

K L A S S I F I Z I E R U N G U N D U N T E R S C H E I - D U N G V O N W E T T E R F R O N T E N M I T H I L F E V O N S A T E L L I T E N B I L D E R N

Gerhard Hailzl

Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik

10/11/11

Zusammenfassung:

Es werden die in Satellitenbildern am häufigsten zu sehenden Wolkenbänder und deren Unterschiede bezüglich Aussehen, Wettererscheinungen und Verlagerung beschrieben. Zu diesen Wolkenbändern gehören: Kaltfront, Warmfront, Okklusion, Komma, Konvergenzband, Scherungsband und Warmsektorband.

Einleitung:

Eine genaue Klassifizierung von Fronten und frontähnlichen Wolkenbändern mittels Wettersatellitenbilder ist für den Prognostiker deswegen so wichtig, weil sie sich bezüglich Wettererscheinungen und Verlagerung stark voneinander unterscheiden. Bei der Identifizierung und Lokalisation dieser verschieden aussehenden Wolkenbänder sind die Fotos der Polarbahn- und geostationären Satelliten wegen ihrer wesentlich besseren räumlichen und zeitlichen Auflösung den Synop- und Aerologiedaten überlegen. Es gibt verschiedene abgeleitete meteorologische Größen, die für die Unterscheidung zwischen klassischen Fronten und frontähnlichen Wolkensystemen herangezogen werden können. Bei der klassischen Front müssen die Nulllinie der relativen Wirbelgröße (Übergang von antizyklonaler zu zyklonaler Krümmung der 500 mbar-Isohypsen), die Nulllinie der thermischen Wirbelgröße (Abgrenzung zwischen warmem und kaltem Luftkörper) und der thermische Frontparameter (stärkste Änderung des horizontalen Temperaturgradienten) innerhalb ihres Wolkenbandes liegen.

Alle Wetterfronten erscheinen in den Satellitenbildern als zusammenhängende Wolkenbänder, die länger als breit sind. Die intensiven bestehen aus mehrschichtiger, bis in große Höhen reichender Bewölkung und zeigen sich daher sowohl im sichtbaren als auch infraroten Bereich als weiße Bänder. Die nur schwach wetterwirksamen setzen sich aus tiefer oder mittelhoher Bewölkung zusammen und sind somit in beiden Bereichen dunkler. Klassifiziert man sie hingegen nach ihrer Entstehungsursache, so muß man zwischen Fronten und frontähnlichen Wolkenbändern unterscheiden. Für die Entstehung der ersten liefert die Polarfronttheorie von Bjerknes eine Erklärung: Je nachdem, ob kalte oder warme Luftmassen im Vormarsch sind, spricht man von einer Kalt- oder Warmfront. Die Okklu-

sion stellt eine nur in der Höhe vorhandene Rinne warmer Luft dar, die dadurch entstanden ist, daß die rascher ziehende Kaltfront die Warmfront eingeholt und die warme Luft vom Boden abgehoben hat. Für die Entstehung und Aufrechterhaltung der frontähnlichen Wolkenbänder sind andere Faktoren wie zyklonale Wirbelgröße, horizontale Strömungskonvergenz, antizyklonale Windscherung, aufwärts gerichtete Vertikalbewegung und labile Luftschichtung maßgebend.

Klassische Fronten:

Die **K a l t f r o n t** erscheint in Satellitenbildern als zusammenhängendes, zyklonal gekrümmtes Wolkenband, das wesentlich länger als breit ist. Da sie aus mehrschichtiger, bis in das Cirrusniveau reichender Bewölkung besteht, hat sie sowohl im sichtbaren als auch im infraroten Bereich ein weißes Aussehen. Die Kaltfrontbewölkung entsteht dadurch, daß eine vorrückende Kaltluft die warme Luft zum Aufsteigen zwingt, so daß der in ihr enthaltene Wasserdampf kondensiert und Wolken bildet, aus denen die Niederschläge in Schauerform fallen. Die mit einer Kaltfront verbundenen Wettererscheinungen sind umso intensiver, je größer der Temperaturunterschied zwischen beiden Luftmassen ist und je schneller die kalte Luft vordringt. Aus diesen Gründen reicht das Spektrum der Wettererscheinungen vom unergiebigem Strichregen bis zu schweren Unwettern mit Starkregen, Hagelschlag und orkanartigen Stürmen. Den Durchzug einer Kaltfront erkennt man aber auch durch signifikante Änderungen anderer meteorologischer Parameter. So bewirkt der Luftmassenwechsel ein sprunghaftes Ansteigen des Luftdruckes, ein Absinken der Temperatur, ein Auffrischen und eine Drehung des Windes. Die Abb. 1 zeigt ein Beispiel für die Kaltfront. Der Vergleich zwischen den verschiedenen abgeleiteten meteorologischen Größen und dem Frontalband ergibt gute Übereinstimmung.

