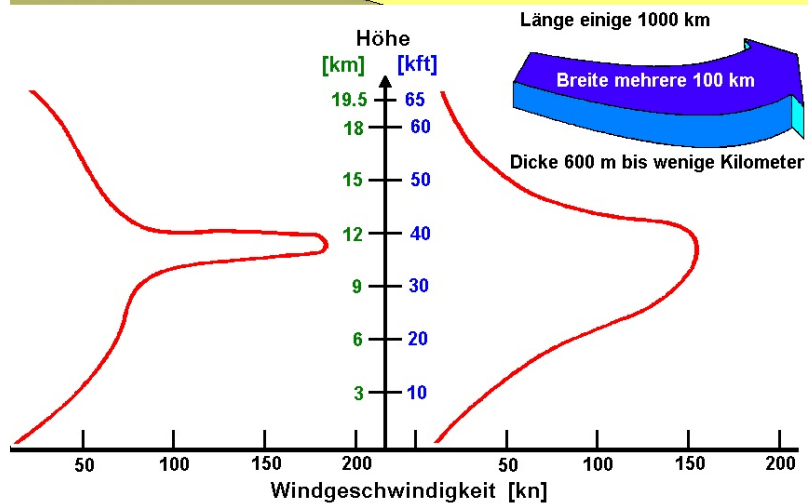
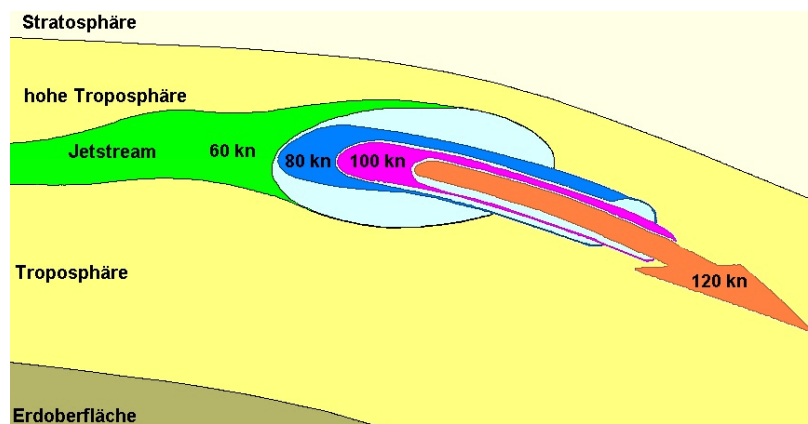


# Wolkenschnüffler



## Allgemeine Meteorologie - Aerologie -



## Jetstream

Michael F. H. Krutina



# Inhaltsverzeichnis

	<b>Seite</b>
1. Jetstreams in der oberen Troposphäre	1
1.1 Definition und Historie des Jetstreams	2
1.1.1 Definition Jetstream	2
1.1.2 Kurze Historie des Jetstreams	3
1.1.3 Arten hoch-troposphärischer Strahlströme	4
1.2 Polarfront-Jetstream (PFJ)	6
1.2.1 Erscheinungsbild des PFJ	6
1.2.2 Markanter Polarfront-Jetstream am 16.12.2005	9
1.3 Subtropen-Jetstream (STJ)	11
1.4 Tropischer Ostjet (TEJ)	12
2. Polarnachtstrahlstrom in der Stratosphäre	13
Literatur	14

## **Verwendete Abkürzungen und Besonderheiten**

- Abb. : Abbildung
- Form. : Formel
- Tab. : Tabelle
- s. : siehe

Bei Zahlenangaben wird anstatt eines Dezimalkommata ein Dezimalpunkt verwendet.

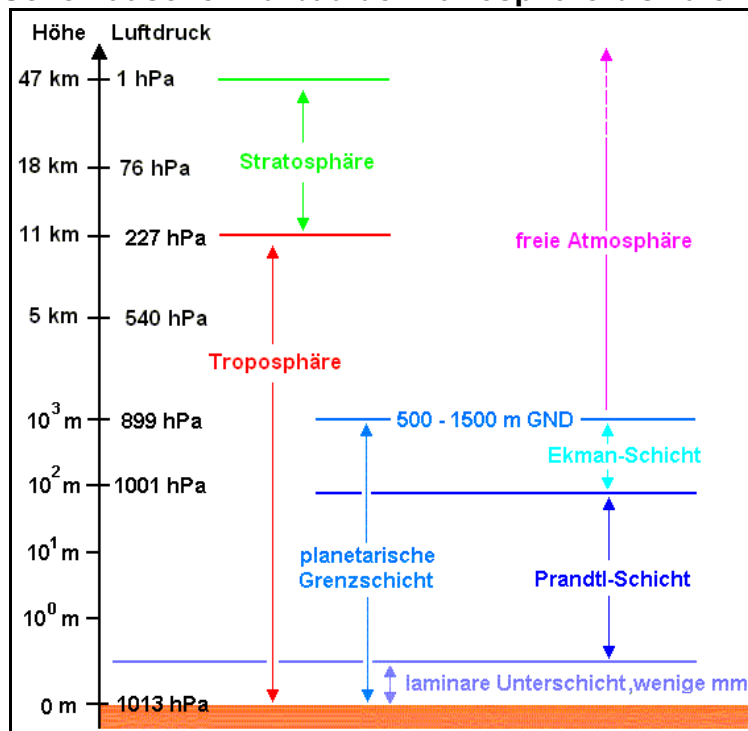


# 1. Jetstreams in der oberen Troposphäre

Schmale bandartige Starkwindfelder, Jetstreams oder Strahlströme genannt, sind eine häufige Erscheinung in der oberen Troposphäre, kommen allerdings auch in der Stratosphäre vor und können auch als Phänomen des Low-Level-Jetstream in Bodennähe in Erscheinung treten. Dieser Grenzschichtstrahlstrom entspricht aber nicht den bekannten hoch-troposphärischen Jetstreams, sondern stellt ein in der planetarischen Grenzschicht lokal auftretendes, noch nicht restlos geklärtes Phänomen dar, das aus einem Windmaximum geringer vertikaler Ausdehnung in den untersten 2 km der Troposphäre besteht. Er ist anderen Ursprungs als die hoch-troposphärischen Jetstreams, meist kleinräumiger, zeigt ein wesentlich geringeres Maximum und tritt häufig in Verbindung mit Inversionen auf.

**Inversion** : Dünne troposphärische Schicht, in der die Temperatur mit der Höhe zunimmt und damit Grenzschicht zwischen kälterer Luft unten und wärmerer darüber.

## Schematischer Aufbau der Atmosphäre bis zu einer Höhe von 47 km Höhe (Abb. 1)



Die Höhen- und Luftdruckangaben sind Werte der ICAO-Standardatmosphäre.

### Laminare Unterschicht

Wenige Millimeter dicke Schicht bei glattem Untergrund

### Prandtl-Schicht

Schicht mit einer Dicke von etwa 10% der Gesamthöhe der planetarischen Grenzschicht und einer Obergrenze von einigen Dekametern bis maximal 100 m über Grund

### Ekman-Schicht

Schicht, in der im Allgemeinen die höchsten Windgeschwindigkeiten der planetarischen Grenzschicht auftreten

### Planetarische Grenzschicht

Reibungsschicht, deren Obergrenze je nach Rauigkeit des Untergrundes zwischen 500 und 1500 m über Grund befindet.

Die planetarische Grenzschicht oder Reibungsschicht befindet sich grundsätzlich - abgesehen von der millimeterdicken laminaren Unterschicht - in einem turbulenten Strömungszustand, weil hier Turbulenzen durch Windscherungen und Strömungshindernisse ausgelöst werden.

