

Vorwort

Ein Freund sagte mir einmal, ein Mann müsse im Leben Kinder gezeugt, ein Buch geschrieben, Zigarren geraucht und noch weiteres getan haben, an das ich mich allerdings nicht mehr erinnere. Die Idee mit dem Buch ist mir jedoch haften geblieben. So ist nun dieses zweite Buch entstanden, das ich allerdings zum jetzigen Zeitpunkt schreiben musste, da ich mich nun völlig anderen Dingen zuwenden werde. In diesem Sinn ist dieses Buch vielleicht auch mein Vermächtnis, eine Art Abgesang auf eine langjährige Tätigkeit im Flugwetterdienst von MeteoSchweiz.

Das Buch "Meteorologie für Piloten", das ich vor 25 Jahren verfasste, entspricht in vielen Punkten nicht mehr den heutigen Anforderungen, wie sie durch die Joint Aviation Requirements (JAR) definiert sind und ist nicht mehr geeignet als Lehrmittel. Das Buch wird daher vom Markt zurückgezogen.

Das nun vorliegende neue Buch unter dem Titel "Flugwetter" entspricht den Joint Aviation Requirements und ist für alle Stufen der Pilotenausbildung geeignet. Das Buch ist modular aufgebaut, auf jeder Seite wird ein abgeschlossenes Thema behandelt. Der Text in jedem Modul ist in kleine übersichtliche Abschnitte aufgeteilt. Da Bilder leichter aufgenommen werden als Texte, sind im Buch ca. 1000 Photos und farbige Graphiken enthalten. Bestimmte Module sind nur für die Stufe IR (Instrumentenflug) oder die Stufe ATPL (Linienpilotenausbildung) bestimmt, sie sind speziell gekennzeichnet. Als Ergänzung zum Buch werden dieses Jahr noch eine CD mit allen Graphiken und Photos sowie eine Code-Karte erscheinen.

Das Buch wird abgeschlossen durch das Kapitel "VARIA", in dem Themen behandelt werden, die von allgemeinem Interesse sind und nicht direkt in Zusammenhang mit der Aviatik stehen (Entstehung des Regenbogens, Himmelsfärbung etc.). In diesem Kontext lasse ich einige Freunde und Kollegen, die mich auf meinem langen Weg zeitweise begleitet haben, zu Wort kommen. Ich danke diesen Co-Autoren ganz herzlich für ihre interessanten Beiträge, mit denen sie das Buch wesentlich bereichert haben.

Michael Wienzek danke ich für die hochaufgelösten Satellitenbilder, welche massgeblich dazu beitragen, die Bewölkungsverhältnisse bei verschiedenen Wetterlagen anschaulich darzustellen.

Nicht alle Wolkenbilder stammen aus meiner Privatsammlung; ich danke verschiedenen Herren, die mir zum Teil aussergewöhnliche Bilder zur Verfügung gestellt haben.

Meinem ehemaligen Arbeitgeber MeteoSchweiz danke ich für die Beispiele von Wetterkarten und für einige Wolkenbilder aus der Sammlung Beat Käslin.

Einen wichtigen Mann darf ich nicht vergessen: Lektor Peter Stolz hat das Buch kritisch durchgesehen und viele wertvolle Hinweise gegeben.

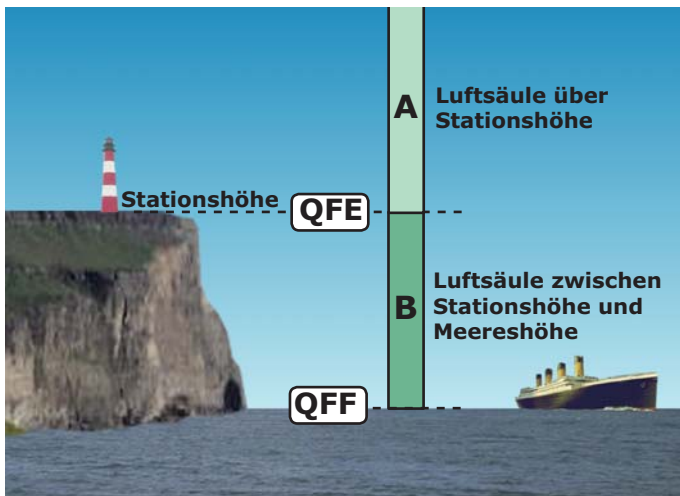
Es freut mich ganz besonders, dass ich die Pilatus-Flugzeugwerke, ein Unternehmen, das für Schweizer Qualität und Unternehmergeist steht, als Partner für die Herausgabe des Buches gewinnen konnte.

Embrach, im Juli 2003

Druckreduktion, Bodenkarte

Reduktion des Luftdrucks

Um die Luftdruckwerte von Beobachtungsstationen, die nicht auf gleicher Höhe über Meer liegen, miteinander vergleichen zu können, wird der Wert des Luftdrucks auf einer einheitlichen Höhe berechnet. Für Stationen, die unterhalb 700m/M liegen, wird der Luftdruckwert auf Meereshöhe berechnet (man bezeichnet dies als „Reduktion des Luftdrucks auf Meereshöhe“). Zusätzlich muss die mit der geographischen Breite variierende Schwerkbeschleunigung auf 45° Breite reduziert werden. Bei Stationen, die auf 700m/M und höher liegen, wird die Höhe der nächstgelegenen Standard-Druckfläche berechnet.



