

# Thermikprognose mit Temps

VON OLIVER PREDELLI

Kann man die Stärke der Thermik und deren Ausprägung im Höhenband aus einem Temp ablesen? Ja, man kann! Damit ist das Emagramm (Temp) ein zentrales Element der Segelflug-Wetterprognose.

**B**isweilen beneide ich Vereinsmitglieder, die immer dann, wenn „Wetter“ ist, in die Luft gehen können. Mir jedoch sind familiäre und berufliche Verpflichtungen auferlegt, die mir das Fliegen nur an wenigen Tagen im Jahr gestatten. In unserem Küchenkalender sind diese Tage bereits lange zuvor geplant. Das Verlegen eines Flugtages ist nicht ganz einfach.

Deshalb brauche ich eine verlässliche Wettervorhersage. Möglichst mehrere Tage früher möchte ich wissen, welches Wetter mich erwartet. Wird es ein Überlandflug, oder reicht es nur zu Platzrunden? Ich möchte auch nicht durch falsche Vorhersagen enttäuscht werden. Wie häufig ist es schon passiert, dass der Segelflugwetterbericht noch am Vortag gute Thermik versprach, es am Morgen des Flugtages dann jedoch eher mau aussah? Es wäre also durchaus hilfreich, den offiziellen Flugwetterbericht durch eine eigene Prognose zu ergänzen.

Neben den Wetterkarten für Luftdruck, geopotenzielle Höhe oder äquivalentpotenzielle Temperatur ist der Temp ein gebräuchliches Hilfsmittel zur eigenen Wetterprognose. Diese Horizontalschnitte durch die Atmosphäre sind eine elegante Methode, mit der man herausfinden kann, wie segelflugtauglich das Wetter wird. Dass aus einem Emagramm Temperaturen, Basishöhe, Bedeckungsgrade und das Risiko von Überentwicklungen abgelesen werden können, ist hinreichend

bekannt [siehe Literaturhinweise am Ende des Artikels: Haf99]. Aber liefert das Diagramm auch Hinweise auf die Thermikstärke? Um diese Frage zu beantworten, muss man sich etwas eingehender mit dem Wesen der Thermik auseinandersetzen.

Selbstverständlich nennt jeder professionelle Segelflug-Wetterbericht einen Wert für die erwartete Thermikstärke. Bei DWD, TopMeteo und RASP ist dieser Wert ein zentraler Bestandteil der Vorhersagen. Die Wetterdienste brauchen das auch für die Abschätzung der potenziellen Flugdistanz über den Tag. Eine dafür zumindest bei RASP verwendete Formel lautet:

$$w^* = ((g/T_0) \cdot Q_s \cdot D)^{1/3} \text{ [Blu17].}$$

Als diese Formel hergeleitet wurde, ging man davon aus, dass es zwischen Thermik und Umgebungsluft immer eine Temperaturdifferenz gibt [Allo6]. Thermik entsteht, weil sich Luft am Boden erwärmt, sich irgendwann ablöse und beim Aufstieg einen gewissen Temperaturvorsprung gegenüber der Umgebungsluft behalte. Für eine Überschlagsrechnung mag diese Betrachtung gute Ergebnisse liefern, sie entspricht aber nicht ganz der Realität. Denn die Thermikstärke ist eben nicht davon abhängig, wieviel Sonnenenergie zuvor am Boden ankam und wie hoch die Konvektion reicht. Tatsächlich ist sie einzig davon abhängig, welche Kräfte sie nach der Ablösung nach oben treibt. Hier spielen Dichteunterschiede zwischen Thermik und Umgebungsluft eine entscheidende Rolle. Wie wir inzwischen wissen, sind Tempera-

turunterschiede zwischen Thermik und Umgebungsluft vernachlässigbar [Blu14]. Für den Dichteunterschied kann die Temperaturdifferenz somit kaum relevant sein. Die Dichte hängt stattdessen maßgeblich von der relativen Luftfeuchtigkeit, also von der Taupunktdifferenz ab. Sie ist zwischen Thermik und Umgebungsluft unterschiedlich. Beide Taupunktdifferenzen sind aus dem Temp ablesbar. Damit müsste man aus dem Temp auch die Thermikstärke ermitteln können. Und zwar für die jeweilige Flughöhe – soweit meine Vorüberlegungen.