Die **W a r m f r o n t** erscheint in Satellitenbildern als leicht antizyklonal gekrümmtes Wolkenband, das etwas länger als breit ist. Sie besteht aus mehrschichtiger, bis in große Höhen reichender Bewölkung und zeigt sich daher sowohl im sichtbaren als auch infraroten Bereich als weißes Wolkenystem. Manchmal befindet sich über der Warmfrontbewölkung ein Cirrusschirm, der von dem in diesem Bereich antizyklonal gekrümmten Jetstream erzeugt wird. Bei der Warmfront gleitet die warme Luft entlang einer nur wenig geneigten Fläche auf. Dadurch entstehen Schichtwolken in verschiedenen Höhen, aus denen lang anhaltende Niederschläge fallen; es kommt zum sogenannten Landregen. Hat die Warmfront den Beobachtungsort erreicht und die Kaltluft weggeräumt, so setzt gleichzeitig mit Temperaturanstieg Wolkenauflösung ein. Der Luftdruck fällt weiter und der Wind dreht nach rechts. Die Warmfront unterscheidet sich von der Kaltfront nicht nur bezüglich Aussehen, sondern auch im Hinblick auf Wettererscheinungen und Verlagerung. Die entlang einer Kaltfront auftretenden Niederschläge fallen in Schauerform, die Warmfront hingegen verursacht lang anhaltende Aufgleitniederschläge. Bei der Kaltfrontpassage steigt der Druck und fällt die Temperatur, beim Warmfrontdurchgang ist es umgekehrt. Die Kaltfront verlagert sich um 10 % schneller als die Warmfront. Die Abb. 2 zeigt die Warm-

front und die Lage der verschiedenen meteorologischen Größen in schematischer Form. Auch im Fall der Warmfront müssen alle Parameter innerhalb ihres Wolkenbandes liegen.

Die Okklusion erscheint in Satellitenbildern als stark zyklonal gekrümmtes Wolkenband, das sich spiralförmig in das Zentrum eines Tiefdruckgebietes hineinzieht. Sie setzt sich aus mehrschichtiger, bis in das Cirrusniveau reichender Bewölkung zusammen und zeigt sich daher in beiden Bereichen als weißes Band. Die Okklusion entsteht dadurch, daß die rascher ziehende Kaltfront die Warmfront einholt und die im Warmsektor liegende Warmluft vom Boden abhebt. In den unteren Luftschichten liegen eine kühle und eine kalte Luftmasse nebeneinander. Die mit einer Okklusion verbundene Bewölkung stellt eine Kombination zwischen der Kalt- und Warmfrontbewölkung dar und zwar in der Weise, daß sich vor der Okklusion das Wolkenbild der Warmfront und dahinter das der Kaltfront einstellt. Je nachdem, ob die vorrückende Luftmasse wärmer oder kälter als die am Beobachtungsort verweilende ist, spricht man von einer Okklusion mit Warm- oder Kaltfrontcharakter. Die entlang einer Okklusion auftretenden Wettererscheinungen sehen folgendermaßen aus: An deren Vorderseite kommt es infolge der aufgleitenden Warmluft zu lang anhaltenden Niederschlägen, an deren Rückseite fallen sie hingegen in Schauerform. Bei der Frontpassage steigt der Luftdruck, die Temperatur steigt oder fällt, je nachdem, ob es sich um eine Okklusion mit Warm- oder Kaltfrontcharakter handelt, und der Wind frischt unter Rechtsdrehung auf. Da sie sowohl Eigenschaften der Kalt- als auch der Warmfront besitzt, so kann sie sich bezüglich Wettererscheinungen und Verlagerung von diesen beiden nicht unterscheiden. Der einzige Unterschied besteht darin, daß sie wesentlich stärker gekrümmt ist. Die Abb. 3 zeigt ein gutes Beispiel für eine Okklusion. Es ist zu erkennen, daß sie eine stärkere Krümmung als die zur Zyklone gehörige Kaltfront aufweist. Vergleicht man die meteorologischen Parameter mit deren Wolkenband, so läßt sich feststellen, daß die strichliert eingezeichnete Nulllinie der thermischen Wirbelgröße die in der Höhe vorhandene warme Luft von der kalten abgrenzt. Auch der thermische Frontparameter weist im Bereich der Okklusion eine signifikante Ausbuchtung auf.

