

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

**„Interpretation von Wolkenbildern und Wetterphänomenen für Piloten und Ballonfahrer“**

**Dr. Manfred Reiber**

**Teil 6: „Divergenzen und Konvergenzen als typische lokale Strömungen im gegliederten Gelände. Ihre Auswirkungen auf Thermikflüge bzw. das Ballonfahren.“**

Im 6. Teil unserer Wetterserie wollen wir nicht wie bisher Wolkenbilder interpretieren, sondern uns mit typischen Strömungsmustern im gegliederten Gelände befassen.

Durch Berge und Gebirge wird das Stromfeld in vielfältiger Weise deformiert. Vor allem für Ballonfahrer, Gleitschirmflieger und Drachenflieger, aber auch für Segel- und Ultraleicht-Flieger, die oft nahe „am Hindernis“ fliegen, spielt das bodennahe Windfeld und seine lokalen Änderungen eine bedeutende Rolle. Thermisch oder auch dynamisch bedingt entstehen häufig durch die Geländeform konvergente bzw. divergente Strömungen, die einerseits das horizontale Windfeld stark deformieren können und andererseits Vertikalbewegungen verstärken bzw. abschwächen und auf diese Weise auch thermische Prozesse und Wolkenbildung beeinflussen.

Wollen wir zunächst die Begriffe Konvergenz und Divergenz in verständlicher Weise erklären:

***Konvergenz***

Als konvergente Luftströmung bezeichnet man das Zusammenfließen von Luft. Dabei fließt im betreffenden Gebiet in der Zeiteinheit mehr Luft zu- als ab. Tiefdruckgebiete sind in Bodennähe z. B. gewöhnlich Konvergenzgebiete. In einer Konvergenz ergibt sich durch das Zusammenfließen von Luft eine aufsteigende Luftbewegung. Diese aufwärtsgerichtete Vertikalbewegung führt zur Auslösung bzw. Verstärkung thermischer Prozesse, zur Wolken- und ggf. zur Niederschlagsbildung.

***Divergenz***

Als divergente Luftströmung bezeichnet man das Auseinanderfließen von Luft. Dabei fließt im betreffenden Gebiet in der Zeiteinheit mehr Luft ab- als zu. Divergenzen treten in Bodennähe gewöhnlich in Gebieten mit hohem Luftdruck auf. Das Auseinanderfließen der Luft führt zu abwärtsgerichteter Vertikalbewegung, es schwächt thermische Prozesse ab oder verhindert sie ganz und gar. Wolkenrückentwicklung oder vielleicht sogar Wolkenauflösung sind die Folge.

Konvergente und divergente Luftströmungen entstehen aber nicht nur in Tief- bzw. Hochdruckgebieten. Sie entstehen überall dort, wo z. B. durch die Gestalt der Erdoberfläche bedingt, Luft zusammen- bzw. auseinanderfließt. Diese Strömungen sind in der Regel von kleinräumiger, lokaler Dimension. Sie beeinflussen aber genau am Ort ihres Vorkommens die Vertikalbewegung und damit thermische, wolkenbildende und ggf. niederschlagsbildende Prozesse. Diese lokalen

Erscheinungen sollte ein Luftsportler gut kennen, um sie für einen konkreten Flug nutzen oder meiden zu können. „Flaches Land“ wird selbstverständlich kaum konvergente bzw. divergente Strömung erzeugen, dafür aber umso stärker unsere Mittelgebirge und natürlich die Alpen.

Wesentliche Ursache konvergenter bzw. divergenter Strömungen im kleinräumigen Scale sind z. B. Querschnittsverengungen („Düsen“) bzw. Querschnittserweiterungen im Gelände und anabatisches Aufsteigen bzw. katabatisches Absinken.

Im Prinzip weiß jeder Luftsportler was man unter anabatischer bzw. katabatischer Luftbewegung versteht. Vielleicht kennt nicht jeder diese „fremden“ Begriffe. Deshalb eine kurze Erklärung mit Hilfe der Abbildung 1.

