

ISSN 0073-8433

PUBLIKATIONEN ZU WISSENSCHAFTLICHEN FILMEN

SEKTION
**TECHNISCHE WISSENSCHAFTEN
NATURWISSENSCHAFTEN**

SERIE 8 · NUMMER 17 · 1983

FILM C 1408

**Horizontale und vertikale Bewegungsfelder
in der Seewindzirkulation
Numerische Simulation**



INSTITUT FÜR DEN WISSENSCHAFTLICHEN FILM · GÖTTINGEN

Angaben zum Film:

Tonfilm (Komm., deutsch oder engl.), 16 mm, farbig, 70 m, 6¹/₂ min (24 B/s). Hergestellt 1980, veröffentlicht 1981.

Der Film ist für die Verwendung im Hochschulunterricht bestimmt.

Veröffentlichung aus dem Institut für Geophysikalische Wissenschaften der Freien Universität Berlin, Prof. Dr. G. WARNECKE, dem Hochschulfilmreferat (Prof. Dr. W. DEWITZ), Dipl.-Met. B. CARUS, und dem Institut für den Wissenschaftlichen Film, Göttingen (Dr. H.-K. GALLE), Dr. G. GLATZER; Kamera und Schnitt: B. CARUS; Zeichentrickherstellung: I. ERPEL, E. RATEITSCHAK; Computergrafik: Dr. R. A. PIELKE, University of Virginia.

Zitierform:

CARUS, B., G. WARNECKE und INST. WISS. FILM: Horizontale und vertikale Bewegungsfelder in der Seewindzirkulation – Numerische Simulation. Film C 1408 des IWF, Göttingen 1981. Publikation von Ch. ZICK und G. WARNECKE, Publ. Wiss. Film., Sekt. Techn. Wiss./Naturw., Ser. 8, Nr. 17/ C 1408 (1983), 11 S.

Anschrift der Verfasser der Publikation:

Prof. Dr. G. WARNECKE, Freie Universität Berlin, Institut für Geophysikalische Wissenschaften, Thielallee 50, D-1000 Berlin 33.

Dipl.-Met. Ch. ZICK, Freie Universität Berlin, Hochschulfilmreferat, Maltesserstr. 74–100, D-1000 Berlin 46.

PUBLIKATIONEN ZU WISSENSCHAFTLICHEN FILMEN

Sektion BIOLOGIE

Sektion PSYCHOLOGIE · PÄDAGOGIK

Sektion ETHNOLOGIE

Sektion TECHNISCHE WISSENSCHAFTEN

Sektion MEDIZIN

NATURWISSENSCHAFTEN

Sektion GESCHICHTE · PUBLIZISTIK

Herausgeber: H.-K. GALLE · Schriftleitung: E. BETZ

PUBLIKATIONEN ZU WISSENSCHAFTLICHEN FILMEN sind die schriftliche Ergänzung zu den Filmen des Instituts für den Wissenschaftlichen Film und der Encyclopaedia Cinematographica. Sie enthalten jeweils eine Einführung in das im Film behandelte Thema und die Begleitumstände des Films sowie eine genaue Beschreibung des Filminhalts. Film und Publikation zusammen stellen die wissenschaftliche Veröffentlichung dar.

PUBLIKATIONEN ZU WISSENSCHAFTLICHEN FILMEN werden in deutscher, englischer oder französischer Sprache herausgegeben. Sie erscheinen als Einzelhefte, die in den fachlichen Sektionen zu Serien zusammengefaßt und im Abonnement bezogen werden können. Jede Serie besteht aus mehreren Lieferungen.

