

Deutungsversuch der Entstehung der „Brisa“, eines föhnartigen Fallwindes der nordwestlichen Sierra Nevada de Santa Marta, Kolumbien

Von

REIMER HERRMANN*)

Mit 6 Abbildungen

Resumen

Al este de Santa Marta se extiende, entre la cadena montañosa costera de la Sierra Nevada y la Sierra propiamente tal, un valle orientado de este a oeste, el cual queda dividido, por una línea divisoria de las aguas, en el valle del río Manzanares al oeste y el valle del río Piedras al este. Bajo condiciones del tiempo cuando se presenta claramente la inversión del Passat, a alturas de 1400 a 1800 metros, se origina en este valle un viento descendiente semejante al Föhn, llamado "la Brisa", de extraordinaria violencia. A menudo, junto a la "Brisa", hay procesos adiabáticos húmedos y secos, eventualmente acompañado de una "Föhnmauer". Para la formación de la "Brisa" se requiere de una corriente Passat fría establemente estratificada, bajo una clara inversión entre 1400 y 1800 metros. Conforme al principio de Arquimedes, este aire se precipita en el valle del Manzanares, ocupado por masas de aire cálido indiferentemente estratificadas. A causa del recubrimiento de la parte superior del valle con la inversión se origina un sifón, en el cual adicionalmente se acelera la corriente de aire. El tiempo bajo el cual se realizan estas condiciones, ocurre casi exclusivamente desde mediados de diciembre hasta fines de marzo, de modo que la "Brisa" permanece restringida a este período.

Zusammenfassung

E von Santa Marta erstreckt sich zwischen einer Küstenkette der Sierra Nevada und dem eigentlichen Gebirgshorst ein E—W-gerichtetes Tal, das durch eine Talwasserscheide in jenes des Río Manzanares im Westen und des Río Piedras im Osten gegliedert ist. Bei Wetterlagen mit einer deutlichen Passat-Inversion in 1400—1800 m entsteht in diesem Talzug ein föhnartiger Fallwind,

*) Ich danke der Deutschen Forschungsgemeinschaft für die großzügige Unterstützung meiner hydrologischen und klimatologischen Untersuchungen. Weiter danke ich dem Tropeninstitut der Universität Gießen, in dessen Außenstelle in Santa Marta ich zu Gast sein durfte.

die „Brisa“, die bis zu Orkanstärke anschwellen kann. Häufig sind mit der Brisa feucht- und trocken-adiabatische Vorgänge und die Ausbildung einer Föhnmauer verbunden. Für die Entstehung der „Brisa“ ist eine kühle, stabil geschichtete Passat-Strömung unter einer deutlichen Inversion in 1400—1800 m Voraussetzung. Gemäß dem Archimedischen Prinzip stürzt diese Luft in das mit nahezu indifferent gelagerter, warmer Luft erfüllte Manzanares-Tal. Infolge der Abdeckung des Talwasserscheiden-Bereiches durch die Inversion nach oben hin entsteht eine Düse, in der die Luftströmung zusätzlich beschleunigt wird. Wetterlagen, bei denen diese Bedingungen erfüllt sind, treten fast nur in der Zeit von Mitte Dezember bis Ende März auf, so daß die „Brisa“ auf diese Zeit beschränkt bleibt.

Einführung

Der von den Bewohnern der nordwestlichen Sierra Nevada als „Brisa“ bezeichnete stürmische Wind ist schon von W. SIEVERS (1878: 136—137) und später von A. SCHULTZE (1937: 79) kurz beschrieben worden. Während W. SIEVERS die „Brisa“ als einen „Ausgleichswind“ zwischen dem erhitzten Talkessel von Santa Marta und den unteren Bergrücken der Cuchilla San Lorenzo zu deuten versucht, erkennt A. SCHULTZE schon den Zusammenhang mit dem Nordostpassat, der zur Zeit des Auftretens der „Brisa“ seine höchsten Windgeschwindigkeiten erreicht. Weiter führt er die hohe Geschwindigkeit der „Brisa“ selbst auf die Düsenwirkung des „Nordwesthanges der Horqueta, die wie ein Hohlweg zur Düse eines Riesengebläses“ wird, zurück. C. TROLLS (1952: 178) Beschreibungen tropischer tageszeitlicher Ausgleichswinde treffen auf die „Brisa“ nicht zu. Ebenso haben die „Brisa“ und die Stürme in der Bananenzone südlich von Santa Marta (E. HOWELL & M. LOPEZ 1961: 265) kausal und räumlich nichts miteinander gemein, denn diese entstehen bei Wetterlagen mit starker Konvektion im Gefolge von Starkregen an der Westflanke der Sierra Nevada.

Bevor mit der Beschreibung der Erscheinungen der „Brisa“ begonnen wird, erscheint es schon auf Grund der Gedankengänge von A. SCHULTZE notwendig, einen Überblick über die das Wetter der nordwestlichen Sierra Nevada steuernde allgemeine Zirkulation im größeren Raum der südlichen Karibischen See zu geben und die morphographische Gestaltung der nordwestlichen Sierra Nevada zu beschreiben.

