

Das Emagramm – Möglichkeiten und Grenzen der Thermikprognose für die Fluggebiete

Die Radiosonde

Von vielen Punkten der Erdoberfläche aus steigen zweimal täglich Wetterballone in den Himmel, um die Atmosphäre zu sondieren. Diese Ballone, auch Radiosonden genannt, haben wenige Meter Durchmesser, sind unbemannt und mit einer Reihe von Messgeräten ausgerüstet. Gemessen wird die Temperatur, die Luftfeuchtigkeit und verschiedene Luftschadstoffe. Durch die horizontale Verschiebung der Sonde gegenüber dem Ausgangspunkt kann die Windrichtung und -stärke berechnet werden. Auf einer Höhe von ca. 30 km hat sich die Hülle des Ballons schon so weit ausgedehnt, dass dieser zerplatzt und die Messgeräte an einem Fallschirm zur Erde zurück gleiten. Nur ein Drittel der Radiosonden werden gefunden und können ein zweites Mal eingesetzt werden. In der Schweiz existiert genau eine Radiosondenstation in Payerne, wo um 00 und 12 Uhr UTC vollständig ausgerüstete Radiosonden starten. Die Zeitangabe UTC steht für Universal Time Coordinate und entspricht 2 bzw. 14 Uhr mitteleuropäischer Sommerzeit. Die Messdaten liefern genaue Informationen über den vertikalen Aufbau der Atmosphäre und bilden einen zentralen Bestandteil bei der Analyse und Prognose des Wetters.

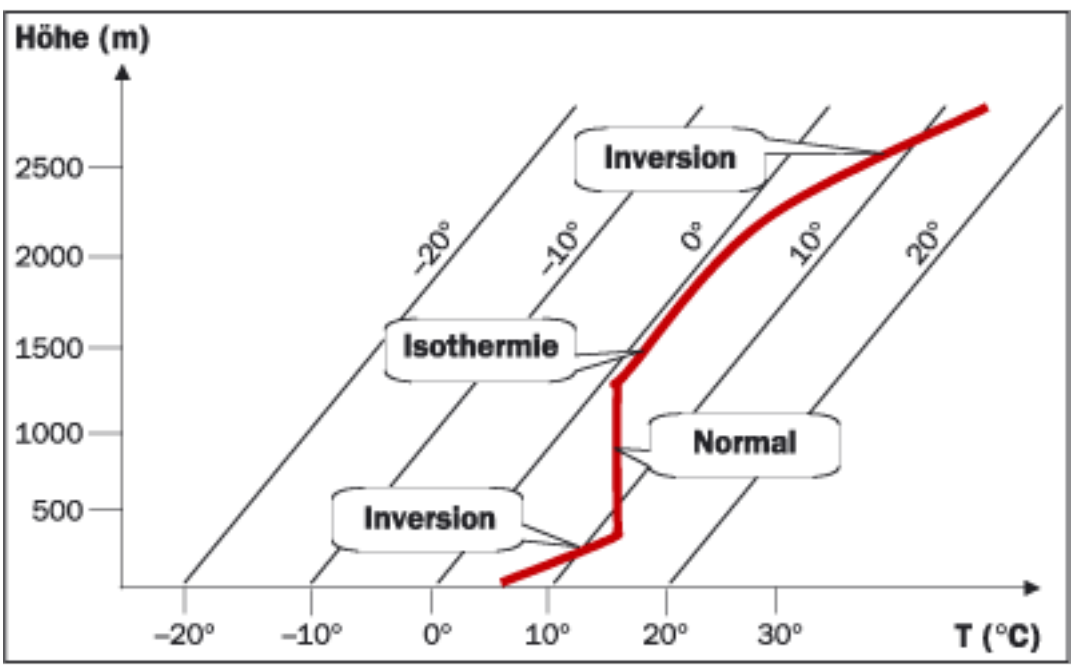


Abb. 1: Im Emagramm sind die Linien gleicher Temperatur (Isothermen) um 45° geneigt. Rot dargestellt ist ein hypothetischer Verlauf der Temperatur. Abschnitte mit Inversionen, Isothermien und normaler Temperaturabnahme können sofort erkannt werden.

