

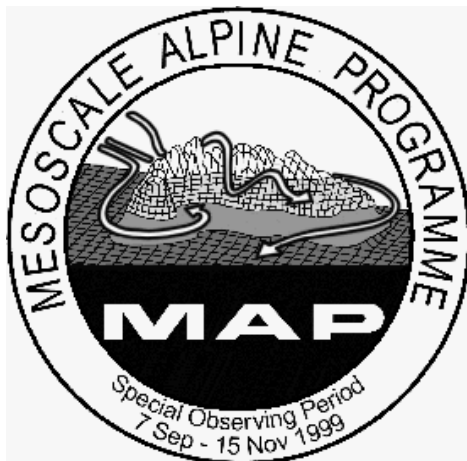
# Schwerewellen über den Alpen



**Messung und Simulation bei MAP-SOP 1999**

**Hans Volkert**

Institut für Physik der Atmosphäre  
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR)



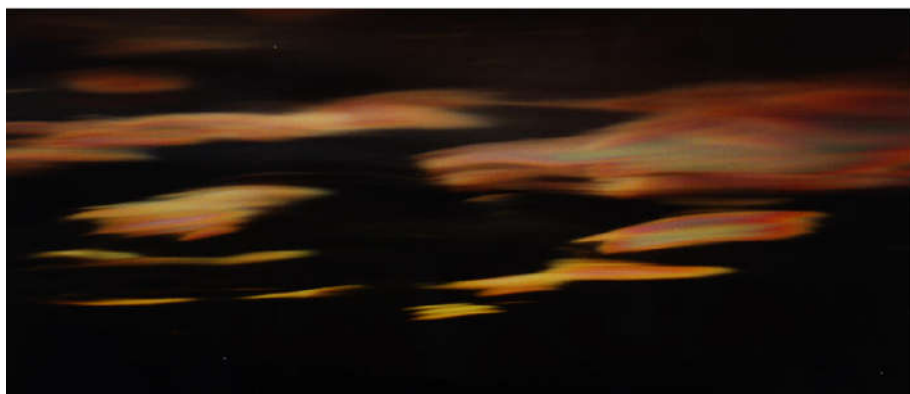
# Schwerewellen in der Atmosphäre

Stratosphäre über Nordskandinavien

Troposphäre über den Alpen

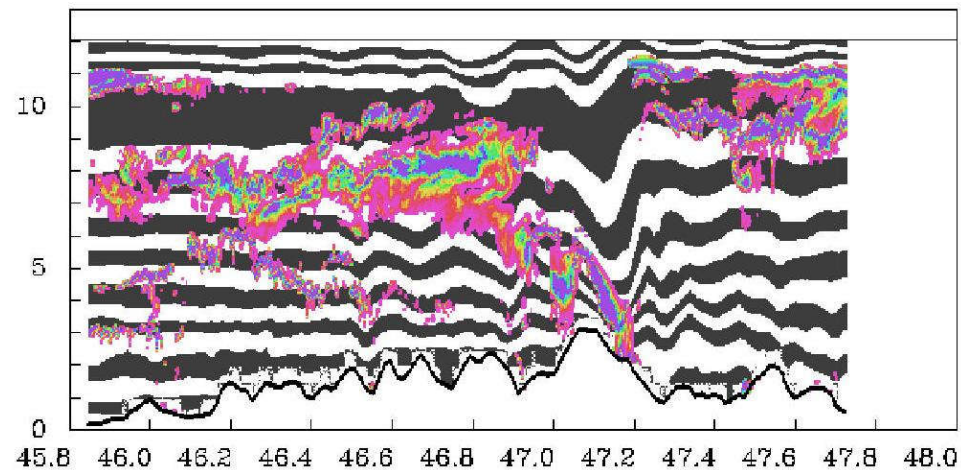
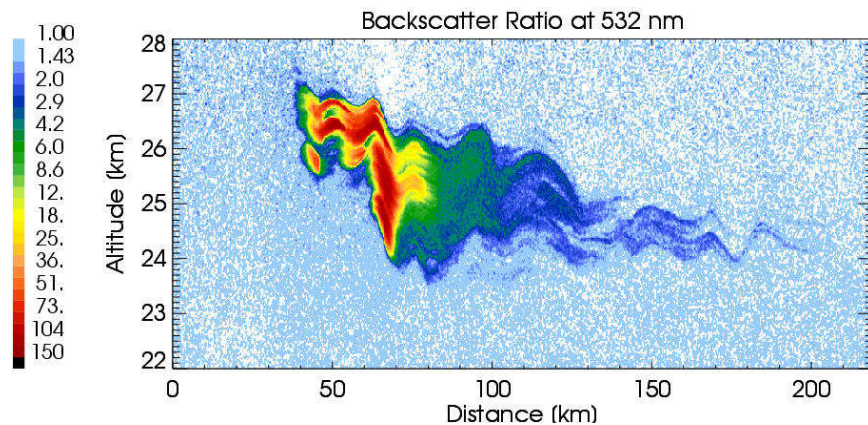
PSC von Kiruna aus

THESEO, 22.1.1997



Wellen in Cirrus über Salzachtal

MAP, 25.10.1999



Lidar auf *Falcon* nach oben blickend

Lidar auf *Falcon* nach unten blickend + Meso-NH-Simulation

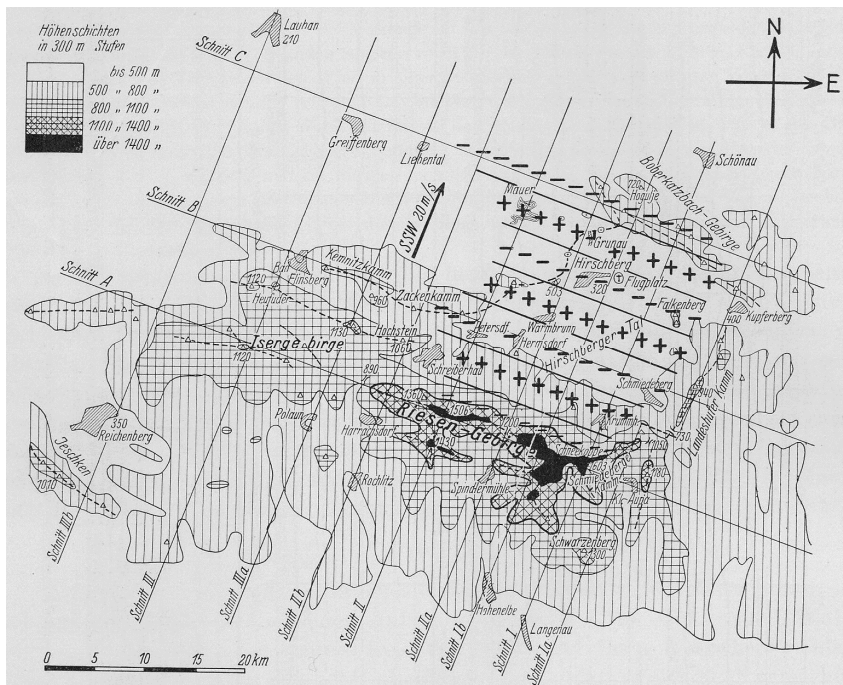
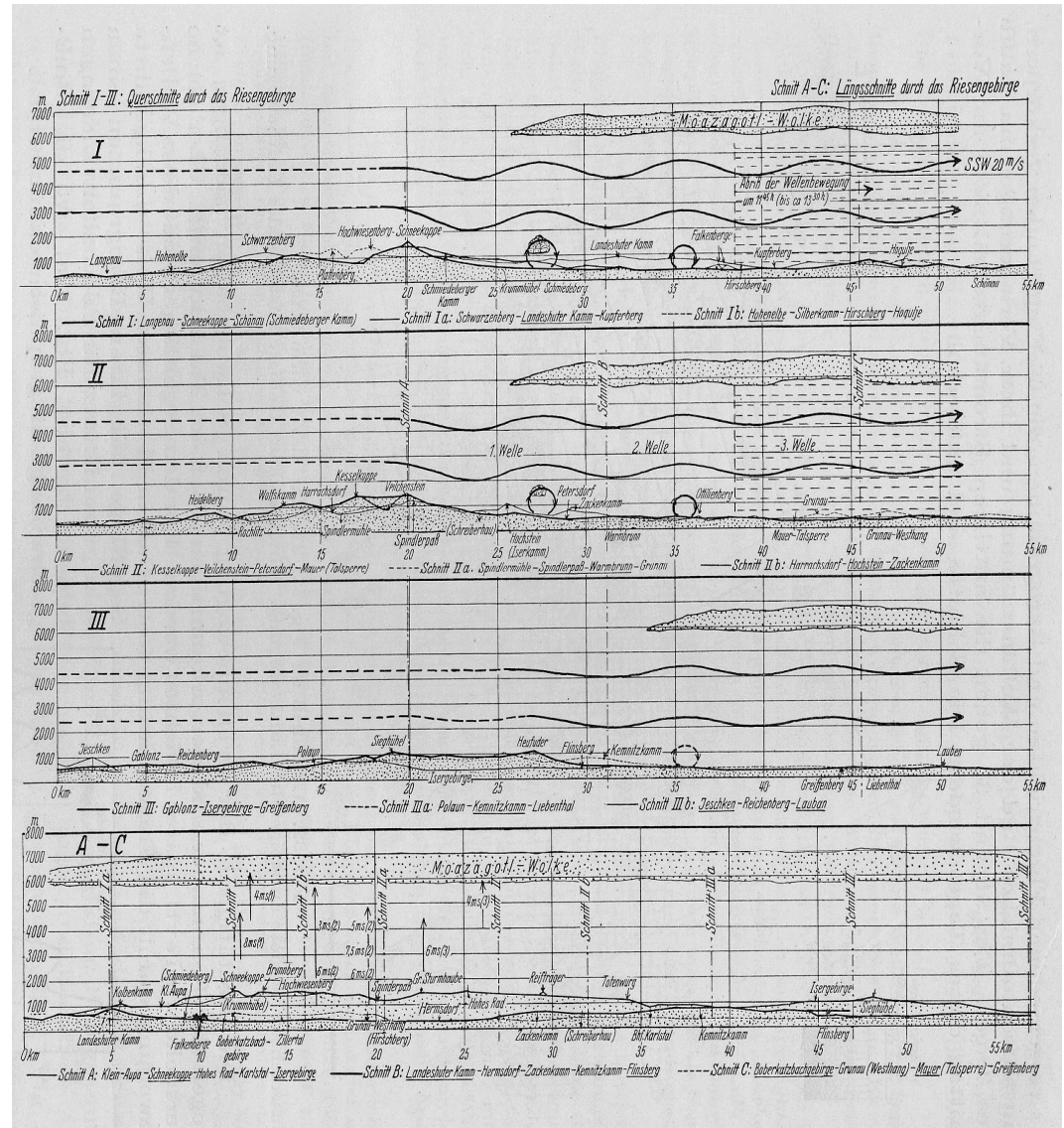
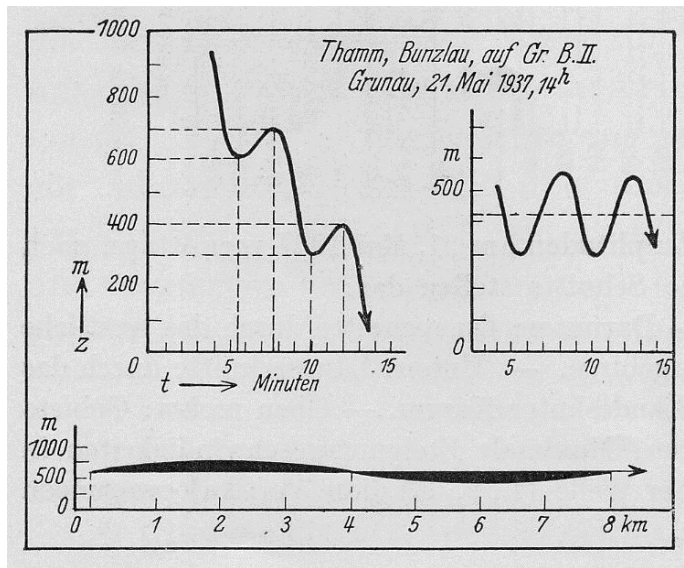


