

ISSN 0073-8433

# PUBLIKATIONEN ZU WISSENSCHAFTLICHEN FILMEN

SEKTION  
TECHNISCHE WISSENSCHAFTEN  
NATURWISSENSCHAFTEN

SERIE 8 · NUMMER 11 · 1983

FILM C 1357

*Cirruschirme bei Gewittern*



INSTITUT FÜR DEN WISSENSCHAFTLICHEN FILM · GÖTTINGEN

*Angaben zum Film:*

Tonfilm (Komm., deutsch oder engl.), 16 mm, farbig, 68 m, 6<sup>1</sup>/<sub>2</sub> min (24 B/s). Hergestellt 1979, veröffentlicht 1980.

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. F. J. OSSING, Dipl.-Met. Ch. ZICK, und dem Institut für den Wissenschaftlichen Film, Göttingen (Dr. H.-K. GALLE), Dr. G. GLATZER. Kamera und Schnitt: F. J. OSSING und Ch. ZICK; Zeichentrickherstellung: I. ERPEL, Berlin.

*Zitierform:*

OSSING, F. J., Ch. ZICK und INST. WISS. FILM: Cirrusschirme bei Gewittern. Film C 1357 des IWF, Göttingen 1980. Publikation von Ch. ZICK und G. WARNECKE, Publ. Wiss. Film., Sekt. Techn. Wiss./Naturw., Ser. 8, Nr. 11/C 1357 (1983), 8 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, Hochschulfilmreferat der Freien Universität Berlin, Malteserstr. 74-100, D-1000 Berlin 46.

---

PUBLIKATIONEN ZU WISSENSCHAFTLICHEN FILMEN

Sektion BIOLOGIE

Sektion ETHNOLOGIE

Sektion MEDIZIN

Sektion GESCHICHTE · PUBLIZISTIK

Sektion PSYCHOLOGIE · PÄDAGOGIK

Sektion TECHNISCHE WISSENSCHAFTEN

NATURWISSENSCHAFTEN

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. (0551) 202202

## FILME FÜR FORSCHUNG UND HOCHSCHULUNTERRICHT

FRANZ-JOSEF OSSING, CHRISTIAN ZICK, Berlin, und INSTITUT FÜR DEN WISSENSCHAFTLICHEN FILM, Göttingen:

Film C 1357

### Cirruschirme bei Gewittern

Verfasser der Publikation: CHRISTIAN ZICK und GÜNTER WARNECKE, Berlin

#### *Inhalt des Films:*

**Cirruschirme bei Gewittern.** Die Konvektion bei Wärmegewittern führt zu Aufwärtsbewegungen in der Wolke mit Ausbildung eines Cirruschirmes: "overshooting top", Amboßformen und Windscherung. Erläuterung im Trickfilm und ausführliche Interpretation charakteristischer Zeitrafferaufnahmen geostationärer Wettersatelliten im sichtbaren und infraroten Spektralbereich.

#### *Summary of the Film:*

**Cirrus Shields in Thunderstorms.** Strong upward motions within a thunderstorm cloud produce, near the tropopause, the cirrus shield of the cloud; "overshooting tops" can be observed at the point of strongest updrafts. A more or less elongated shape of the cirrus shield indicates vertical wind shears. This is briefly shown in an animation sequence and, in detail, in time lapse scenes from picture sequences of geostationary satellites, taken in the visible and infrared spectral ranges.

#### *Résumé du Film:*

**Calottes de cirrus lors d'orages.** La convection lors d'orages de chaleur entraîne des mouvements ascensionnels dans le nuage, avec formation d'une calotte de cirrus: "overshooting top", enclumes, cisaillement du vent. Explication par un dessin animé et interprétation détaillée de prises de vues en accéléré caractéristiques, enregistrées par des satellites météorologiques géostationnaires dans le domaine spectral visible et infrarouge.

### Allgemeine Vorbemerkungen

Als Gewitter bezeichnet man jene elektrische Erscheinung in der Atmosphäre, bei der Blitz und Donner entstehen. Gewitter treten nur in Verbindung mit Cumulonimbuswolken auf, da zu ihrer Entstehung, d.h. zum Aufbau der notwendigen elektrischen Felder, eine große Anzahl von Wassertröpfchen und Eiskristalle benötigt werden. Weitere Begleitumstände des Gewitters sind großtropfiger, meist starker Regen, Graupel und u.U. Hagel, plötzliche starke Böen und u.U. Tornados (sehr gefährliche Wirbelwinde).