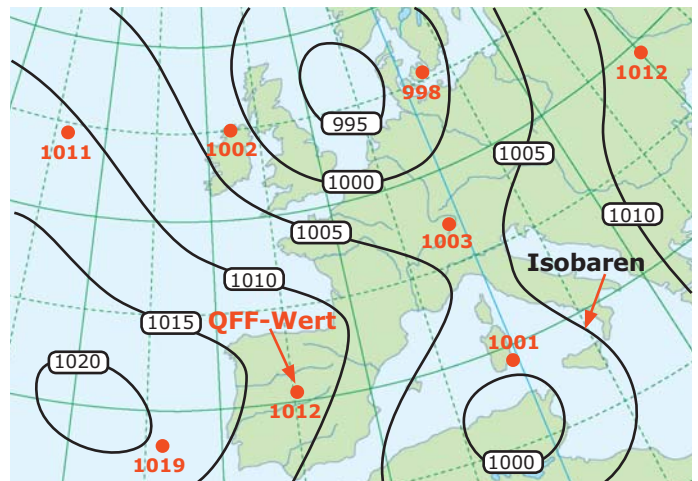
QFE, QFF

Der Druck auf Stationshöhe wird als QFE bezeichnet. Er entspricht dem Gewicht der Luftsäule über der Station (Säule A). Um den Luftdruck auf Meereshöhe zu berechnen, ist das Gewicht der Luftsäule zwischen Stationshöhe und Meereshöhe (Säule B) zu addieren. Das Gewicht der Luftsäule B ist abhängig von der Temperatur (je höher die Temperatur, umso geringer das Gewicht der Luftsäule). Für die Reduktion des Luftdrucks ist es daher notwendig, die Temperatur der Luftsäule möglichst genau zu bestimmen. Man geht dabei von der gemessenen Temperatur auf Stationshöhe aus und nimmt eine Zunahme der Temperatur mit abnehmender Höhe von 0,65°C/100m an. Der Einfluss allfälliger Bodeninversionen ist dabei zu korrigieren.

Der mit der aktuellen (gemessenen) Temperatur auf Meereshöhe reduzierte Luftdruck wird als QFF bezeichnet.

Die Bodenkarte

Die Bodenkarte gestattet einen Überblick über die in einem grösseren Gebiet (z.B. Europa) auf Meereshöhe reduzierten Luftdruckwerte. Wichtig ist dabei, dass die Luftdruckwerte überall zum gleichen Zeitpunkt gemessen werden. Man hat sich international darauf geeinigt, diese Messungen weltweit alle 3 Stunden (0000 UTC, 0300 UTC, 0600 UTC etc.) durchzuführen, dabei werden natürlich zu diesen Zeiten noch weitere meteorologische Elemente gemessen und beobachtet (SYNOP-Beobachtung).

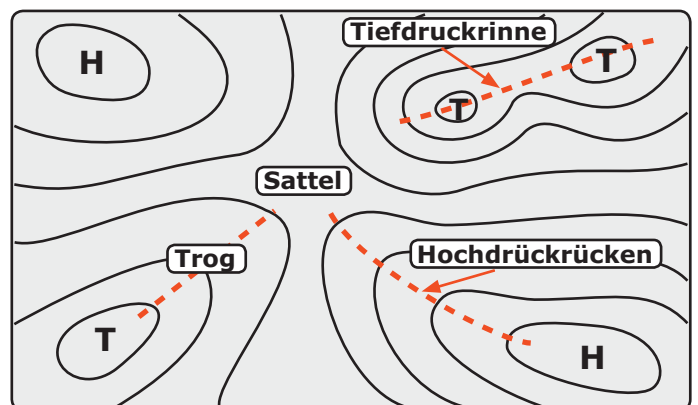


Auf einer Wetterkarte werden die Messwerte von mehreren Hundert Stationen eingetragen (auf einer Europakarte sind es etwa 400 Stationen). Um einen guten Überblick über die Luftdruckverteilung in einem solchen Gebiet zu erhalten, werden auf der Bodenkarte Hilfslinien eingezeichnet. Diese Linien gleichen Druckes werden als Isobaren bezeichnet, sie werden (von wenigen Ländern abgesehen) weltweit mit einem Abstand von 5hPa eingetragen. Die eingezeichneten Isobaren auf einer Bodenkarte erlauben nicht nur einen raschen Überblick über die Drucksysteme, sondern gestatten auch eine Abschätzung von Windrichtung und Windgeschwindigkeit an einem beliebigen Punkt der Karte.

Als weitere Hilfslinien können auf einer Bodenkarte Linien gleicher Luftdruckänderung (Isallobaren) eingetragen werden.

Die Drucksysteme

Die Zone höchsten Luftdruckes auf einer Bodenkarte wird mit einem „H“ markiert, ein Tiefdruckzentrum mit einem „T“. (englisch: „L“ = Low). Die Zone mit der stärksten Krümmung der Isobaren um ein Hochdruckgebiet wird als Hochdruckrücken (oder Hochdruckkeil) bezeichnet (analog zu einem Bergücken auf einer Landkarte). Die Zone der stärksten Krümmung der Isobaren um ein Tiefdruckgebiet nennt man Trog. Bei einer langgestreckten Zone tiefen Luftdrucks mit mehreren Tiefdruckzentren spricht man von einer Tiefdruckrinne. Die Zone, in der sich zwei Hoch- und zwei Tiefdruckgebiete wechselseitig gegenüberstehen, wird als Sattel bezeichnet (Passübergang auf einer Landkarte).



Leewellen

Entstehung der Leewellen

Überströmt Luft ein Gebirge, können sich unter bestimmten Bedingungen im Lee des Berges sogenannte stehende Wellen (Leewellen) bilden.

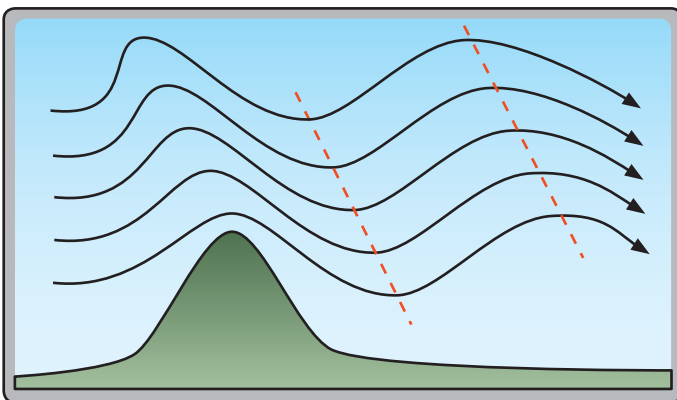
Folgende Bedingungen begünstigen die Bildung von Leewellen:

- Stabile vertikale Temperaturschichtung bis mindestens auf Kammhöhe und etwas darüber
- Ein gewisser Mindestwert der Windgeschwindigkeit sollte erreicht sein. Je höher das Gebirge, umso höher sollte die Windgeschwindigkeit sein (in den Alpen beispielsweise eine Windgeschwindigkeit von über 40kt)
- Die Windgeschwindigkeit sollte mit der Höhe zunehmen
- Der Wind sollte mehr oder weniger im rechten Winkel auf den Bergkamm zufließen (Abweichung bis 30° möglich)
- Die Windrichtung sollte mit zunehmender Höhe gleichbleiben
- Jetstreams begünstigen die Leewellenbildung (vor allem in jenem Teil des Gebirges, das auf der warmen Seite des Jetstreams liegt)

Eigenschaften der Leewellen

Die Wellenlänge ist abhängig von der Windgeschwindigkeit, sie variiert zwischen 5 und 50km. Die Länge der Wellen nimmt mit zunehmendem Abstand vom Gebirge und auch mit zunehmender Höhe zu.

