

DIE NIEDERSCHLAGSVERHÄLTNISS E IM UVA-BECKEN AUF CEYLON

Eine geländeklimatologische Untersuchung *)

Mit 8 Abbildungen und 1 Bild

MANFRED DOMRÖS

Summary: Precipitation conditions in the Uva Basin, Ceylon – a study in terrain climatology

The influence of relief on the spatial distribution and quantity of precipitation was studied using the example of the Uva Basin in Ceylon. It is part of the eastern slope of the Ceylonese Highland and is almost surrounded by mountain ridges and massifs of various elevations (Fig. 1). For this purpose unpublished long-period annual and monthly precipitation means for 109 recording points, predominantly in tea plantations, were evaluated and, with their help, the analysis of phenomena of terrain climatology was attempted:

1. During the south west monsoon over Ceylon, there was a statistically certain windward and lee effect through the Central Highland, on which the dry period in the Uva Basin from June to September depends (Figs. 4 and 5). This phenomenon is further modified by diurnal winds; in weather terms it can be demonstrated by the Föhn wall.

2. The vertical distribution of precipitation during adiabatic rain caused by depressions and cyclones (Fig. 6) and also in adiabatic rain caused by the monsoon stream blowing from the north east was studied during the north east monsoon (December to February) using the example of the south and east rims of the Uva Basin; however, the rise in precipitation with increasing altitude which is characteristic of adiabatic rain was *not* observable. In both examples there was no certain relationship between amount of precipitation and altitude. In contrast, analysis of vertical precipitation distribution in the case of convectional rain (Fig. 8) showed that, in the inter-monsoon months, March, April, May, October and November, after a preliminary increase of precipitation with increasing altitude, a decrease of precipitation occurred above a critical height between 900 and 1400 metres.

3. With the aid of monthly precipitation means, the predicted influence of surface forms and plant growth on precipitation e.g. that convection was strengthened or weakened, could *not* be proved.

The investigation of precipitation conditions in the Uva Basin of Ceylon brings nearer the point at which the general circulation and radiation conditions can be called as evidence for the spatial distribution of precipitation as well as the relief. Monthly means of weather data are not in every case adequate for the analysis of phenomena of terrain climatology; where possible pentadonal means should be used.

Am Beispiel des Uva-Beckens auf Ceylon wurde der Einfluß des Reliefs auf die räumliche Verteilung und Menge des Niederschlags in zweifacher Hinsicht untersucht: 1. In welchem Maße wirken Relief und Gelände des Uva-Beckens auf die über Ceylon dominierenden Zirkulationsverhältnisse, so daß es über dem Uva-Becken zur Niederschlagsbildung

kommt? 2. In welchem Umfang werden durch die topographische Beschaffenheit des Uva-Beckens (Höhenlage, Hangneigung, Exposition) lokale Veränderungen des Strahlungshaushaltes hervorgerufen, die die Entstehung von Niederschlägen bewirken? Die Erarbeitung dieser beiden Fragestellungen strebt eine geländeklimatologische Untersuchung des Uva-Beckens unter besonderer Berücksichtigung des Niederschlags an ¹⁾.

I. Das Untersuchungsgebiet

Das Uva-Becken (Abb. 1) ist Teil der Ost-Abdachung des Hochlandes von Ceylon; es ist seinerseits in kleine Beckenlandschaften und Hügelländer gegliedert, durch Flüsse teilweise stark reliefiert und liegt in 1000 bis 1200 m Höhe. Das Uva-Becken ist von Bergzügen und -massiven unterschiedlicher Erhebung weitgehend geschlossen umrandet: Im Süden liegt die Haputale Range (rund 1700–1800 m hoch), im Westen das Central Highland (im Mittel rund 2000 m über NN) einschließlich des Pidurutalagala (2526 m), dem höchsten Berg Ceylons; die nördliche Umrandung bilden die relativ flache Uda Pussellawa Range (rund 1500 m) und der Narangala (1784 m); im Osten schließlich überragt das Bergmassiv des Namunakuli (2037 m) das Uva-Becken. Die südliche und östliche Gebirgsumrandung fällt steil gegen das ceylonische Tiefland, während die den West- und Nord-Rand des Beckens bildenden Gebirgszüge in das zentrale bzw. randliche Hochland überleiten. Die Beckenumrandung wird im Nordosten und Osten durch die Täler des Uma Oya, Badulu Oya und Kirinda Oya unterbrochen. Das Uva-Becken erstreckt sich vom Central Highland bis zum

*) Die hier vorgelegte Untersuchung beruht auf klimatologischen Feldforschungen des Verfassers auf Ceylon 1967, die mit einer Reisebeihilfe der Deutschen Forschungsgemeinschaft durchgeführt wurden und für deren Gewährung aufrichtig gedankt sei. Die klimatologischen Arbeiten des Verfassers stehen in engem Zusammenhang mit weiteren, z. Z. laufenden Arbeiten im Institut für Geographie am Südasien-Institut der Universität Heidelberg, die von Prof. Dr. U. SCHWEINFURTH, K. WEITZEL, H. MARBY und D. VON WERNER durchgeführt werden.

Für freundliche Hinweise und Anregungen zum vorliegenden Beitrag dankt der Verfasser Herrn Professor Drs. CARL TROLL und Herrn Professor Dr. ULRICH SCHWEINFURTH.

¹⁾ Zu Terminologie und Verwendung des Begriffes „Geländeklima“ siehe K. KNOCH, 1949 und 1951.

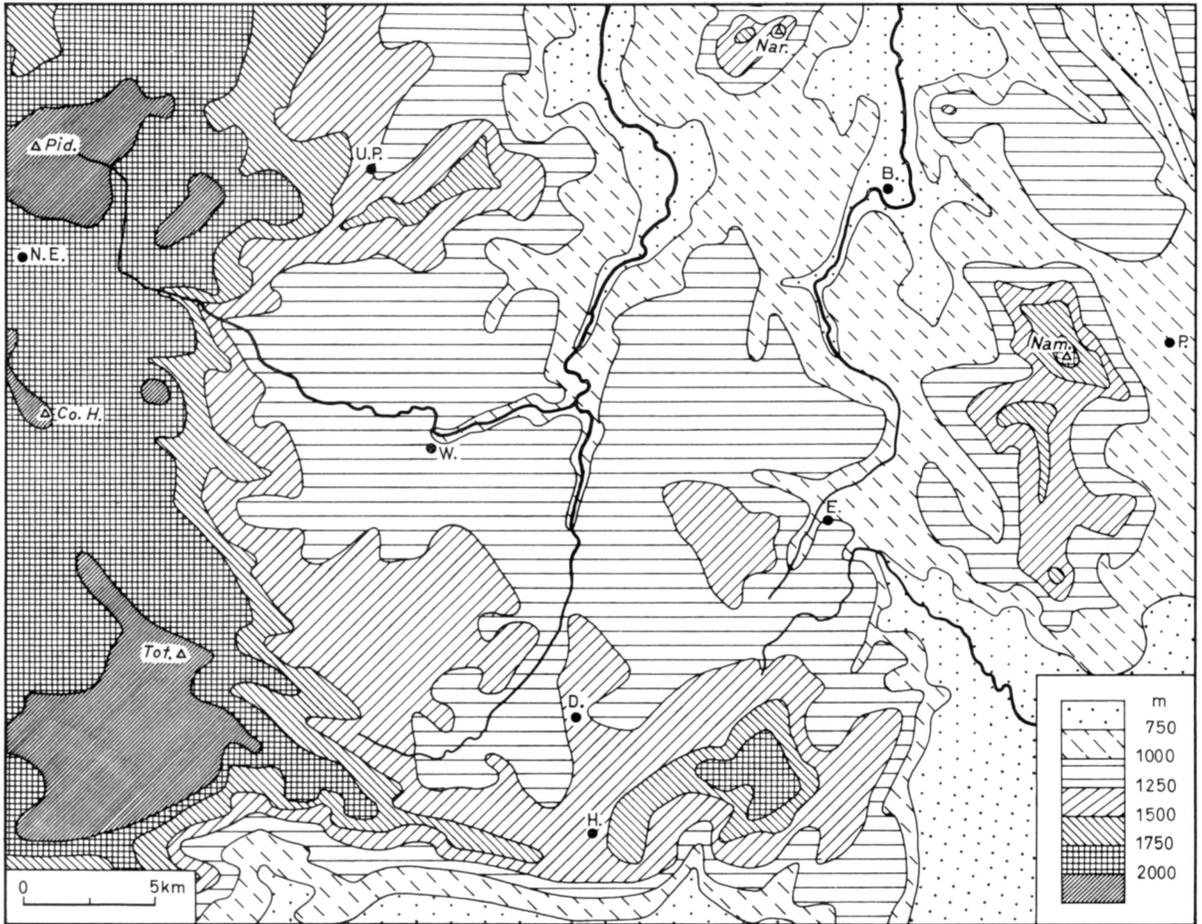


Abb. 1: Reliefkarte des Uva-Beckens einschließlich seiner Umrandung

Abkürzungen: N. E.: Nuwara Eliya, U. P.: Uda Pussellawa, W.: Welimada, B.: Badulla, P.: Passara, E.: Ella, D.: Diyatalawa, H.: Haputale, Pid.: Pidurutalagala (2526 m), Co. H.: Conical Hill (2170 m), Tot.: Totupola (2361 m), Nam.: Namunakuli (2037 m), Nar.: Narangala (1784 m)

