

DIE NIEDERSCHLAGSVERHÄLTNISSE IM SÜDWESTEN DER ARABISCHEN HALBINSEL

Ein Beitrag zum Klima des Nordjemen

Mit 7 Abbildungen und 2 Tabellen

GERHARD REMMELE

Summary: Hygroclimatic conditions in the south-west of the Arabian peninsula (Yemen Arab Republic)

So far, investigations on the climate of South-west Arabia could not be pursued for the lack of sufficient data. In this article, the author seeks to characterize the climate, specifically the rainfall conditions of the south-western part of the Arabian Peninsula, on the basis of slightly improved yet still not satisfactory data. Three rainfall profiles - of the Tihama coastal region up to the Yemen Highlands, of the Tihama of Saudi Arabia and North Yemen, and of the highlands of both countries - show similarities and differences concerning the absolute rainfall amounts and the rainfall regimes in dependence upon different climatic factors. The regularities found are interpreted on a genetic-dynamic basis, taking into consideration the respective state of research. This results in congruences with dominating concepts, as well as in discrepancies, which will require further explanations.

1. Einleitung

Seit den Untersuchungen zum Klima Südwestarabiens durch RATHJENS et al. (1956) wurden nur wenige Arbeiten publiziert, die auf die dortigen Klimaverhältnisse ausführlicher eingehen. Dies ist in erster Linie auf die unzureichende Datenlage zurückzuführen. RATHJENS sen. sowie dessen Mitarbeiter¹⁾ stützten ihre Ausführungen sowohl auf eigene als auch auf Messungen und Beobachtungen, die von anderen Forschern erbracht wurden bzw. auf die wenigen Meßstationen in Adan (Aden), Gazīrat Barīm (Insel Perim) und Gazīrat Kamaran (Insel Kamaran). So errichtete CARL RATHJENS sen. im Jahre 1931 eine Meßstation in Šana^(c) (Sana), in der bis zu Beginn des Jahres 1934 eine Reihe von Klimaelementen aufgezeichnet wurde. Vor der Installation dieser Station konnte man praktisch nur auf die meteorologischen Beobachtungen GLASERS zurückgreifen, der das Imamats Jemen 1883 bereiste.

In den Arbeiten FLOHNS (1965a, 1965b) wird versucht, das Klimageschehen im Südwesten der Arabi-

schon Halbinsel genetisch zu erklären und in das Zirkulationsmodell der Atmosphäre einzubinden. FLOHN berücksichtigt bei seinen Überlegungen den gesamten nordostafrikanischen Raum, den Graben des Roten Meeres, die Arabische Halbinsel und Teile des Indischen Ozeans. Obwohl auch für den afrikanischen Ausschnitt nur wenige, voneinander isolierte Meßstationen Daten liefern, ist hier die Ausgangslage für eine dynamische Betrachtung wesentlich günstiger als im jenseits des Roten Meeres gelegenen Südwestarabien, wo keine aerologischen Daten zur Verfügung stehen. Nur langjährige Meßreihen möglichst vieler Klimaelemente, insbesondere der Boden- und Höhenwindverhältnisse, könnten dieses bestehende Defizit für das Verstehen der Witterungsabläufe in Südarabien abbauen.

Für meine Untersuchungen stand mir das Datenmaterial des Sonderforschungsbereiches 19 (SFB 19: „Tübinger Atlas des Vorderen Orients“) der Universität Tübingen zur Verfügung. Einen Teil der Daten konnte ich vor Ort erheben, einen weiteren entnahm ich aus RUDLOFF (1981) und ALEX (1985). Meinen Untersuchungen liegen Niederschlagsdaten von 18 Stationen im Nordjemen (10), im Südjemen (1) und in Saudi-Arabien (7) zugrunde, anhand derer das Klima des Jemen aus hygrischer Sicht charakterisiert werden soll. Weiterhin wird zu prüfen sein, inwieweit die gewonnenen Erkenntnisse sich in das übergeordnete Zirkulationsschema einfügen, wie es von FLOHN schon 1965 dargestellt wurde.

2. Datenauswertung

Für die Darstellungen in Klima- bzw. Niederschlagsdiagrammen standen für die ausgewählten Stationen Meßreihen von 5 bis maximal 21 Jahren (Insel Kamaran) zur Verfügung. Die Mehrzahl liegt bei Zeiträumen von 7-10 Jahren aus den siebziger und dem Anfang der achtziger Jahre. Die Auswahl der Stationen erfolgte zum einen nach einer Mindestzahl an Beobachtungsjahren und zum anderen nach ihrer Lage in Südwestarabien. Um regelhafte Verän-

¹⁾ C. RATHJENS jun., E. SAMLENSKI und G. KERNER.



Abb. 1: Lage der Klimastationen
Locations of weather stations

derungen, bedingt durch die verschiedensten Klimafaktoren, herauszuarbeiten, wurden im Hinblick auf die jahreszeitliche Niederschlagsverteilung und auf die Jahressummen der Niederschläge Profile gelegt (Abb. 4-7). Ein West-Ost-Profil durch die Arabische Republik Jemen (Abb. 4) in ca. 14° n.B. soll in erster Linie den Einfluß von absoluter Höhenlage und Exposition im bruchtektonisch stark zerlegten Schollenmosaik Südwestarabiens dokumentieren. Die drei Stationen al-Ḥudaida (Hodeida), Zabīd und

Wādī Zabīd werden in Klimadiagrammen zusätzlich herausgestellt (Abb. 5). In einem Nord-Süd-Profil durch Hochlandstationen in Asir (Saudi-Arabien) und im Nordjemen sollen die Veränderungen in der jährlichen Niederschlagsverteilung deutlich werden (Abb. 6). Schließlich wird in einem weiteren Profil (Abb. 7) der Niederschlag von Tihama-Stationen in Saudi-Arabien und im Jemen dargestellt, um die klimatischen Besonderheiten an der Küste des Roten Meeres zu verdeutlichen.

