

Peter Grunau

Meteorologie für den Nautiker

Eine Betrachtung über die wesentlichen Aspekte der Klimatologie,
Meteorologie, Laderaum-Meteorologie, sowie der meteorologischen
Navigation

Peter Grunau

Meteorologie für den Nautiker

Eine Betrachtung über die
wesentlichen Aspekte der
Klimatologie, Meteorologie und
Laderaum-Meteorologie, sowie
der meteorologischen
Navigation

von

Kapt. Dipl. Wirtschafting. für Seeverkehr
Peter Grunau

Books on Demand

Einleitung

Kapitel 1 - Aufbau der Atmosphäre

1.0 Die Atmosphäre der Erde

1.1 Klimatologische Abläufe auf der Erde

1.1.1 Die klimatologischen Faktoren

1.1.2 Das Globale Klima

Kapitel 2 - Die globale Zirkulation

2.0 Die Atmosphäre und die globale Zirkulation

2.1 Die generelle Zirkulation

2.1.1 Die Passat Zirkulation

2.1.2 Die Ferrel Zelle

2.1.3 Die polare oder polare Hadley Zelle

Kapitel 3 - Jet Stream und Konvergenz Zone

3.1 Der Jet Stream

3.2 Die Innertropische -Konvergenzzone

Kapitel 4 - Energiehaushalt der Erde

4.1 Der Energiehaushalt der Erde

Kapitel 5 - Klimazonen der Erde

5.1 Die Weltklima Zonen

5.2 Durchschnittstemperaturen auf verschiedenen Breiten

Kapitel 6 - Wasserhaushalt der Erde

6.1 Der Wasserhaushalt der Erde

6.2 Der Wasserkreislauf der Erde

6.3 Das Ocean Conveyor Belt - Thermohaline Zirkulation

6.4 Die Meeresströmungen

6.5 Der Golfstrom

Kapitel 7 - Luftmassen

7.1 Definition von Luftmassen

7.2 Die Hauptluftmassen und ihre Entstehungsgebiete

7.3 Physikalische Prozesse

Kapitel 8 - Klimatologische Phänomene

8.1 Der Sommer und Winter Monsun

8.2 Der El Nino Effekt

8.2.1 Die normale - und die umgekehrte Walkerzirkulation

8.2.2 Das El Nino Phänomen und die Südliche Oszillation (SO) und Walkerzirkulation

Kapitel 9 - Meteorologie - Luftdruck

9.1 Der Luftdruck, allgemein

9.1.1 Barometrische Höhenformel

9.1.2 Änderung des Luftdruckes mit der Höhe

9.1.3 Darstellung des Luftdruckes in der Wetterkarte

9.1.4 Arbeitsweise des einfachen Aneroid Barometers

9.1.5 Der Barograph und seine Arbeitsweise

9.1.6 Regeln zum Luftdruck

Kapitel 10 - Temperatur und Feuchtigkeit

10.1 Generelles über die Temperatur

10.2 Messinstrumente für die Messung der Temperatur

10.3 Die Feuchtigkeit

10.3.1 Die Sättigung der Luft

10.3.2 Die verschiedenen Feuchtigkeiten

10.3.3 Dampfdruck und Taupunkt

10.3.4 Hygrometer und Psychrometer

Kapitel 11 - Wind

11.1 Generelles

11.2 Die Coriolis Kraft und Gradientkraft

11.3 Die Zentrifugalkraft

11.4 Die verschiedenen Windarten

11.4.1 Der Geostrophische Wind

11.4.2 Der Gradient Wind

11.4.3 Der Zyklotropische Wind

11.4.4 Der Antitriptische Wind

11.4.5 Inertial Wind

11.5 Der Einfluss der Reibung auf die Entstehung des Windes

11.6 Land- Seewind Zirkulation

11.7 Windmessung und Windmessgeräte

11.7.1 Methodiken zur Bestimmung der Wind-Geschwindigkeit

11.7.1.1 Das Rudolfsche Wind Nomogramm

11.7.1.2 Die 300 nm Regel

11.8 Scheinbarer und wahrer Wind

11.9 Wind Regeln

Kapitel 12 - Drucksysteme

12.1 Tiefdruckgebiet, generelles

12.1.1 Entstehung eines Tiefdrucksystems

12.1.2 Das Barische Windgesetz

12.1.3 Regeln zum Tiefdruckgebiet

12.2 Hochdrucksysteme, generelles
12.2.1 Regeln für Hochdruckgebiete

12.3 Fronten und Frontsysteme

12.3.1 Die Kaltfront

12.3.2 Die Warmfront

12.3.3 Die Okklusionsfront

12.3.4 Die Polarfront-Theorie

12.3.5 Die Frontogenese

12.4 Die Nordatlantische Oszillation

Kapitel 13 - Wolken

13.1 Generelles

13.1.1 Entstehung von Wolken

13.2 Klassifikationen und Charakteristiken von Wolken

13.3 Regeln für Wolken

Kapitel 14 - Windsee und Schwell

14.1 Wind und Wellen

14.2 Entstehung von Windsee

14.2.1 Seegangsskala nach Petersen

14.3 Welleneffekte

14.4 Dünung

Kapitel 15 - Nebel

15.1 Allgemeines

15.2 Die verschiedenen Nebelarten

15.2.1 Nebeldurch Zuführung von Feuchte

15.2.2 Nebel durch Abkühlung

15.2.3 Nebel durch Mischung von Luftmassen

Kapitel 16 - Tropische Wirbelstürme und subtropische Zirkulation

- [16.1 Einleitung](#)
- [16.2 Entstehung eines tropischen Wirbelsturmes](#)
- [16.3 Struktur eines tropischen Wirbelsturmes](#)
- [16.4 Zugbahnen von tropischen Wirbelstürmen](#)
- [16.5 Navigieren in einem tropischen Wirbelsturm](#)
- [16.6 Der Wirbelsturm Plot -Ermittlung der Gefahrensituation](#)
- [16.7 Verlagerungsregeln tropischer Wirbelstürme](#)