# Am Riesengebirge im Juni 1937 ...

... regionaler Segelflug-Wettbewerb mit 22 nutzbaren Barogrammen

J. Küttner, 1939: Moazagotl und Föhnwelle.

Beitr. Phys. fr. Atmosph. 25, 79-114





19. Juli 2000, Garmisch, 100 Jahre Zugspitz-Observatorium

## Joachim Paul Küttner

**21. 9. 1909** geboren in Breslau

**1931** Dr. jur.

**1939** Dr. phil. (Meteorol., Hamburg)

**1948** Dr. habil. (Meteorol., München)

**seit 1949** in USA

**1950-52** Sierra Wave Project

**GARP Projekte:**

**1969** BOMEX

**1974** GATE

**1982** ALPEX (keine gute Föhnlage)

**zurück zu den Wellen:**

**1990** Vorschlag „Südföhn-Projekt“

**1999** MAP-SOP

**weiter zu Rotoren:**

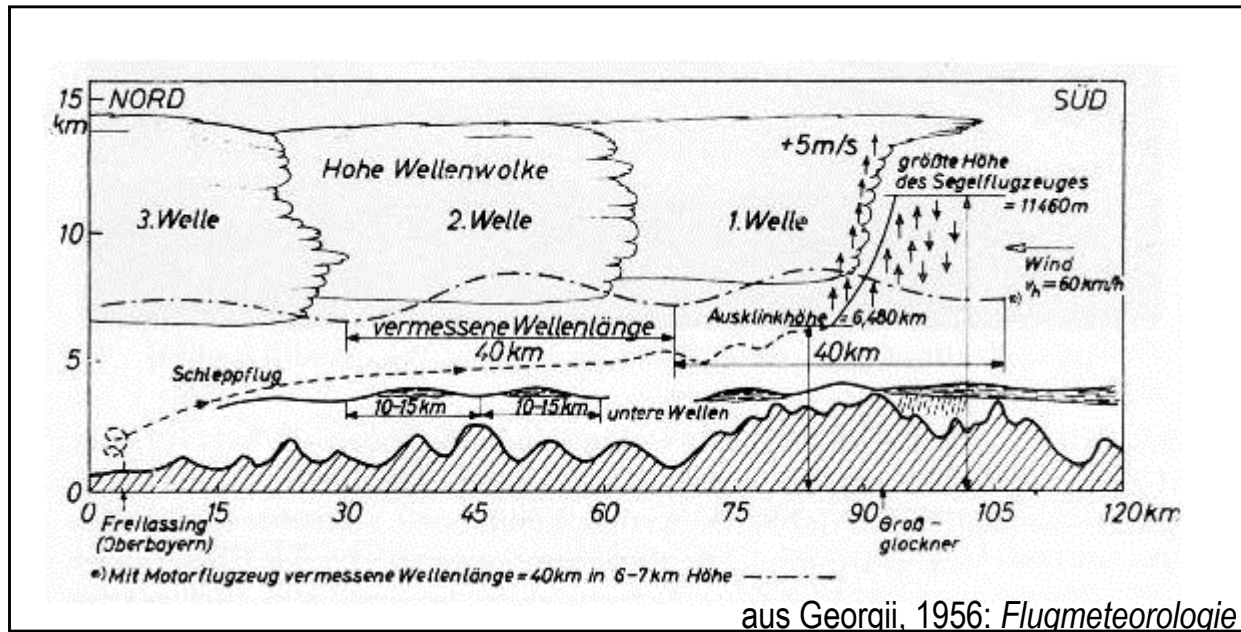
**2001** Vorschlag „Rotor-Experiment“

**200x** ROTEX (in Sierra Nevada)

vgl.. R.F. Whelan, 2000: „*Exploring the monster – Mountain lee waves: The aerial elevator*“.  
Wind Canyon Books, Niceville, Florida, 169 pp.



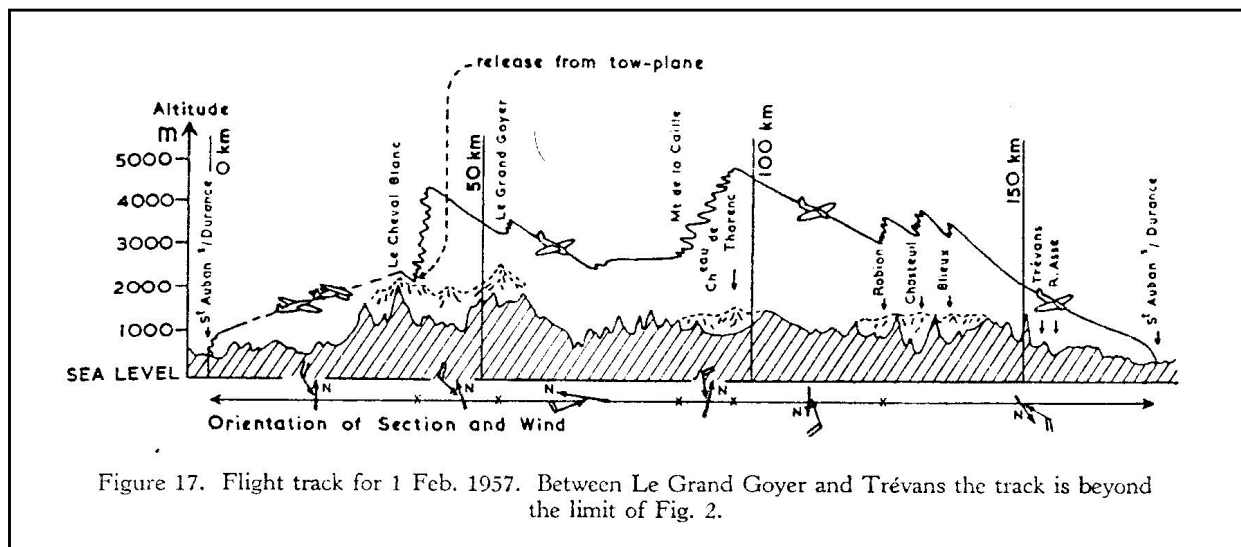
# Frühe Wellen-Flugzeug-Kampagnen an den Alpen



**Ostalpen: 11. Okt. 1940**

Segelflugzeug steigt von  
6.48 auf 11.46 km

U. Krug-Pielsticker, 1942:  
Beobachtung der hohen Föhn-  
welle an den Ostalpen. Beitr.  
Phys. fr. Atmos., **27**, 140-164



**Westalpen und Vorland:**

**1956 – 1959**

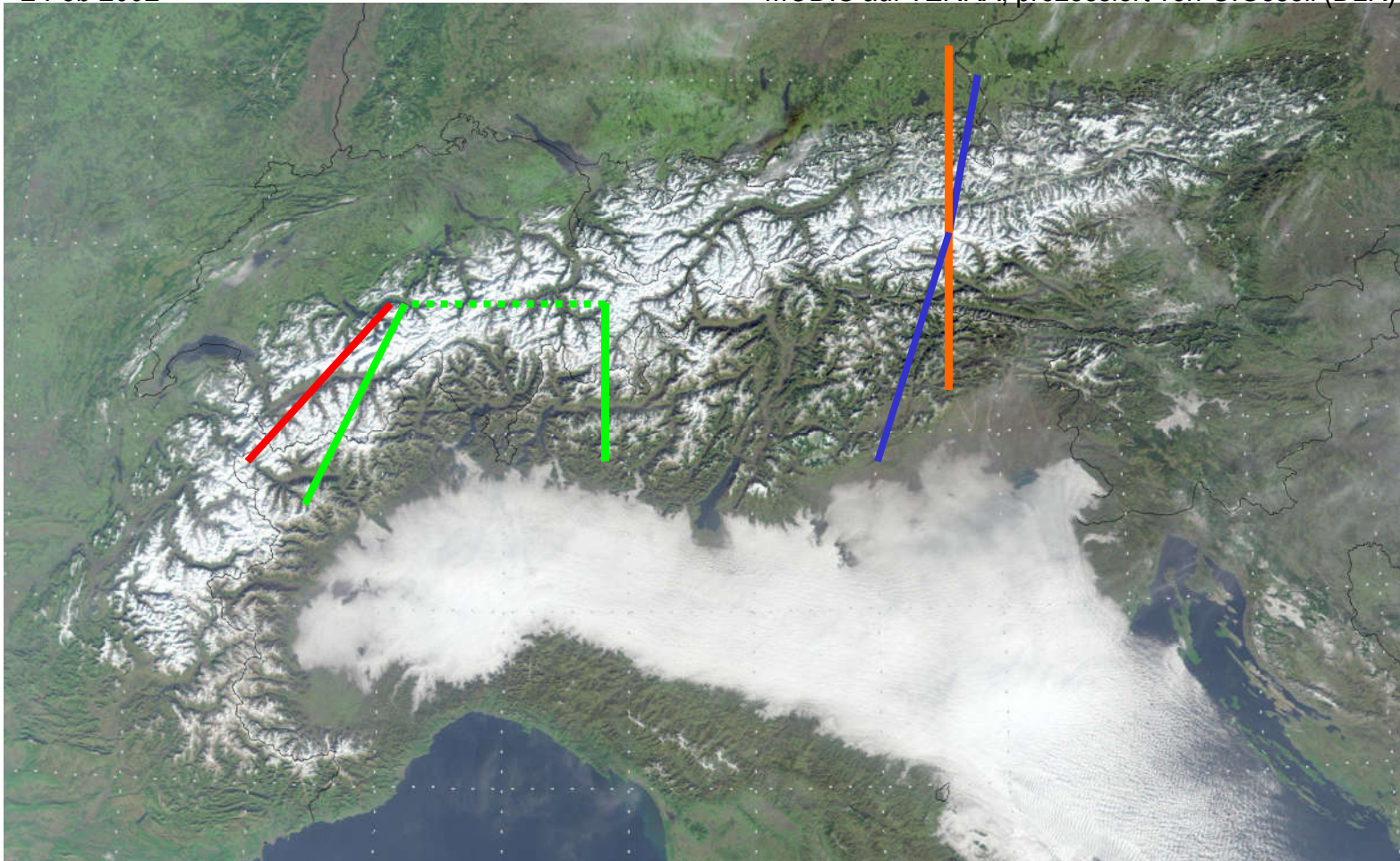
Kampagnen mit v.a.  
**Segelflugzeugen**