Bestellungen und Anfragen an: Institut für den Wissenschaftlichen Film
Nonnenstieg 72 · D-3400 Göttingen
Tel. (05 51) 2022 02

FILME FÜR FORSCHUNG UND HOCHSCHULUNTERRICHT

BENNO CARUS, GÜNTER WARNECKE, Berlin, und INSTITUT FÜR DEN WISSENSCHAFTLICHEN FILM, Göttingen:

Film C 1408

Horizontale und vertikale Bewegungsfelder in der Seewindzirkulation – Numerische Simulation

Verfasser der Publikation: CHRISTIAN ZICK und GÜNTER WARNECKE, Berlin

Mit 6 Abbildungen

Inhalt des Films:

Horizontale und vertikale Bewegungsfelder in der Seewindzirkulation – Numerische Simulation. Die sich im Tagesgang über Florida entwickelnde Seewindzirkulation wird durch horizontale Windvektorfelder in 50 m und in 1220 m Höhe beschrieben, verknüpft mit den Vertikalbewegungen im 1220-m-Niveau. Die gemeinsame Darstellung der drei Komponenten im Film zeigt ihre Beziehungen zueinander.

Summary of the Film:

Horizontal and Vertical Motion Fields in Sea Breeze Circulation – Numerical Simulation. The basic material for this film are computer-generated plots of wind vector fields (in 50 m and 1220 m height) and plots of the vertical velocity (1220 m height) under sea breeze conditions over South Florida (numerical simulation by R.A. PIELKE). The relations between the development of the low level convergence, vertical velocity, and „high“ level divergence are explained.

Résumé du Film:

Champs de mouvement horizontaux et verticaux dans la circulation du vent de mer. Simulation numérique. La circulation du vent de mer qui évolue au cours de la journée au-dessus de la Floride est montrée à l'appui des champs vectoriels horizontaux du vent à 50 m et 1220 m d'altitude, en corrélation avec les mouvements verticaux au niveau 1220 m. La représentation commune des trois composantes dans le film met en évidence leurs rapports.

Allgemeine Vorbemerkungen

Die See-Wind-Zirkulation ist nicht nur für den Meteorologen ein interessantes Studienobjekt, vielmehr ist die genauere Kenntnis der Charakteristika dieser Zirkulation auch von unmittelbarer praktischer Bedeutung bei der täglichen Vorhersage von Sonnenschein, Bewölkung, Schauern und Gewittern im Küstenbereich, die sich bei bestimmten Wetterlagen immer wieder an den gleichen Stellen ausbilden. So kann man z.B. in Florida mit großer Sicherheit vorhersagen, daß sich an sonnenscheinreichen Tagen bei allgemein vorherrschendem Südwestwind über Miami heftige Gewitter infolge der Seewindzirkulation ausbilden, während es bei vorherrschendem Südostwind nahezu wolkenlos bleibt.

In industriellen Ballungsgebieten am Rande großer Gewässer, kann durch die Seewindzirkulation eine gefährliche Verstärkung der Luftverschmutzung herbeigeführt werden, da die Aerosole und Schadstoffe nicht wie gewöhnlich vom Wind weit weggetragen und verteilt werden, sondern größtenteils in der Seewindzirkulation verbleiben und somit wieder in die bewohnten Gebiete zurückgeführt werden.

Ein angenehmerer Effekt des Seewindes ist es, daß er neben dem erfrischenden Wind den Badegästen an der Küste eine größere Zahl von Sonnenscheinstunden bringt als weiter landeinwärts, weil der Küstenstreifen infolge der Zirkulation frei von Bewölkung bleibt.

Die Seewindzirkulation wird durch unterschiedliche Erwärmung der benachbarten Land- und Wasserflächen verursacht. Sie ist eine direkte thermische Zirkulation.

Der physikalische Vorgang ist im Prinzip kurz folgender: Am Morgen setzt Sonneneinstrahlung auf Land- und Wasseroberflächen in gleicher Weise ein. Im Gegensatz zum Wasser erwärmt sich aber die Landoberfläche sehr viel stärker; entsprechend steigt die Lufttemperatur über Land, so daß sich in der Höhe dort die Druckflächen heben, es entsteht ein Druckgefälle in der Höhe an den Küsten (Abb. 1). Die infolgedessen dort einsetzende Massenverlagerung läßt den Druck über den Wasseroberflächen steigen und in der untersten Luftschicht eine landwärts gerichtete Strömung entstehen (Abb. 2). Durch ausgleichende Vertikalbewegungen entwickelt sich daraus die geschlossene Zelle der Seewindzirkulation.