Um die Anzahl der humiden und ariden Monate zu bestimmen, wurde neben der schon als klassisch zu bezeichnenden Klimadiagrammdarstellung nach WALTER und LIETH (1960) eine neuere Methode gewählt, bei der die Verdunstung direkt aus vorhandenen Klimadaten physikalisch fundiert berechnet wird. LAUER und FRANKENBERG (1981) haben mit ihrem Konzept der potentiellen Landschaftsverdunstung eine solche Methode erarbeitet. Danach wird über die Äquivalenttemperatur und über das Sättigungsdefizit die potentielle Verdunstung errechnet. Über einen Reduktionsfaktor, der in erster Linie von der Dichte der Vegetationsbedeckung abhängig ist, wird auf die potentielle Landschaftsverdunstung geschlossen. Der Vergleich letzterer mit den Monatsniederschlägen weist die einzelnen Monate als humid bzw. arid aus. Für die Stationen Şanā^(c), Ta'izz, Wādī Zabīd und al-Ḥudaida sind die Ergebnisse in den Tabellen 1 und 2 zusammengestellt.

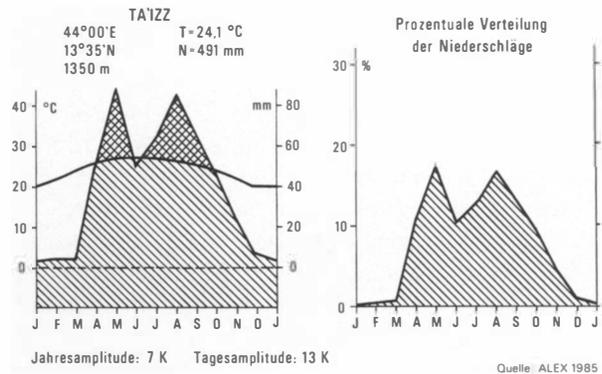


Abb. 3: Klimadiagramm Ta'izz (Jahresgang der Temperatur, Niederschlagsverteilung und prozentuale Verteilung der Niederschläge)

Climatic Diagram of Ta'izz (annual range of temperature, annual distribution)

3. Dateninterpretation

Allgemeine Klimacharakterisierung. Zur allgemeinen Charakterisierung des Klimas im jemenitischen Hochland dienen die Klimadiagramme von Şanā^(c) und Ta'izz (Tais) (Abb. 2 und 3). Nach TROLL und PAFFEN (1964) gehört der Süden Arabiens den wechselfeuchten Tropenklimate bzw. den tropischen Gebirgsklimate an. In thermischer Hinsicht handelt es sich um Tageszeitenklimate mit einem relativ ausgeglichenen Jahrestemperaturgang. Für Şanā^(c), in 2150 m Höhe gelegen, mit einer Jahresmitteltemperatur von 16,7°C, ergibt sich eine mittlere Jahresamplitude von 7 K, während die mittlere Tagesam-

plitude immerhin 21 K erreicht. In Ta'izz (1350 m NN) sinkt aufgrund der tieferen Lage bei gleicher Jahresschwankung, aber deutlich höherer Jahresmitteltemperatur (24,1°C), die mittlere Tagesamplitude auf 13 K ab.

Trotz des großen Unterschiedes in den Jahresniederschlagssummen zeigen die Stationen Şanā^(c) und Ta'izz in der jährlichen Niederschlagsverteilung deutliche Ähnlichkeit. Die Niederschläge fallen in zwei voneinander getrennten Regenzeiten im Frühjahr und im Sommer. Bei beiden Stationen trennt der Monat Juni die Regenzeiten voneinander. Während der Juni in Şanā^(c) fast völlig trocken ist, fallen in Ta'izz immerhin ca. 50 mm Niederschlag, was nahezu der Regenmenge des regenreichsten Monats in Şanā^(c), nämlich dem August, entspricht.

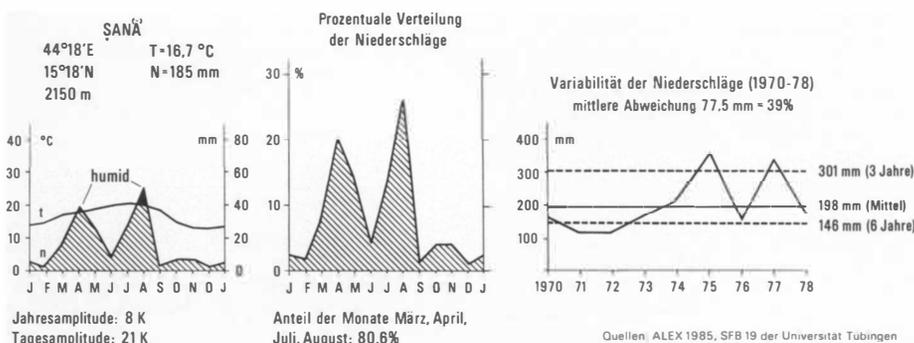


Abb. 2: Klimadiagramm Şanā^(c) (Jahresgang der Temperatur, Niederschlagsverteilung, prozentuale Verteilung der Niederschläge und Niederschlagsvariabilität)

Climatic diagram of Şanā^(c) (annual range of temperature, annual distribution and inter-annual variability of precipitation)

Die Niederschlagsvariabilität für die Jahre 1970–1978 erreicht im Becken von Ṣanāʿ 39%. Nach ALEX (1985) liegen die Niederschlagsvariabilitäten in Taʿizz bei 22%, in al-Ḥudaida bei 49% und im Wādī Zabīd bei 33%. Damit nimmt, wie es in tropisch-wechselfeuchten Regionen die Regel ist, die Niederschlagsvariabilität mit dem Grad der Aridität, bzw. mit steigender Zahl der ariden Monate zu.

