

Entstehung der Wellenzirkulation in der Westwindzone

Einleitend ein paar allgemeine Begriffe und Erklärungen.

Allgemeine Zirkulation:

Gradientwind: Wind, der versucht, die Luftdruckunterschiede auf der Erdoberfläche auszugleichen, aber von der Corioliskraft abgelenkt wurde. Er steht im Gleichgewicht mit der Corioliskraft, der Gradientkraft und der Fliehkraft.

Geostrophischer Wind: isobarenparallel wehender Wind ohne Einfluss der Bodenreibung. die Kraft des Luftdruckgradienten (Gradientkraft) und die Corioliskraft heben sich gegenseitig auf.

Jetstream (Strahlstrom): starke, bandartige Westwindströmung in der Nähe der Obergrenze der Troposphäre infolge des sehr hohen Temperatur- und Druckgefälles an der planetarischen Frontalzone. Der geostrophische Wind erreicht Geschwindigkeiten von bis zu 600 km/h.

Es gibt folgende großräumige Windsysteme:

1. Außertropische Westwind-Zirkulation

Mittlere geostrophische, isobarenparallele Zonalströmung aus westlicher Richtung. Höchste Windgeschwindigkeit im Bereich der Frontalzone, wo das stärkste Temperatur- und Druckgefälle herrscht.

Frontalzone: 100 bis 200 km breite, vertikal aufgerichtete, polwärts geneigte Zone in ca. 40 bis 65° Breite. Hier verläuft die Grenzschicht zwischen der Kaltluft höherer Breiten und der Warmluft niederer Breiten.

Die Mäanderschwingungen des Polarfront-Strahlstroms erzeugen Zyklonen und Antizyklonen, die nach Osten wandern. Diese fördern den meridionalen Wärmetransport aus den Wärmeüberschussgebieten der niederen Breiten in die Wärmedefizitgebiete der hohen Breiten.

2. Tropische Passat-Zirkulation

Großräumige, vertikale Meridional-Zirkulation zwischen 35 Grad Nord und 30 Grad Süd. Starke Luftmassenerwärmung führt zu vertikalem Aufsteigen bis zur Tropopause, wo ein kaltes Höhenhoch entsteht. Das Luftdruckgefälle von den Tropen zu den höheren Breiten führt zu polwärtiger Luftströmung. Diese sinkt im Bereich zwischen 20 Grad und 30 Grad Breite durch Abkühlung und der polwärts auftretenden Flächenverkleinerung der Erde großräumig ab. Dies führt am Boden zu höherem Luftdruck im Bereich der Randtropen/Subtropen. Aus diesen subtropischen Hochdruckgebieten strömen die Luftmassen einerseits zur äquatorialen Tiefdruckrinne, andererseits polwärts und werden Teil der außertropischen Westwindströmung.

Subtropen-Jet: West-Ost-Strömung im oberen Bereich der Troposphäre in ca. 30 Grad Breite. Er entsteht durch die Umlenkung der vom äquatorialen kalten Höhenhoch äquatorwärts fließenden Luftströmung durch die Coriolis-Kraft nach Osten.

Die passatische Rückströmung ist geteilt in zwei Schichten, die durch eine Inversion getrennt sind:

a) Passat-Oberschicht

- wolkenfreie Warmluft
- Erwärmung durch Absinken

b) Passat-Grundsicht

- Konvektionsbewegungen durch Aufheizung der Erdoberfläche
- Entstehung einiger Quellwolken unterhalb der Passatinversion, die den weiteren Konvektionsprozess verhindert.

3. Tropische Monsun-Zirkulation

Die innertropische Konvergenzzone verschiebt sich aufgrund der Aufheizung der randtropischen Trockengebiete auf den Kontinenten polwärts im Sommer. Zwischen dem astronomischen und dem polwärts verlagerten innertropischen Konvergenzgebiet entstehen monsunartige westliche Winde, die große Niederschlagsmengen mit sich bringen. Besonders ausgeprägt in Südasien und Nordafrika.

4. Walker-Zirkulation

Zirkulation unmittelbar am Äquator zwischen den ozeanischen Kaltwasserbereichen und den warmen Festlandgebieten. In der unteren Troposphäre fließt Luft von den Gebieten relativ hohen Luftdrucks zu den angrenzenden Festländern, wo relativ niedriger Luftdruck herrscht. Dadurch entstehen Niederschläge durch die Konvektion über den Kontinenten. In der oberen Troposphäre entsteht eine entgegengesetzte Luftströmung.

Entstehung der Wellenzirkulation in der Westwindzone

Ausgangssituation: Warme Luft am Äquator, kalte Luft an den Polen. Daraus resultiert ein Höhenhoch am Äquator => Luftdruckgefälle vom Äquator hin zu den Polen => Wärme- und Energieausgleich sowie Ausgleich der Luftdruckunterschiede.