Kapitel 17 - Wetterkarten und Vorhersage Regeln

- [17.1 Einleitung und Allgemeines](#)
- [17.2 Die verschiedenen Arten der Wetterkarten die an Bord gebräuchlich sind](#)
 - [17.2.1 Die Bodenwetterkarte](#)
 - [17.2.2 Die 500 hPa Topographie](#)
- [17.3 Wetterkarten Interpretation](#)
- [17.4 Wetterkarten Symbole](#)

Kapitel 18 - Meteorologische Navigation

- [18.1 Allgemeines](#)
- [18.2 Optimierung der Reiseroute durch meteorologische Navigation](#)

Kapitel 19 - Laderaummeteorologie

- [19.0 Allgemeines und physikalische Grundlagen](#)
- [19.1 Eigenschaften des Ladungsgutes](#)
- [19.2 Sorptionsverhalten](#)
 - [19.2.1 Die Gleichgewichtsfeuchte](#)
- [19.3 Der Wassergehalt der Ladung](#)

- 19.4 Einflüsse auf die Ladung während der Reise
 - 19.4.1 Klimatische Stressbedingungen
 - 19.4.2 Biotischer Stress der auf die Ladung wirkt
 - 19.4.3 Chemischer Stress der auf die Ladung wirkt
- 19.5 Ladungschweiß, Schiffsschweiß und Lüftungsregeln
 - 19.5.1 Ventilationsregeln
- 19.6 Laderaummeteorologische Diagramme nach Puls - Cuno
 - 19.6.1 Erstellen eines laderaummeteorologischen Diagramms nach Puls - Cuno
 - 19.6.2 Interpretation der einzelnen Felder
 - 19.6.3 Anwendung des Diagramms auf nichthygroskopische Ladungen

Literaturverzeichnis

Abbildungsverzeichnis

Einleitung

Die Meteorologie ist ein weit gestreutes Feld, welches heute in fast allen Bereichen- sei es im Bereich der Agrarwirtschaft, bei der Städteplanung, natürlich auch im Tourismus, oder auch in der Seeschifffahrt- Anwendung findet. Die Meteorologie befasst sich mit den physikalischen Abläufen und Vorgängen in der Atmosphäre. In der Meteorologie werden diese Vorgänge durch mathematisch-physikalische Modelle dargestellt, damit ein verbesserte Entwicklung dargestellt werden kann.

Für den Nautiker sind die meteorologischen Einflüsse auf das Stadtklima oder beim Anbau von Getreide eher nicht von großem Interesse. Jedoch ist auch hier die Meteorologie ein ständiger Begleiter in seinem Berufsleben. Meteorologische Einflüsse können zu Ladungsschäden, strukturellen Schäden am Schiffkörper oder im Extremfall zum Verlust von Schiff und Ladung führen.

Die Aufgabe die dem Nautiker hier zufällt, ist, diese Einflüsse im Vorfeld zu kennen und zu reduzieren, um einen sicheren Transport der Ware vom Abfahrtort zum Bestimmungshafen zu gewährleisten und sein Schiff, die Ladung und auch die Besatzung sicher von einem Ort zum anderen Ort zu navigieren.

Viele Schiffs - und Ladungsverluste hätte man vermeiden können, wäre eine vernünftige und richtige meteorologische Analyse im Vorfeld schon geschehen, oder hätte man die Wetterlagen richtig interpretiert.

Ladungsschäden, hervorgerufen durch schlechtes Wetter oder dem Durchfahren mehrerer Klimazonen, stehen auch heute noch bei den Versicherern an oberster Stelle.

In diesem Buch sollen die wichtigsten Abläufe und das wichtigste meteorologische und klimatologische Grundwissen erläutert und betrachtet werden. Es soll dem Nautiker helfen, Fehler in diesem Teilbereich seines Berufslebens zu reduzieren,

Da das Wetter, besser gesagt die Wetterabläufe, nicht absolut präzise dargestellt und berechnet werden kann - anders als z.B. die Stabilität eines Schiffes, denn Wetter kann nicht 100% bestimmt werden- kann hier nur von einer Reduzierung gesprochen werden. Plötzlich auftretende Schlechtwetterlagen werden den Nautiker auch in der Zukunft begleiten, aber auch hier kann eine Schadensreduzierung vorgenommen werden.

In diesem Buch werden die Teilbereiche der Meteorologie, Klimatologie, Laderaummeteorologie, meteorologische Navigation und natürlich die Meteorologie, in Bezug auf den Beruf des Nautikers dargestellt.

Kapitel 1: Klimatologie - Aufbau der Atmosphäre

1.0 Die Atmosphäre der Erde

Was versteht man unter der Klimatologie?

Sie ist ein gemeinsames Interessenfeld von Meteorologen und Geografen. Die Klimatologie ist aber auch in anderen Wissenschaften zu Hause, wie der Medizin oder der Biologie. Die Klimatologie ist nicht nur das Wissensfeld der klimatischen Vorgänge auf unserem Planeten, sondern setzt sich auch mit der physikalischen Analyse des Strahlungs- und Wärmehaushaltes, sowie des Wasserhaushaltes auf unserem Planeten auseinander.

Das Klima ist die statische Beschreibung der Witterungsverhältnisse an einem Ort oder Gebiet. Das Klima wird aus folgenden Durchschnittswerten ermittelt:

- Luftdruck
- Temperatur
- Feuchtigkeit
- Sonnenschein
- Niederschlag
- Bewölkung
- Wind und Sicht

Der Unterschied zwischen Wetter und Klima besteht darin, dass das Wetter immer eine kurzfristige Periode darstellt, wogegen sich das Klima auf einen langfristigen Zeitraum bezieht.

