

Aerologische Messungen
mit dem "Open Glide Computer"
während Wellenflügen in den Pyrenäen



Motivation

1) Wie funktioniert die Welle?

zum grundlegenden Verständnis

Windgeschwindigkeit, Vertikalgeschwindigkeit.

Abstand vom auslösenden Hindernis, Wellenlänge, (potenzielle) Temperatur...

2) Wohin soll/kann ich fliegen?

angewandte Fragestellung

Flugtaktik, Vorhersagecharakter

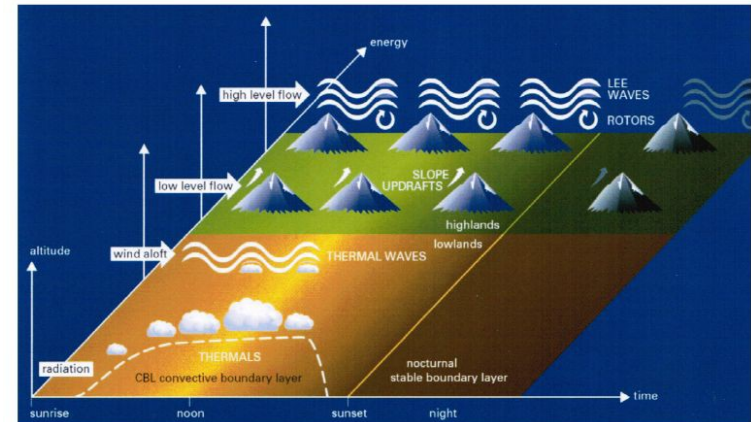


Fig. 1.1: Various meteorological phenomena to support soaring flight.
Source: OSTIV (2009), WMO-No. 1038



Wie funktioniert die Welle? mal so, mal so...

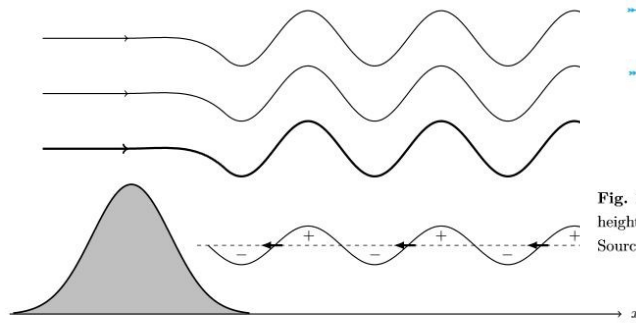


Fig. 9.6: Schematic of near surface pressure variations Δp as observed below mountain lee waves. Typical pressure amplitudes are about $\Delta p \approx 10$ Pa. The direction of adverse pressure gradients favorable for rotor formation are indicated by arrows.

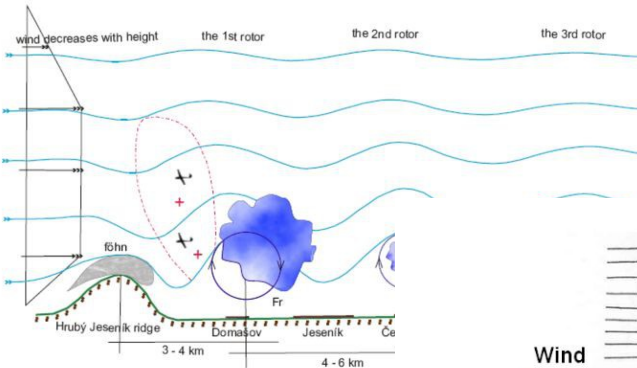


Fig. 1.3: Schematic of the lee waves in the area of the Hrubý Jeseník ridge. The height of the mountain ridge is about 1000 m above the surface. Source: Aeroclub Jeseník

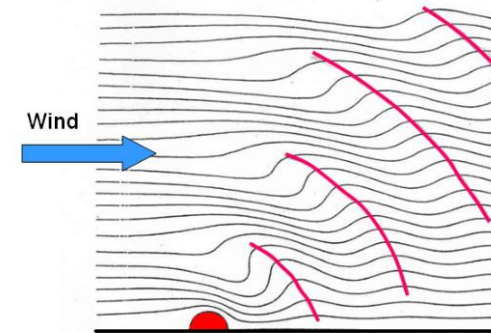


Fig. 7.5: Interpretation of the water tank experiment shown in Figure 7.4 with respect to the flow situation and lines a

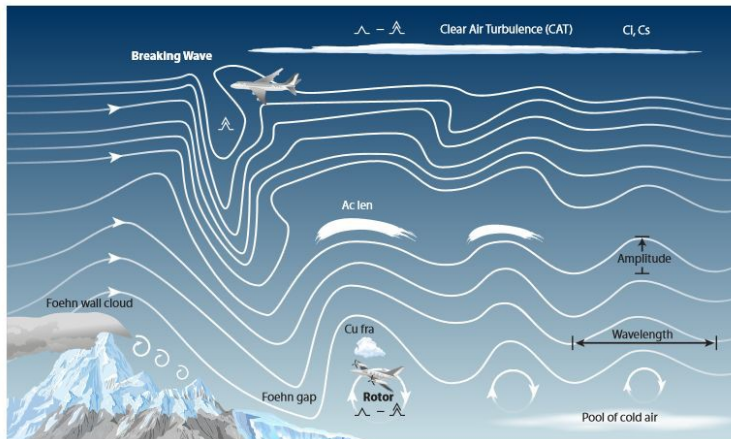
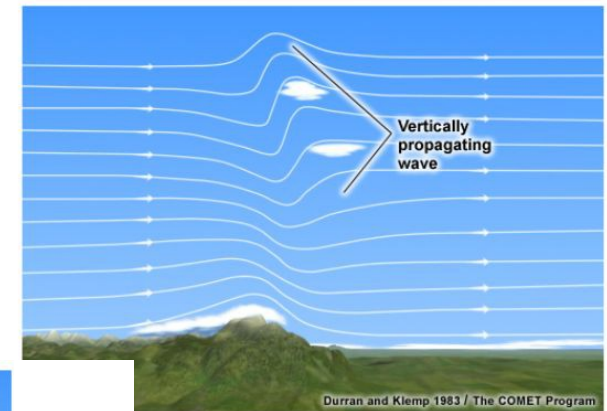


Fig. 7.13: Sketch of potential hazards for aviation in mountain wave systems. Upper part: breaking gravity waves; lower part: rotors. Source: Mountain-Wave-Project



Vertically propagating gravity waves induced by large mountains.

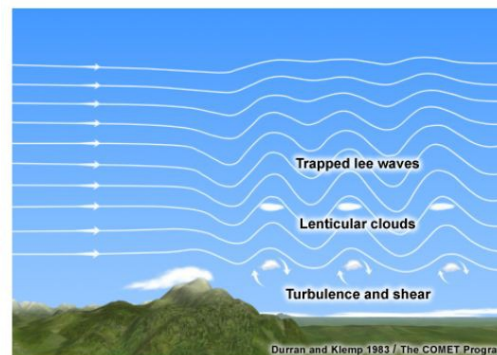
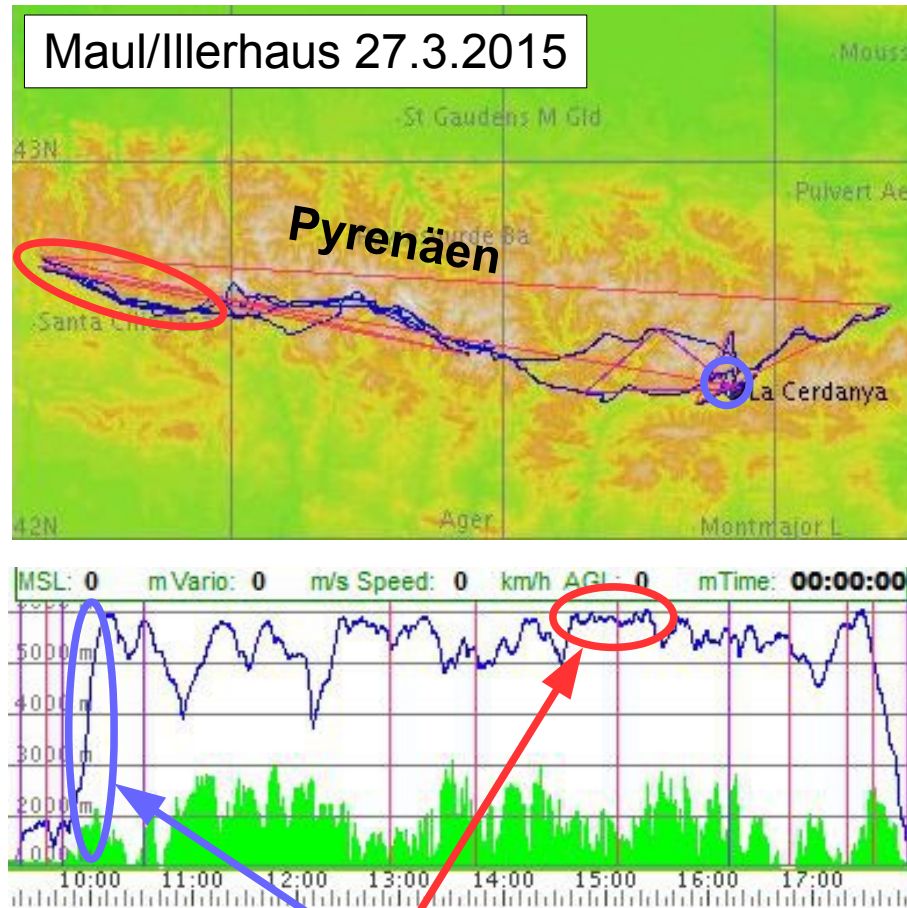


Fig. 7.8: Schematic of trapped mountain waves (lee waves) induced by moderately sized mountains. The lowest layer is characterized by turbulence and wind shear induced by rotors. Source: UCAR/COMET

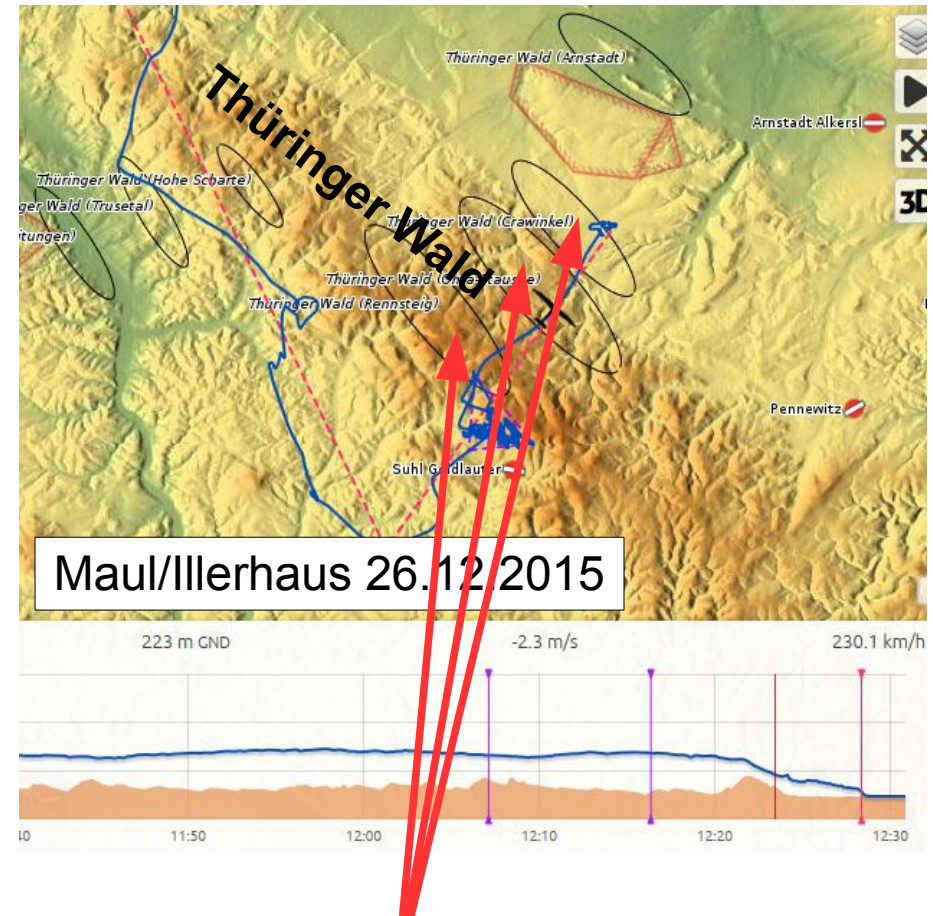
alle Abb. aus Etling:
Atmospheric Gravity
Waves and Soaring Flight

Wohin soll ich fliegen?

Identifizierung von Steiggebieten aus IGC-Dateien - schwierig



wird als Steiggebiet erkannt
wird nicht als Steiggebiet erkannt



ausgewiesene Wellensteiggebiete
ohne Steigen

- **Probleme**

- 1) Wellenerscheinungen sind vielfältig, und es gibt nur wenige aerologische Messungen
- 2) IGC-Dateien von Wellenflügen sind besser als nichts, aber nicht genug. Zuwenig qualitative und quantitative Information.

- **Ziel**

Wir brauchen mehr Daten.

quantitativ: mit hoher zeitlicher Auflösung (besser als 1 Sekunde)

qualitativ: nicht nur GPS und statischer Druck, sondern auch Temperatur, Feuchte, Magnetfeld...

- **Lösung**

Open Glide Computer

Open Glide Computer



Hendrik Hoeth, <http://openglidecomputer.linta.de/wiki>

The primary aim of the OpenGlideComputer project is to build a data logger for gathering meteorological and flight data for mountain wave research (see <http://www.schwerewelle.de/>).

Hardware

built around the **Raspberry Pi**, a credit card sized computer running Linux.

For data collection we have

- pressure sensors for static and pitot,
- a humidity sensor
- a high resolution GPS,
- an outside air temperature probe,
- a magnetic compass,
- accelerometer and
- gyros.

(<http://openglidecomputer.linta.de/wiki>, Hendrik Hoeth)

Open Glide Computer S/N 1

The screenshot shows a digital display with several data points circled in red and labeled with white boxes:

- Fahrt**: 16
- Temperatur**: 15.8°C
- Kurs**: 197
- Wind**: 11.97
- Höhe MSL**: 77
- Vario**: 0

Other visible data on the screen includes "OAT 15.8°C", "Wind 11.97", and "77". The display also shows a vertical scale on the right side with values 0, 50, 100, 150, 200.



