

Abbildung 1: 250 hPa Jetstreams (gesamte Welt)

Jetstreams, Zyklone und der Nordatlantik

Wer mit dem eigenen Flugzeug den Nordatlantik nach Westen oder Osten bezwingen will, wird um die genauere Kenntnis der Jetstreams nicht herumkommen. Aber auch jene, die nicht zu den Nordatlantikfliegern gehören, tun gut daran, ein wenig über die Theorie zu lesen und sie im Idealfall auch zu nutzen, schließlich blasen die Starkwinde auch über Europa hinweg und bestimmen teilweise auch hierzulande unser tägliches Fliegerwetter.

Was sind Jetstreams (Definition)?

Bei **Jetstreams** (dt. Strahlströme) handelt es sich um atmosphärische Windbänder mit einer nahezu horizontalen Strömungs-

achse (Jetachse) und hohen Windgeschwindigkeiten, wobei die Windgeschwindigkeit – sowohl vertikal als auch horizontal – mit zunehmender Entfernung zum Strömungszentrum rasch abfällt.

Die minimale Geschwindigkeit eines Jetstreams – das ist nur eine Festlegung – liegt bei 60 Knoten, der typische Bereich bei 60 – 150 Knoten. Als maximale Geschwindigkeiten wurden 200 Knoten über dem Nordatlantik registriert, in Asien wurden sogar Windspitzen bis über 300 Knoten gemessen.

Die horizontale Ausprägung von Jetstreams liegt meist bei einer Breite zwischen 200 und 400 NM, ihre Länge kann mehrere tausend Meilen umfassen. Die vertikale Ausprägung beträgt meist ca. 2 NM respektive 12 Flugflächen, wenn man dabei nur die Geschwindigkeiten ab 80 Knoten zählt. Auf der südlichen Halbkugel fehlen störende Landmassen, sodass bei-

spielsweise der Südpolarjet oft nur mit geringen Unterbrechungen die gesamte Erdkugel umspannt (siehe Abb.1).

schen Front lokalisiert und zwar in 500-400 hPa Höhe, also relativ niedrig zwischen FL180 und FL240. Der arktische Jetstream ist nicht immer vorhanden, oft

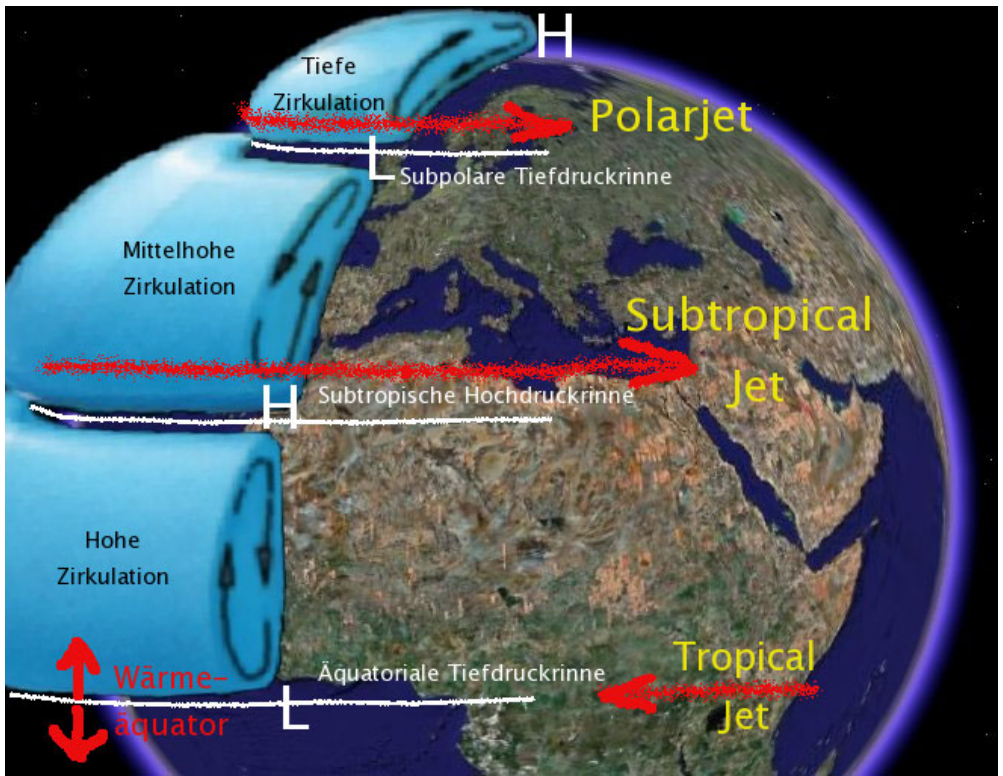


Abbildung 2: Globale Luftzirkulation und Jetstreams

Bildung und Eigenschaften von Jetstreams

Im Folgenden betrachten wir nur die nördliche Halbkugel, südlich sind die Verhältnisse nahezu symmetrisch. Insgesamt sind vier Jetstreams bekannt: der arktische Jetstream, der Polarfront Jetstream, der subtropische Jetstream und der tropische Jetstream. Die ersten drei Jetstreams sind starke Westwinde, der Letztere ist ausnahmsweise ein Ostwind.