Der Aufbau der Atmosphäre

Zweifelsohne kann man sagen, dass unsere Planet nicht der einzige ist, der eine Atmosphäre besitzt. Aber es ist der einzige Planet, der eine Atmosphäre besitzt, die ein Leben auf diesem Planeten möglich macht.

Unsere Atmosphäre besteht aus einer Gasmischung, die bis zu einer Höhe von 80km in fast gleichem Verhältnis auftritt.

Die Hauptanteile dieses Gasgemisches sind:

Stickstoff	-	78,08%
Sauerstoff	-	20,95%
Edelgase	-	0,97%

Zu den Edelgasen in unserer Atmosphäre zählen z.B.:

Argon, Neon, Helium, Krypton, Xenon

Zu den schon bereits erwähnten Gasen kommen noch Spurengase und Stickstoffverbindungen hinzu sowie Ozon und organische Halogenverbindungen.

Der Anteil des Kohlendioxids beträgt gerade einmal 0,04%. Der Anteil des Wassers beträgt in unserer Atmosphäre ungefähr 4%. Diese Aussage kann bis zu einer Höhe von ~ 18km gemacht werden. Der Wert von 4% schwankt auch auf der Erde, an den Polen beträgt der Anteil zwischen 0,1% und 1,9% und in den tropischen Zonen bis zu 4%.

Unsere Atmosphäre ist in einzelne Stockwerke aufgebaut. Das eigentliche Wettergeschehen spielt sich allerdings nur im unteren Stockwerk der Atmosphäre ab, der Troposphäre. Die einzelnen Stockwerke der Atmosphäre sind nach ihrem Temperaturverhalten eingeteilt.

a. Die Troposphäre:

Sie ist die untere Schicht der Atmosphäre. Sie erstreckt sich vom Erdboden bis zur Tropopause. Die Dicke der

Troposphäre variiert. Sie reicht von 8km Höhe an den Polen bis zu 12-13km über Mitteleuropa und 18km am Äquator.

In der Troposphäre spielt sich der größte Teil unseres sichtbaren Wettergeschehens ab. Die Troposphäre selber wird noch einmal in drei Teilschichten eingeteilt:

- Grundsicht (von null bis 1km Höhe)
- Konvektionsschicht (von einem bis acht Kilometer Höhe)
- Tropopausenschicht (von acht bis zwölf Kilometer Höhe)

Die Temperaturen in der Troposphäre reichen bis zu -40°C und in der Tropopause bis zu -60°C . 80% der gesamten Masse der Atmosphäre sind in der Troposphäre enthalten.

b. Die Tropopause:

Sie ist die Obergrenze der Troposphäre. Sie eine permanente atmosphärische Inversion. Die Tropopause liegt, je nach geografischer Breite, zwischen 8 und 18km Höhe. Der Unterschied in den Höhen ist einfach zu begründen. Der Grund hierfür ist die starke Konvektion in den Tropen.

Bis zur Tropopause sinkt die Lufttemperatur kontinuierlich ab. Man rechnet bei trockener Luft mit einer Abnahme /100m von 0,98K und in feuchter Luft, je nach Feuchtigkeitsgehalt, mit 0,4 - 0,9K. Im Schnitt kühlt sich die Luft in der Troposphäre mit 0,65K/100m ab. Diese Abnahme erfolgt bis zur Tropopause. In einer Höhe von 11km bis 20km bleibt die Temperatur annähernd gleich.

c. Die Stratosphäre:

Die Stratosphäre liegt oberhalb der Tropopause. In der unteren Schicht der Stratosphäre ist die Luft nahezu isotherm (konstant). Sie liegt zwischen -50°C und -70°C . Im oberen Bereich der Stratosphäre steigt die Temperatur langsam an und mit Erreichen der Stratopause ist die Temperatur auf 0°C angestiegen.

Die Höhe der Stratosphäre reicht von 8 - 50km an den Polen und von 17 - 50km am Äquator. In der Stratosphäre befindet sich die Ozonschicht. Der höchste Konzentrationsgrad an Ozon wird in einer Höhe von 20 - 30km gemessen. Da der Transport von Wasserdampf von der Troposphäre in die Stratosphäre sehr gering ist, enthält die Stratosphäre kaum Wasserdampf, und somit ist die Stratosphäre quasi wolkenfrei. Weiterhin finden keine Vertikalbewegungen statt (Temperaturanstieg mit der Höhe).

d. Mesosphäre:

Die Stratopause trennt die Mesosphäre von der Stratosphäre. Sie erreicht eine Höhe von $\sim 80\text{km} - 85\text{km}$ (erdabgewandte Seite) Die Mesosphäre endet an der Mesopause. Die Mesosphäre ist durch stetige Temperaturabnahme gekennzeichnet. Es herrschen Temperaturen von minus 90°C . In der Mesosphäre findet das statt, was wir als Sternschnuppen kennen (Aufleuchten von Meteoriten).

e. Ionosphäre:

Unter Ionosphäre versteht man die höheren Schichten der Atmosphäre - über 80km Höhe. Die Schicht zeichnet sich dadurch aus, dass in ihr signifikante Mengen an Ionen und freien Elektronen vorhanden sind. Diese werden durch außerirdische Strahlungen auf die vorhandenen Gasmoleküle erzeugt. Die Ionosphäre wird wiederum in fünf verschiedenen Regionen unterteilt. In der Ionosphäre finden wir das Auftreten des

Polarlichtes. In der Ionosphäre wird, auf Grund geringer Teilchendichte, keine Temperatur gemessen, sondern es wird hier nur Strahlungsenergie gemessen.

f. Exosphäre:

Die Exosphäre ist die äußerste Schicht unserer Atmosphäre. Dieser Teil der Atmosphäre ist dunkel und reicht von 500km Höhe bis zu 100km Höhe. In der Exosphäre sind nur noch sehr geringe Luftteilchen vorhanden. Eine Exakte Messung der oberen Grenze der Exosphäre kann allerdings nicht gemacht werden, da die Gasdichte nicht linear abnimmt und somit nie der Wert Null erreicht werden kann.