Messdaten

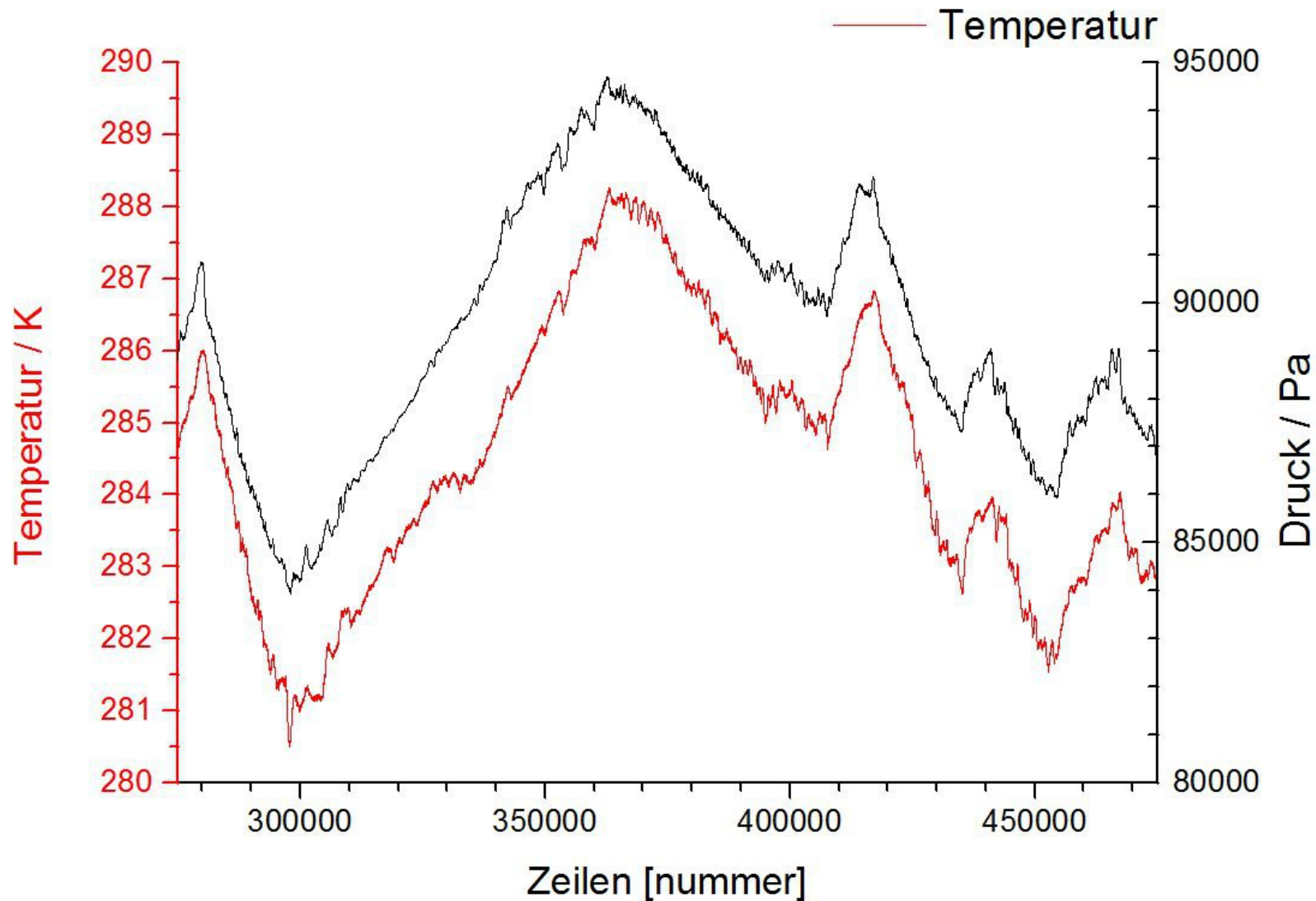
aufgenommen auf Thermikflügen im Sommer 2014 (Systemerprobung)

B(X)	C(Y)	D(Y)	E(Y)	F(Y)	G(Y)	H(Y)	I(Y)	J(Y)	K(Y)	L(Y)	M(Y)	N(Y)	O(Y)
Zeilen nummer	Winkelgesch rad/s	Winkelgesch rad/s	Winkelgesch rad/s	Beschl. g	Beschl. g	Beschl. g	Magnetfeld nT	Magnetfeld nT	Magnetfeld nT	Druck1 Pa	Druck2 Pa	Temp. K	dt s
12.7.2014													
275000	0,12706	-0,04032	-0,0281	0,09758	0,02914	-1,146	24220,2	20917,4	-50550,5	88824,1	88193,9	284,619	0,02
275001	0,11484	-0,03665	-0,00855	0,05462	0,04477	-1,11475	24220,2	21009,2	-50367	88846,1	88193,9	284,619	0,027
275003	0,10873	-0,02688	-0,0281	0,09368	0,02523	-1,13819	24403,7	20733,9	-50275,2	88837,1	88193,9	284,619	0,02
275004	0,08674	-0,03543	-0,00977	0,09368	0,0057	-1,14991	24220,2	20367	-50642,2	88836,1	88197,9	284,619	0,031
275005	0,0843	-0,04643	-0,02077	0,09758	0,02133	-1,12256	24128,4	20825,7	-51009,2	88843,1	88198,9	284,619	0,029
275006	0,05253	-0,04032	-0,01222	0,07415	0,04086	-1,10694	24862,4	20000	-50367	88836,1	88196,9	284,619	0,02
275007	0,03543	-0,02932	-0,02321	0,07805	0,04086	-1,11866	23853,2	20733,9	-50642,2	88836,1	88196,9	284,587	0,033
275009	0,03299	-0,02443	-0,01466	0,09368	0,06039	-1,0835	24128,4	21100,9	-50642,2	88844,1	88197,9	284,587	0,031
275011	0,03421	-0,03665	-0,02199	0,1054	0,02523	-1,09522	23853,2	20642,2	-50550,5	88836,1	88196,9	284,587	0,02
275012	0,02688	-0,03177	-0,00489	0,09368	0,02523	-1,09131	23853,2	20183,5	-50550,5	88843,1	88195,9	284,587	0,034
275014	0,03177	-0,03054	-0,01222	0,08977	-0,00211	-1,03272	23853,2	20367	-50733,9	88850,1	88203,9	284,587	0,03
275016	-0,00367	-0,03665	-0,00489	0,07024	0,04086	-1,06787	24587,2	20000	-49633	88846,1	88203,9	284,587	0,02
275017	-0,01955	-0,01344	-0,01588	0,08196	0,03305	-1,08741	24311,9	20183,5	-50458,7	88848,1	88203,9	284,587	0,035
275018	-0,0171	-0,03299	-0,011	0,08587	0,05648	-1,07178	24036,7	20733,9	-50825,7	88851,1	88200,9	284,587	0,029
275019	-0,02199	-0,03665	-0,01466	0,09758	0,02914	-1,05616	23853,2	20550,5	-50367	88854,1	88201,9	284,587	0,02
275021	-0,02566	-0,03665	-0,00855	0,1054	0,02523	-1,02881	23945	20550,5	-50733,9	88857,1	88206,9	284,619	0,04
275022	-0,03054	-0,03421	-0,00367	0,09758	0,04477	-1,04053	23945	20642,2	-50642,2	88862,1	88209,9	284,619	0,032
275023	-0,04154	-0,02932	-0,0171	0,09758	0,02133	-1,05225	24678,9	20367	-50183,5	88855,1	88204,9	284,619	0,02
275024	-0,05009	-0,03177	-0,01344	0,08977	0,05648	-1,05616	23761,5	20825,7	-50917,4	88863,1	88207,9	284,619	0,032

Aufzeichnungsrate 25 bis 50 Hz

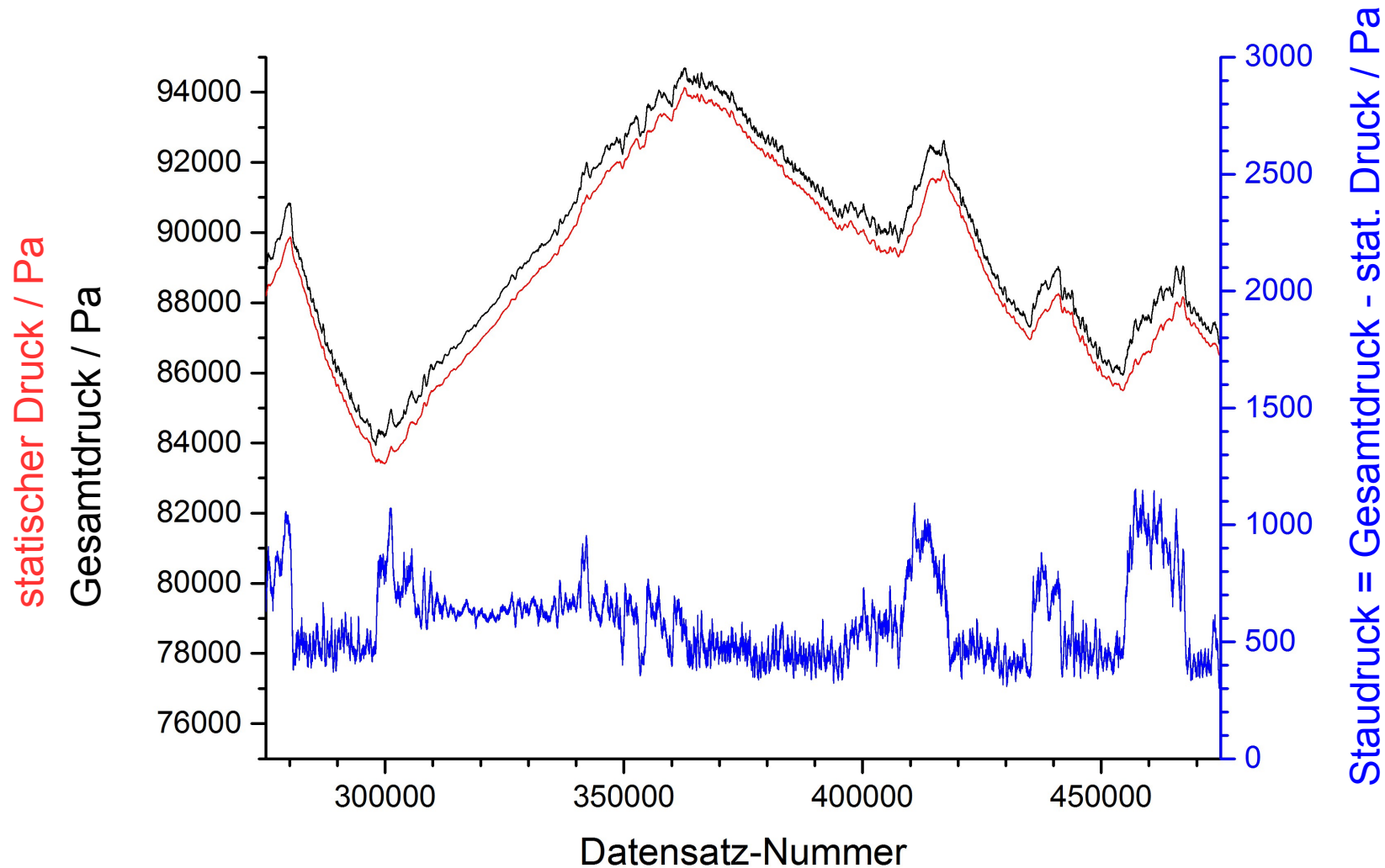
Messdaten

aufgenommen auf Thermikflügen im Sommer 2014 (Systemerprobung)



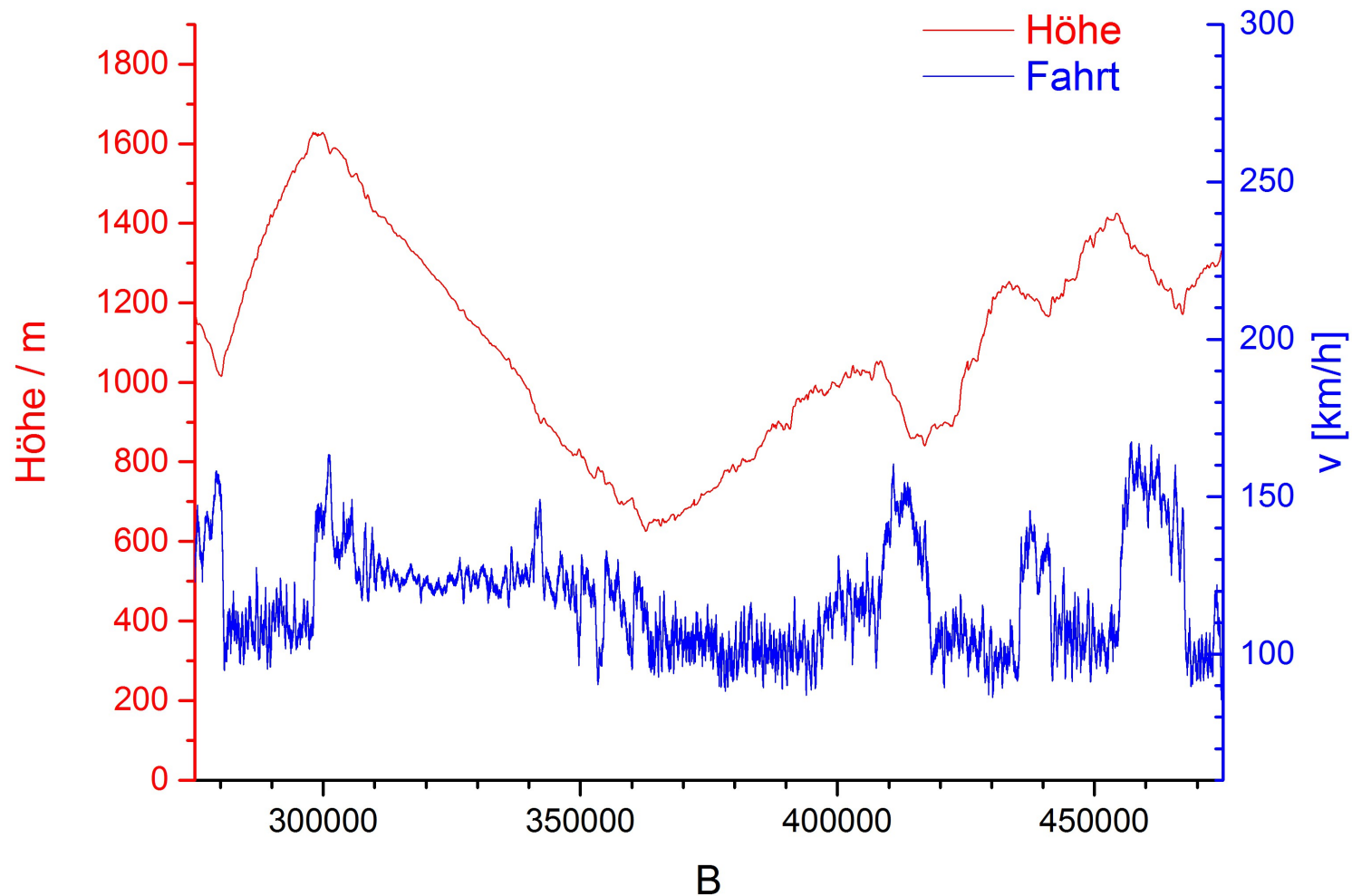
Messdaten

aufgenommen auf Thermikflügen im Sommer 2014 (Systemerprobung)