Aridität und Humidität. Aus den Klimadiagrammen in den Abb. 2, 3 und 5 können durch die Darstellungsweise nach WALTER und LIETH (1960) die ariden bzw. die humiden Abschnitte im Verlauf des Jahres abgelesen werden. Da im Ariditätsindex ($i = n/2t$) nach WALTER (1955) die Verdunstung nur über das Monatsmittel der Temperatur abgeschätzt wird, erscheint es notwendig, die Anzahl der humiden bzw. der ariden Monate nach der Methode von LAUER und FRANKENBERG (1981) direkt über die potentielle Landschaftsverdunstung (pLV) oder – wie in neueren Arbeiten beider Autoren (LAUER und FRANKENBERG 1985, 1986) – über die optimale Landschaftsverdunstung (oLV) zu ermitteln. Wenn die monatliche Niederschlagsmenge den Wert der optimalen Landschaftsverdunstung übersteigt, ist ein Monat humid, im anderen Falle ist er arid. Für vier Stationen in der Arabischen Republik Jemen konnte die monatliche oLV errechnet werden (Tab. 1), weil die dafür notwendigen Meßdaten – die Monatsmitteltemperatur, die Werte der relativen Luftfeuchte und des Luftdrucks – vorliegen. Aus der potentiellen Verdunstung (pV), die der gemessenen Verdunstung einer freien Wasserfläche entspricht, wurden die Monatswerte der oLV über einen gleiten-

den Reduktionsfaktor (RF) (LAUER und FRANKENBERG 1981) abgeleitet. Für die Stationen al-Ḥudaida und Wādī Zabīd ergibt sich nach allen in Tab. 2 aufgeführten Methoden die gleiche Anzahl humider Monate. Auch Ṣanāʿ mit nur 194 mm Jahresniederschlag zeigt keine nennenswerten Unterschiede. Bemerkenswert ist jedoch das Ergebnis für Taʿizz. Dort sind die Niederschläge über die Regenzeit von April bis Oktober relativ gleichmäßig verteilt. Es sind nach der Indexmethode von WALTER (1955) fünf Monate humid, nach derjenigen von LAUER (1952) sind es vier Monate. Die direkte Berechnung der oLV weist hingegen nur die Monate Mai, August und September als humid aus, was den tatsächlichen hygrischen Verhältnissen des Raumes um Taʿizz am ehesten entspricht. Somit liefert die Methode von LAUER und FRANKENBERG (1981), die u. a. am Beispiel Afrikas Anwendung fand, auch für den Südwesten der Arabischen Halbinsel im Vergleich zu den herkömmlichen Methoden realistischere Abschätzungen der Humidität bzw. der Aridität.

Differenzierung des Niederschlagsanges. In Abb. 4 wurde durch die Arabische Republik Jemen ein West-Ost-Niederschlagsprofil vom Roten Meer bis zur Ostabdachung des jemenitischen Hochlandes gelegt. Al-Ḥudaida als nördlichste Station (14°45') illustriert die besonderen Niederschlagsverhältnisse an Küstenstationen des Roten Meeres. Die übrigen Stationen liegen alle um 14° nördlicher Breite und zeigen bei stark schwankenden Jahresniederschlagssummen eine ähnliche jährliche Niederschlagsverteilung mit einem Maximum im Sommer bzw. zwei

Tab. 1: Jahresgang der potentiellen Verdunstung (pV), der optimalen Landschaftsverdunstung (oLV) und der Niederschläge (N) in 4 jemenitischen Klimastationen

Annual range of potential evaporation, optimal landscape evapotranspiration, and precipitation (4 weather stations in the Yemen Arab Republic)

Station		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Jahr
Ṣanāʿ	2150 m													
	pV (mm)	117	131	146	154	167	185	186	171	161	133	110	111	1915
	T = 16,7°C													
	oLV (mm)	24	26	29	31	34	37	37	34	32	27	22	22	383
	RF = 0,20													
	N (mm)	5	4	14	37	26	7	21	51	3	8	8	2	186
Taʿizz	1350 m													
	pV (mm)	138	158	185	191	224	227	212	198	206	189	169	135	2389
	T = 24,1°C													
	oLV (mm)	41	47	56	57	67	68	64	60	62	57	51	41	717
	RF = 0,30													
	N (mm)	3	4	4	54	87	50	63	85	66	47	23	6	492
Wādī Zabīd	240 m													
	pV (mm)	150	166	205	244	262	273	283	247	200	206	181	156	2786
	T = 29,6°C													
	oLV (mm)	38	42	51	61	66	68	71	62	50	52	45	39	697
	RF = 0,25													
	N (mm)	5	1	4	14	23	4	28	79	128	37	3	2	328
Al-Ḥudaida	20 m													
	pV (mm)	135	145	161	184	208	223	249	234	215	205	176	146	2426
	T = 29,0°C													
	oLV (mm)	38	41	45	52	58	63	70	66	60	57	49	41	680
	RF = 0,28													
	N (mm)	22	16	4	4	11	0	10	16	7	2	5	30	127

Tab. 2: Anzahl der humiden Monate nach verschiedenen Berechnungsmethoden

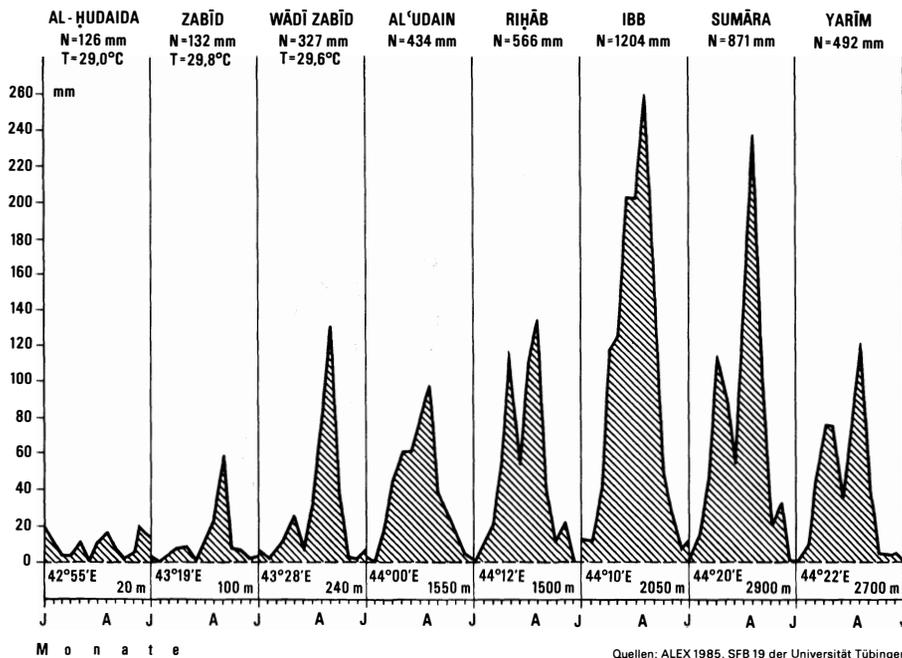
Number of humid months (differential evaluation methods)