1.1 Die klimatologischen Abläufe auf der Erde

Einen der größten Einflüsse auf unser Klima hat die Sonne. Durch Radiation der infraroten Wellenlänge wird das Licht der Erde erhitzt. Energie wird durch unseren Planeten absorbiert und dann als langwelliges Licht in die Atmosphäre radiert. Hier wird es wiederum durch Wolken und Kohlendioxid und Wasserdampf absorbiert. Die Atmosphäre radiert ein Teil des Lichtes in den All und ein anderer Teil wird auf die Erdoberfläche abgegeben.

Die Erde balanciert somit die Temperatur, denn sie verliert so viel Wärme (Energie) wie sie auch empfängt.

Hierbei spielen zwei Begriffe ein Rolle:

Konduktion und Konvektion.

Konduktion:

Unter Konduktion versteht man den Prozess, wenn ein heißes, relativ schnell bewegendes Molekül in einem festen Teil, Energie direkt auf ein anderes Teil transferiert.

Konvektion:

Unter Konvektion versteht man den Transfer von Hitze durch molekulare Bewegung innerhalb einer Flüssigkeit oder Dampf. Konvektion spielt bei der Entstehung von Wolken eine große Rolle., denn die Wärme, entstanden an der Oberfläche der Erde steigt, - da leichter als kalte Luft - auf und wird in der Höhe abgekühlt auf ihr Kondensationsniveau.

Von der ungeheuren Energiemenge, die von der Sonne abgestrahlt wird, wird nur ein kleiner Teil von der Erde aufgefangen. Auf Grund der sehr hohen Temperaturen der Sonne fallen 99% ihrer Energie in den Kurzwellenbereich. Hierbei kommen 48% auf die sichtbare Strahlung, 45% auf die Infrarotstrahlung und 7% auf die Ultraviolettstrahlung.

Ein weiterer Faktor, der Einfluss auf die klimatologischen Abläufe auf der Erde nimmt, ist die Erde selbst. Hierbei spielen zwei Parameter eine Rolle:

- Neigung der Erdachse gegen die Bahnebene
- Bahn der Erde um die Sonne.

Beide Parameter bewirken, dass wir 4 Jahreszeiten haben. Weiterhin ist dadurch die Verteilung der Sonnenenergie auf der Erde unterschiedlich, was wiederum sowohl auf die Bahn der Erde um die Sonne als auch mit der Neigung der Erdachse zu tun hat. In den oberen nördlicheren Breiten ist die Sonnenenergie

im Januar unterschiedlicher als in der südlicheren Hemisphäre, wo eine stärkere Sonnenenergie wirkt.

Die Neigung der Erdachse beträgt $23,5^\circ$, wobei die Rotationsgeschwindigkeit 1670 km/h beträgt, die vom Äquator zu den Polen allerdings abnimmt und an den Polen null beträgt. In unseren Breitengraden beträgt die Rotationsgeschwindigkeit $\sim 830\text{ km/h}$

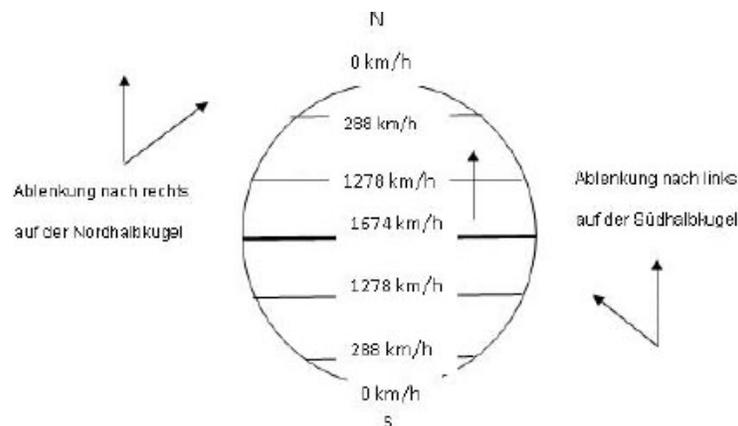


Abb 1: Rotationsgeschwindigkeiten in Bezug auf die Breite
(Quelle: Eigene Zeichnung)

1.1.1 Die klimatologischen Faktoren

Die globale Struktur von Winden und zirkulierenden Luftmassen ändert sich jährlich. Auf jedem Teil der Erde findet man für diesen Teil der Erdteil typische klimatologische Phänomene. (Monsun, Arktisches Klima, Feucht - und Trockenklimate).

Das generelle Klima wird durch die Struktur der Erdoberfläche beeinflusst, so wird auch das globale Klima beeinflusst und geändert (siehe Eiszeit)

In der Klimatologie kennen wir drei große Teilbereiche:

1. Makro Klima - Auf Grund des Makro Klimas ist die Erde in unterschiedliche Klimazonen eingeteilt.
2. Meso Klima - Meso Klima wird auch als lokales Klima bezeichnet. Es steht für das Klima in einem bestimmte Gebiet.
3. Mikro Klima - Bezeichnet das Klima in Nähe der Erdoberfläche

Das Klima wird generell von drei geographischen und astronomischen Faktoren beeinflusst. Diese sind:

- *Die geographische Breite*
- *Der Abstand vom Ort bis zu den Ozeanen oder bis zur Küste*
- *Die Höhe des Ortes gegenüber dem Meeresspiegel und der Abstand des Ortes zu den Gebirgen*
- *Topographie, Orographie*
- *Albedo*
- *Der Mensch selber*

Zu den astronomischen Faktoren gehören:

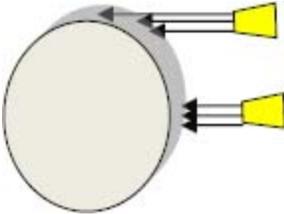
- *Solares Lichtangebot (Länge von Tag und Nacht an einem Ort)*
- *Mittlerer solare Einstrahlwinkel*
- *Spektrale Charakteristika der Strahlungsflussdichte (hier insbesondere der UV Anteile)*

A. Die geographische Breite

Am Nordpol ist es kälter als in Mitteleuropa oder als in der Nähe des Äquators. Wieso ist das so?

