

Zeitschrift:	Beiheft zum Jahrbuch der Geographischen Gesellschaft von Bern
Herausgeber:	Geographische Gesellschaft Bern
Band:	7 (1982)
Artikel:	Hochgebirge von Semien, Äthiopien : Klima und Dynamik der Höhenstufung von der letzten Kaltzeit bis zur Gegenwart = Simen Mountains, Ethiopia : climate and the dynamics of altitudinal belts from the last cold period to present day
Autor:	Hurni, Hans / Stähli, Peter
Kapitel:	2: Beiträge zum Klima = Contributions to the climate
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-960241

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 30.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Teil II

Beiträge zum Klima

Gemeinsam mit Peter Stähli

Part II

Contributions to the Climate

In Co-authorship with Peter Stähli

3 Übersicht über das Klima Äthiopiens

Outline of the Climate of Ethiopia

Summary

Circulation: The circulation of Ethiopia is best manifested by the rainy seasons, which are mainly induced by the movements of the intertropical convergence zone I.T.C.Z. (Figure 5). The Southern position of the zone in January brings most of the country under NE trade winds, causing the extensive dry season for all areas except the Red Sea coast in Eritrea. Here a local convergence zone, in combination with daily circulation patterns, creates the typical winter (Dec–Jan) rains in this region. Northward movement of the I.T.C.Z. over Ethiopia in spring (Mar–Jun) causes the onset of the rainy season («Kremt»); first in the Southwest of the country in February/March. At the same time, in April, through a high pressure system moving Southwards on the Arabic peninsula, SW winds from the Indian ocean are responsible for a small rainy season («Belg») in the SE and E of the Ethiopian highlands, sometimes even effective as far as the Simen mountains. The variability of those small rains increases towards the North and West, thus being responsible for the occurrence of droughts, especially in the Western Wello region. In July, through the position of the I.T.C.Z. North of Ethiopia, most of the country lays under the influence of the SW monsoon, with the highest rainfall rates of the year. It is noteworthy that the East of the highland, Tigray and Wello regions, receive summer (Jul–Aug) rains only after the monsoon has surrounded the Western regions Gojjam and Gonder, including the Simen mountains, and has been diverted by NE trade winds. Trade winds are predominant at altitudes above 3200 m, occur in Addis Abeba all year and again in Asmera all year except in winter (Dec–Mar, see Figure 6). The wet monsoonal intrusions from SW are in fact typical for altitudes below 3200 m (see Figure 7), but water vapour ascending into the trade winds as high as 6000 m asl. (in Figure 6), explains the fact that the trade winds may become rainbearing as well in higher altitudes and in the Eastern part of the highland (see also Chapter 4).

Precipitation: Through its highland position, Ethiopia has relatively high amounts of annual rainfall as compared to its neighbours (4°–18° North). Rainfall amounts decrease from the highland radially in all directions. According to rainfall distribution, but not to amounts, Figure 8 divides Ethiopia into four main regions. In the West, there occurs one continuous big rainy season (I), long in the Southwest, shorter in the Northwest. The rest of the country has two rainy seasons (except the Red Sea coast). The area can be divided into small spring (Feb–Apr) rains in the Northeast (III) and bigger spring rains in the Southeast (II). In general rainfall tends to increase with altitude, but there are altitudinal belts with maximum rainfall amounts (i.e. at 2000 m asl.), decreasing upwards. High spatial variations

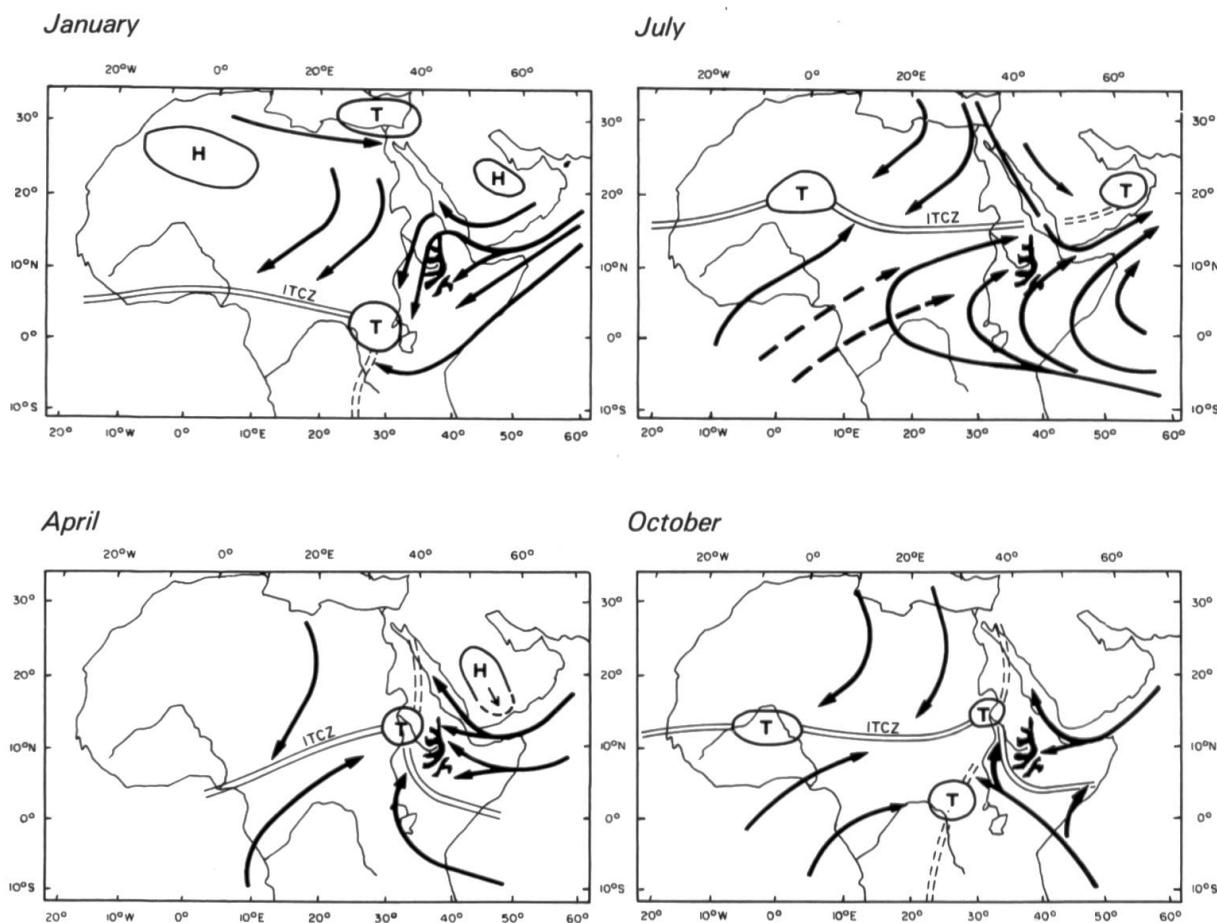
may occur, especially in the annual rainfall deviation and in the period of rainfall concentration, being of great concern to the peasants. Another most important factor of rainfall, with respect to soil erosion, is its erosivity. In Ethiopia, where agriculture with cultivation of grains and pulses is the livelihood for the greatest part of the population, estimation of the rainfall erosivity is essential for the design of soil conservation measures. Evaluated for Simen and for very few other places, a new research project of the University of Bern, in association with the UN University Tokyo and Ethiopian Agencies, is currently concentrating on the evaluation of this important factor.

3.1 Zur Zirkulationsstruktur

3.1.1 Horizontale Gliederung

Nach J. F. GRIFFITHS (1972: 370) ist der Klimaverlauf in Äthiopien geprägt und abhängig von der jahreszeitlichen Verschiebung der innertropischen Konvergenzzone (I.T.C.Z.). Ihre südliche Lage im Januar bringt Äthiopien unter den NE-Passat, der für den grössten Teil des Landes die grosse Trockenzeit verursacht. H. FLOHN (1965a) und C. TROLL (1974) weisen in ihren Untersuchungen über die Druck- und Windverhältnisse im Rotmeer-Graben darauf hin, dass hier im Januar eine regelmässig auftretende lokale Konvergenzzone und tagesperiodische Zirkulation entlang der Küste und der Hangzone zu den für diese Region typischen Winterregen führen (vgl. Kapitel 3.2.1 und Figur 8, S. 47).

Die Verschiebung der I.T.C.Z., im Juli auf Breiten knapp nördlich Äthiopiens, lässt den feuchten SW-Monsun eindringen, der die grosse Sommer-Regenzeit («Kremt») bewirkt (s. Figur 5). Während die andern Autoren den Verlauf der Tief-



Figur 5 Druckverteilung und horizontale Zirkulation rund um das Hochland von Äthiopien; zusammengestellt nach J.F. GRIFFITHS (1972: 10/11, 77–79, 370), H. FLOHN (1965a: 20, 24; 1965b: 37–42; 1965d: Annex B) und C. TROLL (1974: 218).

Air pressure and air flow patterns around the Ethiopian highland, compiled from J.F. GRIFFITHS (1972: 10/11, 77–79, 370), H. FLOHN (1965a: 20, 24; 1965b: 37–42; 1965d: Annex B), and C. TROLL (1974: 218).

druckrinne zwischen dem ausgeprägten Sahara- und Arabientief entlang des Rotmeergrabens bis in den Golf von Aden weit nach Süden ausbuchen lassen, macht H. FLOHN (1965a: 20) den Vorschlag, diese Tiefdruckrinne auf ca. 20° nördlicher Breite direkt quer über das Rote Meer in die Arabische Halbinsel hineinzuziehen. Er weist jedoch darauf hin, dass die antizyklonal um das Hochland von Äthiopien gelenkten SW-Monsune durch die nördlichen Winde zu NW-Winden umgelenkt werden und die Tiefdruckrinne durchbrechen können.

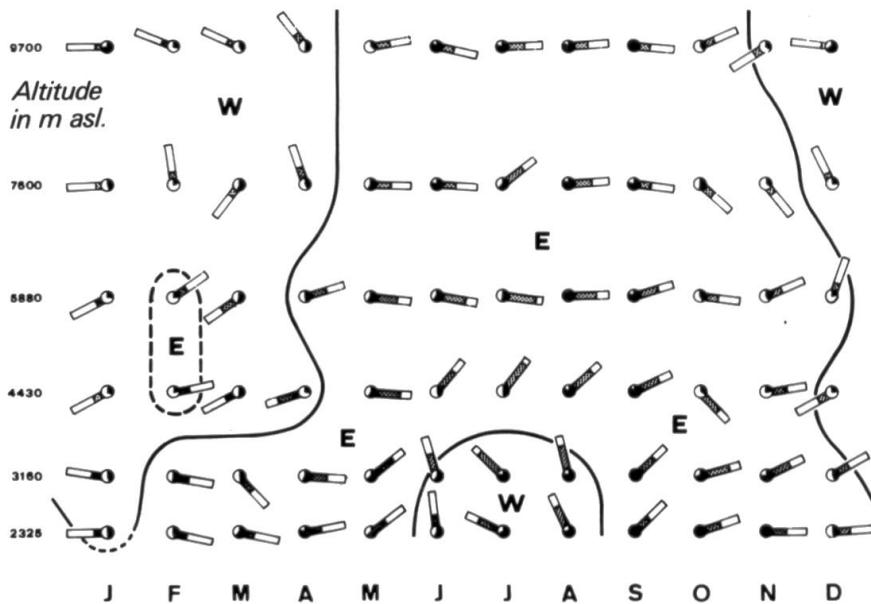
Die Druck- und Windverhältnisse im Frühling (April) und Herbst (Oktober) bilden Übergangsphasen, die durch die Nord–Süd-Verschiebung der I.T.C.Z. bedingt sind. Äthiopien liegt während dieser Übergangsmonate unter relativ tiefem Druck mit zum Teil instabilen Windverhältnissen. Das im Frühjahr sich von Arabien in Richtung Indischen Ozean verschiebende Hoch verursacht auf seiner Westflanke feuchte S- und SE-Winde, die für weite Gebiete im Südost- und Ostteil Äthiopiens in den Monaten März/April eine kleine Regenzeit bringen. Es ist wahrscheinlich, dass Ausläufer solcher Feuchteinbrüche bis ins Semien-Hochland vordringen und dort gelegentliche Regen- und Schneeschauer in Gipfelbereichen verursachen (s. 4.4, S. 74). Im Herbst bewirkt die nach J. F. GRIFFITHS (1972: 370) rasche Nord–Süd-Verschiebung der I.T.C.Z. über Äthiopien hinweg den Abbruch der grossen Regenzeit. Der feuchte SW-Monsun wird dabei durch trockene N- bis E-Winde (NE-Passat) abgelöst.

3.1.2 *Vertikale Gliederung*

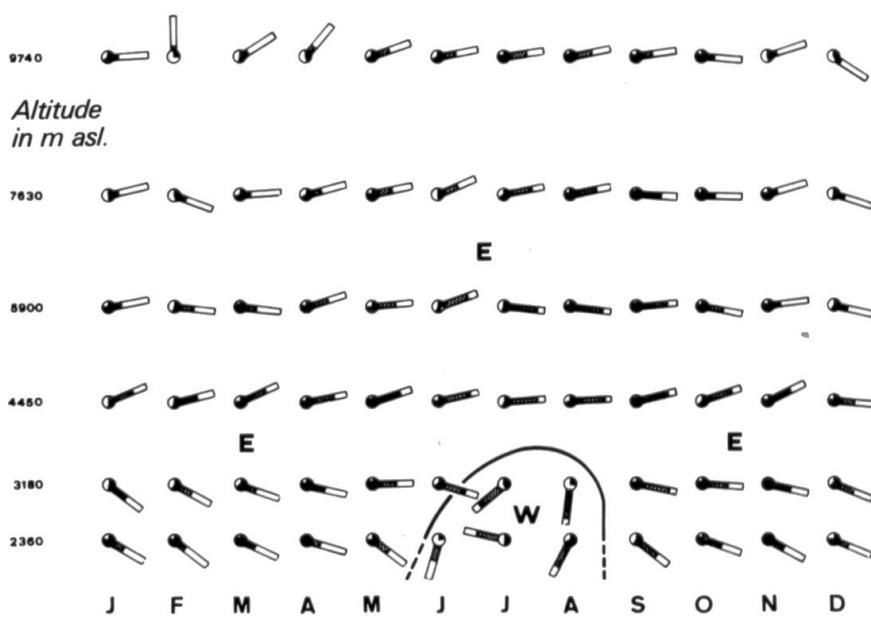
Die sommerliche Nord-Lage der I.T.C.Z. widerspiegelt sich deutlich in den Wind-Höhenprofilen von Addis Abeba und Asmara (Figur 6). Für beide Stationen werden die mit einer E-Komponente versehenen Winde (NE-Passat) im Sommer bis in Höhen über 3200 m durch Winde mit W-Komponente (SW-Monsun) durchbrochen. In allen übrigen Jahreszeiten und Höhen dominieren für Addis Abeba (9° 02' N) E-Winde. Im nördlicher liegenden Asmara (15° 17' N) wird der hier ebenfalls dominierende NE-Passat vor allem in höheren Niveaus in den Monaten Januar bis April durch Winde mit W-Komponente abgelöst. Diese stammen jedoch nicht aus äquatorialen Breiten, sondern entstehen nach H. FLOHN (1965b: 42) aus einer Höhen-Hochdruckzone, die sich auf zirka 13° N quer durch Afrika zieht. Dies hängt wiederum mit der zu dieser Jahreszeit südlichen Lage der I.T.C.Z. und der damit verbundenen Verschiebung des ganzen Passatwindgürtels zusammen.

Wie aus den Wind-Höhenprofilen hervorgeht, verläuft im Juli und August die Trennfläche zwischen dem bodennahen SW-Monsun und den ihn überlagernden NE-Passat (vgl. dazu H. FLOHN 1965c) für die Breiten zwischen Addis Abeba und Asmara auf Höhen zwischen 3160 und 4400 m. Wie das Winddiagramm von Gich Camp zeigt (vgl. Figur 7, S. 44), liegt diese Station auf 13° 06' N und 3600 m Höhe bereits oberhalb der Trennfläche im NE-Passat-Bereich. Mit den Daten von Asmara und Addis Abeba kann nicht untersucht werden, ob und wie stark sich die Trennfläche von Nord nach Süd anhebt, fehlen doch zwischen 3160 und 4400 m weitere entscheidende Höhenmessungen. Mit dem Windrichtungsdiagramm von Gich Camp und dem Höhenprofil von Asmara kann immerhin für Breiten von 13° bis

Asmera, 2325 m asl., 15° 17' N, 38° 55' E



Addis Abeba, 2360 m asl., 09° 02' N, 38° 44' E



Legend:

- ↗ Mean wind direction (here ENE)
- Relative occurrence of this direction (here 75%)
- ▬ Relative air humidity (here 70%)

Figur 6 Windrichtungs-Höhenprofile 1973 für Asmera und Addis Abeba, zusammengestellt nach den Daten der *Monthly Weather Reports* von 1973 der Civil Aviation Administration, Addis Abeba. Messungen um 14 Uhr Lokalzeit.

Vertical profiles of wind direction 1973 for Asmera and Addis Abeba, measured at 2 pm local time. Compiled from data of the «Monthly Weather Report» 1973, Civil Aviation Administration, Addis Abeba.

15° N in Äthiopien die Höhe der Trennfläche zwischen 3160 und 3600 m eingestuft werden. Dabei gilt es aber zu berücksichtigen, dass die Hochplateaus Äthiopiens (hier im speziellen Fall Semiens) mit Höhen über 3000 m und zum Teil über 4000 m zweifellos das grossräumige Windsystem beeinflussen (vgl. dazu C. TROLL 1952 und 1959; W. LAUER 1975 sowie Kapitel 3.2.2, S. 46).

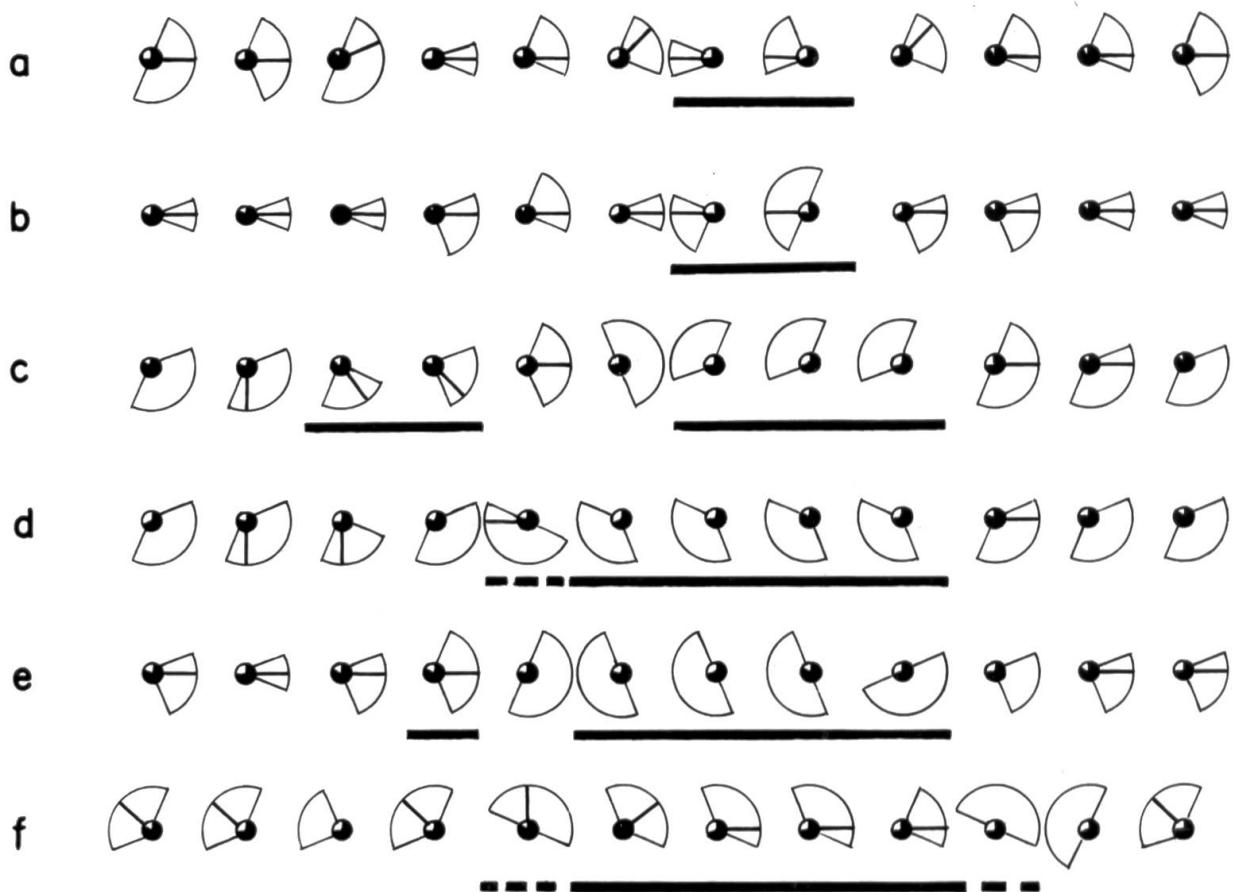
Aus den erwähnten Windrichtungsdiagrammen geht eindeutig hervor, dass die Hochplateaus Semiens (sicher für Höhen über 3600 m) nie direkt unter SW-Monsun liegen, sondern über die Trennfläche in den Bereich des NE-Passates hinaufragen. Diese Tatsache ergibt im Vergleich von Beginn und Dauer der Regenzeit zwischen Asmara und Gich Camp auf den ersten Blick einen Widerspruch: Während in Asmara, das im Höhenbereich des SW-Monsuns liegt, die Regenzeit nur zwei Monate (Juli, August) dauert, beginnt diese in Gich Camp – mit NE-Passat! – bereits im Mai/Juni und hält bis September/Oktober an. Im folgenden soll speziell auf diesen scheinbaren Widerspruch eingegangen werden.