Station	Anzahl der humiden Monate nach		
	Ariditätsindex VON WALTER (1955)	Ariditätsindex VON LAUER (1952)	Vergleich von oLV und N (LAUER und FRANKENBERG 1981)
Şanā ⁽¹⁾	2	1	2
Ta ^c izz	5	4	3
Wādī Zabīd	2	2	2
Al-Ḥudaida	0	0	0

Maxima: neben dem Sommermaximum tritt ein sekundäres im Frühjahr auf. Die Stationen mit einer Frühjahrs- und Sommerregenzeit zeigen eine Zäsur im Juni. In diesem Monat gehen, wie bereits erwähnt, auch in Şanā⁽¹⁾ und Ta^cizz die Niederschläge nach einem ersten Maximum zurück. Die eingipfiligen Niederschlagskurven von al-^cUdain und Ibb in Abb. 4 erreichen ihr jeweiliges Niederschlagsmaximum im August, der generell in allen Hochlandstationen des Nordjemen der regenreichste Monat ist.

Hinsichtlich der Jahresniederschlagssumme ist eine Zunahme mit der Höhenlage zu erkennen. Neben der Höhe über dem Meeresspiegel ist jedoch auch die Exposition und die Lage zu benachbarten Höhenzügen, also Luv-, Lee- oder Beckenlage, aus-

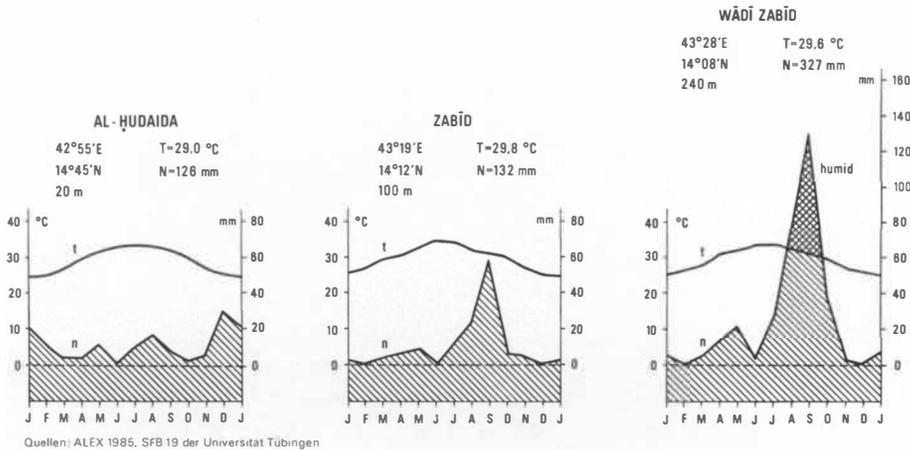
schlaggebend. Al-^cUdain und Riḥāb liegen am Westabfall des jemenitischen Hochlandes in ca. 1500 m Höhe und erhalten wie auch Ta^cizz in südlicherer, jedoch vergleichbarer Lage um 500 mm Jahresniederschlag. Ibb in 2050 m, mit den weitaus höchsten Niederschlägen aller untersuchter Stationen, ist südwestexponiert am Fuße eines auf nahezu 3000 m ansteigenden Bergstockes am Rand einer Hochtahlung gelegen, die nach S, SW und über einen flachen Paßbereich nach W geöffnet ist. Die Paßstation Sumāra liegt auf 2900 m über NN auf der Wasserscheide zwischen West- und Ostabdachung des jemenitischen Hochlandes. Die Niederschläge sind jedoch wieder geringer als in Ibb. In Yarīm (2700 m) schließlich, das schon zur Ostabdachung des Hoch-



Quellen: ALEX 1985, SFB 19 der Universität Tübingen

Abb. 4: Jährliche Niederschlagsverteilung. West-Ost-Profil Arabische Republik Jemen (Meßstationen zwischen 13°58'N und 14°45'N)

Annual distribution of precipitation. West-east profile of the Yemen Arab Republic



Quellen: ALEX 1985, SFB 19 der Universität Tübingen

Abb. 5: Klimadiagramme Al-Ḥudaida, Zabīd und Wādī Zabīd
Climatic diagrams of Al-Ḥudaida, Zabīd and Wādī Zabīd

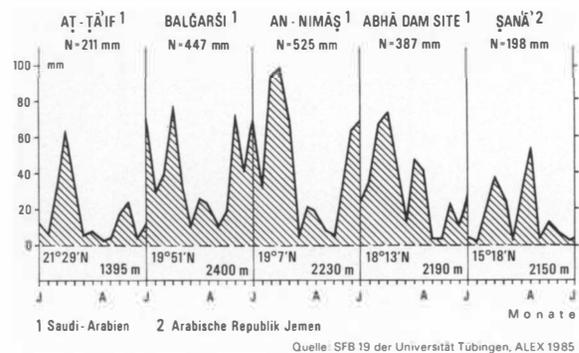
landes gehört und im W von über 3000 m hohen Gebirgsmassiven überragt wird, fallen weniger als 500 mm Jahresniederschlag. Somit liegt der Schluß nahe, daß die Orte im Profil der Abb. 4 (Ausnahme: al-Ḥudaida) in der Hauptsache ihre Niederschläge aus feuchten, advektiv herangeführten Luftmassen einer Luftströmung mit westlicher Komponente erhalten, die - durch die orographischen Verhältnisse bedingt - eine erzwungene Konvektion erfahren. Die Stationen Zabīd, Wādī Zabīd, al-ʿUdain, Riḥāb, Ibb und Sumāra sowie Taʿizz liegen im Luv, Yarīm (und Ṣanāʿ in Beckenlage) im Lee der regenbringenden Luftströmungen. Für Orte im Osten des Landes gibt es keine mehrjährigen Datenreihen. Sicher ist, daß die Niederschläge an der Ostabdachung und in den östlichen Tiefländern sehr schnell unter 100 mm sinken²⁾.