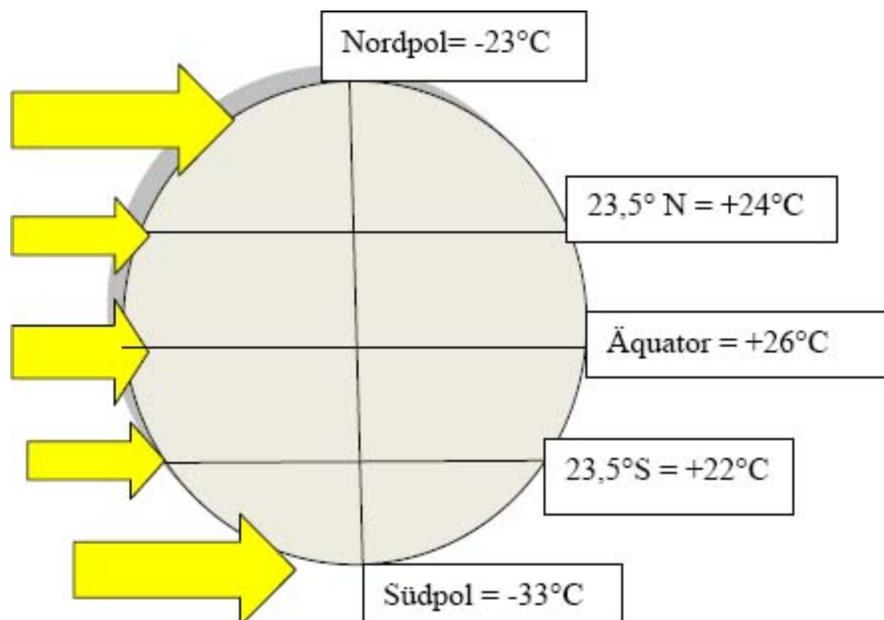
An den Polen oder in der Nähe der Pole überstreicht die Sonne eine größere Fläche

Abb 2: Flashlight Effect (eigene Quelle)



als am Äquator. Aus diesem Grund ist es am Äquator viel wärmer als an den Polen, da ich eine größeren Einfallswinkel habe. Dieser Effekt wird auch häufig als „ Flashlight Effect “ bezeichnet.

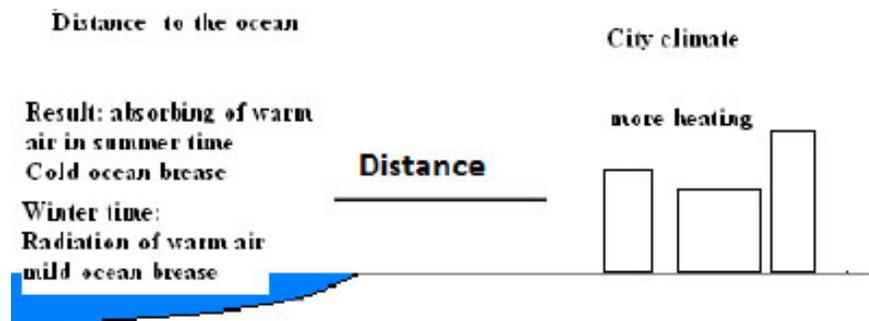
Abb 3: Sonneneinstrahlung bei unterschiedlichen Breiten (eigene Quelle)



B. Abstand des Ortes von den Ozeanen oder der Küste

Der Einfluss hier: Je geringer der Abstand des Ortes von den Küsten oder Meeren ist, desto mehr Niederschlag wird verzeichnet - im Vergleich zum Innland. Die Ozeane absorbieren mehr Wärme im Sommer und radiieren im Winter nur sehr langsam ihre gespeichert Wärme in die Atmosphäre. Aus diesem Grund sind die Temperaturänderungen nur sehr gering verglichen mit denen im Innland.

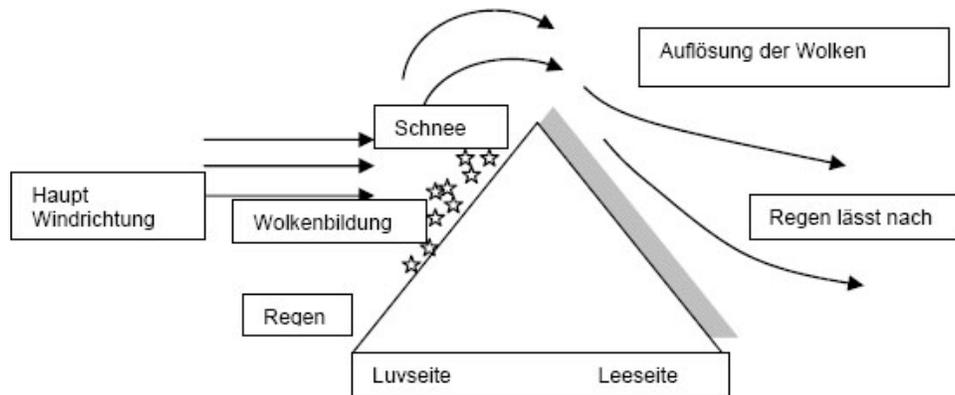
Abb.4: Abstand zu den Meeren oder der Küste (eigene Quelle)



Die Ozeane indizieren die Temperaturen und die Niederschläge an diesem Ort.

