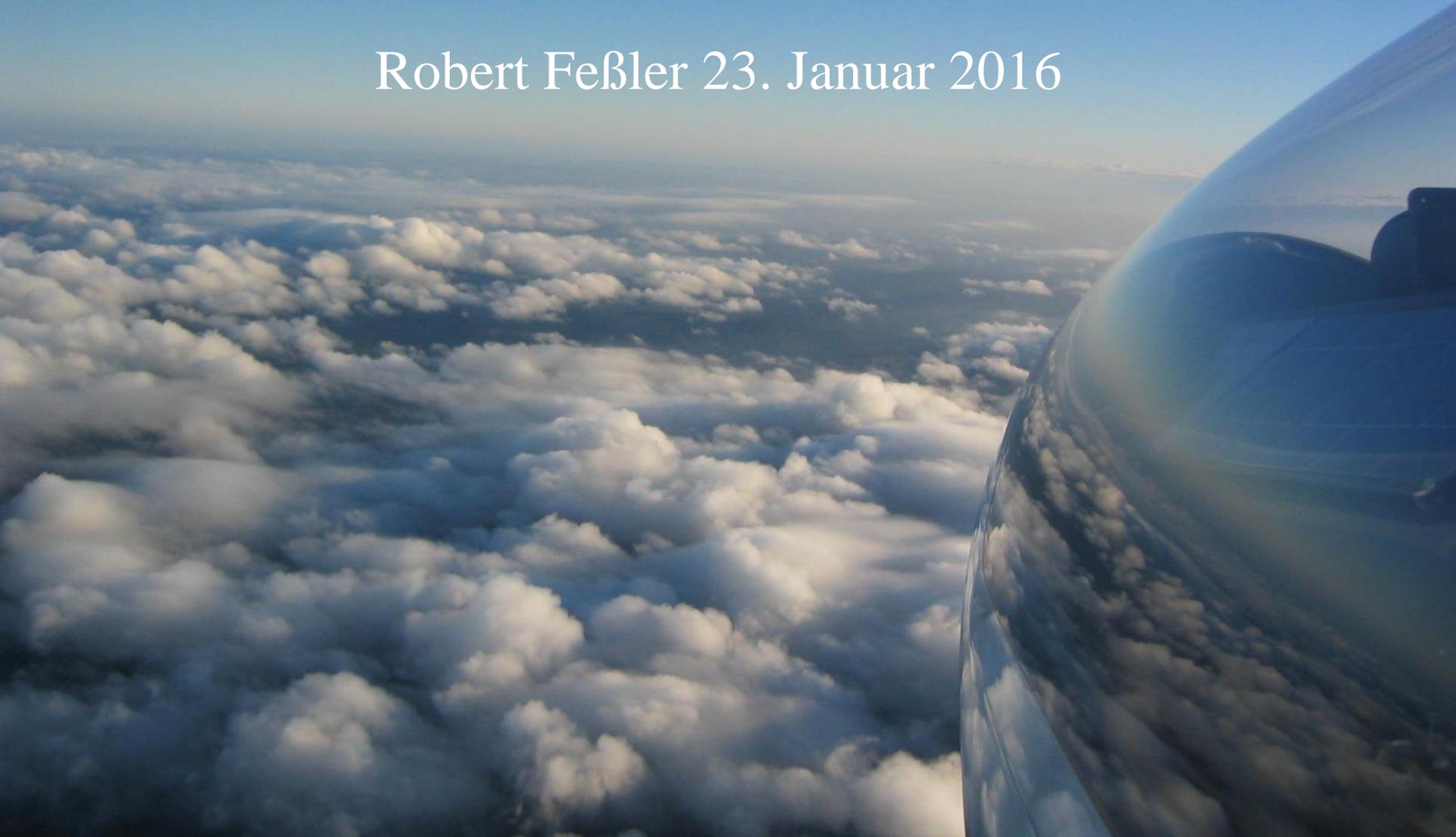


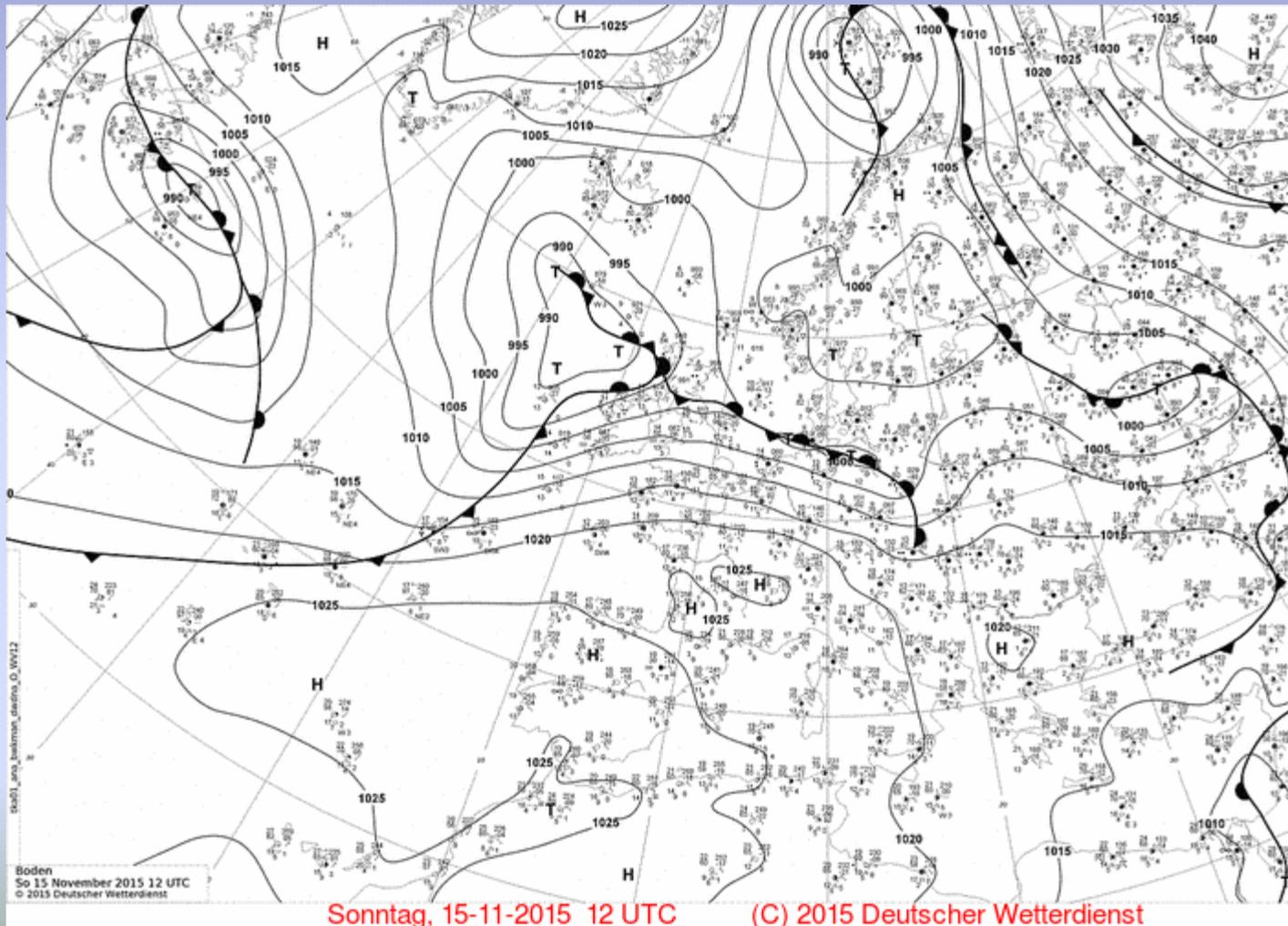
# Hochreichende Wellen über der Haardt

Robert Feßler 23. Januar 2016



# Wetterlage

Antizyklonale WNW-Schleifzonenlage im Warmsektor hinter abziehender Warmfront:



