

Struktur der konvektiven Schicht in den Alpen

In den April- und Juni-Ausgaben des «Swiss Glider» wurden die Skala der Meteo-Modelle und die konvektive Grenzschicht KG beschrieben. Ich möchte euch dazu motivieren, die beiden Ausgaben erneut durchzulesen, um diese Folge richtig zu verstehen. Hier sei lediglich daran erinnert, dass der Temperaturgradient knapp $1^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ und der Temperaturgradient des Taupunkts in der KG knapp $0,2^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ beträgt.



Jean Oberson, www.soaringmeteo.ch



Dans les numéros d'avril et de juin 2009 du «Swiss Glider», les échelles des modèles météo et la couche convective (CC) sont décrites. Je vous invite à relire ces articles pour bien comprendre la suite. Rappelons simplement ici que le gradient de température est proche de $1^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ et que le gradient de température de point de rosée (humidité) est proche de $0,2^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ dans l'air de la CC.

Dementsprechend entwickeln sich die von uns geliebten Thermikschläuche nur in dieser Schicht. Weiter oben, wo die Temperaturgradienten schwächer werden, steigt es nur noch in den grossen Kumuli – dort, wo das Fliegen für uns verboten und gefährlich ist. Nun wollen wir den Einfluss der Alpen auf die Struktur der KG beschreiben, insbesondere auf ihre Breite, ihre Form, ihre Temperatur und ihre Feuchtigkeit.

Als Tool benutze ich ein freies Meteomodell, das unter Linux läuft und von Dr. John W. Glendening – etwas respektlos auch «Dr. Jack» genannt, einem kalifornischen Atmosphärenphysiker und Deltapilot – entwickelt wurde. Das Modell heisst BLIP-RASP («Boundary Layer Information Prediction») und «Regional Atmospheric Soaring Prediction», <http://www.drjack.info>. «Boundary Layer» heisst «Grenzschicht», was tagsüber unserer berühmten, konvektiven Schicht entspricht. Dieses Modell deckt unterschiedliche Fluggebiete auf der ganzen Welt ab. Eine für uns besonders interessante Version ist die RSAP mit hoher Auflösung (auf der Mesoskala beträgt das Gitter $2,2\text{ km}$) vom Veltlin und den Bergamasker Alpen (www.pedrini.info/gfs/), die vor allem am Wochenende aufgeschaltet ist. Die Webseite zeigt verschiedene Karten und berechnet Sondierungen (Vorhersagen), die es ermöglichen, die KG einer bestimmten Alpenregion exakt einzuschätzen. Festgehalten werden nur etwa zehn schöne Tage zwischen dem Spätfrühling und Anfang Sommer. Aufgrund der komplexen und geringen Daten dieser kleinen Stichprobe verzichte ich darauf, eine

Par conséquent, c'est seulement dans cette couche que se développent nos chers thermiques. Plus haut, avec des gradients de température plus faibles, les thermiques peuvent continuer, mais seulement dans de gros cumulus verticaux dont l'utilisation nous est interdite et dangereuse. Il s'agit maintenant de mieux décrire l'influence des Alpes sur la structure de la CC, en particulier sur son épaisseur, sa forme, sa température et son humidité.

L'outil que j'utilise est un modèle météo libre fonctionnant dans l'environnement Linux et développé par un physicien atmosphérique et pilote vélivole californien, le Dr. John W. Glendening, un peu irrévérencieusement surnommé «Dr. Jack». Il s'agit du modèle BLIP-RASP («Boundary Layer Information Prediction») et «Regional Atmospheric Soaring Prediction», <http://www.drjack.info>. «Boundary layer» veut dire «couche limite» ce qui correspond, durant la journée, à notre fameuse couche convective. Ce modèle est implémenté pour différentes régions de vol du monde. Une version particulièrement intéressante pour nous est le RASP haute résolution (à mésoéchelle avec des mailles séparées de $2,2\text{ km}$) de la Valteline et des Alpes Bergamasques (www.pedrini.info/gfs/) en fonction le week-end surtout. Ce site web montre différents cartes et sondages calculés (prévus) qui permettent une bonne évaluation de la CC d'une région alpine. Seule une dizaine de beaux jours de la fin du printemps et du début de l'été peut être retenue. Je renonce à une étude statistique stricte vu la complexité et la rareté des données mais, à partir de ce



Structure de la couche convective alpine

exakte statistische Studie durchzuführen. Doch eine präzise, empirische Synthese ist hingegen durchaus möglich.