Namunakuli über rund 40 km, während die Nord-Süd-Erstreckung (Uda Pussellawa Range – Haputale Range) etwa 30 km mißt.

II. Die Untersuchungsmethoden

Die Untersuchung der Niederschlagsverhältnisse im Uva-Becken und seiner Umrandung wurde durch die guten Voraussetzungen bereits vorhandener Niederschlagsmessungen möglich. Die „Teelandschaft Ceylons“ (U. SCHWEINFURTH, 1966) greift vom Hochland in das Uva-Becken über; in ihr haben alle größeren Plantagen für eigene Zwecke Regenmesser installiert. Die Niederschlagsmessungen des weitaus größten Teils der Plantagen sind unveröffentlicht und können nur dort eingesehen werden; nur von einem kleinen Teil der Teeplantagen liegen Aufzeichnungen auch im Department of Meteorology in Colombo vor.

Es wurden Niederschlagsmessungen von 109 Statio-

nen ausgewertet, die sich gut gestreut über das Arbeitsgebiet verteilen. Für die im Untersuchungsgebiet gelegenen meteorologischen Beobachtungsstationen Nuwara Eliya (1895 m), Badulla (670 m) und Diyatalawa (1250 m) und für drei Teeplantagen liegen Jahres- und Monatsmittelwerte des Niederschlags veröffentlicht vor²⁾, für die übrigen 103 Stationen konnte der Verfasser bei seinem Forschungsaufenthalt auf Ceylon 1967 unveröffentlichte monatliche Niederschlagssummen sammeln³⁾. Dabei handelt es sich fast ausschließlich um Meßwerte von Teeplan-

²⁾ Im „Report on the Colombo Observatory for 1962 and 1963“, Colombo 1966, hrsg. v. Dpt. of Meteorol., Ceylon.

³⁾ Verf. dankt dem Direktor des Department of Meteorology in Colombo, Mr. L. A. D. I. EKANAYAKE, und den Verwaltern aller in diese Untersuchung einbezogenen Teeplantagen für die überall freundliche Bereitstellung von Niederschlagsmessungen.

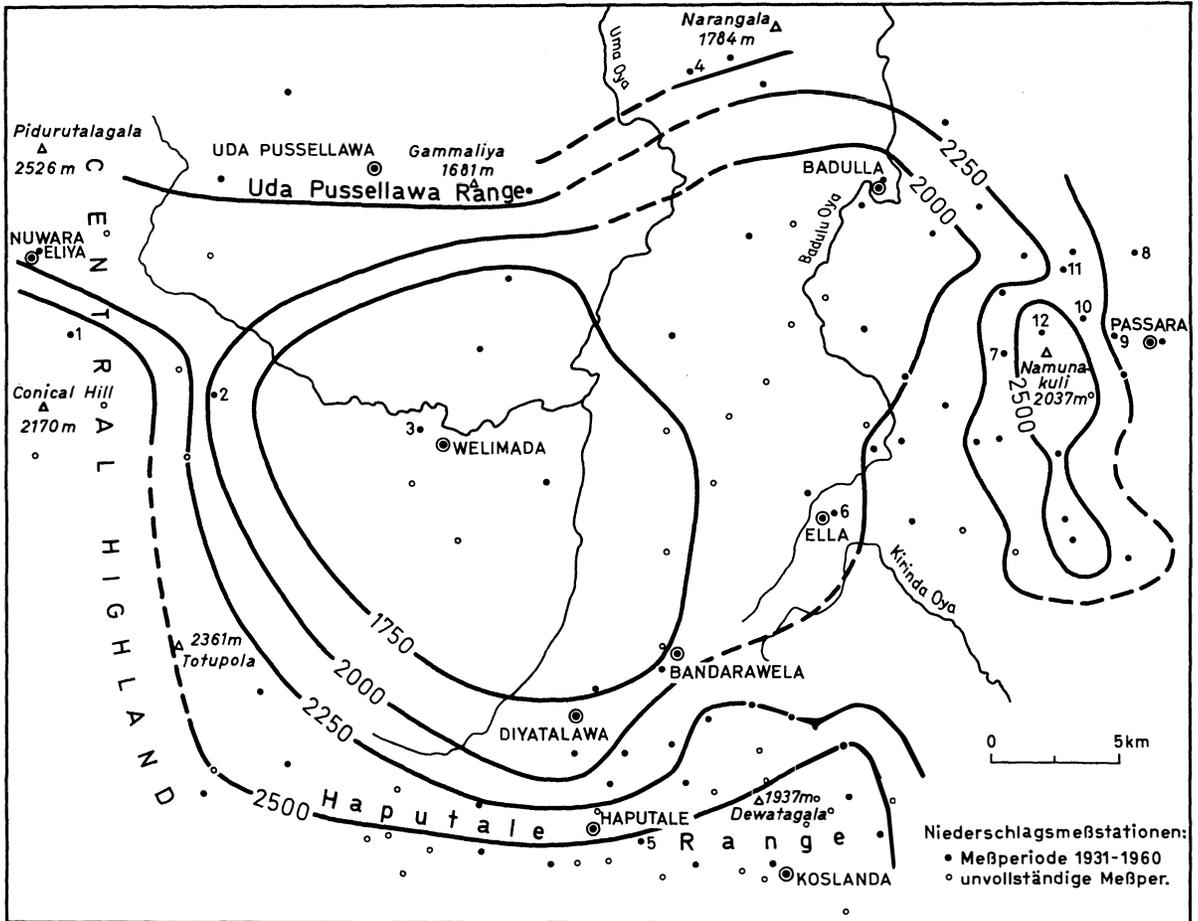


Abb. 2: Mittlere jährliche Niederschlagsmenge im Uva-Becken und seiner Umrandung (Isohyeten in mm)

1 Mahagastotte; 2 Hakgala; 3 Ambagasdowa; 4 Narangalla; 5 Thotulagalla; 6 Kinellan; 7 Spring Valley; 8-12 s. Tab. 2

tagen, die dem Verfasser bei Besuchen aller größeren Plantagen des Untersuchungsgebietes zugänglich gemacht wurden oder die – lediglich in einigen Fällen – den Witterungsberichten im Department of Meteorology, Colombo, entnommen wurden.

Um eine möglichst exakte, Zufallsergebnisse ausschließende Erarbeitung der Niederschlagsverhältnisse unter Berücksichtigung des Reliefeinflusses zu erreichen, wurde angestrebt, Messungen des Niederschlags für eine 30jährige meteorologische Standardperiode zugrunde zu legen. Von den zur Verfügung stehenden 109 Niederschlagsmeßstationen waren für 68 Regenmesser monatliche Niederschlagssummen durchgehend für die Periode von 1931–1960, für die übrigen 41 Meßgeräte Niederschlagssummen für einen kürzeren, jedoch mindestens zehnjährigen ununterbrochenen Zeitraum erreichbar. Aus den rund 35 000 monatlichen Niederschlagssummen der 109 Regenmeßstationen wurden für jede Station die Monats-

und das Jahresmittel des Niederschlags errechnet. Daraus ergab sich die Diskussion von Jahresmenge und -gang des Niederschlags (nach Monaten), mit deren Hilfe der Einfluß des Reliefs auf den Niederschlag und zugleich die Möglichkeiten geländeklimatologischer Untersuchungen unter Benutzung von Monats- und Jahresmittelwerten erörtert wurden.