Frontähnliche Wolkenbänder:

Das Komma erscheint in Satellitenbildern als kleines, stark zyklonal gekrümmtes Wolkenband. Es besteht aus einem breiteren, an den Rändern ausgefransten Kopfteil und einem schmälere Schwanzteil mit glattem Rand. Da es sich aus mehrschichtiger, bis in große Höhen reichender Bewölkung zusammensetzt, zeigt es sich auf dem Satellitenbild sowohl im sichtbaren als auch im infraroten Bereich als weißes Wolkenband. Der ausgefranste Rand des Kommakopfes kommt dadurch zustande, daß die Höhenströmung die Cirrusschirme der Cumulonimbuswolken stromabwärts wegbläst. Das Komma liegt in der Kaltluft unmittelbar vor der Trogachse. Für dessen Entstehung und Aufrechterhaltung sind somit zyklonale Wirbelgröße, aufsteigende Luftbewegung und die in der Kaltluft allgemein vorhandene labile Luftschichtung verantwortlich. Die zyklonale Wirbelgröße kann so hohe Werte annehmen, daß es zu einer Ver-

größerung des Kommas kommt. Da es sich hier um ein System handelt, das sich in der Kaltluft ausbildet und vergrößert, weist es andere Wettererscheinungen auf als die Fronten. Je nach Intensität des Kommas variieren sie zwischen dem Durchzug von mittelhohen und hohen Wolkenfeldern bis zu schweren Unwettern. Im Gegensatz zur Kaltfront, die sich schon 24 bis 48 Stunden vorher durch Luftdruckfall und Temperaturanstieg ankündigt und nach deren Durchzug der Luftdruck über einen längeren Zeitraum steigt, so weist bei der Kommapassage weder die Druck- noch die Temperaturkurve einen signifikanten Knick auf. Die mit einem Komma verbundenen Wettererscheinungen sind am ehesten mit denen eines Luftmassengewitters zu vergleichen, bei dem Niederschläge auftreten und eine Abkühlung erfolgt, ohne daß sich ein Luftmassenwechsel vollzieht. Der größte und für den Prognostiker wesentlichste Unterschied zwischen Komma und Fronten besteht darin, daß sie sich sowohl in andere Richtungen als auch mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten verlagern. Während das Komma unmittelbar vor der Trogachse liegt und um das dazugehörige Höhentief herumgesteuert wird, verlassen die Fronten den eigentlichen Trogbereich und entfernen sich vom Höhentief. Außerdem verlagern sie sich langsamer als das Komma. Die Abb. 4 zeigt auf der linken Seite ein schön ausgebildetes Komma und rechts dasselbe Wolkenband 14 Stunden später. Es ist zu erkennen, daß es sich in diesem Zeitraum vergrößert hat. Die Form des typischen Kommakopfes hat es allerdings beibehalten. Der Vergleich der verschiedenen meteorologischen Parameter mit dem Wolkenband ergibt keine Übereinstimmung. Sie sprechen alle auf die davorliegende Kaltfront an. Dies ist ein Beweis, daß es sich selbst beim vergrößerten Komma um keine Front handelt.