Lage und morphographische Gestaltung

Als höchstes Küstengebirge der Welt ragt an der karibischen Nordküste Kolumbiens als isolierter Horst die Sierra Nevada de Santa Marta bis zu einer Höhe von fast 6000 m auf. Die nordwestliche Sierra, in der die „Brisa“ entsteht, liegt E von Santa Marta zwischen $73^{\circ} 50'$ und $74^{\circ} 15'$ w.L. und zwischen $11^{\circ} 10'$ und $11^{\circ} 21'$ n.Br. E von Santa Marta erstreckt sich zwischen einer bis 900 m hohen Küstenskette der Sierra Nevada im Norden (Cerro Las Bovedas) und dem

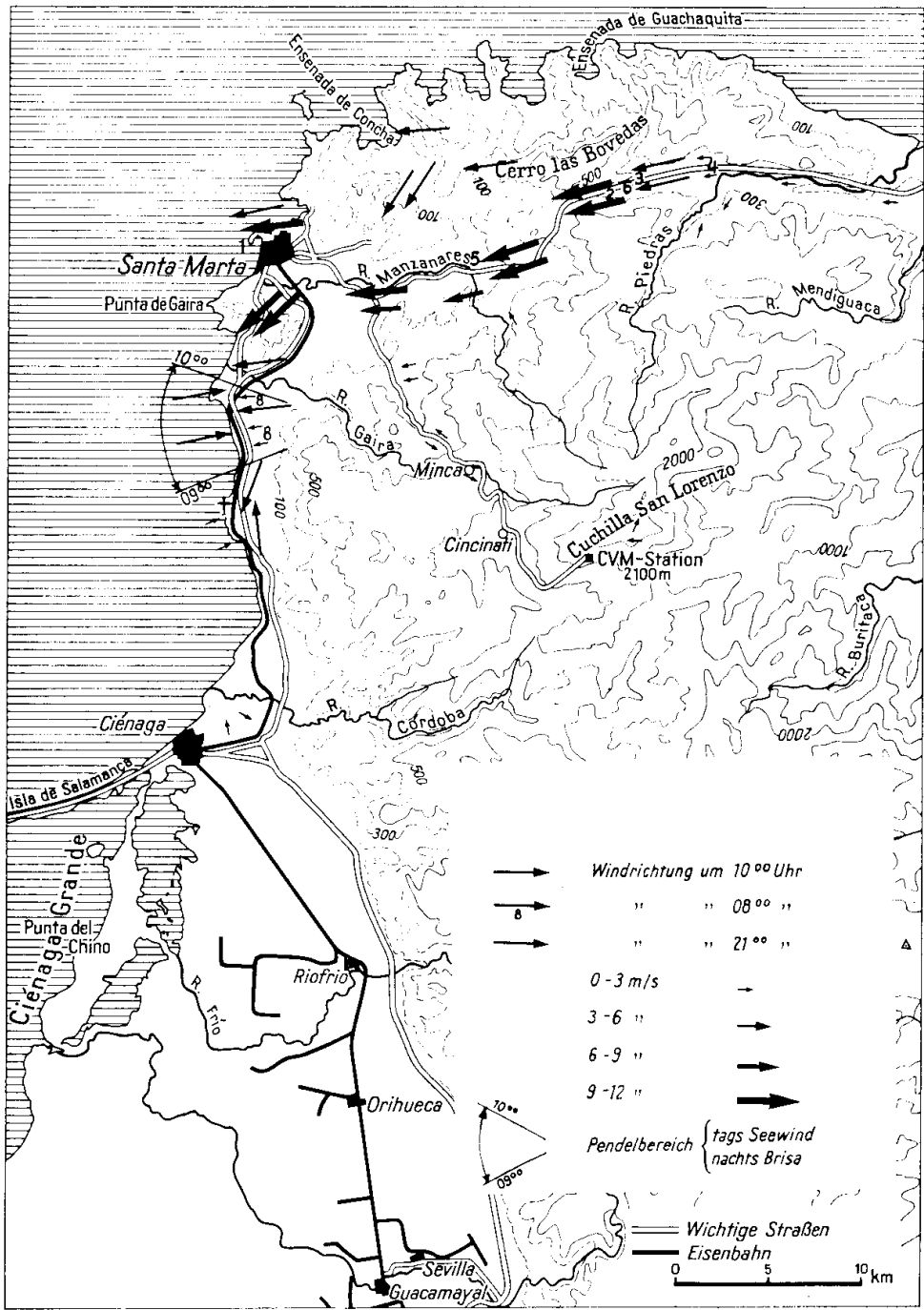


Abb. 1. Windverteilung am 20. 12. 1967.

eigentlichen Gebirgshorst im Süden ein tektonisch vorgezeichnetes, E—W-gerichtetes Talsystem (Abb. 1), das durch eine etwa 450 m hohe Talwasserscheide in das Tal des Unterlaufs des Río Piedras im Osten und das des Unterlaufs des Río Manzanares im Westen gegliedert ist. Beiderseits der Talwasserscheide fällt der Talboden zunächst steil ab und setzt sich in niederen Höhen (< 50 m über dem Meeresspiegel) mit geringem Gefälle zwischen den steilen Talflanken tief eingeschnitten fort.