N. Gerbier, M. Berenger, 1961:  
Experimental studies of lee  
waves in the French Alps.  
Quart. J. R. Meteorol. Soc.,  
**87**, 13-23 (plus iii plates)

# Schwerewellen-Ereignisse bei MAP-SOP

2 Feb 2002

MODIS auf TERRA, prozessiert von G.Gesell (DLR)



— 2 Nov 1999 (IOP-13)

— 8 Nov 1999 (IOP-15)

— 20 Sep 1999 (IOP-2B)

— 25 Oct 1999 (IOP-10)



# Forschungsflugzeuge bei MAP-SOP



Falcon (DLR)

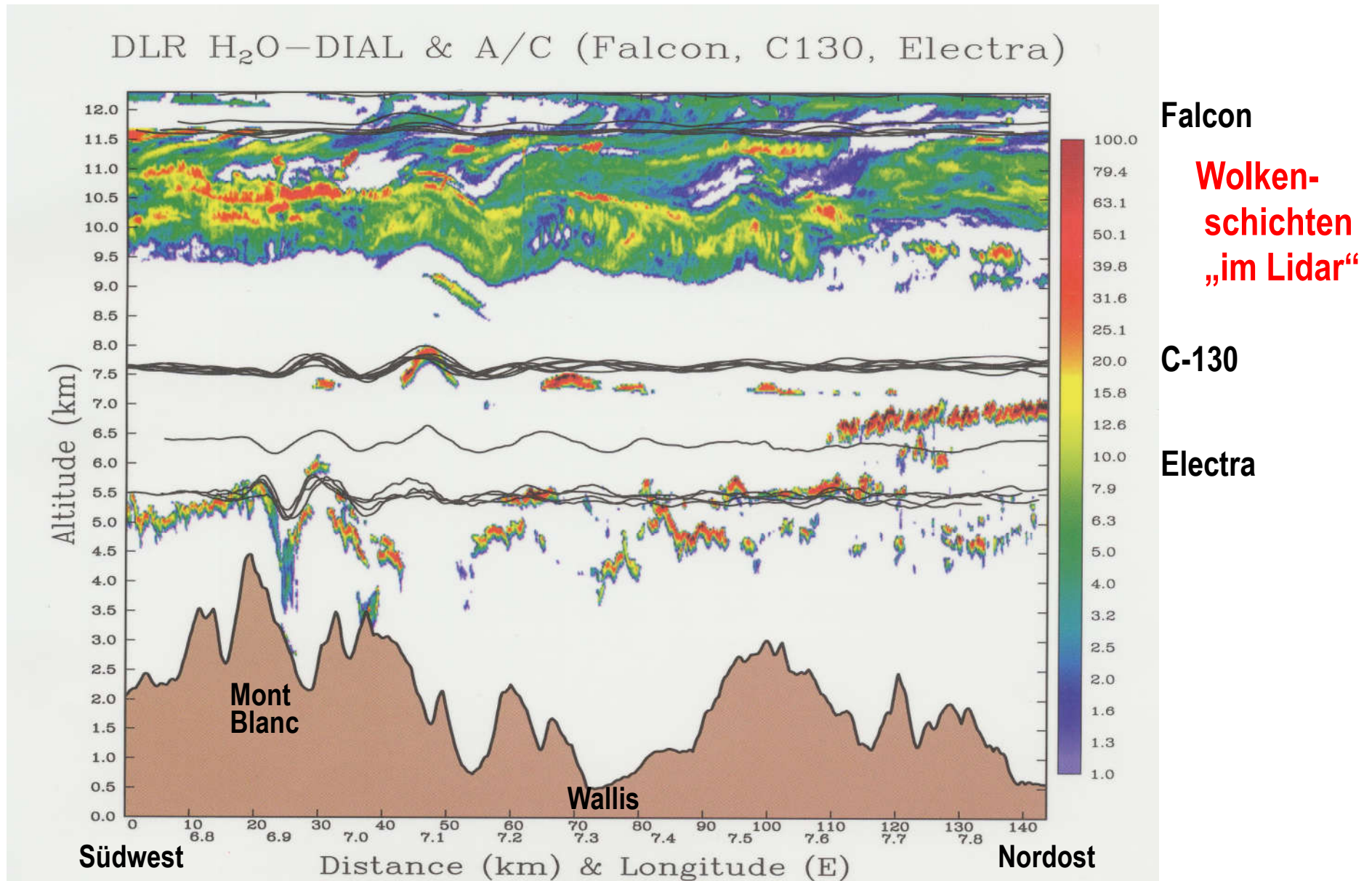


C-130 (UKMO)

P3 (NOAA)