Das Charakteristikum in der jährlichen Niederschlagsverteilung im jemenitischen Hochland ist, wie bereits erwähnt, die sommerliche Regenzeit. Demgegenüber liegen im nördlich benachbarten Hochland von Asir (Saudi Arabien) die Niederschlagsmaxima im Frühjahr oder im Winter. In Abb. 6 wird der nordwärtige Übergang von Sommer zu Frühjahrs- bzw. Winterniederschlägen deutlich. Dieser grundlegende Wandel in der jahreszeitlichen Verteilung der Niederschläge, der auf andere Zirkulationsverhältnisse zurückzuführen ist, scheint sich

²⁾ Am Ostabfall des Hochlandes wurden in Naḡrān (Saudi-Arabien) 76 mm gemessen (ALEX 1985), in Baiḥān al-Qasab (Südjemen) 162 mm und Nuqūb (Südjemen) 41 mm Jahresniederschlag (Electrowatt 1978). Schätzungen für Maʿrib liegen unter 100 mm (BRUNNER 1983).

innerhalb einer verhältnismäßig schmalen Grenzzone zwischen 18° und 19° nördlicher Breite zu vollziehen.

In diesem Zusammenhang muß auf die klimatische Sonderstellung des Rotmeergrabens hingewiesen werden. Die Küstenbereiche des Roten Meeres, auch südlich von 19° nördlicher Breite, sind Winterregengebiete. TROLL (1970) hat dies in einem Niederschlagsprofil auf der afrikanischen Seite quer durch Eritrea dargestellt. Um die Verhältnisse an der arabischen Küste näher zu durchleuchten, wurden in Abb. 7 Niederschlagsdiagramme von Tihamastationen in Saudi-Arabien und im Jemen nebeneinander gestellt. In diese Reihe gehört auch das Klimadiagramm von al-Ḥudaida in Abb. 5. Nebenbei sei angemerkt, daß bei Jahresniederschlägen um oder unter 100 mm, also unter ariden Klimabedingungen



Quelle: SFB 19 der Universität Tübingen, ALEX 1985

Abb. 6: Jährliche Niederschlagsverteilung. Nord-Süd-Profil Hochlandstationen (Saudi-Arabien und Nordjemen)
Annual distribution of precipitation. North-south profile in the highlands of Saudi Arabia and Yemen

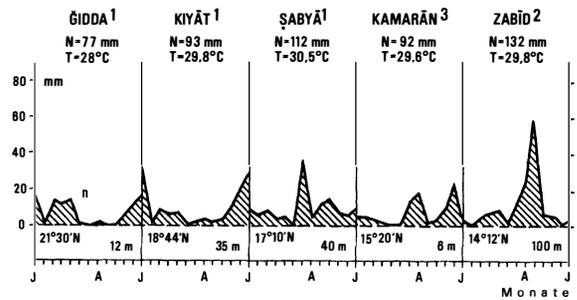
mit hoher annueller und intraannueller Niederschlagsvariabilität, die Aussagekraft von langjährigen Mitteln besonders kritisch zu werten ist. Auf den ersten Blick scheinen die Diagramme keine Regelmäßigkeit hinsichtlich einer Konzentration der wenigen Niederschläge auf die Wintermonate erkennen zu lassen. Unterscheidet man jedoch reine Küstenstationen von solchen, die in gewisser Entfernung vom Meer liegen, zeichnen sich sehr wohl bestimmte Eigenheiten ab.

Die in unmittelbarer Nähe der Rotmeerküste gelegenen Stationen Ġidda (Jeddah, Dschidda), Kīyāt, Ġizan (Jizan)³⁾, Kamaran und al-Ĥudaida sind durch ein Wintermaximum ausgezeichnet (Abb. 7). Demgegenüber haben Sabya und Zabīd, ca. 20–25 km landeinwärts, aber ungefähr noch genauso weit vom Gebirgsrand des Hochlandes entfernt, Niederschlagsmaxima im Sommer, was auch für die Niederschlagsverteilung der Stationen Wādī Zabīd (Abb. 5) und Malakīya (Saudi Arabien)⁴⁾ gilt, die beide zur Gebirgstihama zu rechnen sind. Aus diesen Daten ergibt sich, daß die Winterniederschläge auf unmittelbare Küstenorte beschränkt sind, während weiter landein, in der Gebirgstihama und im Hochland ein sommerliches Maximum herrscht. Die Differenzierung des jährlichen Niederschlagsanges auf engem Raum kann nur auf kleinräumige, lokal begrenzte Windsysteme zurückzuführen sein.

4. Genetisch-dynamische Deutung

Infolge der insgesamt schlechten Datenlage und insbesondere fehlender aerologischer Beobachtungen über Südarabien konnte bis heute nur versucht werden, die hinsichtlich der Zirkulationsverhältnisse in Äthiopien gewonnenen Erkenntnisse auf die benachbarte Arabische Halbinsel zu übertragen (FLOHN 1965a,b).

Zweifelsohne kann davon ausgegangen werden, daß die jahreszeitliche Verteilung der Niederschläge im jemenitischen Hochland in groben Zügen auf die gleichen Zirkulationsmuster zurückgeführt werden kann wie im äthiopischen Hochland, dessen großräumige Zirkulationsstruktur von HURNI (1982) dargestellt wurde. So ist auch in Südwestarabien für die winterliche Trockenzeit der NE-Passat ver-



1 Saudi-Arabien 2 Arabische Republik Jemen 3 Demokratische Volksrepublik Jemen

Quellen: ALEX 1985, RUDLOFF 1981, SFB 19 der Universität Tübingen

Abb. 7: Jährliche Niederschlagsverteilung. Nord-Süd-Profil Tihamastationen (Saudi-Arabien und Jemen)

Annual distribution of precipitation. North-south profile in the Tihama region of Saudi Arabia and Yemen

antwortlich, der durch die Verlagerung der I.T.C.Z. (innertropische Konvergenzzone) im Südsommer weit nach Süden ausgereift.