Hier jedoch soll nicht auf die elektrischen Phänomene eines Gewitters weiter eingegangen werden, zumal deren Erforschung bislang nur mangelhaft ist (RIEHL [5]). Vielmehr sind hier die kinematischen und thermodynamischen Vorgänge dargestellt worden, die für eine Gewitterwolke, den Cumulonimbus, typisch sind. Als Cumulonimbus wird eine Haufenwolke von beträchtlicher vertikaler Erstreckung bezeichnet, die zumindest teilweise im oberen Wolkenabschnitt glatte oder faserig-streifige Formen (Anzeichen von Vereisung) aufweist.

Die phänomenologische Beschreibung unterscheidet zwei Grundarten (WMO [7]):

- a) Cumulonimbus calvus (Cb cal): Cb mit noch runden Formen, ohne Eisfasern
- b) Cumulonimbus capillatus (Cb cap): Cb mit Streifen- oder Faserformen im oberen Teil, oft in Amboßform (Cb cap inc).

Die Voraussetzungen für die Entstehung von Gewittern sind hoher Wasserdampfgehalt der Luft in der unteren Troposphäre, am besten bis in mittlere Niveaus, und hochreichende (latent-)labile Temperaturschichtung der Atmosphäre. Wird die Labilisierung durch Erwärmung von unten her erreicht, entstehen sogenannte Wärmegewitter. Im Sommer treten diese vorzugsweise am Nachmittag über Land auf, auf See abends und nachts, wenn der Temperaturunterschied zwischen warmem Wasser und der sich abkühlenden darüberliegenden Luft am größten ist. Wird die Labilisierung durch Abkühlen in der Höhe – z.B. bei Einbrüchen maritimer Polarluft auf Zyklonenrückseiten – herbeigeführt, spricht man auch von Kältengewittern. Beide Typen sind Luftmassengewitter, d.h. sie entstehen innerhalb einheitlicher Luftmassen.

An den Grenzflächen unterschiedlicher Luftmassen kommt es zu Frontgewittern. Diese entstehen meistens an Kaltfronten mit starker Abkühlung der höheren Schichten, über den Kontinenten im späten Frühjahr und im Sommer auch an Warmfronten und Okklusionen, besonders wenn die eindringende Warmluft bereits latentlabil geschichtet ist und großräumig gehoben wird. Dies gilt ebenfalls für den Warmsektor von Zyklonen, in denen sich, – sehr häufig in den USA zu beobachten – u.U. besondere Instabilitätslinien (squall lines) mit besonders vehementer Gewittertätigkeit (z.B. mit Hagel und Tornados) entwickeln können.

Die durchschnittliche Lebensdauer eines Cumulonimbus in mittleren Breiten beträgt etwa eine halbe bis eine Stunde; innerhalb dieser Zeit baut sich die Wolke aus einem Cumulus oder mehreren Cumuli auf, erreicht eine maximale Mächtigkeit (u.U. die Tropopause durchbrechend) und zerfällt dann, so daß es naheliegt, drei Lebensphasen zu unterscheiden (BYERS [2]):

Die Cumulusphase als Anfangsstadium der Cumulonimbus-Entwicklung kennzeichnet

sich durch einen Cumulus oder eine Zusammenballung mehrerer Cumuli mit mäßig starkem Aufwind, der aufgrund des wachsenden Auftriebs infolge freiwerdender Kondensationswärme mit der Höhe noch zunimmt und sich in einem charakteristischen Aufwindschlot organisiert. Nicht nur von unten, sondern auch seitwärts wird Umgebungsluft in die Wolke miteinbezogen („Entrainment“, s.u.). Ist diese zu trocken, kann sich u.U. kein Cumulonimbus entwickeln, da dann zuviele Wolkentröpfchen wieder verdunsten, was infolge der Verdunstungsabkühlung den Auftrieb schwächt und somit den weiteren Entwicklungsprozeß aufhält. In der sich weiter entwickelnden Quellwolke sind die Temperaturen höher als in der Umgebungsluft; besonders an der Stelle des stärksten Aufwinds ist die Temperaturdifferenz zur Umgebung am größten (vgl. Filmveröffentlichungen [11]).

