

INTERPRETATION VON WOLKENBILDERN UND WETTERPHÄNOMENEN FÜR PILOTEN UND BALLONFAHRER

# Inversionswetterlagen

## TEIL 5: Sichtbare Wetterphänomene und Wolken an Inversionen (Grenzschichtbewölkung)

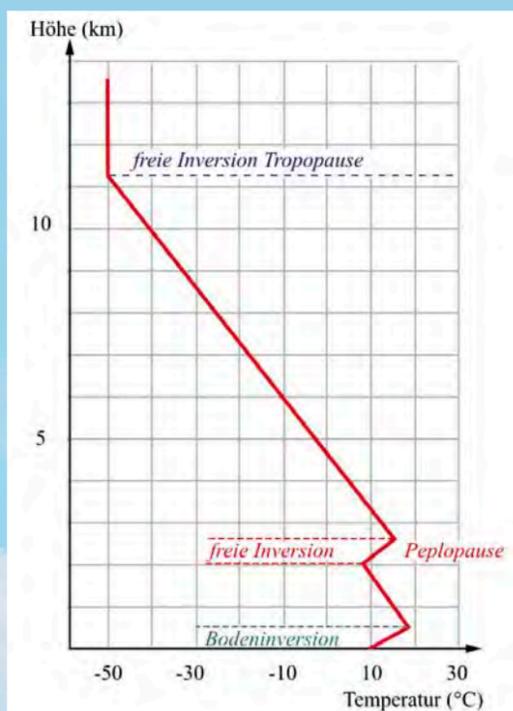
TEXT UND FOTOS DR. MANFRED REIBER

Physikalisch gesehen sind Inversionen Sperrschichten, die die Vertikalbewegung in der Atmosphäre behindern oder ganz und gar unterbinden. Sie stören die Thermik und haben somit negativen Einfluss auf das Segel-, Gleitschirm- und Drachenfliegen. Sie wirken aber auch markant auf meteorologische Phänomene wie die Sicht, die Wolkenbildung, das Segel- und das Windfeld ein. Dadurch werden Inversionen, oder besser gesagt die durch sie erzeugten Wetterphänomene, für uns sichtbar. Das gibt uns die Möglichkeit Inversionen oft relativ gut zu beschreiben, auch wenn keine genauen Messergebnisse vorliegen.

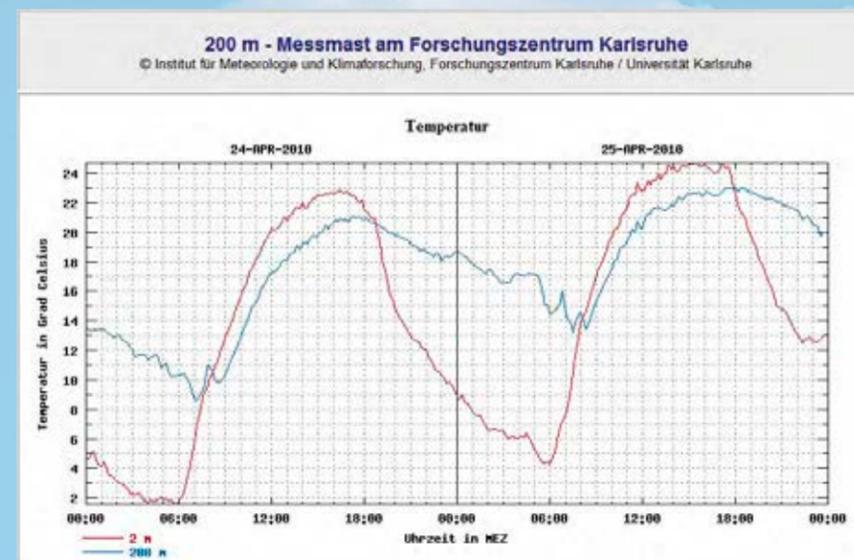
Bevor wir uns typische Bilder dieser Phänomene anschauen, noch einige Bemerkungen zu Inversionen „an sich“. Als Inversionen bezeichnet man Luftschichten, in denen die Lufttemperatur mit zunehmender Höhe zunimmt. Diese Temperaturzunahme ist Grund dafür, dass in einer Inversion stabiles Gleichgewicht herrscht. Steigt Luft adiabatisch auf (feucht- oder trockenadiabatisch), kühlt sie sich ab. Würde das innerhalb einer Inversion passieren, wäre sie immer kälter als die Umgebungsluft, weil die Lufttemperatur ja mit der Höhe zunimmt. Kalte Luft ist aber „schwerer“ als warme, deshalb könnte sie nicht weiter aufsteigen. Die Vertikalbewegung wird also gestoppt. Daraus folgt z. B., dass Inversionen keine Thermik zulassen. Solange z. B. eine Bodeninversion existiert, kann auch keine Thermik entstehen.