## Die Thermik-Formel

Nach einigen theoretischen Betrachtungen und mehreren mathematischen Umformungen lässt sich tatsächlich eine simple Gleichung finden, die man auf den Temp anwenden kann (siehe Kasten):

$$w \approx K \cdot \sqrt{\frac{1,1^{(\tau_{Th} - \tau_{Lu})/^\circ C} - 1}{1,1^{(\theta_{Lu} - \tau_{Lu})/^\circ C}}} \cdot \text{mit } K = 5,6 \text{ m/s}$$

(Die Herleitung der Gleichung finden Sie unter: <http://www.segelfliegen-magazin.de/onlineartikel/allgemein/>)

Dabei ist  $\theta_{Lu}$  die Temperatur der Umgebungsluft,  $\tau_{Lu}$  der Taupunkt der Umgebungsluft und  $\tau_{Th}$  der Taupunkt der aufsteigenden Thermik, jeweils in der entsprechenden Höhe über Grund. Die Differenz  $(\theta_{Lu} - \tau_{Lu})$  ist nichts anderes als der Spread, und  $(\tau_{Th} - \tau_{Lu})$  ist die Temperaturdifferenz zwischen dem Taupunkt der Umgebungsluft und dem Taupunkt der Thermik.

Die Thermik-Formel beweist: Die Stärke der Thermik wird maßgeblich durch Unterschiede in der Luftfeuchtigkeit bestimmt. Je trockener die Umgebungsluft und je feuchter die aufsteigende Luft ist, desto stärker ist die Thermik.

**Anwendung der Thermik-Formel**

Der Temp zeigt die jeweilige Temperatur der Umgebungsluft ( $\vartheta_{Lu}$ ) und die Taupunkttemperatur ( $\tau_{Lu}$ ) in verschiedenen Höhen der konvektiven Schicht. Ferner wissen wir, dass die Taupunkttemperatur in der aufsteigenden Luft der ebenfalls im Emagramm gezeigten Linie des konstanten Sättigungsmischungsverhältnisses des Bodentaupunktes folgt. Damit liegt auf dieser Linie die Taupunkttemperatur der Thermik ( $\tau_{Th}$ ) in der jeweiligen Höhe.

Wir brauchen lediglich die drei Werte  $\vartheta_{Lu}$ ,  $\tau_{Lu}$  und  $\tau_{Th}$  aus dem für unsere Fluggegend relevanten Temp abzulesen und können mit der oben genannten Formel die Stärke

der Thermik in verschiedenen Höhen berechnen. **Abbildung 1** zeigt dies exemplarisch an einem Temp aus der GFS-Visualisierungssoftware zyGrib. Am 7. Juli 2016 war in 1.000 m Höhe über Wilsche mit einem durchschnittlichen Steigen von 2,1 m/s zu rechnen, das Eigensinken des Flugzeugs ist hiervon jedoch noch abzuziehen.

Anstatt jedes Mal den Taschenrechner zu zücken, kann man eine kleine Tabelle für die relevanten Temperaturwerte erstellen (**Abb. 2**). Mit etwas Übung hat man nach kurzer Zeit die typischen Steigwerte im Kopf. Ich schaue mir mittlerweile zur Abschätzung der thermischen Bedingungen nur noch an, wie der Spread sich verändert und wo der Spread ungefähr durch die Linie des Sättigungsmischungsverhältnisses des Bodendrucks geteilt wird.

**Parameter-Identifikation**

Ich möchte noch erläutern, wie ich den

Parameter  $K = 5,6$  m/s bestimmt habe. Anstatt ihn aufwendig aus den verschiedenen physikalischen Größen der verwendeten Gleichungen zu berechnen, war es leichter, ihn messtechnisch zu ermitteln. Schließlich sind viele dieser physikalischen Größen schwer zu erfassen. Ich kenne jedenfalls nicht den  $C_w$ -Wert einer aufsteigenden Thermikblase. Aber messtechnisch, wie soll das funktionieren? Ganz einfach: über die Auswertung realer Flugdaten! Im Internet gibt es Datenbanken, aus denen man für unterschiedliche Höhen der konvektiven Schicht an vielen Orten der Erde ablesen kann, wie stark die Thermik war. Wir Segelflieger kennen sie alle, es sind <http://www.onlinecontest.org> oder <https://skylines.aero/> mit ihren Tausenden von Logger-Dateien.