Vergleichen wir zuerst die tatsächliche Topographie vor Ort mit derjenigen, die von RASP «gesehen» wird (Abb. 1). Letztere ist vor allem am Rand der Karte etwas vereinfacht. Trotzdem bleiben die Haupttäler erkennbar. Diese notwendige Vereinfachung dient dazu, dass RASP richtig funktioniert und ermöglicht es trotzdem, die Grundmerkmale der kG in einer alpinen Region klar darzustellen. Im Vergleich zum angrenzenden Flachland weist die Atmosphäre auf den Bergkämmen und in den alpinen Tälern um die Mittagszeit einige interessante Besonderheiten auf (Abb. 2 bis 5):

- Knapp über den Kämmen und in den Tälern ist sie zwei bis fünf Grad wärmer. Diese bekannte Tatsache wurde von verschiedenen Autoren bereits oft erwähnt und wird von RASP lediglich bestätigt. Die Tatsache lässt sich so erklären: Die in den Tälern eingeschlossene Luft bildet ein kleines Volumen, das von breiten, sonnigen und gut wärmenden Flächen aufgeheizt wird. In den Bergen ist die Atmosphäre weniger verschmutzt und dunstig, der Boden weniger üppig bewachsen und eher steinig, was eine Erwärmung der Luft begünstigt.
- Oberhalb dieser Erwärmung und in der Nähe der Obergrenze der bodennahen kG stellt man eindeutig eine Abkühlung und eine höhere Luftfeuchtigkeit fest. Damit zeigt RASP ein Phänomen auf, über das

petit échantillon, une synthèse empirique moyenne est réalisable de façon assez évidente et précise.

Comparons d'abord la topographie réelle avec celle «vue» par RASP (figure 1). Cette dernière est simplifiée surtout aux bords de la carte. On reconnaît quand même les principales vallées. Cette simplification du relief est nécessaire pour que RASP fonctionne correctement, mais permet de mettre en évidence les caractéristiques fondamentales de la CC sur une région alpine. Par rapport aux régions plates adjacentes, l'atmosphère des crêtes et des vallées alpines présente, en milieu de journée, quelques particularités intéressantes (figures 2 à 5):

- Elle est plus chaude (2–5 °C) juste au-dessus des crêtes et dans les vallées. Ce fait est connu et rapporté de nombreuses fois par différents auteurs. RASP le confirme. On peut expliquer ceci en imaginant que l'air emprisonné dans les vallées présente un petit volume à chauffer pour de grandes surfaces ensoleillées et chauffantes. L'atmosphère moins polluée et moins brumeuse, ainsi qu'un sol moins couvert de végétation luxuriante et plus rocailleux en montagne, peuvent aussi contribuer à un meilleur réchauffement de l'air.
- Au-dessus de ce réchauffement et aux alentours du sommet de la CC des reliefs, un refroidissement et une humidification de l'air sont clairement identifiables. RASP nous fait ainsi découvrir un phénomène qui, à ma connaissance, est très peu rapporté dans la lit-