Inversionen sind nicht etwa selten, im Gegenteil, sie sind eine sehr häufig auftretende Wettererscheinung. Bodeninversionen kommen an ca. 70% aller Tage vor. Freie Inversionen kommen an etwa 55% aller Tage vor (Weitere Details zu Inversionen siehe Texte zu den Abbildungen).

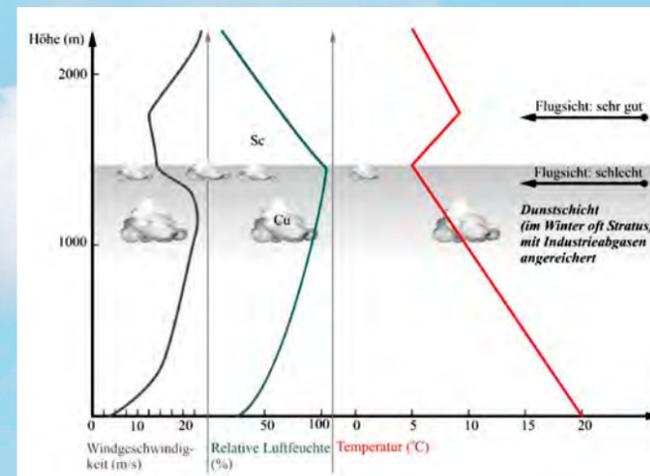
„Es gibt nichts Praktischeres als eine gute Theorie.“  
Immanuel Kant



**1** Die unterste Schicht der Atmosphäre, die Troposphäre, ist durch eine mittlere Temperaturabnahme von 0,65 °C/100 m (Standardatmosphäre) charakterisiert. In der realen Atmosphäre wird diese Temperaturabnahme aber häufig durch eine Temperaturzunahme unterbrochen. Diese Schichten bezeichnet man als Inversionen. Man unterscheidet dabei Bodeninversionen und freie Inversionen. Bodeninversionen beginnen direkt an der Erdoberfläche und reichen im Sommer 150 bis 250 m hoch, im Winter 400 bis 600 m. In Extremfällen können sie sich mit einer freien Inversion „verbinden“ und Höhen bis 2.000 m erreichen. Bodeninversionen entstehen in der Regel infolge der Wärmeabgabe durch die langwellige Ausstrahlung der Erdoberfläche. Sie bilden sich bei „Strahlungswetterlagen“, also bei wolkenlosem Himmel oder bei nur geringer Bewölkung aus. Hochdruckwetter ist deshalb der beste Garant für Bodeninversionen. Freie Inversionen entstehen in der Regel durch das Absinken (adiabatische Erwärmung) von Luftmassen aus der Höhe. Weil in Hochdruckgebieten „Absinken“ herrscht, korreliert auch die Entstehung der freien Inversionen eng mit der Existenz von Hochdruckgebieten. Die typische Absinkinversion in Hochdruckgebieten, auch Pelopause genannt, hat im Winter eine Höhenlage zwischen etwa 750 und 1.000 m, im Sommer zwischen 1.750 und 2.000 m. Die Tropopause ist eine ständig vorhandene freie Inversion in ca. 8.000 bis 12.000 m Höhe. Diagramm: Dr. M. Reiber „Moderne Flugmeteorologie für Ballonfahrer und Flieger“