Nein, natürlich ist es nicht die wahre Thermikstärke, die dort in m/s beim Kurbeln im Bart angezeigt wird. Das Eigensinken des Flugzeuges ist zu berücksichtigen. Unter

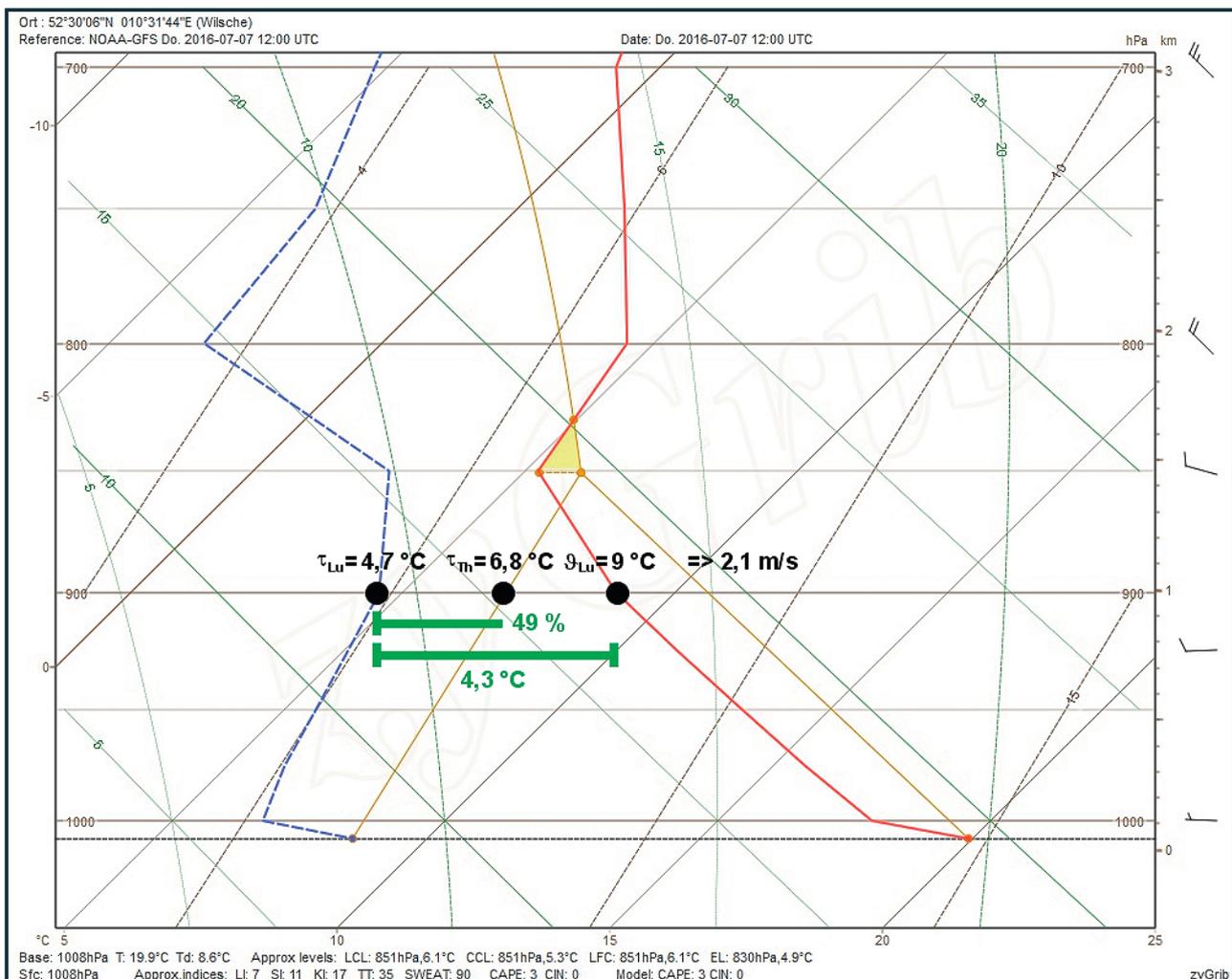


Abb. 1: Temperaturwerte zur Berechnung der Thermikstärke für den 07. Juli 2016 in Wilsche. Quelle des Temps: zyGrib