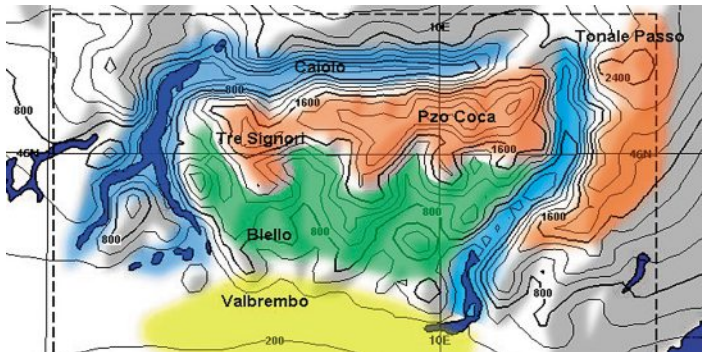


Abb. 1: Karte der besprochenen Region. Rechts: Topographische Karte aus Google Map mit vielen Details des Reliefs. Links: Vereinfachtes Relief des RASP-Modells mit einer Auflösung von 2,2 km. Gelber Bereich: Flachland. Grüner Bereich: Vorgebirge. Roter Bereich: Bergkämme. Blauer Bereich: Blue holes. Valbrembo (im Flachland), Blello (im Vorgebirge), Tre Signori (Kammgebiet) und Caiolo (im Tal) sind vier Lokalitäten, welche für das Profil ausgesucht wurden (berechnete Sondierung) und typisch sind für dieses Gebiet.

Figure 1: Cartes de la région évaluée. A droite, carte topo de Google Map montrant de nombreux détails de relief. A gauche, relief simplifié du modèle RASP à résolution 2,2 km. Zones jaunes: plaine. Zones vertes: contreforts. Zones rouges: crêtes. Zones bleues: blue-holes. Valbrembo (plaine), Blello (contreforts), Tre Signori (crêtes) et Caiolo (vallée) sont les 4 lieux choisis pour les profils (sondages calculés) représentant respectivement les zones typiques.

in der Fachliteratur nur wenig berichtet wird, was aber sehr günstig ist, weil damit die kG nach oben ausgedehnt wird. Die Feuchtigkeit erklärt im Übrigen auch, weshalb auf den Kämmen mehr Kumuli beobachtet werden können.

- Die kG erstreckt sich entlang des Reliefs, sodass sich ihre Obergrenze deutlich über den Kämmen befindet, obwohl sie nicht unbedingt breiter ist. Trotzdem weist die Thermik in den Bergen eine grössere vertikale Ausdehnung auf, weil sie sich von sonnigen Hängen, die tiefer liegen als die Gipfel der Kreten, löst. Dazu kommt, dass der Saugeffekt der in den Bergen häufiger auftretenden Kumuli die Thermik noch verstärkt. Zur Erinnerung: Der Saugeffekt der grossen Kumuli entsteht aus der Energie, die in Form von Wärme freigelassen wird, wenn diese kondensieren. Dies führt zur Erwärmung der Luft in der Wolke und verstärkt somit den Auftrieb dieser Luft.

Die Karte in Abbildung 1 und der Querschnitt in Abbildung 5 fassen diese Eigenschaften zusammen. Die kG scheint im Vorgebirge etwas zerdrückt (Segment b in Abb. 5 und grüner Bereich in Abb. 1), ist also weniger breit als über dem Hauptkamm. Das könnte erklären, weshalb die Thermik an den unteren Hängen nur schwer verwendbar ist, obwohl sich am Gipfel wunderschöne Kumuli bilden. Ganz unten im Tal ist die Atmosphäre stabil; es ist keine markante kG zu erkennen (Segment d', Abb. 5). Die Schicht darüber würde ich als Übergangsschicht bezeichnen, die einer kG gleicht (Temperaturgradient knapp unter $1^\circ/100$ m, Taupunktgradient knapp über $0,2^\circ/100$ m) – als ob die Atmosphäre oberhalb der

