Wetter und Prognose

Grundlagen

Version 34 (März 2018)

Empfehlung

Ich empfehle dir vorerst, die Inhalte aller Folien durchzulesen. Auch wenn du etwas nicht verstehst, lies trotzdem weiter.

Dann empfehle ich dir, die ganzen Lernunterlagen ein zweites Mal zu studieren. Du wirst merken, dass bestimmte Inhalte mittlerweile wahrscheinlich nachvollziehbarer geworden sind.

Falls du am E-Learning-Programm «5Steps» teilnimmst, wirst du nach dem Studium der Inhalte dieser Seiten den Test problemlos bestehen.

Um gezielt Inhalte auf dieser Seite zu finden, empfehle ich dir die Suchfunktion deines Acrobat-Readers zu verwenden oder für Windows die Tastenkombination «CTRL + F» bzw. für Apple die «Befehlstaste-F» einzusetzen, um das Suchfenster zu öffnen.

Inhaltsverzeichnis (1/2)

Diese Lernunterlage behandelt folgende Themen. Falls du ein bestimmtes Thema vertiefen möchtest, klicke drauf, um zur gewünschten Seite zu gelangen…

- **Wettermodelle**
- **Die 5 Schritte auf einen Blick**
- **Schritt 2 - Allgemeine Lage**
  - Segelflugwetterprognose
  - Isobaren-Karten
    - QFE - QFF - QNH
    - Luftdruck
    - Hoch- und Tiefdruckgebiet
    - Fronten
    - Konvergenzlinie / Trog
    - Föhn
    - Bracknell-Karte: Was man daraus lesen kann
    - Weitere Themen:
    - Coriolis - Wind - Luftdichte
    - Feuchtigkeit und Gewicht
  - 500hPa - Isohypsen
    - Keil und Trog
    - Kaltlufttropfen
  - 700 hPa- und 850 hPa-Karten
- **Schritt 1 - Zuverlässigkeit der Druckverteilung**
  - Spaghetti
  - Jetstream (Entstehung von H und T)
  - Kaltlufttropfen
  - Vergleich 500 hPa-Karte von GFS mit EZ
- **Schritt 3 - Regionale Prognosen**
  - Grundlagen «Wind»
    - Windprognose
  - Grundlagen «Talwind»
  - Grundlagen «Föhn»
    - Föhnprognose
  - Grundlagen «Seichter Föhn»
  - Fliegen im Tessin mit Süd-Föhn
  - Niederschlagprognose
  - Grundlagen «Wolken»
    - Wolkenprognose
  - SRF Meteo

Inhaltsverzeichnis (2/2)

- **Schritt 4 - Thermikprognose und lokale Prognosen**
  - Prognosen mit Meteoblue (Basis, Wind, Thermik, Wolken, CB…)
  - Grundlagen «Thermikbildung»
  - Wasserdampf
  - Warum die Luft steigt
  - Aufwindzonen finden
  - Inversion
  - Sounding, Vorhersage-Sonden und Radiosondierungen
  - METAR / TAF
- **Schritt 5 - Aktuelle Wetterlage**
  - Satellitenbild
  - Wind
  - Webcam
  - Föhn
  - Grundlagen «Nebel»
  - Grundlagen «Hochnebel»
  - Nebel- und Hochnebelprognose
  - Grundlagen «Gewitterwolke / Überentwicklung / CB»
  - Prognose von Gewitterwolken

Alle Wetterkarten, die in dieser Lernunterlage erwähnt sind, findest du auf www.5steps.ch/meteo

Vom Üetliberg bis Montreux mit dem Gleitschirm

Was braucht man dazu?

Beeindruckende Leistung

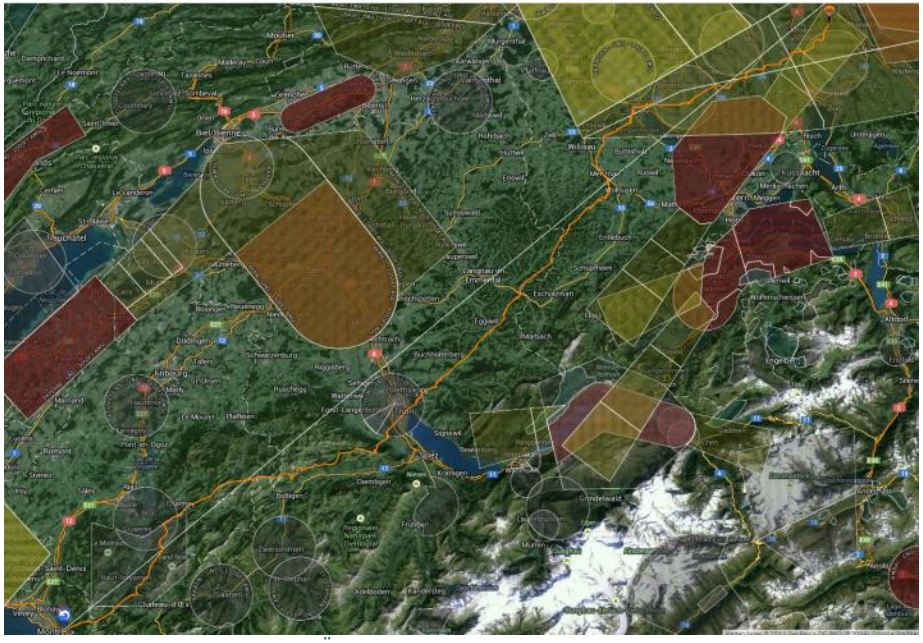
Am 15.4.2014 (Dienstag) ist der Gleitschirm-Pilot Marcel Schmid vom Üetliberg gestartet.

Zuerst hat er Sursee, danach Wolhusen erreicht und anschliessend den Flug Richtung Thun fortgesetzt.

Als Leistung würde diese Strecke mehr als genügen. Aber nein, Marcel ist weitergeflogen: Zuerst bis Charmey und dann bis Montreux.

In Montreux ist er nach einer Strecke von 155 km gelandet.

Die Frage, die sich stellt, ist:
«WIE HAT ER DIESE LEISTUNG HINGEBRACHT?»

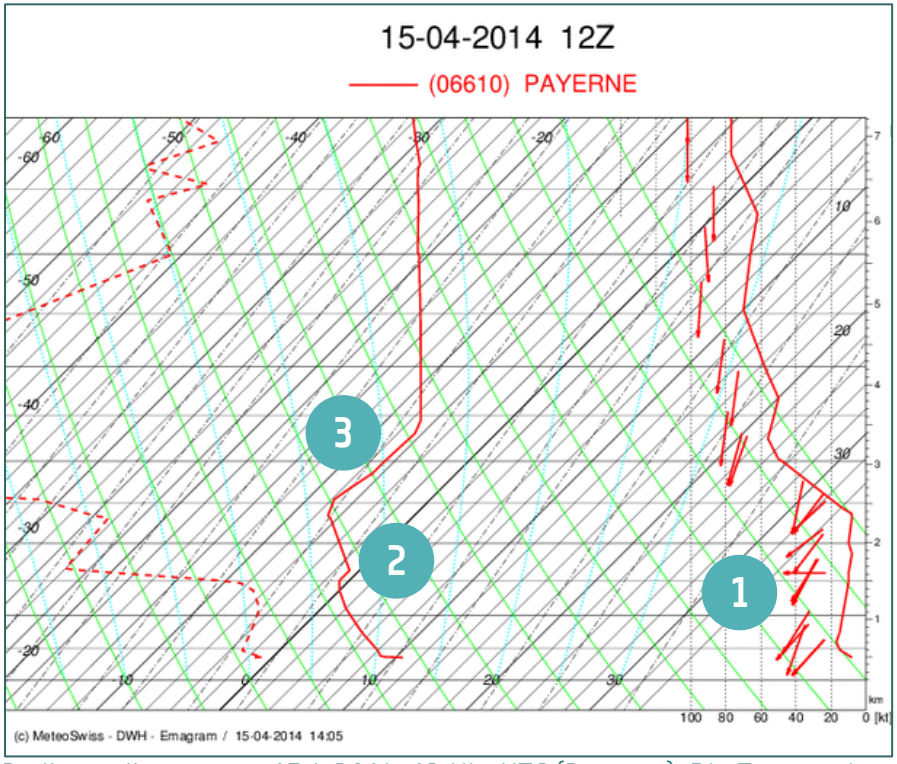


Der Flug von Marcel vom Üetliberg bis Montreux

Wetterkenntnisse

Ein solcher Flug ist nicht jeden Tag möglich. Dazu braucht man optimale Wetterbedingungen:

- MÄSSIGE BISE (1)
  Marcel ist Richtung SW geflogen. Dazu brauchte er einen mässigen Wind aus NO, der ihn unterstützt hat, um mit mehr Leistung vorwärts zu kommen. Dadurch konnte er rascher und luvseitig die nächste Thermik erreichen.
- STARKE THERMIK (2)
  Die Temperatur der Atmosphäre ist an diesem Flugtag zwischen Boden und 2'300 m über Meer mit steigender Höhe rasch gesunken, was die hochreichende Thermikbildung im Flachland und in den Voralpen begünstigt hat. An diesem Tag haben die Thermiken in den Voralpen die Höhe von etwa 2'600 m über Meer erreicht.
- INVERSION (3)
  Auf etwa 3'000 m über Meer (und aufwärts) hat ein starker Höhenwind geweht (90 km/h und mehr). Eine ausgeprägte Isothermie / Inversion hat Marcel vom starken Höhenwind geschützt. Ohne diese Inversion wäre der Flug wahrscheinlich kaum möglich gewesen.

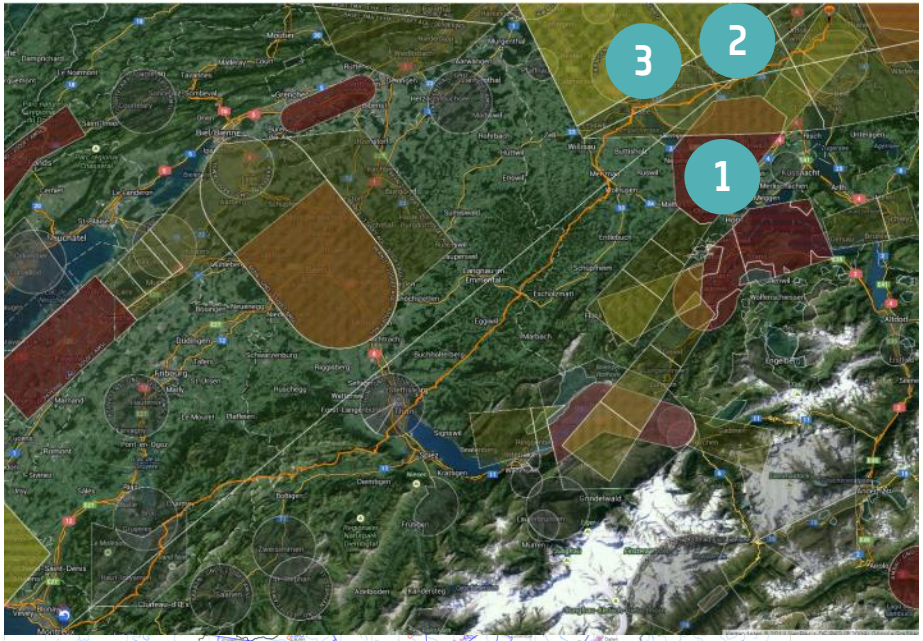


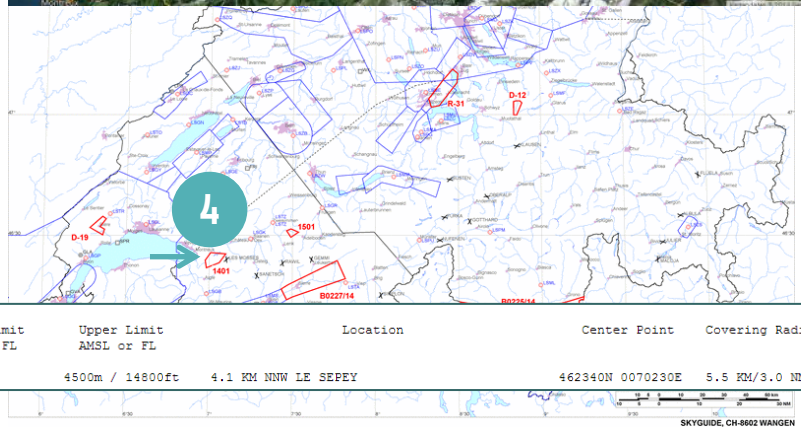
Radiosondierung von 15.4.2014, 12 Uhr UTC (Payerne). Die Temperatur der Atmosphäre ist von etwa 500 bis 2'300 m über Meer rasch gesunken *(Ausnahme: Kleine Isothermie zwischen 1'500 und 1'700 m über Meer)*. Die Temperaturabnahme hat die Bildung hochreichender Thermiken begünstigt. Verstehst du die Radiosondierung nicht? Kein Problem. Das Thema wird später behandelt.

Luftraumkenntnisse

Die Schweiz hat eine komplexe Luftraumstruktur. Und mit Lufträumen war Marcel offensichtlich vertraut.

- CTR (1)
  Während dem Flug musste er Kontrollzonen vermeiden (z.B. die CTR von Emmen).
- TMA (2)
  Der Flug begann unter den Nahkontrollbezirken von Zürich, das heisst, pro Sektor durfte er eine bestimmte Höhe nicht überschreiten.
- FLUGPLÄTZE (3)
  Unkontrollierte Flugplätze durfte Marcel nur ab einer Höhe von 600 Meter über Grund überfliegen.
- DABS (4)
  Und das «Daily Airspace Bulletin Switzerland» hat Marcel sicher auch studiert. Sonst wäre er vielleicht in ein Schiess-Gebiet in der Nähe von Montreux geflogen.





4

```
Firings / AIP-Areas / Warnings:
   Firing-Nr      Validity        Lower Limit      Upper Limit                    Location                    Center Point    Covering Radius
  D-/R-Area         UTC           AMSL or FL       AMSL or FL
 NOTAM-Nr
 1401          0800 - 2100   GND                 4500m / 14800ft   4.1 KM NNW LE SEPEY                  462340N 0070230E   5.5 KM/3.0 NM     FIRING
```

Navigationskenntnisse

Die Welt sieht anders aus als auf einer Segelflugkarte dargestellt. Sobald man fliegt, bewegt man sich in einer neuen Dimension, bei der man die Orientierung verlieren kann.

Es gibt aber hilfreiche Methoden, um die Orientierung zu behalten und navigatorisch sicher zu fliegen.

Dazu gehört unter anderem, auf der Segelflugkarte nach markanten Stellen wie Flüsse, Seen, Berge, Leitungen usw. zu suchen. Mit diesen markanten Stellen am Boden und in der realen Welt kann man bestimmen, wo man sich gerade befindet, sowie wo die nächsten zu vermeidenden Lufträume beginnen.

Marcel muss navigatorisch fit gewesen sein, sonst hätte er diesen anspruchsvollen Flug nicht hingekriegt.

Die Welt von oben sieht anders aus als auf der Segelflugkarte

Verschiedene Kenntnisse

Verschiedene Kenntnisse sind erforderlich, um die vertraute Hausthermik zu verlassen und die ersten Schritte Richtung «Streckenfliegen» einzuleiten.

Jeder beginnt mit kleinen Schritten und sammelt wertvolle Erfahrungen. Bestimmte Vorkenntnisse zum Thema «Wetter», «Luftraum» und «Navigation» sind jedoch unverzichtbar, um weiter zu kommen.

Auch wenn du Schüler/-in bist und dich zurzeit in erster Linie einfach darauf freust, länger in der Luft zu bleiben, wird wahrscheinlich (bald) der Tag kommen, an dem du mehr erreichen willst.

Aus diesem Grund habe ich für dich diese Informationen zusammengestellt, nicht nur um die SHV-Prüfung zu bestehen, sondern auch - und vor allem - um dich in Zukunft zu unterstützen, das Schönste vom Fliegen zu erleben und neue Ziele zu realisieren.

Gemütlicher Flug bei Hummel in der Nähe von Einsiedeln

Wettermodelle

Ohne Daten läuft nichts.

Prognosen werden von Wettermodellen generiert, die von Meteorologen (und von uns) interpretiert werden.

Die Wettermodelle sind spezielle Computerprogramme, die hungrig nach Daten sind. Ohne Daten läuft nichts. Aus diesem Grund werden viele Millionen Messungen unter anderem über Luftdruck, -feuchtigkeit und -temperatur, Windstärke und -richtung, aber auch über den Zustand des Bodens und der Ozeane aus der ganzen Welt mit Satelliten, Wetterstationen, Radiosonden, Schiffen und Flugzeugen erfasst.

Diese Wetterdaten beschreiben den aktuellen Zustand der Atmosphäre und bilden die Ausgangslage für die Wetterprognose.

Die Wetterprognose und die Welt

Das Wetter in Washington kann einige Tage später einen Einfluss auf das Wetter in Bern haben und das Wetter in Bern könnte später bestimmen, wie sich das Wetter in Moskau verändert.

Aus diesem Grund brauchen wir Wettermodelle, die global «denken» und die Wetterdaten aus der ganzen Welt bearbeiten.

Diese Wettermodelle werden auch GLOBALE WETTERMODELLE genannt und tragen Abkürzungen wie z.B.

- GFS (Global Forecast System)
- ECMWF, auch EZ genannt (Europäisches Zentrum für mittelfristige Wettervorhersage)
- UKMO (United Kingdom Met Office)
- usw.

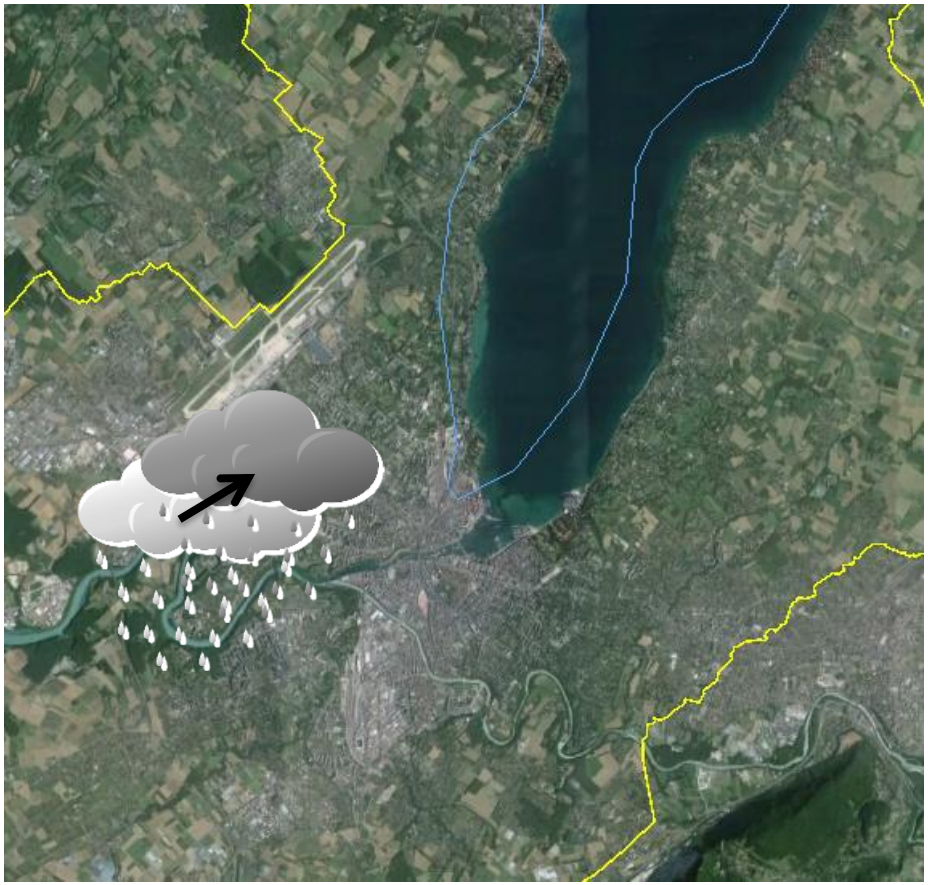
Schritt für Schritt...

Sobald die globalen Wettermodelle mit aktuellen Daten gespeist sind, können die Computerprogramme mit der Arbeit beginnen - das heisst, sie können die notwendigen Berechnungen durchführen, um die ersehnten Prognosen zu erstellen.

Alle Wettermodelle funktionieren nach einem ähnlichen Prinzip. Dazu EIN SEHR VEREINFACHTES BEISPIEL:

Es ist 12 Uhr. Über Genf regnet es. Der Wind aus Südwesten weht mit einer konstanten Geschwindigkeit von 60 km/h auf jeder Höhe. Das ist der aktuelle Zustand der Atmosphäre.

Das Wettermodell rechnet aufgrund vom aktuellen Zustand der Atmosphäre, wo sich voraussichtlich die Niederschlagszone eine Minute später befinden wird. Die Antwort lautet: Die Niederschlagszone über Genf wird sich in einer Minute 1 km Richtung Nordosten bewegen. Das ist die erste Prognose.



Die Regenwolke über Genf bewegt sich voraussichtlich in einer Minute 1 km Richtung NO

… bis zum Ergebnis

Dann folgt die zweite Prognose: Nach einer weiteren Minute hat sich die Niederschlagszone über Genf wieder 1 km Richtung NO bewegt.

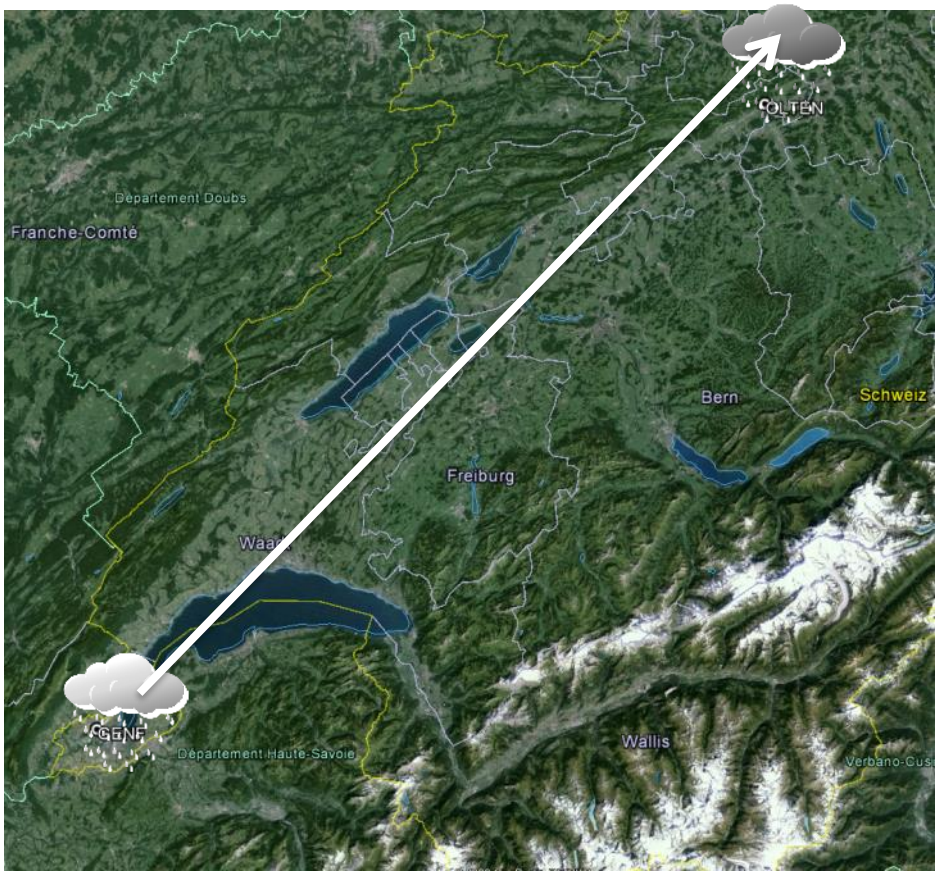
Und eine Minute später hat sie sich wieder 1 km Richtung NO bewegt (das ist die dritte Prognose). Und so geht es weiter…

Jede Prognose basiert auf der vorherigen Prognose.

Was wir von den Computern als Ergebnis bekommen, ist nicht die berechnete Position der Regenwolke nach jeder einzelnen Minute, sondern die Position der Niederschlagszone z.B. 3 Stunden später.

Weil der Wind mit einer Geschwindigkeit von 60 km/h weht, wird sich die Regenwolke über Genf 3 Stunden später 180 km Richtung NO verschoben haben und Olten erreichen.

So funktionieren Wettermodelle: *Nicht einmal so schwierig, oder?*



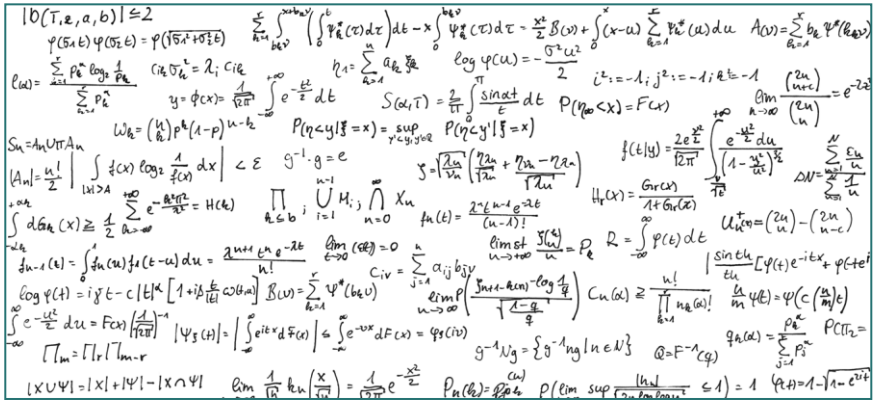
Das Wettermodell sieht voraus, dass sich die Regenwolke in 3 Stunden von Genf 180 km Richtung NO bewegt und somit Olten erreicht.

Viele Einflussfaktoren

Aber alles ist doch um einiges komplizierter. Ob sich die Regenwolke weiterhin bewegt, ob sie wächst, schrumpft oder sich ganz auflöst, hängt von verschiedenen Faktoren ab, unter anderem von der Topographie der Landschaft, von der Sonneneinstrahlung, vom Luftdruck, von den vertikalen Luftbewegungen, vom Wind, von der Dichte der Wolken in den verschiedenen Stockwerken der Atmosphäre, der Feuchtigkeit usw.

Die Wettermodelle arbeiten mit sehr komplexen mathematischen Gleichungen, um ihre Prognosen zu generieren.

Zum Glück müssen wir nichts davon verstehen: Wir bekommen das Ergebnis in graphischer Form, z.B. mit dem Symbol einer Wolke mit Regentröpfchen über Olten.



=

Höchstleistung

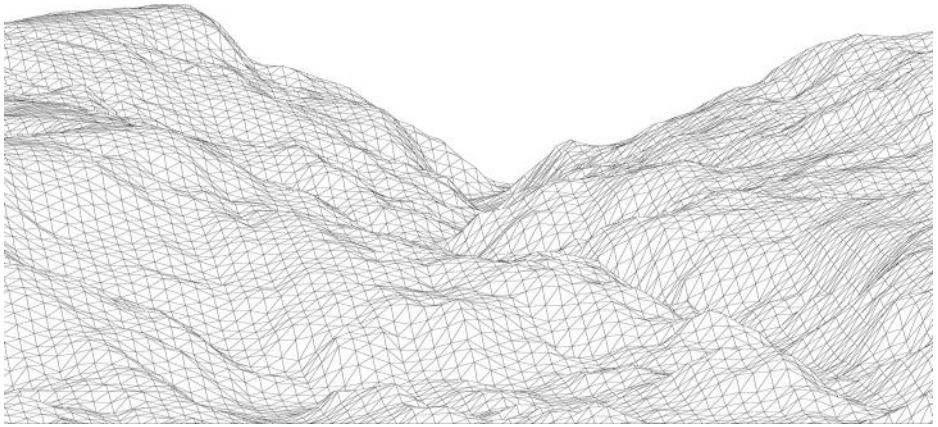
Die Wettermodelle sind das Produkt intensiver Forschungstätigkeit und mathematischer Höchstleistung.

Für Laien (das heisst für fast alle Menschen auf dieser Erde) ist kaum vorstellbar, was für eine Arbeit diese Computer leisten, um alle Daten zu bearbeiten, so dass wir im Voraus wissen, ob man Samstagabend draussen grillieren kann oder ob es besser ist, an ein Schlechtwetterprogramm zu denken.

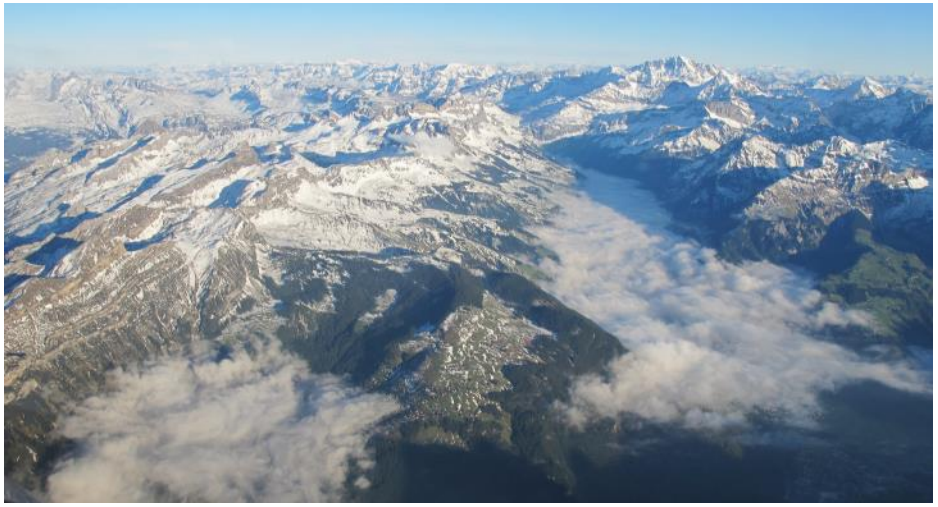
Fehlerquellen

Trotzdem können die Wettermodelle aus verschiedenen Gründen versagen. Unter anderem weil:

- die Beschreibung des aktuellen Zustandes der Atmosphäre, auf die die Prognose stützt, lückenhaft und nicht 100% korrekt ist
- viele Faktoren interagieren und die Auswirkungen dieser Interaktionen auf die Wetterentwicklung nicht 100% bekannt sind
- weil die Topographie in den Wettermodellen stark vereinfacht ist
- weil die Leistung der Computer nicht reicht, um zu berechnen alles, was in der Atmosphäre passiert
- usw.



Wettermodelle arbeiten mit einer vereinfachten Topographie und dies hat einen Einfluss auf die Zuverlässigkeit der Prognose



Zuverlässigkeit der Prognose

Daraus folgt eine erste ganz wichtige Erkenntnis: Es ist nicht nur wichtig herauszufinden, wie sich das Wetter am geplanten Flugtag entwickeln wird, sondern es ist auch von zentraler Bedeutung zu erfahren, OB DIE PROGNOSE FÜR DEN GEPLANTEN FLUGTAG ÜBERHAUPT ZUVERLÄSSIG IST.

Weil: Die Aussicht auf die besten Thermiken nützt dir nichts, wenn du nicht weisst, ob eine zuverlässige Thermikprognose überhaupt möglich ist!

Mit diesen Unterlagen wirst du lernen, dass der erste Schritt für eine gute Prognose darin besteht, ihre Zuverlässigkeit zu beurteilen.

Quelle: Alexandra Lande

Schachbrett

Die Welt in den Wettermodellen sieht wie ein Schachbrett aus (die Meteorologen sprechen vom «Gitternetz»): das Wettermodell legt fest, wie gross die Vierecke des Schachbrettes sind.

Innerhalb von diesem Viereck gilt für eine bestimmte Höhe ein einziger Durchschnittswert betreffend Temperatur, Feuchtigkeit, Windstärke, -richtung usw.

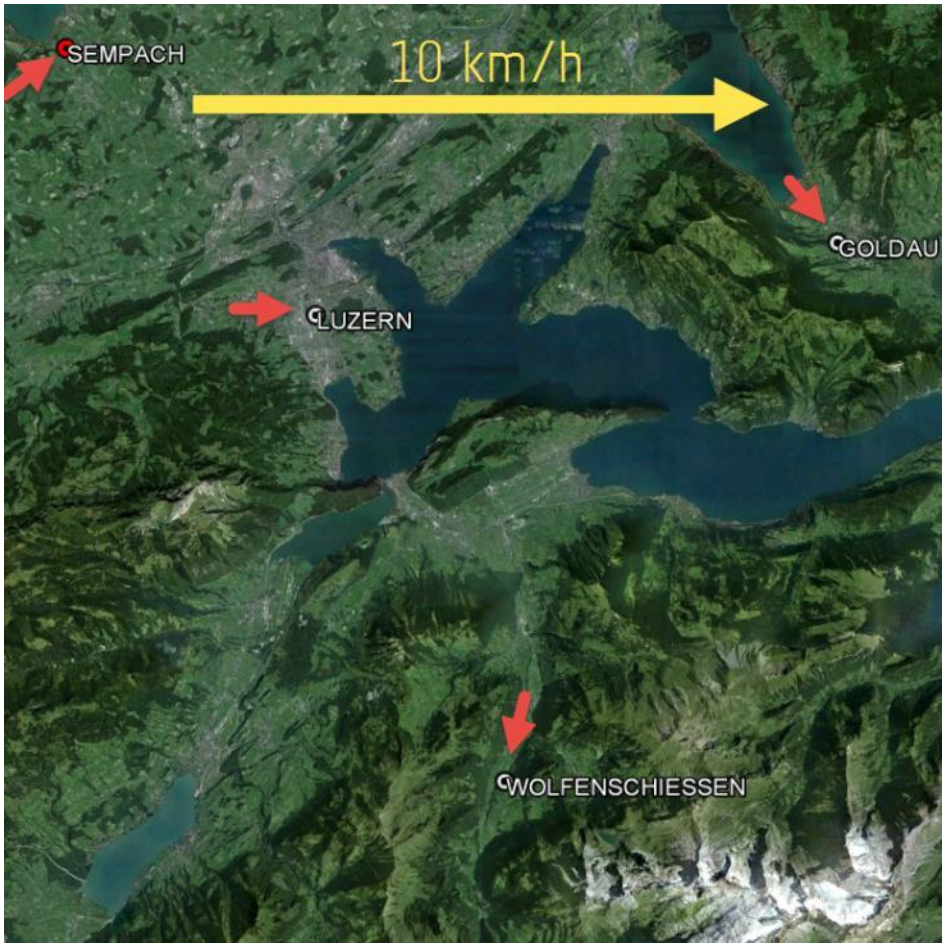
Kannst du schon erahnen, wo das Problem liegt?

Das Gitternetz der Wettermodelle sieht wie ein dreidimensionales Schachbrett aus

Nur eine Prognose für ein ganzes Gebiet

Zeichnen wir im Gebiet um Luzern ein Viereck mit einer Seitenlänge von etwa 28 km. Auf z.B. 500 m über Meer gilt für alle Regionen in diesem Viereck nur eine einzige Windprognose und diese ist in Luzern gleich wie in Sempach, in Goldau sowie auch in Wolfenschiessen.

Es ist aber durchaus realistisch, dass aufgrund der komplexen Schweizer Topographie in Sempach der Wind aus SW mit 5 km/h weht, in Luzern aus W mit 10 km/h, in Goldau aus NW mit 15 km/h und in Wolfenschiessen aus N mit 20 km/h.

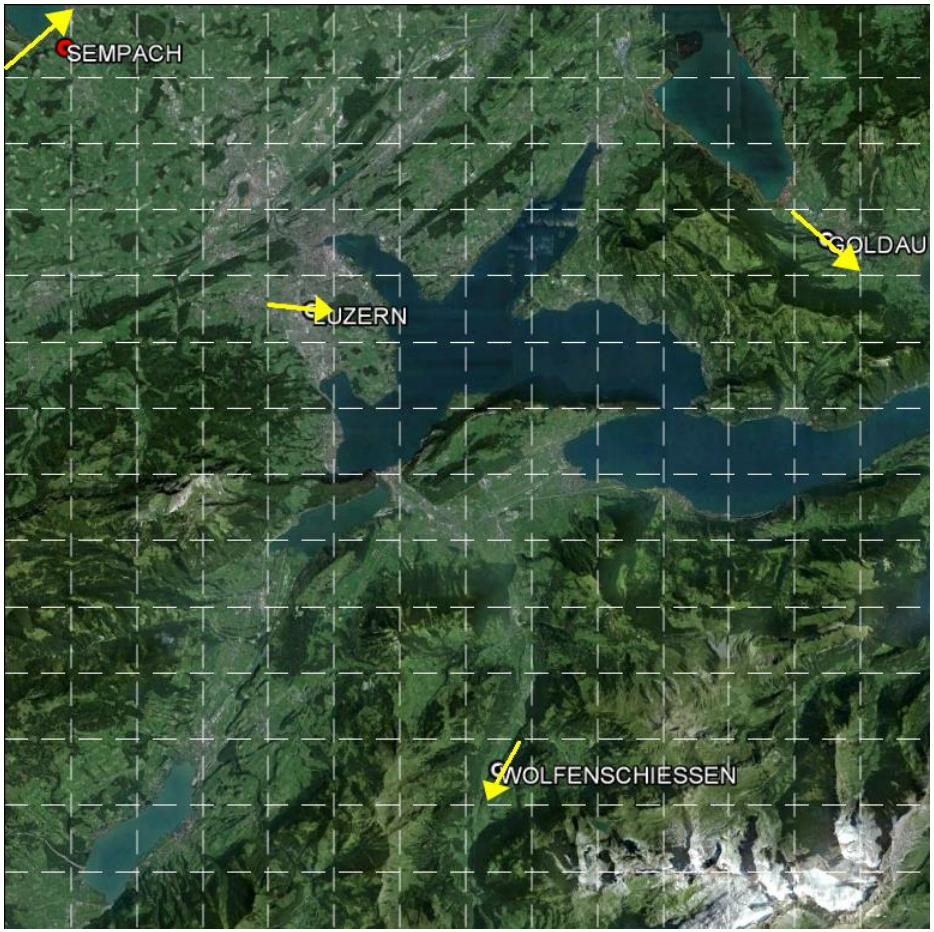


Für das hier abgebildete Viereck gilt nur eine Windprognose und sie stimmt für Gebiete im Tal wie Goldau und Wolfenschiessen wahrscheinlich nicht

Regionale Wettermodelle

Globale Wettermodelle ermöglichen keine präzisen regionalen Prognosen in unserem Land, u.a. weil ihr Gitternetz aus zu grossen Vierecken besteht. Man kann auch sagen, dass die Auflösung der Modelle zu gering ist. Aus diesem Grund brauchen wir regionale und lokale Wettermodelle: Sie übernehmen die Daten der globalen Wettermodelle, arbeiten mit einer genaueren Topographie, berücksichtigen weitere Faktoren, die in einer bestimmten Region für das Wetter relevant sind und generieren Prognosen für kleinere Vierecke als die globalen Wettermodelle (z.B. mit einer Auflösung von 2 km).

Auch die regionalen Wettermodelle haben ganz unterschiedliche Abkürzungen, wie z.B. ALARO, COSMO, NMM und WRF. Für deinen Alltag als Pilot reicht es, dass du weisst, dass es verschiedene regionale Modelle mit ihren Besonderheiten, Stärken und Schwächen gibt. Details dazu musst du nicht kennen.



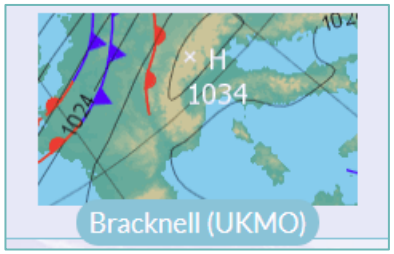
Regionale und lokale Wettermodelle übernehmen die Daten der globalen Wettermodelle und weil sie weitere relevante Faktoren berücksichtigen, liefern sie bessere lokale Prognosen.

Verschiedene Wettermodelle für eine Prognose

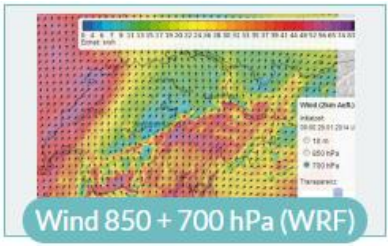
Die Wetterseite von 5Steps.ch wurde so konzipiert, dass du automatisch in Kontakt mit verschiedenen Wettermodellen kommst - und das ist gut so:

- wenn sie die gleiche Prognose liefern, ist dies ein Hinweis, der für ihre Zuverlässigkeit spricht
- wenn sich die Prognosen widersprechen, dann beginnt die schwierige Arbeit. Du musst herausfinden, welches Wettermodell in diesem Fall zuverlässig ist. Dazu braucht man Wissen und Erfahrung... und die Bereitschaft, zu akzeptieren, dass eine zuverlässige Prognose nicht immer möglich ist

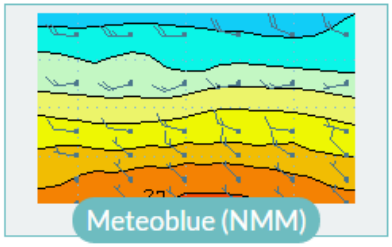
Spaghetti und 500hPa (GFS)



Bracknell (UKMO)


Wind 850 + 700 hPa (WRF)

Föhn (EZ+MOS) - WRF


Meteoblue (NMM)

Wolken (COSMO 2)

Quelle: Alexandra Lande

Wetterprognose in 5 Schritten

Überblick

Überblick einer systematischen Prognose

Für eine zuverlässige Prognose über dein Fluggebiet brauchst du 5 bis 10 Minuten, wenn du systematisch vorgehst und ein gewisses Hintergrundwissen zum Thema «Wetter» hast.

Wie geht man systematisch vor? DAZU GIBT ES VERSCHIEDENE SINNVOLLE VARIANTEN.

Auf den nächsten Seiten beschreibe ich kurz eine davon: DABEI VERWENDE ICH SCHWIERIGE AUSDRÜCKE, DIE DU WAHRSCHEINLICH NICHT VERSTEHEN WIRST. MACHE DIR DABEI KEINE SORGEN UND LIES WEITER: Die schwierigen Ausdrücke werden später in diesen Unterlagen erklärt.

Vorerst geht es darum, einen Überblick zu geben über das systematische Erstellen einer Prognose.

Schritt 1 - Zuverlässigkeit der Druckverteilung

Der erste Schritt bei **mittel- bis langfristigen Prognosen (3 Tage+)** besteht darin ihre Zuverlässigkeit zu beurteilen.

Dazu dienen die SPAGHETTI. Hierbei handelt es sich um eine Vorgehensweise, die die Verlässlichkeit der Prognose des Luftdruckes grafisch darstellt. Wenn die Spaghetti ein chaotisches Muster darstellen, dann ist die Prognose unzuverlässig und du kannst dir die Mühe sparen, weitere Wettervorhersagen anzuschauen.

Wenn dagegen die SPAGHETTI ein kohärentes Muster darstellen, vergleichst du anschliessend die 500 hPa-Karte vom GFS mit dieser vom EZ. Führen beide Modelle zu ähnlichen Schlussfolgerungen, lohnt es sich weitere Prognosen z.B. über Wind, Wolken, Thermiken usw. zu studieren.

Für Schritt 1 brauchst du meistens 1 Minute.

Die Spaghetti bilden in diesem Fall ein chaotisches Muster ab. Die Prognose der Luftdruckverteilung ist nicht zuverlässig.

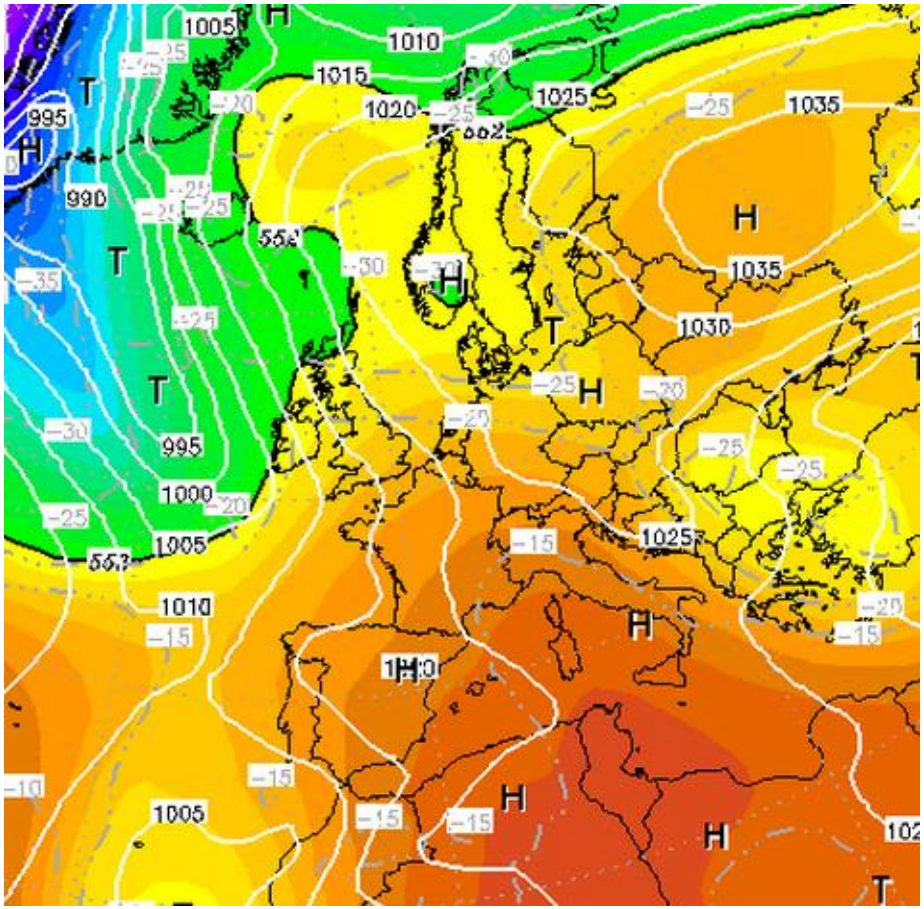
Schritt 2 - Allgemeine Lage

Nehmen wir an, dass eine zuverlässige Prognose für den geplanten Flugtag möglich ist. Dann leitest du den 2. Schritt ein:

- ISOBAREN-KARTE
  Mit einer Isobaren-Karte untersuchst du die Druckverteilung auf Meereshöhe, die Position der Fronten, das Risiko von Gewitterwolken und von Föhn.
- 500 HPA-KARTE (+ 700 HPA- & 850 HPA-KARTE)
  Mit einer 500 hPa[1]-Karte findest du heraus, wie stark der Wind in grosser Höhe weht und ob sich die Schweiz in einem Trog, in einem Keil oder im Einflussbereich eines Kaltlufttropfens befindet.

Am Ende von Schritt 2 hast du meistens eine gewisse Vorstellung, welche Wetterprognose für den geplanten Flugtag realistisch ist und bist somit in der Lage, die Qualität der Vorhersagen der regionalen Wettermodelle zu beurteilen. Für Schritt 2 brauchst du meistens 2 Minuten.

[1] hPa = Hektopascal



Die 500 hPa-Karte zeigt, dass sich die Schweiz in einem Keil befindet, was im Frühling und im Sommer auch für das Mittelland für schönes Wetter spricht. Im Herbst/Winter bildet sich dagegen im Mittelland Nebel oder Hochnebel im Einflussbereich eines Hochdruckgebietes.

Schritt 3 - Regionale Prognose

Der 3. Schritt besteht darin, die Wind-, Föhn-, Wolken-, Nebel- und Niederschlagprognose für Mitteleuropa und für die Schweiz zu studieren.

Dazu verwendest du Prognosen, die mit unterschiedlichen regionalen Wettermodellen generiert wurden. Nach diesem Prinzip wurde die Wetterseite von 5Steps.ch gebaut, so dass du - ohne es zu merken - in Kontakt mit verschiedenen Wettermodellen kommst.

Am Ende von Schritt 3 hast du meistens eine klare Vorstellung, welche Wetterentwicklung du in deinem Gebiet am geplanten Flugtag erwarten kannst.

Für SCHRITT 3 brauchst du meistens 3 Minuten.

Föhnwellen (auch Lenticularis oder Linsenwolken genannt) über den Bergen

Schritt 4 - Lokale Prognose und Thermikprognose

Mit dem 4. Schritt konzentrierst du dich auf dein Fluggebiet.

Da du weisst, wie die allgemeine und regionale Wetterlage aussieht, kannst du auch die lokale Prognose, z.B. am Zugerberg oder in Fiesch beurteilen.

Erneut beschäftigst du dich mit der Wind-, Wolken-, Nebel- und Niederschlagprognose (dieses Mal spezifisch für dein Fluggebiet), aber auch mit der Prognose des Temperaturverlaufes und der Feuchtigkeit der Atmosphäre, die entscheidend mitbestimmen, ob sich Thermiken entwickeln und wie hoch die Basis der Quellwolken ist.

Für Schritt 4 brauchst du meistens 2 Minuten.

Quellwolken weisen auf Thermiken hin

Schritt 5 - Aktuelle Wetterlage

Nach dem 4. Schritt ist die Prognose beendet. Seit dem ersten Schritt sind etwa 5 bis 10 Minuten vergangen.

Der 5. Schritt findet erst am geplanten Flugtag statt: NACH BEDARF analysierst du die aktuelle Wind-, Druck- und Wolkenverteilung, um sicher zu sein, dass die Prognose auch wirklich stimmt.

Zum Briefing gehört noch ein 6. Schritt: DABS, Lufträume, Hindernisse und Schutzgebiete werden konsultiert. Diese Themen werden mit den Lernunterlagen «LUFTRAUM, NUTZUNGSREGELN UND NAVIGATION» vertieft. Diese kannst du auf www.5steps.ch/shop bestellen oder als Demo auf www.5steps.ch/ausbildung-privat.asp konsultieren.

Es geht los!

Auch wenn du nicht jedes Detail der vorherigen Seiten verstanden hast, hast du sicher festgestellt, dass eine systematische Prognose stufenweise erfolgt: Vom Globalen (Schritt 2) zum Lokalen (Schritt 4) oder anders ausgedrückt von Europa (Schritt 2) zum eigenen Hausberg oder gewünschten Fluggebiet (Schritt 4).

Ab jetzt wird dir das Grundlagewissen vermittelt, das du brauchst, um eine Prognose zu erarbeiten: Den ersten Schritt (Beurteilung der Zuverlässigkeit der Prognose) müssen wir jedoch vorerst überspringen, bis wir gelernt haben, die 500 hPa-Karte zu interpretieren.

Aus diesem Grund beginnt unser Abenteuer mit Schritt 2, genauer gesagt mit der Isobaren-Karte.

ALLE **WETTER-KARTEN**, DIE IN DIESEN UNTERLAGEN GEZEIGT WERDEN, FINDEST DU AUF:

- www.5steps.ch/meteo

VIDEOANLEITUNGEN, DIE ZEIGEN, WIE MAN EINE PROGNOSE IN 5 SCHRITTEN ERARBEITET, FINDEST DU AUF:

- www.5steps.ch/wetter-videoteaching.asp

Schritt 2

Allgemeine Lage

Allgemeine Lage

Fachpersonen arbeiten für dich!

Es wäre schade, diese wertvollen Informationen zu ignorieren. Vor allem für kurzfristige Prognosen (heute oder morgen) lohnt es sich zu lesen, was uns die Experten mitteilen.

Diese Prognosen werden häufig allgemein gehalten. Immerhin adressieren sie die ganze Bevölkerung und nicht nur Piloten. Sie machen dich jedoch auf Wetterphänomene aufmerksam, die du dann vertiefen kannst. Zudem erleichtern und beschleunigen die Expertenberichte deine eigene Wetteranalyse.

Wetterberichte von Experten auf www.5steps.ch/meteo unter SCHRITT 2.

Wetterbericht

« Eiszeit: heute -2 Grad, morgen kaum mehr als -5 Grad. Mit starker Bise gefühlt noch viel kälter. »

Daniela Schmuki
SRF Meteo

Sonntag, 25. Februar 2018, 12:00 Uhr

Allgemeine Lage

Meteosat Satellitenbild, Infrarotkanal.

Hoch «Hartmut» über Skandinavien ist verantwortlich für die eiskalte Bisentrömung bei uns. Sie hält bis weit in die neue Woche hinein an. Die kälteste Luft erreicht uns am Montag und Dienstag. In den tiefen Luftschichten hat es zum Teil noch feuchte Hochnebelluft. Darüber, im Norden und im Westen ist die Luft trockener.

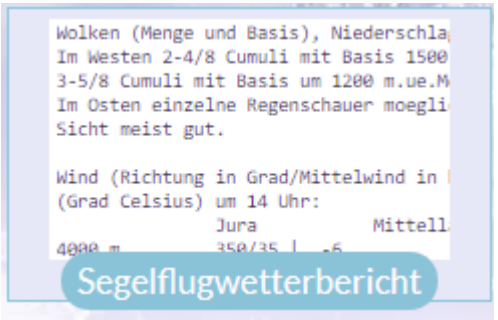
Prognose bis Montagabend

Bodensee bis Genfersee, Jura und Region Basel
Heute löst sich der Hochnebel am Nordrand der Schweiz, in der Nordwestschweiz, im Jura und in der Romandie weiter auf. In Richtung Voralpen ist er hartnäckiger, lokal fällt wenig Schnee. Mit starker Bise werden kaum mehr als -2 Grad erreicht. In der Nacht liegen die Tiefstwerte bei -10 bis -14 Grad.
Morgen bläst die Bise noch etwas stärker, die Böen liegen bei 60 km/h, am Genfersee bei 80 km/h. Dazu gibt es erst ein Wechselspiel aus Sonne und Hochnebelschwaden, später zieht mehr Hochnebel auf auf bei maximal -5 Grad.

Fachpersonen arbeiten für uns.

Segelflugwetterbericht

Eine der interessantesten Informationsquellen für Gleitschirmpiloten ist der Segelflugwetterbericht, der im Frühling und Sommer veröffentlicht wird.



In diesem Bericht findest du Angaben für den aktuellen Tag am Nachmittag über Wolken (Höhe, Art und Ausbreitung), Niederschlag, Sicht, Windrichtung, Inversion und Thermikprognose. Es ist sinnvoll, Zeit zu investieren, um mit dem Segelflugwetterbericht vertraut zu werden, ohne dabei zu vergessen, dass die Zielgruppe dieser Prognose nicht Gleitschirm-, sondern Segelflugzeugpiloten sind. Wenn z.B. von Föhnwellen die Rede ist, können sie von Segelflugzeugen genutzt werden, um hoch zu steigen. Für Hängegleiter empfiehlt es sich dagegen beim Föhn, am Boden zu bleiben.

```
Wolken (Menge und Basis), Niederschlag, Sicht:
MLL 2-3/8 Cu Basis 1500-1800 m ue.M, Jura/Voralpen 3-5/8
Cu Basis 1700-2000 m ue.M, Alpen 4-6/8 Cu Basis 1800-2200
m ue.M, Hochalpen 3-5/8 Cu Basis 2300-2600 m ue.M,
Alpensuedhang 1-3/8 Cu Basis 2200-2600 m ue.M.
Insbesondere ueber den Alpen zudem ausgedehnte Ac/As/Ci.
Weiterhin einige Schauer, Schwerpunkt am Alpennordhang.
Sicht ausserhalb der Schauer gut.

Thermik:
Am ehesten im Mittelland schwache Thermik moeglich, In den
uebrigen Regionen wegen deutlich reduzierter Einstrahlung
wahrscheinlich kaum Thermikentwicklung.
```

Abschnitte vom Segelflugwetterbericht:

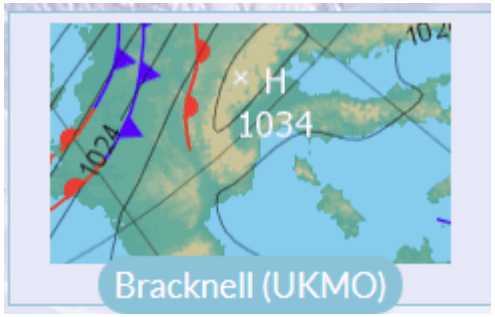
MLL = Mittelland
Cu = Cumulus (Quellwolke)
Basis = Wolkenuntergrenze
Ac = Altocumulus
As = Altostratus
Ci = Cirrus

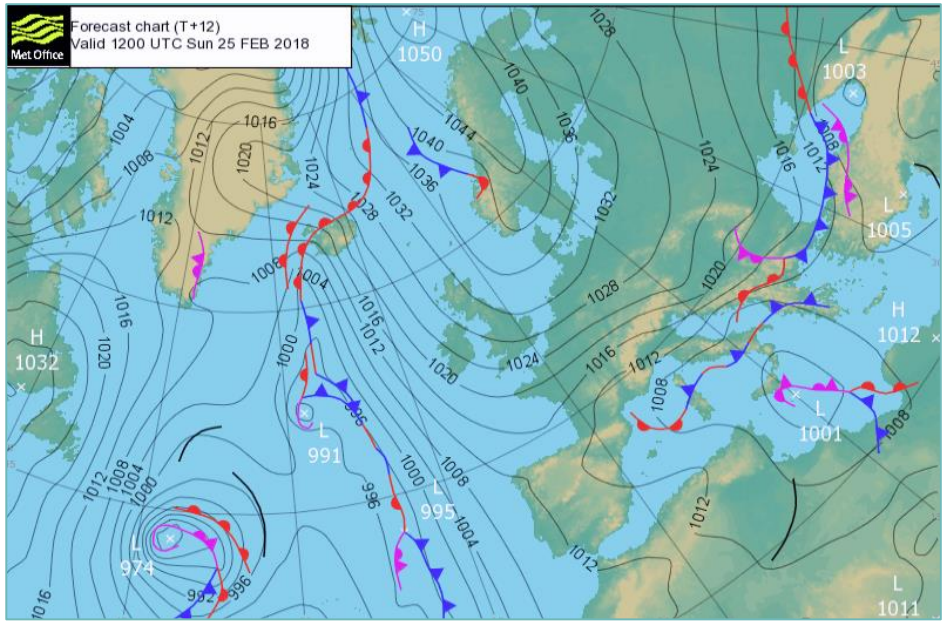
Isobaren-Karten

Isobaren-Karten zeigen u.a. die Luftdruckverteilung auf Meereshöhe und die Position der Fronten. Es gibt Isobaren-Karten von verschiedenen Anbietern.

Obwohl die Isobaren-Karte vom Wettermodell UKMO (auch Bracknell-Karte genannt) am Anfang gewöhnungsbedürftig ist, arbeite ich sehr gerne damit. Sie ist sehr detailliert und liefert wertvolle Informationen für die Prognose. Ich werde aus diesem Grund nachfolgend Bracknell als Isobaren-Karte verwenden.

Wer will, kann sich aber auch für eine andere Isobaren-Karte entscheiden. Das nötige Grundwissen für die Interpretation ist zum grossen Teil von der ausgewählten Isobaren-Karte unabhängig.



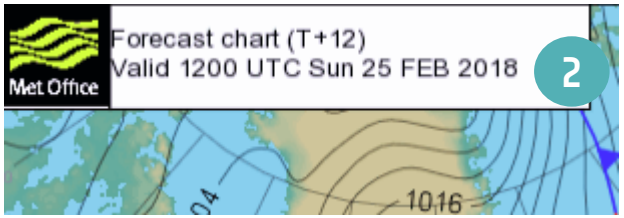


Isobaren-Karte von UKMO: Sie ist sehr detailliert und liefert wertvolle Informationen, die für unsere fliegerische Aktivität relevant sind

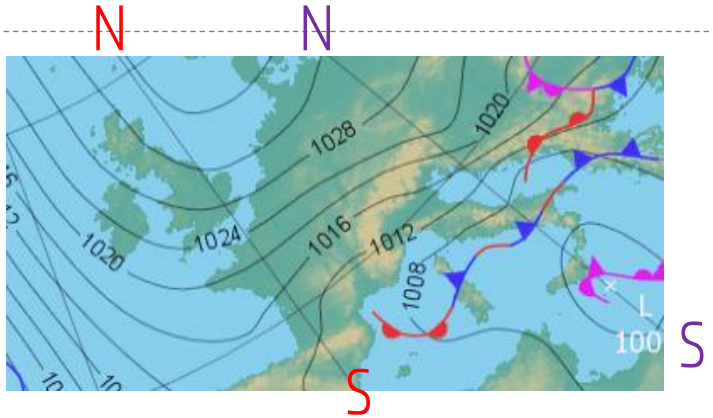
Datum und N-S-Achse

Für Bracknell gilt insbesondere, dass man die Karte «richtig» ausrichten muss (1). Die feinen diagonalen Linien, die von oben nach unten verlaufen, stellen die NORD-SÜD-Achse dar. Möchte man die Windrichtung in Bracknell korrekt interpretieren, muss man die Karte so «drehen», bis sich die Schweiz auf der vertikalen N-S-Achse befindet.

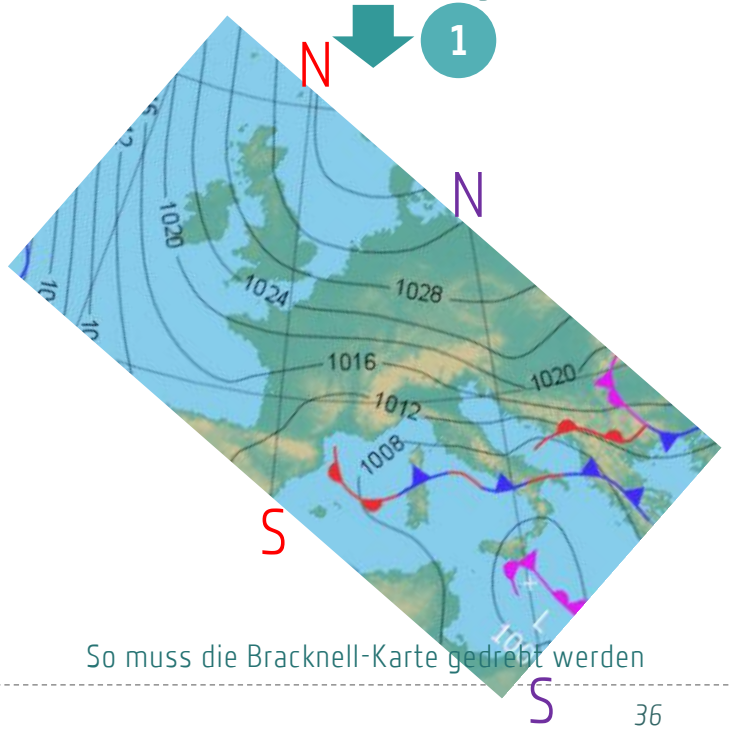
Für jede Prognose gilt grundsätzlich: Man muss immer DATUM und ZEIT der Prognose ÜBERPRÜFEN (2)! Wer das nicht tut, wird irgendwann die Prognose für den falschen Tag und/oder für die falsche Zeit studieren. Dies passiert auch, weil gelegentlich Prognosen aufgrund von technischen Fehlern nicht aktualisiert werden.



Datum und Zeit der Prognose müssen immer überprüft werden. Dargestellt ist die Prognose für den 25.2 (Sonntag) um 13 Uhr lokale Zeit



So wird die Bracknell-Karte dargestellt



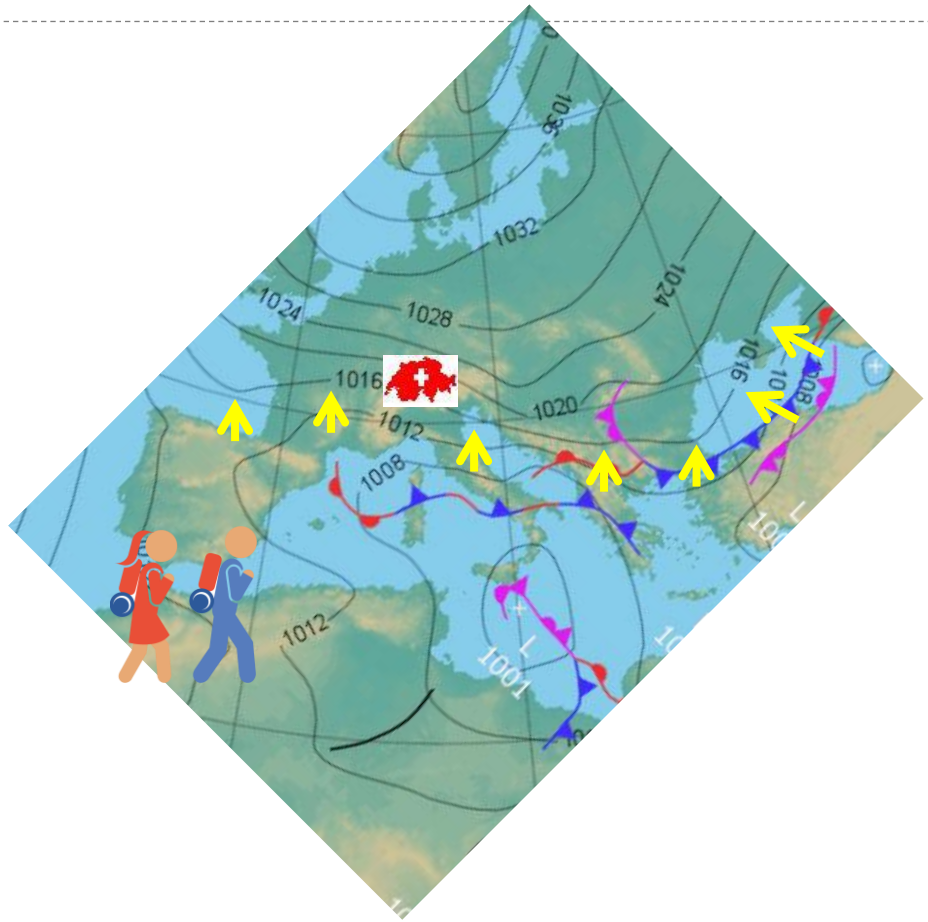
So muss die Bracknell-Karte gedreht werden

Isobaren

Die Isobaren-Karte wird auch Bodenkarte genannt. Eine Isobare ist eine Linie, die auf Meereshöhe Regionen verbindet, welche den gleichen Luftdruck haben.

Würdest du entlang einer Isobare - die mit der Zahl 1016 benannt ist - AUF MEERESHÖHE laufen, würdest du merken, dass der angezeigte Luftdruck von 1016 hPa auf dem Display deines Barometers mehr oder weniger gleich bleibt.

Eine Isobaren-Karte stellt die Luftdruckverteilung auf Meereshöhe dar. Wie wird aber der aktuelle Luftdruck auf Meereshöhe erfasst? Das ist nicht so einfach, wenn man folgendes bedenkt: Die Mehrzahl der Wetterstationen, welche den Luftdruck erfassen, liegen keineswegs auf Meereshöhe - aber die Höhe über Meer hat einen grossen Einfluss auf den Luftdruck!



Die Isobare ist eine Linie gleichen Luftdruckes (z.B. 1016 hPa) auf Meereshöhe

Je höher die Station, desto tiefer der Luftdruck

Je höher eine Wetterstation liegt, desto tiefer ist der angezeigte Luftdruck (*mehr dazu später*).

Hier ein Beispiel:

- Jungfraujoch - 3'580 müM - 668 hPa
- Gütsch - 2'280 müM - 781 hPa
- Chasseral - 1'600 müM - 847 hPa
- Bern - 550 müM - 960 hPa

Um die Luftdruckwerte von Wetterstationen auf verschiedenen Höhen zu vergleichen und für eine Isobaren-Karte zu nutzen, muss umgerechnet werden, wie hoch der Luftdruck wäre, würden sich die Wetterstationen auf Meereshöhe befinden.

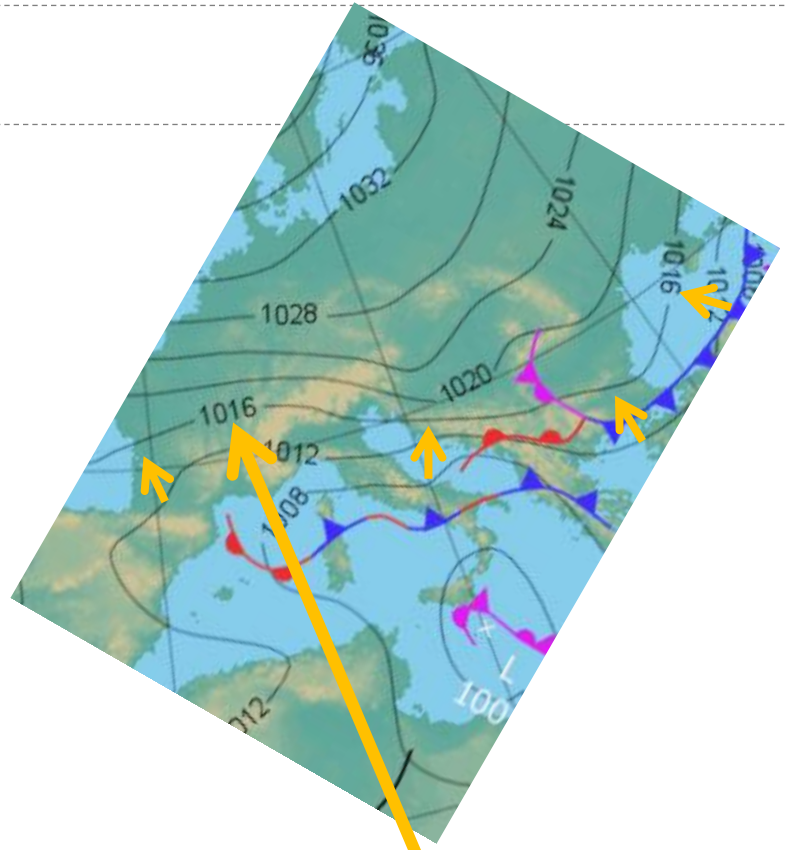
Z.B. liegt Grenchen auf 430 m über Meer. Der Luftdruck in Grenchen beträgt 967 hPa. Wie hoch wäre der Luftdruck von Grenchen, würde diese Gemeinde auf Meereshöhe, das heisst 430 m tiefer liegen? Dieser Wert wird errechnet. Die Antwort lautet: Grenchen auf Meereshöhe hätte einen Luftdruck von 1016 hPa.