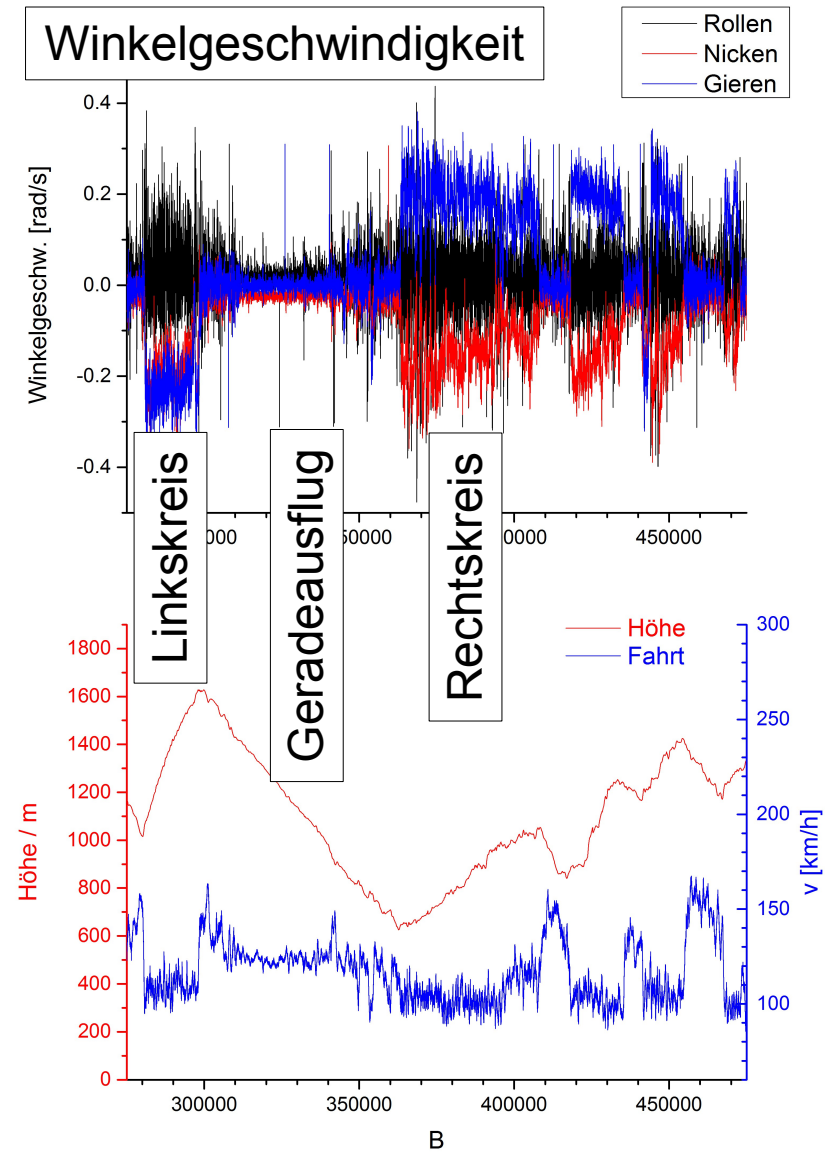
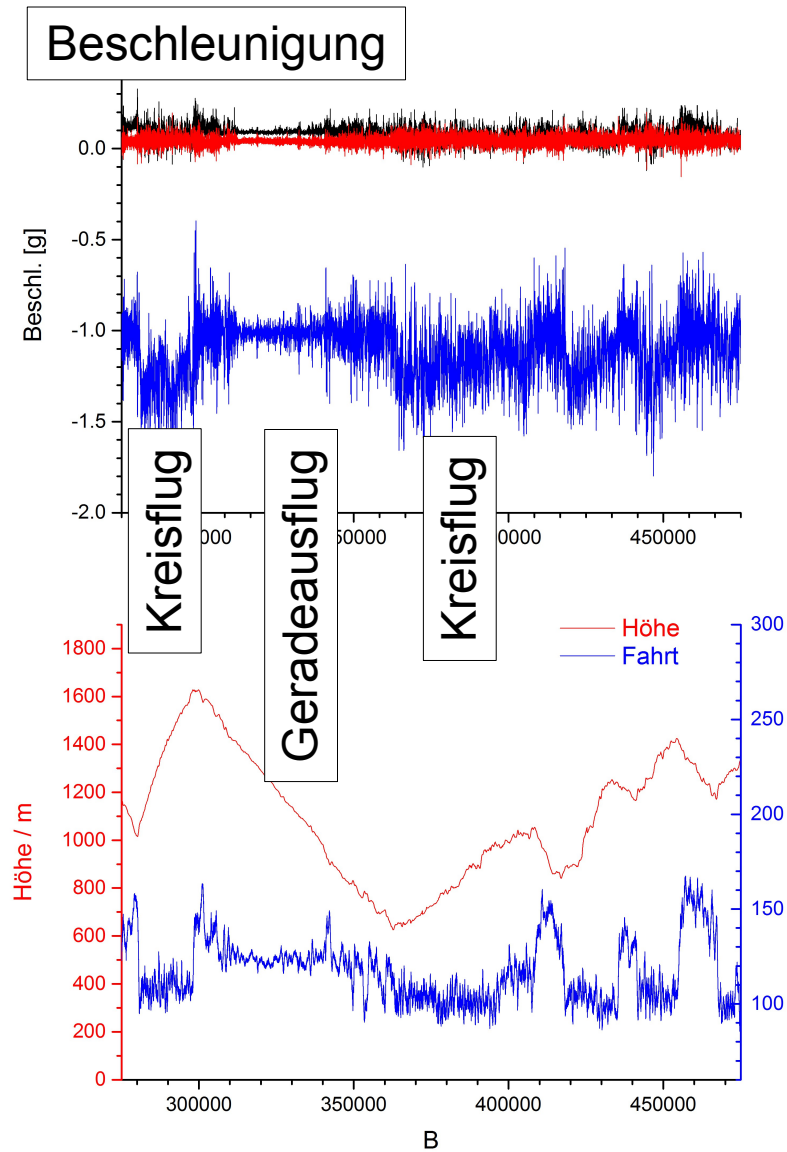
Messdaten

aufgenommen auf Thermikflügen im Sommer 2014 (Systemerprobung)



Messdaten

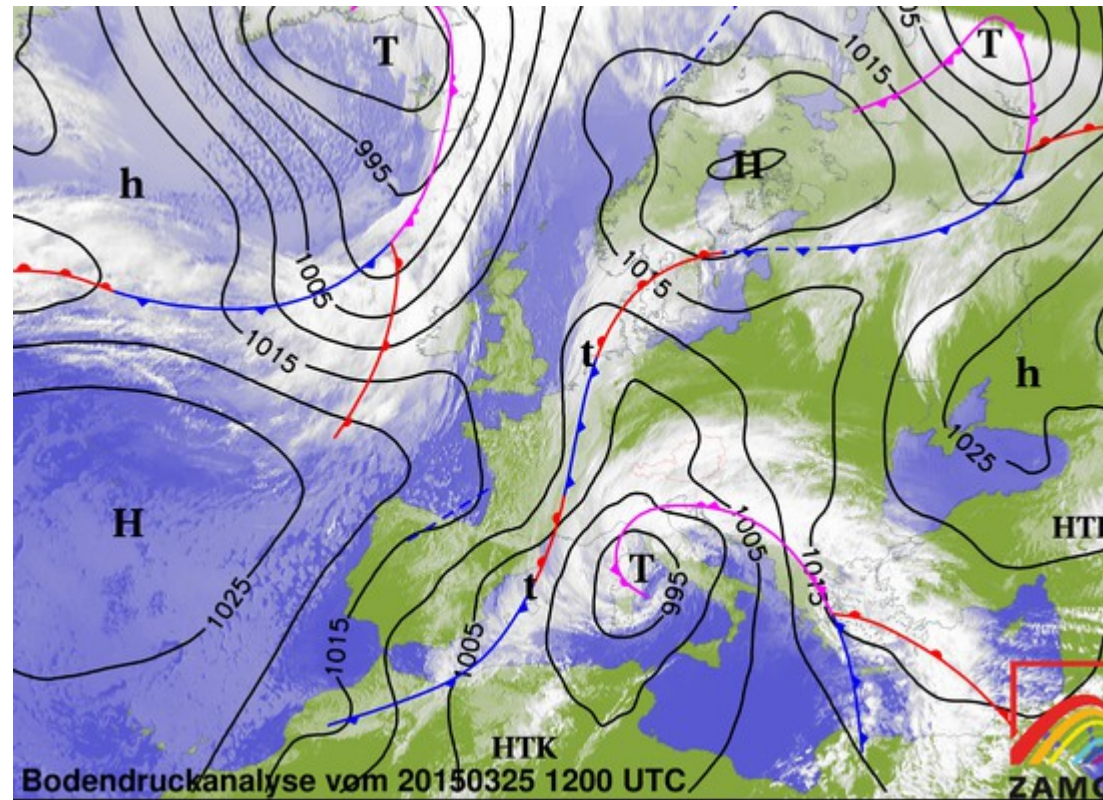
aufgenommen auf Thermikflügen im Sommer 2014 (Systemerprobung)



