



# Atmosphärische Messung im Oberwallis

Während den Segelfluglagern im Sommer 1979, 1981 und 1982 führte Dr. Bruno Neiningen\* auf dem Flugplatz Münster atmosphärische Messungen mit Radiosonden durch. Physiker und Segelfluggpilot Bruno Neiningen war zu dieser Zeit Direktor des Instituts für Atmosphärenphysik an der ETH (LAPETH). Hier eine Zusammenfassung seiner wichtigsten Ergebnisse und Schlussfolgerungen. Das Goms ist der oberste Teil des Rhonetals, liegt NO-NW-orientiert, erstreckt sich über eine Länge von 35 km und fällt von 1300 m auf 800 m ab. Für Hängegleiterpiloten am bekanntesten ist das Fluggebiet Fiesch.

Durant les étés de 1979, 1981 et 1982, lors des camps vélivoles de l'aérodrome de Münster, dans le Goms (vallée de Conches), des mesures atmosphériques sont réalisées, notamment par radiosondage, par le Dr Bruno Neiningen\*, physicien et pilote de planeur, à l'époque directeur de l'institut de physique atmosphérique (LAPETH) de l'EPFZ. Je résume ici les deux principaux résultats et conclusions parus dans des articles scientifiques. Le Goms est la partie la plus en amont de la vallée du Rhône. Cette vallée est orientée NE-NW dans le sens du fleuve, s'étend sur environ 35 km et descend de 1300 m à 800 m d'altitude. Elle abrite le fameux site de vol de Fiesch.



Jean Oberson [www.soaringmeteo.ch](http://www.soaringmeteo.ch)

## Temperaturkurve und empfangene Wärme

Die Menge an empfangener Wärme per Raummasse, welche die Atmosphäre des Goms während eines sonnigen Tages erhält, ist 1,5 bis 2 Mal grösser als diejenige über einer Ebene, z.B. in der Region Payerne (Abb. 1). Dieser Unterschied hat nichts mit der stärkeren Einstrahlungskraft der Sonne zu tun; schliesslich befinden sich beide Gegenden auf dem ungefähr gleichen Breitengrad. Hauptgrund für dieses Phänomen ist, dass das eingeschlossene Luftvolumen im Goms viel kleiner

## Courbes de température et chaleur reçue dans l'atmosphère de la vallée

La quantité de chaleur par unité de volume reçue par l'atmosphère de la vallée de Conches durant une journée ensoleillée est 1,5 à 2 fois plus importante que dans une région plate, par exemple autour de Payerne, dès le lever du soleil (figure 1). Ce n'est pas à cause de la puissance du soleil, puisque la latitude est presque la même. La raison principale de ce phénomène est que le volume de l'air empri-

\* An dieser Stelle ein herzliches Dankeschön an Bruno Neiningen für seine Freundlichkeit und Geduld. Einerseits hat er mir erlaubt, über seine wissenschaftlichen Berichte zu schreiben, andererseits hat er sich die Zeit genommen, all meine Fragen zu beantworten und diesen Text auf seine Richtigkeit zu überprüfen.

\* Un grand merci à Bruno Neiningen lui-même pour son amabilité et sa patience. D'une part, il m'a autorisé à écrire sur ses articles. D'autre part, il a pris le temps de répondre à mes questions et s'est spontanément proposé pour la relecture de ce texte.

## Mesures atmosphériques dans le Haut-Valais

en



Martin Scheel

Grimset

ist, verglichen mit demjenigen über einer flachen Gegend. Erinnern wir uns: Die Atmosphäre wird vor allem von der sonnenbestrahlten Bodenoberfläche aufgewärmt (zuerst durch Leitung, dann durch Konvektion) und viel weniger direkt von der Sonne (Strahlung).