Die allgemeine Zirkulation

Die Darstellung der allgemeinen Zirkulation folgt im wesentlichen den Untersuchungen von J. F. LAHEY (1958: 72—77) und S. HASTENRATH (1967: 203—215). Die südliche Karibische See liegt an der südwestlichen Flanke der nordatlantischen Hochdruckzelle. Die Strömungsverhältnisse auf dieser Flanke unterliegen einem jahreszeitlichen Wandel, der sich auch auswirkt auf die Windverhältnisse und die atmosphärische Schichtung im Raum von Santa Marta. Im Früh-Sommer und Herbst ist die Achse der nordatlantischen Hochdruckzelle weit nach Norden vorgeschoben. Ostwinde erstrecken sich vom Boden bis in die obere Troposphäre. Der Kern dieser Ostwinde mit hohen Windgeschwindigkeiten liegt während dieser Zeit über der nördlichen Karibischen See. Im Küstenbereich treten südlich dieses Kerns nur noch geringe Windgeschwindigkeiten auf. Es herrscht während dieser Zeit eine instabile Schichtung mit kräftiger Aufwärtsbewegung der Luft vor (Abb. 2). Die Sierra Nevada liegt in dieser Zeit in einer Zone mit anhaltender Konvergenz. In der kleinen Trockenzeit im Juli und August ist diese Konvergenz zeitweilig durch eine deutliche Tendenz zur Divergenz hin unterbrochen.

Im Winter, d. h. von Ende November bis April, liegt der Kern der Ostwinde der unteren Troposphäre, d. h. des Passats, im Bereich der

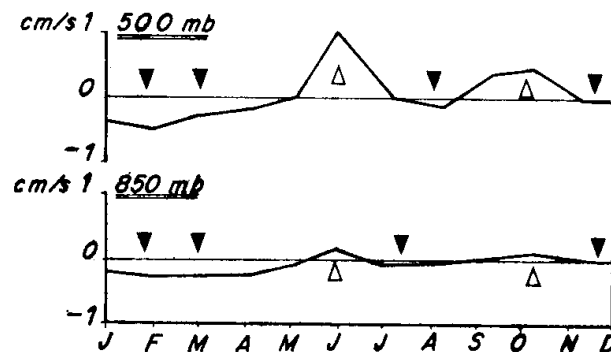


Abb. 2. Vertikale Luftbewegungen im Bereich der 500- und 850-mb-Flächen über der karibischen See, 1966 (nach S. HASTENRATH 1966). Schwarze Dreiecke = Divergenz, weiße Dreiecke = Konvergenz.