Frühjahr 2015 - Akaflieg Frankfurt Wave Research Camp, La Cerdanya

Einbau des Open Glide Computers in den Akaflieg-Duo-Discus

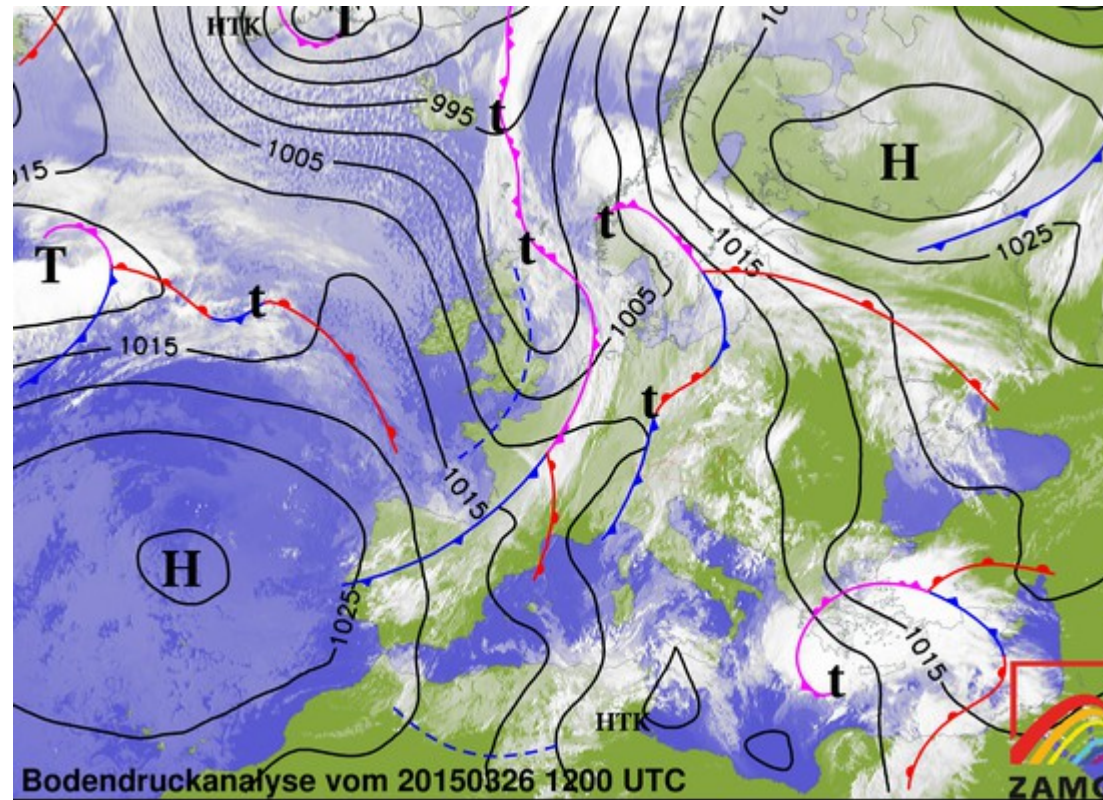
Wetterlage
25.3.2015



Frühjahr 2015 - Akaflieg Frankfurt Wave Research Camp, La Cerdanya

Einbau des Open Glide Computers in den Akaflieg-Duo-Discus

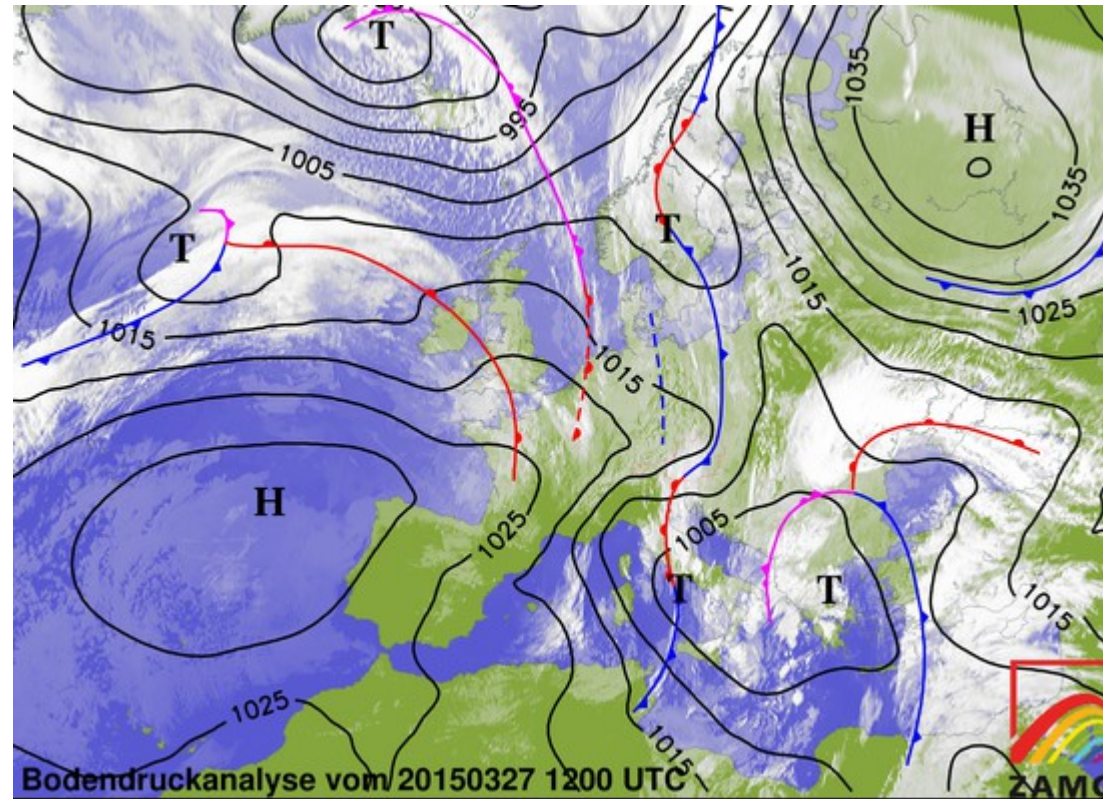
**Wetterlage
26.3.2015**



Frühjahr 2015 - Akaflieg Frankfurt Wave Research Camp, La Cerdanya

Einbau des Open Glide Computers in den Akaflieg-Duo-Discus

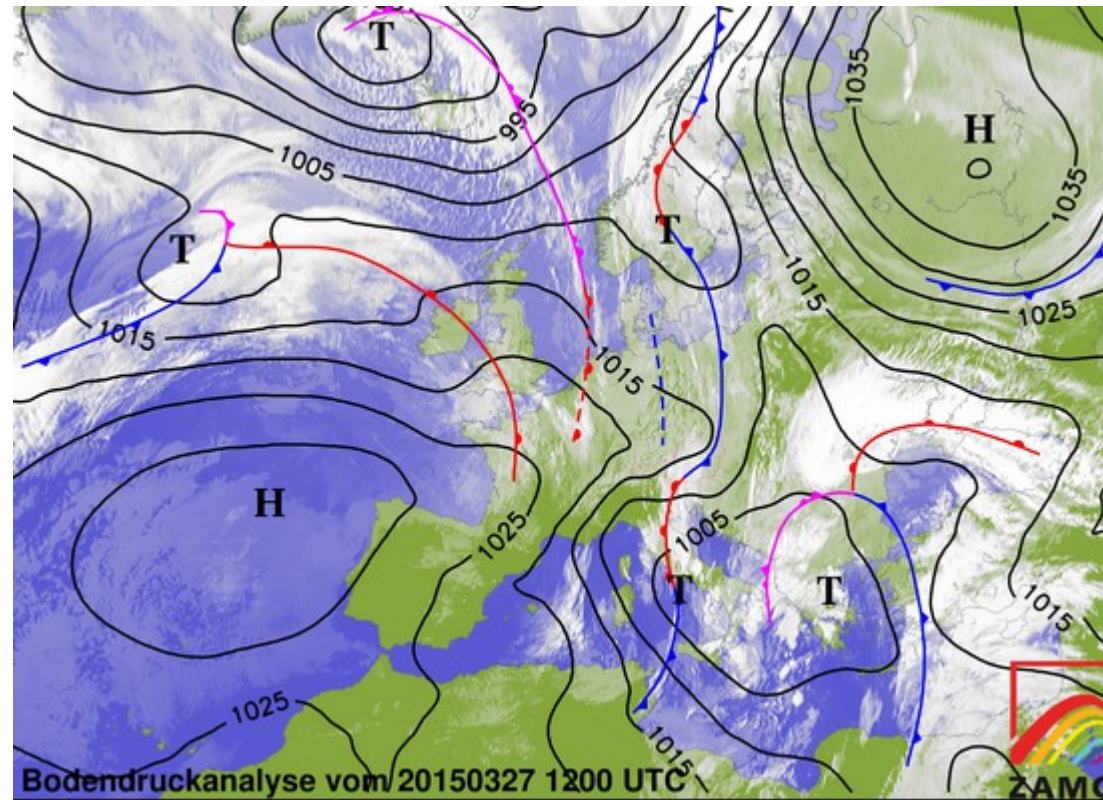
**Wetterlage
27.3.2015**



Frühjahr 2015 - Akaflieg Frankfurt Wave Research Camp, La Cerdanya

Einbau des Open Glide Computers in den Akaflieg-Duo-Discus

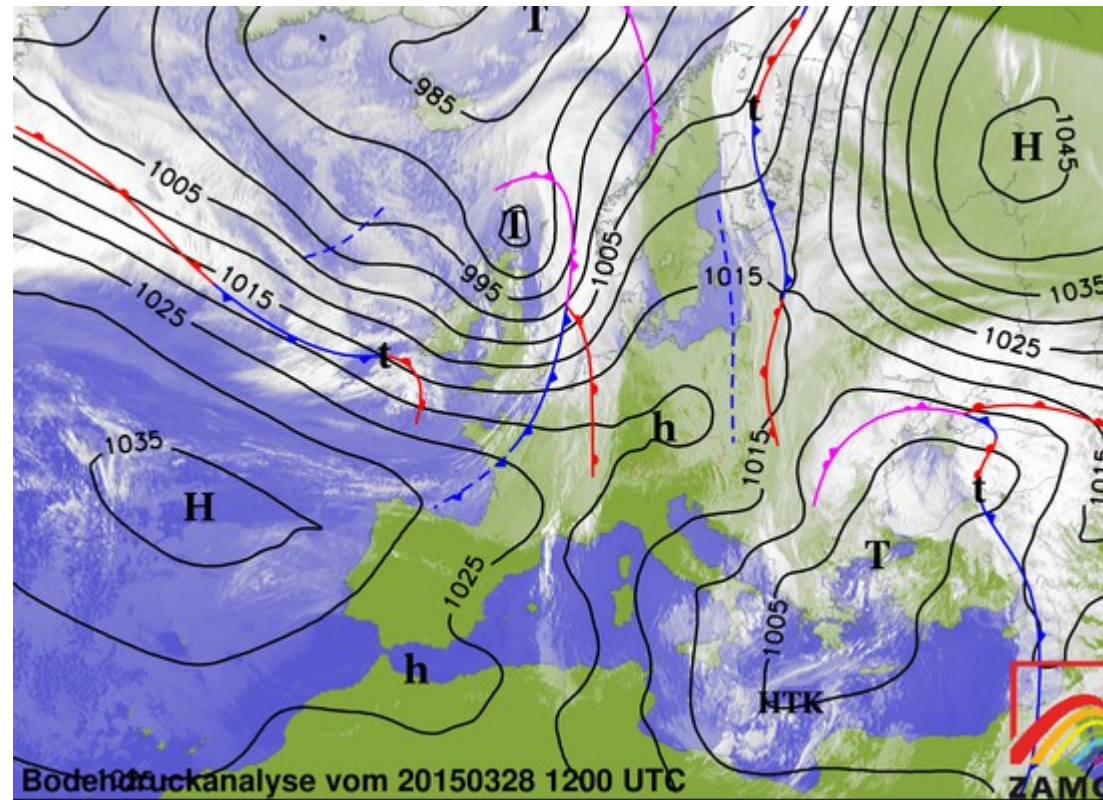
**Wetterlage
27.3.2015**