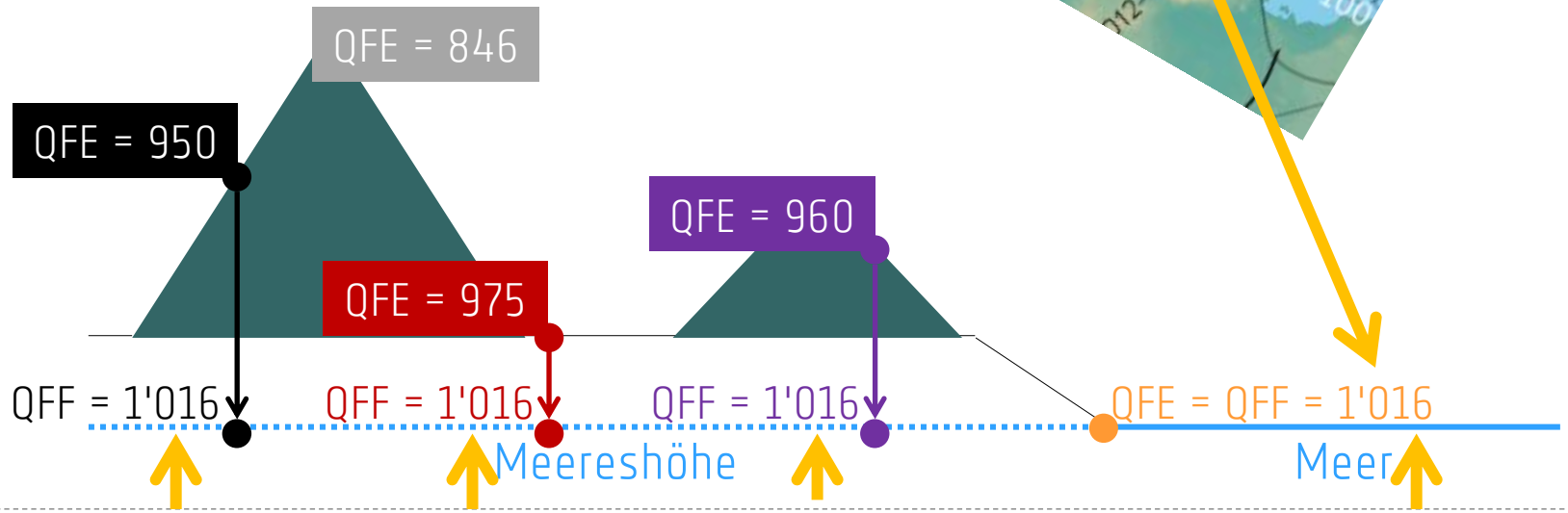
Wunderschöne Aussicht bei meinem Flug über den Alpen.
Die Jungfraujoch und im Hintergrund der Aletschgletscher. Hier auf etwa 4'200 m über Meer ist der Luftdruck tief.

QFE, QFF

Der Luftdruck auf Stationshöhe wird auch QFE genannt. Aufgrund des AKTUELLEN Zustandes der Atmosphäre (aktuelle Temperatur, aktuelle Feuchtigkeit...) wird umgerechnet, wie hoch der Luftdruck wäre, würden verschiedene Wetterstationen auf Meereshöhe liegen: Diese umgerechneten Luftdruckwerte nennt man QFF und werden für die Isobaren-Karte gebraucht.

Für die Umrechnung nimmt man nur die QFE-Werte von tiefer gelegenen Wetterstationen, um den Umrechnungsfehler so gering wie möglich zu halten.





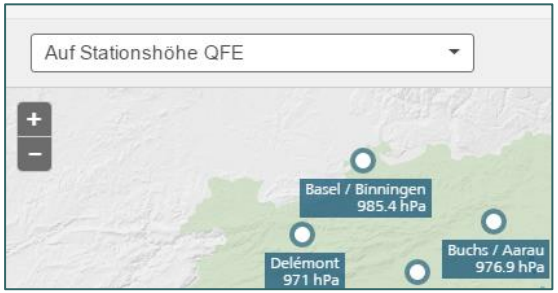
QFE, QFF, QNH

Wir rekapitulieren und ergänzen:

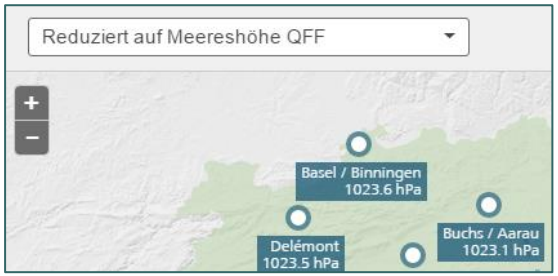
- QFE sind Luftdruckwerte auf Stationshöhe: Je höher gelegen die Wetterstation, desto tiefer der QFE-Wert
- QFF sind umgerechnete Luftdruckwerte auf Meereshöhe aufgrund des AKTUELLEN Zustandes der Atmosphäre. QFF-Werte brauchen wir für die Isobaren-Karte, aber auch um herauszufinden, wie gross das Risiko von Föhn ist

QNH sind auch umgerechnete Luftdruckwerte auf Meereshöhe, aber man verwendet als Grundlage für die Berechnung nicht den aktuellen Zustand der Atmosphäre, sondern diesen der STANDARDATMOSPHÄRE. Das Thema «Standardatmosphäre» müssen wir nicht vertiefen. Es reicht, wenn du weisst, dass dein Vario- und Höhenmeter aufgrund von QNH-Werten herausfindet, wie hoch du bist, und ob du steigst oder sinkst.

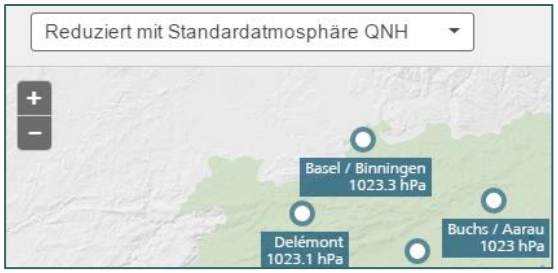
QFE, QFF und QNH sind keine Abkürzungen! Die Q-Schlüssel wurden in der Morsezeit willkürlich definiert, um die Kommunikation zu beschleunigen (für Details siehe de.wikipedia.org)



QFE-Werte - Luftdruckwerte auf Stationshöhe



QFF-Werte auf Meereshöhe (berechnet aufgrund der Eigenschaften der aktuellen Atmosphäre)

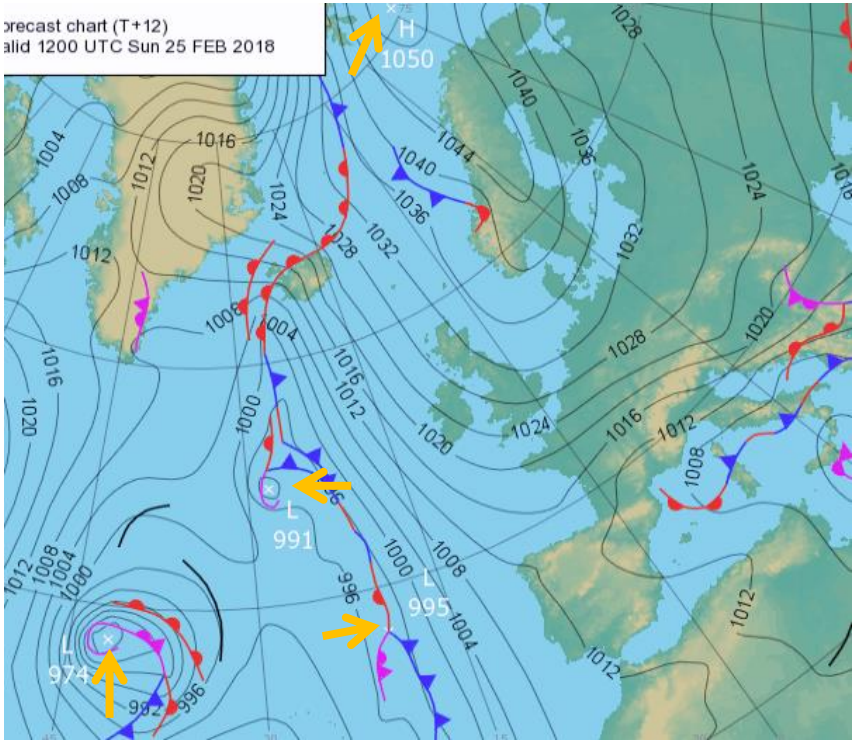


QNH-Werte auf Meereshöhe (berechnet aufgrund der Eigenschaften der Standardatmosphäre)

H und L

Der Luftdruck (QFF) schwankt meistens zwischen 970 hPa und 1040 hPa.

Die höchsten (H=high) und tiefsten (L=low) Luftdruckwerte auf Meereshöhe werden in der Bracknell-Karte pro Region weiss geschrieben. Ein «X» zeigt jeweils, wo der maximale oder minimale Luftdruckwert erwartet wird.



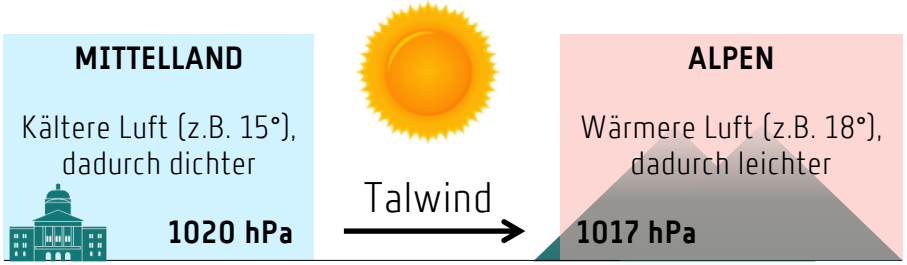
Die höchsten und tiefsten Luftdruckwerte (QFF) sind in der Bracknell-Karte jeweils weiss geschrieben.

Die Luft fliesst zum Gebiet mit tieferem Druck

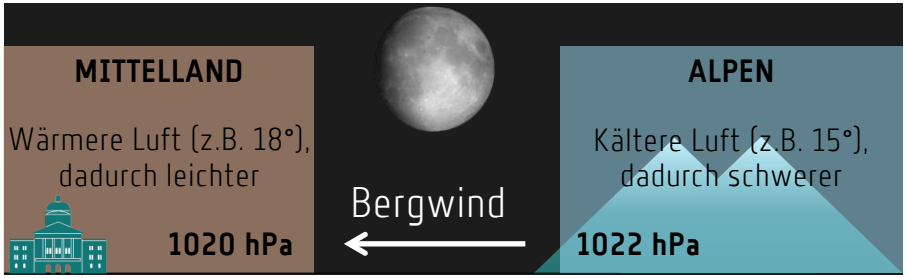
Die Luft bewegt sich von einem Gebiet mit höherem Druck zu einem Gebiet mit tieferem Druck. So entsteht der Wind.

- Wenn im Sommer in Mittelland der Luftdruck 3 hPa höher ist als in den Alpen, dann fliesst die Luft vom Mittelland Richtung Alpen: So entsteht der TALWIND
- Wenn während der Nacht der Luftdruck in den Alpen höher ist als im Mittelland, fliesst die Luft von den Alpen Richtung Mittelland: So entsteht der BERGWIND
- Wenn im Tessin der Luftdruck deutlich höher ist als in der Nordschweiz, dann weht der Wind Richtung Norden: So entsteht der FÖHN.
- Wenn am Meer während dem Tag der Luftdruck über der Wasseroberfläche höher ist als über der Landoberfläche, dann fliesst die Luft Richtung Land: So entsteht das Land-See-Windsystem (usw.).

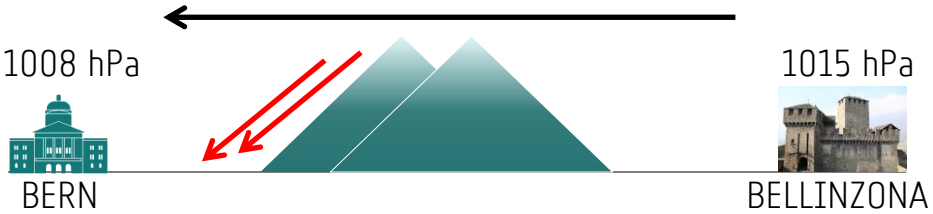
Wenn Luftdruckunterschiede entstehen, dann fliesst die Luft von einem Gebiet mit höherem zu einem Gebiet mit tieferem Luftdruck, und zwar DIREKT, wenn möglich...



Entstehung des Talwindes: Abgebildet werden QFF-Werte



Entstehung des Bergwindes



Entstehung des Föhns

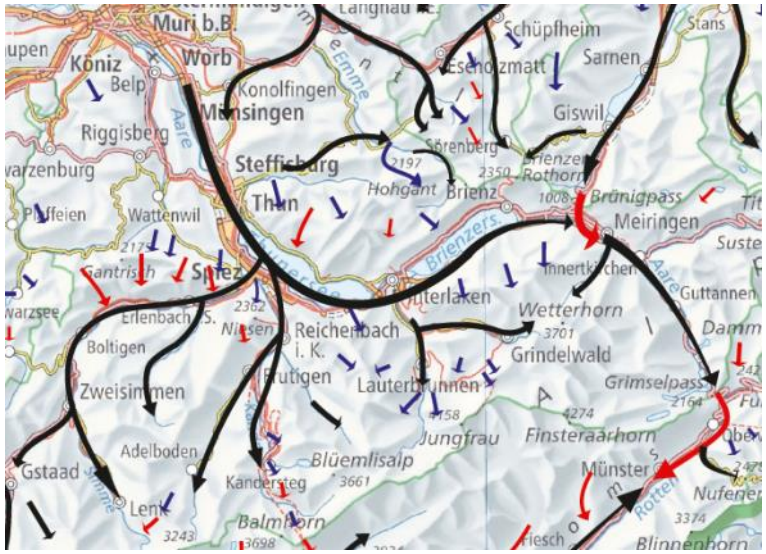
Kanalisierter Wind

Auf regionaler Ebene fliesst die Luft DIREKT von einem Gebiet mit höherem zu einem Gebiet mit tieferem Luftdruck, aber nur falls die Topographie dies erlaubt.

In der Schweiz jedoch trifft die fliessende Luft oft auf Berge und Täler und zwingt sie, diese zu umfliessen (im Falle von Bergen) oder diesen zu folgen (im Falle von Tälern).

Aus diesem Grund ist es normal, dass z.B. der Wind am Landeplatz in Interlaken bei einer Nordwindlage nicht aus Norden kommt, sondern aus Westen. Der Nordwind wurde in Richtung Westen abgelenkt durch die Ausrichtung des Tals, in dem Interlaken liegt.

In der Schweiz haben wir aufgrund der komplexen Topographie oft kanalisierte Winde in tiefen Lagen.



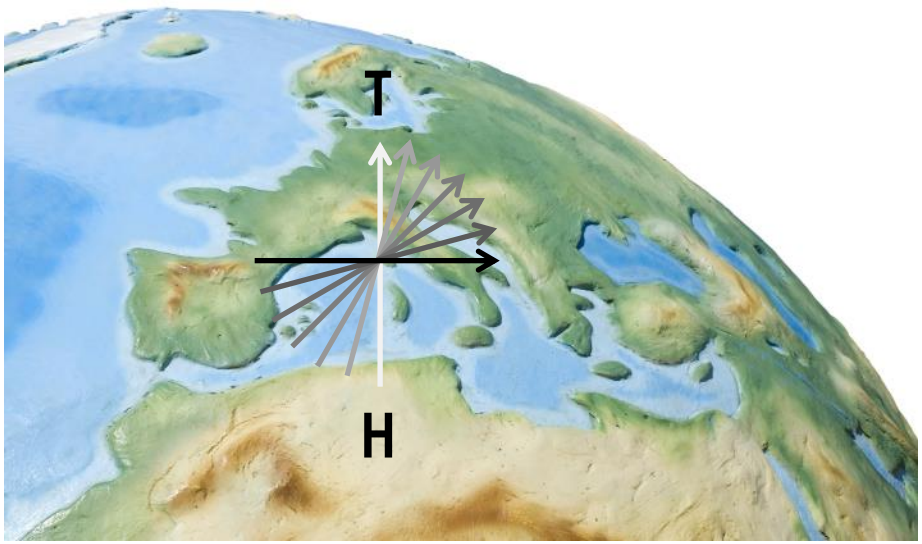
In der Schweiz wird der Wind häufig von Tälern und Bergen abgelenkt

Die Corioliskraft

Auf überregionaler Ebene will die Luft immer noch von einem Gebiet mit höherem Druck zu einem Gebiet mit tieferem Druck fliessen... aber das kann sie nicht, weil eine andere Kraft sie nach rechts ablenkt: die Corioliskraft

Die CORIOLISKRAFT entsteht, weil die Erde eine Kugel ist, die von Westen nach Osten dreht.

Die Corioliskraft braucht Raum, um ihre Wirkung zu entfalten. Deswegen spielt sie erst auf überregionaler Ebene eine Rolle. Daher ist die verbreitete Meinung, dass das Wasser in einem Lavabo wegen der Corioliskraft immer in die gleiche Richtung dreht, falsch.



Wenn sich die Erde nicht drehen würde, dann würde die Luft direkt von einem Gebiet mit höherem zu einem Gebiet mit tieferem Druck fliessen (weisser Pfeil). Da sich jedoch die Erde dreht, lenkt die Corioliskraft die Luft nach rechts ab (Richtung schwarzer Pfeil).

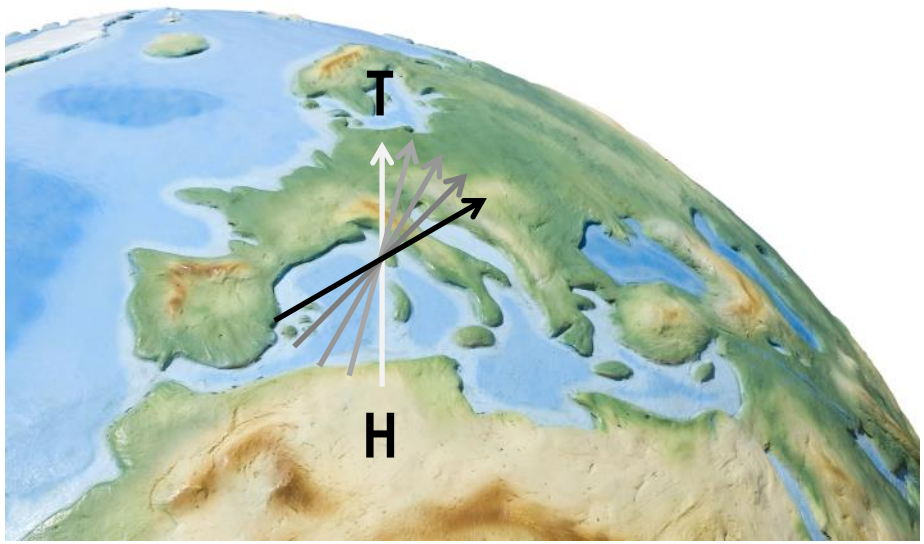
Abschwächung der Corioliskraft

In tiefen Lagen wird die Corioliskraft von der Reibung der fliessenden Luft mit der Erdoberfläche abgeschwächt. Die Ablenkung nach rechts gelingt nur teilweise. Die Luft fliesst deswegen auf überregionaler Ebene in tiefen Lagen von einem Gebiet mit höherem zu einem Gebiet mit tieferem Druck mit einem Winkel von etwa 30 Grad.

Ab etwa 1'000 m über Boden spielt die Reibung mit der Erdoberfläche keine grosse Rolle mehr und die Corioliskraft kann noch wirksamer die Luft nach rechts ablenken. Aus diesem Grund fliesst in grosser Höhe die Luft weitgehend parallel zu den Isohypsen (mehr zu den Isohypsen später).

Wenn die Luft parallel zu den gerade verlaufenden Isohypsen weht, spricht man von «GEOSTROPHISCHEM WIND». Er ist das Ergebnis des Gleichgewichtes zwischen

- Druckgradientkraft (=Kraft aufgrund von Luftdruckunterschieden) und
- Corioliskraft (=Kraft aufgrund der Erdrotation).



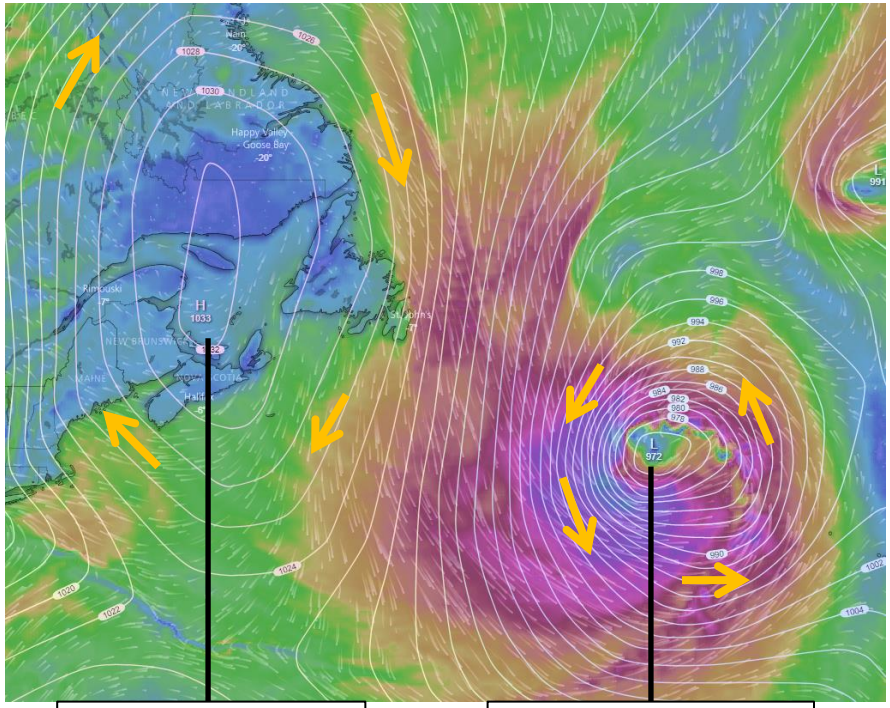
In tiefen Lagen wird die Corioliskraft abgeschwächt. Die Luft fliesst deswegen mit einem Winkel von etwa 30° von einem H zu einem T.

Windrichtung

NORDHALBKUGEL
Auf der Nordhalbkugel bewirkt die Corioliskraft eine Ablenkung der Luft nach rechts. Aus diesem Grund:

- TIEFDRUCK (L)
  Rund um ein Tiefdruckgebiet dreht die Luft gegen den Uhrzeigersinn.
- HOCHDRUCK (H)
  Rund um ein Hochdruckgebiet dreht die Luft im Uhrzeigersinn.

SÜDHALBKUGEL
Auf der Südhalbkugel bewirkt die Corioliskraft eine Ablenkung der Luft nach Links. Aus diesem Grund dreht die Luft auf der Südhalbkugel rund um ein Tiefdruckgebiet im Uhrzeigersinn und rund um ein Hochdruckgebiet gegen den Uhrzeigersinn. Wenn du z.B. eines Tages in Südafrika fliegen willst (was sicher empfehlenswert ist), könnte dir dieses Wissen nützlich sein.



Rund um ein Hochdruckgebiet dreht die Luft im Uhrzeigersinn.

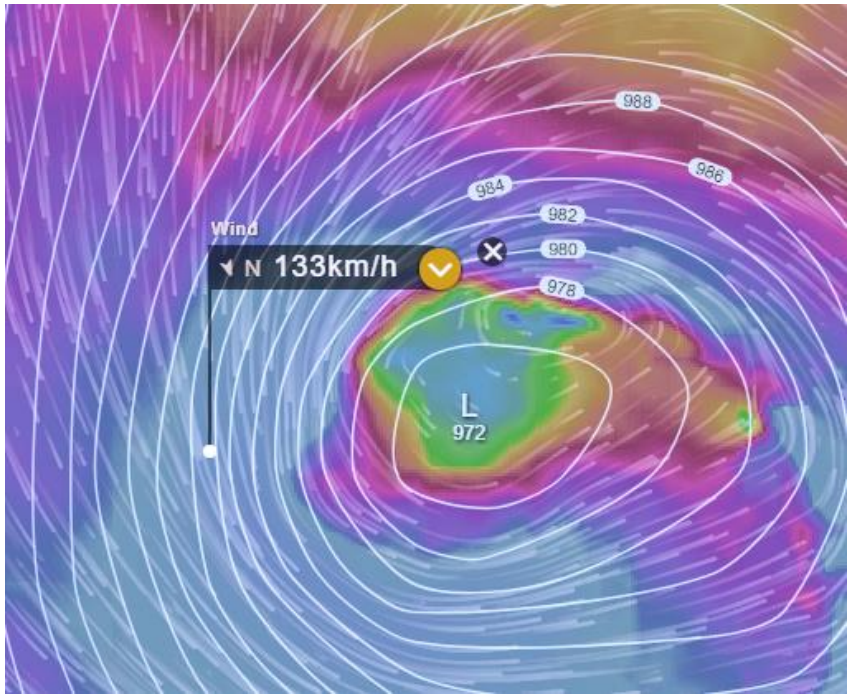
Rund um ein Tiefdruckgebiet dreht die Luft gegen den Uhrzeigersinn.

Grosse Luftdruckunterschiede

Je grösser die Luftdruckunterschiede sind, desto schneller will sich die Luft von einem Gebiet mit höherem zu einem Gebiet mit tieferen Luftdruck bewegen, wenn möglich direkt... und wenn aufgrund der Topographie oder der Corioliskraft nicht möglich, dann halt abgelenkt.

Daraus folgt:

Wenn die Isobaren sehr nahe beieinander liegen - was für grosse Luftdruckunterschiede in einer kurzen Distanz spricht - können starke Winde erwartet werden. Die Windrichtung kann meistens zuverlässig vorausgesehen werden.



Grosse Luftdruckunterschiede sprechen für starken Wind. Auch die Windrichtung kann meistens zuverlässig vorausgesehen werden.

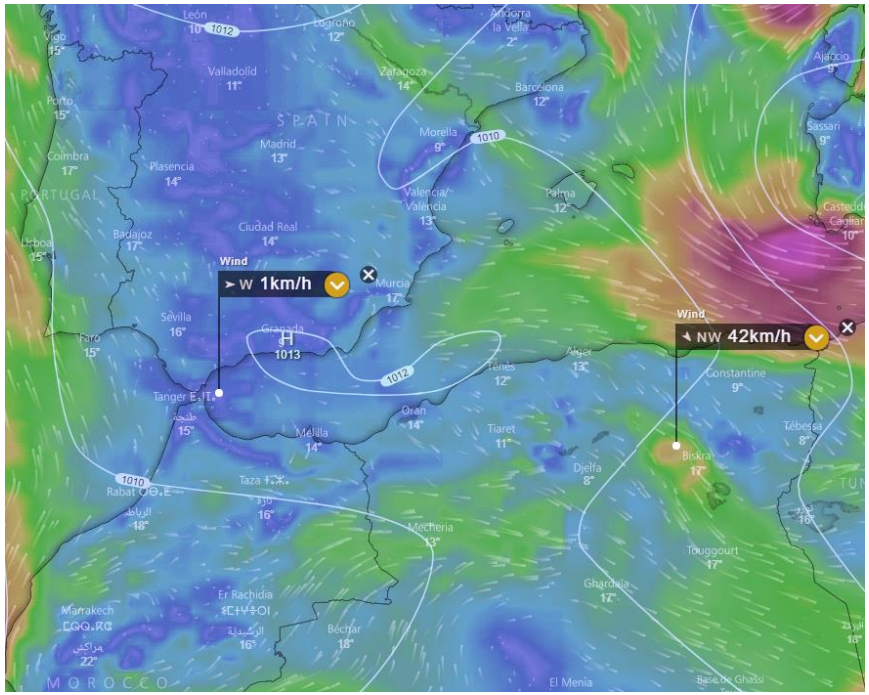
Flache Druckverteilung

Wenn die Isobaren weit auseinander liegen, spricht man von einer flachen Druckverteilung.

Viele Schüler/-innen und Piloten sind der Meinung, dass eine flache Druckverteilung - abgesehen vom Talwind in den schönen Sommertagen - wenig Wind bedeutet. Diese Aussage trifft aber nicht immer zu.

Wenn die Isobaren weit auseinander liegen, IST EINE ZUVERLÄSSIGE WINDPROGNOSE MIT DER ISOBARENKARTE MANCHMAL NICHT MÖGLICH.

Hilfreich für die Windprognose ist die Analyse einer Isohypsen-Karte, um festzustellen, ob vielleicht doch in grösser Höhe die Luftdruckunterschiede ausgeprägt sind, was mässiger oder starker Wind in den Bergen erklären könnte.



Auch wenn die Isobaren weit auseinander liegen, heisst dies noch nicht, dass man wenig Wind hat. Die Bestimmung der Windrichtung ist in diesem Fall schwierig, manchmal nicht möglich.
Das obige Bild zeigt geringe Luftdruckunterschiede. Trotzdem hat man in diesem Gebiet Bereiche, die windstill sind und andere wo mässiger Wind weht.

Typische Fragen

Die letzten Jahre hatte ich die Gelegenheit, viele Fragen von Schüler/-innen und Pilot/-innen zu beantworten:

- Warum steigt eine Thermik?
- Warum ist der Wind in den Alpentälern manchmal so stark, obwohl die Druckverteilung flach ist?
- Warum haben wir Abwind, obwohl der Startplatz südlich ausgerichtet ist und die Sonne scheint?

Diese und viele weitere Fragen haben einen direkten Bezug mit dem Thema «Luftdruck». MÖCHTEN WIR DAS WETTER VERSTEHEN, MÜSSEN WIR DEN LUFTDRUCK VERSTEHEN.

Aus diesem Grund vertiefen wir auf den nächsten Seiten dieses wichtige Thema.

Willst du das Wetter verstehen, musst du verstehen, was der Luftdruck ist und was der Luftdruck beeinflusst.

Luftmoleküle sind wie Autoscooter

Immer wenn wir von «Luft» sprechen, meinen wir in Wahrheit Luftmoleküle, vorwiegend Stickstoff (N_2, Anteil 78%) und Sauerstoff (O_2, Anteil 21%).

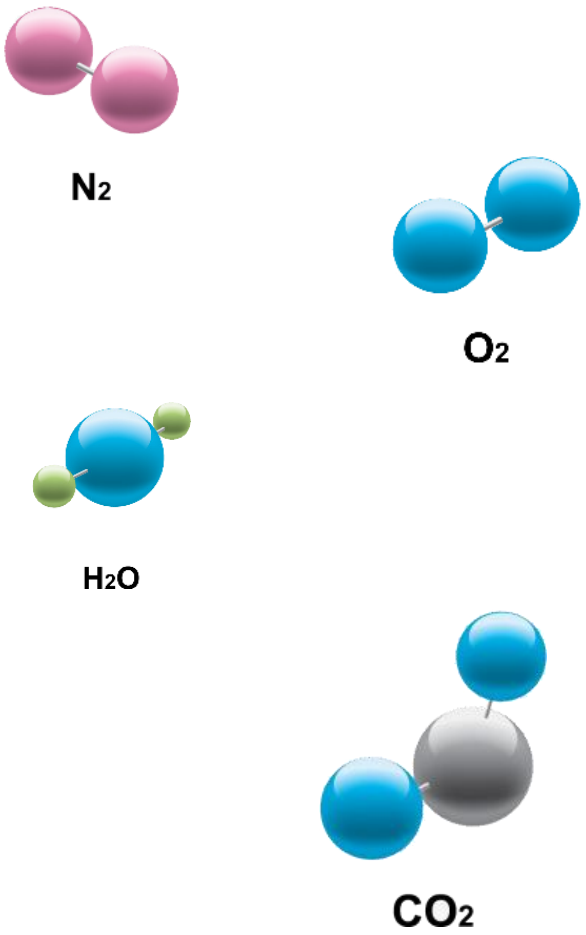
Davon gibt es wirklich viele: pro cm^3 bei Raumtemperatur und Normaldruck etwa 30'000'000'000'000'000'000 (30 Milliarden Milliarden).

Wenn du dich in deinem Zimmer befindest und es ganz windstill ist, denkst du vielleicht, diese Luftmoleküle schweben ruhig in der Luft und tun sonst nichts : Das stimmt aber nicht. DIE BEWEGEN SICH IRRSINNIG SCHNELL, NÄMLICH RUND 340 M/S, WAS DER SCHALLGESCHWINDIGKEIT ENTSPRICHT.

Und weil sie sich so schnell bewegen, stossen sie sich alle 0,2 Milliardstel Sekunden gegeneinander oder gegen irgendetwas... auch gegen dich.

In einer Sekunde wird jeder cm^2 deines Körpers 1'000'000'000'000'000'000'000'000 (= 10^{23}) Mal von Luftmolekülen getroffen, die sich mit 340 m/s bewegen...

...UND DU MERKST NICHTS DAVON!

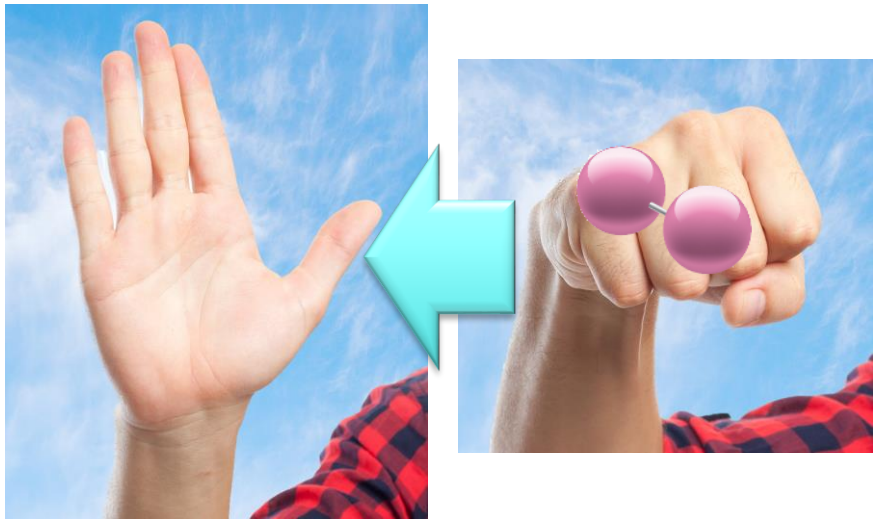


Die Zusammenstösse erzeugen den Druck

Bei jedem völlig elastischen Zusammenstoss zwischen zwei Luftmolekülen (oder zwischen einem Luftmolekül und irgendeiner anderen Fläche) wird eine Druckwelle ausgelöst.

Diese Druckwelle kannst du «fühlen»: eine deiner Hände stellt ein Hindernis und die andere als Faust ein Luftmolekül dar. Das Luftmolekül (=Faust) stösst gegen das Hindernis (=die Handfläche). Was spürst du? Die Antwort lautet: Druck... das ist der Luftdruck!

Oder besser gesagt: Jeder Zusammenstoss produziert eine Druckwelle und die Summe aller Druckwellen ist der Luftdruck!



Tue das:
Eine deiner Hände stellt ein Hindernis und die andere als Faust ein Luftmolekül dar. Das Luftmolekül (=Faust) stösst gegen das Hindernis (=die Handfläche). So spürst du den Luftdruck.

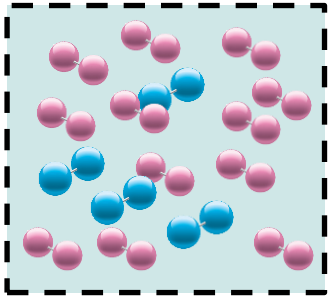
Luftdichte und Luftdruck

Wenn sich Luftmoleküle in einem Raum befinden, dann werden sie zusammen stossen und auf dieser Weise Druck erzeugen.

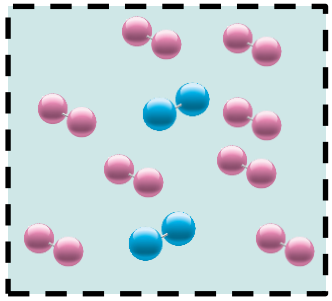
Nimmt die Anzahl der Luftmoleküle in diesem Raum zu (= höhere Luftdichte), dann wird die Anzahl der Zusammenstösse auch grösser. Mehr Zusammenstösse erzeugen mehr Druckwellen, mehr Druckwellen bedeuten einen höheren Luftdruck. Daraus folgt:
JE GRÖSSER DIE LUFTDICHTE, DESTO HÖHER DER LUFTDRUCK.

Umgekehrt - wenn die Anzahl der Luftmoleküle in diesem Raum abnimmt (=geringere Luftdichte) - dann werden auch wenige Zusammenstösse stattfinden und weniger Druckwellen erzeugt; weniger Druckwellen bedeuten einen geringeren Luftdruck. Daraus folgt:
JE GERINGER DIE LUFTDICHTE, DESTO GERINGER DER LUFTDRUCK.

Diese und die nachfolgenden Aussagen treffen zu, vorausgesetzt, die Luft kann sich frei bewegen, d.h. sie ist nicht in einem Behälter eingeschlossen.



Je grösser die Anzahl der Luftmoleküle, desto häufiger stossen sie zusammen. Als Folge daraus nimmt der Luftdruck zu.



Je geringer die Anzahl der Luftmoleküle, desto seltener stossen sie zusammen. Als Folge daraus nimmt der Luftdruck ab.

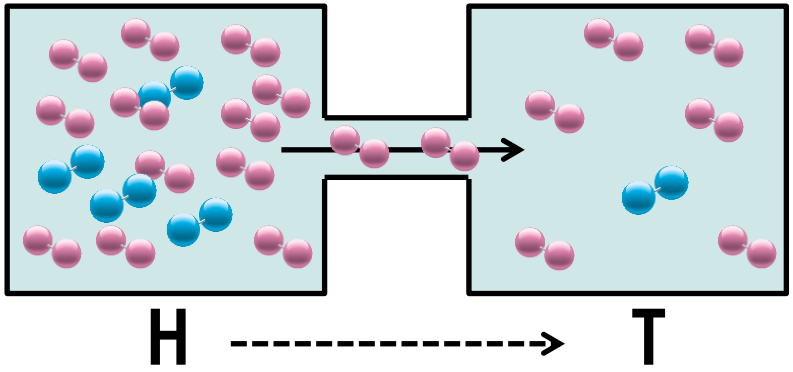
Luftmoleküle mögen es bequem...

Luftmoleküle sind wie Menschen: Sie mögen, wenn es bequem ist und sie Platz haben.

Wenn du in einen Zugwagen einsteigst und er voll ist, dann suchst du Platz in einem Zugwagen, der leer ist.

Die Luftmoleküle machen das Gleiche: Wenn sie in einem Raum sind, wo es viele von ihnen gibt (grosse Luftdichte = grosser Luftdruck), dann bewegen sie sich dahin, wo es wenige von ihnen gibt (geringe Luftdichte = geringer Luftdruck), dies als Folge des Dranges, sich gleichmässig im Raum zu verteilen.

Das ist der Grund, warum sich die Luft von einem Gebiet mit höherem Druck zu einem Gebiet mit geringerem Druck bewegt. Je grösser die Druckunterschiede sind, desto schneller geschieht das.



Was beeinflusst die Luftdichte?

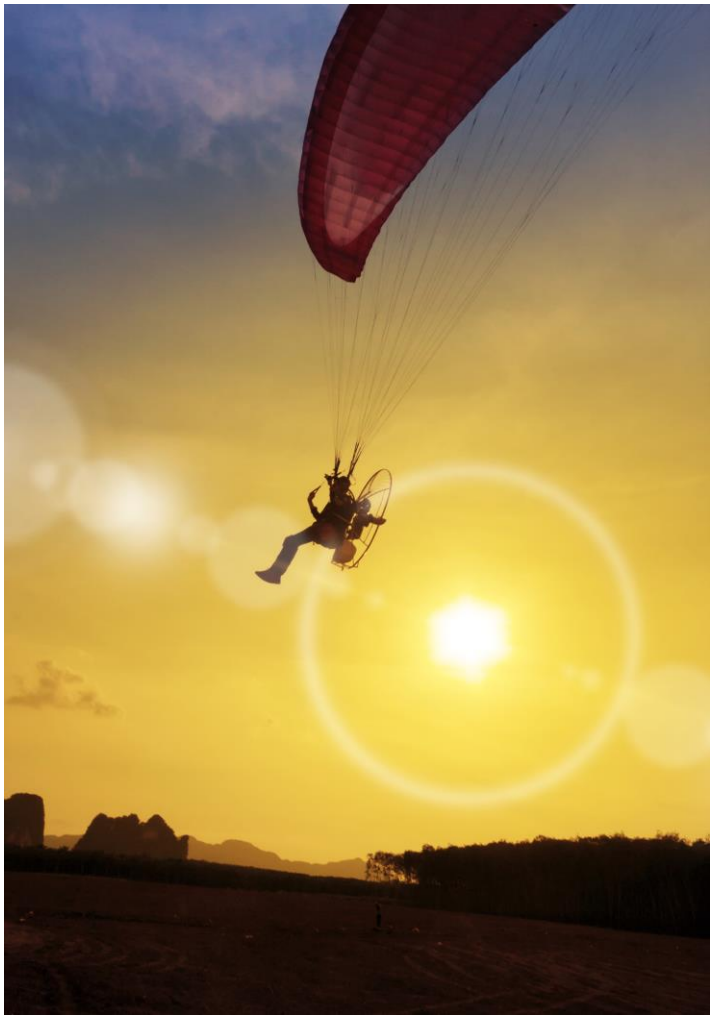
Der Luftdruck ist direkt von der Luftdichte abhängig, das heisst, von der Anzahl Luftmoleküle, die sich in einem Raum bewegen und zusammenstossen.

Möchten wir verstehen, welche Rolle der Luftdruck für das Wetter spielt, dann müssen wir verstehen, was dazu führt, dass die Luftdichte zunimmt (» höherer Luftdruck) oder abnimmt (» geringerer Luftdruck).

Die Luftdichte wird von mindestens 4 Faktoren beeinflusst:

1. Temperatur
2. Schwerkraft
3. Bewegungen
4. Hindernisse

Diese Faktoren schauen wir uns ein bisschen genauer an, damit wir später verschiedene Wetterphänomene besser verstehen können.



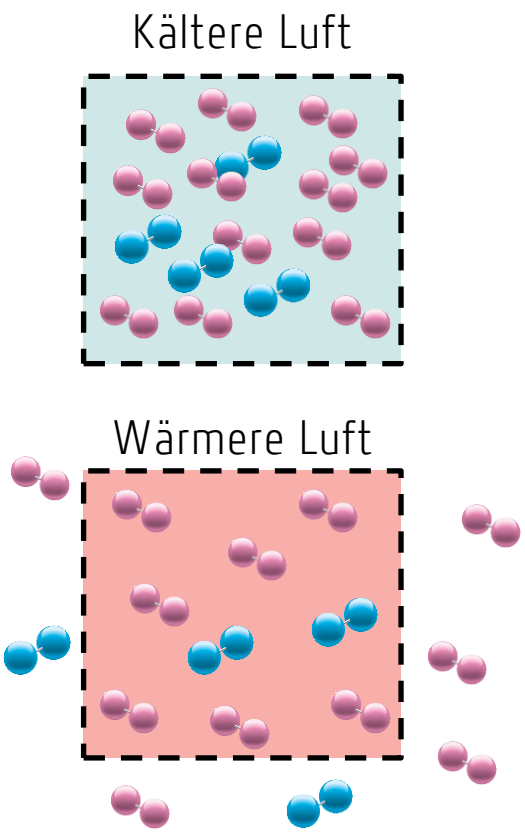
1. Temperatur (warme Luft)

Als Erinnerung: Diese und die nachfolgenden Aussagen treffen zu, vorausgesetzt, dass sich die Luft frei bewegen kann, d.h. nicht in einem Behälter eingeschlossen ist.

Nehmen wir an, dass die Lufttemperatur 20 Grad beträgt. Als Folge daraus bewegen sich die Luftmoleküle in einem Raum von z.B. 1 m^3 mit einer bestimmten Geschwindigkeit.

Wenn die Lufttemperatur zunimmt, z.B. auf 30 Grad erhitzt wird, dann bewegen sich die Luftmoleküle schneller und beanspruchen dadurch mehr Platz. In unserem Raum von 1 m^3 werden wir eine geringere Anzahl Luftmoleküle zählen, die anderen befinden sich jetzt ausserhalb von unserem Raum.

Daraus folgt:
JE HÖHER DIE TEMPERATUR, DESTO GERINGER DER LUFTDRUCK, WEIL DIE LUFTDICHTE ABNIMMT.



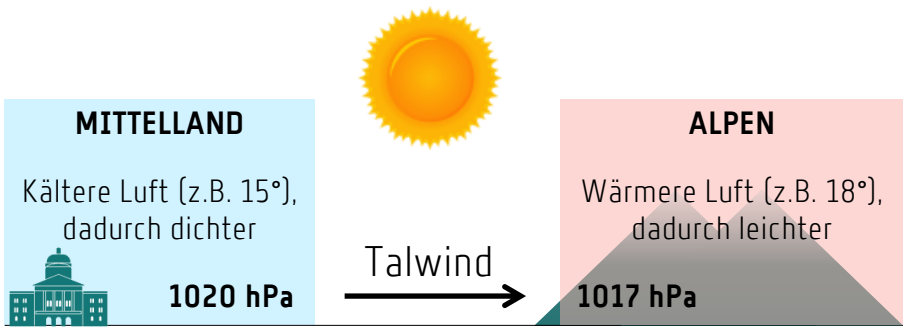
Luftmoleküle bewegen sich schneller, wenn die Luft wärmer wird. Sie beanspruchen somit mehr Raum. Die Luftdichte nimmt ab, die Anzahl Zusammenstösse ebenso. Als Folge daraus nimmt der Luftdruck ab.

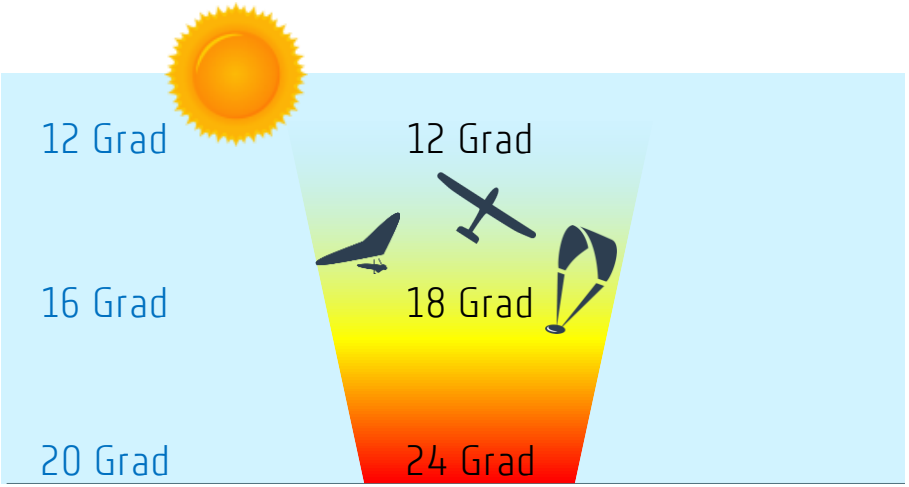
1. Temperatur (warme Luft - Anwendung)

Der Einfluss der Temperatur auf den Luftdruck hat praktische Auswirkungen:

- TALWIND
  Im Sommer während dem Tag wird die Luft in den Alpen mehr erwärmt als im Mittelland (warum das so ist, erfährst du später). Weil die Luft in den Alpen wärmer als im Mittelland wird, nimmt der Luftdruck in den Alpen ab. Die Luft fliesst vom höheren Luftdruck des Mittellandes zum tieferen Luftdruck der Alpen: So entsteht der Talwind.

- THERMIK
  Die geringere Anzahl Luftmoleküle pro m^3 hat als angenehme Folge, dass das Luftpaket leichter wird und dadurch wie ein «Heissluftballon» steigt. So entstehen Thermiken.





1. Temperatur (kalte Luft)

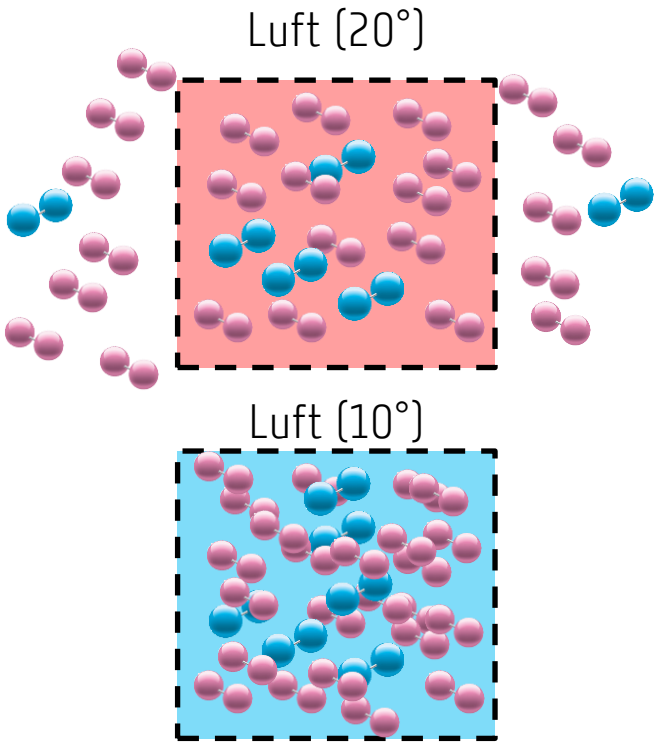
Nehmen wir an, dass die Lufttemperatur 20 Grad beträgt. Als Folge daraus bewegen sich die Luftmoleküle in einem Raum von z.B. 1 m^3 mit einer bestimmten Geschwindigkeit.

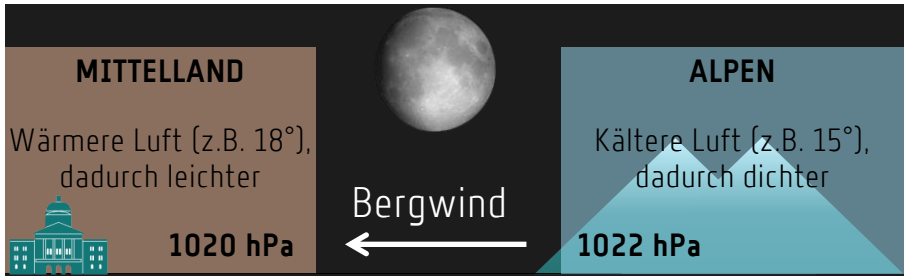
Wenn die Lufttemperatur abnimmt, z.B. auf 10 Grad abgekühlt wird, dann bewegen sich die Luftmoleküle langsamer und beanspruchen weniger Platz oder anders ausgedrückt: Im gleichen Raum haben bei einer tieferen Temperatur eine grössere Anzahl Luftmoleküle Platz.

Daraus folgt:
JE TIEFER DIE TEMPERATUR, DESTO GRÖSSER DER LUFTDRUCK, WEIL DIE LUFTDICHTE ZUNIMMT.

Eine praktische Anwendung:

- BERGWIND
  Während der Nacht wird die Luft in den Alpen stärker abgekühlt als im Mitteland. Der Luftdruck in den Alpen nimmt zu. Die Luft fliesst vom höheren Luftdruck der Alpen Richtung tieferen Luftdruck des Mittellandes. So entsteht der Bergwind.





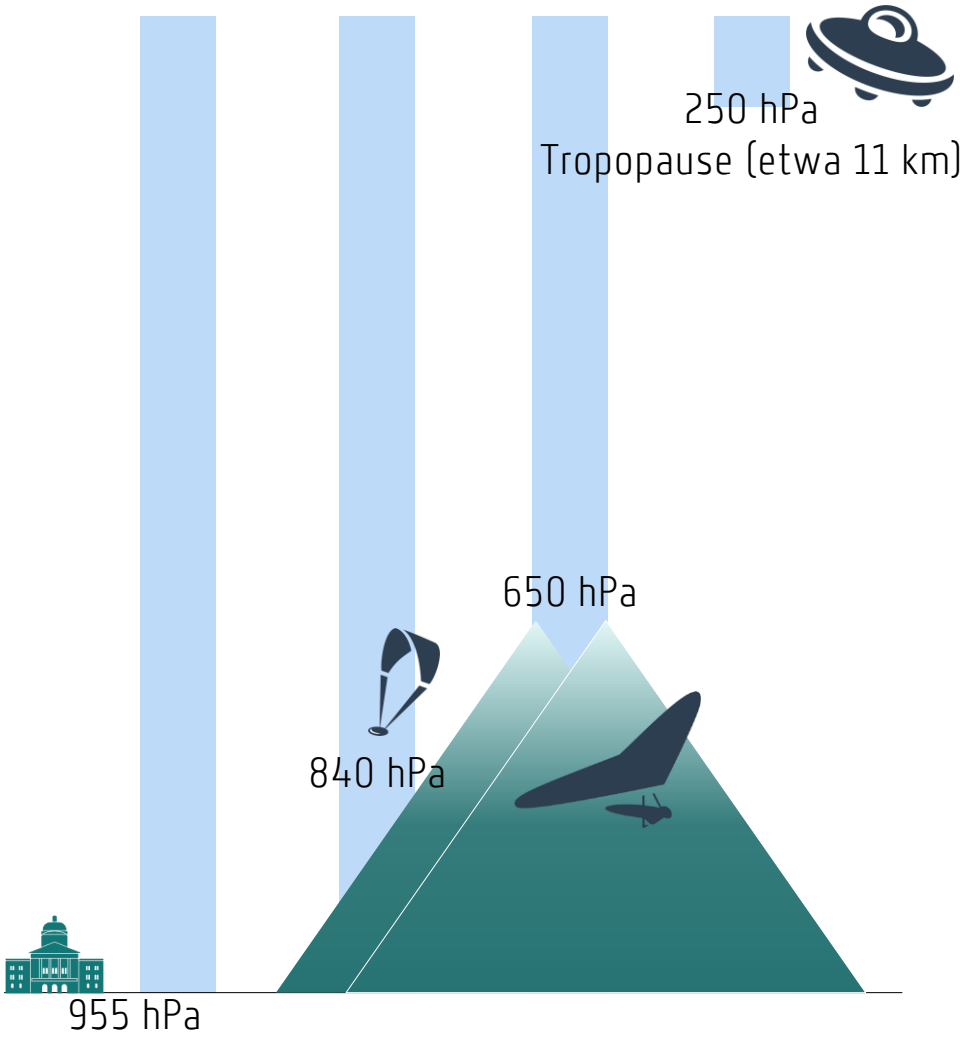
2. Schwerkraft

Je höher man steigt, desto kürzer wird die darüber liegende Luftsäule, die für das Zusammenpressen der Luftmoleküle verantwortlich ist.

Und je weniger die Luftmoleküle zusammengepresst werden, desto geringer ist die Luftdichte und als direkte Folge desto tiefer ist der Luftdruck.

Das ist der Grund, warum in den Bergen der Luftdruck immer geringer als der Luftdruck auf Meereshöhe ist.

Anders ausgedrückt:
DER LUFTDRUCK NIMMT MIT DER HÖHE AB.



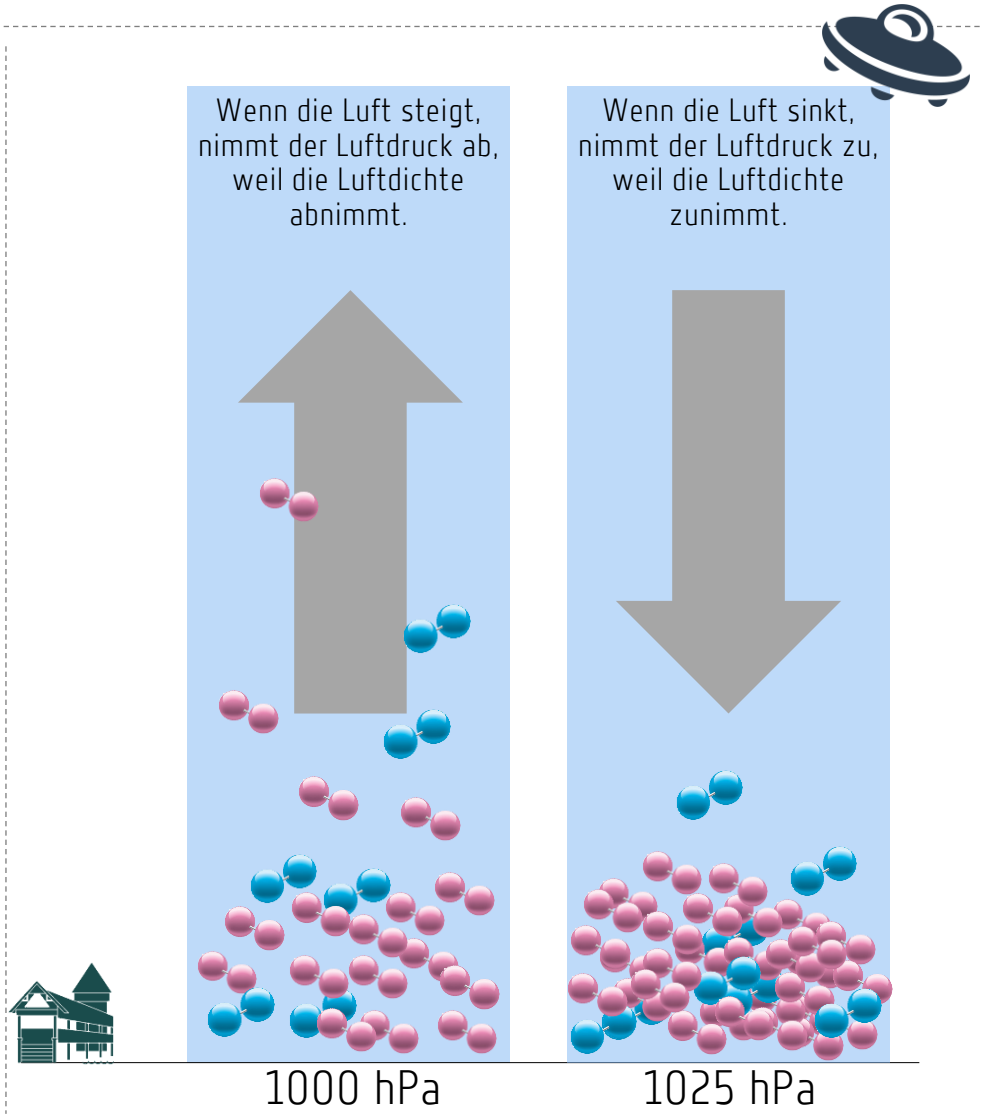
3. Bewegungen

Wenn die Luft steigt - egal aus welchem Grund - dann verlassen die Luftmoleküle den Boden und werden nicht sofort von neuen Luftmolekülen ersetzt. Die Anzahl der Luftmoleküle auf Bodenhöhe nimmt ab.

Daraus folgt:
WENN DIE LUFT STEIGT, DANN NIMMT DER LUFTDRUCK AB.

Wenn die Luft sinkt, dann werden die Luftmoleküle in tieferen Lagen zusammengepresst. Diese können zum Teil seitlich ausweichen, aber das braucht auch Zeit. Deswegen nimmt die Anzahl der Luftmoleküle in geringer Höhe zu, wenn die Luft sinkt.

Daraus folgt:
WENN DIE LUFT SINKT, DANN NIMMT DER LUFTDRUCK ZU.

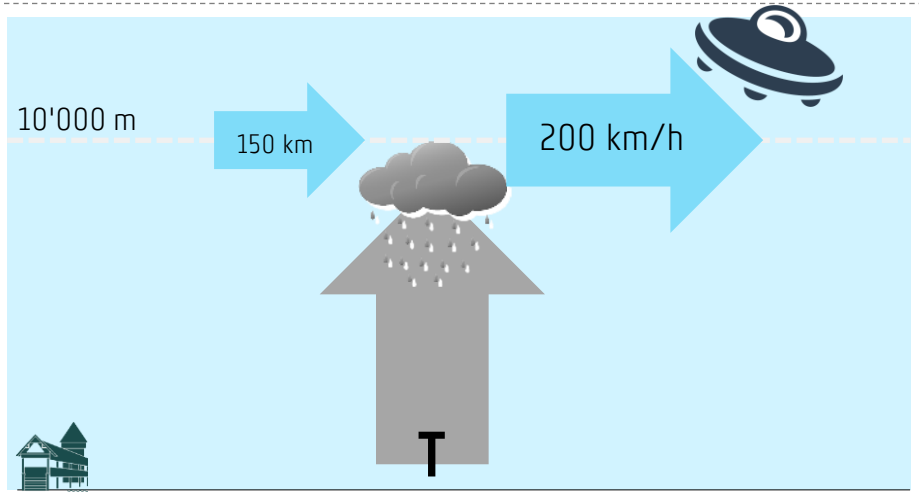


3. Bewegungen und Jetstream

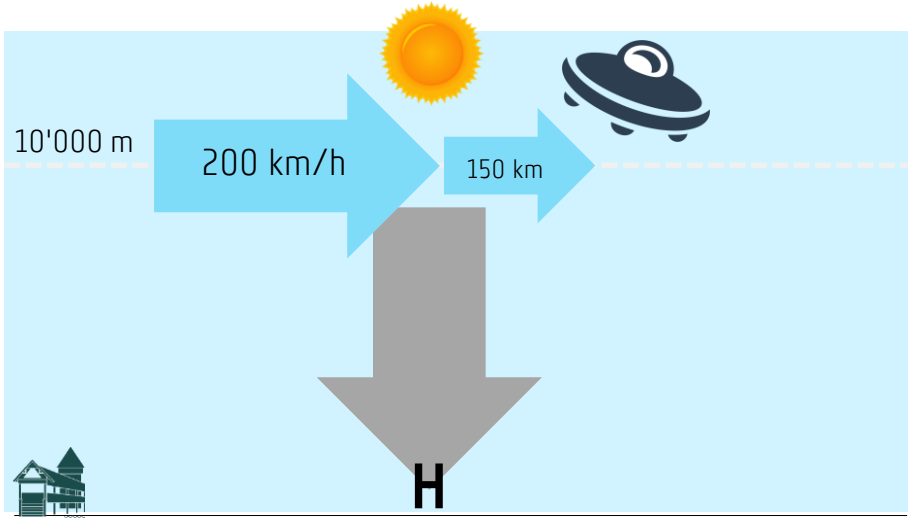
Der Jetstream ist ein starkes Windband in grosser Höhe (zwischen 8 bis 12 km), das sich wellenförmig zwischen dem 40. und 60. Breitengrad bewegt, also etwa zwischen Italien und Nordengland.

- ENTSTEHUNG VON TIEFDRUCK-GEBIETEN
  Wenn der Jetstream beschleunigt, dann nimmt die Luftdichte in grosser Höhe an dieser Stelle ab. Um die geringere Luftdichte zu kompensieren, wird Luft von unten «abgesaugt». Die steigende Luft führt zur Bildung eines Tiefdruckgebietes.

- ENTSTEHUNG EINES ZWISCHENHOCHS
  Wenn der Jetstream langsamer wird, dann «stauen» sich die Luftmoleküle in grosser Höhe. Anders als auf einer Autobahn wo zu viele Autos zu einer Verkehrsüberlastung führen, können die «gestauten» Luftmoleküle von grosser Höhe nach unten sinken. Die sinkende Luftmasse führt zur Bildung eines Zwischenhochs.



Entstehung eines Tiefdruckgebietes als Folge einer «Divergenz»

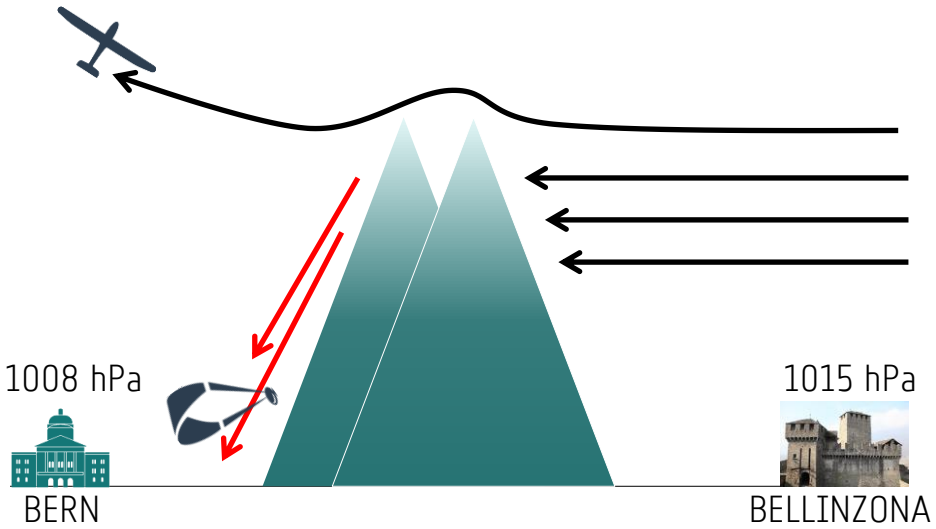


Entstehung eines Zwischenhochs als Folge einer «Konvergenz»

4. Hindernisse

Wenn die Luftmoleküle gegen Hindernisse stossen, dann stauen sie sich, dadurch nehmen die Luftdichte und entsprechend der Luftdruck zu.

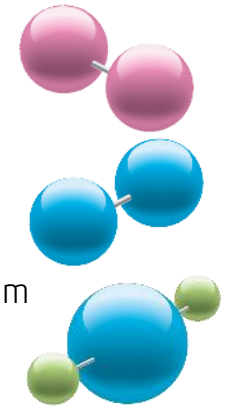
Das ist genau, was mit dem Südföhn passiert. Eine Südströmung presst die Luft gegen die Alpen. Im Tessin nimmt daher der Luftdruck zu. Wenn die Luftdruckunterschiede zwischen N und S der Alpen zu gross werden, kann Föhn in den Alpentälern der Deutschschweiz und französischen Schweiz ausbrechen.



Aufgrund der gestauten Luft südlich der Alpen nimmt der Luftdruck zu. So entsteht der Föhn.

Luftfeuchtigkeit und Gewicht

Für das Wetter - und für unsere fliegerische Aktivität - spielt noch ein anderes Phänomen eine ganz wichtige Rolle, nämlich dass FEUCHTE LUFT LEICHTER ALS TROCKENE LUFT IST. Warum ist feuchte Luft leichter?

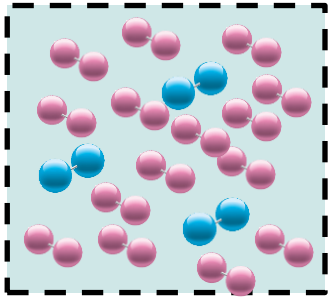


- Ein Stickstoff-Atom besteht aus 7 Protonen und 7 Neutronen, ein Stickstoff-Molekül (N_2) aus 28 Neutronen / Protonen.
- Ein Sauerstoff-Atom besteht aus 8 Protonen und 8 Neutronen, ein Sauerstoff-Molekül (O_2) aus insgesamt 32 Neutronen / Protonen.
- Wasser (H_2O) besteht aus zwei Wasserstoff-Atomen mit je 1 Proton und einem Sauerstoff-Atom (8 Protonen und 8 Neutronen). Die Masse eines Wassermoleküls besteht aus insgesamt 18 Neutronen/Protonen.

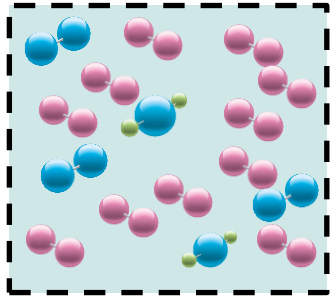
Auf den Punkt gebracht:
WASSERMOLEKÜLE (18) SIND LEICHTER ALS STICKSTOFF- (28) UND SAUERSTOFFMOLEKÜLE (32).

Wenn die Luft absolut trocken ist, dann besteht sie fast nur aus «schweren» Stickstoff- und Sauerstoffmolekülen. Wenn aber im gleichen Raum noch leichtere Wassermoleküle schweben, dann gibt es weniger Platz für die schweren Luftmoleküle. Daraus folgt: Feuchte Luft ist leichter als trockene Luft. Darum können wir manchmal höher fliegen als die Temperaturunterschiede zwischen Thermikblase und Atmosphäre erlauben würden (Beispiel).