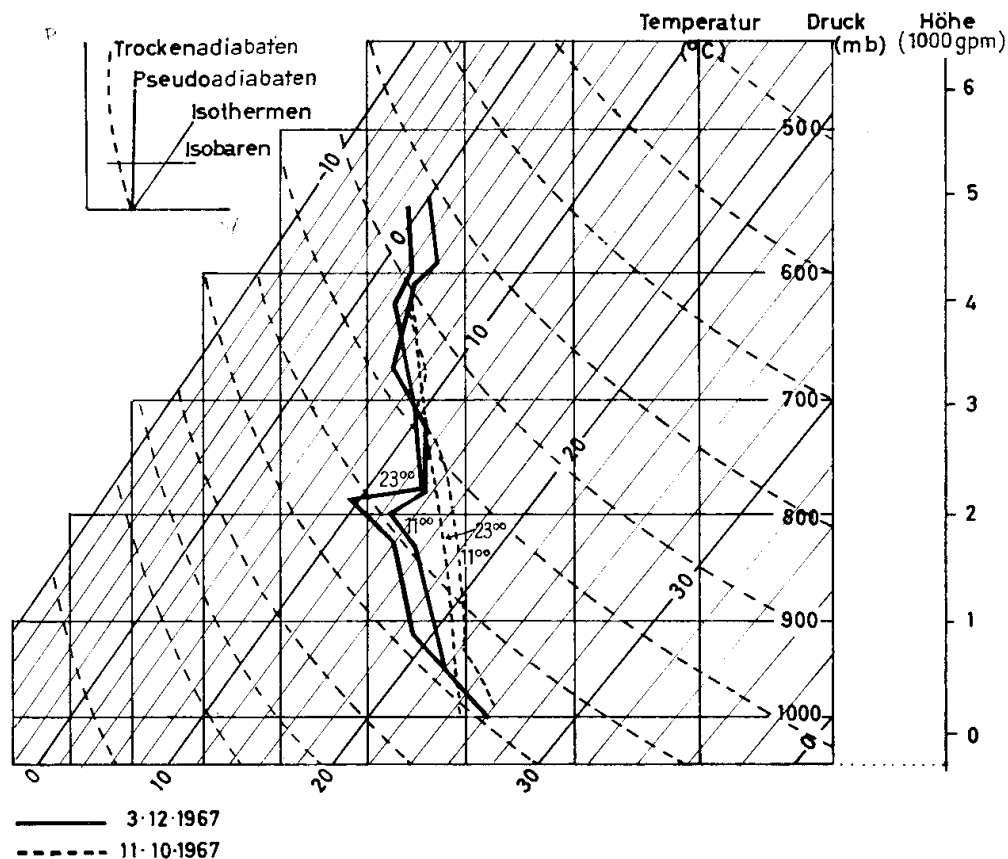


Abb. 3. Temperaturverhältnisse über Santa Marta. Links um 23 Uhr, rechts um 11 Uhr Ortszeit. Das Beispiel aus der Trockenzeit (3. 12. 1967) zeigt eine deutliche Passat-Inversion. (Konstruiert aus Radiosonden-Ergebnissen von Curaçao, Macaray und Sand Andrés.)

Sierra Nevada. Von November an beginnt die Aufwärtsbewegung geringer zu werden, im Dezember ist sie gleich Null und schlägt dann in eine kräftige Abwärtsbewegung in den Monaten Januar, Februar und März um. Mit dieser Absinkbewegung sind Inversionen verbunden, deren Höhenlage und Intensität je nach der Art der großräumigen Vertikalbewegungen wechselt (Abb. 3).

Untersuchungsmethoden

Die Beobachtungen über lokale Winde in der nordwestlichen Sierra Nevada wurden während hydrologischer Untersuchungen von August 1967 bis Juni 1968 angestellt. Ende September 1967 konnte eine Windfernmessanlage mit Geschwindigkeits- und Richtungsschreiber auf dem Gästehaus des Instituto Colombo-Alemán in Santa Marta angebracht werden. Dort wurde schon vor 2 Jahren eine Wetterhütte mit Thermo-

hygrograph sowie Maximum- und Minimumthermometern aufgestellt. Die absoluten Meßwerte des Hygrographen halten einen Vergleich mit Psychrometerwerten nicht aus, da die Eigenschaften der Haarharfe durch Salzverkrustungen im Laufe der Jahre 1965 bis August 1967 verändert worden waren. Aus den täglichen Ganglinien ließ sich aber klar das Einsetzen des Seewindes durch eine deutliche Zunahme der relativen Feuchte (RF) oder der „Brisa“ durch einen Rückgang der RF verfolgen. Weiter wurde neben der Forststation der CVM am San Lorenzo in 2100 m Höhe ein Windwegmesser sowie in einer Hütte ein Thermo-hygrograph und ein Maximum/Minimum-Thermometer abgelesen. Der Flugleiter der Flugplatzes (etwa 15 km südlich von Santa Marta an der Küste) notierte während der Meßfahrten laufend Windrichtung und -geschwindigkeit. Neben den Ergebnissen dieser Stationen, von denen nur die des Instituto Colombo-Alemán ständig im Brisa-Einfluß lag, wurden die Aufzeichnungen von mehreren Meßfahrten, die mit einem Jeep entlang den drei leichter befahrbaren Straßen unternommen wurden, ausgewertet. Dabei wurden mit einem Hand-Anemometer, Kompaß, Windfahne und Aßmann-Psychrometer punkthaft die entsprechenden Messungen vorgenommen und mit Hilfe der Basis-Stationen auf einen Zeitpunkt zurückgerechnet. Außerdem wurden die Meßwerte der Radiosonden-Aufstiege der Stationen Curaçao, Maracay (Venezuela) und San Andrés (Isla) ausgewertet. Infolge der kurzen Beobachtungszeit, der nicht für diese Problemstellung vorgesehenen Ausrüstung, der schwierigen Geländeverhältnisse, aber vor allem des Fehlens eines Wetterdienstes und synoptischer Karten dürfen die mitgeteilten Beobachtungen und Deutungsversuche nur als ein Anfangsergebnis gewertet werden.

Die Beobachtungs- und Meßergebnisse

Am Beispiel der „Brisa-Wetterlage“ vom 20. 12. 1967 sollen die typischen Abläufe, die zur Brisa führen, beschrieben werden. Der Passat tritt im Osten mit der geringen Geschwindigkeit von 1—2 m/s in das Piedras-Tal ein (Abb. 1 und 4). Bis kurz unterhalb der Talwasserscheide wird die Strömung auf 5 m/s beschleunigt, doch erst im Talwasserscheiden-Bereich und W davon bis Santa Marta werden Geschwindigkeiten von > 10 m/s erreicht. Nach Sonnenuntergang bis morgens 9.00 Uhr weht die „Brisa“ noch über das Schwemmland bis 3 km südlich des Río Gaira. Danach setzt sich aber hier der Seewind gegen die Brisa durch. Südlich davon, im Lee der hohen Sierra herrscht ein tageszeitlich wechselnder Land-Seewind. Auf der Südseite der Talweitung von Santa Marta nimmt die Windgeschwindigkeit bis 200 m Höhe schon auf 0,5 m/s und bis 400 m Höhe auf $< 0,1$ m/s ab. Der tageszeitliche Rhythmus der Berg/Talwind- und Land/Seewind-Komponenten bewirkt nach Sonnenuntergang eine Zunahme der Geschwindig-

