

Jetstream

Starkwindband steuert Wetter

Inhalt

[Was ist der Jetstream?](#) [Wie schnell ist der Jetstream?](#) [Wie entsteht der Jetstream?](#) [Warum ist der Jetstream ein Westwind?](#) [Warum mäandrieren Jetstreams?](#) [Der Polarfrontjet](#) [Der Subtropenjet](#) [Tropenjets](#) [Klimawandel und Jetstream](#)

1 Flugzeuge nutzen sie als Antrieb: Als Jetstreams werden bandartige Winde in etwa 9 bis 14 Kilometern Höhe bezeichnet, die hohes Tempo erreichen. Die starken Höhenwinde transportieren Luft großräumig von West nach Ost und sind Motor für viele Wetterphänomene. Sowohl auf der Nord- als auch auf der Südhalbkugel gibt es Westwindströme, insgesamt zwei Jetstreams auf jeder Halbkugel.

Was ist der Jetstream?

Der Jetstream ist abhängig von einem starken oder schwachen Polarwirbel. Ein starker Polarwirbel erzeugt einen starken Jetstream, ein schwacher Polarwirbel sorgt für einen schwachen Jetstream.

Anzeige

Es ist einer der schnellsten Luftbewegungen, die auf der Erde wehen. Als Jetstream bezeichnet man einen starken, rohrförmigen Windstrom, der entlang einer nahezu horizontalen Achse in der oberen [Troposphäre](#) oder auch in der unteren Stratosphäre gebündelt ist. Es gibt mehrere Jetstreams, die wichtigsten sind der Subtropenjet und der Polarfrontjet. Letzterer beeinflusst das Wetter in Mitteleuropa. Die Bezeichnung "Strahlstrom" ist ein Synonym für den Jetstream.

Wie schnell ist der Jetstream?

Zerzauste Cirren weisen auf den Jetstream hin. Die Eiswolken bewegen sich in etwa rechtwinklig zum Bodenwind. Durch den Jetstream scheint ein Flugzeug hindurchzufliegen.

Jetstreams fegen mit Windgeschwindigkeiten über 400 Kilometer pro Stunde von West nach Ost einmal um den Globus. Mit zunehmender Entfernung zur Strömung nimmt jedoch die Geschwindigkeit sehr schnell ab. Piloten nutzen diese Strahlströme und fliegen mit Rückenwind, denn dadurch sparen sie Treibstoff und Zeit. Vom Boden aus ist der Jetstream durch äußerst schnell bewegende, zerzauste [Cirruswolken](#) zu erkennen.

Wie entsteht der Jetstream?

Die Luftmassen werden auf der Nordhalbkugel nach rechts und auf der Südhalbkugel nach links abgelenkt. Auf diese Weise entstehen drei große Zirkulationszellen (Hadley-Zelle, Ferrel-Zelle und Polarzelle).

Die unterschiedliche Sonneneinstrahlung auf der Erde bewirkt, dass sich Jetstreams bilden. Die warme Luft über dem Äquator steigt sehr weit nach oben auf. Die kalte Luft am Pol ist dagegen wesentlich dichter und damit schwerer, deshalb staut sie sich am Boden. Wie dies genau funktioniert, erklärt das folgende Video:

Da in kalter, dichter Luft (zum Beispiel in den polaren Regionen) der [Luftdruck](#) rascher mit der Höhe abnimmt als in warmer (zum Beispiel in den Subtropen), stellt sich vom Bodenniveau ein mit der Höhe immer stärker zunehmendes Druckgefälle auf. Deshalb ist der Luftdruck in den Subtropen beispielsweise in 5 Kilometern Höhe höher als in den Polarregionen. Der Luftdruckunterschied ist sehr groß und vom hohen zum tiefen Druck gerichtet.

Schon gewusst?

Ein Jetstream kann Windgeschwindigkeiten über 500 Kilometer pro Stunde erreichen.

2

In der [Ferrel-Zelle](#), einem Zirkulationssystem in der Atmosphäre ähnlich wie die Hadley-Zelle, steigt die Luft in den subpolaren Breiten auf, im Bereich der Subtropen (30° Nord und 30° Süd) dagegen ab. Demnach treffen in diesem Bereich die Luftmassen der Polargebiete und der Passatzzone aufeinander. Bodennah und in der Höhe wird die Zirkulation durch entsprechende Ausgleichsströmungen geschlossen: In der Höhe strömt die kalte Luft von der polaren Frontalzone zu den Subtropen. Demensprechend steigt die Luft auf der kalten Seite auf und sinkt im warmen Bereich ab. Man spricht dann von einer thermisch indirekten Zirkulation.