Der Seewind als tagesperiodisches Phänomen, dessen nächtliches Pendant, der Landwind, im allgemeinen weniger prägnant in Erscheinung tritt, ist schon seit dem Altertum bekannt und seit langem als thermisch angeregte Zirkulation physikalisch erklärt (vgl. DEFANT [1]). Eine eindrucksvolle einfache Nachbildung im Labor wird in dem Lehrfilm „What makes the wind blow?“ gezeigt (s. Literatur- und Filmveröffentlichungen). Seit den späten fünfziger Jahren bemüht man sich auch, die Seewindzirkulation mit Hilfe numerisch-mathematischer Rechenmodelle zu simulieren. So hat ESTOQUE ([2]) schon wesentliche Einzelheiten in einem zweidimensionalen Modell (in einer Vertikalenebene) darstellen können. Das bisher ausführlichste und aufwendigste, dreidimensionale Rechenmodell („University of Virginia Mesoscale Model“, UVMM) ist 1974 von ROGER A. PIELKE ([3]) vorgestellt worden. PIELKE konnte zeigen, daß dieses die Seewindverhältnisse im südlichen Florida – den lokalen geographischen Bedingungen entsprechend – unter den verschiedensten Anströmungsbedingungen in weitgehenden Einzelheiten sehr realistisch wiedergibt. Charakteristische Eigenschaften der Seewindzirkulation

werden deshalb in diesen Filmgruppen unter Benutzung von PIELKES Simulationsergebnissen dargestellt.

