

METHODEN UND ERGEBNISSE EINER HYDROGEOGRAPHISCHEN LANDESAUFNAHME VON OSTNIGERIA ¹⁾

Mit 4 Abbildungen und 1 Karte (Beilage IV)

REIMER HERRMANN

Summary: Methods and results of a hydrogeographic survey in Eastern Nigeria.

After a short introduction to the purpose of hydrogeography, research methods are described under the headings of surface hydrology, air photo interpretation, analysis of water-level readings and the calculation of the climatic waterbudget balance and humidity. On this base the hydrogeography of Eastern Nigeria is described with the aid of cartographic examples. A general survey is given, with a hydrographic map on 1 : 1 million scale, of a profile along 8° 30' Longitude East. Certain hydrogeographic units are more closely examined, with the help of detailed hydrogeographic maps. They are: a portion of the Enugu Scarplands, the area west of the Niger-Benue confluence, and the southeast Niger delta.

I. Einführung

Die Hydrogeographie als Disziplin der physischen Geographie untersucht räumlich vergleichend das Verhalten des Wassers über, auf und unter der Erdoberfläche in seinem natürlichen Zusammenhang und nach seiner Bedeutsamkeit für die Landschaften. Die Untersuchungsmethoden werden der Hydrologie entnommen; die Betrachtungsweise ist geographisch.

In der Hydrogeographischen Karte von Ostnigeria 1 : 1 000 000 werden als Ergebnis der Untersuchungen Abflußverhalten und Wasserhaushalt der Gewässer und die beides hydrologisch steuernden Geofaktoren Klima, Relief und Substrat (Gestein und Boden) dargestellt. Die Räume einheitlichen hydrologischen Verhaltens, die hier hydrogeographische Einheiten genannt werden sollen, werden durch die Interferenz von Räumen gleichen Klimaeinflusses, gleicher Substrateinwirkung und gleicher Reliefwirkung wiedergegeben.

Die Einwirkung des Geofaktors Vegetation auf den Wasserhaushalt und das Abflußverhalten hängt vor allem ab von der Mächtigkeit des durchwurzelten Bodenraumes, der Intensität der Transpiration und der Höhe der Interception. Von diesen Größen konnte quantitativ nur der Einfluß des durchwurzelten Bodenraumes in Form der „Wurzelraumkapazität“ ²⁾ bestimmt werden. Darüber hinaus sind die in Ost-

nigeria verbreiteten Vegetationsformationen und die sie vertretenden Nutzpflanzen bisher noch nicht so weit auf ihre hydrologische Wirksamkeit untersucht worden (J. R. AINSLIE, 1926; E. W. JONES, 1955 und 1956; P. W. RICHARDS, 1957, 1963 a und 1963 b; D. McC. RAMSEY and P. W. DE LEEUW, 1964 und 1965), daß ihr Einfluß quantitativ berücksichtigt werden kann.

Die Hydrogeographie, soweit sie die hydrologisch steuernden Geofaktoren analysiert, ist Teilbereich der der Landschaftsökologie (L. BAUER, 1960; R. KELLER, 1960 und F. WILHELM, 1966).

Der bearbeitete Raum umfaßt von 6° ö. L. im Westen bis 9° 20' ö. L. im Osten und vom Golf von Guinea im Süden bis 8° n. B. die wesentlichen Naturräume Südnigerias, wie das Niger-Delta, die Ausläufer des Kamerunberglandes, die wenig gegliederte breite Küstenebene, das Hügelland des Basement-Komplexes, das Schichtstufenland und das weite Cross-River-Becken.

Die hier vorgelegten Ergebnisse der hydrologischen Untersuchung bilden den ersten Versuch einer Darstellung der Hydrogeographie Ostnigerias. Für den südöstlichen Teil des Untersuchungsraumes, der politischen Region Ostnigeria, wurde in einem Gutachten von TAHAL (1962) das von dem Geological Survey of Nigeria gewonnene Material über die Grundwassererschließung zusammengefaßt. Zwei sehr sorgfältige Untersuchungen über das Niger-Delta und den Niger und Benue wurden von den Netherlands Engineering Consultants-Nedeco (1959 und 1961) für die wasserwirtschaftliche Erschließung des Stromes vorgelegt. Sie bergen eine Fülle wertvoller Meßdaten. Die Untersuchungen beschränken sich aber ganz auf die Stromläufe des Nigers und des Benue sowie auf das Delta. Der hydrologische Dienst Nigerias (Ministry of Works, Waterways Department, Lokoja) ³⁾ befindet sich erst im Aufbau, so daß nur für 8 kleinere Flüsse brauchbare Pegelablesungen vorliegen, die sich auch nur über drei Jahre erstrecken. Nur für zwei der Pegel sind Bezugskurven zwischen den Wasserständen und den dazugehörigen Abflüssen ermittelt worden. Dagegen sind die Klimabeobachtungen sehr

¹⁾ Die vorliegenden Überlegungen sind ein Ergebnis von Untersuchungen, die im Rahmen des Schwerpunktprogramms Afrika-Kartenwerk der DFG in Südnigeria durchgeführt wurden. Ich danke der DFG für die großzügige Unterstützung der Arbeiten.

²⁾ S. Fußnote 5.

³⁾ Die Untersuchungen wurden vor dem Höhepunkt des Bürgerkrieges beendet. Es ist nicht bekannt, ob die Arbeit des Hydrologischen Dienstes fortgesetzt wird.

sorgfältig und in einem vergleichsweise dichten Netz über längere Jahre hin durchgeführt worden.

Für einen Teil des Untersuchungsgebietes lagen Luftbilder im Maßstab 1 : 40 000 vor. Die topographische Karte 1 : 50 000 mit Höhenlinien war z. Z. der Untersuchungen nur für die mittleren und nordwestlichen Teile des Gebietes aufgenommen worden. Im ganzen südlichen Teil sind die Kartenunterlagen mangelhaft. Die geologische Karte 1 : 250 000 der Shell-BP bedeckt das ganze Gebiet. Sie ist nach stratigraphischen Gesichtspunkten gegliedert und daher (ganz abgesehen von der streckenweise ungenauen Grenzziehung) für hydrographische Fragestellungen nicht immer sehr aussagefähig.

II. Die Untersuchungsmethoden

1. Geländehydrologische Untersuchungen

Abgesehen von der Bearbeitung der wenigen Pegelaufzeichnungen, die das Gerüst der Analyse des Abflußverhaltens und – mit geringerem Erfolg – des Wasserhaushaltes abgaben, wurde versucht, durch ein enges Netz von Trockenwetterabflußmessungen Aussagen über die Einwirkung des Substrats auf Wasserhaushalt und Abflußverhalten zu gewinnen. Dabei wurde so vorgegangen, daß in der Nähe von Klimastationen höherer Ordnung im Abstand von 2 Monaten nach den letzten Regenfällen der Abfluß in kleinen Flußgebieten gemessen und auf die Abflußspende (TW_q ($1/s \text{ km}^2$)) umgerechnet wurde. Diese Flußgebiete wurden unter dem Gesichtspunkt einheitlichen Geofaktorengefüges ausgesucht. Im Anschluß daran wurde das Meßnetz so verdichtet, daß auch in Flußgebieten mit unterschiedlichen Teilgefügen gemessen wurde, um Aussagen auch über gemischte Substrateinflüsse zu gewinnen.

Die Extrapolation dieser Ergebnisse auf die Karte im Maßstab 1 : 1 000 000 wurde durch einzelne Messungen zwischen den genau kartierten Gebieten abgesichert. Die Messungen wurden je nach Wasserführung mit einem Abflußmeßflügel oder einem Thompson-Überfallmeßwehr durchgeführt. Es zeigte sich, daß die gemessenen Trockenwetterabflußspenden in einer engen korrelativen Bindung zu den von TAHAL veröffentlichten Werten der spezifischen Ergiebigkeit der Brunnen stehen. Hohe Trockenwetterabflußspenden zeigen eine gute Durchlässigkeit und Speicherfähigkeit des Substrats an, niedrige eine geringe Durchlässigkeit und Speicherfähigkeit, woraus auf eine gute bzw. schlechte Ausgleichswirkung auf das Abflußverhalten geschlossen werden kann.

Da der geologische Aufbau in Ostnigeria durchweg einfach ist, und das Abflußverhalten der Flüsse in der Trockenheit von der Beschaffenheit der Grundwasserleiter abhängt, können auf Grund der oben erwähnten korrelativen Bindung für Gebiete mit bekannter Trockenwetterabflußspende auch ohne Pumpversuche Aussagen über die Grundwasserhöflichkeit gemacht

werden. Diese quantitativen Angaben werden ergänzt durch eine Kartierung der ausgetrockneten Flüsse nach 2 Monaten ohne Regen.

Für die Analyse des Hochwassers sind keine vergleichbaren exakten und schnell anwendbaren Methoden verfügbar. Allein Hochwassermarken (Schwebablage an Brückenpfeilern und Bäumen usf.) gestatten die Schätzung der MHW⁴⁾.

Eine vergleichsweise schnelle und aussagefähige Übersicht über das Grundwasser- und Bodenfeuchteverhalten erlauben die Analysen hydromorpher Bodenprofile. Besondere Aussagen ermöglichen vor allem der G_0 und der G_r -Horizont der Grundwasserböden:

G_0 = Oxydationshorizont, der im allgemeinen mit dem Schwankungsbereich der Grundwasseroberfläche und des Saugsaumes zusammenfällt. Er ist an der rostfarbenen Marmorierung erkenntlich.

G_r = Reduktionshorizont, der reduzierende Verhältnisse durch seine grauen, grünlichen oder bläulichen Farben anzeigt.

Aus dieser allein durch das Verhalten des Grundwassers gesteuerten Bodenentwicklung konnte H. HEBESTREIT (1965, S. 33–37) ableiten, daß das MNW des Grundwassers über dem G_r -Horizont liegt und das MHW über dem G_0 -Horizont. Diese Ableitung dürfte auch für die feuchten Tropen gelten.