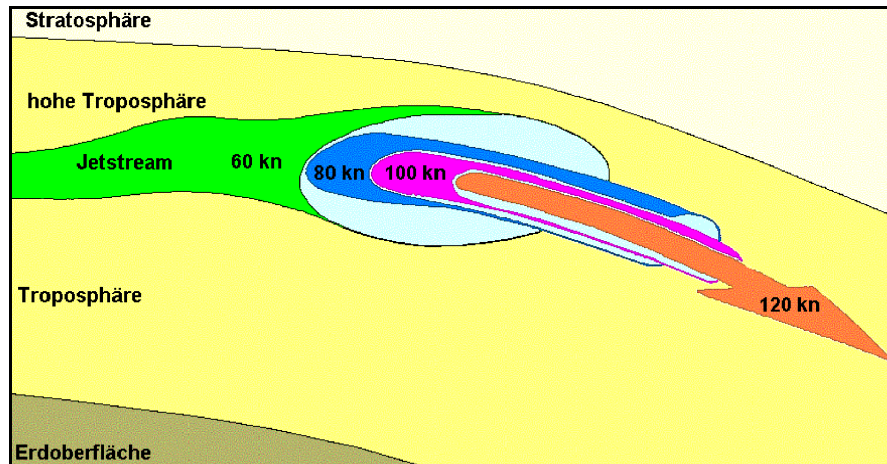
**Turbulenz** : Ungeordnete oder geordnete Luftbewegungen in Form von Wirbeln, Walzen oder Wellen, die der Grundströmung (Wind), überlagert sind und aus Abweichungen vom zeitlich und räumlich gemittelten Grundzustand bestehen.

## 1.1 Definition und Historie des Jetstreams

### 1.1.1 Definition Jetstream

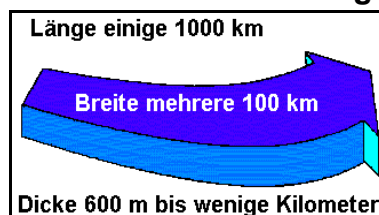
Ein Jetstream (engl.: Jet stream) oder Strahlstrom stellt ein schmales, bandartiges Starkwindfeld dar, das durch hohe vertikale und horizontale Windgeschwindigkeitsscherungen (s. Abb. 5) charakterisiert ist und ein Geschwindigkeitsmaximum oder mehrere -maxima aufweist. Als willkürliche untere Grenze seiner Windgeschwindigkeit wurde von der WMO (World Meteorological Organization) der Wert  $30 \text{ m s}^{-1}$  oder  $60 \text{ kn}$  ( $108 \text{ km h}^{-1}$ ) festgelegt. Der Bereich maximaler Windgeschwindigkeit, der als Strahlstrom- oder Jetachse bezeichnet wird, verläuft selten völlig waagrecht und hat meist nur eine Breite von 50 bis 100 km sowie eine Dicke von 1 bis 2 km. Jetstreams entstehen in Gegenden, die sich durch starke horizontale Temperaturgradienten auszeichnen und sind in der Regel einige 1000 km lang, mehrere 100 km breit und wenige Kilometer dick. Die Windscherungen in der Umgebung der Strahlstromachse liegen im Mittel vertikal in der Größenordnung von  $1.5$  bis  $3 \text{ m s}^{-1}$  pro 1000 ft und horizontal bei  $5.6 \text{ m s}^{-1}$  pro Breitengrad. Maximal wurden bereits vertikale Scherungen von  $12 \text{ m s}^{-1}$  pro 1000 ft beobachtet.

#### Jetstream in der oberen Troposphäre (Abb. 2)



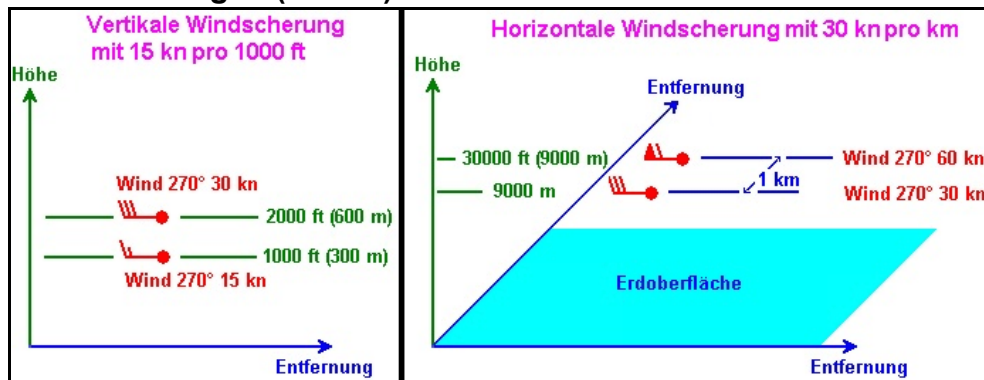
Ein Strahlstrom stellt ein schmales, bandartiges Starkwindfeld in der Tropo- oder Stratosphäre dar, das hohe vertikale und horizontale Windgeschwindigkeitsscherungen und mindestens ein Maximum aufweist. Als willkürliche untere Grenze der Windgeschwindigkeit wurden  $30 \text{ m s}^{-1}$  oder  $60 \text{ kn}$  ( $1 \text{ kn} \approx 0.5 \text{ m s}^{-1}$ ) festgelegt. Der Bereich höchster Windgeschwindigkeit wird als Strahlstrom- oder Jetachse bezeichnet.

#### Mittlere Größenordnung des troposphärischen Jetstreams (Abb. 3)



Jetstreams entstehen in Gegenden, die sich durch starke horizontale Temperaturgegensätze auszeichnen und sind in der Regel einige 1000 km lang, mehrere 100 km breit und wenige Kilometer dick.

## Windscherungen (Abb. 4)



1 kn = 1.852 km/h  
oder 1 kn  $\approx$  0.5 m/s

*Windscherungen sind markante horizontale oder vertikale Änderungen der Windrichtung und/oder -geschwindigkeit an einem Ort in einem beliebig festzulegenden Zeitabschnitt.*

### 1.1.2 Kurze Historie des Jetstreams

Erste Anzeichen, dass nicht nur in Bodennähe, sondern auch in der hohen Troposphäre Starkwindfelder vorhanden sein müssen, gab es natürlich auch schon in ferner Vergangenheit. Die rasche Verlagerung von hohen Wolken ließ sicherlich den aufmerksamen, naturwissenschaftlich interessierten Zuschauer vermuten, dass hohe Windgeschwindigkeiten die Ursache sein könnten. Allerdings erlaubten die wenigen, nur bei gutem Wetter möglichen Betrachtungen es nicht, die Heftigkeit und das häufige Auftreten dieses Phänomens festzustellen. Erst Ende des 19. Jahrhunderts registrierten Wetterbeobachter, welche die atmosphärischen Zugbahnen der Aschewolken des Krakatau-Vulkanausbruchs mehrere Jahre lang verfolgten und kartografisch erfassten, den starken Höhenwind und bezeichneten ihn als "äquatorialen Rauchstrom". Die gewaltige Eruption des Krakatau - die zweitgrößte der Neuzeit -, die 1883 auf der gleichnamigen Insel in der indonesischen Sunda-Straße zwischen Sumatra und Java stattfand und das Eiland vollständig vernichtete, schleuderte etwa 18 Kubikkilometer Asche und Gestein bis in eine Höhe von 80 km in die Erdatmosphäre. Das 20. Jahrhundert, das Zeitalter der Meteorologie und der Luftfahrt, erweiterte dann durch Untersuchungen und Fingerzeige das Wissen über den Jetstream. In den 1920er-Jahren entdeckte der japanische Meteorologe Wasaburo Oishi den Jetstream bei Höhenwindmessungen mit Pilotballonen in der Umgebung des Berges Fuji (Fudschijama). Oishi veröffentlichte zwar seine Forschungsergebnisse in japanischer Sprache und in Esperanto, aber aufgrund der weitgehenden Unkenntnis dieser künstlichen Sprache wurde die Publikation in der westlichen Welt nicht wahrgenommen. 1934 stellt der mit einem Druckanzug in Höhen von 6200 m (20300 ft) operierende amerikanische Pilot Wiley Post bei transkontinentalen USA-Flügen mitunter fest, dass seine Fluggeschwindigkeit über Grund weit höher als die angezeigte Fluggeschwindigkeit war. Welche Folgerungen er daraus zog, ist nicht bekannt.