Sonntag, 15-11-2015 12 UTC

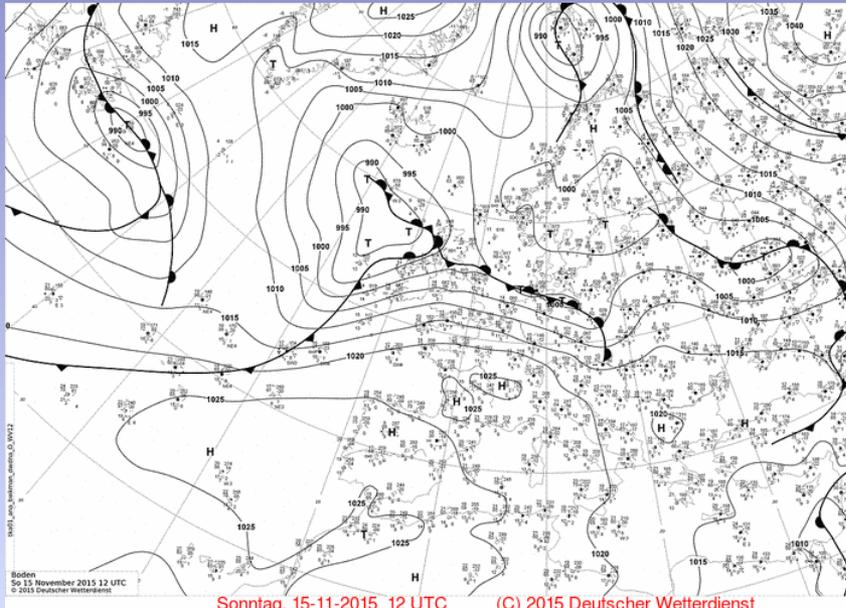
(C) 2015 Deutscher Wetterdienst

15. Nov. 2015 12 UTC

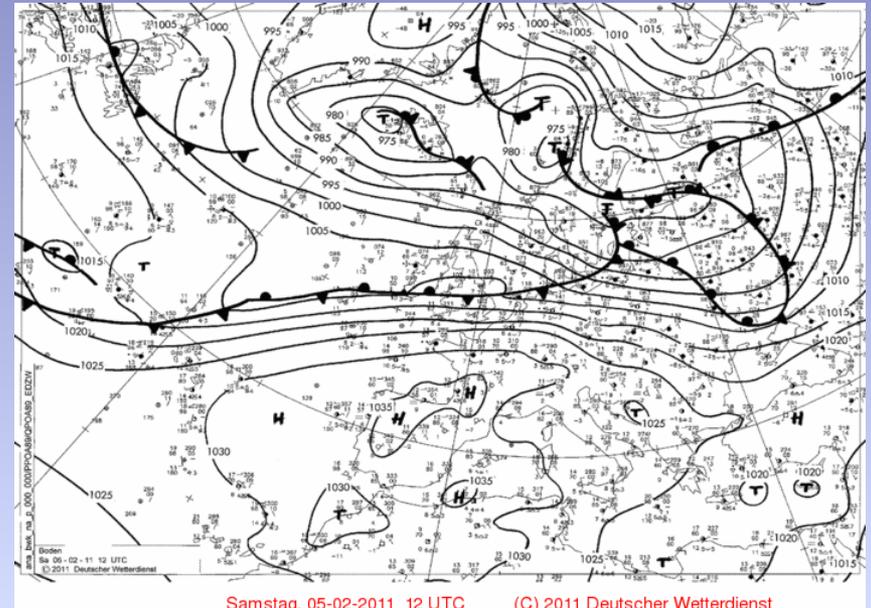
15 Nov. 2015 12UTC

5. Feb. 2011 12UTC

Boden

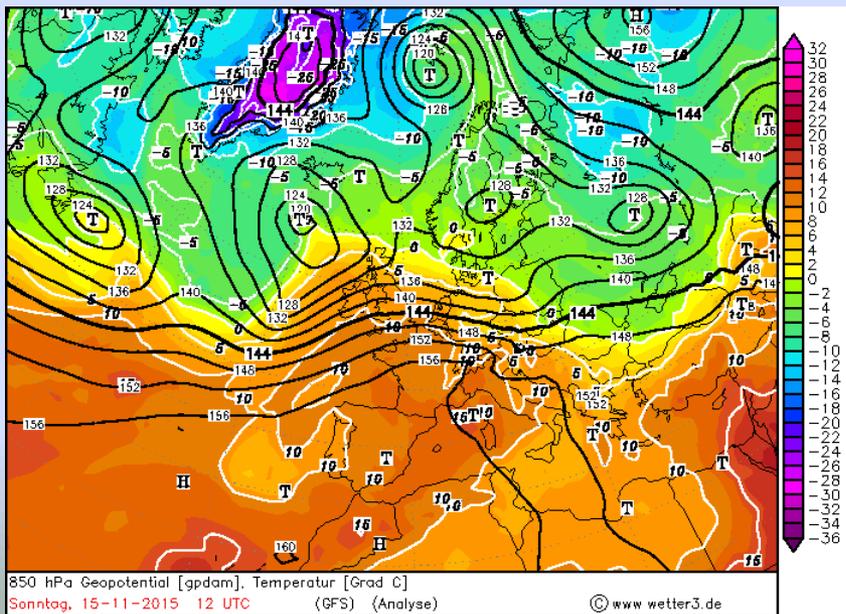


Sonntag, 15-11-2015 12 UTC (C) 2015 Deutscher Wetterdienst

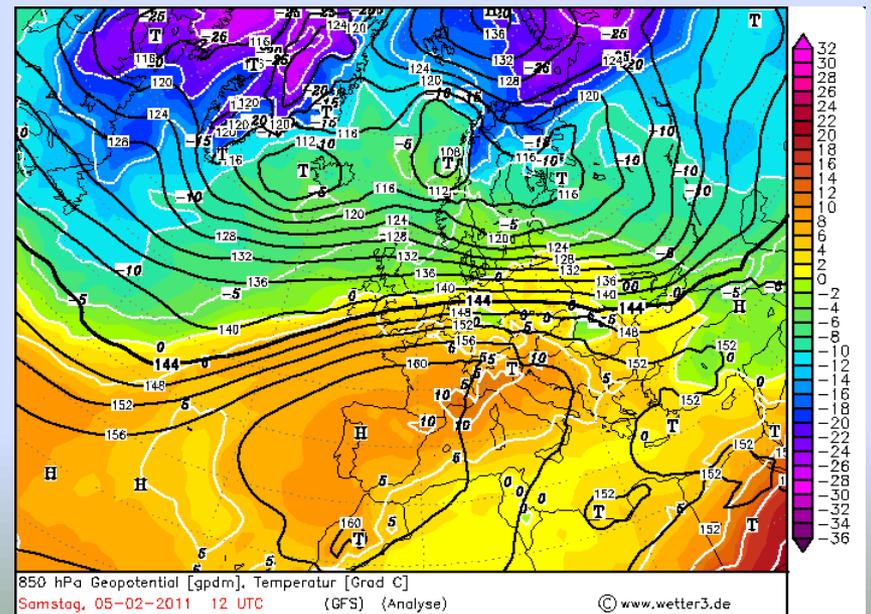


Samstag, 05-02-2011 12 UTC (C) 2011 Deutscher Wetterdienst

850 hPa (1500m)



850 hPa Geopotential [gpdam], Temperatur [Grad C]  
Sonntag, 15-11-2015 12 UTC (GFS) (Analyse) © www.wetter3.de

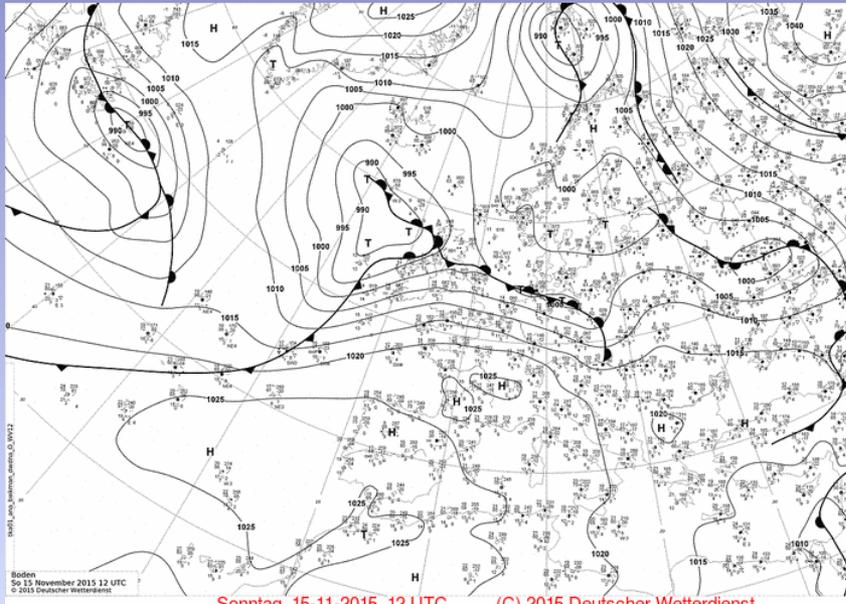


850 hPa Geopotential [gpdam], Temperatur [Grad C]  
Samstag, 05-02-2011 12 UTC (GFS) (Analyse) © www.wetter3.de