Weit verbreitet treten in Ostnigeria zudem Stau-nässeböden auf. In ihnen wird das Wasser in der Regenzeit über undurchlässigen bis schwer durchlässigen Schichten oder Horizonten gestaut. Diese Stau-nässe wechselt in der Trockenheit durch die Evapotranspiration in Trockenheit über, und ihre Konsistenz wechselt von weichplastisch zu steinhart. Diese wechselseuchten Böden sind erkenntlich an rostgelben, rostbraunen und fahlgrauen Flecken.

Die Deutung der Aussagen hydromorpher Böden wurde durch Messungen der Tiefenlage der Grundwasseroberfläche in den vorhandenen Brunnen geprüft.

2. Luftbildauswertung

Ein wichtiges Hilfsmittel sowohl für die hydrogeographische Spezialkartierung wie auch für die Übersichtskartierung ist die Luftbildauswertung.

Zuerst werden die typischen hydrogeographischen Einheiten, d. h. der Kartierschlüssel, durch eine sorg-

⁴⁾ NW (Q) = unterer Grenzwert der Wasserstände (Abflüsse)
 HW (Q) = oberer Grenzwert der Wasserstände (Abflüsse)
 MNW (Q) = mittl. unterer Grenzwert der Wasserstände (Abflüsse)
 MHW (Q) = mittl. oberer Grenzwert der Wasserstände (Abflüsse)
 MW (Q) = Arithmet. Mittel der Wasserstände (Abflüsse)

fältige Bodenaufnahme herausgestellt und schon im Gelände auf „Schlüssel Luftbilder“ übertragen. Die Aufnahme dieser Standardeinheiten ist um so schwieriger, je dichter die Vegetationsdecke ist. Gute, differenzierende Merkmale, die im Luftbild erkennbar sind, sind im allgemeinen die Art der Grundwasseraustritte, Vorflutverhältnisse, Wuchsformen, Gewässernetz u. a.

Die räumliche Abgrenzung des Substrateinflusses wird häufig schon durch eine photogeologische Interpretation gefunden werden können. Weiter kann die vorsichtige Analyse der Flußdichte, wobei einheitlich entweder nur dauernd fließende Flüsse oder alle dauernd und periodisch fließenden Flüsse berücksichtigt werden müssen, weiterhelfen. Die Flußdichte eines Gebietes mit einheitlichem Klima hängt vor allem vom Substrat ab, ist aber im Bereich der Wasserscheiden geringer als am Hauptvorfluter. Durch einen geringen Grundwasserflurabstand können in Niederungsgebieten alle Tiefenlinien mit Wasser gefüllt sein, wodurch eine hohe Flußdichte entsteht, die ursächlich nicht durch undurchlässiges Substrat bedingt ist. Ein ähnliches Resultat kann die Folge schlechter Vorflutverhältnisse sein. Der Analyse der Flußdichte sind daher Grenzen gesetzt, die jedoch allgemein erkannt werden können.

Ein allgemein gültiges, den vielfältigen Erscheinungsformen der hydrogeographischen Einheiten gemäßes „Rezept“ der hydrologischen Luftbildauswertung kann nicht gegeben werden; vielmehr muß durch wiederholten terrestrischen Vergleich und auf Grund guter hydrologischer Geländekenntnisse die räumliche Abgrenzung schrittweise vorgenommen werden.

Für die gewässerkundliche Aufnahme haben sich kleinmaßstäbliche Luftbilder (1 : 30 000–1 : 50 000) als zweckmäßig erwiesen, weil sie einen besseren Überblick ermöglichen.

Die Auswertung von Luftbildern nach vorangegangener Geländeaufnahme in den ausgewählten Standardeinheiten hat sich als besonders ergiebig erwiesen und bietet die Möglichkeit, in zumeist hydrologisch kaum untersuchten, oft unwegsamen weiten Räumen eine zeit- und aufwandsparende hydrogeographische Aufnahme durchzuführen.

3. Auswertung der Pegelaufzeichnungen

Wasserhaushalt und Abflußverhalten lassen sich auch bei sorgfältiger Geländeaufnahme nicht quantitativ erfassen, so daß aus Pegelaufzeichnungen und Klimabeobachtungen ein Bild des Abflußverhaltens und des Wasserhaushalts gewonnen werden muß.

a) Wasserhaushalt

Im gesamten Untersuchungsgebiet sind jedoch die Pegelaufzeichnungen nicht von ausreichender Dauer, und nur in zwei Fällen ist die Bezugskurve zwischen den Abflüssen und den Wasserständen am Pegel er-

mittelt worden. Eine Bilanzierung mit Hilfe gemessener Niederschläge und Abflüsse nach der Gleichung

$$\begin{aligned} N &= A + V \\ N &= \text{Niederschlag} \\ A &= \text{Abflußhöhe} \\ V &= \text{Verdunstung} \end{aligned}$$

ist aus diesem Grunde nicht möglich. Daher ist es notwendig, den unsicheren Weg der Bilanzierung über gemessene N , gemessene V und errechneten A zu gehen (s. dazu Abschnitt 4).

b) Abflußverhalten

Die vorhandenen Pegelaufzeichnungen reichen nur aus, um eine grobe Analyse des Abflußverhaltens vorzunehmen. Dabei wird so verfahren, daß über und unter die Ganglinie der MW (MQ) die im Zeitraum beobachteten oberen und unteren Grenzwerte der Wasserstände (NW , HW) und des Abflusses (NQ , HQ) aufgetragen werden. Einen anschaulichen Eindruck über den Gang des Abflußverhaltens bietet weiter die durch Auszählen und Ordnen der Wasserstände nach Größenklassen gewonnene Häufigkeitslinie. Sie bildet zugleich die Grundlage für die Ermittlung der Tage mit Überschwemmungen.

4. Die „klimatische“ Wasserhaushaltsbilanz und die „Befeuchtung“

Da keine gemessenen Abflußwerte verfügbar sind, ist es nur möglich, eine „klimatische“ Wasserhaushaltsbilanz über errechnete Werte der potentiellen Verdunstung und gemessene Niederschläge aufzustellen. Die Bilanzierung wurde nach der Methode von C. W. THORNTON (1957) vorgenommen, die nicht verwechselt werden darf mit seiner Verdunstungsformel.

Um nach dieser Methode eine Bilanz aufzustellen, werden a) Werte des Niederschlags und b) der potentiellen Verdunstung benötigt. Weiter muß c) die „Wurzelraumkapazität“ (R. PFAU, 1966, S. 33) bekannt sein. Die „Wurzelraumkapazität“ ist das Maß für die gesamte nutzbare Kapazität im Bereich der „Hauptversorgungszone“ der Pflanzen, die etwa mit dem durchwurzelten Boden übereinstimmt. Für die Durchführung der Rechnung gibt C. W. THORNTON (1957) eingehende Anweisungen und Hilfstabellen.

Für drei Stationen, Calabar, Enugu, Makurdi (s. Karte 1) wurden monatliche Bilanzen graphisch dargestellt, aus denen der Gang der Wasserhaushaltsgrößen abgelesen werden kann:

Erst wenn die Wurzelraumkapazität aufgefüllt worden ist, kann Sickerwasser oder oberflächlich abfließendes Wasser wasserwirtschaftlich genutzt werden. Ist der Niederschlag mit beginnender Trockenzeit geringer als die pV , tritt ein Bodenfeuchteverzehr auf. Es entsteht ein Wassermangel, wenn durch den Bodenfeuchteverzehr der Unterschied zwischen der pV und der aktuellen Verdunstung (aV) nicht ausgeglichen werden kann. Übertreffen dann mit beginnender Re-

genzeit die Niederschläge die pV , dann wird der Boden angereichert, bis die Wurzelraumkapazität erreicht ist. Es sind daher die vier Phasen

1. Überschuß, 2. Verzehr, 3. Wassermangel (wobei der Verzehr andauert) und 4. Anreicherung

zu unterscheiden, die in Höhe und zeitlicher Abfolge die pflanzenökologische und wasserwirtschaftliche Eignung eines Raumes festlegen. Für die Niederschlagsstationen wurden einfache Jahresbilanzen aufgestellt, aus denen Niederschlag, Verdunstung und Überschuß abgelesen werden können, weiterhin die Zahl der Monate mit Überschuß und die Zahl der Monate mit weniger als 10 cm Niederschlag.

Das zur Berechnung der pV an den Niederschlagsstationen benötigte Sättigungsdefizit wurde mit Hilfe von Monatskarten des Sättigungsdefizits, die auf Grund der Meßwerte der Stationen höherer Ordnungen gezeichnet wurden, ermittelt.

Diese klimatischen Bilanzen können keinen großen Anspruch auf Genauigkeit erheben, vielmehr sollten ihnen gemessene Bilanzen in kleinen Flußgebieten oder gemessene Bodenfeuchtwerte vorgezogen werden, was jedoch für das Untersuchungsgebiet noch nicht möglich ist.

Um auf eine einfache Weise die potentielle Verdunstung (pV) bestimmen zu können, wurde der Zusammenhang zwischen der in Lysimetern in Ibadan gemessenen pV und dem mittleren Sättigungsdefizit der Tagesstunden $((E - e) \text{ tm})$ in Form von linearen Regressionen ermittelt (R. HERRMANN, 1967, S. 62 bis 64). Danach ergeben sich folgende Beziehungen:

Trockenzeit (Dez.-März)

$$pV = 4,9 + 0,39 ((E - e) \text{ tm} - 9,3) \text{ [mm/Tag]}$$

Übergang (April-Mai)

$$pV = 4,0 + 0,54 ((E - e) \text{ tm} - 6,2) \text{ [mm/Tag]}$$

Regenzeit (Juni-Oktober)

$$pV = 3,5 + 0,63 ((E -) \text{ tm} - 4,1) \text{ [mm/Tag]}$$

Übergang (November)

$$pV = 4,0 + 0,13 ((E - e) \text{ tm} - 5,9) \text{ [mm/Tag]}$$

wobei der Korrelationskoeffizient zwischen 0,73 und 0,95 liegt. Die Beziehungen reichen für eine einfache überschlägige Berechnung der pV für die Ermittlung einer monatlichen Wasserhaushaltsbilanz aus.