Warum ist der Jetstream ein Westwind?

Wegen der Corioliskraft wird die Luft auf ihrem Weg nach Norden nach rechts abgelenkt. Daraus entsteht eine Luftströmung nach Osten.

Das Temperaturgefälle zwischen Polgebieten und Äquator ist im Bereich zwischen 35° und 60° nördlicher beziehungsweise südlicher Breite besonders groß. Dieser Bereich der Atmosphäre wird als Frontalzone bezeichnet. Der nach Ausgleich strebende Wind weht vom Äquator zum Pol - also vom hohen zum niedrigen Druck.

Auf ihrem Weg nach Norden wird die Luft jedoch wegen der Erdrotation, der sogenannten [Corioliskraft](#), auf der Nordhalbkugel nach rechts abgelenkt, auf der Südhalbkugel nach links. Die Folge ist ein sogenanntes "geostrophisches Kräftegleichgewicht", sobald die Strömung parallel zum Druckgefälle verläuft.

Der Jetstream steuert das Wettergeschehen am Boden und paust sich durch die unteren Luftschichten durch. Dadurch entstehen sogenannte dynamische Druckgebiete. Die Tiefs in

den unteren Luftschichten verlagern sich mit einer Geschwindigkeit von rund 50 Kilometer pro Stunde nach Osten. Meteorologen verfolgen den Verlauf und die Lage des Strahlstroms und können so vorhersagen, wo ein [Tief](#) entsteht und in welche Richtung es zieht.

Ausmaße der Jetstreams

Die Strahlströme sind oft in zahlreiche Teilstücke und Äste aufgespalten. Diese haben meist eine Länge von einigen Tausend Kilometern, eine Breite von einigen Hundert Kilometern. Jetstreams weisen mehrere Geschwindigkeitsmaxima auf. Der Bereich maximaler Windgeschwindigkeit ist die Strahlstrom- oder Jet-Achse. Sie verläuft nur selten völlig waagrecht und ist meistens nur rund 50 bis 100 Kilometer breit. Da in höheren Luftschichten Reibung fehlt, können sich dort sehr starke Höhenwinde entwickeln.

Warum mäandrieren Jetstreams?

Die wichtigsten Jetstreams sind der Subtropenjet und der Polarfrontjet.

3

Temperaturgegensätze zwischen Land und Ozean sowie Gebirge bringen Jetstreams ins Schlingern. Das geschieht dann, wenn ein Jetstream eine kritische Strömungsgeschwindigkeit überschreitet. Folglich beginnt er zu mäandrieren, ähnlich wie ein Fluss. Dabei entwickeln sich Wellentäler und -berge, sogenannte Tröge und Rücken. Diese wandern von Westen nach Osten und bestimmen unser Wetter. Im Wellental bilden sich Tiefs, die mit Wolken und Regen einhergehen. Im Wellenberg dagegen, dem Rücken, etablieren sich Hochs, die meist Sonnenschein und trockenere Luft bringen.

Beim Schlingern des Jetstreams entwickeln sich lange Wellen, die auch als [Rossby-Wellen](#) bezeichnet werden. Rund um die Erde schlängeln sich normalerweise drei bis fünf dieser Wellen. Die Wellenlänge beträgt mehrere Tausend Kilometer. Sobald sich die Wellen stark bewegen, können sich einzelne Wellen abschnüren. Sie scheren dann aus und formieren sich zu eigenständigen Tiefs und Hochs.

Bei einem abgeschnürten Tief spricht man von einem [Cut-Off](#). Ein Hoch, das sich dann eigenständig entwickelt, blockiert die Westströmung, weshalb es auch als blockierendes Hoch bezeichnet wird. Auf der Nordhalbkugel kommen Cut-Offs und blockierende Hochs wesentlich häufiger vor, da es mehr Gebirgsketten gibt, die Verwirbelungen begünstigen.