3.1.3 *Windrichtung und Regenzeit*

In seinen Untersuchungen über Wasserdampfgehalt und -transport für die sommerliche Regenzeit Nordostafrikas kommt H. FLOHN (1965d: 4) zum Schluss, dass sich der Wasserdampfgehalt auf die Luftschicht unterhalb 700 mb konzentriert (d.h. unterhalb 3160 m). Wie aus den relativen Feuchten in den Windrichtungs-Höhenprofilen von Addis Abeba und Asmara, (vgl. Figur 6, S. 42) hervorgeht, ist es der SW-Monsun, der die zur Sommer-Regenzeit nötige Feuchtigkeit bringt. Da nach H. FLOHN (1965d) der Wasserdampftransport mit der Windrichtung übereinstimmt, muss anhand der Windrichtungskarten (vgl. Figur 5, S. 40) angenommen werden, dass diese Feuchtigkeit zum Teil aus dem Indischen Ozean stammt (nach Äthiopien transportiert durch den ursprünglichen SE-Passat, der über Zentralafrika infolge der Corioliskraft zu SW- bis W-Winden abgelenkt wird). Weitere Feuchtigkeit bringen die aus dem Golf von Guinea wehenden äquatorialen Westwinde, vor allem in den tieferen Luftschichten (bis 1000 m-Niveau). Interessant ist in Figur 6 vor allem auch die Feststellung, dass die Erhöhung der relativen Feuchtigkeit nicht nur auf die untern Schichten des SW-Monsuns beschränkt bleibt, sondern auch die darüber liegenden Schichten des NE-Passates erfasst. Daraus kann geschlossen werden, dass der vom SW-Monsun gebrachte Wasserdampf durch Konvektion in die höhern Schichten des ursprünglich trockenen NE-Passates aufsteigt und von diesem in Gegenrichtung zurücktransportiert wird. Dem Hochland von Äthiopien (speziell Hoch-Semien) wird somit Feuchtigkeit auf zwei Stockwerken zugeführt: primär vom SW-Monsun bis in Höhen von zirka 3200 m, sekundär vom NE-Passat in Höhen darüber.

Die in Figur 7 dargestellten Windrichtungsdiagramme von ausgewählten Stationen des äthiopischen Hochlandes (zirka 2000 m Niveau) zeigen den direkten Zusammenhang des SW-Monsuns mit Beginn und Ende der grossen Sommer-Regenzeit. Für Gich Camp aber wehen während der grossen Regenzeit Winde aus Nord bis Ost (NE-Passat in der Höhe). Die unterschiedliche Dauer der grossen Regenzeit widerspiegelt die Verschiebung der I.T.C.Z. und den damit verbundenen Windrich-

J F M A M J J A S O N D



Legend:



Mean wind direction sector with ● — clearly dominant wind direction (>40% of winds)



Proportion of observed wind within this sector (here: 75%)

— — — Period of rainy season

- a: Asmara 2325 m
15° 17' N, 38° 55' E
- b: Quiha/Mekelle 2130 m
13° 30' N, 39° 30' E
- c: Kombolcha 1903 m
11° 04' N, 39° 45' E

- d: Debre Markos 2509 m
10° 18' N, 37° 43' E
- e: Addis Abeba 2354 m
9° 02' N, 38° 44' E
- f: Gich Camp 3600 m
13° 16' N, 38° 07' E

Figur 7 Windrichtungsdiagramme September 1973 bis August 1974. Zusammengestellt aus dem *Monthly Weather Report* der Civil Aviation Administration, Ablesungen 06, 12, 18 Uhr Lokalzeit, und eigenen Beobachtungen für Gich Camp.

Wind direction diagrams September 1973 until August 1974. Compiled from the «Monthly Weather Report», recorded at 6 am, 12 pm, 6 pm local time, and supplemented with the authors' observations at Gich Camp.

tungswchsel: In Addis Abeba ($9^{\circ} 02' N$) und Debre Markos ($10^{\circ} 18' N$) wechseln die Winde bereits im Mai/Juni von E auf W (SW), in Mekele ($13^{\circ} 30' N$) und Asmera ($15^{\circ} 17' N$) erst im Juli. In Kombolcha im Osten des Hochlandes dagegen setzt die Regenzeit bis zwei Monate später ein als im ungefähr auf gleicher Breite im Westen liegenden Debre Markos. Hier wirken die nördlichen Hochplateaus von Äthiopien (mit Semien) als Barriere für den die Feuchtigkeit bringenden SW-Monsun. Diese kann erst auf die Ostseite des Hochlandes gelangen, wenn sich die I.T.C.Z. so weit nach Norden verschoben hat, dass die Hochplateaus im Norden vom SW-Monsun umflossen werden können. Da das Hochplateau von Semien bis zirka $13\frac{1}{2}' N$, Teile der nördlichsten Hochplateaus von Tigray sogar bis $14\frac{1}{2}' N$ reichen, gelangt die die grosse Regenzeit auslösende Feuchtigkeit erst im Juli mit dem das Hochland antizyklonal umwehenden SW-Monsun auf die Ostseite (Provinzen Tigray und Wello). Die grosse Sommer-Regenzeit beginnt dadurch im Osten erst zur gleichen Zeit wie im Norden (Provinz Eritrea) und ein bis zwei Monate später als für entsprechende Breiten der im Luv des SW-Monsuns liegenden Westseite Äthiopiens (siehe dazu Figur 8, S. 47).

3.2 Zur Niederschlagsstruktur

3.2.1 Horizontale Gliederung

MESFIN WOLDE MARIAM (1970: 27) unterteilt Äthiopien grundsätzlich in vier verschiedene Niederschlagsregionen, davon drei in noch je zwei Unterregionen (wet-dry). KEBEDE TATO (1964: 30) unterscheidet deren neun und DANIEL GAMACHU (1977: 13) deren vierzehn. H. SUZUKI (1967: 19) unterscheidet in Äthiopien generell drei Trocken- und drei Feucht-Perioden mit unterschiedlicher Dauer für verschiedene Messstationen. Niederschlagskarten Äthiopiens zeigen für die nördlichen Provinzen Gonder, Wello, Tigray und Eritrea eine Abnahme der Niederschläge von Gebieten des Zentralen Hochlandes radial nach allen Richtungen von Westen über Norden nach Osten (MESFIN WOLDE MARIAM 1970: 26; W. KULS und K.F. SCHALLER 1972: Anhang 2; J.F. GRIFFITHS 1972: 373; *Meteorological Maps of Ethiopia*, 1979: 5). Insbesondere nehmen die Niederschläge nach Osten hin, auf kurze Distanz rasch ab. Für die speziellen Probleme des Niederschlagsgeschehens in Nordäthiopien (Rotmeergraben und Hochlandgebiete von Eritrea und Tigray) verweisen wir auf die Arbeit von C. TROLL (1970).

Anhand der von der *Civil Aviation Administration* erhobenen Daten stellte der *Ethiopian Meteorological Service* in Addis Abeba die Niederschlagsresultate im Atlas *Meteorological Maps of Ethiopia* 1979 zusammen. Anfang April 1975 erhielten wir die Erlaubnis, die Zusammenstellungen zu fotokopieren und für diese Arbeit zu verwenden; 75 davon sind in P. STÄHLI (1979) publiziert. Die mit Hilfe dieser Messreihen vorgenommene horizontale Gliederung Äthiopiens in verschiedene Niederschlagsregionen richtet sich dabei primär nach jahreszeitlichem Auftreten und Dauer von Regenzeiten und weniger nach der Niederschlagsmenge. Diese hängt zwar auch von der Dauer der Regenzeit ab, doch variiert sie mit Höhe ü. M. und Exposition stark.

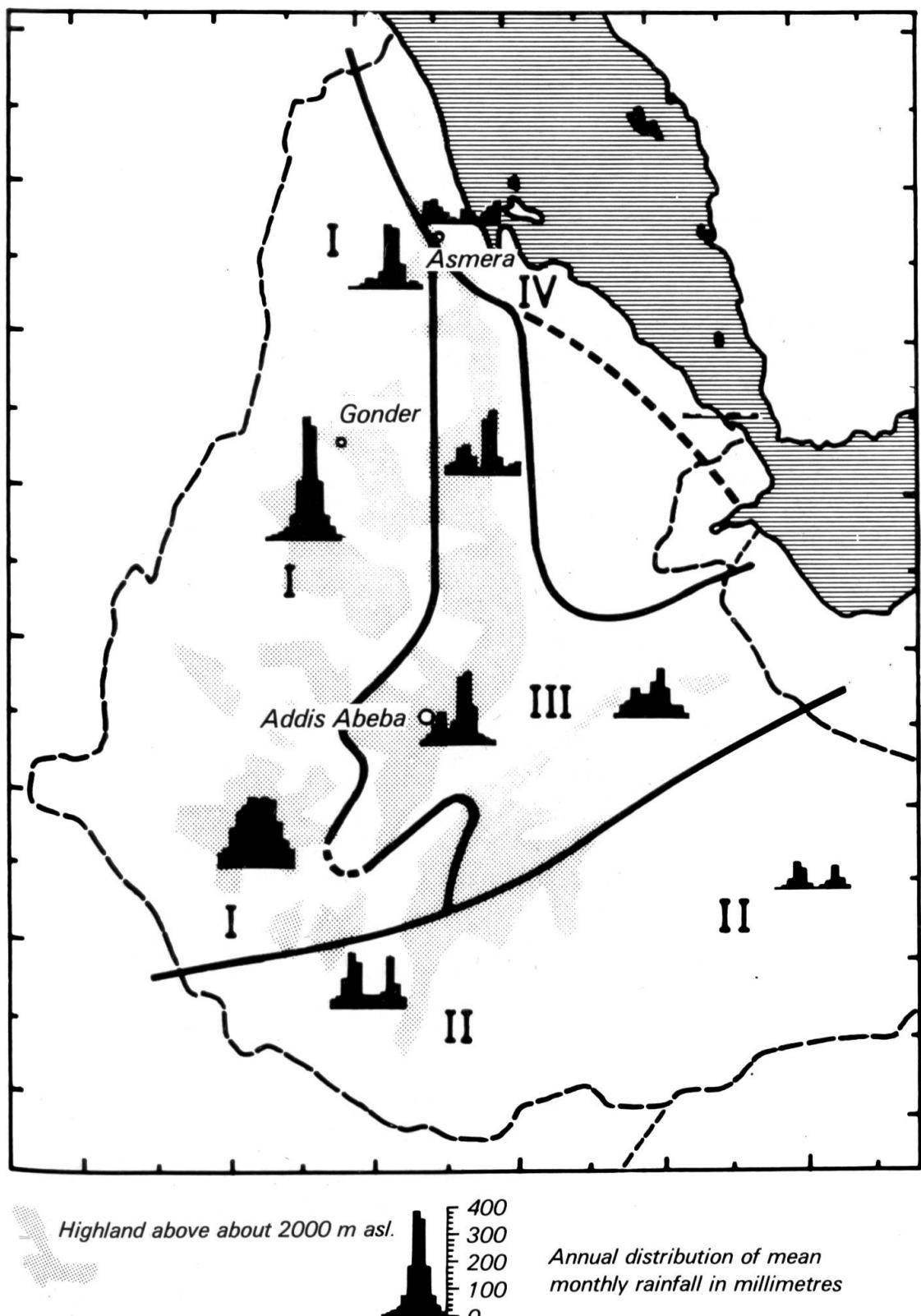
In Figur 8 wird versucht, die verschiedenen Niederschlagsregionen durch Grenzlinien voneinander abzutrennen, wobei die Genauigkeit von der Dichte des Messnetzes und auch von der Dauer der einzelnen Messreihen abhängt. In den Grenzbereichen treten zum Teil auch Überschneidungen auf.

- I. Gebiete mit einer grossen Regenzeit im Sommer in West- und westl. Nordäthiopien. Diese Gebiete liegen im Luv des SW-Monsuns. Im Südwesten (Iubbabor, Keffa, Wellega) liegen die niederschlagsreichsten Gebiete Äthiopiens sowohl in bezug auf die Dauer der Regenzeit (März bis November) als auch auf die Niederschlagsmenge (1500 bis 2500 mm Jahrestotal).
Von Süden nach Norden nehmen Dauer der Regenzeit von 9 bis 10 Monaten bis 1 bis 2 Monate und Niederschlagsmenge von 2517 mm bis 237 mm ab.
- II. Gebiete mit zwei Regenzeiten beim Zenitdurchgang der Sonne im Frühling und Herbst in Südäthiopien. Die Frühlingsregen bringen etwas mehr Niederschlag als die Herbststagen. Die Niederschlagsmenge nimmt von Westen (Hochplateau von Gamogofa; 1189 mm) nach Osten (Halbwüste von Ogaden; 186 mm) stark ab.
- III. Gebiete mit zwei Regenzeiten, einer grossen im Sommer (50 bis 70% des Jahrestotals) und einer kleinen im Frühling (15 bis 30%) in Zentral- und Ostäthiopien und im nordöstlichen Hochland. Die grosse Regenzeit (Juni/Juli bis August/September) wird durch den SW-Monsun bewirkt (wie Gebiet I). Die kleine Regenzeit (Februar/März bis April) wird durch S- bis E-Winde aus dem Indischen Ozean ausgelöst (vgl. Kapitel 3.1, S. 41). Zwischen kleiner und grosser Regenzeit liegt bei allen Stationen eine mehr oder weniger deutliche Zäsur im Mai/Juni.
- IV. Winterregengebiete entlang des Rotmeer-Grabens. C. TROLL (1970) gibt auf seiner Karte ein detailliertes Niederschlagsprofil quer durch Eritrea, auf dem der Übergang der Winterniederschläge der Rotmeer-Bruchstufe (Steigungsregen der vom Roten Meer herkommenden tageszeitlichen Ausgleichswinde; C. TROLL 1952: 167ff.) in die Sommerniederschläge (SW-Monsun, Gebiet I) der Plateaus von Eritrea deutlich sichtbar wird. Die höheren Lagen der Ostabdachung erhalten sowohl Sommer- als auch Winterniederschläge.

Der unmittelbare Küstenstreifen von Mitsiwa bis Asseb erhält bereits keine nennenswerten Niederschläge mehr. Höchstens episodische Niederschläge erhält die Wüste der Danakildepression.

3.2.2 *Vertikale Gliederung*

KEBEDE TATO (1964: 36) gibt eine kontinuierliche Zunahme des Niederschlags mit der Höhe an, ohne allerdings deutlich zu machen, für welche seiner 9 Niederschlags-Regionen und bis zu welcher Höhe die Aussage gilt. Für MESFIN WOLDE MARIAM (1970: 31) ist nicht die Höhe eines Ortes, sondern vielmehr seine Lage zu den die Feuchtigkeit bringenden Winden für die Niederschlagsmenge massgebend. Neuere Niederschlagskarten für ganz Äthiopien zeigen für die Gebiete des zentralen und nördlichen Hochlandes eine zum Relief konforme Zunahme der Nieder-



- Regions of rainfall pattern:*
- I One (big) rainy season in summer (JUN-SEP)
 - II Two rainy seasons in spring (FEB-APR) and autumn (SEP-NOV)
 - III Two rainy seasons in spring (Small) and summer (big)
 - IV One rainy season in winter (DEC-FEB)

Figur 8 Horizontal Gliederung Aethiopiens in vier Regenzeitregionen.

Horizontal division of Ethiopia into four rainfall regions.

schlagsmenge mit der Höhe (W. KULS und K.F. SCHALLER 1972; J.F. GRIFFITHS 1972). Nach Untersuchungen des *Ethiopian Meteorological Service* in Addis Abeba der 10 bis 20jährigen Messdaten der 75 Stationen glaubt man vorläufig generell für die einzelnen Regionen Äthiopiens an eine Zunahme der Niederschlagsmenge mit der Höhe bis etwa 2000 m mit anschliessender langsamen Abnahme (mündliche Mitteilung Denachew Asfaw). Da Äthiopien in bezug auf die Feuchtigkeitszufuhr in mehrere voneinander zum Teil stark getrennte Niederschlagsregionen aufgeteilt werden kann, und die einzelnen Regionen auch innerhalb stark variieren, darf eine vertikale Gliederung nur für ein Gebiet gemacht werden, das die gleiche primäre Feuchtigkeitszufuhr während einer gleichlangen Regenzeit erhält. Wir werden im Kapitel 4 (s. 66ff.) für Semien ausführlich auf das Problem der vertikalen Gliederung eingehen.

3.2.3 Variabilität, Intensität und Erosivität

Nach MESFIN WOLDE MARIAM (1972: 65) ist die Variabilität der Jahresmittelwerte für verschiedene Stationen in Äthiopien sehr unterschiedlich: «*The percentage deviation from the average varies from 1% in Saja, 5% in Wush Wush, 7% in Agaro, 30% in Addis Abeba, 45% in Leqemt (9° 05' N, 36° 32' E) and 77% in Nakfa. There is also deviation in the period of rainfall concentration, the rainfall in some years coming early and in some years coming late. This evidently is of very grave concern for farmers.*»

Die uns zur Verfügung stehenden Daten erlauben es nicht, Aussagen über die Schwankungen der Jahrestotale zu machen. Aufgrund der extremen Monatsmengen kann jedoch geschlossen werden, dass vor allem Stationen mit geringem durchschnittlichen Jahrestotal grosse Schwankungen aufweisen, so im Norden der Regionen I und III, im Osten der Regionen II und III sowie in der Region IV. J.F. GRIFFITHS (1972: 374) kommt nach Untersuchung der Variabilitäten von 23 Stationen zum Schluss: «*As is general the range tends to decrease as rainfall increases.*» Vor allem das Ausbleiben der kleinen Regenzeit in der Region III kann für die auch durchschnittlich niederschlagsarmen Gebiete im Nordosten Äthiopiens (Teile von Wello und Tigray) katastrophale Folgen haben (Hungersnot 1972 und 1973), da hier die grosse Regenzeit allein im traditionellen Landnutzungssystem mit ein bis zwei Ernten pro Jahr nicht genügend Niederschlag bringt.

Aus einer Untersuchung zur Niederschlagsintensität von W. CLYMA (1966) für die Stationen Jimma, Addis Abeba, Dire Dawa und Alemaya können folgende Schlüsse gezogen werden:

1. eine Tagesmenge von mehr als 100 mm ist äusserst selten und beschränkt sich auf Tieflandregionen (vgl. H.C. PEREIRA, 1968: 7);
2. die Starkniederschläge hängen nicht von der Grösse des jährlichen Niederschlagstotals ab;
3. es ist nicht anzunehmen, dass Stundenmengen von 60 mm oder mehr in einer Periode von 100 Jahren einmal auftreten. Stundenmengen von zirka 30 mm treten für alle vier Stationen jährlich auf.

Eine weitere wichtige Kenngrösse der Niederschläge ist ihre Erosivität. Sie ist ein Mass für die Bodenerosionswirkung der Niederschläge und wird normalerweise nach Formeln berechnet, die von W. H. WISCHMEIER et al. (1958) entwickelt worden sind (EI[30]-Index, vgl. S. 70). In Äthiopien, wo Ackerbau die wichtigste Lebensgrundlage ist und wo darum die Bodenerosion in Hanglagen das grösste ökologische Problem darstellt, kann die Bedeutung der Erosivität als eine der Voraussetzungen für Bodenkonservierung (H. HURNI, 1981) kaum hoch genug eingeschätzt werden. Erosivitäts-Berechnungen sind uns bisher allerdings nur von K.J. VIRGO and R.N. MUNRO (1977) in Tigray bekannt geworden, wobei diese Autoren eine einfachere Formel zur Berechnung verwendeten ($KE > 25$ -Index nach N. HUDSON, 1971, vgl. S. 71), ohne ihre Korrelierbarkeit mit Bodenverlusten geprüft zu haben. Da für Semien konkretere Resultate vorliegen (H. HURNI, in Vorb.), werden wir im nächsten Kapitel eingehender auf das Problem Erosivität eintreten und die Vergleiche zu Tigray aufführen. Zurzeit wird in einem Forschungsprojekt des Geographischen Instituts der Universität Bern in Zusammenarbeit mit der UN Universität Tokyo, der Direktion für Entwicklungszusammenarbeit und humanitäre Hilfe der Schweiz und mit äthiopischen Behörden an einer ausgedehnten Evaluation dieser wichtigen Kenngrösse in Äthiopien gearbeitet.

4 Das Klima von Semien

The Climate of Simen

Summary

The climatic diagram given in Figure 9 for the main recording station, Gich Camp at the timber line at 3600 m asl., characterizes the climate of Simen, with a relatively low, alpine temperature, coldest in the early mornings of the dry season, and a single rainy season amounting about 1500 mm, from May to October. The climate can be classified Cbwn in the G. T. TREWARTHA (1954) system.

Circulation: Wind direction and speed have been recorded by a WOELFLE instrument at Gich Camp (3600 m), supported by many observations of cloud movements and winds throughout the area. The distribution of monthly wind directions into 13 classes as given in Figure 10 for Gich Camp, shows that for the whole year, winds blow very constantly from Northerly directions, with a definite shift from Northwest to Northeast at the onset of the rainy season. Figure 11 specifies this statement, showing that in most cases, mean hourly wind directions from a 90° segment represented by the arrows, account for 64–90% of all winds observed in this hour during each month.