Auch der deutsche Meteorologe H. Seilkopf hatte wohl Kenntnis vom Jetstream, denn ihm wird nachgesagt, in einer Veröffentlichung im Jahre 1939 den Begriff 'Strahlströmung' verwendet zu haben. Trotz all dieser Hinweise und Indizien waren die schmalen, bandartigen Starkwindfelder, die mit Windgeschwindigkeiten von über 60 Knoten in der hohen Troposphäre häufig auftreten, in der westlichen Hemisphäre Ende der 1930er-Jahre noch weitgehend unbekannt. Erst der zweite Weltkrieg mit den zahlreichen und ausgedehnten militärischen Aufklärungs- und Bomberflügen führte dann zu neuen Erkenntnissen. Beispielsweise hatten einige hoch und über den Wolkendecken operierende Piloten ohne Erdsicht unerfreuliche und unverständliche Erlebnisse mit dem Jetstream. Trotz gewissenhafter Flugvorbereitung und sorgfältiger Navigation erreichten sie ihre festgelegten militärischen Ziele nicht, verfranzten sich teilweise völlig und wurden, weil ihre Erklärungen für die teilweise haarsträubenden Navigationsfehler unglaublich erschienen, manchmal sogar bestraft. Nur die Japaner kannten das u.a. über dem Pazifik bis Kalifornien (USA), von West nach Ost verlaufende Starkwindfeld, den Suptropen-Jetstream, den sie zum Transport von mit einem Brandsatz ausgerüsteten Ballonen nutzen, um Waldbrände in den USA auszulösen. Zusätzlich führten diese Flugobjekte noch ein Druckmessgerät und Sandsäckchen mit, um ihre Höhe durch den druckgesteuerten Abwurf von Ballastbeuteln einzuhalten. Nach dem 2. Weltkrieg lieferte dann die in den 50er-Jahren beginnende Verkehrsluftfahrt mit Düsenmaschinen und die damit rasch fortschreitende meteorologische Erforschung der oberen Luftschichten immer mehr wissenschaftliche Erkenntnisse über die hoch-troposphärischen Phänomene und deren Bedeutung für die Luftfahrt und Wettervorhersage.

### 1.1.3 Arten hoch - troposphärischer Strahlströme

Die Zirkulation der Nord- und Südhalbkugel der Erde wird durch zwei hoch-troposphärische Strahlströme geprägt, die an die baroklinen Zonen der Polar- und Subtropikfront gebunden sind und deshalb als Polarfront- und Subtropen-Jetstream bezeichnet werden.

**Baroklinität** : Auf einer Fläche gleichen Luftdruckes sind mehr oder minder starke Temperaturunterschiede vorhanden.

**Frontalzone** : Mehr oder minder schmale Übergangszone zwischen zwei gegeneinander strömenden unterschiedlich temperierten Luftmassen

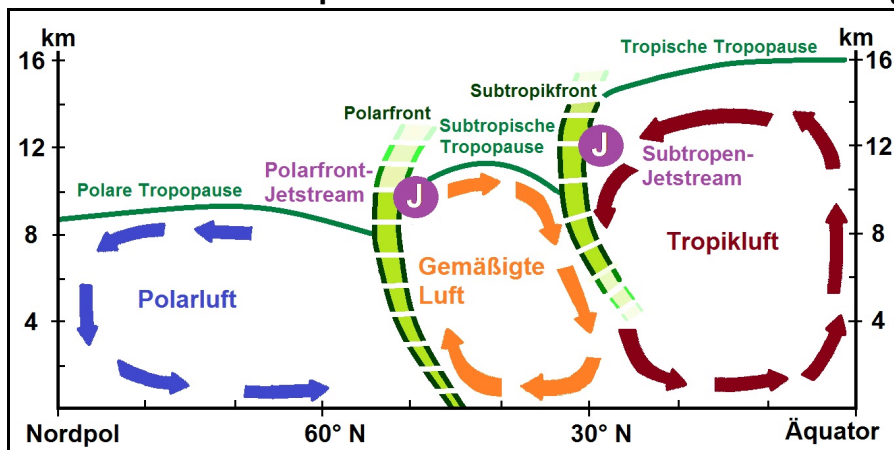
**Luftmassen** : Größere troposphärische Luftmengen mit etwa einheitlichen Eigenschaften



**Polarfront** : Übergangszone zwischen den beiden gegeneinander strömenden Hauptluftmassen gemäßigte Luft und Polarluft; starke barokline, in der gesamten Troposphäre ausgeprägte Frontalzone; mittlere Lage in der mittleren Troposphäre (500 hPa) im Januar bei 40° und im Juli bei 70° N

**Subtropikfront** : Subtropenfront; Übergangszone zwischen den beiden gegeneinander strömenden Hauptluftmassen Tropikluft und gemäßigte Luft; starke barokline Frontalzone, aber nur in der mittleren und hohen Troposphäre ausgeprägt; mittlere Lage in 500 hPa im Januar bei 30° N und im Juli bei 45° N

### Schematische atmosphärische Zirkulation der Nordhalbkugel im Winter (Abb. 5)



**Polarluft (Hauptluftmasse)**  
in den polaren Hochdruckgebieten entstanden, Eigenschaften kalt und meist trocken

**Gemäßigte Luft (Hauptluftmasse)**  
in den Westwindzonen entstanden, Eigenschaften variabel, weil mehr oder minder in Bewegung

#### Tropikluft (Hauptluftmasse)

in den subtropischen Hochdruckgürteln entstanden, Eigenschaften warm und meist feucht

#### Tropopause

Obergrenze der Troposphäre bzw. Untergrenze der Stratosphäre mit einer mittleren Höhe an den Polen in 9 km und am Äquator in 16 km

Die Strahlströme Polarfront- und Subtropen-Jet winden sich in Schlangenlinien von West nach Ost rund um die Nord- und Südhalbkugel und verlagern sich mit dem Sonnenstand, so dass sie im Sommer nördlicher auf der Nord- bzw. südlicher auf der Süd-Hemisphäre liegen als im Winter. Ein weiterer troposphärischer Strahlstrom, der aber nur halbjährlich in Erscheinung tritt, ist der Tropische Ostjet.

Die Strömung in einem Jetstream scheint häufig korkenzieherartig verdreht aufzutreten, wobei die Luft auf der warmen Seite aufsteigt und auf der kalten Jetseite absinkt. Ist dies der Fall, können sich bei troposphärischen Strahlströmen bei ausreichender Feuchte in dem Hebungsbereich Wolken entwickeln. Im Allgemeinen werden dabei Wolken in Form von Cirrus- und Cirrocumulus beobachtet, aber auch in tieferen Niveaus kann sich Altocumulus lenticularis (Ac len) oder Altocumulus radiatus (Ac ra) bilden. Im Satellitenbild tritt Cirrus dabei oft als ein scharf abgegrenztes, auf der warmen Seite des Strahlstroms und parallel zu seiner Achse verlaufendes Wolkenband auf.

