

Temp-Auswertung mittels pc_met für, Segelflieger, Ballonfahrer, Drachen- und Gleitschirmflieger

Von Dr. Manfred Reiber

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

Das Frühjahr und damit der Beginn der neuen Flugsaison naht mit schnellen Schritten. Für uns Sportflieger erhalten wieder Fragen, wie „Wann setzt heute die Thermik ein?“, „Wie lange wird die Thermik anhalten?“, „Wie stark wird die Thermik werden?“, „Wird es zu Überentwicklungen kommen?“, eine große Bedeutung. Die beste Antwort darauf gibt uns immer noch ein Temp. Deshalb hat die Interpretation von Temps aus flugmeteorologischer Sicht, vor allem für Segel-, Gleitschirm- und Drachenflieger, aber auch für Ballonfahrer, bis heute kaum etwas an Bedeutung verloren. Sie wird auch durch so maßgeschneiderte flugmeteorologische Produkte wie TOPTHERM, TOPTASK, spezielle Wind- und Konvektionskarten, Satellitenbilder, Blitz- und Radarkarten u.a. Unterlagen nicht ersetzt. Leider haben aber viele Flugsportler immer noch eine gewisse Scheu vor der „komplizierten“ Auswertung und Beurteilung von Temps. Spätestens aber seit der Einführung der Windows-Version von „pc_met“ ist diese Sorge nicht mehr gerechtfertigt. Dafür gibt es mindestens drei Gründe:

- ➔ Man kann über „pc_met“ jederzeit aktuelle und prognostizierte Temps empfangen und mühelos grafisch darstellen.
- ➔ Die Auswertung der Temps erfolgt weitgehend automatisch, eine interaktive Einflussnahme ist jedoch möglich und ggf. auch notwendig.
- ➔ Auch für den kompliziertesten Teil der Tempauswertung, die Konvektionsanalyse, sind für mitteleuropäische Verhältnisse die notwendigen Ausgangswerte automatisch voreingestellt. Interaktive Änderungen sind zwar in einigen Fällen nötig, aber nicht schwierig. Für Analysen südeuropäischer oder noch weiter südlich gelegener Temps und für (Hoch) Gebirgslagen ist interaktives Eingreifen immer erforderlich. Wie man auch diese Aufgabe bewältigen kann, wird nach einigen grundsätzlichen Erläuterungen zur Temp-Auswertung in diesem Beitrag ebenfalls beschrieben.

1. Was ist überhaupt ein Temp und welche flugmeteorologischen Parameter kann er uns liefern?

Ein Temp ist die grafische Darstellung des gemessenen vertikalen Verlaufes von Temperatur, Taupunkt (als Maß für die Luftfeuchtigkeit) und Wind bis in eine Höhe von etwa 30 bis 35 km. Der Eintrag dieser Werte erfolgt in spezielle Diagrammpapiere. Am häufigsten wird das Stüve-Diagramm (nach seinem Erfinder benannt) verwendet, das auch Basis dieser Ausführungen sein soll. Er liefert Aussagen u.a. zu folgenden wichtigen flugmeteorologischen Parametern:

- ➔ Vertikale Wind-, Feuchte- und Temperaturverteilung vom Boden bis oberhalb der Tropopause
- ➔ Thermik (Beginn, Ende, Intensität)
- ➔ Entwicklung von Cu-Bewölkung (Auslösetemperatur, Basis der Cu-Bewölkung im Tagesgang, Obergrenze der Cu-Bewölkung)
- ➔ Kommt es zur Ausbildung von Schauern oder Gewittern
- ➔ Angaben über Windscherung und Turbulenz

- ➔ Aussagen über Schichtbewölkung und Vereisung
- ➔ Temperaturentwicklung im Tagesgang (Tmax.)

2. *Wie ist ein Stüve-Diagramm aufgebaut?*

Auf der x-Achse (Abszisse) ist im Stüve-Diagramm die Temperatur in Grad Celsius eingetragen. Die roten, senkrechten Linien sind also Isothermen. Die y-Achse (Ordinate) wird als Höhenskala verwendet. Im „pc_met“ Temp gibt es drei verschiedene Höhenskalen. Am linken Rand ist der Luftdruck im Abstand von 100 hPa eingetragen, am rechten Rand befindet sich eine Skala mit km-Angaben und eine mit der Maßeinheit hft. Als Diagrammunterdruck sind Trocken- (schwarze Linien) und Feuchtadiabaten (grüne Linien) eingezeichnet. Diese beiden Kurvenscharen veranschaulichen die Temperaturänderungen eines auf- bzw. absteigenden Luftpaketes. Ist ein Luftpaket trocken (d.h.: die relative Luftfeuchte ist kleiner als 100%, Wolkenbildung hat also noch nicht eingesetzt), dann bewegt es sich parallel zur Trockenadiabaten, ist es feucht (d.h.: die relative Feuchte beträgt 100%, Wolkenbildung hat bereits eingesetzt), so bewegt es sich parallel zur Feuchtadiabaten. „Trockene“ Luftpakete kühlen sich also beim Aufstieg um 0,98 Grad pro 100 m ab, bzw. erwärmen sich um diesen Betrag beim Abstieg. Genau das zeigen uns die geradlinigen Trockenadiabaten an. „Feuchte“ Luftpakete, also Wolkenluft, bewegt sich parallel zu den Feuchtadiabaten nach oben bzw. nach unten. Man sieht aus dem Verlauf dieser Kurven, dass die feuchtadiabatische Erwärmung (Abstieg) bzw. Abkühlung (Aufstieg) kleiner als die trockenadiabatische ist. Sie hängt davon ab, wie viel Wasserdampf im Luftpaket kondensiert bzw. verdunstet. Da Luft bei hohen Temperaturen viel Wasserdampf enthält, ist die feuchtadiabatische Abkühlung bzw. Erwärmung hier gering und im Gegensatz dazu, bei tiefen Temperaturen groß. Bei sehr tiefen Temperaturen nähert sich der feuchtadiabatische Temperaturgradient dem trockenadiabatischen immer mehr an. Bei minus 30 Grad ist der feuchtadiabatische Temperaturgradient (bei einem Druck von 1000 hPa) z. B. 0,92 Grad pro 100 m, in der Nähe der Tropopause, bei minus 50 bis minus 70 Grad, ist er fast identisch mit dem trockenadiabatischen aber bei plus 30 Grad beträgt er 0,35 Grad pro 100 m. Feuchtadiabaten sind keine geraden Kurven, wie die Trockenadiabaten, sondern sie verlaufen gekrümmt. Oft wird behauptet der feuchtadiabatische Temperaturgradient sei 0,65 Grad pro 100 m. Das stimmt in dieser Allgemeinheit jedoch nicht. Nur bei 0 Grad ist er etwa 0,65 Grad pro 100 m. Richtig ist, dass der Temperaturgradient der Standardatmosphäre 0,65 Grad pro 100 m ist. Das hat aber nichts mit dem feuchtadiabatischen Temperaturgradienten zu tun, denn die Standardatmosphäre ist trocken, sie ist ja für 0 % relative Luftfeuchtigkeit definiert! Zusätzlich lassen sich die Linien konstanten Sättigungs-Mischungsverhältnisses, oder etwas anschaulicher formuliert die „Taupunktlinien“ einblenden. Das ist die blau gestrichelte Kurvenschar. Diese Linien zeigen die Abnahme des Taupunktes mit zunehmender Höhe an. Wenn Luft aufsteigt, dann fällt nicht nur die Temperatur, sondern auch der Taupunkt geringfügig ab, so dass die Kondensation etwas später einsetzt, als wenn nur die Temperatur fallen würde. Das muss man bei der Bestimmung des Kumulus-Kondensations-Niveaus (KKN) beachten.

Auch die Temperaturverteilung der Standardatmosphäre kann als dick ausgezogene, grüne Linie zusätzlich eingeblendet werden. Man hat dann sehr gut den Temperaturunterschied zwischen der Standard- und der realen Atmosphäre im Blick. Das ist z. B. für die Bestimmung des Temperaturfehlers von barometrischen Höhenmessern von Bedeutung (siehe Einstellfenster 1).



*Einstellfenster 1:
Mit Hilfe der hier möglichen Diagramm-
einstellungen kann man den Temp auch als
Skew TlogP-Diagramm und den Wind als
Wertepaar darstellen. Außerdem kann man
die ICAO-Atmosphäre und die Linien
konstanten Sättigungs-Mischungs-
verhältnisses (die sog. Taupunktlinien)
hinzufügen.*

3. Wie erhält man die aktuelle vertikale Temperatur-, Feuchte-, und Windverteilung in der Atmosphäre?

Dazu verwendet man Radiosonden. Das sind Instrumentenkombinationen aus Luftdruck- (Vidiedose), Temperatur- (meist ein Bimetall) und Feuchtemessfühler (meist ein Haar- oder Lithiumchloridhygrometer). Ein Kurzwellensender übermittelt die Messergebnisse zur Bodenstation. Instrumententräger ist ein gasgefüllter (meist Wasserstoff), freifliegender Ballon. Durch Anpeilen der Radiosonde mit einem Radargerät oder einem Radiotheodoliten wird aus der Ballondrift der Höhenwind bestimmt. Routinesonden erreichen Aufstiegshöhen von 25 bis 30 km, in Ausnahmefällen 50 km. Die Aufstiegsgeschwindigkeit beträgt etwa 300 m/min, ein Aufstieg dauert also ca. 90 Minuten. Nach dem Platzen des Ballons gleitet die Radiosonde an einem Fallschirm zu Boden und kann ggf. als Fundsonde wieder verwendet werden. Aufstiege werden zweimal täglich (00 und 12 UTC, an einigen Stationen zusätzlich 06 und 18 UTC, seltener auch 03 UTC) durchgeführt. Ein Radiosondenaufstieg kostet etwa 1000.- €.