Frühjahr 2015 - Akaflieg Frankfurt Wave Research Camp, La Cerdanya

Einbau des Open Glide Computers in den Akaflieg-Duo-Discus

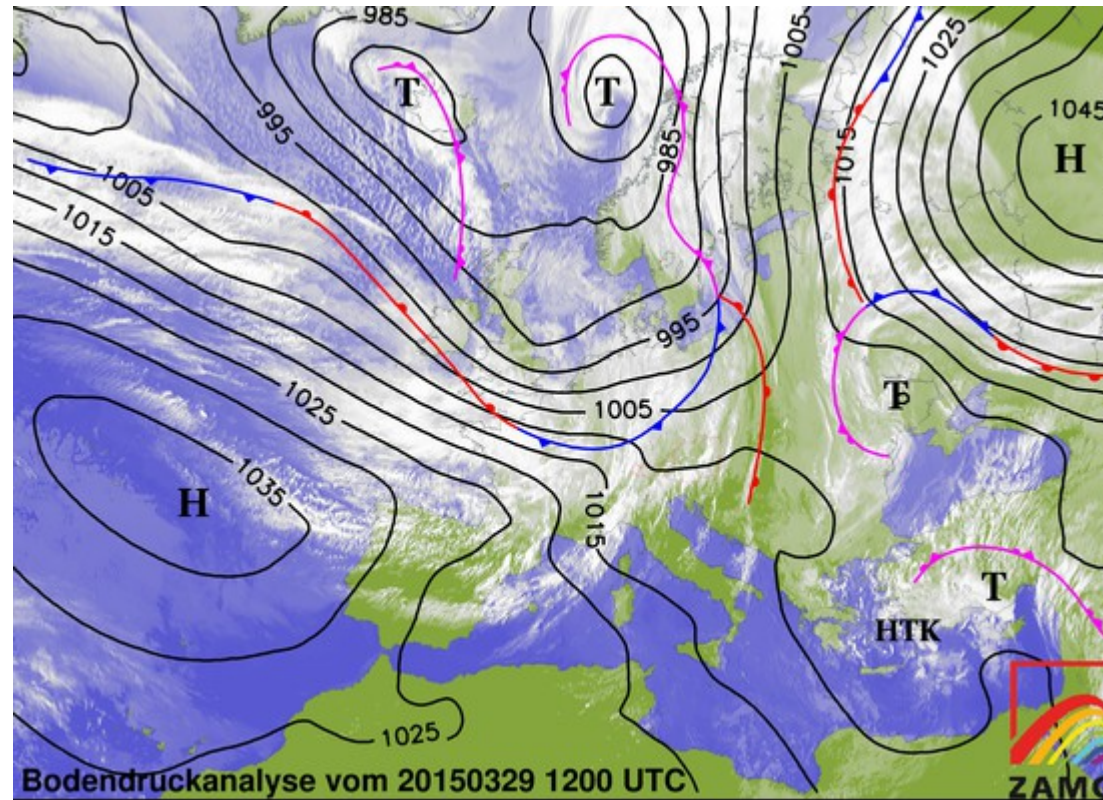
Wetterlage
28.3.2015



Frühjahr 2015 - Akaflieg Frankfurt Wave Research Camp, La Cerdanya

Einbau des Open Glide Computers in den Akaflieg-Duo-Discus

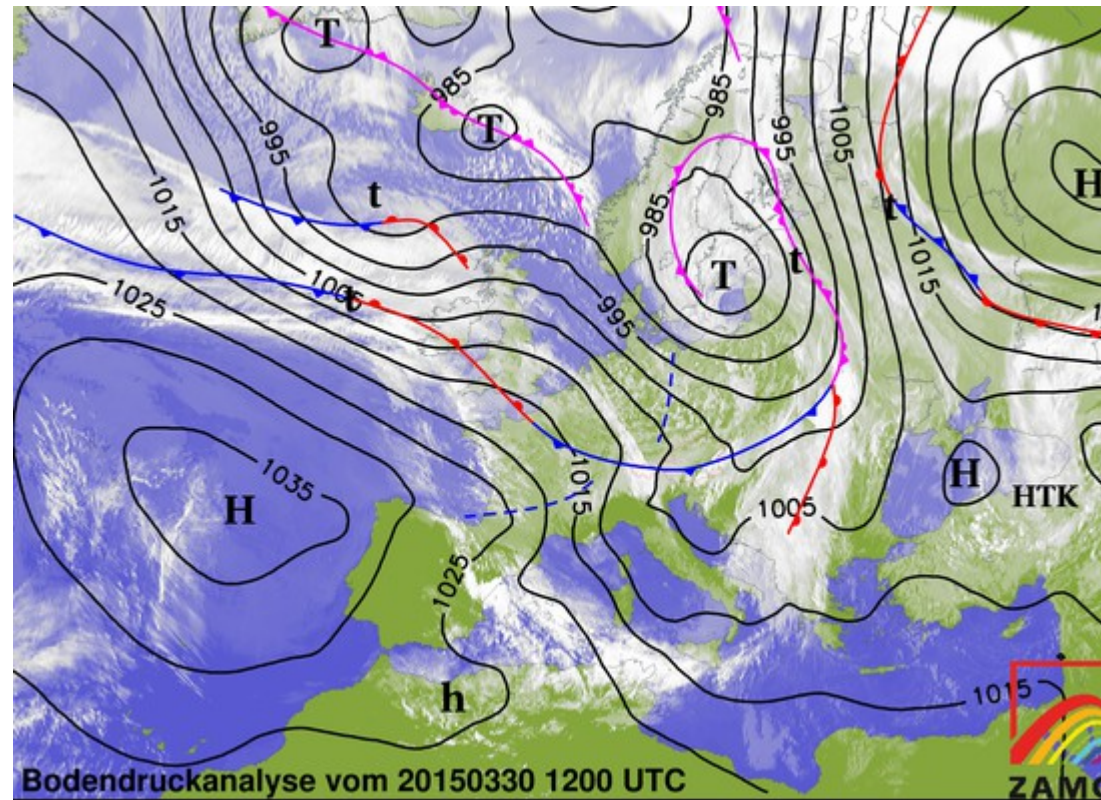
Wetterlage
29.3.2015



Frühjahr 2015 - Akaflieg Frankfurt Wave Research Camp, La Cerdanya

Einbau des Open Glide Computers in den Akaflieg-Duo-Discus

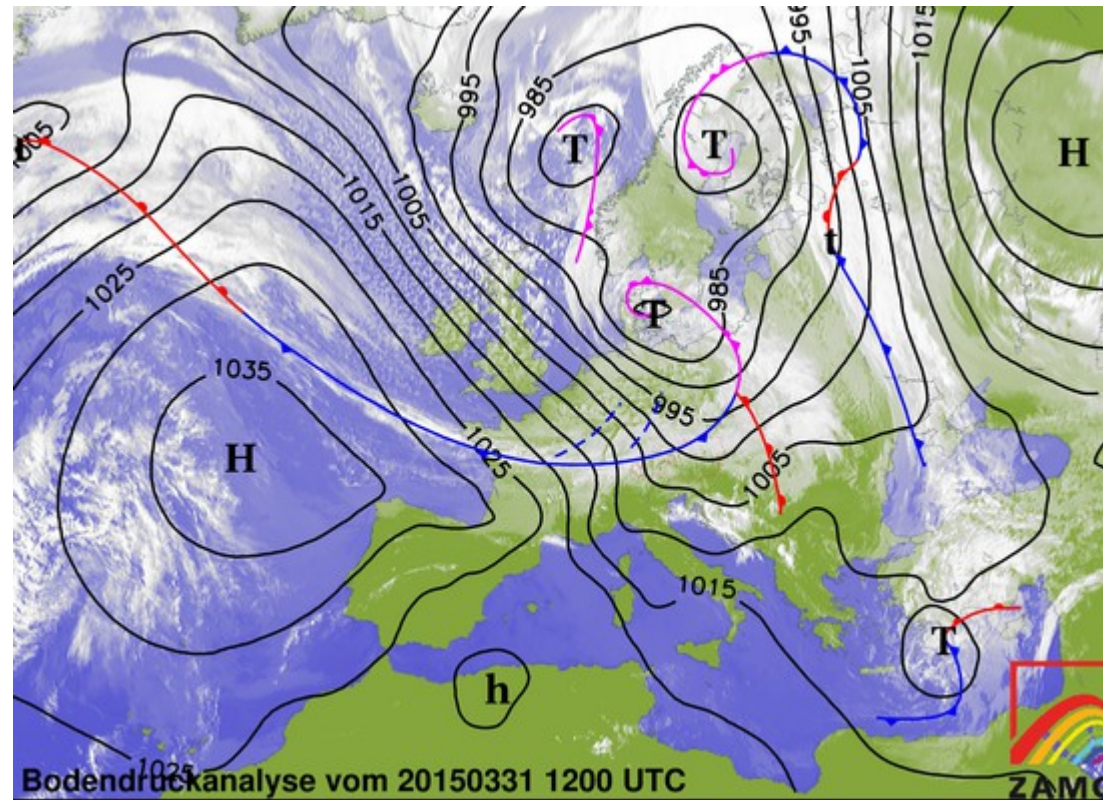
**Wetterlage
30.3.2015**



Frühjahr 2015 - Akaflieg Frankfurt Wave Research Camp, La Cerdanya

Einbau des Open Glide Computers in den Akaflieg-Duo-Discus

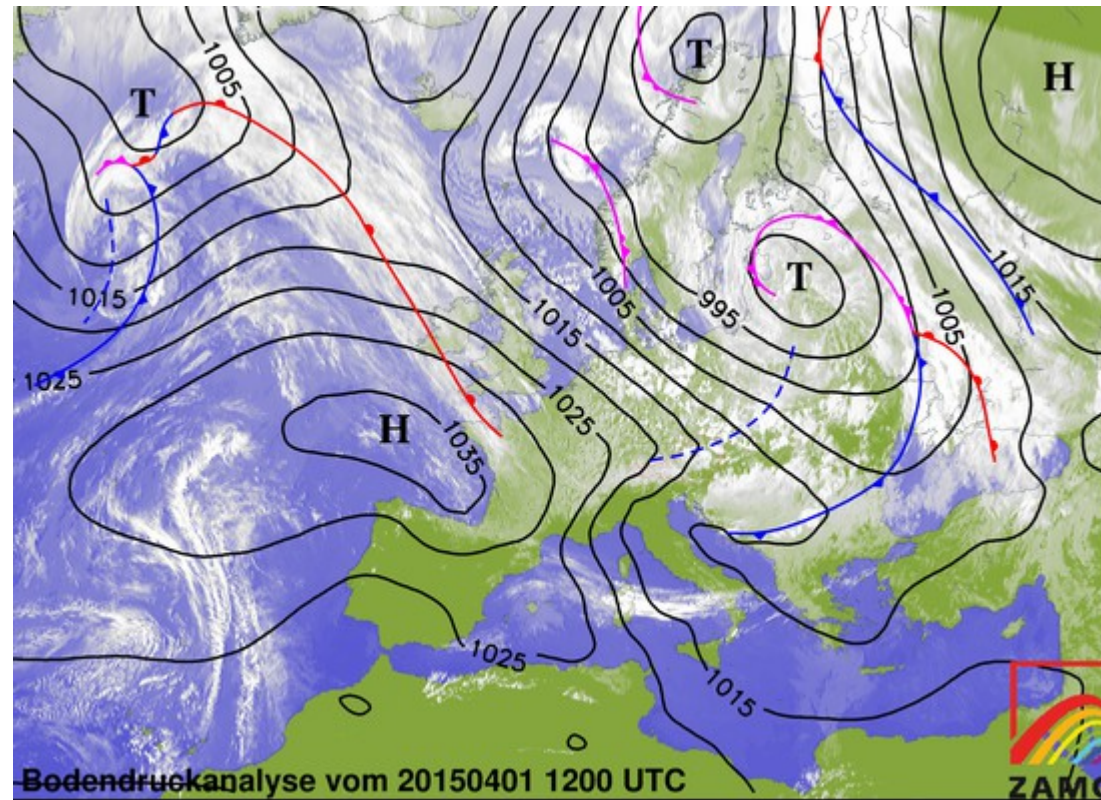
Wetterlage
31.3.2015



Frühjahr 2015 - Akaflieg Frankfurt Wave Research Camp, La Cerdanya