Trockene Luft



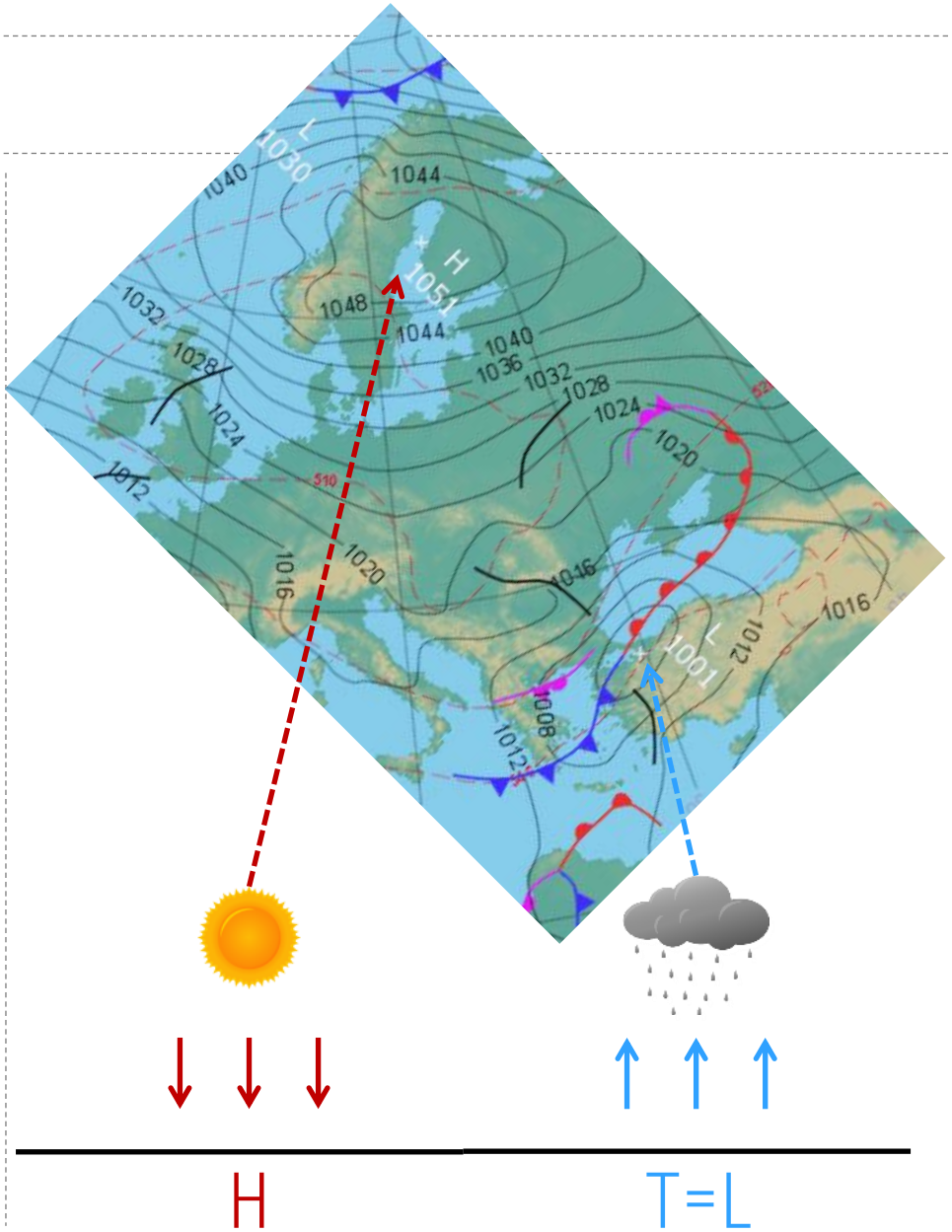
Feuchte Luft



Hoch- und Tiefdruckgebiet

Wenn die Luft grossräumig sinkt, nimmt der Luftdruck zu. Aus grosser Höhe sinkt trockene kalte Luft und erwärmt sich. Als Folge der trockenen sich erwärmenden sinkenden Luft verdunstet das Wasser (Wasser-Tröpfchen wandeln sich in unsichtbarem Wasserdampf), Wolken lösen sich auf, das Wetter wird besser (oder bleibt schön). Ausnahme: Nebel und Hochnebel im Mittelland und Voralpen im Herbst und Winter.

Wenn die Luft grossräumig steigt, nimmt der Luftdruck ab. Die warme, feuchte Luft, die sich in tiefen Lagen befindet, steigt und kühlt ab. Als Folge daraus kondensiert unsichtbarer Wasserdampf, Wolken bilden sich, das Wetter wird schlechter (oder bleibt schlecht)



Hochdruck

«In einem Hochdruckgebiet ist das Wetter schön und in einem Tiefdruckgebiet ist das Wetter schlecht.»

Häufig stimmt diese Aussage, aber ab und zu stimmt sie eben nicht.

Wenn in einem Hochdruckgebiet trockene Luft nach unten sinkt, dann ist der Luftdruck hoch und das Wetter schön (oder wird besser). DAS WETTER IST ABER NICHT SCHÖN, WEIL DER LUFTDRUCK HOCH IST, SONDERN WEIL TROCKENE LUFT SINKT.

Das heisst aber auch, dass wenn die Luft trotz hohem Luftdruck aus welchen Gründen auch immer steigt, sich Wolken bilden können und das Wetter verschlechtern kann.

Auf den Punkt gebracht:
Kann es passieren, dass es mit 1030 hPa regnet?
Die Antwortet lautet: «Ja».

Tiefdruck

Wenn in einem Tiefdruckgebiet feuchte Luft nach oben steigt, dann ist der Luftdruck tief und das Wetter schlecht (oder verschlechtert sich). DAS WETTER IST ABER NICHT SCHLECHT, WEIL DER LUFTDRUCK TIEF IST, SONDERN WEIL FEUCHTE LUFT STEIGT.

Und wenn die Luft - trotz tiefem Luftdruck - aus welchen Gründen auch immer flächendeckend sinkt, dann lösen sich die Wolken auf und das Wetter verbessert sich.

Auf den Punkt gebracht:
Kann es mit 990 hPa gute Flugbedingungen haben? Die Antwortet lautet: «Ja».

VON GRÖSSTER RELEVANZ FÜR DIE WETTERPROGNOSE IST DESWEGEN DIE FRAGE, OB DIE LUFT FLÄCHENDECKEND STEIGT ODER SINKT und nicht, ob der Luftdruck höher oder tiefer ist.

31. Januar 2015 - Flug mit Blick über Klosters und Davos bei einem Luftdruck von 980 hPa.

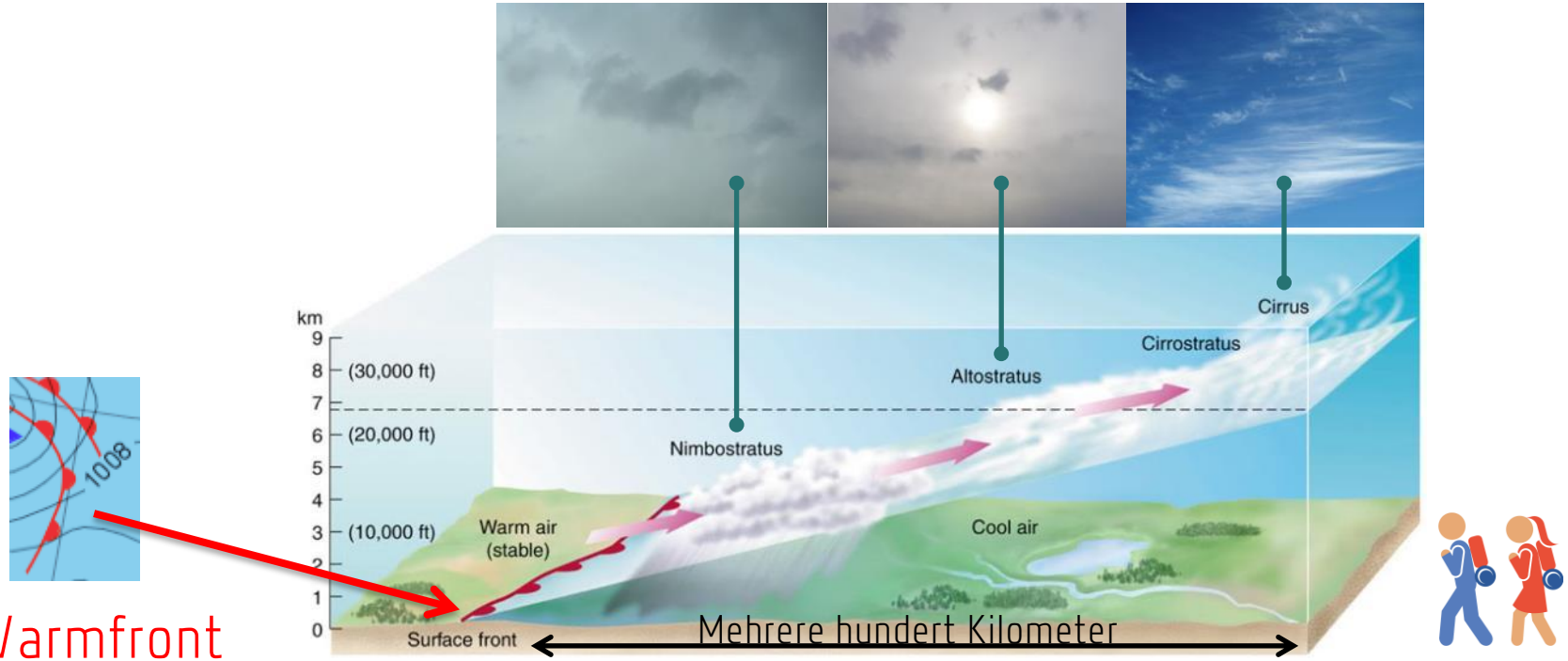
Warmfront und Wolken

Eine Front ist eine TRENNFLÄCHE (!) zwischen 2 Luftmassen mit unterschiedlicher Temperatur.

Bei einer Warmfront gleitet wärmere Luft (z.B. 15 Grad) über kältere Luft (z.B. 10 Grad). Wenn die Luft genügend feucht ist, bilden sich Wolkenschichten (zuerst Cirren, dann Altostratus und anschliessend Nimbostratus).

Wenn du die Cirren siehst, vergehen noch etwa 12-24 Stunden, bis die Regenwolke (Nimbostratus) ankommt.

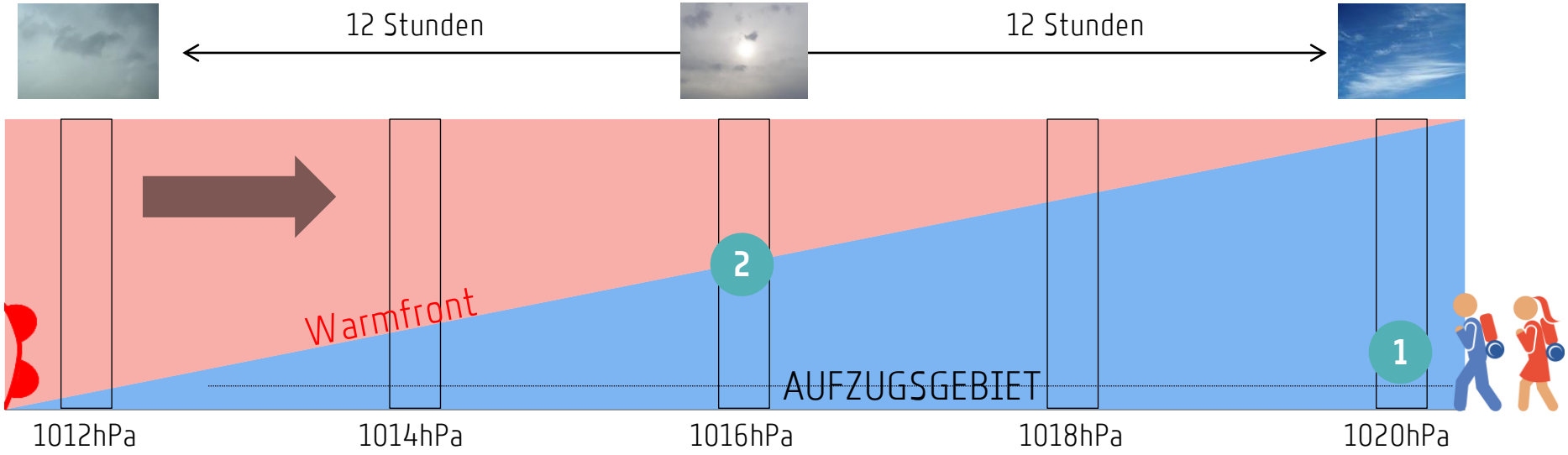
Die Isobaren-Karte bildet ab, wo die Warmfront den Boden touchiert.



Warmfront und Aufzugsgebiet

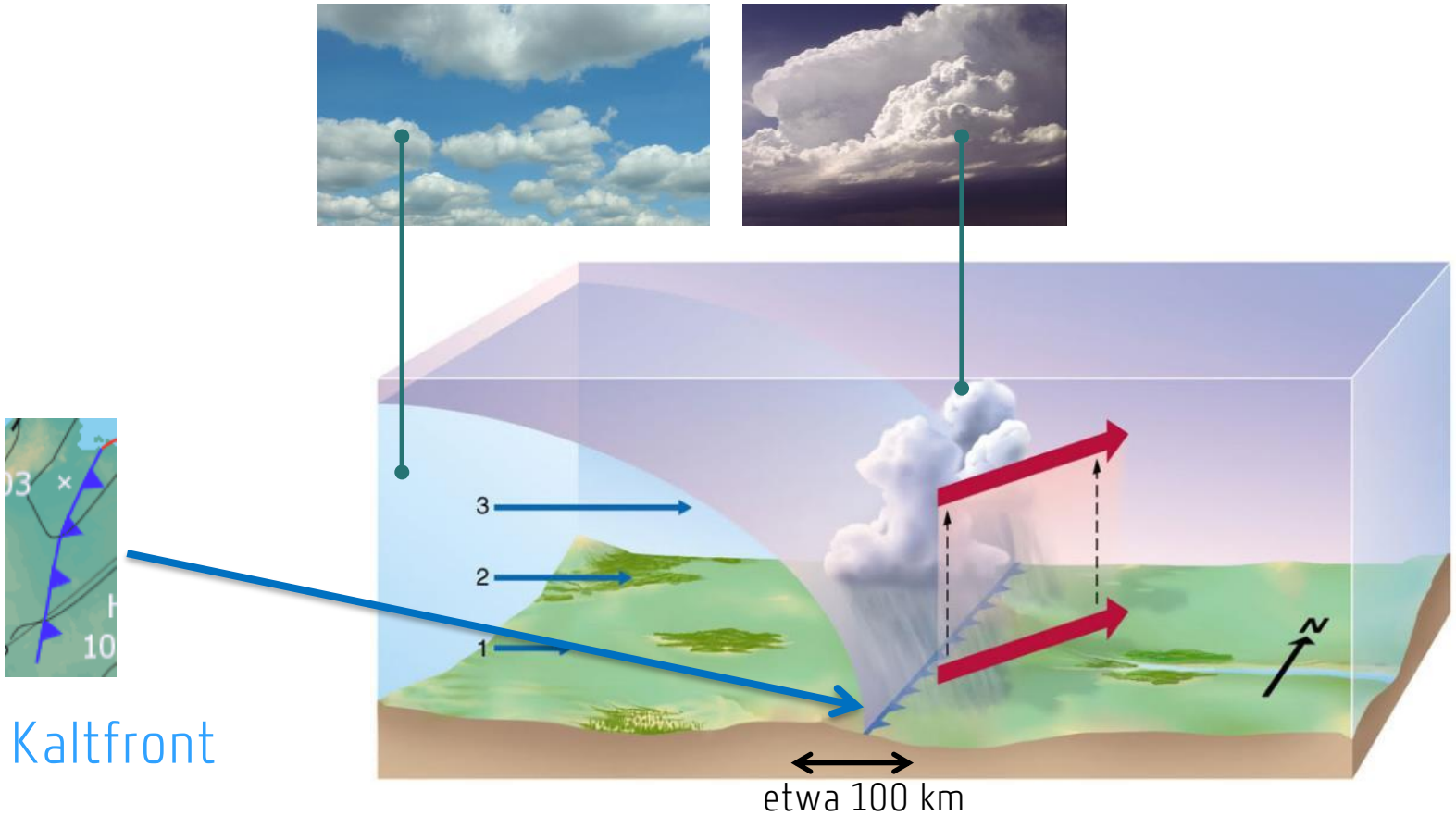
Wenn für dich die ersten Cirren im Himmel sichtbar sind, besteht die vertikale Luftsäule über deinem Kopf fast ausschliesslich aus kalter Luft (1). Kalte Luft bedeutet nicht, dass man friert, sondern nur dass diese Luft kälter als die Luft nach der Warmfront ist.

Wenn sich die Warmfront nähert (AUFZUGSGEBIET), dann wird von oben langsam die kalte Luft von der warmen gleitenden Luft ersetzt (2). Beim Aufgleiten der Warmluft über der kalten Luft verliert die Warmfront ständig Bewegungsenergie und wird dadurch langsamer bzw. langsamer als die Kaltfront. Von der Kaltfront wird die Warmfront später eingeholt, was anschliessend zur Bildung einer Okklusion führen wird.



Kaltfront

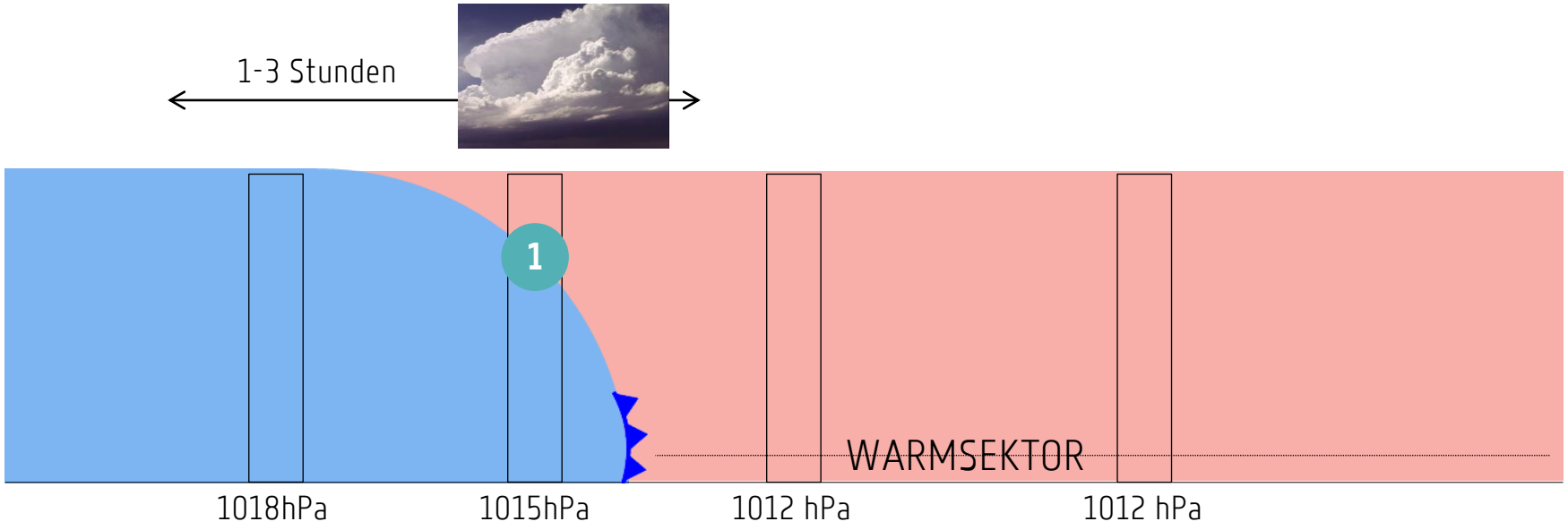
Bei einer Kaltfront (auch Anakaltfront genannt) drängt kältere Luft (z.B. 25 Grad) wärmere Luft (z.B. 30 Grad) seitlich nach oben. Als Folge daraus bilden sich Cumulonimbus (vorwiegend im Sommer) oder Nimbostratus (vorwiegend im Winter).



Kaltfront und Warmsektor

Zwischen der Kaltfront und der Warmfront befindet sich der WARMSEKTOR. Das ist ein Gebiet mit warmer (feuchter) Luft. Wenn die Kaltfront ankommt, dann wird in kurzer Zeit die warme leichte Luft des Warmsektors von der kälteren schweren Luft der Kaltfront ersetzt (1).

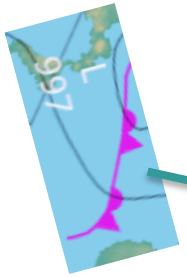
Weil die Kaltfront schneller als die Warmfront ist, schrumpft der Warmsektor kontinuierlich, bis die Kaltfront die Warmfront einholt.



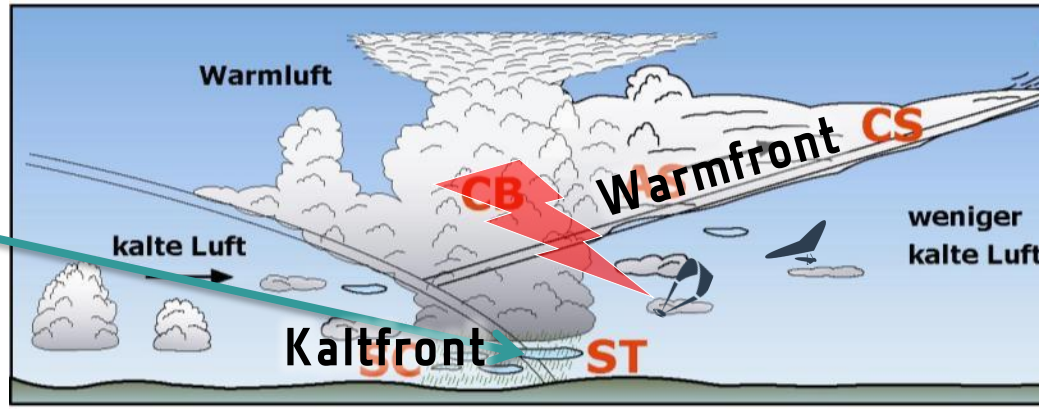
Okklusion

Wenn die Kaltfront die Warmfront erreicht, dann können zwei Phänomene stattfinden:

- DIE KALTFRONT DRÄNGT DIE WARMFRONT NACH OBEN (siehe Abbildung):
  Das passiert vor allem im Sommer. Diese Okklusion, auch KALTFRONT-OKKLUSION genannt, ist besonders gefährlich, weil die Altostratus der Warmfront die Gewitterwolken der Kaltfront verstecken und deswegen sind die Gewitterwolken für die Piloten nicht mehr sichtbar.
- DIE KALTFRONT GLEITET ÜBER DIE WARMFRONT:
  Das passiert vor allem im Winter. Diese Okklusion, auch WARMFRONT-OKKLUSION genannt, unterscheidet sich nicht von einer normaler Warmfront und stellt für Hängegleiter-Piloten deswegen meistens keine beträchtliche Gefahr dar. Der Grund: Wegen fehlenden Thermiken sind die Piloten gelandet, bevor die Nimbostrati das Fluggebiet erreichen.



Okklusion



Okklusion mit Kaltfront-Charakter

Das Frontsystem von oben

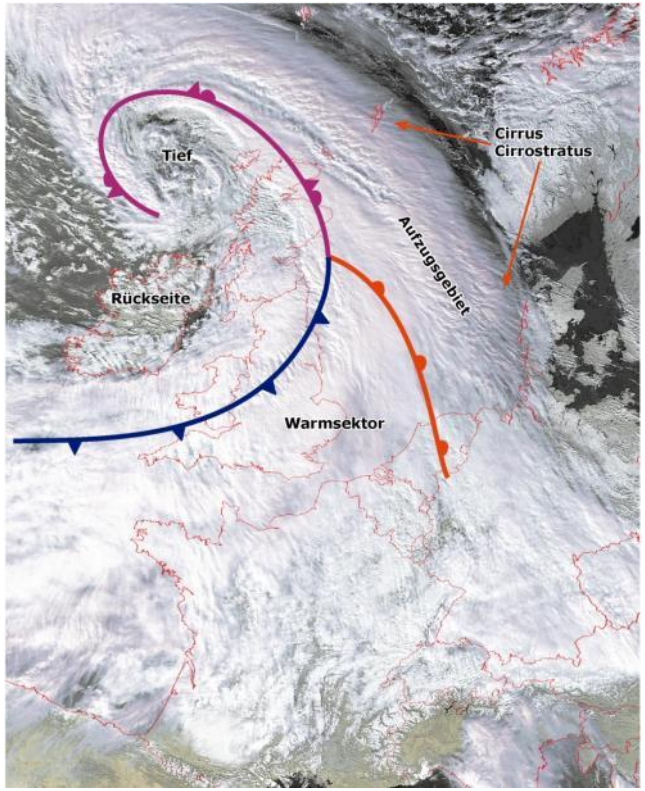
Im AUFZUGSGEBIET eines Frontsystems erscheinen dem Beobachter zuerst Cirren und Cirrostrati, anschliessend die Altostrati und dann die Nimbostrati.

Nach der Warmfront befindet sich der Beobachter im Warmsektor. Wie das Wetter im Warmsektor aussieht, hängt von verschiedenen Faktoren ab (z.B. Abstand zwischen Kalt- und Warmfront, wie aktiv die Fronten sind...).

Nach dem Warmsektor folgt die Kaltfront mit Nimbostrati oder Cumulonimbi (Gewitterwolken). Hinter der Kaltfront (Rückseite) ist die Luft sauber und frisch, was die Entwicklung neuer Regenzellen und Gewitter fördert.

Zwei Tage nach einer Kaltfront hat man oft die besten Flugbedingungen:

- wenig Wind
- gute Thermiken
- hohe Inversionen, die als Folge der sinkenden Luft entstehen und verhindern, dass Quellwolken «überentwickeln», das heisst, sich in Gewitterwolken umwandeln

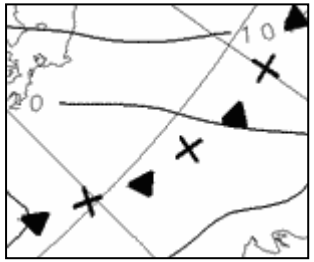


Ein Frontsystem von oben betrachtet

Sich auflösende oder entstehende Front

Wenn in der Bracknell-Karte, das «+» oder «-» Symbol in Verbindung mit einer Front erscheint, löst sich die Kalt- oder Warmfront auf.

Wenn ein «•» abgebildet ist (siehe 1), entsteht die Warm- oder Kaltfront.



Sich auflösende Front

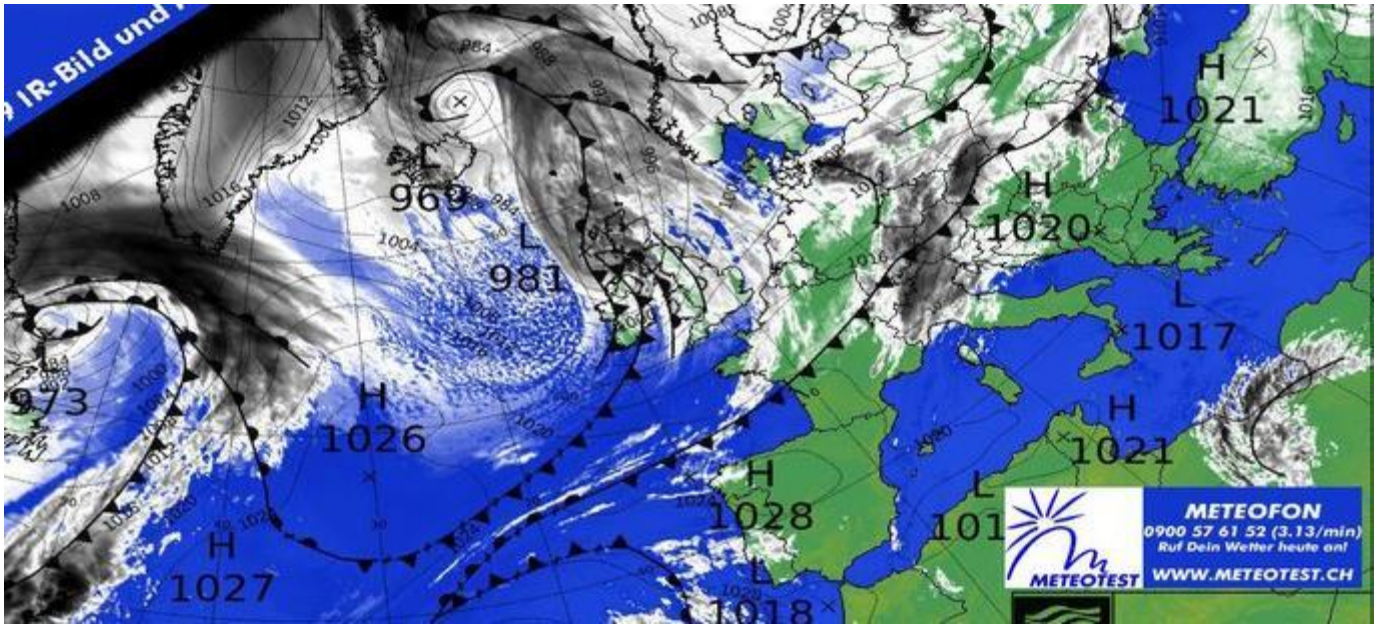
1

Fronten in Entstehung

Fronten und Wolken

Eine Front ist eine Trennfläche (!) zwischen zwei Luftmassen mit unterschiedlicher Temperatur. Ob eine Front auch Wolken produziert, hängt von ihrer Luftfeuchtigkeit ab. Es gibt deswegen auch Fronten OHNE Wolken, ebenso gibt es Gebiete mit Wolken OHNE Fronten. Ob eine Front Wolken produziert, findest du mit dem Satellitenbild heraus.

Die Wolkenprognose ist für die Thermikprognose wichtig und dies unabhängig davon, ob die Wolken aufgrund einer Front oder von anderen Phänomenen entstehen. Glücklicherweise haben wir mehrere Instrumente für die Wolkenprognose zur Verfügung, die wir später kennenlernen werden.



Nicht alle Fronten produzieren Wolken und nicht alle Wolken sind mit Fronten assoziiert

Konvergenzen

Eine Konvergenzlinie wird in einer Bracknell-Karte mit einer dicken schwarzen Linie abgebildet (*Konvergenzen werden auf anderen Isobaren-Karten mit einer Linie mit wechselseitigen Strichen eingezeichnet*). Dabei handelt es sich um ein Gebiet, wo Luft grossräumig steigt (abgebildet werden nicht «unsere» Thermiken).

Verschiedene Gründe können erklären, warum die Luft grossräumig steigt: u.a. kann dies passieren, weil sich die Luft aufgrund unterschiedlicher Windrichtungen oder -stärke staut und gezwungen wird nach oben auszuweichen.

Konvergenzlinien sind gefährlich, wenn sie zu ÜBERENTWICKLUNGEN (= zur Bildung von Regenwolken mit heftigen Niederschlägen und Gewittern) führen.

Überentwicklungen, auch CUMULONIMBUS genannt (oder einfach: Gewitterwolken) können heftige Böen (=Windspitzen) und Windscherungen (=Turbulenzen aufgrund von Winden, die aus unterschiedlichen Richtungen wehen) verursachen... und diese Phänomene sind gefährlich für unsere fliegerische Aktivität.

Konvergenz: Beispiel

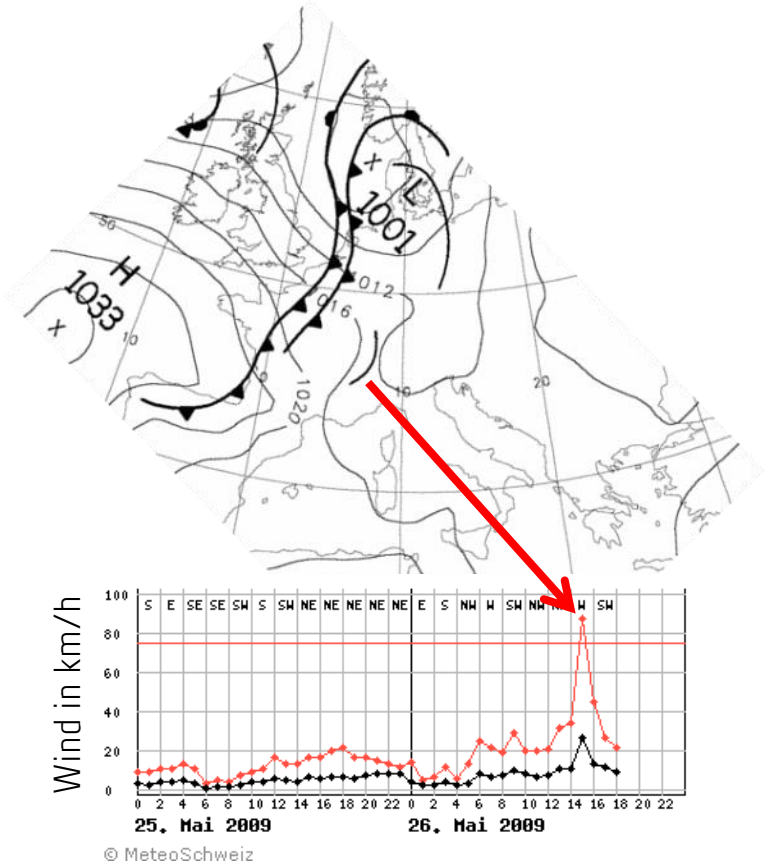
Die Abbildung zeigt eine relativ kleine Konvergenzlinie über der Schweiz.

Die Grösse spielt dabei keine Rolle. Wie die Angaben von Meteoschweiz beweisen, hat diese Konvergenzlinie am 26. Mai 2009 um 15 Uhr zur Bildung von Cumulonimbus geführt, die u.a. an der Wetterstation von Üetliberg schlagartig Windböen von 90 km/h verursacht hat.

Wenn du auf der Bracknell-Karte eine Konvergenzlinie beobachtest, musst du mit der Niederschlagprognose überprüfen, ob zur geplanten Flugzeit lokale, intensive Niederschläge vorgesehen sind.

Auf den Punkt gebracht:

- Wenn Konvergenzlinien lokale Niederschläge verursachen, ist es ratsam, aufs Fliegen zu verzichten.
- Wenn die Regenprognose im Bereich der Konvergenzlinie keine Niederschläge vorhersieht, dann stellt die Konvergenzlinie keine Gefahr dar (sofern die Prognose stimmt).



Eine relativ kleine Konvergenzlinie hat am 26. Mai 2009 heftige Turbulenzen verursacht.

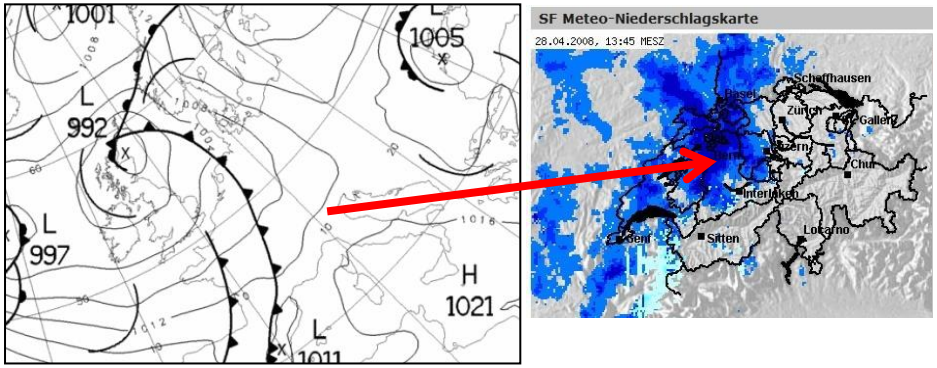
Luftdruck unter 1016 hPa

Im Frühling und im Sommer, wenn der Luftdruck tiefer als 1016 hPa ist, besteht ein erhöhtes Risiko für die Entwicklung von Cumulonimbus (Gewitterwolken).

Der Grund: Keine Inversion (=Temperaturzunahme der Atmosphäre mit steigender Höhe) verhindert das weitere Wachstum der Quellwolken.

Wenn sich noch zusätzlich eine Kaltfront oder eine Konvergenzlinie nähert, dann ist das Risiko für Überentwicklungen besonders gross, weil beide Phänomene das Steigen der Luft fördern.

Wie am 28. April 2008: Der Luftdruck betrug 1012 hPa. Die Kaltfront hatte die Schweiz noch nicht erreicht. Trotzdem gab es schon heftige Niederschläge in unserem Land.

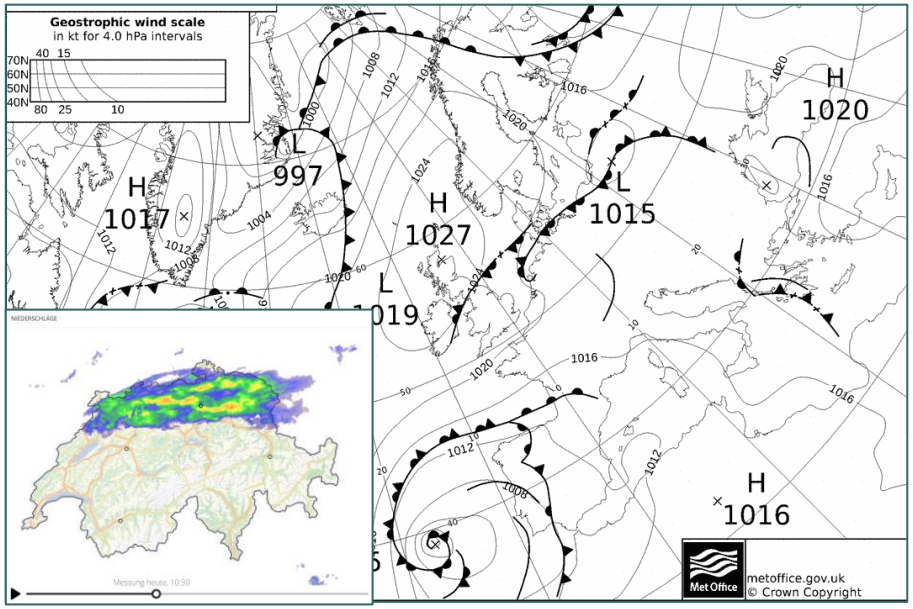


Mit einem Luftdruck von 1012 hPa ist die Entstehung von Gewitterwolken im Frühling und im Sommer wahrscheinlich.

Flachdrucklage

Ein erhöhtes Risiko für lokale Gewitterzellen in der warmen Jahreszeit besteht auch, wenn über Mitteleuropa die Luftdruckunterschiede gering sind (Flachdrucklage).

Der Grund: In dieser Konstellation fehlt eine Inversion, die das Steigen der Luft verhindert. Zudem kann die Sonneneinstrahlung wegen dem schwachen Wind den Boden ungehindert aufheizen, was viel warme Luft produziert. Und wenn viel warme (feuchte) Luft ungehindert nach oben steigt, dann sind Gewitterwolken eine im Frühling und im Sommer wahrscheinliche Wettererscheinung.



Eine flache Drucklage und eine Konvergenzlinie haben am Nordrand der Schweiz lokale intensive Niederschläge verursacht.

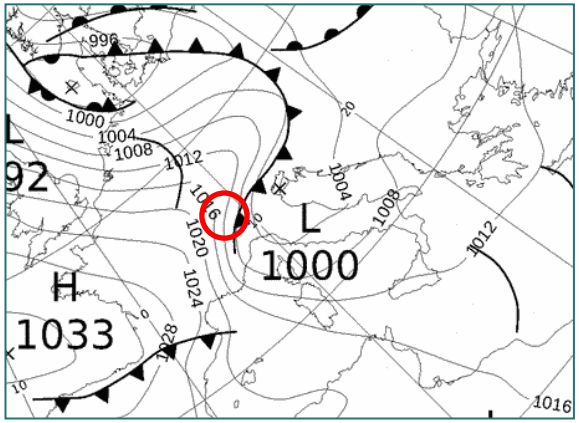
Föhn

Föhn in der Nordschweiz - wir sprechen von SÜDFÖHN (=FÖHN kommt aus SÜDEN) - entsteht, wenn der Luftdruck in der italienischen Schweiz höher ist als in der französischen und in der deutschen Schweiz.

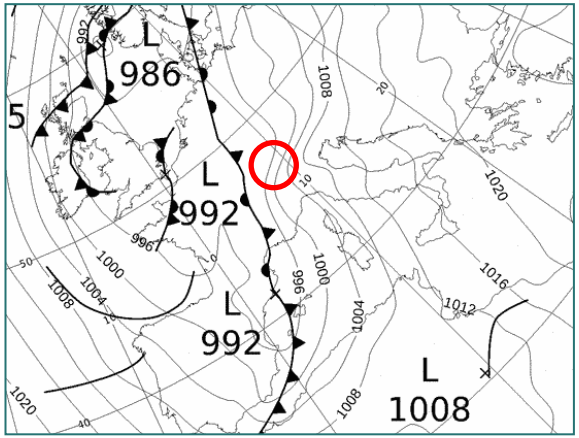
Das Phänomen «Föhn» ist sehr wichtig und wir werden es später vertiefen. An dieser Stelle reicht es, wenn du weisst, dass der Föhn meistens auf der Bracknell-Karte als sogenanntes FÖHNKNIE gut sichtbar ist.

Wenn mindestens eine Isobare entlang den Alpen verläuft und somit eine kniefömige Kurve bildet, könnte in der Schweiz eine Föhnlage herrschen.

Wenn sogar zwei oder noch mehr Isobaren entlang den Alpen verlaufen, dann ist die Wahrscheinlichkeit von Föhnaufkommen sehr hoch.



Föhn in der italienischen Schweiz (Nordföhn).
Der rote Kreis zeigt in etwa, wo sich die Schweiz befindet



Föhn in der Nordschweiz (Südföhn). Das Föhnknie über den Alpen ist gut sichtbar

Zusammenfassung «Bracknell-Karte»

Was kannst du aus einer Bracknell-Karte herauslesen?

- WIND
  Wenn die Isobaren sehr nahe nebeneinander liegen und mehr oder weniger geradeaus verlaufen, kannst du mässigen bis starken Wind erwarten und du kannst die Windrichtung schätzen.
  Wenn die Isobaren weit auseinander liegen, dann ist eine zuverlässige Windprognose nicht möglich.

- ÜBERENTWICKLUNGEN
  Wenn der Luftdruck im Frühling und im Sommer tiefer als 1016 hPa liegt, dann musst du das Risiko für Überentwicklungen überprüfen. Das Risiko für lokale Gewitterzellen besteht auch, wenn die Luftdruckunterschiede über Mitteleuropa gering sind (Flachdrucklage). Ebenso musst du das Risiko für Überentwicklungen überprüfen, wenn sich die Schweiz in der Nähe oder im Bereich einer Kaltfront oder einer Konvergenzlinie befindet.

- FÖHN: Falls mindestens eine Isobare entlang den Alpen verläuft, muss man das Föhnrisiko prüfen.

- NEBEL / HOCHNEBEL: Wenn sich im Herbst oder Winter die Schweiz im Einflussbereich eines Hochdruckgebietes befindet, musst du überprüfen, ob sich Nebel oder Hochnebel bildet.

500 hPa-Karte - Die Isohypsen

Die ISOBAREN-KARTE (z.B. Bracknell) zeigt die Luftdruckverteilung auf Meereshöhe und liefert wertvolle Informationen für die Wetterprognose. Einen wesentlichen Einfluss auf das Wetter hat aber auch, was in grösserer Höhe geschieht und deswegen setzen wir uns mit diesem Thema auseinander. Zuerst brauchst du aber einige Grundkenntnisse zum Thema Luftdruck und Temperatur.

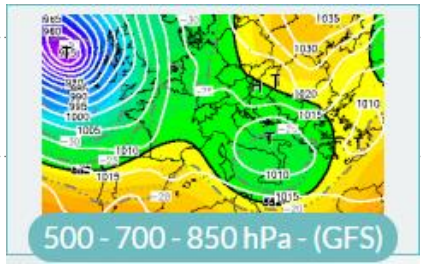
Du hast vielleicht schon woanders gelernt, dass auf 5'500 m über Meer der Luftdruck nur noch 500 hPa beträgt. In Wahrheit - wenn die Luft wärmer wird - dehnt sie sich aus. Und mit der Ausdehnung der Luft steigt auch der Luftdruck von 500 hPa auf eine grössere Höhe (z.B. bis 6'000 m über Meer). Wenn dagegen die Luft kälter wird, dann schrumpft sie und der Luftdruck von 500 hPa sinkt auf eine geringere Höhe (z.B. bis auf 5'000 m über Meer). DIE TEMPERATUR DER LUFT LEGT FEST, AUF WELCHER HÖHE SICH DER LUFTDRUCK VON 500 HPA BEFINDET.

Nehmen wir an, dass sich der Luftdruck von 500 hPa auf 5'500 m über Meer befindet.

Erreicht tropische warme Luft unser Land, erwärmt sich die Luftsäule und sie dehnt sich aus. Der Luftdruck von 500 hPa steigt mit der Ausdehnung der Luft.

Erreicht kalte Polarluft unser Land, kühlt sich die Luftsäule ab und schrumpft. Der Luftdruck von 500 hPa sinkt mit der Komprimierung der Luft

500 hPa-Karte - Die Isohypsen

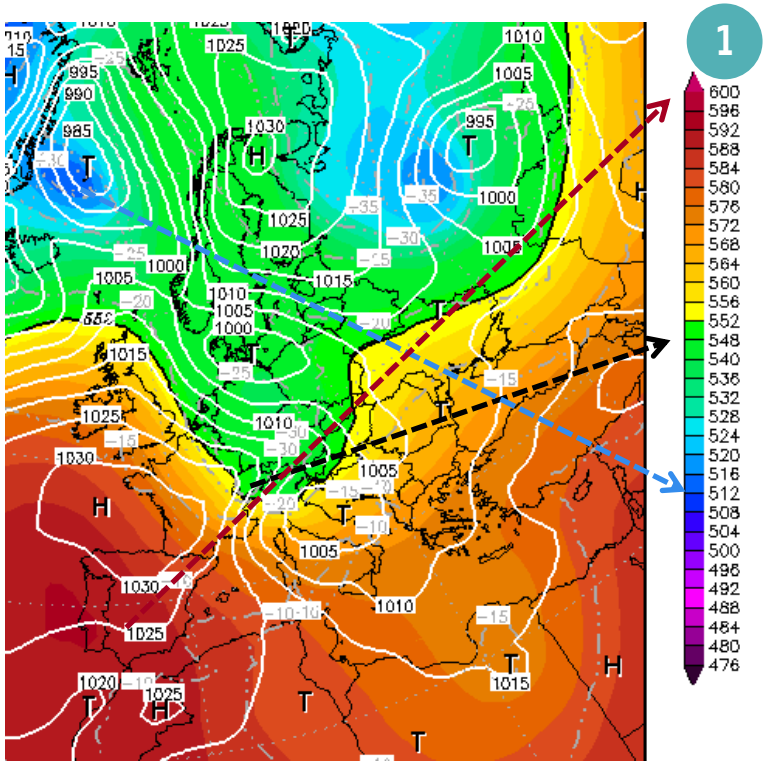


Auf welcher Höhe sich der Luftdruck von 500 hPa in deiner Region befindet, erfährst du anhand der Legende (1), welche die 500 hPa-Karte begleitet. Du musst nach der Zahl der Legende ein «0» einfügen.

Dazu ein Beispiel: Wie die abgebildete 500 hPa-Karte zeigt, befindet sich die Schweiz innerhalb einer grünen Fläche. Die Farbe «grün» (siehe schwarzer Pfeil) ist mit der Zahl 548 assoziiert, das heisst der Luftdruck von 500 hPa befindet sich über der Schweiz auf einer Höhe von 5'480 m über Meer (548+ ein «0»).

Das ist eine sogenannte ISOHYPSE, nämlich eine Linie (oder wie auf dieser Karte eine Fläche) gleicher Höhe. Überall wo die Farbe grün ist, liegt der Luftdruck von 500 hPa auf einer Höhe von 5'480 m über Meer.

Wo die Farbe blau wird, sinkt der Luftdruck von 500 hPa wegen der kälteren Luft auf etwa 5'120 m (wie nördlich von Island, siehe den blauen Pfeil). Und wo die Farbe rot wird, steigt der Luftdruck von 500 hPa wegen der warmen Luft auf fast 6'000 m (wie in Spanien).



Der Luftdruck von 500 hPa liegt über der Schweiz auf etwa 5'480 m (schwarzer Pfeil), nördlich von Island auf etwa 5'120 m (blauer Pfeil) und in Spanien auf etwa 6'000 m über Meer (roter Pfeil)

Keil und Trog

KEIL (1)

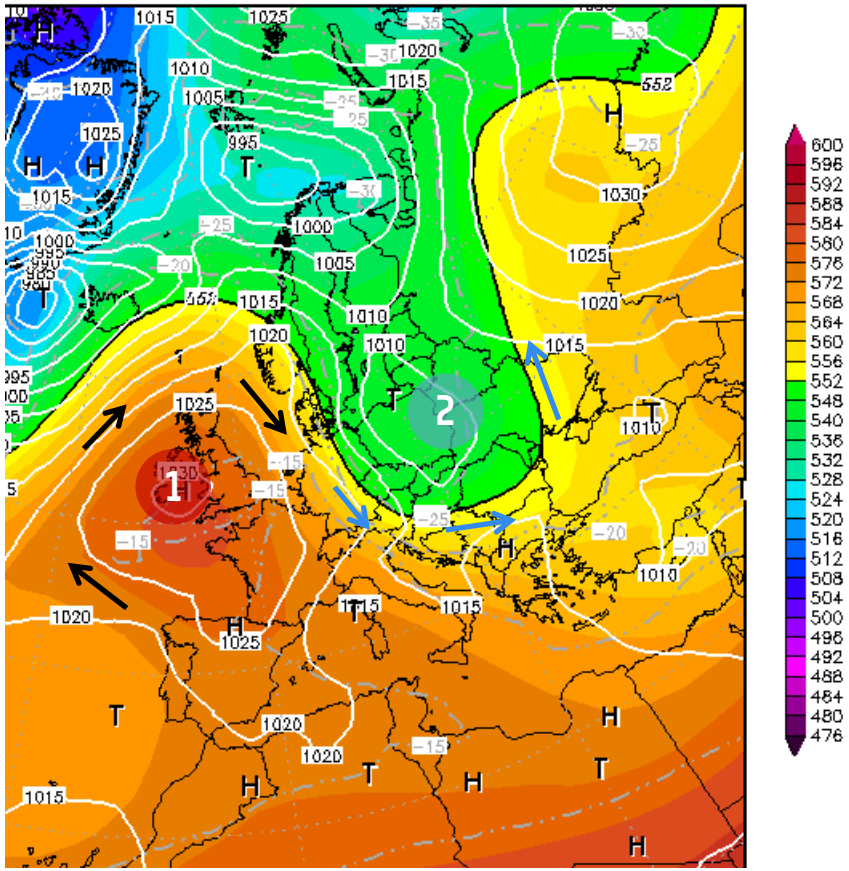
Häufig drängt die warme Luft Richtung Norden und zwingt die kalte Luft, sich zurückzuziehen. So bildet sich ein hutförmiger KEIL, nämlich ein Gebiet, wo sich der Luftdruck von 500 hPa Richtung Norden auf einer grösseren Höhe befindet.

Ein KEIL verhält sich wie ein Hochdruckgebiet: Der Wind dreht rund um ein Keil im Uhrzeigersinn und wenn die Luft sinkt (was häufig der Fall ist), ist das Wetter schön (oder wird besser).

TROG (2)

Häufig drängt die kalte Luft Richtung Süden und bildet so einen U-förmigen TROG, nämlich ein Gebiet Richtung Süden, wo sich der Luftdruck von 500 hPa auf einer tieferen Höhe befindet.

Ein TROG verhält sich wie ein Tiefdruckgebiet: Der Wind rund um einen Trog dreht gegen den Uhrzeigersinn und wenn die Luft steigt (was häufig der Fall ist, vor allem auf der vorderen Seite des Trogs), dann verschlechtert sich das Wetter (oder bleibt schlecht).

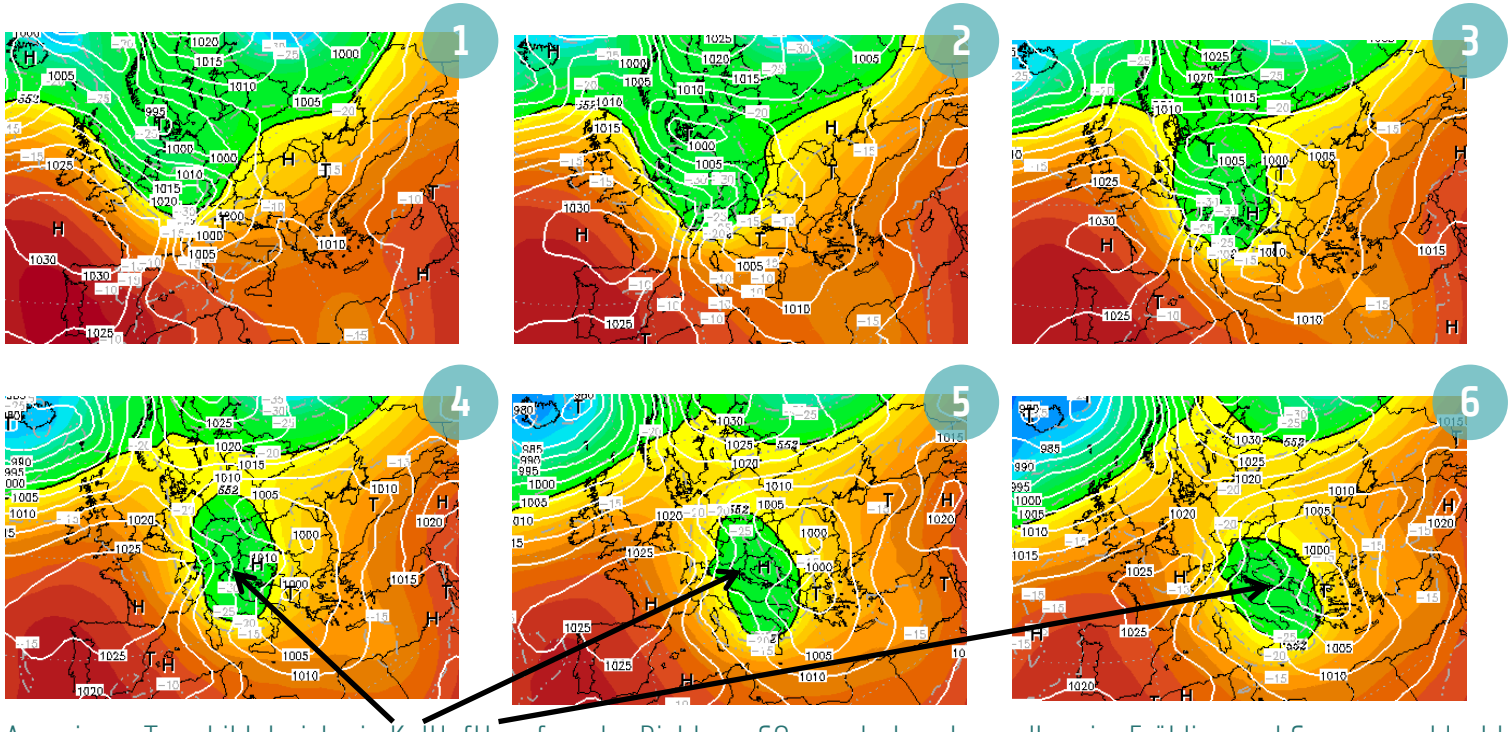


In einem Keil (1) erwarten wir eher schönes Wetter und in einem Trog (2) erwarten wir eher instabiles Wetter. Rund um einen Keil dreht der Wind im Uhrzeigersinn (schwarze Pfeile) und rund um den Trog gegen den Uhrzeigersinn (blaue Pfeile).

Kaltlufttropfen

Kaltlufttropfen sind ex-Tröge, die Richtung Süden ausgewandert sind und sich selbstständig gemacht haben. Sie haben einen grossen Einfluss auf das Wetter.

Wenn du eine Isobaren-Karte studierst, merkst du nicht, ob ein Kaltlufttropfen auf 3'000 m über Meer (und höher) die Schweiz besucht: Auf Meereshöhe können die Luftdruckunterschiede über 1'016 hPa liegen und trotzdem kann das Wetter wegen einem Kaltlufttropfen regnerisch und windig sein. Kaltlufttropfen erkennt man sehr gut auf einer 500 hPa-Karte.

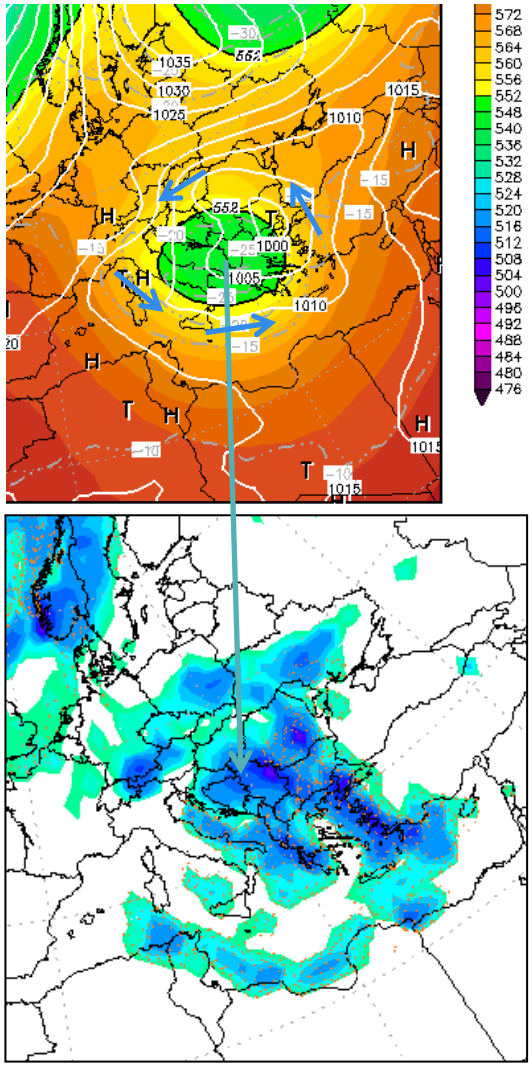


Aus einem Trog bildet sich ein Kaltlufttropfen, der Richtung SO wandert und vor allem im Frühling und Sommer schlechtes Wetter verursacht.

Kaltlufttropfen

Die Abbildung auf der rechten Seite zeigt, dass ein Kaltlufttropfen mit Zentrum über dem Balkan erreicht hat und aus diesem Grund über Italien der Luftdruck von 500 hPa auf 5'480 m gesunken ist.

Diese grüne Fläche verhält sich wie ein Tiefdruckgebiet, d.h. die Luft dreht rund um das Zentrum des Kaltlufttropfens im Gegenuhrzeigersinn. Wo in diesem Bereich die Luft steigt, erwarten wir Niederschläge (siehe die blauen Flecken in der unteren Abbildung, die die Intensität der Niederschläge wiedergeben).

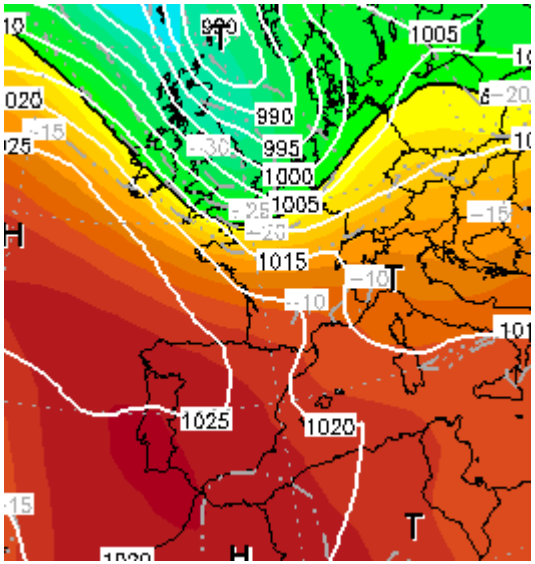


Luftdruckunterschiede

Rasche Farbänderungen deuten darauf hin, dass die Luftdruckunterschiede in der entsprechenden Region gross sind. Grosse Luftdruckunterschiede verursachen starken Wind.

Aus diesem Grund erwarten wir aufgrund dieser 500 hPa-Karte über Frankreich auf etwa 5'500 m über Meer starken Wind (50 Knoten und mehr).

Über Spanien dagegen herrscht eine einzige Farbe. Die Luftdruckunterschiede über Spanien sind gering und der Wind auf 5'800 m über Meer wahrscheinlich schwach.



In Frankreich erwarten wir in grosser Höhe starken Wind, weil die Luftdruckunterschiede gross sind (die Farben wechseln rasch von roten zu grünen Tönen).

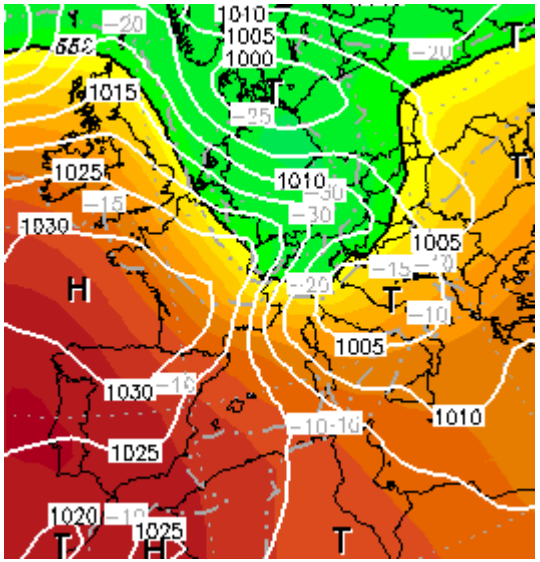
500 hPa und Isobaren

Deutschland und ein grosser Teil von Mitteleuropa befinden sich im Einflussbereich einer ausgedehnten grünen Fläche. Das spricht für geringe Luftdruckunterschiede auf ca. 5'500 m über Meer. Die Schlussfolgerung wäre, dass der Wind auf dieser Höhe schwach ist.

Die Isobaren, die die Luftdruckverteilung auf Meereshöhe darstellen und auf der 500 hPa-Karte weiss sind, zeigen dagegen ausgeprägte Luftdruckunterschiede. Was stimmt jetzt?

Haben wir über Deutschland in den Bergen viel oder wenig Wind?

Klarheit schafft die 700hPa-Karte...



Siehe Deutschland: Starke Luftdruckunterschiede auf Meereshöhe (weisse Linien) und geringe Luftdruckunterschiede auf 5'500 m über Meer (grüne Fläche). Erwarten wir in den Bergen viel oder wenig Wind über Deutschland?

700 hPa-Karte

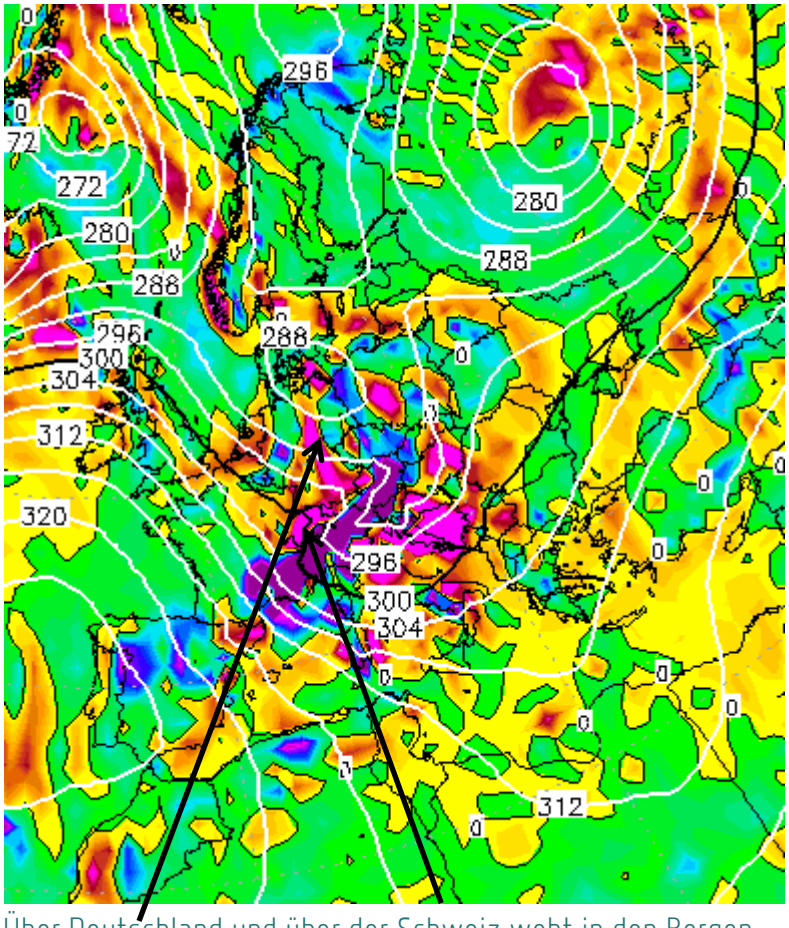
In der hier abgebildeten 700 hPa-Karte werden die ISOHYPSEN nicht mit farbigen Flächen, sondern MIT WEISSEN LINIEN dargestellt!!!

Jede weisse Linie zeigt, auf welcher Höhe sich der Luftdruck von 700 hPa befindet. Die Zahl «296» bedeutet z.B. dass der Luftdruck von 700 hPa auf 2'960 m über Meer liegt.

Die 700 hPa-Karte zeigt zudem ganz unterschiedliche komische Farben. Die kannst du ignorieren. Konzentriere dich nur auf die weissen Linien.

Die weissen Linien - die Isohypsen - über Deutschland liegen in unserem Beispiel ganz eng nebeneinander. Das spricht für grosse Luftdruckunterschiede auf 3'000 m über Meer, das heisst für starken Wind.

Somit können wir schon die Frage der vorherigen Seite beantworten: Über Deutschland weht der Wind auch in grosser Höhe stark... sowohl auf 3'000 m über Meer, wie auch wahrscheinlich in noch grösseren Höhen.



Über Deutschland und über der Schweiz weht in den Bergen ein starker Wind

850 hPa-Karte

Gelegentlich ist es sinnvoll, die Luftdruckverteilung auch auf 1'500 m über Meer zu studieren, z.B. wenn man im Jura fliegt.

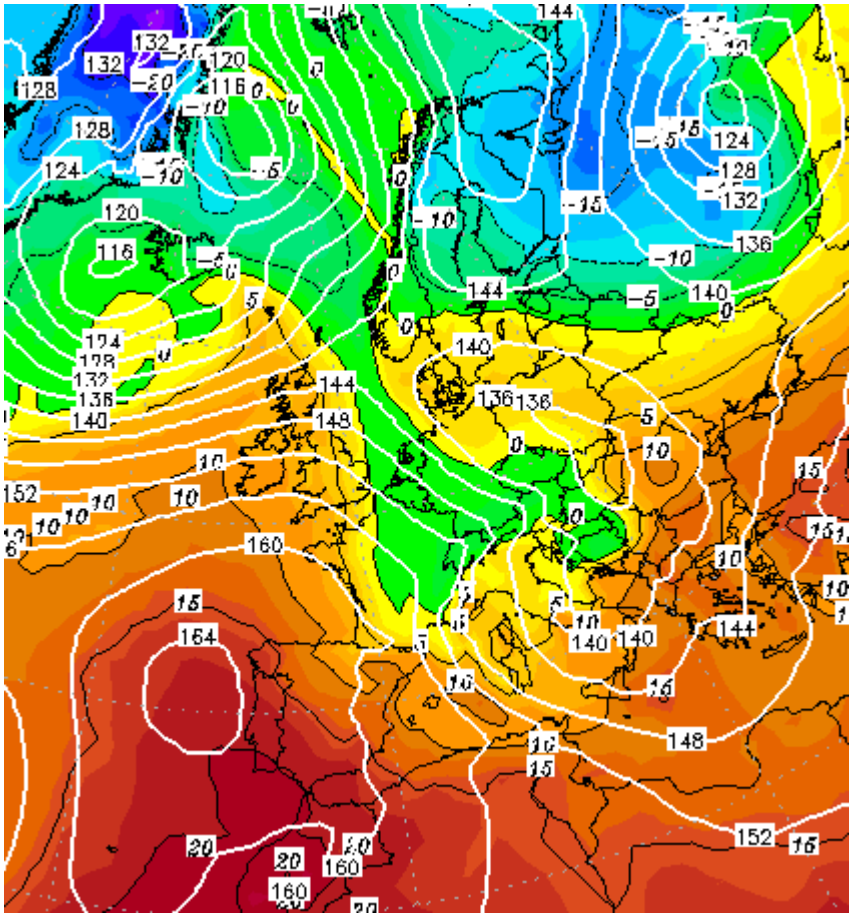
Auf der 850 hPa-Karte zeigen DIE WEISSEN LINIEN, NÄMLICH DIE ISOHYPSEN, auf welcher Höhe sich der Luftdruck von 850 hPa befindet. Ein Beispiel: Die Zahl «148» bedeutet, dass der Luftdruck von 850 hPa auf 1'480 m über Meer liegt.

Wenn die weissen Isohypsen eng beieinander liegen (wie in dieser Abbildung: siehe Deutschland und Schweiz), sind die Luftdruckunterschiede auf 1'500 m gross und der Wind weht mit starker Intensität.

Zur vorherigen Frage: Haben wir über Deutschland in den Bergen viel oder wenig Wind?

Die Antwort lautet: «Starker Wind!».

Die farbigen Flächen zeigen in dieser Abbildung die Temperatur der Atmosphäre auf einer Höhe von 850 hPa.



Auf einer Höhe von 850 hPa sind die Luftdruckunterschiede über Deutschland und der Schweiz gross (siehe die weissen Isohypsen). Deswegen erwarten wir starken Wind.