Flughafen Innsbruck,  
15. Nov. 1999

# „Mont-Blanc case“, 2 Nov. 1999, IOP-13





# „Mont-Blanc case“, 2 Nov. 1999, IOP-13



hoher  
Cirrus

mittlerer  
Ac lent

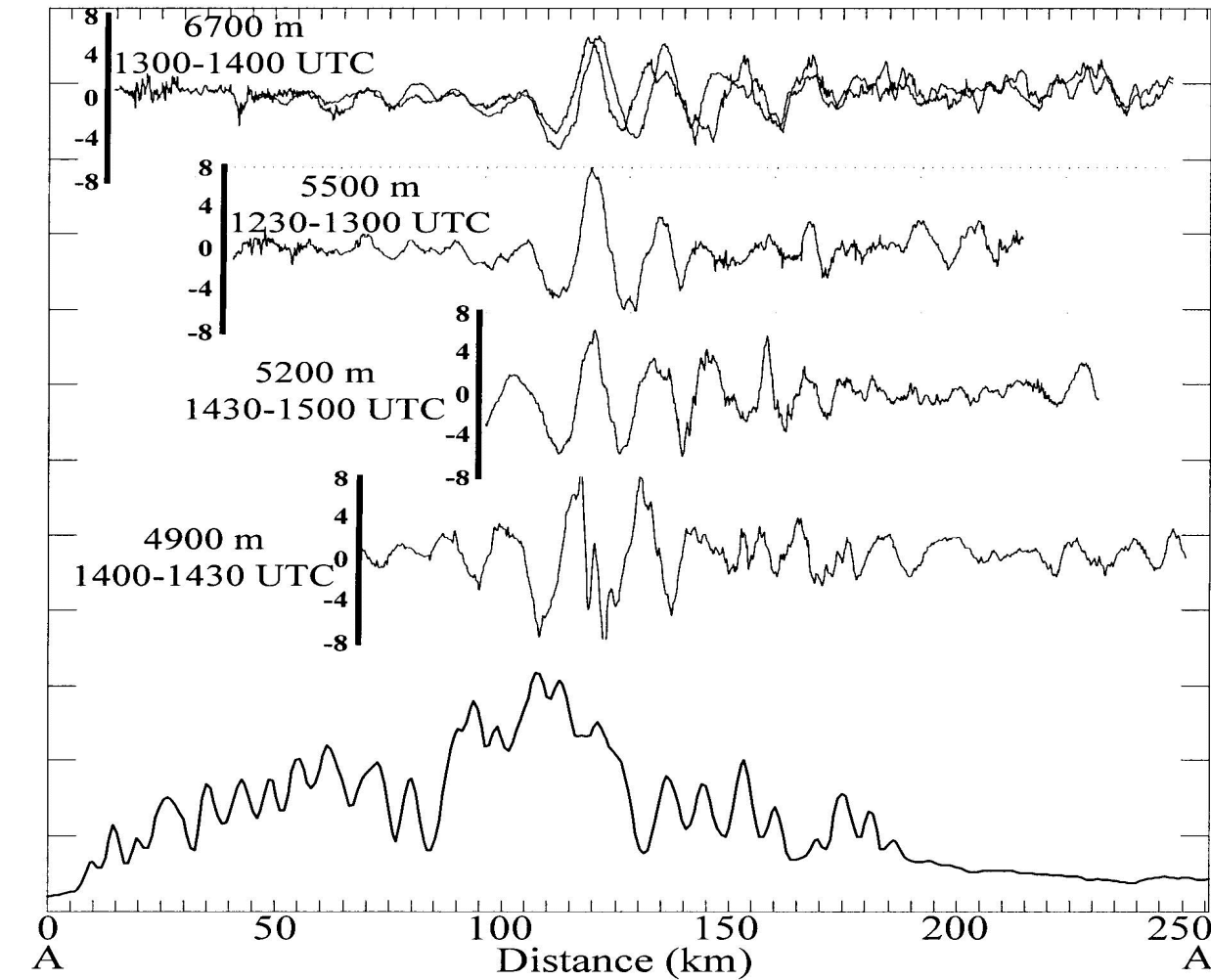
tiefer  
Stratus

hohe Gipfel überragen Kaltluft am Boden

*Photo: Adrian Broad*

**Wolken­schichten aus Cockpit der C-130**

# „Hohe-Tauern case“, 20 Sep. 1999, IOP-2B



**Electra allein  
in 4 Niveaus**

**Vertikalgeschwindigkeit  
über Gebirgsprofil**

J. Doyle and R.B. Smith, 2002,  
submitted to QJRMS

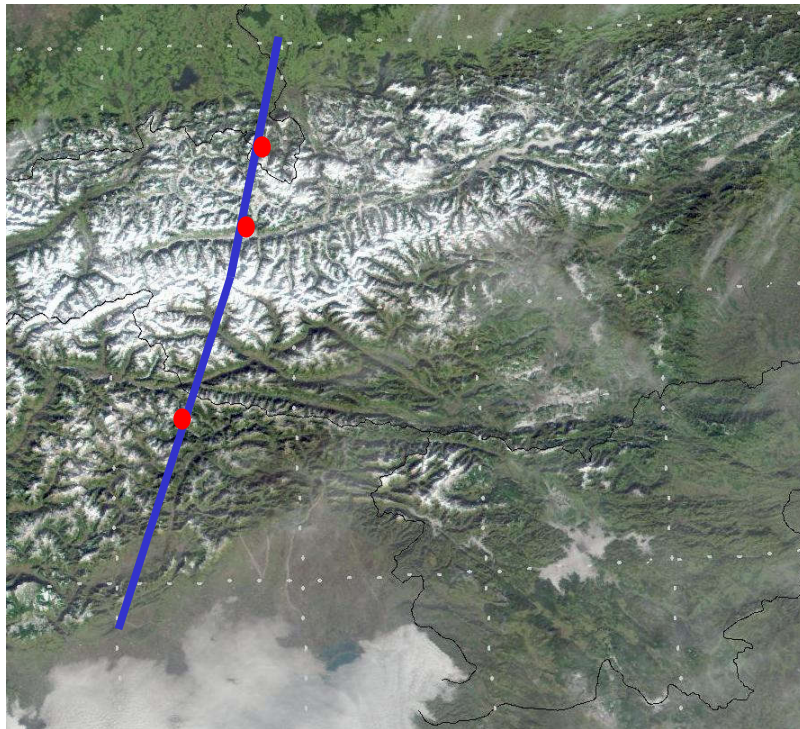
**Süd**

**Hohe Tauern**

**Nord**



# „Großglockner case“, 25 Oct. 1999, IOP-10

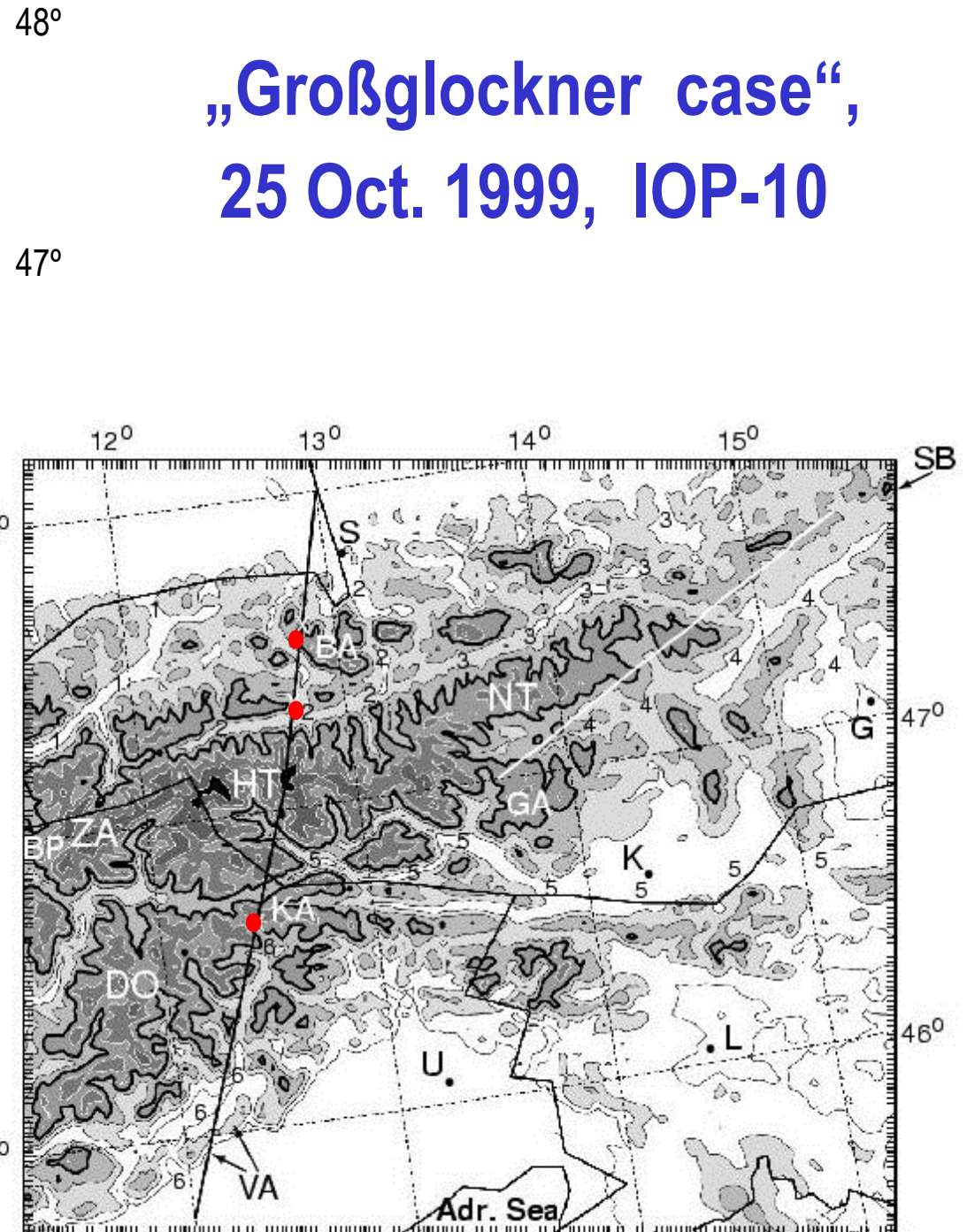


12° — Flugroute Falcon (6 legs) 15°  
● 3 Dropsonden (leg 5)

... in **Satellitenoptik** (300 m Auflösung)

## Ostalpengebiet ...

... als **3. Modell-Nest** (2 km Auflösung;  
**Meso-NH** von Météo France & LA)

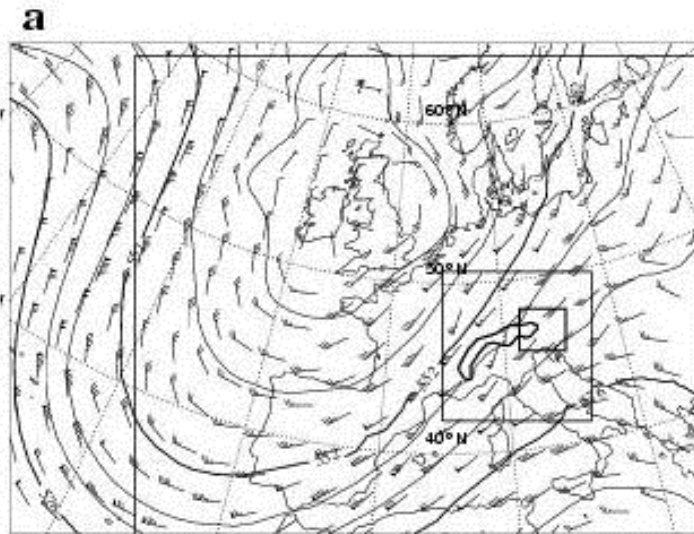




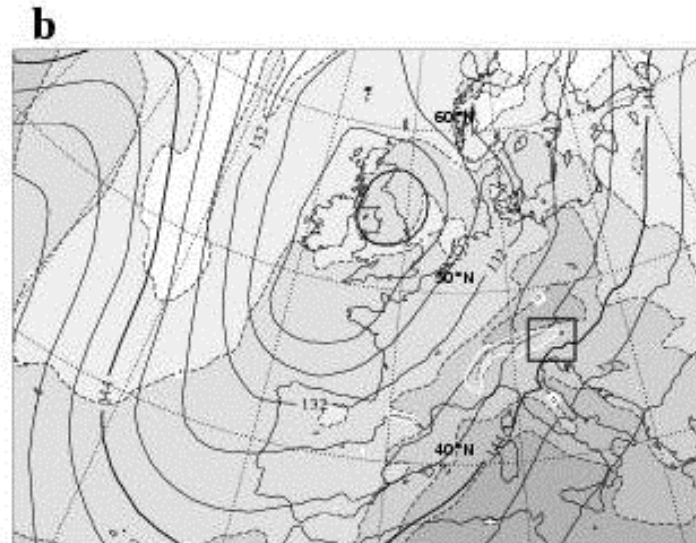
# IOP-10: Synoptische Lage

ECMWF (re-) analyses with T511 for 25 Oct 1999, 00UT (a,b); 24 h RR nach 06 UT (c)

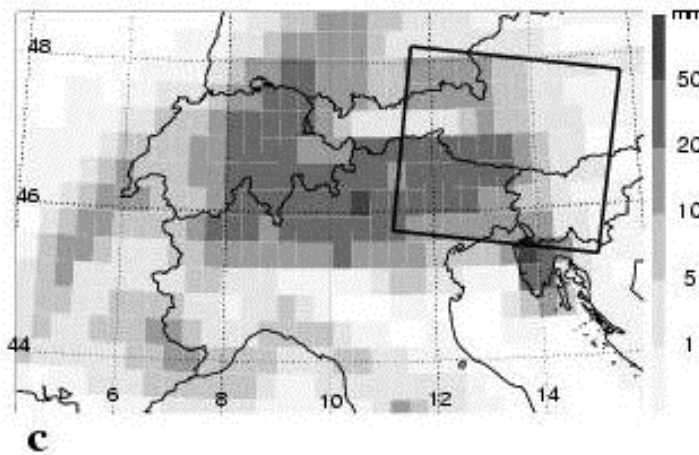
Geopot.,  
Wind  
500 hPa



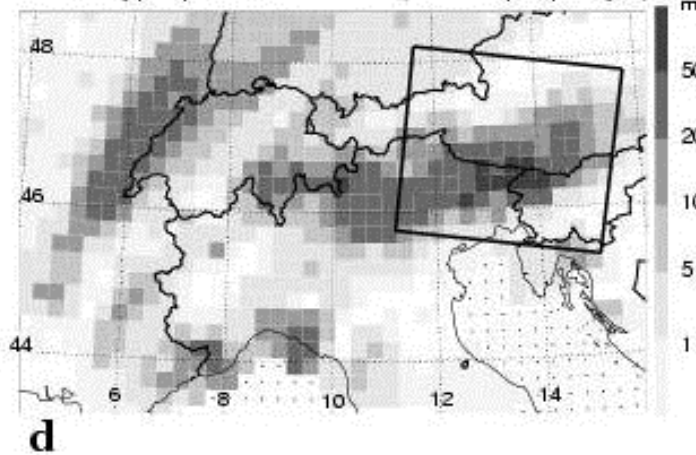
Geopot.,  
Temp.  
850 hPa



24 h RR  
(model)



24 h RR  
(obs)

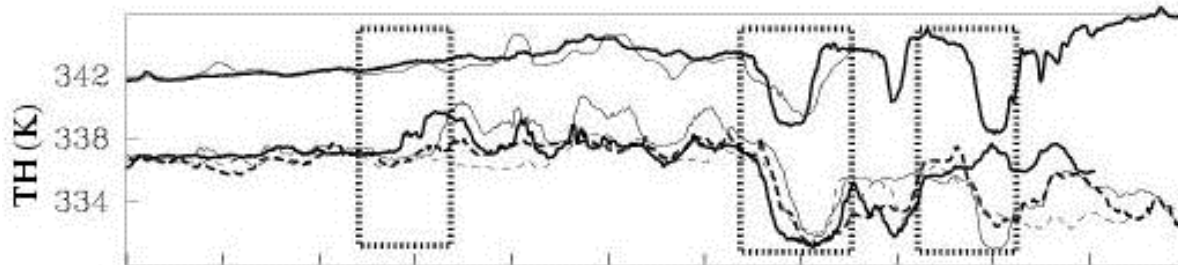


(a – c: C. Keil, ECMWF)

(d: C. Frei, MDC @ ETH)