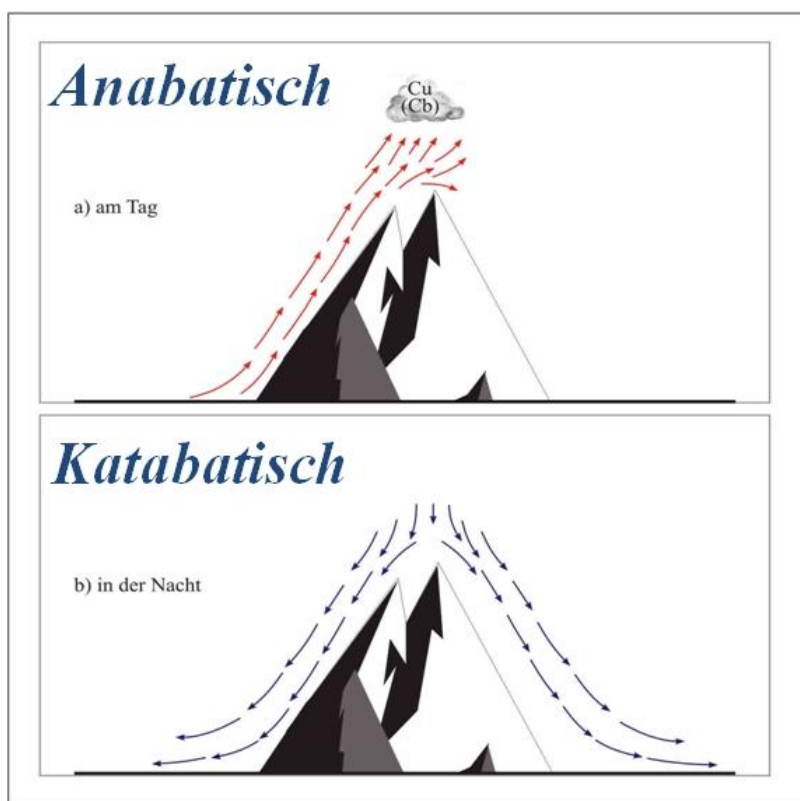


Abbildung 1: „Anabatisches Aufsteigen“ entsteht dann, wenn infolge des erhöhten Strahlungsgewinns am Hang (am Tag bei Sonneneinstrahlung), sich die Luft stärker erwärmt als in der Umgebung und wegen ihrer geringeren Dichte dann aufsteigt. „Katabatisches Abfließen“ setzt dann ein, wenn sich der Hang durch Strahlungsverlust abkühlt (in der Nacht) und dadurch die unmittelbar über dem Hang befindliche Luft kälter wird. Durch die Abkühlung nimmt die Dichte der Luft zu, sie wird schwerer und fließt wie Wasser den Hang hinunter.

Grafik: Dr. Manfred Reiber

Das soll an theoretischen Überlegungen ausreichen, um bei der Betrachtung einiger konkreter Strömungsbilder zu erkennen, wie das Gelände Einfluss auf thermische Prozesse, Wolken- und Niederschlagsbildung nimmt.



*Abbildung 2:* Auf diesem Bild kann man anabatisches Aufsteigen „sehen“. Unmittelbar nach einem Regenschauer scheint wieder die Sonne, die Luft am Hang wird erwärmt, wird leichter als die Umgebungsluft und beginnt aufwärts zu strömen. Wegen der hohen Luftfeuchte kondensiert dabei der Wasserdampf. So wird der Fluss der Warmluft direkt sichtbar. Die Aufwärtsgeschwindigkeit hat in diesem Fall nur etwa 2 m/s erreicht, da ein Teil der Sonnenenergie zuerst für die Verdunstung des Wassers benötigt wurde.