Die Amplitude der Wellen wird bestimmt durch die Wind- und Temperaturverteilung sowie die Höhe und die Form des Gebirges. Die grösste Amplitude tritt meistens in der Schicht mit der grössten thermischen Stabilität auf, z.B. in Inversionschichten.

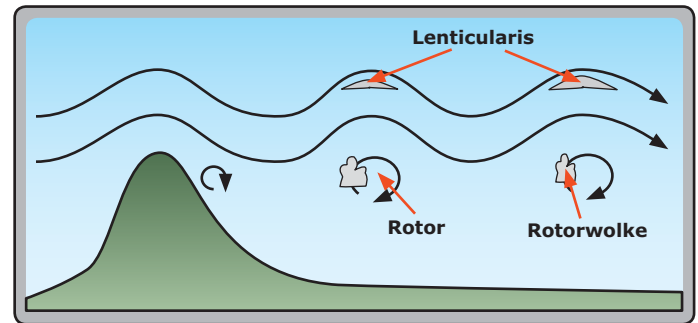


Die Wellenberge liegen mit zunehmender Höhe meistens nicht genau übereinander, sondern verschieben sich gegen das Gebirge zu (obenstehende Abbildung). So ist es möglich, dass über einem Wellenberg in einer bestimmten Schicht ein Wellental in einer höheren Schicht liegt.

Tagesgang: Durch nächtliche Abkühlung wird die Schichtung in den unteren Luftschichten stabiler, damit wird die Bildung von Leewellen verstärkt. Im Gegensatz dazu wird während des Tages die Leewellenbildung vermindert.

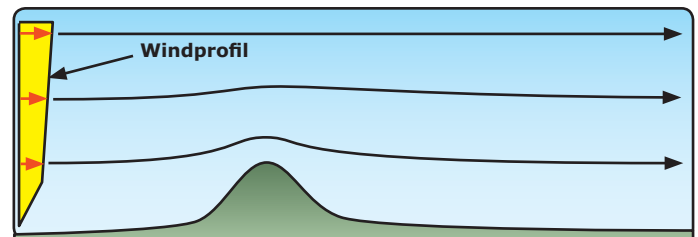
Bei genügender Feuchtigkeit der Luft können sich die typischen linsenförmigen Wolken (lenticularis) bilden.

Häufig bilden sich im Lee parallel zum Bergkamm Walzen mit horizontaler Achse (Rotoren). In diesen Rotoren, die bei genügender Luftfeuchtigkeit durch die typische Rotorwolke sichtbar werden, können extrem starke Turbulenzen auftreten.

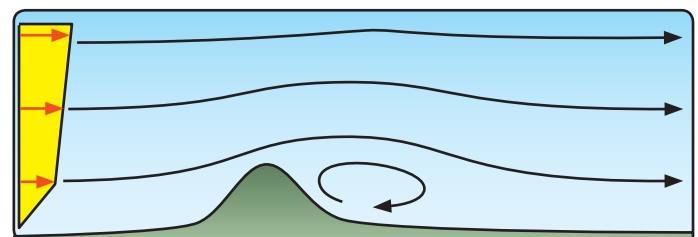


Windprofil und Leewellen-Bildung

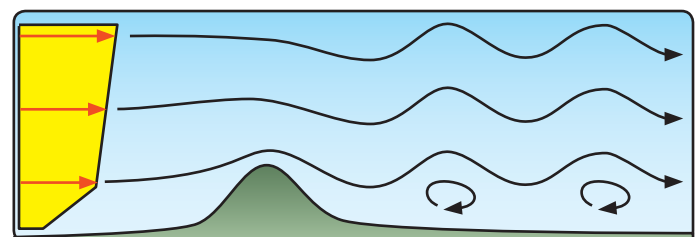
In untenstehender Abbildung ist in vier Beispielen die Auswirkung unterschiedlicher Windprofile auf die Bildung von Leewellen und Rotoren dargestellt.