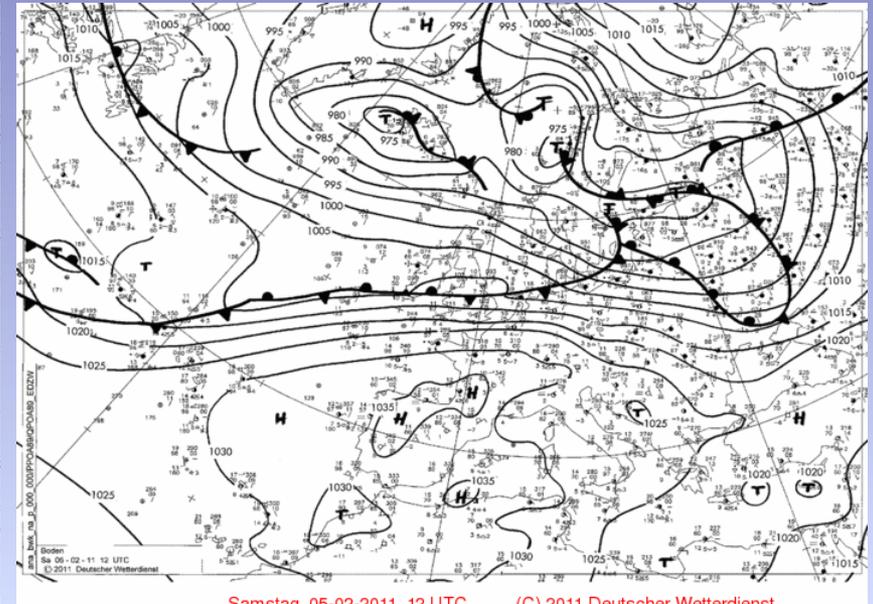
15 Nov. 2015 12UTC

5. Feb. 2011 12UTC

Boden

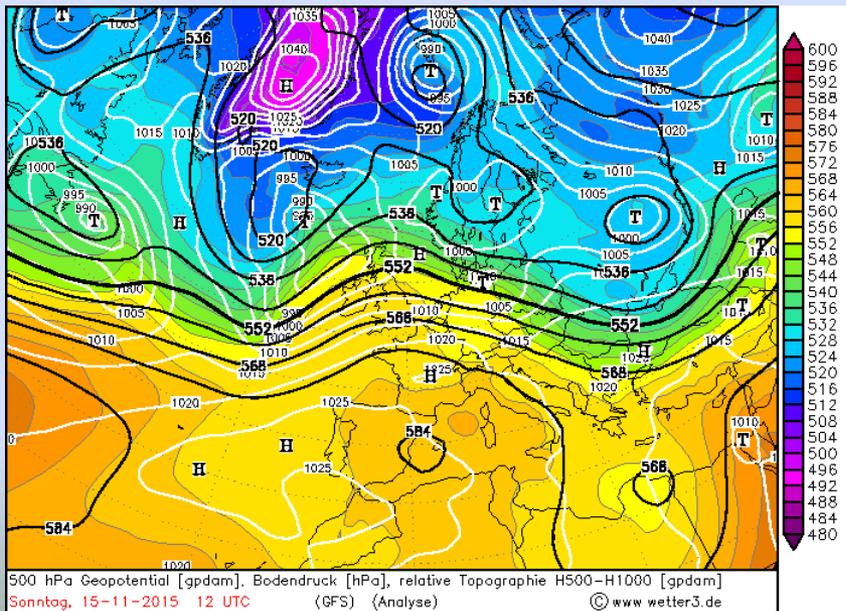


Sonntag, 15-11-2015 12 UTC (C) 2015 Deutscher Wetterdienst

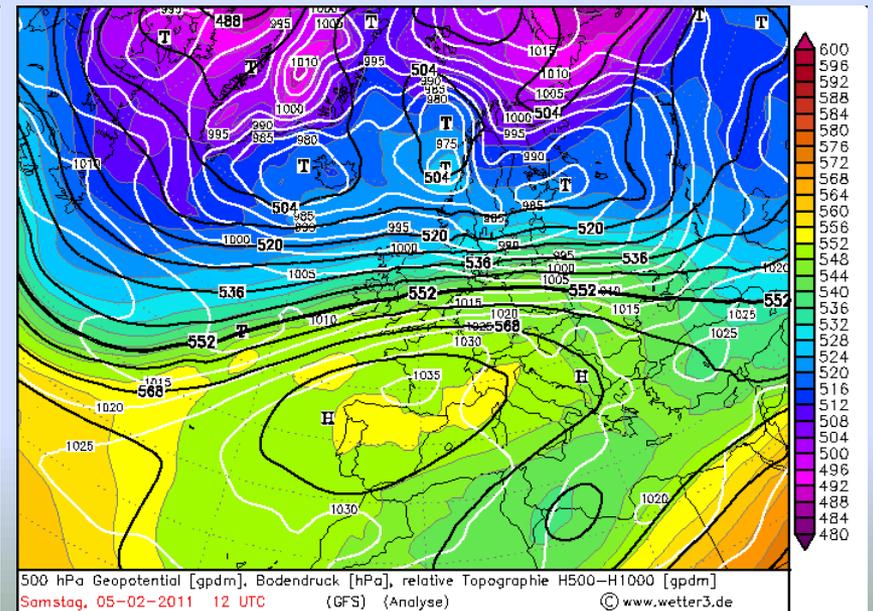


Samstag, 05-02-2011 12 UTC (C) 2011 Deutscher Wetterdienst

500 hPa (5500m)



500 hPa Geopotential [gpdam], Bodendruck [hPa], relative Topographie H500-H1000 [gpdam] Sonntag, 15-11-2015 12 UTC (GFS) (Analyse) © www.wetter3.de



500 hPa Geopotential [gpdam], Bodendruck [hPa], relative Topographie H500-H1000 [gpdam] Samstag, 05-02-2011 12 UTC (GFS) (Analyse) © www.wetter3.de