500 hPa - 700 hPa - 850 hPa + Isobaren

Das Wettermodell GFS stellt dir alle diese Informationen kostenlos zur Verfügung. Wo du diese Wetterkarten findest, zeigt dir das Video auf:

- www.5steps.ch/abc/002.htm

Mit wenigen Mausklicks erfährst du, wie die Luftdruckverteilung auf rund 5'500 m, 3'000 m, 1'500 m über Meer sowie auf Meereshöhe aussieht. Somit kannst du für die verschiedenen Stockwerke der für uns relevanten Atmosphäre abschätzen, woher der Wind kommt und wie stark er weht.

Diese Stockwerke sind aber nicht immer voneinander getrennt! Es ist durchaus möglich, dass z.B. die Luftdruckunterschiede auf 1'500 m gross und auf Meereshöhe gering sind, was dazu führt, dass die Höhenwinde tagsüber nach unten drängen und mässigen Wind in tieferen Lagen verursachen. Es sei denn, dass z.B. eine INVERSION oder eine BODENINVERSION das Mitteland und die tief gelegenen Fluggebiete von den Höhenwinden schützen. Ein Thema, das wir später behandeln werden.

Windy

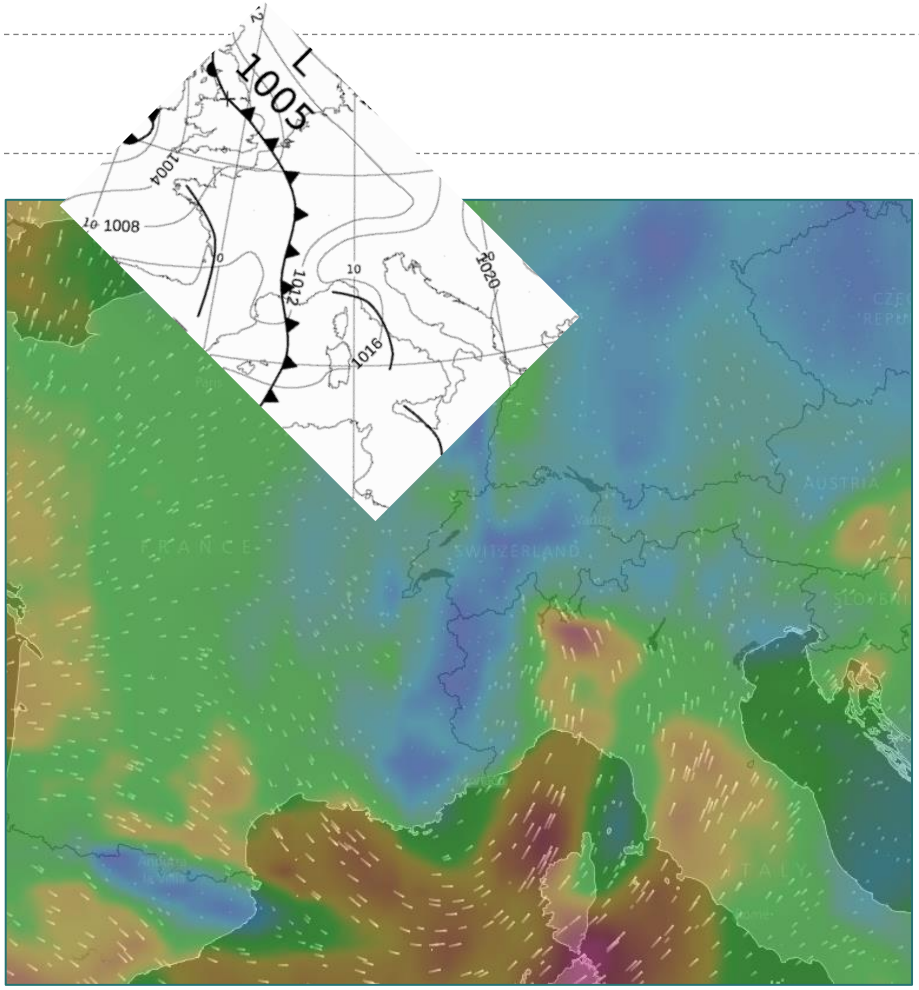
Die Isobaren- und Isohypsen-Karten wirken sehr statisch. Für ein besseres Verständnis der aktuellen Wetterlage bietet Windy eine sehr attraktive graphische Lösung an.

Die Auflösung von 22 km von GFS, von 7 km für Icon, von 9 km von EZ (ECMWF) bzw. - wo verfügbar - von 4 km von Meteoblue (NEMS) für Mitteleuropa ermöglicht eine einfache Analyse, wie die überregionale Luftdruckverteilung die Luftströmungen beeinflusst.

Diese Karte kann ich wärmstens empfehlen, um das Verständnis der Beziehung zwischen Luftdruckverteilung und Windströmung zu schulen.

Für die lokale Prognose ist es jedoch sinnvoll, zusätzliche Windvorhersagen zu überprüfen, die speziell für die Schweizer Topographie entwickelt wurden und später beschrieben werden.

- Mehr über Windy: youtube.com/watch?v=nLtdS293VdE



Windy zeigt eindrücklich, wie die Luftströmung über das Mittelmeer einen Bogen macht und anschliessend über Norditalien gegen die Alpen stösst. So entsteht das Föhnknie.

Zusammenfassung: Schritt 2

Für Schritt 2 brauchst du eine Isobaren-Karte, eine 500 hPa-Karte, eine 700 hPa- und eine 850 hPa-Karte. Manchmal ist es auch sinnvoll als Ergänzung Windy zu studieren.

Um diese Karten zu studieren, BRAUCHST DU MEISTENS 2 MINUTEN (obwohl so viele Informationen notwendig waren, um dir das Wichtigste zu erklären).

Mit Schritt 2 sind wir jetzt fertig. In Schritt 3 würden wir für den geplanten Flugtag die regionale Wind-, Wolken-, Nebel-, Föhn- und Niederschlagprognose anschauen.

Wir kehren jedoch einen Schritt zurück, weil uns Schritt 1 fehlt und erst jetzt nachgeholt werden kann, nachdem wir uns mit der 500 hPa-Karte auseinandergesetzt haben. Es geht um die Analyse der Zuverlässigkeit der Prognose und dazu gehören u.a. die SPAGHETTIS.

Schritt 1

SPAGHETTI, Vergleich 500 hPa GFS mit EZ

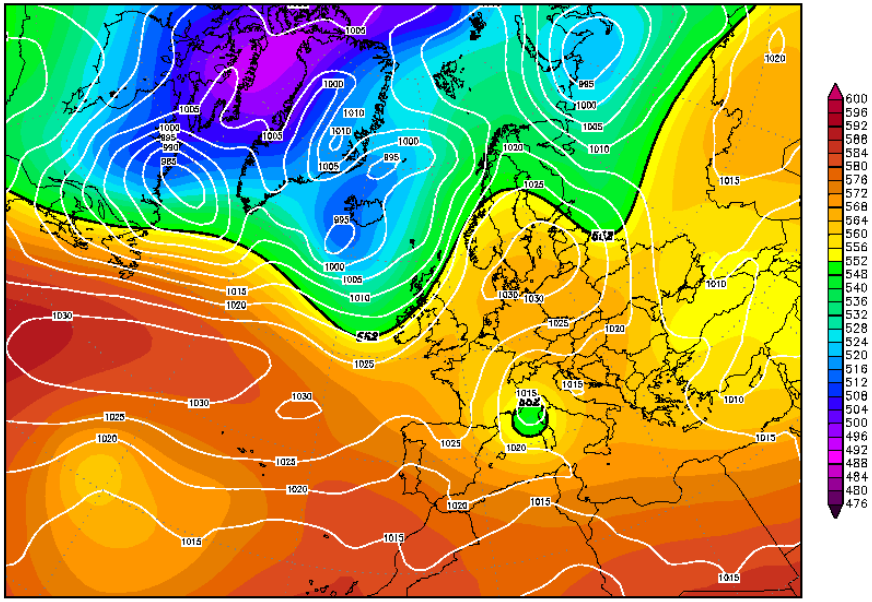
500 hPA als Grundlage für die SPAGHETTI

Die SPAGHETTI -Prozedur basiert auf der 500 hPa-Karte vom Wettermodell GFS.

Die dicke, schwarze Linie auf der Karte zeigt, in welchem Bereich der Luftdruck von 500 hPa auf einer Höhe von 5'520 m über Meer an einem bestimmten Tag und an einer bestimmten Zeit erwartet wird (in unserer Abbildung: 21. April 2013 00 UTC).

Jedoch: Wie zuverlässig ist diese Luftdruckverteilung auf etwa 5'500 m überhaupt? D.h.: Wie zuverlässig ist es, dass sich der Keil, der Trog und der Kaltlufttropfen an den hier angezeigten Stellen befinden?

Kein Wettermodell wird nur von korrekten und vollständigen Daten gespeist (z.B. über Wind, Feuchtigkeit und Temperatur). Wie gravierend fehlende und falsche Anfangsdaten für die Prognose der Druckverteilung sind, überprüft man mit den SPAGHETTI: Hier werden die Anfangsdaten mehrmals verändert und nach jeder Manipulation wird eine Prognose erstellt. Dies um die Frage zu beantworten, ob trotz fehlenden oder falschen Daten die schwarze dicke Linie immer noch da ist, wo sie erwartet wird. Was daraus entsteht...



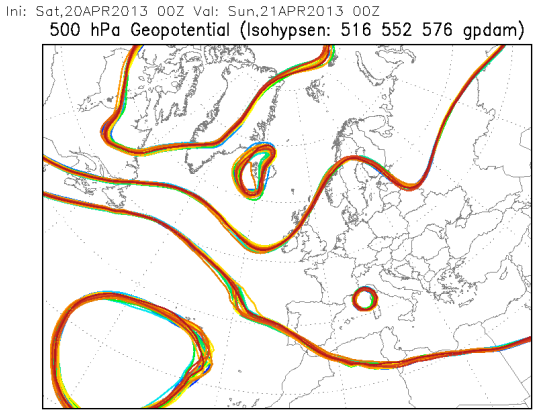
Werden Keil, Trogs und Kaltlufttropfen wirklich da sein, wo man sie erwartet?

SPAGHETTI

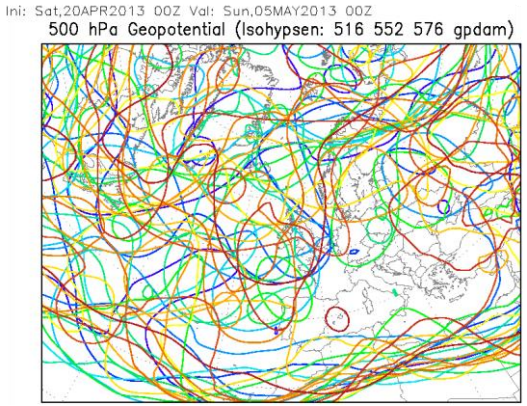
... sind die SPAGHETTI.

Die Prognose wird mit manipulierten Anfangsdaten mehrmals wiederholt. Überlappen sich die Linien der SPAGHETTI, ist die Prognose der Druckverteilung, nämlich der Position des Keils, des Trogs und der Kaltlufttropfen wahrscheinlich zuverlässig.

Chaotische Linien deuten hingegen darauf hin, dass die Prognose der Druckverteilung unzuverlässig ist. In diesem Fall ist es auch nicht sinnvoll, andere Prognosen für den geplanten Flugtag anzuschauen.



Die Prognose der Druckverteilung für den geplanten Flugtag scheint zuverlässig zu sein.

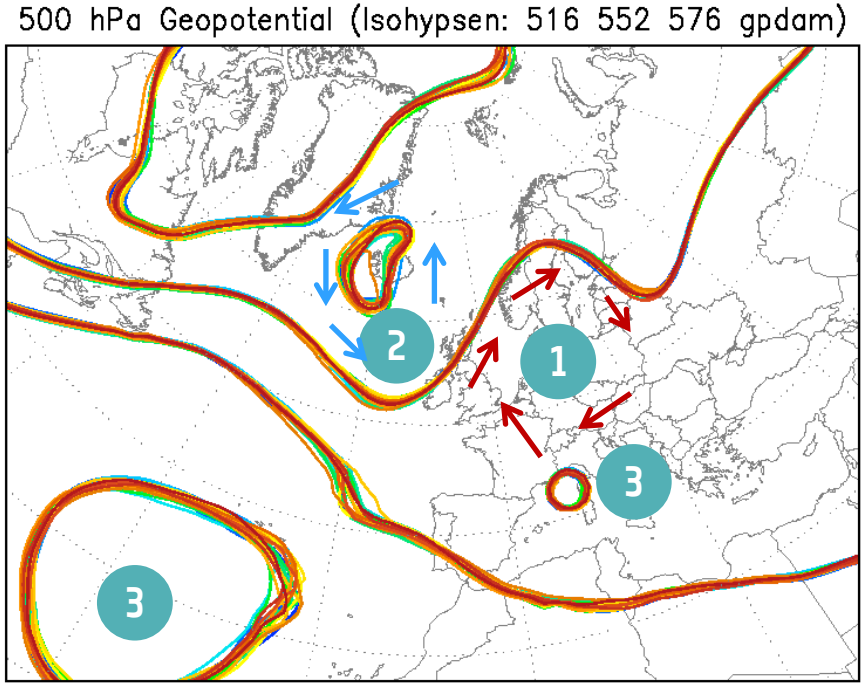


Die Prognose der Druckverteilung für den geplanten Flugtag ist unzuverlässig. An dieser Stelle kann die Prognose aufhören.

SPAGHETTI

Die SPAGHETTI dienen in erster Linie dazu, die Zuverlässigkeit der Prognose der Druckverteilung in grosser Höhe zu beurteilen. Auf einen Blick ermöglichen sie jedoch auch einen ersten Eindruck über die mögliche Wetterentwicklung für den geplanten Flugtag zu gewinnen:

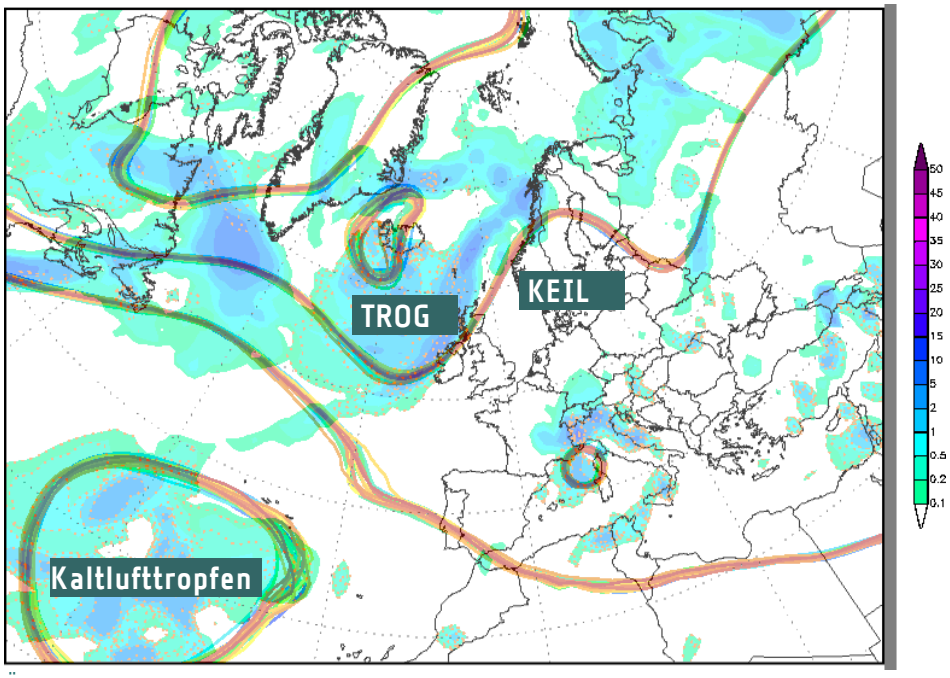
- KEIL (1)
  In einem Keil dreht die Luft im Uhrzeigersinn wie in einem Hochdruckgebiet. Hier erwarten wir (eher) schönes Wetter aufgrund von sinkender Luft.
- TROG (2)
  In einem Trog dreht die Luft gegen den Uhrzeigersinn wie in einem Tiefdruckgebiet. Hier erwarten wir eher schlechtes Wetter aufgrund von steigender Luft.
- KREISE (3)
  Kreise können sowohl Gebiete mit warmer oder kalter Luft (=Kaltlufttropfen) darstellen (erst wenn man die 500 hPa-Karte konsultiert, findet man heraus, wie diese Kreise interpretiert werden müssen). Wenn Kreise Kaltlufttropfen symbolisieren, dann erwarten wir in diesem Bereich eher schlechtes Wetter aufgrund von steigender Luft.



Mit den Spaghetti schätzt man die Zuverlässigkeit der Prognose der Druckverteilung. Zudem bekommt man schon einen Eindruck, wie sich das Wetter am geplanten Flugtag verhalten könnte.

SPAGHETTI und Niederschläge

Folgende Abbildung zeigt die Überlappung der SPAGHETTI- mit der Niederschlagskarte. Auf einen Blick merkt man, dass erwartungsgemäss in einem Keil das Wetter schön und in einem Trog sowie in den Kaltlufttropfen (westlich von Afrika und über Genua) eher regnerisch ist.



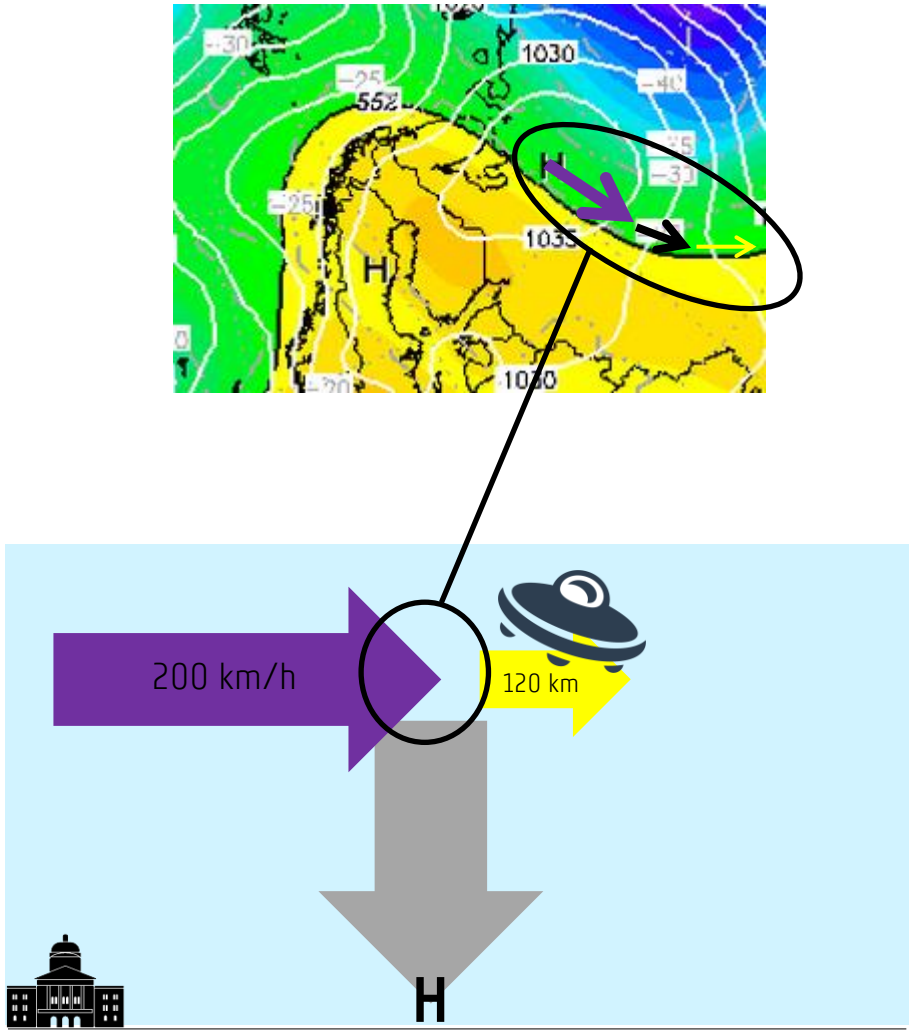
Überlappende Niederschlags- und SPAGHETTI-Karte von GFS

Entstehung eines Zwischenhochs

Aber warum ist das Wetter in einem Keil wahrscheinlich schön und in einem Trog vermutlich schlecht? Darauf gibt es eine recht simple Antwort:
Wegen dem Jetstream.

Dieser starke Wind weht zwischen dem 40. und 60. Breitengrad auf einer Höhe von 8 bis 12 km. Von entscheidender Bedeutung ist, dass der Jetstream wellenförmig verläuft und oft einer stark gekrümmten Bahn folgen muss.

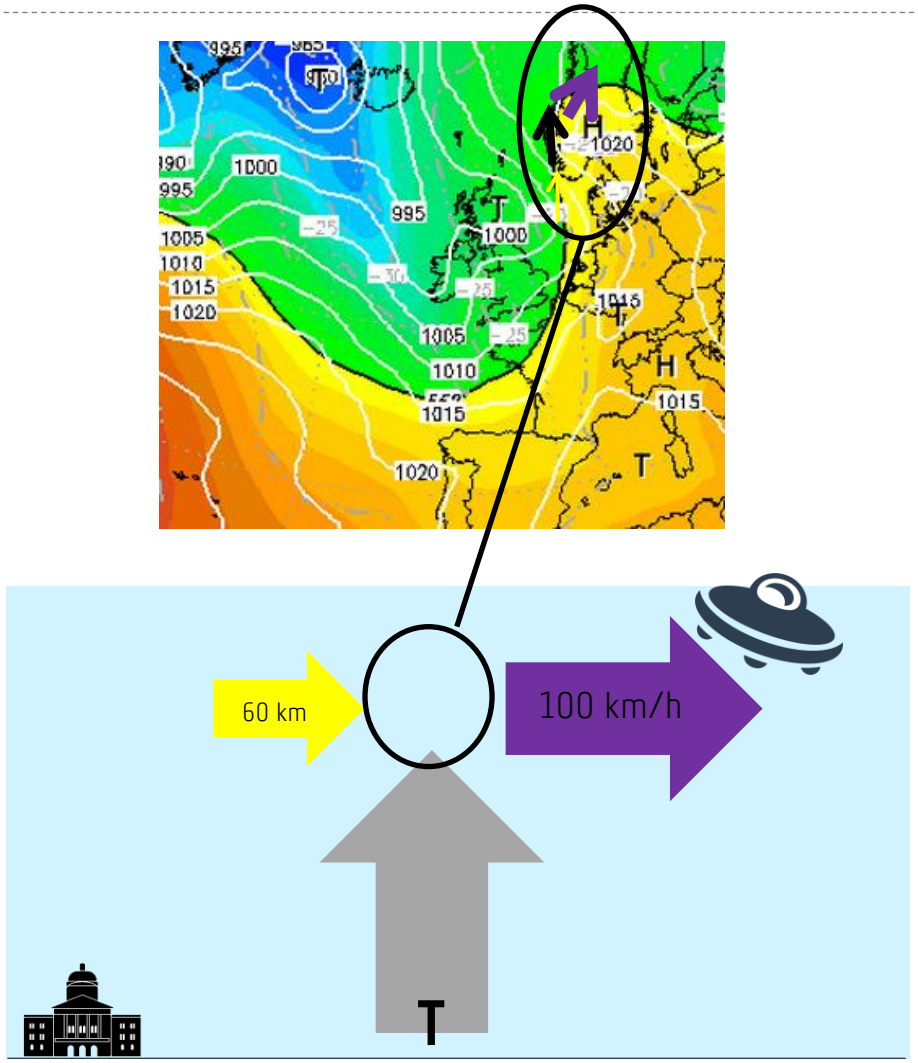
Aufgrund der starken Krümmung im unteren Bereich eines Trogs wird der Jetstream abgebremst, was dazu führt, dass sich die Luftmassen vor der Krümmung stauen. Die sich stauende Luftmasse (man spricht auch von KONVERGENZ in grosser Höhe) wird nach unten abtransportiert. Die absinkende Luft bedeutet am Boden einen steigenden Luftdruck, wodurch auf der Rückseite eines Trogs ein Zwischenhoch entsteht.



Ein Tiefdruckgebiet entsteht

Umgekehrt beschleunigt der Jetstream wegen der Krümmung im oberen Bereich eines Keiles. Die DIVERGENZ als Folge der sich beschleunigenden Luftmasse in grösser Höhe führt zu einem «Vakuum». Als Ausgleich strömt Luft von unten nach oben. Aufsteigende Luft lässt den Luftdruck am Boden fallen: Ein Tiefdruckgebiet entsteht.

Der Jetstream entscheidet anschliessend, wohin die so entstandenen Tiefdruckgebiete ihre Reise fortsetzen werden.

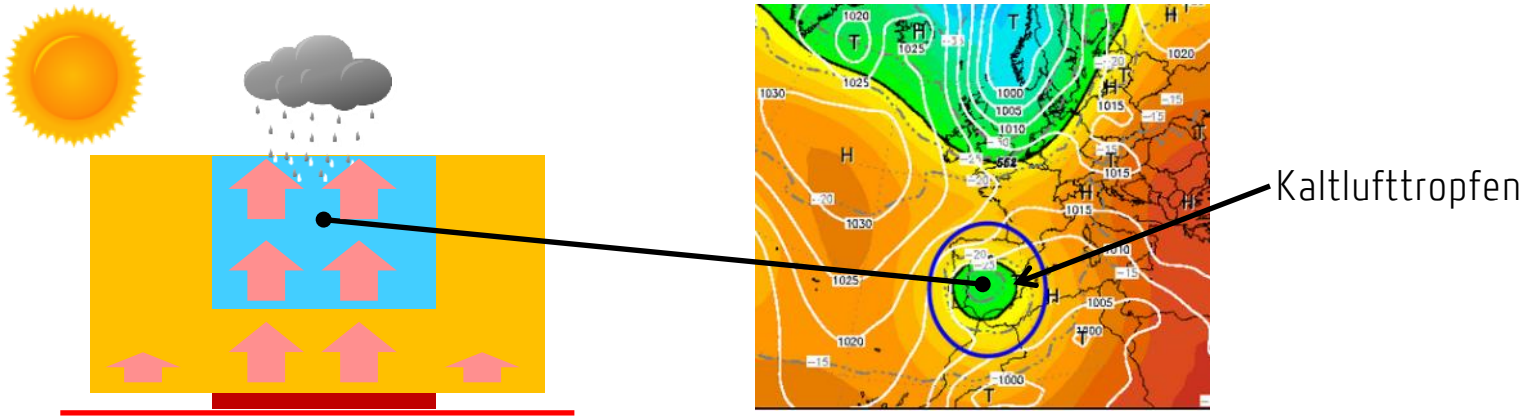


Kaltlufttropfen im Sommer und im Winter

Wenn sich aber ein Kaltlufttropfen von einem Trog trennt, dann ist er vom Jetstream frei. Dies erschwert die Prognose, da man nicht so genau weiss, wohin sich der Kaltlufttropfen bewegen wird.

Die kalte Luft des Kaltlufttropfens begünstigt das Steigen der darunter liegenden warmen Luft, was zur Kondensation und zur Bildung von Regenwolken führt (u.a. Cumulonimbus).

Aus diesem Grund sind Kaltlufttropfen vor allem im Sommer Auslöser von schlechtem Wetter (auch wenn die Luftdruckverteilung auf Meereshöhe keineswegs für ein Tiefdruckgebiet spricht!). Im Winter dagegen bringen Kaltlufttropfen auf ihrer vorderen Seite eher schönes Wetter (wegen sinkender Luft) und auf der hinteren Seite eher schlechtes Wetter (wegen steigender Luft).



Die Grenzen von SPAGHETTI und GFS

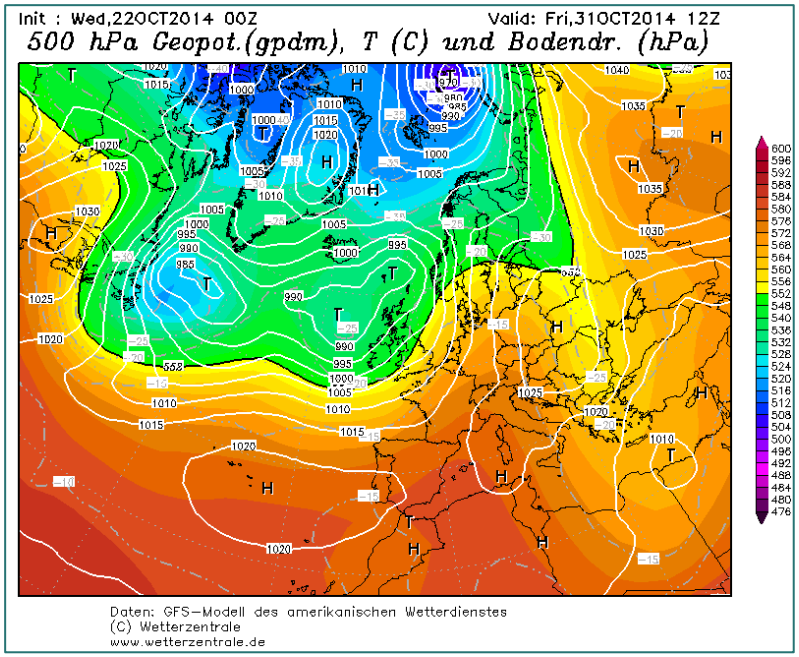
Mit den SPAGHETTI findest du heraus, wie zuverlässig die Prognose der Druckverteilung in grosser Höhe ist, auch falls die Anfangsdaten betreffend Temperatur, Feuchtigkeit, Wind usw. falsch oder unvollständig sind.

Was du aber mit den SPAGHETTI nicht erfahren kannst, ist ob das Wettermodell «GFS» überhaupt eine sinnvolle Prognose liefert. Auch wenn alle Anfangsdaten korrekt wären, ist es weiterhin möglich, dass GFS aufgrund anderer Fehlerquellen zu einer falschen Prognose kommt (das Thema hatten wir am Anfang dieser Unterlagen angesprochen: Es gibt verschiedene Gründe, warum ein Wettermodell unzutreffende Prognosen generieren kann).

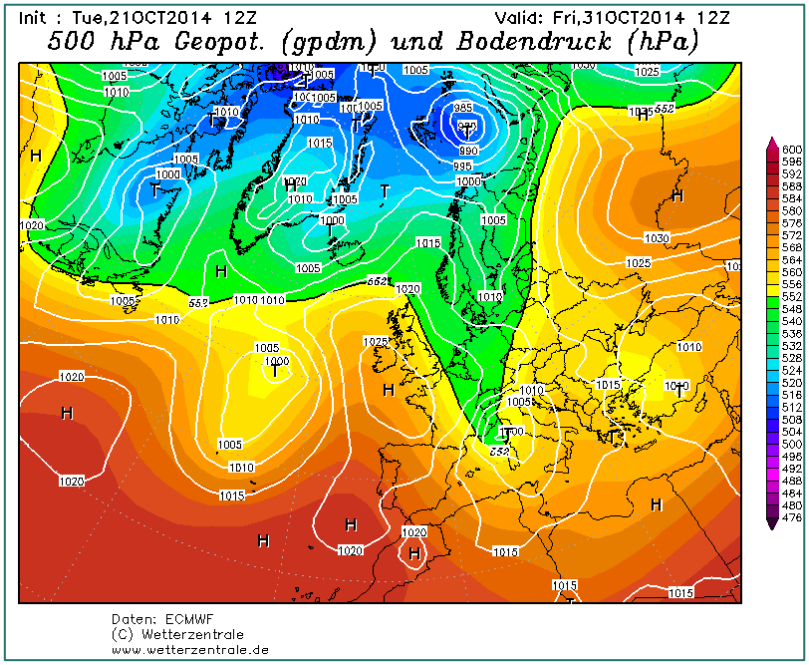
Und wie lösen wir das Problem? Dadurch dass wir die 500 hPa-Karte von zwei verschiedenen Wettermodellen vergleichen...

500 hPa von GFS und EZ

Um die Zuverlässigkeit der Druckverteilungsprognose für den geplanten Flugtag zu beurteilen, vergleichst du die 500 hPa-Karte von GFS mit dieser von EZ. Wenn du die zwei unteren Abbildungen als Beispiel vergleichst, merkst du, dass sich die Schweiz bei GFS am 31. Oktober 2014 um 12 UTC in einem Keil befindet. Hingegen ortet EZ die Schweiz in einem Trog. Auch die Luftdruckverteilung auf Meereshöhe (=die weissen Linien) der zwei Modelle zeigen ganz unterschiedliche Werte und Verläufe. Somit ist die Schlussfolgerung klar: Egal wie die SPAGHETTI von GFS aussehen, ist die Prognose für Freitag 31 Oktober 2014 zum Zeitpunkt der Erstellung dieser Karten noch nicht zuverlässig.



500 hPa-Karte von **GFS**



500 hPa-Karte von **EZ**

SCHRITT 1

Zum Schritt 1 gehört die Spaghetti-Karte sowie der Vergleich der 500 hPa-Karte vom GFS mit dieser von EZ.

MIT DIESEN INFORMATIONEN FINDEST DU IN 1-2 MINUTEN HERAUS, OB DIE PROGNOSE FÜR DEN GEPLANTEN FLUGTAG ZUVERLÄSSIG IST.

Falls nicht, kannst du dir die Zeit sparen, andere Prognosen zu überprüfen.

Falls die Prognose zuverlässig ist, leitest du SCHRITT 2 ein und untersuchst eine Isobaren-Karte, die 500 hPa-, 700 hPa- und 850 hPa-Karte.

Das haben wir aber schon gemacht und deswegen überspringen wir SCHRITT 2 und setzen unsere Arbeit mit dem SCHRITT 3 fort, um herauszufinden, welche Entwicklung wir für Wind, Wolken, Nebel und Niederschläge am geplanten Flugtag über Mitteleuropa und über der Schweiz erwarten können.

Schritt 3

Regionale Prognosen (Wind, Föhn, Niederschläge, Wolken, Nebel)

Knoten oder km/h?

Zum Thema «Wind» gehören einige Grundkenntnisse, die auf folgende Seiten kurz angesprochen werden.

Häufig wird die Windstärke in Knoten angegeben.
10 Knoten entsprechen 18 km/h.

Für die Berechnung gehst du so vor:

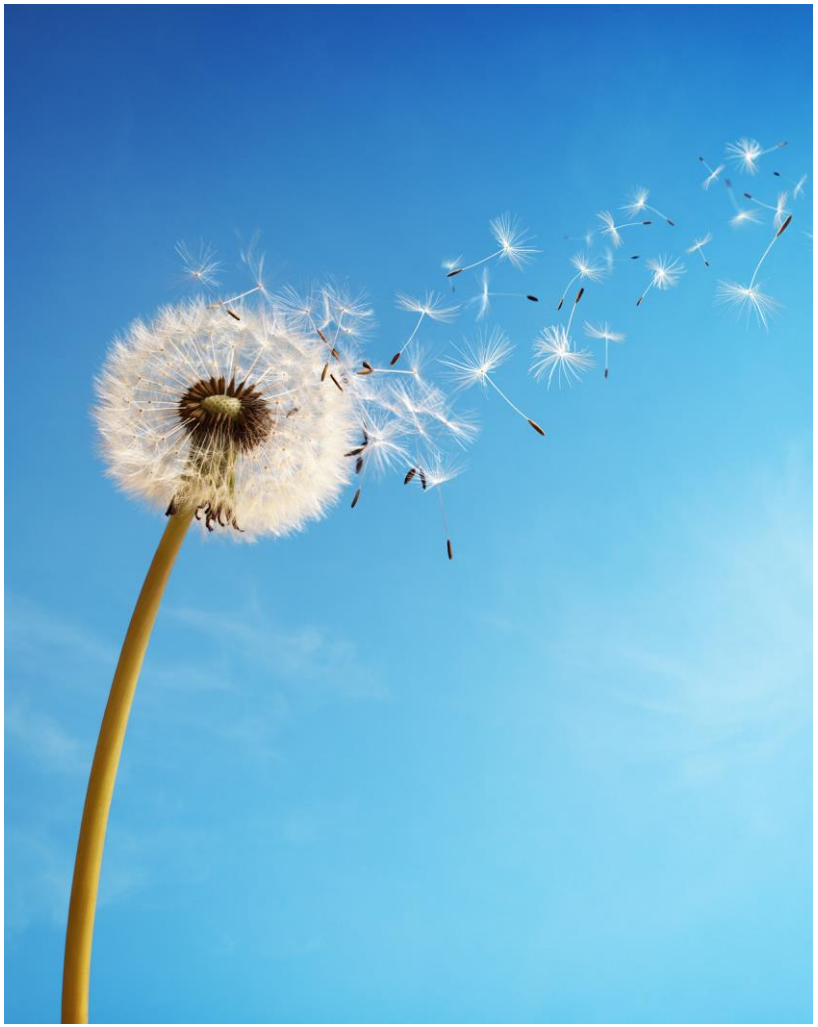
(Knoten x 2) - 10% vom Ergebnis

10 x 2 = 20

10% von 20 = 2

20 - 2 = 18 km/h

Wenn nichts anderes angegeben ist, musst du auf Windkarten von Angaben in Knoten ausgehen!



Windpfeile

Windangaben sagen immer die HERKUNFTSRICHTUNG des Winds an. Entweder mit einer Zahl zwischen 0° und 360° oder mit einem Pfeil, der Windsstärke und -richtung graphisch darstellt.

Die folgenden Pfeile zeigen West-Wind (also Wind aus Westen), jeweils von unterschiedlicher Geschwindigkeit.

20 Knoten

45 Knoten

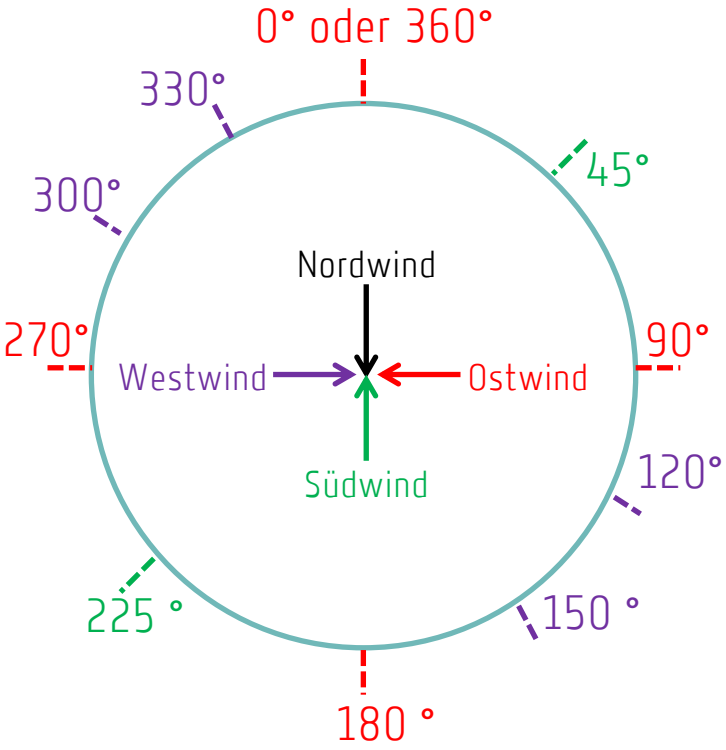
5 Knoten

50 Knoten

10 Knoten

15 Knoten

65 Knoten



hPa oder m.ü.M.?

Die Höhe wird häufig nicht in m über Meer, sondern in hPa angegeben. Gemäss Annahmen der Standardatmosphäre[1] gilt es:

- 0 m = 1000 hPa (genauer gesagt: 1013 hPa)
- 1'000 m über Meer = 900 hPa
- 1'500 m über Meer = 850 hPa
- 2'000 m über Meer = 800 hPa
- 3'000 m über Meer = 700 hPa
- 5'500 m über Meer = 500 hPa

[1] Die Standardatmosphäre ist ein Begriff aus der Luftfahrt und bezeichnet idealisierte Eigenschaften der Erdatmosphäre. Sie stellt einen Mittelwert des auf der Erde herrschenden Luftdrucks, der Lufttemperatur, der Temperaturabnahme pro 100 Meter und von weiteren Parametern dar.

Zeitangaben

Die Zeit wird häufig in UTC («Universal Time Coordinated», also «koordinierte Weltzeit») oder Z (Zulu-Time) angegeben.

Im Sommer gilt für die Schweiz:

- Lokale Zeit = UTC + 2 Stunden
- Lokale Zeit = Z + 2 Stunden

Im Winter gilt für die Schweiz:

- Lokale Zeit = UTC + 1 Stunde
- Lokale Zeit = Z + 1 Stunde

Beispiele:

- Im Juni entspricht 12 UTC oder 12Z bei uns 14 Uhr Lokalzeit.
- Im November entspricht 06 UTC oder 06Z bei uns 7 Uhr Lokalzeit.

Überprüfe bei jeder Prognose, ob die angegebene Zeit UTC oder Lokalzeit (LT) ist

Wind

Der Wind entsteht als Folge von Luftdruckunterschieden.

Bei kleinräumigen Phänomenen wie Talwind oder Föhn fliesst die Luft direkt vom Gebiet mit höherem Druck zum Gebiet mit tieferem Druck. Je grösser die Luftdruckunterschiede sind, desto schneller weht der Wind.

Bei grossräumigen Phänomenen wirkt noch zusätzlich die Corioliskraft: Sie lenkt die Luft (zumindest auf der Nordhalbkugel) nach rechts ab, so dass der Wind nicht mehr direkt von einem H zu einem T fliesst, sondern mehr oder weniger parallel entlang den Isobaren.

Sowohl bei kleinräumigen wie grossräumigen Phänomenen spielt die Topographie, in der sich die Luft bewegt, eine entscheidende Rolle: Die Täler lenken die Luft in die Talrichtung ab. Hohe Bergketten können verhindern, dass der überregionale Wind (=Wind, der als Folge von Luftdruckunterschieden über Europa entsteht) geschützte Fluggebiete erreicht.

Wenn man bedenkt, dass die Schweiz praktisch nur aus Tälern und Bergen besteht (auch das Mittelland ist ein «Tal» zwischen Jura und Alpen), dann versteht man, warum das Thema «Wind» für uns so komplex ist.

Die Schweizer Topographie ist sehr komplex. Entsprechend komplex ist das Thema «Wind» in der Schweiz

Woher kommt der Wind?

Mit einer Isohypsen-Karte kann man schätzen, woher der Wind kommt und wie stark er wehen wird (SCHRITT 2).

Fakt ist aber auch, dass das Phänomen «Wind» und die schweizerische Topographie sehr komplex sind. Es kommt z.B. vor, dass die Windprognose erst möglich ist, nachdem man die regionalen Wettermodelle studiert hat (SCHRITT 3).

Wenn die regionalen Wettermodelle eine einstimmige Prognose liefern, dann besteht eine gewisse Wahrscheinlichkeit, dass diese Prognose zutreffen wird, selbst wenn die Isobaren- und Isohypsen-Karten keine Anhaltspunkte geben.

Wenn sich dagegen die Windprognosen widersprechen, muss man versuchen, aufgrund von SCHRITT 2 herauszufinden, welche Vorhersage am zuverlässigsten ist.

Ein Gleitschirmpilot freut sich, über dem Weissenstein im Jura zu fliegen

Tipp

Die regionalen Windprognosen werden auf www.5steps.ch/meteo aufgeschaltet, wenn du oben links im Browser auf das Wind-Symbol klickst oder tippst.

Klicke oder tippe im Browser unter www.5steps.ch/meteo auf das Symbol mit dem Windsack: Dann erscheinen nur die regionalen Windprognosen.

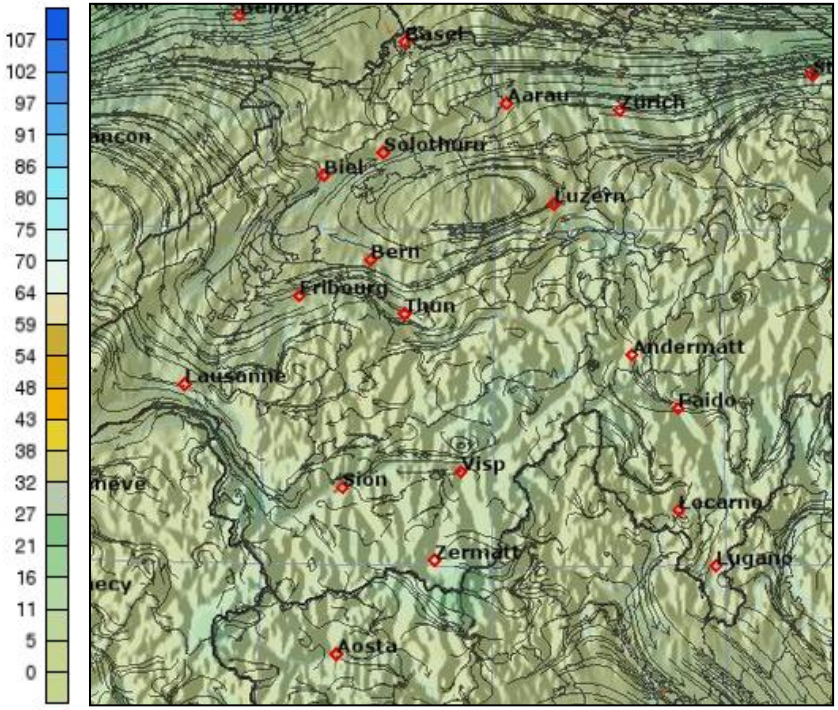
Wind-Strömung (Meteoblue)

Besonders nützlich wegen dem hohen Detaillierungsgrad für das Verständnis der Windströmungen in der Schweiz und in anderen Ländern sind die Windkarten von Meteoblue.

Die feinen Pfeile stellen die erwartete Windrichtung für die ausgewählte Höhe dar (u.a. 10 m über Grund, 900 hPa, 850 hPa, 800 hPa und 700 hPa).

Betrachte als Beispiel die Abbildung auf der rechten Seite: Gemäss dieser Prognose erwarten wir in Solothurn Wind aus W-SW, in Bern aus Osten, in Lausanne aus SE und in Zürich aus Westen. Keine Isobaren-Karte würde eine solche Komplexität in einem geographisch so kleinen Raum vermuten lassen.

Die Windströmungen von Meteoblue helfen dir, mit der Komplexität des Schweizer Windsystems vertraut zu werden und eine Prognose der Windrichtung für den geplanten Flugtag zu erarbeiten. Wenig benutzerfreundlich ist leider die Interpretation der Windgeschwindigkeit bis etwa 30 km/h, weil die den Windstärken zugeordneten Farben kaum voneinander zu unterscheiden sind.



Sehr detailliert zeigt Meteoblue die Windströmungen in der komplexen Schweizer Topographie. Das ist sehr hilfreich, um die Windrichtung zu bestimmen.
Bis 32 km/h ist es schwierig die Farben, die die Windgeschwindigkeit abbilden, voneinander zu unterscheiden. Erst wenn die Farbe orange oder blau wird, weiss man, dass der Wind definitiv zu stark weht.

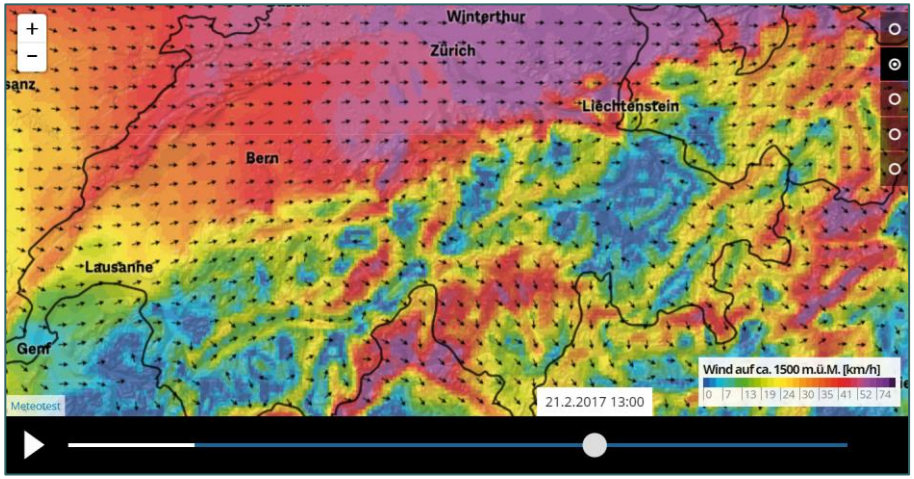
Flugbasis

Besonders empfehlenswert ist auch die Windprognose von Flugbasis (Auflösung: 2 km). Sie gibt Windstärke in km/h und -richtung für drei Höhen an: 10 m über Boden, 1'500 m und 3'000 m über Meer.

Die Interpretation der Windgeschwindigkeit ist kinderleicht! Der blaue und grüne Hintergrund deuten auf schwachen Wind, gelb heisst aufpassen und rot/violett bedeutet für Gleitschirmpiloten, dass der Wind definitiv zu stark ist.

Die Prognose von Flugbasis hat weitere Vorteile:

- Sie zeigt die Wind-Prognose für jede Stunde an
- Man kann in der Karte reinzoomen



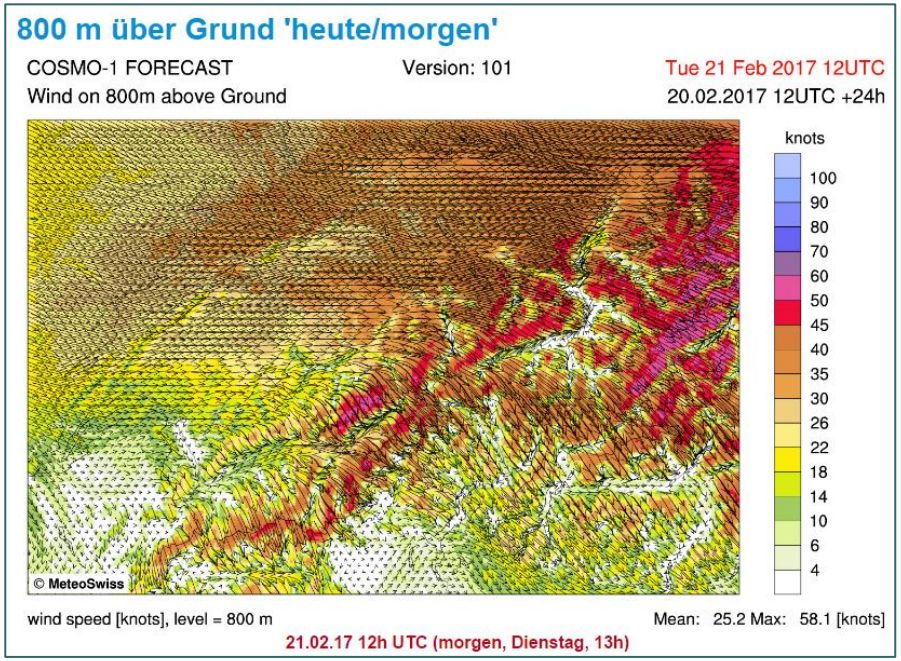
Die Windprognose von Flugbasis mit ihrer benutzerfreundlichen Legende:
Blau und grün = Wind ok
Gelb = Mässiger Wind, das heisst aufpassen
Rot = Mässiger bis starker Wind: Gefahr!

Cosmo 1 und 7

Auf dem Wettermodell von EZ basiert die für die Schweiz optimierte Windprognose von COSMO 1 (Auflösung: 1 km).

Für kurzfristige Prognosen ist COSMO 1 eine Karte, die Piloten unbedingt überprüfen sollten: Für 10 m über Grund und 800 m über Grund (nicht über Meer!) werden Windrichtung und durchschnittliche Windgeschwindigkeit in Knoten im 3-Stunden-Takt dargestellt. Vor allem die 800 m über Grund-Karte ist nützlich, um die Talwinde und die Föhnströmungen in den grossen Tälern abzubilden.

Für die mittelfristige Windprognose sowie für die Windprognose auf 2'000, 3'000 und 4'000 m über Meer stehen die Karten von COSMO E (Auflösung: 7 km) zur Verfügung.



Prognose der Windgeschwindigkeit (in Knoten) und Richtung 800 m über Grund für den 21. Februar um 13 Uhr lokale Zeit

Meteoblue, Flugbasis, Cosmo???

Vielleicht fragst du dich nun, welche Windprognose von welchem Wettermodell du überprüfen solltest, bevor du fliegen gehst. Die Antwort dazu ist ganz einfach: ALLE!

Wenn die verschiedenen Windprognosen für die gleiche (!) Zeit und für die gleiche (!) Höhe ähnliche Ergebnisse liefern, dann ist die Prognose wahrscheinlich zutreffend. Als Beispiel: Wenn alle Wettermodelle im Laufe vom Nachmittag eine Windzunahme angeben, sowie eine Änderung der Windrichtung von Westen nach Norden, dann ist die Wahrscheinlichkeit ziemlich gross, dass diese Änderungen zutreffen werden.

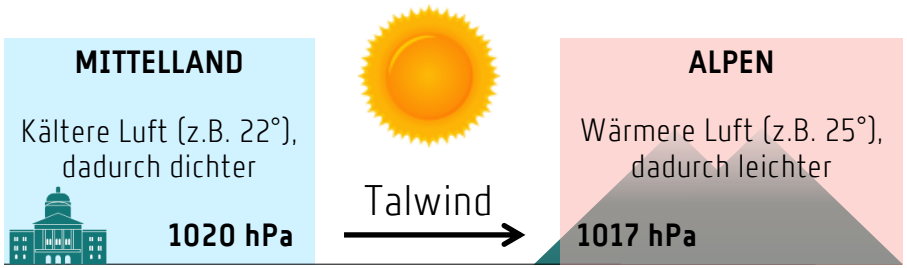
Schwieriger wird die Interpretation, wenn sich die Windprognosen widersprechen, was nicht selten vorkommt. In diesem Fall kannst du - wenn du die allgemeine Wetterlage (SCHRITT 2) studiert hast - versuchen zu schätzen, welche Windprognose stimmen könnte. Das ist nicht einfach, aber es klappt oft mit zunehmender Übung und Kenntnis deines Fluggebietes.

Perfekte Bise-Bedingungen am Startplatz vom Üetliberg. Stundenlang konnte man an diesem Tag soaren…

Alpiner Talwind

Am Vormittag von ruhigen Sommertagen herrscht über den Alpen und im Mitteland vorerst in etwa der gleiche Luftdruck - vor allem, wenn über Mitteleuropa eine flache Druckverteilung für schwachen Wind sorgt.

Die Sonne kann jedoch während dem Tag die Luft in den Alpen wirksamer erwärmen als im Flachland. Diese Tatsache wird dich vielleicht überraschen. Immerhin ist es in den Alpen im Sommer kälter als im Mittelland. Aber wenn du die Temperatur im Flachland auf z.B. 1'000 m mit der Temperatur in den Alpentälern ebenso auf 1'000 m über Meer vergleichst, würdest du feststellen, dass an einem durchschnittlichen Sommertag auf der gleichen Höhe die Temperatur der Luft in den Alpen höher als im Flachland ist (z.B. 3 Grad wärmer).



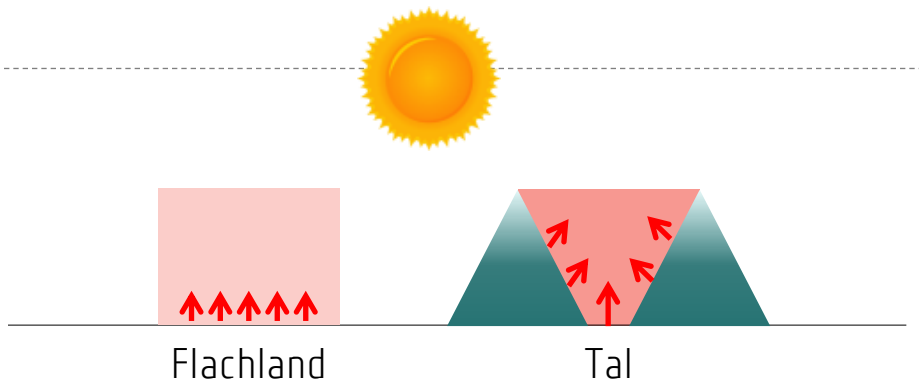
Hitzetief

Verschiedene Gründe führen dazu, dass die Sonne die Luft in den Alpen wirksamer erwärmt als im Flachland. Zwei davon:

- In den Alpentälern ist das Luftvolumen, das erwärmt wird, geringer als im Flachland.
- Die Bergflanken tragen dazu bei, dass die Luftmasse in den Alpen auf verschiedenen Höhen geheizt wird.

Über lokalen Gebirgsmassiven in den Alpen, die die Luft besonders stark erwärmen, dehnt sich die Luft aus und als Folge daraus nimmt der Luftdruck ab, was zur Entstehung eines HITZETIEFS führt. Davon gibt es mehrere, die sich im alpinen Raum an einem durchschnittlichen Sommertag bilden.

Weil der Luftdruck in diesen Gebieten tiefer ist als in den Voralpen, fliesst die Luft vom höheren Druck der Voralpen Richtung tieferen Druck des Hitzetiefs. So entsteht der Talwind, der typischerweise eine vertikale Ausdehnung von 300 bis 600 m über Talgrund hat.



Die Sonne kann die Luft im Sommer in den Alpen wirksamer erwärmen als im Flachland...

Flachland

Norditalien

...und deswegen entstehen in den Alpen mehrere Hitzetiefs, die für den Talwind verantwortlich sind.

Hitzetief

Wo genau die Hitzetiefs entstehen, brauchst du nicht zu wissen. Was du aber kennen solltest, ist das Talwindsystem in der Region, wo du fliegen willst. Diese Aufgabe wird durch die «ALPINES PUMPEN»-Karte erleichtert, die auf Angaben von erfahrenen Streckenfliegern, lokalen Experten und Meteorologen basiert.

Diese Karte findest du u.a. auf

- www.steps5.ch/meteo

Du kannst sie aber auch direkt hier herunterladen:

- www.5steps.ch/ressourcen/wetterseite/varia/KarteAlpinesPumpenPrint.pdf

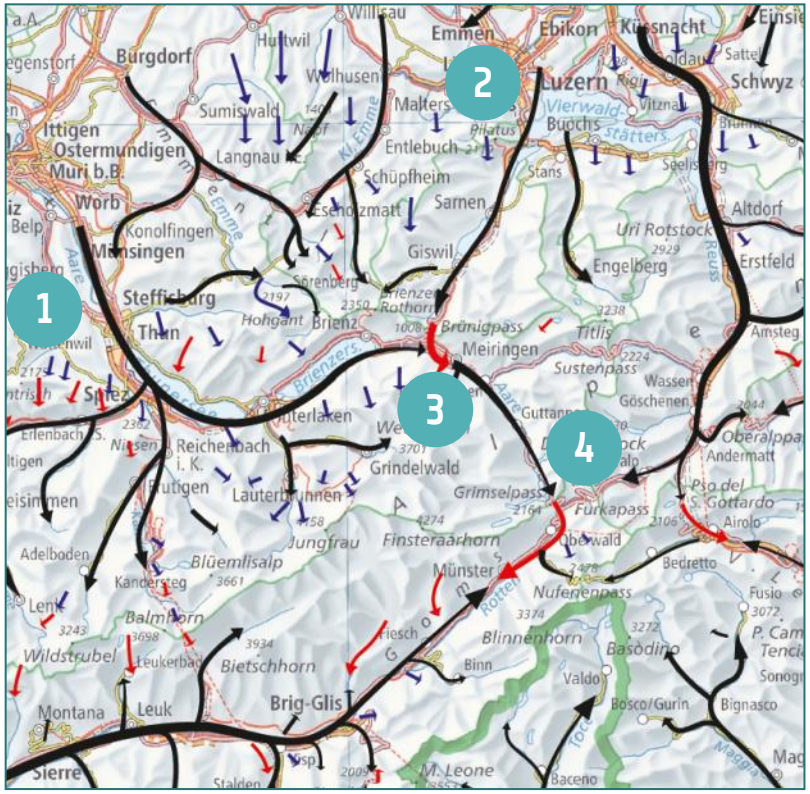
Talwind - Ein Beispiel

Wenn du die «Alpines Pumpen» - Karte studierst, findest du heraus, dass der Talwind z.B. südlich von Bern beginnt (1) und über dem Thunersee Interlaken und dann Meiringen erreicht.

Parallel dazu fliesst der Talwind vom Vierwaldstättersee (2) zum Brüningpass, wo er als Fallwind Meiringen erreicht.

Da «heiraten» der Talwind aus Bern und Luzern (3). Der Talwind setzt seine Reise zum Grimselpass fort (4). Dieser ist eine kritische Passage für Streckenflieger aus Fiesch, die in Richtung Flims fliegen wollen, weil der Talwind aus Meiringen über dem Grimselpass nach Münster fällt, das heisst eine Abwindzone entsteht (siehe die rote Farbe des Pfeiles).

Praktisch bedeutet dies: Wer den Flug von Münster Richtung Andermatt fortsetzen will, muss hoch fliegen, um nicht in die Abwindzone zu geraten.

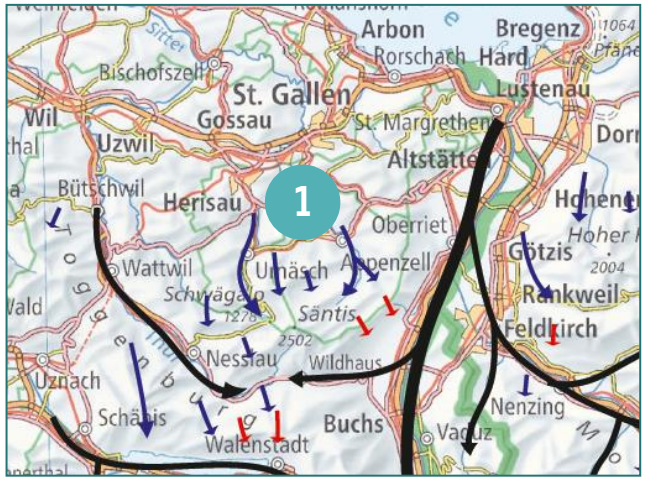


Talwind - Ein Beispiel

Vom Brüningpass (1) «fällt» die nebelige Luft Richtung Meiringen (2) (nach links). Im Hintergrund sieht man die Jura-Kette (3). Interlaken ist von den Bergen versteckt (4). Der Weg Richtung Grimselpass liegt im Schatten (5).

Talwind und Aufwinde

Das «Alpine Pumpen» hat eine angenehme Nebenwirkung: An einigen nördlich ausgerichteten Hängen der Alpennordseite entstehen während dem Tag angenehme dynamische Aufwinde, die für stundenlanges Soaring genutzt werden können: Das ist zum Beispiel möglich an der nördlichen Krete zwischen Ebenalp und Säntis (1, siehe blaue Pfeile) oder an der Pfingstegg in der Nähe von Grindelwald (2).



Talwind und Abwinde

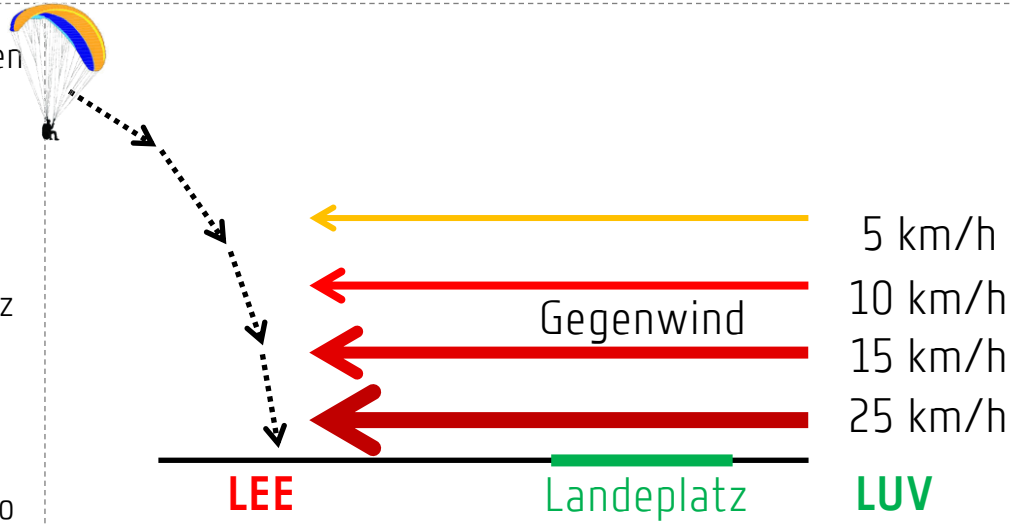
Das «Alpine Pumpen» kann aber auch Abwinde verursachen, wie z.B. an Niesen (1) und Stockhorn (2): Obwohl diese Hänge südlich ausgerichtet sind und während dem Tag Aufwinde wegen der Sonneneinstrahlung erwartet werden könnten, besteht ein erhöhtes Risiko für Abwinde am Startplatz. Der Grund ist, dass die Luft die quergestellten niedrigen Ketten der Vorgebirge überströmen.

Talwind und Gegenwind

Auch wenn der Wind in Mitteleuropa aufgrund von geringen Luftdruckunterschieden schwach ist, kann der talaufwärtsfliessende Wind 20 - 30 km/h wehen.

Piloten müssen auf jeden Fall das Phänomen kennen: Wer nicht LUV-seitig fliegt, schafft es vielleicht nicht wegen dem vom Talwind verursachten Gegenwind den Landeplatz zu erreichen.

Bitte beachten: Der Talwind nimmt meistens mit der Bodennähe zu. Das heisst: Wenn man merkt, dass die eigene Vorwärtsgeschwindigkeit abnimmt und es schon so schwierig ist, den Landeplatz zu erreichen, dann ist es wahrscheinlich zu spät. In diesem Fall schaue hinter dir, ob du einen sicheren alternativen Landeplatz findest.

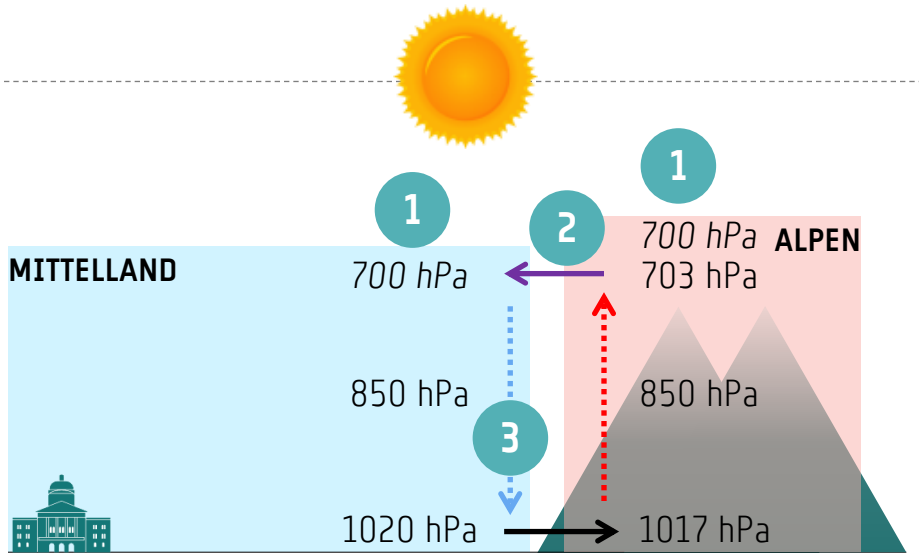


Gegenzirkulation

Das Hitzetief entsteht als Folge der Erwärmung der Luft.

Weil sich durch zunehmende Temperatur die Luft ausdehnt, steigt auch der Luftdruck von z.B. 700 hPa auf einer grösseren Höhe (1) (das Phänomen, das Temperatur und Luftdruck verbindet, kennen wir schon aus der 500 hPa-Karte). Dadurch wird erreicht, dass ab einer bestimmten Höhe der Luftdruck in den Alpen während dem Tag grösser wird als der Luftdruck im Mittelland. Aus diesem Grund fliesst in grosser Höhe die Luft von den Alpen Richtung Mittelland zurück (2), was den Zirkulationskreis schliesst.

Das Phänomen hat praktische Auswirkungen. Vor allem im Mündungsgebiet der grossen Bergtäler fliesst die Luft nicht nur vom Flachland Richtung Alpen, sondern auch von oben herab (3). So kann parallel dem Gebirgsrand eine grossflächige Abwindzone entstehen, die stellenweise bis 3 m/s erreichen kann.



Talwind - ein komplexes Thema

Ob, wo, wann und wie stark das alpine Talwind-System aktiv ist, hängt von den Hitzetiefen in den Alpen ab und diese wiederum werden von vielen Faktoren beeinflusst: z.B. ob es Schnee oder Wolken in den Bergen hat, von den Luftdruckunterschieden nördlich und südlich der Alpen, von der «europäischen» Druckverteilung usw.

Das alpine Talwindsystem mit seinen abgelenkten Winden, Konvergenzen (also Aufeinandertreffen von Winden aus entgegengesetzter Richtung), Aufwinden und Abwinden ist ein komplexes Thema.

Mit der «ALPINES PUMPEN»-Karte hast du ein wertvolles Instrument zur Verfügung, um dich zu orientieren. Es muss dir jedoch bewusst sein, dass es sich dabei nicht um eine Prognose, sondern bloss eine schematische Übersicht handelt und die abgebildeten Luftströmungen nicht jeden Tag wie abgebildet auftreten.

Mit der Zeit wirst du Erfahrung sammeln und mit den lokalen Windsystemen in «deinen» Fluggebieten vertraut werden.

Grimselpass und Furkapass: Ein Lieblingsziel für viele Hängegleiter-Piloten

Föhn

«Fliegen mit Föhn ist nicht schön!».

Föhn ist ein turbulenter, böiger und unberechenbarer Fallwind, der regelmässig die Alpentäler besucht.