**2** Dieses Bild gibt einen Einblick in die Entstehung und Auflösung von Bodeninversionen. Es zeigt die Temperaturverläufe während einer Hochdruckwetterlage im Tagesgang (24. und 25. April 2010) in 2 m (rot) und in 200 m (blau) Höhe. Man sieht sehr schön, dass die Temperatur in 2 m Höhe in der Nacht, bedingt durch die langwellige Strahlungsabkühlung der Erdoberfläche, viel schneller fällt, als in 200 m Höhe. Schon kurz vor Sonnenuntergang beginnt die Temperatur in Bodennähe stärker zu fallen, in der Höhe fällt die Temperatur viel langsamer, es bleibt dort wärmer. Die Folge ist die Entstehung einer Bodeninversion. Nach Sonnenaufgang erwärmt die kurzweilige Sonneneinstrahlung den Erdboden, die Temperatur steigt in Bodennähe schnell an, in der Höhe geht das viel langsamer. Die Bodeninversion wird wieder aufgelöst. In diesem Beispiel erreicht die Temperaturzunahme vom Boden bis 200 m Höhe 11 bis 12 °C, pro 100 m also mehr als 5 °C. Diese Schichtung ist in der Nacht extrem stabil und lässt keinerlei Vertikalbewegung zu. Erst einige Stunden nach Sonnenaufgang wird die Bodeninversion durch die Sonneneinstrahlung „weggeheizt“. Danach erst kann thermische Vertikalbewegung einsetzen. Diagramm: Forschungszentrum Karlsruhe (200 m-Messmast)



**3** In diesem Diagramm sind die typischen vertikalen Verläufe von Temperatur, Feuchte und Windgeschwindigkeit an einer Absinkinversion (Pelopause) dargestellt. Meist herrscht unterhalb der Inversion (im Winter bis ca. 1.000 m, im Sommer bis ca. 2.000 m Höhe) tagsüber gute Thermik. An der Inversion wird die Vertikalbewegung gebremst. Starke Thermik kann, wegen des Energieüberschusses, einige Deka- oder sogar Hektometer in die Inversion eindringen. Bei starker Thermik reicht also die aufwärtsgerichtete Vertikalbewegung in die Inversion hinein, bevor sie schließlich ganz unterbunden wird. So können thermische Flüge auch ein „Stück“ in die Inversion hineinreichen. Wolken- und feuchtereiche Luft wird aus den unteren Schichten bis in die Inversion transportiert. Es kommt zur Dunstanreicherung und oft zur „Ausbreitung“ der Quellbewölkung, die in Stratocumulusbewölkung (Sc cugen) übergeht. Vielfach kommen dann große Sc-Felder abends und in der Nacht vor, die erst im Laufe des frühen Vormittags durch die Sonneneinstrahlung aufgelöst werden. Die Feuchteanreicherung in Inversionsnähe führt zur Dunstzunahme und somit zur Sichtverschlechterung. Oberhalb der Inversion herrschen dann oft sehr gute Flug- und Fernsichten. Häufig kommen an Inversionen, übrigens auch an Bodeninversionen, sog. Low Level Jets (LLJ) vor. Diese LLJs haben einen ausgeprägten Tagesgang, sie sind nachts häufiger und stärker ausgeprägt als am Tag. LLJs an der Bodeninversion können Ballonen bei der Landeanfahrt oder bei Fahrten in geringen Höhen auch gefährlich werden. Thermikflieger werden mit diesen Starkwindfeldern kaum konfrontiert, weil sie erst fliegen, wenn die Bodeninversion aufgelöst ist. Diagramm: Dr. M. Reiber „Moderne Flugmeteorologie für Ballonfahrer und Flieger“

## Feedback

Um diese praxisorientierte Artikelserie noch passgenauer für uns als Gleitschirmflieger fortzusetzen, wünscht sich der Autor eure Mitarbeit. Er ist über seine Homepage [www.DrMReiber.de](http://www.DrMReiber.de) erreichbar und beantwortet auch gern eure speziellen Anfragen zur Flugmeteorologie des Gleitschirmfliegens. So habt ihr sogar die Möglichkeit, direkt mit ihm in Kontakt zu kommen. Ganz besonders würde er sich über weitere Themenvorschläge von euch freuen.