An Hand von Aufgrabungen, von geologischen Karten, von Luftbildern und photogeologischen Skizzen wurde für das von einer Station repräsentierte Gebiet die mittlere Wurzelraumkapazität nach folgender Tabelle geschätzt:

Tabelle 1: Wurzelraumkapazitäten (mm)⁵⁾

Bodentart	Grasland	Forest-Savannah	Moist-Forest
Sand (S)	100	150	250
lehmiger Sand (IS)	180	320	400
sandiger Lehm (sL)	220	370	440
Lehm (L)	325	390	520
toniger Lehm (tL)	200	200	320

Als ein Maß für den Klimaeinfluß wird die räumlich wechselnde Befeuchtung in Form von Linien gleicher Differenz zwischen Niederschlag und potentieller Verdunstung gezeichnet ($B = N - pV$ (cm)). Positive Werte von B deuten an, daß über die Befriedigung der pV noch Feuchte zur Speisung des Grundwassers oder des Oberflächenabflusses zur Verfügung steht und zeitweilig nach Trockenperioden noch zur Auffüllung entleerten Bodenspeicherraumes verwandt wird.

Für das Delta wurden aus Nedeco wichtige hydrographische Kennwerte entnommen, wie z. B. die Tideverhältnisse und der Salzgehalt der Gewässer. Die Wattengrenze kann durch die Verbreitungsgrenze der Mangroven verhältnismäßig leicht aus Luftbildern bestimmt werden.

Die geschilderten Methoden sind gut anwendbar auf den untersuchten Raum, müssen aber nicht notwendigerweise für hydrologisch ganz andersgeartete Gebiete (z. B. aride bis semiaride Gebiete) anwendbar sein. Bei längeren Untersuchungen in kleineren Gebieten sollten verfeinerte geländehydrologische Methoden angewandt werden.

III. Hydrogeographische Übersicht Ostnigerias an Hand ausgewählter Kartenbeispiele

Mit den in Teil 2 beschriebenen Methoden wurden hydrogeographische Räume, die repräsentativ für größere Teile des Untersuchungsgebietes sind, im Maßstab 1 : 50 000 kartiert und die Ergebnisse mit Hilfe der Luftbilddauswertung zur Karte 1 : 1 000 000 zusammengestellt. Im Anschluß an die ausführliche Erläuterung der hydrogeographischen Karte 1 : 1 000 000 soll mit Hilfe von drei Beispielen hydrogeographischer Spezialkartierung typischer Gebiete der Weg der Kartierung am Beispiel erläutert werden.

1. Die Hydrogeographische Karte Ostnigerias 1 : 1 000 000 (Karte 1, Beil. IV)

Diese Karte wird von einem Profil (Abb. 1) im gleichen Maßstab begleitet. Charakteristisch für den untersuchten Raum ist die stetige Abnahme der Befeuchtung ($B = N - pV$ (cm)) nach Norden hin, die

⁵⁾ Die Wurzelraumkapazität errechnet sich aus der Multiplikation der nutzbaren Kapazität (n. R. PFAU, 1966, S. 34) mit der Wurzeltiefe, die abhängig ist von der Art der Pflanze und der Bodenart (C. W. THORNTHWAIT, 1957, S. 244). Nach der Analyse eigener noch unveröffentlichter Bestimmungen der nutzbaren Kapazität mit Hilfe von pF -Kurven (Wasserspannungskurven) tropischer Böden in Nordkolumbien darf angenommen werden, daß die von R. PFAU veröffentlichten Werte auch für tropische Böden gelten. Die Ergebnisse eigener Aufgrabungen in Ostnigeria und von E. W. JONES (1955, S. 564-594) im Bereich der Coastal Plain Sands bei Benin bestätigen die Wurzeltiefentabelle von C. W. THORNTHWAIT (1957, S. 244). Bei staunassen Böden, besonders im Bereich des moist forest, sind die Wurzeltiefen geringer.

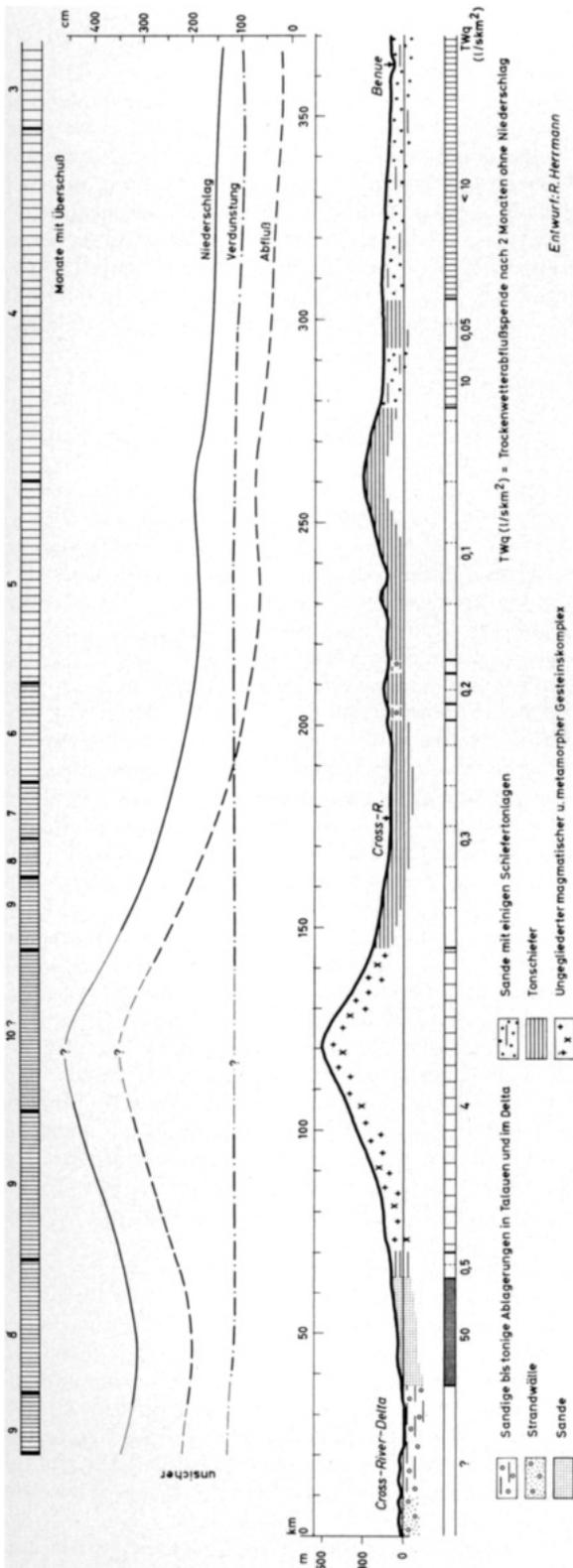


Abb. 1: Hydrogeographisches Profil zu Karte 1 entlang 8°30' E von 4°30' N bis 7°45' N (ausführliche Legende siehe Beilage IV)

durch die Art des Pendelns der „Hauptwetterzonen“ (W. MANSARD, 1962, S. 51) über das Untersuchungsgebiet hin erklärt werden kann: die zeitliche Überlagerung durch die regenbringende Zone IV („Monsonale Niederschläge“) nimmt nach Norden hin ab. Dafür nimmt die Überlagerung durch die niederschlagslose und durch hohe Sättigungsdefizite ausgezeichnete Zone I („Harmattanzone“) zu. Die Abnahme der Differenz (Befeuchtung) $B = N - pV$ kann durch die Abnahme der Niederschläge vom Süden zum Norden und die gegensinnig erfolgende Zunahme der pV als Folge des Pendelns der „Hauptwetterzonen“ erklärt werden. Diese Abnahme der Befeuchtung sei am Beispiel der drei Stationen Calabar (4° 58' N), Enugu (6° 28' N) und Makurdi (7° 44' N) mit Zahlen belegt:

Station	$N - pV = B$	(cm)
Calabar	307 - 117	+190 (cm)
Enugu	179 - 168	+ 11 (cm)
Makurdi	136 - 191	- 55 (cm)

Die hydrologische Wirksamkeit des Klimas ist durch Ausmaß und zeitlichen Gang der Befeuchtung bestimmt und ist in den zonal angeordneten fünf Räumen in sich gleicher Befeuchtung gemäß der gewählten Dimension gleichartig. Die Auswirkung der unterschiedlichen Befeuchtung auf den Wasserhaushalt und das Abflußregime wird weiter unten besprochen. Die Einteilung in die fünf Stufen der Befeuchtung wurde gesondert für den vorliegenden Raum gewählt.

Negative Werte der Befeuchtung zeigen nur an, daß im Jahresmittel die $pV > N$ ist; dagegen kann in einzelnen Monaten $N > pV$ sein und kurzfristig ein Abfluß entstehen, was aus den Bilanzen entnommen werden kann. Die zonale Anordnung wird nur im Südosten durch die Ausläufer des Kamerunberglandes unterbrochen, wo durch den luvseitigen starken Anstieg der Niederschläge und die markante Abnahme nach Lee die Linienführung sehr stark durch die azonale Verteilung der Niederschläge bestimmt wird.

Bei der Betrachtung der interferierenden Wirkung der Geofaktoren war die Art der Steuerung des Abflußverhaltens und des Wasserhaushaltes maßgebend.