III. Beziehung zwischen Relief und Niederschlagsverteilung

Die Niederschlagsverhältnisse im Uva-Becken: In der Karte der mittleren jährlichen Niederschlagsmenge (Abb. 2) zeigen sich das Beckeninnere weitaus am trockensten und die den Beckenrand bildenden Bergzüge und -massive am feuchtesten. Die jährliche Niederschlagsmenge schwankt im Beckeninnern zwischen 1500 und 2000 mm, wobei der westliche Teil des Beckens – der im Norden, Westen und Süden von Bergzügen geschlossen um-

randet ist – als der trockenste erscheint: Im Becken von Welimada werden nur 1500–1550 mm Jahresniederschlag registriert. An den zum Beckeninnern hin orientierten Hängen der Bergzüge, die die Beckenumrandung bilden, nimmt die jährliche Niederschlagsmenge spontan zu bis auf übereinstimmend rund 2600 mm, erreicht jedoch nicht einheitlich mit dem Bergkamm ihr Maximum. An der Haputale Range liegt das Niederschlagsmaximum – vom Beckeninnern aus – jenseits des Bergkamms, d. h. an der Süd-Abdachung. Im Central Highland, der Uda Pussellawa Range sowie am Narangala und Namunakuli steigt die jährliche Niederschlagsmenge mit zunehmender Meereshöhe.

Die jährliche Niederschlagsverteilung im Uva-Becken legt zwar eine Beziehung zwischen Relief und Niederschlag nahe, derart, daß das Beckeninnere eine geringere, die Beckenumrandung eine größere jährliche Niederschlagsmenge aufweist, sie gibt aber keine Auskunft über Art und Umfang des Geländeeinflusses auf die Verteilung und Menge des Niederschlags.

Der Jahresgang des Niederschlags ist durch zwei Regen- und zwei Trockenperioden gekennzeichnet; diese Regen- und Trockenzeiten treten zwar über das gesamte Untersuchungsgebiet auf, sie sind jedoch in Eintreten, Ablauf und Intensität differenziert. Im Uva-Becken einschließlich seiner Umrandung im Süden (Haputale Range) fallen die Niederschlagsmaxima eindeutig auf den November und April; am Namunakuli schwankt das Niederschlagsmaximum zwischen den beiden regenreichen Monaten November und Dezember. Weit aus dem trockensten ist der Juni, ebenso sind auch die Monate Juli, August, September und teilweise Mai durch große Niederschlagsarmut gekennzeichnet, so daß die Periode von Juni bis September eine deutliche Trockenzeit darstellt. Ein sekundäres, schwach ausgebildetes Niederschlagsminimum liegt im Februar oder März. Abweichend von diesem Jahresgang verschiebt sich in der Uda Pussellawa Range und am Narangala-Bergmassiv das primäre Niederschlagsmaximum auf den Dezember – das sekundäre Niederschlagsmaximum und die -minima stimmen mit denen des Uva-Beckens überein –, während im Central Highland der Juni der regenreichste und der Februar der trockenste Monat ist. Abbildung 3 stellt den Jahresgang des Niederschlags nach Monaten (Januar–Dezember) für repräsentative Stationen im Uva-Becken und seiner Umrandung dar (in Prozent, bezogen auf die mittlere jährliche Niederschlagsmenge). Die Lage dieser Stationen ist Abbildung 2 zu entnehmen.

Der jährliche Niederschlagsgang im Untersuchungsgebiet zeigt in seinem Ablauf räumliche und zeitliche Differenzierungen (Abb. 3), die es nahelegen zu untersuchen, ob – und wenn ja – in welchem Maße die Oberflächenformen des Uva-Beckens die Entstehung und Verteilung von Niederschlägen beeinflussen.

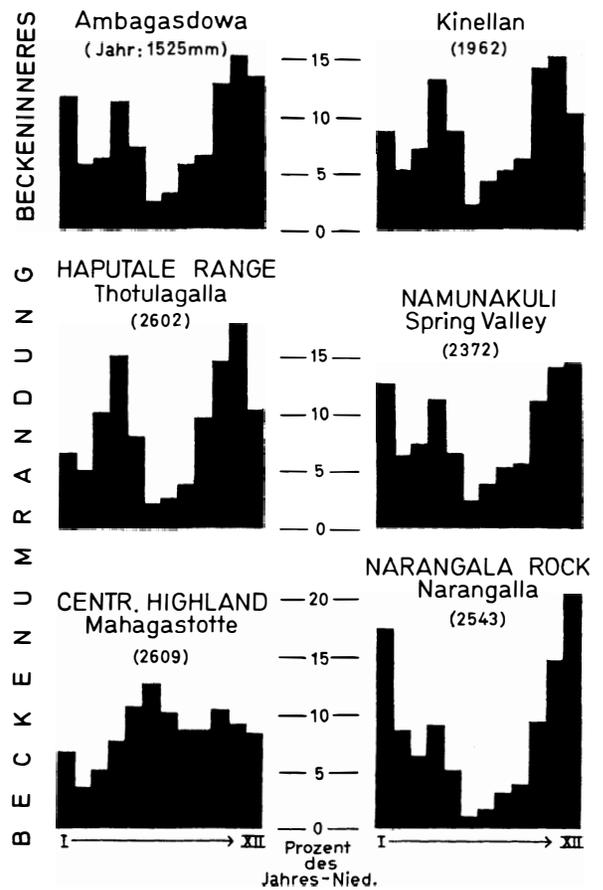


Abb. 3: Jahresgang des Niederschlags nach Monaten (Januar–Dezember) für repräsentative Stationen im Uva-Becken und seiner Umrandung (in Prozent, bezogen auf die mittlere jährliche Niederschlagsmenge)

1. Luv- und Lee-Effekt

Die für das Uva-Becken ermittelte Trockenperiode während des Südwestmonsuns über Ceylon (Juni bis September) und das auf dem Central Highland verzeichnete Niederschlagsmaximum im Juni, d. h. in der Zeit des Südwestmonsuns⁴⁾, beweisen, daß das Uva-Becken während des Südwestmonsuns im Regenschatten des Central Highland liegt. Der Monsun wird an der nach Westen bis Südwesten orientierten Abdachung des zentralen Hochlandes zum Aufsteigen und Abregnen gezwungen. Diesen Steigungsregen im Luv des Gebirges entspricht der trockene Föhn im Lee, was die Niederschlagsarmut im

⁴⁾ Auf Grund der allgemeinen Zirkulationsverhältnisse über Ceylon lassen sich vier Jahresabschnitte festlegen: Nordostmonsun-Periode (Dezember–Februar), Intermonsun-Periode (März–Mai), Südwestmonsun-Periode (Juni–September), Intermonsun-Periode (Oktober–November). Zur Frage von Jahresabschnitten auf Ceylon siehe M. DOMRÖS 1968 a.

Uva-Becken z. Z. des Südwestmonsuns beweist. Nach Überwinden des Central Highland fällt der Südwestmonsun als trockener Föhnwind – ‚Kachchan‘ (G. THAMBYAHPIILAY, 1958) – in das im Mittel rund 1000 m tiefer gelegene Uva-Becken ein.

Der durch das Central Highland (mittlere Höhe 2000 m, höchster Gipfel: Pidurutalagala, 2526 m) ausgeprägte Luv- und Lee-Effekt bezüglich des Südwestmonsuns wird durch die mittleren Monatssummen des Niederschlags für die Teeplantagen Mahagastotte (1850 m), Hakgala (1410 m) und Ambagasdowa (1150 m) deutlich (Abb. 4 und Tab. 1, zur Lage der Stationen siehe Abb. 2).

Für die im Central Highland gelegene Plantage Mahagastotte sind die Südwestmonsun-Monate Juni

bis September die regenreichsten Monate, wogegen diese Monate im Innern des Uva-Beckens, dargestellt durch die Plantagen Hakgala und Ambagasdowa, durch Niederschlagsmangel gekennzeichnet sind.