Der Polarfrontjet

Der Polarfrontjet trennt Polarluft von subtropischer Luft. Eingebettet sind die Luftmassen und deren Bewegungen im planetaren Zirkulationssystem. Der Polarfrontjet ist mit der Polarfront gekoppelt, die die Grenze zwischen kalter Luft im Norden und warmer Luft im Süden darstellt.

Diese Grenze zwischen den beiden Luftmassen wird außerdem von einer Zone mit verhältnismäßig niedrigem Luftdruck markiert. Weiter pol- und äquatorwärts ist der Luftdruck höher. Hierbei strömt die Luft von den Hochdruckgebieten über den polaren sowie subtropischen Regionen zum tieferen Luftdruck und wird dabei durch die [Corioliskraft](#) auf der Nordhalbkugel nach rechts und auf der Südhalbkugel nach links abgelenkt.

Wo ist die Polarfront?

Der Polarfrontjet verändert seine Lage im Verlauf des Jahres. Im Sommer bewegt sich der Polarjet in einer mittleren geographischen Breite von etwa 65°. Im Winter hingegen dringt er weiter nach Süden auf ca. 45° geographische Breite vor. Sein Maximum liegt jedoch im Winter, da dann die Temperaturgegensätze der Luft größer sind als im Sommer.

Wie beeinflusst der Polarjet unser Wetter?

Der Jetstream vom Weltall aus gesehen: Ein Band streifen- und rippenförmiger Cirrus-Wolken erstreckt sich über Ostafrika und Arabien. - Bild: NASA

Der nordhemisphärische Polarjet, das heißt der Polarjet auf der Nordhalbkugel, ist unser Wettermotor. Er verstärkt oder löst Tiefs auf. Schlägt er polwärts aus, so erzeugt er dynamische Tiefs. Bildet er hingegen eine Welle Richtung Äquator, so entwickeln sich Hochdruckgebiete. Der Jetstream ist mit einer Autobahn vergleichbar, auf der ein Tief dem anderen folgt.

Die Jetstreams bewegen sich auf bevorzugten Bahnen. Eine solche Bahn des Polar-Jetstreams verläuft von den Britischen Inseln über Norddeutschland, Polen bis nach Russland. Der Luftstrom pendelt mehr oder weniger in Schlangenlinien in Richtung Osten. Mal ist der Jetstream breit, mal wird er zwischen tropischen und polaren Luftmassen zu einem schmalen Band zusammengedrückt. Dabei kann der Strahlstrom stark nach Süden oder Norden ausschlagen und somit große Wellen bilden. Dies führt dazu, dass sich subtropische Warmluft mit polarer Kaltluft durchmischt.

4

In Mitteleuropa ist der Sommer warm und beständig, wenn der Jetstream über Nordeuropa verläuft. Dann kann Mittelmeerluft zu uns strömen. Ebenso kommt es zu stabilem Sommerwetter, wenn sich ein Wellenberg über Mitteleuropa abschnürt und sich dadurch ein stabiles Hoch etabliert. Der Jetstream spaltet sich dann in einen nördlichen und südlichen Ast auf, wodurch die Tiefs nach Nordeuropa und Richtung Mittelmeer ausweichen müssen, Stichwort: [Omegalage](#). Schlingert der Jetstream über Mitteleuropa, dann ist mit einem wechselhaften Sommer zu rechnen, der viel Wind und Regen bringen kann.

Im Herbst nimmt der Sonnenstand rasch ab. Damit nimmt das Temperaturgefälle zwischen Polgebieten und Subtropen immer mehr zu. Der Strahlstrom bewegt sich wieder in Richtung Süden nach Mitteleuropa und bringt die kühlere Luft ins Land. Im Winter verläuft er nicht selten über West- und Südeuropa, sodass Polarluft nach Mitteleuropa einfließen kann.

Der Subtropenjet

Hier schlingert der Subtropenjet (Subtropical Jet Stream) an der nordafrikanischen Küste, über Vorderasien und Zentralasien. Sein Hauptast liegt nördlich des Himalayas. - Bild: NASA

Subtropenjets besitzen im Vergleich zu Polarjets eine niedrigere Windgeschwindigkeit und verändern ihre Lage im Verlauf der [Jahreszeiten](#) kaum. Meist bildet sich ein Subtropenjet nur in den Wintermonaten und fegt in einem Korridor von etwa 20° bis 35° geographischer Breite von West nach Ost. Der Subtropenjetstream trennt die subtropische Luftmasse von der

tropischen Luft und bläst über den Hochdruckgürtel der Subtropen in rund 12 Kilometern Höhe. Der Subtropenjet ist wesentlich beständiger als der Polarjet und zieht sich zudem geschlossen um den gesamten Erdball.