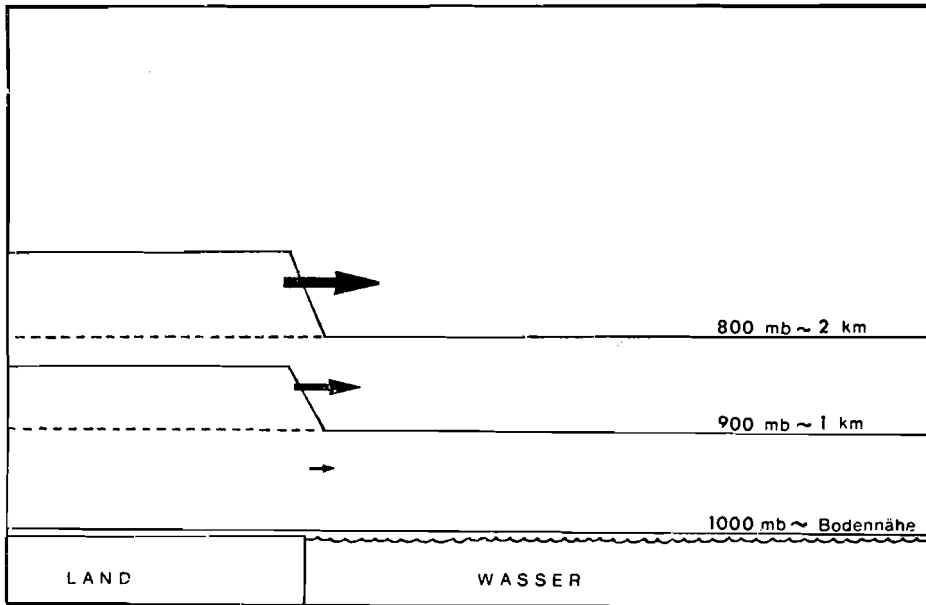


Abb. 1. Anfangsstadium einer Seewindzirkulation

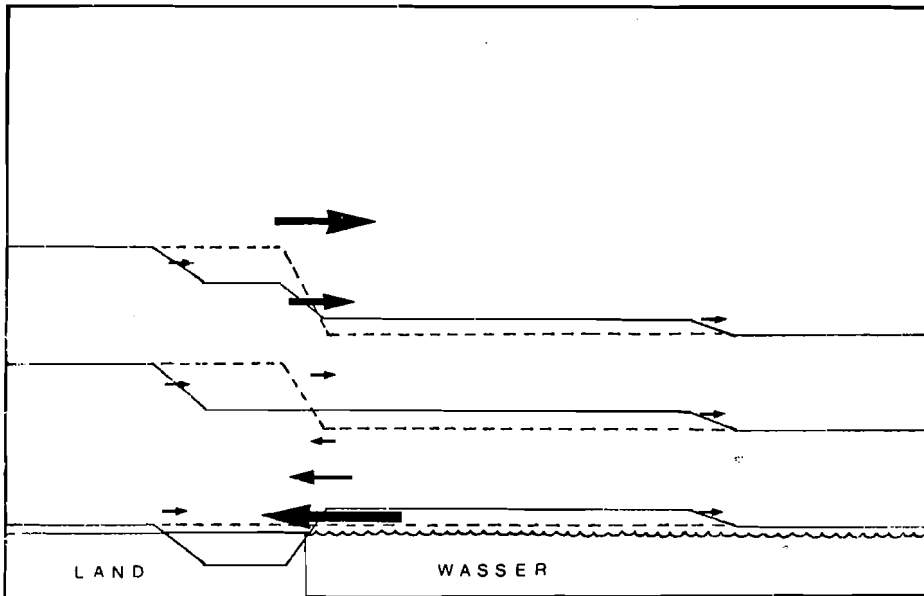


Abb. 2. Horizontale Strömungen im fortgeschrittenen Stadium der Seewindzirkulation

Dieses Modell wurde für die Simulation der Seewindzirkulation in südlicheren Breiten geschaffen. Es ist ein dreidimensionales Differenzenmodell, das die Windstruktur in ihrem zeitlichen Ablauf während eines Tages berechnet, und zwar aufgrund der Vorgabe des großräumigen Windfeldes, der Bodenrauigkeit und des Tagesganges der Bodentemperatur.

Die Maschenweite des inneren Gitters beträgt 11 km mit insgesamt 25 mal 28 Gitterpunkten. Das entspricht einem Gebiet von 260 mal 300 Kilometern. Für dieses Gebiet wurden die Werte berechnet und dargestellt, auf denen die im Film verwendeten Grafiken beruhen. Berücksichtigt werden außerdem Berechnungen aus einem weitermaschigen Berandungsgitter.

In der Vertikalen weist das Modell 8 Flächen auf und umfaßt einen Bereich vom Erdboden bis ca. 5 km Höhe.

Im Modell werden folgende Gleichungen verwandt:

- (a) Prognostische Bewegungsgleichung,
- (b) Prognostische Temperaturgleichung,
- (c) Prognostische Gleichung für die spezifische Feuchte,
- (d) Inkompressible Kontinuitätsgleichung,
- (e) Hydrostatische Grundgleichung,
- (f) Tendenzgleichung für die Höhe der materiellen Oberfläche d. Modells.

Die turbulenten Flüsse sind durch Austauschkoefizienten parametrisiert.

Phasenumwandlungen des Wasserdampfes gehen nicht in das Modell ein (es ist ein sog. „trockenes“ Modell). Ebenso wird die Topografie der Erdoberfläche unberücksichtigt gelassen, es wird lediglich zwischen Land und Wasser unterschieden.

HORIZONTAL VELOCITY HOUR = 8.34
USYNOP = 6.0M/SEC ANGLE = 270.
LEVEL = 0.05KM

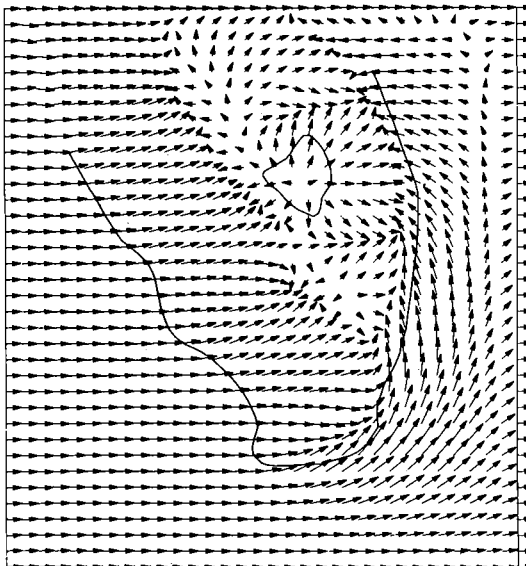


Abb. 3.