Die Temperaturkurve wurde empirisch bestimmt; jeweils am Morgen mithilfe der Radiosonde von Payerne um Mitternacht (oberer Teil der Kurve), der naheliegenden Meteostationen wie Jungfrauoch oder Gütsch, und am Boden auf dem Flugplatz Münster (Abb. 2). Wenn man diese Temperaturkurve kennt und auch weiss, wie viel Wärme ein bestimmter Ort üblicherweise von der Atmosphäre maximal erhält, dann kann man die Höchsttemperatur der Luft in Bodennähe ziemlich genau vorhersagen. Diese Wärmemenge ist proportional zur grauen Fläche in der Abbildung 2. Von der Höchsttemperatur ausgehend kann man schliesslich eine Linie mit  $-1^{\circ}\text{C}/100$  (die berühmte Trockenadiabate) bis zur Temperaturkurve am Morgen ziehen (Top). Die so erstellte Kurve ist die Prognose für den Nachmittag. Der Teil unterhalb von «Top» entspricht mit  $-1^{\circ}\text{C}/100$  m der lokalen konvektiven Schicht. Die Erfahrung zeigt, dass die thermischen Bedingungen in diesem Gebiet schwach sind, wenn sich die Spitze dieser Schicht unter 3700 m befindet.

Eine weitere logische Konsequenz – Gaudenz Truog beschrieb dies bereits 1979 – der ausserordentlichen Wärme der Luft im Goms ist folgendes: die Temperatur in den tiefen Schichten der Berge ist höher

sonné dans la vallée est beaucoup plus petit par rapport à la surface chauffante que dans une région plate. Rappelons en effet que le réchauffement de l'atmosphère se fait surtout indirectement par le sol sous-jacent ensoleillé (par conduction puis par convection) plutôt que directement par le soleil (rayonnement).

Une méthode empirique pour déterminer la courbe de température matinale dans la vallée est élaborée à partir du radiosondage de Payerne de minuit (partie supérieure de la courbe), à partir des mesures des stations météo suisses voisines (par exemple Jungfrauoch, Gütsch etc.) et localement, à partir des mesures au sol à l'aérodrome de Münster (figure 2). Connaissant cette courbe de température et la quantité maximale habituelle de chaleur reçue localement dans l'atmosphère, il est possible de prévoir assez précisément la température maximale de l'air près du sol. En effet, cette quantité de chaleur est proportionnelle à la surface grise sur la figure 2. Depuis la température maximale, on peut finalement tracer une droite de  $-1^{\circ}\text{C}/100$  m (la fameuse adiabatique sèche) jusqu'à l'intersection de la courbe matinale (top). La courbe obtenue est celle, prévue, de l'après-midi. Sa portion inférieure en dessous de top, avec ses  $-1^{\circ}\text{C}/100$  m correspond à la couche convective locale. L'expérience montre que si le sommet de cette couche est inférieur à 3700 m, les conditions thermiques sont faibles dans la région.

als diejenige auf der entsprechenden Höhe im Mittelland, z.B. auf 1500 m (Abb. 3). Zur Erinnerung: Die Wärme der Luft, die aus der Sonnenenergie stammt, und die Temperatur der Luft, die aus der Bewegung der Moleküle resultiert, sind zwar miteinander verwandt, aber zwei unterschiedliche Phänomene!

Die Wolkenbasis hängt von der Taupunkttemperatur  $T_d$  (Luftfeuchtigkeit) am Boden ab. Ist  $T_d$  hoch (sehr hohe Luftfeuchtigkeit), dann ist die Wolkenbasis eher tief – und umgekehrt. Ist die Luft sehr trocken, gibt es in der Höhe keine Kondensation und in der Folge Blauthermik. Die Statistik zeigt, dass  $T_d$  in Münster am Nachmittag etwa gleich ist wie die Tiefsttemperatur der vergangenen Nacht am gleichen Ort, und dass es eine gute Korrelation gibt zwischen diesem letzten Wert, den man einfach messen kann, und der regionalen Wolkenbasis. Dies komplettiert die Mittel der Wettervorhersage.