Die Bundesrepublik Deutschland hat mit den Radiosondenaufstiegsstellen Schleswig, Emden, Greifswald, Bergen, Lindenberg, Essen, Halle, Idar-Oberstein, Meinigen, Stuttgart, Kümmersbrück und München, dazu kommen zu bestimmten Zeiten Meppen, Fritzlar und Sigmaringen, ein sehr dichtes Messnetz. Zusätzlich werden vom Deutschen Wetterdienst für wichtige Stationen Mitteleuropas, der Welt und ausgewählte Gitterpunkte des Modells, Prognose-Temps berechnet, die bei der Interpretation wie aktuelle Temps behandelt werden können. Für Deutschland werden zusätzlich folgende Prognose-Temps berechnet: Deutsche Bucht, Hamburg, Wittstock, Wiesenburg, Hannover, Gardelegen, Mannheim, Dresden, Offenbach, Niederstetten, Memmingen, Freiburg, Hohenpeißenberg, Friedrichshafen und Oberstdorf (Änderungen vorbehalten). Die Lage der Radiosondenaufstiegsstellen und der Orte, für die Prognose-Temps berechnet werden, kann man der Stationsübersicht in „pc_met“ entnehmen (siehe auch Abbildung 1).

4. Bevor man einen Temp interpretieren kann, muss man ihn auswählen. Was ist dabei zu beachten?

Bevor man einen Temp interpretiert, muss man ihn auswählen. Das klingt trivial, ist aber für die Ableitung von Schlussfolgerungen bedeutsam. Der ausgewählte Temp muss für das vorgesehene Fluggebiet repräsentativ sein. Repräsentativität bezieht sich hier auf:

- ➔ *Die geographische Lage.* Die Radiosondenaufstiegsstelle sollte möglichst nahe am „Ort des Geschehens“ liegen, aber nicht weiter als 100 km entfernt sein.
- ➔ *Die orographische Lage.* Die Radiosondenaufstiegsstelle darf z. B. nicht im Stau eines Gebirges (Berges) liegen, wenn der Flugraum im Föhnbereich liegt. Aber auch schon feuchte Waldgebiete, größere Seen (Land-See-Wind), küstennahe Stationen u.ä. Dinge modifizieren das Temperatur-, Feuchte- und Windregime, zumindest in den bodennahen Schichten, deutlich. Bei der Auswertung eines Temps muss man solche Einflüsse ins Kalkül ziehen.
- ➔ *Die synoptische Wetterlage.* Bevor man aus einem Temp prognostische Schlussfolgerungen für ein bestimmtes Fluggebiet ableitet, muss man anhand einer Bodenwetterkarte prüfen, ob an der Aufstiegsstelle und im Fluggebiet die gleiche Luftmasse vorherrscht. Bei Frontdurchgängen ändern sich die meteorologischen Bedingungen markant. Steht z.B. ein Frontdurchgang bevor, dann ist es besser einen weiter entfernten Aufstieg zu interpretieren, einen der in der postfrontalen Luftmasse durchgeführt wurde. Dieser Temp wäre für die Beurteilung des Flugwetters nach dem Frontdurchgang besser geeignet, als ein näher gelegener Temp, der noch vor der Front oder gar im Frontbereich liegt.

5. Die Interpretation von Temps

Wenn der richtige (der repräsentative) Temp gefunden ist, ruft man mittels „pc_met“ die Darstellung für Temps auf. Auswerten bzw. betrachten kann man dann folgendes:

Erstens: In einer *geografischen Übersicht* die meldenden Stationen, bzw. die Stationen, für die eine Temp-Prognose berechnet wird, die Temperatur und den Taupunkt, die Taupunktdifferenz und die relative Feuchte für verschiedene Höhen bzw. Standarddruckflächen und außerdem die Gewitterindices, die Konvektion, die Höhe der Nullgradgrenze und eine Schichtwolkenanalyse.

Zweitens: Im *Stüve-Diagramm* (wahlweise auch im *Skew TlogP - Diagramm*, das hier jedoch, wegen seiner geringeren Bedeutung, nicht besprochen werden soll [siehe auch Einstellfenster 1]) als grafische Darstellung real gemessene oder prognostisch berechnete Einzel-Temps.

5.1 Temp-Interpretation mittels der geografischen Übersicht

Für diese Art der Temp-Interpretation gibt es 10 verschiedene Darstellungsmöglichkeiten, das sind:

- ➔ Übersicht der Radiosondenaufstiegsstellen und Orte, für die Temp-Prognosen berechnet werden (siehe Abbildung 1).
- ➔ Darstellung von Temperatur und Taupunkt der Bodenwerte und wichtiger Hauptdruckflächen
- ➔ Angaben zur Konvektion (siehe Abbildung 2)
- ➔ Kumulus-Kondensations-Niveau (Schaltfläche „KKN (Fuß)“ (siehe Abbildung 3)
- ➔ Taupunktdifferenz am Boden und wichtiger Hauptdruckflächen
- ➔ Gewitterindices
- ➔ Höhe der Nullgradgrenze
- ➔ Relative Luftfeuchte für den Bodenwert und wichtiger Hauptdruckflächen
- ➔ Schichtwolken mit Angaben zur Unter- und Obergrenze
- ➔ Schichtwolken mit Angaben zur Unter- und Obergrenze der Gefahr von Flugzeugvereisung

Die Abbildungen 1 bis 3 sollen diese Art der Temp-Interpretation demonstrieren.

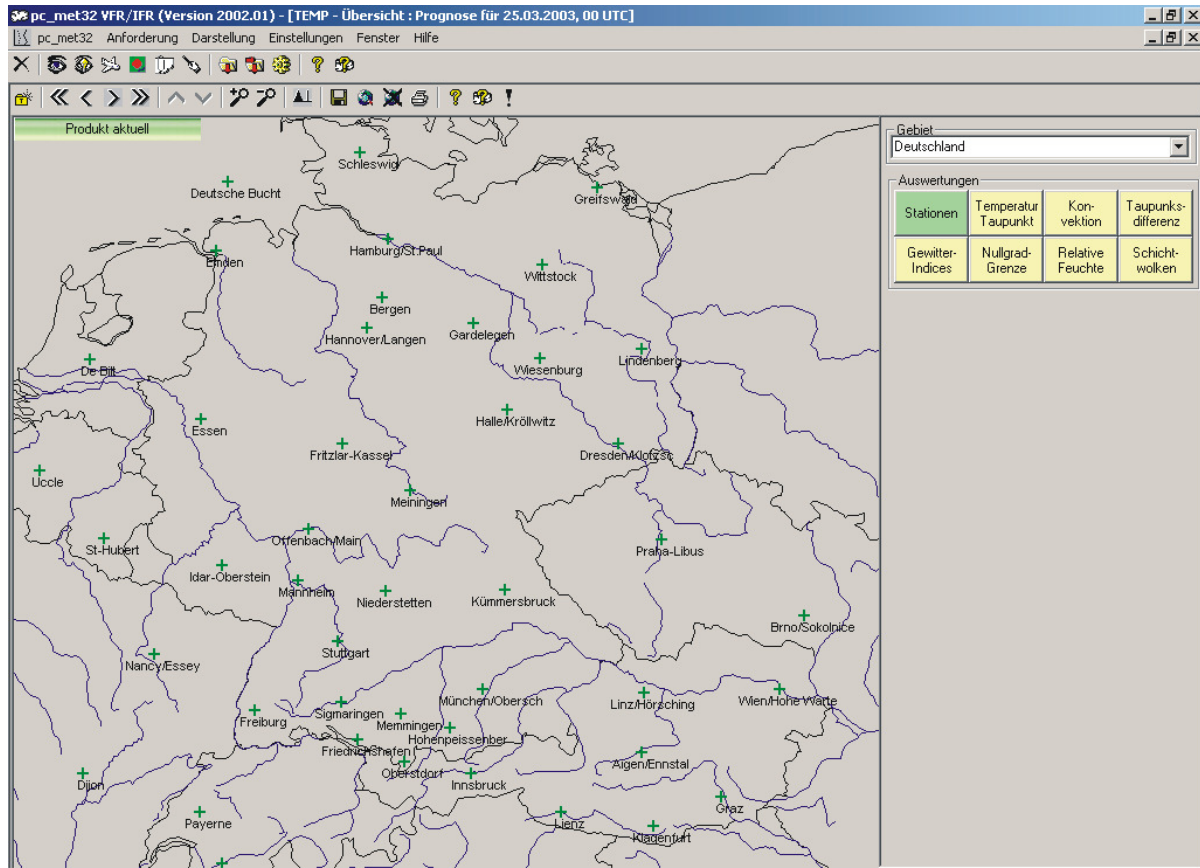


Abbildung 1: Übersicht über die Radiosondenaufstiegsstellen und Orte, für die in Deutschland (und nähere Umgebung) Temp-Prognosen berechnet werden (angezeigt werden jeweils die Orte, für die ein Temp zum ausgewählten Termin vorhanden ist). Der geografische Bereich ist frei wählbar und jeweils dem relevanten Gebiet anzupassen.