The regularity of Northeastern winds in June to September is in fact striking. Only in the dry season morning winds exist, coming from Southerly directions. This result does not only apply for the recording station, but for the whole of the Western highland plateau of Simen (B. NIEVERGELT, 1981). This means that the Simen highlands lay above the influence of the Southwest monsoons. Observations of cloud movements show that in all altitudinal belts, Northwest to Northwinds predominate in the dry season. In the rainy season, Southwest monsoons dominate altitudinal belts up to about 3000 m asl., causing convective rainfall around the Simen highland. Altitudes above 3000 m obtain advective rains in June from Northeast, with tradewinds having received the moisture from monsoonal air masses below them.

Sunshine and Clouding: Out of 4393 hours of astronomically possible annual sunshine (on a plain), a high rate of 92% or 4043 hours would effectively be possible at Gich Camp because of its highland position. An actual 54% or 2354 hours of sunshine were measured with a CAMPBELL-STOKES sunshine recorder. Obviously, most of the 38% or 1689 hours of clouding between sunrise and sunset occur in the rainy season, as shown in Figure 12. Daily distribution of clouding is given by sunshine isopleths in Figure 13. Accordingly, afternoon clouding is very frequent in June to August and in October (below 20% sunshine), whereas the mornings of the rainy season are still relatively bright. Some clouding at sunrise and sunset may even occur in the driest months (December/January). In the regional context it is important to

notice that especially steep slopes facing West and North have less sunshine because of a retarded sunrise and the frequent afternoon clouding. In general, clouding in Simen tends to decrease from North to South (see rainfall directions) and from West to East, and to increase with altitude, because of frequent fog around mountain tops and escarpments. Figure 14 comparing observed and measured clouding supports the known fact that observed clouding tends to be higher than measured sunshine.

Precipitation: Situated in the middle of the triangle connecting Gonder, Maychew, and Aksum, Simen follows in its rainfall pattern the Western half of the Ethiopian highland, with only one rainy season and no small rains in spring (Figure 15). Rainfall amounts in Figure 16 for the year 1973 show a total of four areas with more than 1400 mm rainfall: High-Simen, the lowlands North of it below 2000 m asl., the Adi Remetse mountain chain, and the area around Gonder. For Simen alone, this means that the wettest parts lay to the North in the lowlands and along the Northern escarpment. Rainfall decreases, like clouding, from North to South. The Eastern escarpment along the Tekeze river receives rainfall later than the Northwest, but with probably similar total amounts. Vertical distribution of rainfall as shown in Figure 17 indicates a first maximum at 1500 m and a second at about 3500 m asl. Whereas the first maximum can be explained by the condensation niveau of the Southwest monsoonal air masses, the second maximum may be due to the escarpment at that altitude, with the rainfall advectively brought by trade winds over its edge.

The analysis of the Gich Camp recordings at 3600 m brings more evidence. Figure 18 supports the known trend of increasing variability of rainfall with decreasing monthly amounts, being of great importance for the seeding practice of the local peasants in April/May. In contradiction to the typical pattern of (convective) afternoon storms, rainfall in Gich Camp is concentrated in the evening and before midnight (Figure 19), supporting the (advection) explanation of trade wind rainfall. Rainfall also is usually less intensive than at lower elevations. In Figure 20, it is shown that an intensity of 50 mm per hour is very unlikely to last one hour, usually only 5–10 minutes. The calculation of return periods in Figure 21 shows the same return periods for daily rainfall for Gich Camp and Addis Abeba (2400 m asl.), but a much longer return period for 30-Minute intensities in Gich Camp. Erosivities however, being important as a proportional measure for erosion from bare soils, have to be calculated specifically, after W.H. WISCHMEIER et al. (1958), modified for hailstorms, a frequent and grave event in Simen. Therefore, the month of June has the highest erosivity of the year (Figure 22), although not the highest amount of rainfall.

– Snow occasionally occurs at altitudes above 3800–4000 m asl. (Photos 6 and 7), but does not form an annual snow cover of the mountain tops, nor has it done in historical times, since the present snow line is estimated at 5000 m asl., about 450 m above the Ras Dejen peak. A lowering of average temperatures of up to 2° C may have lowered the snowline to a altitude not less than 4700 m asl., still above this highest peak.

Temperature: Figure 24 indicates that mean daily temperatures vary less in the rainy season than in the dry season. In the three lower stations, mean average and

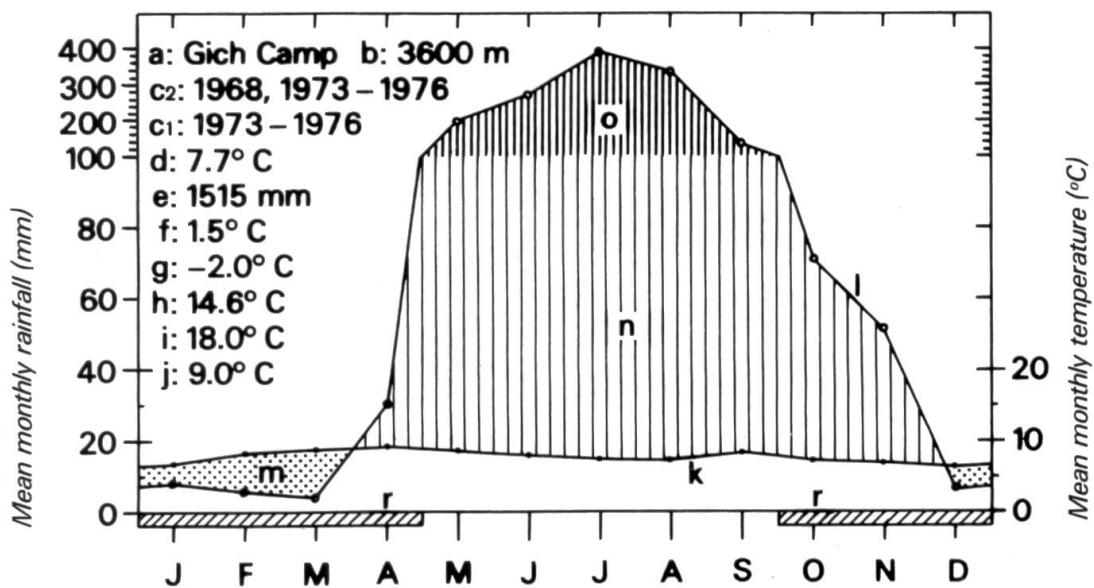
extreme temperatures run in the same direction, being low in July in the rainy season, and in December, when the sun stands South, and high in April and September, with or immediately after the zenith position of the sun. The highest station Gich Camp shows the same trend for maximum and average temperatures, whereas minimum temperatures are highest in the mid-rainy season, when clouding may remain over night because of late rainfall. Dependence of temperatures from clouding can be seen from Figure 25 in comparison with Figure 13. Temperature gradients differ between rainy and dry season (Figure 26). Mean maximum temperatures remain the same for high altitudes and vary strongest at low altitudes, and mean minimum temperatures show the reverse. For solifluction processes in the frost detrital belt it is important to see the shift of the 0° C isoline from 4000 m in the dry season to 4500 m asl. in the rainy season. Soil temperatures and temperatures from soil level to 2 m height are very different for dry and rainy season samples, and for vegetation cover of the ground (Figure 27), but are near to equal in about 20 to 50 cm ground depths, close to the annual average temperature of 7.7° C of this altitude.

Conclusions: *The climate of Simen can be divided into two main types: The «Upper Dega»-«Werch» type, and the «Lower Dega»-«Weyna Dega» type. These classical Ethiopian divisions into altitudinal belts apply therefore for the agro-climatic belts as well. The upper climatic type (3200–4500 m asl.) is characterized by Northerly winds all year, an increase in clouding with altitude, a maximum of annual rainfall at about 3500 m asl., frequent hailstorms with high erosivities, occasional snow in higher elevations, and frequent frost. The climate described is unfavourable for most grains and pulses except barley, potatoes, and some vegetables. The lower climatic type (2000–3200 m asl.) is characterized by the (upwardly decreasing) influence of Southwest monsoons, convective rains, trade winds only in the dry season, less frequent hailstorms, no snow and rare frost. This altitudinal belt is favourable for most Ethiopian crops and pulses.*

4.1 Das mittlere Klimadiagramm von Gich Camp (3600 m)

Für die Station Gich Camp, bedeutsam durch ihre Lage an der Waldgrenze der *Erica arborea*-Stufe, werden die Monatsmittelwerte von Temperatur und Niederschlag nach der Methode von H. WALTER (u.a. 1977) dargestellt. Die Messperioden erstrecken sich über 4 (T) und 5 (N) Jahre. Diese Darstellungsform gestattet eine Charakterisierung des Klimas von Semien in Kurzform. Temperatur (Abschnitt 4.5) und Niederschlag (4.4) werden in den entsprechenden Abschnitten zusätzlich analysiert.

Gich Camp besitzt nach Figur 9 ein tropisches Höhenklima mit einer langen Regenzeit im Sommer. Von den acht humiden Monaten April bis November gehören die Monate Mai bis Oktober zur eigentlichen Regenzeit, mit Hauptniederschlägen im Juni bis August. Die mittleren Jahresniederschläge betragen 1515 mm. Die Monate Dezember bis März sind arid, mit Niederschlägen unter 10 mm im Monat-



Legend:

- | | |
|--|--|
| a: Climatic station | i: Absolute maximum temperature (MAR 1975):
18.0°C |
| b: Altitude (m asl.) | j: Mean daily variance of temperature: 9.0°C |
| c ₁ : Measuring period temperature | k: Annual interpolation of mean monthly temperatures: Normally between 7 and 8°C |
| c ₂ : Measuring period precipitation | l: Annual interpolation of mean monthly precipitation |
| d: Mean annual temperature in °C | m: Arid months (dotted) |
| e: Mean annual precipitation (rainfall) | n: Humid months (hatched widely) |
| f: Mean daily minimum temperature of coldest month (NOV, DEC): 1.5°C | o: Mean monthly precipitation over 100 mm, reduced 10 times (hatched narrowly) |
| g: Absolute minimum temperature (JAN 1974, NOV 1975, JAN 1976): -2.0°C | r: Months with absolute minimum temperatures below 0°C (hatched) |
| h: Mean daily maximum temperature of warmest month (APR): 14.6°C | |

Figur 9 Klimadiagramm von Temperatur und Niederschlag in Gich Camp, 3600 m, Semien, 1973–1976.

Climatic diagram of temperature and precipitation for Gich Camp at the *Erica* timber line, 3600 m asl., Simen, 1973–1976.

mittel. Die täglichen Temperaturschwankungen sind gross (im Mittel 9°), die jährlichen Schwankungen der Monatsmittelwerte dagegen sehr klein (max. 3°). Die mittlere Jahrestemperatur beträgt 7.7°. Monatsminimaltemperaturen sind in der Periode mit geringer Bewölkung (Oktober bis April) in der Regel unter 0°. November und Dezember sind die Monate mit den tiefsten täglichen Minimaltemperaturen (im Mittel 1.5°), der April hat die höchsten täglichen Maxima (14.6°). 18°, resp. -2° sind die Extremwerte der Schattentemperaturen in 2 m Höhe der 4jährigen Messperiode. Nach dem Klassifikationssystem von G. T. TREWARtha (1954) kann Semien mit den Buchstaben C b w n charakterisiert werden: Mesothermis-chumid des Klima (C) mit Mitteltemperaturen des wärmsten Monats unter 22° (b), winter-trocken (w) und mit häufigem Nebel (n).

4.2 Zirkulation

Mit Windmessungen und Beobachtungen der Bewölkungs-Bewegungen soll die Zirkulationsstruktur Semiens erfasst und in diejenige Äthiopiens eingegliedert werden. In Form von Daten stehen uns nur die eigenen Windmessungen Gich Camp mit dem WOELFLE-Windmesser (VI. 1975 bis I. 1977) auf dem Hochplateau zur Verfü-gung. Der Windmesser wurde in 4 m Höhe auf der Spitze eines Kegeldaches mon-tiert. Vergleiche mit den täglichen Windbeobachtungen (IX. 1973 bis VIII. 1974) und vor allem mit zirka 1200 Einzelbeobachtungen durch B. Nievergelt (II. 1968 bis I. 1969) auf dem Hochplateau des Jinbar-Tales werden eine Abschätzung des Einflusses von Lokalwinden auf die Messstation erlauben. Ein Bild der regionalen Zirkulation konnte durch die Autoren aufgrund der aussergewöhnlichen Aussichts-lage des Jinbar-Tales (bis rund 100 km Sichtradius in den Sektoren von E über NW bis SW!) anhand von Bewölkungsbewegungen gewonnen werden.

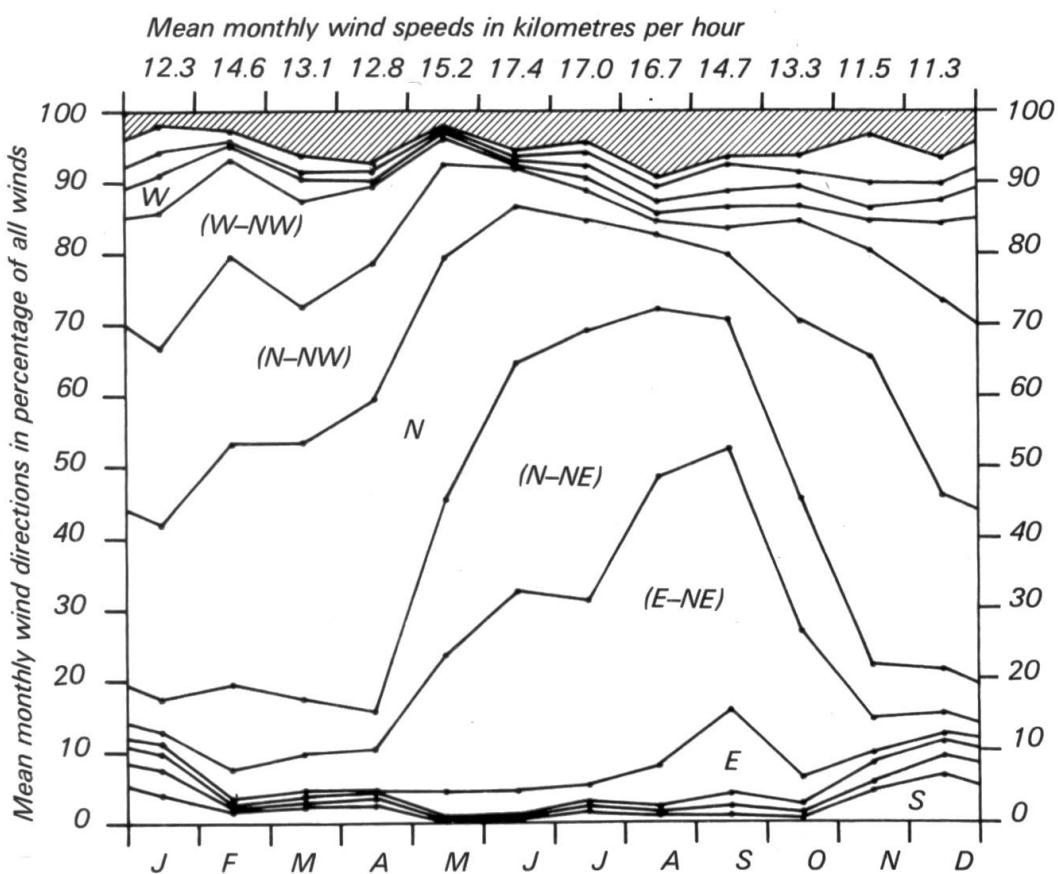
4.2.1 Die Windmessungen von Gich Camp

Der WOELFLE-Windmesser registriert Windrichtungen und -geschwindigkeiten auf Monatsstreifen. Zur Problematik dieser Geräte gehört ihre Eichung und die unter-schiedlichen Anlaufwiderstände der Windflügel. Letzteres Problem konnte in Se-mien vernachlässigt werden, da praktisch nie Calmen (< 1 km/Std.) auftraten. Das fabrikneue Gerät konnte während der beiden Messjahre nie geeicht werden. Die Auswertung der Messstreifen erfolgte auf Stundenbasis, indem für jede Stunde so-wohl Windrichtung als auch Windgeschwindigkeit auf Tabellen übertragen wur-den. Das ergab für die 19 Messmonate zu je zirka 720 Stunden pro Monat und 2 Stundenwerten total rund 27 000 Tabellenwerte für die Analyse. Bei den Windrich-tungen arbeiteten wir mit 12 Sektoren zu je 30° Öffnungswinkel, d.h. mit den 4 Hauptwindrichtungen N, W, S, E und je zwei Zwischensektoren. Für Winde, die innerhalb einer Stunde stark schwankten (zwischen mehr als drei nebeneinander-liegenden Sektoren), haben wir die zusätzliche 13. Klasse «stark wechselnde Win-de» geschaffen. Die Windgeschwindigkeiten in km pro Stunde konnten mittels ei-nes WOELFLE-Auswertungsstabes stundenweise abgelesen werden.

Die Analyse der Messwerte resultiert in zwei Figuren, deren eine den Jahresgang der Windrichtungen und deren andere den Tagesgang der Winde monatsweise beschreibt. Figur 10 zeigt die Prozentanteile der 13 Windrichtungsklassen für jeden Monat an, wobei in der Darstellung die berechneten Werte linear verbunden wurden. Die Analyse ging so, dass für jede Windrichtungsklasse die Anzahl der Stunden mit dieser Windrichtung während eines Monats summiert, in Prozent aller Stunden des Monats umgerechnet und dargestellt wurden. Breite Bänder in der Figur zeigen also den hohen Anteil an Stunden mit dieser Windrichtung an, usw. Wenn in der Messperiode von 19 Monaten ein Monat doppelt vorkam, wurden die Anteile gemittelt. Die mittleren Windgeschwindigkeiten aller Stunden eines Monats sind über der Figur in km pro Stunde angegeben.

Aus Figur 10 kann gelesen werden, dass

1. das ganze Jahr hindurch Winde aus W-NW bis E-NE dominieren (über 80% aller Winde), dass



Figur 10 Jahresgang der Windrichtung in Gich Camp, 3600 m, Semien, VI.1975 bis I.1977. Einteilung in 12 Windrichtungsklassen (30° -Sektoren) und 1 Klasse mit ständig stark wechselnden Windrichtungen (schräffiert). Die Himmelsrichtungen in Klammern liegen nicht genau in den Sektormitten. Nichtbezeichnete Windrichtungsklassen liegen sinngemäß zwischen den bezeichneten. Regenzeitmonate: Mai bis September.

Annual distribution of wind directions in Gich Camp, 3600 m, Simen, VI.1975–I.1977. Classification into 12 classes of 30° segments, and one class of strongly changing winds within the hourly interval of analysis (hatched). Compass directions in parentheses are not exactly in the middle of the respective segment. Classes not marked are found correspondingly between marked ones. Rainy season: May to September.

2. in der Trockenzeit eher W bis N-Richtungen dominieren, in der Regenzeit aber eher Winde aus N bis E wehen, und dass
3. die mittleren Windgeschwindigkeiten in der Regenzeit deutlich höher ausfallen als in der Trockenzeit. Generell sind die mittleren Geschwindigkeiten mit minimal 11.3 und maximal 17.4 km pro Std. auf der BEAUFORT-Skala mit Stärke 3 als schwache Brise zu bezeichnen, also als Mittelwerte beachtlich hoch.
4. Im November bis Januar kommen rund 5% der Winde aus Süden, ein Phänomen, das mit dem Tagesgang der Winde (Figur 11) zu klären sein wird.

Eine kompliziertere Analyse wurde für Figur 11 verwendet, die den Tagesgang der Winde (dominante Richtung und Stärke) verdeutlichen soll. Die in der Figur verwirklichte übersichtliche Darstellungsform der stündlichen dominanten Windrichtungen und der mittleren stündlichen Windgeschwindigkeiten in einer Graphik ist durch die eindeutige Windherkunft aus den Nordsektoren möglich geworden. Zum besseren Verständnis definieren wir vorangehend den Begriff «Monatsstunde»: Unter «Monatsstunde» verstehen wir hier die Gesamtheit aller Messwerte einer bestimmten Tagesstunde während eines bestimmten Monats, z.B. die 30 Windrichtungswerte der Stunde von 7 bis 8 Uhr im Monat Juni. Ein Monat hat demnach 24 Monatsstunden, ein Jahr $12 \times 24 = 288$ Monatsstunden. Wir haben festgestellt, dass in allen Monatsstunden 77% der Winde aus einem 90° geöffneten Sektor (3 nebeneinanderliegende Klassen) wehen, mit einer Standardabweichung von diesem Mittel von nur 13%. Dies bedeutet, dass zwei Drittel aller 12 mal 24 Monatsstunden Winde besitzen, die zu 64 bis 90% ($77\% \pm 13\%$) aus nur einem 90%-Sektor wehen. Die sehr hohe Zahl konstanter Windrichtungen ermöglicht uns, für jede Monatsstunde die «dominante» Windrichtung folgendermassen zu definieren: «Die dominante Windrichtung sei die mittlere gewogene Windrichtung der drei nebeneinanderliegenden Windrichtungsklassen mit dem maximalen Anteil an Win- den.»