Die Einteilung in die folgenden hydrogeologischen Einheiten wird vorwiegend nach den Ergebnissen der Trockenwetterabflußmessungen aus der Trockenzeit 1965/66 getroffen. Da es das Ziel der hydrogeographischen Karte ist, Abfluß und Wasserhaushalt der Gewässer und die beides hydrologisch steuernden Geofaktoren darzustellen, seien im Anschluß an die Zonen gleicher Befeuchtung die Räume gleicher Substratwirksamkeit kurz geschildert:

- a) Sandige bis tonige Ablagerungen in Talauen und im Delta 1)

Der Ausgleich des Abflußganges ist abhängig vom Tonanteil der Sedimente, d. h. vom Porenvolumen des Grundwasserumsatzraumes. Die spezifische Ergiebigkeit scheint nach den verfügbaren Daten (Tahal 1962)

Entwurf: R. Herrmann

mit 1,6 l/s m noch recht hoch zu sein. In den Talauen werden die Abflußspitzen je nach Beschaffenheit der alluvialen Füllung mehr oder weniger gedämpft und die Niedrigwasserabflüsse erhöht.

Das Delta verfügt über sehr durchlässige Kiese und Sande mit einem hohen Grundwasserumsatzraum, der einen sehr guten Ausgleich herstellen kann. Die überdeckenden tonigen bis lehmigen hydromorphen Böden sind im Tidebereich durch die Arbeit der Bodenfauna sehr durchlässig, so daß eine günstige Ausgleichsfähigkeit besteht, zumal das Grundwasser in schneller Wechselwirkung zum Flußwasser steht.

b) Sande 2, 3) und Sande mit einigen Schiefer-tonlagen 4)

Die Böden und das Gestein sind vorwiegend sehr durchlässig, so daß das Wasser schnell versickern kann. Dadurch wird eine gute Dämpfung des Oberflächenabflusses erreicht und der unterirdische Abfluß erhöht. In den Gebieten unter „4“ kommen Schiefer-tone und Mergeleinschaltungen vor, so daß zum Teil mehrere Grundwasserstockwerke entstehen mit gespanntem Grundwasser und Quellbändern. Ausdruck dieser günstigen Einflüsse sind die hohe spezifische Ergiebigkeit ($E = 1,6 \text{ l/s m}$) und die hohe Trockenwetterabflußspende ($TW_q = 15-50 \text{ l/s km}^2$), von N nach S entsprechend der zunehmenden Befeuchtung anwachsend.

c) Sande, Konglomerate und Sandsteine verbreitet mit zahlreichen eingeschalteten Tonschieferschichten 5)

Abgesehen von örtlich starker Verkittung besonders in den Konglomeraten wird die Durchlässigkeit (und die Versickerung) von zahlreichen, meist nicht sehr mächtigen Tonschiefer- und Schluffsteinbänken bestimmt. Auf Grund dieses hydrogeologischen Baues entstehen viele Quellen mit jedoch geringer Schüttung und starker Abhängigkeit von den Niederschlagschwankungen. Die Dämpfung des Oberflächenabflusses und Erhöhung des unterirdischen Abflusses sind abhängig von der örtlichen Verteilung der durchlässigen Schichten, insgesamt jedoch mittel bis schlecht. Diese geringe Ausgleichsfähigkeit spiegelt sich auch wider in den Werten der spezifischen Ergiebigkeit ($E < 0,4 \text{ l/s m}$) und der geringen Trockenwetterabflußspende ($TW_q = 0,1-3 \text{ l/s km}^2$).

d) Tonschiefer 7)

Der Grundwasserumsatzraum ist sehr gering, ebenso die Durchlässigkeit und die Versickerung. Die Wasserwegsamkeit ist gering, weil sie abhängig ist von dem geringen Kluftvolumen. Die spezifische Ergiebigkeit ($E < 0,08 \text{ l/s m}$) und die Trockenwetterabflußspenden ($TW_q = 0,05-0,5 \text{ l/s km}^2$) sind hierfür ein deutlicher Ausdruck. Der Wasserhaushalt zeigt deutliche extreme Ausprägungen in der zeitlichen Abfolge und in der quantitativen Ausprägung der einzelnen Haushaltsgrößen Verdunstung, Versickerung etc. Das

Abflußverhalten ist sehr unausgeglich, d. h. der Oberflächenabfluß ist nach Schließung der Trockenrisse der Böden sehr hoch, und das Niedrigwasser wird durch Grundwasserzufluß kaum erhöht. Da die Trockenrisse sich nur sehr langsam schließen, kann das Bodenprofil gut mit Wasser gefüllt werden, wodurch bei der hohen Wurzelraumkapazität zu Beginn der Regenzeit noch eine Dämpfung der Hochwasserabflüsse erzielt wird. Die Böden haben überall ausgeprägte hydromorphe Profile, was auf Staunässe und geringe Versickerung in der Regenzeit schließen läßt.

e) Magmatische und metamorphe Gesteine 8-12)

Die hydrologische Wirksamkeit dieser Gesteinsgruppe hängt im wesentlichen von Art und Tiefe des Zersatzes ab. Z. T. beeinflussen in hängigem Gelände in stärkerem Ausmaß die Hangschuttdecken Wasserhaushalt und Abflußregime. Größere Wasserwegsamkeit auf Klüften bewirkt nur im zerrütteten Quarzit (9) und in nicht abgedeckten Basalten (10) einen Ausgleich des Abflußganges und des Wasserhaushalts (einzelne Quarzitrücken westlich des Nigers und junge Basalte des Kamerunberges). Das Ergebnis der Verwitterung feintexturierter Gesteine (11) ist ein tiefgründiger ton- und schluffreicher Zersatz mit tonigem Oberboden. In dem meist flachen Gelände kann im Zersatz und Boden ein großer Teil des Niederschlags festgehalten werden, doch wird bei dem undurchlässigen Gestein, in dem die Verwitterungstaschen und -wannen ausgebildet sind, das Wasser gehalten und durch die Vegetation verdunstet und nicht dem unterirdischen Abfluß zugeführt. Der sandigere, flachgründigere Zersatz und Oberboden über grobtexturiertem Gestein (12) könnte von der Beschaffenheit des Grundwasserleiters her ausgleichend auf den Abflußgang und den Wasserhaushalt wirken, doch begrenzt der geringe Umfang des Grundwasserumsatzraumes im meist hängigen Gelände diese Möglichkeit. Einzelne Hangschuttquellen aus diesem Material vermögen jedoch noch bis spät in die Trockenzeit auszuhalten. Die in dieser Gesteinsgruppe vorkommenden, mit Grundwasser gefüllten Tiefenverwitterungstaschen können in der Zukunft für die Wasserversorgung genutzt werden. Obgleich im allgemeinen die Ausgleichswirkung – besonders der Quarzite und z. T. der Basalte – höher ist als im Bereich der Tonschiefer, wirkt im Mittel diese Gesteinsgruppe wenig ausgleichend. Es werden hohe Oberflächenabflüsse begünstigt und die Speisung des Niedrigwasserabflusses aus dem Grundwasser endet sehr bald, da außer im Zersatz in den Hangschuttdecken und in den Böden auf den Klüften des Gesteins nur geringe Mengen Berggrundwassers zirkulieren. Aus diesem Grunde übertreffen die Trockenwetterabflußspenden je nach vorheriger Befeuchtung und Art sowie Umfang des Zersatzes und der Hangschuttdecken selten Werte von $TW_q = 0,1$ bis 4 l/s km^2 .

Die auf den Abfluß beschleunigend wirkende Eigenschaft der hohen Reliefenergie ist in Nigeria und den angrenzenden Gebieten noch nicht genauer untersucht worden. Räume, die durch hohe Reliefenergien ausgestattet sind, wurden deshalb nur mit Pfeilen gekennzeichnet.

Als Ergebnis der interferierenden hydrologischen Wirkungen der räumlich sich ändernden Geofaktoren werden das räumlich unterschiedliche Abflußverhalten und der Wasserhaushalt durch Diagramme dargestellt.

Sieht man ab vom Abflußverhalten des Niger und Benue, die für die hydrologische Geofaktorenanalyse Ostnigerias „Fremdflüsse“ sind, ist es möglich, das Abflußverhalten der Flüsse aus den beschriebenen Wirkungen der Geofaktoren zu erklären. Zum Beispiel spiegeln die Ganglinie und die Häufigkeitslinie der Wasserstände des oberen Anambra bei Ajokodo die ausgleichende Wirkung der durchlässigen Sande (Gruppe 3) wider. Charakteristisch ist, daß die Extremwerte des Wasserstandes (NW, HW) nur wenig vom Mittelwasserstand abweichen. Der undurchlässige metamorphe Gesteinskomplex vermag dagegen aus dem Gang der Befeuchtung sich ergebende Extreme des Abflusses und des Wasserhaushaltes nicht auszugleichen (Beispiel Katsina Ala bei Katsina Ala). Die Ganglinie der Abflüsse zeigt starke Spitzen, besonders im Verlauf der NW und HW. Als Folge davon ist die Häufigkeitsverteilung weit auseinandergezogen. Im Bereich der höheren Befeuchtung des Südens zeigt die Ganglinie des Imo bei Imo Bridge die ausgleichende Wirkung der durchlässigen Sande der Gruppe 3 in seinem Mittel- und Unterlauf, überlagert von einzelnen Spitzenabflüssen aus dem Bereich mehr oder weniger undurchlässiger Gesteine (Gruppe 7 und 5) im Oberlauf. Die „kleine Trockenzeit“ im August ist nur bei wenig ausgleichenden Gesteinen im Abflußverhalten zu erkennen.