Das K o n v e r g e n z b a n d erscheint in Satellitenbildern als langgezogenes, teils zyklonal, teils antizyklonal gekrümmtes Wolkenband mit einigen Ausbuchtungen und Verdickungen. Manchmal zieht es sich spiralförmig in das Zentrum eines Höhentiefs hinein. Es besteht aus stratiformer Bewölkung, die ein- oder mehrschichtig sein kann. Daher variiert dessen Aussehen auf dem Bild in beiden Bereichen zwischen grau und weiß. Es entsteht durch horizontale Strömungskonvergenz und damit verbundener aufsteigender Luftbewegung. Im allgemeinen verursacht es keine allzu ergiebigen Niederschläge. Das Konvergenzband unterscheidet sich von den Fronten bezüglich Aussehen, Wettererscheinungen und Verlagerung. Es ist sowohl zyklonal als auch antizyklonal gekrümmt und kann mitunter länger als ein Frontalband sein. Im Gegensatz zu einer Okklusion zieht es sich in den kalten Kernbereich eines Höhentiefs hinein. Außerdem tritt es auf der Trogrückseite auf. Bezüglich der Niederschläge gibt es keine allzu großen Differenzen, nur der Druckverlauf sieht hier anders aus: Bereits vor dem Durchzug des Konvergenzbandes beginnt der Luftdruck infolge der auf der Trogrückseite einsetzenden Kaltluftzufuhr zu steigen. Der für den Prognostiker wesentlichste Unterschied zu den Fronten besteht darin, daß es sich, je nachdem, ob der dazugehörige Trog stationär ist oder ostwärts wandert, parallel oder nahezu parallel zu sich selbst verlagert. Dadurch kann es das Wetter an einem Ort über einen längeren Zeitraum beeinflussen. Die Abb. 5 zeigt ein gutes Beispiel für ein Konvergenzband. Es

zieht sich in das Zentrum des durch hochreichende Zellularbewölkung identifizierbaren Höhentiefs hinein. Vergleicht man die meteorologischen Größen mit dem Konvergenzband, so läßt sich feststellen, daß nur die beiden Nulllinien mit demselben halbwegs übereinstimmen. Der thermische Frontparameter stellt den baroklinen Rand des Höhentiefs dar. Einige im nördlichen und mittleren Teil des Bandes berechnete horizontale Temperaturgradienten weisen Werte unter $1^{\circ}/100$ km auf. Daraus geht hervor, daß es sich hier um keine Front handelt.

Das **S c h e r u n g s b a n d** erscheint vor allem in Bildern geostationärer Satelliten als sehr langes, antizyklonal gekrümmtes Wolkenband. Es besteht überwiegend aus mittelhoher und hoher Bewölkung, die eine typische fasrige Struktur aufweist. Daher besitzt es vor allem im Infrarotbild ein weißes Aussehen. Es befindet sich südlich eines markant ausgeprägten Westwindbandes und entsteht durch die in diesem Bereich auftretende antizyklonale Windscherung. Im Zentrum des Westwindbandes kann das mehr oder weniger gut ausgebildete Wolkenband der Polarfront liegen. Die einzelnen Wolkenelemente des Scherungsbandes ordnen sich in Richtung des thermischen Windvektors an, welcher im südlichen Teil des Bandes westliche und im nördlichen südwestliche Richtungen aufweist. Dies führt zu einer Verbreiterung der Bewölkung im Norden bis in die Gegend des Jetstreams. Bilden sich im Westwindband Tröge und Keile aus, so löst sich das Scherungsband im Trogbereich infolge der dort auftretenden zyklonalen Krümmung der Stromlinien auf. Das Band der Polarfront bleibt hingegen erhalten. Das Scherungsband verursacht im allgemeinen keinen Niederschlag, außer es liegt eine Luftmassengrenze darunter. In diesem Fall besitzen beide Systeme die Wettererscheinungen einer Kaltfront. Von den Frontalbändern unterscheidet sich das Scherungsband vor allem in Aussehen und Verlagerung. Es ist wesentlich länger als eine Front und weist eine antizyklonale Krümmung auf. Relativ zur Höhenströmung verlagert es sich nicht, obwohl es immer andere Luftpartikel durchströmen. Es wird also nicht so wie ein Frontalband von der Höhenströmung gesteuert. Bei stationären planetarischen Wellen bleibt auch das Scherungsband ortsfest. Bilden sich im Westwindband Tröge und Keile aus, so löst es sich im Trogbereich rasch auf. Die Abb. 6 zeigt ein Beispiel für ein solches Band. Der Vergleich zwischen diesem und den verschiedenen meteorologischen Größen ergibt keine Übereinstimmung. Der thermische Frontparameter fällt mit dem Ostteil des Scherungsbandes zusammen. Offensichtlich liegt hier das Wolkenband der Polarfront darunter. Die beiden Nulllinien verlaufen nördlich des Scherungsbandes.