Foto: Dr. Manfred Reiber

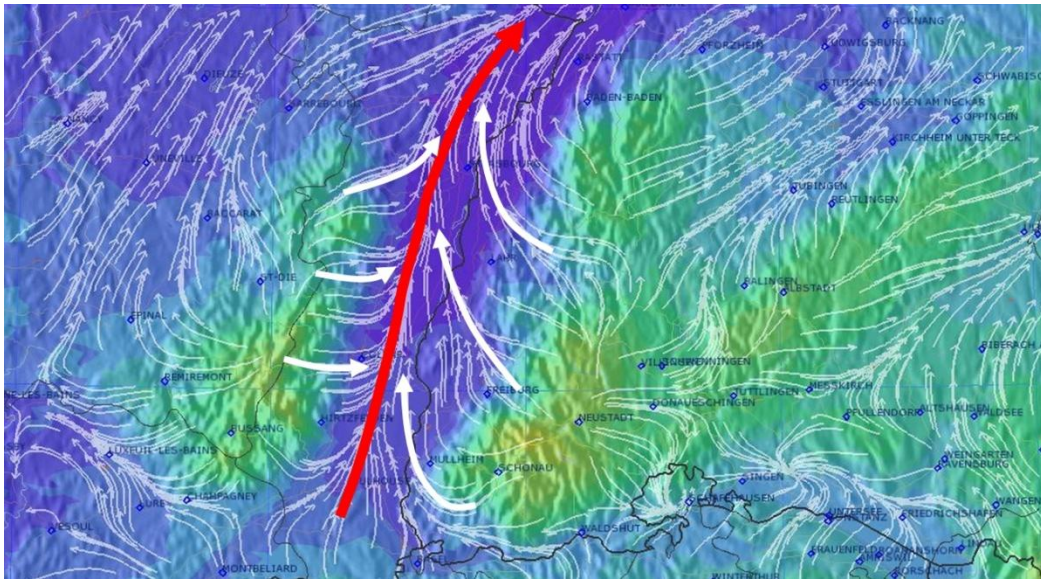


Abbildung 3: Die weißen Pfeile zeigen die Strömung zwischen Schwarzwald und Vogesen am 6. März 2009 früh 7 Uhr MEZ. Es handelt sich um katabatisches Abfließen. Die Kaltluft fließt von den Hängen des Schwarzwaldes und der Vogesen in das Rheintal hinein (weiße Pfeile). Dort konvergiert die Strömung, es bildet sich eine Konvergenzlinie (rote Linie) quasi längs des Rheines aus. Auch abends, wenn die langwellige Ausstrahlung der Hänge schon stärker als die kurzweilige Einstrahlung der Sonne ist, bilden sich häufig solche Konvergenzlinien mit aufwärtsgerichteter Vertikalbewegung, die bis zum späten Abend von Gleitschirm-, Drachen- und Segelfliegern noch zum Höhengewinn genutzt werden können.