Das Delta verteilt im wesentlichen die Abflüsse des Niger. Jedoch erhalten viele der Süßwasserläufe und Priele nur über kurze Zeiten während des Hochwassers des Nigers Nigerwasser. Im allgemeinen führen nur das Nun-River-System und das Forcados-River-System Nigerwasser ab. Die Verteilung kann aus den Bandbreiten abgelesen werden. Der Tidecinfluß (Tidehub und Reichweite) hängen von der Höhenlage der einzelnen Teile des Deltas und der Flutwelle des Atlantik ab, woraus die sehr unterschiedlichen Tideverhältnisse resultieren. Der Vergleich der Abflüsse des Nigers bei Aboh und des Tidedurchflusses an den Mündungen der großen Tidedeströme zeigt, daß das vom Niger abfließende Süßwasser nur 3 % des gesamten ein- und ausströmenden Tidewassers beträgt.

Wie schon in der methodischen Einführung erläutert wurde, war es nicht möglich, Bilanzen aus gemessenen Werten des Niederschlags und des Abflusses aufzustellen. Als ein Behelf wurden klimatische Wasserhaushalte aufgestellt. Auf Grund der sorgfältigen

Klimabeobachtungen in Makurdi, Enugu und Calabar wurden für diese Stationen monatliche Bilanzen in Form von Haushaltsdiagrammen aufgestellt, für die übrigen Stationen jährliche.

Calabar repräsentiert den Typ der mittleren bis hohen Befeuchtung. Die Niederschläge von 307 cm übertreffen den Bedarf (= pV) in 9 Monaten, und damit ist der Boden während 8 Monaten bis zur Wurzelraumkapazität gefüllt, und ein Überschuß von 195 cm kann zum Grundwasser versickern oder oberirdisch abfließen. Während 3 Monaten herrscht ein geringer Wassermangel (d. h. die $pV > aV$) von nur 3 cm.

Charakteristisch für den Typ mit geringer Befeuchtung ist Enugu. Die Anreicherung des Bodens mit Wasser beginnt im April, da die Niederschläge den Bedarf übertreffen; doch erst im Juni tritt ein Überschuß auf, der bis zum Oktober anhält und 55 cm erreicht. Von November bis April herrscht ein Mangel von insgesamt 44 cm.

Makurdi mit einer sehr geringen Befeuchtung hat nur noch in 3 Monaten einen kleinen Überschuß von 21 cm. Dagegen erreicht der Wassermangel 75 cm und tritt in 6 Monaten auf. Die Phase der Anreicherung dauert 3 Monate, da die geringen Niederschläge den Boden nur langsam auffüllen, da ja zusätzlich noch der Bedarf befriedigt werden muß.

Die größere Zahl der Jahresbilanzen, aus denen die Höhe der Niederschlagssumme, die aktuelle Verdunstung und der Überschuß neben der Zahl der Monate mit weniger als 10 cm Niederschlag und der Zahl der Monate mit Überschuß zu ersehen ist, ergänzt die Monatsbilanzen.

In den Räumen mit sehr hoher, hoher und mittlerer Befeuchtung übertreffen die Überschüsse, abnehmend nach Norden, noch die aktuelle Verdunstung, wobei die Zahl der Monate mit Überschuß von 12 auf 6 abnimmt. In den anschließenden Räumen geringer und sehr geringer Befeuchtung ist der Überschuß geringer als die aV.

Bei der Aufstellung der Bilanzen kann die Form (Starkregen etc.) des Niederschlags nicht berücksichtigt werden. Die Beobachtung lehrt aber, daß auch bei nichtaufgefüllter Wurzelraumkapazität Oberflächenabfluß (eingesperrte Luft oder Tonmineralquellung verhindern die Infiltration) oder Sickerung (in tiefen Trockenrissen) ins Grundwasser auftreten. Das bedeutet, daß die Werte des Überschusses Minimalwerte darstellen.

In das hydrogeographische Profil (Abb. 1) wurden zusätzlich Profillinien des Abflusses, des Niederschlags und der Verdunstung gezeichnet. Da A und V den Bilanzen entnommen sind, gilt für sie die gleiche Unsicherheit wie für die Bilanzen. Trotz der Unsicherheit, die durch das Fehlen von Niederschlagsstationen auf den höchsten Höhen der Oban Hills noch vergrößert wird, veranschaulichen sie doch die Zunahme der Trockenheit nach Norden, die sich aus-

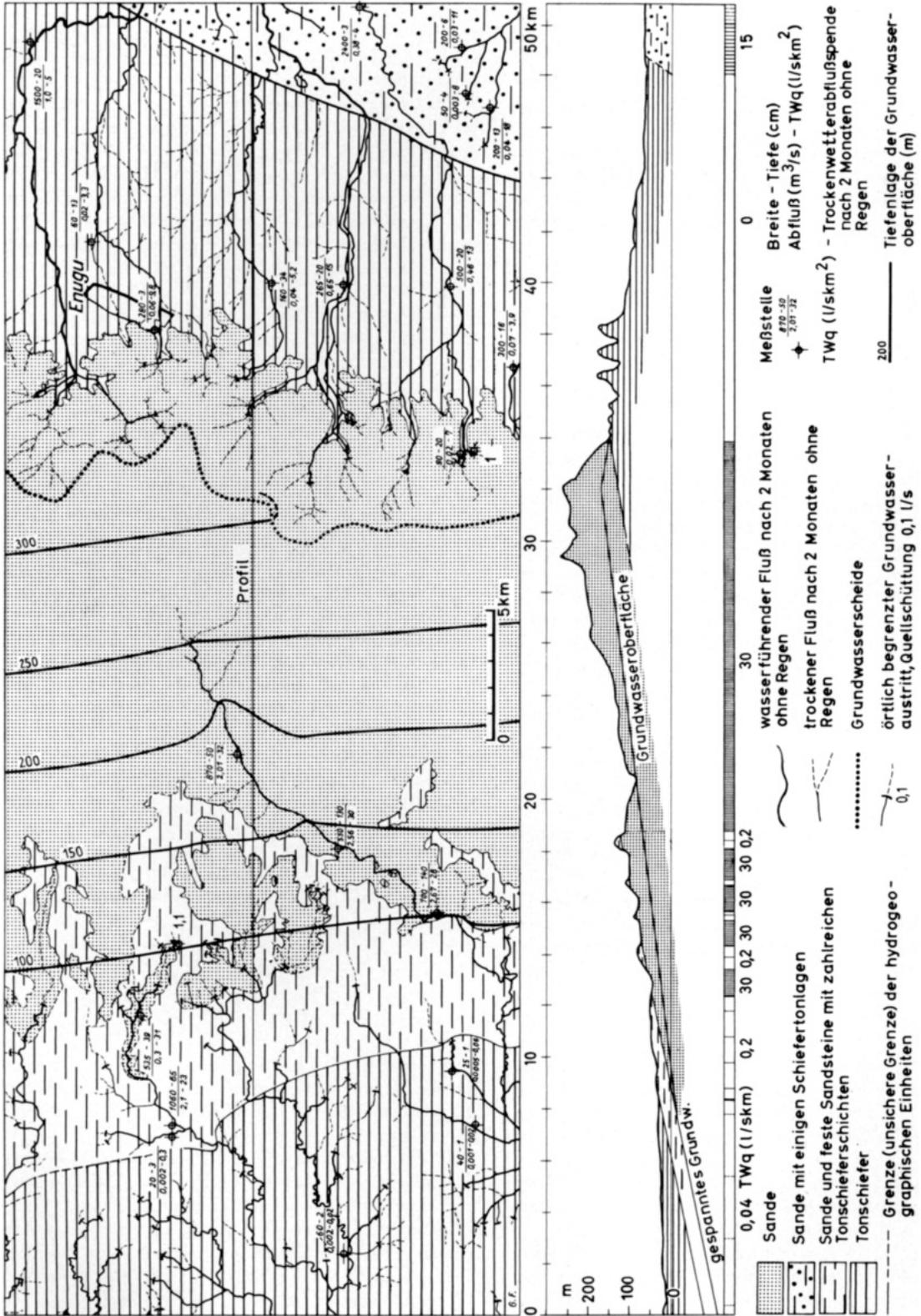


Abb. 2: Hydrogeographische Karte des ostnigerianischen Schichtstufenlandes mit hydrogeographischem Profil (ausführliche Legende siehe Karte 1, Beilage IV)

drückt in einer Abnahme der Niederschläge und des Abflusses und einer etwa gleichbleibenden aktuellen Verdunstung trotz der starken Zunahme der potentiellen Verdunstung.

Aus der Interferenz der hydrologisch steuernden Geofaktoren und dem daraus resultierenden Abflußverhalten und Wasserhaushalt ergeben sich Räume einheitlichen hydrologischen Verhaltens, die hier hydrogeographische Einheiten genannt werden sollen. Jede Einheit ist gekennzeichnet durch die Lage zu den Linien gleicher Befeuchtung (Klimaeinfluß), Raster (Einwirkung des Gesteins), Pfeile (Reliefeinwirkung) und z. T. durch Bilanzdiagramme und Diagramme des Abflußverhaltens, wobei letztere zumeist eine Gruppe hydrologischer Einheiten repräsentieren. Für die hydrologische Einheit in der Küstenebene ostwärts von Opopo ergibt sich daraus z. B. folgende Charakterisierung: Die hohe Befeuchtung vereint mit schneller Versickerung und geringer Reliefeinwirkung speist eine hohe Trockenwetterabflußspende ($TWq = 50 \text{ l/s km}^2$). Der gute Grundwasserleiter ($E = 1,6 \text{ l/s m}$) mit dem hohen Umsatzraum dämpft das Abflußverhalten. Der Überschuß überwiegt die Verdunstung ($Ü = 250$, $aV = 115 \text{ cm}$). Bei nur etwa 3 Monaten mit Niederschlägen unter 10 cm tritt ein Überschuß in 8 Monaten auf.