Das **W a r m s e k t o r b a n d** erscheint in Satellitenbildern als kleines, zyklonal gekrümmtes Wolkenband, das unmittelbar vor der Kaltfront liegt. Es ist kürzer als diese und besteht je nach vertikalem Temperaturgradienten aus mehrschichtiger, bis in das Cirrusniveau reichender Schicht- oder Zellularbewölkung. Daher zeigt es sich auf dem Bild sowohl im sichtbaren als auch im infraroten Bereich als weißes Band. Da es bereits in einem frühen Stadium der Zyklonenentwicklung auftritt, kann es nicht die zur Kaltfront gehörige Warmfront sein, denn sonst wäre der Warmsektor viel zu schmal. Es liegt im Zentrum eines Keiles der relativen Topographie, der über-

wiegend in höheren Schichten ausgeprägt ist. Dadurch befindet es sich im Bereich der stärksten Advektion warmer und feuchter Luft in höheren Schichten. Die mit dem Warmsektorband verbundenen Wettererscheinungen variieren je nach Feuchtigkeit und vertikaler Luftschichtung vom unergiebigem Strichregen bis zu schweren, vor allem im Berg- und Hügelland auftretenden Unwettern mit Vermurungen. Das Warmsektorband unterscheidet sich von den Fronten bezüglich Aussehen, Wettererscheinungen und Verlagerung. Es ist kleiner als diese und weist eine leicht zyklonale Krümmung auf. Seine Wettererscheinungen werden besonders im Sommerhalbjahr vom Prognostiker unterschätzt, da es im Gebirge häufig schwere Unwetter verursacht. Das Warmsektorband verlagert sich meistens im Gegensatz zu der langsamer ziehenden Warmfront mit derselben Geschwindigkeit wie die dahinterliegende Kaltfront. In seltenen Fällen wird es von der Kaltfront eingeholt und verschmilzt mit dieser. Dann besitzen beide Systeme die Wettererscheinungen einer Okklusion. Die Abb. 7 zeigt ein charakteristisches Beispiel für ein solches Wolkenband. Wie man auf dem rechten Infrarotbild sieht, ist es wesentlich heller als die dahinterliegende Kaltfront. Dies bedeutet, daß es aus mittelhoher und hoher Bewölkung besteht. Vergleicht man die verschiedenen meteorologischen Größen mit demselben, so ist keine Übereinstimmung festzustellen. Daraus geht hervor, daß es sich um keine Front handelt.

Schlußfolgerungen:

Mit Hilfe von Satellitenbildern und abgeleiteten meteorologischen Größen ist der Prognostiker in der Lage, zwischen klassischen Fronten und frontähnlichen Wolkenbändern zu unterscheiden. Dies ist besonders wichtig, weil es zwischen den einzelnen Wolkensystemen große Differenzen bezüglich Wettererscheinungen und Verlagerung gibt.

21.8.1979, 07.50 GMT, NOAA 6

VISIBLE

INFRARED

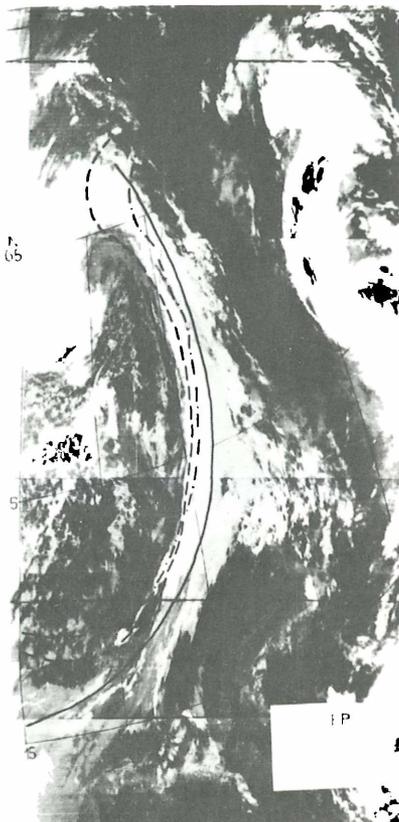


Abb. 1. Beispiel für eine Kaltfront. Strichpunktierte Linie: Nulllinie der relativen Wirbelgröße, strichlierte Linie: Nulllinie der thermischen Wirbelgröße und ausgezogene Linie: Thermischer Frontparameter.