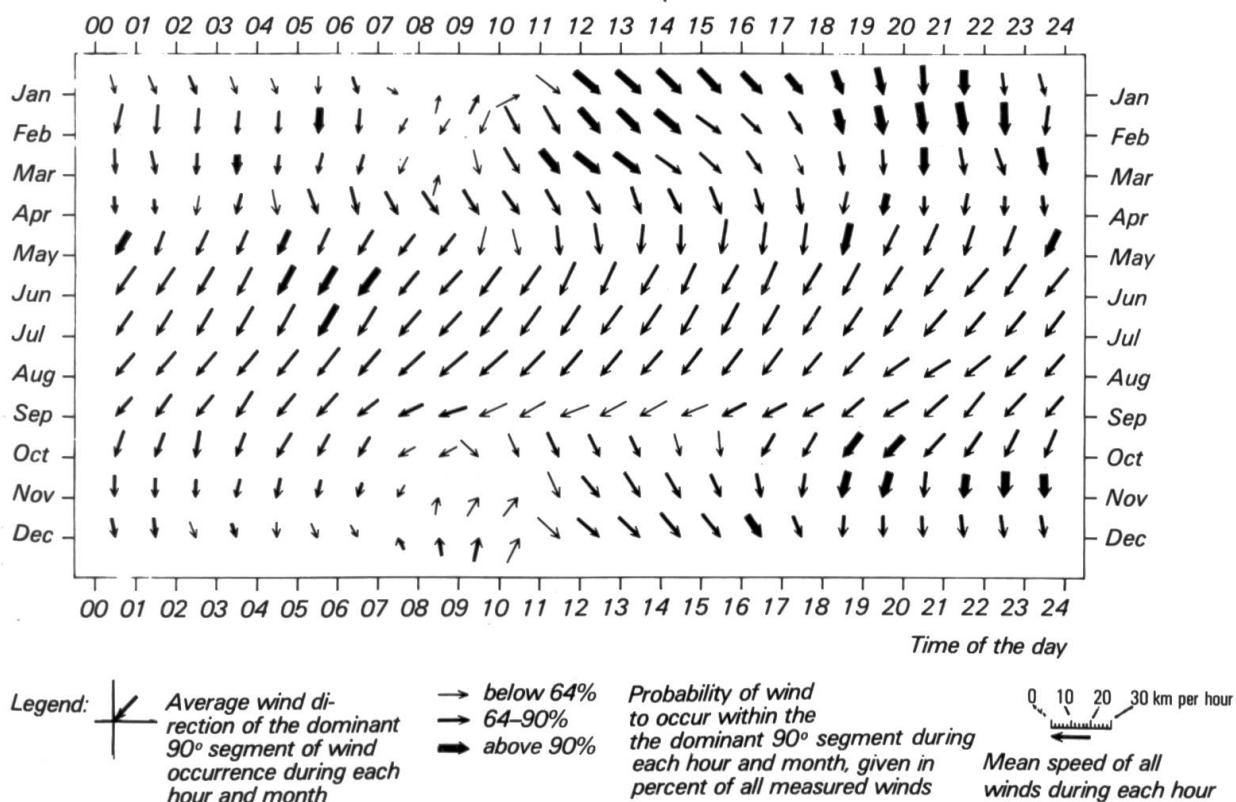
Wir veranschaulichen die Definition am Beispiel der Monatsstunde 7 bis 8 Uhr im Juni: Die 30 gemessenen Windrichtungen verteilen sich folgendermassen auf die 13 Windrichtungsklassen:

N	13.6%
NNE	25.3%
ENE	40.6%
E	10.3%
ESE	1.7%
SSE, S, SSW, WSW, W und WNW	0.0%
NNW	1.7%
Stark wechselnd	6.9%

Die drei Klassen N, NNE, ENE haben den maximalen Anteil von 79.5% aller Winde vereinigt. Wenn man jetzt die drei Klassen als 3 Windvektoren definiert (mit Längen entsprechend den %-Anteilen), so kann die «dominante» Windrichtung als die Summe der 3 Sektoren berechnet werden. In unserem Beispiel resultiert ein Vektor mit einem 49.4° -Winkel zur W-E-Achse aus nordöstlicher Richtung. In Fi-

Figur 10 sind die analog dem Beispiel berechneten Vektoren für jede Monatsstunde als Pfeil dargestellt. Dieser steht also als gewogene mittlere Windrichtung des 90°-Sektors mit maximalem %-Anteil aller Monatsstundenwerte. Die Pfeildicke gibt an, wieviele % aller Winde in diesem 90°-Sektor liegen, er ist dünn bei unter 64%, mittel bei 64–90% und dick bei über 90% Windanteil. Die Pfeillänge steht für die mittlere Windgeschwindigkeit aller Winde der Monatsstunde.

Die Interpretation von Figur 11 kann sowohl horizontal (Tagesgang der Winde eines Monats) als auch vertikal erfolgen (Jahresgang einer Monatsstunde). Es fällt sofort die Regelmässigkeit der Winde in den Regenzeitmonaten auf, sowohl in Herkunft als auch in Stärke. Die Winde der Trockenzeit sind differenzierter im Tagesgang, gleichen sich jedoch monatsweise stark: Nachts bis gegen 7 Uhr morgens weht eine schwache Brise aus Richtung N-NW. Mit Aufgehen der Sonne schlägt der Wind für einige Stunden auf S-Herkunft um, die Stärke ist sehr schwach, die Anteile kleiner (Lokalwind?). Gegen 9 bis 11 Uhr beginnt der Nachmittagswind aus NW mit stärkerer Geschwindigkeit zu dominieren, der am Abend und in der Nacht gegen N abdreht und etwas abflaut.



Figur 11 Tagesgang der Winde (Richtung und Geschwindigkeit) für jeden Monat in Gich Camp, 3600 m, Semien VI.1975 bis I.1977. Der Pfeil gibt die dominante Windrichtung an (s. Text). Die Pfeildicke zeigt die Wahrscheinlichkeit des Vorkommens dieser Windrichtung in % und die Pfeillänge die mittlere Windgeschwindigkeit.

Dominant hourly wind directions and speed for each month at Gich Camp, 3600 m, Simen, VI.1975 to I.1977. Each arrow indicates the average direction of the main 90° segment, while its thickness shows the probability of wind directions to lay within the segment. The length of the arrows indicates the average monthly wind speed of the hour described.

4.2.2 Die Zirkulationsstruktur von Semien

Da Windanalysen einzig für Gich Camp (3600 m) vorliegen, beschränkt sich dieser Abschnitt darauf, den Aussagewert der Analysen für diese Höhenstufe zu überprüfen. Vertikale Interpretationen sind jedoch in hypothetischer Form durch Beobachtungen von Rauch und Bewölkung möglich. Mit Hilfe von zirka 1200 Wind-Beobachtungen von B. Nievergelt 1968/69 entlang des Steilabfalls in 2 bis 10 km Entfernung von Gich Camp (B. NIEVERGELT, Mitt. November 79, sowie 1981), kann die regionale Gültigkeit der Analysen überprüft werden. Es zeigt sich, dass die Winde bei Gich Camp nicht wesentlich durch lokale Einflüsse verändert werden. In der Regenzeit von Mai bis Oktober 1968 kamen nämlich an den 18 Beobachtungspunkten von B. NIEVERGELT für Beobachtungszeiten zwischen 7 und 11 Uhr 70% aller spürbaren Winde aus den Sektoren N bis E (479 Beobachtungen), und in Beobachtungszeiten zwischen 11 und 7 Uhr sogar 76% (37 Beobachtungen). Erwartungsgemäß kamen in der Trockenzeit von November bis April an den 18 Beobachtungspunkten für Zeiten zwischen 7 und 11 Uhr nur 27% der spürbaren Winde aus den Sektoren N bis E (407 Beobachtungen), denn diese Zeitperiode ist bekanntlich von Lokalwinden mit südlicher Herkunft dominiert (57% aus SE bis SW). An Beobachtungszeiten zwischen 11 und 7 Uhr in der Trockenzeit kamen dann wieder 60% der Winde aus N bis E (98 Beobachtungen). Dieser regionale Vergleich der Aussage von Figur 11 mit den Beobachtungen von 18 Punkten rund um Gich Camp bestätigt die Signifikanz der Analyse für das Hochplateau von Semien.

Dass das Resultat der Analyse von Figur 11 tatsächlich eine sehr weitgespannte Gültigkeit besitzt, zeigt auch ein Vergleich der Winde um 14 Uhr mit den Messungen in der freien Atmosphäre von Asmera (und Addis Abeba) in Figur 6, (S. 42). Frappant ist die Übereinstimmung mit Asmera auf der Höhe 3600 m ü.M., wo in der Trockenzeit ebenfalls W- bis NW-Winde vorherrschen und in der Regenzeit NE- bis E-Winde. Der Zusammenhang der W-Winde mit einer Höhen-Hochdruckzone auf zirka 13° nördlicher Breite im Winter (H. FLOHN, 1965b: 42) ist bereits in 3.1.2 (S. 41) erwähnt worden. Ganz klar wird auch die Tatsache, dass Gich Camp in der Regenzeit oberhalb des Bereichs der SW-Monsune liegt (vgl. 3.1.3, S. 44).

Aufgrund von Bewölkungsbeobachtungen und dem frühen Beginn der Regenzeit im Tiefland nördlich von Semien kann folgende hypothetische Zirkulationsstruktur von Semien aufgestellt werden:

1. In der Trockenzeit (Winter) dominieren auf allen Höhenstufen NW- bis N-Winde
2. In der Regenzeit (Sommer) werden auf Höhen unterhalb zirka 2000 bis 3000 m ü. M. die SW-Monsune dominant, die schon im Mai/Juni etwa bis zum Tekeze-Fluss meist konvektive Niederschläge verursachten.
3. Höhen oberhalb zirka 3000 m ü. M. erhalten die Niederschläge meist adektiv mit NE-Passat-Winden, nachdem die Feuchtigkeit durch Konvektion aus den SW-Monsun-Schichten im Norden von Semien in diese aufgestiegen ist.

4.3 Sonnenschein und Bewölkung

Mit Messungen der Sonnenscheindauer und mit Bewölkungsbeobachtungen in Gich Camp sollen die Verhältnisse dieser Lokalität am Rande des Hochplateaus beschrieben und ihre regionale Stellung abgeschätzt werden. Als Datenmaterial stehen uns eigene Bewölkungsbeobachtungen (V. 1973 bis I. 1975) und Tagesstreifen des Sonnenscheinschreibers (VI. 1975 bis XII. 1976) zur Verfügung. Den mit einem Sonnenscheinschreiber messbaren Sonnenschein nennt man effektive Sonnenscheindauer. Durch Wegdenken der klimatischen Einschränkung erhält man die Werte der effektiv möglichen Sonnenscheindauer (ohne Bewölkung, aber mit Horizontabdeckung). Die Bewölkung ist demnach die Differenz zwischen effektiv möglicher minus effektiver Sonnenscheindauer. Ohne die beiden Einschränkungen Topographie und Bewölkung erhalten wir die astronomische Sonnenscheindauer auf einer gedachten Ebene.

4.3.1 Die Resultate von Gich Camp

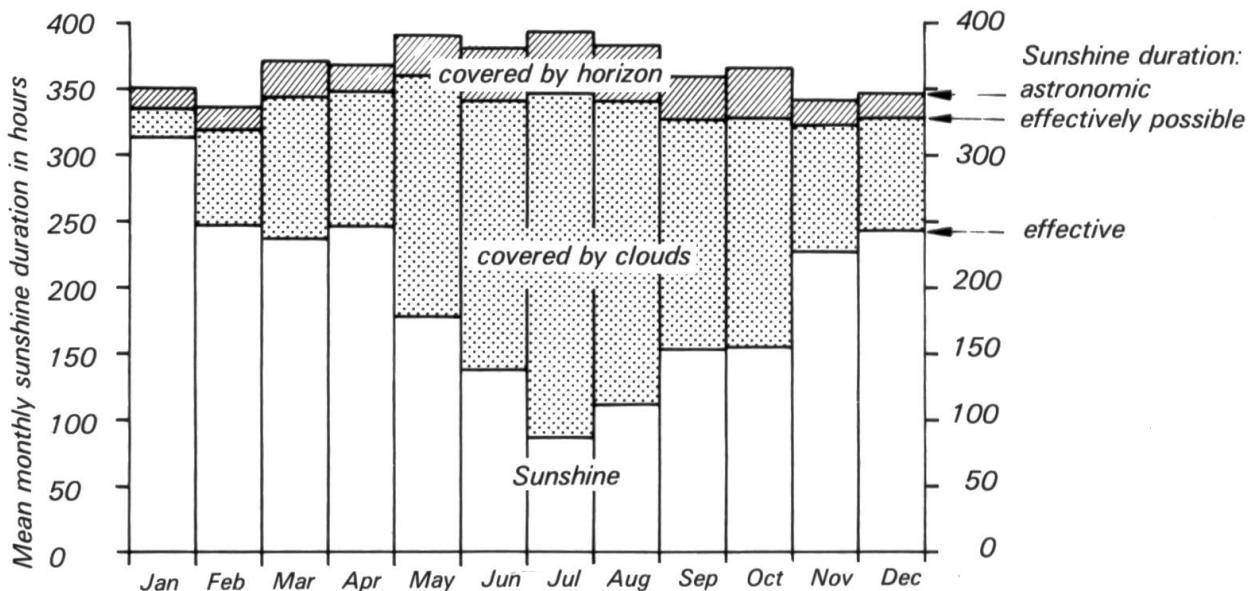
Der Sonnenscheinschreiber nach CAMPBELL-STOKES arbeitet mit einer Glaskugel, die bei Sonnenschein eine Brennspur auf dem Tagesstreifen verursacht. Die Auswertung der Tagesstreifen erfolgte stundenweise, indem für jede Tagesstunde der Prozentanteil an effektivem Sonnenschein (in % der effektiv möglichen) tabellarisch festgehalten wurde (total ca. 7300 Tabellenwerte). Dieses Verhältnis der effektiven zur effektiv möglichen Sonnenscheindauer wird auch als relative Sonnenscheindauer bezeichnet. Zusätzlich wurde monatlich die mittlere Zeit des Sonnenauf- und Sonnenuntergangs bestimmt, was die Berechnung der effektiv möglichen Sonnenscheindauer erlaubte. Die astronomische Sonnenscheindauer wurde durch Berechnung der Sonnenbahnen von S. KUNZ (Geogr. Inst. Univ. Bern) ermittelt. Die Analyse der Messwerte resultiert in zwei Figuren, deren eine den Jahresgang der Monatssummen und deren andere eine Isoplethendarstellung der relativen Sonnenscheindauer (Tages- und Jahresgang der Bewölkung) darstellt.

Figur 12 zeigt die (mittleren) Monatssummen von astronomischer, effektiv möglicher (ohne Bewölkung) und effektiver (mit Bewölkung) Sonnenscheindauer in Gich Camp.

Die Jahressummen betragen:

1. Astronomische Sonnenscheindauer: 4393 Std. (100%)
2. Effektiv mögliche Sonnenscheindauer: 4043 Std. (92%)
3. Effektive Sonnenscheindauer: 2354 Std. (54%)
4. Dauer der Bewölkung am Tag (2 minus 3): 1689 Std. (38%)

Naturgemäß zeigen die Regenzeitmonate (Mai bis Oktober) eine massive Einbusse an Sonnenschein mit grosser Bewölkungsdauer, während die Trockenzeitmonate eine sehr hohe Sonnenscheindauer haben. Die Einschränkung durch die Horizontabdeckung ist wegen der Hochlandlage von Gich Camp immer sehr niedrig. Interessanter sind die Interpretationen der Isoplethendarstellung der relativen Sonnen-



Figur 12 Monatssummen der astronomischen, effektiv möglichen und effektiven Sonnenscheindauer in Gich Camp, 3600 m, Semien VI.1975 bis XII.1976.

Monthly totals of the astronomic, effectively possible, and effective sunshine duration at Gich Camp, 3600 m, Simen VI.1975 to XII.1976.

scheindauer von Figur 13, weil dadurch auch der Tagesgang der Bewölkung dargestellt wird. Hier wurden die mittleren Prozentanteile der Tagesstunden von Sonnenauf- bis Sonnenuntergang monatsweise berechnet und durch Linien gleicher Prozentwerte (von Auge) korreliert.

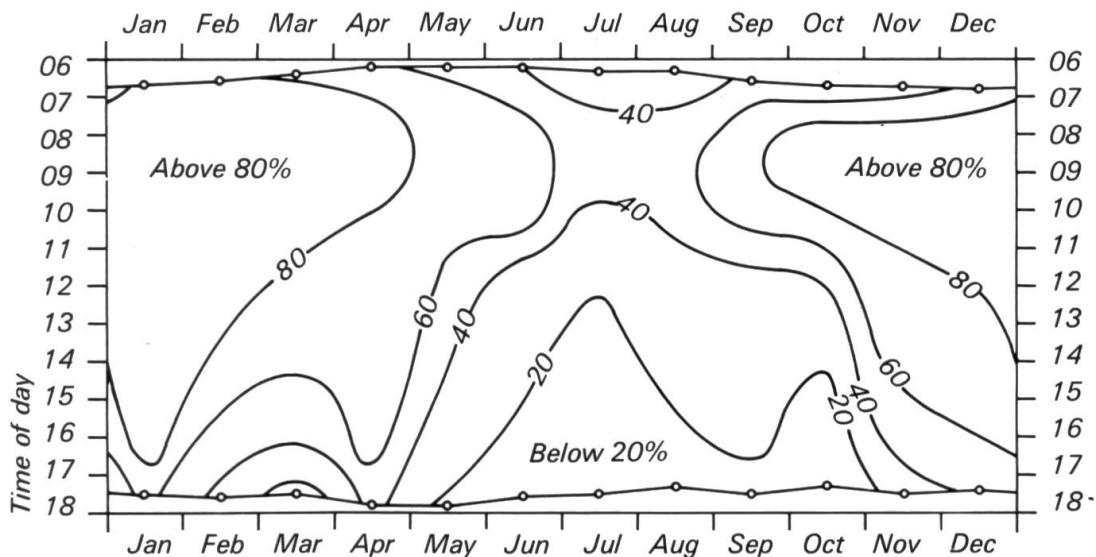
Figur 13 erlaubt sowohl eine horizontale (Jahresgang der Bewölkung) als auch eine vertikale Interpretation (Tagesgang monatsweise).

Zum Jahresgang der Bewölkung:

1. Die grösste Bewölkung ist in der Regenzeit von Mai bis Oktober und beträgt im Mittel dieser Monate 61% (im Extremmonat Juli sogar 75% Bewölkung).
2. Der grösste Anteil an Sonnenschein ist in der Trockenzeit von November bis April und beträgt im Mittel dieser Monate 77% (im Extremmonat Januar sogar 94%).
3. Die Ausnahmemonate März und Oktober zeigen grössere Bewölkungen als die der Regenzeit näher gelegenen Monate April und September, obschon die grössere Bewölkung sich nicht in Niederschlägen auswirkt. Ein Zusammenhang der März-Bewölkung mit der kleinen Regenzeit in Ostäthiopien (Einfluss des Indischen Ozeans) ist möglich, jedoch hier nicht mehr niederschlagswirksam (vgl. Gebiet III in Figur 8, S. 47).

Zum Tagesgang der Bewölkung:

1. In der Trockenzeit sind Morgennebel am Steilabfall im E möglich, die sich später auflösen (Beobachtung). Am Nachmittag können Schönwetterwolken entstehen, in die die Sonne gegen Abend eintaucht.

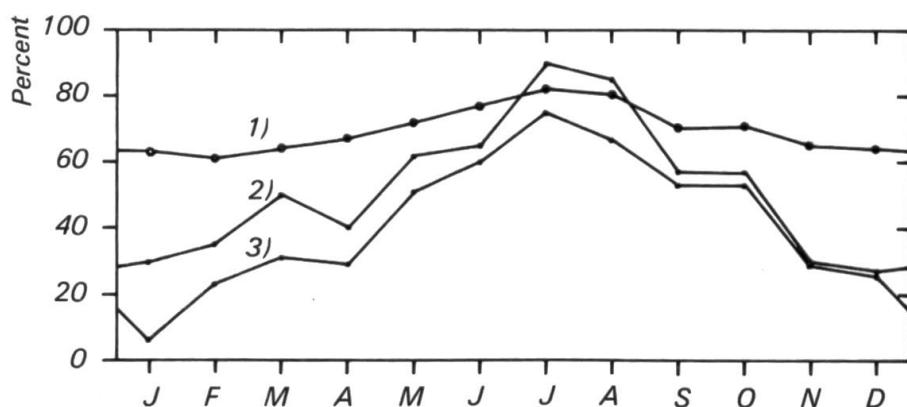


Figur 13 Isoplethendarstellung der relativen Sonnenscheindauer in Gich Camp, 3600 m, Semien, VI.1975 bis XII.1976. Aus der Differenz zu 100% ergibt diese Darstellung zugleich die Bewölkung von Sonnenaufgang bis zum -untergang.

Isopleths of relative sunshine duration at Gich Camp, 3600 m, Simen, VI.1975 to XII.1976. The difference to 100% gives the clouding between sunrise and sunset.

2. In den Übergangsmonaten zur Regenzeit verstärken sich die (in 1.) beschriebenen Wirkungen; Morgennebel lösen sich oft nicht auf, sondern werden von der Sonne überstiegen.
3. In der Regenzeit kommen häufig (40–60%) schöne Morgenstunden zwischen 7.30 Uhr und 9.30 Uhr vor, nachdem die Sonne aus der Bewölkung am E-Steilabfall aufgestiegen ist. Später am Tag (ab 10 Uhr) nimmt die Bewölkung stark zu, mit Niederschlägen bis in die Nacht hinein (vgl. 4.4, Figur 16).