Das Modell rechnet mit einer homogenen stationären Grundströmung. Deren Richtung und Stärke können frei vorgegeben werden. Auf diese Weise können die verschiedenen Modifikationen dieser Grundströmung durch die aufgeprägte Seewindzirkulation, insbesondere die Verlagerung, Intensität und Detailstruktur der Seewindfront und der Absinkgebiete bei unterschiedlichen Anströmrichtungen berechnet und dargestellt werden: die Abbildungen 3 und 4 zeigen den berechneten Zustand des Stromfeldes in 50 m Höhe etwa acht Stunden nach Sonnenaufgang, bei zwei verschiedenen Grundstromrichtungen. In den Filmszenen kann die zeitliche Veränderung dieser Windvektoren an den festen Gitterpunkten verfolgt werden. Diese Darstellung des Stromfeldes zu jeweils festen Zeitpunkten heißt EULER'sche Darstellung.

HORIZONTAL VELOCITY HOUR = 8.33
 USYNOP = 2.5M/SEC ANGLE = 1:10.
 LEVEL = 0.05KM

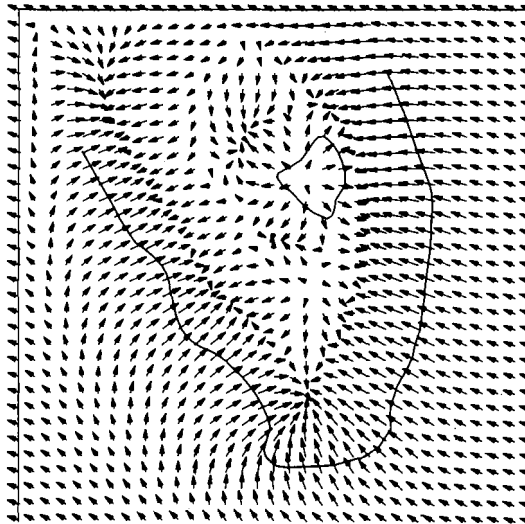


Abb. 4.

Eine andere Darstellungsform von Bewegungen ist bekanntlich die LAGRANGESche, mit der der Weg jeweils individueller Partikel während eines Zeitintervalls beschrieben wird. In der von PIELKE gewählten Version der LAGRANGESchen Darstellung werden von den Gitterpunktpositionen aus Punkte mit der Strömung verlagert. In einem Einzelbild (Abb. 5) ist u.U. die Zuordnung zu Anfangspositionen schwer möglich, in den Bewegungsszenen lassen sich so aber sehr gut Luftbahnen verfolgen.

Da das Modell dreidimensional ist, können die horizontalen und vertikalen Felder verschiedener Niveaus dargestellt werden. Zur Beschreibung der Zirkulationszelle wird hier neben dem 50 m-Niveau (in dem der eigentliche Seewind und die Konvergenzerscheinungen der Seewindfront erkennbar sind) das 1220-m-Niveau betrachtet, in dem die oberen Rückstrombewegungen der Zirkulationszelle deutlich werden.

Ferner liegt für das 1220-m-Niveau eine Isoplethendarstellung der Vertikalbewegungen vor (Abb. 6). Hiermit können sowohl die Vertikalanteile der Seewindzirkulationszelle dargestellt werden, als auch die allgemeinen Zusammenhänge zwischen diesen und den Konvergenzen/Divergenzen am Boden und in der Höhe.