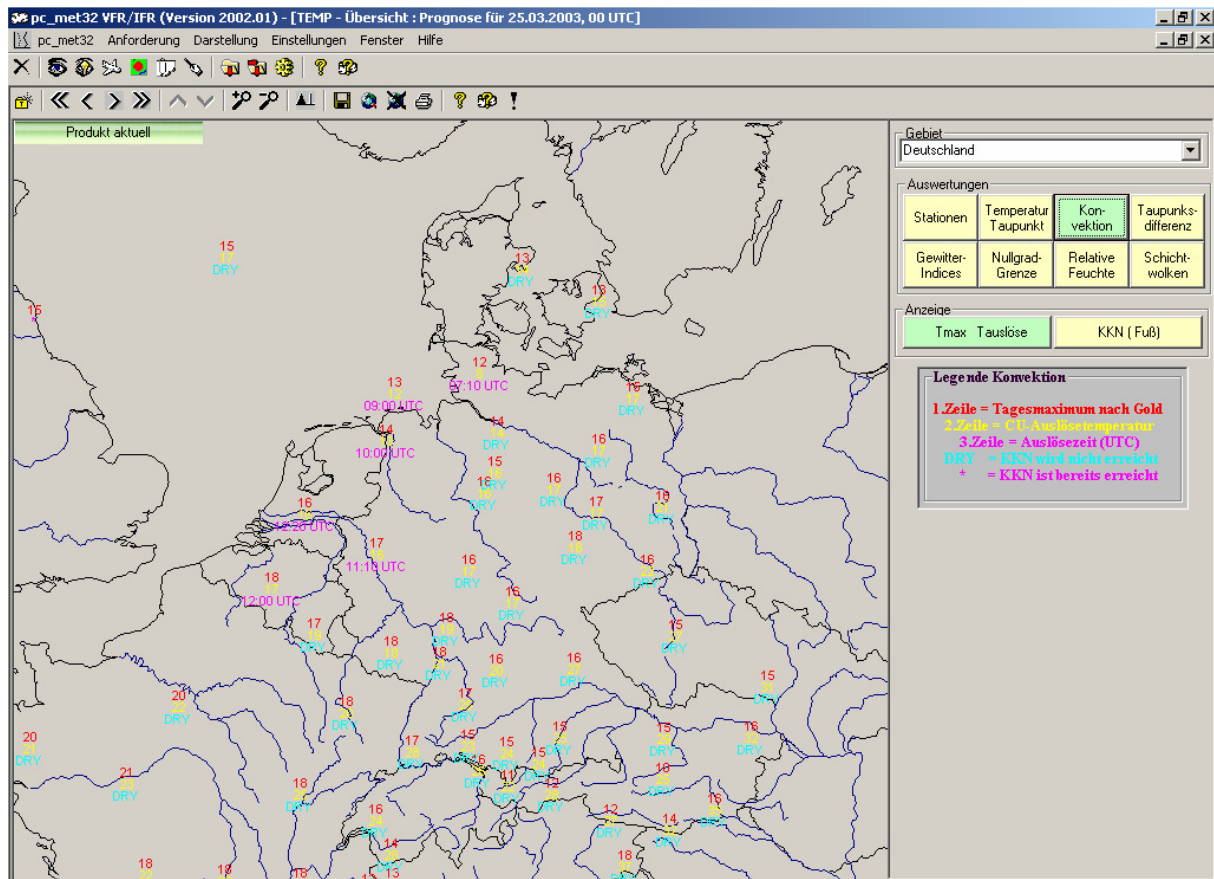


Abbildung 2: Diese Karte enthält Angaben zur Konvektion (Entschlüsselung lt. Legende). Zu beachten ist folgendes: Die Cu-Auslösetemperatur ist die Temperatur, die in Bodennähe erreicht werden muss, damit Cu-Wolken entstehen können. Sie ist also nicht die Temperatur, bei der die Thermik beginnt. Im Gegenteil, Thermik hat zu diesem Zeitpunkt schon lange eingesetzt. Die Auslösezeit ist dann genau die Zeit, zu der die Auslösetemperatur erreicht ist. Wird die Auslösetemperatur nicht erreicht, dann entstehen keine Cu-Wolken, es gibt also nur Blauthermik. In der Grafik erscheint „DRY“.

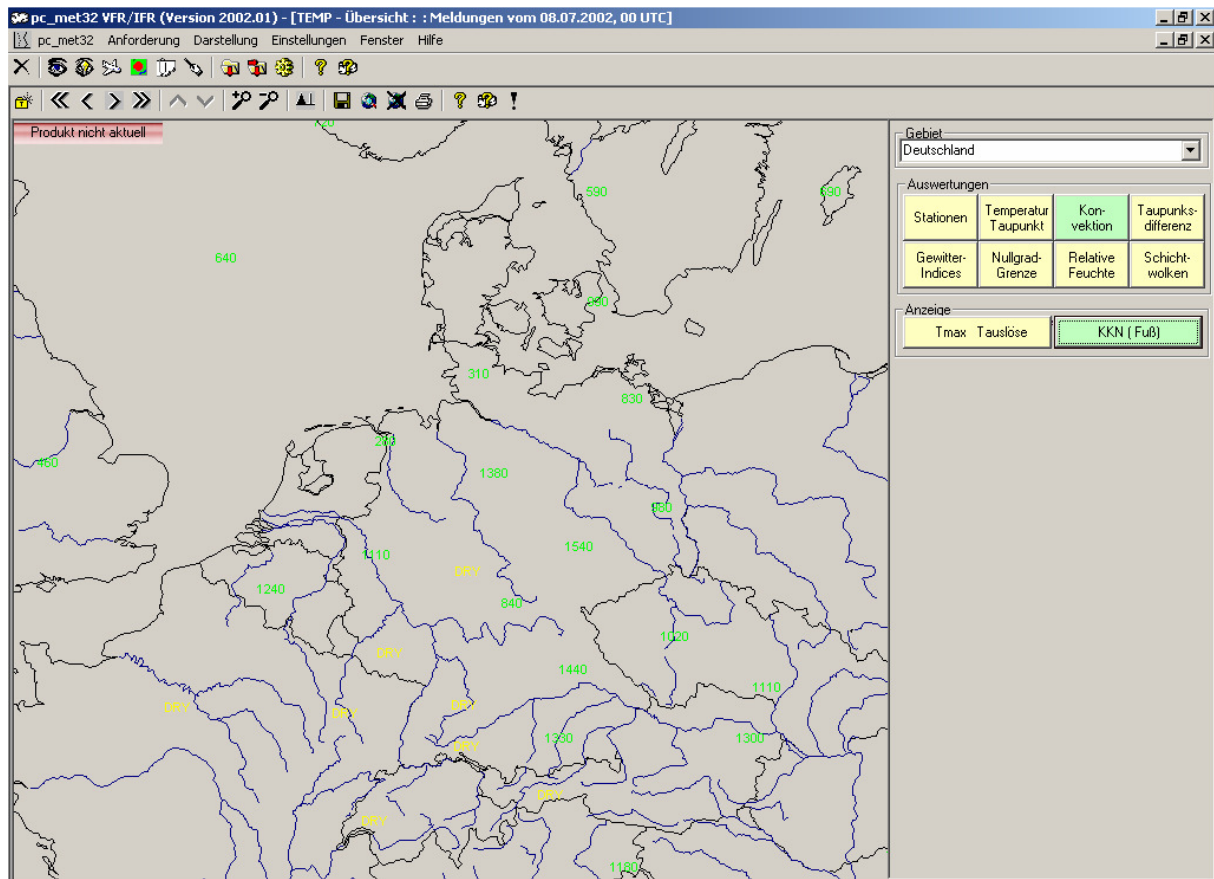


Abbildung 3: Über die Schaltfläche „KKN (Fuß)“ erhält man das Kumulus-Kondensations-Niveau an der jeweiligen Station (aktuell oder prognostiziert). Das ist also die Höhe der Untergrenze der Cu-Wolken zum Zeitpunkt ihrer Entstehung. In Folge der Erwärmung steigen im Laufe des Tages die Untergrenzen der Cu-Wolken jedoch an. Die aktuelle Cu-Basis wird in der METAR-Grafik unter „Feuchte“, Schaltfläche „Berechnete Cu-Basis“ dargestellt. Berechnet wird die Untergrenze hier nach den bekannten Formeln

$$\text{Cu-Basis} = 125 \times (\text{Temperatur} - \text{Taupunkt}) [\text{m}]$$

$$\text{Cu-Basis} = 400 \times (\text{Temperatur} - \text{Taupunkt}) [\text{Fuß}]$$

Die maximale Höhe der Cu-Basis wird bei Tmax erreicht. Bilden sich keine Quellwolken, dann wird DRY gemeldet. Im obigen Beispiel liegt das KKN in München bei 1330 ft, in Stuttgart bleibt es „trocken“

Weitere Details zu dieser Auswertetechnik siehe „Moderne Flugmeteorologie für Ballonfahrer und Flieger“ oder CD-ROM „Temp-Auswertung mittels pc_met für Ballonfahrer, Segel-, Drachen- und Gleitschirmflieger“ (siehe www.DrMReiber.de).

5.2 Temp-Interpretation mittels Stüve-Diagramm

Man ruft die Diagrammdarstellung des ausgewählten Temps durch einen Klick auf die entsprechende Station in der Temp-Übersichtsdarstellung auf. Zuerst betrachtet man die vertikale Temperatur-, Feuchte- und Windverteilung qualitativ, bevor man die Konvektionsanalyse und weitere Auswertungen vornimmt.