Der Beginn merklichen Niederschlags markiert den Übergang in das Reifestadium des Cumulonimbus. Die Größe und damit das Gewicht der Tropfen oder Eispartikel wird jetzt verbreitet so groß, daß sie durch das Aufwindfeld nicht mehr sämtlich in der Schwebelage gehalten oder gar aufwärts geführt werden, sondern herabfallen. Gleichzeitig erreicht jedoch der Aufwind in einem engeren Schlot in diesem Stadium seine größte Stärke; Aufwärtsgeschwindigkeiten von 25 m/s sind keine Seltenheit, so daß hierdurch Wassertropfen bis weit über die Nullgradgrenze emporgeschleudert werden und so vielfach den Prozeß der Graupel- und Hagelbildung einleiten.

In den Teilen der Wolke, in denen der Niederschlag fällt oder Tropfen sich mit einbezogener trockenerer Umgebungsluft (entrainment) mischen, bildet sich durch die mitreißende Wirkung von Reibungskräften, aber vor allem durch Verdunstungsabkühlung und die dadurch hervorgerufene Verdichtung in der Luft eine Abwärtsbewegung, die sich allmählich zu einem Abwindschlot organisiert. Wenn dieser ein gewisses Ausmaß erreicht hat, erfordert er vielfach einen kräftigen Nachschub von Umgebungsluft, die nunmehr als ein organisiertes Entrainment seitwärts in die mittlere Wolkenpartien einbricht und dort die zum Abwind führende Verdunstungsabkühlung weiter verstärkt. Das Reifestadium ist also gekennzeichnet durch das dichte Nebeneinander von starken Auf- und Abwindschloten mit entsprechend großen Windscherungen und Turbulenzen.

Der Abwind ist im allgemeinen im unteren Teil der Wolke am ausgeprägtesten, schießt aus dem Cumulonimbus nach unten heraus. Er wird in Bodennähe in die Horizontale umgelenkt und breitet sich divergierend aus, so daß im Höhepunkt dieses Stadiums horizontale Konvergenz mit Aufwindschlot, Regen (Hagel), Abwind und horizontale Divergenz stark miteinander verknüpft und deshalb eng nebeneinander zu finden sind (vgl. Filmveröffentlichung, [9]); der innere Aufbau der Gewitterwolke ist deshalb in diesem Stadium stark unsymmetrisch. – Die Temperaturen im Abwindfeld sind im Vergleich zur Umgebung und besonders zum Aufwind niedriger; hierzu trägt entscheidend die Abkühlung verdampfenden Regens in (s. Entrainment) und unterhalb der Wolke bei. Im Endstadium der Wolke, der Zerfallphase, hat sich das Abwindfeld auf die ganze Wolke ausgedehnt. Durch das Fehlen des Aufwinds wird die Wolke nicht mehr mit Wasserdampf, d.h. latenter Wärme, versorgt, und sie löst sich allmählich auf – bis auf vielfach zurückbleibende hohe und mittelhohe Schichtwolkenfelder (z.B. Ci spi, Ac cbgen). Da in dieser Phase auch die Kondensation nachläßt und somit auch der Niederschlag, wird schließlich auch der Abwind schwächer.

### **Entrainment**

Bei der Untersuchung von Passatcumuli stellte STOMMEL ([6]) 1947 fest, daß der Temperaturgradient in der Wolke nicht feuchtadiabatisch ist, sondern zwischen dem Gradienten der Umgebungsluft und der entsprechenden Feuchtadiabate liegt (vgl. Filmveröffentlichung [11]). Daraus schloß er, daß Umgebungsluft seitlich in die Wolke einbezogen wird, was als „Entrainment“ bezeichnet wird. Weiterhin übersteigt der Flüssigwassergehalt auch von schweren Gewittern selten 3 g/kg, obwohl bei Verfolgen der Feuchtadiabate eine Hebung schon um wenige Kilometer Beträge von 5 bis 10 g/kg erwarten ließe (MÖLLER u. BULLRICH [4]). Auch dies kann als Indiz für Entrainment verstanden werden.