# Wetterlage

Unser Gebiet liegt an beiden Tagen:

- Im schwachen Hochdruckkeil zwischen zwei Trögen
- Am warmen Rand des Polarjets (im Warmsektor)
- Isohypsen und Isothermen sind parallel (Schleifzonenlage)

Unterschied:

	15. Nov.	5. Feb.
Rosbywellenlänge	Mittel	lang
Rosbywellendrift	nach Ost	stationär
Warmsektor	ja, nach Warmfront	schwach, zonaler

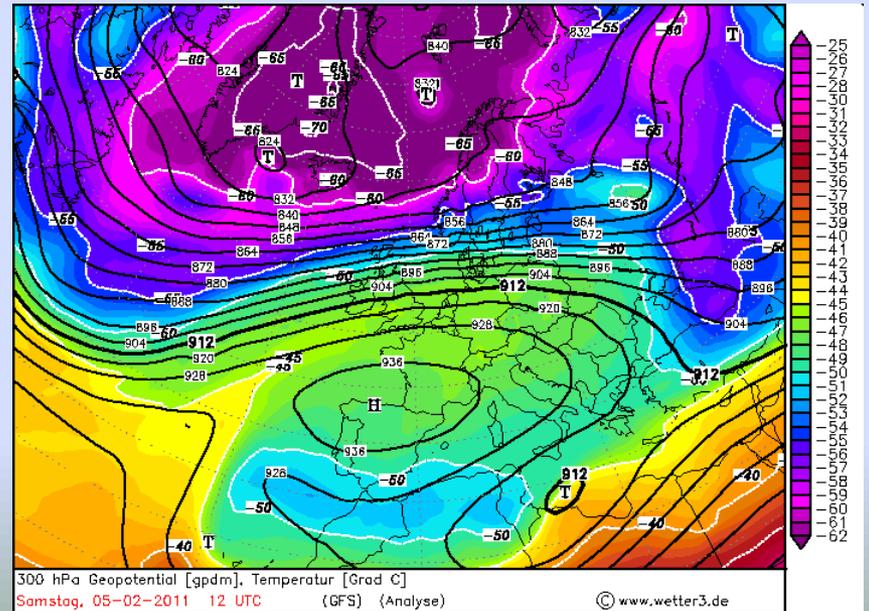
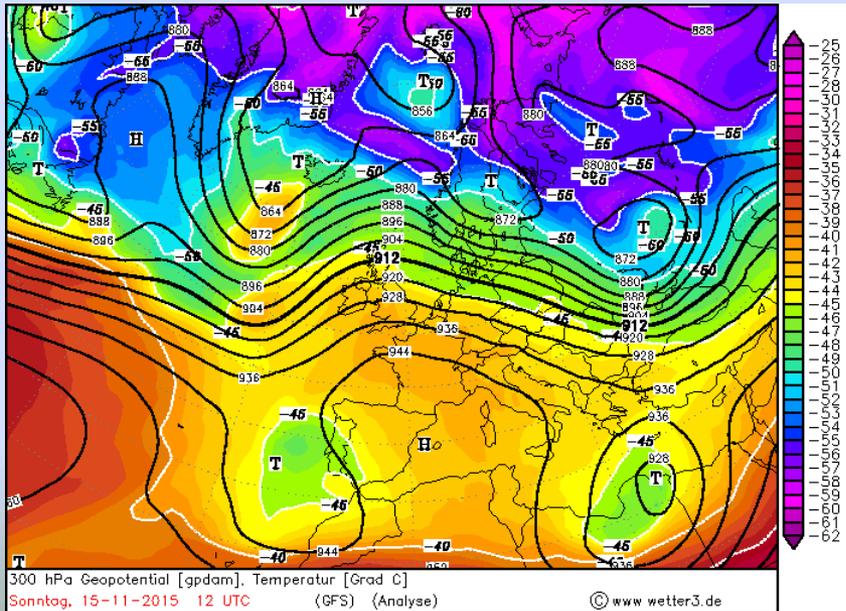
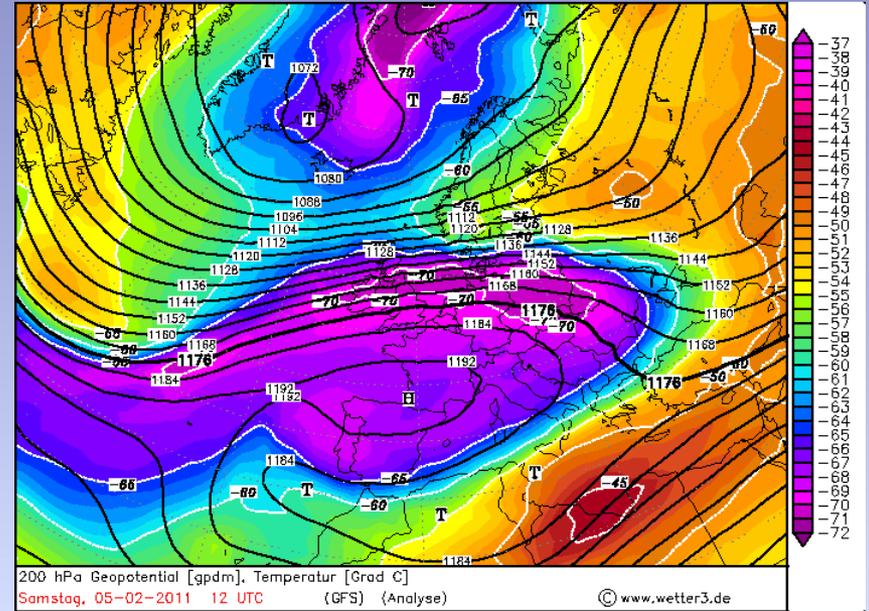
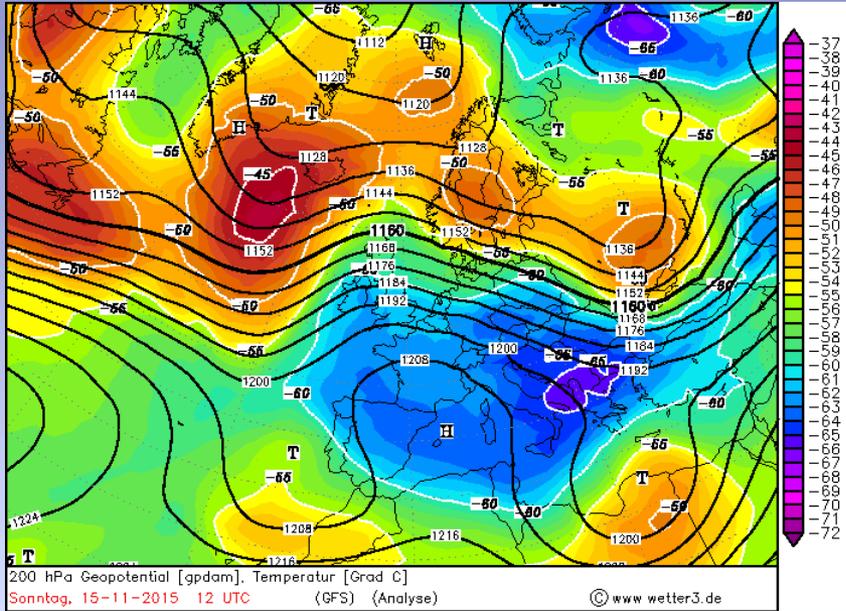
(s. auch Phasenverschiebung Boden-500 hPa in rel. Top.)