Einbau des Open Glide Computers in den Akaflieg-Duo-Discus

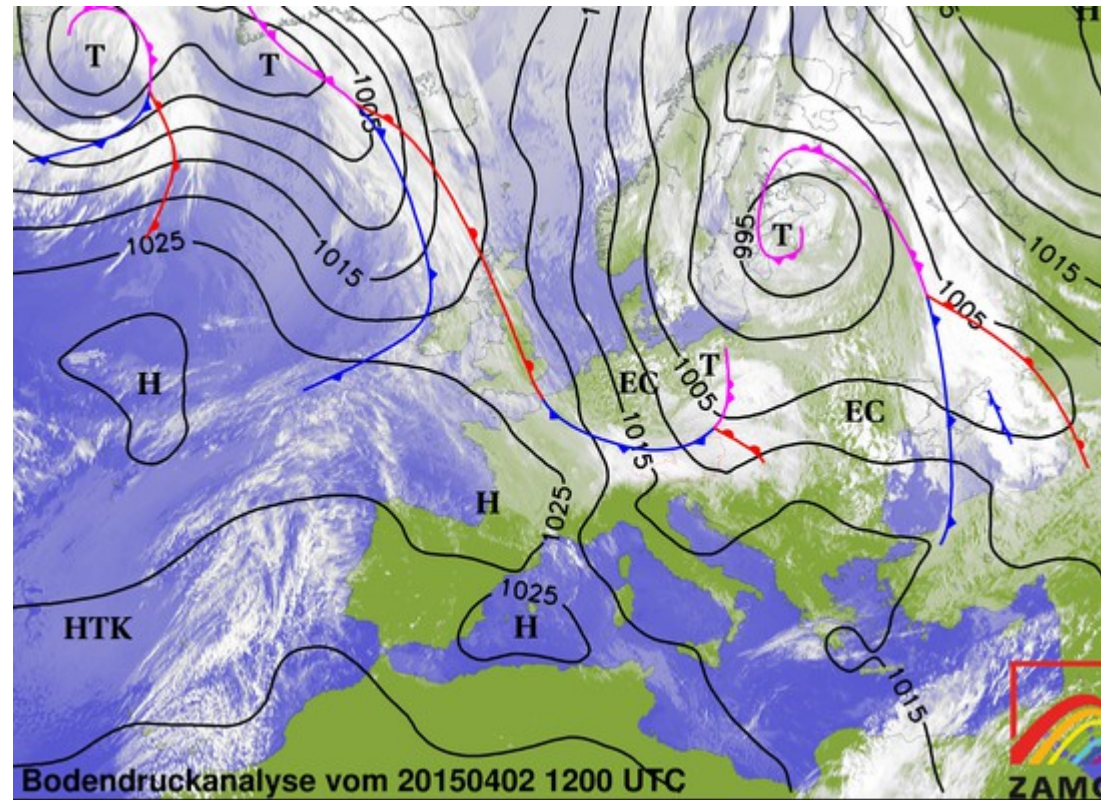
**Wetterlage
1.4.2015**



Frühjahr 2015 - Akaflieg Frankfurt Wave Research Camp, La Cerdanya

Einbau des Open Glide Computers in den Akaflieg-Duo-Discus

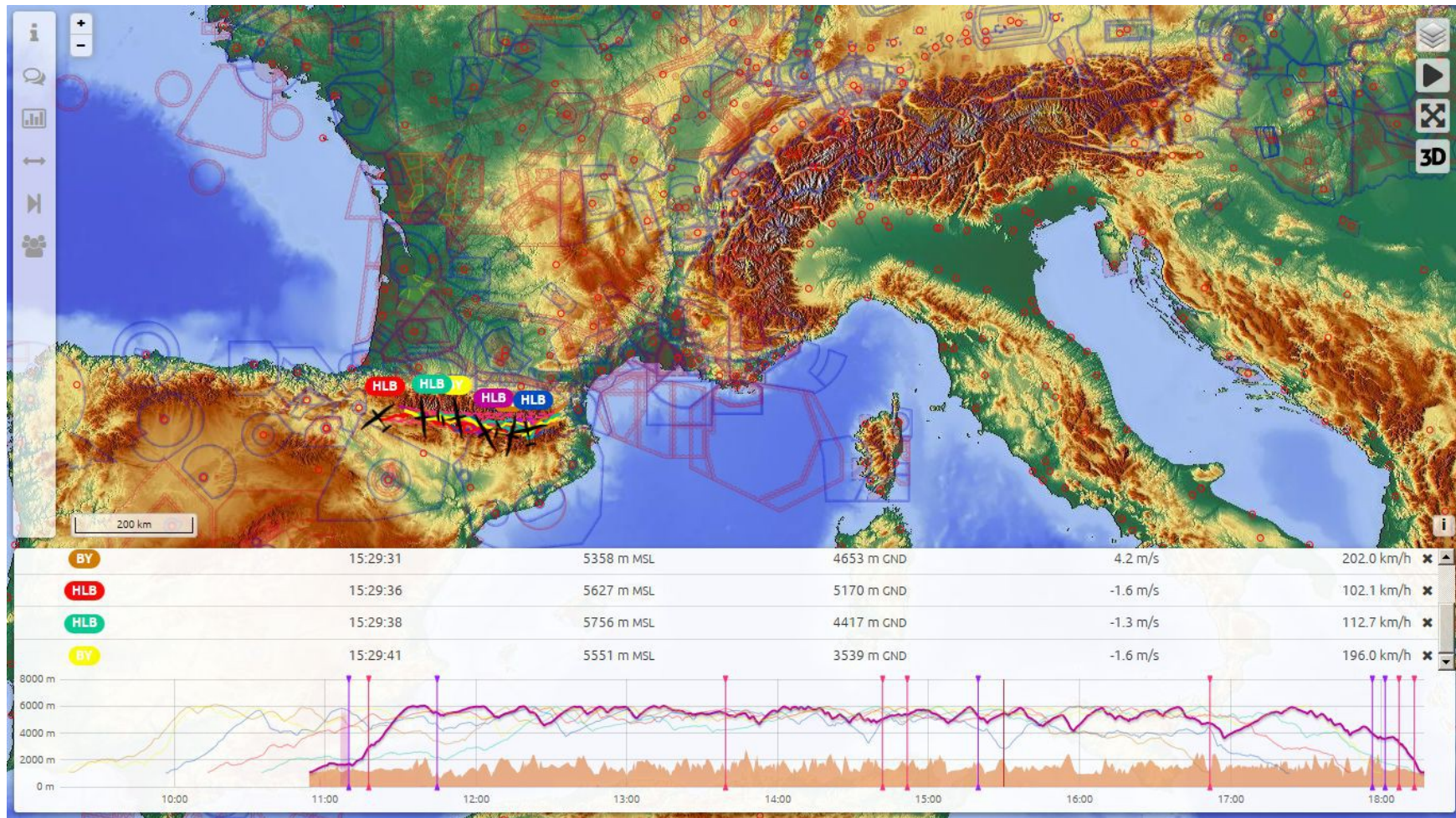
**Wetterlage
2.4.2015**



Frühjahr 2015 - Akaflieg Frankfurt Wave Research Camp, La Cerdanya

Einbau des Open Glide Computers in den Akaflieg-Duo-Discus

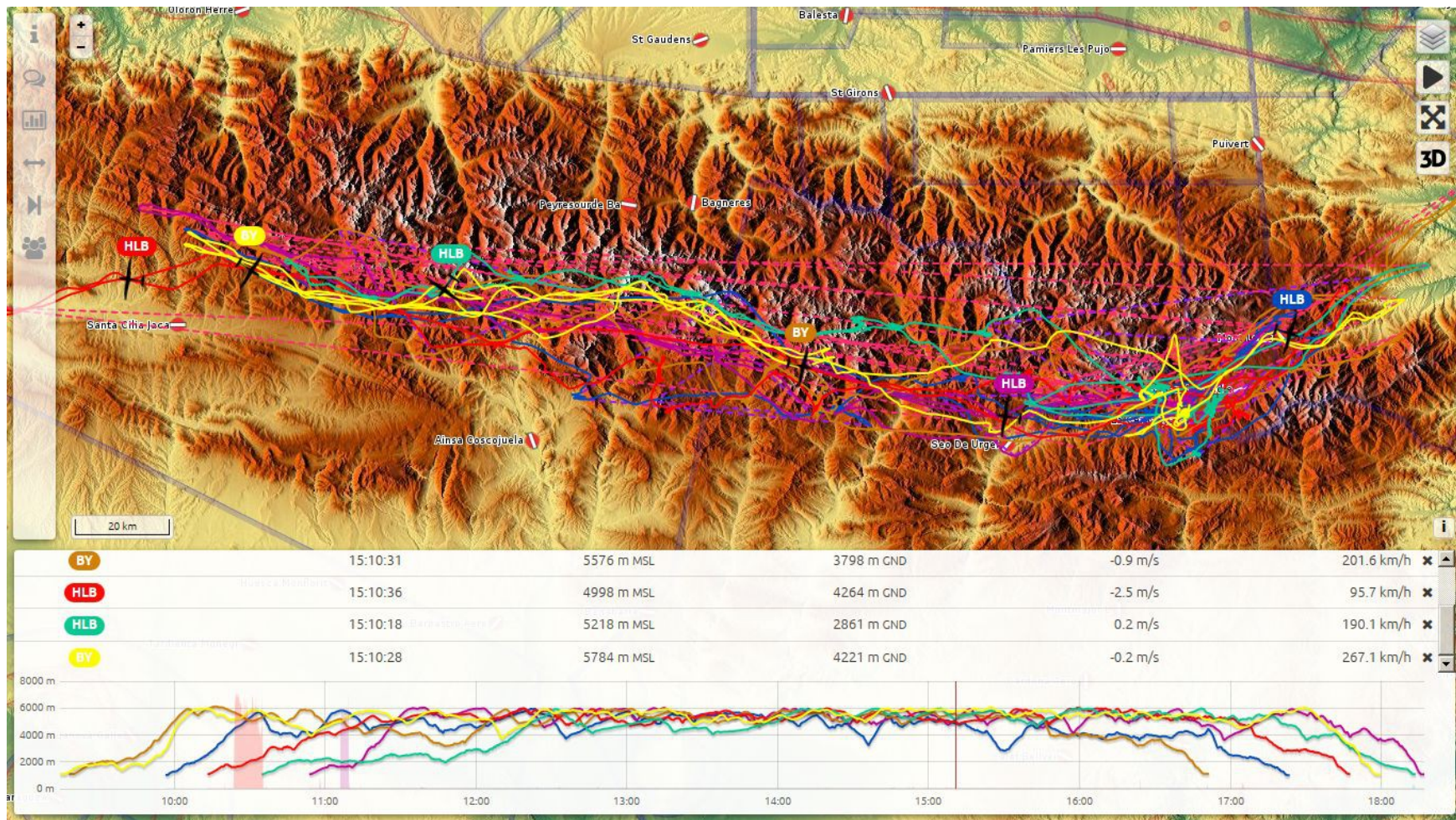
Übersicht Flüge



Frühjahr 2015 - Akaflieg Frankfurt Wave Research Camp, La Cerdanya

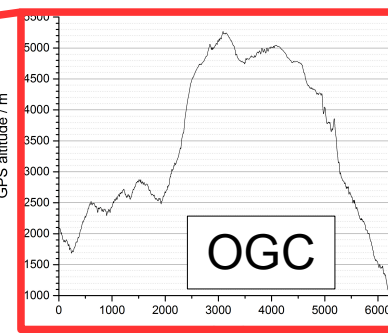
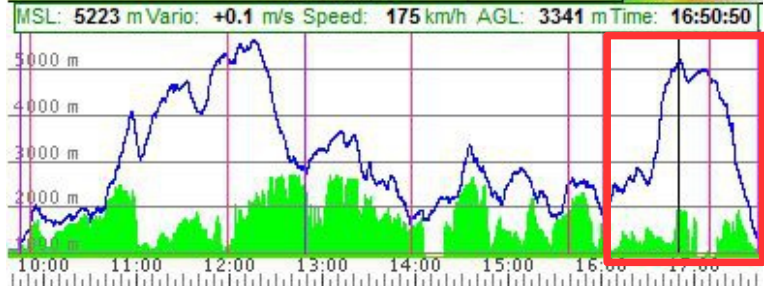
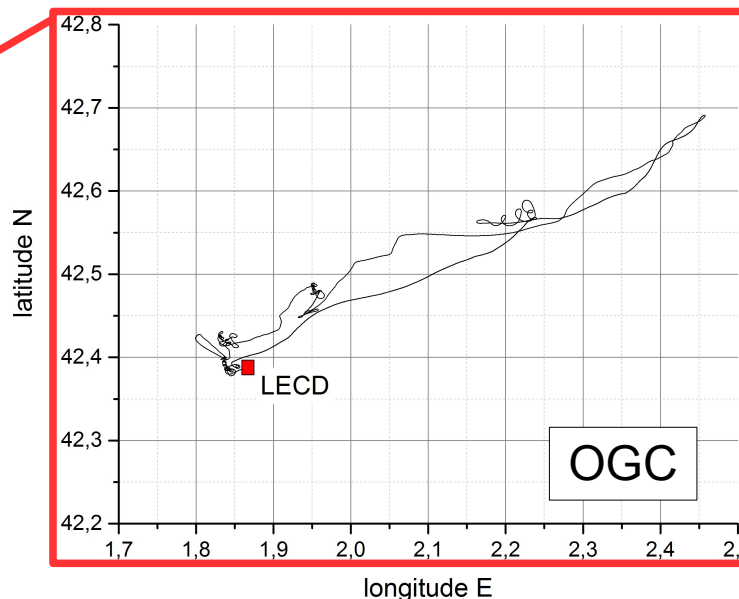
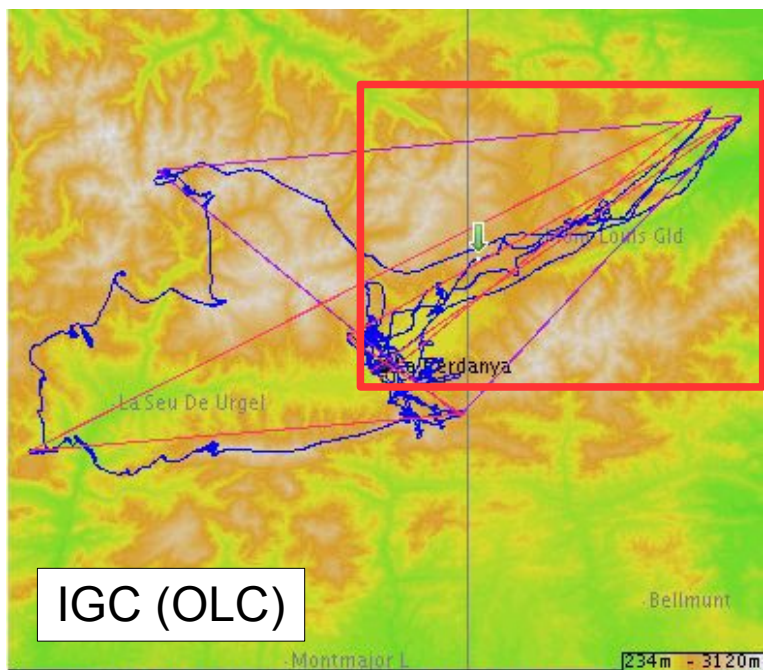
Einbau des Open Glide Computers in den Akaflieg-Duo-Discus