C. Die Höhe des Ortes gegenüber dem Meeresspiegel und der Abstand des Ortes zu den Gebirgen

Abb.5: Luv und Leeseitenwetter (eigene Quelle)



Wie schon erwähnt, ändert sich die Temperatur mit der Höhe: sie nimmt ab.

Wenn nun der Ort auf dem Gebirge liegen würde, wären die Temperaturen automatisch kälter als am Fuße des Gebirges. Weiterhin würde die Luvseite mehr Niederschläge haben als die Leeseite, was auf die Auflösung der Wolken nach überschreiten des Gebirges zu tun hat.(siehe Zeichnung)

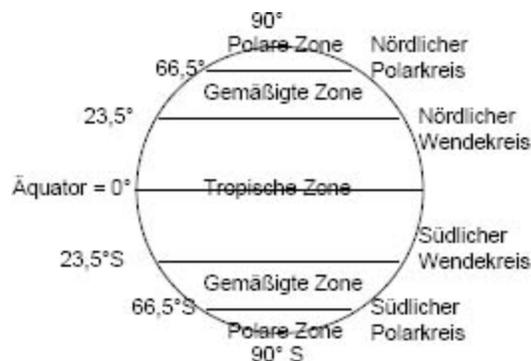
Alle drei Faktoren beeinflussen so unser Klima, in Abhängigkeit der Lage des Ortes oder der Position.

1.1.2 Das globale Klima

Wie schon erwähnt wird, das Klima primäre von der Strahlungsintensität der Sonne, dem Vorhandensein von einer Atmosphäre und die Erdbahnelement bestimmt.

Die Sonnestrahlungsintensität an der Obergrenze der Atmosphäre wird als Solarkonstante bezeichnet. Ihr Wert beträgt 1368W/m^2 . An der Erdoberfläche sind die Strahlungsintensitäten jedoch deutlich geringer. Dazu tragen der Einfallswinkel der Sonne, die Absorption und die Streuung auf dem Weg durch die Atmosphäre bei.

Abb.6: Beleuchtungszonen der Erde (eigene Zeichnung)



Die Erde erhält von der Sonne Energie in Form von Strahlungen. Gleichzeitig emittiert die Erde Strahlungen mit der jeweiligen Temperatur der Erdoberfläche. Somit ist diese Emission an den Polen am geringsten und in den Tropen am höchsten. Hieraus kann nun gefolgert werden, dass in den Tropen ein Gebiet mit positiver Strahlungsbilanz ist und die Gebiete an den Polen solche mit negativer Strahlungsbilanz sind. Hier wird also mehr Strahlung in das All abgegeben, als erhalten worden ist.

Damit es nicht zu einer kontinuierlichen Abkühlung an den Polen kommt, balanciert die Erde dieses Manko aus.

Kapitel 2 - Die globale Zirkulation

2.1 Die Generelle Zirkulation

Man kann die globale Zirkulation einfach beschreiben:

In den Tropen: Die Nettostrahlungsabsorption führt der Erdoberfläche und der Atmosphäre Wärme zu. In mittleren und hohen Breiten verliert die Atmosphäre Wärme durch Ausstrahlung. Als Ausgleich wird im Meer und in der Atmosphäre Wärme von niedrigen in hohe Breiten transportiert.

Diese Energie und Temperaturunterschiede führen zur globalen Zirkulation in der Atmosphäre

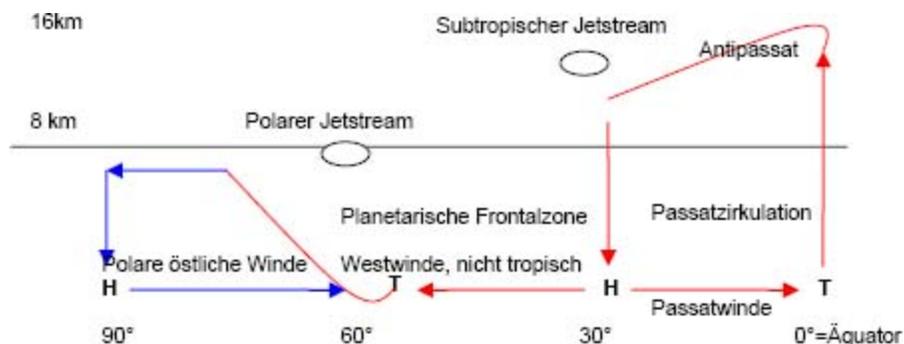
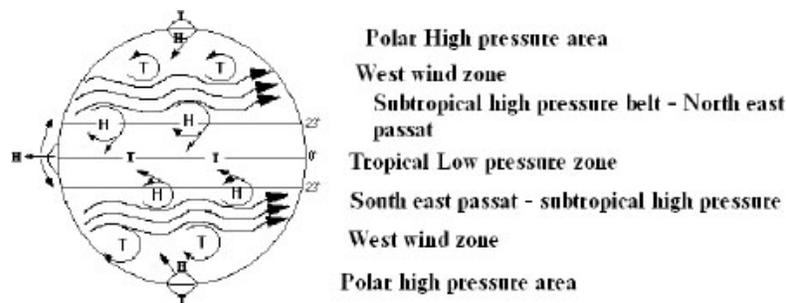


Abb.7: Generelle Zirkulation in der Atmosphäre (eigene Zeichnung)

Die globale Zirkulation erklärt also, wie der Energieüberschuss vom Äquator zu den Polen transportiert wird. Generell können wir sagen, dass wir ein thermales Tiefdruckgebiet nahe dem Äquator haben und ein thermales Hochdruckgebiet nahe den Polen. Der Luftfluss zwischen diesen beiden Druckgebieten ist einer der Faktoren - unter dem Einfluss der Erdrotation und der Corioliskraft - die auf unserem Planeten das Klima beeinflussen.

Die generelle Zirkulation wird allerdings wiederum von einzelnen Zellen gesteuert, die das Klima in den einzelnen Regionen beeinflussen.