Wer in den Alpen fliegen will, muss in der Lage sein, das Föhnrisiko zu erkennen.

Für Flüge in Jura ist dagegen der Föhn kein relevantes Thema.

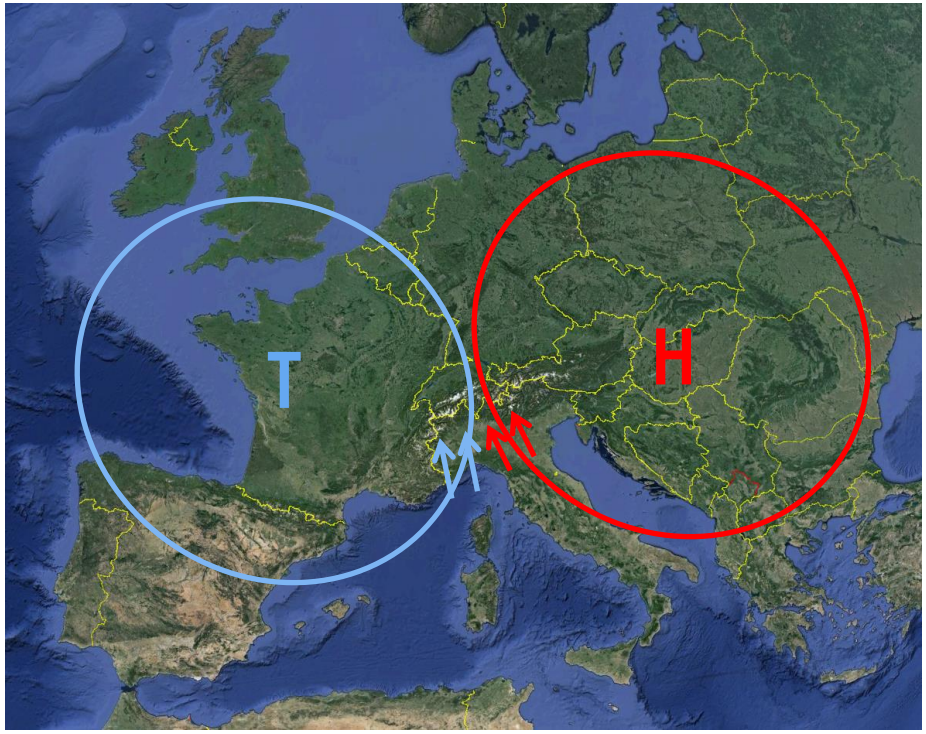
Bevor wir uns mit der Föhnprognose beschäftigen, möchte ich dir einige Kenntnisse zum Thema Föhn vermitteln, die für deine Zukunft als Pilot/-in wichtig sind.

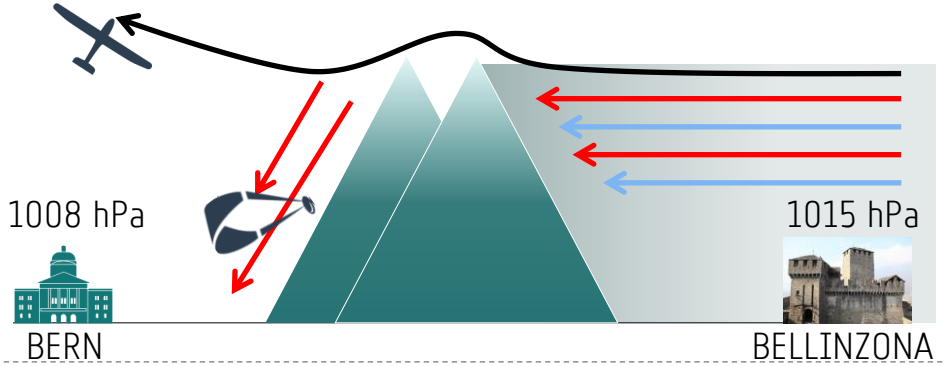
Luft staut sich südlich der Alpen

Voraussetzung für Südföhn (=Fallwind aus Süden in der Nordschweiz) ist meistens entweder ein Tiefdruckgebiet westlich und/oder ein Hochdruckgebiet östlich der Schweiz.

In beiden Fällen erreicht eine Südströmung die Alpen. Da die Alpen eine beeindruckende Barriere darstellt, kann die Südströmung ihre Reise Richtung Norden nicht ungehindert fortsetzen, das heisst die Luft staut sich südlich der Alpen.

Und was passiert, wenn sich die Luft staut? Die Luftdichte nimmt zu. Eine höhere Luftdichte bewirkt einen höheren Luftdruck.





Theorien...

Weil sich die Luft südlich der Alpen staut, nimmt der Luftdruck im Tessin zu.

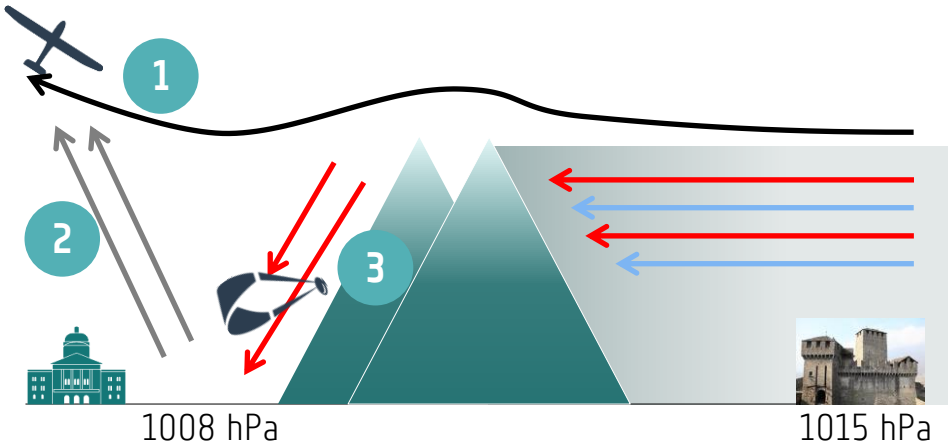
Warum nun die Luft auf der südlichen Seite der Alpen, die sich auf 3'000 m über Meer (und höher) befindet auf die andere Seite nach unten in die Alpentäler drängt, ist dennoch noch nicht bis ins letzte Detail geklärt.

Eine Theorie besagt, dass die Höhenströmung (1) über den Alpen die Luft von den Niederungen wegreisst (2), was zu einer Abnahme des Luftdruckes in der Nordschweiz führt. Weil sich die Luft von einem Gebiet mit höherem Druck zu einem Gebiet mit tieferem Druck bewegt, entsteht anschliessend die Föhnströmung in den Alpentälern (3).

Es gibt aber andere und komplexere Theorien, die das Ziel haben, die Föhnentstehung zu erklären. Auch wenn du sie nicht kennst, ist eine Föhnprognose dennoch möglich.

Wenn du dich für das Thema Föhnentstehung interessierst, findest du hier ein interessantes Dokument von Stephan Bader:

- www.5steps.ch/ressourcen/wetterseite/varia/foehn.pdf

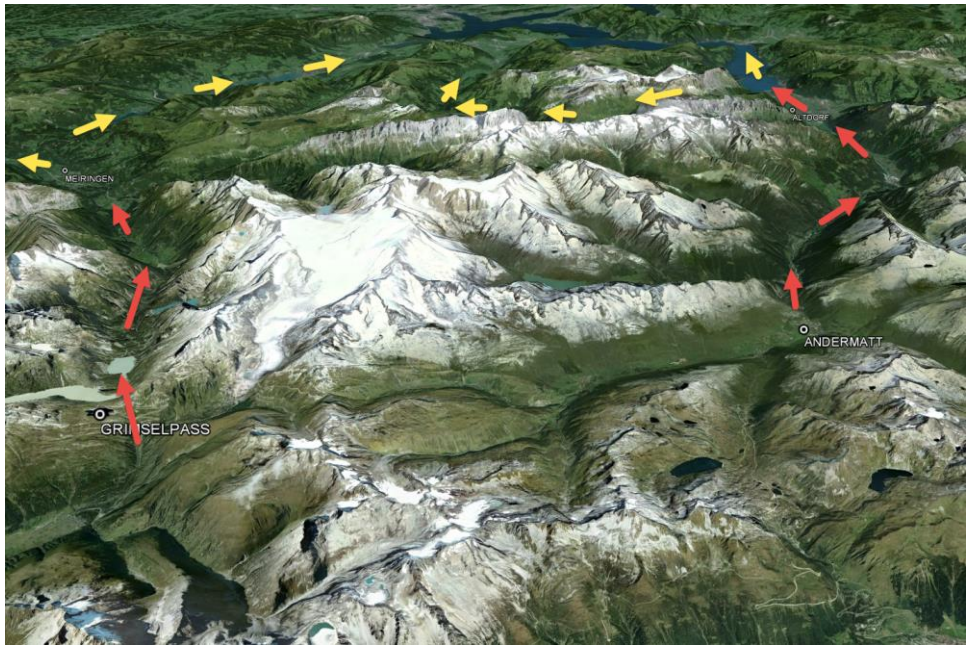


Föhntäler

Wenn die Luftdruckunterschiede zwischen Süden und Norden der Alpen einen kritischen Wert überschreiten (und wenn noch andere Bedingungen erfüllt sind... mehr dazu bald), dann besteht eine Föhnlage, das heisst Föhn kann jederzeit in die Alpentäler eindringen.

Der Föhn sucht sich den einfachsten Weg, um Richtung Norden zu fliessen. Also tief gelegene Alpenpässe wie der Grimselpass und gut zugängliche Alpentäler wie das zentrale Wallis, Reusstal und Hinterrheintal.

Wie weit sich der Föhn ausbreitet, hängt u.a. davon ab, wie gross der Luftdruckunterschied zwischen der Alpensüd- und der Alpennordseite ist, von der überregionalen Windrichtung und -stärke sowie von der Luftdichte in den Alpentälern.



Der Föhn liebt tief gelegene Alpenpässe und gut zugängliche Alpentäler. In der Abbildung: der Grimselpass -» Meiringen und Andermatt -» Altdorf.

Bekannte Föhntäler

Der Föhn hat seine Lieblingsdestinationen. Er weht sehr gerne am Grimselpass, erreicht aber Interlaken relativ selten: Der Grund liegt darin, dass Interlaken einerseits von einem Luftkissen über dem Brienzersee, andererseits von den hohen Gebirgen der Jungfraujoch-Region geschützt ist.

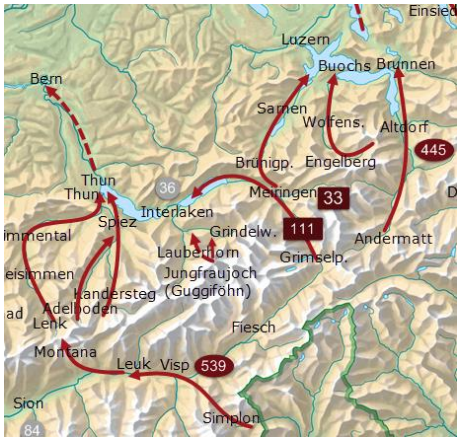
Auch in Altdorf bläst der Föhn häufig, erreicht aber nicht immer Engelberg und Wolfenschiessen.

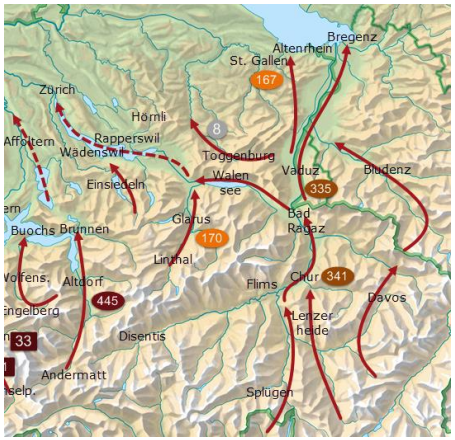
Sehr häufig bläst der Föhn in Chur und Bad Ragaz, aber nicht immer bis Wangen-Lachen und St. Gallen.

Diese Beispiele verdeutlichen, dass wenn wir von «Föhn in den Alpen» sprechen, eigentlich ziemlich stark vereinfachen. Föhn kann in einem Alpental ausbrechen, ohne dass die umliegenden Täler auch betroffen sind.

Die hier abgebildeten Kartenabschnitte findest du auf

- www.5steps.ch/meteo
  oder direkt auf
- www.5steps.ch/ressourcen/wetterseite/bilder/foehn.png





Die Föhnwege in der Nordschweiz

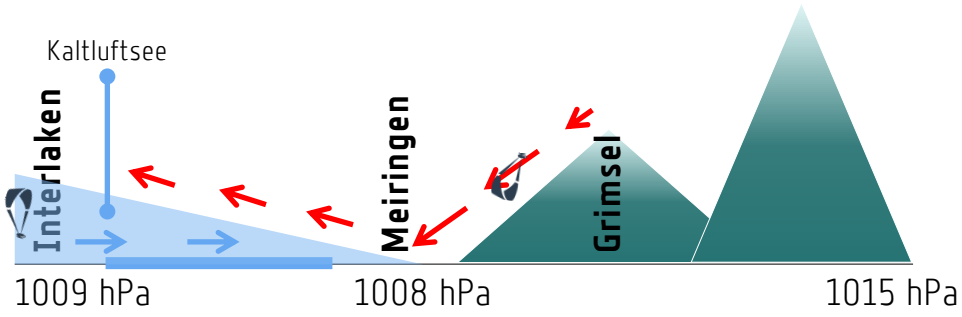
Lokale Phänomene

Lokale Phänomene komplizieren die Situation zusätzlich.

Als Beispiel: Nicht selten entsteht beim Föhn ein Gebiet mit tieferem Luftdruck über Meiringen (dies wegen der beschleunigten und erwärmten Luftströmung). Dies hat als Folge, dass der Talwind in Interlaken, der aus Westen weht, sogar verstärkt wird.

Fazit: Die Druckverteilung, die während einer Föhnlage entsteht, kann in manchen Regionen sogar den Talwind verstärken.

Du siehst, der Föhn ist ein komplexes Phänomen, mit dem man sich intensiv auseinander setzen muss. Daraus folgt die Empfehlung an unerfahrene und ortsfremde Pilot/innen…



Verantwortungsbewusste Piloten/innen

Verantwortungsbewusste Pilot/innen lassen sich bei Föhnrisiko im Zweifelsfall von einheimischen Schulen oder Clubs beraten oder verzichten ganz aufs Fliegen.

Dass wohl nicht alle Pilot/innen verantwortungsbewusst sind, wird vom Facebook-Beitrag auf der rechten Seite bestätigt…

Niemand erwartet, dass du dich mit den Besonderheiten eines unbekannten oder wenig vertrauten Fluggebietes gut auskennst. Du hast das Recht, dich beraten zu lassen.

Fliegen oder nicht fliegen bei Föhn? Die Frage stellen sich offenbar nicht alle Pilot/innen

Verantwortungsbewusste Piloten/innen

Und die anderen Piloten/innen am Startplatz? Die sind nicht alle Föhn-Experte, wie der Fluglehrer Chris berichtet:

«Da kommst Du als Profi zum Startplatz und willst vorsichtig schauen, ob es an einem Tag, wo eh schon Föhn vorhergesagt ist, doch noch ein Flüglein drin liegt. Da stehen dort schon 20 Hobbypiloten, von denen 18 nicht mal wissen, dass es heute überhaupt Föhn hat. Der Rest schaut halt erstmal, wie die ersten starten und ob die Luft o.k. ist und haut sich dann hinterher.

LEUTE, UFFPASSEEE!!! Mit Föhn ist nicht zu spaßen. Wer einmal einen Föhndurchbruch erlebt hat, wird vorsichtiger, garantiert. Innerhalb von Minuten können heftige Windgeschwindigkeiten, Böen und Turbulenzen einsetzen. Wenn Du als Normalpilot da noch in der Luft bist, sinken Deine Chancen, heil herunter zu kommen. Klar es kann auch den ganzen Tag „halten" aber eine Garantie kann Dir niemand geben.» Quelle: paragliding-academy.com

Entscheidend ist, dass du eine Föhnlage überhaupt erkennst. Die zentrale Frage lautet deswegen: «Wann haben wir eine Föhnlage?»

Der Föhn - Tipps und Tricks aus der Praxis für Gleitschirmpiloten

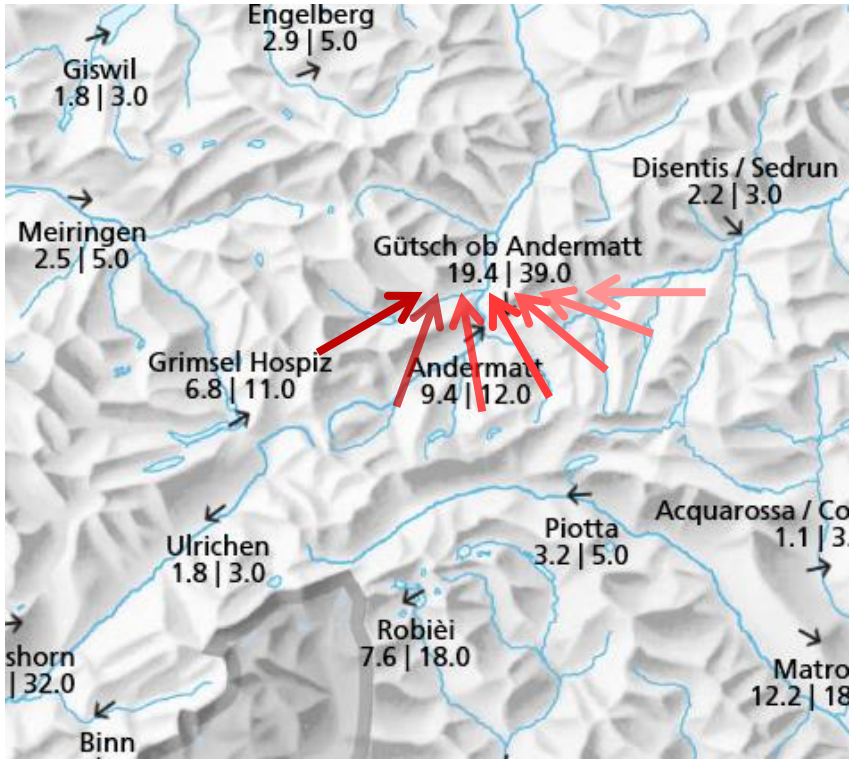
Aus aktuellem Anlass (Bezau, Breitenberg usw. am Wochenende) hier nochmal ein paar Eckpunkte zum Föhn die jeder Gleitschirmflieger berücksichtigen...

PARAGLIDING-ACADEMY.COM

Bedingungen für eine Föhnlage

Es besteht das Risiko für Südföhn, wenn:

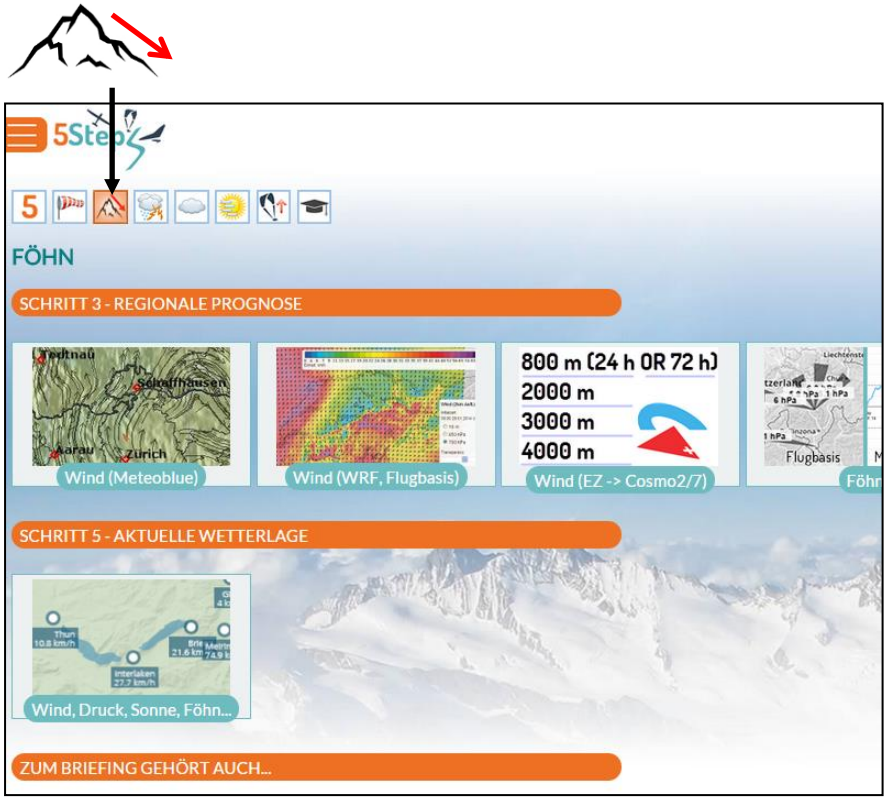
- der Luftdruck in Comprovasco mindestens 3 hPa höher als in Chur, Glarus, Altdorf, Interlaken und/oder Sion ist
- und die Wetterstation in Gütsch ober Andermatt Wind aus südlicher Richtung anzeigt (zwischen 90° und 240°) mit einer Stärke von mindestens 15 Knoten, das heisst 27 km/h.



3 hPa Luftdruckunterschied zwischen N und S der Alpen und Wind aus südlicher Richtung in Gütsch ober Andermatt von mindestens 27 km/h: So erkennt man eine Föhnlage.

Föhnprognose auf 5steps.ch

Suchst du gezielt nach den Websites, die für die Föhnprognose relevant sind, klicke oder tippe auf das Berg-Symbol am Anfang der Wetterseite von www.5steps.ch/meteo



Klicke oder tippe auf das Berg-Symbol: Dann erscheinen die Links, mit denen man das Föhnrisiko schätzen kann.

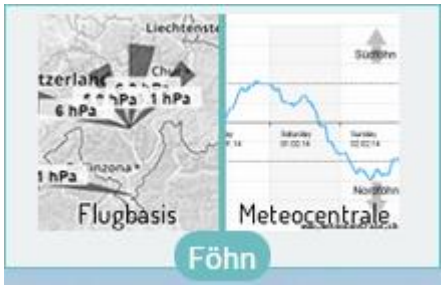
Föhnprognose

Um das Föhnrisiko für die kommenden Stunden oder Tage zu schätzen, kannst du die Föhnprognose von *Meteocentrale* und/oder von *Flugbasis* verwenden.

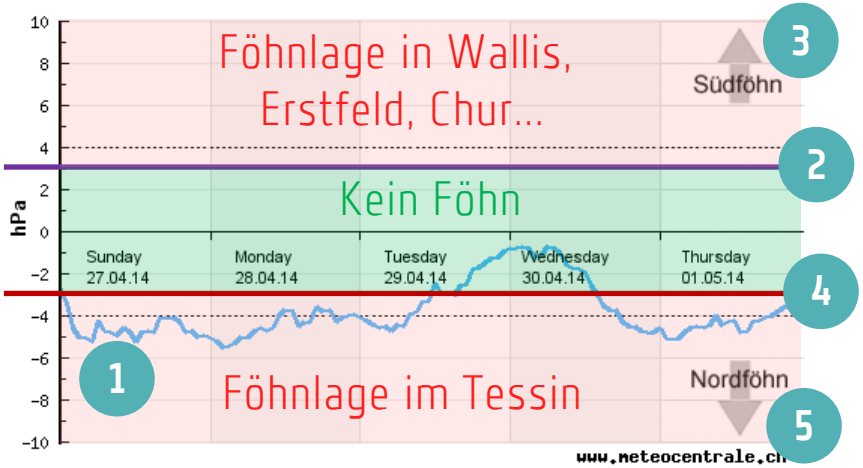
Das hier abgebildete Beispiel kommt von der Website von *Meteocentrale*: Wenn die blaue Linie (1), welche die Luftdruckunterschiede zwischen nördlich und südlich der Alpen darstellt, über der hier eingezeichneten violett farbigen Linie verläuft (2), dann muss für den angezeigten Tag und Zeit die Föhnlage in der Nordschweiz (3) geprüft werden.

Wenn sich die blaue Linie (1) unter der abgebildeten roten Linie (4) befindet (siehe Sonntag, Montag und Donnerstag), dann muss die Föhnlage im Tessin und Südgraubünden (5) geprüft werden.

Zudem weist auch die Bracknell-Karte darauf hin, dass möglicherweise eine Föhnlage herrscht. Das ist der Fall, wenn mindestens eine Isobare entlang den Alpen verläuft. Ob in diesem Fall von Süd- oder Nordföhn die Rede ist, hängt davon ab, auf welcher Seite der Alpen der Überdruck herrscht.



Foehn chart

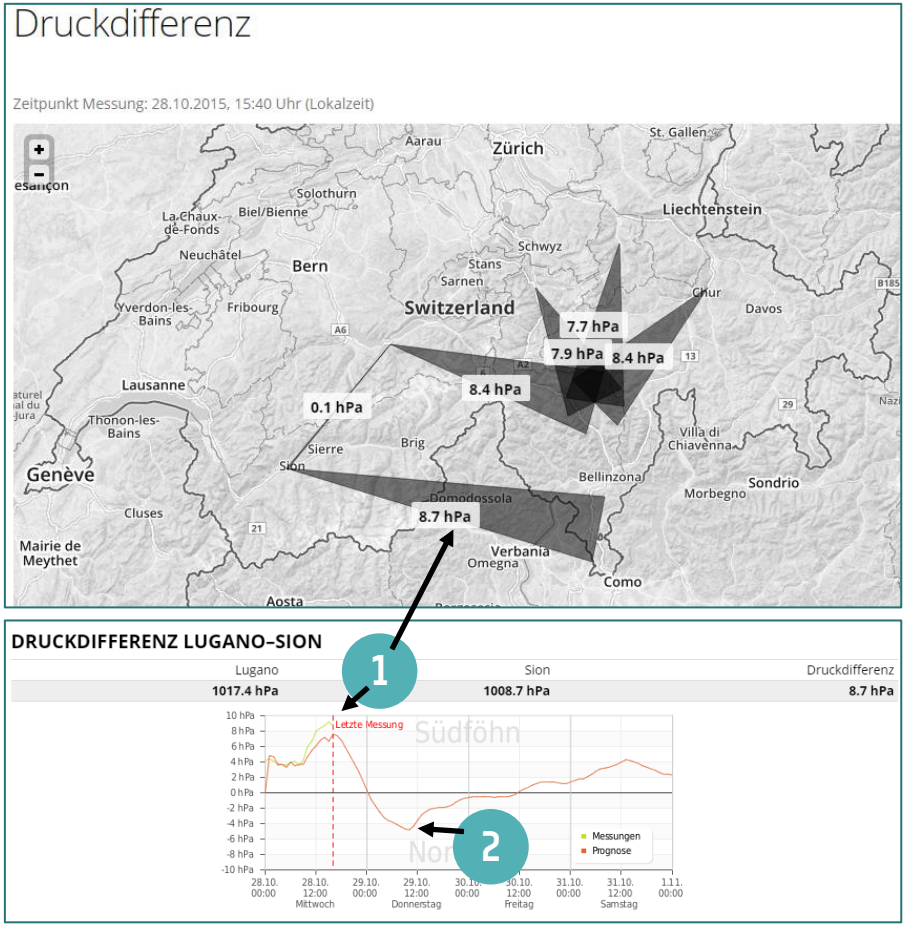


Druckdifferenzen Flugbasis

Flugbasis geht mit ihrer Prognose noch einen Schritt weiter. Sie zeigt die aktuellen und erwarteten Druckdifferenzen zwischen Lugano und Sion sowie zwischen Comprovasco und Interlaken / Altdorf / Glarus / Chur.

Beispiel: Es ist durchaus möglich dass zwischen Lugano und Sion die Druckunterschiede gering sind, so dass kein Föhnrisiko in Wallis besteht. Stattdessen müssen Piloten auf einen Flug in Chur verzichten, da Föhn jederzeit ausbrechen könnte.

Als Zahl und graphisch dargestellt werden die aktuellen Druckunterschiede zwischen den abgebildeten Regionen. Wenn man auf die dunklen Flächen klickt, hat man Zugang zur regionalen Prognose für die nächsten 3-4 Tage.



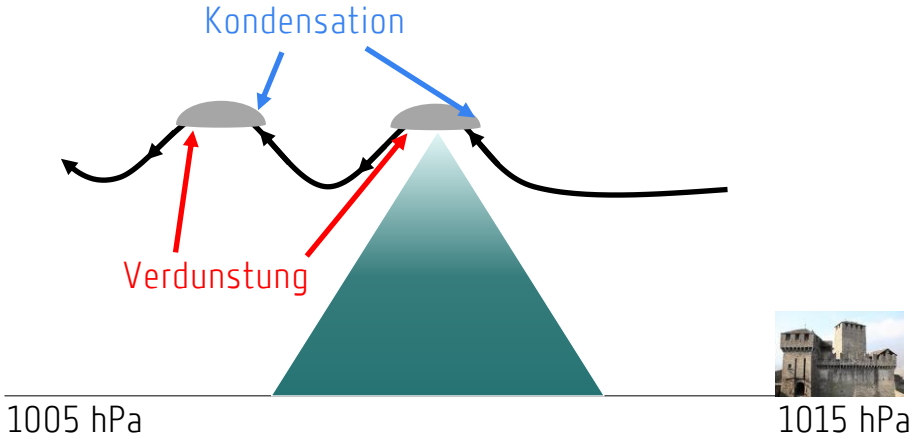
In den Alpen auf der nördlichen Seite herrscht eine ausgeprägte Föhnlage (oder kurz: Föhn!, siehe Nr. 1). Den Tag danach erwarten wir dagegen Föhn im Tessin (Nr.2).

Lenticularis

Ein klassisches Erscheinungsbild der Föhnströmung sind die Lenticularis. Lange Zeit können sie die Position halten und vermitteln so den Eindruck, dass der Wind in grosser Höhe schwach ist.

Die umgekehrte Aussage trifft aber zu: Lenticularis entstehen, wenn starker Wind ein Hindernis überwinden muss (z.B. die Alpen) und als Folge daraus in eine Wellenbewegung gerät. Wenn die steigende Luft die Tautemperatur erreicht, kondensiert der Wasserdampf, der sich nun als Lenticularis manifestiert. Genügt dagegen die Feuchtigkeit für die Kondensation nicht, dann entstehen keine Linsenwolken, auch wenn der Föhn weht.

Lenticularis sieht man häufig in den Alpen, sind aber ein Phänomen, das man in verschiedenen Regionen der Welt beobachten kann.



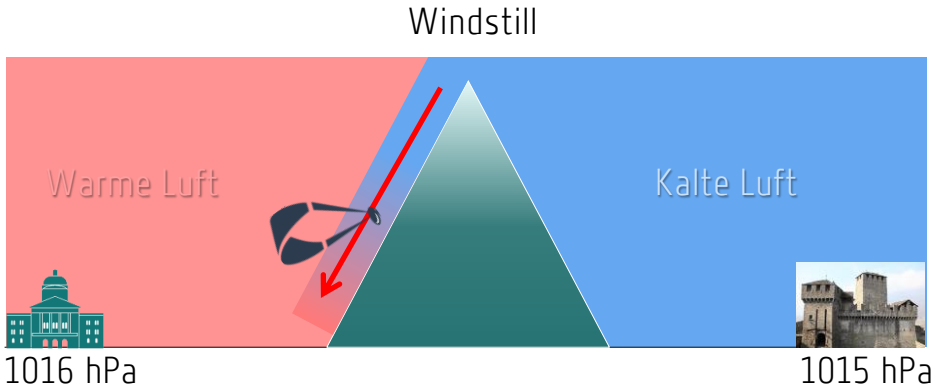
Seichter Föhn

Es gibt eine ganz besondere Föhn-Art, die aus Sicherheitsgründen erwähnt werden muss: Das ist der SEICHTE FÖHN.

Der seichte Föhn entsteht, wenn sich im Tessin kalte Luft (aus Osten) angesammelt hat, die anschliessend durch die Alpenpässe nach Norden fällt. Die Luftdruckunterschiede spielen dabei keine Rolle. Es ist sogar möglich, dass der Luftdruck in Norden höher ist als in Süden und dass der Wind über den Alpen aus nördlicher Richtung weht!

Der seichte Föhn ist ein turbulenter Wind, der in den Alpentälern weht. Auf 3'000 m über Meer und höher merkt man nichts davon, es kann auch windstill sein.

Der seichte Föhn ist auf der Bracknell-Karte nicht ersichtlich. Zudem wird er nicht immer in der Wetterprognose erwähnt. Es ist somit schwierig auf dieses eher seltene Phänomen aufmerksam gemacht zu werden.



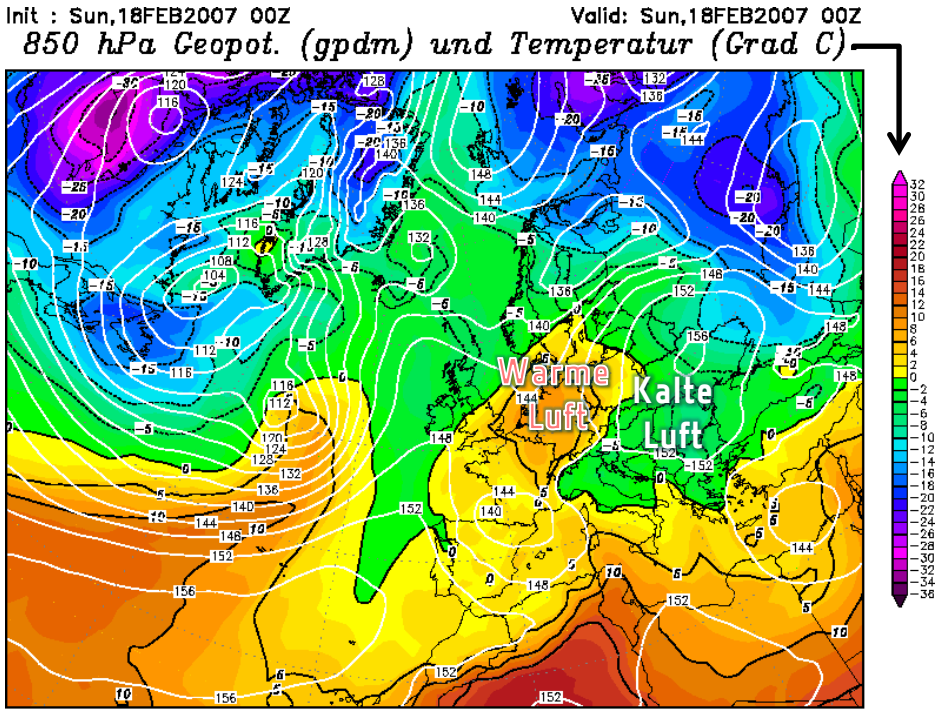
Der seichte Föhn entsteht, wenn sich kalte Luft im Tessin ansammelt und nach Norden durch die Alpenpässe fällt. Auf 3'000 m über Meer merkt man nichts davon.

Seichten Föhn erkennen

An seichten Föhn muss man denken, wenn die Temperatur im Tessin tiefer ist als in der Nordschweiz.

In diesem Fall sollte man die Temperaturkarte von GFS (850 hPa) konsultieren und wenn diese zeigt, dass sich im Tessin eine kalte Luftmasse und in der Deutschschweiz eine warme Luftmasse etabliert hat, dann besteht das Risiko, dass seichter Föhn ausbricht.

Den seichten Föhn erkennt man auch gut, wenn man die Radiosondierung von Payerne mit Mailand vergleicht. Dies setzt aber voraus, dass man sich mit Radiosondierungen gut auskennt. Aus diesem Grund wird das Thema an dieser Stelle nicht weiter vertieft. Dennoch wird mindestens ansatzweise das Thema Radiosondierung / Sounding im letzten Abschnitt dieser Unterlage gestreift.



Die 850 hPa-Karte von GFS weist auf die Möglichkeit des seichten Föhns hin, nämlich wenn die Lufttemperatur südlich der Alpen tiefer ist als nördlich der Alpen.

Süd-Föhn: Kann man im Tessin fliegen?

«Kann man im Tessin fliegen, wenn in der Nordschweiz der Föhn weht?». Aber auch: «Kann man in der Nordschweiz fliegen, wenn im Tessin der Föhn weht?»

Häufig wird diese Frage von Schülern/-innen, aber auch von Piloten gestellt. Und die Antwort lautet: «Ja», vorausgesetzt, dass im Fluggebiet der Wind schwach und die Sicht akzeptabel ist und es nicht regnet. Diese günstigen Bedingungen sind häufig gegeben.

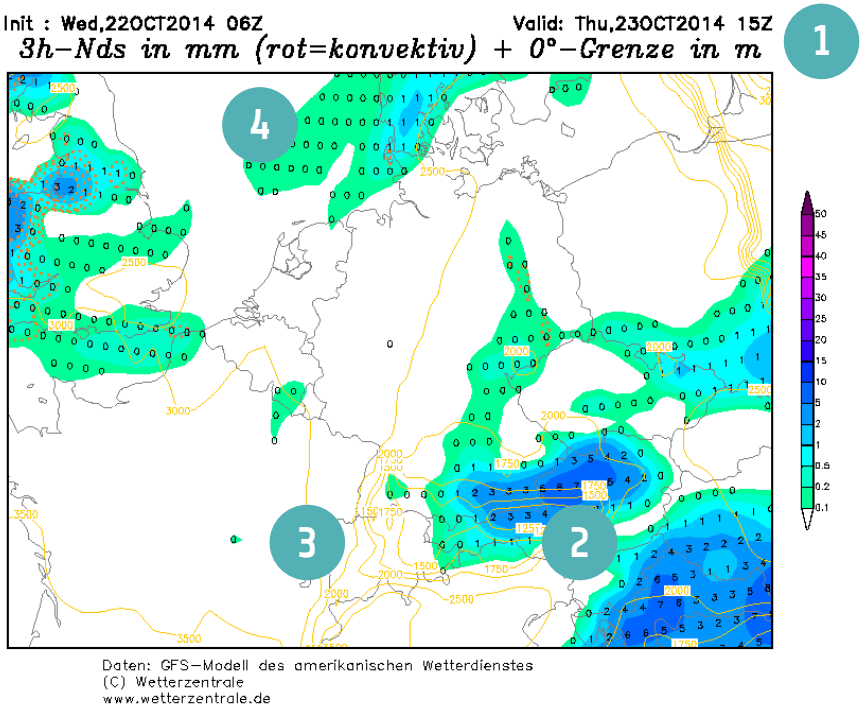
Start von Cimetta: Mindestens einmal im Leben ein Muss für jeden Pilot.

Niederschläge (GFS)

Die Niederschlagprognose dient nicht nur dazu, nasse Flüge zu vermeiden, die vor allem für Gleitschirme wegen der erhöhten Sackfluggefahr problematisch sind, sondern auch um das Risiko für Überentwicklungen (= Gewitter) einzuschätzen: Diese erkennt man gut, wenn lokal heftige Niederschläge erwartet werden.

Besonders gerne nutze ich die 3h Niederschlag-Prognose von GFS, die für Mitteleuropa im 3-Stunden-Takt für mehrere Tage angibt, ob Regen in einer bestimmten Region erwartet wird. Dabei werden nicht die Niederschläge für eine bestimmte Zeit angegeben, sondern die kumulierten Niederschläge für ein Zeitfenster von 3 Stunden. So zeigt die rechts abgebildete Prognose, dass am 23. Oktober zwischen 12 und 15 Uhr UTC (1) in Österreich intensive Niederschläge erwartet werden (bis 8 Millimeter pro m^2 in drei Stunden, Nr.2). Hingegen sind für diese Zeitperiode keine Niederschläge in der Schweiz vorgesehen (3).

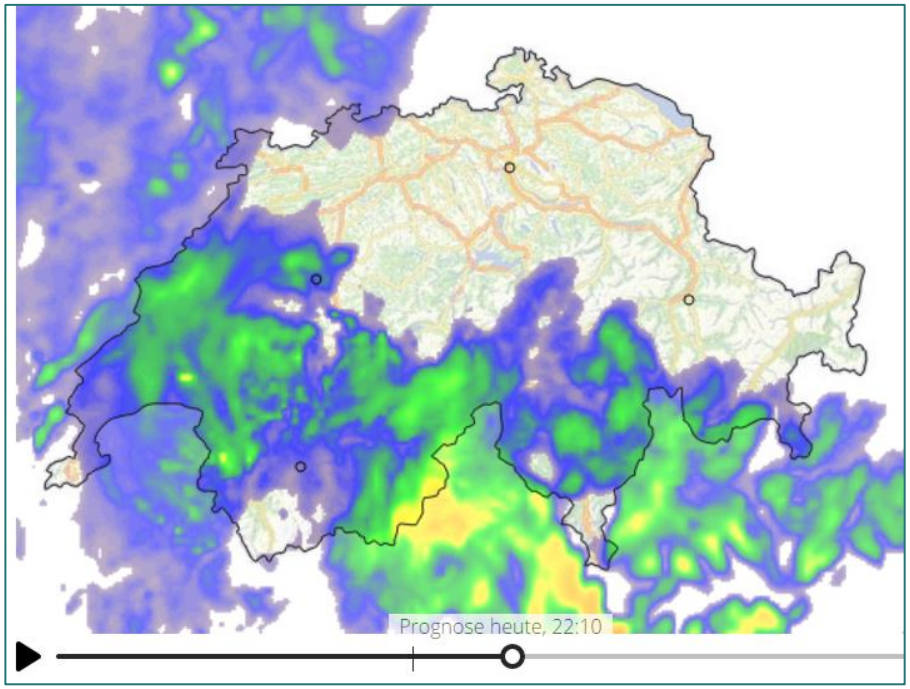
Die Niederschlagsprognose von GFS hat einen Nachteil: Die grüne Fläche (4), die auf mögliche Niederschläge hinweist, erscheint zu schnell: Da wo es grün ist und die Zahl 0 abgebildet ist (= 0 Millimeter), erwarten wir keinen Regen.



Niederschläge (COSMO 2)

Für kurzfristige Niederschlagsprognosen empfehle ich die Vorhersage von COSMO 2. Mit einer Auflösung von 2 km kann man in 10-Minuten-Schritte beobachten, wie sich die Niederschlagszonen bewegen.

Die Auflösung ist so detailliert, dass man den Eindruck bekommt, man könnte für jede Gemeinde fast minutengenau bestimmen, wann es zu regen beginnt. Von einer so genauen Prognose sind wir aber weit entfernt: Vor allem die Prognose von Gewitterzellen hat in der Tat eine beschränkte Zuverlässigkeit und dient nur als Orientierung, was die nächsten Stunden passieren könnte (aber nicht unbedingt passieren wird).



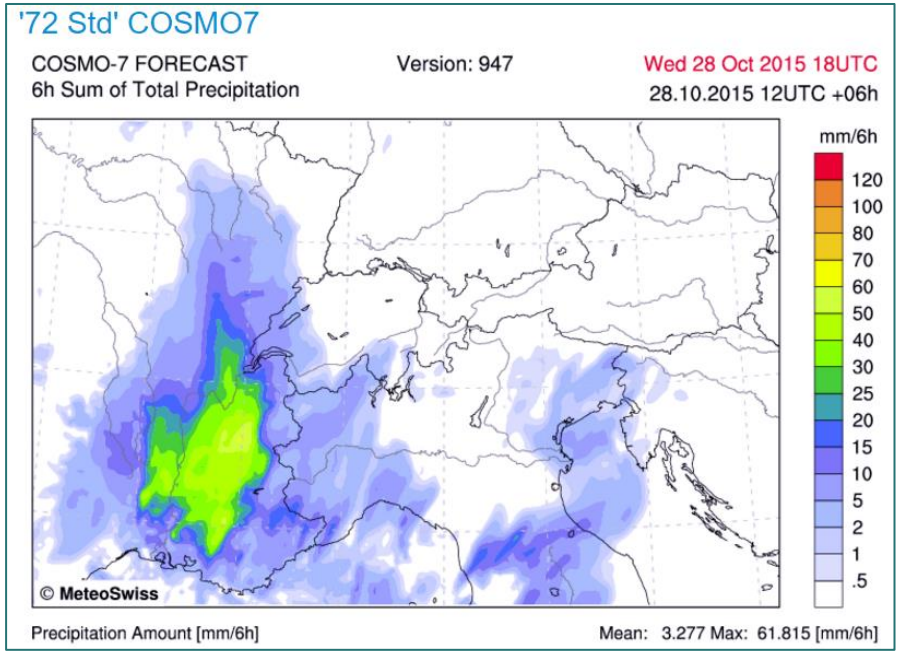
Staubedingte Niederschläge im Tessin, kaltfrontbedingte Niederschläge in der Westschweiz, Föhnloch in der Deutschschweiz

Niederschläge (COSMO 7)

Für mittelfristige Niederschlagsprognosen steht uns die Vorhersage von COSMO 7 zur Verfügung.

Dabei werden die erwarteten Niederschlagsmengen der letzten 6 Stunden vor dem Prognosedatum dargestellt.

Das Modell zeigt meist recht gut, in welchen Grossregionen das Schauer- oder Gewitterrisiko erhöht ist. Dagegen werden kleine Gewitterzellen und kleinräumige Phänomene wegen der Auflösung von 7 km nicht oder kaum abgebildet.



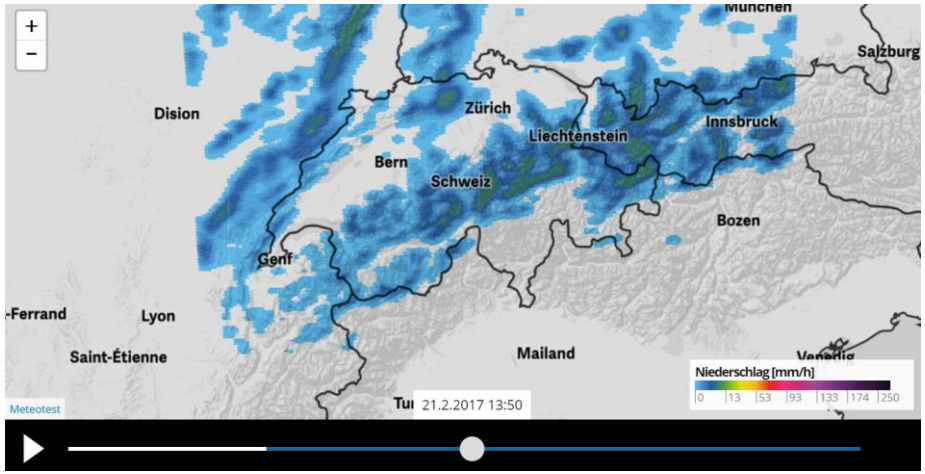
Eine intensive Niederschlagzone verbunden mit einer Kaltfront erreicht die Schweiz aus Westen. Die Prognose zeigt die Niederschlagsmenge zwischen 12 Uhr und 18 Uhr UTC (Mittwoch 28. Oktober 2015)

Niederschläge (*Flugbasis*)

Meistens reicht die Niederschlagsprognose von GFS und COSMO für eine systematische Wetteranalyse. Falls sich die zwei Wettermodelle widersprechen, besteht noch die Möglichkeit, eine dritte Vorhersage einzubeziehen: Die Niederschlagsprognose von *Flugbasis*.

Die Karten mit einer Auflösung von 2 km liegen in Intervallen von 10 Minuten vor. Die ursprünglichen Daten kommen aus GFS, die mit Niederschlagsradar-Messungen ergänzt werden. Weitere Verfeinerungen dienen dazu, die regionalen Prognosen der topographischen Realität der Schweiz zu optimieren.

Tipp: Die Niederschlagprognose von *Flugbasis* - vor allem wenn es um Gewitterwolken geht - neigt zu pessimistisch zu sein. Die Prognose von Cosmo 2 ist in der Regel zu optimistisch. Die Wahrheit liegt oft - auch wenn nicht immer - irgendwo dazwischen.



Die Niederschlagsprognose von Flugbasis

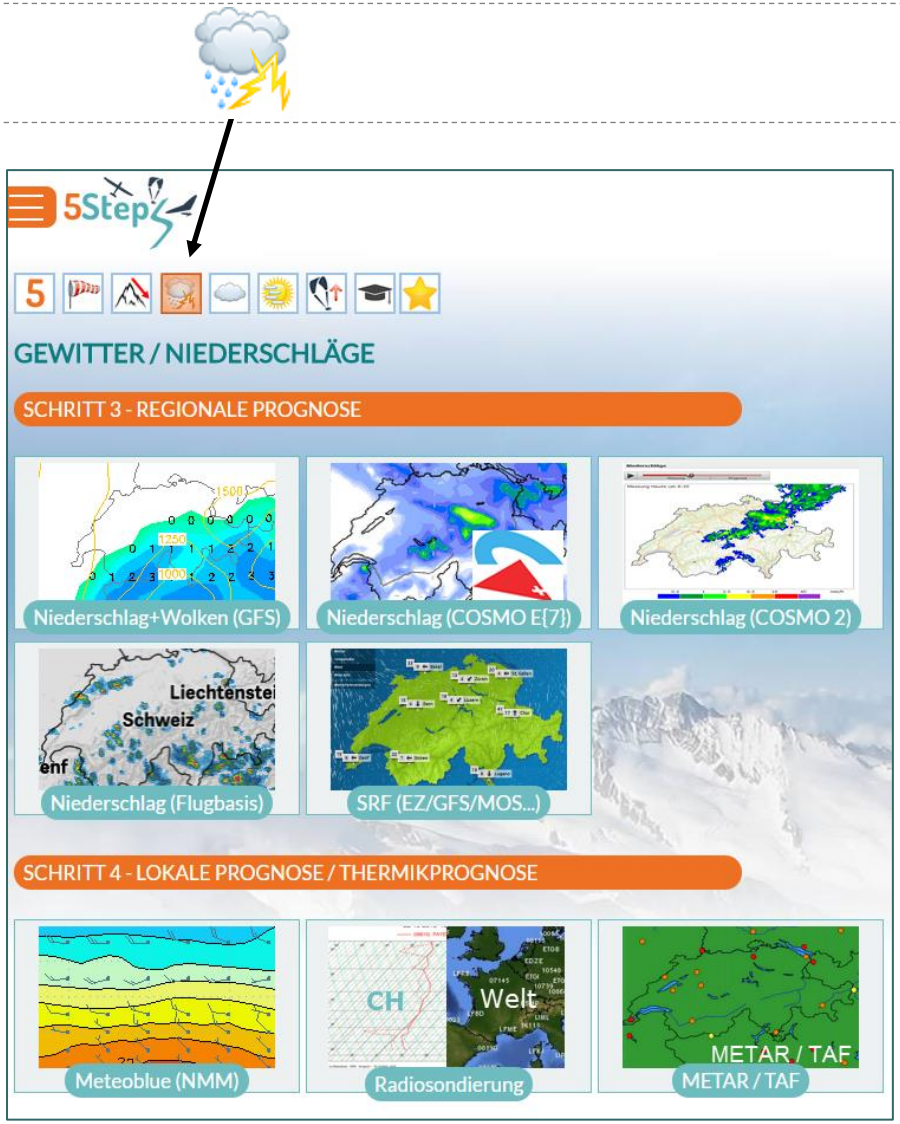
Niederschläge

Wenn die Situation betreffend Niederschlagsrisiko unsicher ist, lohnt es sich, die Prognosen verschiedener Wettermodelle zu vergleichen.

Klicke in www.5steps.ch/meteo auf das Regenwolken-Symbol: Dann erscheinen die Websites, mit denen eine Niederschlagsprognose möglich ist.

Wenn verschiedene Niederschlagsprognosen zu einer ähnlichen Schlussfolgerung führen, dann ist die Vorhersage meistens zuverlässig.

Wie man sich am besten zurecht findet, wenn sich die Prognosen widersprechen, habe ich schon im SCHRITT 2 beschrieben.



Wenn man auf das Regenwolken-Symbol klickt oder tippt, erscheinen die Links, die eine Niederschlagsprognose ermöglichen.

Wolken auf 3 Stockwerken

Wolken werden u.a. aufgrund ihrer Höhe klassifiziert.

- Im oberen Stockwerk, auf etwa 8'000 m bis 11'000 m über Meer bestehen die Wolken aus Eiskristallen und sind für die Sonne meistens durchsichtig. Diese Wolken nennen wir CIRREN und sie führen zu einer leichten Abschwächung der Thermik. Im Sommer merkt man von dieser Abschwächung kaum etwas. Im Herbst und im Winter - wenn die Sonnenkraft erheblich reduziert ist - können auch Cirren die schon schwache nutzbare Thermik ganz abschalten.
- Im mittleren Stockwerk auf etwa 4'000 m bis 6'000 m über Meer bestehen die Wolken aus unterkühlten Wassertröpfchen und aus Eiskristallen. Manchmal reicht es noch gerade dafür, die Sonnenscheibe im Hintergrund der Wolkenschicht zu erkennen. Diese Wolken nennt man ALTO (z.B. Altostratus oder Altocumulus) und sie führen zu einer erheblichen Abschwächung der Thermik.
- Im unteren Stockwerk der Atmosphäre befinden sich der Stratus (z.B. Hochnebel) und die Stratocumuli.

CIRRUS

CIRRUSSTRATUS

CIRRUSCUMULUS

ALTOSTRATUS

ALTOCUMULUS (STRATIFORMIS)

HOCHNEBEL

STRATOCUMULUS

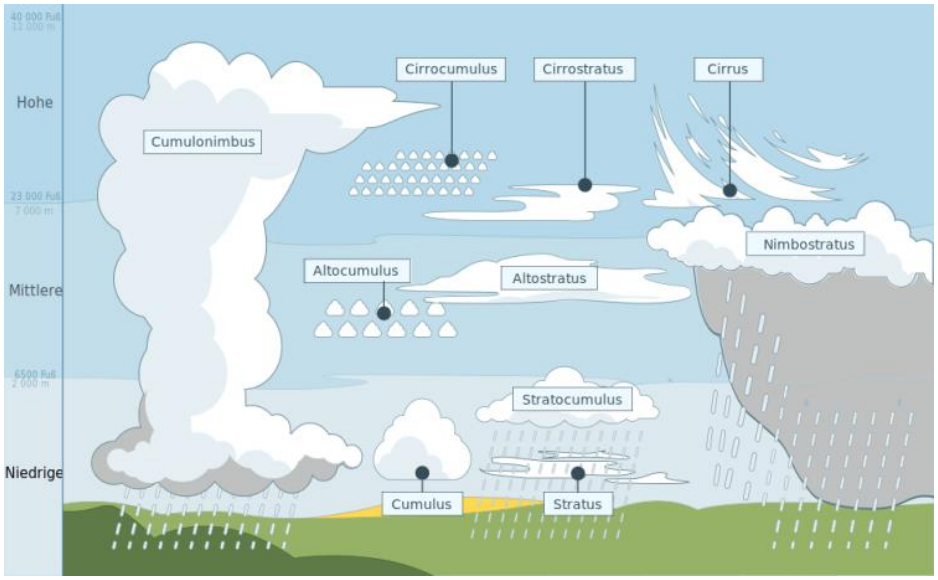
Wolken auf 3 Stockwerken

Wolken mit vertikaler Entwicklung können mehrere Stockwerke erreichen. Dazu gehören die

- Cumuli (Quellwolken) und
- die Cumulonimben (die klassischen Gewitterwolken, z.B. einer Kaltfront oder einer Konvergenzlinie im Sommer)

Zudem erstrecken sich auch die Nimbostrati (die klassische Regenwolke z.B. einer Warmfront) meistens über 2 Stockwerke.

Die Abbildung zeigt die wichtigsten Wolkengattungen und ihre zugewiesenen Stockwerke.



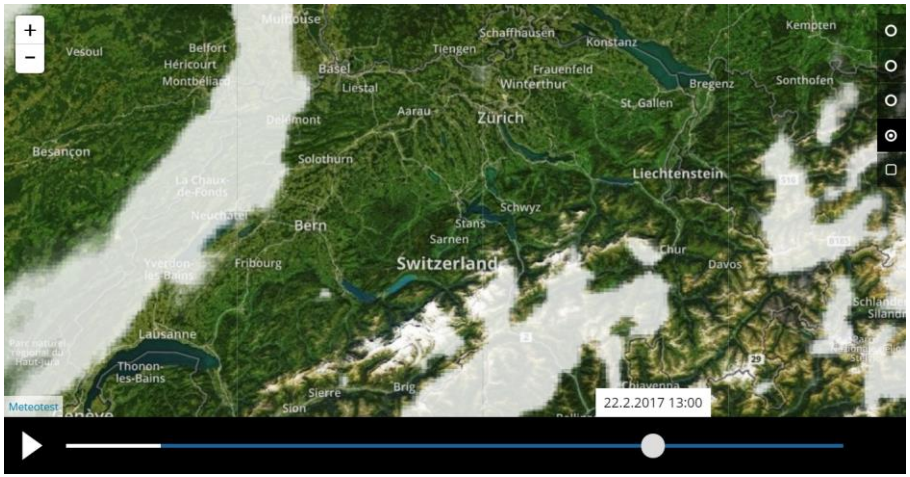
Die drei Stockwerke der Wolken - Quelle: Wikipedia

Wolkenprognose *Flugbasis*

Mit einer Auflösung von 2 km ist die Wolkenprognose von *Flugbasis* sehr detailliert. Auf dieser Seite kann man die Bewölkung einzelner Stockwerke erscheinen lassen und zudem die Prognose im Stundentakt anschauen.

Der Detaillierungsgrad der *Flugbasis*-Prognose ist sehr hoch. Man darf jedoch den Informationsgehalt nicht überbewerten. Wetter ist und bleibt ein sehr vielschichtiges Phänomen, das sich momentan nicht so präzise voraussagen lässt, wie es die Darstellung glauben machen möchte.

Graphisch unterscheidet *Flugbasis* bei den tiefen Wolken nicht, ob es sich dabei um thermisch günstige Quellwolken handelt oder um sonstige tiefe Wolken, die Thermik abschwächen oder ganz verhindern. Hilfreich ist hier die Zeitachse: Wenn man den Zeitschieberegler bewegt und dabei merkt, dass die tiefen Wolken erst im Laufe des Vormittags oder Anfang Nachmittag entstehen und dann am Abend wieder verschwinden, dann handelt es sich dabei mit grosser Wahrscheinlichkeit um thermische Quellwolken.



Die Wolkenprognose von *Flugbasis*

Wolkenprognose Cosmo 2

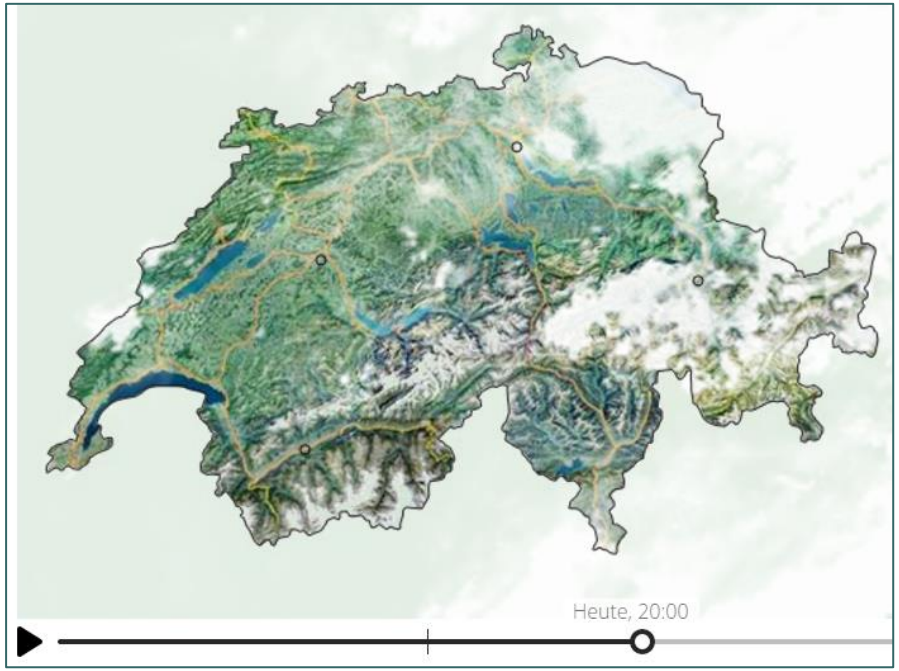
Ebenso mit einer Auflösung von 2 km ausgestattet ist die Wolkenprognose von Cosmo 2. In 10 Minuten-Schritten kann man die erwartete Bewölkung für die nächsten 29 Stunden anschauen.

Leider erkennt man nicht immer, auf welcher Höhe sich die vorausgesagten Wolken befinden - eine Unterscheidung, die für die Thermikprognose durchaus relevant ist.

Und wenn (mittel-)hohe Wolken den ganzen Himmel bedecken, zeigt COSMO 2 nicht mehr, was in den unteren Schichten läuft (bilden sich Quellwolken? löst sich die Hochnebeldecke auf?), weil keine Möglichkeit besteht, die Bewölkung einzelner Stockwerke erscheinen zu lassen.

Dennoch ist auch diese Wetterkarte eine interessante Ergänzung für eine systematische Wolkenprognose. Wenn man gleichzeitig die anderen Wolkenprognosen studiert, ist es häufig durchaus möglich zu schätzen, welche Bedeutung die dargestellten Wolkenarten haben.

Tipp: Die Wolkenprognose von *Flugbasis* neigt eher zu pessimistisch, diese von Cosmo 2 eher zu optimistisch zu sein. Die Wahrheit liegt oft - auch wenn nicht immer - irgendwo in der Mitte.



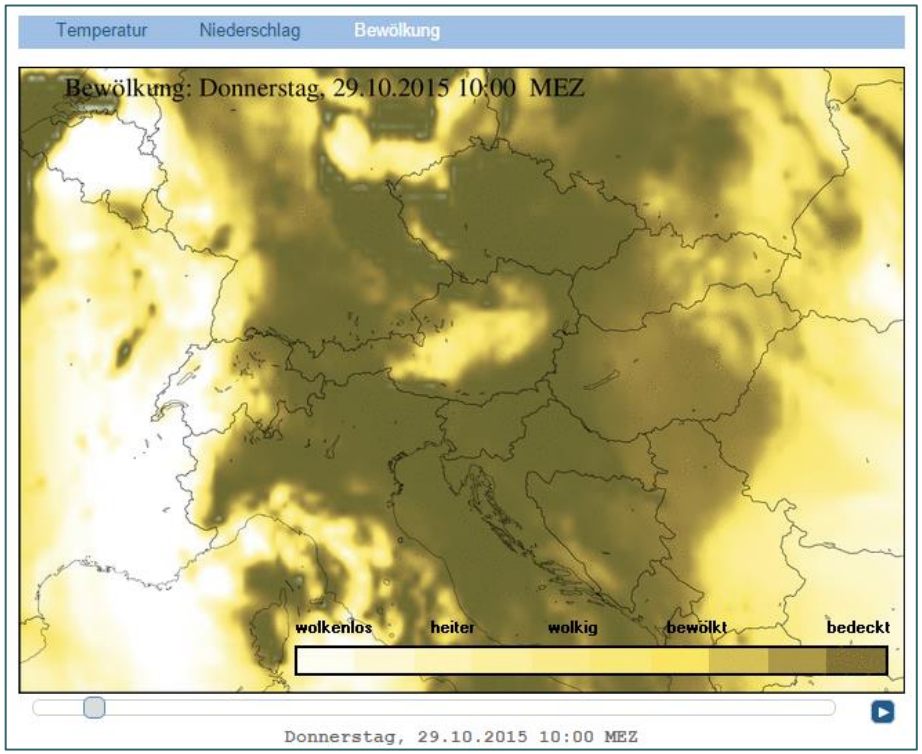
Vor allem in der Ostschweiz und im Tessin erwarten wir Wolken um 20 Uhr

Wolkenprognose - Alaro (Auflösung: 4.8 km)

Die Animationen des Wettermodells Alaro zeigen die erwartete Wolkenentwicklung für die nächsten drei Tage.

Für mittelfristige Prognosen ist diese Dienstleistung besonders wertvoll, u.a. weil man dadurch die Bewegung der Fronten anhand ihrer Bewölkung erkennt. Zu welchem Stockwerk die Wolken gehören, zeigt auch Alaro nicht an und muss - vor allem aufgrund von SCHRITT 2 - interpretiert werden.

Alaro zeigt auch die mögliche Bildung von Hochnebel oder Nebel, wobei die Prognose - mindestens für die Schweiz - häufig zu optimistisch ist. Für die Nebel- und Hochnebelprognose eignet sich Alaro daher nur bedingt.



Um 10 Uhr (lokale Zeit) ist der Himmel in der zentralen und Ostschweiz sowie im Süd-Tessin bedeckt.

Wolkenprognose für die Thermikprognose

Klicke oder tippe auf das Wolken-Symbol am Anfang der Wetterseite auf www.5steps.ch/meteo. So erscheinen die Wetterkarten, mit denen eine Wolkenprognose möglich ist.

Wenn alle Wettermodelle die gleiche Schlussfolgerung ermöglichen, dann ist die Prognose meistens zuverlässig.

Wenn nicht, dann sind weitere Schritte gefragt, um sich eine Meinung zu bilden über die Wetterentwicklung: Satellitenbilder, Webcams und Messwerte kombiniert mit der eigenen Erfahrung können weiter helfen bei der Beurteilung der Zuverlässigkeit des jeweiligen Modells.

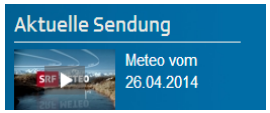
Wenn man auf das Wolken-Symbol klickt oder tippt, erscheinen die Links, mit denen eine Wolkenprognose möglich ist.

SRF - Meteo

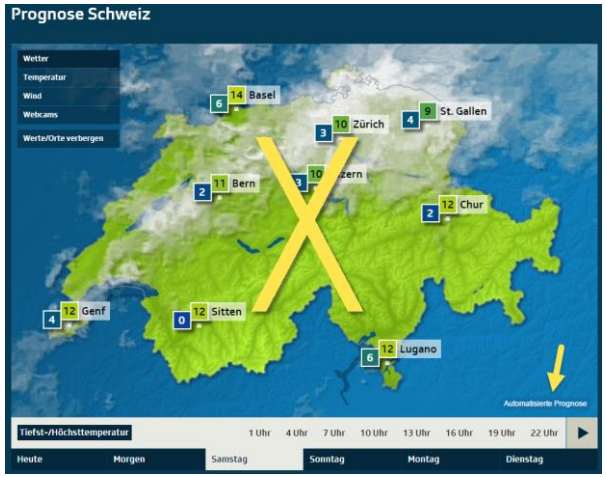
Die Meteo-Sendung von SRF liefert relevante Informationen über die mögliche Entwicklung von Nebel, Hochnebel, Niederschlägen, Gewitterwolken, Föhn und Wind. Beim Wind werden für die grossen Alpentäler regionale Besonderheiten berücksichtigt.

Als Ergänzung zur eigenen Prognose ist die Wettervorhersage von SRF Meteo auf jeden Fall empfehlenswert. Kritisch muss man aber anmerken:

- Bei der Wolkenprognose ist es nicht immer klar, ob es sich dabei um hohe, mittelhohe oder tiefe Wolken bzw. Quellwolken handelt. Dieser Aspekt ist aber für die Thermikbildung besonders relevant.
- Auch wenn SRF Meteo nicht von Föhn spricht, kann deswegen Föhn nicht 100% ausgeschlossen werden!
- SRF Meteo liefert langfristige Prognosen, auch wenn sie nicht zuverlässig sind (meistens mit der Anmerkung: «Die Entwicklung ist noch unsicher»)
- Die automatisierte Prognose auf der Website sollte nicht genutzt werden. Sie widerspricht manchmal der Prognose in der Sendung und ist weniger zuverlässig als die Aussagen der Wetterprofis.



Die Prognose von SRF ist als Ergänzung zur eigenen Prognose sicher empfehlenswert



Die automatisierte Prognose von SRF Meteo sollte ignoriert werden

SCHRITT 3

Mit dem dritten Schritt hast du die Wind-, Föhn-, Regen-, Wolken- und Nebelprognose überprüft und hast jetzt vermutlich eine genaue Vorstellung, welche Wetterentwicklung du am geplanten Flugtag in deiner Region erwarten kannst. DAFÜR HAST DU ETWA 3-4 MINUTEN GEBRAUCHT.

Du bist jetzt bereit den 4. Schritt einzuleiten, um u.a. herauszufinden, ob du Aufwinde erwarten kannst oder ob du nur gleitend zum Landeplatz fliegen wirst.

Schritt 4

Lokale Prognose und Thermikprognose

Verschiedene Webseiten für Thermikprognosen

Weil du mit den vorherigen drei Schritten die Wetterprognose systematisch aufgebaut hast, kannst du jetzt die lokale Prognose einer Dienstleistung wie METEOBLUE nicht nur schätzen, sondern auch realistisch beurteilen.

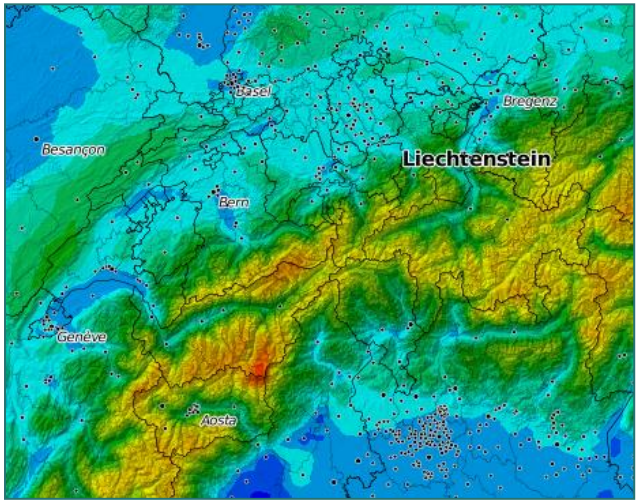
Andere Piloten schätzen die Angebote von

- www.soaringmeteo.ch
- www.meteo-parapente.com

oder noch andere.