➔ Die vertikale Temperaturverteilung

Zunächst beurteilt man qualitativ die Stabilität der Schichtung (siehe Beispiel in der Abbildung 4). Dort, wo der aktuell gemessene Temperaturverlauf steiler ist als die Trocken-

bzw. Feuchtadiabaten, ist die Schichtung stabil (trocken- bzw. feuchtstabil), wo er flacher ist, herrscht labile Schichtung vor. Besondere Aufmerksamkeit ist Inversionen zu widmen. Sie sind bekanntlich stabile Schichten, die die Vertikalbewegung be- oder sogar verhindern. Bodeninversionen müssen bekanntlich erst völlig aufgelöst sein, ehe Konvektion einsetzen kann, freie Inversionen sind in der Regel (wenn sie durch Änderung der Wetterlage nicht geschwächt oder aufgelöst werden) die Obergrenze der Thermik, Quellwolken können auch maximal nur bis dahin wachsen. Häufig „breiten“ sich die Cu-Wolken im Laufe des Nachmittags an der Inversion aus und werden in der Nacht zu ausgedehnten Sc-Feldern, die am nächsten Tag meist schon vormittags durch die Sonneneinstrahlung wieder aufgelöst werden. Wegen eines vorbeugenden Wärmeschutzes, insbesondere für Drachen- und Gleitschirmflieger bzw. einer eventuellen Vereisungsgefahr für Flugzeuge, ist außerdem die Höhe der Null-Grad-Grenze in Betracht zu ziehen.

➔ *Die vertikale Feuchteverteilung*

Im Temp eingetragene ist die Taupunktkurve (siehe Beispiel in der Abbildung 4). Vergleicht man Temperatur- und Taupunktkurve miteinander (die Differenz beider Werte ist der Spread) erhält man rasch einen guten Überblick über die Feuchteverteilung in der Vertikalen. Je größer der Spread ist, um so trockener ist die Luft und umgekehrt. Das lässt auf Schichtbewölkung und Vereisungsgefahr schließen. Weitere Informationen über die Feuchteverteilung kann man sich über den Menüpunkt „P“ (Profile) beschaffen. Hier stehen auch die relative Feuchte und der Spread als Vertikalprofile zur Verfügung.

➔ *Die vertikale Windverteilung*

Sie ist am linken Rand des Stüve-Diagramms wahlweise als Pfeile, als Wertepaar von Richtung (Grad) und Geschwindigkeit (Knoten) oder als Pfeile plus Wertepaar darstellbar. Die entsprechende Auswahl erfolgt mit Hilfe des Pfeil-Icons in der Iconleiste des Diagramms (siehe Beispiel in der Abbildung 4). Weitere Informationen über den Wind, die Windscherung und die Turbulenz erhält man über den Menüpunkt „P“ (Profile).

Diese qualitative Betrachtungsweise soll an einem Beispiel konkret erläutert werden (Abbildung 4), bevor die Konvektionsanalyse und weitere spezielle Auswertungen des Temps vorgenommen werden.

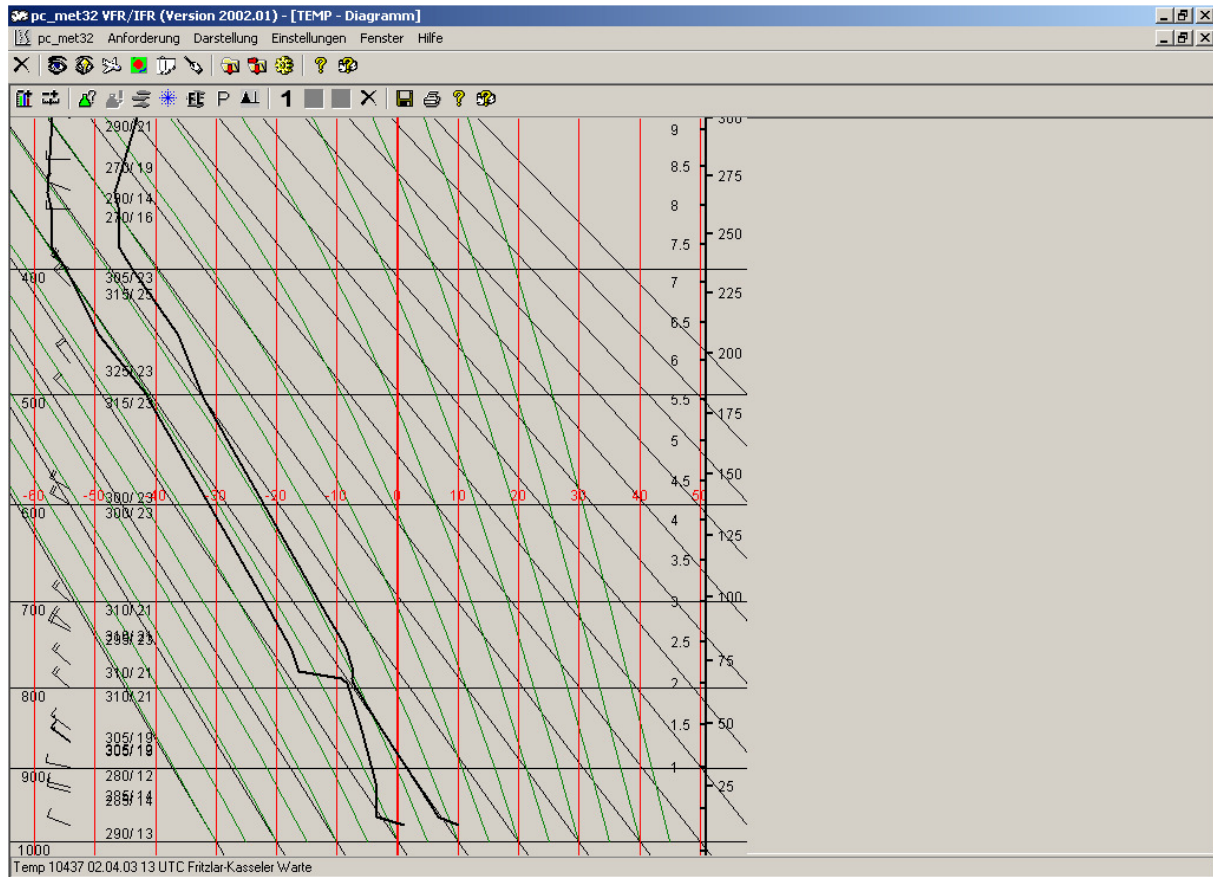


Abbildung 4: Beispiel-Temp vom 02.04.2003, 13.00 UTC, Fritzlar-Kasseler Warte. Die vertikale Temperatur-Verteilung weist auf labile Schichtung hin. Unmittelbar in Bodennähe hat sich sogar ein „überadiabatischer“ Temperaturgradient gebildet, der in diesem Bereich auf sehr hohe Labilität hinweist. „Überadiabatisch“ bedeutet, die reale Temperatur fällt schneller, als es dem trockenadiabatischen Temperaturgradienten entspricht (um mehr als 1 Grad pro 100 m). Ein derartiger Zustand ist immer nur von kurzer Dauer, weil sofort Vertikalaustausch einsetzt und so der trockenadiabatische Temperaturgradient wieder hergestellt wird. Bis etwa 2000 m herrscht dann feuchtlabiler und darüber bis etwa 5600 m feuchtindifferenten Zustand. Es sind also gute Voraussetzungen für die Ausbildung kräftiger Quellwolken gegeben. In welcher Höhe sie ansetzen und wie hoch sie reichen werden, wird uns die Konvektionsanalyse konkret zeigen. Die vertikal flache Isothermie in ca. 2000 m Höhe kann die Labilität nicht verhindern. Bemerkenswert ist die tief liegende Tropopause in etwa 7500 m Höhe. So tief liegende Tropopausen verhindern auch die Ausbildung starker Gewitter, da die CB-Obergrenzen die Tropopause nicht durchbrechen können.

Vor allem in etwa 2000 m Höhe ist der Spread sehr gering, darunter und darüber ist er größer. Wäre das nicht so, dann würden sich mit Sicherheit kräftige Schauer und Gewitter entwickeln. Die hohe Luftfeuchte im Bereich der isothermen Schicht weist auch schon auf Schichtbewölkung und Vereisungsgefahr hin.

Die vertikale Windverteilung ist wieder am linken Temp-Rand dargestellt. Winddrehungen und Geschwindigkeitszunahmen sind gering ausgeprägt, lediglich an der Obergrenze der planetarischen Grenzschicht (in etwa 1000 m Höhe) dreht der Wind etwas stärker und nimmt gleichzeitig zu, d.h. es kommt hier zu einer deutlicheren Windscherung.

5.2.1 Konvektionsanalyse

Nach dem wir zunächst diesen Beispiel-Temp qualitativ betrachtet haben, soll nun die konkrete Konvektionsanalyse vorgenommen werden. Voraussetzung einer korrekten Konvektionsanalyse ist die interaktive Einstellung von „Taupunkt“, „Mischungshöhe KKN2“ und der „verfügbaren Einstrahlung“. Deshalb wollen wir uns zuerst mit dieser Problematik befassen.



Einstellfenster 2:

Die Einstellregler ermöglichen die interaktive Einflussnahme auf den Taupunkt am Boden, die Mischungshöhe und die verfügbare Einstrahlung.