15 Nov. 2015 12UTC

5. Feb. 2011 12UTC

200 hPa (12000m)

300 hPa (9400m)



# Auch interessant:

Karten zeigen **Umkehrung der Temperaturdifferenz** zwischen Subtropen und Polarregion in der Stratosphäre. Deshalb:

- Hochdruck trotz Warmluft
- Tiefdruck trotz Kaltluft

in der Troposphäre.

Schema:

	<b>Subtropen</b>	<b>Polarregion</b>
<b>Stratosphäre</b>	Kalt, schwer	Warm, leicht
<b>Tropopause</b>	niedrig	Hoch
<b>Troposphäre</b>	Warm, leicht	Kalt, schwer
<b>Boden</b>	Hochdruck	Tiefdruck

# Wind

Höhe der Druckflächen:

300 hPa (teilweise) ca. 9400m

500 hPa ca. 5500m

850 hPa ca. 1500m

925 hPa ca. 820m (am 15. 11.)

Haardt 600-673m

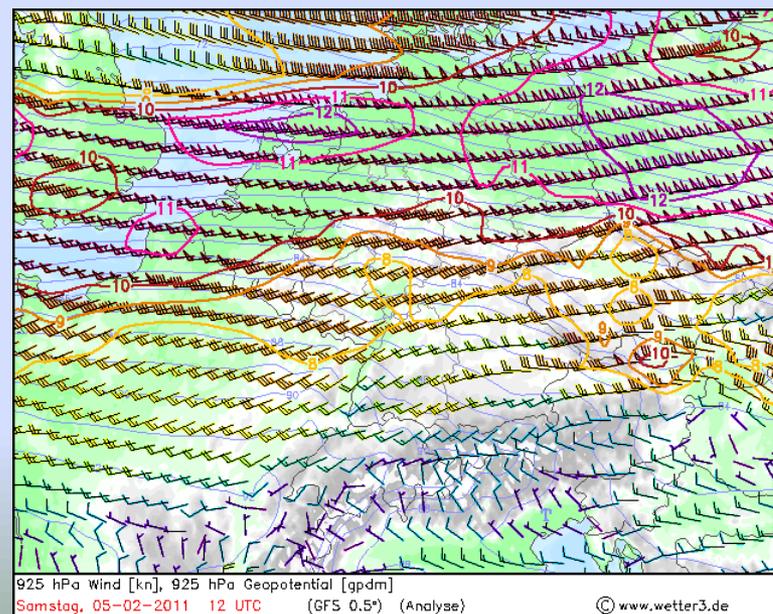
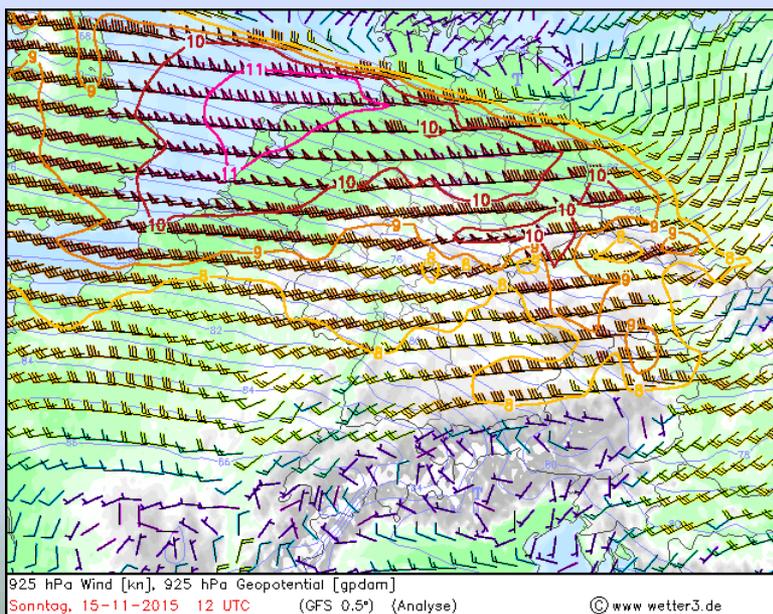
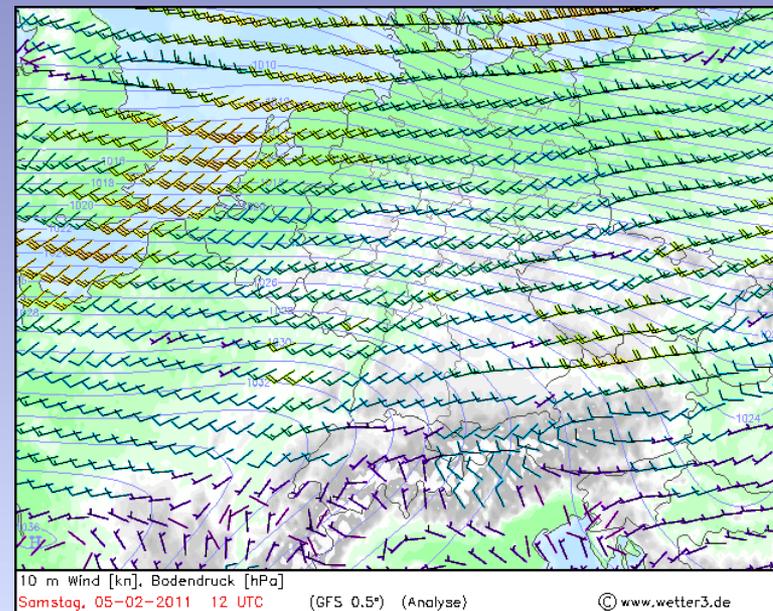
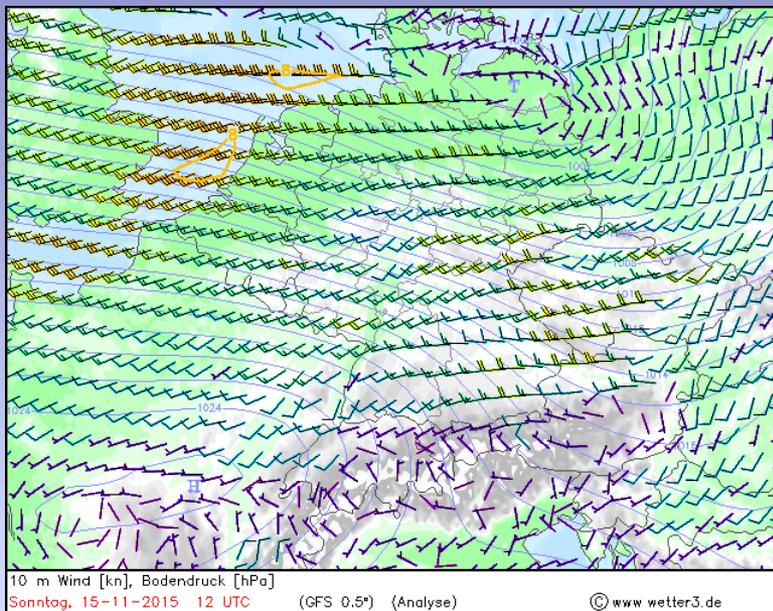
Boden ca. 150m