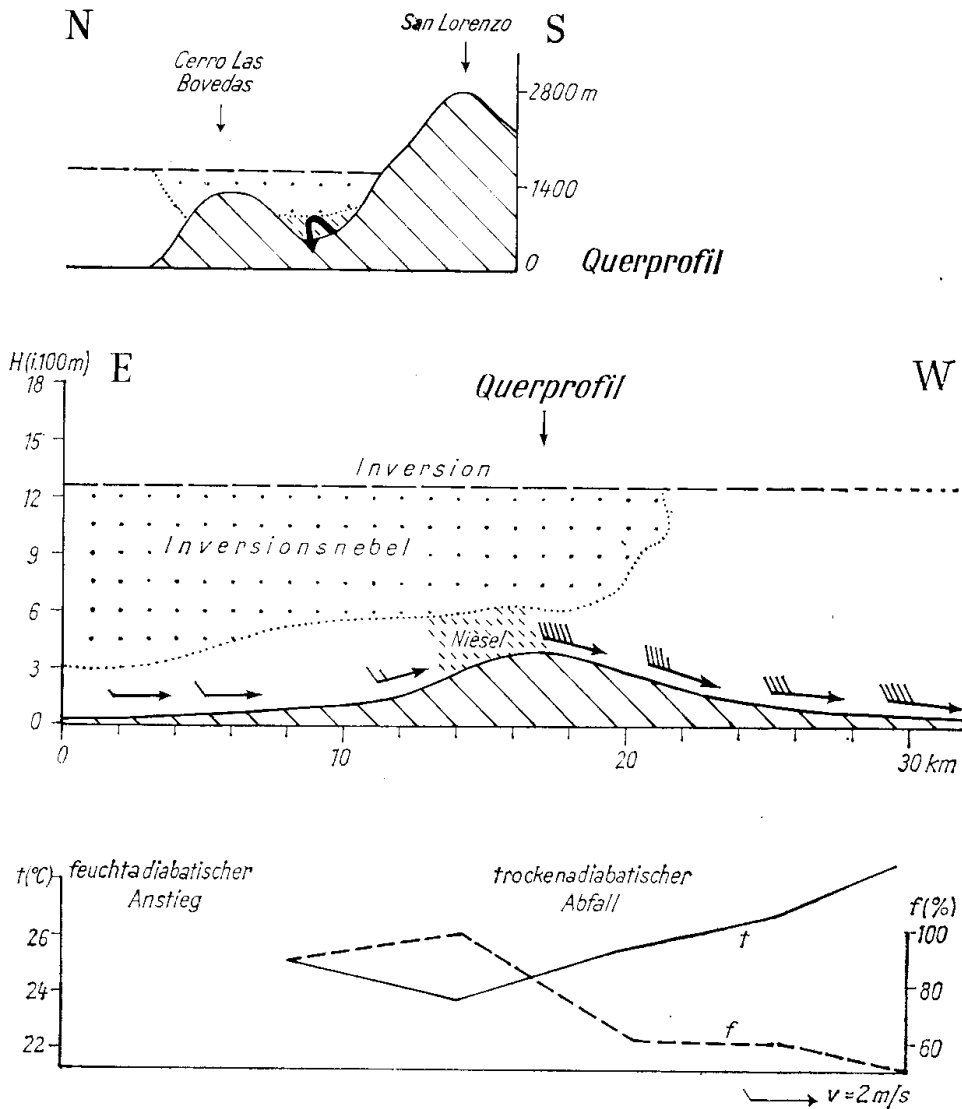


Abb. 4. Schema der Entstehung der „Brisa“ (Meßfahrt am 20. 12. 1967, 21 Uhr).

keiten W der Talwasserscheide, denn Berg- und Landwind wirken in gleicher Weise wie die Brisa. E der Talwasserscheide wirkt die Berg- und Landwind-Komponente entgegen der Passatströmung. Im Bereich der Südhänge des mittleren Gaira- und mittleren Manzanares-Tal wehen die Winde im tagesperiodischen Wechsel als Berg/Landwinde in der Nacht und See/Talwinde am Tage. Bei schwacher Brisa können sich die tagesperiodischen Winde meist zwischen 10 und 12 Uhr für eine kurze Zeit auch über Santa Marta gegen die östliche „Brisa“ windrichtung bis etwa 5 km landeinwärts durchsetzen. Am 20. 12. tritt jedoch nur eine Abschwächung der Brisa um diese Uhrzeit ein.



Abb. 5. „Föhnmauer“ über der Piedras/Manzanares-Wasserscheide. (Nach einem vom Verfasser am 20. 12. 1967, 15 Uhr, aufgenommenen Dia gezeichnet von H. NOHL).