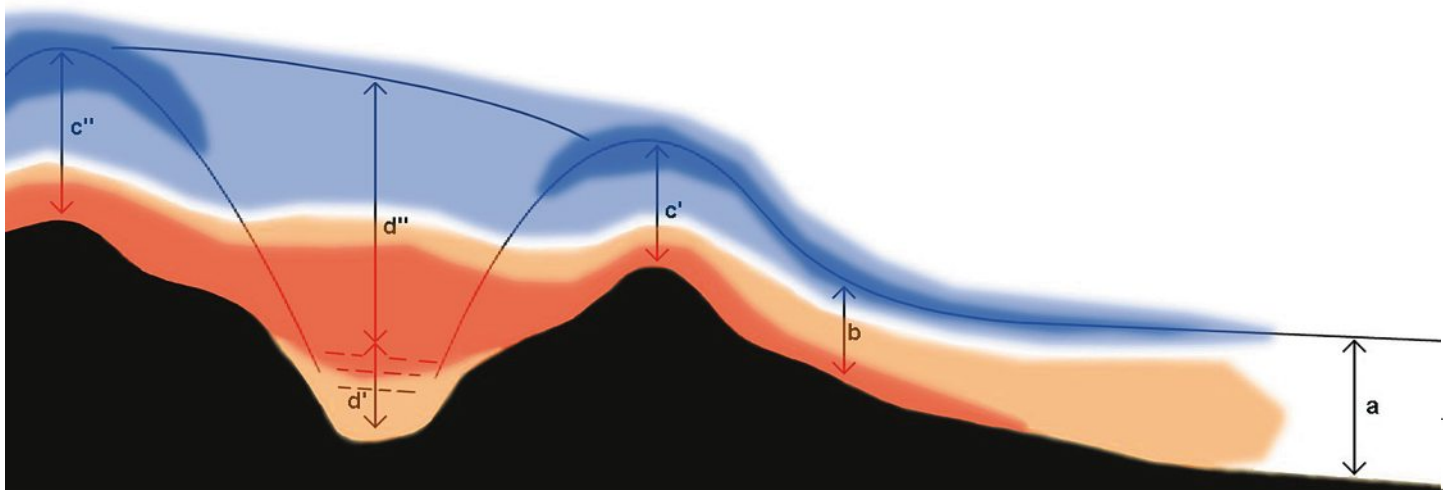
térature et qui est très favorable puisqu'il accentue l'épaisseur de la CC vers le haut. D'autre part, cette humidification explique pourquoi on observe souvent plus de cumulus sur les crêtes.

- La CC suit le relief ce qui entraîne que le sommet de celle-ci est nettement plus haut sur les crêtes alors qu'elle n'est pas forcément plus épaisse. Néanmoins, les thermiques de montagne ont une plus grande extension verticale puisqu'ils partent depuis les pentes ensoleillées, situées à une altitude inférieure par rapport aux sommets des crêtes. De plus, les thermiques sont souvent renforcés par l'effet aspirant des cumulus plus nombreux et fréquents en montagne. Pour mémoire, l'effet aspirant des gros cumulus est dû à la libération d'énergie, sous forme de chaleur, lors de la condensation, ce qui entraîne une augmentation de température, et donc de flottabilité, de l'air dans le nuage.

La coupe de la figure 5 ainsi que la carte de la figure 1 résument ces particularités. On peut observer que la CC semble souvent un peu écrasée, donc moins épaisse, sur les contreforts (segment b sur la fig. 5 et zone verte sur la fig. 1) de la crête principale. Ceci pourrait expliquer pourquoi les thermiques ne sont pas toujours faciles à négocier sur les premières pentes d'une montagne dont les sommets engendrent pourtant de superbes cumulus. Au fond de la vallée, l'atmosphère est stable sans CC significative (segment d', fig. 5). Au-dessus je parlerais d'une couche de transition qui ressemble à une CC (gradient de température légèrement inférieur à $1^\circ/100$ m et gradient de point de rosée légèrement supérieur à $0,2^\circ/100$ m) comme si l'atmosphère au-dessus des crêtes «détaignait» sur

Abb. 5: Grober Nord-Süd-Querschnitt. Bereich der kG: a = Valbrembo, b = Blello, c' und c'' = Hauptkämme (Tre Signori, Pizzo Coca, Tonale Passo). Bemerkenswert ist, dass der Tonale Passo eigentlich ein Pass ist, RASP ihn aber aufgrund seiner Enge nicht als solcher erkennt. Caiolo = d' (stabil) und d'' (Übergangsschicht). Gelb-rote Zone = wärmere Luft; blaue Zone = kältere und feuchtere Luft als diejenige über dem angrenzenden Tal (Valbrembo) auf gleicher Höhe.

Figure 5: Coupe sommaire nord-sud de la région. CC en a: Valbrembo, en b: Blello, en c' et c'', crêtes principales (Tre Signori, Pizzo Coca, Tonale Passo). A noter que Tonale Passo est en réalité un col mais qui, en raison de son étroitesse, n'est pas «vu» par RASP comme tel. CC sur Caiolo en d' (stable) et d'' (transition). Zones jaunes-rouges = air plus chaud et zones bleues = air plus frais et plus humide que l'air au-dessus de la plaine adjacente (Valbrembo), à altitude correspondante.