2. Hydrogeographische Karte und Profil des ostnigerianischen Schichtstufenlandes bei Enugu (Abb. 2)

Die Geländeaufnahme (kartiert in 1 : 50 000, dargestellt in 1 : 200 000) wurde Mitte Dezember 1965 durchgeführt. In den vorangehenden 12 Monaten waren 193 cm Niederschlag gefallen; dabei entfielen auf die letzten $1\frac{1}{2}$ Monate mit Niederschlag 38 cm. Zwischen dem letzten Regenfall und dem Beginn der Geländeaufnahme lagen zwei Monate ohne Niederschlag. Dadurch war sichergestellt, daß aller Abfluß aus dem Grundwasser gespeist wurde.

Die Trockenwetterabflußmessungen ergaben, daß das Gebiet auf Grund der Speicherkapazität des Gesteins in 5 Gruppen eingeteilt werden konnte. Die genaue hydrogeologische Grenzziehung konnte zum Teil schon im Gelände durchgeführt werden, zum Teil wurde sie nach Luftbildern vervollständigt. Die vorhandenen geologischen Karten gaben nur die Grenzen an der Schichtstufe bei Enugu richtig wieder.

Ganz im Osten deuteten die hohen Abflußspenden zwischen $8\text{--}18 \text{ l/s km}^2$ auf speicherfähiges Gestein. Die weiteren Befunde (außerhalb des Ausschnittes) zeigten, daß einige Tonschieferlagen in dieses insgesamt ausgleichsfähige Gestein eingeschaltet sind. In dieser Einheit führten zur Zeit der Beobachtung noch alle Bäche Wasser (Gruppe 4).

Daran schließt sich nach Westen hin ein Gebiet an, in dem nur Flüsse mit Quellen in der Schichtstufe Wasser führten, d. h. das Gestein (Tonschiefer) wirkt wenig ausgleichend (Gruppe 7). Alle übrigen Flüsse des dichten Flußnetzes waren ausgetrocknet. Die weit

verbreiteten hydromorphen Böden sind Anzeiger dafür, daß auch die Böden wenig ausgleichend wirken und Stauansätze in der Regenzeit die Regel ist. An der Schichtstufe ist über diesen Tonschiefern ein Band von Schichtquellen ausgebildet mit Schüttungen einzelner Quellen von über 20 l/s .

Die dritte Einheit ist die aus Sanden aufgebaute Stufenlehne, in der im Kartenausschnitt nur ein Fluß fließt. Die hohen Abflußspenden um 30 l/s km^2 deuten auf hohe Speicherkapazität hin. Die Hochwassermarken liegen nur wenig ($< 1 \text{ m}$) über den Niedrigwasserständen (Gruppe 3).

Westlich davon folgt über einer zweiten Stufe und z. T. mit einer sehr deutlichen Achterstufe eine Einheit mit geringer Flußdichte, jedoch zahlreichen kleinen Quellen, die oft schon ausgetrocknet waren. Ganz wenige dieser Quellen schütteten über 1 l/s . Messungen (z. T. außerhalb des Ausschnittes) ergaben Trockenwetterabflußspenden um $0,3 \text{ l/s km}^2$. Die Sande und festen Sandsteine mit zahlreichen Tonschieferschichten sind insgesamt schlechte Grundwasserleiter mit nur mittlerer bis geringer Ausgleichsfähigkeit. Am Fuß der Achterstufe entspringen kräftige Quellen in den darunterliegenden Sanden der Gruppe 3 mit Schüttung von z. T. über 500 l/s . An einer im Gelände kaum festlegbaren Grenze, die auch im Luftbild nur als Saum zu einer höheren Flußdichte hin angedeutet werden kann, folgen Tonschiefer mit Abflußspenden um $0,04 \text{ l/s km}^2$. Diese Gesteine speichern nur wenig Wasser und gleichen Hoch- und Niedrigwasser kaum aus. Im westlichen Teil dieser Einheit ist die Vorflut sehr schlecht, so daß die Flüsse in breiten, bei Hochwasser überfluteten Talauen mäandrieren, wodurch zusätzlich eine hohe Flußdichte vorgetäuscht wird. Viele Flüsse fließen nur periodisch. Hydromorphe Böden sind weit verbreitet. Auf Grund des hydrogeologischen Baues und einiger Grundwassertiefenmessungen konnten Grundwasserhöhengleichen und im Profil die ungefähre Grenze zwischen gespanntem und ungespanntem Grundwasser ermittelt werden.

3. Hydrogeographische Karte des Gebietes westlich des Niger-Benue-Zusammenflusses

(Abb. 3; aufgenommen in 1 : 50 000)

Die größte Fläche des Gebietes wird von kuppigem Gelände mit einzelnen Inselbergen des metamorphen Gesteinskomplexes eingenommen. Zu Beginn der Messungen hatte es im Untersuchungsgebiet seit fast zwei Monaten nicht mehr geregnet. Von Januar 1965 bis in die ersten Tage des Oktobers hinein waren 117 cm Regen gefallen, davon in den letzten $1\frac{1}{2}$ Regenmonaten 29 cm.

Die Folge davon war, daß der größte Teil des dichten Flußnetzes in den grobtexturierten Gesteinen des metamorphen Gesteinskomplexes ausgetrocknet war. Einzelne Brunnen in flachen Verwitterungstaschen waren ebenfalls bereits trocken gefallen. In anderen lag die Grundwasseroberfläche nur wenig über der

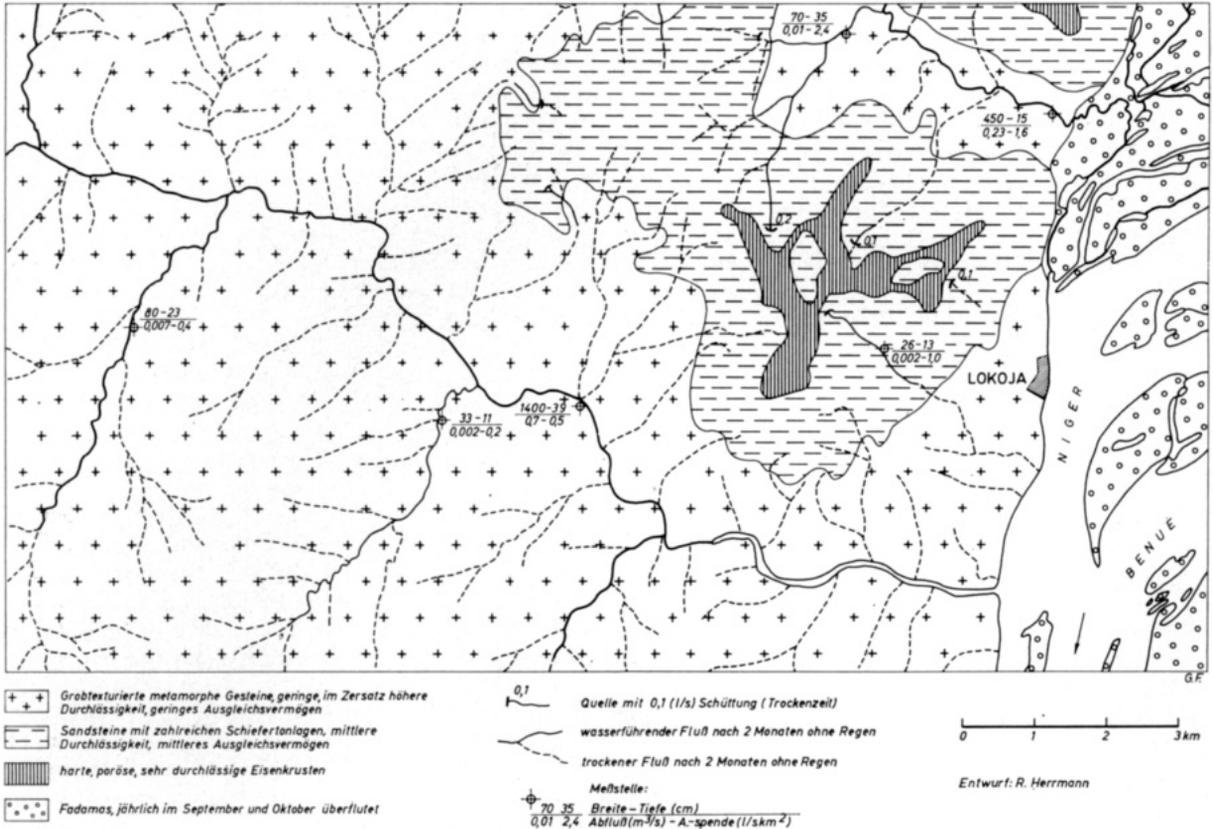


Abb. 3: Hydrogeographische Karte des Gebietes westlich Lokoja

Grundwassersohle. Die Trockenwetterabflussspenden erreichten zwischen 0,17 bis 0,5 l/s km² in den wasserführenden Flußgebieten. Die Unterschiede sind durch die unterschiedliche Ausbildung des Zersatzes und seine Verbindung mit den Bächen zu erklären. Der mittlere Bereich wird von festen Sandsteinen und Sanden mit zahlreichen Tonschieferschichten eingenommen, an deren Basis ein grobes Konglomerat ansteht. Diese Sandsteine spendeten zwischen 1,0 und 3 l/s km². Die Quellen waren nur sehr schwach, und nur wenige vermögen das ganze Jahr hindurch zu fließen (Q = 0,1 bis 0,2 l/s). Auf Grund einer über 2 m mächtigen harten, porösen und daher sehr durchlässigen Eisenkruste ragt der zentrale Teil steil als Tafelberg empor.

Schon im Hochwasserbett des Niger und Benue liegen als 4. Einheit die „Fadamas“, sandige bis schluffige Bänke, die von einzelnen Flußarmen durchzogen sind. Da der genaue Zeitpunkt der Luftaufnahme bekannt war, und bei Lokoja ein sorgfältig beobachteter Pegel mit eingemessenem Pegel-Null vorhanden war, konnte mit Hilfe eines Meßstereoskopes ermittelt werden, bei welchem Anstieg des Niger am Pegel Lokoja die höchsten Flächen der „Fadamas“ überflutet werden. Eine zusätzlich angestellte Häufigkeitsauszählung ergab, daß vom 2. 9. bis 4. 11. jeden Jahres mit

90 % Sicherheit die Fadamas an allen Tagen überflutet sind.