Der **arktische Jetstream (AJ)** ist der am wenigsten verstandene Jetstream, er wurde auch als letzter entdeckt. Er ist in der Regel zwischen 60° - 80° N an der arkti-

strömt er nur im Winter, wenn der Polarjet relativ stark ist. Aber selbst dann gibt es Tage, in denen er abwesend ist. Ähnliches lässt sich über seine geografische Lage sagen. Sie ist unständig, mal kann er in der kanadischen Arktis erscheinen, mal über Skandinavien. Über dem Nordatlantik bläst er meist an der grönländischen Küste nach Norden und dreht über Skandinavien wieder südwärts. Seine typische Windgeschwindigkeit ist zwischen 60 und 90 Knoten. Es scheint möglich zu sein, dass der AJ eine Verzweigung des Polarfrontjets ist, wobei die Bedingungen seines Entstehens noch nicht verstanden sind.

Der **Polar Front Jetstream (PFJ)** ist der bekannteste von allen, da er starken Einfluss zwischen der kalten Polarluft und der warmen tropischen Luftmasse. Der PFJ ist

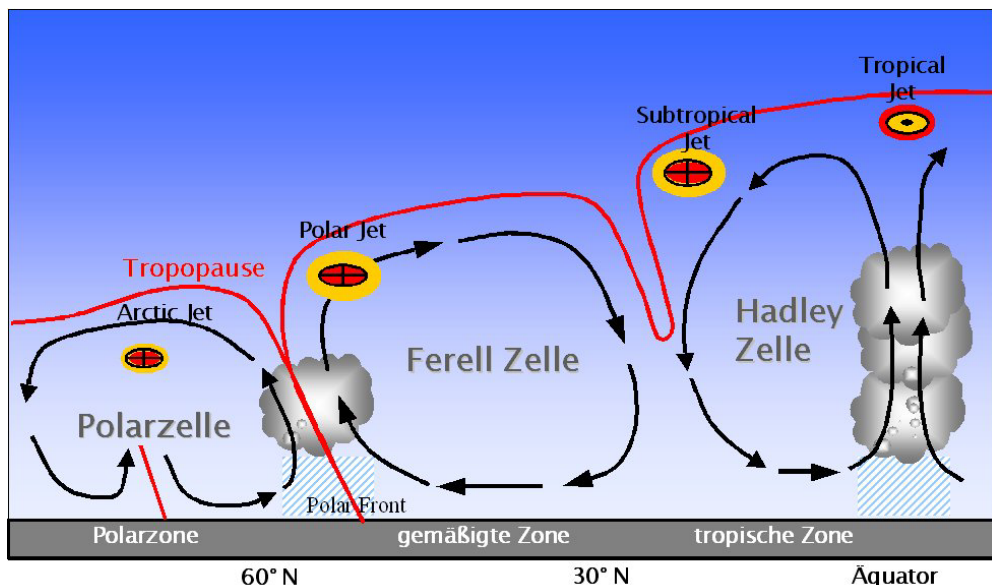


Abbildung 3: Die Jetstreams im Querschnitt gesehen

auf unser Wetter in den mittleren Breiten-graden hat. Außerdem ist er der Jet, der bei der Überquerung des Nordatlantiks die maßgebliche Rolle spielt. Der PFJ strömt an der Polarfront in der subpolaren Tiefdruckrinne entlang. Sein Verlauf ist nicht fest an eine bestimmte Position gebunden, sondern er bewegt sich mäandrierend um den Globus. Die sinusähnlichen Wellen werden auch als **Rossby-Wellen** bezeichnet. Manchmal spaltet sich der PFJ in zwei Streams auf, man spricht dann neben dem PFJ zusätzlich vom nördlicheren Interpolarfront Jetstream (an der Interpolarfront).