Übersicht Flüge - Detail



Frühjahr 2015 - Akaflieg Frankfurt Wave Research Camp, La Cerdanya

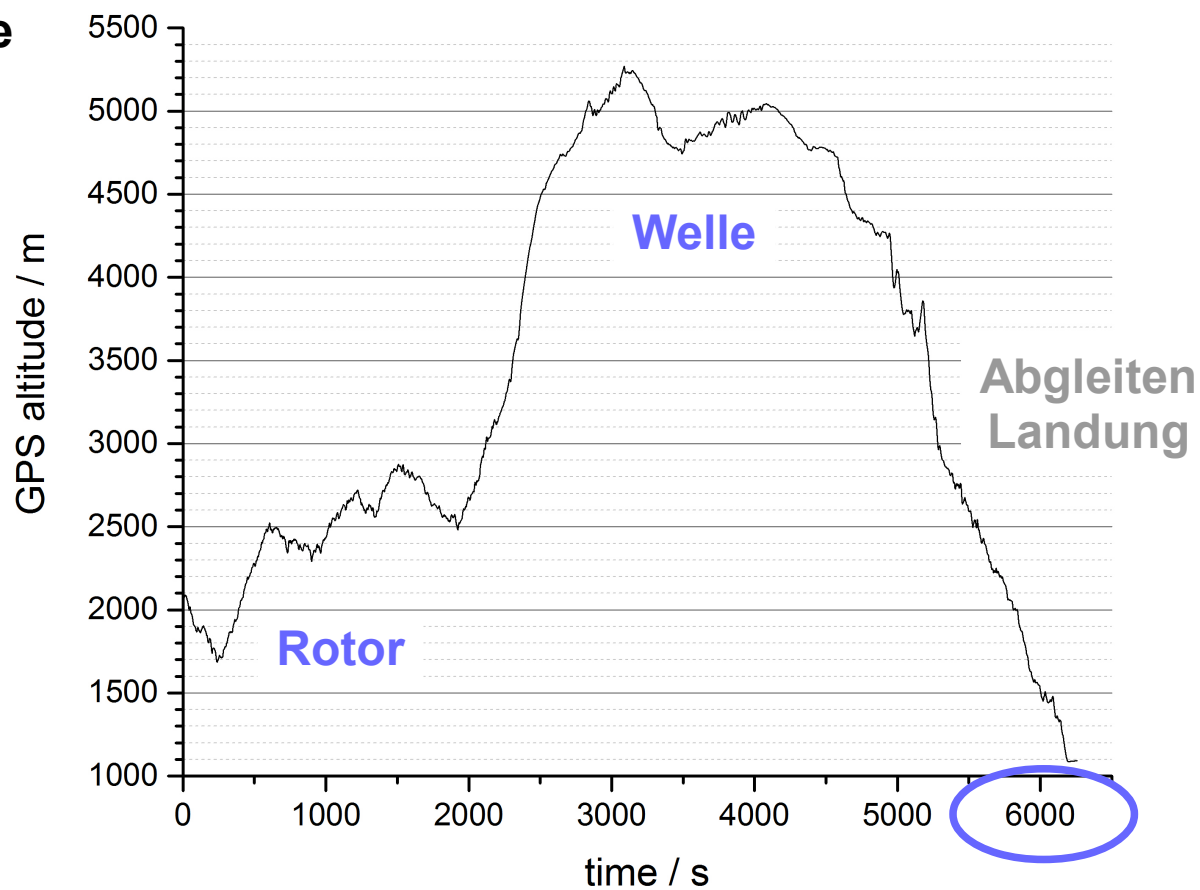
27.3.2015, Ultsch/Weber



Frühjahr 2015 - Akaflieg Frankfurt Wave Research Camp, La Cerdanya

Barogramm, 27.3.2015

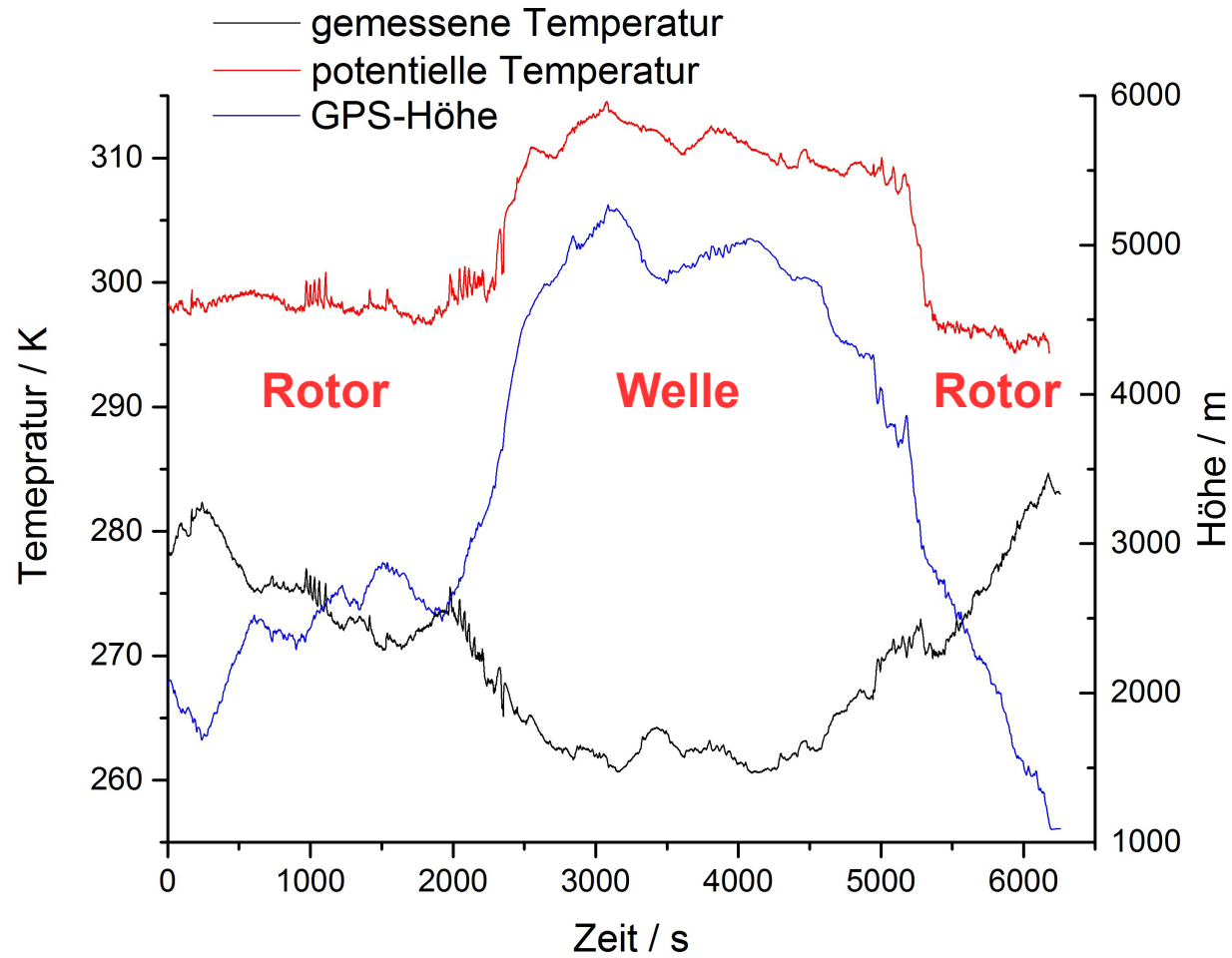
**qualitative
Analyse**



**6000 Sekunden
(ca. 1.5 Stunden)**

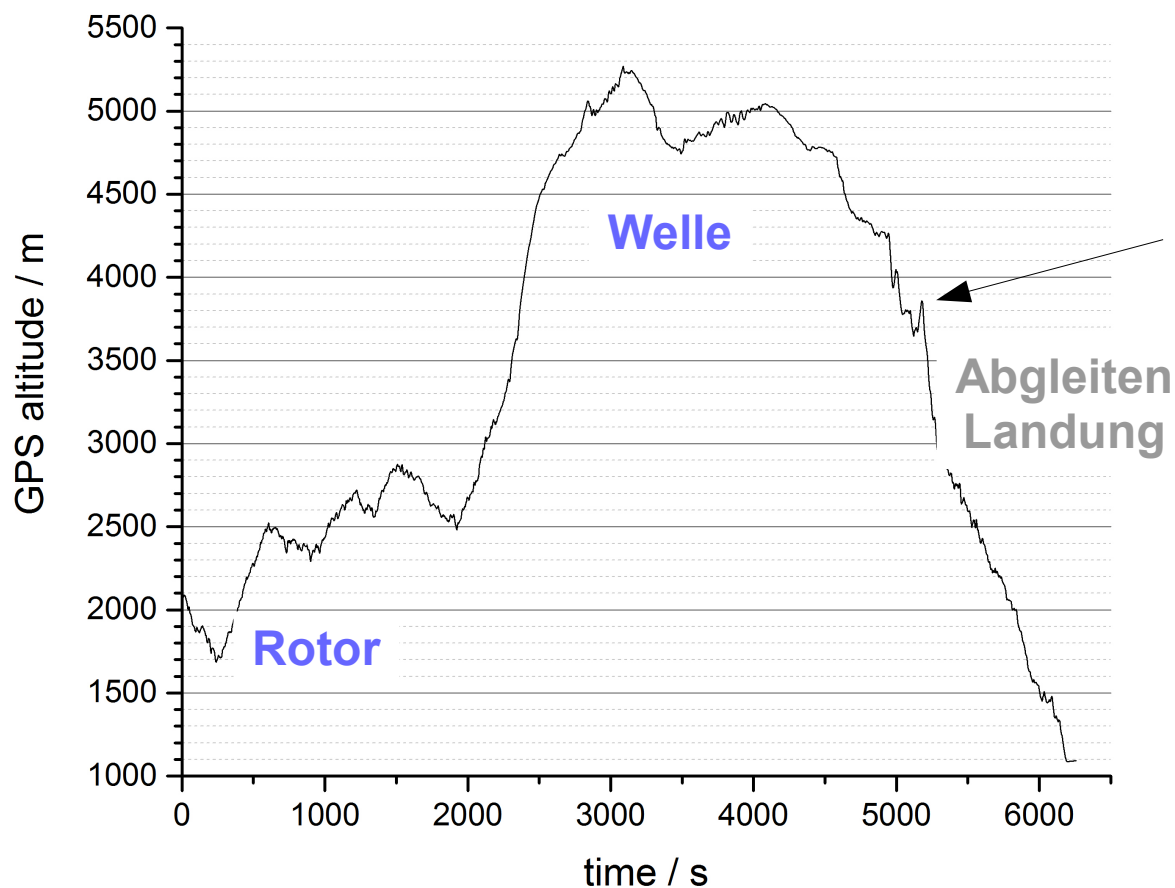
Frühjahr 2015 - Akaflieg Frankfurt Wave Research Camp, La Cerdanya

potentielle Temperatur, 27.3.2015



Frühjahr 2015 - Akaflieg Frankfurt Wave Research Camp, La Cerdanya

exemplarische Ermittlung der Netto-Luftmassen-Vertikalgeschwindigkeit, 27.3.15



Netto-Vertikalgeschwindigkeit?

ist

Brutto-Vertikalgeschwindigkeit

abzüglich

polarem Eigensinken

abzüglich

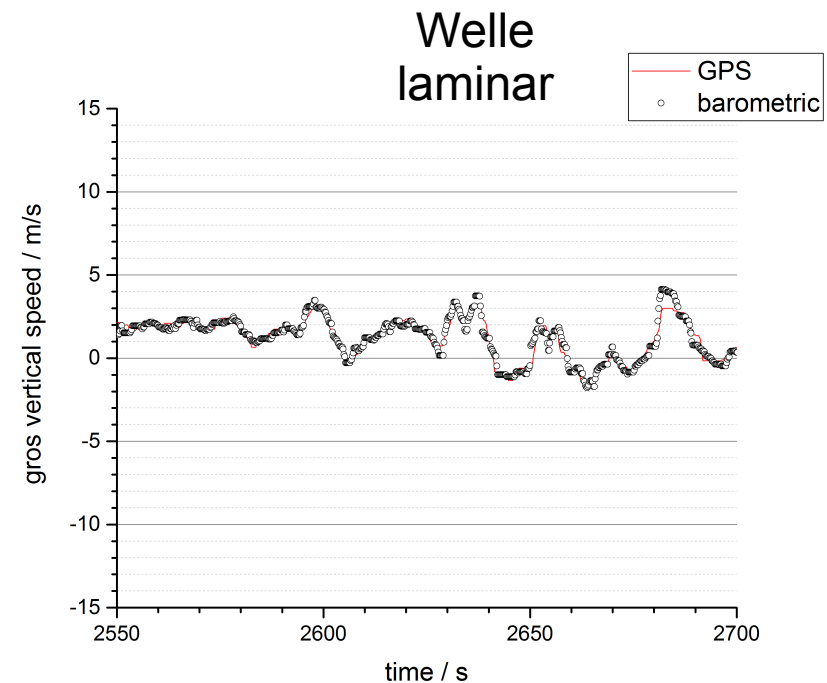
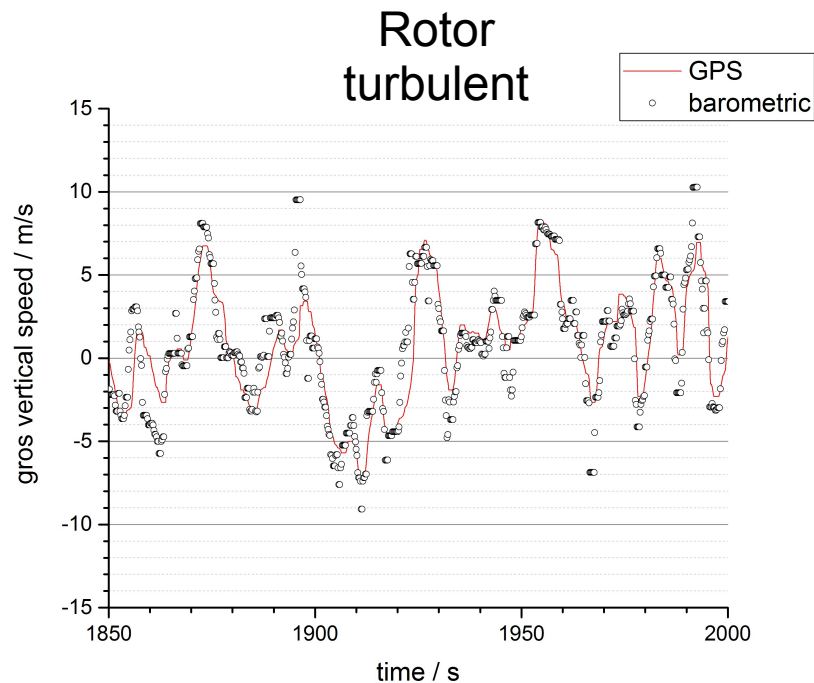
"Knüppelthermik"

Frühjahr 2015 - Akaflieg Frankfurt Wave Research Camp, La Cerdanya

exemplarische Ermittlung der Netto-Luftmassen-Vertikalgeschwindigkeit, 27.3.15

Brutto-Vertikalgeschwindigkeit?

Entweder aus Änderung der GPS-Höhe oder aus Änderung des statischen Drucks



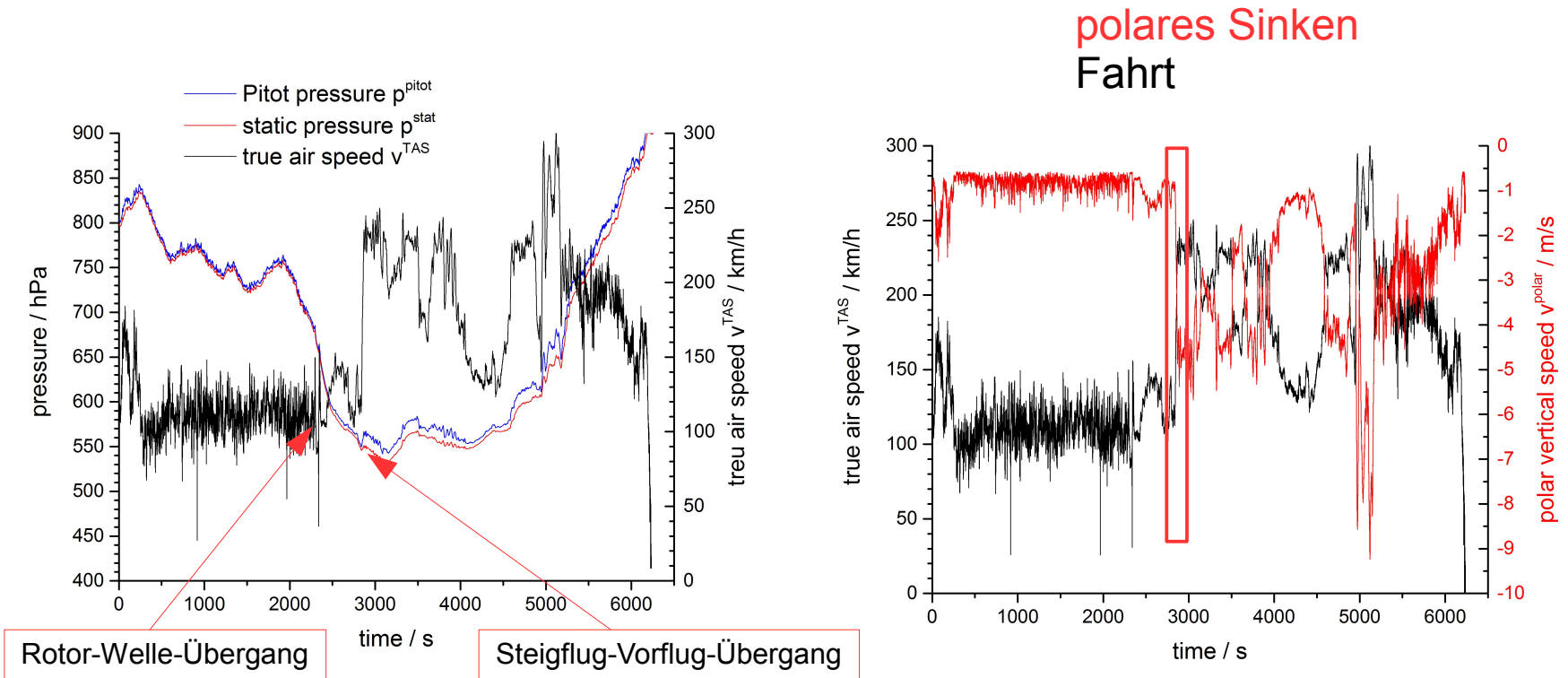
Sehr gute Übereinstimmung zwischen GPS- und barometrischer Bestimmung

Frühjahr 2015 - Akaflieg Frankfurt Wave Research Camp, La Cerdanya

exemplarische Ermittlung der Netto-Luftmassen-Vertikalgeschwindigkeit, 27.3.15

polares Eigensinken?

aus Flugzeugpolare und Fahrt, Fahrt aus Differenz von Gesamt- und statischem Druck