TRAJECTORIES HOUR = 8.34
USYNOP = 6.0M/SEC ANGLE = 270.
LEVEL = 0.05KM

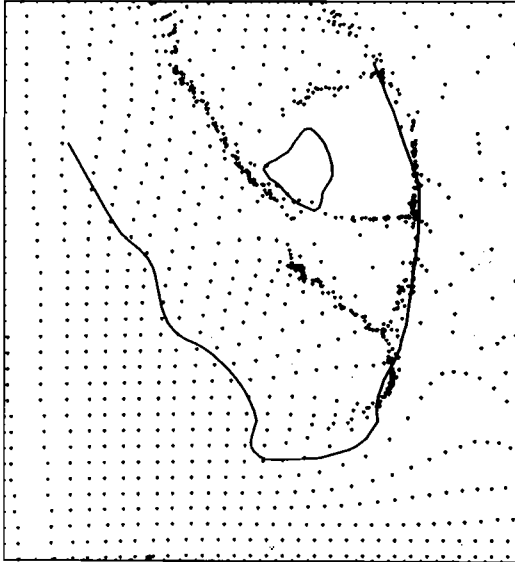


Abb. 5.

VERTICAL VELOCITY HOUR = 8.33
USYNOP = 2.5M/SEC ANGLE = 110.
LEVEL = 1.22KM CONTOUR INTERVAL = 8.00 CM/SEC



Abb. 6.

Zur Entstehung des Films

Das Rechenmodell lieferte Grafiken der Strömungsverhältnisse in Simulationsschritten von 10 Minuten; der Film wurde aus diesen einzelnen, auf Transparenten photographisch reproduzierten Computergrafiken hergestellt. Die Grafiken enthalten lediglich die reine Strömungsinformation und die Konturen von Florida. Alle anderen farbigen grafischen Informationen sind für die weitere Interpretation nachträglich hinzugefügt.

Die Computergrafiken wurden von R.A. PIELKE, University of Virginia, freundlicherweise zur Verfügung gestellt.

Die Filmszenen wurden am Hochschulfilmreferat der Freien Universität Berlin mit einer Crass-Trick-Kamera hergestellt.

Erläuterungen zum Film

Wortlaut des gesprochenen Kommentars

Innerhalb dieses Quaders beschreibt das numerische Modell der Seewindzirkulation von ROGER A. PIELKE horizontale und vertikale Bewegungen. Diese Darstellung ist 1:50 überhöht.

Um die dreidimensionalen Zusammenhänge der Seewindzirkulation zu veranschaulichen, stellen wir im 50-Meter-Niveau die Horizontalbewegungen und im 1 220-Meter-Niveau die Horizontal- und die Vertikalbewegungen dar. Diese Niveaus repräsentieren das Einströmen und das niedrigste Niveau des Rückstroms am Beginn der Entwicklung.

Bei der Ausprägung der Seewindzirkulation über der Halbinsel Florida – hier mit vereinfachten Küstenlinien – erwarten wir entlang der Küste Konvergenz, die über der Südspitze und über den Landausbuchtungen verstärkt ist.

Der große Okeechobee-See bildet an seinen Ufern eine eigene Seewindzirkulation aus.

Die Modellrechnung zeigt vier Stunden nach Sonnenaufgang in der bodennahen Schicht tatsächlich dieses Bild. Die in Bodennähe konvergierende Luft steigt über der Konvergenz auf.

Hier die Vertikalbewegung zu diesem Zeitpunkt, die das Modell für das 1 220-m-Niveau errechnet.

Diese Flächen umfassen alle Absinkbewegungen. Aufwärtsbewegungen bis 8 cm/s sind grau markiert, höhere Aufwärtsgeschwindigkeiten weiß.

Die Horizontalbewegung in 1 220 Meter zeigt hier in den Gebieten mit Aufwärtsbewegung bereits Diffluenz, d.h. wir befinden uns im oberen Teil der Zirkulationszelle. Dem Modell ist für den ganzen Tag eine Grundströmung von 2,5 m/s aus Ostsüdost überlagert.

Die Simulation ergibt zunächst wenig Struktur im Bild der Vertikalbewegungen. Mit Bildung der Diffluenzzonen entwickeln sich aber sofort Gebiete verstärkter Aufwärtsbewegung – hier aufgrund der Küstenform – hier aufgrund der Überlagerung.