Es gibt verschiedene Webseiten, die dir beim Erstellen einer Thermikprognose behilflich sind. Egal für welche Seite du dich entscheidest, die Thermikprognose sollte erst erfolgen, wenn du die anderen 3 Schritte hinter dir hast. Sonst wirst du nicht wissen, ob die lokale Prognose zuverlässig ist oder nicht.

In dieser Unterlage nutze ich für SCHRITT 4 Meteoblue.

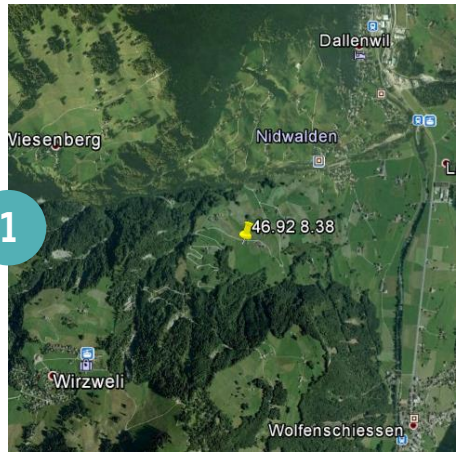


Die Thermikprognose von meteo-parapente.com

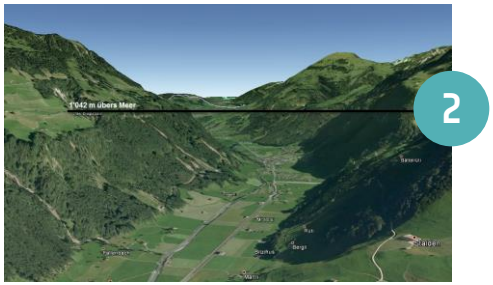
Die lokale Prognose von METEOBLUE

Mit Meteoblue kannst du für die ganze Welt eine lokale Prognose erstellen, diese gilt für ein Zeitfenster von 3 Tagen.

Der erste Schritt besteht darin anzugeben, für welches Gebiet du die Prognose wünschst, z.B. «Wolfenschiessen». Was du als Ergebnis bekommst, ist nicht die Prognose für genau die Gemeinde Wolfenschiessen, sondern die durchschnittliche Prognose für das Viereck mit einer Seitenlänge von 3 km (1) rund um Wolfenschiessen. Und die Höhe dieses Viereckes liegt auf 1'042 m über Meer (2) und nicht auf 510 m, die Höhe, die wir sonst für Wolfenschiessen erwarten würden. Mit diesem Hintergrundwissen kannst du die Prognose von Meteoblue korrekt interpretieren.



Wünscht man die Prognose für Wolfenschiessen, bekommt man in Wahrheit die Prognose für ein Gebiet, das auch Wolfenschiessen einschliesst und eine Seitenlänge von 3 km hat.



Diese Prognose gilt zudem für eine Höhe von 1'042 m über Meer

Basishöhe

Mit «Meteoblue» kannst du die Basis der Quellwolken (=Cumuli) schätzen. Das ist die Höhe, die du womöglich erreichst und nicht überschreiten darfst, falls sich Quellwolken bilden. Dazu brauchst du die Formel:

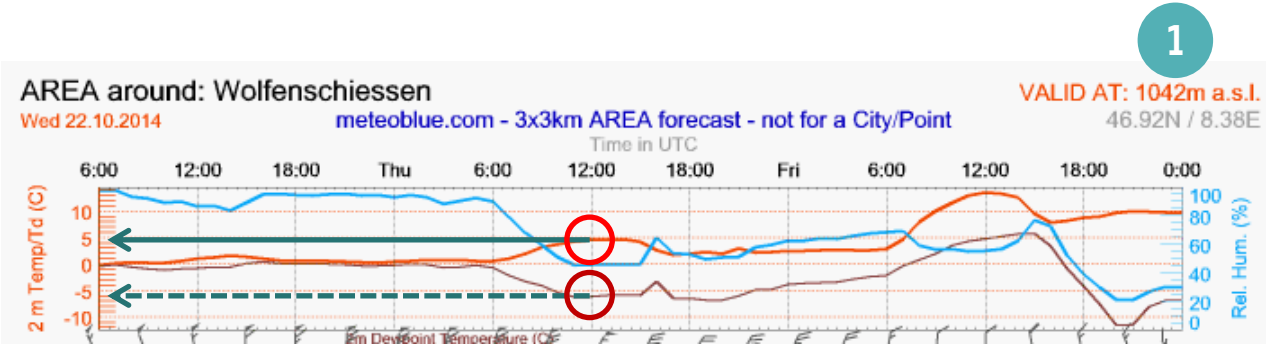
({Temperatur - Taupunkt} x 125 m)

Schaue das untenstehende Beispiel: Die Temperatur am Donnerstag (Thu) 12 UTC beträgt 5 Grad (siehe schwarzer Pfeil in untenstehender Abbildung) und die Tautemperatur beträgt -6 Grad (siehe gestrichelten Pfeil).

So rechnest du die Quellwolken-Basis:

(5 - (-6)) = 11 Grad Unterschied x 125 m = 1'375 m über Boden

Mit anderen Worten - Falls an diesem Tag die Thermik von einer Höhe von 1'042 m über Meer (1) bis auf 2'417 m (=1'042m + 1'375 m) über Meers steigen wird, dann werden sich ab dieser Höhe Quellwolken bilden. Falls die Thermik nicht so hoch reicht, dann werden sich keine Quellwolken bilden. Im besten Fall haben wir dann BLAUE THERMIK (Thermik ohne Quellwolken) oder im schlimmsten Fall gibt es gar keine Thermik.



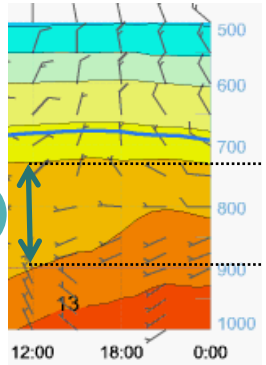
Thermikqualität

Meteoblue zeigt zudem, wie sich die Temperatur der Atmosphäre mit steigender Höhe verhält:

- Wenn die Luft der Atmosphäre mit steigender Höhe immer kühler wird, dann kann die Thermik steigen.
- Wenn dagegen die Temperatur der Atmosphäre mit steigender Höhe gleich bleibt (ISOTHERMIE) oder sogar wärmer wird (INVERSION), dann ist dieser Temperaturverlauf für die Thermikbildung sehr ungünstig.

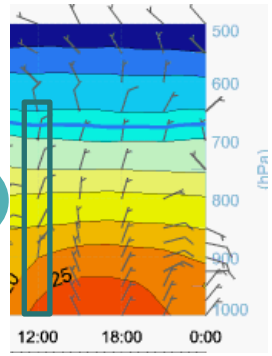
Zwei entgegengesetzte Beispiele:

1



KEINE (ODER SEHR SCHWACHE) THERMIK
Um 12 Uhr UTC bleibt die Temperatur der Atmosphäre zwischen 900 hPa und fast 700 hPa weitgehend konstant. Aus diesem Grund werden sich in diesem vertikalen Bereich keine oder kaum Thermiken entwickeln. Dass die Temperatur fast gleich bleibt, erkennt man daran, dass die orange Farbe vertikal sehr breit ist (1).

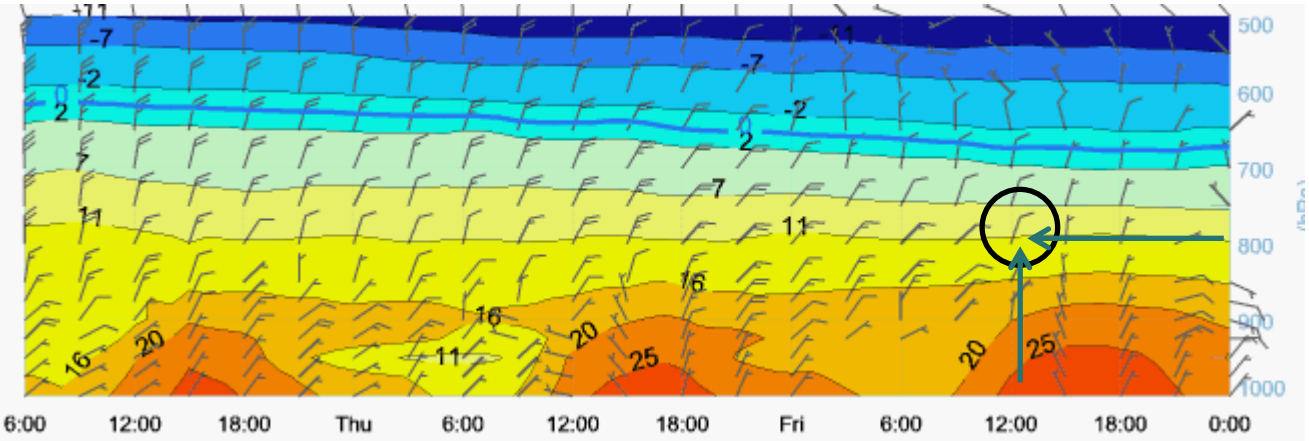
2



GUTE THERMIK
Um 12 Uhr UTC sinkt die Temperatur der Atmosphäre mit steigender Höhe, was die Thermikbildung begünstigt. Dass die Temperatur sinkt, erkennt man daran, dass die schmalen, farbigen Streifen mit der Höhe von roten zu blauen Tönen in kleinen Abständen wechseln (2): Je schmaler die Farbflächen, d.h. je grösser die Temperaturabnahme mit steigender Höhe, desto stärker und höher können die Thermiken werden (vorausgesetzt, dass die Sonne scheint).

Windstärke und -richtung

Die graphische Darstellung von Meteoblue zeigt im 3-Stunden-Takt für verschiedene Höhen nicht nur den Temperaturverlauf der Atmosphäre, sondern auch die erwartete Windrichtung und -stärke in Knoten. Zum Beispiel sieht untenstehende Prognose voraus, dass am Freitag um 12 Uhr UTC auf etwa 2'000 m über Meer (= 800 hPa) der Wind aus N mit einer Geschwindigkeit von 10 Knoten wehen wird.

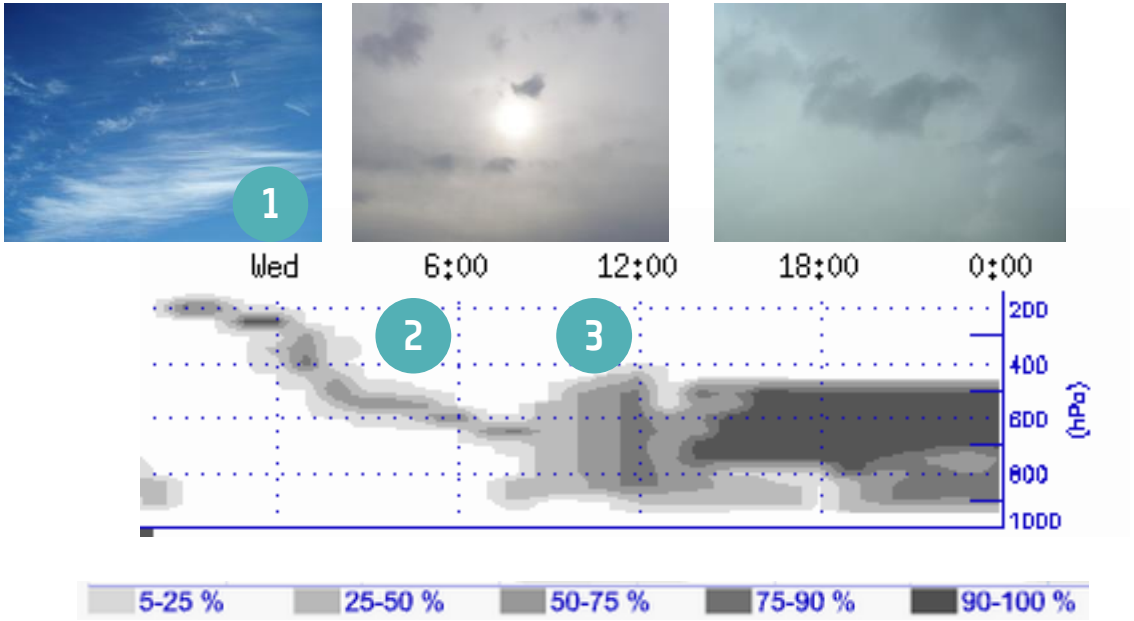


Temperaturverlauf der Atmosphäre, Windstärke und -richtung für drei Tage in 3-Stunden-Takt

Wolken

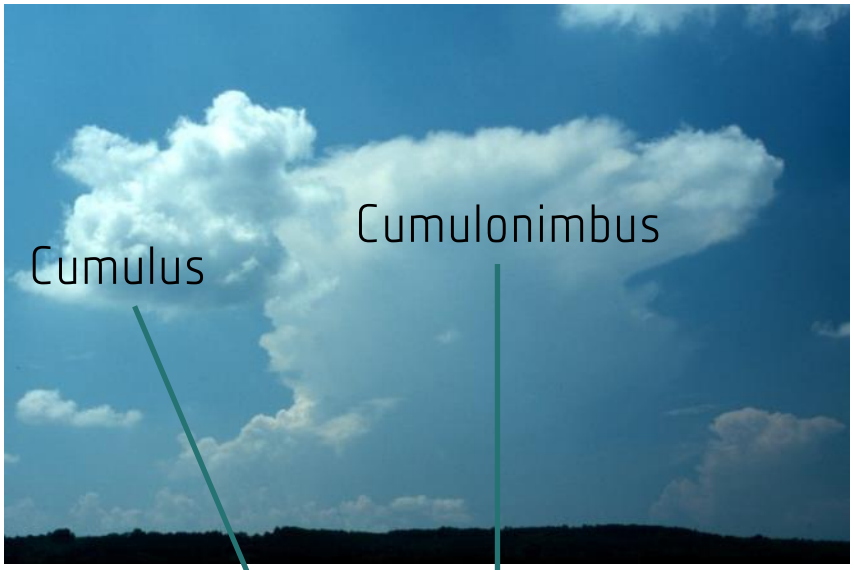
Mit der Wolkenprognose von Meteoblue erkennt man die erwartete Wolkenverbreitung auf verschiedene Stockwerke der Atmosphäre und für das dargestellte Zeitfenster. Die Farbe Schwarz in der Abbildung bedeutet nicht, dass der Himmel dunkel aussieht, sondern dass 100% des Himmels mit diesen Wolken bedeckt ist. Wenn es sich dabei nur um Cirren handelt, dann wird das Wetter trotzdem schön sein.

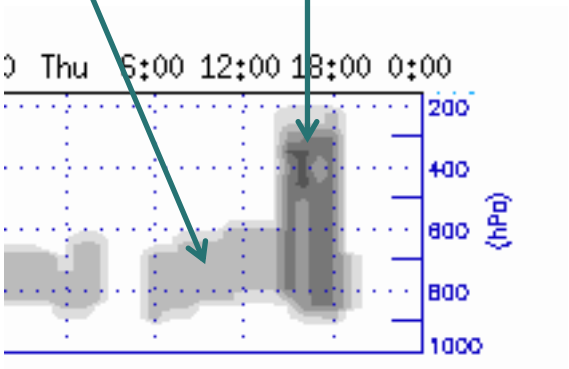
Schauen wir das untenstehende Beispiel: Am Mittwoch (WED) um Mitternacht zeigt die Abbildung, dass der Himmel grösstenteils mit Cirren bedeckt ist (1). Zwischen 2 und 8 Uhr UTC ist etwa 50% des Himmels mit Altostratus bedeckt (2). Am Vormittag erreichen die Nimbostrati das Fluggebiet und wahrscheinlich regnet es (3). Das ist ein ungünstiger Verlauf für den Flugtag, weil sich eine Warmfront nähert.



Überentwicklungen

In der Wolkenprognose von Meteoblue erkennt man auch die Cumulonimben (= Gewitterwolken). Dabei handelt es sich um Quellwolken mit ursprünglich beschränkter vertikalen Ausdehnung, die plötzlich (meistens am Nachmittag oder am Abend) nach oben schiessen. Dieser Vorgang heisst auch «Überentwicklung».

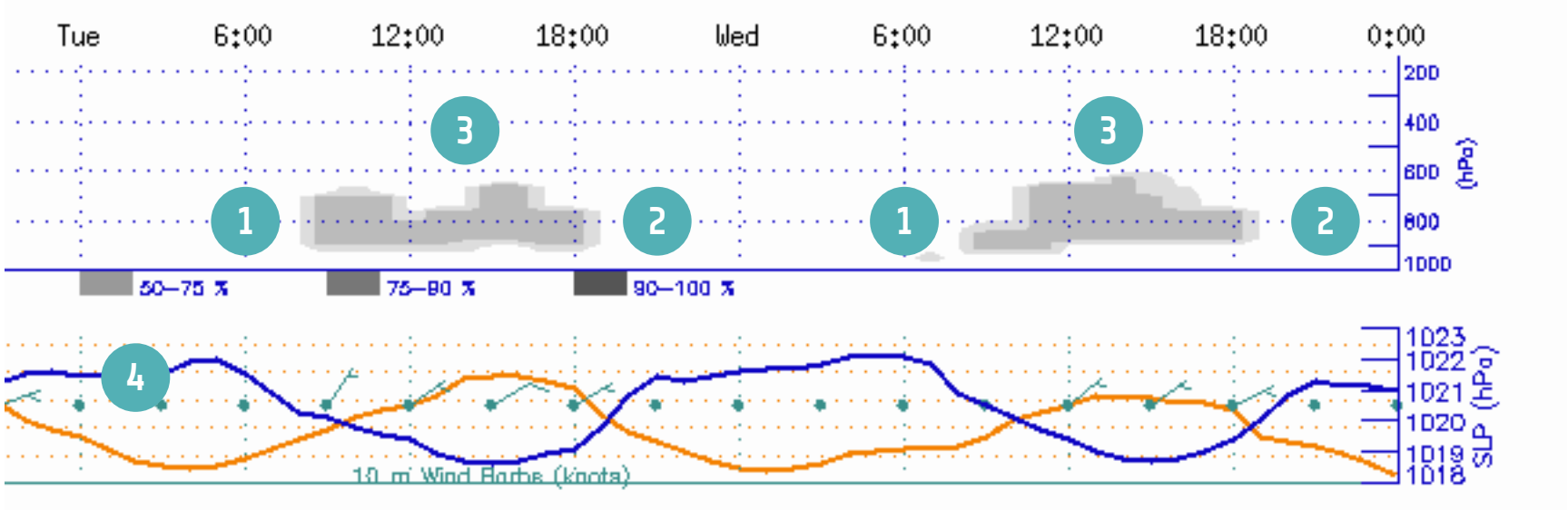




Wolken

Viel optimistischer für den Flugtag ist die hier abgebildete Wolkenverteilung. Dabei handelt es sich um HARMLOSE THERMISCHE QUELLWOLKEN, die etwa 25% des Himmels abdecken. Man erkennt sie, weil sie plötzlich am Vormittag erscheinen (1), ebenso plötzlich am Abend verschwinden (2) und eine relativ beschränkte vertikale Ausdehnung aufweisen (3).

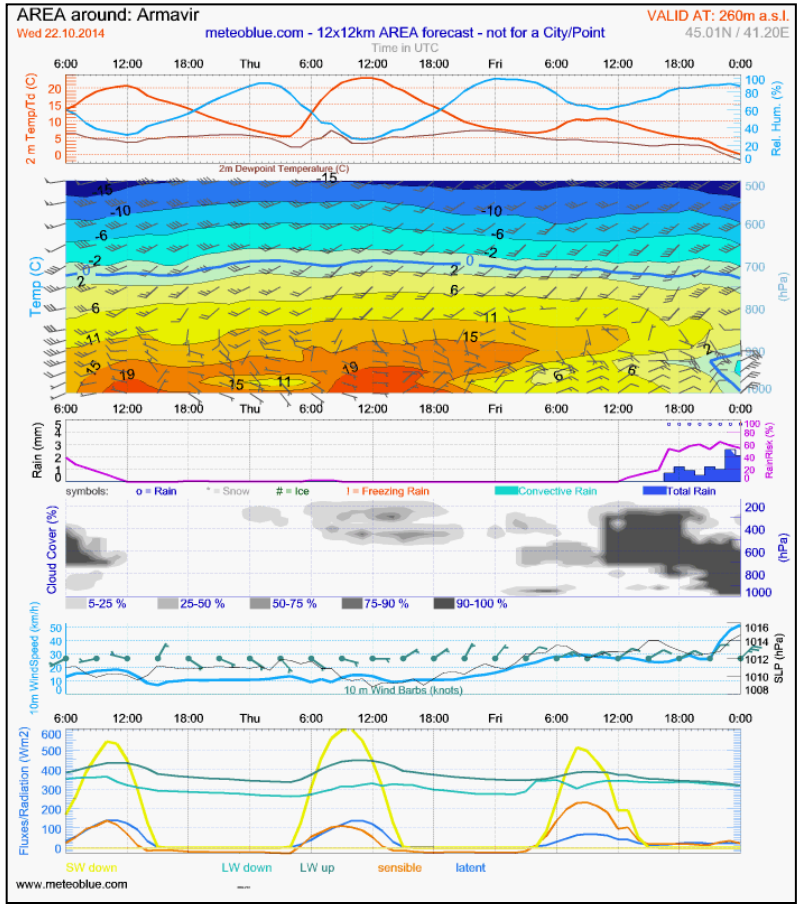
Dabei ist es nicht überraschend, dass mit diesen schönen Quellwolken der Luftdruck etwa 1020 hPa beträgt (siehe blaue Linie, 4). Der Grund: Die besten Bedingungen für Streckenflüge erwartet man zwischen 1017 und 1024 hPa, nämlich wenn sich in grosser Höhe eine Inversion bildet, die Überentwicklungen erschwert. Wahrscheinlich hat 2 Tage vorher eine Kaltfront frische trockenere Luft in die Schweiz gebracht und als Folge daraus begünstigt u.a. der Temperaturverlauf der Atmosphäre die Bildung hochreichender Thermiken.



Viele Angaben auf einen Blick

Mit Meteoblue hat man viele Informationen auf einen Blick zur Verfügung, mit denen man rasch die Thermikqualität für einen bestimmten Tag schätzen kann. Optimal für einen guten thermischen Tag sind:

- eine hohe Quellwolkenbasis (nutze für die Berechnung die Formel {(=Temperatur - Taupunkt) x 125m})
- schmale Farbflächen, die auf eine rasche Temperaturabnahme der Atmosphäre hindeuten
- wenig Wind
- wenig Wolken, vor allem keine mittelhohen und tiefen Wolken (Ausnahme: Wenn Quellwolken abgebildet sind, ist dies ein Zeichen, das für die Thermikentwicklung spricht)
- Luftdruck zwischen 1017 hPa und 1024 hPa.

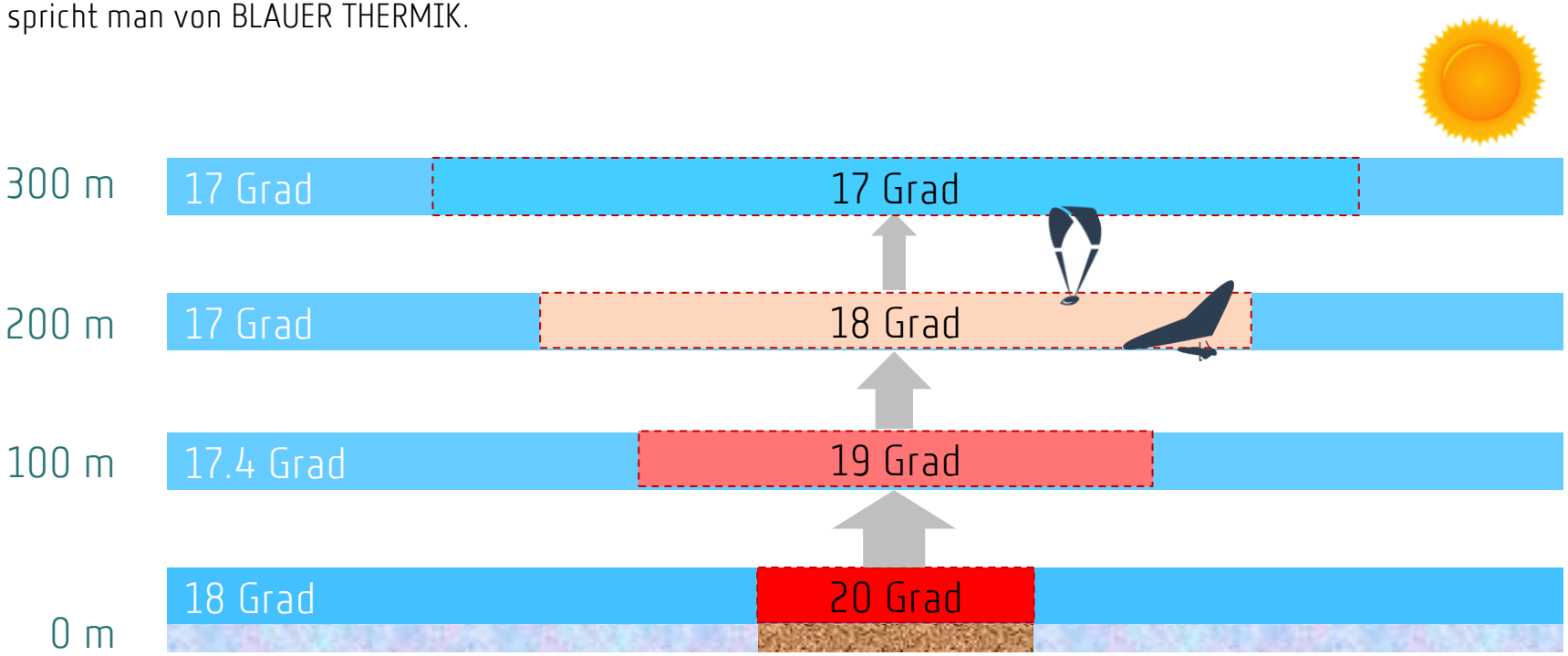


Meteoblue - auf einen Blick verfügt man für jede Region auf der Welt über wertvolle Informationen, mit denen man die Thermikentwicklung schätzen kann

Thermikbildung

Somit haben wir ein Thema eingeleitet, das Piloten sehr interessiert: Die THERMIK.

So entsteht Thermik: Die Sonne erwärmt den Boden, der warme Boden erwärmt die darüber liegende Luftschicht. Wenn die warme Luftschicht mindestens 2 Grad wärmer als die Temperatur der Atmosphäre ist, verlässt sie spontan oder aufgrund einer Störung den Boden und beginnt zu steigen. Dabei nimmt ihre Temperatur alle 100 m um 1 Grad ab. Die warme Luftschicht steigt, bis ihre Temperatur und die Temperatur der Atmosphäre gleich sind (*das Phänomen der Luftfeuchtigkeit behandeln wir später*). Falls sich keine Quellwolke bildet (wie in diesem Beispiel), spricht man von BLAUER THERMIK.



Trockenadiabatischer Vorgang

Dieser Prozess heisst auch TROCKENADIABATISCHER VORGANG:

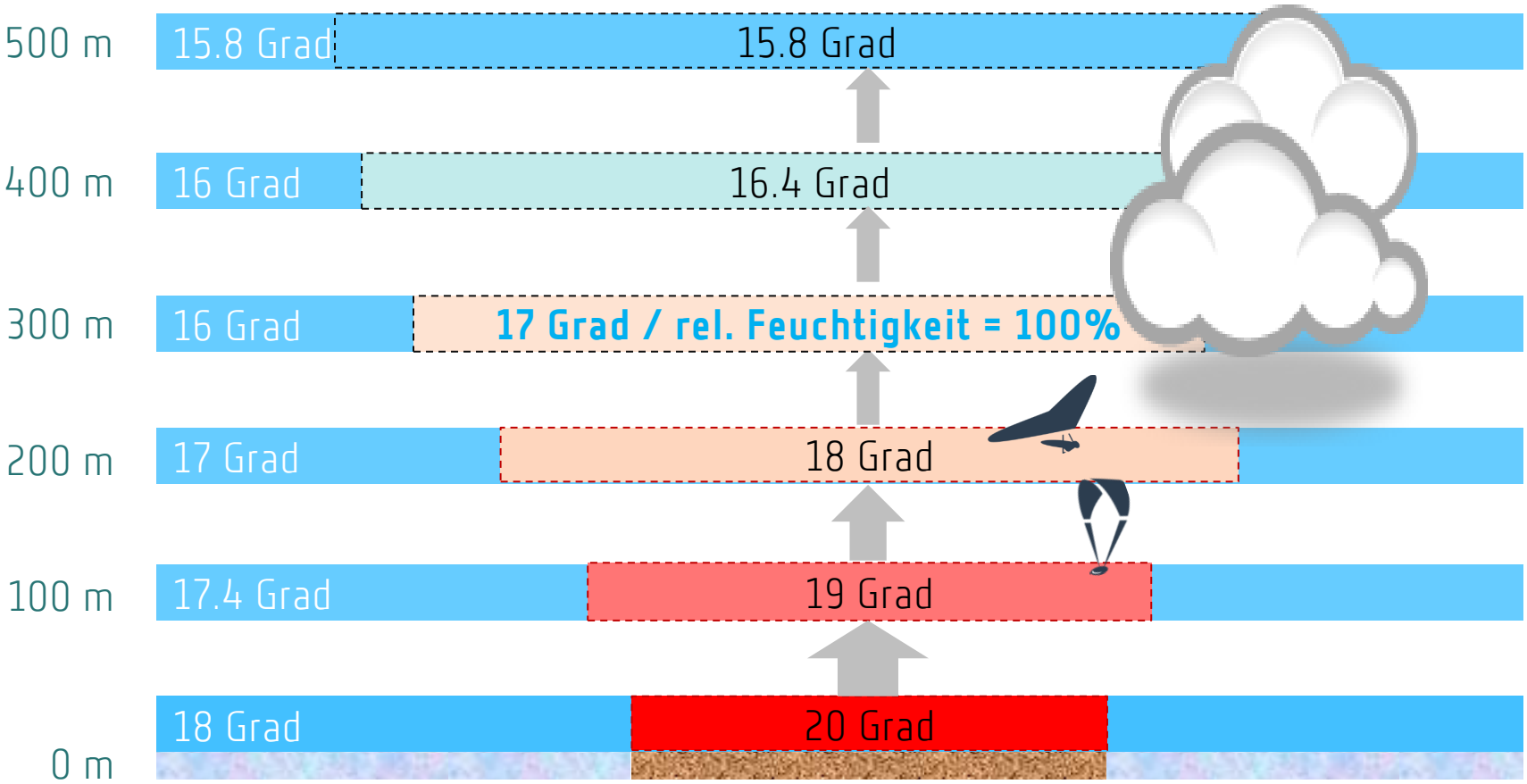
- TROCKEN, weil die Temperaturabnahme der steigenden Luft ohne Kondensation stattfindet (= keine Quellwolken bilden sich) und
- ADIABATISCH, weil sich die Luft der Thermik und die Luft der Atmosphäre (*theoretisch*) nicht mischen. Die Thermik wird nicht von der kälteren Luft der Atmosphäre abgekühlt, sondern sie wird kälter, weil der Luftdruck mit steigender Höhe abnimmt. Der abnehmende Luftdruck zwingt die Thermik sich auszudehnen. Die dazu benötigte Energie um sich auszudehnen, entspricht der Wärme, die die Thermik verliert: GENAU 1 GRAD PRO 100 M.

Je höher die Thermik steigt, desto grösser wird sie! Aus diesem Grund: JE HÖHER DU FLIEGST, DESTO EINFACHER IST ES FÜR DICH OBEN ZU BLEIBEN. In tiefen Lagen muss man dagegen mit kleinen Thermiken rechnen. Die kann man auch packen, aber erst wenn man Thermiken wirklich gut treffen und nutzen, d.h. zentrieren kann.

Stundenlanges Soaring am Üetliberg

Feuchtadiabatischer Vorgang

Wenn die Temperatur der Thermik so weit abkühlt, dass sie eine relative Feuchtigkeit von 100% erreicht (=Tautemperatur), kondensiert der unsichtbare Wasserdampf. Eine Quellwolke bildet sich. Die steigende Luft in der Quellwolke verliert dann «nur» noch **im Durchschnitt 0.6 Grad pro 100 m** (anstatt 1° / 100 m), weil Kondensationswärme frei wird. Man spricht in diesem Fall von «feuchtadiabatischen» Vorgängen.



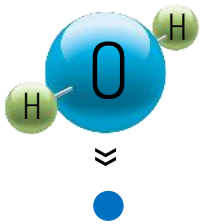
Wasser überall

Ob Quellwolken, Gewitterwolken, Nebel oder Hochnebel, du wirst dich als Pilot immer wieder mit dem Thema «Wasser» auseinandersetzen müssen. Es ist deswegen durchaus sinnvoll, darüber einige Grundkenntnisse zu haben.

Wassermoleküle bestehen aus einem grossen Sauerstoff- und zwei kleinen Wasserstoff-Atomen, wobei O für Oxygen und H für Hydrogen steht.

Wir vereinfachen das Ganze und stellen das Wassermolekül mit einem blauen Punkt dar.

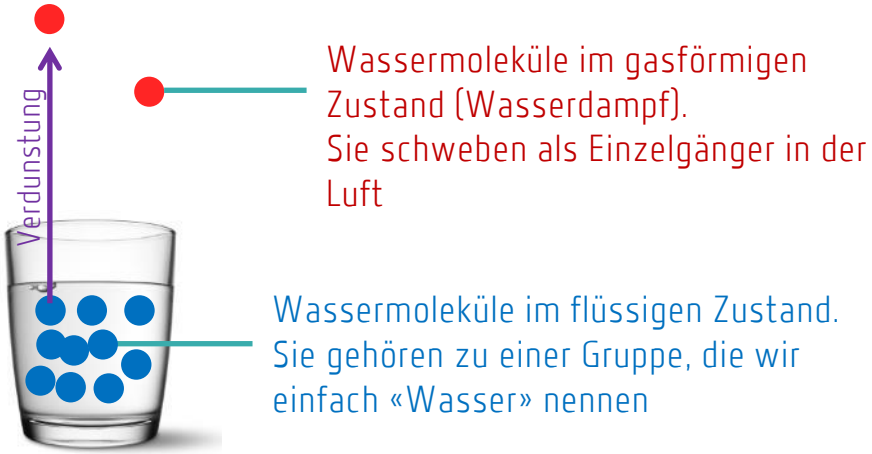
Wasser im *flüssigen Zustand* wie in einem See, Fluss oder in einem Glas besteht aus unzähligen Wassermolekülen. Sie verhalten sich wie eine Gruppe von Freunden. Sie gehören und interagieren zusammen. *Innerhalb der Gruppe* hindert sie jedoch nichts daran, sich frei zu bewegen.



Verdunstung

Wenn die Temperatur z.B. in einem Glas Wasser zunimmt, dann bewegen sich die Wassermoleküle schneller und einige davon haben dann genügend Energie um die Gruppe zu verlassen.

In diesem Fall sprechen wir von *Verdunstung*. Damit meinen wir, dass sich Wassermoleküle von ihrer Gruppe verabschieden und allein ihre Reise in der Luft fortsetzen.



So viele, so klein

Moleküle sind winzig klein. In einem einzigen Wassertropfen gibt es 1'000'000'000'000'000'000'000 (!) davon.

Wasser im flüssigen Zustand wie in einem Glas können wir sehen und spüren, weil es aus unvorstellbar vielen Wassermolekülen besteht, die sich wie Mitglieder einer Gruppe verhalten.

Wenn aber Wassermoleküle die Gruppe verlassen und als Einzelgänger im gasförmigen Zustand in der Luft schweben, dann sollte dich nicht überraschen, dass sie wegen ihrer winzigen Grösse (0.33 Nanometer = 0.00000033 mm) für uns unsichtbar sind.

10^{21} Wassermoleküle
und weil es davon so viele gibt,
dann sehen wir sie als «Wasser»

1 Wassermolekül = 0.33 Nanometer
Im gasförmigen Zustand sind sie so klein,
dass sie für uns unsichtbar sind

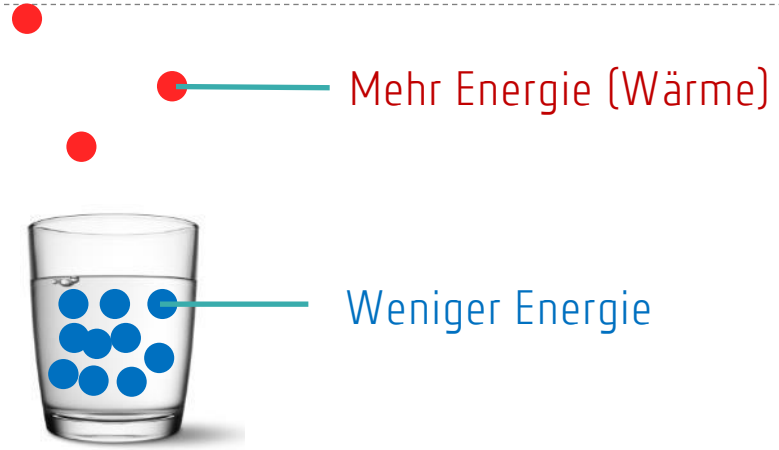
Zustand und Energie

Wasserdampf, so nennen wir die Wassermoleküle, die als Einzelgänger in der Luft schweben, bewegen sich schneller und tragen deswegen mehr Energie in sich als die Kollegen im flüssigen Zustand. Aus diesem Grund werden sie in der Abbildung rot eingefärbt.

Ganz klar ist dies zu sehen, wenn man Wasser erwärmt und als Folge daraus als Wasserdampf verschwindet.

Das heisst:
Wasserdampf ist Wasser im flüssigen Zustand + Wärme.

● = ● + Wärme

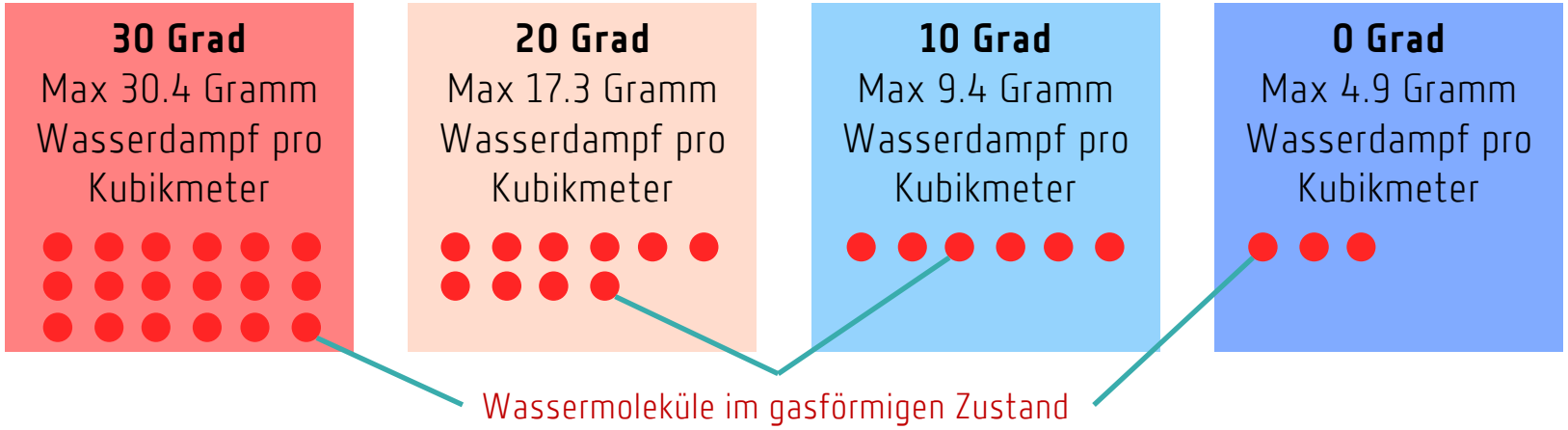


Wasserdampf und Temperatur

Wie viele Wassermoleküle als Einzelgänger in der Luft schweben können, bestimmt die Lufttemperatur. Wenn die Temperatur der Luft **30 Grad** beträgt, dann können alle als Einzelgänger schwebenden Wassermoleküle in einem Kubikmeter Luft auf Meereshöhe das Gesamtgewicht von 30.4 Gramm nicht überschreiten. Wenn die Temperatur der Luft auf **20 Grad** sinkt, dann beträgt das Gesamtgewicht der Wassermoleküle im gasförmigen Zustand maximal 17.3 Gramm pro m^3. Und so weiter.

Also:

JE KÄLTER DIE LUFTTEMPERATUR IST, DESTO GERINGER DIE ANZAHL DER WASSERMOLEKÜLE, DIE IN DER LUFT IM UNSICHTBAREN GASFÖRMIGEN ZUSTAND SCHWEBEN KÖNNEN.



Relative Feuchtigkeit

Nehmen wir an, dass die Lufttemperatur **30 Grad** beträgt und dass aktuell in einem Kubikmeter Luft 17.3 Gramm Wassermoleküle im gasförmigen Zustand schweben. Wenn die Temperatur der Luft sinkt, z.B. auf **25 Grad**, würdest du nichts merken. Nur wenn du einen Hygrometer hättest, nämlich ein Gerät, das die relative Luftfeuchtigkeit misst (*nämlich der prozentuale Wert des maximal zugelassenen Wasserdampfes in der Luft*), würdest du feststellen, dass die relative Feuchtigkeit von 55% auf 74% zugenommen hat.

Wird die Luft kälter als **20 Grad**, passiert etwas Interessantes. Die relative Luftfeuchtigkeit hat nun mit 100% den maximalen Wert erreicht. In der Luft bilden sich winzige Wassertropfen.

30 Grad
17.3 Gramm
Wasserdampf pro Kubikmeter

Rel. Feuchtigkeit = **55%**

25 Grad
17.3 Gramm
Wasserdampf pro Kubikmeter

Rel. Feuchtigkeit = **74%**

20 Grad
Max 17.3 Gramm
Wasserdampf pro Kubikmeter

Rel. Feuchtigkeit = **100%**

19 Grad
Max 16.9 Gramm
Wasserdampf pro Kubikmeter

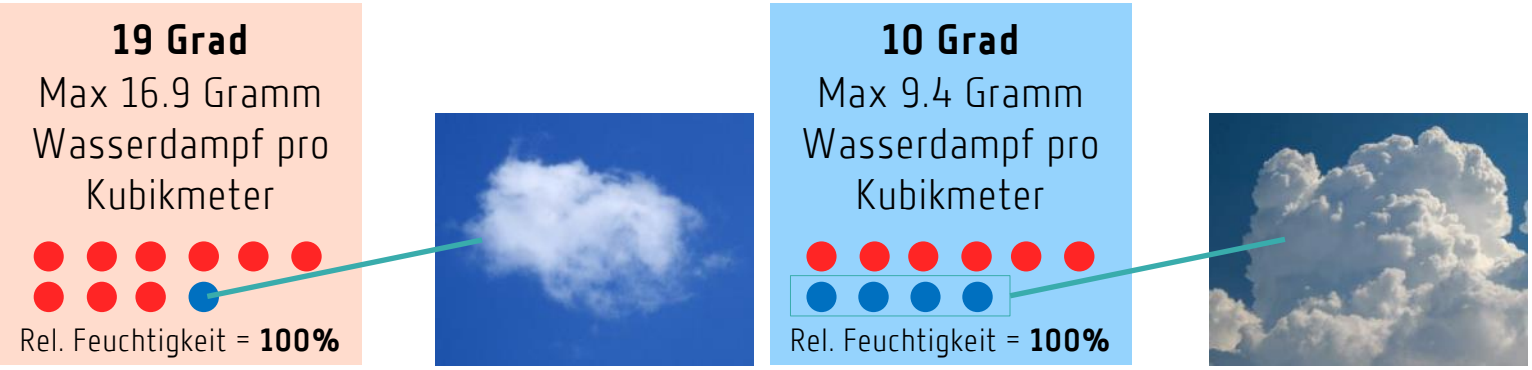
Rel. Feuchtigkeit = **100%**

Kondensation

Die Lufttemperatur legt fest, wie viele Wassermoleküle als Einzelgänger in der Luft - d.h. im gasförmigen Zustand - schweben dürfen. Alle anderen Wassermoleküle werden vom Luftdruck gezwungen sich zu gruppieren, nämlich Wassertropfen zu bilden.

Wenn die Temperatur der Luft weiter sinkt, z.B. auf **10 Grad**, dann werden nur noch 9.4 Gramm Wasserdampf pro Kubikmeter den gasförmigen Zustand behalten können. Alle anderen Wassermoleküle sind wieder im flüssigen Zustand, nämlich als Tropfen z.B. als Bestandteil einer Wolke oder vom Nebel sichtbar.

*Pro Kubikmeter Luft hatten wir ursprünglich 17.3 Gramm Wasserdampf (siehe vorherige Seite). Bei einer Temperatur von 10 Grad sind auf Meereshöhe nur noch 9.4 Gramm Wasserdampf erlaubt. 17.3 - 9.4 = **7.9 Gramm** Wasserdampf pro Kubikmeter wurden gezwungen, sich während der Abkühlung der Luft in Wassertropfen, z.B. Nebel umzuwandeln.*



Wärmefreigabe

Wenn wir von «Kondensation» sprechen oder «Wasserdampf kondensiert» sagen, meinen wir damit, dass Wassermoleküle den gasförmigen Zustand verlassen und als Wassertropfen sichtbar werden.

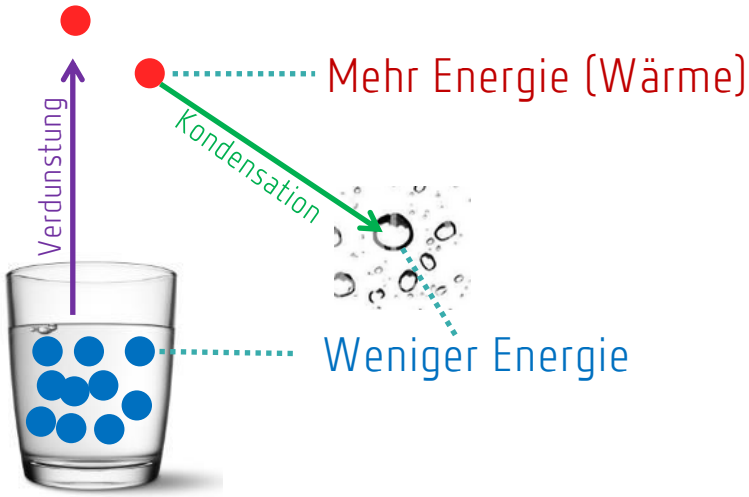
Als Erinnerung:

«Wasserdampf ist nichts anders als Wasser im flüssigen Zustand + Wärme»

Umgekehrt heisst es: *Wenn Wassermoleküle den gasförmigen Zustand verlassen und flüssig werden, dann geben sie Wärme frei, d.h. sie erwärmen die Luft.*

● = ● + Wärme

● = ● - Wärme



Praktische Anwendung

Nehmen wir an, dass du in einer Thermikblase fliegst. Die Aufwindzone hat eine Temperatur von 30 Grad auf 500 m und eine Tautemperatur von 20 Grad auf 1'500 m. Je höher du steigst, desto kälter wird die Thermikblase, nämlich 1 Grad pro 100 m. Aber sonst merkst du nichts Besonderes. Nur wenn du einen Hygrometer hättest, würdest du feststellen, dass die ursprüngliche relative Feuchtigkeit (**RF**) von 55% auf 500 m stetig zunimmt, je kälter deine Thermik wird, d.h. je höher du fliegst.

Hat die Thermik eine Temperatur von 20 Grad auf 1'500 m erreicht, zeigt dein Hygrometer eine relative Feuchtigkeit von 100%, und gleichzeitig beobachtest du, wie sich in der Luft Wassertropfen bilden. Das ist die Basis der Quellwolke.

1600 m = 19.6 Grad = RF = 100%

1500 m = 20 Grad = RF = 100%

1400 m = 21 Grad = RF = 94%

1300 m = 22 Grad = RF = 88%

1200 m = 23 Grad = RF = 83%

1100 m = 24 Grad = RF = 78%

1000 m = 25 Grad = RF = 74%

900 m = 26 Grad = RF = 70%

800 m = 27 Grad = RF = 66%

700 m = 28 Grad = RF = 62%

600 m = 29 Grad = RF = 58%

500 m = 30 Grad = **RF** = 55%

Die Temperatur der Thermik sinkt pro 100 m um 1 Grad. Weil die Luft in der steigenden Thermik immer kälter wird, nimmt die relative Feuchtigkeit (**RF**) stetig zu. Erreicht die RF den maximalen Wert von 100% setzt Kondensation ein.

Temperaturabnahme in Wolken

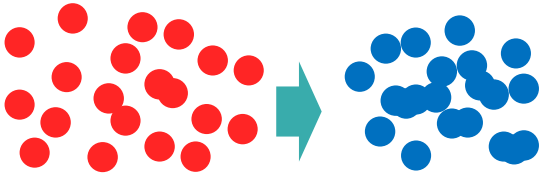
Wenn die Wassermoleküle den gasförmigen Zustand verlassen und Wassertropfen bilden (=Kondensation), geben sie Wärme frei. Als Folge dieser Erwärmung, wenn die Luft in der Wolke weiter steigt, kann sie nicht mehr 1 Grad pro 100 m abkühlen.

Kondensieren nur wenige Wassermoleküle, dann sinkt die Temperatur der Luft in der Wolke weiterhin ziemlich stark, z.B. 0.9-0.8 Grad pro 100 m.

Kondensieren viele Wassermoleküle, dann wird wirklich viel Wärme produziert. Die Temperatur der steigenden Luft in der Wolke nimmt nur noch 0.2-0.3 Grad pro 100 m ab.

Daraus folgt: IN EINER WOLKE SINKT DIE TEMPERATUR DER STEIGENDEN LUFT FEUCHTADIABATISCH **IM DURCHSCHNITT** 0.6 GRAD PRO 100 M.

Eine geringe Anzahl Wassermoleküle kondensiert
=
Wenig Kondensationswärme
=
Temperaturabnahme in der Wolke: Etwa -0.8°/+100 m

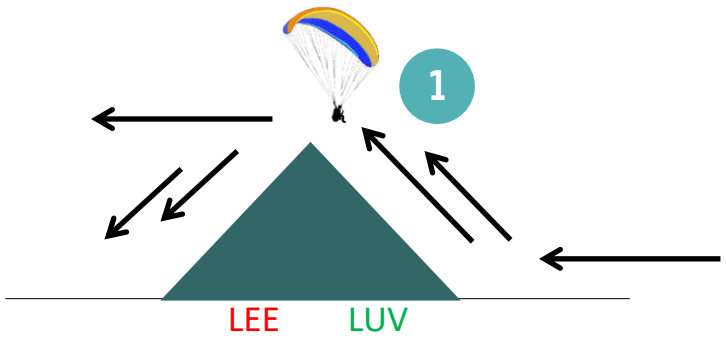


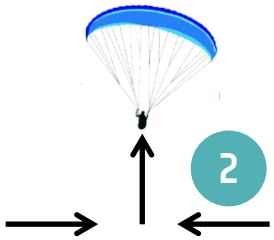
Eine grosse Anzahl Wassermoleküle kondensiert
=
Viel Kondensationswärme
=
Temperaturabnahme in der Wolke: Etwa -0.3°/+100 m

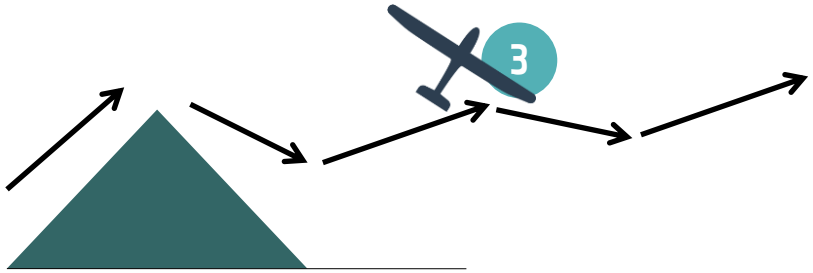
Ursachen für Aufwinde

Was führt dazu, dass Luft steigt?

- THERMIKEN
  Die vom Boden erwärmte Luft ist wärmer als die Luft der Atmosphäre. Warme Luft ist leichter als die kalte Luft und steigt.
- SOAREN (DYNAMISCHE AUFWINDE) (1)
  Der Wind stosst gegen ein Hindernis, was ihn zwingt zu steigen. Wichtig: Sich nicht ins Lee versetzen lassen, wo Turbulenzen und Abwinde möglich sind.
- KONVERGENZEN (2)
  Zwei Luftmassen treffen sich, die gestaute Luft wird gezwungen nach oben zu steigen. Umkehrthermik ist ein Beispiel dafür (das Thema kommt bald).
- WELLEN (3)
  Die Luft gerät in eine Wellenbewegung, nachdem sie ein Hindernis überwunden hat. Klassisches Beispiel sind die Föhnwellen, die Segelflugzeuge nutzen, um sehr hoch und weit zu fliegen.







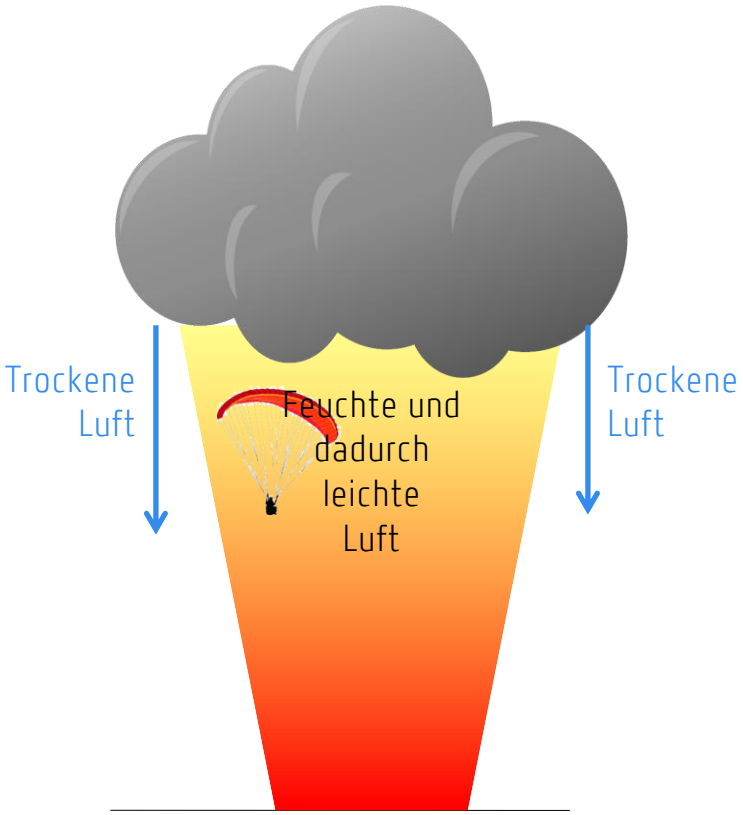
«Saugende» Wolken

Eine besonders gefährliche Form von Aufwinden sind die sogenannten «saugenden» Wolken.

Wenn der Himmel bedeckt und dunkel ist und dein Vario ein Steigen von 1 bis 3 m/s in sehr ruhiger Luft piepst, ist dies ein Hinweis, dass du unter einer «saugenden» Wolke fliegst. Sofort grosse Ohren anlegen und landen gehen. Andernfalls erreichst du möglicherweise innerhalb Sekunden eine Aufwindzone mit deutlich höheren Steigwerten. Dann wird es kritisch...

Mögliche Erklärungen für das Phänomen der «saugenden» Wolken sind:

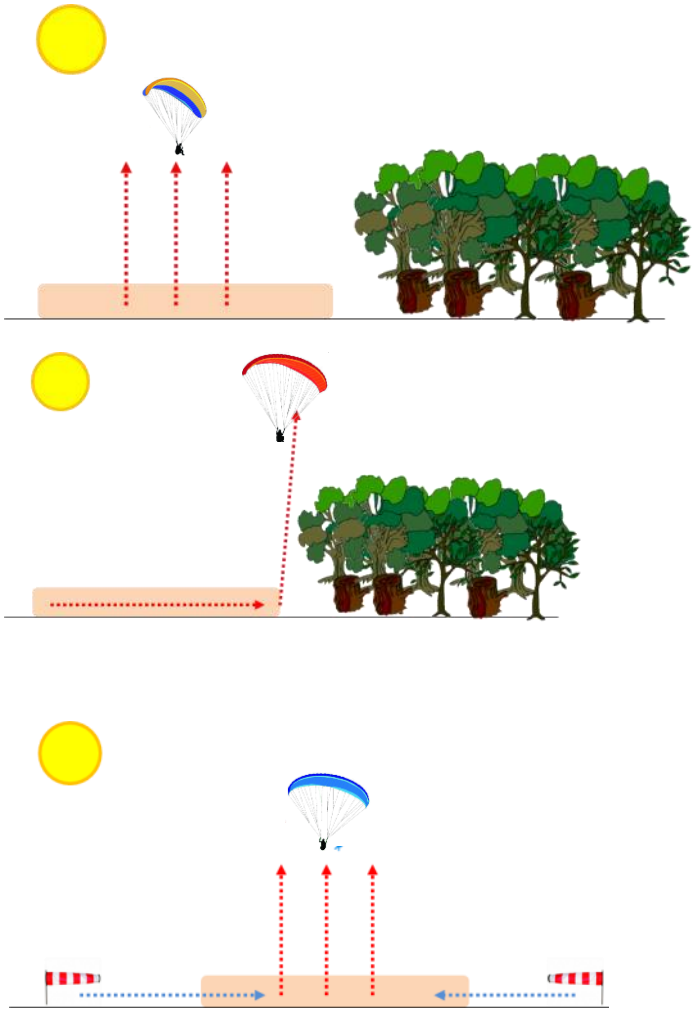
- KONDENSATIONSWÄRME
  Riesige Quellwolken können so viel Kondensationswärme produzieren, dass sie beginnen selbstständig zu wachsen und Aufwinde zu generieren. Diese Interpretation wird jedoch von einigen Experten in Frage gestellt.
- TROCKENE ABWINDE (SIEHE ABBILDUNG)
  Wenn grosse Quellwolken wachsen, bilden sich an ihren Rändern Abwinde, die kalt und trocken sind und hunderte Meter unter die Wolkenbasis fliessen können.
  Wenn dies passiert, dann ist die Luft der Thermik feuchter als die Luft der Umgebung. Feuchte Luft ist leichter als trockene Luft. Die Thermik kann deswegen noch stärker steigen.



Aufwindzone finden...

Welche Hinweise helfen dir, Aufwinde zu finden?

- Falls es windstill ist, suche nach Flächen, die aus Folge der Sonneneinstrahlung heiss werden (z.B. trockene Felder). Darüber könntest du Aufwinde finden.
- Suche nach Abrisskanten (z.B. Felder mit unterschiedlichen Farben, Waldränder, Felsen, Schneeflecken…), nämlich Flächen mit unterschiedlicher Temperatur oder Unterbrüche. Wenn die warme Luft die Abrisskante erreicht, wird an dieser Stelle das warme Luftpaket zu steigen beginnen (denke daran, dass der Wind die Thermik versetzt).
- Suche nach kreisenden Vögeln. Sie wissen, wo es rauf geht.
- Suche nach entgegensetzten Windfahnen. In der Mitte wird die Luft womöglich steigen.

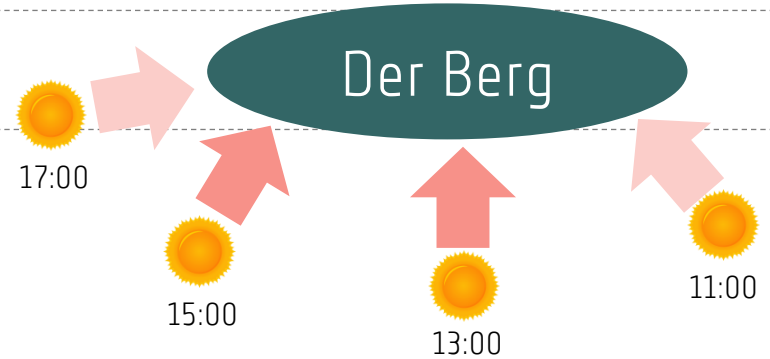


Aufwindzone finden...

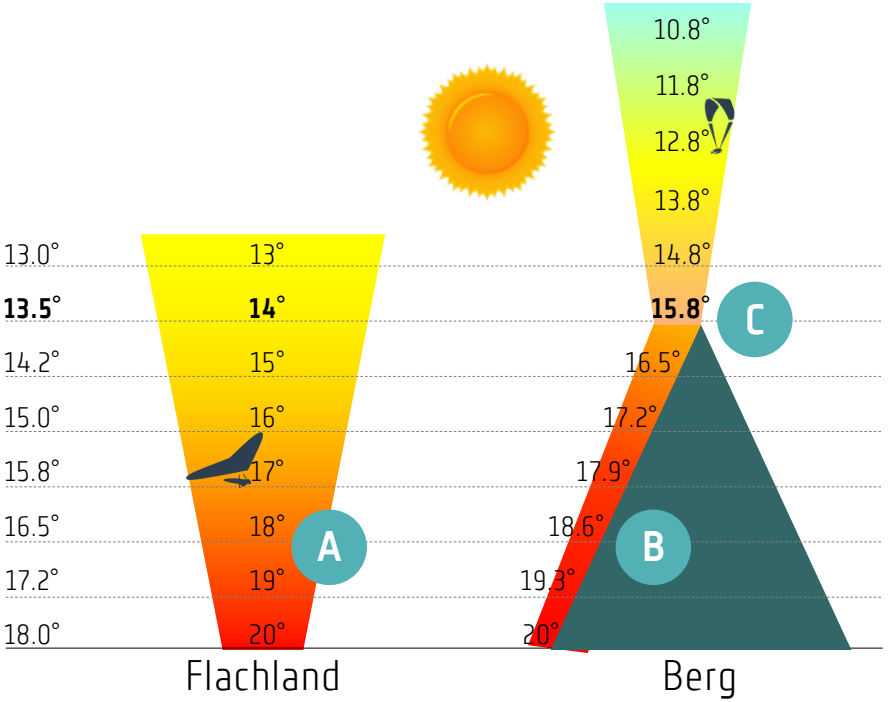
- Vor allem wenn du hoch fliegst, suche nach Quellwolken und versuche herauszufinden - aufgrund der aktuellen Windsituation - wie der Schlauch voraussichtlich versetzt wird. Im optimalen Fall fliegst du mit dem Wind in die Thermik rein. So kannst du einerseits die dynamische Aufwindzone ausnutzen, die entsteht, wenn der Wind auf den Thermikschlauch trifft (1) und andererseits erreichst du mit Rückenwind rascher die Zone mit den grössten Steigwerten. Wenn du dagegen leeseitig in die Thermik fliegst, dann bist du einerseits langsamer, weil du Gegenwind hast (2), andererseits gerätst du in die Abwindzone des Thermikschlauchs (3). Wenn du Pech hast, erreichst du die Thermik gar nicht.
- Spüre den Schirm. Unruhige Luft deutet darauf hin, dass die Thermik nicht weit entfernt ist. Ruhe behalten, überlegen wo sich die Aufwindzone befinden könnte und dahin fliegen.
- Wenn du Staub, Pollen oder Gerüche wahrnimmst, ist die Thermik wahrscheinlich nicht weit entfernt.

Aufwindzone finden...

- Wo die Sonne senkrecht den Boden bzw. den Hang erwärmt, ist die Erwärmung am grössten: Am Vormittag eher die südostlich, während der Mittagszeit die südlich, am Nachmittag die südwestlich und am Abend die westlich ausgerichteten Hänge.
  Wenn die Luft z.B. im Mittelland steigt, kühlt sie 1°/100 m ab (A). Wenn die Luft entlang des Hangs steigt und der Hang selbst durch die Sonneneinstrahlung erwärmt wurde, ist die Temperaturabnahme kleiner als 1°/100m: z.B. 0.7°/100 m (B).
  Wenn der Aufwind die Abrisskante erreicht und den Boden verlässt (C), dann ist sein Temperaturvorsprung gegenüber der Temperatur der Atmosphäre gross, so dass daraus eine starke Aufwindzone entsteht (vergleiche dazu die fettmarkierten Temperaturen der Abbildung).
  Dieses Phänomen erklärt, warum Thermiken in den Bergen stärker sind und eine grössere vertikale Ausdehnung als im Flachland haben.



Um Thermik zu finden, muss man während dem Tag jeweils die passende Hangrichtung wählen



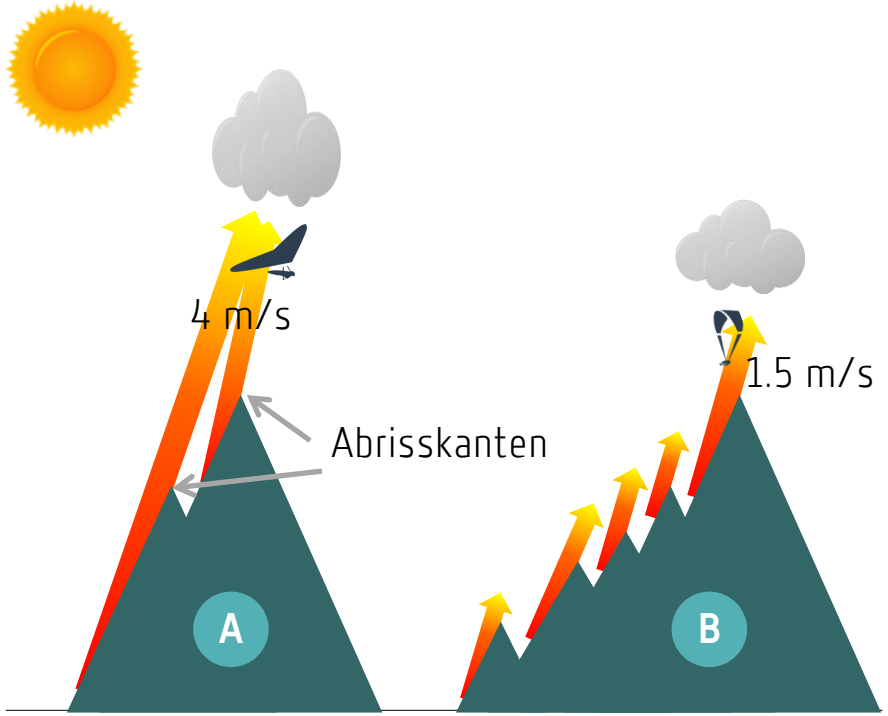
Die Thermik in den Bergen ist häufig stärker und reicht höher als die Thermik im Flachland

Aufwindzone finden...

- Wie stark die Thermik am Hang ist, hängt auch vom Hangprofil ab:

  GLEICHMÄSSIGER HANG (A)
  Entlang einem gleichmässig aufsteigenden Hang kann sich die Thermikluft ungestört erwärmen. Entlang des Hangs sinkt die Temperatur der steigenden Luft z.B. 0.65°/100m. Wenn die Thermikluft die Abrisskante erreicht, dann ist sie deutlich wärmer als die Temperatur der Atmosphäre und kann dadurch starke Aufwinde mit hoher Wolkenbasis produzieren.

  UNGLEICHMÄSSIGER HANG (B)
  Wenn eine Bergflanke mehrere Abrisskanten hat, dann hat die Thermikluft einen geringeren vertikalen Raum zur Verfügung, um Wärme zu speichern. Die am Hang steigende Luft kühlt im Durchschnitt z.B. 0.85°/100m ab. Wenn die Thermik die Abrisskante erreicht, hat sie einen geringeren Temperaturvorsprung gegenüber der Atmosphäre als im Fall eines gleichmässigen Hanges und produziert dadurch schwächere und wenig hochreichende Thermiken.



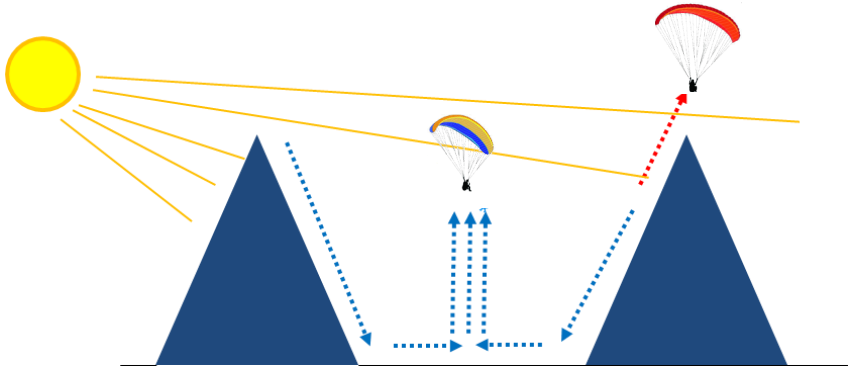
Gleichmässige aufsteigende Hänge produzieren stärkere und höher reichende Thermiken als Bergflanken mit mehreren Abrisskanten

Aufwindzone finden...

- Wo erwartest du z.B. am Abend Aufwinde?
  Die Antwort lautet: An westlich ausgerichteten Hängen und in der Mitte des Tales wegen der UMKEHRTHERMIK.

  Die Umkehrthermik entsteht, wenn die Luft am Abend wegen der sich abschwächenden Sonneneinstrahlung entlang der Hänge abkühlt und Richtung Tal fliesst. Im Tal trifft sich die Luftströmung (Konvergenz) und wird nach oben gedrückt.