Ebenfalls als gesichert sollte gelten, daß die sommerliche Regenzeit in der Gebirgstihama und vor allem im jemenitischen Hochland durch den Herantransport feuchter Luftmassen (SW-Monsun) ausgelöst wird. Das Eindringen des SW-Monsuns wird erst durch die Verlagerung der I.T.C.Z. weit nach Norden möglich. Aufgrund eines einheitlichen Niederschlagsmaximums im Sommer muß davon ausgegangen werden, daß die I.T.C.Z. auf die Arabische Halbinsel übergreift und nicht im Rotmeergebiet von Äthiopien kommend nach Süden abbiegt, worauf bereits FLOHN (1965) hingewiesen hat.

Noch nicht eindeutig geklärt ist jedoch die Genese der Frühjahrsniederschläge. Nur andeutungsweise treten sie im Jemen in den Tieflandstationen Zabīd und Wādī Zabīd auf, während sie in gleicher Breitenlage im jemenitischen Hochland deutlicher ausgeprägt sind. Weiter im Norden, im Hochland von Asir (Saudi-Arabien), wird das Frühjahr die Jahreszeit mit den höchsten Niederschlägen, da der Einfluß des SW-Monsuns nach Norden hin immer mehr abnimmt. Frühjahrsniederschläge werden im Hochland von Äthiopien durch S- bis E-Winde aus dem Indischen Ozean erklärt (STÄHLI 1979, zitiert in HURNI 1982, S. 47). Schon FLOHN (1965a, S. 184) führt die Niederschläge im Frühjahr („mediterrane Frühjahrsregen“) nicht nur in Nordostäthiopien, sondern auch in Asir und im Jemen auf die Dynamik wandernder, bis in Äquatornähe ausgreifender Höhenträge der Westdrift in Kombination mit dem Sudan-Tief und einem gelegentlichen Zusammenwirken mit bodennahen Störungen tropischen

³⁾ Im Profil der Abb. 7 nicht mitaufgenommen; vgl. AL-SAYARI and ZÖTL 1978, S. 32.

⁴⁾ Im Profil der Abb. 7 nicht mitaufgenommen; vgl. ALEX 1985, S. 393.

Ursprungs aus dem Indik zurück. Er vertritt die Meinung, daß die Frühjahrsniederschläge sowohl in der Sahara und im Inneren der Arabischen Halbinsel als auch in Südarabien, Ostäthiopien und auf der Somali-Halbinsel ihre Ursachen in einer ähnlichen Dynamik haben, weist jedoch ausdrücklich auf eine noch fehlende sorgfältige synoptische Analyse zur Klärung der Sachverhalte hin. Auch die Datenauswertungen durch HASTENRATH et al. (1979) belegen im Frühjahr Höhenwestwinde über Arabien, während die Bodenwinde im südlichen Teil der Halbinsel vorherrschend aus E bis SE wehen.

Ebenfalls Probleme bereitet die Erklärung der Niederschlagsgenese im Graben des Roten Meeres. Vorausgeschickt sei, daß FLOHN (1965a) die herrschenden Verhältnisse am Ostabfall des äthiopischen Hochlandes, die von TROLL (1970) bestätigt wurden und aufgrund vieler Untersuchungen als gesichert gelten können, auf die Ostseite des Grabens übertrug. Er formulierte diesen Sachverhalt in einer Frage: „Existiert auf der Ostseite – in den Landschaften Asir und Jemen – ein Spiegelbild der zeitlich-räumlichen Verteilung der Regen?“ – und bejahte dies. Eine positive Antwort trifft jedoch nur für die zentralen Hochlandregionen zu. Von HURNI (1982, S. 46) wird für Äthiopien eine Zone der Winterregengebiete entlang des Rotmeergrabens ausgewiesen. Die Plateaus von Eritrea erhalten hingegen Sommerniederschläge, während die höheren Lagen der Ostabdachung sowohl Sommer- als auch Winterregen aufweisen. Im Gegensatz zur äthiopischen Seite kann auf der arabischen Seite des Grabens von Winterregen allenfalls bei reinen Küstenstationen die Rede sein. Die Westabdachung des jemenitischen Hochlandes ist insofern kein hygrisches Spiegelbild der Ostabdachung des äthiopischen Hochlandes, als in nur geringer Entfernung von der Küste des Roten Meeres im Jemen nur Sommerniederschläge auftreten.

Damit wird die bisherige genetische Deutung der Niederschlagsverteilung aus den großräumigen Zirkulationsmustern zumindest für die Westabdachung und die Küstenebene Südwestarabiens fraglich. Allerdings sind sich alle Autoren seit den grundlegenden Arbeiten FLOHNS und TROLLS darin einig, daß die kanalisierende Wirkung des Rotmeergrabens auf Windsysteme und tagesperiodische Zirkulationen zwischen dem Roten Meer und benachbarten Festländern eine ausschlaggebende Rolle für die klimatischen Verhältnisse spielt. So weist STRAUB (1986) in einer Regionalstudie in der Gebirgstihama ausdrücklich auf die Ausbildung lokaler tagesperiodischer Windsysteme hin. Inwieweit diese Wind-

systeme und die damit verbundenen Wolkenbildungen niederschlagswirksam (abgesehen vom Nebelniederschlag) werden, ist nur wenig bekannt.

Die mehr kleinräumigen lokalen und periodischen Windsysteme sind in großräumige übergeordnete, durch die Zirkulation der Atmosphäre gesteuerte Strömungsmuster quasi eingebettet. So kann m.E. nur eine kombinierte Betrachtungsweise klein- und großräumiger Windsysteme und deren gegenseitige Beeinflussung zu einer genetischen Erklärung der Witterungseinflüsse führen. Dies sei hier in einem Vergleich beider Flanken des Roten Meeres versucht.