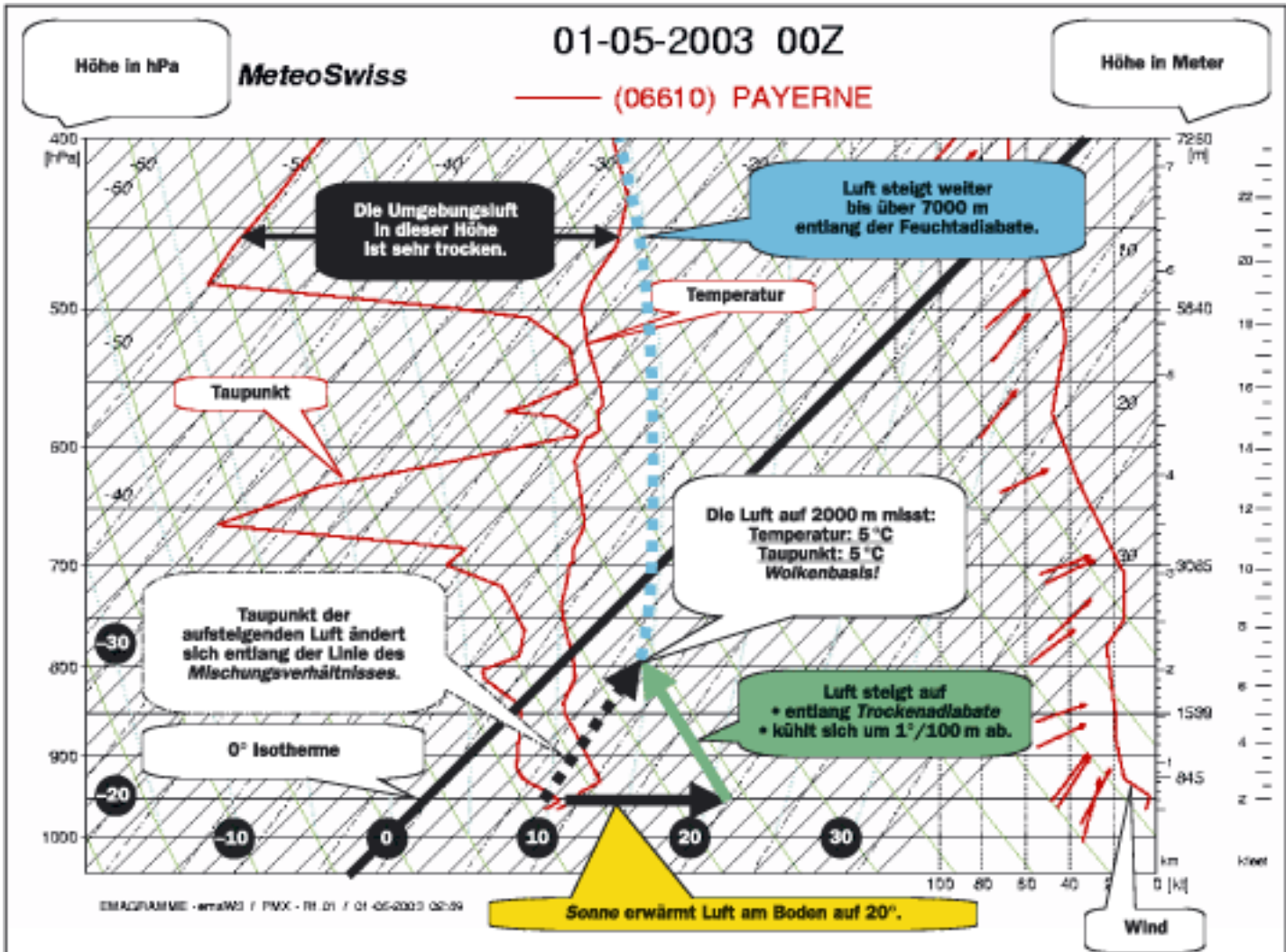


Abb. 2: Emagramm vom 1. Mai 2003 um 2 Uhr.