Der Luv- und Lee-Effekt durch das Central Highland wird am deutlichsten, wenn man die sommermonsunalen Niederschläge im Central Highland und im Becken von Welimada, dem bei weitem trockensten Teil des Uva-Beckens, miteinander vergleicht. Im 30jährigen Mittel fallen von Juni bis September im Becken von Welimada insgesamt rund 250 mm Niederschlag oder 16–17% des Jahresniederschlags, dagegen auf dem Central Highland im Bereich des Conical Hill (südlich von Nuwara Eliya, siehe Abb. 2) rund 1000 mm Niederschlag oder annähernd 40% der jährlichen Niederschlagsmenge. Dieser ausgeprägte Gegensatz zwischen Regenstau und Regenschatten wird noch vergrößert, wenn man die genaue Lage der Plantage Mahagastotte betrachtet (Abb. 5, vergleichsweise auch Abb. 2). Die Plantage befindet sich nicht an der im Regenstau liegenden West- bis Südwest-Abdachung des Central Highland, sondern bereits an der Ost-Abdachung, d. h. außerhalb des eigentlichen Staugebietes des Südwestmonsuns. Die dennoch extrem hohe Niederschlagsmenge von Mahagastotte – rund 1000 mm von Juni bis September – kann nur durch das Übergreifen von sommermonsunalen Steigungsregen über das Regenstau- in das Regenschattengebiet erklärt werden. Dieses Phänomen reicht jedoch nur in geringer Erstreckung über das Central Highland in das Regenschattengebiet: Die Hakgala-Plantage, am Fuß der zum Uva-Becken hin orientierten Abdachung des Central Highland gelegen, dokumentiert z. Z. des Südwestmonsuns die Niederschlagsverhältnisse, die für das Uva-Becken typisch sind, nämlich extremen Niederschlagsmangel als Folge der Leelage.

Die auf der Luvlage beruhenden hohen Niederschlagssummen an der West- und Südwest-Abdachung des zentralen Hochlandes werden am besten

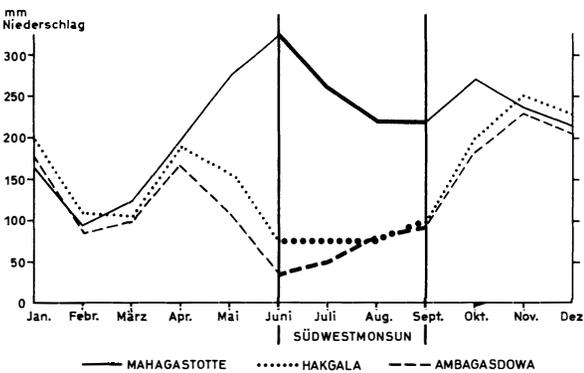


Abb. 4: Jahrgang des Niederschlags nach Monaten für die Stationen Mahagastotte, Hakgala und Ambagasdowa für die Periode von 1931–1960 (jeweils Monatsmittel)

Tabelle 1: Mittlere monatliche Niederschlagssummen 1931–1960, zur Zeit der Südwestmonsun-Periode, in mm

	Mai	Juni	Juli	August	September
Mahagastotte	276	326	261	220	219
Hakgala	156	77	76	77	98
Ambagasdowa	110	35	48	82	94

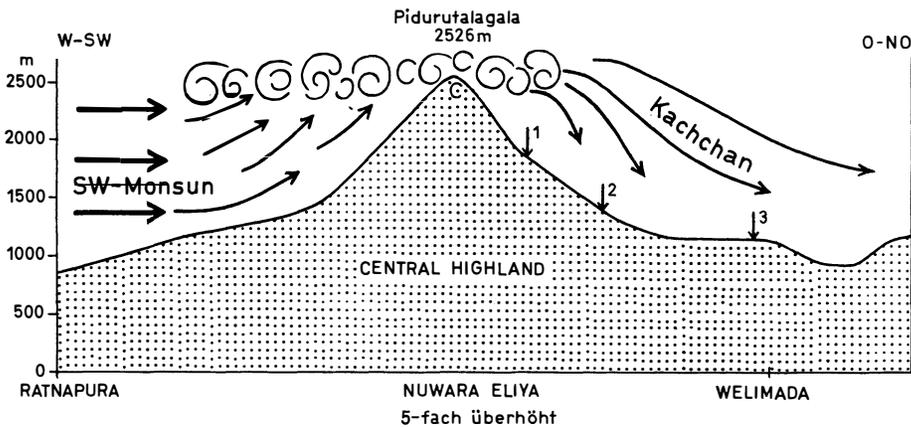


Abb. 5: Luv- und Lee-Effekt durch das Central Highland auf Ceylon

am Beispiel von Watawala (995 m), eine der regenreichsten Stationen Ceylons, bewiesen (vgl. mit Tab. 1):

Mai	Juni	Juli	August	September
701 mm	909 mm	714 mm	655 mm	536 mm

Mittlerer jährlicher Niederschlag: 5456 mm
(Mittel: 1931–1960)
Quelle: Siehe Fußnote 2.

Das Phänomen der Steigungsregen am zentralen Hochland Ceylons wird noch dadurch verstärkt, daß sich entsprechend dem tageszeitlichen Gang der Temperatur tagesperiodische Winde bilden, die die aus der allgemeinen Zirkulation resultierenden Windströmungen differenzieren, sofern diese gegen das Gebirge gerichtet sind. So wird z. Z. des Südwestmonsuns die kräftige südwestmonsunale Windströmung tagsüber verstärkt, nachts abgeschwächt. Es erscheint gerechtfertigt, die von C. TROLL (1952) betonte Bedeutung der Lokalwinde in den Tropengebirgen auf Niederschlag und Vegetation und die von U. SCHWEINFURTH (1956) erarbeiteten Aussagen über klimatische Trockentäler im Himalaya auf die Verhältnisse in Ceylon zu übertragen, obwohl für Ceylon Messungen und Beobachtungen von Lokalwinden noch fehlen. Die Lage Ceylons – dem Indisch-Pakistanischen Subkontinent im Süden vorgelagert – legt es nahe, auch an den Einfluß von Land- und Seewinden, kombiniert mit Gebirgsausgleichswinden (durch das Central Highland), auf den Witterungsablauf bis hin zum Hochland Ceylons zu denken.

Die Luv- und Leewirkung des Central Highland läßt sich witterungsklimatologisch durch die Föhnmauer gut belegen, die sich mit großer Regelmäßigkeit über dem zentralen Hochland beobachten läßt. Besonders deutlich ist während des Südwestmonsuns von der Leeseite aus, d. h. vom Uva-Becken, der Wolkenstau der Luvseite als massive Wolkenbank entlang der Kammlinie des Hochlandes zu erkennen (Bild 1).

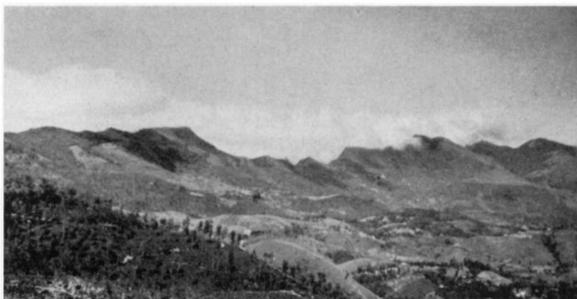


Bild 1: Föhnmauer über dem Central Highland, der westlichen Gebirgsumrandung des Uva-Beckens. Blick von Diyatalawa nach Westen (Foto: M. DOMRÖS, 10. 9. 1967)

2. Beziehung zwischen Niederschlagsmenge und Meereshöhe

Mit dem Luv- und Lee-Effekt hängt die Beziehung zwischen Niederschlagsmenge und Meereshöhe unmittelbar zusammen. An ausgewählten Beispielen des Uva-Beckens wurde die vertikale Niederschlagsverteilung bei Steigungsregen und bei Konvektionsregen untersucht.

Auf Ceylon sind die Voraussetzungen für Steigungsregen durch das Regime der beiden wichtigsten Luftströmungen, den Südwest- und den Nordostmonsun, gegeben. Im Untersuchungsgebiet jedoch treten Steigungsregen durch den Südwestmonsun nicht auf, da das Uva-Becken an der Ost-Abdachung des Hochlandes, d. h. im Regenschatten des Südwestmonsuns, liegt. Dagegen sind auf Grund der Lage des Uva-Beckens östlich des zentralen Hochlandes Steigungsregen durch den Nordostmonsun zu erwarten.