Angesichts der jüngsten Computermodelle, die im Internet einfach zu finden sind und eine Wettervorhersage auf Mesoskala ermöglichen, erscheinen diese statistischen und empirischen Methoden etwas veraltet. Meiner Meinung nach sind sie dennoch interessant und tragen zum Verständnis bei, was in diesem Tal so alles abläuft. Schliesslich machen es die modernen Modelle nicht anders – nur ist ihre Arbeitsweise viel komplexer und zielgerichteter, was den physischen Gesetzen der Atmosphäre besser entspricht.

### Wind im Goms

Die Bauern wissen schon lang, dass hier der Fallwind oder «heitere Wind» aus Nordost vorherrscht, vor allem am Nachmittag bei schönem Wetter. Der seltene «graue Wind», der von Südwesten her talaufwärts bläst, lässt hingegen eher auf schlechtes Wetter deuten (Max Bouët, 1972). Sogar die Form und Neigung der Bäume widerspiegeln diese Tatsache und zeigen, dass der Bergwind dominanter ist als der Talwind (Yoshino, 1964). Auch die konstanten und präzisen Messungen von Bruno Neiningen über rund 30 Schönwettertage bestätigen, dass der Fallwind beim Talende in Münster dominiert (Abb. 4). Dies widerspricht der allgemein vorherrschenden Auffassung, dass der Wind tagsüber jeweils talaufwärts bläst. Eine solche Abweichung von der Norm ist allerdings auch im Oberengadin zu beobachten: Dort bläst der soge-

Une autre conséquence évidente, déjà décrite par Gaudenz Truog (1979), de l'excès de chaleur dans l'air de la vallée est que la température dans les basses couches est plus élevée en montagne que sur le Plateau suisse à altitude identique, par exemple vers 1500 m (figure 3). Pour rappel, la chaleur dans l'air qui représente l'apport d'énergie solaire et la température de l'air qui représente son degré d'agitation moléculaire sont liées, mais sont deux phénomènes différents!

La base des cumulus dépend de la température de point de rosée ou  $T_d$  (humidité de l'air) au sol. Si  $T_d$  est élevée (air très humide) la base des cumulus est peu élevée et vice-versa. Si l'air est très sec, la condensation en altitude n'est pas possible, les thermiques sont bleus. Or statistiquement, on trouve que la  $T_d$  de l'après-midi à Münster est environ égale à la température minimale de la nuit précédente au même endroit et qu'il y a une bonne relation entre cette dernière valeur, facilement obtenue, et la base des cumulus dans la région. Ceci complète ainsi l'outil de prévision.

Ces méthodes statistiques et empiriques de prévisions peuvent paraître un peu désuètes face à l'apparition récente des modèles informatiques à mésoéchelle pour la prévision météo, aisément disponibles sur le web. Il me paraît néanmoins intéressant de les exposer ne serait-ce que pour comprendre ce qui se passe dans cette vallée. En définitive, les modèles font un peu la même chose mais de façon beaucoup plus complexe et déterministe, ce qui est plus cohérent par rapport aux lois de la physique atmosphérique.

### Les vents dans la vallée

Les paysans du coin savent depuis longtemps que le vent descendant, «der heitere Wind», c'est à dire du nord-est, est prédominant dans le haut Goms, en particulier en cas de beau temps durant l'après-midi, tandis que le vent montant, «der graue Wind», du sud-ouest, moins fréquent, annonce plutôt l'arrivée du mauvais temps (Max Bouët, 1972). Même les arbres ont de la mémoire puisque leur forme et leur inclinaison suggèrent que le flux d'amont l'emporte sur le flux d'aval (Yoshino, 1964). Les enregistrements continus et plus précis du vent de Bruno Neiningen sur une trentaine de jours ensoleillés confirment la prédominance du vent descendant au fond de la vallée à Münster (figure 4).