Abb. 8: Generelle Zirkulation (eigene Zeichnung)



2.1.1 Die Passat Zirkulation

Warme und feuchte Luft steigt in der Nähe des Äquators auf und kreierte ein Band von Tiefdruckgebieten. Die Folge davon: vielen Wolken und Regen nahe dem Äquator.

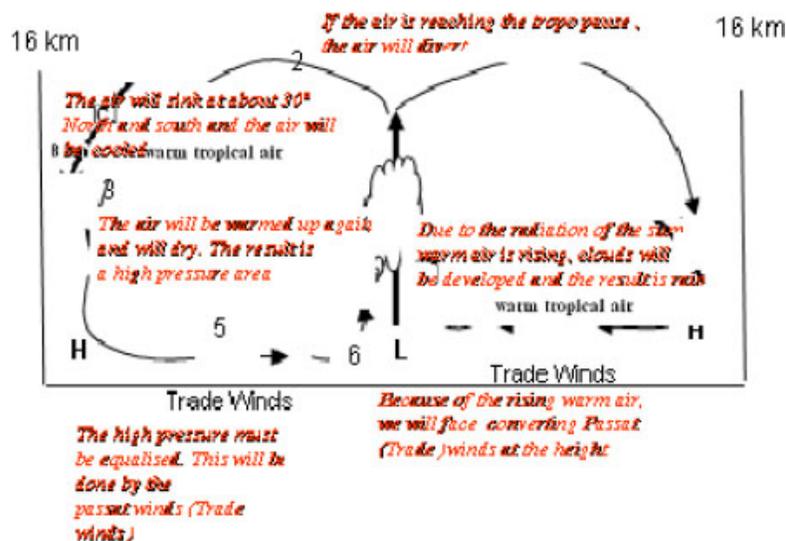


Abb. 9: Die Passat Zirkulation (Quelle. Eigene Zeichnung)

Im Allgemeinen steigt die Luft in der Nähe des Äquators bis zur Tropopause auf. Hier kann die Luft nicht weiter steigen. Sie divergiert zu beiden Seiten in Richtung der Pole. Hier wird die Luft abgekühlt und sinkt bei ungefähr 30° nördlicher und südlicher Breite des Äquators zum Erdboden ab. Diese nun absinkende Luft erhöht zwangsläufig den Luftdruck in diesen Breiten. Wer schon einmal die Wetterkarte im Fernsehen gesehen hat, wird nun mit Leichtigkeit daraus folgern, dass es in diesen Gebieten zu fairen bis guten Wetterbedingungen kommt, also Gebieten mit relativ trockener Luft. Schaut man auf die Karte, so wird man hier die Wüstengebiete auf unserem Planeten identifizieren. Diese Zirkulation wird auch als tropische Hadley Zelle bezeichnet.(Nach George Hadley, 1686-1768). Hadley war der erste, der diese Zirkulation im Jahr 1753 beschrieben hat. Die Luft kann in diesen Gebieten aufsteigen, weil dort die Erwärmung am größten ist.

Aber nicht die gesamte Luft sinkt ab, sondern wird durch die absinkend Luft nach außen gedrückt, wo sie dann zu den Tiefdruckgebieten am Äquator zurückkehrt.(bodennahe Rückströmung) Es handelt sich hierbei um die Passat Winde. (Nordostpassat - Nordhemisphäre und Südostpassat - Südhemisphäre). Die Passatwinde konvergieren in der äquatorialen Tiefdruckrinne. (synonyme Name: Innertropische Konvergenzzone = ITC oder ITK). Die Gebiete am Äquator, wo diese Winde nicht mehr vorherrschen, quasi ausgestorben sind, bezeichnen wir als Doldrums oder Rossbreiten.

In der Höhe über den Passaten befindet sich der Antipassat. Dies ist ein sehr starker Westwind. Bei etwa 30° bildet sich hieraus der subtropische Jetstream. Unterhalb des subtropischen Jetstreams befindet sich der subtropische Hochdruckgürtel.

2.1.2 Die Ferrel Zelle

Die Luft, die nicht zum Äquator zurückkehrt, fließt kontinuierlich polwärts. Auf ungefähr 60° nördlicher und südlicher Breite, treffen die Luftmassen auf die kalten polaren Luftmassen. Dieses Gebiet, wo sich die aufsteigenden warmen Luftmassen mit den absinkenden kalten Luftmassen treffen, bezeichnen wir als POLAR FRONT.

Die Temperaturdifferenz der beiden Luftmassen bewirkt, dass die warmen Luftmassen steigen. Wie schon bei der tropischen Hadley Zelle fließt nun die Luft zurück zum Äquator, wo sie bei 60° nördlich und südlich des Äquators sinkt. Diese Zirkulation wird als Ferrel Zelle bezeichnet. (Nach William Ferrel, welcher 1856 als Erster die Zirkulation identifizierte)

2.1.3 Die polare oder polare Hadley Zelle

Diese Zelle tritt zwischen 60° und 90° nördlicher und südlicher Breite auf. Die Luftmassen, welche nicht bei 60°N/S zum Äquator abfließen, fließen direkt zu den Polen. In der Nähe der Pole sinkt nun die kalte Luft ab (kalte Luft ist schwerer als warme Luft). Daraus entwickelt sich nun ein Hochdruckgebiet, das so genannte Polarhoch, welches mit schwach ausgeprägten Ostwinden einhergeht. Diese polare Hadley Zelle ist im Gegensatz zu der tropischen Hadley Zelle schwächer ausgeprägt, da weniger solare Energie die Poregionen erreicht.

Zusammenfassen kann man sagen, dass es zwei existierende Arten von Druckgebiete auf der Erde gibt.