  Trifft kalte schwere Luft auf warme leichte Luft im Tal, dann wird die warme Luft nach oben gedrückt.



Am Abend freuen sich Piloten/-innen, Aufwinde in der Mitte des Tales zu finden

Warum steigt die Thermik?

Wenn du gefragt wirst, warum eine thermische Blase steigt, antwortest du wahrscheinlich: «weil die Luft der Thermik wärmer als die Luft der Atmosphäre ist».

Diese Antwort ist aber unvollständig und sie reicht nicht, wenn du verstehen willst, warum z.B. über feuchten Wäldern ab einer bestimmten Höhe die Thermik gut ist.

Warum steigt die Thermik?

«Weil die Luft der Thermik wärmer *und/oder feuchter* als die Luft der Atmosphäre ist». *Vertiefen wir das Thema...*

«Warum steigt die Luft über Wäldern?»
Ein Pilot bereitet sich für einen Streckenflug im Jura vor.

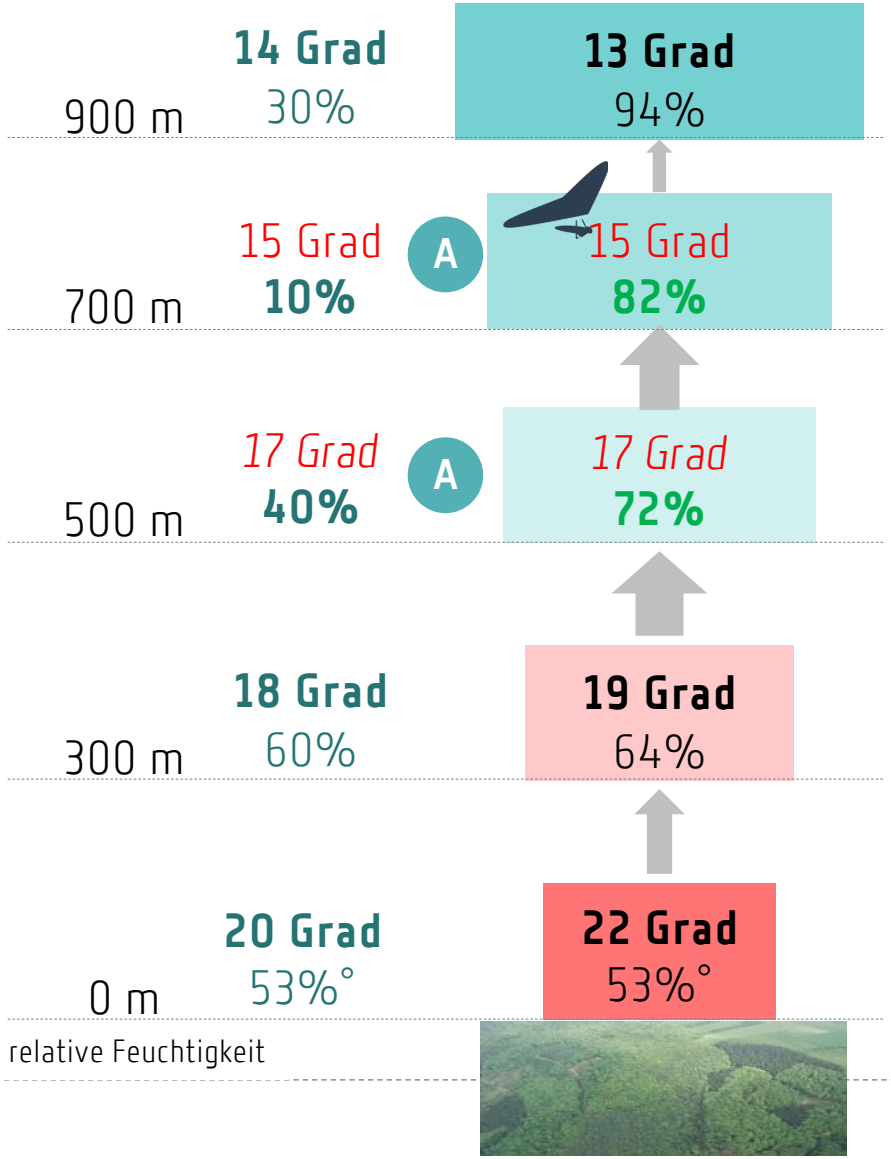
Die Luft steigt und steigt und steigt...

Die Thermik steigt und kühlt ab. Irgendwann werden die Thermikblase und die Atmosphäre mehr oder weniger die gleiche Temperatur haben. Jetzt sollte die Thermikblase eigentlich aufhören zu steigen: Das tut sie aber nicht. Warum nicht? WEIL FEUCHTE LUFT LEICHTER ALS TROCKENE LUFT IST!

Da feuchte Luft leichter ist als trockene, kann die Thermik noch weiter steigen (A). Je grösser ihr Feuchtigkeitsvorsprung gegenüber der umliegenden Atmosphäre ist, desto stärker steigt sie. Bei günstigen Bedingungen können so noch einige hundert Meter Höhe gewonnen werden.

Es ist ein Glücksfall für uns, dass die relative Feuchtigkeit der steigenden Luft aufgrund der stetig abnehmenden Temperatur immer grösser wird, je höher die Thermik steigt (*schaue in der Abbildung die %-Werte der Thermik*).

Ebenfalls günstig ist, dass die Luft in den Bergen unter Hochdruckeinfluss häufig ziemlich trocken ist. Dies erhöht die Wahrscheinlichkeit, dass die feuchte Thermikblase ihre Reise nach oben fortsetzt, auch wenn die Temperaturunterschiede zwischen Thermik und Atmosphäre bedeutungslos geworden sind.



° relative Feuchtigkeit

Unten die Wärme, oben die Feuchtigkeit

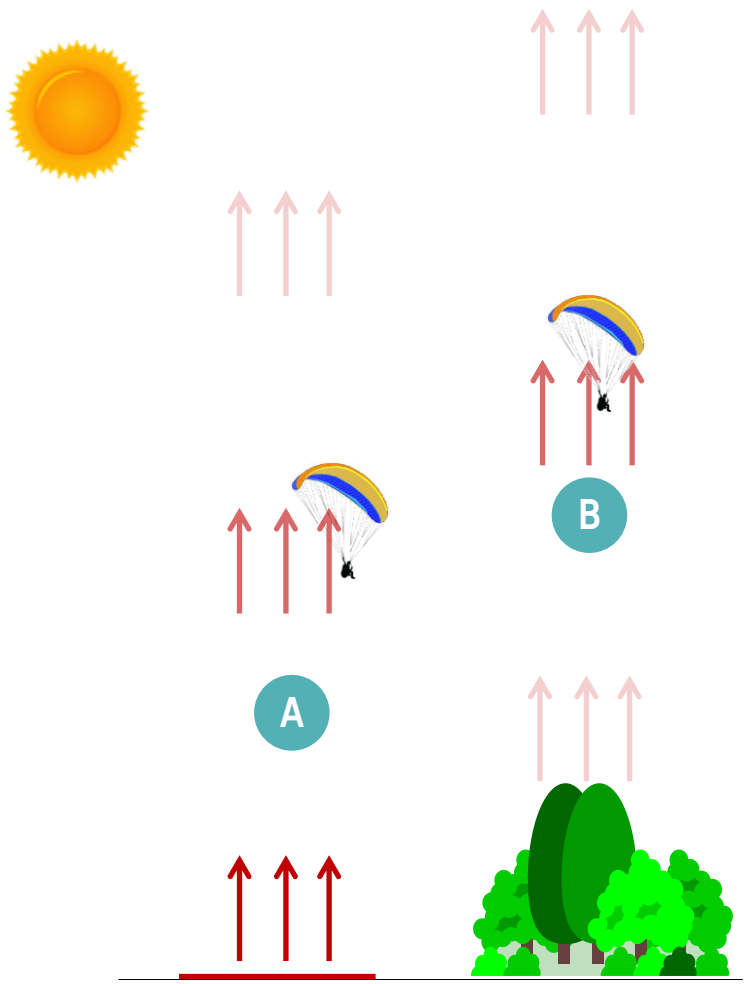
Auf den Punkt gebracht:

- Anfangs steigt eine Thermik vor allem, weil sie wärmer als die Umgebungsluft ist (A).
- Mit zunehmender Höhe steigt die Thermik vor allem, wenn sie feuchter als die Umgebungsluft ist (B).
- Daraus folgt:

  Trockene (kalte) Luft in grosser Höhe fördert die Bildung von hochreichenden Thermiken

  Wenn man tief ist, ist es besser über trockene Flächen zu fliegen.

  Wenn man hoch ist, ist es besser über feuchte Flächen (wie einen Wald) zu fliegen.

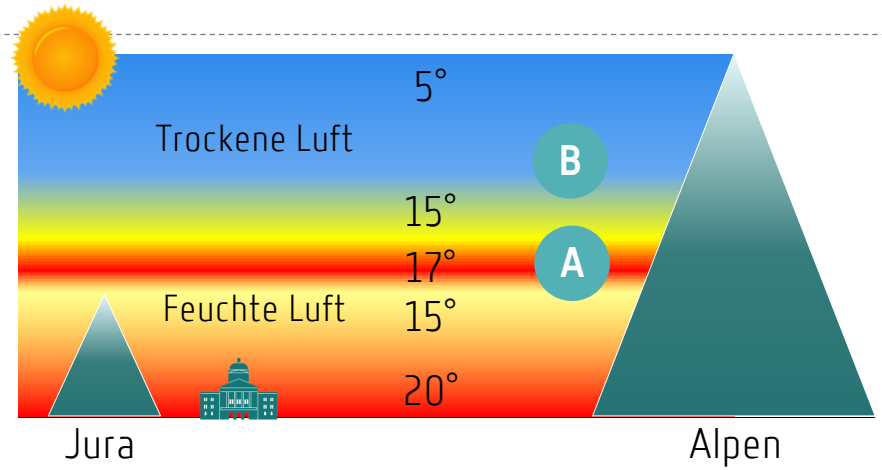


Inversionen

Im Normalfall sinkt die Lufttemperatur mit steigender Höhe. In einer INVERSION (A) dagegen steigt die Temperatur mit der Höhe und in einer ISOTHERMIE bleibt sie gleich. Auf den folgenden Seiten werde ich nur von INVERSIONEN sprechen: ISOTHERMIEN sind mitgedacht.

Eine Inversion entsteht in einem Hochdruckgebiet, wenn Luft flächendeckend sinkt. Die langsame sinkende Luft erwärmt sich 1° pro 100 m (trockenadiabatisch). Diese Erwärmung produziert die Inversion. Man spricht in diesem Fall von ABSINKINVERSION. Da die von oben sinkende Luft häufig sehr trocken ist, nimmt die relative Feuchtigkeit in und über der Inversion massiv ab (B).

Die Inversion hat verschiedene Auswirkungen auf den Wetterverlauf. Deswegen setzen wir uns mit dem Thema auseinander.



Wasserdampf und Staub machen die Inversion sichtbar

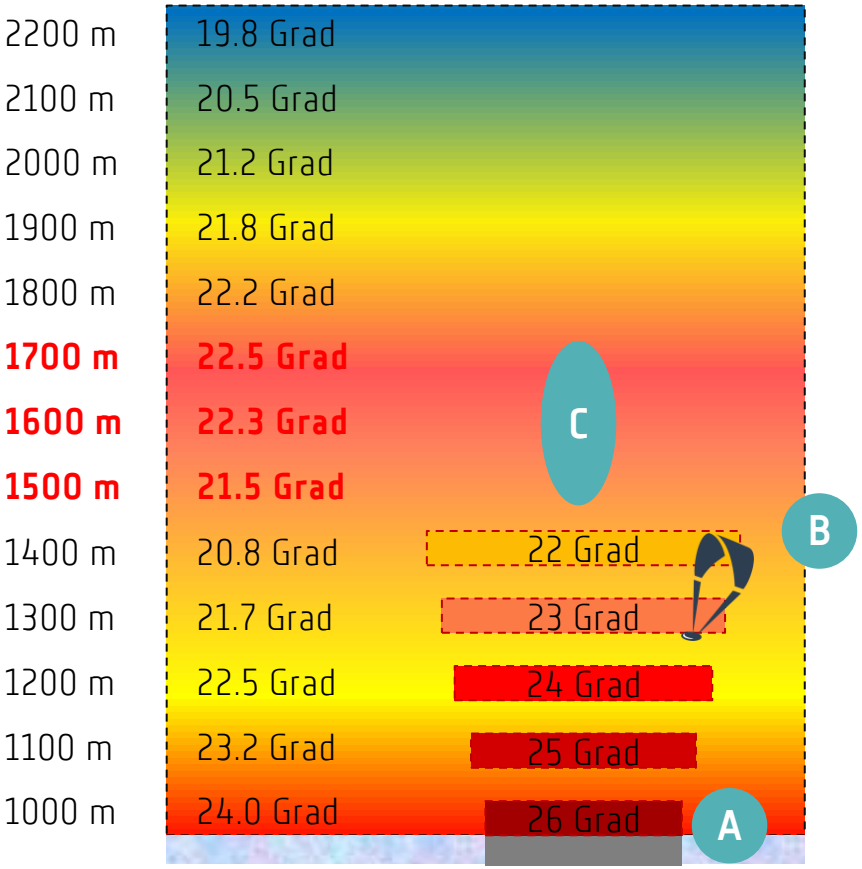
Die Inversion bremst die Thermik

In diesem ersten Beispiel hat die Thermik eine Starttemperatur von 26 Grad (A). Sie steigt, solang sie wärmer als die Temperatur der Atmosphäre ist, in unserem Beispiel bis knapp über 1'400 m (B).

Ab 1'400 m nimmt die Temperatur der Atmosphäre mit der Höhe zu (=Inversion, C). Könnte unsere Thermik weiter steigen, hätte sie auf 1'500 m eine Temperatur von 21 Grad, das heisst sie wäre 0.5 Grad kälter als die Temperatur der Atmosphäre. Weil die Thermik kälter und dadurch schwerer als die Atmosphäre wäre, kann sie nicht weiter steigen. Also:

DIE INVERSION VERHINDERT, DASS DIE THERMIK WEITER STEIGEN KANN.

Die Tautemperatur (die Temperatur, bei der Feuchtigkeit kondensiert) wird in diesem Beispiel nicht erreicht. Die Thermik produziert keine Quellwolken. Das nennt man «BLAUE THERMIK».



Die Inversion verhindert in diesem Beispiel, dass die Thermik höher steigen kann.

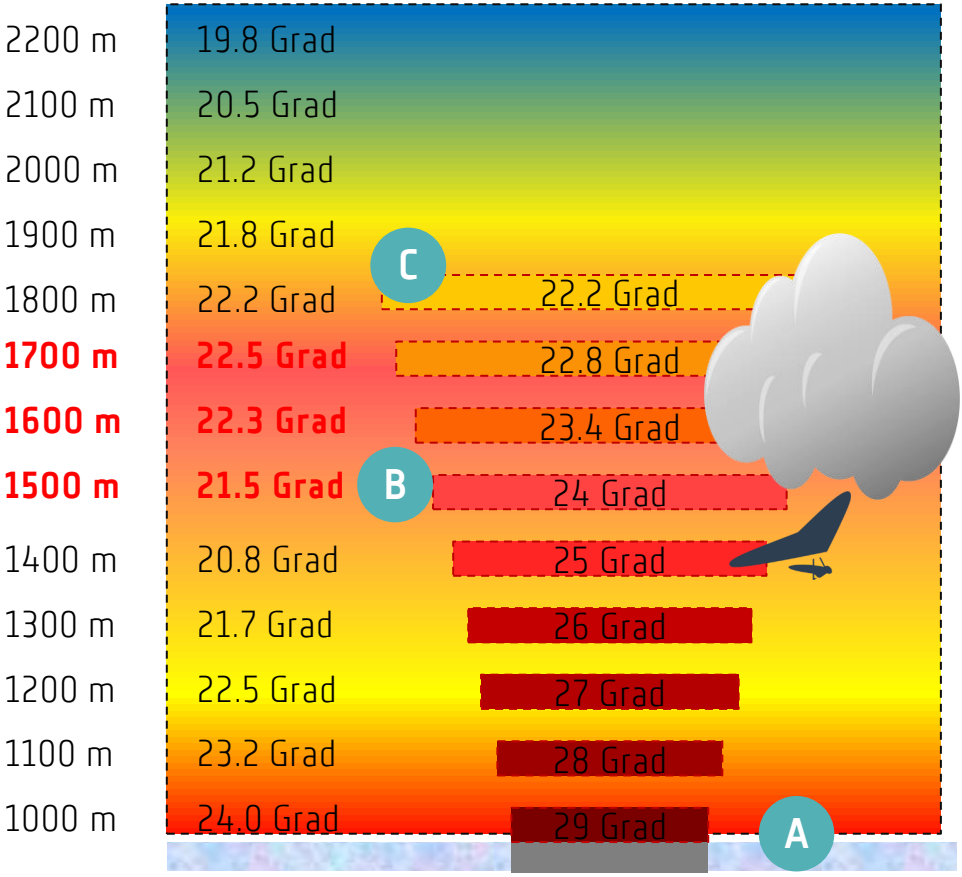
Loch in der Inversion

Wenn die Thermikblase eine Starttemperatur von 29 Grad hat (A), dann hat sie in unserem zweiten Beispiel genügend Auftrieb, um durch die Inversion weiter zu steigen: Auf 1'500 m hat die Thermik eine Temperatur von 24 Grad und das ist deutlich höher als die 21.5 Grad der Atmosphäre (B).

Nehmen wir an - anders als Beispiel 1 - dass die Tautemperatur der Thermik auf 1'500 m 24 Grad beträgt. Sobald die Thermik diese Temperatur erreicht, bildet sich eine Quellwolke.

Die Quellwolke wächst und verliert dabei im Durchschnitt 0.6 Grad pro 100 m, bis sie ungefähr die gleiche Temperatur wie die Atmosphäre hat, in unserem Fall bis auf 1'800 m-1'900 m (C). Das ist eine kleine Quellwolke.

Unser Pilot darf (im Luftraum G) bis auf 1'500 m steigen. Weiter darf er nicht steigen, sonst würde er in die Wolke reinfliegen, was verboten (und ungemütlich) ist.



Die Inversion verhindert in diesem Beispiel, dass die Quellwolke grösser wird.

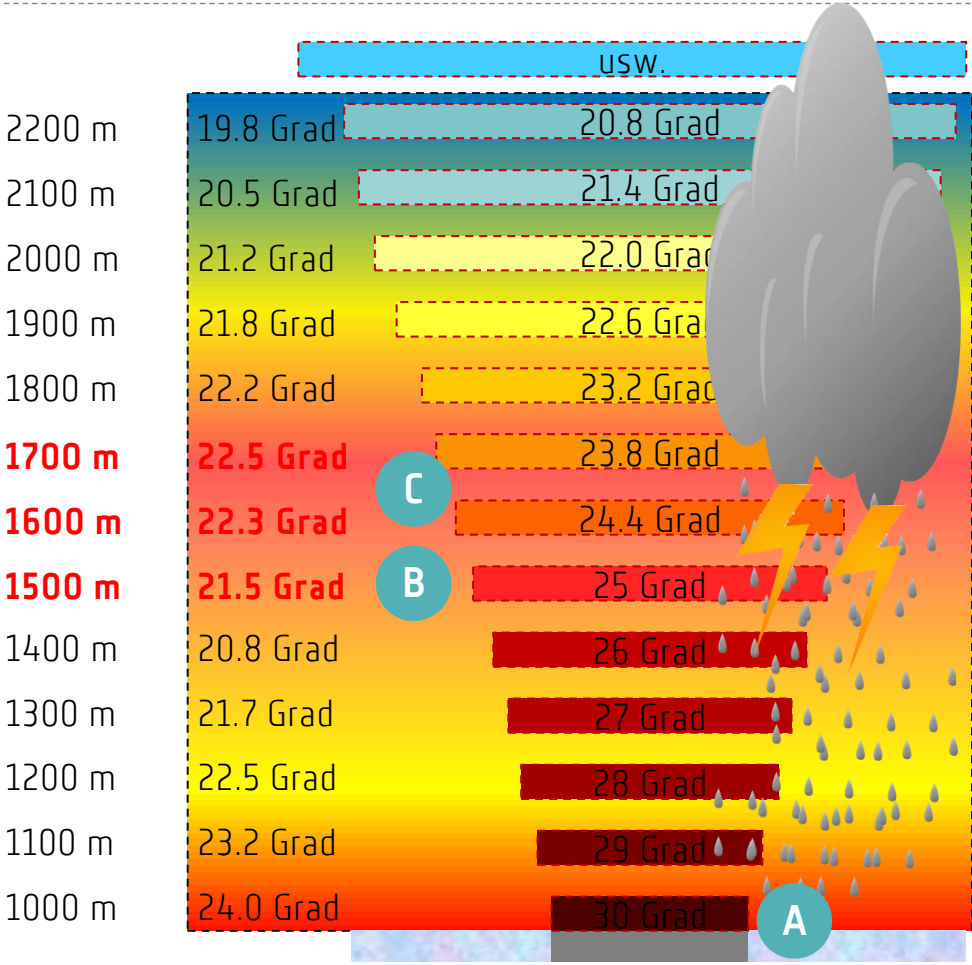
Cumulonimbus trotz Inversion

Es reicht jedoch nur 1 Grad mehr (A) und schon verwandelt sich die Quellwolke des zweiten Beispiels in eine Gewitterwolke.

Mit 30 Grad als Starttemperatur schafft es die Thermik locker, durch die Inversion zu steigen: Auf 1'500 m hat sie eine Temperatur von 25 Grad (B), also 3.5 Grad mehr als die Temperatur der Atmosphäre.

Erreicht die Thermik in unserem Beispiel mit 24 Grad auf etwa 1'600 - 1'700 m die Tautemperatur (C), bildet sich zuerst ein kleine Quellwolke, die aber weiter wächst und dabei im Durchschnitt 0.6 Grad pro 100 m abkühlt. Wenn die Temperatur in der Quellwolke ständig höher ist als die Temperatur der Atmosphäre, dann kann sie ungehindert weiter wachsen bis sie überentwickelt und ein Cumulonimbus wird.

Das heisst: Trotz Inversion kann sich eine Gewitterwolke entwickeln. Allerdings gilt: je stärker die Inversion ist, desto grösser muss der Temperaturvorsprung der Thermik dazu sein.



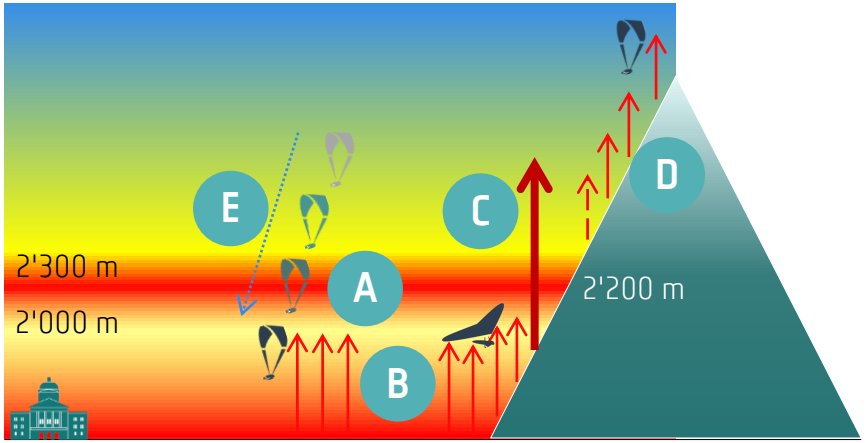
Ist die Thermik genügend stark und/oder die Inversion zu schwach, dann kann die Aufwindzone ein «Loch» durch die Inversion machen und weiter steigen.

Inversionen - Ein Schutzschild gegen Thermiken

Die Inversionen sind wie ein Schutzschild. Sie erschweren es der Thermik höher zu steigen. Wenn die Thermik besonders stark ist, dann schafft sie es vielleicht, ein «Loch» durch die Inversion zu machen (C). Wenn die Thermik zu schwach (B) oder wenn die Inversion zu stark ist (A), dann ist die untere Grenze der Inversion die höchste Höhe, die die Piloten mit Thermik erreichen können (siehe den Deltaflieger).

Dazu ein Beispiel: Du startest auf 2'200 m über Meer. Die Inversion befindet sich zwischen 2'000 m und 2'300 m über Meer. Erwartest du gute Thermiken auf dieser Höhe?

- Nein. Thermiken findest du vermutlich unter 2'000 m (B). Wenn du Glück hast, schaffst du wegen einer ungewöhnlich starken Thermik (C) über der Inversion zu fliegen. Dann musst du aber oben bleiben und die Thermik ausnutzen, die sich am Hang über der Inversion bildet (D). Sobald du unter dir die Inversion hast (A), wirst du wieder hinunter gleiten (E). Tipp: *Wenn du eine solche Wetterlage und die Gelegenheit hast, lohnt es sich über der Inversion zu starten.*



Inversionen als Schutzschild gegen Gewitter

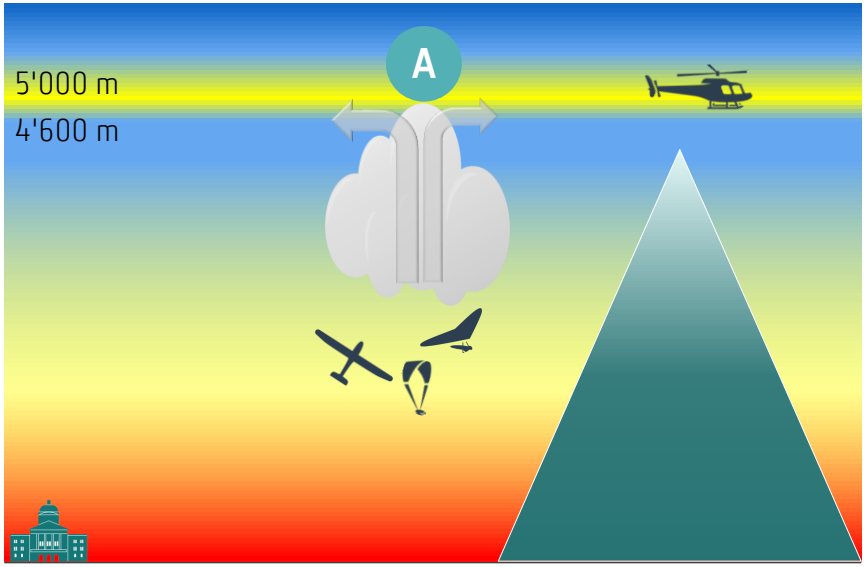
Inversionen haben aber auch positive Seiten. Dadurch dass eine Inversion das Wachstum der Quellwolken erschwert oder ganz verhindert (A), bildet sich im optimalen Fall keine Gewitterwolke.

Dazu eine Frage:

Auf 4'600 m bis 5'000 m über Meer gibt es eine STARKE Inversion, das heisst während 400 Metern steigt die Temperatur der Atmosphäre mit der Höhe. Erwartest du die Bildung von Cumulonimbus (=Gewitterwolken)?

- Eher nicht. Starke Inversionen verhindern das weitere Wachstum der Quellwolken.

  Vor allem hohe Inversionen haben wir deswegen gerne. Inversionen in tiefen Lagen schwächen dagegen «unsere» Thermiken ab. Hohe Inversionen haben wir vor allem bei einem Luftdruck zwischen 1017 und 1024 hPa, nämlich 1-2 Tage nachdem eine Kaltfront die Schweiz überquert und so frische Luft ins Land gebracht hat und sich zudem ein neues Zwischenhoch gebildet hat, das für die Bildung der Höheninversion verantwortlich ist. Das sind die idealen Bedingungen, um auf Strecke zu gehen.



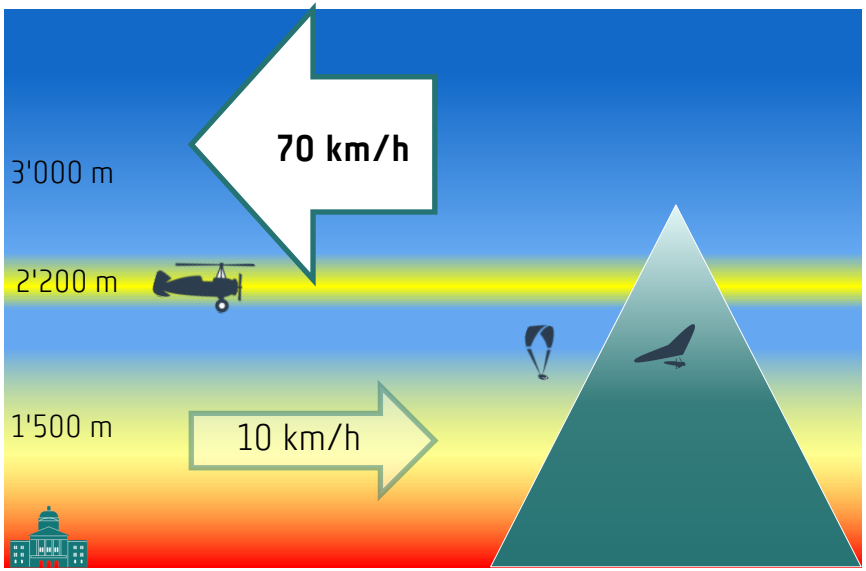
Inversionen als Schutzschild gegen den Wind

Eine andere positive Seite einer Inversion ist, dass sie uns manchmal gegen den starken Höhenwind schützt. Wenn der Wind in grosser Höhe stark weht, verhindert die Inversion, dass der starke Wind in die Niederungen drängt. Wenn unter der Inversion die Druckverteilung gering ist, dann ist der Wind in tiefen Lagen wahrscheinlich schwach (*wenn dagegen unter der Inversion die Druckunterschiede gross sind, erwarten wir auch unter der Inversion starken Wind!*).

Dazu eine Frage:

Auf 3'000 m über Meer sorgen grosse Luftdruckunterschiede für starken Wind. Auf 1'500 m über Meer sind die Luftdruckunterschiede gering. Auf 2'200 m befindet sich eine ausgeprägte Inversion. Wie stark ist der Wind auf 1'500 m?

- Wahrscheinlich (eher) schwach, weil die Inversion auf 2'200 m die Fluggebiete in tieferen Lagen vom starken Höhenwind schützt. Ohne Inversion wäre das Risiko grösser, dass der Wind in tiefe Lagen drängt.



Inversionen können tief gelegene Fluggebiete vor starkem Höhenwind schützen.
Im umgekehrten Fall ist es aber auch möglich, dass der Wind unter der Inversion stark und über der Inversion schwach ist. Dieses Phänomen, beobachtet man bei Bise recht häufig.

Inversionen - auf den Punkt gebracht

Inversionen sind wichtig. Für eine sinnvolle Prognose muss man wissen, ob es eine Inversion gibt und auf welcher Höhe sie sich befindet. So weisst du:

- auf welcher Höhe du Aufwinde erwarten kannst (Inversionen schwächen Thermiken ab oder verhindern sie)
- wie gross die Wahrscheinlichkeit der Bildung von Gewitterwolken ist (je stärker und grösser die vertikale Ausdehnung der Inversion, desto geringer das Risiko der Entwicklung von CB)
- ob starke Höhenwinde in die tiefen Niederungen drängen können

Und wie findet man heraus, ob es Inversionen gibt und auf welcher Höhe? Mit dem Sounding... unser nächstes Thema.

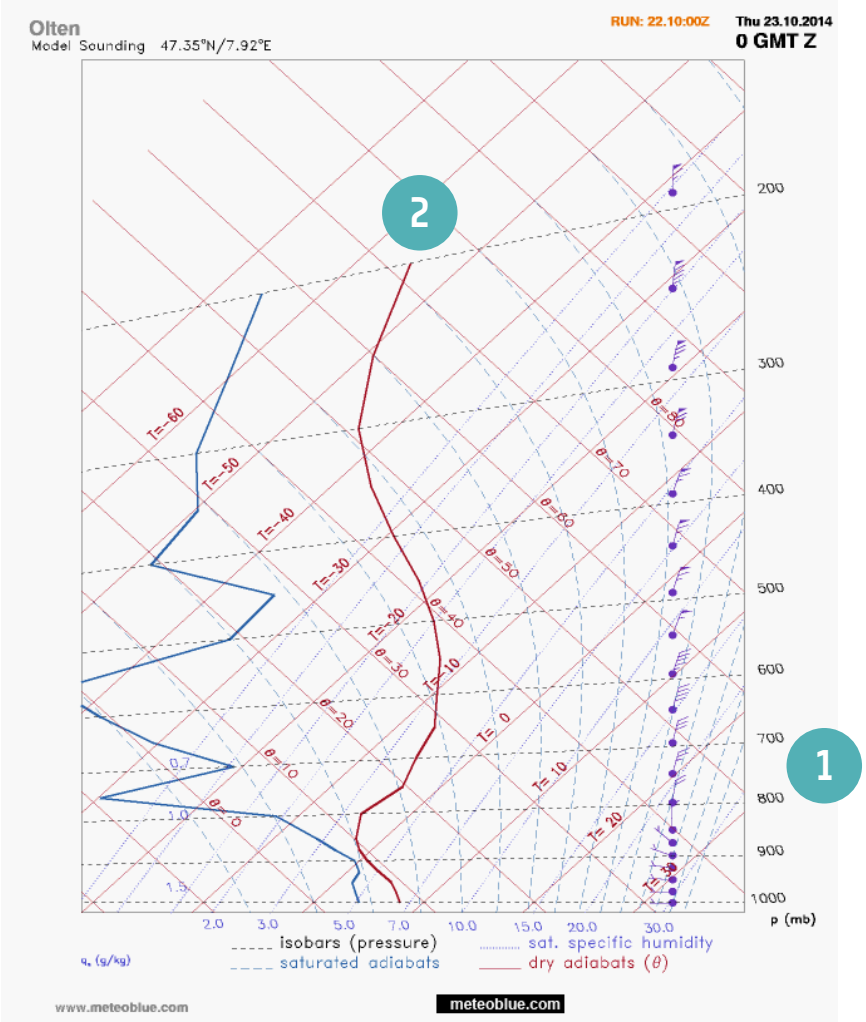
Höhe und Temperatur

Meteoblue produziert Soundings für die ganze Welt.

Soundings sind ein nützliches Instrument, um die Qualität der Thermik in einer bestimmten Region und Höhe zu beurteilen, u.a. auch weil die Inversionen auf einen Blick erkennbar sind.

Diese Aspekte können u.a. aus dem Sounding herausgelesen werden:

- HÖHE (1)
  Die Höhe wird in hPa angegeben
- TEMPERATUR DER ATMOSPHÄRE (2)
  Die rote Linie gibt an, welche Temperatur die Atmosphäre auf jeder Höhe hat. Die absoluten Werte, d.h. ob z.B. auf 1'000 m über Meer die Temperatur der Atmosphäre 10 oder 20 Grad beträgt, ist jedoch irrelevant. Relevant ist hingegen der Temperaturverlauf mit steigender Höhe.

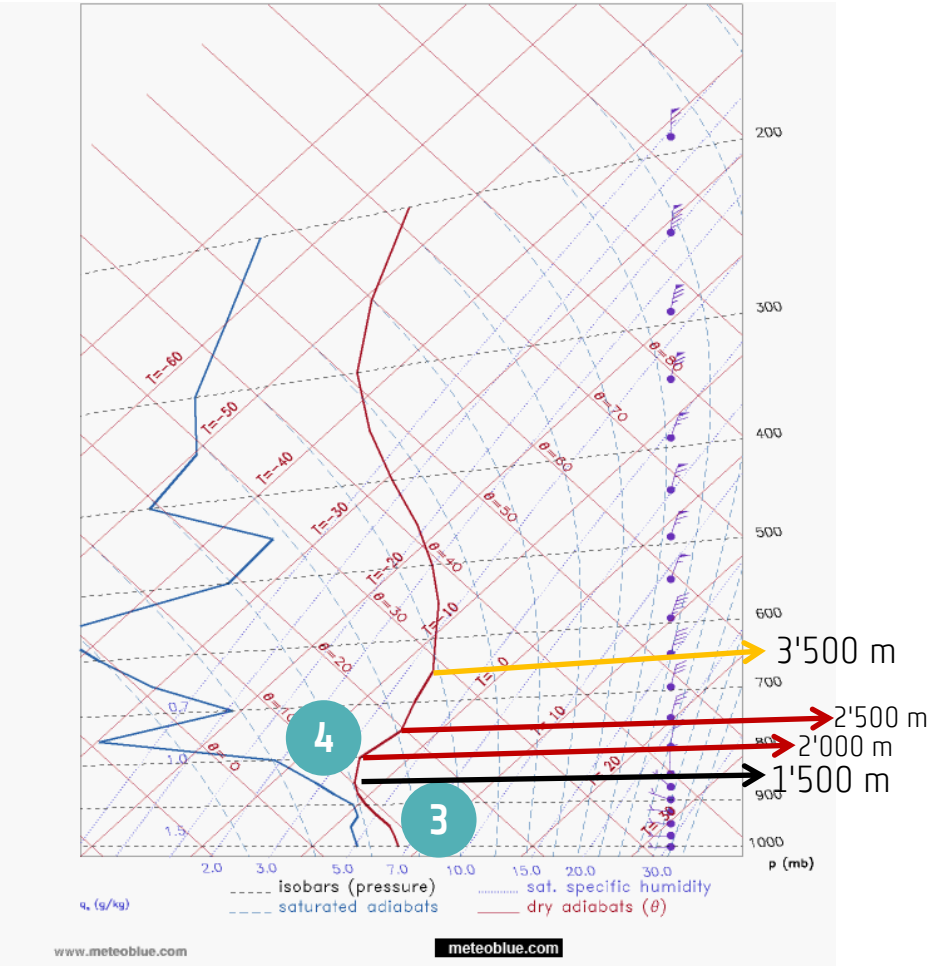


Thermik und Inversion

Daraus folgt:

- THERMIKEN (3)
  Wenn die rote Linie geradeaus nach oben oder nach links verläuft (=*Temperatur der Atmosphäre nimmt ab*), werden Thermiken begünstigt. Im beigelegten Beispiel kannst du bei ausreichender Sonneneinstrahlung und günstigen Windbedingungen Thermiken bis 1'500 m über Meer erwarten.

- INVERSION (4)
  Wenn die rote Linie nach rechts driftet (45° oder mehr), erkennst du dadurch die Inversion (bzw. Isothermie). In der abgebildeten Grafik reicht die Inversion zwischen 2'000 und 2'500 m über Meer. In diesem Bereich kannst du kaum Thermiken erwarten. Auch der Temperaturverlauf zwischen 1'500 und 2'000 m sowie zwischen 2'500 und 3'500 m über Meer ist für die Bildung von Thermiken ungünstig. Wenn du an diesem Tag in den Alpen fliegen willst, erwarte eher Gleitflüge.

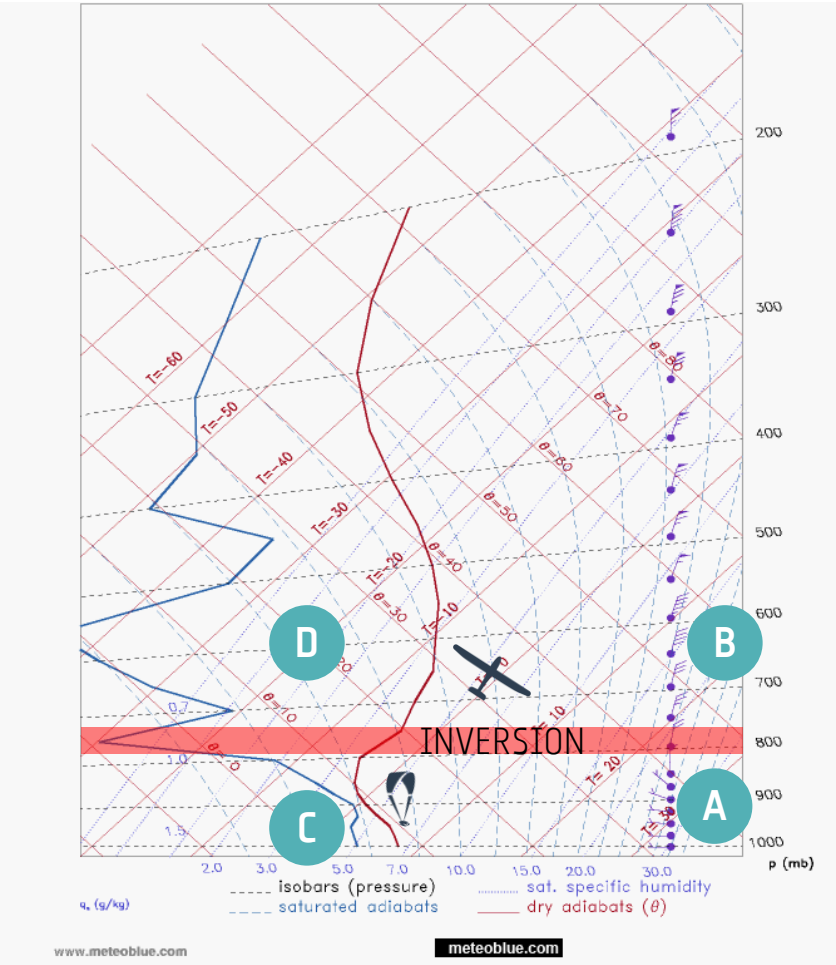


Wind und Feuchtigkeit

- WIND
  Besonders interessant ist auch die Windprognose für den im Beispiel angezeigten Tag. Unter der Inversion erwarten wir Wind aus W-NW mit 5 Knoten, also schwachen Wind (A). Über der Inversion, z.B. auf 3'500 m über Meer erwarten wir Wind aus N-NO mit 40 Knoten (B). In diesem Fall scheint die Inversion die tiefen Lagen vom starken Höhenwind zu schützen.

- FEUCHTIGKEIT
  Die blaue Linie zeigt für jede Höhe wie feucht die Luft ist. Liegen die blaue und rote Linie sehr nahe (C), dann hat die Luft eine sehr hohe relative Feuchtigkeit (z.B. 90%), sind sie weit entfernt, dann hat die Luft eine geringe relative Feuchtigkeit, z.B. 10% (D). Trockene Luft in den Bergen ist ein Hinweis, dass sich das Gebiet im Einflussbereich eines Hochs mit sinkender Luft befindet.

  Wenn sich die zwei Linien (fast) überlappen, ist dies ein Hinweis, dass es Wolken oder Hochnebel in dieser Höhe hat.



Und mehr...

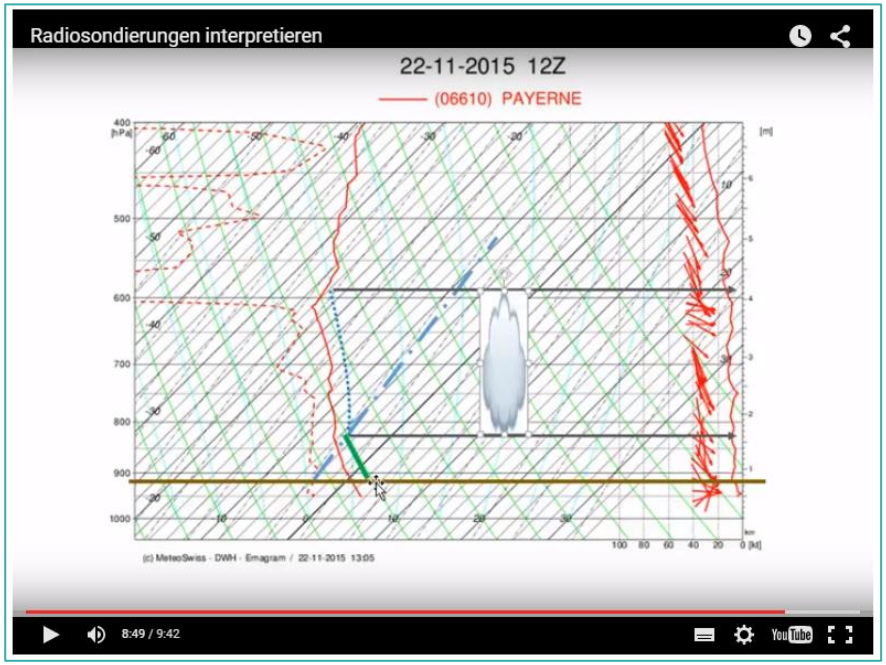
Ist das alles?

Nein. In diesen Linien, die sich kreuzen und überlappen, stecken viele spannende Informationen: Die überschreiten jedoch den Rahmen dieser Ausbildung und können nicht weiter vertieft werden. Wenn du mehr wissen möchtest, könnten dich diese Videoanleitungen interessieren:

- www.5steps.ch/abc/012.htm
- www.5steps.ch/wetter-radiosondierung.asp

Trotzdem: Mit den Erkenntnissen, die du mit den vorherigen Seiten erworben hast, kannst du wichtige Fragen beantworten: «Wird es Thermiken haben? Falls ja auf welcher Höhe? Wo hören sie auf? Wie gross ist das Risiko von Gewitterwolken? Werde ich von den Höhenwinden geschützt?» usw.

Sounding ist eine Prognose und wie jede Prognose könnte sie unzutreffend sein. Aus diesem Grund ist es durchaus empfehlenswert - wenn möglich - diese Prognose mit einer weiteren Prognose zu vergleichen, um herauszufinden, ob sie die gleiche Botschaft vermittelt. Dazu stehen in der Schweiz die Vorhersagesonden von Cosmo 7 zur Verfügung.



Videoanleitung: Radiosondierungen interpretieren

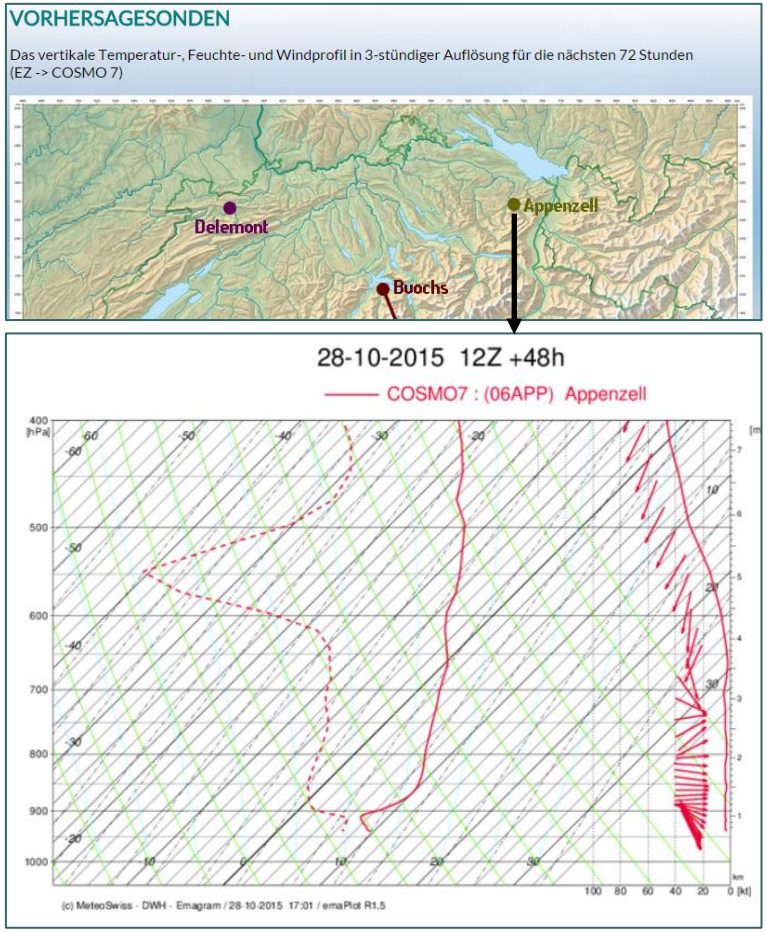
Vorhersagesonden (Cosmo 7)

Für verschiedene Gebiete bietet Cosmo 7 Vorhersagesonden, die gleich wie die Radiosondierung von Payerne aussehen.

Wenn du die Abbildung von Cosmo 7 auf der rechten Seite überprüft, stellst du auf einen Blick fest, dass am 30.10.2015 ab 1000 m bis etwa 1500 m über Meer in Appenzell eine ausgeprägte Inversion erwartet werden kann. In diesem Bereich darf mit keiner Thermik gerechnet werden.

Ab 1'500 m aufwärts sinkt die Temperatur der Atmosphäre mit der Höhe nur langsam ab, was für die Thermikentwicklung eher ungünstig ist.

Das sind optimale Schulungsbedingungen oder Bedingungen für Piloten, die gerne nach unten gleiten. Für Thermikpiloten ist es sinnvoller, an diesem Tag wandern zu gehen, da die trockene Luft sehr wahrscheinlich für eine spektakuläre Fernsicht sorgt.

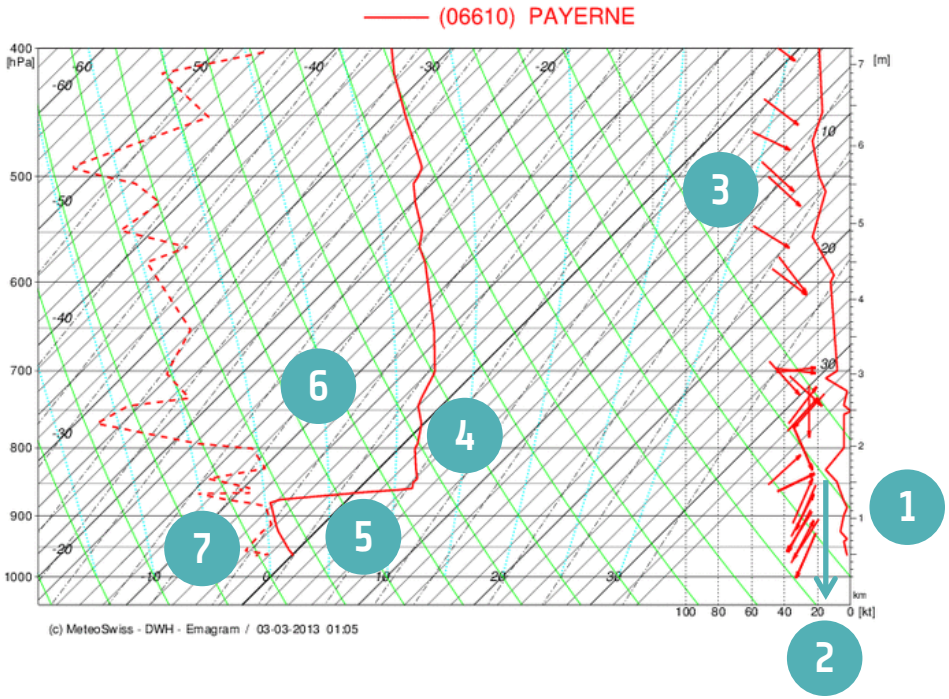


In Appenzell erwarten wir am 30. Oktober 2015 um 13 Uhr (28.10.2015 12 Z + 48 Stunden) gute Fernsicht, aber kaum Thermiken.

Radiosondierung von Payerne

2 Mal pro Tag wird eine Radiosonde in Payerne frei gelassen und wenn sie steigt, erfasst sie für jede Höhe die AKTUELLE Temperatur, Feuchtigkeit, Luftdruck, Windstärke und Windrichtung. Was daraus entsteht, ist eine Photographie der Atmosphäre, die wertvolle Daten u.a. über die Thermikentwicklung liefert. Wir können das Thema an dieser Stelle nicht vertiefen. Hier werden nur die wichtigsten Aspekte stichwortartig beschrieben:

- Die Höhe wird in km angegeben (1)
- Die Windstärke wird in Knoten angegeben (2)
- Die Windrichtung wird mit Pfeilen dargestellt (3)
- Wo die rote Linie nach oben oder links verläuft, wird die Thermikbildung auf dieser Höhe begünstigt (4)
- Wenn die rote Linie nach rechts abdriftet, werden Thermiken erschwert oder wie in diesem Fall verunmöglicht (5)
- Wenn die Luft sehr trocken ist, bilden sich keine Quellwolken (6)
- Wenn die Luft sehr feucht ist, ist die Basis der Quellwolken tief oder der Startplatz ist im Nebel (7)

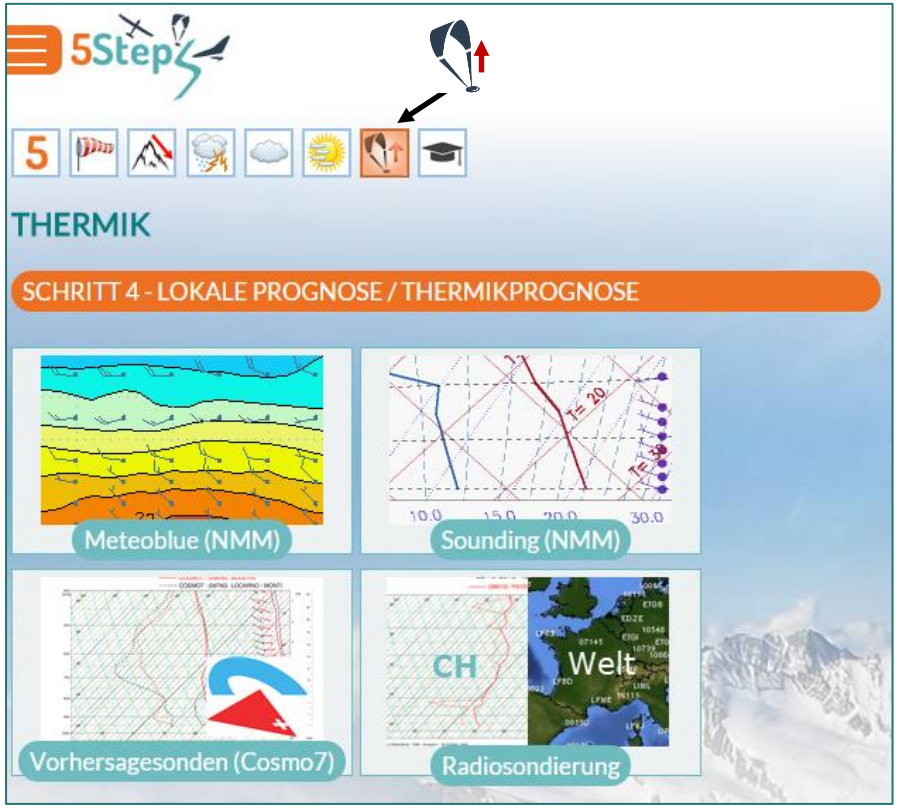


Abgebildet wird mit der Radiosondierung von Payerne 2 Mal pro Tag der reale Zustand der Atmosphäre. Dabei handelt es sich um echte Daten und deswegen für kurzfristige Prognosen (vor allem im Mittelland und Jura-Gebiet) besonders wertvoll.

SCHRITT 4

Mit dem 4. Schritt hast du dich vorwiegend mit der Thermikprognose auseinandergesetzt. Jetzt weisst du, ob du in deiner Flugregion mit einem langen Flug oder eher mit einem Gleitflug rechnen musst.

FÜR DIE THERMIKPROGNOSE BRAUCHST DU MEISTENS ETWA 2 MINUTEN.



Nützliche Instrumente für die Thermik-Prognose findest du, wenn du auf das Gleitschirm-Symbol klickst oder tippst.

METAR / TAF

Die letzten Folien vom SCHRITT 4 richten sich an fortgeschrittene Leser/-innen. Behandelt wird in Kürze das Thema METAR/TAF. *Falls dich das Thema nicht interessiert, kannst du es überspringen.*

- METAR (METeorological Aerodrome Report) sind Berichte über das aktuelle Wetter, die von Flughäfen herausgegeben werden.
- TAF (Terminal Aerodrome Forecast) sind Wettervorhersagen, die von Flughäfen herausgegeben werden.

TAF von Zürich und Grenchen kann für Flüge in Jura und in Mitteland lesenswert sein: Dadurch erfährt man im Flugplatzbereich, wie stark der durchschnittliche Wind und die Windböen wehen werden, wie tief die Wolkenbasis sein wird (z.B. für Hochnebel relevant), ob sich Nebel bilden wird und wie wahrscheinlich die Entwicklung von Gewitterwolken in einem bestimmten Zeitfenster in der Gegend ist.

Zuerst lernen wir mit METAR umzugehen. Die Herausforderung dabei: Der Wetterbericht ist kodiert!

METAR: LSZA 290750Z VRB01KT 9000 SCT007 BKN090 11/10 Q1014 NOSIG

METAR von LUGANO

METAR » 171320Z 18006KTG25KT 6000 R14/0600N RA FEW006BNK014 13/10 Q1013 NOSIG

Beispiel	Kategorie	Übersetzung	Ergänzungen
171320Z	Datum und Zeit	17 des aktuellen Monats, 13:20 UTC	
18006KT**G25KT**	Wind	Wind aus 180 Grad, 06 Knoten, Böen: 25 Knoten.	230V010 = Wind aus 230-10° VRB04KT = Richtung Variabel, 4 Knoten
6000	Sicht	Sicht: 6000 M.	9999 = Sicht über 10 Km
R14/0600N	Runway und Sicht	Piste 14, 600 m Sicht gleichbleibend	Irrelevante Information für Hängegleiter
RA	Erscheinungen		RA = Regen, TS Gewitter, DZ Nieseln, SN = Schnee, FG = Nebel, PRFG = teilweise Nebel, SHRA = Regenschauer, - = Leicht, + = stark, VC=In der Nähe
FEW006BNK014	Wolken	1-2/8 mit Basis 600 Fuss über Flugplatz (ZH, Grenchen=1400 Fuss), 5-7/8 mit Basis 1400 Fuss über Flugplatz	1000 Fuss = 300 m. SCT = 3-4/8; OVC = 8/8 ---------- Sicht > 10 Km Wolkenbasis > 8000 Feet AGL (LSZH) Kein Niederschlag/Nebel › **CAVOK**
13/10	Temp./Taupunkt		Basis rechnen
Q1013	Luftdruck QNH		
NOSIG	Trend für 2 Stunden	Keine Änderungen zu erwarten	

METAR - Beispiele

LSZH 171320Z VRB04KT CAVOK 23/12 Q1016 NOSIG=

*Um 13:20 UTC vom 17. dieses Monats erwarten wir am Flugplatz Zürich (**LSZH**) variablen Wind mit einer Stärke von 4 Knoten. CAVOK: Die Sicht beträgt 10 km oder mehr, keine tiefe Wolken und keine Niederschläge. Die Temperatur beträgt 23 Grad, die Tautemperatur 12 Grad, der Luftdruck QNH 1016 hPa. Keine Änderungen werden für die nächsten 2 Stunden erwartet (NOSIG).*

LSZG 201050Z 31006KT 270V350 9999 FEW120 23/12 Q1010 NOSIG=

Um 10:50 UTC vom 20. dieses Monates erwarten wir am Flugplatz Grenchen (LSZG) Wind aus NW (310°) mit einer Stärke von 6 Knoten. Die Windrichtung variiert zwischen 270° und 350 Grad. Die Sicht beträgt 10 km oder mehr (9999). Auf 12'000 Fuss (etwa 3700 m) über dem Flugplatz sind 1 bis 2 Achtel des Himmels mit Wolken bedeckt (FEW). Die Temperatur beträgt 23 Grad, die Tautemperatur 12 Grad. Der Luftdruck beträgt QNH 1010 hPa. Keine Änderungen werden für die nächsten 2 Stunden erwartet.

LSGG 251520Z 21015KTG33KT 4000 VCSH OVC032 30/25 Q0999 TEMPO SHRA

Um 15:20 UTC vom 25. dieses Monats weht der Wind am Flugplatz Genf (LSGG) aus 210 Grad mit einer durchschnittlichen Stärke von 15 Knoten und Windspitzen (G = Guest) von 33 Knoten. Die Sicht beträgt 4 km, in der Nähe gibt es Schauer (VCSH). Der Himmel ist auf 3200 Fuss (etwa 1000 m) über dem Flugplatz ganz bedeckt (OVC). Die Temperatur beträgt 30 Grad, die Tautemperatur 25 Grad. Der Luftdruck QNH beträgt 999 hPa. Zeitweise erwartet man für die nächsten 2 Stunden Regenschauer.

TAF

Anders als METAR geht es bei TAF um eine Prognose für ein bestimmtes Zeitfenster im Flugplatzbereich.

Zu einem TAF gehören folgende Bestandteile:

Beispiel	Kategorie	Übersetzung
161125Z	Ausgabe	Am 16. dieses Monats Um 11:25 UTC
1612/1718	Prognosezeit	Vom 16. dieses Monats (12 UTC) bis 17 dieses Monates (18:00 UTC)
21004KT CAVOK	Wie METAR	Wind, Sicht, Erscheinungen, Wolken
TX23/1714Z TN09/1804Z TX23/1813Z	Temperatur	Max. 23° am 17. um 14 Uhr UTC Min. 9° am 18. um 4 Uhr UTC Max. 23° am 18. um 13 Uhr UTC
BECMG 1723/1801	Permanente Änderung	Zwischen 23 Uhr und 1 Uhr Übergang zu neuen Verhältnissen
TEMPO 1803/1807	Temporäre Änderung	Zwischen 3 Uhr und 7 Uhr Zeitweilige Schwankung
PROB 40	Wahrscheinlichkeit	Mit einer Wahrscheinlichkeit von 40 %

TAF - Beispiel

LSZH 171125Z 17**12**/18**18** 21004KT CAVOK TX23/17**14Z** TN09/18**04Z** TX23/1813Z BECMG 17**23**/18**01** 5000 MIFG TEMPO 18**03**/18**07** 1500 BCFG BECMG 18**07**/18**09** CAVOK=

*Die Prognose wurde vom Flugplatz Zürich (LSZH) um 11:25 UTC vom 17. dieses Monats herausgegeben. Die Prognose ist gültig für die Periode zwischen **12:00 UTC** vom 17. dieses Monats bis zu **18:00 UTC** vom 18. dieses Monats.*

Der Wind beträgt 4 Knoten und kommt aus 210 Grad. Sicht ist über 10 km, keine tiefe Wolken, keine Niederschläge.

*Die maximale Temperatur beträgt 23 Grad am 17. dieses Monats **um 14:00 UTC**, die tiefste Temperatur von 9 Grad erwarten wir um **4:00 UTC** am 18. dieses Monats (während dem Prognosezeitfenster). (X23/1813Z überspringe ich…)*

*Zwischen **23:00** und **1:00 UTC** ändert sich das Wetter. Die Sicht reduziert sich auf 5000 m, dünner Nebel (MIFG) entsteht.*

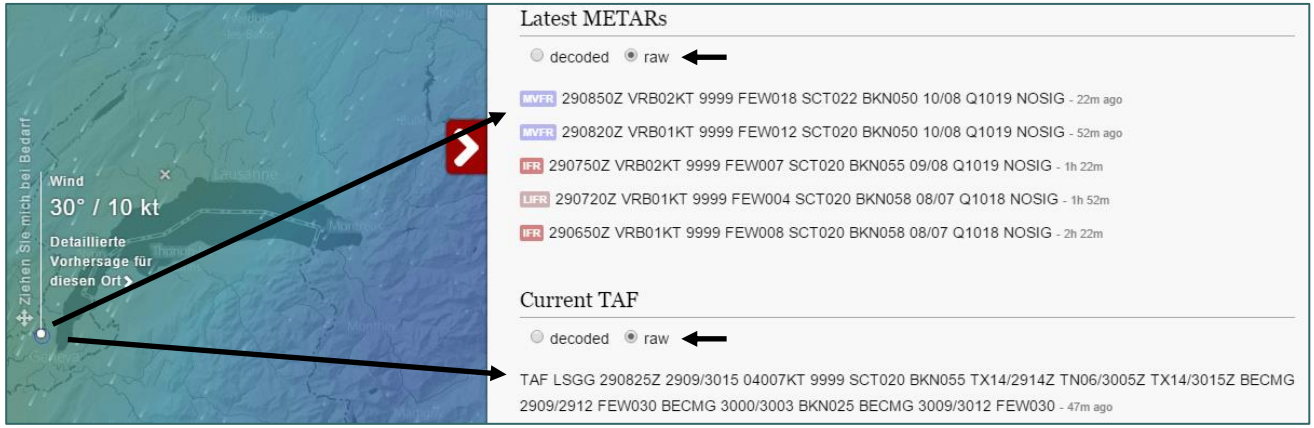
*Zeitweise zwischen **3:00 Uhr** und **7:00 Uhr** UTC (vom 18. dieses Monats) reduziert sich die Sicht auf 1500 m wegen Nebelbänken (BCFG).*

*Ab **7:00** bis spätestens **9:00 UTC** ändert sich das Wetter. Die Sicht beträgt wieder 10 km oder mehr und keine tiefen Wolken werden mehr erwartet. Der Wind weht weiterhin mit 4 Knoten aus 210 °.*

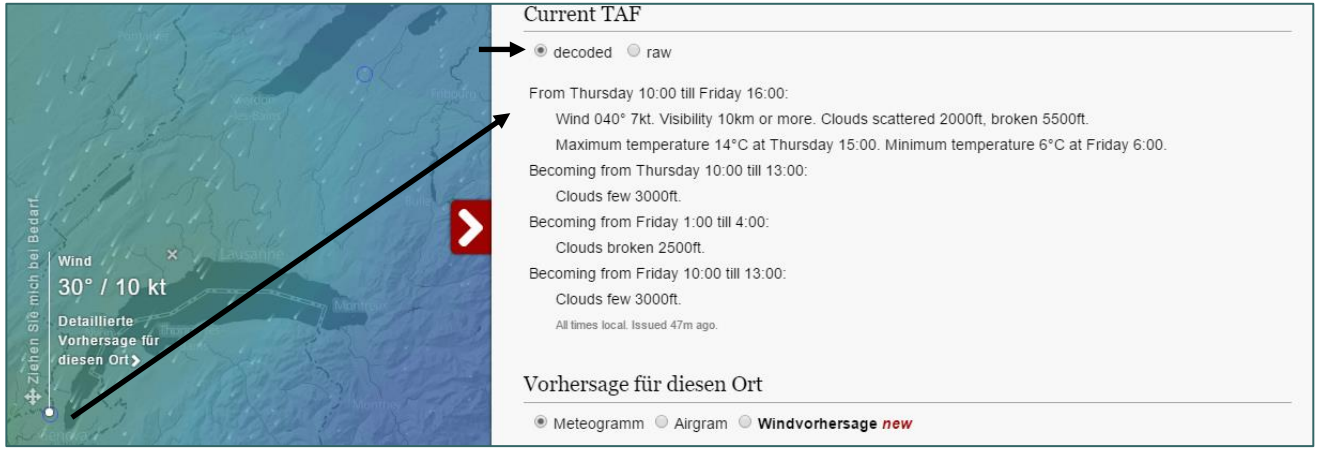
Das heisst: Man kann fliegen gehen!

METAR, TAF und Windy

U.a. mit Windy hat man Zugang zu allen verfügbaren METAR und TAF weltweit! Sowohl kodiert (raw)…



… wie auch entschlüsselt (decoded)



Schritt 5

Aktuelle Wetterlage

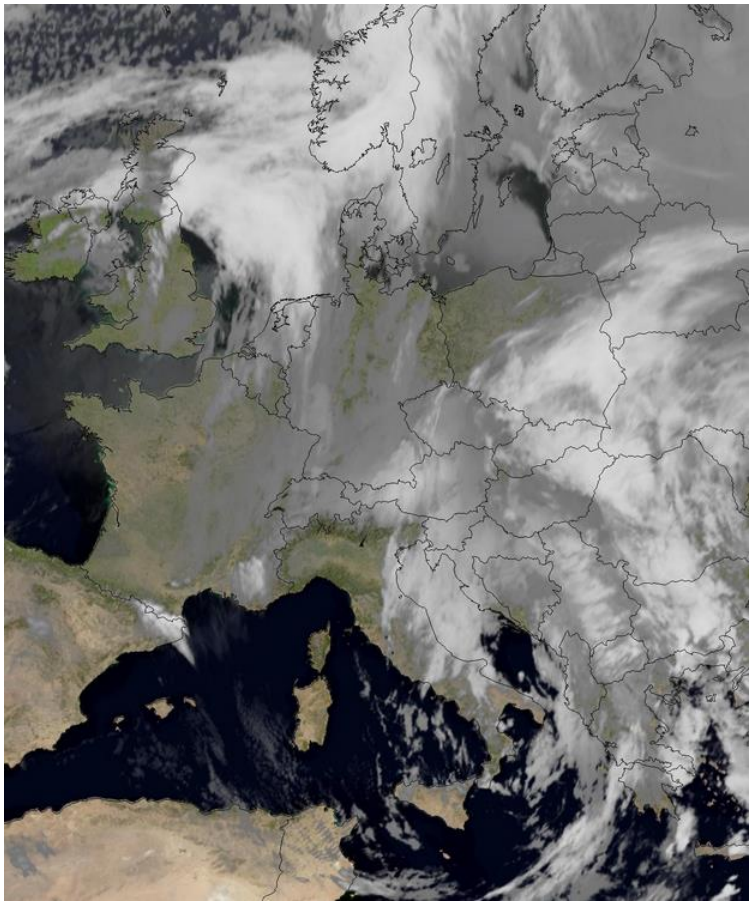
Satellitenbild

Der 5. und letzte Schritt findet am Flugtag statt. Dann geht es um die Überprüfung, ob die Prognose der relevanten Wetterphänomene zutreffend ist.

Am geplanten Flugtag kann man mit einem Satellitenbild herausfinden, ob demnächst Wolkenschichten das Fluggebiet besuchen werden.

Falls alle Prognosen darauf hindeuten, dass der Himmel wolkenlos sein wird, erübrigt sich die Notwendigkeit, das Satellitenbild zu studieren.