Taupunkt, Mischungshöhe KKN2 und verfügbare Einstrahlung sind immer automatisch voreingestellt. In sehr vielen Fällen braucht man auch nichts zu verändern. Folgendes ist zu beachten:

- ➔ *Der Taupunkt am Boden:* Bei einer geringen vertikalen Änderung des Taupunktes arbeitet man mit dieser Vorgabe. Das ist die Regel! Diese Einstellung sollte man aber unbedingt verändern, wenn eine Bodeninversion existiert.

Merke: Existiert eine Bodeninversion, dann führt man die Konvektionsanalyse nicht mit dem voreingestellten Taupunkt (das ist der Bodenwert) durch, sondern berechnet das arithmetische Mittel zwischen diesem Wert und dem Taupunkt an der Obergrenze der Bodeninversion und gibt diesen als Ausgangswert ein. Dieser Wert repräsentiert die Feuchteverhältnisse der unteren Luftschichten (innerhalb der Bodeninversion) besser als der Bodenwert.

- ➔ *Mischungshöhe KKN2: 10% KKN1:* KKN1 ist das Kumulus-Kondensationsniveau, das aus Bodentaupunkt (arithmetisches Mittel bei Bodeninversionen) und Bodentemperatur ermittelt wird. Es ist die Höhe, in der sich die ersten Cu-Wolken ausbilden. Die dafür notwendige Temperatur ist die Auslösetemperatur TA1. Solange die Auslösetemperatur für die Wolkenbildung nicht erreicht ist, gibt es nur Blauthermik. Im Laufe des Tages steigt die Bodentemperatur bis Tmax weiter an. Wenn sich bei TA1 Cu-Wolken gebildet haben und die Temperatur im Tagesverlauf bis auf Tmax weiter ansteigt, so steigt auch die Untergrenze der Cu-Wolken weiter an. Dieses höhere KKN nennt man KKN2, das bei Tmax seinen größten Wert erreicht. Zur Berechnung der Höhe des KKN2 verwendet man bei der „pc_met“ Konvektionsanalyse das arithmetische Mittel des Taupunktes am Boden und dem Taupunkt in der Höhe von 10% des KKN1. Dieser Wert wurde empirisch gefunden und stimmt für mitteleuropäische Verhältnisse gut mit der Praxis überein. Bei trockener, heißer Luft, wie sie in Südeuropa oder Afrika vorkommt, muss dieser Wert höher angesetzt werden.

Merke: Zur Berechnung des KKN2 sollte für Mitteleuropa der voreingestellte Wert generell übernommen werden, für Südeuropa sollte man 20% und für Nordafrika 40% KKN1 wählen.

- ➔ *Verfügbare Einstrahlung:* Hier sind immer 100% voreingestellt. Berechnet wird dieser Wert nach dem „Goldverfahren“ für Mitteleuropa und muss deshalb außerhalb dieser

Region korrigiert werden. Außerdem ist der voreingestellte Wert zu verändern, wenn Bewölkung vorhanden ist, oder wenn die Konvektionsanalyse für Gebirgsregionen (wegen der Hangneigung, der geringeren Luftdichte in der Höhe und des kleineren Luftvolumens) durchgeführt wird.

Merke: Der bei der Konvektionsanalyse voreingestellte Wert für die verfügbare Einstrahlung von 100% muss korrigiert werden, wenn Bewölkung vorhanden ist, wenn die Konvektion für Gebirgsregionen oder für Südeuropa oder Nordafrika durchgeführt wird. Richtwerte dafür sind in der Tabelle 1 zusammengestellt. Für eine kürzestfristige bis kurzfristige Prognose der Bewölkung lassen sich gut METAR-Meldungen, Satellitenbilder oder SWC-Karten verwenden.

<i>Bewölkung/Höhenlage/geographische Lage</i>	<i>Verfügbare Einstrahlung in %</i>
Ci (dünn)	90
Ci/Cs (dicht)	80
As (dünn)	70
Kompakte Bewölkung	40-50
Mittelgebirge	120
Hochgebirge	150
Mitteleuropa	100
Südfrankreich	120
Italien (südlich der Alpen)	120
Spanien	130
Nordafrika	150

Tabelle 1: Verfügbare Einstrahlung zur interaktiven Eingabe für die Konvektionsanalyse mittels „pc_met“

5.2.1.1 Ergebnisse der Konvektionsanalyse im Stüve-Diagramm (Beispiel)

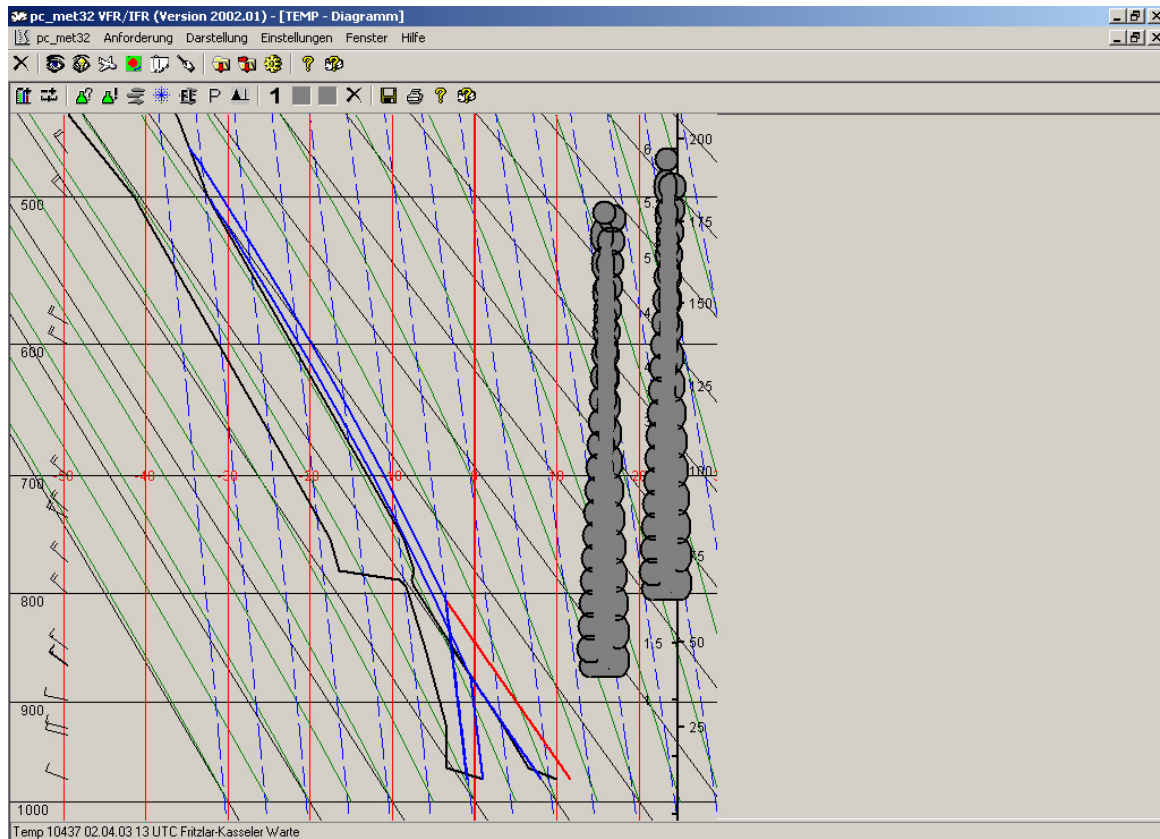


Abbildung 5: Konvektionsanalyse im Stüve-Diagramm für den Temp von Fritzlar-Kasseler Warte vom 02.04.2003 13.00 UTC. Hier wurde die verfügbare Einstrahlung auf 80 % , wegen der Schichtbewölkung in 2000m Höhe reduziert. Zusätzlich wurden die Taupunktlinien eingeblendet. Das Diagramm wurde auf 450 hPa gezoomt. Welche Ergebnisse liefert uns die Interpretation? Die Auslösetemperatur ist hier bereits erreicht. Diese Temperatur erhält man, indem man vom Bodentaupunkt (hier plus 1 Grad) parallel zur Taupunktlinie bis zum Schnittpunkt mit der aktuell gemessenen Temperaturkurve nach oben geht. Von dort geht man parallel zur Trockenadiabaten bis zum Bodendruckwert nach unten. Die Auslösetemperatur beträgt also 8 Grad, d.h. die Quellwolken sind bereits ausgelöst, da die aktuelle Temperatur in Bodennähe bereits 10 Grad beträgt. Die Höhenlage dieses Schnittpunktes ist das KKN1 (Cu-Basis), das hier in etwa 1200 m Höhe liegt. Ab KKN ist der in der Luft enthaltene Wasserdampf kondensiert, d.h. ab dieser Höhe steigt die Luft parallel zur Feuchtadiabaten bis zum Schnittpunkt mit der aktuell gemessenen Temperaturkurve nach oben. Das ist zugleich die Obergrenze der Cu-Bewölkung, hier knapp 5500 m. Bei Tmax, das sind hier etwa 11 Grad, ist die Cu-Basis und die Cu-Obergrenze weiter angestiegen. Das KKN2 bei Tmax ergibt sich aus den voreingestellten „10 % KKN1“. Ermittelt wird es wie folgt: Man geht von Tmax parallel zur Trockenadiabaten nach oben bis zum Schnittpunkt mit der Taupunktlinie für KKN2 (10 % KKN1). Die Höhenlage dieses Schnittpunktes ist das KKN2, hier sind das etwa 1900 m Höhe. Von hier aus steigt die Luft wieder parallel zur Feuchtadiabaten bis zum Schnittpunkt mit der aktuell gemessenen Temperaturkurve auf. Bis hierher steigt die Obergrenze der Cu-Wolken bei Tmax an, das sind etwa 6000 m. Die Vertikalerstreckung der Quellwolken überschreitet in diesem Beispiel von Anfang an 4000 m (4100 bis 4300 m). Bei dieser Größe muss man mit Schauern, aber auch schon mit einzelnen, leichten Gewittern rechnen. Zu detaillierten (automatisierten) Aussagen gelangen wir, wenn wir die Auswertungen der Tabellen der Konvektionsanalyse betrachten.