Eine letzte Analyse soll die Bewölkungsbeobachtungen (1973/74) mit den Sonnenschein-Messungen (1975/76) vergleichen, um Unterschiede der Mess-Methode aufzuzeigen. Dabei haben wir die Beobachtungen der Bewölkung um 8, 13 und 18 Uhr monatsweise gemittelt und mit der mittleren monatlichen relativen Bewölkung der Sonne verglichen. Letzterer Begriff wurde definiert als Differenz der relativen Sonnenscheindauer zu 100%. Als Zusatzinformation haben wir auch die relative Luftfeuchtigkeit (in %) abgetragen. Figur 14 zeigt die bekannte Tatsache, dass Bewölkungs-Beobachtungen in der Regel zu hoch geschätzt werden. Während der Jahressgang trotz verschiedener Messjahre gleichsinnig verläuft, ist die Beobachtung bis zu 20% höher als die Messung. Die Aussagekraft solcher Beobachtungswerte ist aber bei Berücksichtigung dieser Überinterpretation erstaunlich hoch.



Legend: 1) Relative air moisture V. 1973-XII. 1976
 2) Observed clouding of the sky, V. 1973-I. 1975
 3) Relative clouding of the sun, VI. 1975-XII. 1976

Figur 14 Jahresgang der monatlichen Mittelwerte für relative Luftfeuchtigkeit, beobachtete und gemessene Bewölkung in Prozent in Gich Camp, 3600 m, Semien, für verschiedene Messperioden.

Mean monthly values for relative humidity, observed and measured clouding in percent at Gich Camp, 3600 m, Simen, for different periods.

4.3.2 Eine regionale Abschätzung von Sonnenschein und Bewölkung

Da Analysen von Sonnenscheindauer und Bewölkung einzig für Gich Camp (3600 m) vorliegen, beschränken wir uns nur darauf, die topographischen und klimatischen Einschränkungen der astronomischen Sonnenscheindauer regional abzuschätzen. Topographische Einschränkungen entstehen in steilen Hanglagen, also vor allem im Schatten der vielen Steilabfälle und rund um die obersten Gipfel. Es sind Unterschiede nach Exposition festzustellen, und zwar weniger zwischen N- und S-Expositionen (tropische Lage) als zwischen diesen und den W- und E-Expositionen, indem in steilen W- (resp. E-) Expositionen das Jahrestotal an effektiv möglicher Sonnenscheindauer wegen verzögertem Sonnenaufgang (resp. Untergang) geringer ist als in flachen W- (resp. E-) Expositionen, aber auch geringer als in steilen N- und S-Expositionen. W-exponierte Hänge haben zudem den doppelten Nachteil des geringeren Sonnenscheins am Morgen und der zunehmenden Bewölkung am Nachmittag.

Die klimatischen Einschränkungen der Sonnenscheindauer durch Bewölkung können regional so abgeschätzt werden, dass generell entlang der Steilabfälle und der Hochlandkanten im Norden mehr Nebel entsteht und somit weniger Sonnenscheindauer resultiert. Gich Camp liegt unweit einer solchen Kante und darf somit als repräsentativ für hohe Bewölkung in Semien gelten (andererseits ist Gich Camp durch die Hochlandlage topographisch wenig eingeschränkt). Die Bewölkungstendenzen auf dem Hochland (über 3000 m ü.M.) sind generell abnehmend von N nach S und von W nach E, und zunehmend mit der Höhe (letzteres gilt nicht für die Niederschlagsmengen, vgl. 4.4, S. 66). Zusammenfassend sind steile NW-Expositionen in Gipfelbereichen im N am meisten benachteiligt gegenüber flachen Hochland-Lagen im SE von Semien (Beyeda, vgl. Kartenbeilage 1:100 000).

4.4 Niederschlag

Die fünfjährige Messperiode der Niederschläge in Gich Camp erlaubt Analysen von Jahres- und Tagesgang, von Variabilität, Intensität und Wiederkehrperioden, von Erosivität, Energie und Niederschlagsart (Regen, Hagel, Schnee). Die Messungen von 24 Stationen in und um Semien im Jahre 1973 können für eine horizontale und vertikale Analyse der regionalen Niederschlagsstruktur verwendet werden.

4.4.1 Die Niederschlagsstruktur von Semien

Anhand der Daten, die uns zur Verfügung stehen, wollen wir versuchen, die Niederschläge in und um Semien nach Jahresgang, regionaler Verteilung und nach Höhenstufung zu beschreiben. Leider fehlen genügend Daten für das Erstellen einer Niederschlagskarte von Semien.

Zum Jahresgang und zur horizontalen Gliederung:

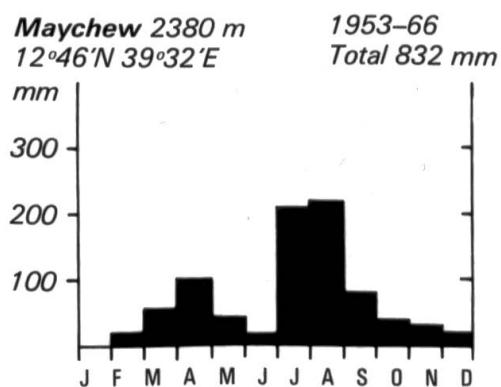
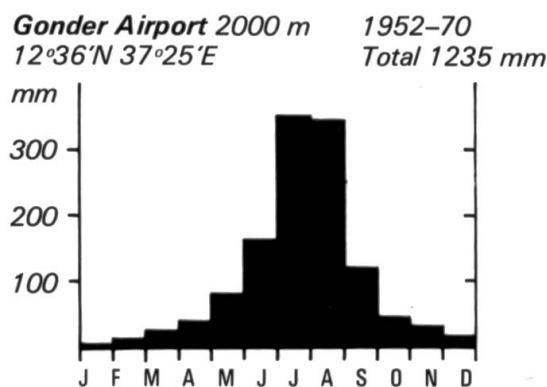
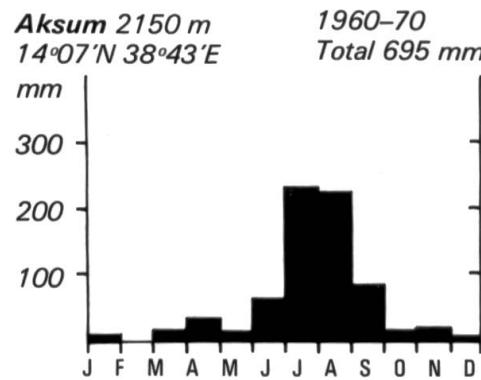
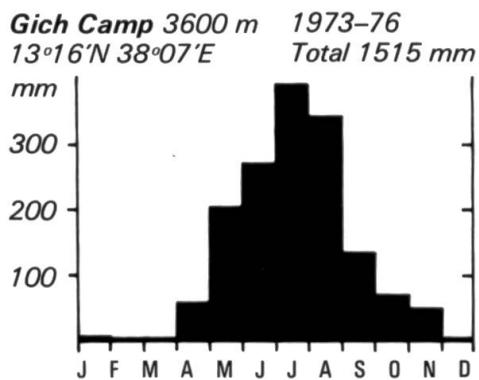
Semien liegt im Dreieck Gonder (Provinz Gonder), Maychew (Wello) und Aksum (Tigray). Die Niederschlagsdiagramme dieser drei Stationen aus dem Messnetz der *Civil Aviation Administration* dürfen als repräsentativ für ihr Gebiet angesehen werden. Sie zeigen deutliche Unterschiede in Figur 15:

- Gonder im SW hat eine grosse Regenzeit (Mai/Juni bis September);
- Maychew im SE hat zwei Regenzeiten: eine grössere (Juli bis September) und eine kleinere (März/April), erhält aber im Jahrestotal nur 2/3 des Niederschlages von Gonder;
- in Aksum im N ist die kleine Regenzeit kaum noch wirksam, die stark abgeschwächte grosse Regenzeit bringt noch die Hälfte des Niederschlages von Gonder.

Eine eigentliche kleine Regenzeit, wie sie in Ostgebieten Äthiopiens wirksam ist, existiert also in Semien nicht. Die für diese kleine Regenzeit verantwortlichen feuchten SE-Winde dringen meist nicht weit genug nach Westen ins Hochland ein. Sie lassen ihre Feuchtigkeit an den ersten Bergzügen des Ost-Abbruchs zurück. Eine Trennlinie zwischen dem Gebiet im Osten mit zwei und demjenigen im Westen mit nur einer Regenzeit verläuft für die Breiten von 10° N bis 15° N ungefähr entlang 39° E, also noch östlich des Tekeze-Einschnittes.

In Semien und den umliegenden Gebieten fehlen bis heute langjährige Messreihen eines genügend dichten Messnetzes. Vollständig haben wir von der *National Water Resources Commission* bis jetzt nur die Resultate des Jahres 1973 erhalten. Danach lassen sich in und um Semien vier Niederschlagsgebiete mit 1400 mm und mehr (für 1973) feststellen:

1. in Hoch-Semien (Messstationen im NW-Teil);
2. im «Tiefland» (Höhen unter 2000 m) vor dem Nordabfall Hoch-Semien;
3. entlang des Höhenzuges von Adi Remetse;
4. um Gonder;

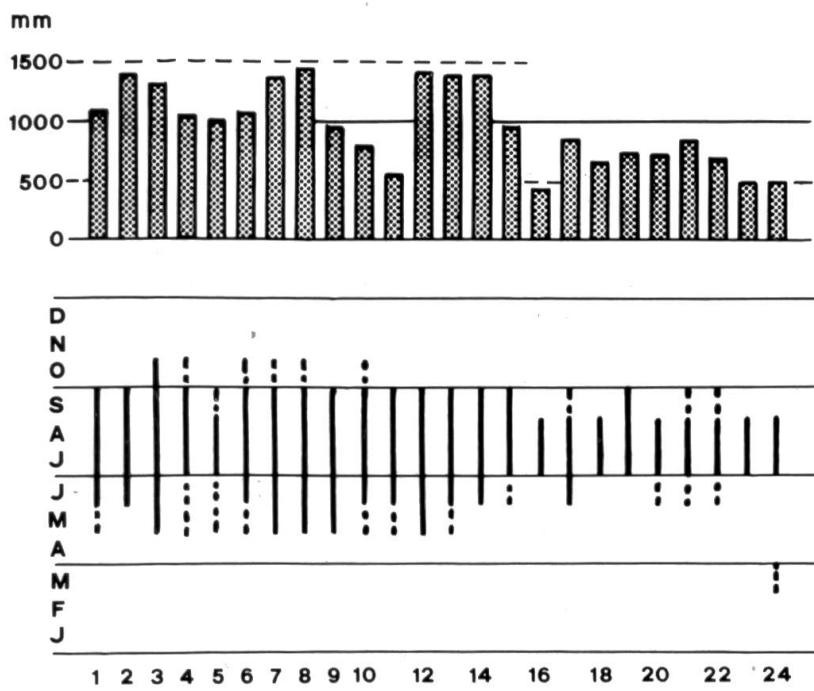
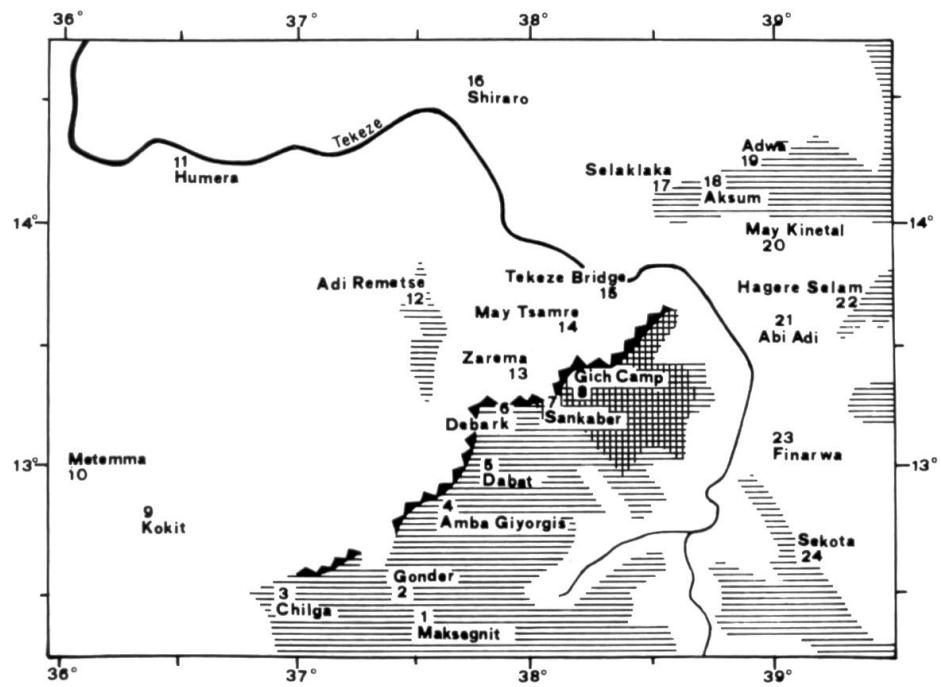


Figur 15 Mittlere monatliche Niederschlagsmengen der Klimastationen Gich Camp, Aksum, Gonder und Maychew während unterschiedlicher Messperioden.

Mean monthly rainfall amounts at Gich Camp and three surrounding stations for different periods measured.

Die Gebiete 2 bis 4 liegen im Luv der feuchtigkeitbringenden SW-Winde, Hoch-Semien (Gebiet 1) im Luv der von den SW-Winden die Feuchtigkeit in der Höhe übernehmenden N- bis E-Winde. Für Semien lässt sich daraus schliessen:

1. die feuchtesten Gebiete Semiens liegen im Tiefland und im Hochland entlang des Nordwestabfalls (dazwischen, im Höhenbereich von 2300 bis 3000 m des Steilabfalls liegt vermutlich eine Zone geringeren Niederschlags);
2. der Niederschlag nimmt in Hoch-Semien generell von Nordost nach Südwest ab, als Folge der Feuchtigkeitszufuhr durch den NE-Passat;
3. an der Ostflanke Hoch-Semien setzt die Regenzeit später ein, da im Mai/Juni die feuchten SW-Monsune im Norden nicht genügend weit nach Osten vordringen. Wenn dann im Juli und August ganz Hoch-Semien von den feuchten Winden umschlossen ist, erhält auch die Ostflanke beträchtliche Niederschlagsmengen.



Legend:

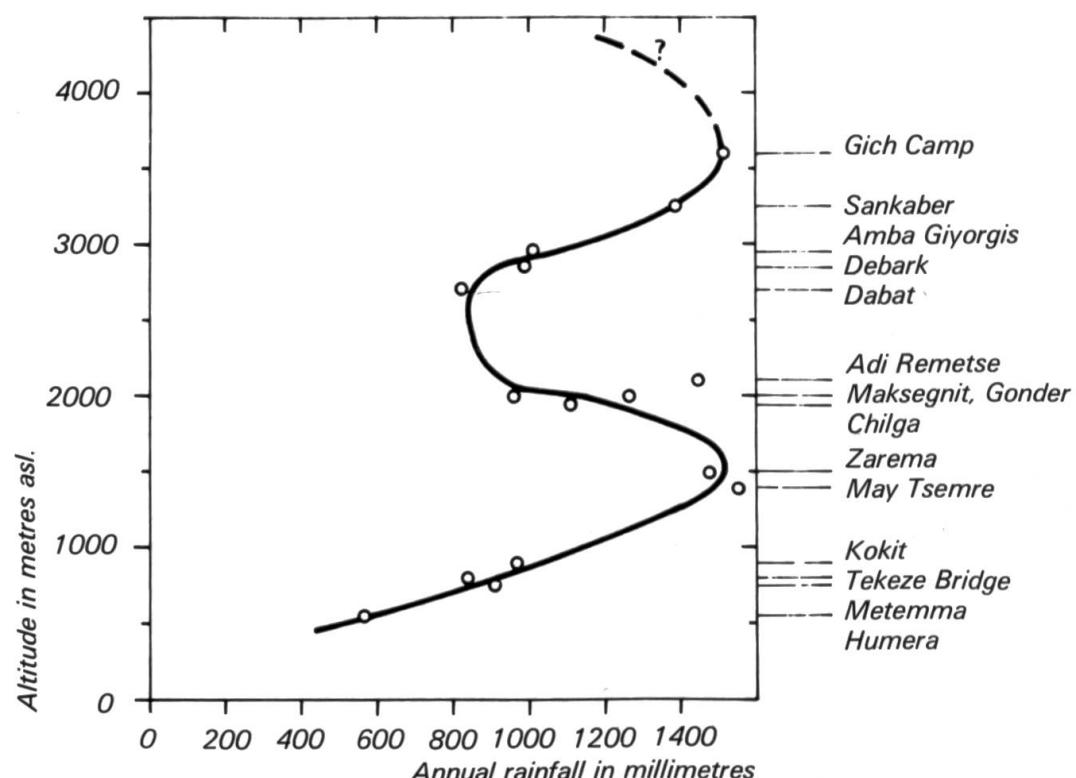
- ≡ Areas above 2000 m asl.
- Escarpment
- ☰ Rainy season
- #+#+ Areas above 3000 m asl.
- Total of precipitation for 1973

Figur 16 Horizontale Verteilung des Niederschlages in Semien und Umgebung für 1973. Zusammengestellt nach Daten der National Water Resources Commission, Addis Abeba und eigenen Messungen.

Horizontal distribution of rainfall in Simen and surrounding area for 1973, compiled from data of the National Water Resources Commission, Addis Abeba, and the authors' recordings.

Zur vertikalen Gliederung Semiens

Für Semien und die im Südwesten angrenzenden Gebiete (genau: für einen Streifen des Hoch- und Tieflandes entlang des Steilabfalls) ergibt sich aufgrund der vollständigen Resultate von 1973 und weiterer zum Teil lückenhafter Daten von 1974 und früherer Jahre folgende vertikale Gliederung (Figur 17):



Figur 17 Vertikale Niederschlagsverteilung der Klimastationen von Semien (und Gonder) für 1970 bis 1974 (Messjahre nicht immer vollständig). Höhenabhängigkeit von Auge korreliert.

Vertical distribution of rainfall in Simen District and Gonder Region for 1970 to 1974 (incomplete). Altitudinal correlation drawn by hand.

- Zunahme der Niederschlagsmenge mit der Höhe bis zu einem ersten Maximum bei etwa 1500 m;
- anschliessend Abnahme bis gegen 2800 m und
- erneute Zunahme über 3000 m mit einem zweiten Maximum. Über dessen Höhe kann keine Aussage gemacht werden, da Messstationen über 3600 m fehlen. Es darf aber angenommen werden, dass die Niederschlagsmenge in diesen Höhen nicht mehr wesentlich variiert und mit zunehmender Höhe über 3600 m wieder abnimmt.

Dieses Resultat lässt sich mit analogen Ergebnissen aus Mittel- und Südamerika vergleichen (R. D. SCHMIDT 1952; S. HASTENRAHT 1967; H. FLOHN 1968; W. WEISCHET 1965 und 1969; W. LAUER 1973 und 1975).

Aus einem Niederschlagsprofil durch Zentralkolumbien zieht WEISCHET (1965: 295/96) den Schluss, dass über einer ersten Stufe maximaler Niederschlagsmenge

zwischen 900 und 1400 m ü. M. zuerst eine kontinuierliche Abnahme eintritt, zwischen 2600 und 3300 m ü. M. sich aber eine ansehnliche Zunahme zu einem sekundären Maximum einstellt. Er bezeichnet diese zweite, höhere Stufe maximaler Niederschlagsmenge als «Randschwellen-Maximum tropischer Hochebenen», was er auf die verstärkte Konvektion am Rande der als Heizfläche wirkenden Hochplateaus zurückführt. In den mexikanischen Anden treten maximale Niederschlagsmengen bereits in Höhen zwischen 600 und 1400 m ü. M. ein (W. LAUER 1975: 84), darüber liegt ein schwaches sekundäres Maximum bei zirka 3000 m ü. M. In Semien liegen die beiden Zonen maximaler Niederschlagsmenge allerdings um ca. 500 m höher als in den kolumbianischen und mexikanischen Anden. W. LAUER (1975: 89) weist in diesem Zusammenhang aber darauf hin, dass die Stufen maximaler Niederschlagsmengen der randlichen Tropen umso höher liegen, je trockener die Fusszone ist.