Tropenjets

Der Ostwind ([Passat](#)) über den Tropen wird über dem Gebiet von Asien bis Afrika in einem zentralen Bereich in 12 bis 16 Kilometern Höhe beschleunigt. Dieser sogenannte Tropical Easterly Jet (TEJ) oder Tropenjet entsteht durch den großen Temperatur- und Luftdruckunterschied zwischen dem Hochland von Tibet und dem Indischen Ozean. Das mächtige Hochplateau in Tibet heizt sich ab dem Frühsommer stark auf, die erwärmte Luft steigt hoch und dehnt sich überall aus. Dadurch wird die Atmosphäre auch nach oben hin ausgewölbt.

Über Tibet formiert sich ein Hitzetief, darüber, weil die Luft ständig aufsteigt, ein Höhenhoch. Dadurch ist der Luftdruck nahe der Troposphäre dort höher als im Bereich der [innertropischen Konvergenzzone](#) (ITC) und es entsteht zunächst ein starker Südwind, der sich jedoch aufgrund der Corioliskraft zu einem Ostwind wandelt. Seine Position schwankt zwischen 5° und 20° Nord.

5 Der TEJ (weißer Pfeil) wird durch den großen Temperaturunterschied zwischen dem Tibetplateau und dem Indischen Ozean erzeugt. Über dem Hitzetief, das sich über dem nördlichen Südasien etabliert, entsteht ein starkes Höhenhoch. Es entsteht eine Luftströmung zum tieferen Druck Richtung Äquator, zur ITC (markiert durch die kleinen Tiefs), die aber durch die Corioliskraft in einen Ostwind umgewandelt wird.

Im Bereich von 15° Nord und 50-80° Ost und in 15 Kilometern Höhe ist der Temperatur- und Druckgradient dieses Ostwindes am größten. Er erreicht Windgeschwindigkeiten von bis zu 150 Stundenkilometern.

Ähnlich wie beim Jetstream der mittleren Breiten bilden sich auch beim Tropical Easterly Jet Täler und Wellenberge. Diese verlaufen jedoch von Ost nach West. Im Wellental bilden sich Hochs, die Luft wird zum Absinken gezwungen. Auf der äquatorialen Seite in einem Wellenberg wird Luft in die Höhe gesaugt und die Tiefs werden verstärkt. In diesem Bereich ist die innertropische Konvergenzzone stärker ausgeprägt. In ihr fallen hohe Niederschläge aus den großen Wolkentürmen. Diese dominieren im gesamten Regenwaldgebiet Afrikas.

Über Südasien wird im Zusammenspiel mit der Erwärmung des tibetischen Hochplateaus und Nordindiens, wo sich ein Hitzetief ausbildet, und mit der Entstehung des TEJ der Weg frei für die etwa 3000 Meter mächtige Südwestströmung des [indischen Monsuns](#).

Neuere Beobachtungen haben gezeigt, dass die Intensität und Dauer der Erwärmung des tibetischen Plateaus einen direkten Einfluss auf die Niederschlagsmenge des indischen Monsuns haben.

Bleibt die sommerliche Lufttemperatur über Tibet lange genug hoch, trägt sie zur Verstärkung des Ostjets bei und führt zu starken Regenfällen in Indien.

Der TEJ tritt nicht auf, wenn der Schnee über dem Tibetplateau im Frühsommer liegen bleibt und auch danach kaum schmilzt. Dadurch werden die Niederschläge in Indien abgeschwächt.

Auf ein Jahr mit einer dicken Schneedecke über Tibet folgt also ein Jahr mit einem schwachen Monsun und weniger Niederschlag.