## 1.2 Polarfront-Jetstream (PFJ)

### 1.2.1 Erscheinungsbild des PFJ

Der Polarfront-Jetstream (PFJ, Polar front jetstream) zeigt sich häufig als ein heftig mäandrierendes Starkwindfeld, das oft in zahlreiche Teilstücke und Äste aufgespalten ist, die meist eine Länge von wenigen 1000 Kilometern haben. Geschwindigkeitsmaxima und -minima, verbunden mit Konfluenz- und Diffluenzgebieten des Stromfeldes, wechseln sich entlang der Jetstream-Achse miteinander ab.

**Diffluenzgebiet** : Isohypsen fächern hinter einem Höhentrog oder -rücken auf, so dass in diesem Bereich des Windfeldes horizontale Richtungsdivergenz und Geschwindigkeitskonvergenz auftritt.

**Divergenz** : Aus einem Gebiet strömt mehr Luft heraus, als nachfließen kann; horizontale Divergenz bedeutet horizontales Ausströmen und vertikale Divergenz vertikales Ausströmen; im Straßenverkehr führt eine Horizontaldivergenz zur Stauauflösung. Im Bereich eines Jetstreams treten die stärksten Divergenzen und Konvergenzen der Höhenströmung auf.

**Höhentrog** : Gebilde einer Höhenwetterkarte, das im Vergleich zur unmittelbaren Umgebung die tiefsten Werte aufweist und nicht vollständig von Isohypsen umschlossen ist. Die Linie der stärksten Krümmung und damit geringsten Höhenwerte des aus Kaltluft bestehenden Höhentrogges wird als Trogachse bezeichnet (s. Abb. 6, 11 und 13).

**Höhenrücken (Höhenkeil)** : Gebilde einer Höhenwetterkarte, das im Vergleich zur unmittelbaren Umgebung die höchsten Werte aufweist und nicht vollständig von Isohypsen umschlossen ist.

**Höhenwetterkarte** : Höhenlage wohldefinierter Flächen gleichen Luftdruckes in Bezug auf NN, die isobare Flächen oder Isobarenflächen genannt werden und Linien gleicher Höhe beinhalten, die Isohypsen heißen.

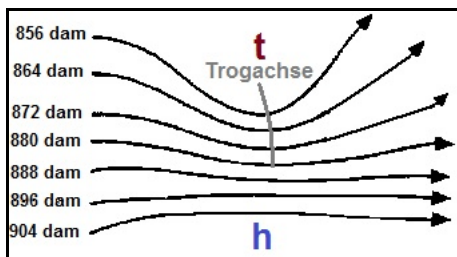
**Jetachse** : Achse des Jetstreams, Region maximaler Windgeschwindigkeit

**Konfluenz-** : Isohypsen verengen sich vor einem Höhentrog oder -rücken, so dass in diesem Bereich des Windfeldes horizontale Richtungskonvergenz und Geschwindigkeitsdivergenz auftritt.

**Konvergenz** : In ein Gebiet strömt mehr Luft hinein, als abfließen kann; horizontale Konvergenz bedeutet horizontales Einströmen und vertikale Konvergenz vertikales Einströmen; im Straßenverkehr macht sich eine Horizontaldivergenz als Stau bemerkbar.

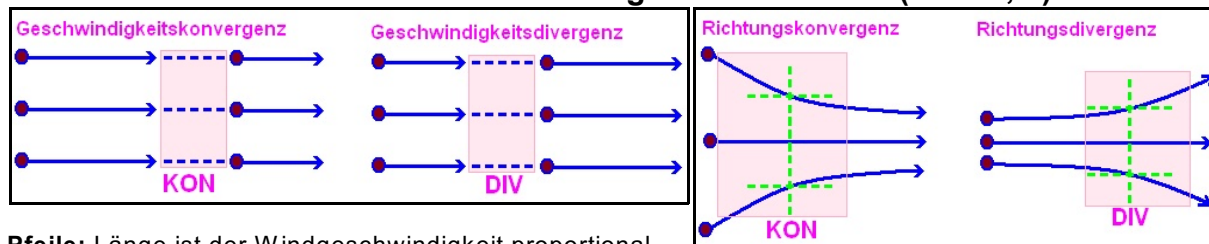
**Wind** : Horizontale Luftbewegung, bestimmt durch Richtung und Geschwindigkeit; die Richtung ist die Gegend, aus die der Wind weht.

### Konfluenz und Diffluenz im Bereich eines Höhentrog (Abb. 6)



Vor dem Höhentrog verengen sich die Isohypsen, so dass hier im Windfeld horizontale Richtungskonvergenz und Geschwindigkeitsdivergenz auftritt und hinter der Trogachse fächern die Höhenlinien auf, so dass in dieser Region im Windfeld horizontale Richtungsdivergenz und Geschwindigkeitskonvergenz vorhanden ist.

### Schema von horizontaler Kon- und Divergenz im Windfeld (Abb. 7, 8)



Pfeile: Länge ist der Windgeschwindigkeit proportional

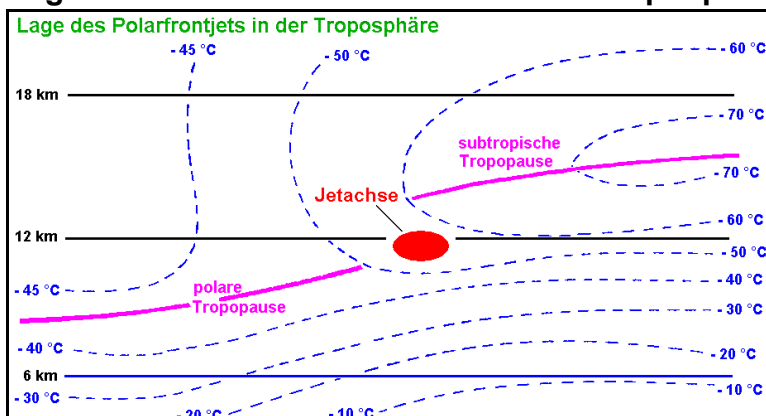
Der Polarfront-Jet hat seine Ursache in der kräftigen baroklinen Zone der Polarfront, wobei bei extremer Baroklinität, die sich im Winter häufiger als im Sommer zeigt, bereits Windgeschwindigkeitsmaxima von 290 kn oder 537 km/h über dem Nordatlantik auftraten.

Seine Lage, Form und Intensität ist räumlich und zeitlich starken Schwankungen unterworfen, seine Achse befindet sich im Mittel in einer Höhe von 10 km und der PFJ liegt im Sommer bei 40 und im Winter bei 60 Grad geographischer Breite.

### Mittlere Werte des PFJ (Tab. 1)

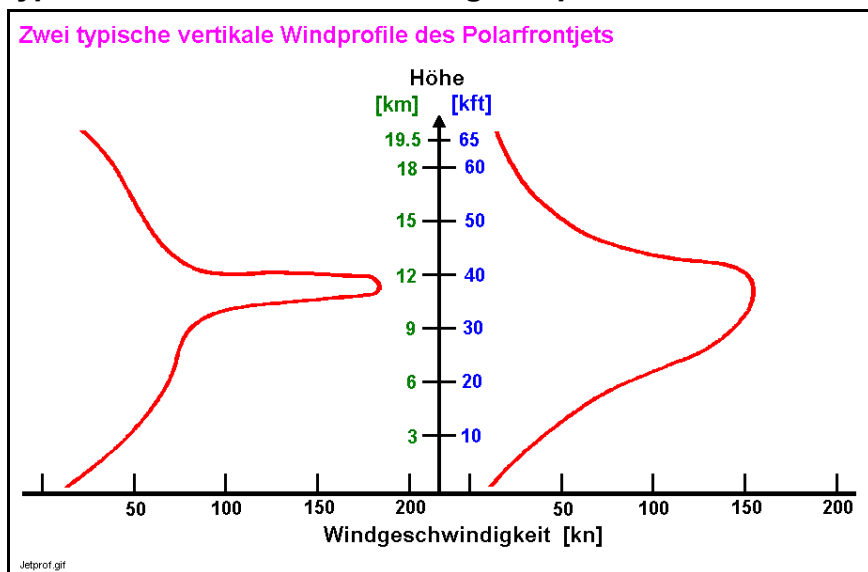
<b>Lage</b>	40° bis 60° Nord und Süd	<b>Stärke</b>	150 - 370 km/h (80 - 200 kn)
<b>Höhe</b>	9 - 10.5 km ü. NN (30000 - 35000 ft)	<b>Auftreten</b>	ganzjährig
<b>Richtung</b>	West nach Ost	<b>Besondere Kennzeichen</b>	häufig mäandrierend und in einzelne Äste aufgespalten, die meist nur wenige 1000 km lang sind, oft räumlich und zeitlich große Variationen