Das Emagramm

Das Emagramm (auch TEMP, Tephigram oder Stüve Diagramm genannt) ist eine vertikale Darstellung der Temperatur und Luftfeuchtigkeit. Die Darstellung im Emagramm soll die verschiedenen thermodynamischen Prozesse in der Troposphäre (dem Teil der Atmosphäre, in dem sich unser Wetter abspielt) möglichst gut und genau veranschaulichen. Die vielen zusätzlichen Linien und Werteskalen sind Hilfsmittel, die ein schnelles Arbeiten mit dem Emagramm ermöglichen. Leider sind die vielen Linien eher verwirrend als hilfreich für alle, die sich zum ersten Mal mit dem Emagramm auseinandersetzen. Doch wer die Einstiegshürde nicht scheut, wird bald über die Informationsfülle dieses Diagramms staunen.

Auf der Abszisse (X-Achse bzw. horizontale Achse) ist die Temperatur in °C, auf der Ordinate (Y-Achse bzw. vertikale Achse) die Höhe in Meter und in hPa angegeben. Normale Diagramme, die wir aus anderen Bereichen kennen, haben eine rechtwinklige Darstellung dieser beiden Werteskalen. Beim Emagramm sind die Linien gleicher Temperatur dagegen um 45° geneigt und verlaufen von links unten nach rechts oben (Abbildung 1). Im Durchschnitt nimmt die Temperatur in der Troposphäre mit zunehmender Höhe ab. Diesen Temperaturverlauf bezeichne ich als «normal». Im Emagramm ist der effektive Temperaturverlauf als rote Linie wiedergegeben. Die durchschnittliche Temperaturkurve der Troposphäre verläuft im Emagramm vertikal. Eine Isothermie ist dann vorhanden, wenn die rote Temperaturkurve parallel zu den Linien gleicher Temperatur (also 45° gegen rechts geneigt) verläuft. Aus der Abbildung 1 ist auch ersichtlich, wie eine Inversion im Emagramm erkannt werden kann.

Die Emagramme der MeteoSchweiz

Für die Radiosonde von Payerne und von weiteren Stationen werden die Emagramme auf dem Internet unter <http://www.meteoschweiz.ch/de/Daten/Hoehendaten/sondierungen.shtml> laufend aktualisiert. Sie können zirka eine Stunde nach Sondenstart betrachtet werden. Im Folgenden wird das Emagramm am Beispiel vom 1. Mai 2003 erklärt. Zur Veranschaulichung siehe jeweils Abbildung 2.

Oben in der Mitte findet man das Datum und die Uhrzeit der Radiosonde. Z bedeutet das gleiche wie UTC. Auf der vertikalen Achse ist links die Höhe in hPa und rechts die Höhe in Metern und in Fuss angegeben. Die Linien gleicher Temperatur (Isothermen) sind schwarz ausgezogen und verlaufen von links unten nach rechts oben. Die 0°-Isotherme ist dicker als die anderen Isothermen. Der Abstand zwischen zwei benachbarten Isothermen entspricht 2 °C. Die Werte der Isothermen sind in 10-°C-Schritten angeschrieben und in Abbildung 2 schwarz eingekreist.

Die rote Kurve ganz rechts zeigt die Windstärke. Die Skala befindet sich rechts unten und reicht von 0 bis 100 Knoten. Daneben sind rote Pfeile eingetragen, welche die (horizontale) Windrichtung angeben. Die anderen beiden roten Kurven zeigen die Temperatur und den Taupunktverlauf.