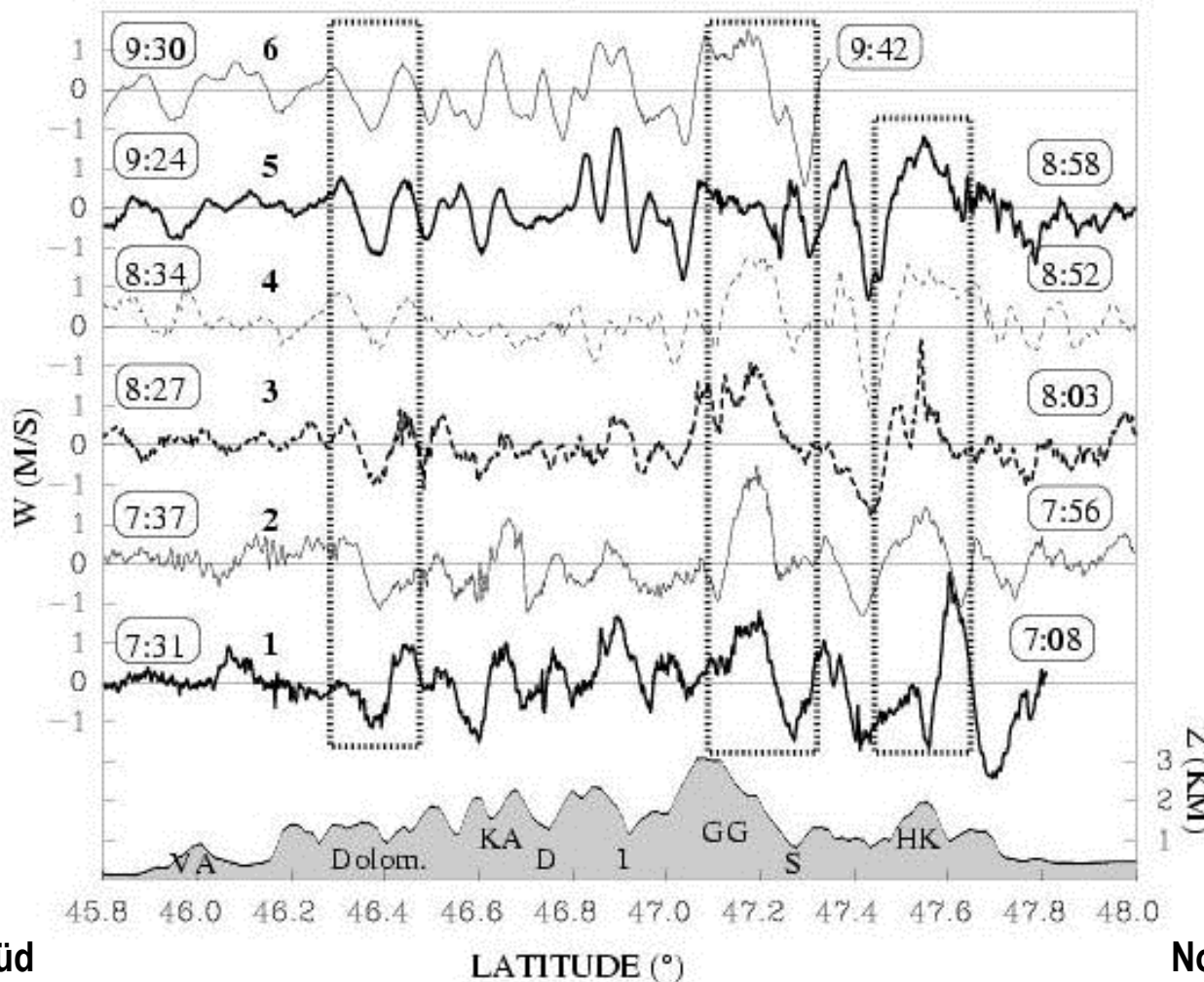
# Wellen im Falcon-Niveau: 6 „legs“ in 2 h 34'



12.1 km  
(legs 5, 6)

Potentielle  
Temperatur

11.4 km  
(legs 1 – 4)



vertikaler  
Wind

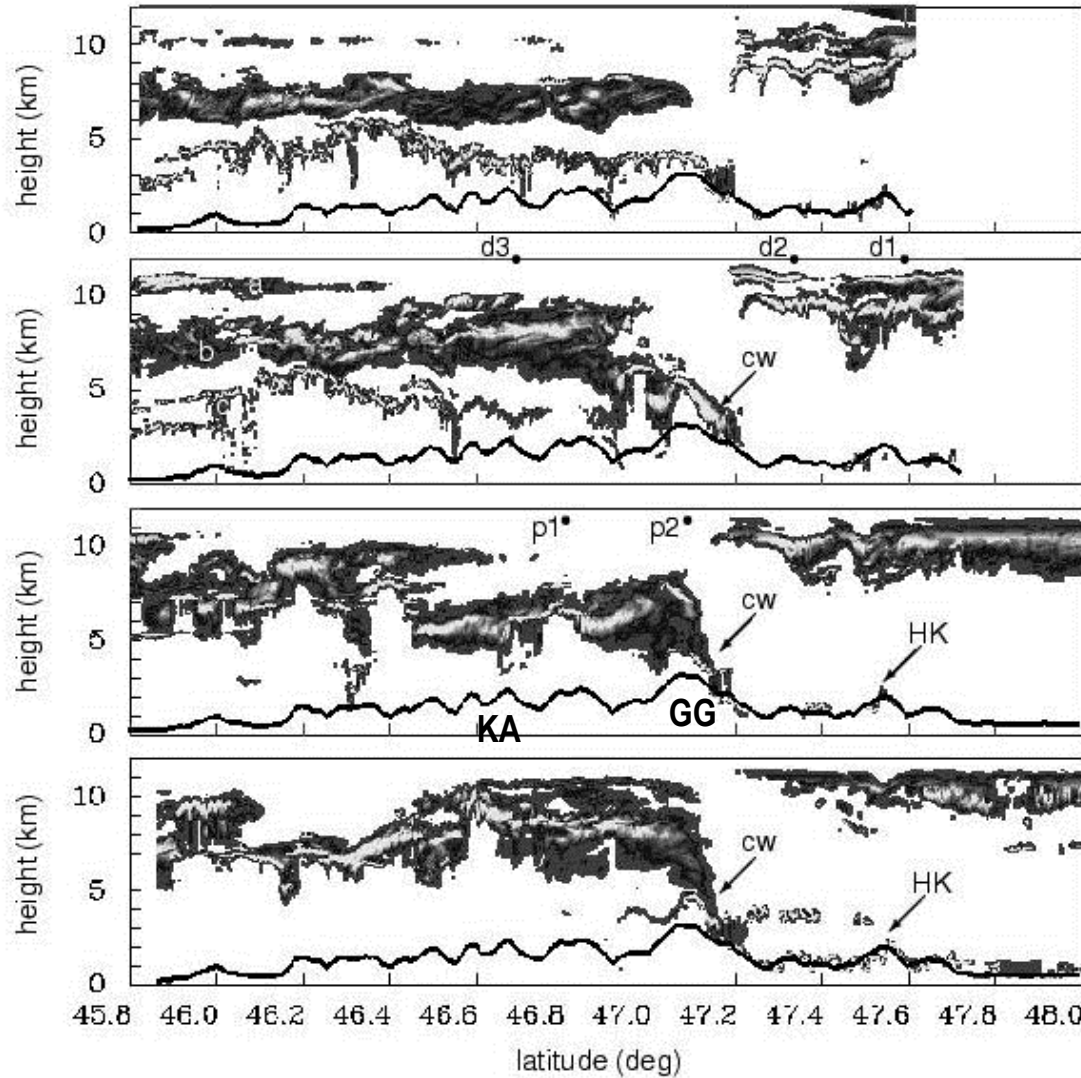
- VA Venetianer Alpen
- Dolom. (östl.) Dolomiten
- KA Karnische Alpen
- GG Großglockner
- HK Hochkalter
- D Drau
- I Isel
- S Salzach

Süd

LATITUDE (°)

Nord

# Wellen in Wolken-schichten: Lidar und Kamera



Rückstreuung aus bis zu 3 Schichten, teilweise auch vom Boden

leg 6

Über GG, Blick nach W (p2 in leg 4)



leg 5

leg 4



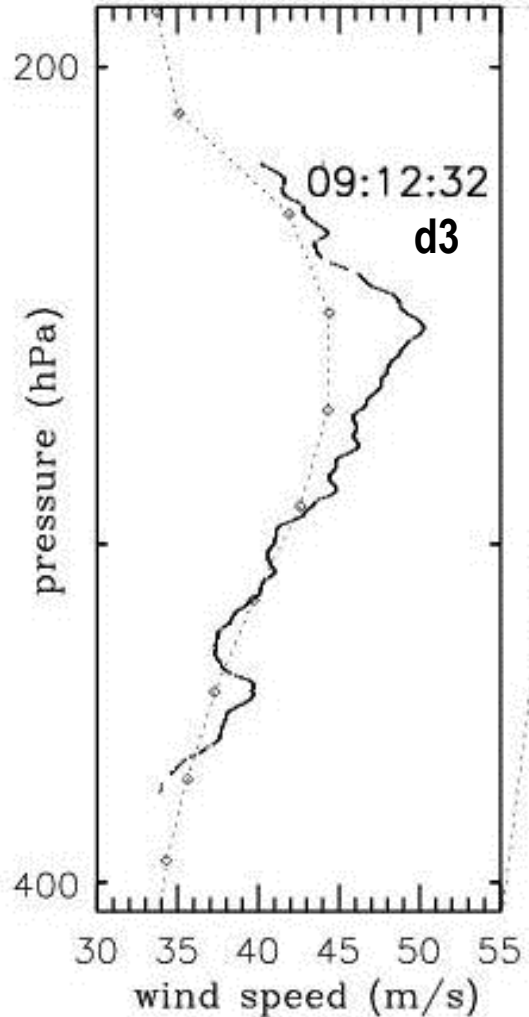
leg 3

Über KA, Blick nach N (p1 in leg 4)