Ein weiterer Jet ist über Afrika zu beobachten. Der sogenannte African Easterly Jet (AEJ) weht in 2 bis 6 Kilometern Höhe und befindet sich südlich des Tropical Easterly Jets. Der AEJ entsteht durch den Temperatur- und Luftdruckunterschied zwischen der heißen Sahara und dem kühleren Golf von Guinea. Über dem Wasser ist die kühlere Luft dichter und der Luftdruck höher als über der Sahara. Über den Sand- und Schotterflächen der Wüste steigt die Luft bei starker Sonneneinstrahlung schnell auf, in Bodennähe sinkt der Luftdruck, in höheren Schichten nimmt er dagegen zu. Dort befindet sich ein Hoch, das innerhalb der Passatzirkulation durch absinkende Luftmassen von höheren Luftschichten weiter genährt wird und sich daher als sehr stabil erweist.

Dieses Luftdruckgefälle zwischen dem Golf von Guinea (tiefer Luftdruck in mittlerer Atmosphäre) und der Sahara (hoher Luftdruck in mittlerer und hoher Atmosphäre) ist in etwa 3 Kilometern Höhe am stärksten ausgeprägt und erzeugt so den AEJ.

Der Temperaturkontrast zwischen der Saharawüste und dem Golf von Guinea führt dazu, dass sich der African Easterly Jet (Pfeile) nördlich der ITC bildet (durch Tiefdruckgebiete markiert). Das Hitzetief (rotes T) über der Sahara wird überlagert von einem starken Hoch.

6

Seine stärksten Winde treten im September auf, etwa einen Monat später, nachdem er an seinen nördlichsten Punkt gelangt ist. Dann erreichen die Winde zwischen dem 12. und 13. Breitengrad Spitzengeschwindigkeiten von bis zu 50 Kilometern pro Stunde. Durch das Luftdruckgefälle zwischen der Sahara und dem Golf von Guinea entsteht auch der [westafrikanische Monsun](#).

ITC und AEJ beziehen ihren Wasserdampf aus dem westafrikanischen Monsun, der im August vom Golf von Guinea weit nach Norden an den Südrand der Sahara vordringt. Dort trifft die Monsunluft auf den trockenen, heißen und staubigen Harmattan. Die Grenze zwischen diesen beiden Luftmassen wird auch Monsunfront genannt. An der Monsunfront kommt es jedoch kaum zu Niederschlägen, da die feuchte Luft aus dem tropischen Atlantik bereits so weit unter den absinkenden Zweig des TEJ gefallen ist, dass sich kaum regenbringende Wolken bilden können.

Die Monsunfront über Afrika wandert von Mai bis September nach Norden und wieder zurück.

Auf der äquatorialen Seite des AEJ kommt es zu ergiebigen Niederschlägen. Ähnlich wie der Jetstream in unseren Breiten kann auch der AEJ ins Schlingern geraten. In den Wellenbergen kommt es zu Saugeffekten und es können sich kleinere Tiefdruckgebiete bilden oder bestehende Tiefdruckgebiete verstärken. Diese Wellenstörungen des AEJ erzeugen die so genannten Easterly Waves, die auf den Atlantik hinauswandern und die Entstehung [tropischer Wirbelstürme](#) begünstigen.

Klimawandel und Jetstream

In diesem Abschnitt befassen wir uns nur mit möglichen Folgen des Klimawandels auf den nördlichen Polarfrontjet, da nur er direkte Auswirkungen auf unser Wetter hat. Dieser Jet variiert natürlicherweise so stark, dass eine Veränderung aufgrund des Klimawandels in der Vergangenheit schwer nachweisbar ist. Brauchbare Satellitendaten für einen möglichen Nachweis liegen erst seit Ende der 70er Jahre vor. Es gibt Studien, die für eine Veränderung sprechen, andere dagegen.

Wie könnte sich der Klimawandel auf den Jetstream auswirken?

Der Klimawandel hat viele Einflussmöglichkeiten auf den Jetstream. Ein großer Einflussfaktor ist die sogenannte Arktische Verstärkung. Aufgrund des abschmelzenden Eises und einer damit verbundenen positiven Rückkopplung erwärmt sich die Arktis deutlich schneller als die Äquatorregion. Der Temperaturgegensatz zwischen Arktis und Äquator nimmt in der unteren Atmosphäre dadurch ab. Dieser Temperaturgradient dient aber ja als Antrieb für die atmosphärische Zirkulation.