Stärke der Thermik in m/s				
Taupunkt-differenz	Taupunkt der Thermik schneidet Spread bei			
	25 %	50 %	75 %	100 %
2 °C	1,1	1,6	2,0	2,3
4 °C	1,5	2,1	2,7	3,2
6 °C	1,6	2,4	3,1	3,7
8 °C	1,8	2,6	3,4	4,1
10 °C	1,8	2,7	3,6	4,4
12 °C	1,8	2,8	3,7	4,6
14 °C	1,8	2,8	3,8	4,8
16 °C	1,8	2,8	3,8	5,0
18 °C	1,7	2,8	3,8	5,1
20 °C	1,7	2,7	3,8	5,2
22 °C	1,6	2,7	3,8	5,2
24 °C	1,6	2,6	3,8	5,3
gerundet	1,5	2,5	3,5	4,5

Umständen hatte der Pilot den Bart nicht richtig zentriert oder sein Kurvenflug war unsauber. Auch mag es lokal einen „Hammerbart“ oder einen schwächeren Aufwind gegeben haben. Durch eine statistische Auswertung vieler Flüge gleichen sich die möglichen Fehler jedoch aus, und ein Mittelwert ist erkennbar.

Zunächst habe ich auf der Internetseite <http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html> der Universität von Wyoming nach geeigneten Aufstiegspunkten von Radiosonden gesucht. Schließlich sollte die Verifikation der Thermik-Formel anhand echter Wetterdaten erfolgen, nicht auf Grundlage von GFS-Modelldaten. Die Wetterballon-Aufstiege sollten in einer Region liegen, in der Segelflieger unterwegs sind, die ihre Loggerdateien ins Internet stellen. Auch sollten sie zu einer Uhrzeit stattfinden, wenn Segelflugzeuge in der Luft sind, damit man die Logger-Mitschriebe in einen zeitlichen Bezug zu den Ballon-Messwerten setzen kann. Ich habe für meine Auswertungen insbesondere die Daten aus Bergen bei Celle, Lindenberg und Kümmersbruck genutzt, sowie aus Trappes (Frankreich), Legionowo (Polen) und Tuscon (USA). Daten aus Australien waren hingegen nicht zu gebrauchen, weil die Ballone dort gegen 09:00 Uhr und 21 Uhr Ortszeit aufsteigen, wenn also die Thermik gerade erst begonnen hat oder sie bereits wieder vorbei ist.

Abb. 2: Vereinfachte Tabelle zum direkten Ablesen der Thermikstärke anhand der Temperaturdifferenzen