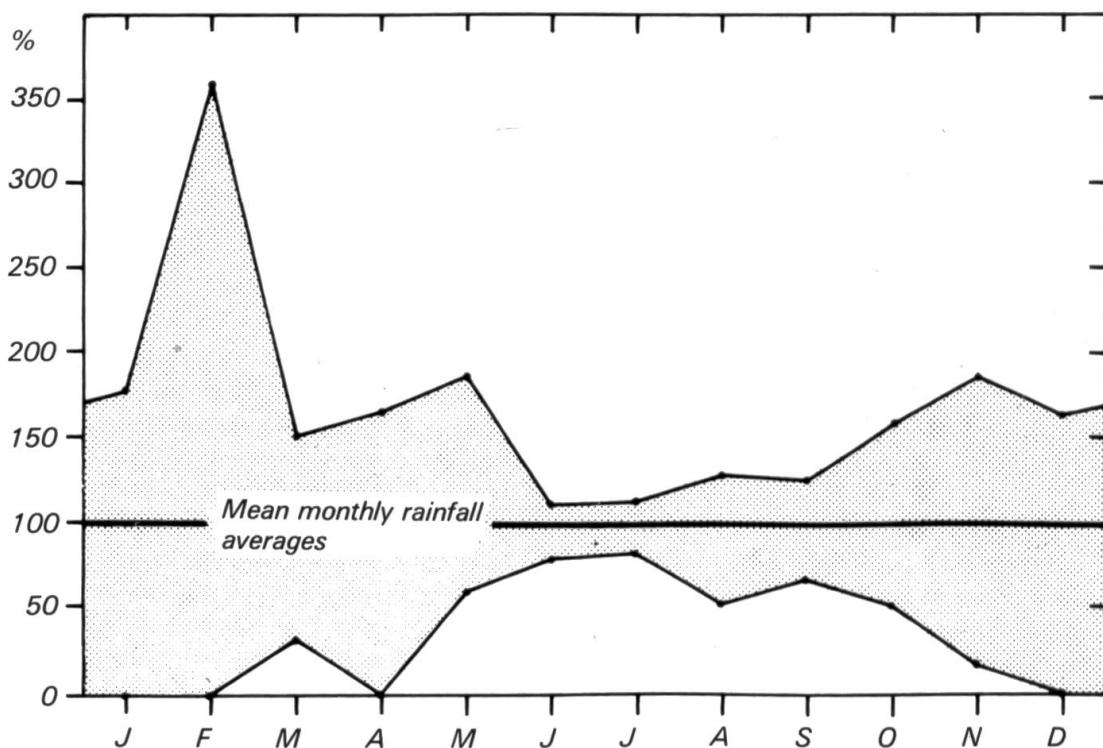
Interessant ist die Frage, aus welchen Wolkenschichten und zu welchen Tageszeiten die beiden Zonen maximaler Menge den Niederschlag erhalten. Aus den Arbeiten von W. LAUER (1975) und W. WEISCHET (1969) kann auch für Semien abgeleitet werden, dass für das Maximum der untern Zone ein tieferes Kondensationsniveau auf zirka 1800 bis 2000 m, für das Maximum des Hochplateaus aber ein höheres auf 3600 bis 4000 m verantwortlich ist (vgl. dazu J. HOEVERMANN 1961: 124). Die tiefere Wolkenschicht konnten wir als Nebel entlang des Steilabfalls von Gich Camp aus während der ganzen Regenzeit täglich beobachten (vgl. Bild 5, S. 32). Häufig wurden von den N- bis E-Winden Nebelschwaden über den Plateaurand getrieben. Sankaber, direkt am Plateaurand auf 3240 m ü. M. liegend, verzeichnete während den zwei Regenzeiten 102 (1973) und 105 (1974) Nebeltage, während Gich Camp auf 3600 m ü. M. und zirka 1 km vom Plateaurand entfernt relativ selten in Nebel gehüllt war (1973: 19; 1974: 25 Nebeltage).

Ausser für Gich Camp war es bis jetzt nicht möglich, für andere Stationen eine Analyse über die Tageszeitverteilung des Niederschlages zu machen. MESFIN WOLDE MARIAM (1972: 64) kommt aus seinen Beobachtungen für Stationen unterhalb 2500 m zur allgemeinen Bemerkung: «*The Ethiopian rainfall, particularly the summer rainfall, is of the thunderstorm type, coming in heavy showers and being of short duration. It is not uncommon to have a very heavy downpour almost immediately followed by bright sunshine.*» J.F. GRIFFITHS (1972: 377) gibt für das Hochland von Äthiopien durchschnittlich 90–100 Gewittertage pro Jahr an; G. ATTLEE (1964) kommt für Asmara sogar auf deren 112 (Durchschnitt der Jahre 1950 bis 1959). Es kann daraus geschlossen werden, dass die Gebiete der untern Maximum-Zone den Niederschlag in Form von konvektiven nachmittäglichen Gewitterregen erhalten. Die maximalen Niederschlagsmengen der höhern Zone um 3500 m ü. M. sind hingegen auf die vormitternächtlichen Regen zurückzuführen, die nach Sonnenuntergang mit der starken Abkühlung der Luft einsetzen und über mehrere Stunden anhalten. Dabei fällt vor allem auch advektiv zugeführte Feuchtigkeit über dem Hochplateau aus.

4.4.2 Auswertung der eigenen Messreihen und Beobachtungen von Gich Camp

Der mittlere Jahresgang der monatlichen Niederschläge von Gich Camp ist im Klimadiagramm (Figur 9, S. 53) dargestellt. Darin wird deutlich, dass 98% der Niederschläge in den Monaten April bis November fallen. Die Zeitspanne Mai bis Oktober, die wir als Regenzeit ansprechen, beinhaltet immer noch 93% der Niederschläge. Die Hauptmonate Juni bis September vereinigen 75% der Niederschläge.

Eine wichtige Zusatzinformation über die Variabilität der Niederschläge innerhalb der 5 Messjahre ist in Figur 18 enthalten. Hier sind die maximalen Abweichun-



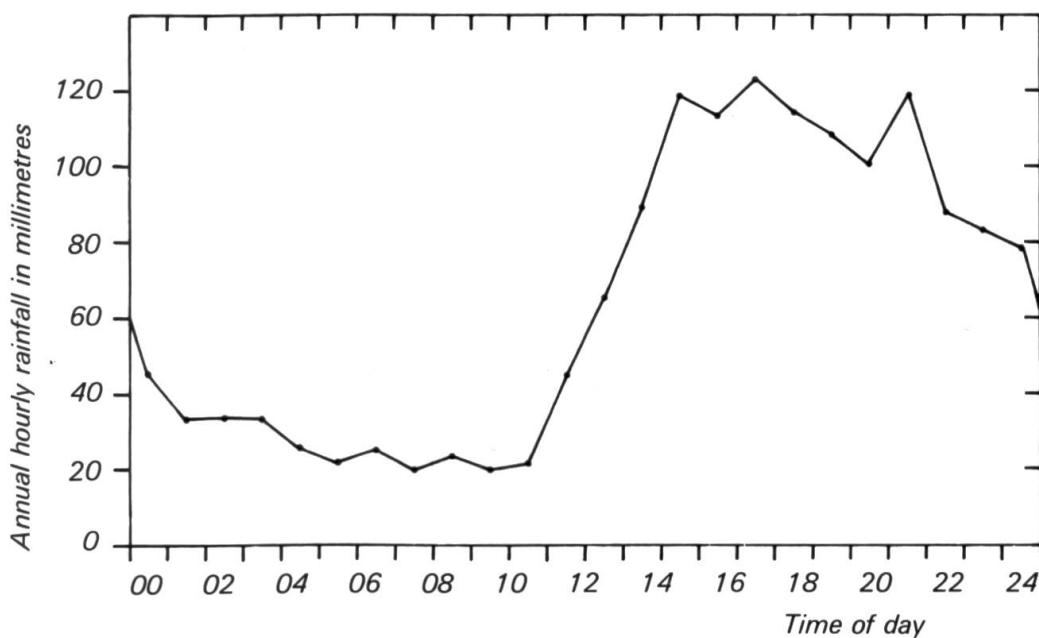
Figur 18 Maximale Schwankungsbereiche der monatlichen Niederschlagsmengen in Prozent der 5jährigen Monatsmittelwerte (= 100%), Gich Camp, 3600 m, Semien, 1968, 1973 bis 1976.

Maximum variability of monthly rainfall totals in percent of their 5-year average (= 100%), at Gich Camp, 3600 m, Simen, 1968, 1973 to 1976.

gen der Monatssummen einzelner Jahre vom Mittelwert in Prozent dargestellt. Die grössten maximalen Abweichungen kommen in den Trockenmonaten mit geringsten Monatssummen vor. Agroklimatisch ist diese Aussage vor allem für die Monate April/Mai (Aussaat) und November/Dezember relevant (Reifeperiode der Gerste). Schwankungen sowohl nach oben wie auch nach unten wirken sich negativ auf die Gerstenproduktion aus. Nach Aussagen von Bauern war beispielsweise die Ernte 1973 nach einem «trockenen» Mai (120 mm) gut, während sie 1974 nach einem sehr nassen Mai (378 mm) so schlecht ausfiel, dass der Selbstbedarf nicht in allen Familien gedeckt war.

Die grossen Niederschlags-Differenzen zu Beginn der Regenzeit dürften auf zeitliche Schwankungen der Süd-Nord-Verschiebung der I.T.C.Z. zurückzuführen

sein. Eine sehr frühe und plötzliche Verschiebung und die damit verbundene Feuchtigkeitszufuhr durch den SW-Monsun wird ein schlagartiges und heftiges Einsetzen der Regenzeit bewirken, während bei langsamem Vordringen der I.T.C.Z. die Sommerregen in Semien über einige Wochen verteilt allmählich beginnen. Die Variabilität der Jahresniederschläge schwankt zwischen +5% und -11%, sie ist relativ stabil und für Ackerbau ohne Bewässerung sicherlich ausreichend. Der Tagesgang der Niederschläge von Gich Camp steht in engem Zusammenhang mit der Niederschlagsrichtung aus NE und ist atypisch für die tropische Situation. Für die Analyse von Figur 19 haben wir die Niederschlagsmengen der Messperiode 1973 bis 1976 für jede Tagesstunde summiert und gemittelt. Figur 19 zeigt, dass die Nie-

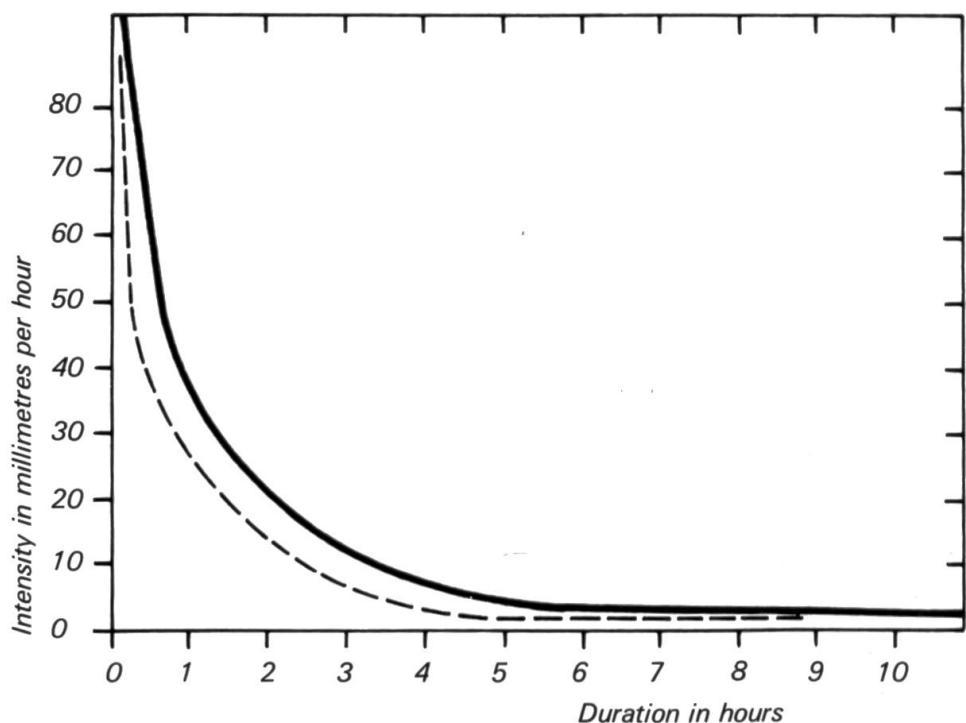


Figur 19 Tagesgang der mittleren jährlichen Niederschlagsmengen in Gich Camp, 3600 m, Semien, 1973 bis 1976.

Interpolated hourly totals of mean annual rainfall at Gich Camp, 3600 m, Simen, 1973 to 1976.

Niederschläge zwischen 14 bis 16 Uhr zwar ein Maximum haben, dass sie aber dann nur schwach abnehmen, zwischen 20 und 21 Uhr einen zweiten Spitzenwert aufweisen und erst gegen Mitternacht stark abnehmen. Messungen der mittleren Niederschlagsrichtung einzelner Ereignisse 1976 zeigen eine einheitliche Richtung aus NE mit der starken Neigung von 76° im Mittel (H. HURNI, in Vorb.). Diese Daten verdeutlichen den advektiven Charakter der Niederschläge, die dem Hochland zugeführt wurden und vor allem durch die starke Abkühlung der Luft nach Sonnenuntergang ausgelöst werden.

Die Intensitäten der Niederschlagsereignisse oder Teile derselben sind in Figur 20 dargestellt. Die Analyse ging so, dass die Ereignisse in Klassen gleicher Intensität aufgeteilt wurden, die dann bestimmt und als Funktion ihrer Dauer abgetragen wurden (349 Werte). Zusätzlich wurde dann von Auge eine Kurve gezogen, die zirka 95% der Messwerte abgrenzt. Figur 20 zeigt, dass stündliche Schauer mit über 50 mm Niederschlag sehr selten vorkommen. Hohe Intensitäten dauern nur sehr



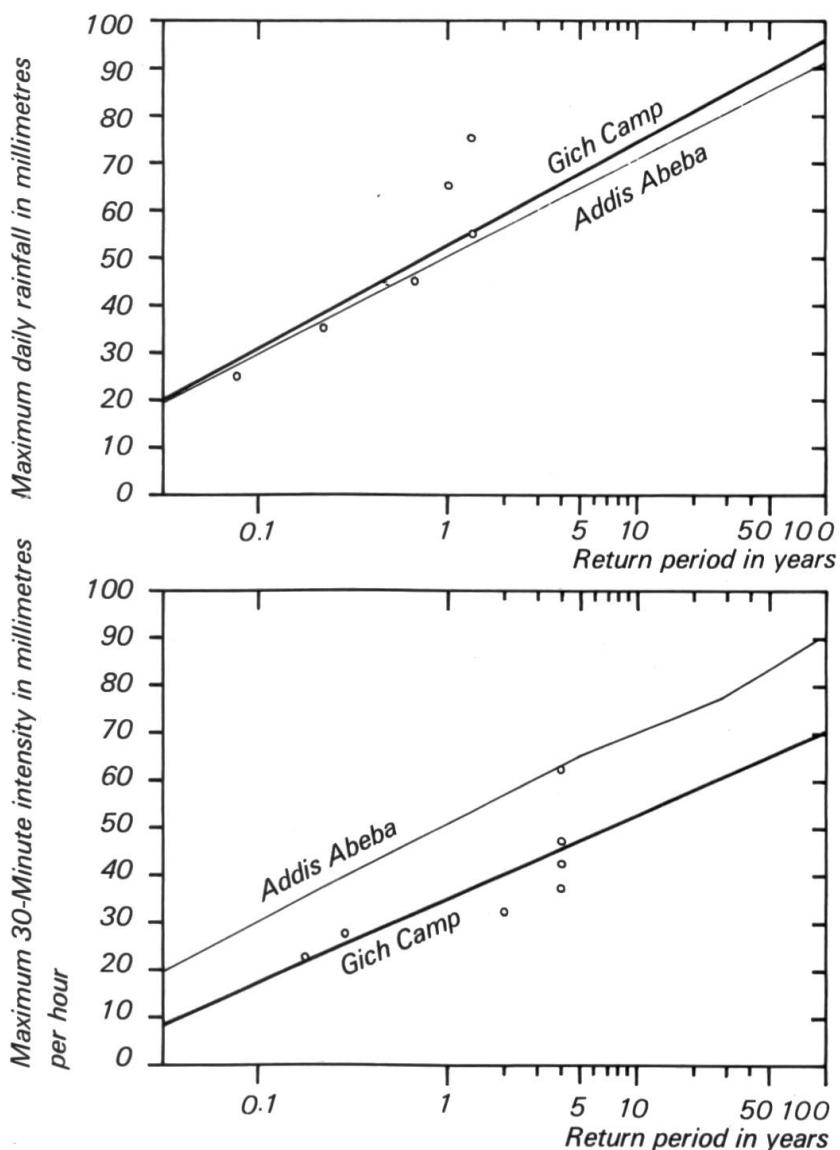
Figur 20 Kurven maximaler Intensitäten als Funktion der Niederschlagsdauer dieser Intensitätsklasse. Unterhalb der dick ausgezogenen Kurve liegen 100%, unterhalb der gestrichelten Linie 95% aller Intensitätswerte der 4 Messjahre. Gich Camp, 3600 m, Semien, 1973 bis 1976.

Curves of maximum intensities of rainfall dependent on the duration of a rainfall with that intensity. Below the accentuated line are 100%, below the dashed line 95% of all measured intensities of the four recorded years at Gich Camp, 3600 m, Simen, 1973 to 1976.

kurze Zeit an, obschon gerade die maximalen 30 Min.-Intensitäten (hier zirka 40 mm pro Std.) für die Analyse der Bodenerosionsprozesse sehr wichtig sind.

Wir haben versucht, trotz der sehr kurzen Messreihe von nur 4 Jahren auch die Wiederkehrperioden von maximalen Niederschlagsereignissen mit einer vereinfachten Methode nach E.J. GUMBEL (1958) zu analysieren. Die Aussagen von Figur 21 haben nur sehr bedingten Wert, indem sehr grosse Schwankungsmöglichkeiten bestehen. Die Geraden in den graphischen Darstellungen entstanden durch Übertragen der relativen Häufigkeit der einzelnen Niederschlags- oder Intensitätsklassen auf halblogarithmisches Papier und durch lineare Korrelation dieser Werte. Tageshöchtniederschläge sind vergleichbar mit denen von Addis Abeba (W. CLYMA, 1966: 31), indem eine Menge von 80 mm nur etwa alle 10 Jahre einmal zu erwarten ist. Die maximalen 30 Min.-Intensitäten von Gich Camp liegen dagegen deutlich tiefer, dies wohl wegen der geringeren Heftigkeit der Niederschläge am Abend im Vergleich zu den Nachmittagniederschlägen in Addis Abeba.

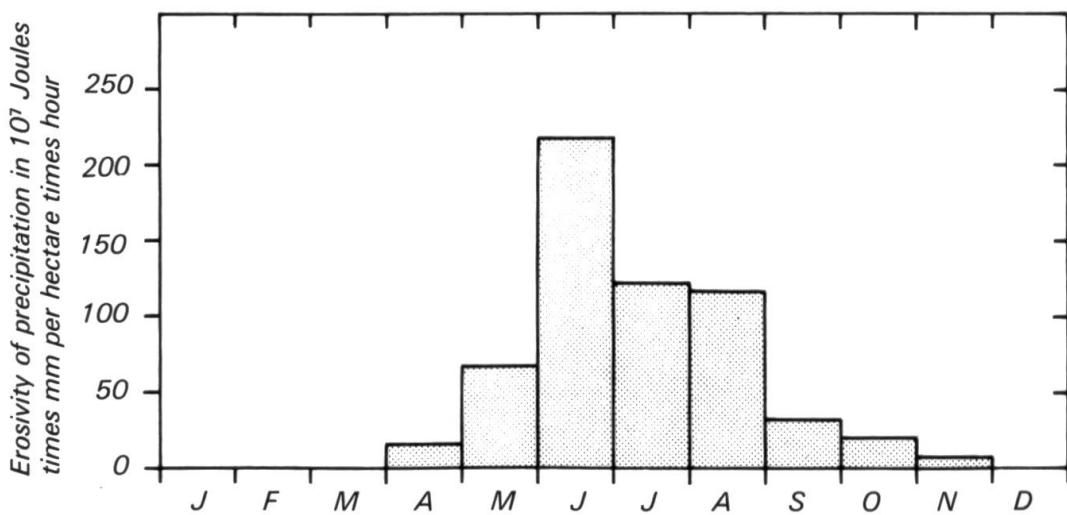
Die Berechnung der Erosivität (R) der Niederschläge zur Erfassung der Bodenerosionsprozesse geschieht je nach Region und Autor durch unterschiedliche Berechnungsarten. Die häufigste Art ist die von W.H. WISCHMEIER et al. (1958), die die Erosivität eines Ereignisses (über 12.5 mm Menge) als das Produkt der kinetischen Energie (E) der fallenden Tropfen mal die maximale 30 Min.-Intensität ($I(30)$) definierten, der $EI[30]$ -Index. Andere Autoren nehmen nur die Energie der Inten-



Figur 21 Wiederkehrperioden der Tageshöchtniederschläge und der maximalen 30-Minuten-Intensitäten in Gich Camp, 3600 m, Semien, 1973 bis 1976. Zusätzlich angegeben sind die Vergleichsanalysen von Addis Abeba nach W. CLYMA (1966). Die Kreise zeigen die für die Analyse von Gich Camp verwendeten Werte.

Return periods of maximum daily rainfall and maximum 30-Minute rainfall at Gich Camp, 3600 m, Simen, 1973 to 1976. For comparison, analyses of Addis Abeba are given after W. CLYMA, 1966. Circles indicate the values used for analysis at Gich Camp.