Typisch für alle Brisawetterlagen ist, daß sich eine kräftige und tiefliegende Inversion zwischen 1400 und 1800 m über NN entwickelt hat. Durch eine deutlich ausgeprägte Obergrenze der Inversionsnebel, die mit Hilfe markanter Geländepunkte in ihrer Höhenlage festzulegen war, konnte die Lage der Inversion bestimmt werden. Diese Lage war am 20. 12. 67 mit 1200—1300 m außergewöhnlich tief. Die Nebel reichten im Wasserscheidenbereich streckenweise bis in Bodennähe herab und gaben feinen Niesel ab. Nur wenig W der Wasserscheide lösten sich die Wolken auf, so daß von Santa Marta her der Eindruck einer „Föhnmauer“ entstand. Im Gegensatz zu diesem Wolkenbild entstanden im südlichen Bereich der Talweitung, im Herrschaftsgebiet der tagesperiodischen Winde Quellwolken, die in eine Höhe von > 3000 m reichten. Ein Teil der Inversionsnebel trieb auf See hinaus, wo sie sich nachts zu einer markanten Reihe tiefer Cumuli castellani umformten.

Bei den Meßwerten (Tab. 1.1 u. Abb. 4) zeigt sich deutlich der langsame Abfall der Temperatur vom Piedras-Tal bis zur Wasserscheide hin von $25,1^{\circ}\text{C}$ auf $23,6^{\circ}\text{C}$ und der dann rasch folgende Anstieg der Temperatur W der Talwasserscheide auf $28,4^{\circ}\text{C}$. Die räumliche Verteilung der relativen Feuchte erfolgt gegenläufig: Im Talwasserscheidenbereich erfolgt Kondensation, doch weiter W davon nimmt die relative Feuchte rasch auf $< 50\%$ ab. Diese Abnahme der Temperatur (um $\Delta t < 0,5^{\circ}\text{C}/100$ m) beim Aufstieg zur Wasserscheide von Osten her und die Zunahme (um $\Delta t > 1^{\circ}\text{C}/100$ m) wurde auch bei der Meßfahrt am 24. 12. 1967 (Tab. 1.2) festgestellt und wird als feucht-adiabatischer Anstieg und trockenadiabatischer Abfall der Luft gedeutet.

Tabelle 1. Temperaturverhältnisse im Manzanares- und Piedras-Tal. (Die Nummern vor den Meßpunkten geben in Abb. 1 ihre Lage an.)

1.1 Meßtag 20. 12. 1967, 21 Uhr		H (m)	t (grd C)	ΔH (m)	Δt (grd C)	Δt 100 m
1	ICA	23	28,3			
				427	4,7	1,1
2	Wasserscheide	450	23,6	100	0,4	0,4
3	Luvseite des Passes	350	24,0	230	1,1	0,48
4	km 24	120	25,1			
1.2 Meßtag 24. 12. 1967, 12 Uhr						
5	Selva del Oro	50	29,9			
				330	3,6	1,09
6	Straßeneinschnitt Wasserscheide	380	26,3	260	1,3	0,5
4	km 24	120	27,6			

Das im vorstehenden beschriebene Beispiel ist in der Rangordnung der erreichten Windstärken ein mittlerer Fall. In der Trockenzeit 1967/68 konnten an mehreren Tagen¹⁾ Windgeschwindigkeiten > 30 m/s gemessen werden.

Es treten Fälle auf, bei denen die Brisa nicht mit einer Föhnmauer verbunden ist. Das ist immer dann der Fall, wenn der Feuchtigkeitsgehalt der Luft so gering ist, daß es nicht zur Kondensation kommt. Wenn die Wetterlage, bei der die Brisa entsteht, d. h. allgemeine Absinkbewegung der Passatluft und eine tiefe deutliche Inversion, umschlägt in eine solche mit Konvektion, dann hört auch die Brisa auf zu wehen, und es herrschen die typischen tagesperiodischen Winde.

Die durch die Brisa bedingten klimatischen Verhältnisse bewirken eine entsprechende Anordnung der naturnahen Vegetation. E der Talwasserscheide hat sich ein immergrüner tropischer Saisonwald entwickelt, in dem auf Grund der Nebelhäufigkeit *Tillandsia usneoides* L. zahlreich vorkommt. W der Talwasserscheide schließen sich ein tropischer halbimmergrüner und dann ein trockenkahler Tieflagenwald an.

In der Umgebung von Santa Marta herrscht die größte Trockenheit, so daß hier vor allem ein sukkulentenreiches offenes bis dichtes trockenkahles Laubgebüsch gedeiht (R. SCHNETTER 1969: 300). Diese Vegetationsverteilung ist aber auch durch Schubspannungseffekte zwischen Land und See (R. A. BRYSON & P. M. KUHN 1961: 287—294) sowie besonders bei labiler Luftschichtung der Sommermonate durch orographische Einwirkungen bedingt. Die großen Windstärken der „Brisa“ erzeugen bei exponierten Bäumen und Büschen typische Formen der Windschur.