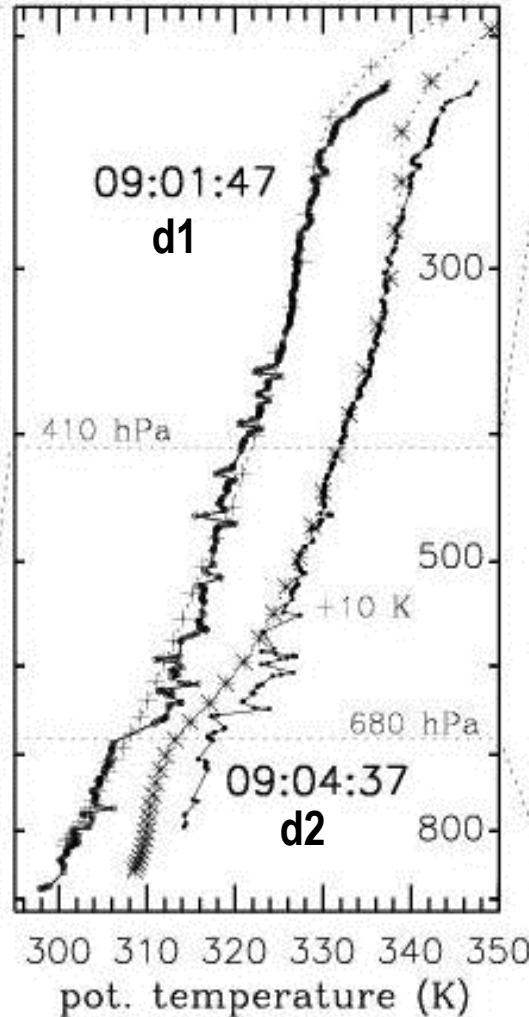


# 3 Dropsonden-Profile auf „leg 5“: Messung / Modell

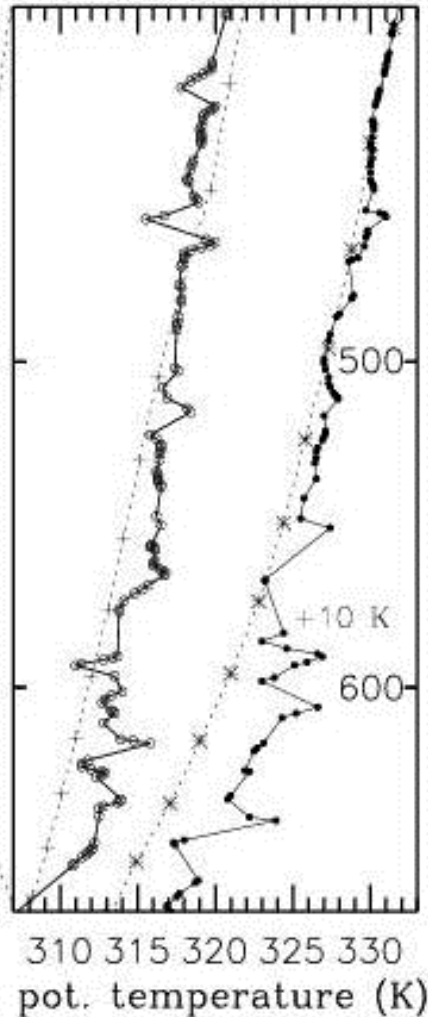
Jet-Nase



2 „fast falls“  
(ohne Wind)

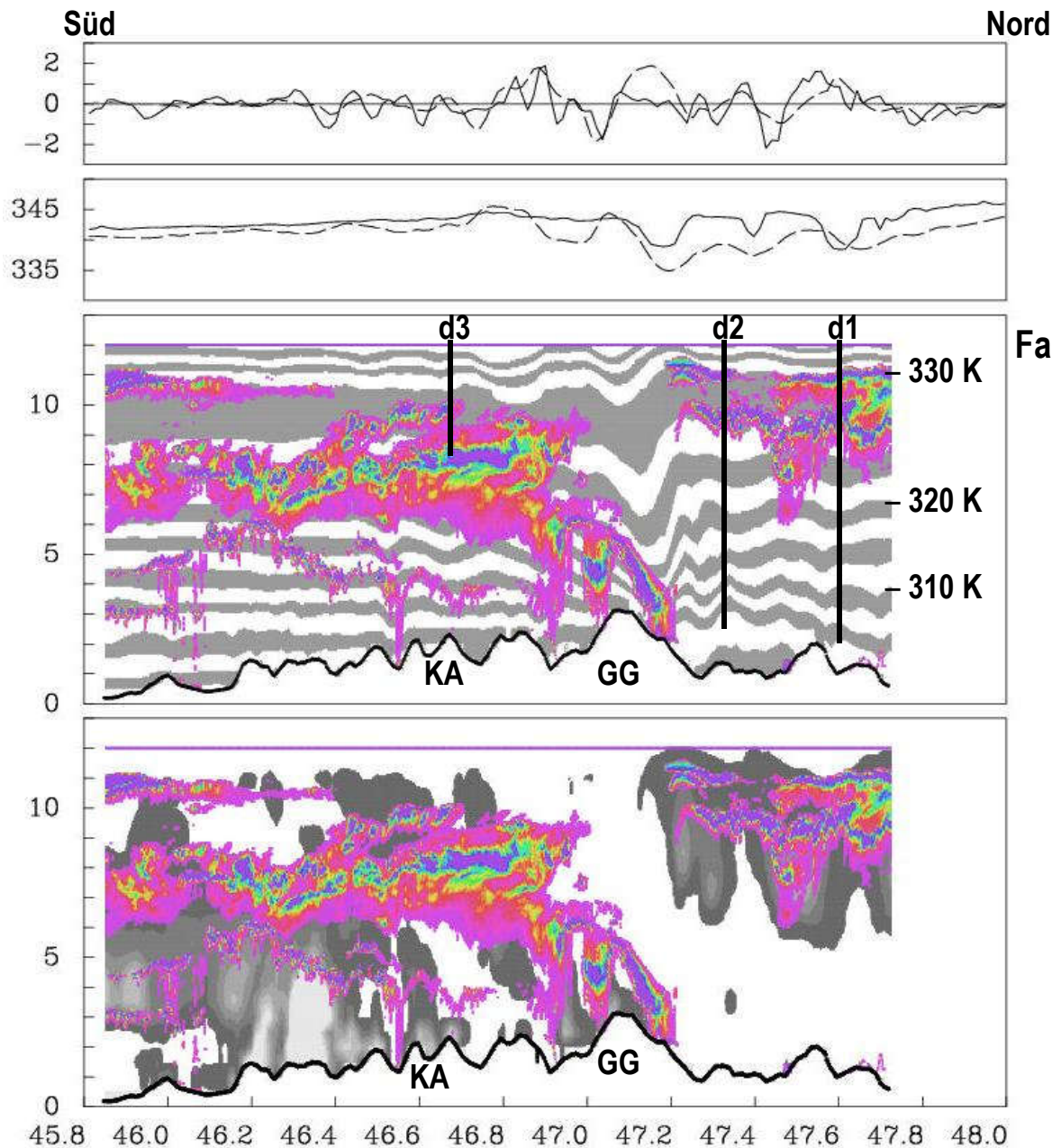


Zoom: wave breaking?



- Einzel-messwert
- x Modellwert

# Messung gegenüber Simulation: „leg 5“



Falcon-Niveau (12.1 km)

vertikaler Wind

— gemessen

----- simuliert

pot. Temperatur

Falcon in 12.1 km

„Lidar-Wolken“

gegen

Wellen in  
simulierter  
pot. Temperatur

(Position und Tiefe der „drops“)

„Lidar-Wolken“

gegen

simulierte Wolken

(kondensiertes Wasser  
fest und flüssig)

Sensitivität gegen Initialisierung

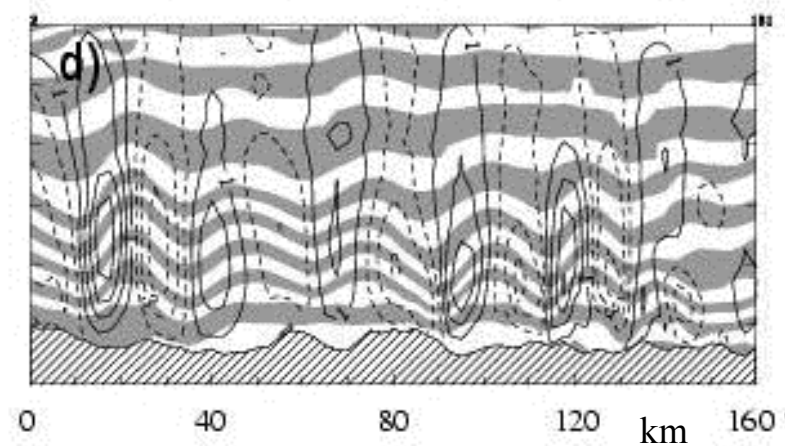
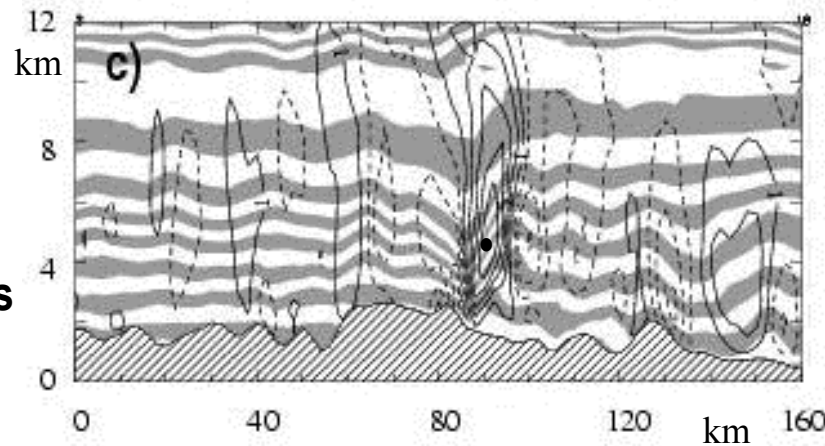
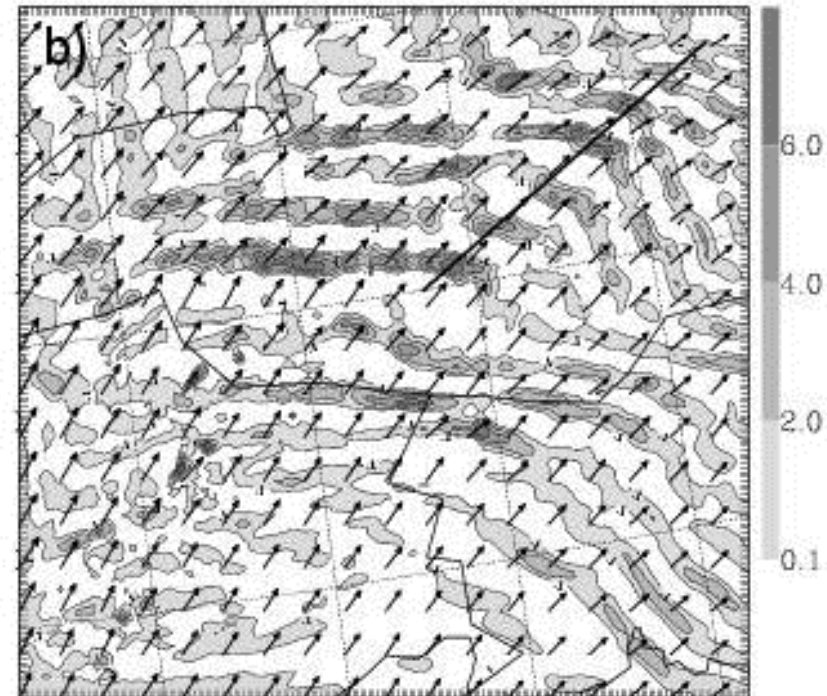
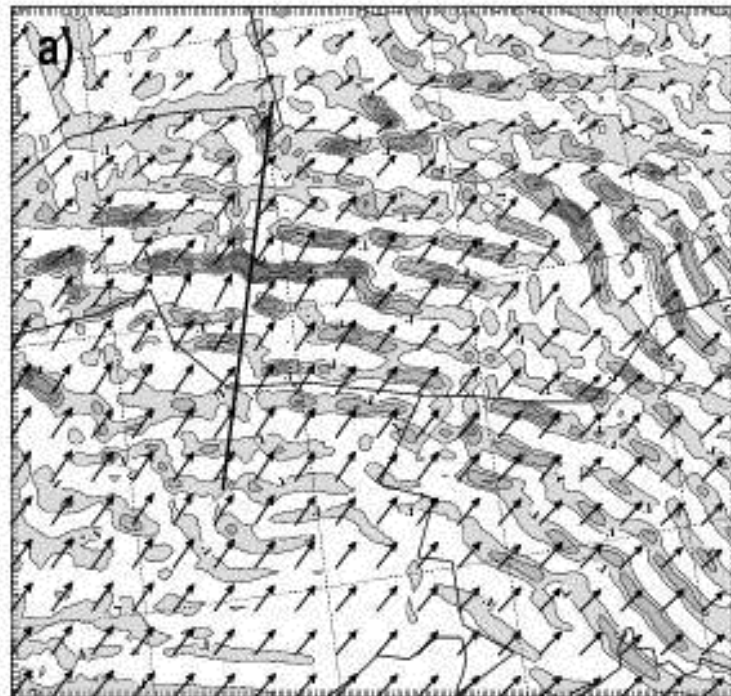
(ECMWF und ARPEGE)