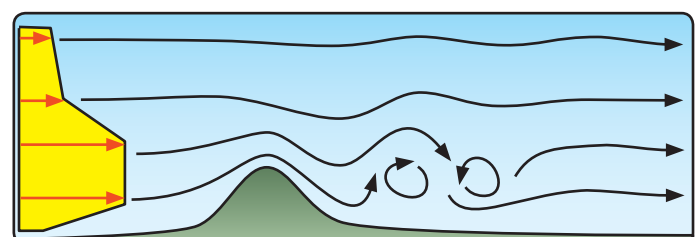
Laminare Strömung



Grosse Walze

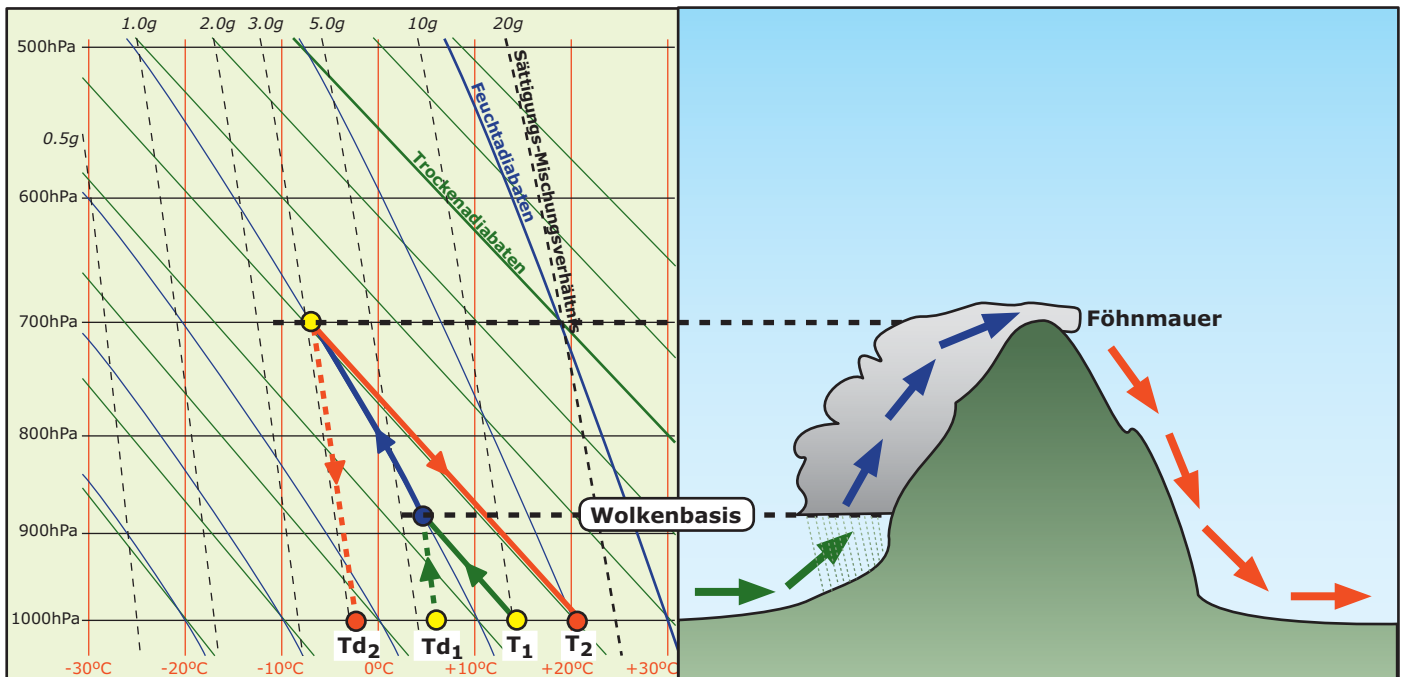


Leewellen



Rotoren

Thermodynamische Erklärung des Föhns



Stau

In obenstehender Abbildung strömt Luft auf einer Höhe von 1000hPa gegen eine Gebirgskette. Die Temperatur der aus einer Ebene anströmenden Luft beträgt $+14^{\circ}\text{C}$ (T_1), der Taupunkt liegt bei $+6^{\circ}\text{C}$ (Td_1). Die auf der Luv-Seite des Gebirges steigende Luft ist ungesättigt und kühlt sich daher trockenadiabatisch ab (grüne Linie). In dieser steigenden Luft nimmt die relative Feuchtigkeit ständig zu (der Taupunkt folgt der Linie gleichen Mischungsverhältnisses: grüne gestrichelte Linie), auf einer Höhe von etwa 880hPa (blauer Punkt) erreicht die relative Feuchtigkeit den Wert von 100%, die Luft ist nun gesättigt. Diese Höhe entspricht der Kondensationsbasis. Beim weiteren Aufstieg kondensiert der überschüssige Wasserdampf, es bilden sich Wolken. Die Luft kühlt sich nun feuchtadiabatisch ab (blaue Linie). Die sich auf der Luv-Seite bildende Wolkenmasse wird als Stau-Bewölkung bezeichnet. Bei genügender Dichte dieser Wolkenmasse setzen Niederschläge ein (Stau-Niederschlag).

Auf einer Höhe von 700hPa (ca. 3000m/M) erreicht die steigende Luft den Gebirgskamm (gelber Punkt), die Temperatur und der Taupunkt dieser Luft betragen jetzt -8°C . Das Mischungsverhältnis, das auf der Ausgangshöhe in der Ebene noch 6g Wasserdampf/kg Luft betrug, hat auf Kammhöhe auf ca. 3,2g Wasserdampf/kg Luft abgenommen. Die Luft hat also während des Steigens 2,8g Gramm Wasser pro Kilogramm Luft durch Kondensation verloren.

Sinken auf der Lee-Seite

Nach Überqueren des Gebirgskamms sinkt die Luft auf der Leeseite, die Luft erwärmt sich trockenadiabatisch (rote Linie), der Taupunkt folgt der Linie gleichen Mischungsverhältnisses (rote gestrichelte Linie).

Auf einer Höhe von 1000hPa hat die sinkende Luft wieder den Talboden erreicht, die Temperatur liegt nun bei $+21^{\circ}\text{C}$ (T_2), der Taupunkt liegt bei -2°C (Td_2).

Bilanz des Überströmens

Durch das Überströmen des Gebirges hat das Mischungsverhältnis der Luft von 6 Gramm auf 3,2 Gramm Wasserdampf pro Kilogramm Luft abgenommen, die Luft hat also beinahe die Hälfte der Feuchtigkeit verloren. Diese „verlorene“ Wassermenge findet man in der Staubewölkung und den Niederschlägen auf der Luv-Seite. Die Temperatur der Luft hat durch das Überströmen des Gebirges von $+14^{\circ}\text{C}$ auf $+21^{\circ}\text{C}$ zugenommen; diese Erwärmung ist eine Folge der freigegebenen Kondensationswärme.

Föhnmauer

Da es eine gewisse Zeit dauert, bis in der sinkenden Luft auf der Lee-Seite die Wolkentröpfchen verdunstet sind, liegt der Rand der durch Stau entstandenen Wolkenmasse nicht genau auf Kammhöhe, sondern einige Hundert Meter tiefer (in der sinkenden Luft wird die Temperatur daher anfänglich entsprechend dem feuchtadiabatischen Gradienten zunehmen). Dieser über den Gebirgskamm hängende Wolkenwall wird als *Föhnmauer* bezeichnet.

Trockene Luft

Ist die das Gebirge überströmende Luft so trocken, dass während des Steigens keine Sättigung der Luft eintritt, wird die Luft auf der anderen Seite des Gebirges auf gleicher Höhe noch immer die gleiche Temperatur und Feuchtigkeit aufweisen wie auf der Luv-Seite. Der Föhnwind wird daher nicht wirksam.