### Lage des Polarfront-Jetstreams in der Troposphäre (Abb. 9)



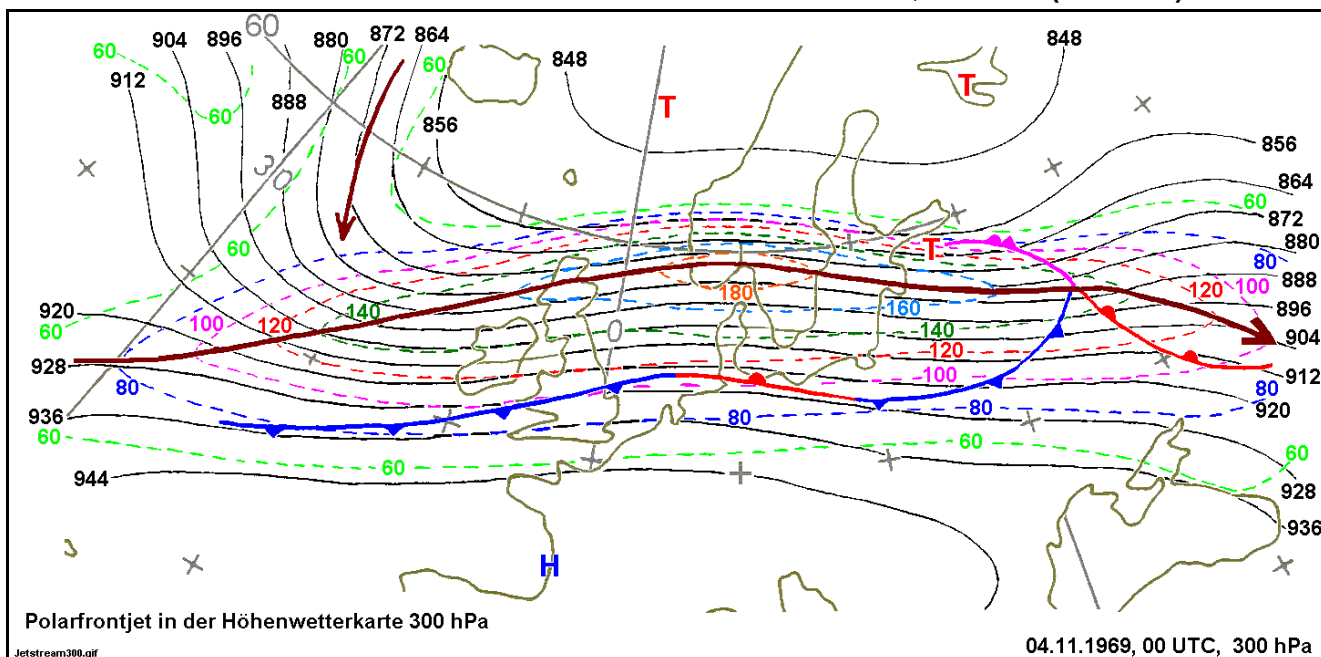
Die Achse des PFJ befindet sich im Mittel in einer Höhe von 10 km, ca. 1 km unterhalb der subtropischen Tropopause.

### Typische vertikale Geschwindigkeitsprofile des Jetstreams (Abb. 10)



Die Grafik zeigt zwei typische vertikale Geschwindigkeitsprofile des Polarfront-Jetstreams. Links ist ein besonders kräftiger Jet mit sehr starken vertikalen Windscherungen abgebildet, während das Geschwindigkeitsmaximum und die vertikale Scherung des rechten Strahlstroms im Vergleich dazu weniger prägnant ausfällt.

### Polarfront-Jetstream in der ABTOP 300 hPa vom 04.11.1969, 00 UTC (Abb. 11)



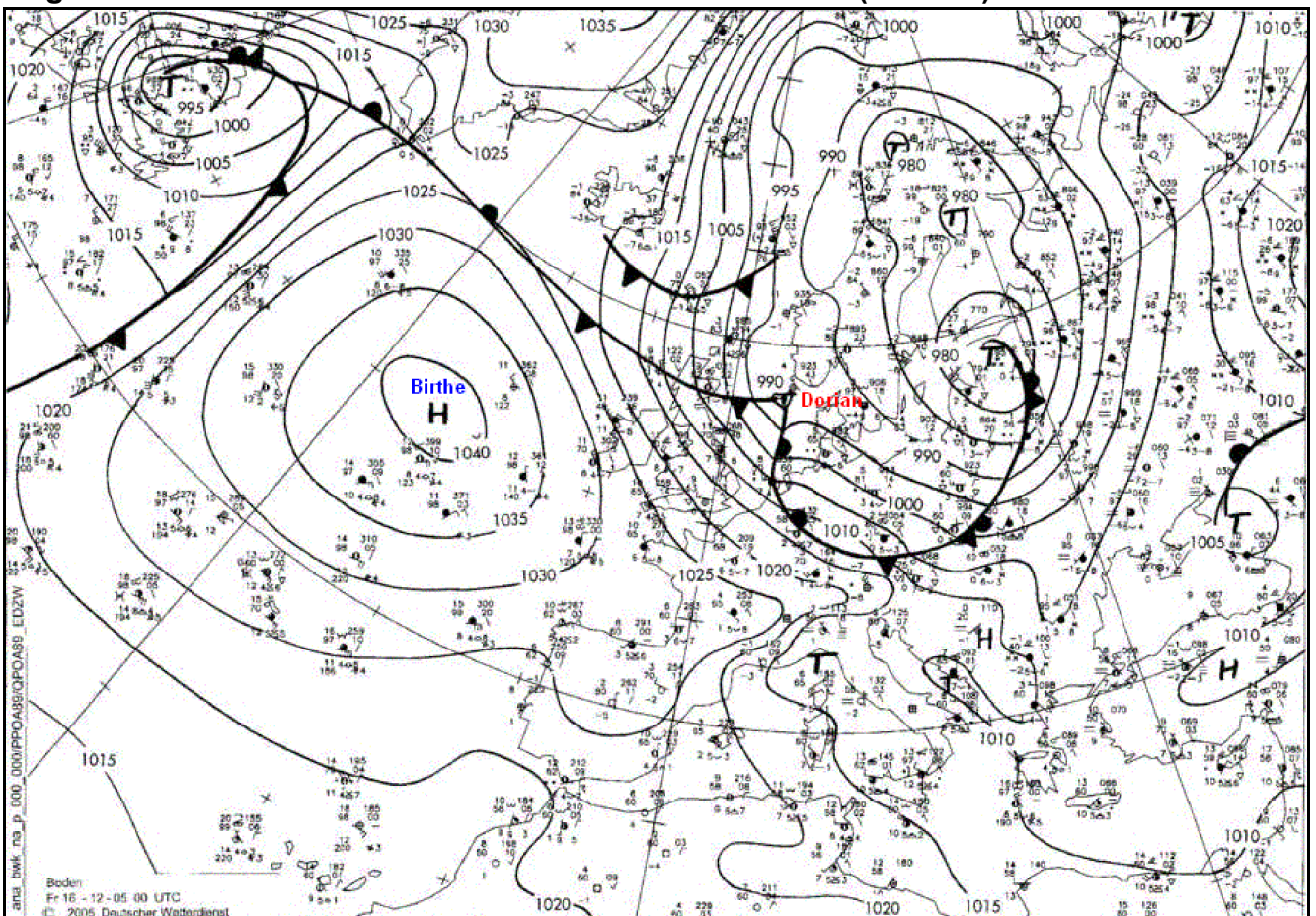
**Linien:** gestrichelt farbig: Isotachen [kn]; dick orange: Jetachse; dünn schwarz: Isohypsen [dam]