Grundsätzlich lohnt es sich ab und zu, ein Satellitenbild anzuschauen. So wird man mit der Komplexität der Wolken- und Nebelverteilung vertraut und man erfährt Details über das Wetter, die nicht in einer Isobaren-Karte ersichtlich sind.



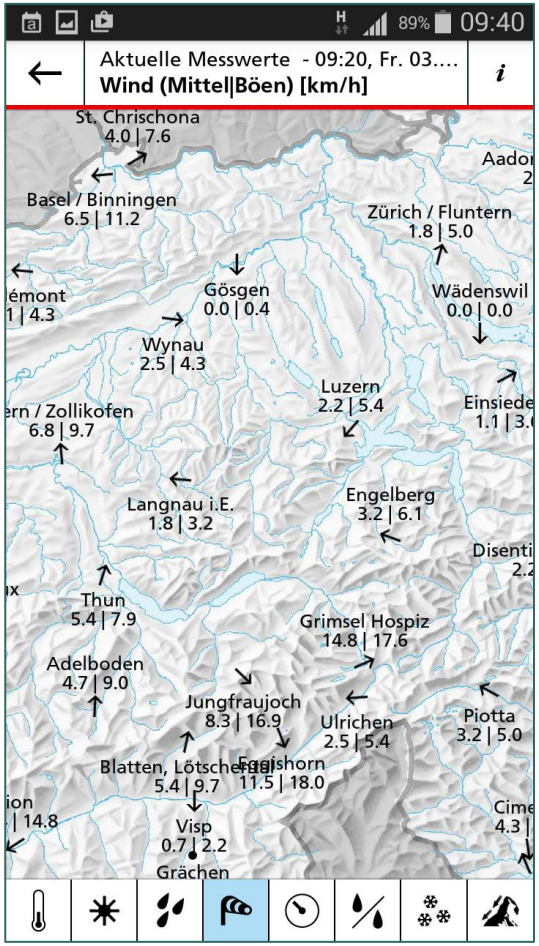
Satellitenbilder sind ein nützliches Instrument, um die Qualität von kurzfristigen Prognosen zu verbessern

Wind - MeteoSchweiz

Falls die Windprognose am geplanten Flugtag unsicher ist, helfen die Wetterstationen von MeteoSchweiz weiter. Entweder mit der nicht ganz gelungenen Webseite-Lösung oder mit der benutzerfreundlichen APP-Variante.

Dabei ist es nützlich zu wissen, dass verschiedene Wetterstationen unterschiedliche Bedeutungen haben.

- ÜBERREGIONALER WIND
  Die höher gelegenen Wetterstationen von «La Dôle», «Le Moléson», «Chasseral», «Napf», «Hörnli» und «Säntis» zeigen die Stärke und die Richtung des überregionalen Windes, nämlich des Windes, der aufgrund von Druckunterschieden über Europa entsteht.
- MITTELLAND
  Die Wetterstationen von «Genf», «Payerne», «Bern», «Wynau» und «Zürich» zeigen Windrichtung und -stärke des überregionalen Windes, der zwischen dem Jura und den Alpen kanalisiert wird.

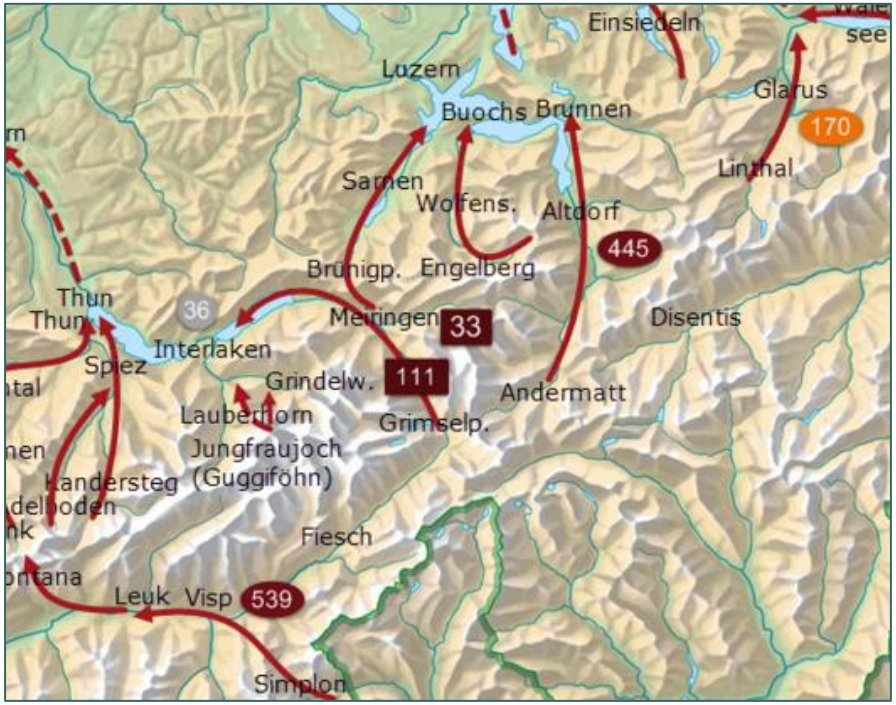


Mit der App von MeteoSchweiz sieht man auf einen Blick, woher und wie stark der Wind weht.

Wind - MeteoSchweiz

- ALPENTÄLER
  Die Wetterstationen von «Adelboden», «Visp», «Interlaken», «Engelberg», «Altdorf», «Glarus», «Chur», «Davos», «Piotta» und «Comprovasco» zeigen, ob in den Alpentälern der Talwind, Bergwind, Föhn oder kein Wind weht.

  Um die Windrichtung korrekt zu interpretieren, muss man die Talrichtung kennen und wissen in welche Richtung der Tal- oder Bergwind bzw. Föhn weht. Diese Informationen findest du in der «ALPINES PUMPEN»-Karte sowie auf der Föhn-Karte.



Die Föhn-Karte hilft, die Wind-Angaben von MeteoSchweiz korrekt zu interpretieren.

Windpfeile - *Flugbasis*

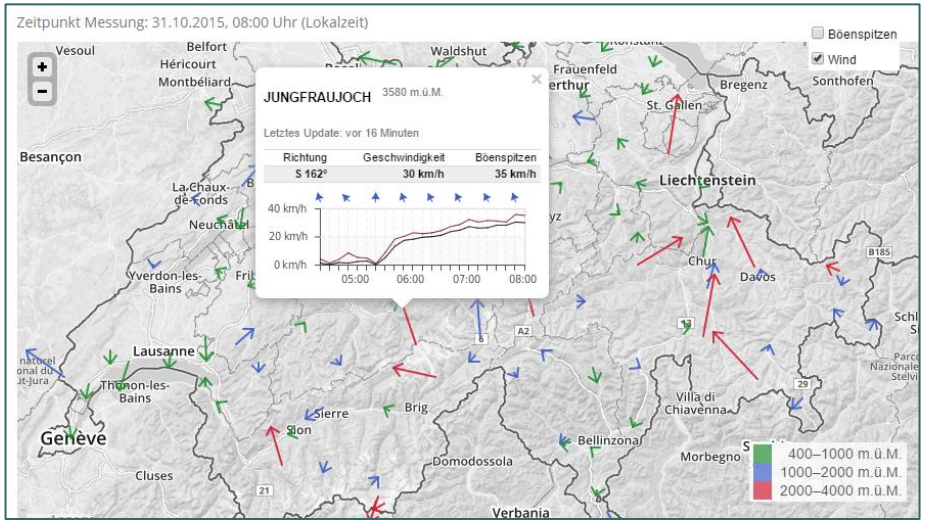
Eine gute Alternative für die Darstellung der Windwerte ist die graphische Lösung von *Flugbasis*.

Abgebildet werden die Windwerte, die etwa 20 Minuten alt sind, also meistens immer noch genügend aktuell.

Die Windstärke ist auf einen Blick durch die Länge des jeweiligen Pfeiles erkennbar, ebenso die Windrichtung.

Besonders intelligent ist die farbige Trennung der Wetterstationen aufgrund ihrer Höhe. Wetterstationen unter 1000 m über Meer sind mit grünen Pfeilen markiert (Mittelland und mehrere Alpentäler), blau markiert sind diese zwischen 1000 und 2000 m und rot diese über 2000 m. ü. M. Diese farbige Unterscheidung hilft den Piloten die Windwerte korrekt zu interpretieren, was mit der Lösung von MeteoSchweiz ohne gute Geographie-Kenntnisse anspruchsvoller ist.

Wenn man auf einem Pfeil klickt, erhält man zusätzliche wertvolle Informationen, wie u.a. der Verlauf der durchschnittlichen Windgeschwindigkeit (inkl. Windböen) der letzten 4 Stunden (grosse Unterschiede zwischen Mittelwind und Windspitzen deuten auf turbulente Verhältnisse hin): ein durchaus gelungenes Tool!



Auf einen Blick erkennt man in einer bestimmten Region, auf welcher Höhe der Wind aus welcher Richtung und mit welcher Stärke weht.

«Links oben kann wahlweise der Mittelwind oder die Böenspitze während 10 Minuten selektiert werden. Es können auch beide gleichzeitig selektiert werden. Der Abstand der beiden Pfeilspitzen ist ein Indiz für die Turbulenz am Messstandort.» (Quelle: *Flugbasis*).

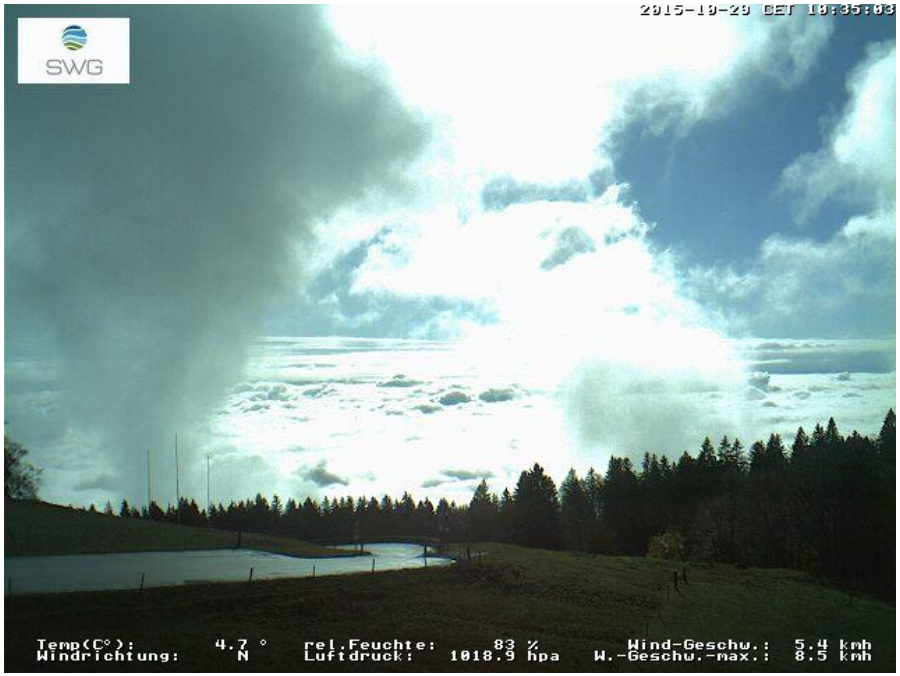
Lokale Wetterstationen

Selbstverständlich spricht nichts dagegen, wenn man noch dazu die lokalen Wetterstationen (und Webcams) des Fluggebietes bzw. der Umgebung konsultiert.

Empfehlenswert für die Qualität der Bilder sind u.a. die Webcams von MeteoSchweiz und für die flächendeckende Verbreitung die Webcams, die «webcam-4insiders» sowie «roundshot» gruppieren. Diese Angebote ermöglichen die Fotos der letzten Stunden und sogar Tage anzuschauen, was besonders nützlich ist, um zu überprüfen, wie sich die Wetterlage entwickelt hat. Aber auch, wie das Panorama bei guter Sicht aussieht.

Diese Dienstleistungen und weitere Wetterstationen sind auf www.5steps.ch/meteo (unter Schritt 5) aufgelistet.

Wetterstationen
Brunnersberg • Engelbergtal... • Grenchenberg • Hohwacht • Niesen... • Ob. Wengi • Oberwallis • Schwängimatt • Weissenstein • Zugerberg
» webcam-4insiders...
» roundshot Schweiz



Die lokale Wetterstation von Grenchenberg. Der Wind ist schwach und weht aus Norden (nicht günstig für Grenchenberg). Starten könnte man sowieso nicht, da das Mittelland unter einer dicken Hochnebelschicht liegt.

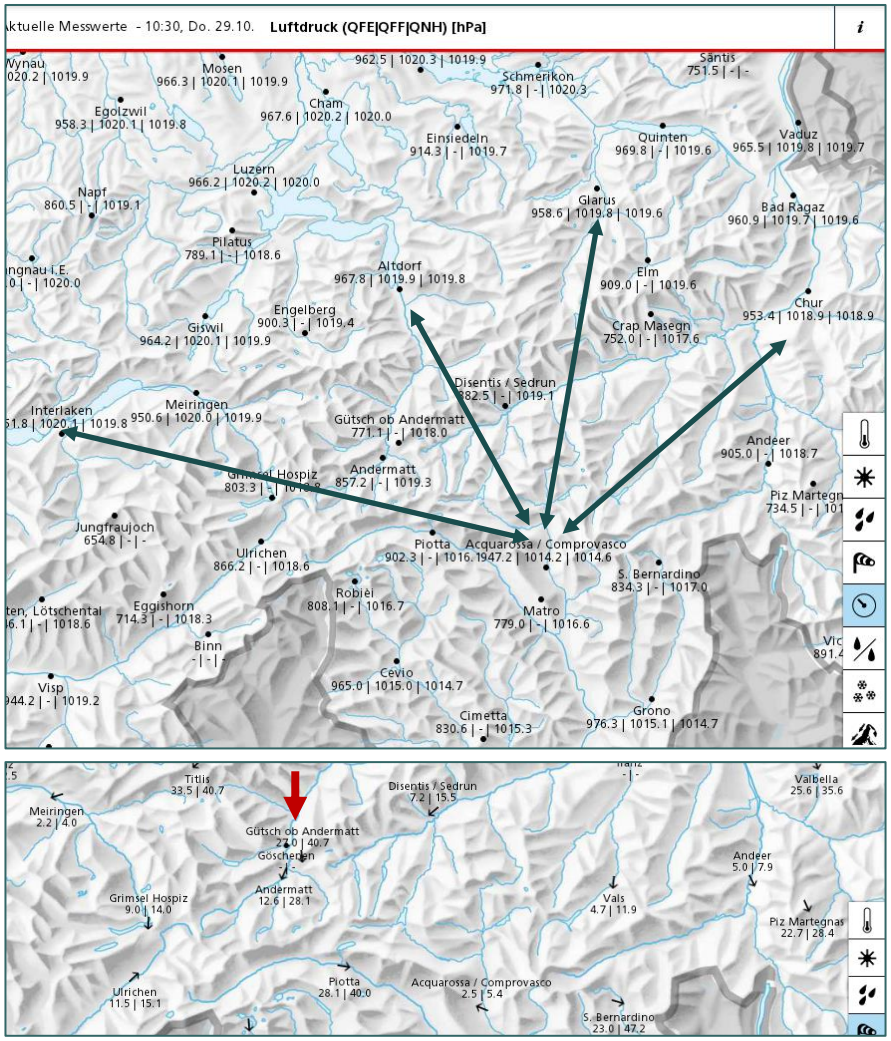
Luftdruck und Föhn

Wenn gemäss Prognose der Luftdruck im Tessin 1-2 hPa höher als in der Nordschweiz ist, solltest du die aktuellsten Luftdruckunterschiede überprüfen, bevor du startest, vor allem wenn du in empfindlichen Föhntälern fliegst. Der Grund: Die Prognose könnte zu optimistisch sein.

Um die aktuellen Luftdruckunterschiede zu erfassen, vergleichst du die QFF-Werte von Lugano mit Sion bzw. die QFF-Werte von Comprovasco mit Interlaken, Altdorf, Glarus und Chur (davon abhängig in welchem Tal du fliegst).

Wenn der Überdruck im Tessin grösser als 3 hPa ist und wenn der Wind in Gütsch aus südlicher Richtung (90° bis 240°) mit mindestens 27 km/h weht (3), dann besteht das Risiko, dass Föhn ausbricht.

Einheimische und lokale Flugschulen können dich in diesem Fall informieren, ob in der aktuelle Region ein Flug immer noch sicher ist.

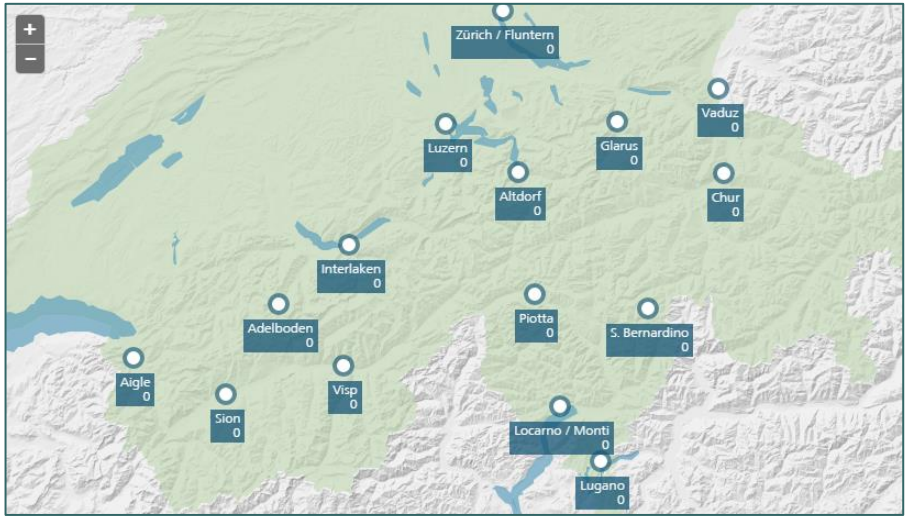


Föhnindex

Ergänzend zur vorherigen Folie kannst du auch den Föhnindex anschauen. Für verschiedene Wetterstationen in der Nordschweiz wird angegeben, ob die letzten 10 Minuten Föhn geweht hat:

- Die Zahl 0 bedeutet «Kein Föhn»
- Die Zahl 1 bedeutet «Föhnmischluft» (Mischung aus Föhn und Bergwind seit mindestens 10 Minuten)
- Die Zahl 2 bedeutet Föhn seit mindestens 10 Minuten

Der Föhnindex ist ein interessantes Instrument. Eine Anmerkung dazu ist dennoch wichtig: Der Föhn wird nur angezeigt, wenn er bis auf Stationshöhe (2 m über Boden) weht. Wenn der Föhn z.B. 100 m über der Station weht, dann bleibt der angezeigte Wert auf «0».



Neben dem aktuellem Wind, Druck, Sonnenscheindauer und Temperatur zeigt MeteoSchweiz, ob zurzeit in den Alpentälern bei ausgewählten Wetterstationen der Föhn weht.

Jährlicher Nebelverlauf

Im Sommer ist die Luft sehr warm und weil warme Luft viel Feuchtigkeit aufnehmen kann, schweben in der Luft zahlreiche Wassermoleküle im gasförmigen Zustand. Dass diese Wassermoleküle keinen Nebel bilden, verdanken wir nur den hohen Sommertemperaturen.

Ab August werden die Tage immer kürzer (etwa 4 Minuten weniger pro Tag) und der Sonneneinstrahlungswinkel nimmt ab (von 60° im Sommer bis 20° im Winter). In der Folge wird die Luft immer kühler. Schon im September wird die Luft während der Nacht oder am frühen Vormittag so kalt, dass der gasförmige Wasserdampf kondensieren muss, also Nebel bildet.

Im September und zum Teil im Oktober schafft es die Sonne ziemlich häufig, die Nebelbänke im Mittelland und in den Voralpen durch Erwärmung des Bodens aufzulösen. Zwischen November und Januar ist die Luft zu kalt und die Sonneneinstrahlung zu schwach, um uns von der Nebeldecke zu befreien. Im Februar hat die winterliche kalte Luft viel Feuchtigkeit verloren. Zudem nimmt langsam die Temperatur wieder zu, so dass sich Nebel zunehmend auflöst. Ab April ist Nebel während dem Tag selten.

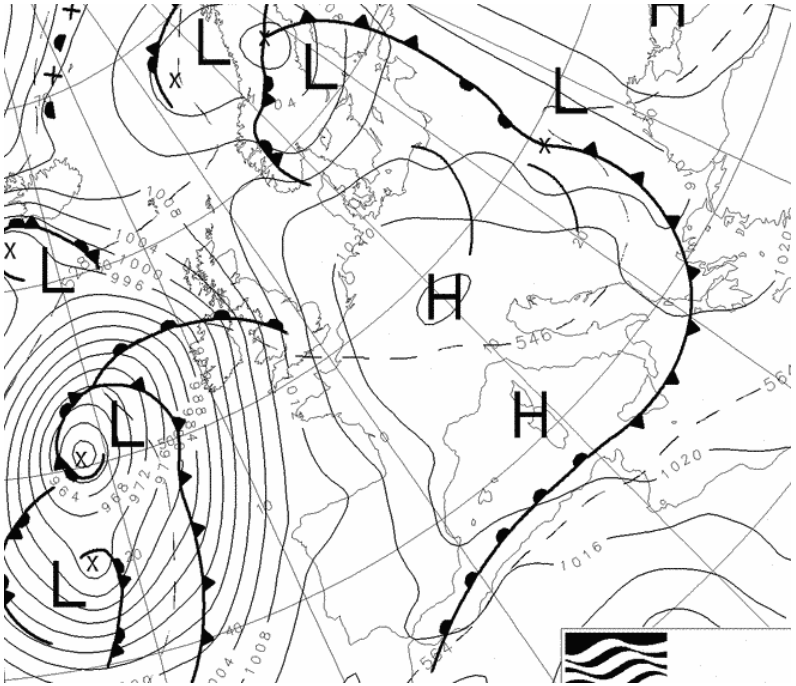
Voraussetzungen für die Nebelentstehung

Nebel entsteht im Herbst und im Winter, wenn drei Bedingungen erfüllt sind:

- DIE LUFT IST GENÜGEND FEUCHT, das heisst die relative Feuchtigkeit beträgt 100% bzw. die Temperatur und Tautemperatur sind weitgehend gleich.
- DER HIMMEL IST WOLKENLOS oder besteht nur aus hohen Wolken (z.B. Cirrusstratus). So wird die Wärme während der Nacht in den Weltraum ausgestrahlt und der Boden kühlt ab. Der kalte Boden kann so die darüber liegende Luftschicht richtig abkühlen.
- DER WIND IST SCHWACH oder es ist ganz windstill (*der Wind mischt Luftmassen und erschwert die Nebelbildung im Flachland*).

Und wann hat man einen wolkenlosen Himmel und wenig Wind? WENN MAN SICH IM EINFLUSSBEREICH EINES HOCHDRUCKGEBIETES BEFINDET!

Auf den Punkt gebracht: «H» bedeutet im Herbst und Winter meistens Nebel (oder Hochnebel) im Mittelland und in den Voralpen.



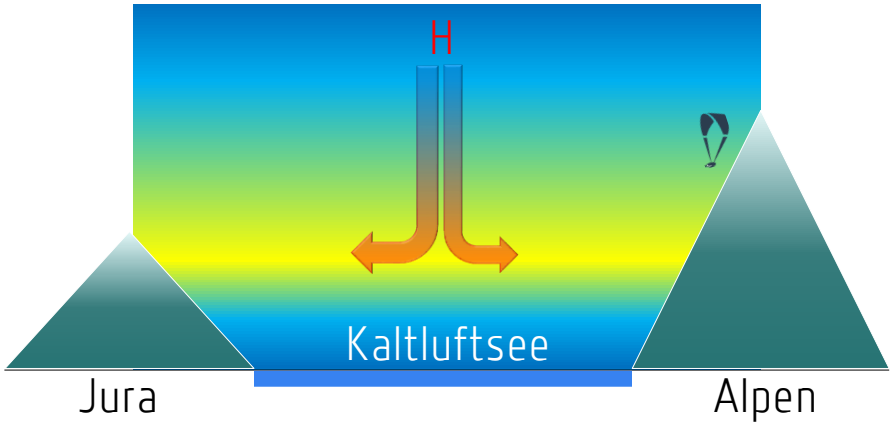
Im Herbst und im Winter - sobald sich die Schweiz im Einflussbereich eines Hochdruckgebietes befindet - entsteht meistens Nebel.

Unten kalt, oben warm

Der wolkenlose Himmel und die langen winterlichen Nächte führen dazu, dass der Boden im Mittelland sehr kalt wird. Der kalte Boden kühlt die darüber liegende Luftschicht. So entsteht im Mittelland ein sogenannter «Kaltluftsee», auch BODENINVERSION genannt. Die kalte Luft, die sich im Mittelland befindet, kann nirgends ausfliessen, weil das Mittelland wie eine grosse Badewanne mit einem kleinen Loch ist. Das kleine Loch befindet sich in Genf.

Ist die Luft im Kaltluftsee genügend feucht, bildet sich eine Nebeldecke. Im Nebel schwankt die Lufttemperatur während dem Tag kaum, es bleibt also kalt.

Über der Bodeninversion dagegen sorgt das Hochdruckgebiet für wärmere Luft und häufig für eine spektakuläre weitreichende Sicht. Die Luft ist über der Inversion wärmer, weil die trockene und saubere Luft in einem Hochdruckgebiet sinkt und sich so pro 100 m um 1° erwärmt. So geniessen die Wanderer auf 1'200 m über Meer milde Temperaturen von z.B. 12° und für die Angestellten im Mittelland müssen 2° genügen.



Der kalte Boden kühlt die darüber liegende Luftschicht: So bildet sich ein Kaltluftsee im Mittelland und in den Voralpen. Kondensiert die Feuchtigkeit und bildet sich Nebel, hat man im Flachland schlechte Sicht und trübe Verhältnisse.

Von oben sinkt die Luft bis zur Inversion und erwärmt sich 1°/100 m, was zu einer angenehmen Erhöhung der Temperatur in den Bergen und zu einer ausgezeichneten Sicht führt. Die sinkende warme leichte Luft hat keine Chance die am Boden liegende kalte schwere Luft im Mittelland und Voralpen ausräumen und deswegen weicht sie seitlich aus.

Nebel in den Tälern

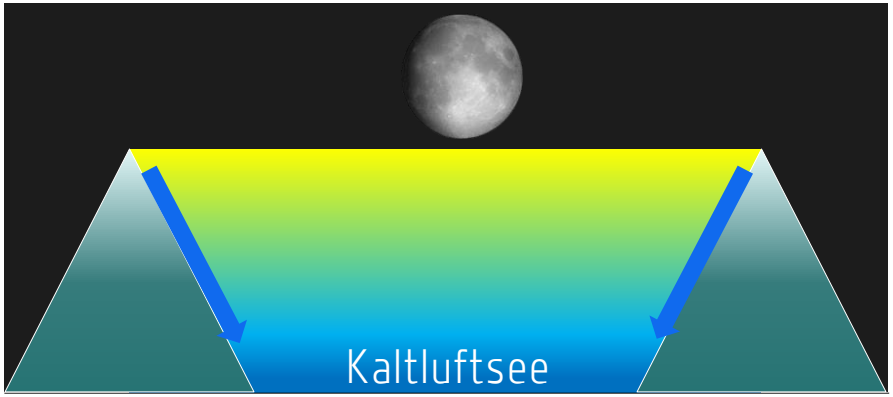
Die Täler mit ihren lokalen Besonderheiten haben unterschiedliche Auswirkungen auf die Bildung und Auflösung vom Nebel und Hochnebel.

An den Bergflanken fliesst während der Nacht die kalte Luft Richtung Tal, wo sie sich ansammelt. Wenn die angesammelte kalte Luft genügend feucht und der Himmel wolkenlos ist, sowie wenn es kaum Wind hat, dann kann sich auch aufgrund dieses Phänomens Nebel im Tal bilden.

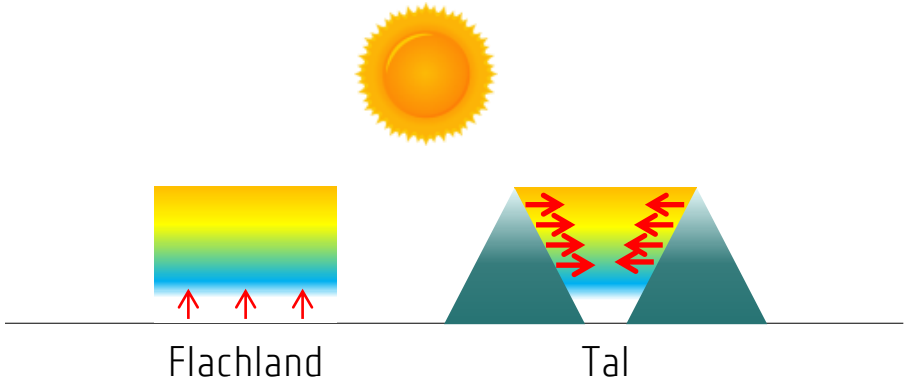
Es kommt aber auch vor, dass die kalte Luft, die von den Hängen herunterfliesst, trockener und sauberer als die Luft im Mittelland ist und verhindert, dass sich im Tal Nebel bilden kann.

Während dem Tag kann die Sonne die Bergflanken erwärmen. Der Hang seinerseits erwärmt die darüber liegende Luftschicht. Bei günstiger Sonneneinstrahlung kann sich so Nebel oder Hochnebel in einem Tal besser auflösen als im Mittelland.

Wenn jedoch während des Tages ein sanfter Aufwind einsetzt, kann er feuchte Luft entlang vom Hang nach oben transportieren und dazu führen, dass sich irgendwann auch der Startplatz im Nebel befindet.



Während der Nacht fliesst von den Bergflanken kalte Luft ins Tal. Wenn die Luft feucht ist, begünstigt das Phänomen die Nebelbildung. Wenn sie trocken ist, erschwert es die Nebelbildung.



Die Bergflanken können die Luft erwärmen und so zur Nebelauflösung beitragen. Das Phänomen ist im Flachland viel weniger ausgeprägt.

Nebelprognose - Ein harter Job!

Wird sich Nebel bilden... und auflösen? Diese Frage stellen sich Meteorologen häufig im Herbst und im Winter und dabei zerbrechen sie sich den Kopf, weil die Nebelprognose eine der schwierigsten Prognosen überhaupt ist.

Nebel ist von kleinräumigen Phänomenen abhängig, die in den Wettermodellen ungenügend berücksichtigt werden.

Zudem hängt die Entstehung und Auflösung von Nebel vom Wind, von der Feuchtigkeit nicht nur auf Bodenhöhe (die ist meistens wegen den Wetterstationen bekannt), sondern auch in den ersten 300 m über Boden (die ist meistens nur teilweise oder gar nicht bekannt) und von der Jahreszeit ab.

Löst sich Nebel auf? Oder nicht? Das ist die Frage...

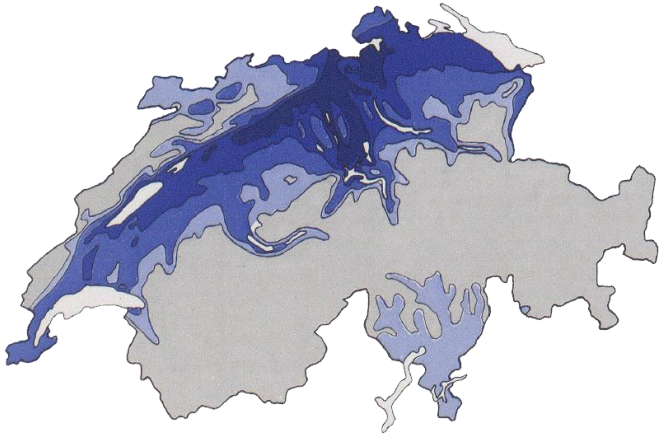
Nebelprognose und Hochdrucklage

Nebel ist eine vertraute Herbst- und Wintererscheinung. Als Piloten müssen wir davon eine Ahnung haben, um die Frage zu beantworten, ob es sich lohnt, den Gleitschirm aus dem Keller zu holen und wo man gute Sicht erwarten kann. FOLGENDE FAUSTREGELN DIENEN ALS ORIENTIERUNG:

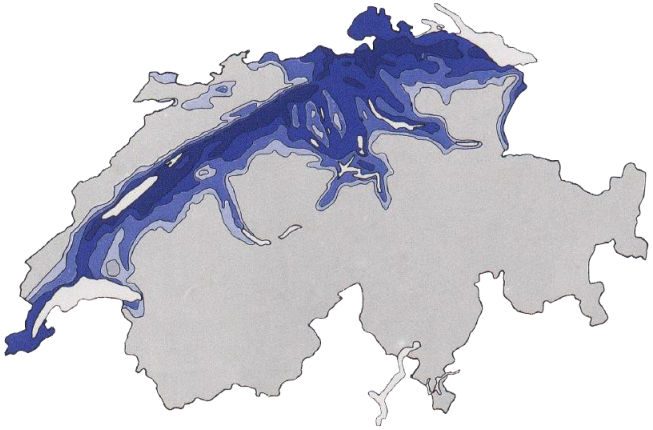
Nebel kann zwischen September und März im Mittelland und den Voralpen erwartet werden, wenn sich die Schweiz im Einflussbereich eines Hochdruckgebietes befindet. Nebel löst sich relativ häufig in September und zum Teil im Oktober, sowie teilweise im Februar und vor allem im März auf. Zwischen November und Januar löst sich Nebel leider eher selten auf.

Nebel löst sich eher auf:

- wenn eine neue Luftmasse (z.B. eine Kaltfront) den Nebel ausräumt,
- wenn der Wind zunimmt,
- wenn der Luftdruck fällt.



Mittlere Nebelbedeckung bei windschwachen Hochdrucklagen



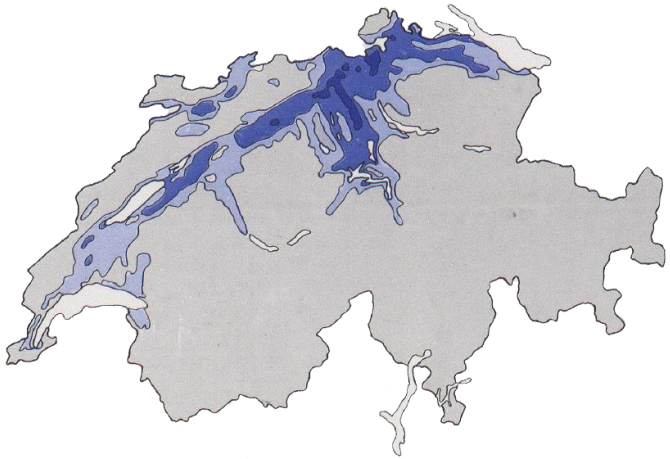
Mittlere Nebelbedeckung bei Hochdrucklagen mit S-SW-Höhenströmung

<10% | 11-30% | 31-70% | 71-90% | >90%

Troxler, 1988

Nebelprognose und flache Drucklage

Nebel entsteht vor allem, wenn sich die Schweiz im Einflussbereich eines Hochdruckgebietes befindet. Im Mittelland kann jedoch auch eine flache Drucklage (*man ist weder in einem H noch in einem T und die Luftdruckunterschiede sind sehr gering = kein Wind*) Nebel begünstigen, jedoch mit einer deutlich geringeren regionalen Ausbreitung, wie die Abbildung zeigt.



Mittlere Nebelbedeckung bei Flachdrucklagen

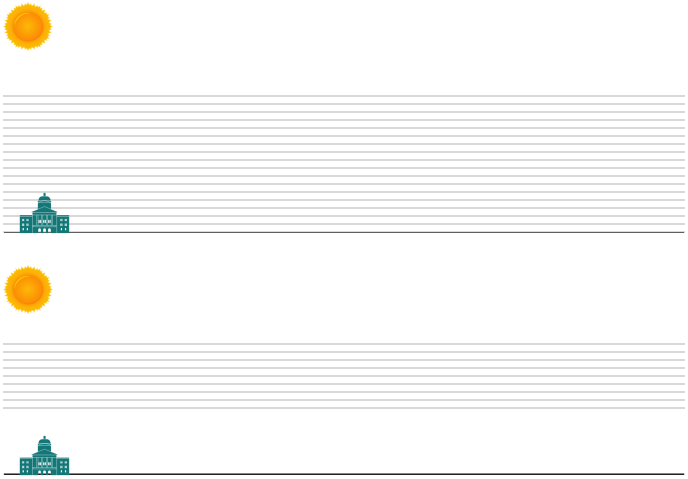
<10% 11-30% 31-70% 71-90% >90% Troxler, 1988

Vom Nebel zum Hochnebel

Nebel bildet sich am Boden und vom Boden ausgehend löst sich Nebel auf. Wenn der Nebel beginnt, sich am Boden aufzulösen, dann wandelt er sich im Hochnebel um.

Die Voraussetzungen für die Entstehung und Auflösung vom Nebel und von dieser Art des Hochnebels sind praktisch gleich.

Es gibt aber auch eine andere Hochnebel-Variante, die häufig im Herbst und Winter entsteht, nämlich wenn die Bise weht.

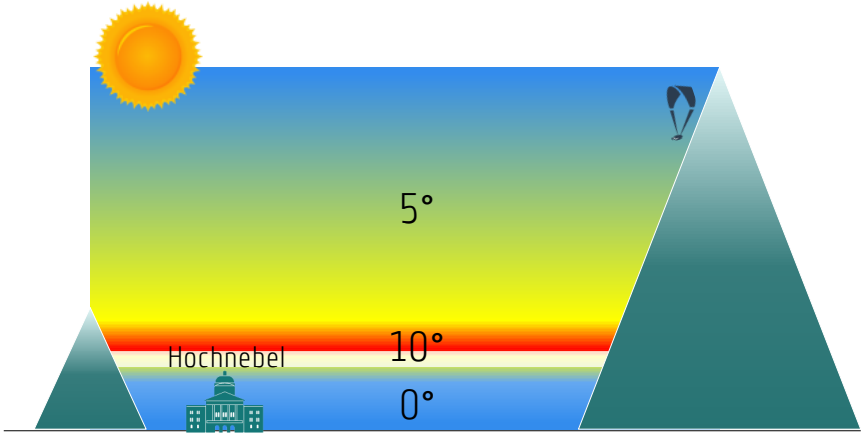


Wenn sich Nebel von unten auflöst, entsteht Hochnebel.

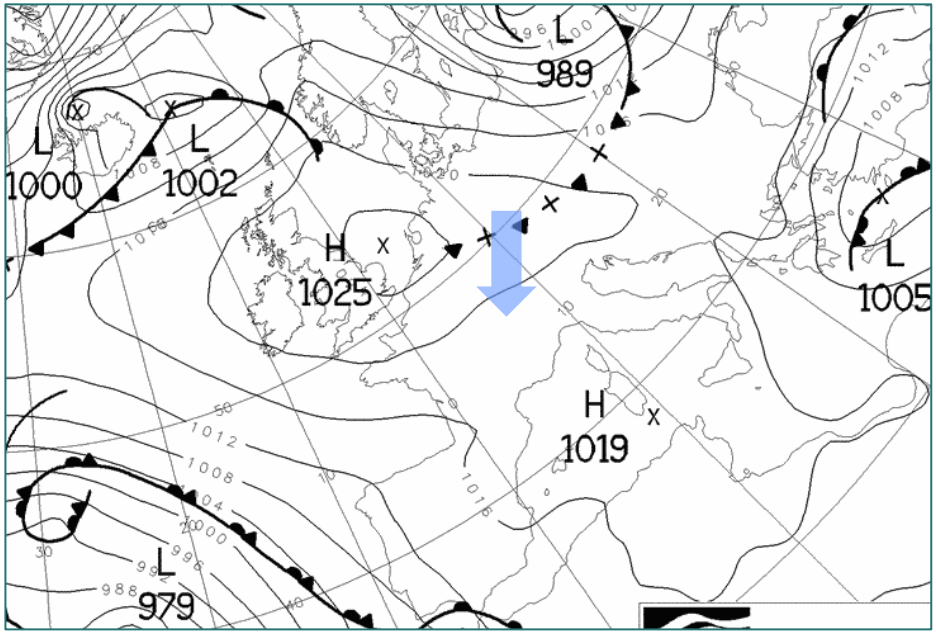
Hochnebel und Bise

Hochnebel entsteht im Winter vor allem bei Bise. Die kalte Luft wird von Nordosten her in die «Badewanne» Mittelland unter die leichtere, warme Luft geblasen und bleibt dort liegen. Es entsteht eine Inversion, die wie eine Barriere wirkt und verhindert, dass die feuchte kalte Luft irgendwo anders ausweichen kann. Und so kann es tage- oder wochenlang unten kalt und trüb und oben blau, klar und wärmer sein.

Weil unter der Inversion die Bise weht, mischen sich die Luftmassen, was die Nebelbildung auf Bodenhöhe im Flachland verhindert.



Die Bise transportiert kalte Luft ins Mittelland, wo sich so Hochnebel bildet.



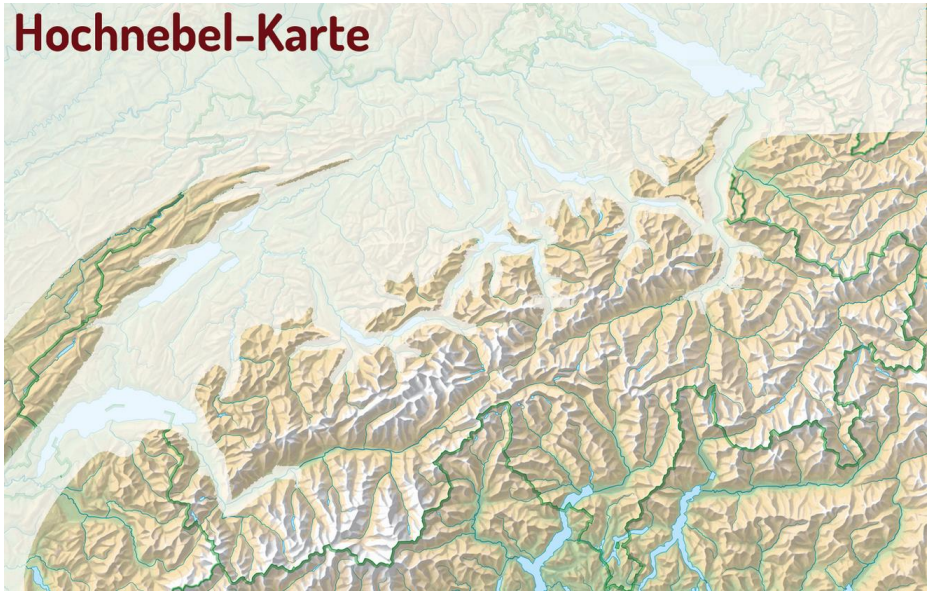
Eine klassische Wetterlage für die Bildung vom Hochnebel im späten Herbst. Die Schweiz befindet sich am Rand eines Hochdruckgebietes und im Mittelland weht die Bise.

Hochnebel und Bise

Je stärker die Bise weht, desto höher liegt die Hochnebelgrenze. Gleichzeitig sinkt die Chance, dass sich der Hochnebel auflöst. Zudem führt eine starke Bise bzw. eine höhere Hochnebelgrenze dazu, dass der Hochnebel in die Alpentäler eindringt.

Wird die Bise schwächer oder hört sie ganz auf, sinkt die Hochnebelgrenze. Die Bedingungen, die zur seiner Auflösung führen, sind:

- wenn eine neue Luftmasse (z.B. eine Kaltfront) den Nebel ausräumt,
- wenn der Luftdruck fällt.



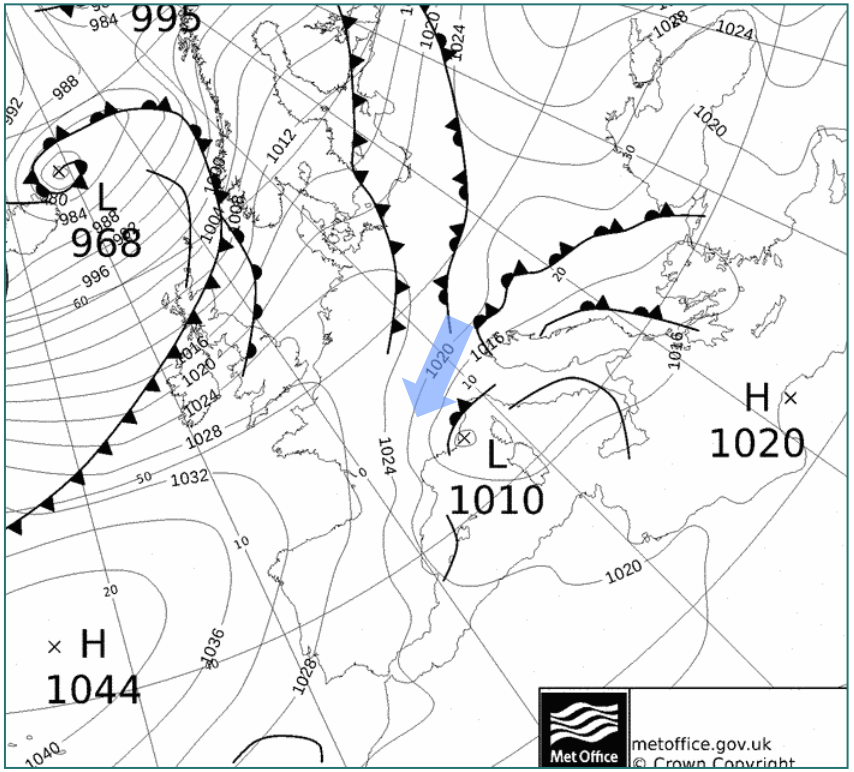
Wenn die Bise weht, drängt Hochnebel in die Alpentäler.

Schwarze Bise

Unten kalt und trüb, oben blau, klar und wärmer: So sieht das Wetter bei uns aus, wenn ein Hochdruckgebiet im Herbst und Winter für die Bise verantwortlich ist.

Aber wenn die Bise nicht wegen einem Hochdruckgebiet, sondern wegen einem Tiefdruckgebiet über Genua weht, dann bringt sie Wolken mit und in der Folge ist es nicht nur unten grau wegen der Hochnebeldecke, sondern auch über dem Hochnebel ist es trüb und grau wegen den Wolken.

Dieses Phänomen nennt man SCHWARZE BISE und entsteht, wenn sich ein Tiefdruckgebiet über Genua bildet.



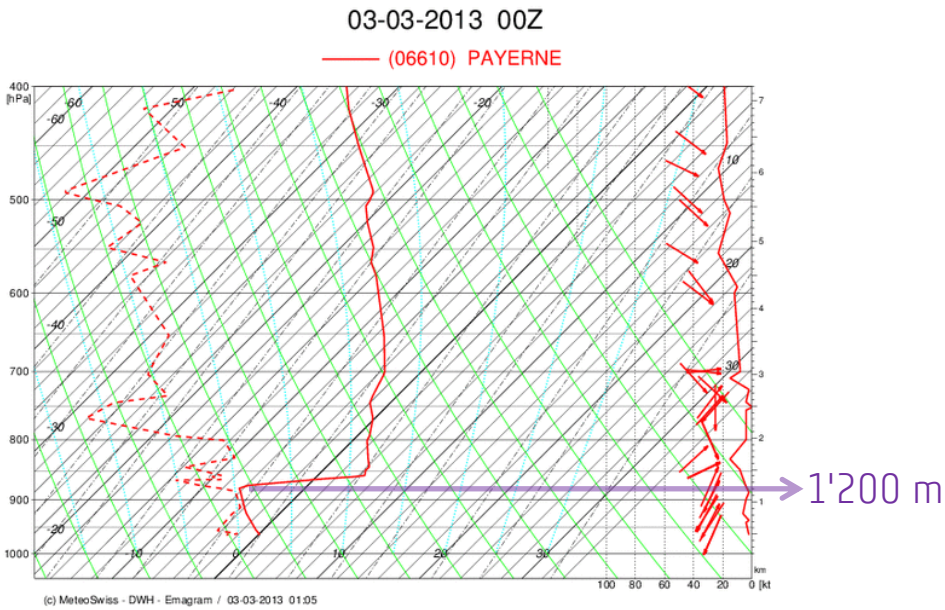
Die schwarze Bise entsteht , wenn sich ein Tiefdruckgebiet über Genua bildet (das GENUATIEF). Dann ist das Wetter sowohl unter wie auch über dem Hochnebel nicht schön.

Kurzfristige Hochnebel-Prognose

Wenn Meteorologen zwischen Oktober und März das Wort «Bise» in ihren Prognosen nennen, wird sich wahrscheinlich Hochnebel bilden, der sich zwischen Oktober und Januar häufig nicht auflösen wird. Dennoch kann man z.B. am Üetliberg vor dem Zürisee stundenlang soaren, wenn die untere Hochnebelgrenze genügend hoch ist oder in den Alpen sanft nach unten gleiten, wenn die obere Hochnebelgrenze genügend tief liegt.

Um für die kurzfristige Prognose herauszufinden, wie hoch oder tief die Hochnebelgrenze sein könnte, kann man die Radiosondierung von Payerne, die Vorhersage-Sonde von Cosmo 7 oder auch das Sounding von Meteoblue verwenden.

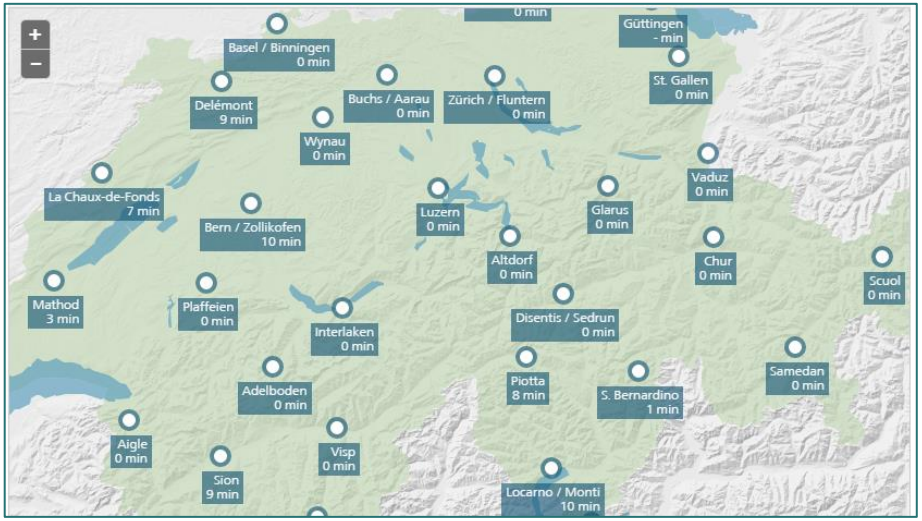
In der abgebildeten Radiosondierung von Payerne erkennt man die ausgeprägte Inversion, die auf etwa 1'200 m liegt (das ist die obere Hochnebelgrenze! Die untere Hochnebelgrenze ist deutlich schwieriger zu schätzen). Darunter ist es grau und kalt. Darüber warm und wegen der trockenen Luft herrscht eine wunderbare Fernsicht: eine typische Hochdrucklage im Herbst und Winter.



Prognosen bis Sonntagabend

Sehr kurzfristige Hochnebel-Prognose

Ein nützliches Instrument, um herauszufinden, ob sich demnächst Hochnebel auflösen könnte, ist die Sonnenscheindauer-Karte von MeteoSchweiz. Wenn z.B. um 13 Uhr alle Wetterstationen im Mittelland und Voralpen den Wert 0 zeigen, bedeutet dies, dass die letzten 0 von 10 Minuten nirgendswo in tiefen Lagen die Sonne geschienen hat. Das ist ein Hinweis, dass sich in diesen Regionen der Hochnebel wahrscheinlich nicht oder nur spät auflösen wird.



Hat sich Nebel oder Hochnebel nirgendswo im Mittelland und den Voralpen bis 13:00 aufgelöst, dann ist vor allem in November bis Februar die Auflösung in den nächsten Stunden unwahrscheinlich oder wird nur verzögert stattfinden.

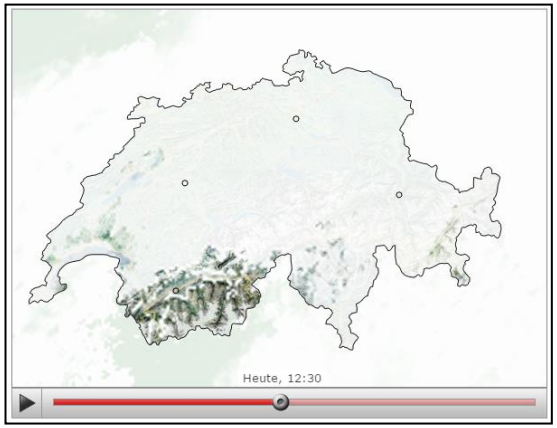
Kurz- und mittelfristige Hochnebel-Prognose

Sowohl die Nebel- wie auch die Hochnebel-Prognose sind eher unsicher.

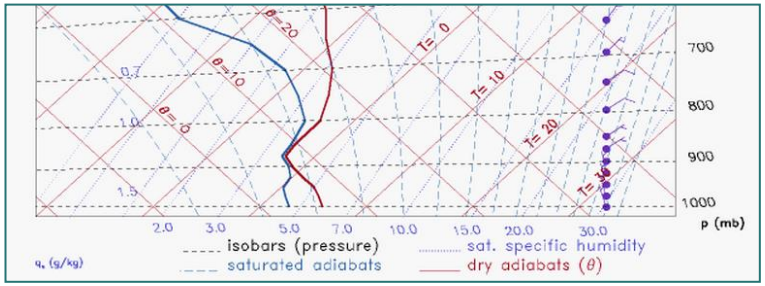
SRF Meteo bietet eine der detailliertesten Prognosen an und auch «TAF» hilft herauszufinden, ob sich der (Hoch)nebel bildet und wie gross die Chance ist, dass er sich auflöst. Nützlich ist auch die etwas optimistische Prognose von «Wolken (Cosmo 2)», vorausgesetzt, dass am geplanten Tag keine mittelhohen oder hohen Wolken den Himmel bedecken und als Folge daraus die (Hoch)nebel-Prognose unter der höheren Wolkenschicht verschwindet (wie in der Abbildung auf der rechten Seite).

Ob sich Hochnebel bildet, wie hoch die untere und obere Grenze ist und ob er sich auflöst, kann man auch versuchen mit dem Sounding von Meteoblue und mit den Vorhersage-Sonden von Cosmo 7 herauszufinden.

Wenn man weiss, welche Voraussetzungen erfüllt sein müssen, so dass sich (Hoch)nebel bildet, was seine Auflösung begünstigt und man die verschiedenen Prognosen kombiniert, verfügt man über eine gewisse Wissensgrundlage für eine «mehr oder weniger» zuverlässige (Hoch)nebelprognose.



Die Wolken- und Nebelprognose von Cosmo 2: Leider kann man nicht herausfinden, ob in tiefen Lagen Nebel oder Hochnebel erwartet werden kann (wenn der Himmel z.B. mit Cirrostratus oder Altostratus bedeckt ist).



Mit dem Sounding von Meteoblue kann man in etwa schätzen, ob sich Hochnebel bildet bzw. wie hoch die untere und obere Grenze ist (nämlich auf der Höhe, wo sich die blaue und rote Linie treffen).

Instrumente für die Nebel-Prognose

Nützliche Instrumente für die Nebel- und Hochnebel-Prognose findest du auf
www.5steps.ch/meteo
wenn du auf das Nebel-Symbol klickst oder tippst.

Von einer Quell- zu einer Gewitterwolke

Eine kleine Quellwolke (Cumulus humilis: Bild 1) kann innerhalb kurzer Zeit (= wenige Stunden, bei günstigen Bedingungen sogar in einigen Minuten) Karriere machen und Tausende Meter wachsen (Cumulus congestus: Bild 2) bis sie überentwickelt (Cumulonimbus {CB}: Bild 3).

Man erkennt einen Cumulonimbus (=Gewitterwolke) nicht nur dadurch, dass er riesig ist, sondern auch weil die obere Grenze der Wolke die scharfen Konturen verloren hat (weil sich Eiskristalle gebildet haben, siehe A = der Amboss).

Cumulonimbus (CB) sind überentwickelte Quellwolken, die bis zur Tropopause (11'000 m) oder sogar höher wachsen können und in deren Innere Niederschläge stattfinden.

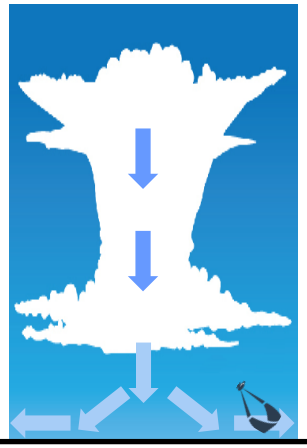
Die Niederschläge im CB verdunsten und entziehen der Luft Wärme. Die Luft in der Wolke wird kalt, als Folge daraus schwer und fällt nach unten. Die kalte, fallende Luft verursacht heftige Windböen und gefährliche Windscherungen.

Daraus folgt: VON EINEM CB SOLLTE MAN IN DER LUFT GENÜGEND ABSTAND HALTEN.

Bild 1: In kurzer Zeit kann ein Cumulus humilis...

Bild 2: ... so wachsen, dass er ein Cumulus Congestus wird. Kurz danach kann daraus...

Bild 3: ... ein Cumulonimbus entstehen



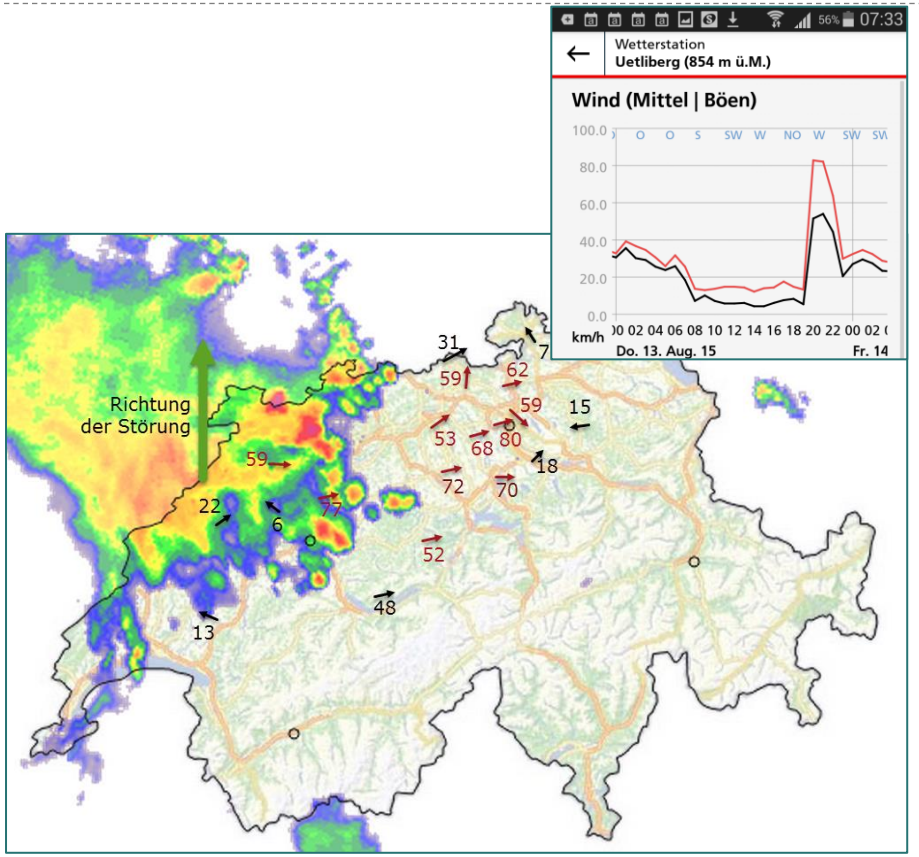
Kalte Luft «stürzt» in einem CB ab und verursacht heftige Windböen

Abstand halten!

In der Gewitterwolke herrschen starke Aufwinde (bis etwa 30 m/s), die unsere Abstiegshilfen zunichte machen.

Das Risiko, von einer Gewitterwolke eingesogen zu werden und wegen der tiefen Temperatur (Tropopause: - 60 Grad), Sauerstoffmangel, Hagel oder Blitzen zu sterben hält die Mehrzahl der Piloten/-innen vom Fliegen ab. Besser ist es, diese Wettererscheinung mit genügend Abstand oder am Boden zu bewundern. Ausnahmen gibt es immer und nicht alle haben überlebt, um davon berichten zu können.

In welcher Distanz von einem CB ist Fliegen noch sicher? Leider gibt es für diese Frage keine eindeutige Antwort. U.a. die horizontale und vertikale Ausdehnung der Gewitterwolke und die Intensität der Niederschläge bestimmen die Grösse der Gefahrzone. Und die kann durchaus sehr gross sein, wie die Abbildung auf der rechten Seite eindrücklich beweist.



Am Nordwest-Rand der Schweiz regnete es am 13. August 2015 heftig. Die Störung hat sich Richtung Norden bewegt.
In einem Abstand von etwa 60 km hat die Wetterstation von Üetliberg Windspitzen von 80 km/h registriert. Im Zürcher Oberland hat man von dieser Störung nichts bemerkt.

Gewitterwolken sind wahrscheinlich, wenn…

Eine zeitlich und örtlich genaue zuverlässige Vorhersage der Entstehung und Entwicklung von Gewitterwolken ist häufig nicht möglich.

Was man versuchen kann, ist das Gewitterrisiko in einer Region zu schätzen.

Gewitterwolken im Frühling (Mittelland und Jura) und im Sommer (auch in den Alpen) sind wahrscheinlich, wenn diese Bedingungen erfüllt sind:

- Luftdruck unter 1016 hPa
- Die Schweiz befindet sich im Einflussbereich einer Kaltfront oder einer Konvergenzlinie oder noch in einer Flachdrucklage (siehe Isobaren-Karte)
- Die Schweiz befindet sich im Einflussbereich eines Kaltlufttropfens oder Trog (siehe 500 hPa-Karte)
- Keine ausgeprägte Inversion verhindert das Steigen der Quellwolken und die Luftfeuchtigkeit in verschiedenen Höhen ist hoch (siehe Radiosondierung)

Ein solcher Amboss entsteht, wenn der Wind in grosser Höhe schwach ist. Wahrscheinlich herrschte an diesem Tag eine Flachdrucklage.

Gewitterwolken sind *un*wahrscheinlich, wenn…

Gewitterwolken auch im Frühling und im Sommer sind unwahrscheinlich, wenn diese Bedingungen erfüllt sind:

- Die Schweiz befindet sich im Einflussbereich eines Hochdruckgebietes (keine Kaltfront, keine Konvergenz)
- Die Schweiz befindet sich im Einflussbereich eines Keils (siehe 500 hPa-Karte)
- Mindestens eine ausgeprägte Inversion verhindert das Wachstum der Quellwolken und die Luft z.B. in grosser Höhe ist trocken (siehe Radiosondierung)

Zahlreiche Quellwolken am Himmel. Trockene Luft verhindert, dass sie weiter wachsen können.

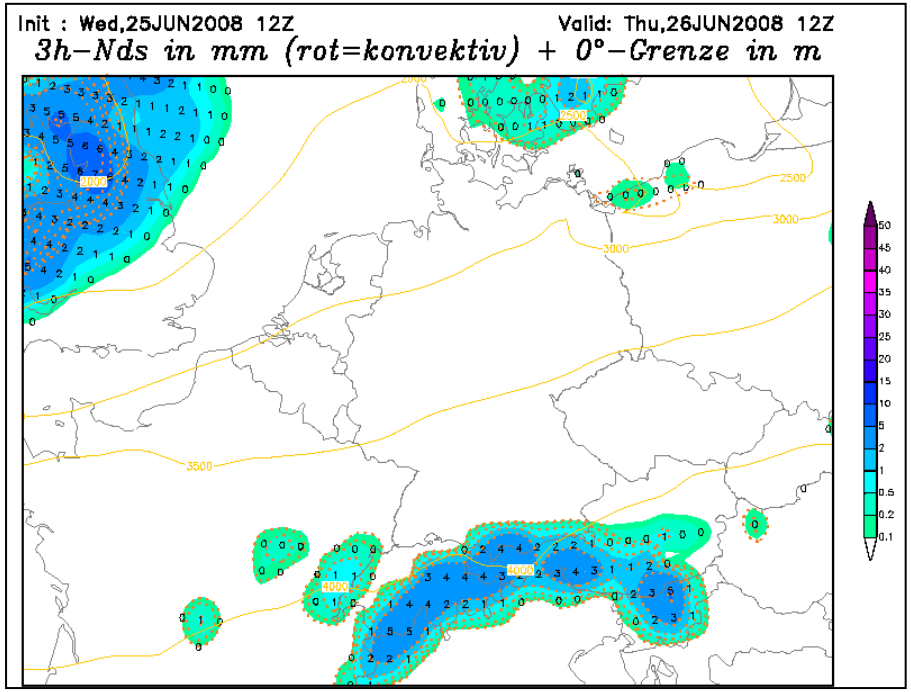
Prognose

Für eine fundierte Prognose des Gewitterrisikos sollte man zuerst folgende Wetterkarten studieren:

- Die Isobaren-Karte
- Die 500-hPa-Karte
- Die Radiosondierung

Hat man so den Überblick über die allgemeine Wetterlage gewonnen, kann man die Schätzung des Gewitterrisikos in einer bestimmten Region mit folgenden Prognosen verfeinern:

- Die kumulierte Niederschlagsprognose von GFS (siehe Abbildung)
- Die Niederschlagsprognose von COSMO 7 (für mittelfristige Prognosen) und von COSMO 2 (für kurzfristige Prognosen)
- Die Niederschlagsprognose von *Flugbasis*
- Die Prognose von *SRF*
- Die Meteogramme von *Meteoblue*



Wenn die Niederschlagkarte vom GFS (Auflösung: 28 km) schon um 12 UTC eindeutige Niederschläge angibt (mindestens 3-4 mm/m²), ist dies ein klares Zeichen, dass die Atmosphäre sehr labil ist und Überentwicklungen in der abgebildeten Region sehr wahrscheinlich sind.

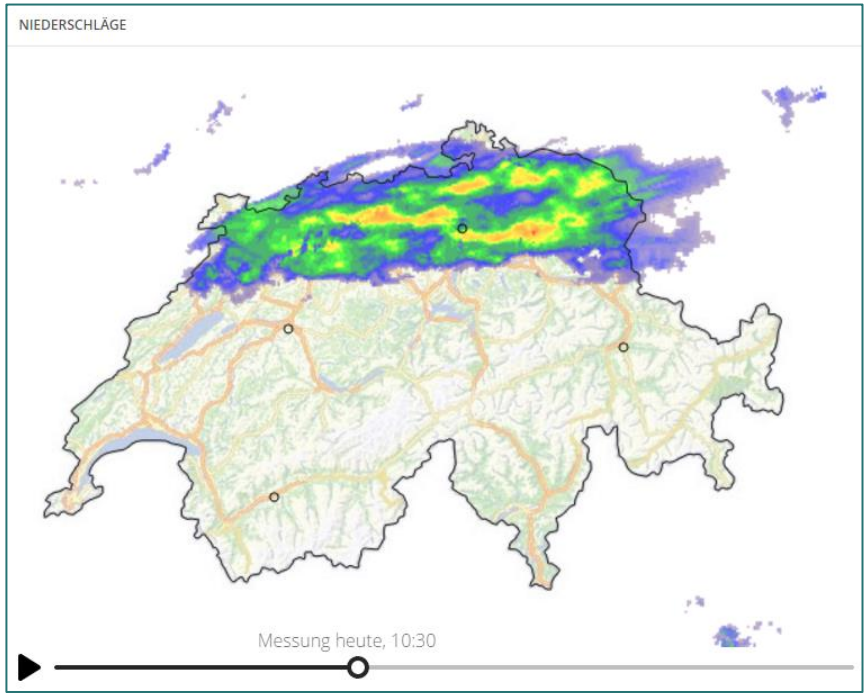
In diesem Beispiel sind Cb vor allem im alpinen Gebiet sehr wahrscheinlich.

Regenradar

Wenn eine gewisse Tendenz zu Überentwicklungen besteht, muss vor einem Flug überprüft werden, wo aktuell intensive Niederschläge nieder gehen. So erfährt man, wo und wann eine Gewitterwolke entsteht und wie sie sich weiter entwickelt. Je nachdem wie nahe sie sich dem Fluggebiet befindet, muss auf einen Flug verzichtet werden.

Zu diesem Zweck kann man die Radarbilder von *MeteoSchweiz* und *Flugbasis* verwenden.

Dies ist beim Fliegen in den Alpen enorm wichtig, weil Berge teilweise die Sicht auf mögliche Gewitterwolken versperren.



Aktuelle lokale intensive Niederschläge am Nordrand der Schweiz (MeteoSchweiz)

SCHRITT 5

Der 5. Schritt findet nur gezielt statt, wenn es darum geht, mögliche Gefahren rechtzeitig vor dem Start zu erkennen. Oder wenn du wissen willst, ob die Flugbedingungen wirklich so günstig sind wie sie in der Prognose beschrieben werden.

Zum Teil findet der 5. Schritt vor dem Bildschirm statt, zum Teil auch in der Natur: Gleitschirme und Wolken in der Luft, die Bewegung der Bäume und sonstige Phänomene verraten, wie sich das Wetter die nächsten Minuten ändern könnte.

Das sind wertvolle Informationen, um länger in der Luft zu bleiben - oder rechtzeitig landen zu gehen.

In diesem Sinne und für die nächsten Jahre wünsche ich dir viel Spass mit deinem Luftgerät.

Oliver