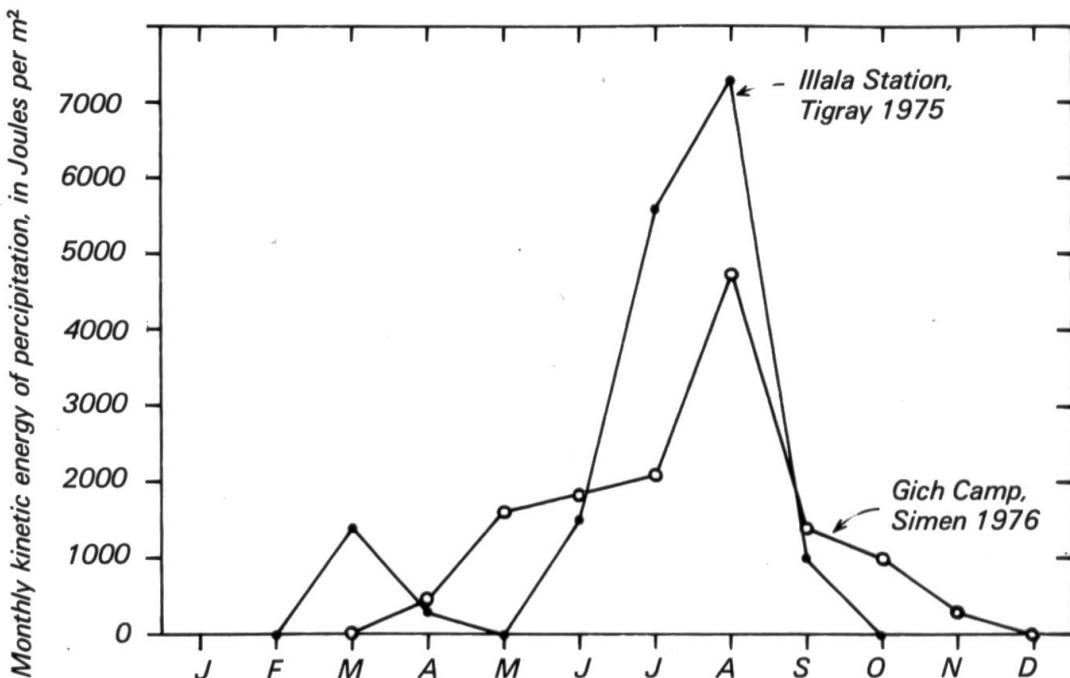
sitätsklassen über 25 mm pro Std. (N. HUDSON, 1971): $KE > 25$ mm-Index. Erosionsmessungen in Gich Camp zeigen, dass der Bodenabtrag am besten mit einem modifizierten EI(30)-Index korreliert werden kann, bei dem alle Ereignisse über 1 mm Menge einbezogen werden, dem $EI(30) > 1$ mm-Index (Hagelereignisse speziell berücksichtigt) (H. HURNI, in Vorb.). Figur 22 zeigt die berechneten mittleren Monatswerte der Erosivität mit dem $EI(30) > 1$ mm-Index für die Messperiode 1973 bis 1976. Der Monat Juni hat deutlich die grösste Erosivität, verursacht durch zahlreiche Niederschlagsereignisse mit Hagel (siehe weiter unten). Da im Juni die Gerstensprösslinge noch klein sind, resultiert hier auch der grösste Bodenabtrag (zirka 40% des Jahrestotals).



Figur 22 Mittlere Monatssummen der Erosivität R der Niederschläge von Gich Camp, 3600 m, Semien, 1973 bis 1976 (H. HURNI, in Vorb., Index für R modifiziert nach W.H. WISCHMEIER, et al., 1958).

Mean monthly totals of erosivity R of precipitation at Gich Camp, 3600 m, Simen, 1973 to 1976 (H. HURNI, in prep., index modified from W.H. WISCHMEIER et al., 1958).

Ein Vergleich mit den Niederschlagsenergien von Mekelle (Tigray) von K.J. VIRGO und R.N. MUNRO (1978) ist sehr aufschlussreich. Da die Autoren den KE > 25 mm-Index gewählt haben (ohne seine Korrelierbarkeit mit Erosionsmessungen zu überprüfen), mussten wir für Semien dieselben Werte berechnen (für 1976) (Figur 23). Als erstes überrascht die hohe Jahressumme an kinetischer Energie von



Figur 23 Jahresgang der Monatssummen der kinetischen Energie KE der Starkniederschläge mit Intensitäten über 25 mm pro Stunde für Gich Camp und Illala Station (Index nach N. HUDSON, 1971).

Interpolated monthly totals of kinetic energies KE of high intensity precipitation over 25 mm per hour, at Gich Camp and Illala Station (Index from N. HUDSON, 1971).

über 17 000 Joules pro m² bei nur 800 mm Niederschlag in Tigray. Von diesen Niederschlägen waren denn auch 75% «erosiv», d.h. fielen in Intensitäten über 25 mm pro Std. Anders in Gich Camp, wo nur etwas über 13 000 Joules pro m² bei einer fast doppelten Niederschlagsmenge (1586 mm) berechnet wurden. In unserem Fall aber fielen nur 33% der Niederschläge mit Intensitäten über 25 mm pro Std. Der Unterschied mag darin liegen, dass das Plateau von Mekele (2000–2800 m ü. M.) in der tieferen Niederschlagsschicht unter dem direkten Einfluss der SW-Monsune im Sommer mit typisch tropischen Nachmittagsgewittern grosser Intensität liegt.

Am Schluss dieses Abschnittes wollen wir noch die Frage der Niederschlagsart, im Speziellen das Auftreten von Hagel und Schnee diskutieren.

Hagelereignisse kommen auf dem Hochland während der Regenzeit häufig vor. Sie sind zumeist eine Mischung von Regentropfen und Hagelkörnern, deren Durchmesser 3–5 mm beträgt. In den vier Messjahren hagelte es total zirka 60 mal in Gich Camp, also im Durchschnitt 15 Hagelereignisse pro Regenzeit (min. 11 bis max. 18). Am meisten Hagelfälle wurden im Juni beobachtet (32% der Fälle), im Juli waren es 22%, im Mai und August je 15%. Der Rest verteilte sich auf April und September bis November (total 16%). Dass Hagelereignisse am meisten Bodenerosion verursachen, zeigten die Abtragsmessungen 1976 (H. HURNI, in Vorb.). Von den total zirka 50 Niederschlagsereignissen mit Bodenabtrag waren 11 Hagelereignisse. Die Erosivitätssumme dieser 11 Ereignisse betrug aber $R = 590$ (10^7 Joules mal mm pro ha mal Std.) oder zirka 75% der Jahressumme! Das heisst, dass mehr als drei Viertel des Bodenabtrages von einem Viertel aller Ereignisse verursacht wurde, da die Hagelereignisse zusätzlich in den Monaten mit geringer Pflanzenbedeckung der Gerstenfelder am häufigsten vorkamen (Juni/Juli).

Schneefall haben wir auf der Höhenstufe von Gich Camp (3600 m) nie beobachtet. Der zirka 50jährige Wildhüter Wussen Hassen erinnerte sich jedoch, als Knabe einmal auf den Erhebungen um Gich Camp (3700 bis 3900 m) Schneefall erlebt zu haben (im Unterschied zu den häufigen Hagelfällen). Tatsächlich kommt es auf den höchsten Erhebungen von Semien alljährlich zu Niederschlägen in Form von Schnee in den Höhenstufen oberhalb 4000 m. Wir werden weiter unten Beispiele aufführen. Die heutige Schneegrenze liegt jedoch weit oberhalb der Gipfel bei zirka 5000 m (vgl. J. BUEDEL, 1954: 146; H. HURNI, 1981b; Kapitel 5.7, S. 128).

Über die Frage, ob Schwankungen der Schneegrenze in historischer Zeit bis unterhalb der Gipfel vorkamen, kann sicher verneint werden, denn es gibt bei kritischer Durchsicht der Literaturhinweise der letzten 1500 Jahre kein zwingendes Indiz einer ganzjährigen Schneedecke. Im Gegensatz zu J. HOEVERMANN (1954), der aus den Literaturhinweisen sogar auf eine Gipfelvergletscherung bis ins 19. Jh. schliesst, wissen wir heute aufgrund von ¹⁴C-Datierungen mit Sicherheit, dass die obersten Gipfel von Semien seit mehr als 4120 Jahren, wahrscheinlich seit 10 000 bis 14 000 Jahren keine Vergletscherung mehr hatten (vgl. 5.8.1, S. 136). F.J. SIMOONS (1960) hat die Belege für Schneefälle in Äthiopien mit Literaturhinweisen sehr gut zusammengestellt. Demnach sind in den letzten 2000 Jahren immer wieder Schneefälle bis in unterschiedliche Höhenlagen vorgekommen und haben mehrere Tage (bis Wochen) überdauert. Berichte über ganzjährige Schneedecken erfolgten meist von Reisenden, die Semien nur aus grösserer Entfernung beobachteten und aus den für Afrika kalten Winden zusammen mit den gelegentlichen Hagel- oder

Schneeflecken oder sogar den hell schimmernden Kurzgrassteppen in den Gipfelbereichen auf eine solche schlossen.

Nachweisbar Schneefall erlebt haben die Reisenden N. PEARCE (in H. SALT, 1814: 283) am 18.10.1807 vermutlich am Pass zwischen Bwahit und Mesarerya (4200 m) und E. RUEPELL (1838: 404) am Silki (4200 m) im Juli 1832. In den letzten Jahren waren es J. WERDECKER der in Semien auf seinen fünf Reisen zwischen 1954 und 1964 zweimal am Ras Dejen und einmal am Bwahit Schneefall erlebte; weiter B. NIEVERGELT (1981: 11), der am 23.11.1968 um zirka 17.30 Uhr an der Westseite des Silki (ca. 3800 m) Schneefall erlebte, und einer der Autoren, H. HURNI, der am 10.2.1976 am Tefew Leser (2.5 km NE Ras Dejen) auf 4200 m zwischen 14 und 17 Uhr einen gewitterartigen Schneefall erlebte (Bild 6). Im letzten Fall bestand die Schneeart aus körnigem Nassschnee mit deutlichen Kristallen einfacher Struktur. Die Verdichtung der Schneedecke von 8 cm beim Auftauen betrug zirka 1:4, im Gegensatz zu normalen Schneedecken, die etwa 1:10 verdichten. Der gesamte Niederschlag, der bezeichnend für diese Jahreszeit aus S bis SE kam (vgl. kleine Regenzeit in Ostäthiopien im März), betrug zirka 15 mm Menge in drei Stunden. Es wurden nur Höhenstufen oberhalb 4000 m des Ras Dejen-Massivs betroffen (zirka 50 km² total von Schnee bedeckte Fläche). Am nächsten Tag (11.2.76) löste sich die Schneedecke auf den flachen SE-Expositionen unter der starken Sonneneinstrahlung nach sulzartiger Verdichtung fleckenartig auf, während einzelne Flächen in steilen NW-Expositionen fast eine Woche lang erhalten blieben (Bild 7). Die offizielle amharische Sprache kennt keinen Begriff für Schnee. Der oft fälschlicherweise als «Schnee» übersetzte Begriff «beredo» ist in Wirklichkeit Hagel. Sehr lokal für einzelne Massive in Semien konnten wir aber amharische Namen für Schnee eruieren. Am zitierten 10.2.76 beispielsweise nannten Einheimische diese Form von Niederschlag «shehate» im Gegensatz zu «beredo». Auch der Begriff «latka» existiert für Schnee. Bereits in Debark sind jedoch beide Begriffe den dort lebenden Einheimischen unbekannt.

4.5 Temperatur

4.5.1 Analyse der Temperaturmessungen

Es stehen Daten von 4 Stationen in verschiedenen Höhenstufen zur Verfügung: Gonder (2000 m), Debark (2860 m), Sankaber (3240 m) und Gich Camp (3600 m). Wie schon am Beispiel von Gich Camp in Figur 9 (S. 53) zitiert, handelt es sich beim Klima von Semien um ein Tageszeitenklima, indem die täglichen Temperaturschwankungen grösser sind als die Schwankungen der Monatsmitteltemperaturen innerhalb eines Jahres. In Figur 24 kann diese Aussage noch etwas differenziert werden. Für die Analyse sind hier die Monatsmittelwerte der täglichen Maximal- und Minimaltemperaturen sowie der mittleren Tagestemperaturen (Ablesung von den Messstreifen in 2-Stunden-Intervallen) für die jeweiligen Messperioden abgetragen und linear interpoliert worden. Zu verarbeiten waren für die Graphik von Gich Camp zirka (1300 Tage x 14 Werte =) 18 000 Tabellenwerte, für Sankaber zirka 9000 und für Debark zirka 5800 Tabellenwerte. Die Angaben für Gonder 1974 stammen von der *Civil Aviation Administration*.



Bild 6 Zusammenklebender Schnee während des Schneefall-Ereignisses vom 10.2.1976 auf der E-Seite des Tefew Leser (Ras Dejen-Gruppe) in 4200 m Höhe. Zirka 16 Uhr.

H. HURNI

Snow clinging to Lobelias during a snowfall on 10 February 1976. On the Eastern side of Tefew Leser (Ras Dejen) at 4200 m, at 4 pm.

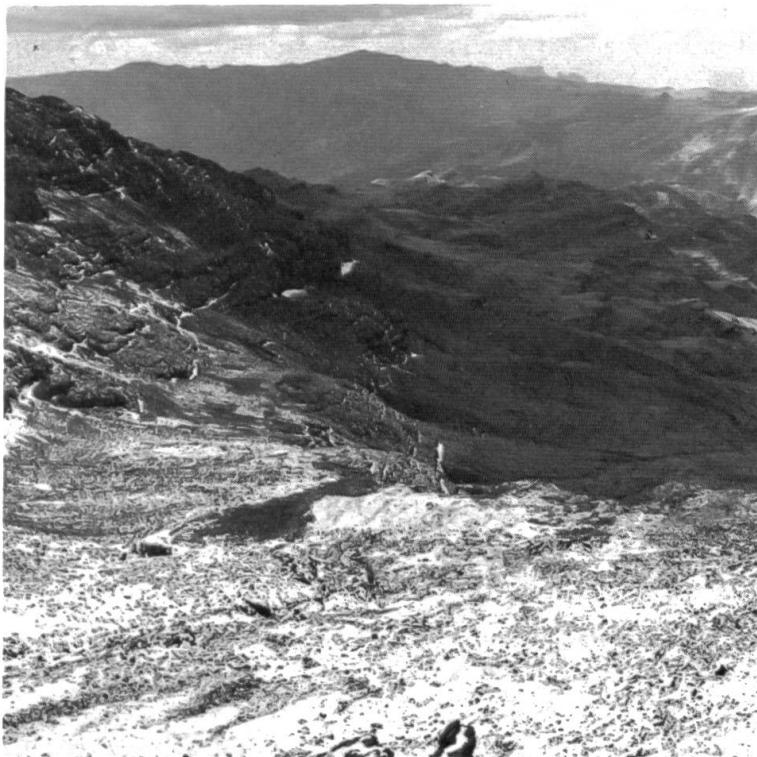
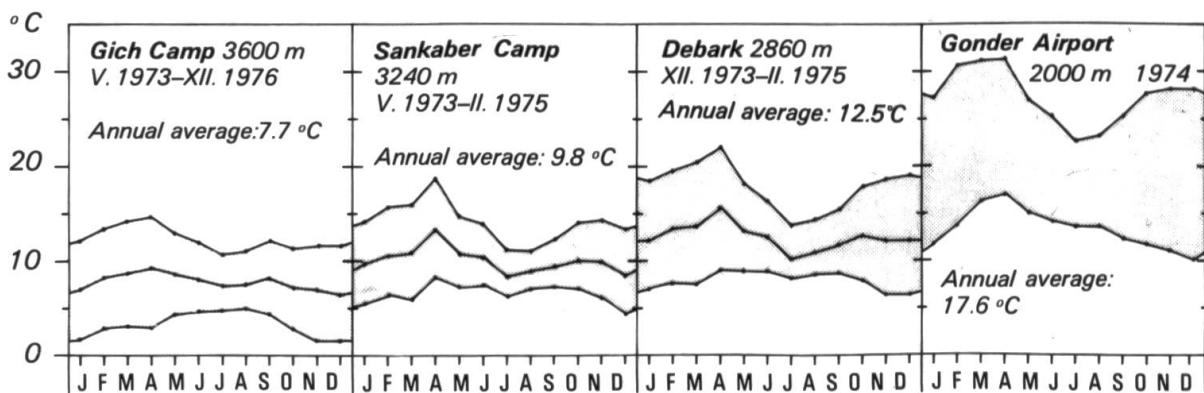


Bild 7 Liegengebliebene Schneedecke im NW-Hang zwischen Ras Dejen und Analu zwei Tage nach dem Schneefall, am 12.2.1976, als der Schnee in S- und E-Expositionen schon ganz geschmolzen war. Aufnahme bei 4450 m mit Blickrichtung W ins Mesheha-Tal.

H. HURNI

Remaining snow cover on a North-western facing catchment between Ras Dejen and Analu, two days after the snowfall on 12 February 1976, when the snow was completely melted in both Southern and Eastern facing catchments. View from 4450 m, towards the West, looking into the Mesheha valley.

Allen vier Graphiken in Figur 24 ist eine Verkleinerung der mittleren täglichen Temperaturschwankung in der Regenzeit gemeinsam (Verschmälerung des punktierten Bandes). Diese Tendenz ist einerseits durch die Verkleinerung der mittleren täglichen Maximaltemperaturen durch die Bewölkung in der Regenzeit bedingt, wie wir weiter unten noch zeigen werden, und zwar ist die Temperaturverringerung umso grösser, je tiefer eine Station gelegen ist. Andererseits sind auch die mittleren täglichen Minimaltemperaturen in der Regenzeit etwas höher als in der Trockenzeit, wenn auch hier die höchsten Werte für die drei tiefer gelegenen Stationen nicht im Juli, sondern im April (September) liegen. Die Interpretation des Jahresverlaufs der mittleren täglichen Minima muss deshalb gesondert für Gich Camp und zusammen für Sankaber, Debark und Gonder erfolgen. Die drei tiefer gelegenen Stationen



Figur 24 Jahresgang der Monatsmitteltemperaturen von Tagesmaximum, Tagesmittel und Tagesminimum für vier Stationen von Semien in unterschiedlichen Höhenlagen. Die Messperioden sind nur teilweise synchron. Zenitstand der Sonne: 12.IV. und 3.VIII.

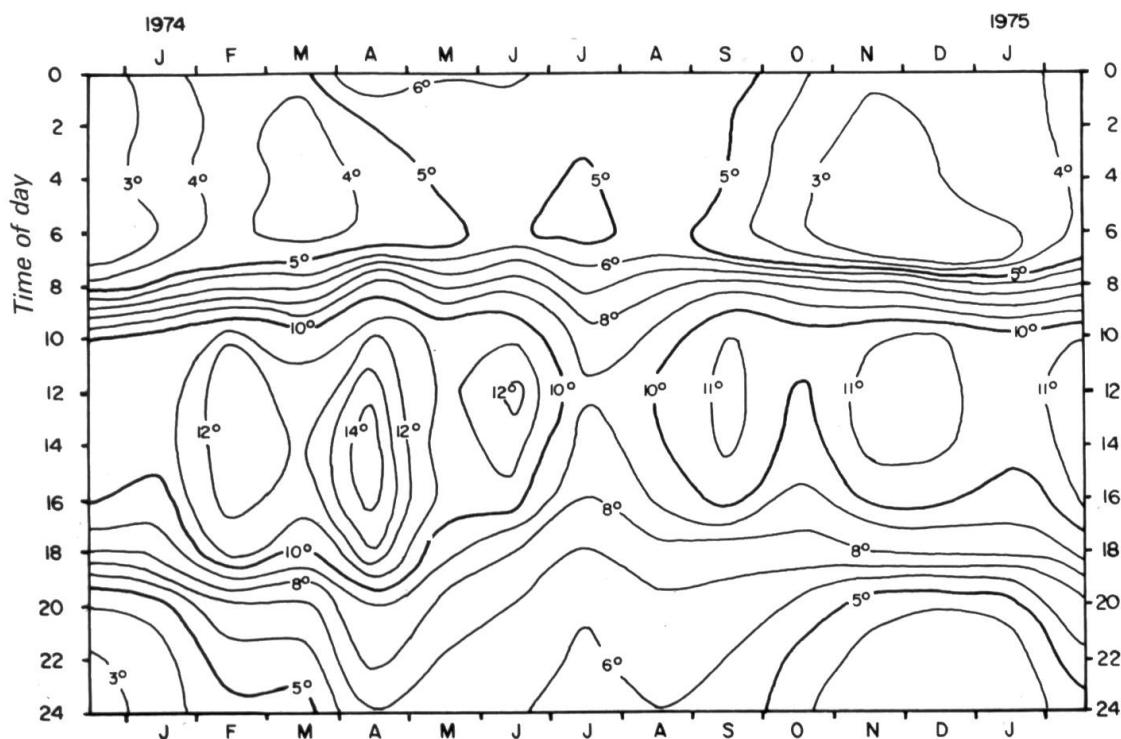
Interpolated mean monthly temperatures of daily maximum, average and minimum temperatures for four stations in Simen in different altitudes. Periods of recording are only partly synchronous. Sun standing at the zenith: 14.IV. and 3.VIII.

zeigen einen gleichsinnigen Temperaturverlauf zwischen Mitteltemperaturen und Extremtemperaturen, mit (relativen) Maximalwerten im April und September/Oktober und (relativen) Minimalwerten im Dezember und Juli. Die Ursachen für diese Extremwerte (wenn sie überhaupt signifikant sind) können auf Bewölkung und Sonnenschein, aber auch auf den Sonnenstand zurückgehen, indem Anfang April (12.4.) und August (3.8.) die Sonne senkrecht steht (13° n. Br.), während sie Ende Dezember am flachsten scheint. Die Maximalwerte im April können deshalb für alle drei Kurven der tieferen Stationen mit dem Sonnenstand begründet werden, während die Minimalwerte im Juli/August durch die Regenzeit, im Dezember/Januar durch den tiefen Sonnenstand verursacht werden.