Vergleichen wir jetzt die Gebiete intensivster Aufwärtsbewegung mit dem Bodenwindfeld, so tritt an denselben Stellen verstärkte Konfluenz auf.

Verfolgt man nun Vertikalbewegungen und horizontales Windfeld in der Höhe im Tagesverlauf, so zeigt das Modell bis 11 Uhr Diffluenz über den Gebieten mit stärkster Aufwärtsbewegung. Bereits gegen 14 Uhr setzt sich aber insbesondere an der Südspitze Konfluenz bis in 1 220 Meter Höhe durch. Offenbar wächst hier die Zirkulationszelle besonders weit nach oben.

Auch in den übrigen Zonen mit Aufwärtsbewegung tritt im weiteren Verlauf des Tages nahezu überall Konfluenz auf.

Das Modell zeigt also, daß sich im Laufe der Entwicklung das unterste Rückstromniveau über 1 220 Meter hinaushebt. Dies stimmt mit der Erfahrung gut überein. Entsprechend zeigt das Bodenwindfeld im Verlauf des Tages eine stetige Zunahme der Konfluenz.

Die asymmetrische Verlagerung der Seewindfronten steht im Einklang mit der überlagerten Grundströmung.

English Version of the Spoken Commentary

Within this volume, the numerical sea breeze circulation model, developed by ROGER A. PIELKE, describes horizontal and vertical motions. In this figure the height scale is exaggerated by 50 times.

In order to illustrate the three-dimensional character of the sea breeze circulation, we shall present the low-level horizontal motions at the 50 m level – and horizontal and vertical motions at 1220 meters. These two levels serve to represent the sea breeze layer and the lowest level of apparent countercurrent of the vertical circulation cell.

With the sea breeze circulation fully developed over Southern Florida, we expect – from observation – to find a line of convergence along the coasts with distinct maxima over the southern tip and other areas of convex coastline.

Lake Okeechobee should develop its own lake breeze system.

The numerical simulation model shows indeed the same characteristics of low level flow after 4 hours of simulated time. The air flowing into the areas of confluence consequently rises upward; this is – for example – the field of vertical motion at this time, as computed by the model.

These areas represent subsidence. Upward motions up to 8 cm per second are toned gray, stronger upward motions are shown in white.

The field of horizontal motions at 1220 m exhibits here – in areas with upward motion – clearly diffuence, i.e. we are already within the return flow, the upper part of the circulation cell. A large-scale flow of 2.5 m/sec from the east-southeast was held constant during the day.

The vertical motion field shows little structure during the early stages of simulation.

But as soon as the upper level diffuence becomes more organized, we see it associated with pronounced upward motion: here due to the coast configuration, here by superposition of sea and lake breezes.

If we compare the areas of strongest upward motion with the low level wind field, we find strongest confluence in these places.

If we consider the vertical motion field and the horizontal upper wind field during the day, the computation shows diffuence at areas of maximum upward motion at least until 11 a.m. After 2 p.m., however, it begins to change into confluence, most pronounced over the southern tip of Florida; obviously, the low-level convergence grows upward here, even to 1220 m altitude. Later on, this happens almost everywhere.

Thus, the model computation indicates that the upper return flow layer of the sea breeze circulation cell moves upward during the intensification stage of the cell which seems to be in good accordance with observation. Accordingly, the low level confluence gradually intensifies during the course of the day.

The asymmetric displacement of the sea breeze fronts corresponds to the direction of the large scale flow.

Literatur

- [1] DEFANT, F.: „Local Winds“ in Compendium of Meteorology. Amer. Met. Soc. (1951), 655–673.
- [2] ESTOQUE, M.A.: „The Sea Breeze as a Function of the Prevailing Synoptic Situation“, Journ. of the Atm. Sc., Col. 19, 3 (1962), 244–250.
- [3] PIELKE, R.A.: „A Three-Dimensional Numerical Model of the Sea Breeze over South Florida“. Month. Weath Rev., 102 (1974), 115–139.