Da z. Z. des Nordostmonsuns sowohl Depressionen und Zyklonen vom südlichen Golf von Bengalen aus Ceylon in südost-nordwestlicher Richtung passieren als auch die aus Nordost wehende Monsunströmung (= Nordost-Passat⁵⁾) Ceylon überquert⁶⁾, ist die Frage von Steigungsregen in zweifacher Hinsicht zu untersuchen: 1. In welchem Maße bewirken Depressionen und Zyklonen an der südlichen und östlichen Gebirgsumrandung des Uva-Beckens Steigungsregen? 2. Wieweit werden Steigungsregen an der Nord- und Ost-Umrandung des Beckens durch die aus Nordost wehende Monsunströmung hervorgerufen?

a) Steigungsregen durch Depressionen und Zyklonen

Diese Fragestellung wurde am Beispiel der östlichen Haputale Range untersucht. Die Haputale Range weist an der Süd-Abdachung einen Höhenunterschied von rund 1400 m, an der Nord-Abdachung von rund 800 m auf. Sie ist oberhalb von rund 800 m geschlossen von Teeplantagen eingenommen, die vorwiegend von mittlerer Größe sind und ein dichtes Netz von Regenmessern liefern. Zur Untersuchung der vertikalen Niederschlagsverteilung im Jahresabschnitt des Nordostmonsuns wurden die Niederschlagssummen der Monate Dezember, Januar und Februar von 23 Stationen an der Süd- und Nord-Abdachung der Haputale Range, gemittelt für den Zeitraum von

⁵⁾ Der Nordostmonsun über dem Indisch-Pakistanischen Subkontinent einschließlich Ceylon ist genetisch dem (trockenen) Nordost-Passat gleichzusetzen. Im Falle Ceylons jedoch hat der Nordostmonsun auf Grund seiner langen Zugbahn über den Golf von Bengalen reichlich Möglichkeit zur Feuchtigkeitsaufnahme, so daß er mit Feuchtigkeit bereichert auf Ceylon trifft.

⁶⁾ Beiträge zu Klima und Witterung Ceylons stammen in erster Linie von G. THAMBYAPILLAY, in obigem Zusammenhang siehe 1954 und 1965.

1951 bis 1965, in Beziehung zur Meereshöhe gesetzt⁷⁾. Dabei ergab sich statistisch gesichert in allen drei Monaten des Nordostmonsuns eine von der Meereshöhe unabhängige Niederschlagsmenge (Abb. 6). Damit ist die für Steigungsregen kennzeichnende Zunahme der Niederschlagsmenge mit steigender Höhe (W. WEISCHET, 1965) nicht erfüllt, d. h. das Phänomen der Steigungsregen ist hier auf Grund von Depressionen und Zyklonen z. Z. des Nordostmonsuns nicht nachweisbar.

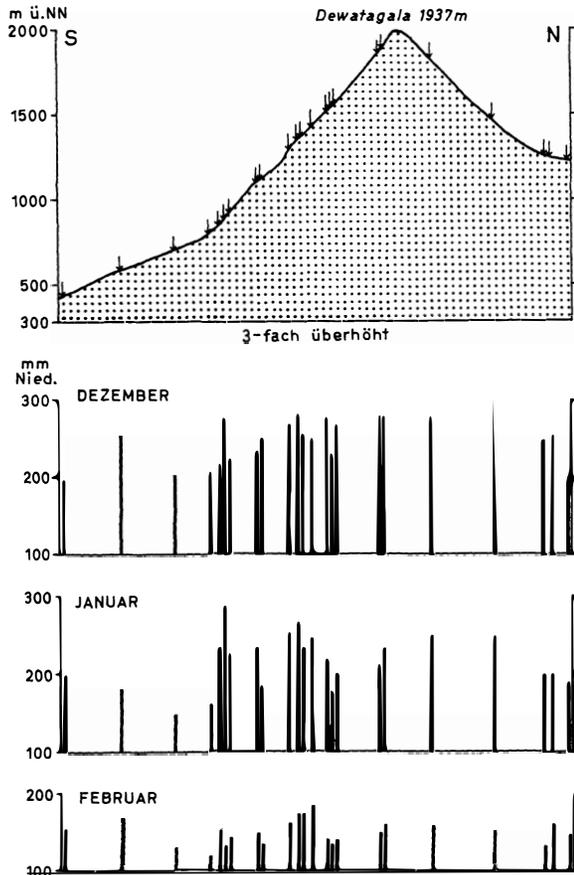


Abb. 6: Vertikale Niederschlagsverteilung an der östlichen Haputale Range zur Zeit des Nordostmonsuns: Dezember, Januar und Februar

Dieses Ergebnis kann jedoch nicht grundsätzlich Steigungsregen durch Depressionen und Zyklonen ausschließen; es ist vielmehr auf die Unbrauchbarkeit monatlicher Niederschlagsmittel für die vorgenommene Untersuchung zurückzuführen, da Monatsmittel des Niederschlags nicht die Niederschlagsmenge der jeweils nur wenige Tage dauernden De-

pressionen und Zyklonen (A. P. KANDASAMY, 1948; G. THAMBYAHPILLAY, 1959) ausdrücken können. Für eine erschöpfende Bearbeitung dieses Phänomens muß die Niederschlagsmenge während der Herrschaft von Depressionen und Zyklonen in Beziehung zur Meereshöhe gesetzt werden; ebenfalls muß die vertikale Niederschlagsverteilung z. Z. des Intermonsuns von Oktober bis November untersucht werden (siehe unten), zumal in diesem Jahresabschnitt die Häufigkeit von Depressionen und Zyklonen am größten ist (G. THAMBYAHPILLAY, 1959).

b) Steigungsregen durch die Nordostmonsun-Strömung

Die Untersuchung dieser Fragestellung erfolgte am Bergmassiv des Namunakuli, das an der Ost-Abdachung von über 2000 m auf rund 750 m fällt. Die an der Ostflanke gelegenen vier Regenmesser von Teeplantagen verteilen sich auf den Bereich zwischen 750 m und 1150 m; die höchste Niederschlagsmeßstation am Namunakuli (Deyanagala) liegt in 1600 m Höhe bereits an der West-Abdachung, ebenso die Station Spring Valley (1110 m). Für die sechs Niederschlagsmeßstationen wurden die Niederschlagssummen der Nordostmonsun-Monate Dezember, Januar und Februar, gemittelt für den Zeitraum von 1931 bis 1960, in Beziehung zur Meereshöhe gesetzt. Aus der geringen Anzahl von Niederschlagsmessungen läßt sich zwar mit großer Wahrscheinlichkeit ein Anstieg der Niederschlagsmenge mit zunehmender Meereshöhe vermuten (Tab. 2) – wobei das Maximum des Niederschlags die Station Deyanagala aufweist –, doch kann diese Beziehung nicht als Beweis für Steigungsregen durch die aus Nordost wehende Monsoonströmung gelten. Hierfür ist die Anzahl von Niederschlagsmeßstationen zu gering und ihre vertikale Verteilung zu ungünstig. Auch ist dem Namunakuli im Nordosten und Osten der Lunugala-Berggrücken vorgelagert, der sich mit einer mittleren Höhe von 1300–1400 m unvermittelt aus dem Tiefland im

Tabelle 2: Monatliche Niederschlagssummen zur Zeit des Nordostmonsuns (Dezember–Februar) am Namunakuli-Bergmassiv, Mittel 1931–1960, in mm

Die Zahlen 7–12 verweisen auf die Lage der Stationen, dargestellt in Abb. 2

	Meter über NN	Dezember	Januar	Februar
8	Agratenne 760	279	247	135
9	Tannuge 880	235	242	131
10	Ury 1100	310	266	140
11	Debedde 1120	323	284	139
	2017 Gipfelniveau			
12	Deyanagala 1600	455	428	193
7	Spring Valley 1110	339	299	150

⁷⁾ Auf Grund der verfügbaren Niederschlagswerte war es nur möglich, für alle hier berücksichtigten Stationen übereinstimmend die Niederschlagssummen für die Periode von 1951–1965 (= 15 Jahre) auszuwerten.