Der markante Polarfront-Jet in der 300 hPa-Karte vom 03.11.1969, 00 UTC, mit einer Länge von ca. 8000 km und einer Breite von etwa 1000 - 1500 km beginnt im Seegebiet westlich der Azoren und reicht als antizyklonaler Bogen über ganz Europa hinweg bis in das südliche Russland. Über Südschweden - also etwa in der Mitte der antizyklonalen Krümmung - erreicht der Jet in 300 hPa die Maximalgeschwindigkeit von 190 kn oder 352 km/h. Westlich davon herrscht im Isohypsenfeld eine großräumige Konfluenzzone, die als Einzugsgebiet bezeichnet wird und östlich davon liegt das Delta des Jets mit einem ausgeprägten Diffuenzgebiet. Beide Seiten des Jetstreams weisen eine beachtliche horizontale Scherung auf, die aber auf der zyklonalen Seite wesentlich größer als auf der antizyklonalen Seite ist. Die vertikale Windscherung unterhalb und oberhalb des Jetstreams hat in der Frontalzone - eine Übergangszone zwischen zwei unterschiedlichen Luftmassen, die sich im TEMP als Isothermie oder Inversion mit größerer vertikaler Windscherung bemerkbar macht - bzw. in der stabilen Schicht oberhalb der Tropopause den stärksten Wert.

## 1.2.2 Markanter Polarfront-Jetstream am 16.12.2005

Die Wetterlage vom 16.12.2005 war in der Bodenkarte durch das atlantische Hochdruckgebiet "Birthe" mit einem Luftdruck von über 1040 hPa und dem komplexen Zentraltief über Skandinavien (s. Abb. 12) mit mehreren Kernen und Druckwerten unter 980 hPa gekennzeichnet, zwischen denen in einer kräftigen Nordströmung polare Kaltluft vom Nordmeer über Großbritannien nach Mitteleuropa geführt wurde. Zwischen diesen beiden Druckgebilden, die sich als warmes Hoch und kaltes Tief auch in der Höhenwetterkarte 300 hPa gut ausgebildet zeigten, herrschte ein starkes Druck- bzw. Höhengefälle mit mehr als 60 hPa im Bodendruckniveau und über 1120 m in 300 hPa vor. Der dadurch vorhandene markante Polarfront-Jetstream wies am 16.12.2005 um 00 UTC südöstlich von Island in 300 hPa sein Geschwindigkeitsmaximum von über 170 kn oder 315 km/h auf.

### Lage des Orkantiefs "Dorian" am 16.12.2005 um 00 UTC (Abb. 12)



Im Bereich eines Jetstreams treten die stärksten Divergenzen und Konvergenzen der Höhenströmung auf. Weil der Luftdruck unterhalb einer Höhendivergenz in der gesamten Luftsäule fallen muss - die Luftsäule wird quasi von oben her ausgepumpt -, können sich in dieser Region Tiefdruckgebiete bilden. Dieser Prozess fand auch am 15.12.2005 statt. Nördlich von Schottland entwickelte sich im Einflussbereich einer kräftigen Höhendivergenz des PFJ aus einer nördlich von Schottland liegenden Wellenstörung das Orkantief "Dorian", das sich unter kräftiger Intensivierung über die Nordsee hinweg rasch nach Osten verlagerte und am 16.12.2005 um 12 UTC mit einem Kerndruck von 973 hPa östlich von Berlin an der Oder lag.

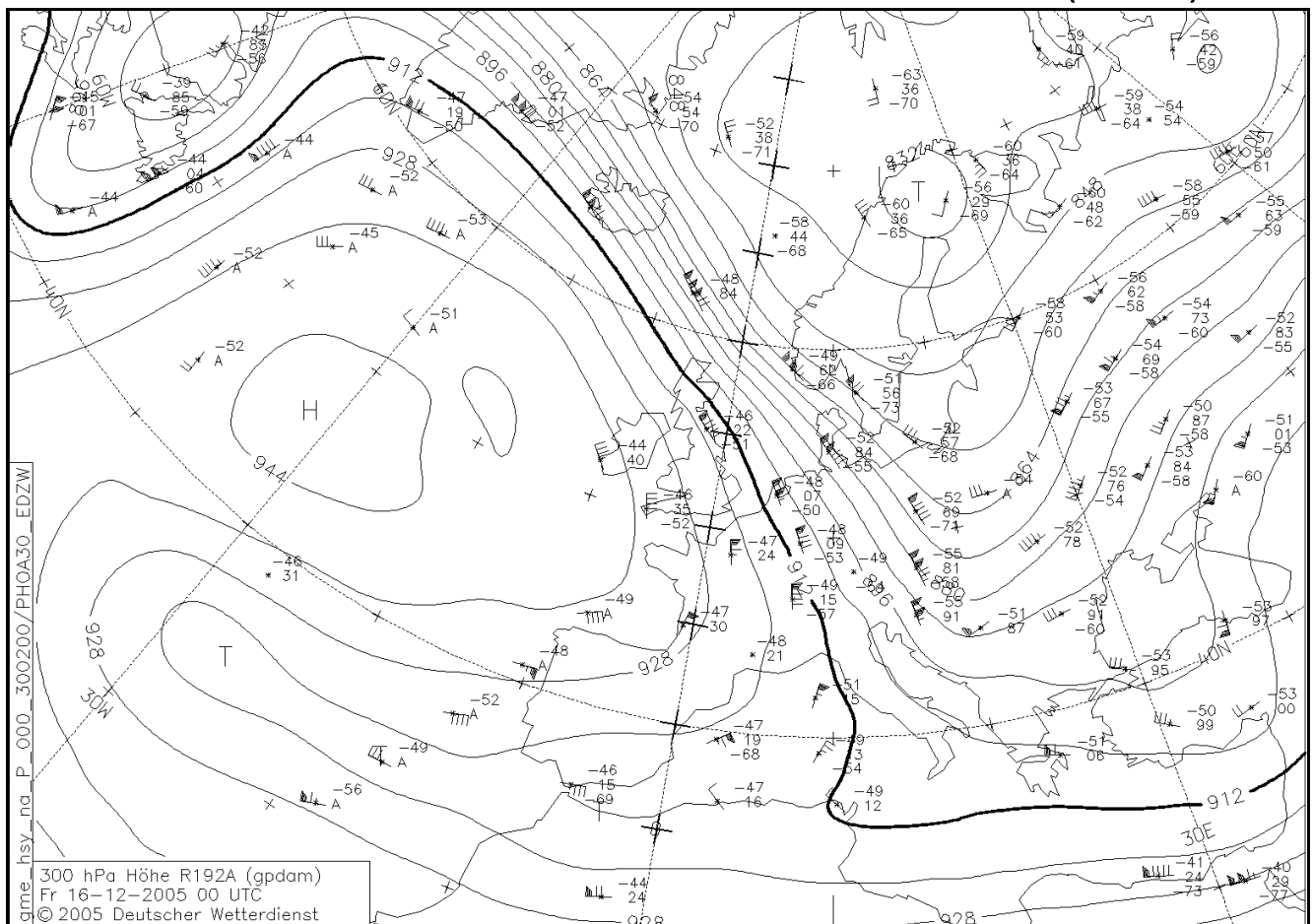
Im Bereich eines Jetstreams treten die stärksten Divergenzen und Konvergenzen der Höhenströmung auf. Weil der Luftdruck unterhalb einer Höhendivergenz in der gesamten Luftsäule fallen muss - diese Sphäre wird quasi von oben her ausgepumpt -, können sich in dieser Region Tiefdruckgebiete bilden. Dieser Prozess fand auch am 15.12.2005 statt.