Der PFJ ist meistens zwischen 35°–60° N zu finden, wobei er mit der Wanderung des Wärmeäquators im Sommer nach Norden wandert und schwächer wird. Der Grund für die Abschwächung im Sommer ist die geringere Temperaturdifferenz

wie jeder Jetstream als thermisch-geostrophischer Wind temperaturgetrieben. Der PFJ erreicht an zwei Stellen des Globus seine maximale Geschwindigkeit, erstens an der asiatischen Ostküste in der Nähe von Japan und zweitens an der nordamerikanischen Ostküste in der Nähe von Neufundland. Dies rührt daher, dass an diesen Stellen westlich sehr kalte Landmassen (Asien, Nordamerika) dem wärmeren Ozean im Osten gegenüberstehen. Die größten Windgeschwindigkeiten bilden sich in 300–200 hPa Höhe, also zwischen FL300 und FL390. Sie liegen in der Regel zwischen 80 und 180 Knoten, in seltenen Fällen sogar noch darüber.

Der **subtropische Jetstream (STJ)** entwickelt sich in der subtropischen Hochdruckrinne zwischen den Tropen und mittleren Breitengraden. Er liegt in der

Regel zwischen 20°–30° N. Der STJ ist ein wichtiger Faktor bei der Entstehung starker Gewitterfronten im Süden der USA und er produziert Starkwinde über dem Himalaja in den kälteren Monaten des Jahres. Da der STJ sich im absinkenden Bereich der Hadley-Zelle bildet, ist er in der Regel um 200 hPa oder FL390 herum zentriert. Seine Windgeschwindigkeiten sind ähnlich jener des Polar-Jets, können aber gelegentlich auch mit ca. 220 Knoten (400 km/h) etwas darüber liegen.

Stärke und Position der drei westlichen Jetstreams ändern sich von Tag-zu-Tag. Schaut man sich die Entwicklung der Jetstreams über eine Reihe von Folgetagen an (im Internet werden auf vielen Websites entsprechende Animationen angeboten), so lässt sich oft feststellen, dass an manchen Tagen nur ein Jetstream erkennbar ist, wohingegen an anderen Tagen alle drei westlichen Jets vorhanden sind. Offensichtlich handelt es sich um ein chaotisches System im Sinne der Chaostheorie mit einigen Verzweigungspunkten.

Der **tropische Jetstream (TJ)** stellt unter den Jetstreams eine Ausnahme dar, da er im Unterschied zu allen anderen aus Ost-richtung bläst. Er bildet sich, wenn auf der Nordhalbkugel Sommer herrscht, im Bereich zwischen 10° und 20° N also am Wärmeäquator. Der TJ strömt vom sudchinesischen Meer südlich an Indien vorbei über Äthiopien und südlich der Sahara über Afrika. Seine typische Höhe ist 150 hPa oder FL 450.

Vorkommen von Jetstreams und damit verbundene CAT Bereiche

Unsere obige Abbildung 3 verdeutlicht die Verbindung zwischen Jetstreams und Fronten. Dort wo starke Temperaturunterschiede in den angrenzenden Luftmassen – über das Höhenprofil hinweg gesehen – existieren, gibt es jeweils als zugehöriger thermischer Wind einen Jetstream. Zur arktischen Front gehört der arktische Jet, zur Polarfront der Polar-Jet, zur subtropischen Hochdruckrinne gehört der subtropische Jet und der tropische Jet kann der äquatorialen Tiefdruckrinne zugeordnet werden, obwohl sein Ursprung wohl nicht wie bei den westlichen Jets zu erklären ist.

Wegen ihrer Wichtigkeit und Bedeutung wollen wir im Folgenden die Entstehung des Polar-Jets an der Polarfront genauer betrachten. Die Polarfront trennt die polare Luftmasse von der gemäßigten Luft und durchschneidet als etwa 1 km mächtige, isotherme Schicht die gesamte Troposphäre (s. Abb.4). Die Polarluft schiebt sich dabei keilförmig unter die wärmere gemäßigte Luft und die Front weist eine Neigung von etwa 1:100 auf. In der Front selbst bestehen starke Temperaturgegensätze, die auf 100 km Entfernung Werte von bis zu 7 °C erreichen können. Nach der thermischen Windgleichung verändert sich der geostrophische Wind mit der Höhe genau dann, wenn auf einer Druckfläche thermische Gegensätze vorhanden sind. Dies ist entlang der Polarfront, die eine Unstetigkeit darstellt, der Fall. Es führt dazu, dass insbesondere in der Frontalzone der parallele Wind an Stärke zunimmt. Der thermische Wind verstärkt sich in der Vertikalen so lange, bis sich

der Temperaturgradient auf den Druckflächen umkehrt.