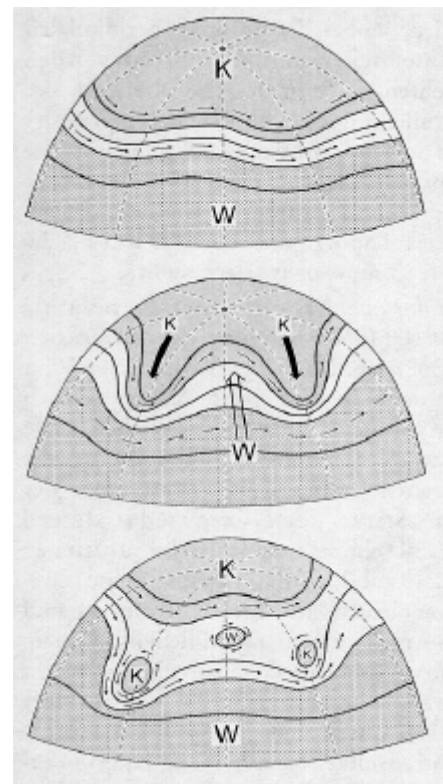
Die warme Luft strömt auf der Nordhalbkugel nach Norden, die kalte Polarluft strömt nach Süden. Beide werden durch die Corioliskraft nach rechts abgelenkt und strömen aneinander vorbei.

Da der geostrophische Wind eine isobarenparallele Strömung ist, bewegt er sich vereinfacht dargestellt auch breitenparallel. Die isobarenparallele Strömung nennt man auch Zonalzirkulation. Somit hätte der geostrophische Wind jedoch keine wärmeaustauschende Wirkung, sprich die thermischen Gegensätze zwischen den Polen und dem Äquator würden sich verschärfen. => Übergang zu großräumigen Wellen mit meridionalen Amplituden.

Wenn in der Breite 45° der mittleren Troposphäre (500 mb-Niveau) der meridionale Temperaturgradient $6^\circ\text{C}/1000\text{ km}$ überschreitet, wird die Zonalzirkulation instabil.

Es entsteht eine Wellenzirkulation, bei der sich normalerweise 5 bis 6 Wellen bilden. Die Wellenschübe bewegen sich mit einer Geschwindigkeit von einigen 100 km pro Tag von Westen nach Osten (in den oberen Schichten der Troposphäre ist die Wellenzahl und die

Schematische Darstellung des Übergangs von der Zonalzirkulation in die Wellenzirkulation und die Entstehung von cut-off-Effekt und blocking action im Bereich der planetarischen Höhenströmung



Quelle: Weischet 1995

Verlagerungsgeschwindigkeit kleiner). Die Ausbildung der Wellenzirkulation spielt sich in der planetarische Frontalzone ab.

Mit Hilfe der Wellen kann ein Energieausgleich zwischen den niederen und hohen Breiten stattfinden, was bedeutet, dass tropische Warmluft polarwärts und kalte Polarluft äquatorwärts transportiert wird. Dabei wölben sich die Isobarenflächen über der vorstoßenden Warmluft auf und bildet einen Hochdruckkeil, während über der Kaltluft ein entsprechender Tiefdruck-Trog entsteht.

Die Warmluft kommt aus Breiten mit höherer Mitführungsgeschwindigkeit und führt den größeren Drehimpuls mit sich polwärts. Die Kaltluft besitzt hingegen einen geringeren Drehimpuls. Das führt dazu, dass sich die warme Luft über die kältere schiebt und sich Aufgleitflächen ausbilden.

Beim Rückbildungsprozess zur Zonalzirkulation kann es zu einem sog. Cut off effekt kommen. Dabei werden Kaltluftwirbel und Warmluftinseln abgetrennt und eingeschlossen.

Zusammenfassend:

Die Zonalzirkulation ist die globale Grundströmung, die sich unter dem Einfluss der Corioliskraft aus dem Luftdruck- und Temperaturgefälle zwischen den niederen und hohen Breiten ergibt. Sie verläuft breitenparallel. Da es aufgrund der meridional (=breitenparallel) verlaufenden Strömung zu keinem Austausch zwischen kalter Polarluft und warmer Luft der höheren Breiten kommen würde, ist die Zonalzirkulation nicht stabil. Deshalb geht sie in Folge von Warm- und Kaltluftvorstößen in die Wellenzirkulation über. Die Wellenzirkulation entsteht bei hohem meridionalen Temperaturgradienten aus der instabil werdenden Zonalzirkulation als Mechanismus des Energieaustausches zwischen niederen und hohen Breiten. Durch das Mäandrieren wird tropische Luft polwärts und polare Luft äquatorwärts transportiert, wobei Druckkeile entstehen. Jedoch ist auch die Wellenzirkulation nicht stabil. Nach einer Verstärkung der Wellenausschläge tritt nach einigen Zeit eine sog. Zellulare Abschürung ein (Cut-off-Effekt, Blocking action). Dabei wird die Westwinddrift gestoppt, um nach einer Konsolidierungsphase der Luftmassen wieder in die Zonalzirkulation überzuleiten. Danach beginnt der Zyklus erneut.

Quellen:

W. Weischet (1995): Einführung in die allgemeine Klimatologie. Stuttgart.

H. Leser et al (1997): Wörterbuch der allgemeinen Geographie. Braunschweig.