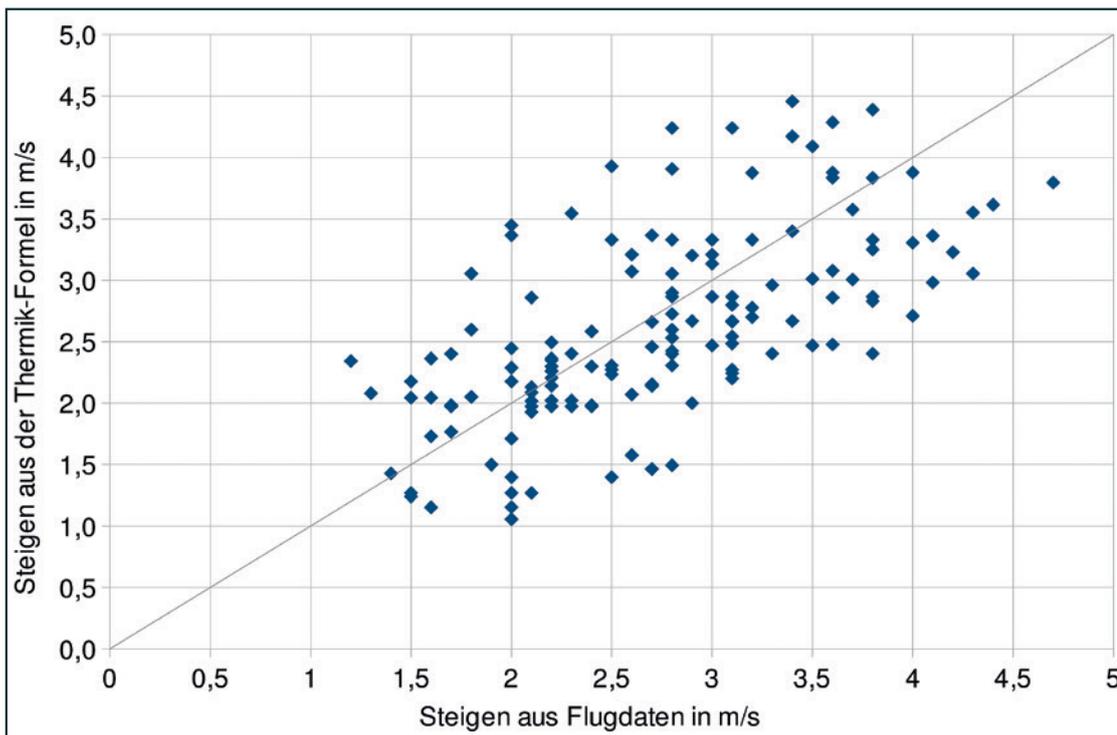


Abb. 3: Jeder Punkt zeigt ein ausgewertetes Steigen aus den Flugdaten (X-Achse) und stellt ihn dem zugehörigen theoretischen Wert aus der Thermik-Formel gegenüber (Y-Achse)

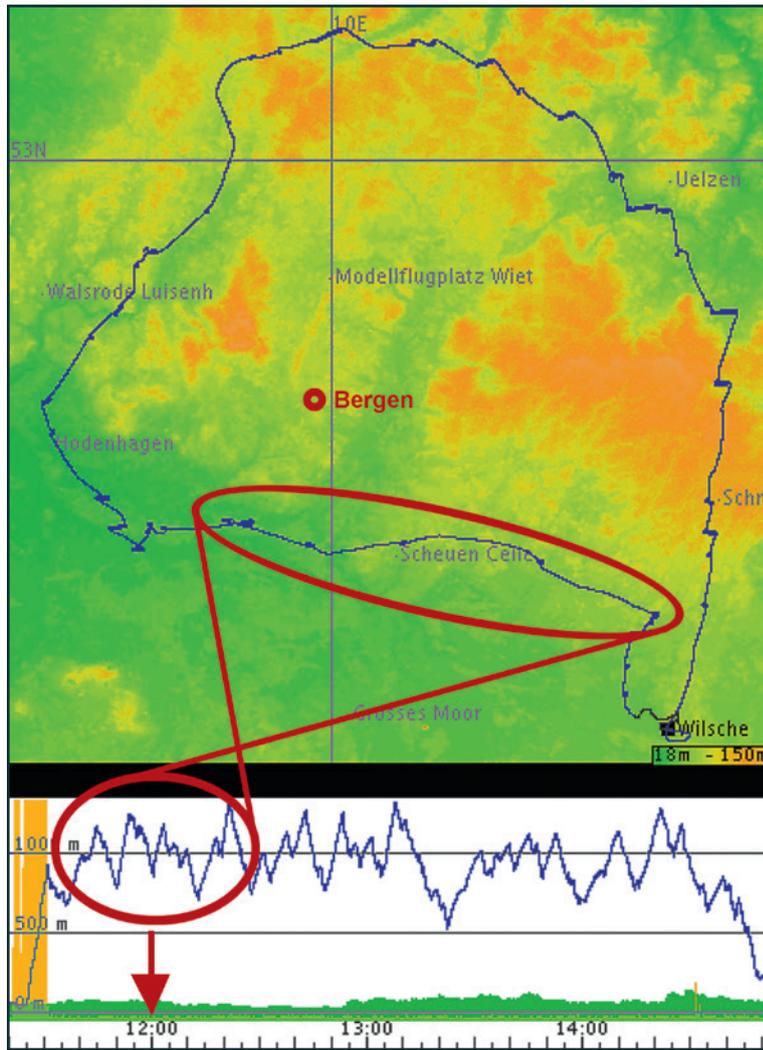


Abb. 4: Flug um Bergen am 07. Juli 2016. Quelle: OLC

Aus den Daten der Radiosonden wurden die theoretischen Steigwerte mit Hilfe der Thermik-Formel errechnet und mit den Steigwerten der dort vorbeigehenden Flüge verglichen. Mittels mathematischer Parameter-Identifikation konnte so der noch fehlende Wert für K ermittelt werden. Ein Vergleich zwischen den berechneten Werten und den Steigwerten der Segelflüge zeigt eine gute Korrelation (Abb. 3).