Oberhalb der Tropopause herrscht Isothermie bzw. die Temperatur nimmt wieder zu. Da die polare Tropopause (in der Abb. links) schon in einer geringeren Höhe auftritt als die subtropische Tropopause, ändert der Temperaturgradient oberhalb der polaren Tropopause sein Vorzeichen und der geostrophische Wind nimmt folglich an Intensität ab. In der Höhe, in welcher der Vorzeichenwechsel stattfindet (~10 km), liegt das Maximum des geostrophischen Windes: der Jetstream. Es liegt meist 1 km unterhalb der subtropischen Tropopause in etwa bei einer Höhe von 300 hPa respektive FL300. Der Jet-

streamkern ist also oberhalb der Polarfront „auf der subtropischen Seite“ lokalisiert (siehe. Abb. 4) mit einer Maximalgeschwindigkeit beim Modell unten von 80 m/sec (155 Knoten).

Aufgrund der großen horizontalen und vertikalen Windscherungen direkt an der Grenze der oberen Polarfront entstehen starke Turbulenzen. Da man die Turbulenzen nicht direkt sehen oder durch sichtbare Anzeichen erahnen kann, hat man sie bekanntlich Clear Air Turbulence oder abgekürzt CAT getauft. Sie sind am stärksten direkt neben und unterhalb der horizontalen Jetachse in der Polarfront in Richtung der kälteren Luftmasse.

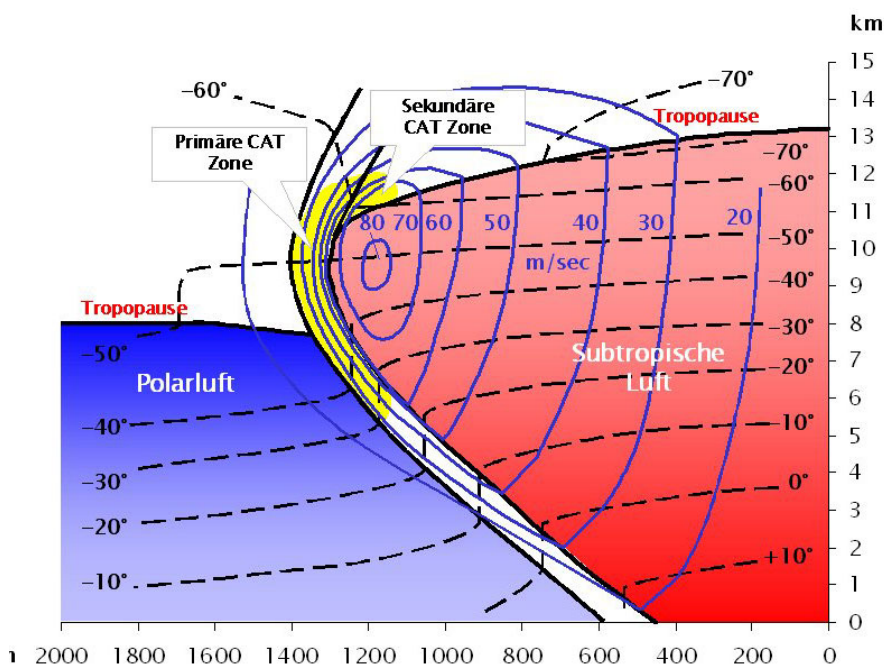


Abbildung 4: Abgebildet ist das Modell einer winterlichen Polarfront (Darstellung übernommen aus Kurz, Synoptische Meteorologie, 1990). Dargestellt sind die Isothermen (in ° C, gestrichelte Linien), Isotachen (in m/sec, durchgezogene dünne Linien), der Bereich der Polarfront (dicke geneigte Linien) sowie die Tropopause (dicke nahezu horizontale Linie). Der Jetstream fließt senkrecht zur Grafik in das Papier hinein. Der 80 m/sec-Wert entspricht ca. 286 km/h oder ca. 155 Knoten!

Jetstream Erkennung

Vom Boden lassen sich Jetstreams manchmal durch sich äußerst schnell bewegende Cirrenfelder ausmachen, die sich im rechten Winkel zum Bodenwind bewegen.

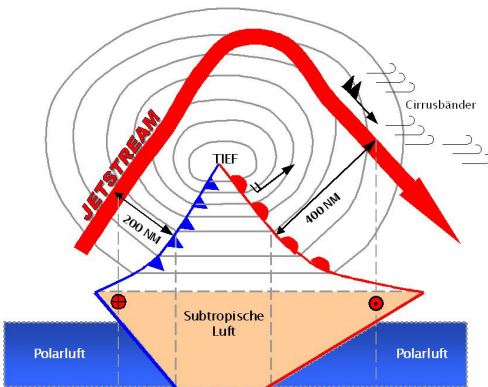


Abbildung 5: Jetstream und Cirrusbänder

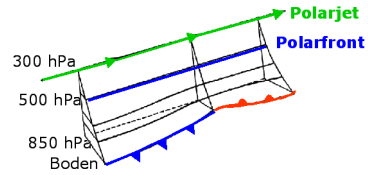
Ansonsten lassen sich Jetstreams während des Fluges nur mittelbar durch ihre Begleiterscheinungen erkennen: wesentlich erhöhte oder ggf. reduzierte Groundspeed, CAT, Temperaturwechsel an der Front und ggf. beachtliche Abdrift bzw. Vorhaltewinkel.