Tagesperiodisch sich ausbildende Seewinde werden am Gebirgsrand zum Aufstieg gezwungen (auch konvektionsbedingt). Im Winter gelangen diese Luftmassen ab einer gewissen Höhe in den Einflußbereich des NE-Passats. Auf der arabischen Seite werden die aufgestiegenen Luftmassen in die Passatströmung aufgenommen und vom Gebirgsrand wegtransportiert. Diese Situation (Winter und Tag) hat STRAUB (1986, S. 33) in einem schematisierten Profil dargestellt. Rücktransport, absteigende Komponente des NE-Passats (Divergenz, Lee-Effekt) und die Trockenheit des Passats legen eine nur geringe Regenwirksamkeit des Systems nahe. Auf der äthiopischen Seite hingegen werden tagsüber vor allem aber die nachmittags am Gebirgsrand aufsteigenden Luftmassen vom NE-Passat erfaßt und über das Gebirge transportiert. Die Seewinde führen dem Passat Feuchtigkeit zu, und ein weiterer Aufstieg der Luftmassen (orographisches Hindernis, Luveffekt) führt eher zu Regenfällen als auf der jemenitischen Seite.

Unter dem Einfluß des SW-Monsuns ist im Sommer die Situation gerade umgekehrt. Obwohl der SW-Monsun auf seinem Weg über Äthiopien Feuchtigkeit verloren hat, kann er am Tage auf der jemenitischen Seite die feuchten, zum Aufstieg gezwungenen Luftmassen aufnehmen, sich mit Feuchtigkeit anreichern und beim Aufstieg im Luv als Niederschläge abgeben. Demgegenüber werden in Äthiopien die tagesperiodisch aufsteigenden Luftmassen durch die westliche Luftströmung in der Höhe vom Bergland wegtransportiert und sind damit in dieser Jahreszeit am Ostabfall des äthiopischen Hochlandes weniger regenwirksam.

Die vorgestellte kombinierte Betrachtung groß- und kleinräumiger Windsysteme sowie das Zusammenwirken in ihrer jahreszeitlichen Differenzierung erklärt die unterschiedliche jährliche Niederschlagsverteilung zu beiden Seiten des Roten Meeres. Sie bedarf allerdings einer Untermauerung durch wei-

tere, sich auf eine größere Zahl von Meßdaten stützende Untersuchungen.

5. Zusammenfassung der Ergebnisse

1. Im jemenitischen Hochland gibt es in der Regel eine kleine Regenzeit im Frühjahr und eine große im Sommer.

2. Die sommerliche Regenzeit wird durch den SW-Monsun ausgelöst, der, bedingt durch die Orographie (Höhenlage über NN, Luv-, Lee- oder Beckenlage), unterschiedliche Regenmengen liefert. Die absoluten Niederschlagssummen nehmen bei Westexposition im allgemeinen mit der Höhe über dem Meeresspiegel zu und jenseits des Hauptgebirgskammes in Leelage wieder ab.

3. Das sekundäre Maximum im Frühjahr ist mehr oder weniger stark, in Tieflandstationen z.T. nur ansatzweise ausgeprägt. Genetisch ist es, auch in

Asir (Saudi-Arabien), auf außertropische Einflüsse im Zusammenwirken mit tropischen Diskontinuitäten zurückzuführen (FLOHN 1965 a).

4. In der Tihama sind nur Stationen unmittelbar an der Küste als Gebiete winterlichen Regenfalls anzusprechen, sofern es überhaupt sinnvoll ist, bei derartig geringen Niederschlagsmengen eine Charakterisierung vorzunehmen.

5. In einem durch bruchtektonische Vorgänge in seiner Reliefgestaltung derart stark gekammerten Ausschnitt der Erdoberfläche spielen neben großräumigen Zirkulationsstrukturen in starkem Maße auch kleinräumige Zirkulationsvorgänge eine Rolle. Neben dem kanalisierenden Einfluß des Rotmeergrabens auf bodennahe Windsysteme sind es lokale bzw. regionale tagesperiodische, eventuell sogar jahreszeitlich bedingte Windsysteme (Land-Seewindsysteme, Berg-Talwindsysteme), die das Lokalklima entscheidend mitprägen und so zu einer starken Differenzierung führen.

Literatur

- Air Ministry, Meteorological Office (ed.):* Weather in the Indian Ocean. Vol. II, Part 1: Red Sea. London 1951.
- ALEX, M.: Klimadaten ausgewählter Stationen des Vorderen Orients. Beihefte zum Tübinger Atlas des Vorderen Orients, Reihe A, Nr. 14. Wiesbaden 1985.
- AL-SAYARI, S. S. and J. G. ZÖTL (eds.): Quaternary Period in Saudi Arabia. Part 1. Wien 1978.
- AL-SHALASH, A. H.: Rainfall Maps of the Kingdom of Saudi Arabia. Publication of the University of Riyad. Riyad 1973.
- BLUME, H. (Hrsg.): Saudi-Arabien. Natur, Geschichte, Mensch und Wirtschaft. Tübingen und Basel 1976.
- BRUNNER, U.: Die Erforschung der antiken Oase von Marib mit Hilfe geomorphologischer Untersuchungsmethoden. Archäologische Berichte aus dem Yemen, Band II. Mainz 1983.
- BUTZER, K. W.: Quaternary Stratigraphy and Climate in the Near East. Bonner Geogr. Abh. 24, 1958.
- Electrowatt:* Marib Dam and Irrigation Project. Main Report and 12 Annexes. Zürich 1978.
- FLOHN, H.: Zur Didaktik der allgemeinen Zirkulation der Atmosphäre. In: Geogr. Rundschau 12, 1960, S. 129-142 und S. 189-195.
- : Investigations on the Tropical Easterly Jet. Bonner Meteorologische Abh. 4, 1964.
- : Klimaprobleme am Roten Meer. In: Erdkunde 19, 1965(a), S. 179-191.
- : Contributions to a Synoptic Climatology of the Red Sea Trench and Adjacent Areas. In: Bonner Meteorologische Abh. 5, 1965(b), S. 2-35.
- : Equatorial Westerlies over Africa, their Extension and Significance. In: Bonner Meteorologische Abh. 5, 1965(c), S. 36-48.
- : Innertropical Convergence Zone and Meteorological Equator. In: Bonner Meteorologische Abh. 5, 1965(d), S. 49-57.
- : Studies on the Watervapor Transport over Northern Africa. Bonner Meteorologische Abh. 6, 1965(e).
- : Tropische Zirkulationsformen im Lichte der Satellitenaufnahmen. Forschungsberichte des Landes Nordrhein-Westfalen, Nr. 2448. Opladen 1975.
- GRIFFITHS, J. F.: Climates of Africa. World Survey of Climatology, Vol. 10. Amsterdam, New York 1972.
- GRIFFITHS, J. F. and C. F. HEMMING: A Rainfall Map of Eastern Africa and Southern Arabia. East African Meteorological Department, Memoirs, Vol. III, No. 10. Nairobi 1963.
- HASTENRATH, S. et al.: A Contribution to the Dynamic Climatology of Arabia. In: Archiv für Meteorologie, Geophysik und Bioklimatologie, Serie B, 27, 1979, S. 105-120.
- HÖVERMANN, J.: Über Witterung und Klima in Abessinien. In: Braunsch. Wiss. Ges. 13, 1961, S. 109-127.
- HURNI, H.: Klima und Dynamik der Höhenstufung von der letzten Kaltzeit bis zur Gegenwart. Hochgebirge