**4** Fast senkrecht aufsteigender Rauch und starker Dunst, ggf. sogar Nebel, sind typische Wettererscheinungen in einer Bodeninversion. Dadurch, dass die Vertikalbewegung quasi unterbunden ist, findet kein Windenergieaustausch mit höher gelegenen Luftschichten statt. In Bodennähe herrscht also in der Regel schwacher, meist umlaufender Wind. Die Aufstiegshöhe der Rauchfahnen ist dann erreicht, wenn die Wärmeenergie aufgezehrt ist, die der Rauch aus seiner Quelle mitgebracht hat. Das muss nicht die Obergrenze der Bodeninversion sein. Foto: Dr. Manfred Reiber

**5** Starke Dunstanreicherung bis kurz vor Gipfelhöhe der Berge lässt sehr genau die Existenz und die Obergrenze der Bodeninversion erkennen. Bei einiger Übung kann man aus der so „gemessenen“ Höhe der Bodeninversion auch Schlussfolgerungen über den Zeitpunkt der Auflösung dieser Bodeninversion oder, anders gesagt, über den Beginn stärkerer thermischer Prozesse ableiten. Foto: Olaf Groschupf



**6** Interessant auf diesem Foto ist der über viele Kilometer waagrecht verlaufende Abzug der Rauchfahne eines Schiffes. Diese Rauchfahne zeigt nicht die Obergrenze der Bodeninversion an. Die Rauchfahne liegt innerhalb der Bodeninversion. Sie erreicht eben gerade die Höhe, für die die Wärmeenergie ausreicht, die sie vom Schiff „mitbekommen“ hat. Über Land sieht man vor allem im Winter diese waagrecht abziehenden Rauchfahnen, teils aus Hochschornsteinen. Sie zeigen aber auch hier nicht die Obergrenze der Bodeninversion an. Foto: Dr. Manfred Reiber



**7** Das ist die Obergrenze einer dichten, etwa 500 m dicken Hochnebeldecke, die identisch ist mit der Obergrenze der Bodeninversion. Das Bild wurde nach einem Ballonstart in der Nähe von Bellinzona (italienische Alpen) durch diese Hochnebeldecke hindurch fotografiert. Solche massiven Hochnebeldecken lösen sich nur sehr langsam auf. Für Thermikflüge besteht an diesem Tag wohl keine Hoffnung. Foto: Dr. Manfred Reiber



**8** Wir sehen hier eine aufgelockerte Sc-Decke an einer ausgeprägten freien Absinkinversion, der sog. Peplopause. Wenn der Sc durch Ausbreitung aus Cu Wolken entsteht, dann bezeichnet man diese Wolken als Sc cugen (Stratocumulus cumulogenitus, d. h. so viel wie Stratocumulus aus Cumulus entstanden). Solche, oft weit ausgedehnte, aber vertikal flache Wolkenfelder kommen häufig nachts bis zum frühen Vormittag vor. In der Frühe schirmen diese Wolken zunächst die Thermik ab, werden aber bald durch die Sonneneinstrahlung aufgelöst. Dann erst entsteht Thermik und wieder Cu-Bewölkung, die sich wieder an der Peplopause ausbreitet. Dieser zyklische Ablauf hält so lange an, wie eine stabile Hochdruckwetterlage existiert. Bei labiler Schichtung zwischen Boden und Peplopause ist zumindest über die Mittagszeit bis zum frühen Abend mit guter Thermik zu rechnen. Bei einer Höhenlage der Sperschicht von mindestens 2.000 m sind auch weite Thermikflüge möglich. Foto: Dr. Manfred Reiber



**9** Hier handelt es sich um eine dichte Sc-Decke. Diese Sc-Bewölkung entsteht eher nicht durch Ausbreitung von Cu-Wolken. Sie entsteht meist durch starke Dunstanreicherung und die nächtliche Ausstrahlung einer Dunstschicht an der Obergrenze der Peplopause. Im Winter werden solche dichten Sc-Decken nicht aufgelöst, im Sommer erst um die Mittagszeit oder gar noch später, so dass das thermische „Fenster“ nur für kurze Zeit geöffnet werden kann. Es sind höchstens kürzere Thermikflüge möglich. Foto: Dr. Manfred Reiber