Die Quellwolken

Cumulus (CU)

Der Cumulus entwickelt sich in der Vertikalen, in Form von scharf begrenzten Hügeln, Kuppen oder Türmen, deren aufquellende obere Teile wie Blumenkohl aussehen. Die von der Sonne beschienenen Teile dieser Wolke sind meist leuchtend weiss. Die Untergrenze der Wolke ist verhältnismässig dunkel und verläuft praktisch horizontal. Bei starken Höhenwinden können die Cumulus-Wolken auch zerfetzt aussehen. Die Wolke besteht hauptsächlich aus Wasser-tröpfchen. Oberhalb der Nullgradgrenze können diese Wassertröpfchen stark unterkühlt sein. Die Basis dieser Wolke liegt zwischen 500 und 2000 m. Der Cumulus entsteht vor allem bei starker Sonneneinstrahlung, das heisst, er ist eine typische Wolke des Frühlings und des Sommers.



Cumulus humilis

Cumulus-Wolke von nur geringer vertikaler Ausdehnung, die im allgemeinen abgeflacht aussieht.

Cumulus mediocris

Cumulus-Wolke von mässiger vertikaler Ausdehnung.



Cumulus congestus

Cumulus-Wolke von bedeutender vertikaler Ausdehnung. Ihre oberen Teile haben Ähnlichkeit mit einem Blumenkohl.



Cumulonimbus (CB)

Der Cumulonimbus ist eine massige und dichte Wolke von beträchtlicher vertikaler Ausdehnung in Form eines mächtigen Turmes, der meistens bis auf die Höhe der Tropopause reicht. Der Cumulonimbus ist die eigentliche Gewitterwolke. Er verursacht sehr intensive Niederschläge, begleitet von elektrischen Erscheinungen. Hagel kann sich nur in einer solchen Gewitterwolke bilden. Die Wolke besteht in den mittleren und oberen Teilen aus unterkühlten Wassertröpfchen und Eiskristallen. Die Basis der Wolke liegt zwischen 500 und 2000 m. Bei starken Niederschlägen können sich jedoch unter der Wolkenbasis in der Niederschlagszone Stratus-Fetzen bilden, die mit der Gewitterwolke zum Teil zusammenwachsen können. Die Wolkenbasis kann in solchen Fällen nur noch wenige 100 m über dem Erdboden liegen.



Cumulonimbus calvus

Ein Cumulonimbus, bei dem vereinzelt Aufquellungen im oberen Teil der Wolke die cumulusförmigen Umrisse verlieren und ausfransen.



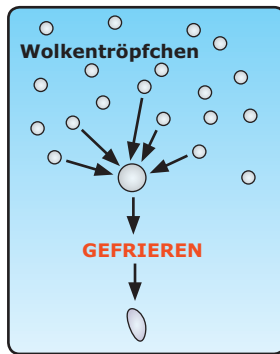
Cumulonimbus capillatus

Der obere Teil der Wolke breitet sich wie ein grosser Federbusch aus und erhält dadurch ein ambossförmiges Aussehen. Vor allem in diesem Teil der Wolke sind ausgeprägte cirrusartige Gebilde von deutlich faseriger oder streifiger Struktur zu beobachten. Bei Cumulonimbus capillatus treten gewöhnlich Schauer oder Gewitter auf.

Übrige Niederschlagsarten

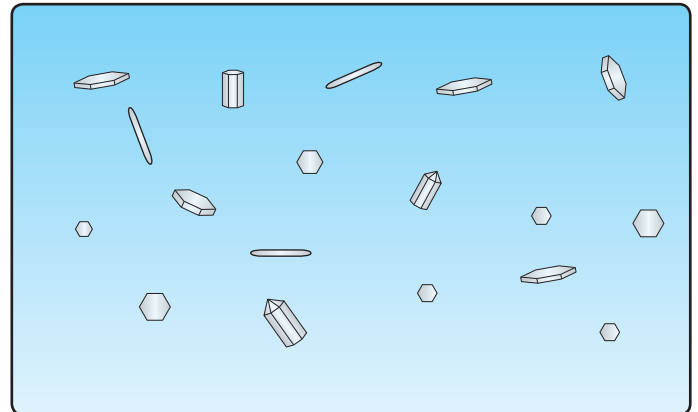
Schneegriesel

Meist aus Stratus fallender Niederschlag von sehr kleinen, weissen, undurchsichtigen und abgeplatteten Eiskörnchen von schneeähnlicher Beschaffenheit. Ihr Durchmesser beträgt im allgemeinen weniger als 1mm. Beim Aufprall auf eine harte Unterlage springen sie nicht auf und zerbrechen auch nicht. Nie in Form von Schauern.



Eisprismen

Niederschlag von nichtverzweigten Eiskristallen in Form von Nadeln, Säulen oder Plättchen, die oft so winzig sind, dass sie in der Luft zu schweben scheinen. Eisprismen können aus einer Wolke fallen, aber auch bei wolkenlosem Himmel auftreten. Sie treten vor allem bei grosser Kälte auf, im Sonnenschein glitzern sie.



Reifgraupel

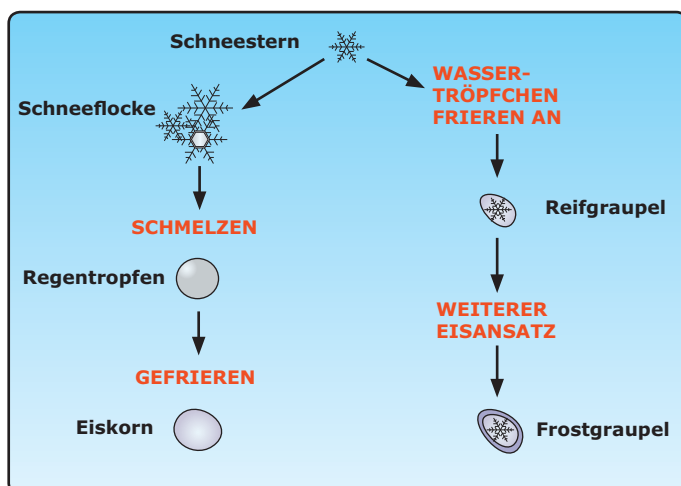
Niederschlag aus weissen, undurchsichtigen Eiskörnchen von schneeähnlicher Beschaffenheit. Die Körnchen sind im allgemeinen kegelförmig oder abgerundet; ihr Durchmesser kann 5mm erreichen. Sie sind leicht zusammendrückbar. Beim Aufprall auf eine harte Unterlage springen sie auf und zerbrechen. Sie sind aus Schneesternen entstanden, an welche unterkühlte Wolkentropfen angefroren sind (Vergraupelung).