Osten Ceylons erhebt, so daß die Nordostmonsun-Strömung über Ceylon hier zum erstenmal zum Aufsteigen und Abregnen gezwungen wird.

Aus den genannten Beispielen vertikaler Niederschlagsverteilung ist nicht ersichtlich, ob während des Nordostmonsuns im Uva-Becken Steigungsregen auftreten oder nicht. Hierfür sind die zugrunde liegenden Klimadaten unzureichend, sowohl in Hinsicht auf die nur in beschränktem Maße verwertbaren Monatsmittel des Niederschlags als auch hinsichtlich der nicht ausreichenden Anzahl und ungünstigen vertikalen Verteilung der Meßstationen. Deshalb können durch die angeführten Beispiele vertikaler Niederschlagsverteilung Steigungsregen während des Nordostmonsuns nicht ausgeschlossen werden.

Daß Steigungsregen jedoch tatsächlich für das Uva-Becken ohne große Bedeutung sind, läßt sich aus dem Jahresgang des Niederschlags schließen (vgl. Abb. 3, Stationen Ambagasdowa, Kinellan und Thotulagalla). Im größten Teil des Untersuchungsgebietes bilden die Monate von Juni bis September eine deutliche Trockenperiode, wogegen in der Regel im November die höchsten und im April die zweithöchsten Niederschlagsmengen gemessen werden; teilweise wird die Niederschlagsmenge des April durch die des ebenfalls regenreichen Oktober übertroffen. Die Niederschlagsmaxima fallen damit in die Intermonsunperioden. Intermonsunale Niederschläge jedoch sind auf Ceylon nicht die Folge advektiven Feuchtetransportes (Steigungsregen), sondern sie beruhen auf lebhafter Konvektion (Konvektionsregen) und zum geringen Teil auf Depressionen und Zyklonen (G. THAMBYAHPILLAY 1954, 1965).

Die große Bedeutung von Konvektionsregen für das Uva-Becken wird durch die in den Intermonsunperioden liegenden Niederschlagsmaxima und durch die Menge intermonsunaler Niederschläge bewiesen.

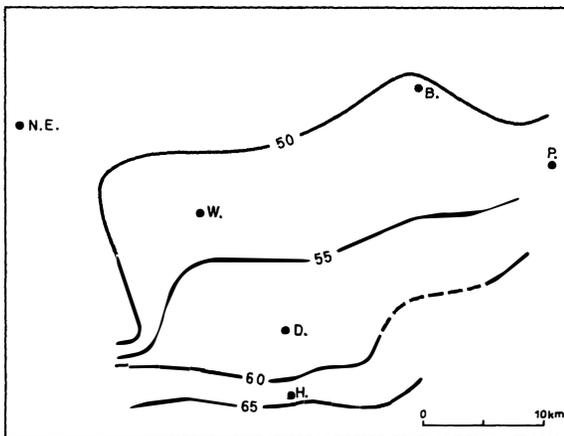


Abb. 7: Prozentualer Anteil intermonsunaler Niederschläge am Jahresniederschlag im Uva-Becken und seiner Umgebung. N. E.: Nuwara Eliya, W.: Welimada, B.: Bambas, P.: Passara, D.: Diyatalawa, H.: Haputale

Der Anteil intermonsunaler, d. h. vorwiegend auf Konvektion beruhender Niederschläge am Jahresniederschlag (Abb. 7) ist im gesamten Untersuchungsgebiet hoch; er schwankt zwischen 65–70 % an der Südabdachung der Haputale Range und zwischen 40–45 % im Central Highland und am Narangala. Dabei ist zu bedenken, daß die Intermonsunperioden lediglich fünf, die Monsunperioden jedoch sieben Monate des Jahres ausmachen. Im Untersuchungsgebiet erfolgt von Süden nach Norden deutlich eine Abnahme intermonsunaler und eine Zunahme monsunaler Niederschläge (Abb. 7), wobei letztere in unterschiedlichen Anteilen während des Südwest- und während des Nordostmonsuns fallen, jedoch übereinstimmend vorherrschend Steigungsregen darstellen.

c) Konvektionsregen

Die vertikale Niederschlagsverteilung im Falle von Konvektionsregen wurde ebenfalls an der Süd-Abdachung der östlichen Haputale Range näher untersucht, wofür monatliche Niederschlagssummen von 20 Stationen, gemittelt für die Periode von 1951 bis 1965⁸⁾, zugrunde gelegt wurden. Da die Intermonsunmonate März, April und Mai sowie Oktober und November die Monate mit vorherrschend konvektiver Niederschlagsbildung sind, wurden die Niederschlagssummen dieser Monate in Beziehung zur Meereshöhe gesetzt. Dabei ergab sich (Abb. 8), daß nach anfänglicher Zunahme des Niederschlags mit wachsender Höhe oberhalb einer kritischen Höhenlage zwischen 900–1400 m über NN eine stetige Abnahme des Niederschlags eintritt. (Hierüber wird an anderer Stelle näher berichtet: M. DOMRÖS, 1968b.)

Dieses Ergebnis stimmt weitgehend überein mit der von W. WEISCHET (1965) ermittelten vertikalen Niederschlagsverteilung in tropischen Hochgebirgen im Falle von Konvektionsregen. Mit Hilfe mittlerer jährlicher Niederschlagssummen stellte WEISCHET in tropischen Hochgebirgen (Mindesthöhe 3000 m) eindeutig eine Niederschlagsinversion in der Höhenstufe zwischen 1200 und 1500 m über NN fest, derart daß bis in diesen Höhenbereich der Niederschlag zu- und von da an stetig abnimmt⁹⁾.

U. SCHWEINFURTH (1957) bestimmte mit Hilfe der Vegetation auf der Süd-Abdachung der Himalaya-Hauptkette einen „Gürtel höchster Nieder-

⁸⁾ Siehe Fußnote 7.

⁹⁾ Die Vertikalverteilung des Niederschlags in tropischen Gebirgen hat kürzlich auch S. HASTENRATH (1968) beschrieben. Bei der Erarbeitung der Niederschlagsverhältnisse am pazifischen Abfall des guatemaltekischen Hochlandes ergab die Auswertung von jährlichen Niederschlagsmitteln von Regenmeßstellen in Kaffeepflanzungen die Lage des Regenmaximums in 865 m über NN. Bis in diese Höhe wurde eine Zunahme des Niederschlags ermittelt, oberhalb dagegen eine Abnahme mit steigender Meereshöhe. Jedoch kann „bei gewissen Witterungsverhältnissen auch in den Gebirgen der Tropen die Maximalstufe des Niederschlags verschwinden“ (S. 116).

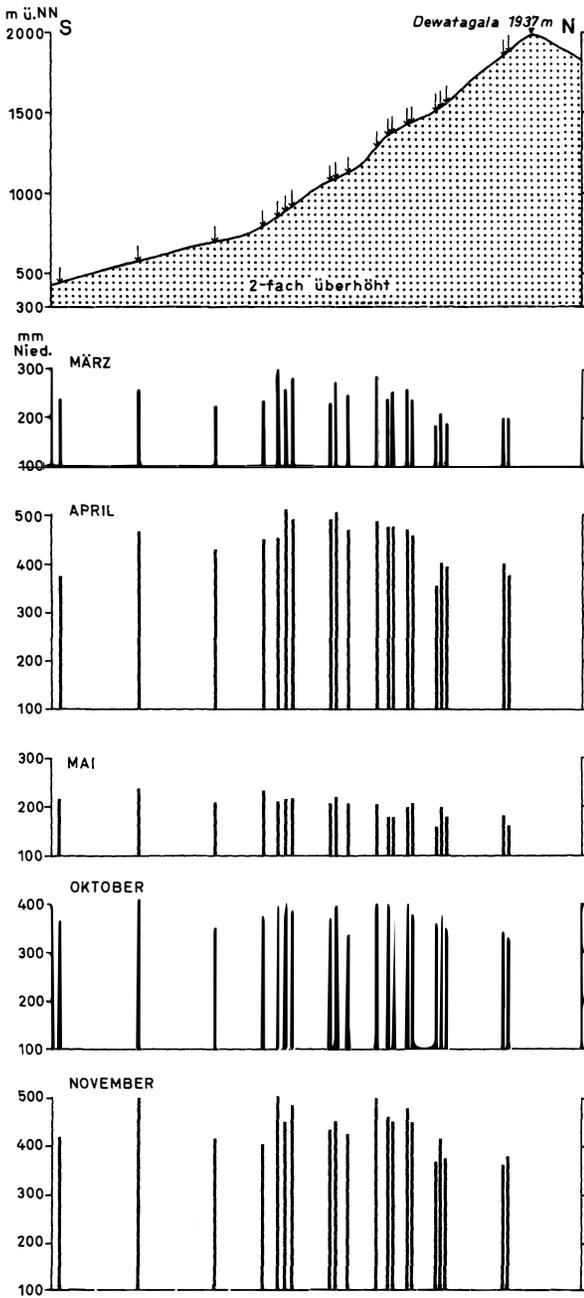


Abb. 8: Vertikale Niederschlagsverteilung an der östlichen Haputale Range zur Zeit der Intermonsunperioden: März, April und Mai sowie Oktober und November