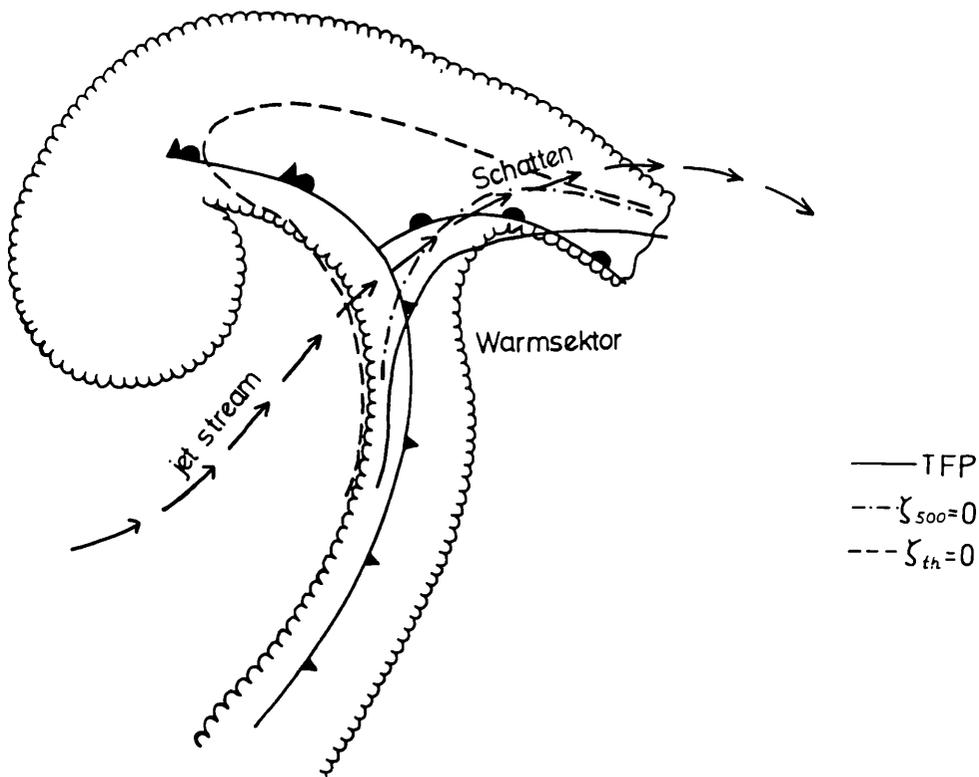


Abb. 2. Skizze für eine Warmfront. Symbole wie in Abb. 1.

22.3.1979, 05.10 GMT, TIROS N, IR



Abb. 3. Beispiel für eine Okklusion. Symbole wie in Abb. 1.