Frostgraupel

Aus Quellwolken fallender Niederschlag von halbdurchsichtigen Bällchen mit weichem Kern und einer diese Bällchen umschliessenden, sehr dünnen Klareisschicht. Sie entstehen meist aus Reifgraupeln. Ihr Durchmesser kann 5mm erreichen oder sogar überschreiten. Sie sind schwer zusammendrückbar. Da sie bei Temperaturen von über 0°C auftreten, sind sie nass. Beim Aufprall auf eine harte Unterlage zerbrechen sie nicht.

Eiskörner

Eiskörner sind gefrorene Regentropfen. Sie sind gewöhnlich kugelförmig oder unregelmässig gestaltet; ihr Durchmesser beträgt weniger als 5mm. Sie springen auf, wenn sie auf eine harte Unterlage fallen. Nie in Form von Schauern!



Vom Wind aufgewirbelte Hydrometeore

Schneefegen: Vom Wind in geringe Höhen über dem Boden aufgewirbelter Schnee. Die Horizontalsicht in Augenhöhe (1,8m Höhe) ist nicht merklich herabgesetzt.

Schneetreiben: Vom Wind bis in mässige oder grosse Höhen über dem Boden aufgewirbelter Schnee. Die Horizontalsicht in Augenhöhe ist im allgemeinen sehr gering.

Gischt: Wassertröpfchen, die durch den Wind von der Oberfläche eines ausgedehnten Gewässers, im allgemeinen von den Wellenkämmen, fortgerissen und über eine kurze Strecke hinweg verweht werden.

Abgesetzte Niederschläge

Abgesetzte Nebeltröpfchen: Ablagerung von nicht unterkühlten Nebel- oder Wolkentropfen an Gegenständen, deren Oberflächentemperatur über 0°C liegt.

Tau: Ablagerung von Wassertropfen an Gegenständen infolge direkter Kondensation des Wasserdampfes aus der umgebenden Luft.

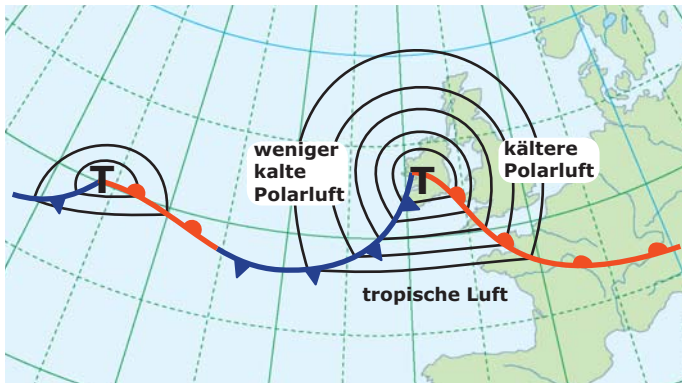
Reif: Eisablagerung an Gegenständen, die im allgemeinen kristalline Strukturen aufweist und durch Sublimation von Wasserdampf aus der umgebenden Luft entsteht.

Rauhreif: Eisablagerung, die sich beim Gefrieren unterkühlter Nebel- oder Wolkentropfen an Gegenständen bildet, deren Oberflächentemperatur geringer oder nur wenig höher als 0°C ist. Rauhreif kann aus dünnen Eisnadeln bestehen, aber auch körnig, weiss oder glatt und durchsichtig sein.

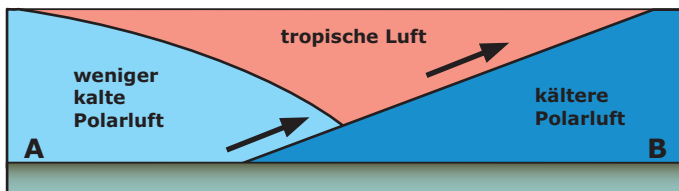
Glatteis (Klareis): Eine glatte, kompakte, im allgemeinen durchsichtige Eisablagerung, die sich beim Gefrieren unterkühlter Nebelregentropfen oder Regentropfen an Gegenständen bildet, deren Oberflächentemperatur geringer oder nur wenig höher als 0°C ist.

Die Warmfront-Okkusion

Entstehung der Warmfront-Okkusion



Die Polarluft hinter der Kaltfront (Punkt A) ist im allgemeinen kälter als die Polarluft vor der Warmfront (Punkt B). Im Winter hingegen kann die Polarluft vor der Warmfront kälter sein, vor allem, wenn diese Luft über einer kalten Landfläche lagert.

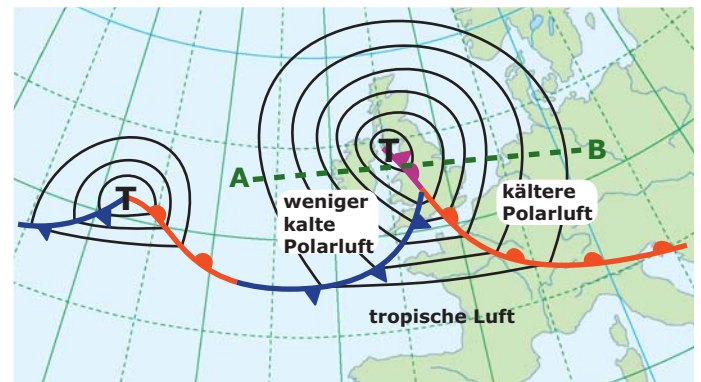


Holt nun die schnellere Kaltfront die Warmfront ein, gleitet die weniger kalte Polarluft auf die kältere Polarluft auf. An der Erdoberfläche ist, wie aus obenstehendem Vertikalschnitt zu ersehen, nur noch die ehemalige Warmfront zu finden. Die tropische Luft wie auch die weniger kalte Polarluft gleiten an der Warmfrontschicht auf.