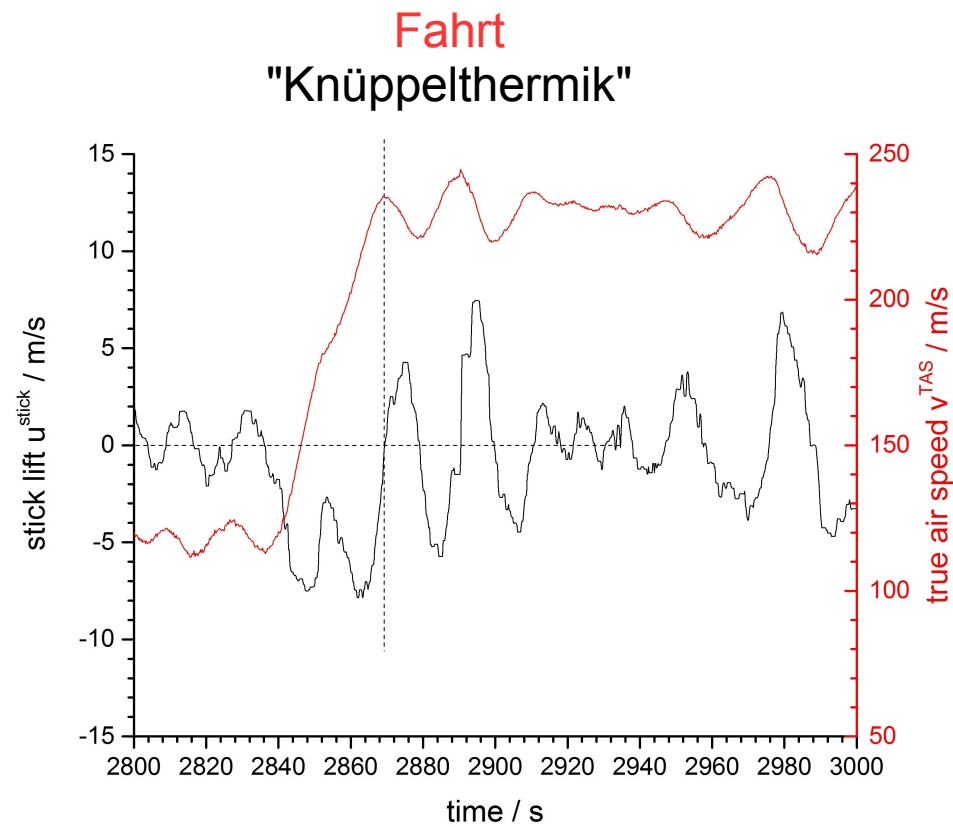


Enorme Unterschiede! Darf nicht vernachlässigt werden

Frühjahr 2015 - Akaflieg Frankfurt Wave Research Camp, La Cerdanya

exemplarische Ermittlung der Netto-Luftmassen-Vertikalgeschwindigkeit, 27.3.15

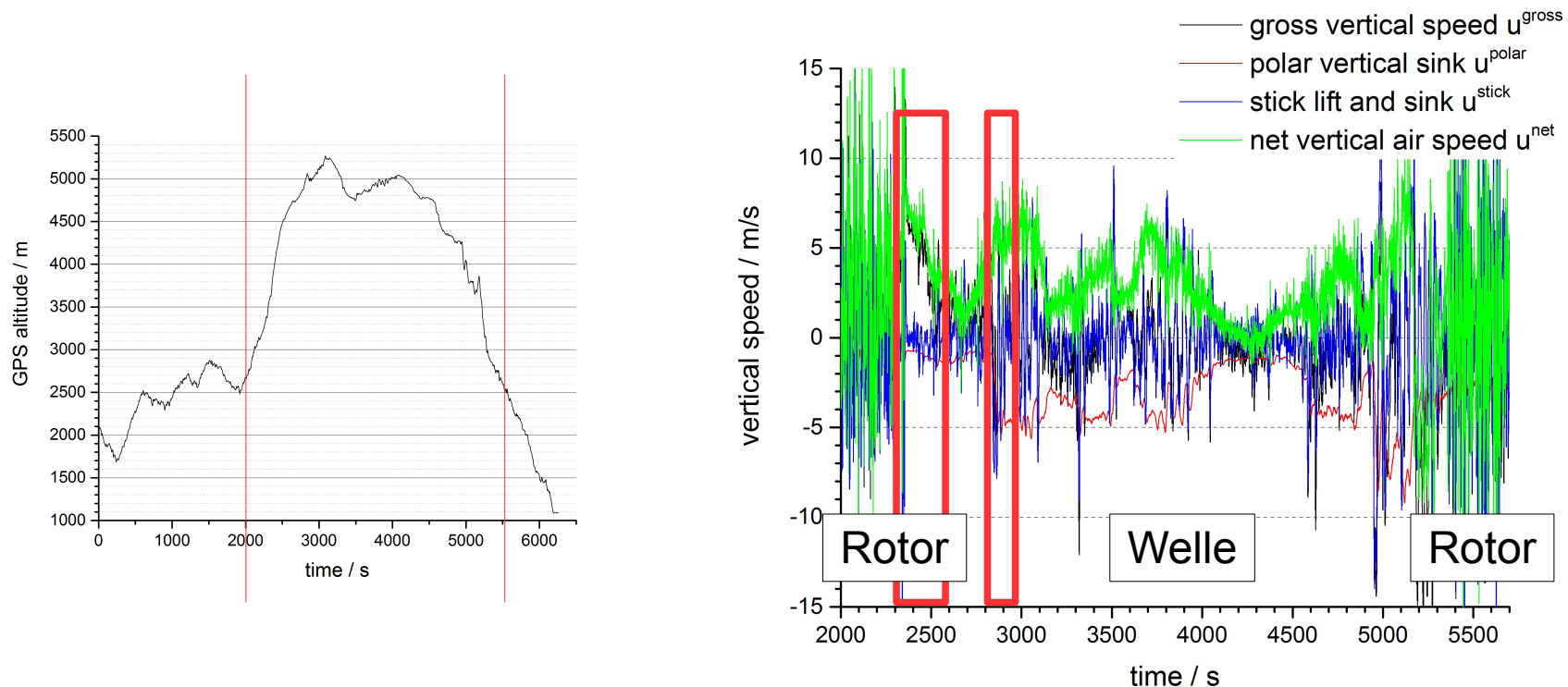
"Knüppelthermik"?
aus Änderung der Fahrt



Frühjahr 2015 - Akaflieg Frankfurt Wave Research Camp, La Cerdanya

exemplarische Ermittlung der Netto-Luftmassen-Vertikalgeschwindigkeit, 27.3.15

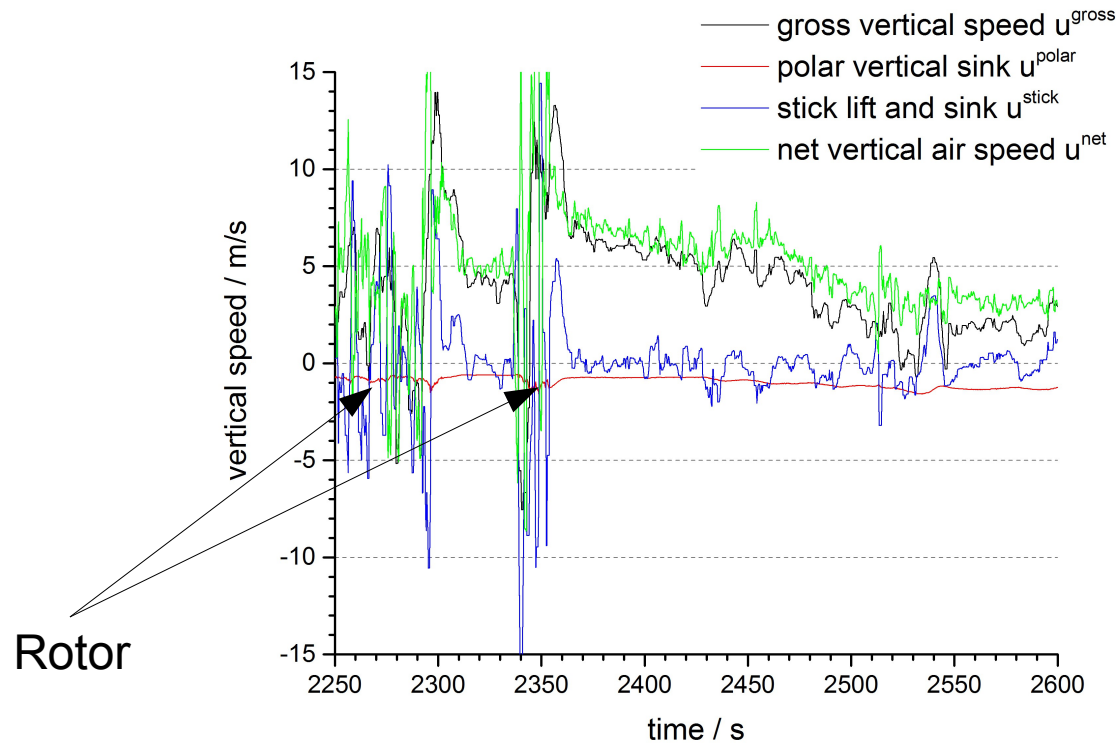
Netto-Vertikalgeschwindigkeit = Brutto-G. - polares Sinken - Knüppelthermik



Markante Unterschiede zwischen Rotor- und Wellenregime mit abruptem Wechsel.
Laminares Nettosteigen ermittelt bis 5 m/s.

Frühjahr 2015 - Akaflieg Frankfurt Wave Research Camp, La Cerdanya

exemplarische Ermittlung der Netto-Luftmassen-Vertikalgeschwindigkeit, 27.3.15

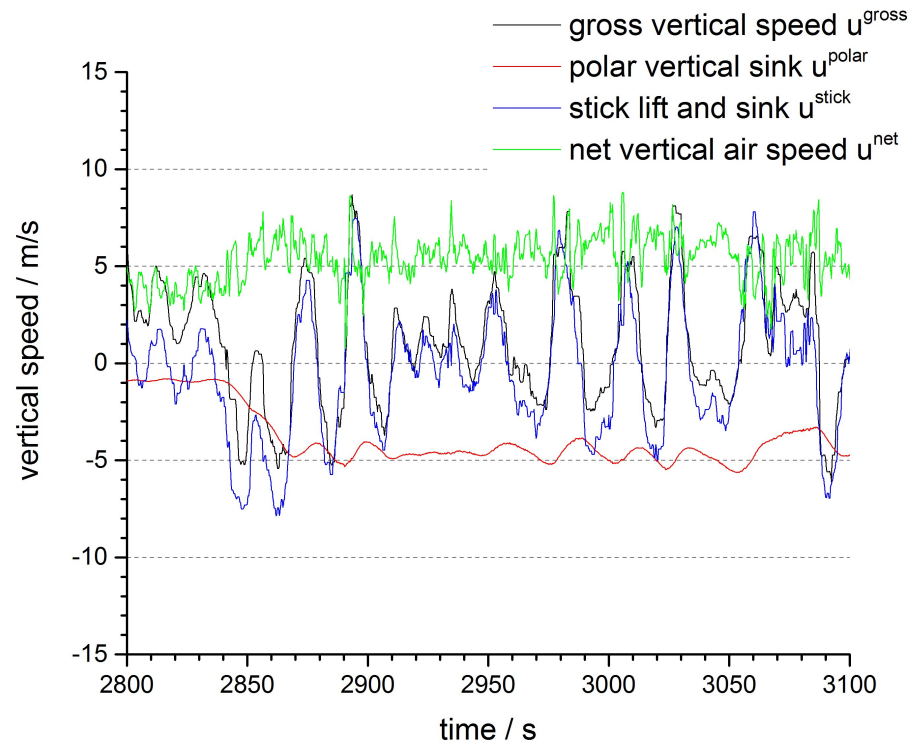


Wellenflug im Höhengewinn-Modus

Konstante niedrige Fahrt, geringes Eigensinken, keine Knüppelthermik,
 Nettosteigen = Bruttosteigen - geringstes Sinken

Frühjahr 2015 - Akaflieg Frankfurt Wave Research Camp, La Cerdanya

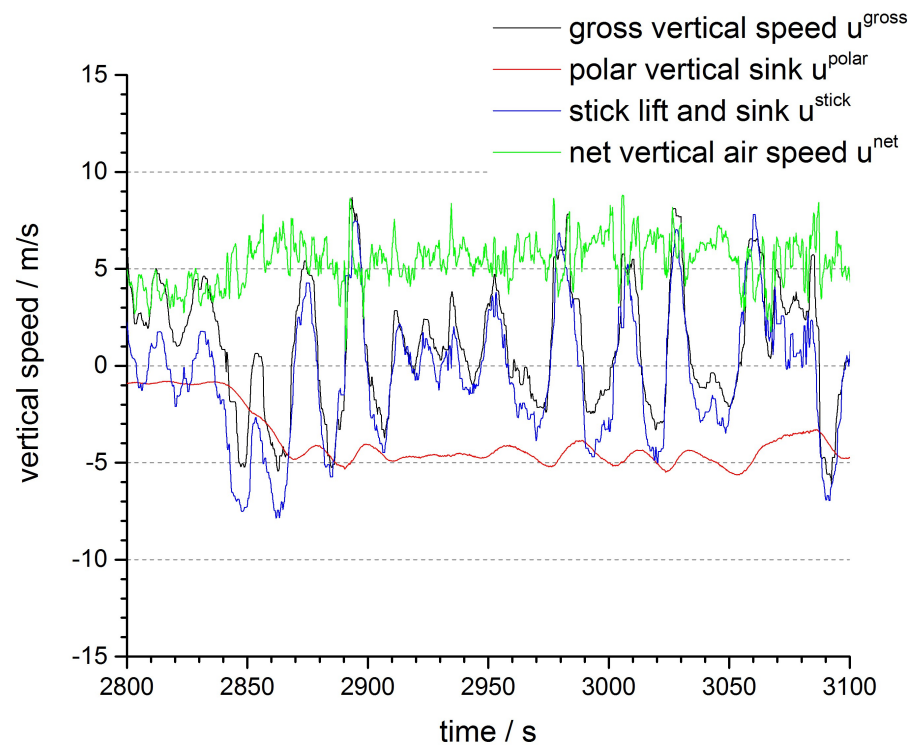
exemplarische Ermittlung der Netto-Luftmassen-Vertikalgeschwindigkeit, 27.3.15



Wellenflug im Streckenflug/Schnellflug-Modus

Variable hohe Fahrt, starkes Eigensinken, ausgeprägte Knüppelthermik,
 Nettosteigen durch polares Sinken kompensiert → Konstante Höhe mit variabler Fahrt
 Bruttosteigen/sinken = Knüppelthermik
 konstantes Nettosteigen von 5 m/s, wird in "klassischer" Analyse nicht identifiziert!

Work in progress...



bisher: exemplarische Analyse eines einzelnen Flugs. Was ist machbar?

Zusammenfassung

- Open Glide Computer funktioniert und liefert vernünftige auswertbare Daten
- zahlreiche Messgrößen, hohe Zeitauflösung
- potenzielle Temperatur
- Luftmassen-Vertikalgeschwindigkeit
- Identifizierung unterschiedlicher Wellenflug-Modi: Höhengewinn / Schnellflug

Ausblick

- Windbestimmung, Abstand zum auslösenden Hindernis
- potenzielle Temperatur innerhalb des Wellenregimes
- OGC für Thermik: Feuchte- und Temperatur im und außerhalb des Aufwinds
- ...

Last not least

R. Heise und D. Etling, Schwerewellen und Rotoren, promet 39, 36 (2015)

"Außer in den genannten Feldexperimenten (Sierra Wave Project, 1955, und T-REX, 2005) ist das Rotorproblem hauptsächlich durch eine große Anzahl von numerischen Simulationen behandelt worden."

- Wir brauchen mehr experimentelle Daten
- Wir brauchen mehr Open Glide Computer in unseren Flugzeugen

***Das wäre alles nicht möglich gewesen ohne Hendrik Hoeth,
der den OGC Serien-Nummer 1 für die Akaflieg Frankfurt gebaut hat.***