Grafik: Dr. Manfred Reiber/Meteoblue

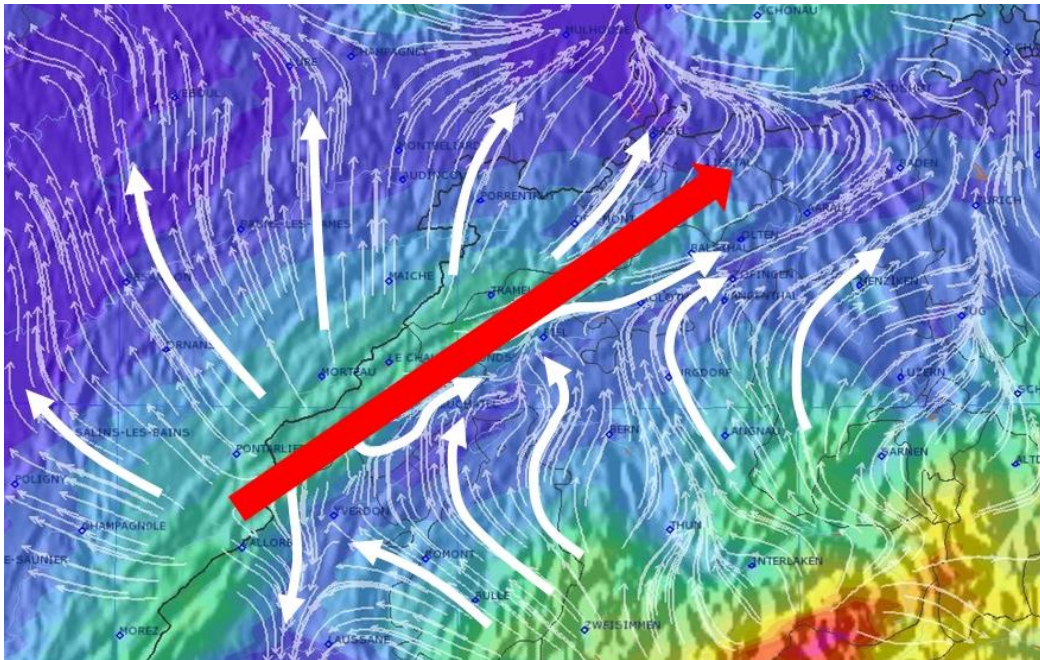
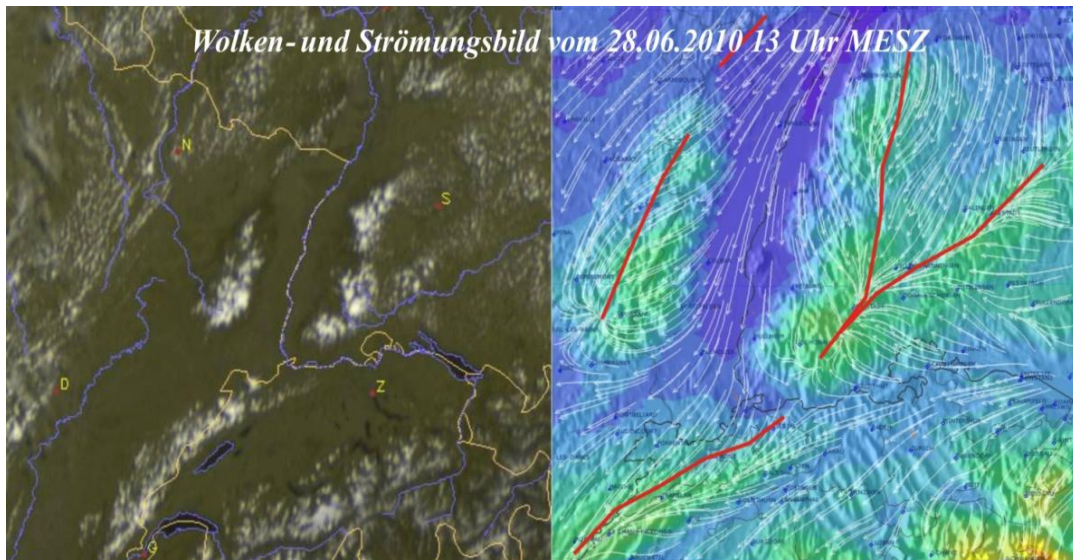


Abbildung 4: Dieses Bild vom 03.10.2009 06 Uhr MEZ zeigt uns, wie komplex katabatisches Abfließen sein kann, wenn verschiedene Gebirge in Interaktion treten. Vom Jura fließt die Luft aus den Gipfelregionen nach NW bzw. SE katabatisch ab. Die nach SE gerichtete Strömung aus dem Jura heraus konvergiert mit dem nach NW gerichteten katabatischen Fluss aus den Alpen. Das führt zu einer Konvergenz mit aufwärtsgerichteter Vertikalbewegung unmittelbar südöstlich des Jurakammes.

Grafik: Dr. Manfred Reiber/Meteoblue



*Abbildung 5:* Dieses Bild zeigt das anabatische Aufsteigen und die Ausbildung von „tragenden Linien“ im Bereich von Jura, Schwarzwald und Vogesen am 28.06.2010 13 Uhr MESZ. Auf der rechten Bildseite ist die Strömung dargestellt (weiße Pfeile und die sich ergebenden Konvergenzlinien (rote Linien)). Längs dieser Linien ist quasi durchgängig mit guter, oft „ruppiger“ Thermik zu rechnen. Direkt sichtbar werden diese Konvergenzlinien auf dem hoch aufgelöstem Satellitenbild (linke Bildseite), wo die stärkste Quellwolkenbildung praktisch längs dieser Konvergenzlinien verläuft.