Deutungsversuch

Die im vorangehenden beschriebenen Beobachtungen, nämlich das häufige Vorhandensein einer „Föhnmauer“ sowie das feuchtadiabatische Ansteigen und trockenadiabatische Absteigen der Luft im Lee der Talwasserscheide hat die „Brisa“ mit den föhnartigen Winden gemein. Da die herangeführte Passatluft bei Brisa-Wetterlagen relativ kälter ist als die Luft W der Talwasserscheide im Lee des Gebirges, die dort auch indifferent gelagert ist (Quellwolken!), kann die Brisa als ein Fallwind, für den das Archimedische Prinzip gültig ist, erklärt werden. Es handelt sich also nicht um den klassischen Föhn, dessen Winde wärmer sind als ihre Umgebung und zu deren Erklärung F. ROSSMANN (1951: 300—304) und H. BERG (1953: 263) das Archimedische Prinzip in anderer Art in Anwendung bringen. Auch der strömungsmechanische Erklärungsversuch

¹⁾ In der Neujahrsnacht 1968 entstand an der Windfernmeßanlage des Instituto Colombo-Alemán durch orkanartige Windstärken ein Defekt, der erst einen Monat später behoben werden konnte, so daß eine statistische Bearbeitung des Materials nicht möglich ist.

H. SCHWEITZERS (1953: 350—371) braucht nicht in Anwendung gebracht zu werden. Die Erklärung von L. PRANDTL (1942: 326) reicht aus, um die hohen Windgeschwindigkeiten und das Entstehen einer flachen, stürmischen Windströmung die sich der Geländeform anpaßt, zu verstehen. In Abb. 6 ist ρ_2 die Dichte der kalten stabil gelagerten Passatluft, welche die Talwasserscheide überflutet und die warme, indifferent gelagerte Luft im Lee des Gebirges mit der Dichte ρ_1 verdrängt.

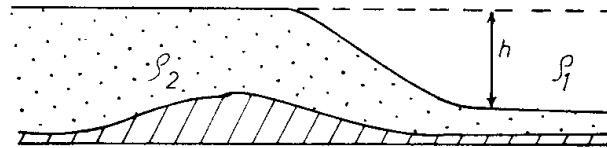


Abb. 6. Entstehung eines Fallwindes (nach L. PRANDTL 1942).

Nach den Beobachtungen darf ein Höhenunterschied $h = 1500$ m und ein Temperatursprung von $\Delta t = 4^\circ \text{C}$ angenommen werden. Nach L. PRANDTL (1942: 326) gilt für die Errechnung der reibungslos angenommenen Geschwindigkeit

$$\omega_0 = \sqrt{2 g h \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2}}$$

(ω_0 = reibungslos gerechnete Geschwindigkeit, g = Erdbeschleunigung, h = Höhenunterschied, ρ = Dichte der Luft).

Aufgrund der angenommenen Werte errechnet sich eine reibungslose Geschwindigkeit von $v \approx 20$ m/s, was ganz den Beobachtungen entspricht.

Diese Rechnung setzt nach L. PRANDTL (1942: 326) voraus, daß die warme Luft im Tal annähernd indifferent gelagert ist, was aufgrund der starken Konvektionsbewölkung der Leeseite angenommen werden kann. Bei stabiler Lagerung würden in den tiefen Schichten die Temperaturunterschiede geringer, da die einfließende Passatströmung sich adiabatisch verhält. Damit würde aber der Ausdruck $(\rho_2 - \rho_1) \cdot \rho_2^{-1}$ kleiner und damit auch die erreichte Geschwindigkeit. Bei länger anhaltender „Brisa“ ist das sicher der Fall, wenn vor allem nachts der Luftaustausch von aufgeheizter, indifferent gelagerter zu eingeströmter Luft vollzogen ist. Das mag eine der Ursachen für den zeitlichen Geschwindigkeitswechsel der Brisa sein.

Dieses Grundmodell erfährt einige Ergänzungen: Durch die indifferente Schichtung im Lee der Wasserscheide entsteht dort nachts eine auf See, d. h. in Brisarichtung gerichtete Land-/Bergwind-Komponente, tags eine entgegen der „Brisa“ gerichtete See-/Talwind-Komponente. Über dem Talwasserscheiden-Bereich begrenzt bei Brisa-Wetterlagen eine deutliche Inversion die stabilgelagerte Passatströmung. Da dieser Inversion eine Sperrschicht für Vertikalbewegungen (H. FAUST 1968: 26) bildet,

entsteht gemeinsam mit den Talflanken eine Düse, in der die Winde eine zusätzliche Beschleunigung erfahren. Aus der Rauigkeit der in diese Düse hereinragenden Bergrücken wird dann auch die merkwürdige Stoß- und Richtungsböigkeit verständlich, die nach H. SCHWEITZER (1953: 362—363) ihren Ursprung in Verdünnungs- und Verdichtungslinien bei überkritischer Geschwindigkeit hat. Diesen Linien folgen räumlich und zeitlich wechselnde Druckgradienten, aus denen die Böigkeit und die Richtungsänderungen entstehen.