15 Nov. 2015 12UTC

5. Feb. 2011 12UTC

Boden

925 hPa

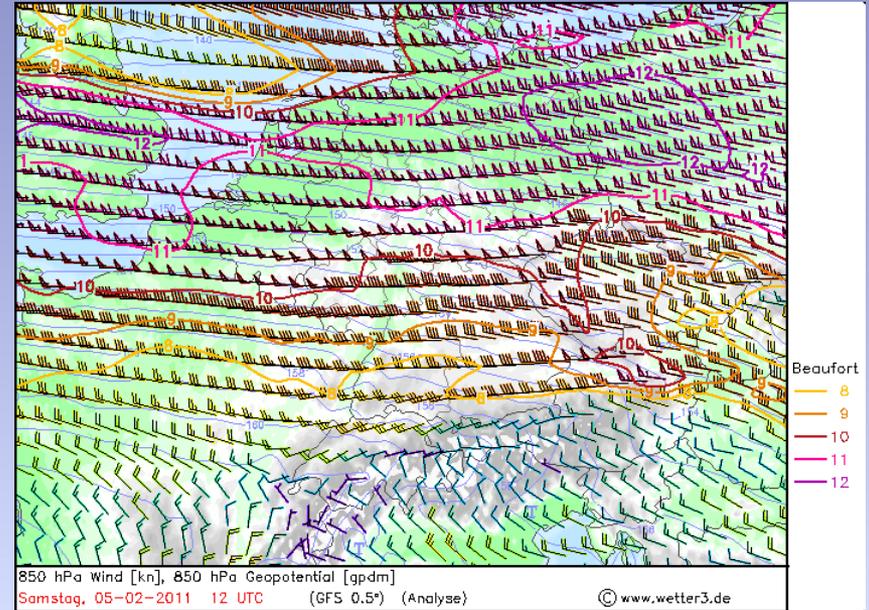
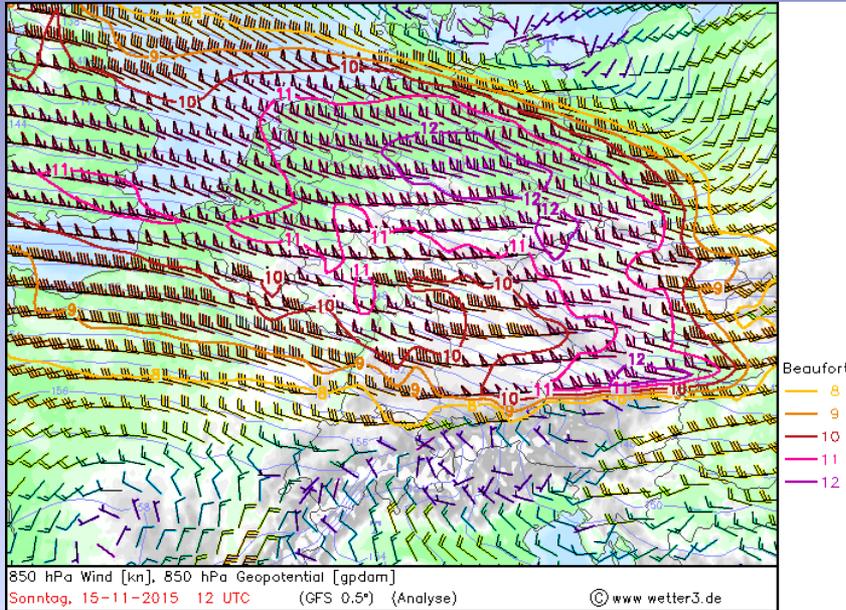