Temperatur

Die Temperatur in Bodennähe beträgt knapp 10 °C. In den untersten 300 Höhenmetern ist eine Bodeninversion zu erkennen. Zwischen 850 und 1500 m nimmt die Temperatur stark ab. Darüber ist die Temperaturabnahme bis in eine Höhe von 4300 m mit kleinen Abweichungen fast vertikal d.h. «normal». In 2100 m Höhe beim Schnittpunkt der Temperaturkurve mit der 0°-Isotherme liegt die 0°-Grenze.

Luftfeuchtigkeit

Die linke rote Kurve ist eine Darstellung der Feuchtigkeit. Hier wird der Taupunkt verwendet, das heisst: Bei der angegebenen Temperatur würde die Luft (wenn sie abgekühlt würde) kondensieren. Je näher die Taupunktkurve bei der Temperaturkurve liegt, desto feuchter ist die Luft. Wenn sich die beiden Kurven berühren, sind in dieser Höhe Wolken. Im Beispiel ist es in Bodennähe sehr feucht. Darüber sind Temperatur und Taupunktkurve 4 bis 6 °C auseinander, und in einer Höhe von 3500 m ist die Luft ziemlich trocken. Auf 4400 m sind Temperatur und Taupunkt weniger als 1°C auseinander, und es kann vermutet werden, dass es hier aufgelockert bewölkt ist.

Möglichkeiten der Thermikprognose

Kaum ist die Sonne aufgegangen, beginnt sich der Boden zu erwärmen und die darüber liegende Luft damit. Nehmen wir einmal an, die Maximaltemperaturen erreichen an diesem Tag 20 °C. Dann steigt Luft, die am Boden 20 °C warm ist, in die Höhe. Diese Luft kühlt sich pro 100 m um 1 °C ab. Die Hilfslinien, die diesen Prozess veranschaulichen, sind im Emagramm grün, verlaufen von rechts unten nach links oben und heissen Trockenadiabaten. Trockenadiabatisch bedeutet, dass keine Mischung der aufsteigenden Luft mit der Umgebungsluft stattfindet und dass die Luft während des Aufstiegs nicht kondensiert. Da die Trockenadiabaten nur alle 5 °C eingetragen sind, muss in diesem Fall eine Hilfslinie, die parallel zu den Trockenadiabaten liegt, eingezeichnet werden. Da sich die Luft beim Aufsteigen kontinuierlich abkühlt, steigt die relative Feuchtigkeit an und kommt dem Taupunkt immer näher. Der Taupunkt der aufsteigenden Luft ändert sich entlang der Linie des konstanten Mischungsverhältnisses. Diese Linien sind im Emagramm gestrichelt und verlaufen von links unten nach rechts oben. Dort wo das Mischungsverhältnis (schwarz gestrichelt) die Trockenadiabate (grün) schneidet, liegt die Wolkenbasis. Hier sind Temperatur und Taupunkt 5 °C, und die relative Luftfeuchtigkeit beträgt 100%.

Oberhalb der Wolkenbasis steigt die Luft weiter, aber entlang der Feuchtadiabaten, welche im Emagramm blau gestrichelt eingezeichnet sind. Im Beispiel könnte die Luft bis über 7000 m weiter steigen und es könnten sich Gewitterwolken bilden. Aber die Luftschicht oberhalb von 6000 m ist sehr trocken und trocknet die aufsteigende feuchte Luft ab. Der Prozess ist bei sehr trockener Umgebungsluft nicht mehr streng adiabatisch.

Es gibt viele mögliche Temperatur- und Taupunktkurven. Kein Emagramm gleicht dem anderen. Aber auch die Maximaltemperaturen sind je nach Sonneneinstrahlung verschieden. Sollten die eingezeichnete Trockenadiabate die Temperaturkurve schneiden, so ist auf dieser Höhe die Temperatur der aufsteigenden Luft gleich gross wie die Umgebungsluft, und die Luft kann nicht weiter steigen. Die Luft kondensiert nicht und man spricht von Blauthermik. Sollte die eingezeichnete Feuchtadiabate die Temperaturkurve schneiden, dann liegt in dieser Höhe die Obergrenze der Wolke.