Abbildung 4 und Abbildung 5 zeigen diese Auswertung exemplarisch für einen Flug, der mich am 07. Juli 2016 zur richtigen Zeit rund um Bergen führte. Anders als in Abb. 1, in dem GFS-Modelldaten stehen, werden in Abb. 5 Radiosonden-Werte genutzt. Das erklärt die leichten Abweichungen zwischen beiden Darstellungen. Die grüne Kurve ist die aus der Lufttemperatur (blau), dem Taupunkt der Umgebungsluft in der jeweiligen Höhe (rot) und der Linie des konstanten Sättigungsmischungsverhältnisses des Bodentaupunktes (orange) berechnete Thermik. Die Wolkenbasis liegt bei ca. 1200 m. Die Taupunktdifferenz von 2,5 °C an der Inversion lässt eine Bedeckung von 7 Achteln erwarten. Die berechnete Thermik zeigt 2 m/s. Und so war es an dem Tag in der Gegend auch tatsächlich. Der Himmel zog immer mehr zu. Die Thermik war eher mäßig.

Hammerwetter ist anders. Der 11. Juni 2016 war so ein Tag, als allein von Wilsche aus über 10.000 Streckenkilometer zurückge-

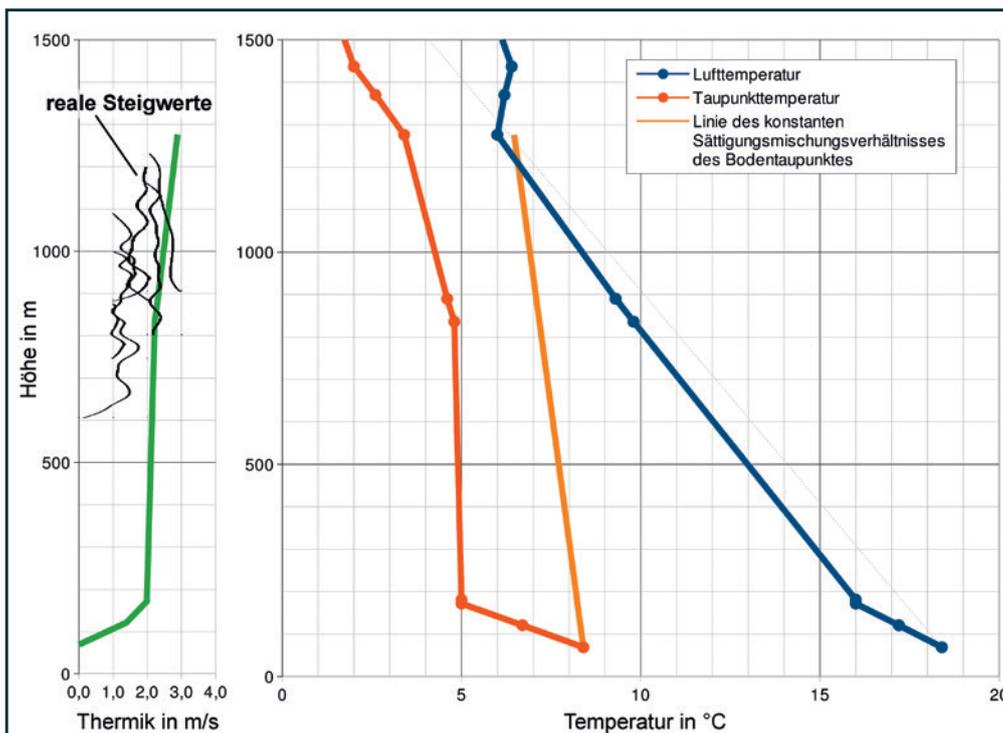


Abb. 5: Temperatur-Messwerte der Radiosonde Bergen vom 7 Juli 2017, 12 UTC mit der daraus berechneten Thermik sowie tatsächliche Steigwerte aus Abb. 4

legt wurden, darunter zwei Flüge länger als 1000 km. In **Abb. 6** sehen wir den GFS-Temp für die Gegend von Wittenberge an der Elbe. Theoretisch waren um 15 UTC noch 2,9 m/s in 1000 m Höhe zu erwarten.