Beaufort  
 8  
 9  
 10  
 11  
 12

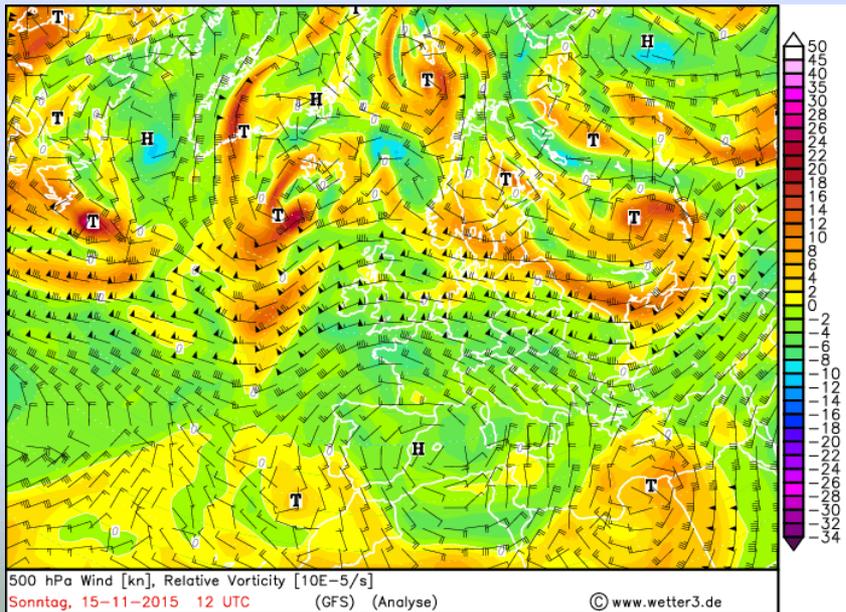
15 Nov. 2015 12UTC

5. Feb. 2011 12UTC

850 hPa



500 hPa

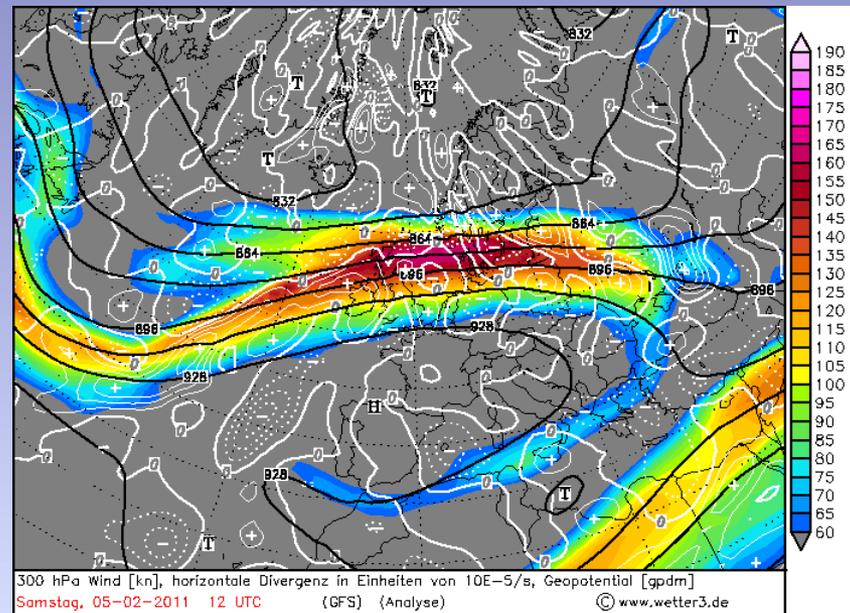
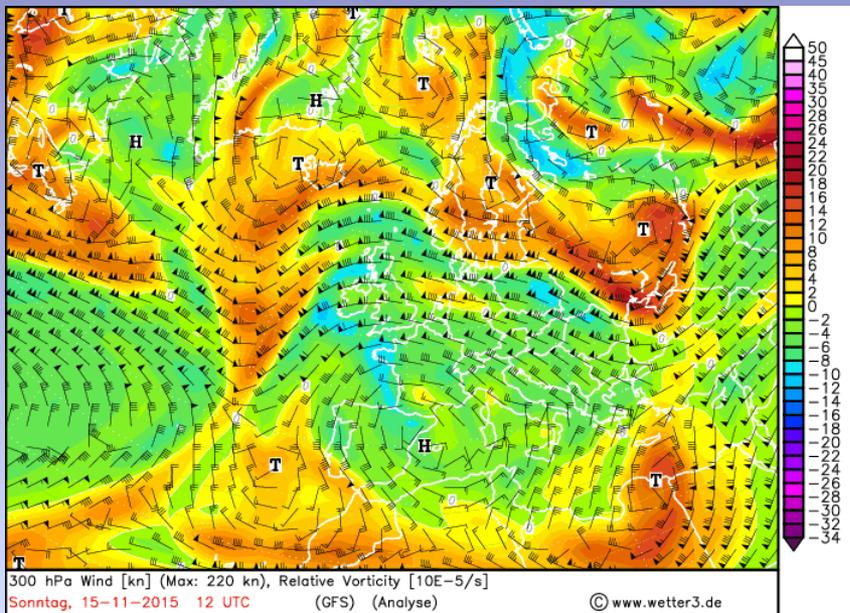