Abb. 1 Fig. 1

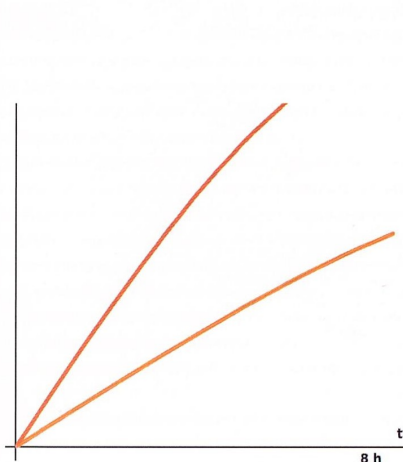


Abb. 2 Fig. 2

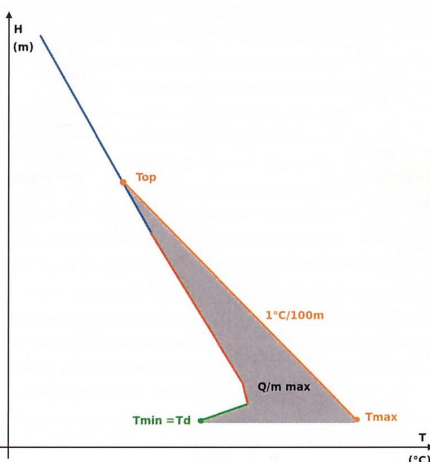


Abb. 3 Fig. 3

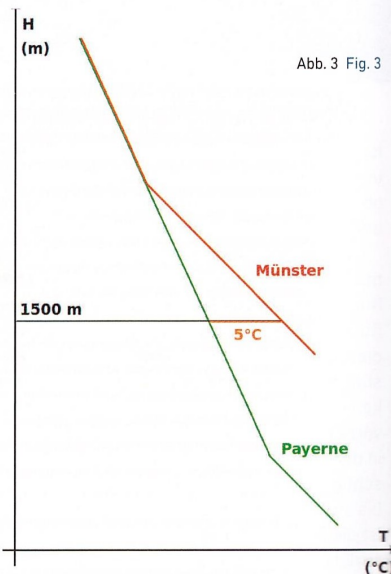


Abb. 1: Grössenordnung der Menge Wärme pro Luftmasseneinheit  $Q/m$ , die im Goms (rot) und über den flachen Regionen Zentraleuropas (orange) in die Atmosphäre ausgestrahlt wird. Zeit (t) nach Sonnenaufgang. Figure 1: Ordre de grandeur de la quantité de chaleur par unité de masse d'air  $Q/m$  reçue par l'atmosphère dans le Goms (rouge) et au-dessus des terrains plats en Europe centrale (orange). Heures (t) après le lever du soleil. | Abb. 2: Blaue Kurve der Radiosonden (Payerne, Milano usw.). Rote Kurve der naheliegenden Wetterstationen. Grüne Kurve der lokalen Messungen am Boden. Diese drei Kurven bilden zusammen das zu erwartende Wetterprofil im Goms am Morgen. Die orange Kurve, die ab Top blau wird, bildet die Temperaturprognose für den Nachmittag.  $Q/m$  max. ist die graue Fläche, die proportional zur maximalen Wärme ist, die in die Atmosphäre des Tals ausgestrahlt wird. Dank dieser Fläche kann man die maximale Temperaturkurve am Boden einschätzen (vorhersagen):  $T$  max.  $H$  = Höhe in m. Top ist der Gipfel der konvektiven Schicht. | Figure 2: Courbe bleue issue de radiosondages (Payerne, Milan etc.). Courbe rouge issue des stations suisses voisines. Courbe verte issue des mesures locales au sol. Ces trois courbes représentent ensemble le profil probable du matin dans le Goms. La courbe orange puis la courbe bleue au-dessus du top représente la courbe de température prévue dans l'après-midi.  $Q/m$  max est la surface grise qui est proportionnelle à la chaleur maximale reçue dans l'atmosphère de la vallée. Cette surface permet d'estimer (prévoir) la température maximale de l'air au sol:  $T$  max.  $H$  = altitude en m. Top est le sommet de la couche convective. | Abb. 3: Vergleich der Temperaturkurven (Radiosonden) an einem sonnigen Nachmittag über Payerne und Münster. Als Grössenordnung beträgt der Unterschied im Durchschnitt 5°C auf 1500 m. Figure 3: Comparaison des courbes de températures (radiosondages) d'un après-midi ensoleillé au-dessus de Payerne et de Münster. Comme ordre de grandeur, on trouve en moyenne une différence de 5°C vers 1500 m.