5.2.1.2 Ergebnisse der Konvektionsanalyse in Tabellenform

Im Ergebnis der Konvektionsanalyse erzeugt „pc_met“ nicht nur die grafische Konvektionsanalyse in den Temp-Diagrammen, sondern es werden die speziellen meteorologische Parameter in 4 gesonderten Diagrammen und in 2 zusätzlichen Tabellen dargestellt. Die Diagramme und Tabellen enthalten im Einzelnen:

- „Temperatur“ den zeitlichen Verlauf der Bodentemperatur im Tagesgang bis zum Erreichen von T_{max}
- „Konvektion“ den Tagesgang der Konvektionshöhe bis zum Erreichen von T_{max}. Zunächst tritt nur Blauthermik auf, ab TA1 setzt Cu-Bildung ein. Mit weiter zunehmender Temperatur steigt die Cu-Basis an und erreicht bei T_{max} ihre größte Höhe.
- „Bewölkung“ hier werden Unter- und Obergrenze der Cu-Bewölkung im Tagesgang dargestellt.
- „Thermik“ hier wird das „mittlere Steigen“ eines Segelflugzeuges beim Kreisen in der Thermik im Tagesgang dargestellt.
- „Wetter“ in dieser Tabelle sind wesentliche flugmeteorologische Wettererscheinungen zusammengestellt.
- „Indices“ in dieser Tabelle sind die Stärke von möglichen Gewitterböen (Downrush-Böe) und Werte verschiedener Gewitterindizes angegeben. Gewitterindizes sind Maßzahlen für die Gewitterbereitschaft. In der Praxis berechnet man meist mehrere Indizes, um mehr Sicherheit für eine Gewitterprognose zu gewinnen. Stimmen die berechneten Indizes in ihrer Aussage alle überein, dann ist die Eintreffwahrscheinlichkeit dieser Prognose sehr groß, sind die Aussagen uneinheitlich, ist ihr prognostischer Wert geringer. Details zur Berechnung und Anwendung von Labilitätsindizes findet man im Lehrbuch „Moderne Flugmeteorologie für Ballonfahrer und Piloten“ von Dr. Manfred Reiber, Seite 194 ff.

Es folgt jetzt die Konvektionsanalyse für dieses Beispiel in Tabellenform.

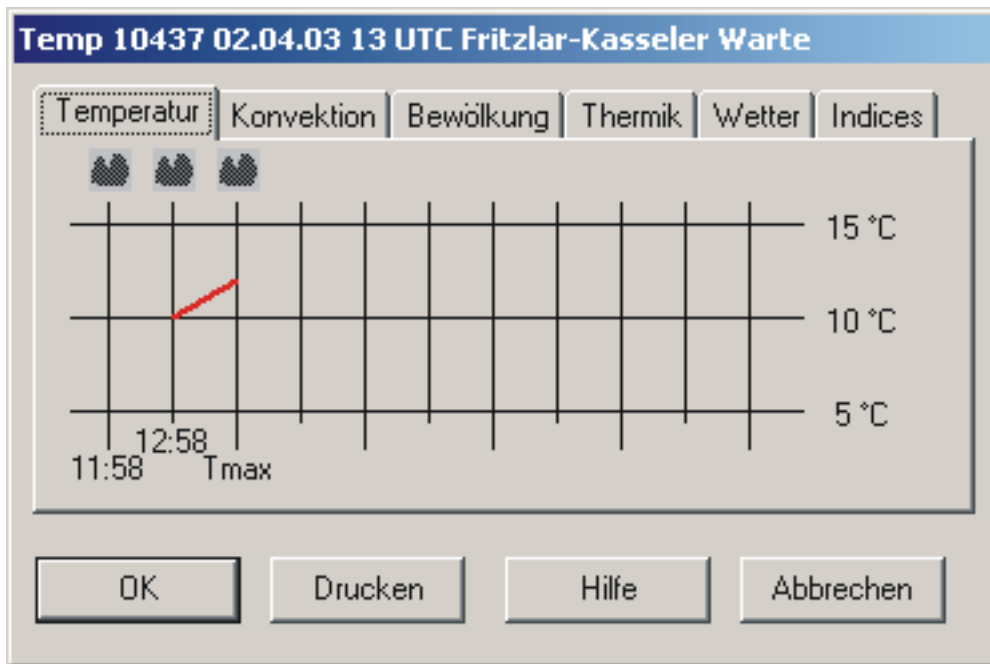


Abbildung 6: Diagramm „Temperatur“:
Hier ist der zeitliche Verlauf der Temperatur bis zum Erreichen von T_{max} dargestellt.

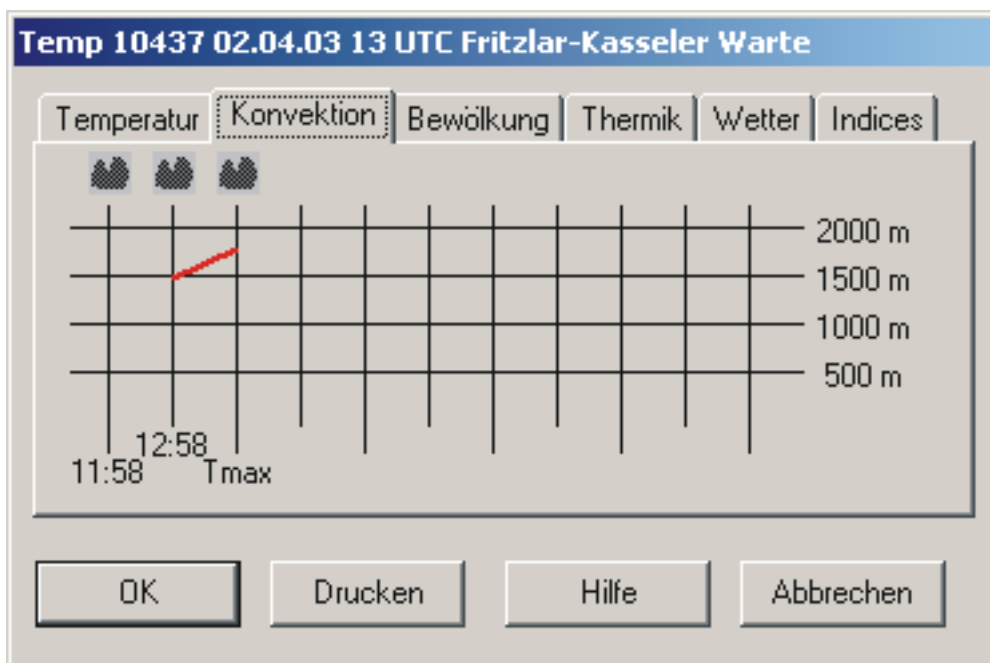


Abbildung 7: Diagramm „Konvektion“
Hier wird die Höhe der Konvektion im Tagesgang dargestellt. Solange sich keine Cu-Wolken ist das die Höhe der Blauthermik. Sind Quellwolken vorhanden, dann ist es die Höhe der Untergrenze dieser Wolken.

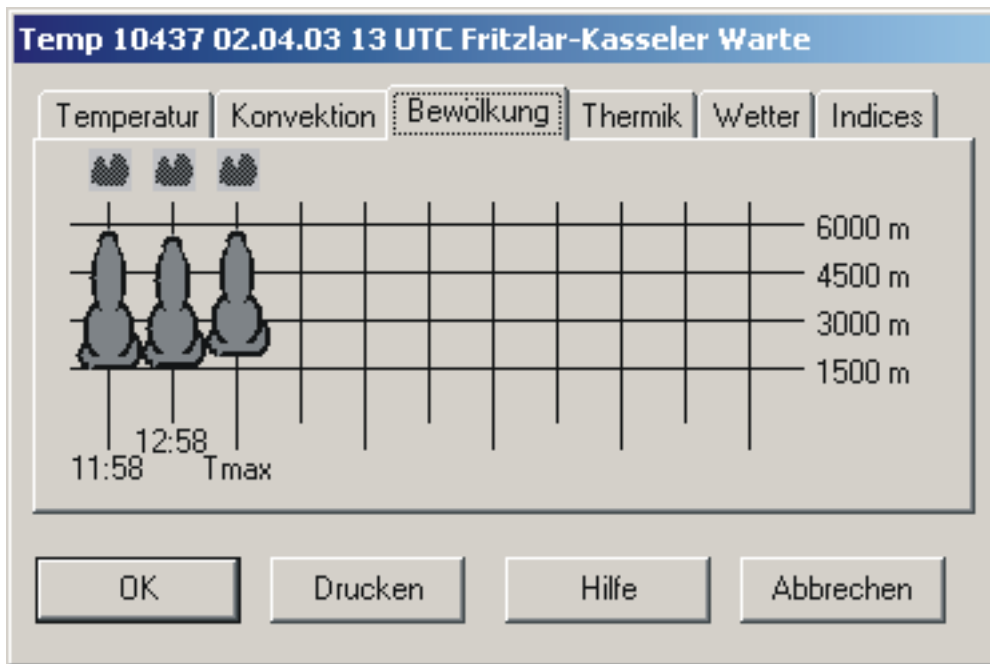


Abbildung 8: Diagramm „Bewölkung“
Hier wird der Tagesgang der Cu-Bewölkung mit Unter- und Obergrenze dargestellt.