Der Jetstream und die Zyklone

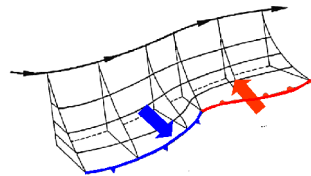
Wie bereits in Abb. 5 zu erkennen ist, gibt es eine innige Verbindung zwischen Jetstreams und der jeweilig zugehörigen Front. Vielfach wird im Meteorologieunterricht noch die vereinfachte Version nach Bjerknes von 1922 durchgenommen, wobei Entstehung und Verfall einer Zyklone als reines Bodenergebnis dargestellt wird. Tatsächlich ist aber die Geschichte der Zyklone ein dreidimensionales Fronterlebnis, was etwa am Beispiel der Polarfrontzyklone wie folgt beschrieben werden

kann (in Anlehnung an Kurz, Synoptische Meteorologie, 1990):

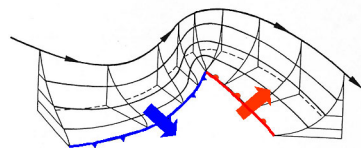
A. Eine kleine Welle an der Polarfront führt häufig zur Initialisierung einer Zyklone.



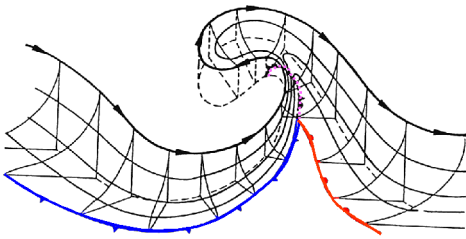
B. Druckfall am Boden verursacht eine Zirkulation, die kalte Luft in Richtung warme und warme in Richtung kalte Luft transportiert.



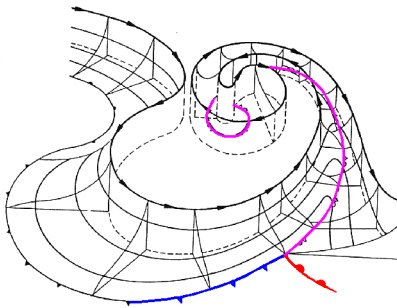
C. Die Kaltfront kommt schneller voran als die Warmfront, wodurch sich der Warmsektor verengt. Die Polarfront beginnt zu mäandrieren.



D. Die Kaltfront erreicht die Warmfront und es bildet sich eine Okklusion, an der warme Luftmassen gehoben werden. Der Polarjet und die Polarfront beginnen sich einzudrehen.



E. Das Tiefdruckgebiet ist nahezu vollständig okkludiert. Die warme Luftmasse ist fast vollständig gehoben und die Okklusion dreht sich spiralförmig im Kern der Zyklone ein.



Der Kern des Tiefs verlagert sich nur noch langsam, wodurch das Frontensystem zyklonal um das Tief herum schwenkt. Das Wolken- und Niederschlagsband der Okklusion bekommt eine Spiralform. Wolkenlücken entstehen dadurch, dass die Kaltluft ebenfalls um den Kern des Tiefs herumgeführt wird.

Die Entwicklung kommt zum Stillstand, da durch vertikale Mischung wie in einem riesigen Staubsauger die Warmluft adiabatisch gekühlt, die Kaltluft erwärmt wird und damit die Temperaturgegensätze im Bereich der Okklusion abgebaut werden. Somit bricht die Energiezufuhr für die zyklonale Rotation ab und durch die Bodenreibung wird die Drehbewegung der

Luft beendet. Das Tief wird schließlich druckseitig „aufgefüllt“.

Man beachte insbesondere, dass bei der okkludierten Front auch die vertikalen Temperaturunterschiede zeitweise reduziert oder nahezu ganz aufgelöst werden, was zur Folge hat, dass neben der „Verbiegung“ des Jetstreams seine Geschwindigkeit verringert wird.

Ist das Tiefdruckgebiet erst in seiner Entstehungsphase, so wird der Jetstream entsprechend abgelenkt, was zu den bereits erwähnten Rossby-Wellen führt. Der Polarjet „fließt“ also, während er um den Globus strömt, um die bekannten „Westerlies“ herum.