Die ehemalige Warmfront an der Erdoberfläche bildet nun nicht mehr die Grenze zwischen tropischer Luft und der Polarluft, sondern zwischen weniger kalter und kalter Polarluft. Die ehemalige Warmfront wird daher als Warmfront-Okkusion bezeichnet, sie wird wie die Kaltfront-Okkusion als violette Linie mit Zacken und Halbkreis eingezeichnet.

Die Kaltfront ist an der Erdoberfläche nicht mehr zu finden, sie liegt auf der Warmfrontschicht auf und wird jetzt als Höhen-Kaltfront bezeichnet. Diese Höhen-Kaltfront wird auf Bodenwetterkarten nicht eingezeichnet.

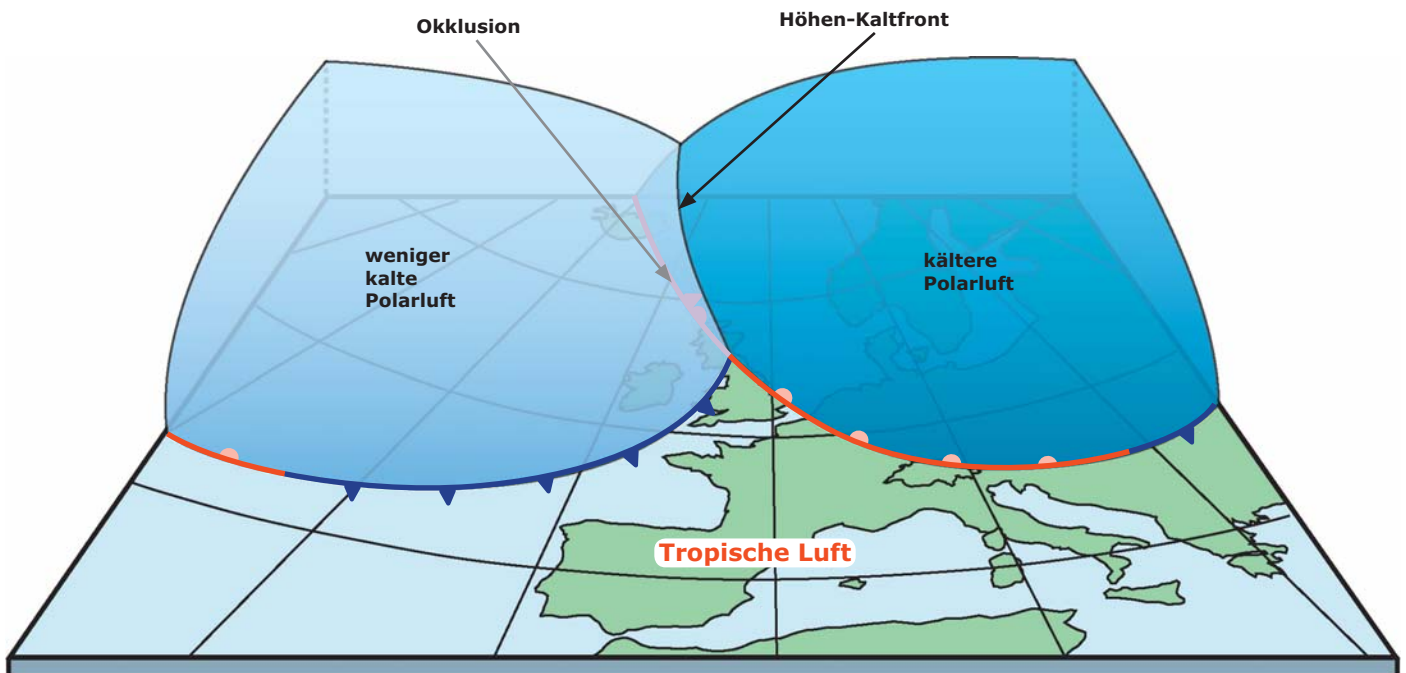
Eine Warmfront-Okkusion entspricht lagemässig der ehemaligen Warmfront.



Auf untenstehender Graphik ist die räumliche Verteilung von tropischer Luft, kalter Polarluft (dunkelblau) und weniger kalter Polarluft (hellblau) dargestellt.

Die weniger kalte Polarluft wie auch die tropische Luft gleiten auf die kalte Polarluft auf.

Die Höhen-Kaltfront liegt auf der Warmfrontschicht auf.