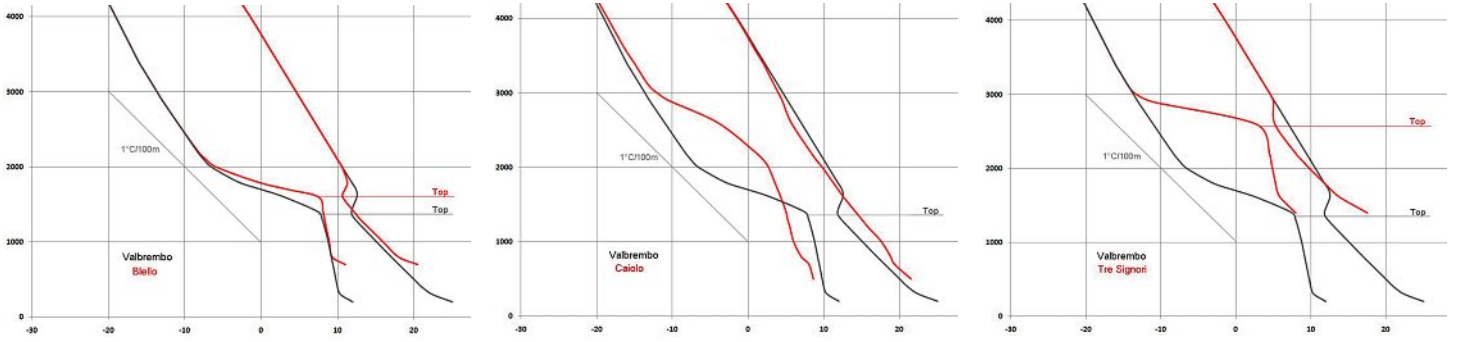


Abb. 2 bis 4: Vergleich der vier typischen Profile um 12 Uhr Z (ca. 14 Uhr Lokalzeit). Links ist die Feuchtigkeitskurve als Taupunkttemperatur dargestellt. Rechts ist die Temperaturkurve. Je näher sich die Feuchtigkeits- und die Temperaturkurven kommen, desto feuchter ist die Luft. So stellt man fest, dass die Luft im oberen Bereich der kG (Top) vor allem auch am Relief sehr feucht ist. Es scheint, dass nicht immer eine Temperaturinversion im oberen Bereich der kG vorhanden ist.

Figures 2 à 4: Comparaisons entre les 4 profils typiques à 12 Z (env. 14 h locales). A gauche, courbes d'humidité en température de point de rosée. A droite, courbes de température. Plus la courbe d'humidité est proche de celle de la température et plus l'air est humide. On remarque ainsi que l'air est très humide au sommet (Top) de la CC, surtout sur le relief. Une inversion de température au top de la CC ne semble pas toujours présente.

Kämme auf die Atmosphäre im Tal «abfärben» würde (Segment d'', Abb. 5), möglicherweise aufgrund der lokalen Brisen, die sich gegenseitig ausgleichen. Die Täler sind dementsprechend typische «blue holes» (Abb. 6). Vor allem dann, wenn sie breit sind und sich darin ein See befindet. Das erklärt, warum Piloten oft das Gefühl haben in «Seidenluft» zu fliegen, nachdem sie die letzte, turbulente Thermik verlassen haben und ein breites Tal queren. Entlang der tief liegenden, seitlichen Bergwände befindet sich wahrscheinlich eine schmale kG, die vom Talwind seitwärts verblasen wird. Damit wird deutlich, warum die Thermik dort besonders schwach und turbulent ist.