nannte Malojawind das Bergell herauf über den Malojapass hinweg und weiter talabwärts nach Samedan. In beiden Fällen werden die Täler nicht zuoberst am meisten erwärmt, sondern etwas weiter unten. Dort bildet sich dann eine thermische Depression, welche die Luft von weiter oben und unten ansaugt.

Konkret ergibt das für das Goms folgendes Schema (Abb. 5): Der Talwind, der ganz normal das Haslital hinaufbläst (1), bleibt nicht am Grimsel (2) stehen, sondern fließt weiter und taucht recht heftig in Richtung NO ins Goms hinunter (3). Erfahrene Fiescher Piloten kennen diese Gefahr: Fliegen sie am Grimselpass zu tief, werden sie hinuntergespült. Auf der anderen Seite bläst der Talwind aus Brig in Richtung SW und schwächt auf dem Weg nach Fiesch immer mehr ab (4). Diese beiden gegenläufigen Winde (3) und (4) treffen dann irgendwann aufeinander und bilden eine aufsteigende Konvergenz (5), in der man manchmal auch soaren kann. Diese Zone bewegt sich im Lauf des Tages von Ulrichen (3) nach Niederwald (5). Diese regionalen Konvergenzonen sind für die Thermik besonders günstig, was den guten Ruf von Fiesch als Fluggebiet bestätigt. Wer hat am späten Nachmittag nicht schon die schönen Ablösungen über Bellwald (6) genossen, die bis fast in die Talmitte reichen!? In 90% der Fälle wurde bei solchen Situationen ein Gegenfluss festgestellt, der zwischen 2000 und 3000 m von SW her den Fallwind am Ende des Tals kompensiert (7). Noch weiter oben herrschen die regionalen Winde, hier zum Beispiel aus NW (8). Wenn der Wind am Boden von SW bläst, was selten der Fall ist, kann man zwischen 2000 und 3000 m auch einen Gegenfluss von NO feststellen. Bei feuchtem Wind aus Norden kondensiert die vom Haslital kommende Luft vor der Grimsel. Dann bildet sich dort aufgrund der orographischen Hebung eine Wolkensperre, die sogenannte Grimselschlange (Abb. 6), verbunden mit einem Föhn Effekt im Goms und einem am Ende des Tals verstärkten NO-Wind.

Ceci paraît contraire à la notion classique de brise de vallée diurne et remontante. Une telle «anomalie» est pourtant bien connue aussi dans la Haute-Engadine sous le nom de «vent de la Maloja», qui est la brise remontante du val de Bregaglia traversant le col de la Maloja et continuant en descendant vers Samedan. Dans ces cas particuliers, le réchauffement des vallées ne se produit pas à leur partie la plus élevée mais un peu plus bas. Ceci crée à ce niveau une dépression thermique qui aspire l'air en amont et en aval.