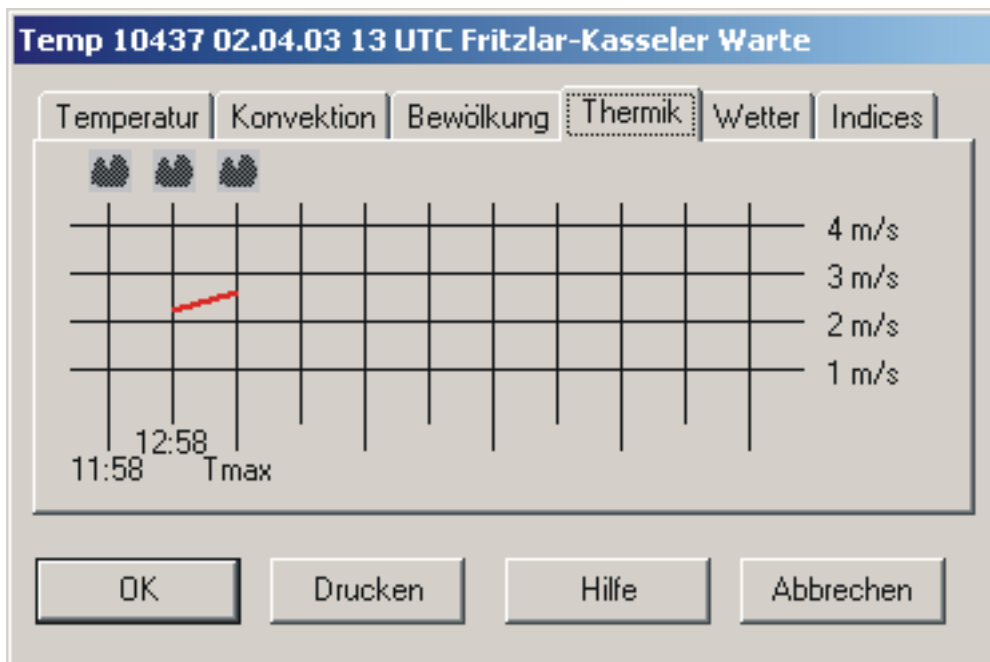


Abbildung 9: Diagramm „Thermik“
Hier wird die mittlere Steiggeschwindigkeit (das Flugzeugsteigen) im Tagesverlauf dargestellt. Die Steiggeschwindigkeit wird durch den Bedeckungsgrad mit Wolken stark beeinflusst. Bei der Eingabe der „verfügbaren Einstrahlung“ muss dieser Sachverhalt möglichst genau berücksichtigt werden. Wenn der Wind in 1000 m Höhe 20 Knoten übersteigt, entsteht zerrissene Thermik.

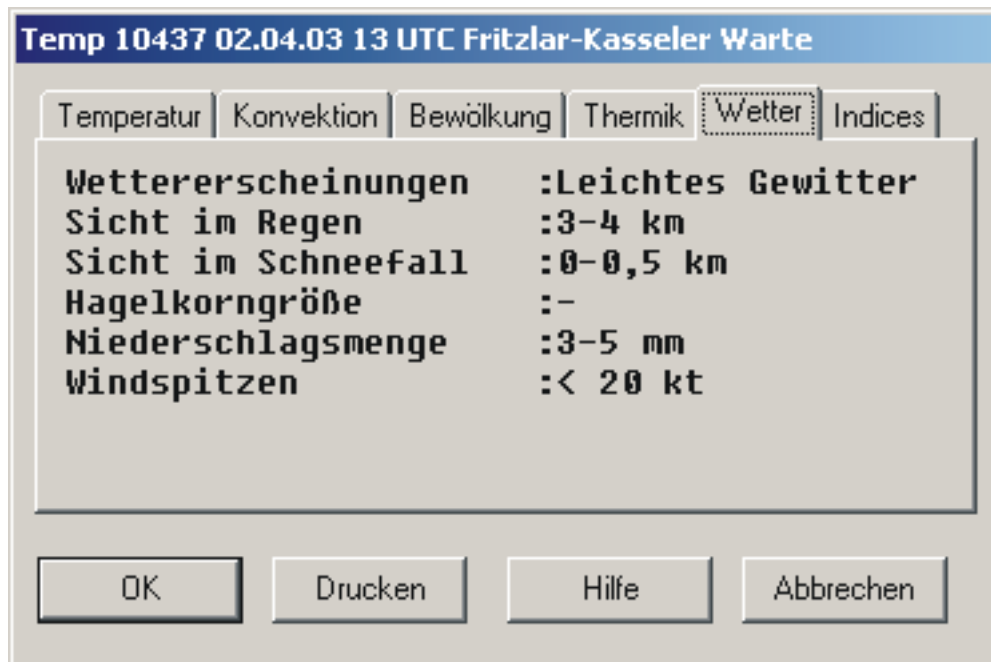


Abbildung 10: Tabelle „Wetter“

Hier wird aus der Vertikalerstreckung der Quellwolken, der Temperatur an ihrer Obergrenze und der Höhe der Nullgradgrenze, die Schauer- bzw. Gewitterintensität nach Fröstl vorhergesagt. Außerdem werden die Sicht im Niederschlag, die Niederschlagsmenge und die Windspitzen im Schauer prognostiziert. Falls Hagel auftreten kann, wird die Hagelkorngröße vorhergesagt.

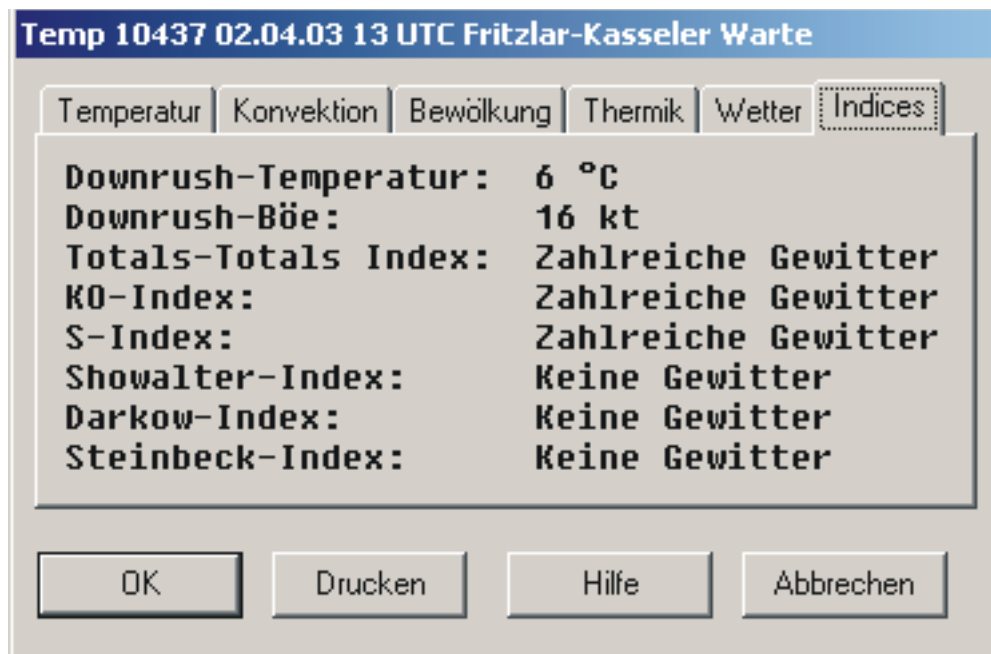


Abbildung 11: Tabelle „Indices“

Hier werden sechs verschiedene Gewitterindices berechnet. Nur wenn die Aussage dieser Indices übereinstimmt, ist die Wahrscheinlichkeit dafür, dass die gegebene Prognose zutrifft, sehr groß. Bei unterschiedlichen Aussagen der Indices sollte man die Vorhersage der Wettererscheinung aus der Tabelle „Wetter“ für die eigene Prognose verwenden. Außerdem werden Downrush-Temperatur und -Böe vorhergesagt.

6.3 Profildarstellung

In pc_met werden können folgende Vertikalprofile vom Bodendruckwert bis 300 hPa gesondert dargestellt werden:

- ➔ *Wind* als
 - Richtungsprofil
 - Geschwindigkeitsprofil
 - Windscherung
- ➔ *Temperatur* als
 - Profil des Temperaturgradienten
 - Profil der Temperaturdifferenz (bei 2 Temps)
- ➔ *Feuchte* als
 - Profil des Spread
 - Profil der relativen Luftfeuchte
 - Profil des Mischungsverhältnisses
- ➔ *Sonstige Profile*
 - Profil der Ri-Zahl
 - Profil des Scorer-Parameters

Diese Profile liefern einen raschen und guten Überblick über den Verlauf der Elemente und weitere zusätzliche relevante flugmeteorologische Informationen. Betrachten wir dazu ausgewählte Beispiele.