22.3.1979, 14.00 GMT, TIROS N, IR

23.3.1979, 03.55 GMT, TIROS N, IR

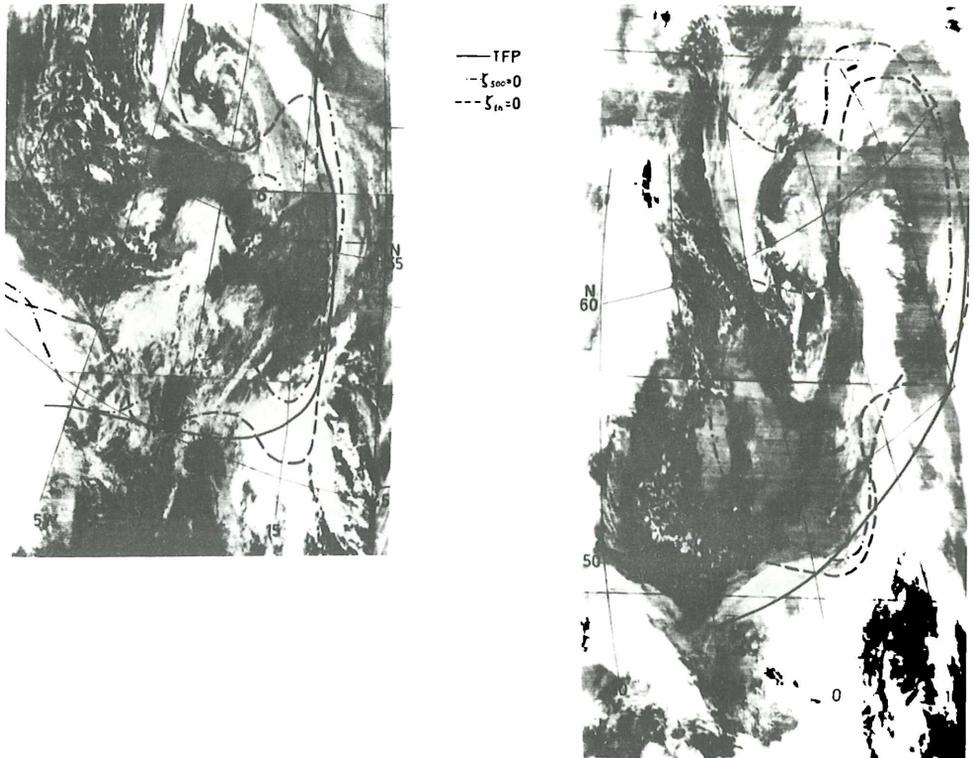


Abb. 4. Beispiele für ein Komma (links) und ein weiterentwickeltes Komma (rechts). Symbole wie in Abb. 1. Geschlossene strichpunktierte Linie im linken Bild: Maximum von zyklonaler Wirbelgröße.

13.8.1979, 13.50 GMT,
TIROS N, IR

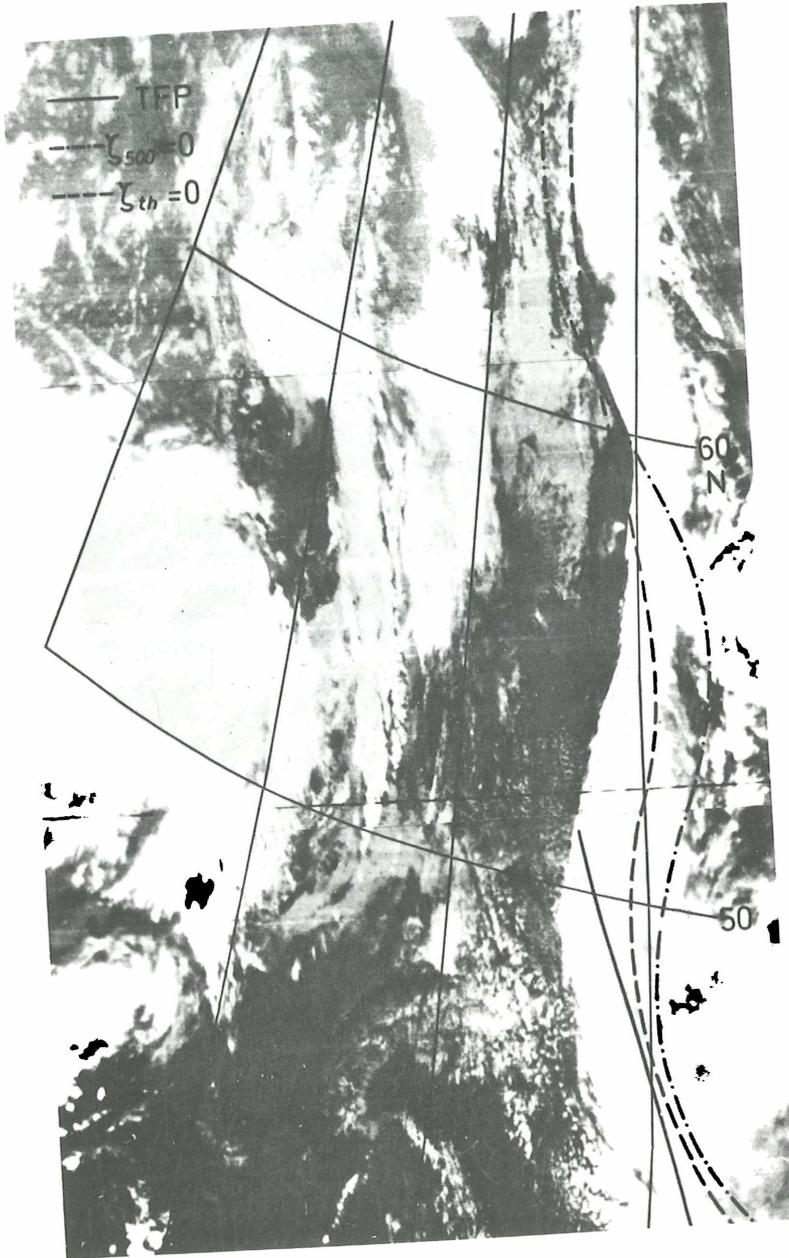


Abb. 5. Beispiel für ein Konvergenzband. Symbole wie in Abb. 1.