Himmelsansichten bei flacher Druckverteilung



1 - Castellanus als Gewittervorbote



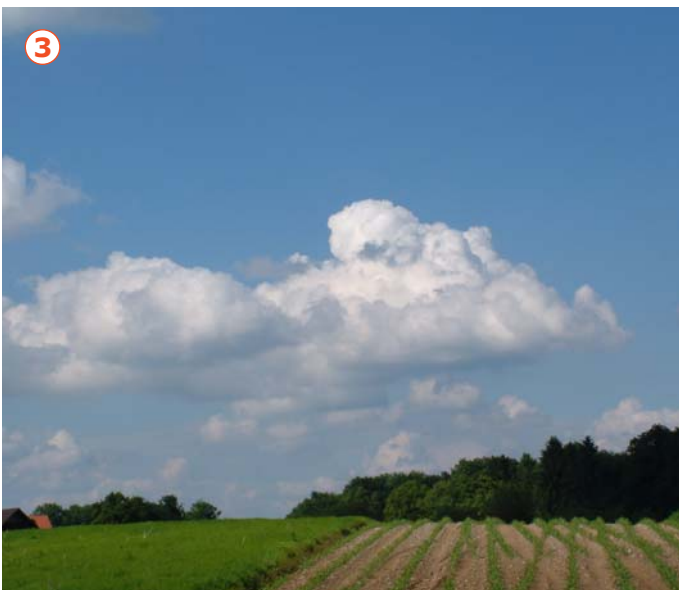
4 - Cumulus congestus



2 - Cumulus humilis



5 - Cumulonimbus calvus



3 - Cumulus mediocris



6 - Cumulonimbus capillatus

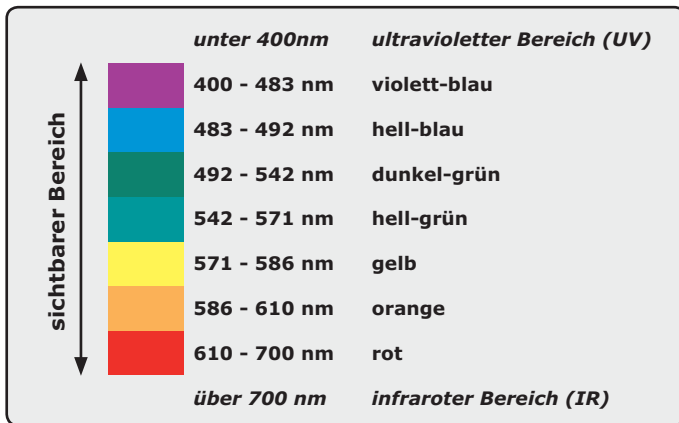
Der blaue Himmel

„Warum ist der Himmel blau?“ Diese den Meteorologen immer wieder gestellte Frage wird nachfolgend beantwortet.

Das Licht

Als Licht wird der sichtbare Bereich der von der Sonne und anderen Strahlungsquellen ausgehenden elektromagnetischen Strahlung bezeichnet, dies entspricht dem Wellenlängenbereich zwischen 400nm (blau) und 700nm (rot).

Unterhalb 400nm (1Nanometer = 1 Milliardstel Meter) liegt der ultraviolette Bereich (UV), oberhalb 700nm der infrarote Bereich (IR).

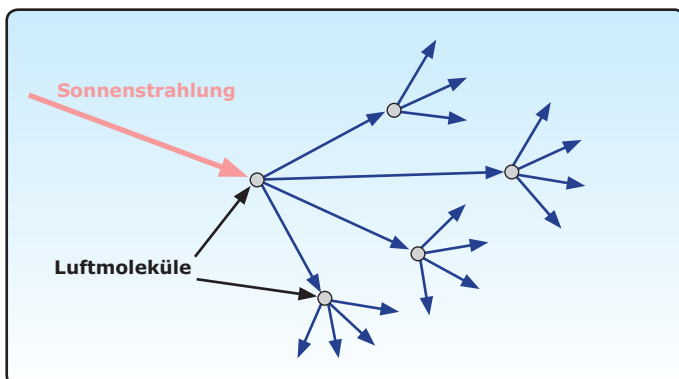


Die Wellenlänge 580nm entspricht also beispielsweise dem gelben Licht. Sind alle Farben im Sonnenlicht enthalten, erscheint das Licht weiss.

Die Streuung des Lichts

Unter Streuung versteht man die Ablenkung eines Teils der Strahlung aus der ursprünglichen Richtung, im allgemeinen durch atomare Teilchen. Die diffus in verschiedene Richtungen gestreute Strahlung wird als Streustrahlung bezeichnet.

Das Sonnenlicht wird an den Luftmolekülen in der Atmosphäre gestreut. Wichtig für Entstehung der Himmelsfarbe ist die Tatsache, dass bei kürzeren Wellenlängen (blau) die Streuung stärker ist als bei längeren Wellenlängen (rot). Dieses am stärksten abgelenkte blaue Licht trifft auf weitere Luftmoleküle und wird durch diese auch wieder abgelenkt. Das Himmelsblau scheint dadurch nicht nur aus der Richtung der Sonne, sondern aus allen Richtungen zu kommen.

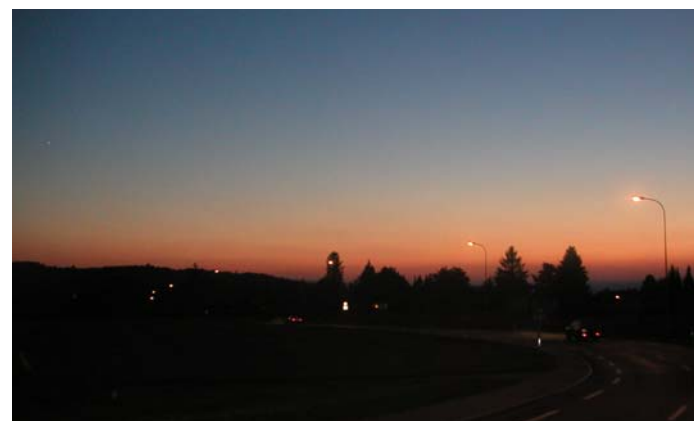


Diese Streuung von Lichtstrahlen wird auch als Rayleigh-Streuung bezeichnet (benannt nach dem englischen Physiker J. W. Rayleigh, der Ende des 19. Jahrhunderts als Erster die genaue physikalische Erklärung des Himmelsblaus fand).



Die Sonnenstrahlung wird jedoch auch noch an den in der Atmosphäre schwebenden Aerosolen (winzige Staub-, Salz-, Russpartikel, Eiskristalle, etc.) gestreut. Da die Aerosole unterschiedliche Grössen aufweisen, ist die Spektralverteilung des gestreuten Lichts gemischt, daraus resultiert ein weissliches Licht. Je reiner die Luft ist, umso tiefer ist daher das Blau des Himmels. Flach einfallende Sonnenstrahlen legen einen längeren Weg durch die Atmosphäre zurück, sie werden daher durch die Aerosole stärker gestreut. Als Folge davon weist der Himmel im Zenith das tiefste Blau auf, gegen den Horizont zu wird das Blau zunehmend heller (weisslicher).

Die Dämmerungsfarben



Die Sonnenstrahlen werden auf dem Weg durch die Atmosphäre nicht nur gestreut, sondern auch abgeschwächt. Diese Abschwächung wird als Extinktion (Auslöschung) bezeichnet. Das blaue Licht wird dabei stärker abgeschwächt als das rote Licht. Am Abend und am Morgen legen die Sonnenstrahlen einen längeren Weg durch die Atmosphäre zurück, die Sonne erscheint daher rötlich.

Aber auch der Himmel färbt sich rötlich, da das rote Sonnenlicht durch die Aerosole gestreut wird. Je grösser die Anzahl der Aerosole, umso stärker die Rotfärbung des Himmels.