5.3.1 Windprofil

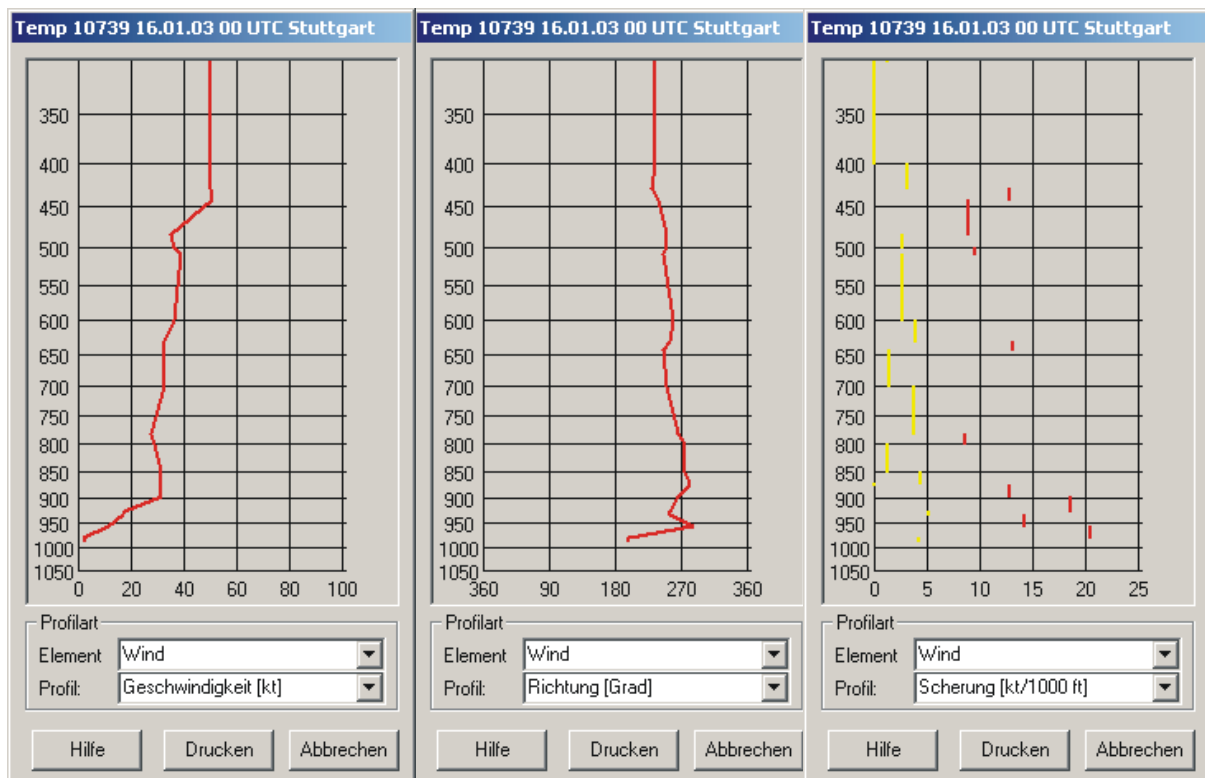


Abbildung 12: In dieser Abbildung sind die „Windprofile“ dargestellt. Sie geben einen sehr guten Überblick über die vertikale Windverteilung, die ja für die Navigation und die Flug- bzw. Fahrtvorbereitung von großer Bedeutung ist. In diesem Beispiel sieht man eine starke Windzunahme, verbunden mit einer starken Winddrehung, vom Boden bis in eine Höhe von

etwa 900 hPa. Das ist ja gerade die untere Begrenzung einer kräftig ausgebildeten freien Inversion (siehe Abbildung 4). Windscherungen sind an Inversionen häufig anzutreffen, in der Regel sind sie umso stärker, je besser die Inversion ausgebildet ist. Im rechten Diagramm ist explizit die Windscherung berechnet. Je größer ihr Wert ist, desto größer ist die Gefahr gefährlicher Turbulenz. Bei rot markierten Scherungswerten ist immer besondere Vorsicht geboten. Nach meinen persönlichen Erfahrungen sind aber erst Werte ab 15 KT/1000ft wirklich gefährlich (siehe detailliertere Ausführungen dazu in „Moderne Flugmeteorologie für Ballonfahrer und Flieger“ von Dr. M. Reiber, Seiten 99 ff).

5.3.2 Sonstige Profile

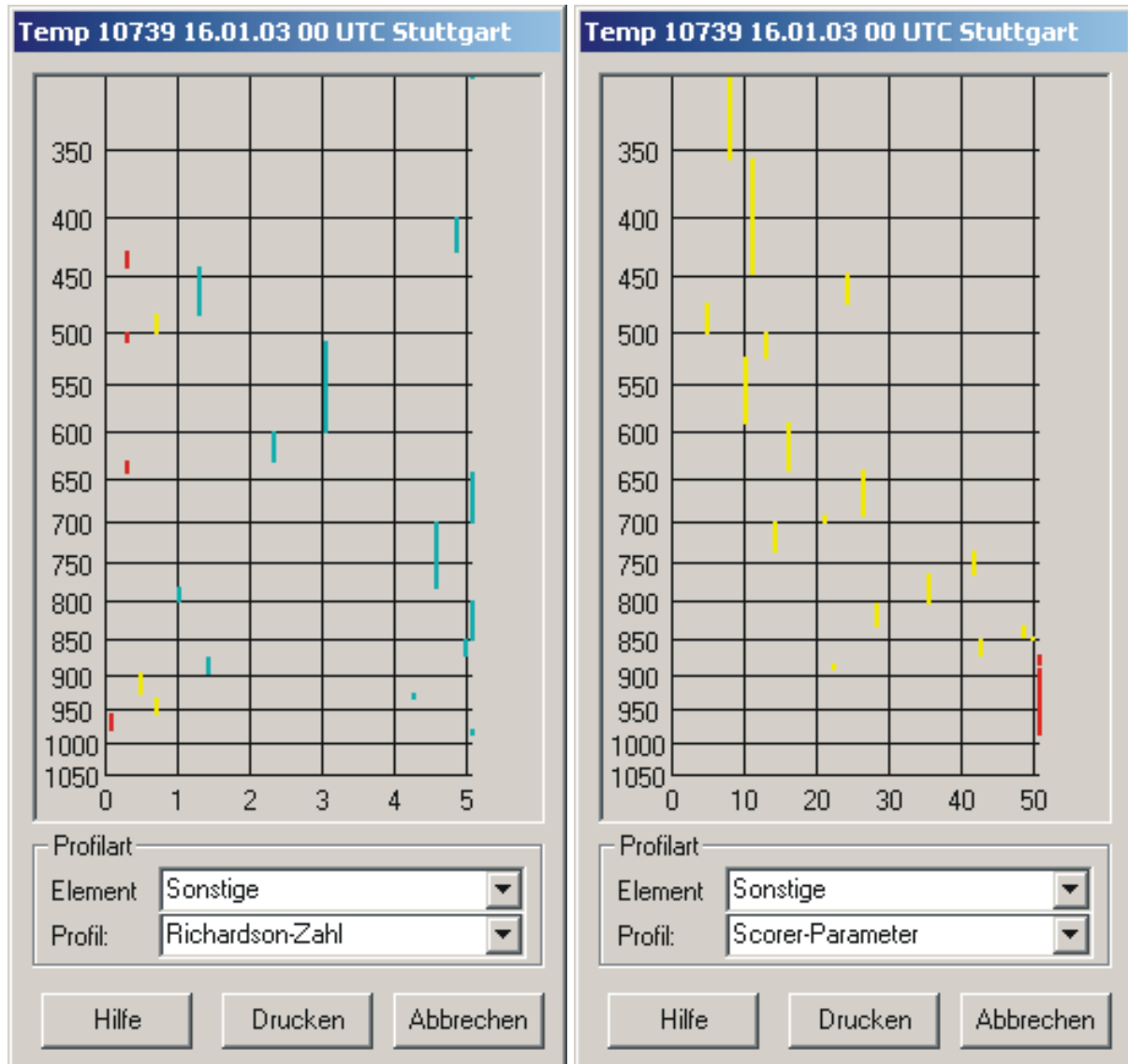


Abbildung 13: Die Ri-Zahl ist ein Labilitätskriterium, sie ist also auch ein Maß für die Turbulenz in der Atmosphäre. Es bedeuten:

- Ri größer als 1 = stabile Schichtung*
- Ri kleiner als 1 = labile Schichtung*
- Ri zwischen 1 und 0,5 = leichte Turbulenz*
- Ri kleiner als 0,5 = mäßige Turbulenz*

Für eine Turbulenzvorhersage sind Windscherung und Ri-Zahl stets gleichzeitig zu betrachten.

Der Scorer-Parameter wird für die Prognose von Leewellen verwendet. Nimmt er mit zunehmender Höhe ab, dann ist die Voraussetzung für die Bildung von Leewellen günstig. Für eine Leewellen-Prognose sind natürlich weitere Kriterien zu beachten (siehe Lehrbuch „Moderne Flugmeteorologie für Ballonfahrer und Flieger“ von Dr. M. Reiber, Seit 248 ff).

Viel Erfolg bei den künftigen Temp-Auswertungen und immer eine „glückliche Hand“ bei den selbst erarbeiteten Wetterprognosen.

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 zu finden.

*Diese CD-ROM beschreibt die Temp-Auswertung mittels „pc_met“ im Detail.
Sie kostet 7,50 € und kann direkt bei Dr. Reiber bestellt werden
(E-Mail: DrMReiber@freenet.de oder Tel.: 07622 6848888)*