18.9.1979, 06.00 GMT, METEOSAT 1, IR

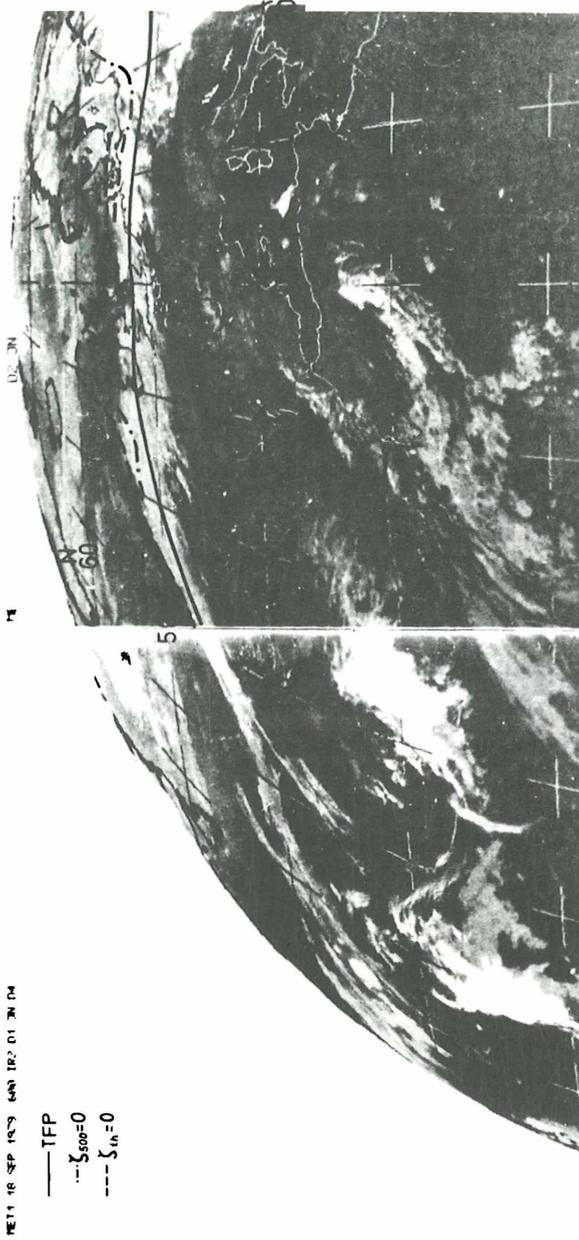
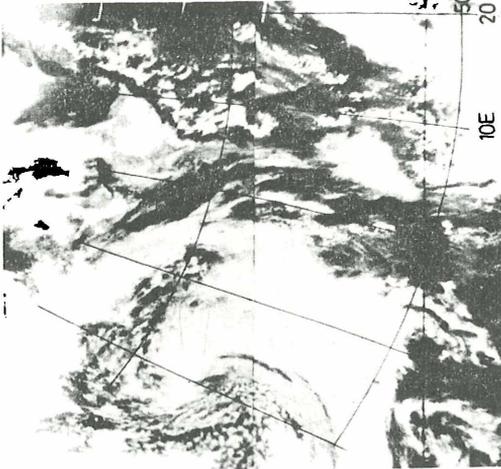


Abb. 6. Beispiel für ein Scherungsband. Symbole wie in Abb. 1.

3.7.1980, 14.50 GMT, TIROS N

VISIBLE



INFRARED

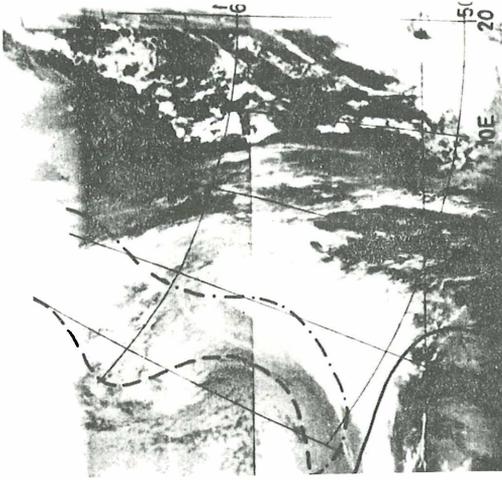


Abb. 7. Beispiel für ein Warmsektorband. Symbole wie in Abb. 1.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Mitteilungen der forstlichen Bundes-Versuchsanstalt Wien](#)

Jahr/Year: 1981

Band/Volume: [135_1981](#)

Autor(en)/Author(s): Hailzl Gerhard

Artikel/Article: [Klassifizierung und Unterscheidung von Wetterfronten mit Hilfe von Satellitenbildern 171-183](#)