4. Hydrogeographische Karte des südöstlichen Nigerdeltas (Abb. 4)

Da es nicht gelang, für das Delta in ausreichender Zahl Luftbilder zu bekommen, wurde mit Hilfe der Angaben im Delta-Report (Nedeco 1961) und aus der sorgfältig (nach Luftbildern) von Shell-BP kartierten geologischen Karte 1 : 250 000, Blatt Degema, sowie der Auswertung einzelner über das Gebiet verstreuter Luftbilder eine hydrogeographische Karte zusammengestellt.

Im einzelnen wurden die Überschwemmungsbereiche der Flüsse im Süßwasserbereich des Deltas („Meander Belts“ in der geologischen Karte), die Süßwassermoore, das Mangrovewatt, die Strandwallinseln mit Süßwasservegetation und die flache angrenzende Küstenebene ausgeschieden.

Die Abflußganglinien der beiden Süßwasserzuflüsse wurden dem Delta-Report entnommen. Nur in der Zeit der Überschwemmung im Süßwasserbereich, d. h. bei Niger-Hochwasser tritt aus dem Niger- und Nun-River-System Wasser über die flache Wasserscheide,

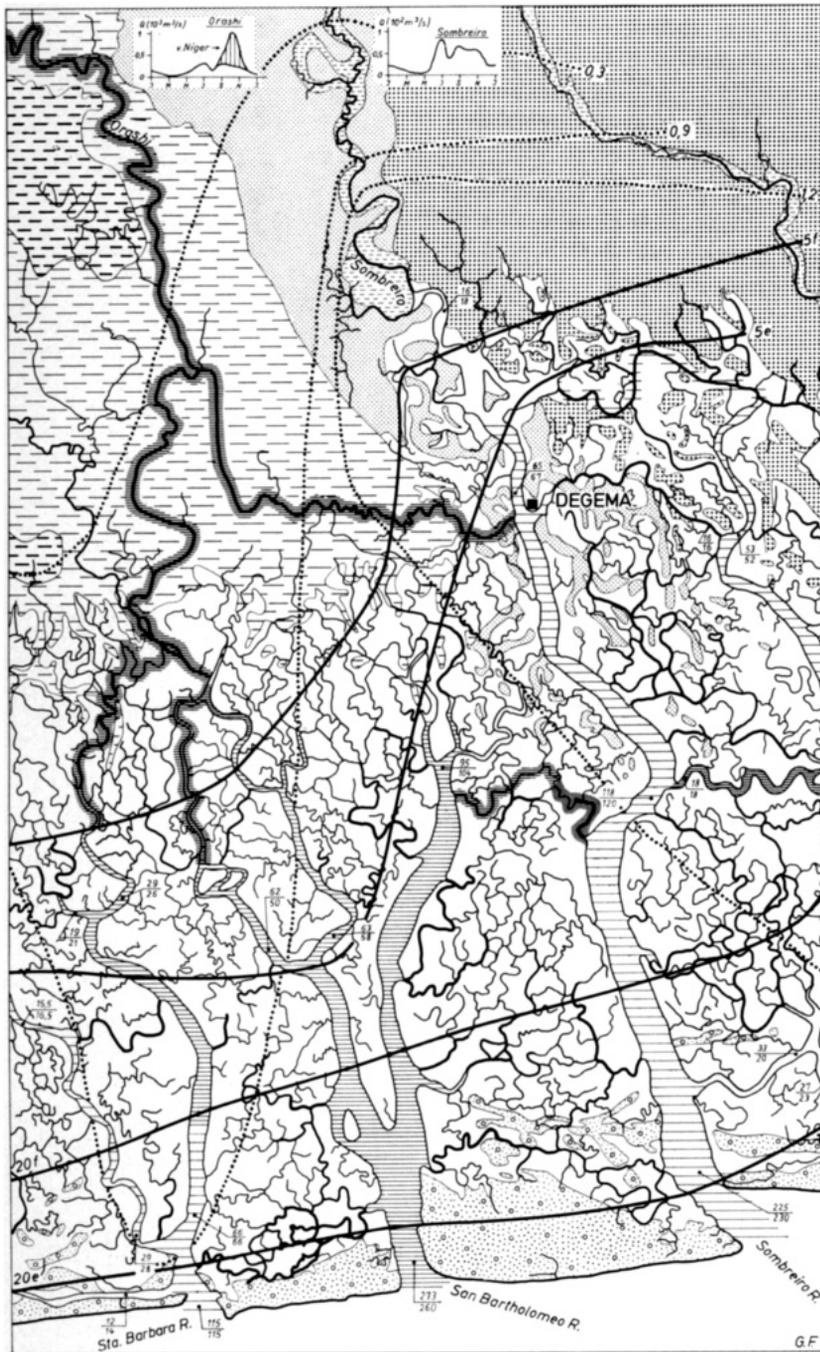
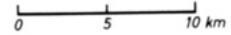


Abb. 4

Hydrogeographische Karte
des südöstlichen Nigerdeltas



- 1 Ungegliedertes Alluvium
- 2 Niedere Küstenebene, geringer Grundwasserflurabstand, streckenweise episodisch überflutet
- 3 Höhere flache Küstenebene, frei von Überschwemmungen
- 4 Strandwälle mit Süßservenvegetation
- 5 Süßwasserbereich des Deltas, periodisch überflutet
- 6 Süßwassermoore
- 7 Mangrovewälder
- 8 Isohaline, 20 ‰, Trockenzeit
 — 20f (Flut)
 — 20e (Ebbe)
- 9 Maximale Schwebstoffführung an der Oberfläche in g/m^3
 0-20 20-50 50-100 >100
- 10 Tidehub
 1,2 (m)
- 11 Tidedurchfluß
 20 Volumen des Flutstromes ($10^6 m^3$)
 18 Volumen des Ebbsstromes ($10^6 m^3$)

Grundlage:
Geologische Karte von Nigeria 1:250 000
(Blatt 83 DEGEMA), NEDECO: Niger Delta

Entwurf: R. Herrmann

das die Abflußspitze von September bis November im Orashi erzeugt. Die unterschiedliche Salzgehaltsverteilung (unterschieden in Ebb- und Flutzustand) kann einfach aus der im Westteil höher in die Priele heraufreichenden Flutwelle erklärt werden. Der Tidedurchfluß in den Prielen übertrifft bei weitem den Süß-

wasserzufluß aus dem Orashi und dem noch kleineren Sombreiro. Die unterschiedliche maximale Schwebstoffführung kann nur bei eingehender Untersuchung der hydraulischen und sedimentpetrologischen Verhältnisse im Delta erklärt werden, die jedoch noch aussteht.

IV. Schlußbemerkung

Die Untersuchungen stellen die erste hydrogeographische Aufnahme in Ostnigeria dar. Sie sollen nur als ein Anfang und eine Leitlinie für noch folgende eingehendere Untersuchungen gewertet werden.

Literatur

- AINSLIE, J. R., The Physiography of Southern Nigeria and its Effect on the Forest Flora of the Country. Oxford Forestry Memoirs, No. 5, 1926, 36 S.
- BAUER, L., Zur vergleichenden Hydrogeographie Thüringens. Ber. z. Dt. Landeskd., Bd. 25, 1960, S. 256–271.
- British West African Meteorological Services, a) Annual Summary of Observations Lagos; b) Meteorological Note No. 14, Temperatures and Humidities, 1951–1960, Lagos, o. J.
- HEBESTREIT, H., Hydropedologie und Gewässerkunde. Deutsche Gewässerkundliche Mitteilungen, Sonderheft 1965, S. 33–38.
- HERRMANN, R., Die Wasserversorgung Ostnigerias – Ein Beispiel für die humiden Tropen. Wasser und Boden. H. Nr. 5, 1927, S. 133–138.
- , Zur Berechnung der potentiellen Evapotranspiration in einem wechselfeuchten Tropenklima; das Beispiel Süd-nigeria. Erdkunde, Bd. XXI, H. 1, 1967, S. 62–64.
- JONES, E. W., Ecological Studies on the Rain Forest of Southern Nigeria, IV. The Plateau Forest of the Okomu Forest Reserve. – Part. I. The Environment, the Vegetation Types of the Forest, and the Horizontal Distribution of Species. (With Plates 17–19 and two Figures in the Text.) – Journal of Ecology, Vol. 43, No. 2, July 1955, S. 564–594.
- , Ecological Studies on the Rain Forest of Southern Nigeria, IV. The Plateau Forest of the Okomu Forest Reserve. – Part II. The Reproduction and History of the Forest. (With Plates 2–4 and six Figures in the Text.) – Journal of Ecology, Vol. 44, No. 1, January 1956, S. 83 bis 117.
- KELLER, R., Die gewässerkundliche Forschung in Deutschland. Entwicklung und Aufgaben. Ber. z. Dt. Landeskd., Bd. 25, 1960, S. 243–256.
- , Gewässer und Wasserhaushalt des Festlandes, Leipzig 1962.
- MANSHARD, W., Der Ablauf der Regenzeit in Westafrika dargestellt an Beispielen aus Ghana. In: H. Ublig, W. Manshard u. A. Gerstenhauer: Beiträge zur Geographie tropischer und subtropischer Entwicklungsländer. Indien – Westafrika – Mexiko. Gießener Geographische Schriften, H. 2, 1962, S. 47–81.
- Nedeco (Netherlands Engineering Consultants), River Studies and Recommendation on Improvement of Niger and Benue. Amsterdam, North Holland Publishing Company, 1959, 1000 S.
- , The Waters of the Niger Delta. The Hague, March 1961, 2nd edition, 317 S.
- NIEHOFF, K., Oberflächengestaltung, Niederschlag und Abfluß des Niger und seiner Nachbargebiete. Mitt. a. d. Dt. Schutzgebieten Bd. 30, H. 3, 1917, S. 339–403.
- PFAU, R., Ein Beitrag zur Frage des Wassergehaltes und der Beregnungsbedürftigkeit landwirtschaftlich genutzter Böden im Raume der Europäischen Wirtschaftsgemeinschaft. Meteorologische Rundschau, 19. Jg., H. 2, 1966, S. 33–46.
- RAMSAY, D. McC. and DE LEEUW, P. N., An Analysis of Nigerian Savanna. I. The Survey Area and the Vegetation developed over Bima Sandstone. Journal of Ecology, Vol. 52, No. 2, July 1964, S. 233–254. IV. Ordination of Vegetation developed on different Parent Material. Journal of Ecology, Vol. 53, 1965, S. 661–677.
- RICHARDS, P. W., Ecological Notes on West African Vegetation. I. The Plant Communities of the Idanre Hills, Nigeria. (With Plates 20 and 21 and one Figure in the Text.) Journal of Ecology, Vol. 45, No. 2, July 1957, S. 563–577.
- , Ecological Notes on West African Vegetation. II. Lowland Forest of the Southern Bakundu Forest Reserve. Journal of Ecology, Vol. 51, No. 1, February 1963, S. 123–149.
- , Ecological Notes on West African Vegetation. III. The Upland Forests of Camerrons Mountain. Journal of Ecology, Vol. 51, No. 3, November 1963, S. 529–554.
- RODE, A. A., Das Wasser im Boden. (Übersetzung a. d. Russischen.) Berlin, Akademie Verl. GmbH, 1959.
- Shell-BP, Nigeria 1 : 250 000 Geological Series published by the Director of Geological Survey 1957–1962. Compiled, drawn and reproduced by Shell-BP.
- Tabal (Water Planning Ltd.), Master Plan for Urban and Rural Water Supply Tel-Aviv (prepared for the Government of Eastern Nigeria, Ministry of Works, Enugu), 1962, 256 S.
- THORNTHWAITTE, C. W., and MATHER, J. R., Instructions and Tables for Computing Potential Evapotranspiration and the Water Balance. Publications in Climatology, Vol. X, 1957.
- WILHELM, F., Hydrologie – Glaziologie. Braunschweig, Westermann-Verlag 1966.