schläge bzw. größter Luftfeuchtigkeit“, der im östlichen Himalaya in 2000 m liegt und nach Westen leicht ansteigt. Die Niederschläge und die vertikale Niederschlagsstufung im Himalaya beruhen jedoch weit mehr auf Steigungs- als auf Konvektionsregen, weshalb die Zone maximaler Niederschläge auf Ceylon und im Himalaya nicht miteinander verglichen werden kann.

3. Einfluß kleinräumiger Oberflächenformen auf die Niederschlagsverteilung

Der große Anteil intermonsunaler und damit auf Konvektion beruhender Niederschläge legt die Frage nahe, in welcher Weise die Oberflächenformen des Uva-Beckens die Konvektion und die Entstehung von Niederschlägen fördern.

Für beide Intermonsunperioden sind räumlich eng begrenzte Schauer am Nachmittag kennzeichnend, wie jeder beobachten kann und von den ortsansässigen Teeplantagen-Verwaltern immer wieder zu hören ist. Ein statistisch gesicherter Nachweis derartiger Schauer kann nur mit Hilfe fortlaufender Aufzeichnungen von automatischen Regenschreibern geschehen. Auch die täglich zweimal erfolgenden Ablesungen an den Regenschreibern der im Untersuchungsgebiet gelegenen meteorologischen Observatorien in Diyatalawa, Badulla und Nuwara Eliya reichen nicht aus, in gesichertem Maße ein Niederschlagsmaximum am Nachmittag zu beweisen, zumal diese Ablesungen in der Regel um 9 Uhr und 17 Uhr Ortszeit erfolgen. Automatische Regenschreiber dagegen sind im Uva-Becken noch nicht installiert.

Die räumlich eng begrenzten Nachmittagschauer sind darauf zurückzuführen, daß es auf kleinem Raum zu unterschiedlich starker Konvektion kommt. Dies kann jedoch nicht mit den allgemein im Untersuchungsgebiet herrschenden Strahlungsverhältnissen oder dem Feuchtigkeitsgehalt der Atmosphäre erklärt werden. Die Strahlungsverhältnisse sind für das gesamte Untersuchungsgebiet eine günstige Voraussetzung für starke Konvektion, da mit der Breitenlage Ceylons – rund 6 bis 10° nördl. Br. – ganzjährig ein hoher, wenig schwankender Sonnenstand und große Sonnenstrahlung verbunden sind¹⁰⁾. Auch der für die Äquatorialzone typische hohe Feuchtigkeitsgehalt der Atmosphäre kann das Phänomen lokaler Konvektionsschauer nicht erklären, da das Zusammenwirken von lebhafter Konvektion und hoher Luftfeuchte beispielhaft die Entstehung großräumig verbreiteter Niederschläge bewirken würde.

Angesichts dieser für das gesamte Untersuchungsgebiet zutreffenden Voraussetzungen für Konvektion und Niederschlagsbildung können die für beide Intermonsunperioden typischen Konvektionsschauer nur auf die Veränderung des bodennahen Strahlungshaushaltes durch die kleinräumigen Oberflächenformen einschließlich der Bodenbedeckung (Vegetation) zurückgeführt werden. Dies wird durch das in den Oberflächenformen und der Vegetation kleinräumig außerordentlich differenzierte Uva-Becken bekräftigt. Hangneigung und Exposition zur Sonne sind die entscheidenden Größen für die Veränderung des bodennahen Strahlungshaushaltes, in-

¹⁰⁾ Sonnenhöchststand über Colombo am 8. April und 5. September.

dem sie starke Konvektion herbeiführen können. Einschränkung zu bemerken ist jedoch, daß Hangneigung und Exposition in äquatorialen Gebirgen eine geringe Rolle spielen, weil die im Jahresablauf wechselnde Exposition die Wirkung aufhebt und der Gegensatz zwischen Morgen- und Abendhang hervortritt. Hier sind die „Unterschiede der Bestrahlungsexposition und der Himmelsrichtung auf ein Minimum reduziert“ (H. LOUIS, 1958).

Die das Ausmaß der Konvektion beeinflussenden Faktoren Hangneigung und Exposition werden durch die Vegetation noch modifiziert, indem der Pflanzenbewuchs die Ein- und Ausstrahlung verändert. Vegetation und Bodennutzung sind im Uva-Becken sehr vielseitig und abwechslungsreich. Teeplantagen dominieren an den Hängen der Bergzüge und -massive, die den Beckenrand bilden. Im Beckeninnern sind Patana-Grasländer und Teeplantagen am weitesten verbreitet, daneben treten Gemüsekulturen und Reisfelder hervor. Die Landnutzungs- und Vegetationskarten¹¹⁾ zeigen anschaulich den vielseitigen Charakter der Kulturlandschaft des Uva-Beckens.

Mit Hilfe der zur Verfügung stehenden Monatsmittel des Niederschlags läßt sich jedoch nicht nachweisen, in welchem Maße die Niederschläge in den Intermonsunperioden (Konvektionsregen) auf eine Beeinflussung der Konvektion durch Hangneigung, Exposition und Bodenbedeckung zurückgeführt werden können. Derartige Untersuchungen gehören in den Bereich mikroklimatologischer Forschung; hierzu erforderlich ist ein Netz beweglicher Meßstationen, das repräsentative Teile des Arbeitsgebietes bedeckt und das „Klima der bodennahen Luftschicht“ erfaßt.

IV. Schlußbetrachtung

Die Untersuchung der Niederschlagsverhältnisse im Uva-Becken auf Ceylon hat ergeben, daß die räumliche Verteilung des Niederschlags in gleichem Maße von den allgemeinen Zirkulations- und Strahlungsverhältnissen wie auch vom Relief und den räumlich differenzierten Oberflächenformen abhängt, wobei diese die Niederschlagsverteilung auf kleinem Raum bedingen. Das bedeutet, daß geländeklimatologische Phänomene stets auf der Grundlage der allgemeinen Strahlungs- und Strömungsverhältnisse untersucht werden müssen und das Geländeklima immer in Abhängigkeit vom Makroklima zu betrachten ist.

Die vorliegende Untersuchung scheint die Möglichkeiten der Anwendbarkeit von „privaten“ Nieder-

schlagsmessungen, wie es die auf den Teeplantagen vorgenommenen unveröffentlichten Aufzeichnungen darstellen, zu beweisen. Derartige Messungen sind zu exakten klimatologischen Untersuchungen geeignet, sofern sie über eine für meteorologische Aussagen erforderliche Meßperiode und für eine repräsentative Anzahl von Stationen vorliegen. Beide Voraussetzungen sind für das Uva-Becken auf Ceylon erfüllt. Jedoch reicht die Aufzeichnung von Monatsmitteln des Niederschlags für geländeklimatologische Zwecke nicht aus. Pentadenmittel des Niederschlags, mit deren Hilfe eine detailliertere Bearbeitung der angeschnittenen Fragestellungen zu erwarten ist, stehen nicht zur Verfügung.