Für die Betrachtung der Vorgänge im Cumulonimbus ist als wesentlich festzuhalten, daß im Reifestadium sowohl Aufwind als auch Abwind durch Entrainment beeinflusst werden.

### **Zur Entstehung des Films**

Der Film besteht aus Zeichentrickszenen und Bewegungsszenen aus Satellitenbildsequenzen. Die Satellitenbildsequenzen sind aus Bildern der geostationären Satelliten METEOSAT-1 (ESA), SMS-1 (NASA) und GOES-1 (NOAA) hergestellt. Die METEOSAT-Bildfolge ist im thermischen Infrarot aufgenommen, die SMS- und GOES-Bildfolgen im sichtbaren Spektralbereich.

Jedes Bild der halbstündlichen (bei der GOES-Szene viertelstündlichen) Bildfolgen wurde auf zwei Bildfelder belichtet. In einer Sekunde Filmspielzeit bei einer Projektionsgeschwindigkeit von 24 Feldern pro Sekunde laufen also 6 Stunden wirklicher Zeit ab, was ein Zeitrafferverhältnis von 1:21.600 ergibt (1:10.800 im Fall der GOES-Sequenz). Die Filmaufnahmen wurden mit einer Crass-Trickkamera gemacht.

### **Erläuterungen zum Film**

#### **Wortlaut des gesprochenen Kommentars**

Wir betrachten hochreichende Konvektion, die sich zu einem Wärmegewitter entwickeln soll.

Die symmetrisch einströmende und aufsteigende Luft wird an der Tropopause gebremst und nach allen Seiten abgelenkt.

Dadurch bildet sich ein charakteristischer Wolkenschirm, der Cirrusschirm.

An der Stelle, wo die Luft am stärksten emporschießt, durchdringt oft ein scharf begrenzter Quellkopf, der sog. „Overshooting top“, den diffusen Cirrusschirm. In diesem Entwicklungsstadium sieht man von dem Cumulonimbus von oben nur den so entstandenen Cirrusschirm, eventuell mit einem „Overshooting top“.

Von dem geostationären Satelliten METEOSAT wurde diese Folge von Infrarotbildern aufgenommen.

Sie zeigt die Entwicklung mehrerer weit ausgedehnter Gewitter über Nigeria.

Die Cirrusschirme breiten sich radialsymmetrisch aus. Dies läßt auf eine sehr geringe vertikale Windscherung schließen.

Sobald der Cumulonimbus in eine stärkere vertikale Windscherung hineinquillt, wird der Cirrusschild asymmetrisch deformiert.

Der Cumulonimbus erhält die bekannte Amboßform.

Der Cirrusschild erscheint von oben als langgestreckte Fahne, ähnlich einer Rauchfahne.

Bilder vom geostationären Satelliten SMS I, aufgenommen im sichtbaren Spektralbereich, zeigen eine solche Entwicklung über Brasilien. Viele einzelne Gewitter wachsen in eine großräumige vertikale Windscherung hinein.

Die Cirrusschirme der Gewitterwolken werden mit der Höhenströmung in Richtung Nordosten zerdehnt.

Entstehen viele Gewitterzellen organisiert nebeneinander, wie etwa in dieser Kaltfront in der Nähe von New Orleans, so wachsen die einzelnen Cirrusfahnen zu einem einzigen riesigen Cirrusschild zusammen.

Er breitet sich an der Tropopause aus und wird von der starken Höhenströmung verformt.

Im Licht der Abendsonne sind einige „Overshooting tops“ zu erkennen.

Sie werden auf ihrer Westseite hell beleuchtet und werfen auf ihrer Ostseite einen deutlichen Schatten.

#### **English Version of the Spoken Commentary**

We consider – within a calm environment – a high reaching tropospheric convection cell which is supposed to develop into a thunderstorm.

The systematically converging and uprising air will be retarded at the tropopause and will spread there laterally. This results in the characteristic cirrus shield.

In many cases, the strong updraft vertically penetrates the cirrus shield, and the cumuloform, so-called „overshooting top“ can be observed.