Die Höhe der Wolkenbasis ist abhängig von zwei Faktoren:

1. *Maximaltemperatur*: Diese steht in jeder Wetterprognose. Um jedes Grad, das es wärmer wird, steigt die Wolkenbasis um 125 Meter.

2. *Taupunkt*: Je trockener die Luft, desto höher die Wolkenbasis. Aber wenn es zu trocken ist, entsteht gar keine Wolkenbasis und es bleibt bei Blauthermik.

Genau genommen gilt das besprochene Beispiel nur dann, wenn der Talboden gleich hoch liegt wie die Station der Radiosonde. Will man die Höhe der Wolkenbasis für ein Fluggebiet mit einem Talboden bestimmen, der auf 1000 Meter Höhe liegt, muss von dieser Höhe aus die Trockenadiabate im Emagramm eingezeichnet werden. Da die Maximaltemperaturen der Wetterprognose für die Niederungen gelten, muss dieser Wert um $-0,5\text{ °C}$ pro 100 m korrigiert werden. Das heisst, die Maximaltemperatur für ein Fluggebiet mit einem Talboden auf 1000 m beträgt $2,5\text{ °C}$ weniger.

Indem man den Taupunkt der nächsten ANETZ-Station im Emagramm einzeichnet und von diesem aus der Linie konstanten Mischungsverhältnisses folgt, lässt sich die Prognose zusätzlich verfeinern. Die Taupunkte werden auf dem Internet unter http://www.meteotest.ch/img/wepro/prog_tt.gif stündlich aktualisiert.

Grenzen der Thermikprognose

Die Grenzen der Thermikprognose mit dem Emagramm sind räumlicher und zeitlicher Natur. Die Radiosonde steigt morgens um 2 Uhr Mitteleuropäische Sommerzeit in Payerne auf. Wenn die Luftschichten über Payerne denjenigen in den Fluggebieten entsprechen und es zwischen 2 Uhr morgens und der Zeit, in der wir in der Thermik fliegen, keine grossen Änderungen gibt, wird die Prognose zuverlässig sein. Je näher bei Payerne das Fluggebiet und je schwachwindiger die Wetterlage, desto besser sind diese Bedingungen erfüllt. Für die westlichen und zentralen Landesteile sind die Radiosondenwerte bei Hoch- und Flachdrucklagen sehr repräsentativ, bei schwachen West- und Bisenlagen auch noch relativ gut. Herrscht ein mässiger bis starker Wind, ist es sinnvoll, die luvseitig nächste Radiosonde mit zu berücksichtigen. Ausgesprochen negativen Einfluss auf die Qualität der Thermikprognose haben aufkommender Föhn und Föhntendenzlagen. Aber auch die Subsidenz in einem rasch aufbauenden Hochdruckgebiet drückt auf die Höhe der Thermikobergrenze.

Temperaturgradient

Neben der Höhe der Wolkenbasis kann mit dem Emagramm auch noch die Art der Thermik bestimmt werden. Dazu muss man den Temperaturgradienten aus dem Emagramm ablesen. Der Temperaturgradient ist die Temperaturabnahme pro 100 m. Hier gilt folgende Faustregel:

Temperaturgradient ($^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$)	Thermikgüte
< 0,5	schlecht
0,5–0,6	mässig
0,6–0,8	gut
> 0,8	zu stark

Optimal ist es, wenn die Temperaturkurve eine Temperaturabnahme um $0,7\text{ °C}/100\text{ m}$ zeigt. Liegt die Temperaturabnahme über $0,8\text{ °C}$ pro 100 Meter, sind die Thermikschläuche oft eng, relativ stark ausgeprägt und nicht schön zum Fliegen. [Eine praktische Folie zum Bestimmen des Temperaturgradienten kann hier ausgedruckt werden.](#) Diese Folie kann man direkt auf den Bildschirm über das Emagramm halten und schon weiss man, in welchen Höhen die gute Thermik zu finden ist.

Micha Schultze

[Seitenanfang](#)