Literatur

- BLÜTHGEN, J.: Allgemeine Klimageographie. Bd. II d. Lehrbuches der Allgemeinen Geographie. Berlin 1964.
- COOK, E. K.: Ceylon. Its geography, its resources and its people (3. Aufl. durch K. Kularatnam). Madras, Bombay, Calcutta, London 1953.
- DOMRÖS, M.: Untersuchungen der Niederschlagshäufigkeit auf Ceylon nach Jahresabschnitten. Jahrbuch 1967/68 des Südasien-Institutes der Univ. Heidelberg, Wiesbaden 1968, S. 70–84 (a).
- , Über die Beziehung zwischen äquatorialen Konvektionsregen und der Meereshöhe auf Ceylon. Archiv Met., Geophysik, Bioklimat., Ser. B., 1968, S. 164–173 (b).
- GAUSSEN, H.; LEGRIS, P.; VIART, M., und LABROUE, L.: Notice de la feuille: Ceylon (hrsg. v. Institut français de Pondichéry), 1965.
- HASTENRATH, S.: Zur Vertikalverteilung des Niederschlags in den Tropen. Meteorol. Rdsch. 21, S. 113–116, 1968.
- KANDASAMY, A. P.: Tropical cyclones and their effect on Ceylon climate. Bull. Geogr. Soc. 3,1, S. 6–10, 1948.
- KNOCH, K.: Die Geländeklimatologie, ein wichtiger Zweig der angewandten Klimatologie. Ber. Dt. Landeskunde 7, S. 115–123, 1949.
- , Über das Wesen der Landesklimateaufnahme. Z. f. Meteorol. 5, S. 173–177, 1951.
- LOUIS, H.: Der Bestrahlungsgang als Fundamentalscheinung der geographischen Klimaunterscheidung. Schlern-Schriften, Bd. 190: Geograph. Forschungen, Festschr. z. 60. Geburtstag von Hans Kinzl, S. 155–164, Innsbruck 1958.
- Report on the Colombo Observatory for 1962 and 1963 (hrsg. v. L. A. D. I. EKANAYAKE), Colombo 1966.
- SCHMIDT-KRAEPELIN, E.: Karten von Ceylon. Erdk. 22, S. 65–77, 1968.
- SCHWEINFURTH, U.: Über klimatische Trockentäler im Himalaya. Erdk. 10, S. 297–302, 1956.
- , Die horizontale und vertikale Verbreitung der Vegetation im Himalaya. Bonner Geogr. Abhdlg. H. 20, Bonn 1957.
- , Die Teellandschaft im Hochland der Insel Ceylon als Beispiel für den Landschaftswandel. Heidelberger Geogr. Arb. (Heidelb. Stud. z. Kulturgeogr.), H. 15, S. 297–310, 1966.
- SIEVERS, A.: Ceylon. Gesellschaft und Lebensraum in den orientalischen Tropen. Wiesbaden 1964.
- THAMBYAPILLAY, G.: The rainfall rythm in Ceylon. Univ. of Ceylon Rev. 12, S. 224–273, 1954.

¹¹⁾ Landnutzung und Vegetation sind bereits auf der topographischen 'one-inch map' (1 : 63.360), hrsg. von Survey Dept. of Ceylon, kartiert; daneben sind zu nennen: „Notice de la feuille Ceylon“, hrsg. v. Institut français de Pondichéry, 1965, und die „Land Utilization Map“, hrsg. v. Survey Dept. of Ceylon.

- The Kachchan - A föhn wind in Ceylon, *Weather* 13, S. 107-114, 1958.
- Tropical cyclones and the climate of Ceylon. *Univ. of Ceylon Rev.* 17, S. 137-180, 1959.
- Dry zone climatology. *J. Nat. Agricult. Soc. of Ceylon* 2, S. 1-43, 1965.

- TROLL, C.: Die Lokalwinde der Tropengebirge und ihr Einfluß auf Niederschlag und Vegetation. *Bonner Geogr. Abhdlg.* H. 9, S. 124-182, 1952.
- WEISCHET, W.: Der tropisch-konvektive und der außertropisch-advektive Typ der vertikalen Niederschlagsverteilung. *Erdkd.* 19, S. 7-14, 1965.

ON THE SEASONALITY OF DROUGHTS
IN THE LOWLANDS OF SARAWAK (BORNEO)

With 5 figures and 2 tables

EBERHARD F. BRUNIG

Zusammenfassung: Über das jahreszeitliche Auftreten von Dürren im Tiefland von Sarawak (Borneo)

Die langjährigen Mittel der monatlichen Niederschläge, Temperatur und Humidität kennzeichnen das Klima des Tieflandes von Sarawak als immerfeuchtes äquatoriales Regenwaldklima. Ein Vergleich von gleitenden 30-Tages-Summen des Niederschlages von Juli 1963 bis Juli 1965 an fünf Beobachtungsstationen mit den Verteilungen der Niederschlagshöhe in den entsprechenden Monaten an drei Beobachtungsstationen zeigt, daß auch in diesem Klimatyp Dürrezustände jahreszeitlich regelmäßig auftreten. Für die Waldvegetation bedeutet dies nicht nur eine Verringerung der Nettoproduktion organischer Substanz, sondern auch eine Förderung von morphologischen und phänologischen Merkmalen, die an diese Trockenzustände angepaßt sind.

Die Zweifel an der tatsächlichen Existenz eines immerfeuchten äquatorialen Regenwaldklimas im tropischen Tiefland werden für Sarawak bestätigt.

Acknowledgements

The author thanks the Public Works Department, Government of Sarawak, for unpublished records of daily precipitation and evaporation at various stations in Sarawak. Thanks are also due to Dr. A. S. RAND, Smithsonian Tropical Research Institute, Panama Canal Zone, for a first comment on the basic data and for encouraging me to make this information more widely known by speculating that "adapting to these conditions in a rain forest climate 'preadapts' a species to invade a more seasonal climate".

1. Introduction

Within the region of tropical rain forest the lowlands of parts of the northern half of Borneo possess the most uniform climate. In the lowlands of Sarawak temperatures are even with annual variation around 2° C (tab. 1, Tm) and diurnal ranges around 5-7° C (fig. 1), wind speeds are generally low, high winds are localized (ASHTON, 1964, p. 11), and annual rainfall exceeds 3000 mm and shows only a small seasonal variation. The peak of rainfall during December-February is more marked in southwest Sarawak (fig. 2 and 3).

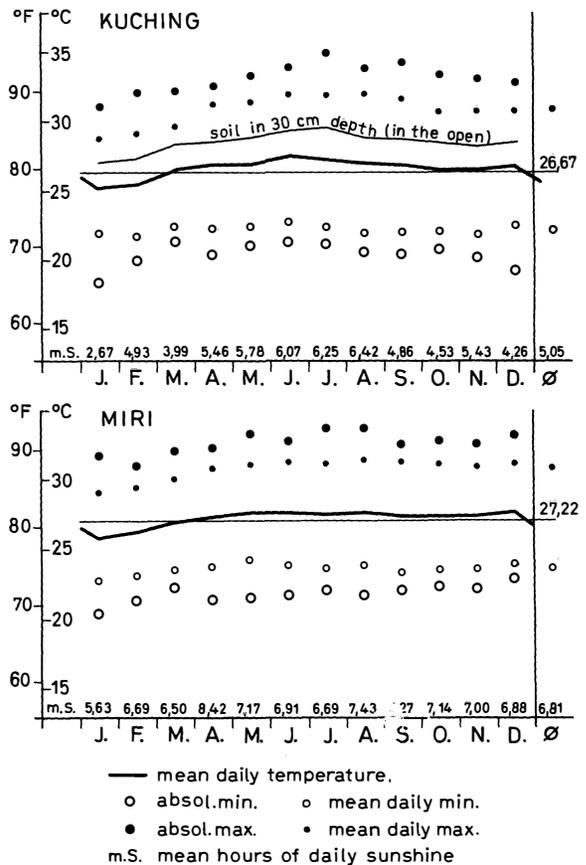


Fig. 1: Mean Daily Temperature and Sunshine

The values for the MARTONNE Index (LAUER, 1952, p. 23-24) exceed 60 for any month of the year (tab. 1, last column to the right). The climatic type corresponds to KOEPPEN's Afi, isotherm, Continuously wet with average monthly rainfall above 60 mm throughout the year, but a rainfall peak in early winter (w'), and LAUER's Taefd, tropical equatorial continuously wet climate with 12 humid months. (KOEPPEN, 1923; LAUER, 1952.)

The results of syncological studies in the Mixed