**Grenzen des Verfahrens**

Die Vorhersage steht und fällt mit der Qualität des Prognose-Temps. Ist etwa das verwendete GFS-Modell ungenau, so ist es das Ergebnis der Thermik-Formel ebenso. Selbstverständlich muss auch der Temperaturverlauf Thermik ermöglichen. Bei einer Bodeninversion entsteht keine Thermik, die Methode ist dann nicht anwendbar. Lokal kann die Thermik stärker oder schwächer sein, je nach Untergrund (Temperatur) und Feuchtigkeit im Boden. Das Verfahren zeigt auch nicht, wie weit die Bärte auseinander stehen.

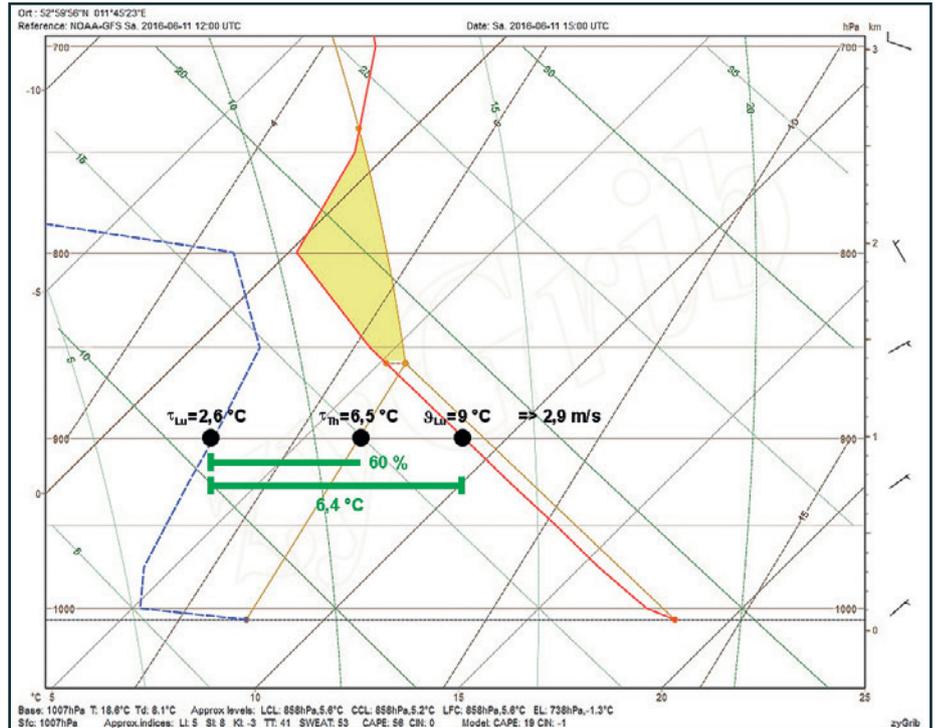
Im Lee von Gewässern oder Waldkanten ist die Thermik bisweilen feuchter und die Steigwerte sind besser als der berechnete Durchschnitt. Durch diese feuchtere Luft am Boden wird die Linie des konstanten Sättigungsmischungsverhältnisses des Bodentaupunktes im Emagramm nach rechts verschoben. Mit den oben angestellten Betrachtungen wird unmittelbar deutlich, dass sich dadurch die Thermikstärke erhöhen muss.

RASP berechnet prinzipiell gute Temps, aber deren Skalierung ist für unser Verfahren etwas unhandlich. Eine weitere Quelle ist <http://www.weatheronline.co.uk/cgi-bin/expertcharts>, die oben rechts auf der Webseite einen Link zu GFS-Prognose-Temps anbietet. Ein Temp aus Daten einer in der Nacht aufgestiegenen Radiosonde ist hingegen völlig ungeeignet. Wir kennen das Verfahren, bei dem man in solche Diagramme die erwarteten Temperaturgradienten des Tages einzeichnet („Aufheiztransparent“), um Thermikbeginn und Basishöhen abzuschätzen [Haf99].