Concrètement, cela donne pour la vallée de Conches le schéma suivant (figure 5): la brise de vallée qui remonte normalement du Haslital (1) ne s'arrête pas au Grimsel (2), mais le traverse puis plonge assez violemment dans le Goms avec une direction NE (3). D'ailleurs, les pilotes expérimentés volant souvent à Fiesch connaissent bien le danger de survoler trop près le col du Grimsel. D'autre part, la brise de vallée remonte depuis Brigue, en s'affaiblissant en direction de Fiesch avec une direction SW (4). Les deux brises (3) et (4), opposées, doivent s'affronter, ce qui crée une zone ascendante de convergence (5) parfois utilisable pour le soaring. Cette zone se déplace progressivement en cours d'après-midi de Ulrichen (3) à Niederwald (5). Les zones régionales de convergence sont particulièrement propices aux thermiques, ce qui explique la réputation justifiée du site de vol de Fiesch. Qui n'a pas expérimenté, en fin d'après-midi, de belles ascendants se détachant de la crête de Bellwald (6) et s'élevant presque au milieu de la vallée! Un courant compensatoire dit de contre-flux, opposé au vent du fond de vallée, autrement dit du SW, soufflant entre 2000 et 3000 m d'altitude (7), est mis en évidence durant ces expériences dans environ 90% des cas. Plus haut, c'est le vent météo général qui domine, ici par exemple de NW (8). Dans les plus rares cas de vent remontant du SW au sol, un contre-flux du NE entre 2000 et 3000 m, moins fréquent, est aussi observable. En cas de vent météo humide du secteur nord, la brise remontante du Haslital se condense avant le Grimsel, ce qui entraîne la formation d'un barrage de nuages par soulèvement orographique de l'air, connu sous le nom de «Grimselschlange» – serpent du grimsel (figure 6), associé à un effet de foehn dans le Goms et à un vent du NE descendant renforcé au fond de la vallée.

Abb. 4 Fig. 4

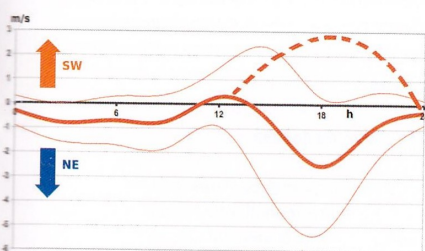


Abb. 5 Fig. 5



Abb. 6 Fig. 6

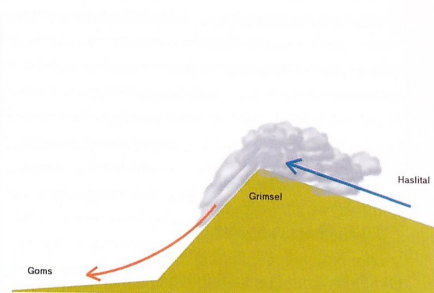


Abb. 4: Durchschnitt der Winde in Münster über etwa 30 Schönwettertagen (dicke rote Kurve). Y-Achse: Windstärken in m/s. SW = aufwärts blasender Talwind. NE = Fallwind. X-Achse: Zeit (h) im Verlauf des Tages. Schmale rote Kurven = Extremwerte (Standardabweichung). Die dicke, rot gestrichelte Kurve ist diejenige, die man erwarten könnte = Talwind am Nachmittag. In Wirklichkeit setzt nur ein schwacher Talwind gegen Mittag und nur für ein bis zwei Stunden ein. Figure 4: Moyenne (courbe rouge épaisse) des vents à Münster durant une trentaine de jours ensoleillés. En y vitesses des vents en m/s. SW = vent de vallée remontant. NE = vent descendant. En x heures h de la journée. Courbes rouges fines = Valeurs extrêmes (écart type). La courbe rouge épaisse discontinue est celle à laquelle on s'attendrait normalement = brise de vallée de l'après-midi. En réalité, la brise de vallée, faible, ne s'observe en moyenne que pendant une heure ou deux vers midi. | Abb. 5: Übliches Windschema im Goms. Siehe genaue Beschreibung im Haupttext. Figure 5: Schéma habituel des vents dans le Goms. Voir description dans le texte principal. | Abb. 6: Wolkensperre aufgrund einer orographischen Hebung der Luft (Grimselschlange). Figure 6: Nuages par soulèvement orographique de l'air formant le «Grimselschlange».