Aufgrund dieser Stichprobe lässt sich keine klare, auf RASP basierende Schlussfolgerung über die Winde ziehen. Diese sind jedoch vielen Piloten bekannt und in der Hängegleiter-Wetterliteratur mehr oder weniger gut beschrieben. Jeder erfahrene Pilot weiss, dass die lokalen Winde und die Thermik umso sicherer und einfacher zu verstehen und auszunutzen sind, je schwächer die allgemeinen Winde sind. Eine letzte Kleinigkeit: Am Morgen entwickelt sich die kG über den Kämmen schneller als im Tal. Demzufolge sind die Osthänge oft früher für morgendliche Thermikflüge geeignet. Der Grund dafür ist, dass die nächtlichen Temperaturinversionen in Bodennähe auf den Gipfeln schwächer sind als in den Tälern. Tatsächlich fliesst die sich nachts am Boden abkühlende Luft rasch von den Gipfeln in die Täler ab, wo sie sich staut. Selbstverständlich lässt sich eine schwache Inversion tagsüber schneller zerstören als eine starke (Abb. 7).

l'atmosphère de la vallée (segment d'', fig. 5) probablement grâce aux brises locales mutuellement compensatrices. Les vallées, surtout si elles sont larges et contiennent un lac, sont donc typiquement des «blue-holes» (figure 6). C'est pourquoi le pilote a souvent l'impression de voler dans de «l'huile» lors d'une grande transition au-dessus d'une vallée après avoir quitté les turbulences de son dernier thermique. Les parois latérales en basse altitude de ces vallées ont probablement une mince CC, balayée de travers par la brise de vallée. On peut donc comprendre pourquoi les thermiques à ce niveau sont particulièrement chétifs et turbulents.

A cause du faible échantillonnage, je ne peux pas tirer de conclusions claires sur les vents à partir du RASP. Mais ceux-ci sont mieux connus des pilotes et sont décrits plus ou moins bien dans les ouvrages météo pour vol libre. Tout pilote expérimenté sait que plus le vent météo général est faible et plus les thermiques et les brises locales sont sécurisants et faciles à comprendre et à exploiter. Un dernier petit détail peut être relevé. La CC se forme plus vite, dès le matin, sur les crêtes qu'en plaine. C'est pourquoi les faces est sont souvent précocement propices au vol thermique du matin. On peut expliquer ceci par le fait que l'inversion nocturne de température au sol est moins marquée sur les sommets qu'en plaine ou au fond des vallées. En effet, l'air qui se refroidit durant la nuit au contact du sol descend rapidement des sommets vers la plaine ou au fond des vallées pour s'y accumuler. Une faible inversion est évidemment plus rapidement dissipée par le réchauffement diurne qu'une forte inversion (figure 7).

Abb. 6: Die tiefe Obergrenze des Nebels (Pfeil) weist auf ein blue hole hin, währenddem sich in den Bergen schöne, konvektive Wolken bilden.

Figure 6: Le sommet très bas de la brume (flèches) est un signe de «blue-hole» alors que de beaux nuages convectifs se développent sur les montagnes.

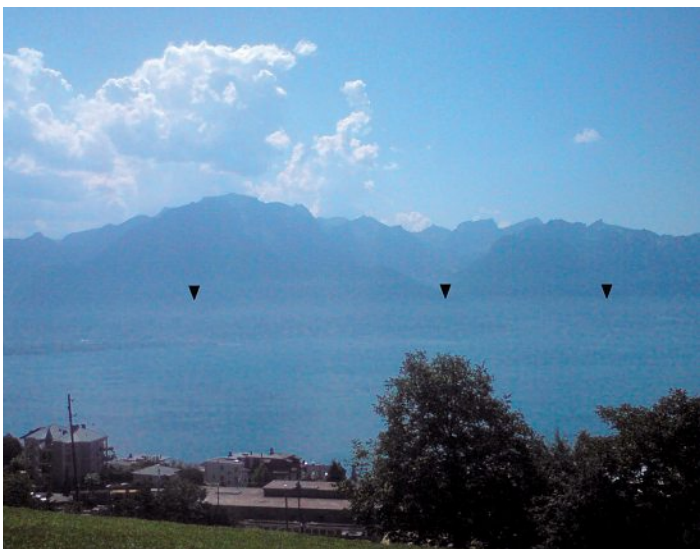


Abb. 7: Nächtliche Inversion (blau) und morgendliche kG (orange). (Nach C. David Whiteman, Mountain Meteorology, Oxford University Press, 2000)

Figure 7: Inversion nocturne en bleu et CC matinale en orange. Adapté d'après C. David Whiteman. Mountain meteorology. Oxford University Press, 2000.