Filmveröffentlichungen

- [4] CARUS, B., G. WARNECKE und INST. WISS. FILM: Einfluß der Seewindzirkulation auf das horizontale Windvektorfeld – Numerische Simulation. Film C 1359 des IWF, Göttingen 1980. Publikation von Ch. ZICK und G. WARNECKE, Publ. Wiss. Film., Sekt. Techn. Wiss./Naturw., Ser. 8, Nr. 13/C 1359 (1983), 11 S.
- [5] CARUS, B., G. WARNECKE und INST. WISS. FILM: Vertikale Bewegungsfelder in der Seewindzirkulation – Numerische Simulation. Film C 1373 des IWF, Göttingen 1980. Publikation von Ch. ZICK und G. WARNECKE, Publ. Wiss. Film., Sekt. Techn. Wiss./Naturw., Ser. 8, Nr. 16/C 1373 (1983), 12 S.
- [6] SHELTON, J.S., and H. NEUBERGER: What Makes the Wind Blow? Film W 1032 im Sonderarchiv des IWF, Göttingen. Washington 1965.
- [7] WARNECKE, G., B. CARUS und INST. WISS. FILM: Horizontale und vertikale Bewegungsfelder in der Seewindzirkulation – Numerische Simulation. Film C 1408 des IWF, Göttingen 1981. Publikation von Ch. ZICK und G. WARNECKE, Publ. Wiss. Film., Sekt. Techn. Wiss./Naturw., Ser. 8, Nr. 17/C 1408 (1983), 11 S.
- [8] ZICK, Ch.: Ein einfaches physikalisches Modell der Seewindzirkulation – Teil 1. Film W 1721 im Sonderarchiv des IWF, Göttingen. Berlin 1975/76.
- [9] ZICK, Ch.: Ein einfaches physikalisches Modell der Seewindzirkulation – Teil 2. Film W 1722 im Sonderarchiv des IWF, Göttingen. Berlin 1975/76.
- [10] ZICK, Ch.: Die Seewindzirkulation, fotografiert vom ATS-III-Satelliten – 18. November 1967. Film W 1723 im Sonderarchiv des IWF, Göttingen. Berlin 1974/75.
- [11] ZICK, Ch.: Die Seewindzirkulation, fotografiert vom ATS-III-Satelliten – 19. November 1967. Film W 1724 im Sonderarchiv des IWF, Göttingen. Berlin 1974/75.
- [12] ZICK, Ch.: Die Entwicklung der Zirkulation unter großräumig aufländiger bzw. ablandiger Strömung – Ein Vergleich. Film W 1725 im Sonderarchiv des IWF, Göttingen. Berlin 1974/75.
- [13] ZICK, Ch.: Die Seewindzirkulation an den Küsten von Florida –ATS 3. Film W 1726 im Sonderarchiv des IWF, Göttingen. Berlin 1975/76.
- [14] ZICK, Ch., G. WARNECKE und INST. WISS. FILM: Horizontalkomponenten der Seewindzirkulation in Eulerscher und Lagrangescher Darstellung – Numerische Simulation. Film C 1360 des IWF, Göttingen 1980. Publikation von Ch. ZICK und G. WARNECKE, Publ. Wiss. Film., Sekt. Techn. Wiss./Naturw., Ser. 8, Nr. 14 C/ 1360 (1983), 12 S.
- [15] ZICK, Ch., G. WARNECKE und INST. WISS. FILM: Verformung von Partikelformationen unter Seewindbedingungen – Numerische Simulation. Film C 1372 des IWF, Göttingen 1980. Publikation von Ch. ZICK und G. WARNECKE, Publ. Wiss. Film., Sekt. Techn. Wiss./Naturw., Ser. 8, Nr. 15/C 1372 (1983), 12 S.

Anm.: Dieser Film ist Teil einer Filmgruppe, die sich mit dem Thema Seewindzirkulation insgesamt beschäftigt. Alle Filme sind jedoch so konzipiert, daß jeder einzelne davon unabhängig oder in beliebiger Verbindung mit den anderen Filmen eingesetzt werden kann.

Abbildungsnachweis

Abb. 1–6: Ch. ZICK.