In this stage, when viewing from above, all one can see of the thunderstorm cloud usually is its cirrus shield and, perhaps, an overshooting top.

This sequence of infrared pictures has been taken by the geostationary satellite METEOSAT-1.

It shows the development of several extended thunderstorm clusters over Nigeria.

The cirrus shields grow radially symmetrically.

This indicates the absence of any strong large-scale vertical wind-shear in this area.

In cases of stronger upper tropospheric wind shear, the cirrus shield becomes asymmetrically deformed.

The cumulonimbus develops a typical anvil shape.

Viewed from above, the cirrus forms a plume, resembling well-known smoke plumes.

Pictures taken in the visible spectral range by the geostationary satellite SMS-1 exhibit, for example, such a typical development over Brazil.

Numerous local thunderstorms vertically grow into a large-scale layer of stronger vertical wind-shear.

The cirrus plumes are blown away, far toward the northeast, by a strong upper level wind.

If thunderstorm cells are lining up, like along this cold front near New Orleans, the individual cirrus plumes may grow together into a wide cirrus canopy, spreading by strong tropopause winds.

Near sunset, some overshooting tops can easily be identified by their bright western slopes and pronounced shadows pointing toward the east.

### **Literatur**

- [1] BROWNING, K.A., and F.H. LUDLAM: Airflow in Convective Storms. *Quart. J.R. Met. Soc.* **88** (1962), 117–135.
- [2] BYERS, H.R.: *General Meteorology*. Mc Graw Hill, New York 1959.
- [3] MILLER, M.J.: The Hampstead Storm: A numerical Simulation of a quasi-stationary cumulonimbus system. *Quart. J. Roy Met. Soc.* **104** (1978), 413–427.
- [4] MÖLLER, F., and K. BULLRICH: Thermodynamische Grundlagen und Arbeitsmethoden der Aerologie. In *Handbuch der Aerologie*, Hrsg. W. HESSE, Leipzig 1961, S. 17–123.
- [5] RIEHL, H.: *Introduction to the Atmosphere*. 2. Aufl., New York 1972.
- [6] STOMMEL, H.: Entrainment of Air into a Cumulus Cloud. *J. Met.* **4** (1947).
- [7] WMO: *International Cloud Atlas, Abridged Atlas*. Genf 1956.

### **Filmveröffentlichungen**

- [8] MILLER, M.: *Numerical Simulation of Atmospheric Convection*. Imperial College, London 1979.
- [9] OSSING, F.J., Ch. ZICK und INST. WISS. FILM: Cirrusschirme bei Gewittern. Film C 1357 des IWF, Göttingen 1980. Publikation von Ch. ZICK und G. WARNECKE, *Publ. Wiss. Film., Techn. Wiss./Naturw.*, Ser. 8, Nr. 13/C 1357 (1983), 8 S.
- [10] OSSING, F.J., Ch. ZICK und INST. WISS. FILM: Böenlinien bei Gewittern. Film C 1358 des IWF, Göttingen 1980. Publikation von Ch. ZICK und G. WARNECKE, *Publ. Wiss. Film., Techn. Wiss./Naturw.*, Ser. 8, Nr. 12/C 1358 (1983), 8 S.
- [11] ZICK, Ch.: Kinematik und Thermodynamik eines ziehenden Unwetters, Teil 1. Film W 1727 des Hochschulfilmreferats der FU Berlin, 1976.
- [12] ZICK, Ch.: Kinematik und Thermodynamik eines ziehenden Unwetters, Teil 2. Film W 1728 des Hochschulfilmreferats der FU Berlin, 1976.

Anm.: Der Film ist als Teil einer Gruppe von Filmen über Gewitter konzipiert. Die Filme W 1727 und W 1728 erläutern die Kinematik und Thermodynamik von Gewittern, die Filme C 1357 und C 1358 des IWF kommentieren die Erscheinung von Gewittern in Satellitenbildsequenzen. Die jeweils ersten Filme beschäftigen sich mit den Aufwind-, die jeweils zweiten mit den Abwindscheinungen. Die Filme können jedoch in beliebiger Kombination oder auch einzeln eingesetzt werden.