**10** Hier ist ein Cumulus mit einem Thermikschlauch zu sehen. An der Peplopause wird die Vertikalbewegung gebremst, die Wolke breitet sich aus, weil sie wegen der Sperschicht nicht weiter aufsteigen kann. Man kann also deutlich die „allgemeine“ Obergrenze der Thermik „sehen“. Thermische Flüge über diese Höhe hinaus sind nicht möglich. Foto: Dr. Manfred Reiber

**11** Eine vom Kraftwerk Lippendorf (nahe Leipzig) erzeugte künstliche Wolke steigt zunächst wegen ihres Wärmeüberschusses nach oben und breitet sich dann in der Peplopausen-Inversion waagrecht aus. Diese Höhe ist nicht unbedingt identisch mit der Obergrenze der Sperrschicht, es ist die Höhe in der die Temperatur der Rauchfahne gleich der Temperatur der Umgebungstemperatur ist. In diesem konkreten Fall wird die waagerechte Rauchfahne aber etwa an der Untergrenze der Inversion liegen. Zu erkennen ist das an der markanten Windgeschwindigkeits- und Windrichtungsänderung, wie sie für Inversionsgrenzen typisch ist. Solche Rauchfahnen lassen sehr gute Rückschlüsse über das Höhenprofil von Windrichtung und Windgeschwindigkeit zu. Foto: Olaf Groschupf



**12** An Inversionen treten oft starke Windscherungen auf (siehe auch Abbildung 3). Oft liegen Schichten mit starkem Wind über Schichten mit schwachem Wind. Wenn Quellwolken in diese „schnellen“ Schichten hineinwachsen bilden sich sichtbare Wolkenwellen, ähnlich wie die durch Wind erzeugten Wasserwellen an der Meeresoberfläche. Diese Wolken zeigen dann die Scherung mit der ihr inne wohnenden Turbulenz an! Häufig muss man in Höhe dieser Wolkenwellen mit Turbulenz rechnen, die für Gleitschirm- und Drachenflieger zur Gefahr werden kann. Foto: Dr. Manfred Reiber



**13** Hier sieht man Wolken mit deutlicher Turbulenzstruktur. Auch diese Wolke ist durch Windscherung entstanden. Bei geringer Luftfeuchte sieht man häufig nur einzelne Wolkenwirbel, was nicht etwa bedeutet, dass die Turbulenz gering ist. Das bedeutet nur, dass die Feuchte relativ gering ist. Wenn die Luftfeuchte sehr gering ist, entsteht gar keine Bewölkung, aber mit Sicherheit auch Turbulenz, die man aber dann leider nicht sehen kann. Diese Art der Turbulenz bezeichnet man als CAT (clear air turbulence). Man kann sie nicht sehen, sie entsteht ja in „klarer Luft“ und sorgt dann immer für einen riskanten Überraschungseffekt, wenn man einfliegt. Foto: Dr. Manfred Reiber



**14** Hier sind sehr schön ausgeprägte Wellenwolken, die durch Windscherung an der Peplopause entstanden sind, zu sehen. Die Aufnahme stammt von einem Ballonfahrer aus den Tagen im Mai 2010, als der Luftraum wegen der Aschewolken des isländischen Vulkans Eyjafjallajökull für Flächenflieger über Deutschland gesperrt war. Diese Wolken weisen auf Turbulenz hin, der Schweregrad der Turbulenz ist schwer einzuschätzen. Wir wissen aber, dass die Turbulenz umso gefährlicher ist, je besser die Wirbelgröße mit der Größe des Fluggerätes übereinstimmt. Außerdem sind textile Fluggeräte, wie Ballone, Gleitschirme und Drachen natürlich mehr gefährdet als Flugzeuge. Foto: Christian Schulz



FÜR MENSCHEN, DIE DIE WELT AM LIEBSTEN VON OBEN SEHEN.