Übrigens lässt sich hier auch die berühmte Frage nach der Henne und dem Ei stellen. Ist die Krümmung des Jetstreams der auslösende Faktor für die Zyklonenbildung oder seine Folge? Einige Meteorologen schließen aus der Krümmung des Jetstreams auf das entstehende Tiefdrucksystem.

Jetstream Vorhersagen

Jetstreams lassen sich relativ leicht auf den üblichen Upper Winds Charts erkennen. Einfacher geht es natürlich mit der grafischen Darstellung der bekannten Significant Weather Charts, in denen nicht nur die maßgeblichen Jets mit ihren Kerngeschwindigkeiten vorhergesagt werden, sondern auch deren CAT Bereiche. Für Nordatlantiküberquerungen findet man z.B. unter <http://aviationweather.gov/products/swh/> (NOAA Aviation Weather Center - High Level SIG WX Charts) brauchbare High Level SWCs (Abb.14).

Will man mit dem eigenen Flugzeug den Nordatlantik überqueren, so lohnt sich – neben dem Besuch der Website (www.nat-pco.org) für die Procedures – der Überquerung auch der Besuch spezieller meteorologischer Websites, die relativ genaue Darstellung und Vorhersagen der Jetstreams über dem Nordatlantik anbieten:

- ▶ http://de.weather.com/maps/worldregions/intleurope/natlantik24stjetstream_large_animated.html
- ▶ http://www.stormsurf.com/mdls/men_u_wx.html (rechte Spalte Jetstreams)
- ▶ http://squall.sfsu.edu/gif/jetstream_atl_init_00.gif (Universität San Francisco)

So vorbereitet (hoffentlich geht es in die östliche Richtung), kann eigentlich nicht viel schief gehen. In jedem Fall wird man sich auch auf den unteren Flugflächen auf eine gehörige Portion Turbulenz einstellen müssen. Insgesamt lässt sich ein solcher Flug – soweit ich das als Nicht-Nordatlantik-Überquerer überhaupt beurteilen kann – als grenzwertige Erfahrung einordnen. Einigen soll sogar die Sauerstoffkanüle in der Nase festgefroren sein. Auf der positiven Seite steht auf jeden Fall meist die drastisch erhöhte Groundspeed, und der resultierende Effekt lässt sich am Ende sehr gut in gesparten Dollar oder Euro ausrechnen. Also fliegen Sie mit dem Polarjet die Nordatlantikroute nach Osten und sparen Sie....

Klaus.L.Schulte@klspublishing.de

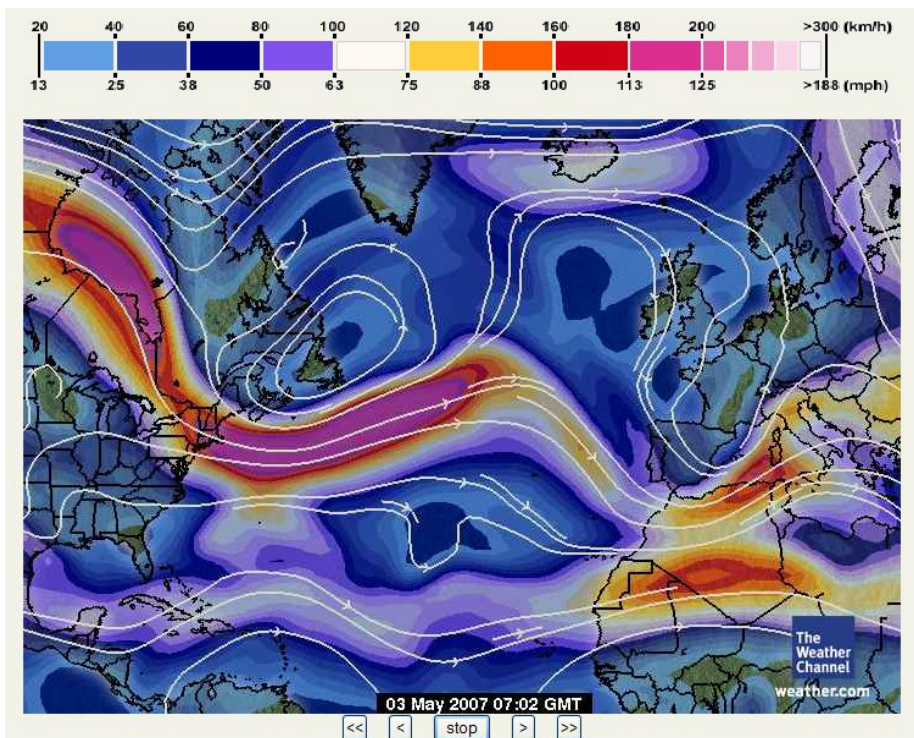


Abbildung 11: Darstellung des Polarjets und des subtropischen Jets vom 3.Mai 2007, über Skandinavien ist noch ein Teil des artischen lets erkennbar (Weather Channel)