# simulierte Vertikalwind-Bänder: zeitliche Entwicklung

0800 UT

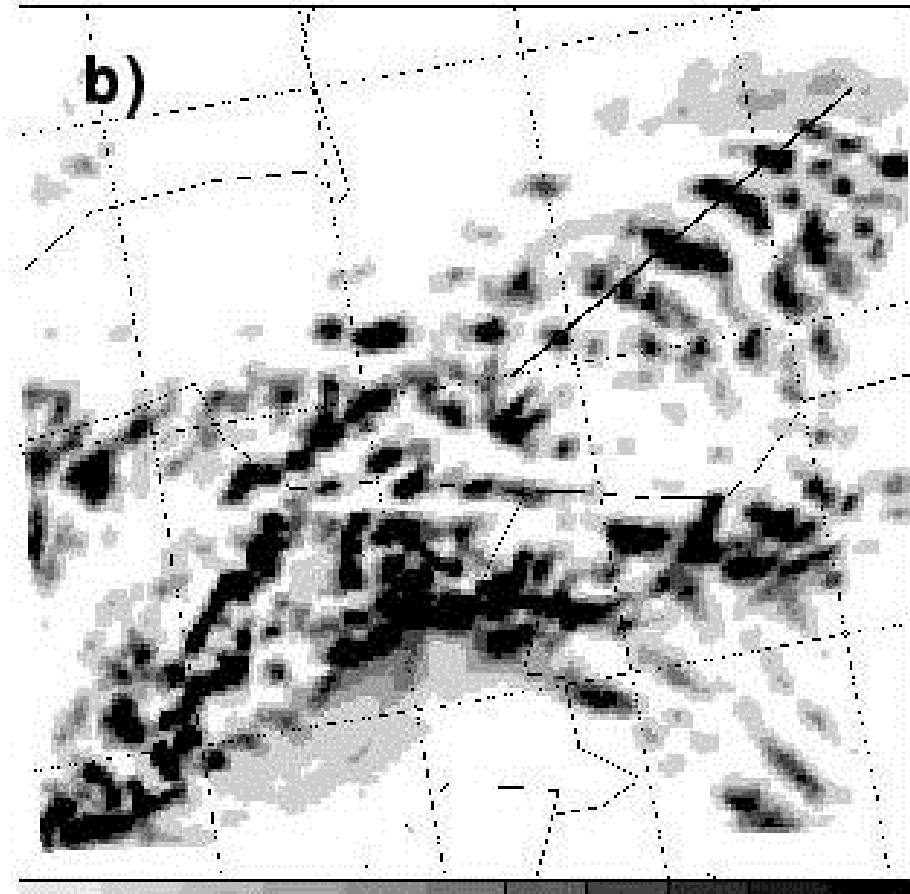
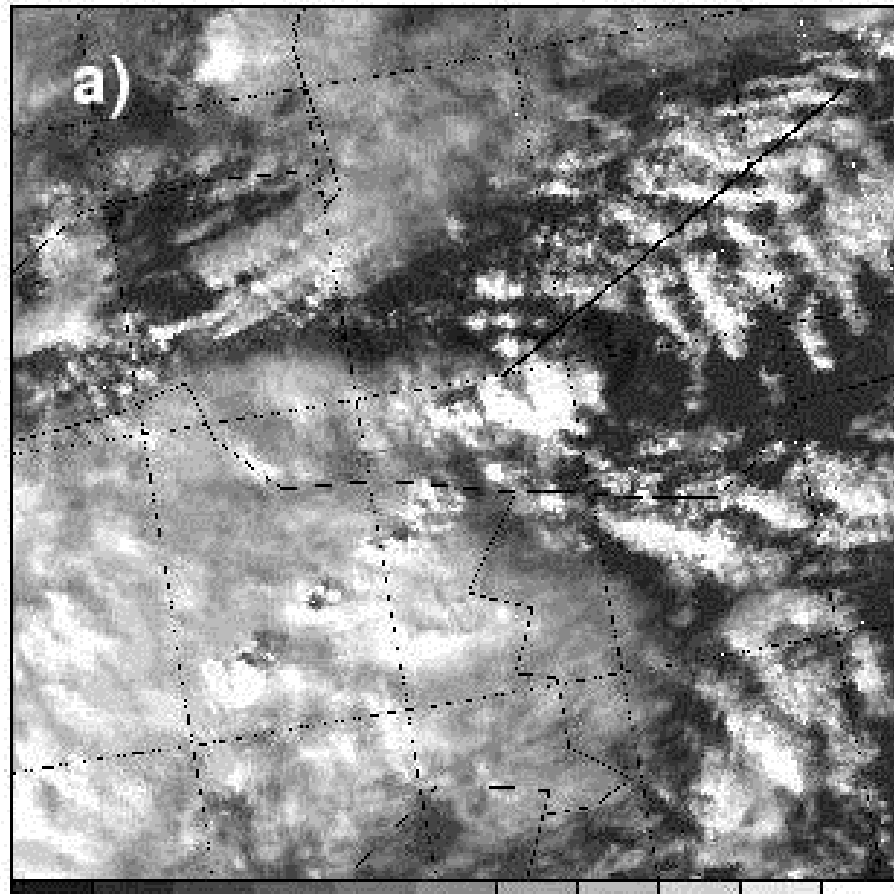
1430 UT



# Wolkenbänder um 1430 UT

NOAA: AVHRR

Meso-NH



2 4 6 8 10 12 14 16 18 20

$W m^{**(-2)} sr^{**(-1)}$

5 10 15 20 25 30 35 40 45 50

$10^{**(-5)} m$

sichtbarer Kanal

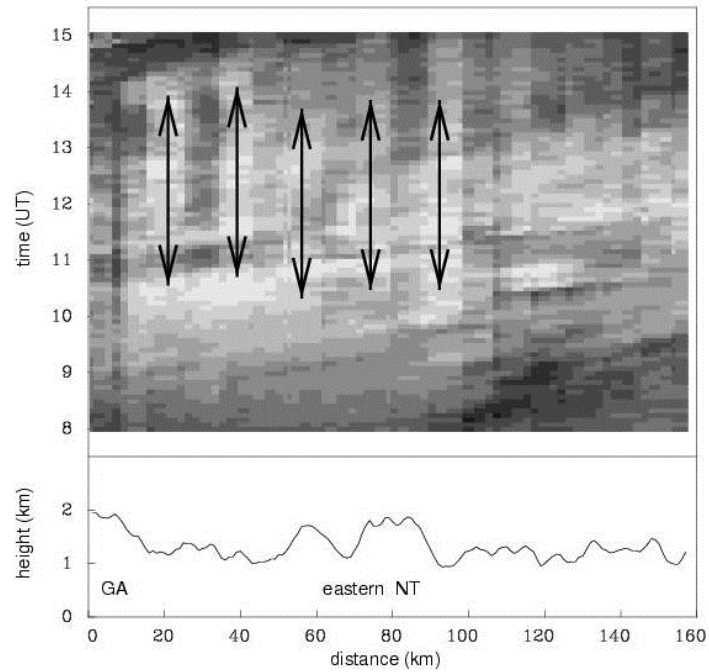
kondensiertes Wolkenwasser  
(vertikal summiert)



# Stationarität

Meteosat : „rapid scans“ alle 5 min:

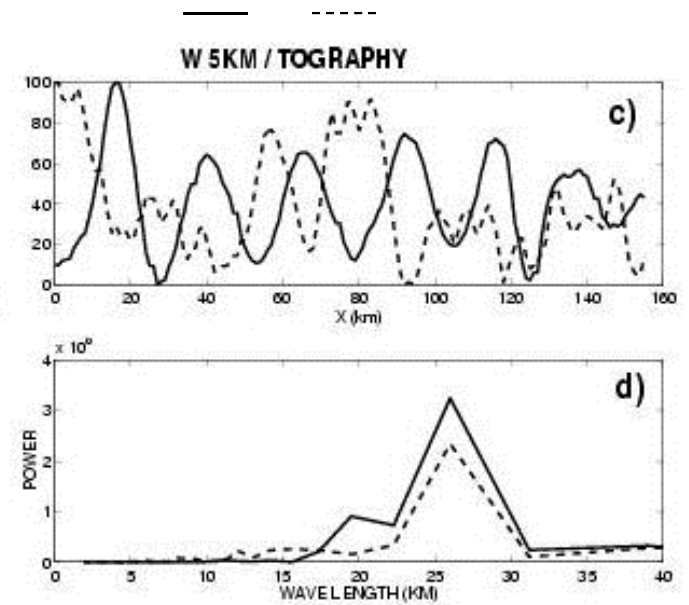
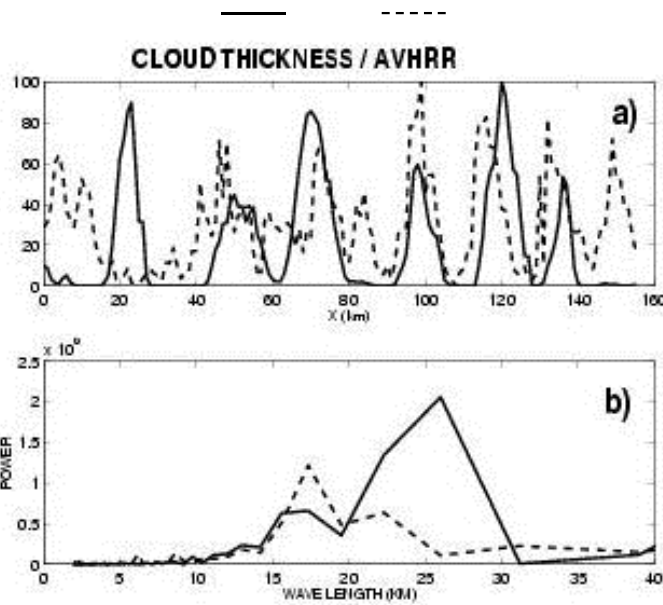
Hovmöller-Diagramm in Windrichtung