Die Ausnahmestation Gich Camp hat zwar gleichsinnig verlaufende mittlere monatliche Maximal- und Mitteltemperaturen wie die drei tiefer gelegenen Stationen, wenn auch weniger stark schwankend als diese. Die Kurve der mittleren monatlichen Minimaltemperaturen hingegen hat ihr Maximum nicht im April, sondern in der Regenzeit im Juli/August. Da Tagesminimaltemperaturen mit grosser Regelmässigkeit in der Stunde vor Sonnenaufgang registriert wurden, kann die Interpre-

tation des andersartigen Kurvenverlaufes mit den Nachttemperaturen angegangen werden. Bei senkrechtem Sonnenstand im April wird tagsüber die Luftmasse in Gich Camp weniger aufgeheizt als in tieferen Lagen, was an den Maximaltemperaturen gezeigt ist. Die relativ stark bleibende Durchlüftung (vgl. Figur 11, S. 57) ermöglicht darum ein vollständiges Abkühlen in der Nacht, im Gegensatz zum Aufheizungseffekt in tieferen, ruhigeren Lagen. Eine Erhöhung der Minimaltemperaturen vor Sonnenaufgang im April bleibt aus. Die Maximalwerte der Minimaltemperaturen im Juli/August können mit der andersartigen Niederschlagsverteilung von Gich Camp erklärt werden. Durch die nächtlichen Niederschläge bis nach Mitternacht bleibt die Wolkendecke oft bis zum Morgen erhalten und wirkt somit einer starken Abkühlung entgegen. Es werden in dieser Periode die höchsten nächtlichen Minimaltemperaturen registriert.

Der Zusammenhang zwischen Temperatur und Bewölkung, resp. Sonnenschein kann auch aus dem Tagesgang der Temperaturen in der Isoplethendarstellung von Figur 25 herausgelesen werden. Für die Analyse sind die 2-stündlichen Temperaturen monatsweise gemittelt und durch Linien gleicher Temperaturwerte von Auge korreliert worden. Als Beispiel steht die Station Gich Camp. Die analogen Diagramme von Sankaber und Debark unterscheiden sich einerseits durch generell höhere Temperaturwerte infolge der tieferen Höhenstufe, andererseits durch die bereits erwähnte schwächere nächtliche Abkühlung im April und die stärkere nächtliche Abkühlung im Juli/August. Ansonsten sind die Kurvenverläufe analog (vgl. P. STÄHLI, 1979). Noch einmal sind in Figur 25 die grösseren täglichen Temperaturschwankungen in der Trockenzeit (Winter) mit minimalen Temperaturen vor Sonnenaufgang und maximalen am frühen Nachmittag gegenüber der Regenzeit



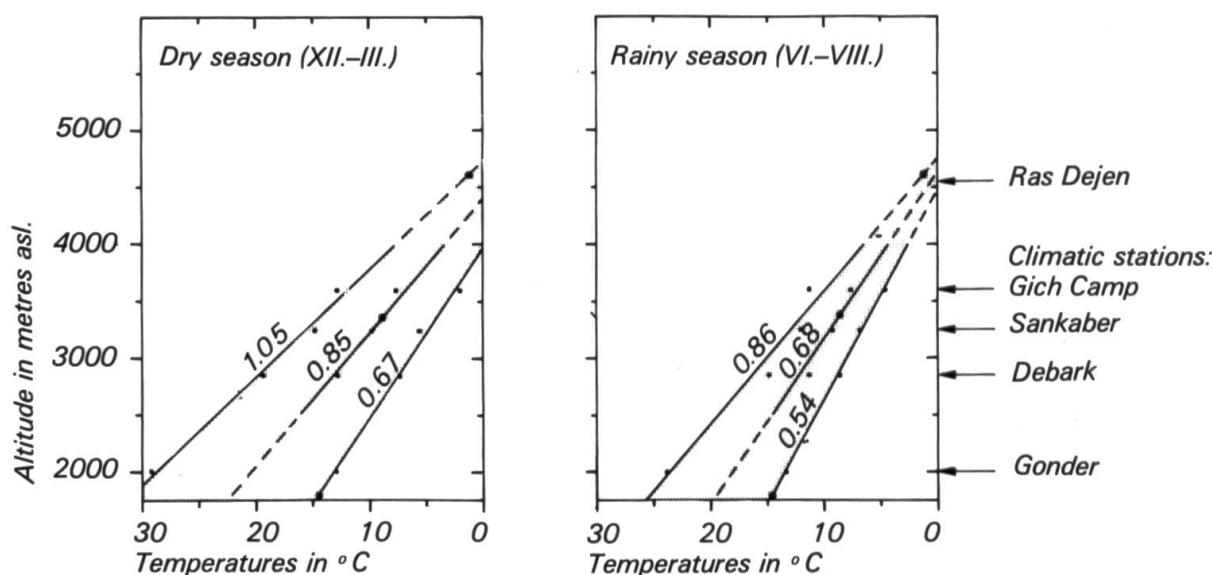
Figur 25 Thermoisoplethen-Diagramm von Gich Camp, 3600 m, Semien, I.1974 bis I. 1975.

Isopleths of temperatures at Gich Camp, 3600 m, Simen, I.1974 to I.1975.

(Sommer) mit fehlenden Nachmittagsspitzen und wärmeren Nächten gezeigt. Frappant ist zudem die Ähnlichkeit der Thermoisoplethen von 6 bis 18 Uhr mit den Isoplethen der relativen Sonnenscheindauer von Figur 13, S. 61, wodurch die direkte Auswirkung der Bewölkung auf den Temperaturverlauf begründet wird, mit den Extremwerten der Temperatur im April bei geringer Bewölkung und senkrechtem Sonnenstand.

Die Höhenstufung der Temperatur von Semien kann durch Gradienten beschrieben werden. Der mittlere Jahresgradient beträgt zwischen Gich Camp (3600 m) und Gonder (2000 m) 0.62°C per 100 Höhenmeter. Wegen der erwähnten Unterschiede der Temperaturcharakteristika ist eine nach Regenzeit und Trockenzeit getrennte Betrachtung erforderlich (vgl. dazu auch LAUTENSACH und BOEGEL, 1956). In Figur 25 sind die Temperaturverläufe der mittleren täglichen Maximal-, Minimal- und der Mitteltemperaturen als Funktion der Höhe für die Regenzeit (Juni bis September) und die Trockenzeit (Dezember bis März) dargestellt. Die Analyse erfolgte mittels linearer Korrelation von je vier Messwerten der mittleren täglichen Maximal- und Minimaltemperaturen der vier Stationen. Die Geraden der Mitteltemperaturen wurden von Auge zwischen die je zwei Geraden der Extremaltemperaturen eingepasst, weil lineare Korrelation der nur drei Messwerte ein verfälschtes Bild gegeben hätten.

Steile Kurven zeigen niedrige Gradienten, flache Kurven hohe an. Generell sind die Gradienten der Trockenzeit um 0.15 bis 0.20°C pro 100 m höher als die Gradienten der Regenzeit, wobei aber die Höhenstufe mit gleichbleibenden mittleren Temperaturwerten in Regenzeit und Trockenzeit für die drei Geraden unterschied-



Figur 26 Temperaturgradienten der mittleren täglichen Maximal-, Mittel- und Minimaltemperaturen in Semien, differenziert nach Trockenzeit (XII. bis III.) und Regenzeit (VI. bis VIII.). Die Zahlenangaben sind die Temperaturgradienten in $^{\circ}\text{C}$ pro 100 m. Die Punkte entsprechen den Messwerten der 4 Stationen, die Kreise zeigen die für Regenzeit und Trockenzeit gleichbleibenden Temperaturmittelwerte der verschiedenen Gradienten an.

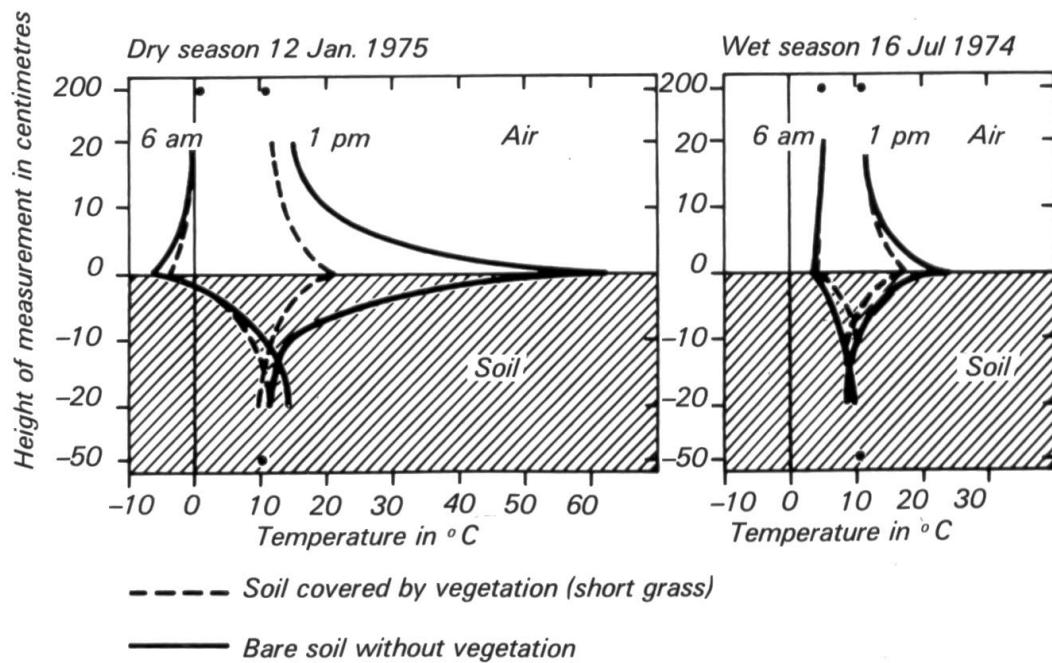
Gradients of mean daily minimum, average, and maximum temperatures for dry and rainy seasons in Simen. Figures indicate gradients in $^{\circ}\text{C}$ per 100 m altitude; points show measured values, and circles demonstrate temperatures remaining unchanged between dry and rainy seasons.

lich ist. Maximaltemperaturen, die in der Regel um 12 bis 14 Uhr gemessen wurden, zeigen die grössten Differenzen in tiefen Höhenstufen (2000 m) mit bis zu 5° C kälteren Regenzeitmittelwerten und fast keine Differenzen im Gipfelbereich des Ras Dejen. Umgekehrt verhalten sich die Minimaltemperaturen, die kurz vor Sonnenaufgang gemessen wurden. Hier sind die grössten Unterschiede im Gipfelbereich mit bis zu 4° C wärmeren Regenzeitmittelwerten, aber keine Unterschiede auf 2000 m zu interpretieren. Mittelwerttemperaturen bleiben auf zirka 3300 m gleich für Regenzeit und Trockenzeit, mit kälteren Regenzeitmittelwerten in tieferen Höhenstufen und wärmeren in höheren Stufen. Für Solifluktionsvorgänge ist der Anstieg der Nullgradisotherme der mittleren täglichen Minimaltemperaturen von zirka 4000 m in der Trockenzeit auf zirka 4500 m in der Regenzeit interessant, befindet sich doch die «periglaziale» Frostschuttstufe oberhalb zirka 4200 m (Kapitel 7.2.1, S. 161). Temperaturinversionen scheinen in der Trockenzeit in klaren Nächten in Tälern häufig vorzukommen. Im Jinbar-Tal haben wir bei solcher Witterung im Talgrund (3300 m) regelmässig um 2–4° tiefere Minima registriert als in Gich Camp (3600 m). Während der Regenzeit konnten wir solche nächtliche Inversionen nie feststellen.

4.5.2 Zwei Bodentemperaturmessungen in Gich Camp

Bodentemperaturen und Temperaturen der bodennahen Luftsichten zeigen meist beachtliche Unterschiede zu den Schattentemperaturen in 2 m Höhe. Diese Unterschiede variieren je nach Regen- oder Trockenzeit, nach Tageszeit, nach Vegetation und Bodenstruktur. Von den verschiedenen ausgeführten Temperaturprofilen der bodennahen Luftsichten bis zu derjenigen Bodentiefe, die wegen des Tageszeitenklimas ungefähr eine Temperatur aufweist, die dem Jahresmittelwert entspricht (M. WINIGER, 1979), wollen wir hier nur die extremen Unterschiede aufführen. Mit Tautochonen sind in Figur 27 für je ein Beispiel Trockenzeit (12.1.75) und Regenzeit (16.7.74) die Temperaturen der kältesten (6 Uhr) und der wärmsten (13 Uhr) Tageszeit bei vegetationslosem Boden und bei Grassteppe dargestellt. Das Versuchsfeld war mit der leichten Neigung von 11% S-exponiert, der Boden gehört zur Einheit ANDOSOL (A-Horizont zirka 70 cm). Für die Messungen dienten fest installierte Platin-Widerstandsthermometer bei 200 cm, 10 cm, 2 cm, 0 cm Höhe, -1 cm, -5 cm, -10 cm und -50 cm Tiefe.

Am auffallendsten in Figur 27 sind die grossen Unterschiede der Temperaturen an der Bodenoberfläche zwischen Grasbedeckung und blossem Boden, bis zu 40° C am Mittag in der Trockenzeit. Andererseits sind auch die Minimaltemperaturen um 6 Uhr morgens je nach Jahreszeit und Bodenbedeckung bis zu 8° C tiefer als die in 2 m Höhe gemessenen Temperaturen, was sich auf die Frosttätigkeit auswirkt. Für die Solifluktionsvorgänge im Bereich der Frostschuttstufe oberhalb zirka 4200 m ist eine grosse Anzahl täglicher Frostwechsel (signifikante Durchgänge der Temperatur durch 0° C) bei ausreichender Bodenfeuchte von Bedeutung. Beobachtungen von Reif, Eiszapfen und von Nadeleis am Ende der Regenzeit Mitte Oktober bis Anfang Dezember rund um Gich Camp zeigen, dass in beschränktem Ausmass solche Solifluktionsansätze bis in solche Höhenstufen heruntergreifen können, wenn die thermalen und hygrischen Voraussetzungen gegeben sind.



Figur 27 Tautochronen von Luft- und Bodentemperaturen um 6 und 13 Uhr in Gich Camp, 3600 m, Semien, bei unterschiedlicher Jahreszeit und Bodenbedeckung.

Tautochrons of air and soil temperatures at 6 am and 1 pm at Gich Camp, 3600 m, Simen, in different seasons with different soil cover.

4.6 Schlussfolgerungen zum Klima von Semien

Die Analysen der gemessenen Klimaparameter in den Abschnitten 4.2 bis 4.5 haben immer deutlicher gezeigt, dass das Klima von Semien nach Höhenstufen gegliedert ist. Die Resultate von Gich Camp (3600 m) unterscheiden sich dabei von denjenigen von Sankaber (3240 m), Debark (2860 m) und Gonder (2000 m). Eine Zäsur ist besonders deutlich auf der Höhe von 3000–3300 m für die Zirkulation, die Niederschlagsrichtung, -verteilung und -art, aber auch für die Temperaturgradienten und die Bewölkung festzustellen. In diesem letzten Abschnitt zum Klima von Semien wollen wir deshalb zwei Klimatypen für die Region definieren und ihre wichtigsten Eigenschaften anhand der analysierten Klimaparameter zusammenfassen.

4.6.1 Die «Upper Dega»-«Werch»-Klimastufe

Dieser Klimatyp gilt für alle Höhenstufen oberhalb 3000 bis 3300 m, in denen die klassischen äthiopischen Höhenstufen «Upper Dega» (oberhalb 3000 bis 3300 m bis zirka 3600 bis 3800 m) und «Werch» (oberhalb 3600 bis 3800 m bis zu den Gipfeln) liegen (vgl. Figur 53, S. 173). Zur Charakterisierung werden die Resultate von Gich Camp herangezogen und mit Hilfe regionaler Beobachtungen für die gesamte Höhenstufe extrapoliert. Die Zirkulationsverhältnisse des «Upper Dega»-«Werch»-Klimas zeichnen sich durch die grosse Regelmässigkeit von N-Winden

aus, die mit Ausnahme trockenzeitlicher südlicher Morgenwinde ganzjährig vorherrschen. Regionale Bewölkungsbeobachtungen zeigen eine leichte Zunahme der Bewölkung mit der Höhe, und eine Abnahme von N nach S infolge der zunehmenden Entfernung vom nördlichen Steilabfall. In der Regenzeit ist eine nächtliche Bewölkung bis zum Morgengrauen häufig. Der Niederschlag kommt meist advektiv aus NE-Richtungen, setzt am Nachmittag ein und schwächt sich erst kurz nach Mitternacht ab. Hagelereignisse sind häufig, wobei aber generell niedrigere Intensitäten gemessen werden als in tieferen Höhenstufen. Trotz den schwächeren Intensitäten wird die Jahressumme der Niederschlags-Erosivität durch die Hagelereignisse sehr hoch gehalten. Schneefälle sind nur für Höhen oberhalb zirka 4000 m periodisch, darunter höchstens episodisch. Niederschlagssummen erreichen bei 3600 m ein Maximum (über 1500 mm) und nehmen dann wahrscheinlich wieder leicht ab. Ebenso ist ein Abnehmen von W nach E und von N nach S zu vermuten.

Die täglichen Temperaturschwankungen sind bei generell tieferen Temperaturen eher klein im Vergleich zum Klimatyp unterhalb 3000 m. Höchste Tagesminima werden in der Regenzeit bei nächtlicher Bewölkung registriert. Bodenoberflächentemperaturen unter 0° C kommen in der «*Werch*»-Höhenstufe ganzjährig und häufig vor, in der «*Upper Dega*»-Stufe vorwiegend in der Trockenzeit. Frostwirkung und Reif scheinen in den Randzeiten zur Regenzeit bei genügender Luftfeuchtigkeit am aktivsten. Kälteseen in flachen Mulden und Tälern sind in der Trockenzeit mit Minimaltemperaturen unter 0° C häufig. Aus letztgenannten Temperaturgründen bietet der «*Upper Dega*»-«*Werch*»-Klimatyp agroklimatische Einschränkungen für die meisten Kulturpflanzen (vgl. Kapitel 7, S. 168ff.).

4.6.2 Die «*Lower Dega*»-«*Weyna Dega*»-Klimastufe

Unterhalb 3000–3300 m kommt eine «*Lower Dega*»-«*Weyna Dega*»-Klimastufe zum Tragen, die sich von der «*Upper Dega*»-«*Werch*»-Klimastufe durch differenzierte Temperatur-, Zirkulations- und Niederschlagsverhältnisse unterscheidet. Die Untergrenze des «*Lower Dega*»-«*Weyna Dega*»-Klimatyps wird hypothetisch bei 1800–2000 m angenommen (vgl. Figur 53, S. 173), wobei aber eine Abgrenzung mit Klimaparametern vorläufig noch nicht gegeben ist. Referenzstationen sind hauptsächlich Sankaber, Debark und Gonder, daneben aber auch andere Niederschlags-Messstellen in Semien. Die Niederschlagsverteilung des «*Lower Dega*»-«*Weyna Dega*»-Klimas deutet darauf hin, dass hier im Unterschied zum höheren Klimatyp nicht ganzjährige Winde aus N-Richtungen wehen, sondern nur in der Trockenzeit. Die Regenzeit wird eingeleitet durch den Einbruch von SW-Monsunen mit konvektiven Niederschlägen in Form von Gewittern am Nachmittag. Normalerweise löst sich die Bewölkung am Abend auf. Hagelereignisse scheinen sehr selten zu sein, die Intensitäten hingegen liegen deutlich höher als im höheren Klimatyp. Über die relative Grösse der Niederschlagserosivität kann noch keine Aussage gemacht werden, da entsprechende Analysen fehlen. Möglicherweise ist die Jahressumme trotz höheren Intensitäten geringer als beim höheren Klimatyp, weil die sehr erosiven Hagelereignisse weitgehend fehlen. Schneefälle scheinen selbst im oberen Bereich der «*Lower Dega*»-«*Weyna Dega*»-Klimastufe nie vorzukommen.

Niederschlagssummen sind generell abnehmend von SW (zirka 1400 mm) nach NE (zirka 700 mm) und möglicherweise auch mit zunehmender Höhe bis zirka 3000 m. Die Station Sankaber (3240 m) gehört demnach mit ihrer relativ hohen Niederschlagssumme schon eher zur «*Upper Dega*»-«*Werch*»-Klimastufe, ist also eine typische Station im Übergangsbereich der beiden Klimahöhenstufen von Semien.

Die mittleren täglichen Temperaturschwankungen der tieferen Stationen sind um einige °C grösser als diejenigen von Gich Camp (und Sankaber). Deutlich unterscheiden sich auch die Jahresgänge der mittleren monatlichen Minimaltemperaturen, die ein Maximum im April (und August) bei höchstem Sonnenstand aufweisen, und nicht in der Mitte der Regenzeit, weil da im Gegensatz zur «*Upper Dega*»-«*Werch*»-Klimastufe die nächtliche Bewölkung meist fehlt. Frost ist sehr selten und nur im oberen Teil der Klimastufe und in der Trockenzeit wahrscheinlich. Wegen ausreichender Niederschläge und günstiger Temperaturverhältnisse zeichnet sich die «*Lower Dega*»-«*Weyna Dega*»-Klimastufe als ausserordentlicher agroklimatischer Gunstraum aus, da für sehr viele Kulturpflanzen keine Einschränkungen bestehen.