Da wir dadurch jedoch nicht herausfinden, wie sich die Taupunkttemperatur in den verschiedenen Höhen über den Tag verändert, fehlt eine zentrale Eingangsgröße für unsere Thermik-Formel.

**Woher bekommt man geeignete Temps?**

Meine Flugwetter-Vorschau für die nächsten Tage basiert auf den im Internet verfügbaren Daten des „Global Forecast Systems“ (GFS) der US-Bundesbehörde für Wetter und Ozeanografie (NOAA). Zur Visualisierung verwende ich „zyGrib“ ([www.zygrib.org](http://www.zygrib.org)). Die Open-Source-Software zyGrib kann aus GFS-Daten nicht nur Vorhersagekarten für eine interessierende



**Abb. 6:** Temp für Wittenberge am 11. Juni 2016 und der daraus berechneten Thermikstärke. Quelle des Temps: zyGrib

Region erzeugen, sondern auch Vorhersage-Temps für beliebige Orte.

RASP berechnet prinzipiell gute Temps, aber deren Skalierung ist für unser Verfahren etwas unhandlich. Eine weitere Quelle ist <http://www.weatheronline.co.uk/cgi-bin/expertcharts>, die oben rechts auf der Webseite einen Link zu GFS-Prognose-Temps anbietet.

Ein Temp aus Daten einer in der Nacht aufgestiegenen Radiosonde ist hingegen völlig ungeeignet. Wir kennen das Verfahren, bei dem man in solche Diagramme die erwarteten Temperaturgradienten des Tages einzeichnet („Aufheiztransparent“), um Thermikbeginn und Basishöhen abzuschätzen [Haf99].

Da wir dadurch jedoch nicht herausfinden, wie sich die Taupunkttemperatur in den

verschiedenen Höhen über den Tag verändert, fehlt eine zentrale Eingangsgröße für unsere Thermik-Formel.

**Zusammenfassung**

In diesem Beitrag wurde erstmals die Thermik-Formel vorgestellt. Jeder Segelflieger kann damit aus Vorhersage-Temps, zum Beispiel basierend auf GFS-Modelldaten, abschätzen, wie stark die Thermik wird. Und, ebenfalls neu, man kann sofort erkennen, in welchem Höhenband die Thermik am besten ist.

Wird darüber hinaus eine Software wie zyGrib verwendet, so lassen sich diese Prognosen mehrere Tage im Voraus für alle beliebigen Orte auf der Erde erstellen – und das kostenlos und mit großer Genauigkeit. ♦

**Literatur**

[Allo6] Allen, M. J.: „Updraft Model for Development of Autonomous Soaring Uninhabited Air Vehicles“, 44th AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit, Reno, 2006

[Blu14] Blum, H.: „Meteorologie für Segelflieger“, Motorbuch Verlag, Stuttgart, 2014

[Blu17] Blum, H.: „Modell V(orh)ersagen“, segelfliegen 01/2017, Gabler Media, Biliten GL, 2017

[Haf99] Hafner, T.: „Handbuch der Flugwettervorhersagen für den Luftsport“, Vorabdruck zu den 26. Segelflugweltmeisterschaften 1999 in Bayreuth

# Planungsprogramme: Visual Flight Guide und VFRiManual sind ...

... DIE PERFEKTEN ELEKTRONISCHEN BEGLEITER  
VOR UND WÄHREND IHREM FLUG!

## Visual Flight Guide am PC:

- Planung Ihrer Flugroute und TripKit-Erstellung
- Schnittstelle zum NOTAM-Service der DFS
- Verzeichnis aller deutschen Flugplätze
- Schlagwortsuche und Druckfunktion
- Flightlog, etc.

## VFRiManual auf iPad und iPhone (ab 4S):

- Anzeige der aktuellen Position und weiterer Ortungsdaten auf einer Luftfahrtkarte
- enthält optional das Luftfahrthandbuch AIP VFR
- Direct-to-Funktion, etc.



+49 6103 20596 0  
www.eisenschmidt.aero  
facebook.com/eisenschmidt.aero  
customer-support@eisenschmidt.aero