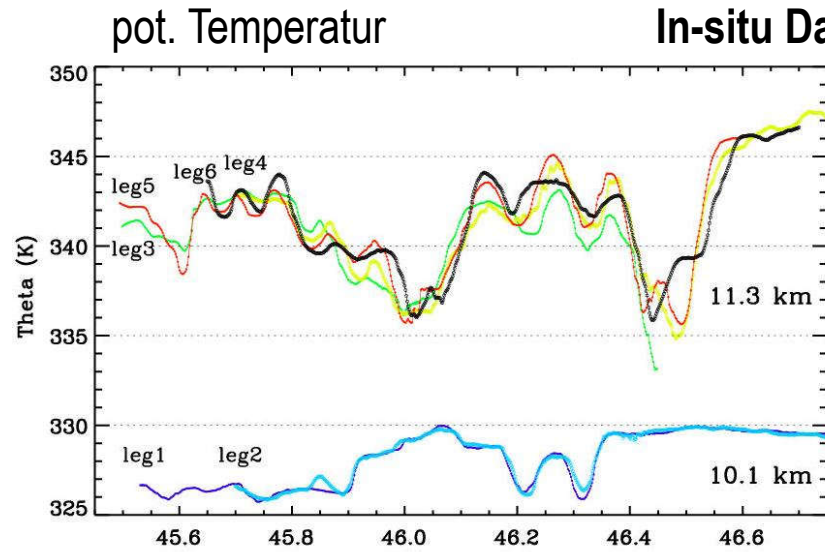
# Wellenzug

Physikalischer Raum

Fourier- Raum

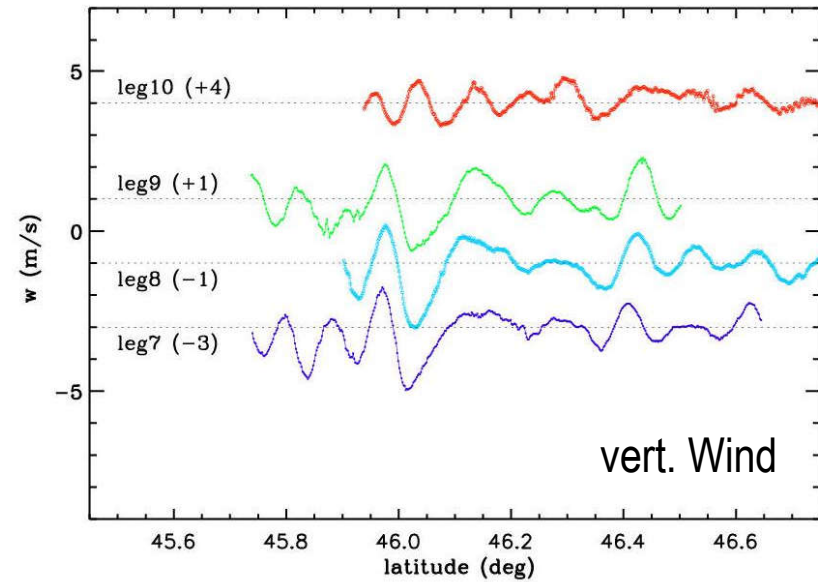
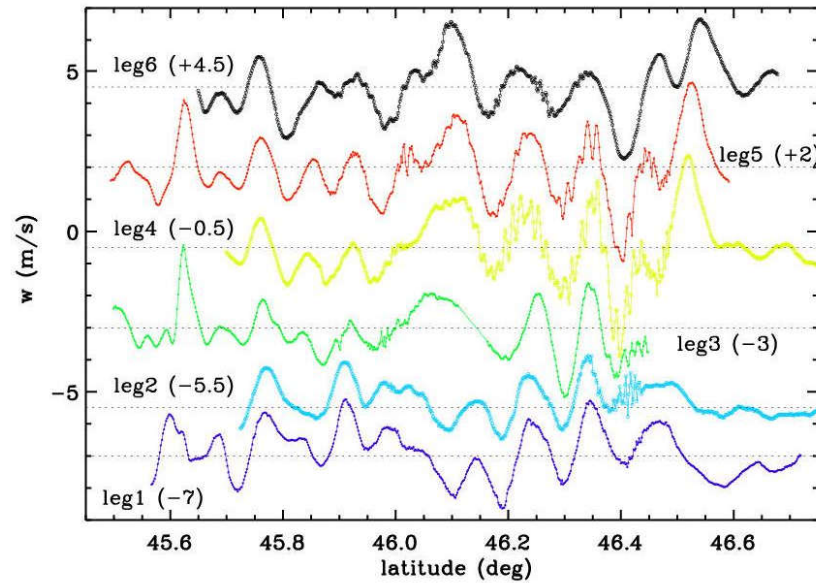
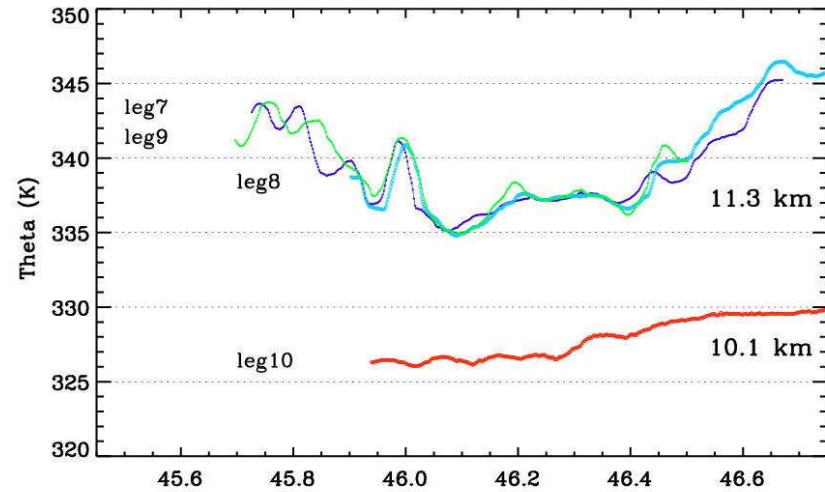


# „Monte-Rosa case“, 8 Nov. 1999, IOP-15



In-situ Daten der Falcon

pot. Temperatur



7.50 E  
Süd

westlichere Traversen

8.08 E  
Nord

9.75 E  
Süd

östlichere Traversen

9.75 E  
Nord



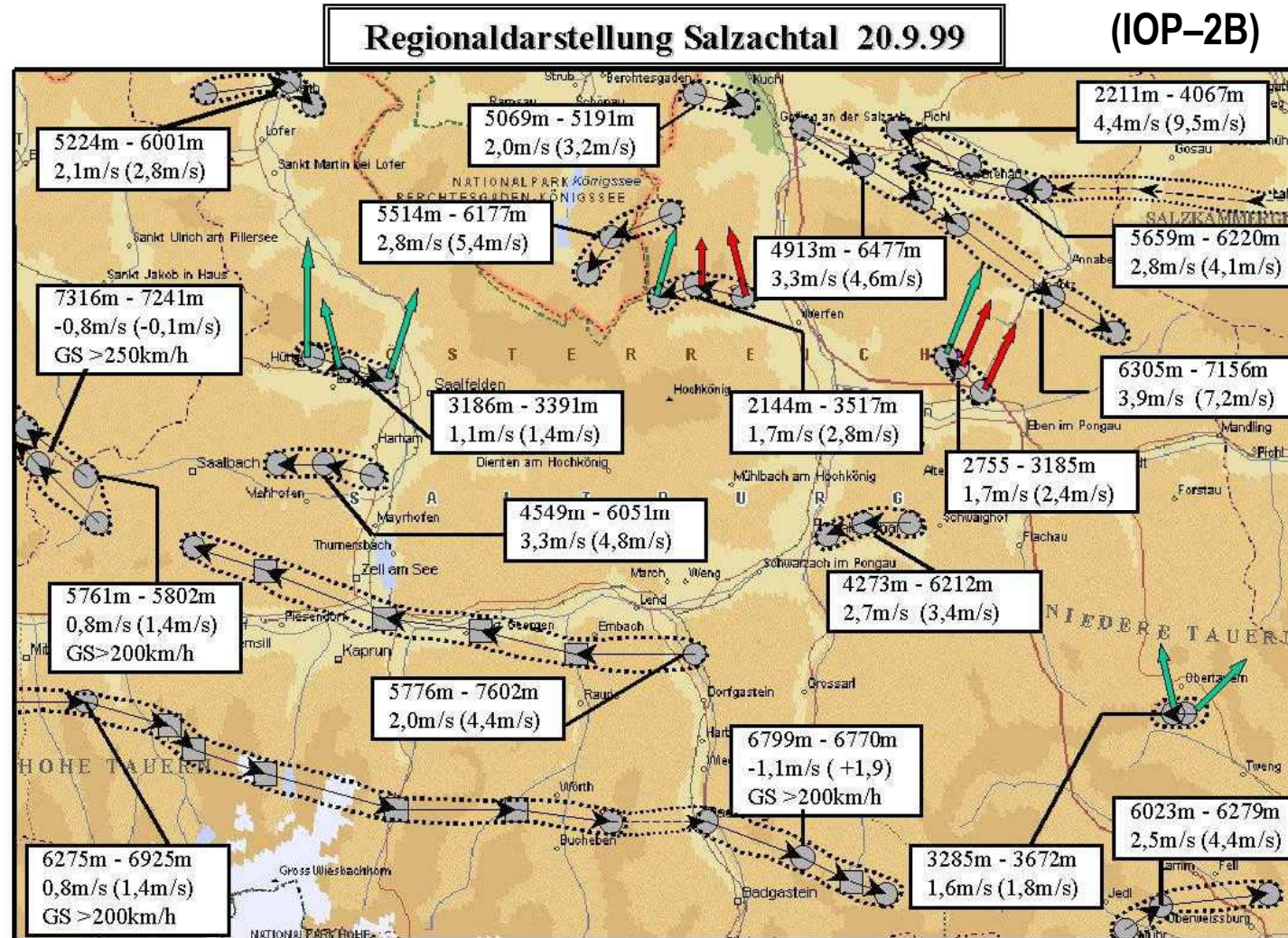
# Schwerewellen über den Alpen: Zwischenresumé

- ein **langwieriges** Thema (gut 60 Jahre Entwicklung)
- **MAP-SOP** lieferte einmalig umfangreichen Datensatz
- **Simulationen** werden **(high-tec) Messungen** ebenbürtig
- **phänomenologischen** Ansatz gewählt (was ist vorhanden ?)
- es bleibt noch **viel** auszuwerten und zu verstehen ....

Dank an : Gorazd POBERAJ, Christoph KIEMLE (DLR, Lidar)  
Reinhold BUSEN (DLR, Dropsonden)  
Jean-Pierre CHABOUREAU (LA, Satellitendaten)  
Evelyne RICHARD (LA, Meso-NH Simulationen)

**und die Sport-Freaks ...**

# ... fliegen weiter und messen auch



B. Forstner, 2001, Diplomarbeit, Universität Wien:  
 „Untersuchung von Gebirgswellen durch Auswertung von  
 Segelflug- und Radiosondendaten.“

**Ziel: 2000 km Wellen-Segelflug Alpen-Tatra-Ukraine**