Grafik: Dr. Manfred Reiber/Meteoblue/DWD



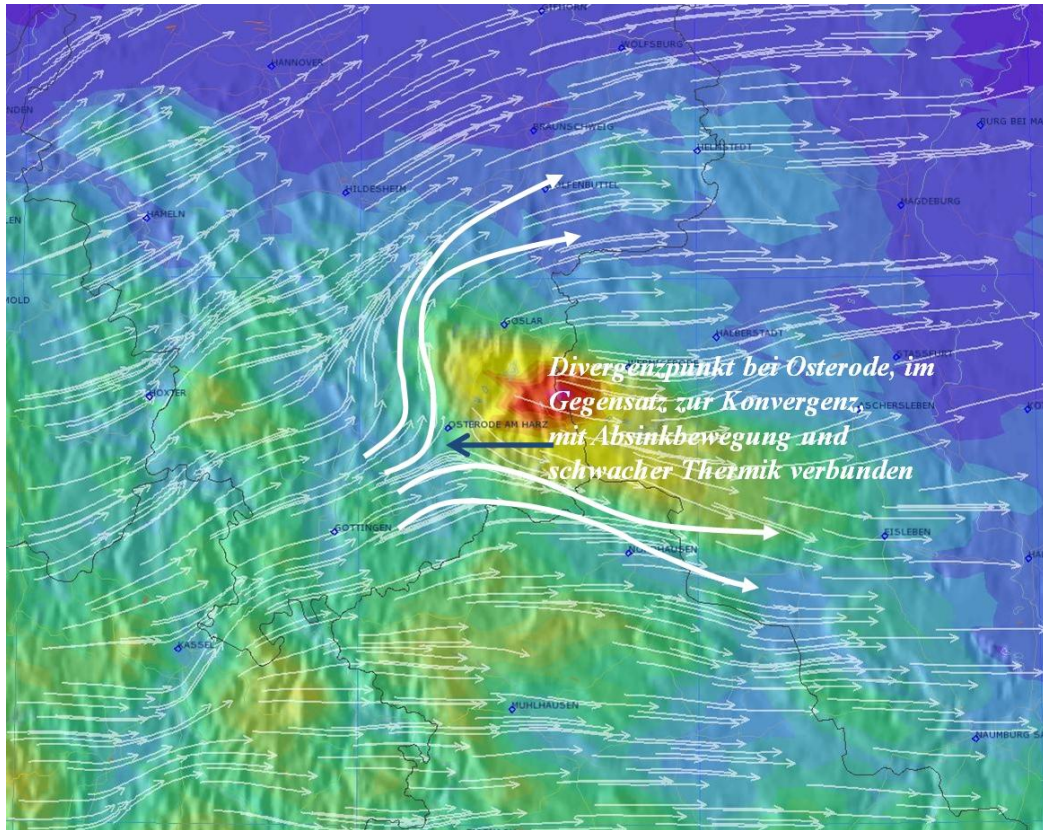


Abbildung 7: Werden einzeln stehende Berge oder Gebirge, wie der z. B. der Harz, angeströmt, dann teilt sich die Strömung. Am Teilungspunkt kommt es dann zur Divergenz und abwärtsgerichteter Vertikalbewegung. Die Folgen sind:

- keine oder nur geringe Thermik im Bereich des Divergenzpunktes
- signifikant verschiedene Windrichtungen auf engstem Raum
- ggf. Ausbildung von „Eckeneffekten“ mit verstärkter Strömung am Rand des Gebirges