Nördlich von Schottland entwickelte sich aus einer Wellenstörung im Einflussbereich einer wohl starken PFJ-Höhendivergenz das Orkantief "Dorian", das sich unter kräftiger Intensivierung über die Nordsee hinweg rasch nach Osten verlagerte und am 16.12.2005 um 12 UTC mit einem Kerndruck von 973 hPa östlich von Berlin an der Oder lag (s. Abb.12).

Die Abbildung 13 zeigt den diesen Vorgang auslösenden Polarfront-Jetstream, der sich von Neufundland nach Norden bis zur Davisstraße erstreckte, dann nach Südosten abbog und über Grönland, Island und die Nordsee bis nach Mitteleuropa verlief.

Die Windgeschwindigkeiten dieses nordwestlichen PFJ lagen in 300 hPa über Grönland, Island, der Nordsee und dem deutschen Küstenbereich im Mittel bei 120 kn oder 222 km/h und erreichten im Seegebiet der Färöer-Inseln ihr Maximum mit über 170 kn oder 315 km/h.

### Nordwestlicher-Polarfront-Jetstream in der Höhenwetterkarte 300 hPa (Abb. 13)



## 1.3 Subtropen-Jetstream (STJ)

Der Subtropen-Jet (STJ, Subtropical Jetstream), das kontinuierlichste Westwindband der Erde, ist eine Folge der baroklinen Zone der Subtropikfront (s. Abb. 5) und der STJ wird zusätzlich dadurch intensiviert, dass die in der Höhe polwärts aus der ITC ausfließende äquatoriale Luft (s. Abb. 5) mit ihrer in niederen Breiten größeren Erdrotationsgeschwindigkeit in höhere Breiten mit geringeren Rotationsgeschwindigkeiten gelangt.

- Äquatoriale Tiefdruckrinne** : Zone tiefen Luftdruckes im Gebiet des thermischen Äquators  
- Bereich mit den höchsten mittleren Jahrestemperaturen - etwa bei 10° bis 15° N (Nordsommer)- und 5° S (Südsommer)
- Innertropische Konvergenzzone** : ITC oder ITCZ (Inter-tropical convergence zone); Konvergenz zwischen Nordost- und Südostpassat, die innerhalb der äquatorialen Tiefdruckrinne gegeneinander geführt werden.
- Passate** : Östliche Winde zwischen den subtropischen Hochdruckgürteln und der äquatorialen Tiefdruckrinne, auf der Nordhalbkugel in Bodennähe der Nordostpassat, auf der Südhalbkugel der Südostpassat
- Subtropische Hochdruckgürtel** : Gebiet hohen Luftdruckes bei 25° bis 40° N und 25° bis 35° S in Form von einzelnen Hochdruckzellen

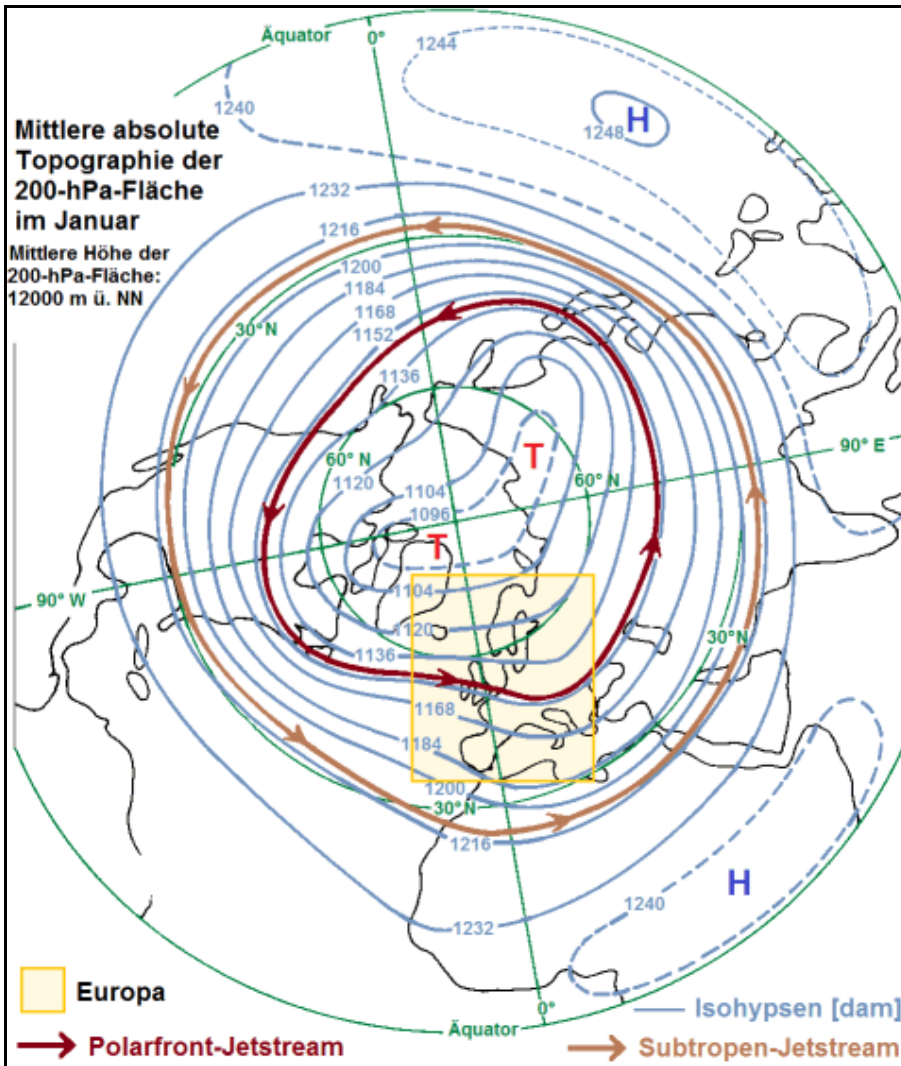
Der Subtropen-Jet ist oberhalb der subtropischen Hochdruckgürtel oft als quasi-zonaler, d.h. breitenkreisparalleler Ringstrom besonders auf der Südhalbkugel ausgebildet und weist manchmal extrem hohe Windgeschwindigkeiten auf. Über dem Pazifik wurden bereits 405 kn oder 750 km/h gemessen.

Der STJ, dessen Lage und Intensität nur langsamen, jahreszeitlich bedingten Änderungen unterliegt, befindet sich in Höhen zwischen 12 und 13.5 km (40000 und 45000 ft) und in 25° bis 35° geographischer Breite (s. Abb. 14).