Im Video fassen wir die Theorie und die Zweifel daran zusammen:

7 Vor allem in den 2010er Jahren gab es wissenschaftliche Veröffentlichungen wie von [Francis und Vavrus im Jahre 2012](#), die auf einen Rückgang der Jetgeschwindigkeit aufgrund der Arktischen Verstärkung hindeuteten. Als Folge dieser Abschwächung wurden zwei Hypothesen aufgestellt:

- Die Wellenberge und -täler des Jets verlagern sich bei einem schwächeren Jet langsamer.
- Die Wellenberge und -täler des Jets mäandrieren bei einem schwächeren Jet stärker.

Beides hätte aber Folgen für unser Wetter, denn der Jetstream lenkt ja sozusagen wie eine Autobahn die Hoch- und Tiefdruckgebiete. Verlagern sich die Wellenberge nun langsamer, dann verlagern sich mit ihnen auch die Hoch- und Tiefdruckgebiete langsamer. Sie bleiben länger an einer Stelle.

Blockierende Wetterlagen, die zum Beispiel für den Dürresommer 2018 oder für das [Hochwasser im Juli 2021](#) verantwortlich sind, werden wahrscheinlicher.

Zweifel an Abschwächung des Jetstreams

Viele Wissenschaftler zweifeln jedoch an obiger Theorie. So wird zwar in Höhen bis etwa 5000 Metern nach wie vor von einer Abnahme des Temperaturgradienten zwischen Arktis und Äquator ausgegangen, in den Höhen darüber allerdings nicht.

[Diese Grafik zeigt die zu erwartende Temperaturanomalie nach Breitengrad und Höhe für zwei Klimaszenarien.](#) Deutlich ist in der Höhe des Jetstreams (etwa 300 hPa) oberhalb des Äquators eine starke Erwärmung (rot) zu erkennen. - Bild: IPCC 2021 (Figure 4.22)

Aufgrund einer starken Erwärmung in großer Höhe oberhalb des Äquators nimmt der Temperaturgradient in etwa 10 Kilometern Höhe sogar zu. Von dieser Entwicklung geht zum Beispiel auch der [Weltklimarat \(IPCC\) in seinem aktuellsten Bericht](#) aus.

Auch die Klimamodelle liefern keine eindeutigen Hinweise auf die zukünftige Entwicklung des Jetstreams. Wir wissen nach heutigem Stand also nicht, wie sich der Jetstream zukünftig verhält und schon gar nicht, ob er sich abschwächt.

Mögliche nordwärts Verschiebung

Am ehesten wird noch eine Verschiebung der Jetstreams zu den Polen hingesehen. Diese ist je nach Jahreszeit zumindest in der Vergangenheit laut Weltklimarat (IPCC) nachweisbar: "The extratropical jets and cyclone tracks have likely been shifting poleward in both hemispheres since the 1980s with marked seasonality in trends (medium confidence)." Es gibt Hinweise darauf, dass sich der Jetstream auch in Zukunft (außer in den Wintermonaten) nordwärts verschiebt.

Auch dies hat weitreichende Folgen, da Tiefdruckgebiete nordwärts gelenkt werden. In den subpolaren und höheren mittleren Breiten kommt es dadurch vermehrt zu Niederschlägen. Dagegen ist die Wahrscheinlichkeit für längere trockene Phasen in den Subtropen größer geworden.

El-Nino beeinflusst Jetstream

8

Durch ein El-Niño-Ereignis wärmeres Wasser verstärkt die Hadley-Zelle. Infolgedessen wird der Temperaturgegensatz an der tropischen Frontalzone größer und auch der Jetstream verstärkt sich.

Ein ausgeprägter [El-Nino](#) im Pazifik kann den Jetstream in den mittleren Breiten stören. Wenn sich die Meeresoberflächentemperatur bei einem El-Nino-Ereignis im Ostpazifik erhöht, kurbelt dies Verdunstung und Konvektion an. Die Wärme, die dabei freigesetzt wird, gelangt in die höhere tropische Troposphäre. Dies wiederum verstärkt die Hadley-Zelle, welche die freigesetzte Energie in der oberen Troposphäre polwärts verteilt.

In der Folge wird der Temperaturgegensatz zwischen den Tropen und den Polen größer, wodurch auch der Jetstream an Stärke gewinnt. Er bringt dann kräftigere Tiefs, die eine leichte Abkühlung der Troposphäre der mittleren Breiten bewirken.