- von Semien - Äthiopien, Vol. II. Beiheft 7 zum Jahrbuch der Geographischen Gesellschaft von Bern, 1982.
- KOPP, H.: Agrargeographie der Arabischen Republik Jemen. Erlanger Geographische Arbeiten, Sonderband 11, 1981.
- LAUER, W.: Humide und aride Jahreszeiten in Afrika und Südamerika und ihre Beziehung zu den Vegetationsgürteln. In: Bonner Geogr. Abh. 9, 1952, S. 15-98.
- : Vom Wesen der Tropen. Klimaökologische Studien zum Inhalt und zur Abgrenzung eines irdischen Landschaftsgürtels. Akademie der Wissenschaften und der Literatur, Abh. d. math.-naturw. Klasse, Jg. 1975, Nr. 3. Mainz 1975.
- LAUER, W. und P. FRANKENBERG: Untersuchungen zur Humidität und Aridität von Afrika. Das Konzept einer potentiellen Landschaftsverdunstung. Bonner Geogr. Abh. 66, 1981.
- : Versuch einer geoökologischen Klassifikation der Klimate. In: Geogr. Rundschau 37, 1985, S. 359-365.
- : Eine Karte der hygrothermischen Klimatypen von Europa. In: Erdkunde 40, 1986, S. 85-94.
- RADO, A. R. and J. G. ZÖTL (eds.): Quaternary Period in Saudi Arabia. Vol. 2. Wien, New York 1984.
- RATHJENS, C. und H. v. WISSMANN: Rathjens-v. Wissmannsche Südarabien-Reise. Band 3: Landeskundliche Ergebnisse. Hamburgische Universität, Abh. aus dem Gebiet der Auslandskunde, Band 40. Hamburg 1934.
- : Zum Klima von Mittel- und Südarabien. In: Annalen der Hydrogr. und Marit. Met. 63, 1935, S. 364-369.
- RATHJENS, C. et al.: Beiträge zur Klimakunde Südwest-Arabiens: Das Klima von Sana. Das Klima von Jemen. Deutscher Wetterdienst, Seewetteramt, Einzelveröffentlichungen Nr. 11. Hamburg 1956.
- RUDLOFF, W.: World Climates with Tables of Climatic Data and Practical Suggestions. Stuttgart 1981.
- STRAUB, R.: Böden als Nutzungspotential im System der semiariden Tropen. Untersuchungen zur Bewertung von Bodeneigenschaften und Bodenwasserhaushalt am Beispiel des Beckens von At Tur (Nordjemen). Jemen-Studien, Band 4. Wiesbaden 1986.
- TROLL, C.: Lokalwinde der Tropengebirge und ihr Einfluß auf Niederschlag und Vegetation. In: Bonner Geogr. Abh. 9, 1952, S. 124-182.
- : Die naturräumliche Gliederung Nord-Äthiopiens. In: Erdkunde 24, 1970, S. 249-268.
- : Das „Backbone of Africa“ und die afrikanische Hauptklimascheide. In: Bonner Meteorologische Abh. 17, 1974, S. 209-222.
- TROLL, C. und K. PAFFEN: Karte der Jahreszeitenklimate der Erde. In: Erdkunde 18, 1964, S. 5-28.
- TUCKER, M. R. and D. E. PEDGELEY: Summer Winds Around the Southern Red Sea. In: Archiv für Meteorologie, Geophysik und Bioklimatologie, Serie B, 25, 1977, S. 221-231.
- WALTER, H.: Die Klima-Diagramme als Mittel zur Beurteilung der Klimaverhältnisse für ökologische, vegetationskundliche und landwirtschaftliche Zwecke. In: Ber. Dt. Botan. Ges. 68, 1955, S. 321-344.
- WALTER, H. und H. LIETH: Klimadiagramm-Weltatlas. Jena 1960-1967.
- WINSTANLEY, D.: Recent Rainfall Trends in Africa, the Middle East and India. Nature 243, 1973.
- WISSMANN, H. v.: Pflanzenklimatische Grenze der warmen Tropen. In: Erdkunde 2, 1948, S. 81-92.

BEGLEITWORTE ZUR KARTE „CORDILLERA REAL NORD (ILLAMPU) 1:50 000“ - EIN BEITRAG ZUR KARTOGRAPHISCHEN DARSTELLUNG SOWIE GLAZIOLOGIE UND GLETSCHERGESCHICHTE DER BOLIVIANISCHEN ANDEN

Mit 2 Abbildungen und 1 Beilage (IV)

RÜDIGER FINSTERWALDER und EKKEHARD JORDAN

Summary: Explanatory notes to the map „Cordillera Real North (Illampu) 1:50,000“ - A contribution to the cartographic representation and to the glaciology and glacier history of the Bolivian Andes

The present revision of TROLL's and FINSTERWALDER's first mapping from 1928/35 of the Illampu massif of the Cordillera Real/Bolivia is based on preparations lasting several years, and it attempts: 1. To document the glacio-

logical changes which occurred during the last 50 years in the tropics. 2. To complete the invisible areas caused through terrestrial photogrammetry of the original map by using newly-developed aero-photogrammetric methods. 3. To serve official Bolivian cartography as a standard and model for an expressive high mountain relief representation which they aspire to in their basic maps by using representation techniques which are adequate in scale.