Grafik: Dr. Manfred Reiber/Meteoblue

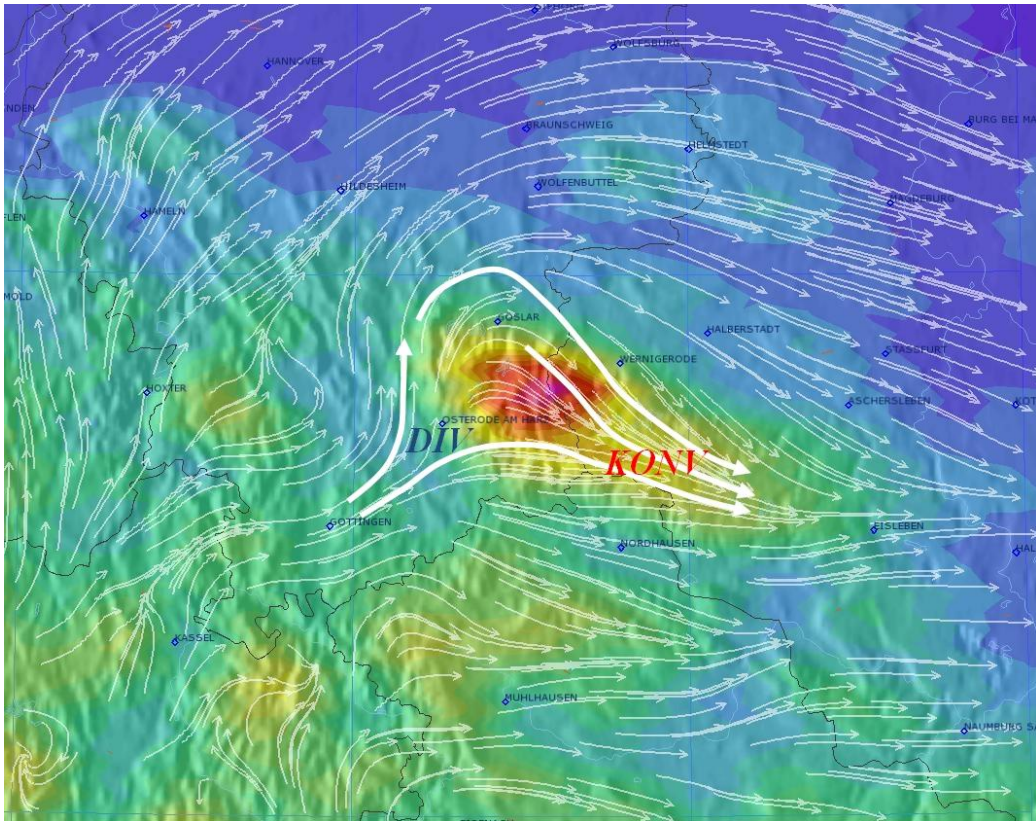


Abbildung 8: Auf dieser Abbildung können wir die Ausbildung einer Divergenz und einer Konvergenz bei der Umströmung des Harzes beobachten. Und wieder ist das Divergenzgebiet mit Absinken und das Konvergenzgebiet mit aufsteigender Vertikalbewegung verbunden. Die Folgen sind verstärkte bzw. abgeschwächte Thermik, Windrichtungsänderungen auf engstem Raum und ggf. Windverstärkungen an den Rändern des Gebirges, bzw. des Berges.

Grafik: Dr. Manfred Reiber/Meteoblue

Das genaue Studium lokaler Strömungsverhältnisse ist also nicht nur interessant, es ist in jedem Fall auch nützlich für einen erfolgreichen Flug!

Der Autor: Dr. Manfred Reiber hat Flugzeugbau und Meteorologie studiert. Er hat langjährige Erfahrungen auf allen Teilgebieten der Flugmeteorologie und Flugwettervorhersage. Er ist als Dozent, Wissenschaftsjournalist und Buchautor tätig und betreut auch Ballonmeetings, Segelflug- und Gleitschirmwettbewerbe. Sein neuestes Lehrbuch ist die „Moderne Flugmeteorologie für Ballonfahrer und Flieger“. Im Internet ist er unter [www.DrMReiber.de](http://www.DrMReiber.de) zu finden.