Charakteristisch für die Brisa ist ein regelmäßiges Maximum kurz vor Mitternacht und ein Minimum kurz vor Sonnenaufgang. Das kann im Falle des Maximums mit der Addition der Land-Bergwind-Komponente erklärt werden. Das Minimum fällt zeitlich mit dem Minimum des täglichen Ganges der Windgeschwindigkeit des Passats nach den langjährigen Beobachtungen auf Curaçao zusammen.

Das unregelmäßige Anschwellen und Abklingen im Abstand von ein bis mehreren Tagen muß wohl mit Änderungen der großräumigen Vertikalbewegungen einhergehen, die zugleich Auswirkungen auf die Intensität der Passatinversion zeigen (S. HASTENRATH 1967: 202).

Notwendig für die Entstehung der Brisa ist also stabil geschichtete Passatluft unter einer deutlichen Inversion in 1 400—1 800 m. Die Strömung erhält dann durch das Bestreben, daß schwerere Luft die tiefstmögliche Lage einzunehmen gezwungen ist und durch den Düseneffekt, der sich aus der Geländegestalt und der nach oben abdeckenden Inversion ergibt, die hohen Windgeschwindigkeiten, Wetterlagen, bei denen diese Bedingungen erfüllt sind, treten aber fast ausschließlich in der Zeit von Mitte Dezember bis Ende März auf, so daß die Brisa auf diese Zeit beschränkt bleibt.

Schlußbemerkungen

Grundsätzlich sollten bei orographischen Verhältnissen, die denen E von Santa Marta ähnlich sind, im Bereich der Passatzzone ähnliche Windverhältnisse auftreten. Tatsächlich konnte beim Besuch der Ostkordillere im Valle del Río Cahirí ein Fallwind beobachtet werden, der auch durch das Überwehen einer Talwasserscheide und durch eine tiefliegende Inversion und einem daraus resultierenden Düseneffekt bedingt zu sein schien.

Neben der austrocknenden Wirkung und dem damit verbundenen Einfluß auf die Landwirtschaft kommt der „Brisa“ weitere Bedeutung zu insofern, als sie bei größeren Gebäuden und bei Fabrikhallen die ortsübliche leichte Bauweise vor allem bei den Dachkonstruktionen nicht zuläßt. Neben der Behinderung der Schifffahrt in der Bucht von Santa Marta erzwang sie auch die entfernte Lage des Flugplatzes 15 km südlich der Stadt außerhalb ihres Einflußbereiches.

Schrifttum

- BERG, H.: Atmosphäre und Wetter. — 1—311, Humboldt Verlag, Stuttgart und Wien 1963.
- BRYSON, R. A. & KUHN, P. M.: Stress-differential Induced Divergence with Application to Littoral Precipitation. — *Erdkunde*, 15, 287—294, Bonn 1961.
- FAUST, H.: Der Aufbau der Erdatmosphäre. — 1—307, Vieweg und Sohn, Braunschweig 1968.
- HASTENRATH, S.: On General Circulation and Energy Budget in the Area of the Central American Seas. — *J. Atm. Sci.*, 23, 694—711, Lancaster, Pa. 1966.
- Rainfall Distribution and Regime in Central America. — *Arch. Meteor. Geophys. Bioklimat.*, B, 15, 201—241, Wien 1967.
- HOWELL, W. & LOPEZ, M.: The Campaign Against Windstorms in the Banana Plantations Near Santa Marta, Colombia, 1956—57. — *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 42, 265—276, Lancaster, Pa. 1961.
- LAHEY, J. F.: On the Origin of the Dry Climate in Northern South America and the Southern Caribbean. — *Dept. Meteor., Univ. Wisconsin, Sci. Rep.*, 10, 1—290, Madison 1958.
- PRANDTL, L.: Führer durch die Strömungslehre. — 1—345, Vieweg und Sohn, Braunschweig 1942.
- ROSSMANN, F.: Die Föhnbildung aus der Föhnmauer. — *Z. Meteor.*, 5, 300—304, Berlin 1951.
- SCHNETTER, R.: Die Vegetation des Cerro San Fernando und des Cerro La Llorona im Trockengebiet bei Santa Marta, Kolumbien. — *Ber. dt. bot. Ges.*, 81, 289—302, Stuttgart 1969.
- SCHULTZE, A.: Flammen in der Sierra Nevada de Santa Marta. — *Mitt. geogr. Ges. Hamburg*, 45, 59—226, Hamburg 1937.
- SCHWEITZER, H.: Versuch einer Erklärung des Föhns als Luftströmung mit überkritischer Geschwindigkeit. — *Arch. Meteor. Geophys. Bioklimat.*, A, 5, 350—371, Wien 1953.
- SIEVERS, W.: Die Sierra Nevada de Santa Marta und die Sierra de Perijá. — *Z. Ges. Erdkde.*, 23, 1—442, Berlin 1887.
- TROLL, C.: Die Lokalwinde der Tropengebirge und ihr Einfluß auf Niederschlag und Vegetation. — *Bonner geogr. Abh.*, 9, 124—182, Bonn 1952.

Anschrift des Autors:

Dr. Reimer Herrmann, Geographisches Institut der Justus Liebig-Universität,
63 Gießen, Landgraf-Philipp-Platz 2.