- thermische Druckgebiete - Polarhoch,
Äquatoriale
Tiefdruckrinne

- dynamische Druckgebiete - subpolare Tiefdruckrinne
Subtropischer Hochdruckgürtel

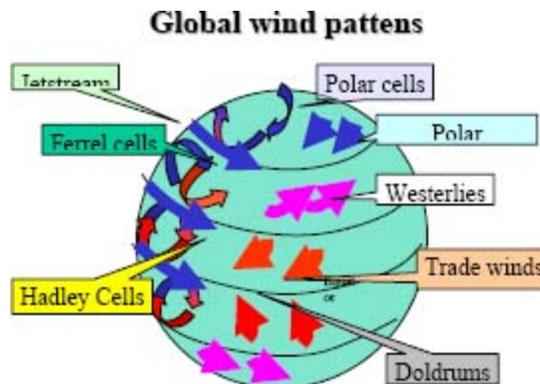


Abb. 10: Schema der bodennahen planetarischen Zirkulation (eigene Zeichnung)

Kapitel 3: Der Jet Stream und die Innertropische Konvergenzzone

3.1 Der Jet Stream

Der Jet Stream befindet sich in einer Höhe von 10000m. Hier entwickeln sich sehr starke Winde, die aus der Temperatur- und Druckdifferenz zwischen den Druckgebieten herrühren.

Der Jet Stream ist ein in der Höhe zirkulierender Strahlstrom (im engl.: Jet Stream), der die gesamte Erde umspannt. Er umkreist die Erde in Form eines Mäanderbandes.

Wir unterscheiden verschiedene Strahlströme:

- der äquatoriale Jet Stream
- der polare Jet Stream
- der subtropische Jet Stream

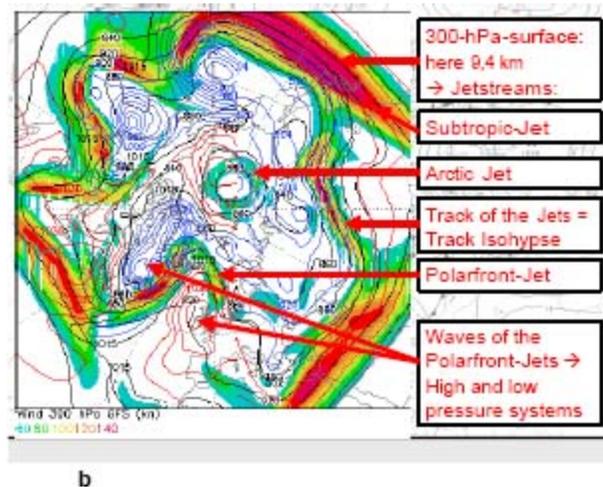


Abb. 11: Die verschiedenen Jet Stream (Deutscher Wetterdienst)

Die Jet Streams haben eine Geschwindigkeit bis zu 300km/h,30-75m/s. Die Intensität der Jet Streams kann an der Mäandrierung des Mäanderbandes gesehen werden. Ist die Krümmung des Mäanderbandes normal, dann ist die Intensität nicht stark ausgeprägt. Je glatter die Krümmung verläuft, desto intensiver ist der Strahlstrom.

Der Jet Stream steuert auch die Tiefdruckgebiete mit, da die Tiefdruckgebiete mit den Höhenwinden ziehen, somit auch von der Krümmung des Strahlstromes abhängig sind.

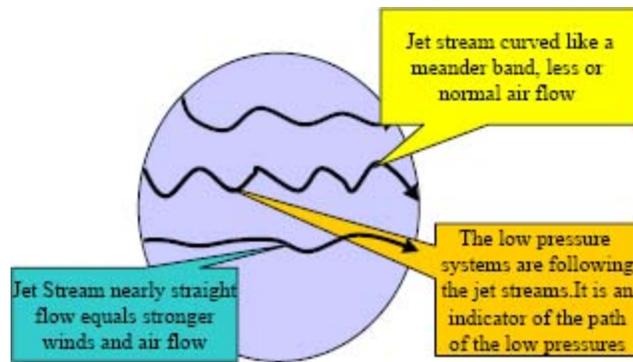


Abb.12: Verschiedene Kurvungen des Strahlstromes und deren Bedeutung (eigene Zeichnung)

Aufgrund der geographischen Breite unterscheidet man auf jeder Halbkugel zwei Strahlströme:

- Der Polarfrontstrahlstrom
- Der Subtropenstrahlstrom

Der Polarfrontstrahlstrom befindet sich zwischen 50°N und 75°N . Er schwankt täglich in Ost-West Richtung wie in Nord - Süd Richtung.

Der Polarfrontstrahlstrom entsteht durch die beiden unterschiedlichen Luftmassen - subtropische und polare Luft. Diese Gegensätze sind besonders groß in den mittleren Breiten. Das Polarfrontstarkwindband ist in den kalten Jahreszeiten am stärksten ausgeprägt. Da auf der äquatorialen Seite des Strahlstromes die Luft zum Aufsteigen gebracht wird und auf der polaren Seite zum Absinken gebracht wird, spricht man auch von einer direkten Quercirkulation im Polarfrontstrahlbereich.

Anders dagegen der Subtropenstrahlstrom. Er liegt im Winter bei 30°N und im Sommer bei 40°N und dies beständig. Er befindet sich in einer Höhe von 12km, da in den Subtropen die Tropopausenlage höher ist als in den mittleren Breiten.

Im Gegensatz zum Polarfrontstrahlstrom wird der Subtropenstrahlstrom von einer indirekten Querzirkulation geprägt. Es ist hier genau andersherum als bei dem Polarfrontstrahlstrom. Warme Luft wird an der polaren Seite zum Aufstieg gebracht und an der äquatorialen Seiten sinkt die Luft ab. Dies wird möglich, da die Erde in den niedrigen Breiten den Drehimpuls an die Atmosphäre abgibt (höhere Drehgeschwindigkeit) und in den hohen Breiten wieder auf den Erdkörper überträgt, da die Bahngeschwindigkeit in den hohen Breiten abnimmt.