### Mittlere Werte des STJ (Tab. 2)

<b>Lage</b>	25° bis 35° Nord und Süd	<b>Stärke</b>	150 - 225 km/h (80 - 120 kn)
<b>Höhe</b>	12 bis 13,5 km ü. NN (40000 - 45000 ft)	<b>Auftreten</b>	ganzjährig
<b>Richtung</b>	West nach Ost	<b>Besondere Kennzeichen</b>	quasi-zonaler Ringstrom mit räumlich und zeitlich geringe Änderungen

**Mittlere Lage des Polarfront- und Subtropen-Jetstreams im Januar in der Höhenwertkarte 200 hPa (Abb. 14)**



**Polarfront-Jet (PFJ)**

Lage, Form und Intensität des PFJ ist räumlich und zeitlich starken Schwankungen unterworfen, er mäandriert häufig wie ein Flusslauf, spaltet sich oft in mehrere Äste auf und tritt meist nur in relativ kurzen Bändern von wenigen 1000 km auf.

Die Achse des PFJ befindet sich im Mittel in einer Höhe von 10 km und seine Position variiert zwischen 40° und 60° geographischer Breite.

**Subtropen-Jetstream (STJ)**

Der STJ, dessen Lage und Intensität nur langsamen, jahreszeitlich bedingten Änderungen unterliegt, ist oberhalb der subtropischen Hochdruckgürtel oft als quasizonaler, d.h. breitenkreisparalleler Ringstrom besonders auf der Südhalbkugel ausgebildet und weist manchmal extrem hohe Windgeschwindigkeiten auf.

**1.4 Tropischer Ostjet (TEJ)**

Der Tropische Ostjet (TEJ, Tropical Easterly Jetstream) ist ein Strahlstrom, der auf der Nordhalbkugel der Erde durch die kräftige sommerlichen Erwärmung der tropischen Landmassen wie zum Beispiel des Hochlands von Tibet (Qinghai-Tibet-Hochebene) entsteht.

**Mittlere Werte des TEJ (Tab. 3)**

<b>Lage</b>	um 15° N (über Afrika, Südasien und Nordaustralien)	<b>Stärke</b>	150 - 185 km/h (80 - 100 kn)
<b>Höhe</b>	15 km ü. NN (50000 ft)	<b>Auftreten</b>	im Nordsommer, aber nicht über den Ozeanen
<b>Richtung</b>	Ost nach West		



## 2. Polarnachtstrahlstrom in der Stratosphäre

Die Stratosphäre, die zweite thermische Schicht der Atmosphäre, reicht von der Tropopause (s. Abb. 1), die im Mittel an den Polen in etwa 9 km und am Äquator bei 16 km Höhe liegt, bis zur Stratopause in ca. 47 - 51 km über NN. Sie enthält geringe Mengen des Gases Ozon - das Maximum der Ozonkonzentration befindet sich etwa in 25 km Höhe -, das die ultraviolette Strahlung der Sonne im Wellenlängenbereich von etwa 240 bis 320 Nanometern absorbiert, die Stratosphäre dadurch aufheizt und damit ihre vertikale Temperaturverteilung bestimmt. Weil der größte Anteil dieser UV-Strahlung bereits an der Obergrenze der Ozonschicht in etwa 50 km Höhe absorbiert wird, befindet sich das Maximum der Erwärmung und damit auch der Höchstwert der Temperatur im Stratopausenniveau.

Die Temperatur der Stratosphäre nimmt deshalb mit der Höhe von  $-56.5\text{ °C}$  (Tropopause) bis zum Maximum von  $-2.5\text{ °C}$  (Stratopause) zu, wobei sie anfangs sogar konstant bleibt (diese Zahlenangaben sind Normwerte der ICAO-Standardatmosphäre (ISA)).

Weil das Absorptionsvermögen der stratosphärischen Ozonschicht weitgehend vom Einfallswinkel der Sonnenstrahlung abhängt, zeigt die Temperatur einen deutlichen Jahresgang mit einem Maximum im Sommer und einem Minimum im Winter. Die höchste Temperatur der Stratosphäre tritt in Höhe der Stratopause am jeweiligen Sommerpol durch die halbjährliche ununterbrochene Einstrahlung am Ende des Polartages (Nordhalbkugel um den 22. September) und der tiefste Wert am Winterpol am Ende der etwa sechsmonatigen Polarnacht (Nordhalbkugel um den 20. März) auf, so dass ein über den Äquator hinweg reichendes Temperaturgefälle vom Sommer- zum Winterpol entsteht.

Das Temperaturgefälle zwischen den äquatorialen Breiten und dem Winterpol, das sich mit fortschreitender Polarnacht immer mehr verstärkt, führt über den mittleren und hohen Breiten zur Entstehung einer hemisphärischen zirkumpolaren Westströmung, die an der Peripherie des Polarnachtbereichs ihr Maximum erreicht und Polarnachtstrahlstrom (PNJ, Polar-night jetstream) genannt wird.

### Mittlere Werte des PNJ (Tab. 4)

<b>Lage</b>	bei $60^\circ$ Nord und Süd	<b>Stärke</b>	275 - 460 km/h (150 - 250 kn)
<b>Höhe</b>	20 bis 30 km ü. NN (65000 bis 100000 ft)	<b>Auftreten</b>	nur im Winter
<b>Richtung</b>	West nach Ost		

Der Polarnachtstrahlstrom tritt im Grenzbereich der bereits im Schatten liegenden und noch bestrahlten polaren Stratosphäre auf und wird deshalb auch als Schattengrenzen-Strahlstrom oder Strahlstrom am Rande der Polarnacht bezeichnet.

## Literatur

- Bergius, C.C. : Die Straße der Piloten in Wort und Bild, Die abenteuerliche Geschichte der Luft- und Raumfahrt, Droemersch Verlagsanstalt Th. Knauer Nachf., München, 1983
- DWD : Allgemeine Meteorologie; Leitfaden Nr.1 für die Ausbildung im DWD, Selbstverlag des DWD, Offenbach/M 1987
- DWD : Synoptische Meteorologie, 2. Vollständig neu bearbeitende Ausgabe von Manfred Kurz, Leitfaden für die Ausbildung im Deutschen Wetterdienst Nr. 8, Offenbach am Main 1990
- DWD : Wetterkarten
- England, J., Ulbricht, H. : Flugmeteorologie; VEB Verlag für Verkehrswesen, Berlin 1980
- Institut für Meteorologie und Klimaforschung : Forschungszentrum Karlsruhe, Wettergefahren und Frühwarnung, [http://www.vorhersagezentrale.de/Ereignis/20051225\\_e.html](http://www.vorhersagezentrale.de/Ereignis/20051225_e.html):
- Kappes, Martin : Klimatologie: Klimaforschung im 21. Jahrhundert - Herausforderung für Natur Und Sozialwissenschaften; Spektrum Akademischer Verlag, Juni 2009
- Kurz, M. : Synoptische Meteorologie; Leitfaden Nr.8 für die Ausbildung im DWD, Selbstverlag des DWD, Offenbach/M 1990
- Liljequist, G., Cihak, K. : Allgemeine Meteorologie; 3. Auflage, Verlag Friedrich Vieweg & Sohn, Braunschweig 1984
- Lufthansa : Flugklimatologie Long Range; Verkehrsfliegerschule Bremen, August 1979
- Meteorological Office : Meteorological Glossary; compiled by D.H. McIntosh, M.A., D.Sc., Her Majesty's Stationary Office, London 1972
- Wetter-Board : Weather/Forecastingwissen <http://www.wetter-board.de/spezialthemen/chasing/weather-forecastingwissen-vorhersage/13896-strahlstr%C3%B6me-jet/>
- Wikipedia : Jetstream; <http://de.wikipedia.org/wiki/Jetstream>  
: Jet stream; [http://en.wikipedia.org/wiki/Jet\\_stream](http://en.wikipedia.org/wiki/Jet_stream)  
: Krakatau; <http://de.wikipedia.org/wiki/Krakatau>