Hydrogeographische Karte von Ostnigeria

1:1000 000

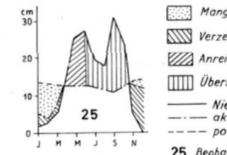


Hydrogeologie

- 1 Sandige bis tonige Ablagerungen in Talauen und im Delta. Sehr guter Grundwasserleiter in Sanden. Austausch von Fluß- und Seewasser. $E = 0,5 - 3 \text{ l/sm}$
- 2 Strandwalle
- 3 Sande
- 4 Sande mit einigen Schiefertonlagen
- 5 Sande und feste Sandsteine mit zahlreichen Tonschieferschichten. Mittlerer bis schlechter Grundwasserleiter. Mittlere bis geringe Durchlässigkeit und Versickerung. Quellen schwacher Schüttung. Begünstigung von unangeglichenem Oberflächenabfluß. $E < 0,4 \text{ l/sm}$ $TWq = 0,1 - 3 \text{ l/skm}^2$
- 6 Gruppen „3“ und „5“ im Wechsel
- 7 Tonschiefer. Sehr schlechter Grundwasserleiter. Sehr geringe Durchlässigkeit und Versickerung. Starke Extreme im Abflußverhalten. $E = 0,08 \text{ l/sm}$ $TWq = 0,05 - 0,5 \text{ l/skm}^2$
- 8 ungliederter magm. und metamorpher Gesteinskomplex
- 9 Quarzite
- 10 Basalte
- 11 feintexturiertes Gestein tiefgründiger Zersatz
- 12 grobtexturiertes Gestein flachgründiger Zersatz

Haushaltsdiagramme

(n. Thornthwaite 57, p.V. Herrmann 67)



Bilanzen

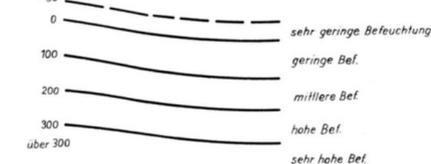
(nach Haushaltsdiagrammen)

$1 \text{ cm}^2 = 200 \text{ cm}^3 \text{ N, aV, U}$

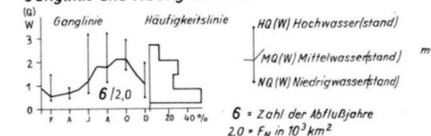


Befuchtung

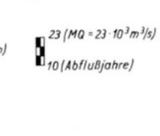
$(B = N - p \cdot V \text{ cm})$



Ganglinie und Häufigkeitslinie



Pegel



Aufteilung des Nigerabflusses



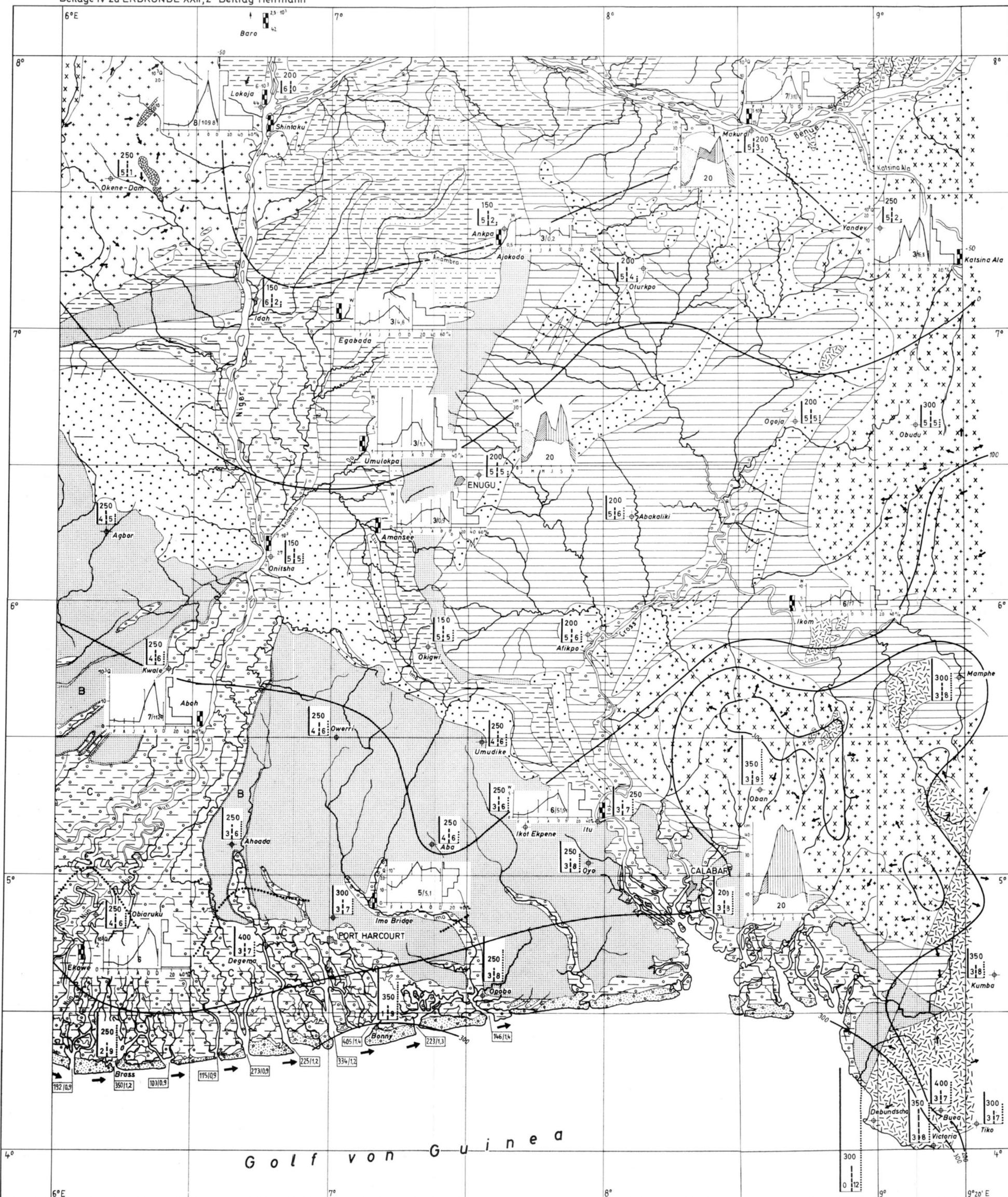
Hydrogeographische Gliederung

Die hydrogeographischen Einheiten sind gekennzeichnet durch eine bestimmte einheitliche Beeinflussung des Wasserhaushalts und des Abflußregimes vor allem durch gleiche hydrometeorische Verhältnisse, gleiches Gestein und Relief. Beispiel: Einheit ostlich Opobo.

Die hohe Befuchtung vereint mit schneller Versickerung und geringer Reliefenergie speist eine hohe $TWq \approx 50 \text{ l/skm}^2$ ($E > 2 \text{ l/sm}$). Der gute Grundwasserleiter mit dem hohen Umsatzraum dämmt das Abflußverhalten. Der Überschuß überwiegt die Verdunstung ($U = 250$, $aV = 115 \text{ cm}$). Bei nur etwa 3 Monaten $N < 10 \text{ cm}$ tritt ein Überschuß in 8 Monaten auf.

- B** Einheit mit sehr geringem Flußabstand der Grundwasseroberfläche, aVetwa in der Größe der pET.
- C** Periodisch (im Tidebereich z.T. täglich) überschwemmt.

$TWq = \text{ Trockenwetterabflußpende}$ $E = \text{ Spezifische Ergiebigkeit der Brunnen}$



Golf von Guinea