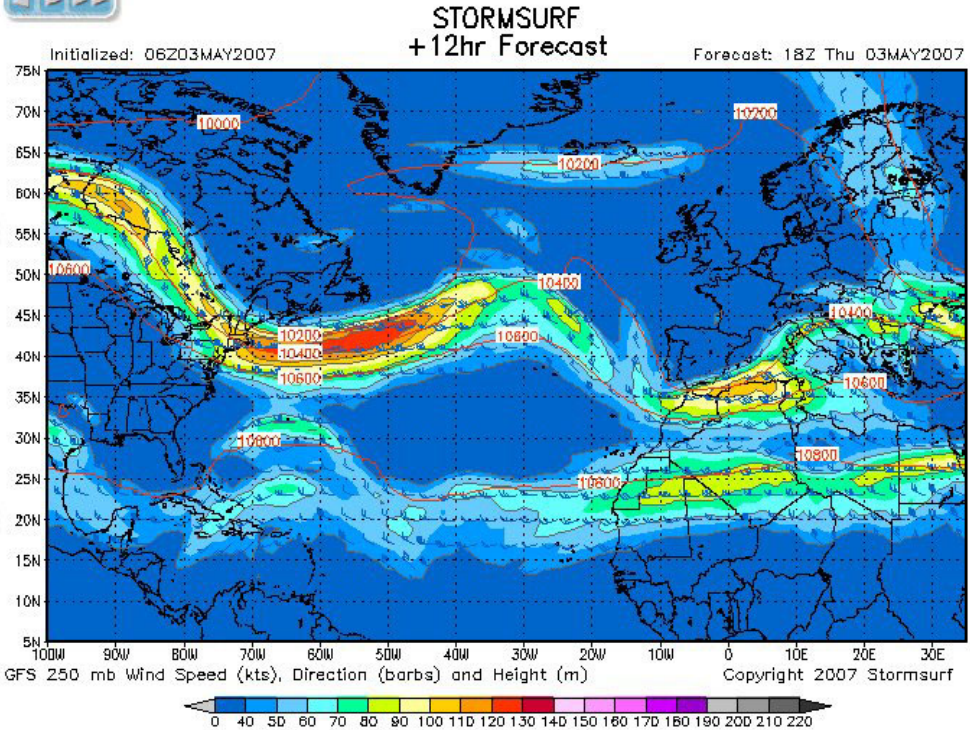


Abbildung 12: Jetstream 12 Stunden Vorhersage von www.stormsurf.com

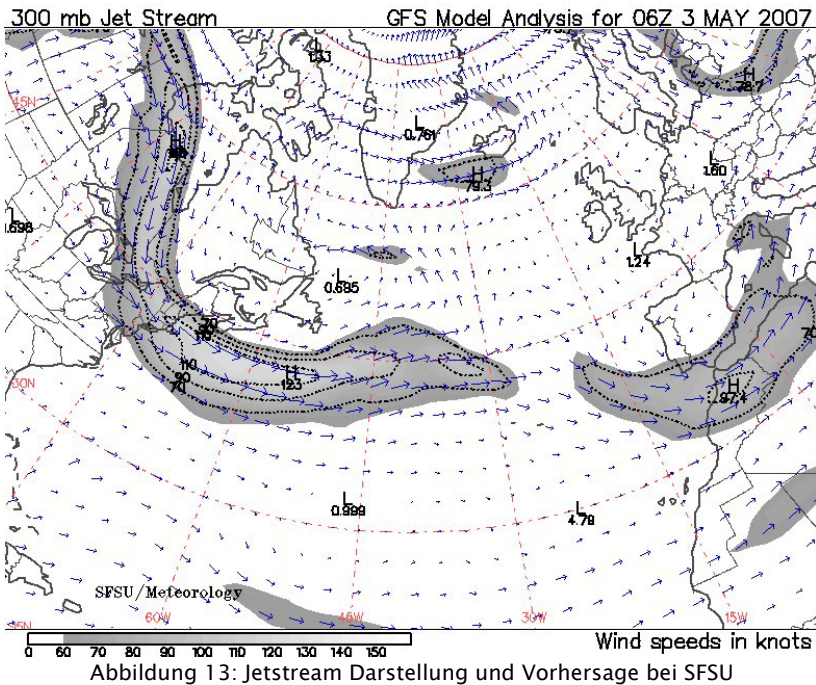


Abbildung 13: Jetstream Darstellung und Vorhersage bei SFSU

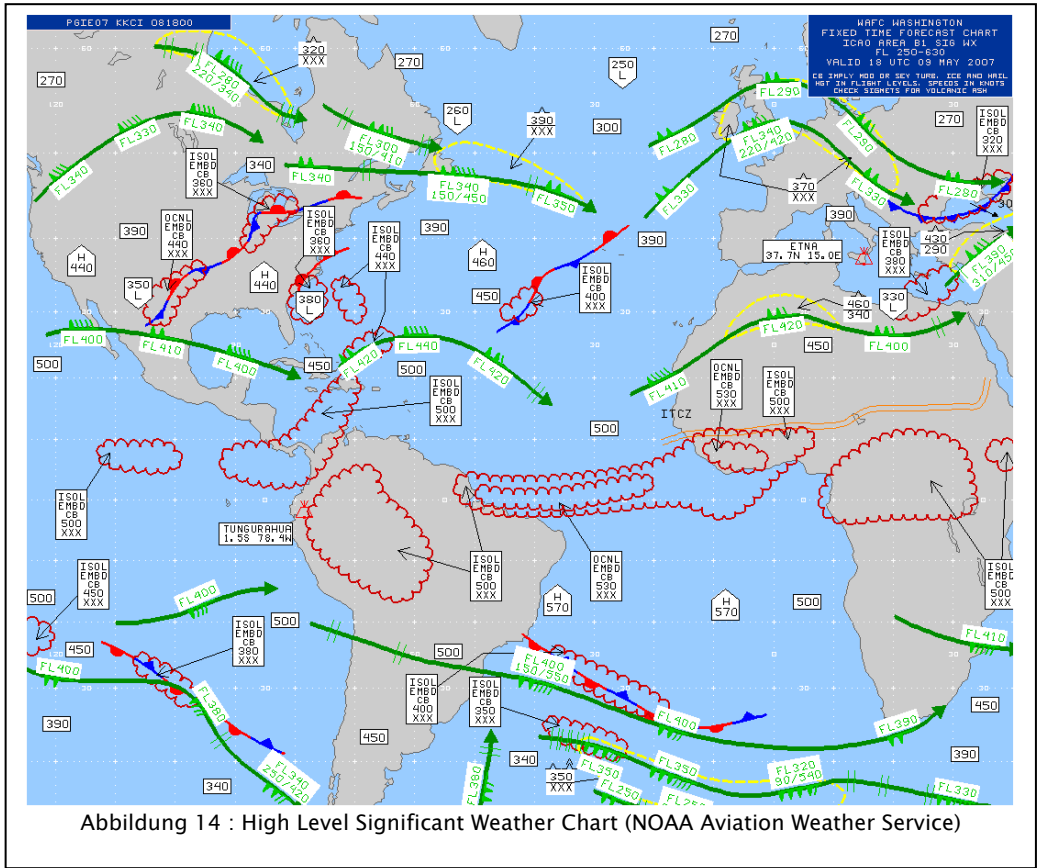


Abbildung 14 : High Level Significant Weather Chart (NOAA Aviation Weather Service)

Quellen:

1. Kurz, Synoptische Meteorologie, 1990
2. Fink, Ermert, Synoptische Meteorologie, Lernskript Universität Köln 2006
3. Serebreny, Wiegman and Hadfield, Some Characteristic Features of the Jet Stream Complex, Journal of Applied Meteorology, 1962
4. Oxford Aviation, Meteorology, ATPL Lehrbuchreihe, Band 9, Auflage 2005

Was ist ein e-Journ?

Ein e-Journ ist ähnlich wie ein e-Book eine elektronische Publikation, nur dass es sich dabei wegen der geringeren Größe (minimal 2, maximal 30 Seiten) nicht um vollständige Bücher handelt, sondern um einzelne Bausteine ähnlich einem Kapitel in einem Buch oder einem journalistischen Beitrag in einer Zeitschrift.

K.L.S. Publishing e-Journs sind allesamt als Fachartikel für Luftfahrtmagazine oder als abgeschlossene Kapitel für Luftfahrtbücher entstanden.

K.L.S. Publishing bietet e-Journs als Einzelwerke zum Kauf an. So hat jeder Leser die Möglichkeit, einzelne Bausteine oder einzelne Artikel jeweils frei nach Interesse selbst zusammenzustellen. Hiermit kann der Leser flexibel eine eigene Wissensbibliothek aufbauen. Die Preise der E-Journs werden auf der Basis eines geringen Seitenpreises errechnet und sind damit kostengünstig im Vergleich zu Büchern.

K.L.S. Publishing, Köln

<http://klspublishing.de/>