Keine Daten

15 Nov. 2015 12UTC

5. Feb. 2011 12UTC

300 hPa

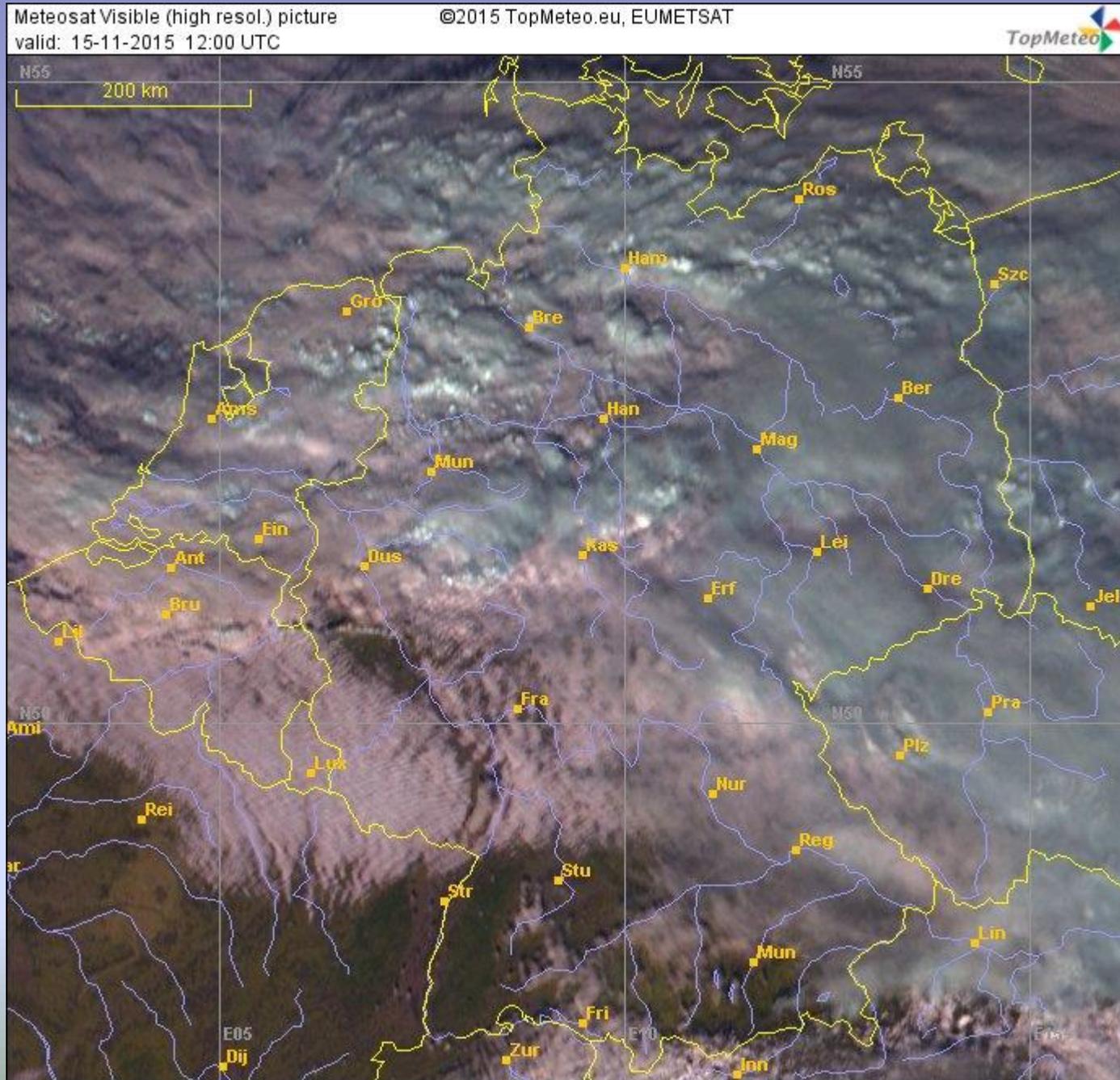


# Wind

	15. Nov. 2015	5. Feb. 2011
300 hPa	285° / 55-60 kn	280° / < 60 kn
550 hPa	285° / 55 kn	? / ?
850 hPa	290° / 55 kn	265° / 40-45 kn
925 hPa	255° / 35-40 kn	245° / 35-40 kn
Haardtkamm		
Boden (10m)	240° / 15-20 kn	240° / 15 kn

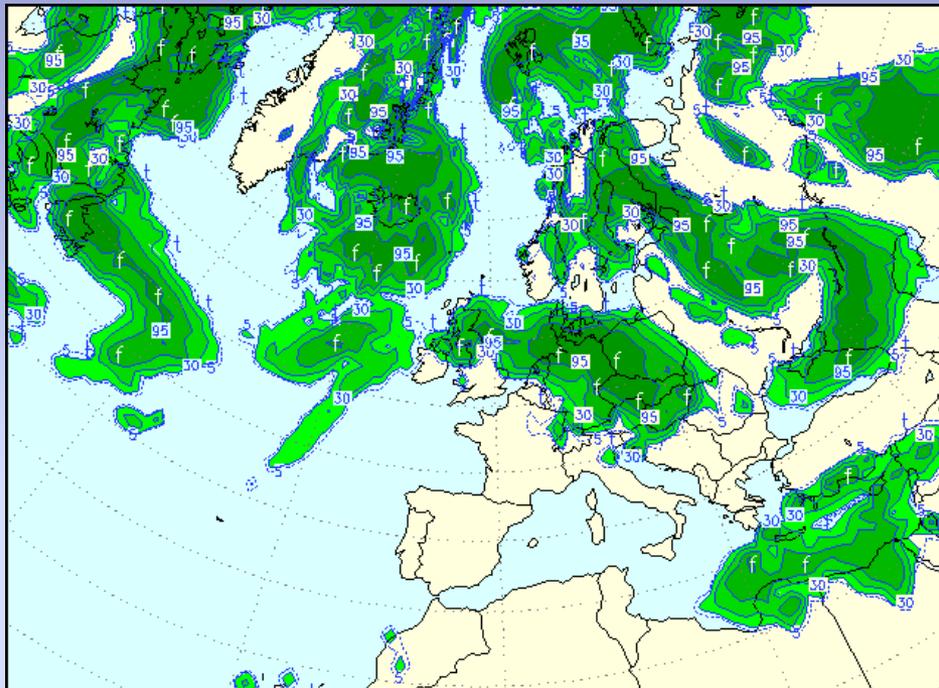
- Starke Windzunahme nur in der untersten dünnen Schicht bis ca. 2000 m
- Darüber nahezu konstanter Wind bis zur Tropopause
- Windabnahme in Stratosphäre
- Maximalwind nur ca. 60 kn, da Jetachse weit nördlich

# Wolken

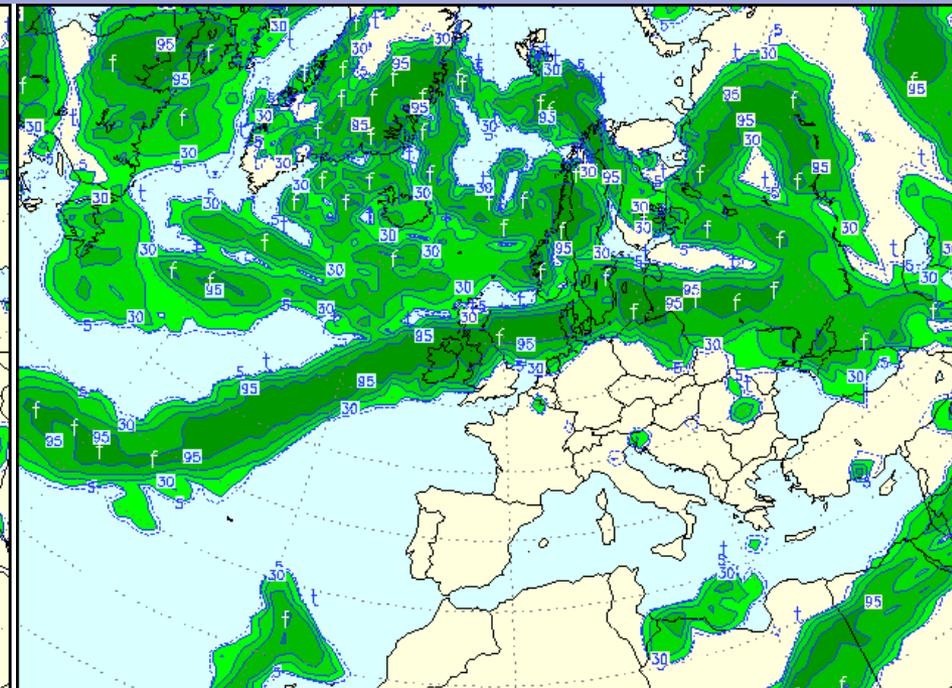


15. 11. 2015  
12 UTC

# Mittelhohe Wolken



Mittelhohe Bewölkung [%] Isolinien bei 5, 10, 30, 60, 95% Extrema: t<1%, f>99%  
Sonntag, 15-11-2015 12 UTC (GFS) (Sonntag 06 + 06) © www.wetter3.de



Mittelhohe Bewölkung [%] Isolinien bei 5, 10, 30, 60, 95% Extrema: t<1%, f>99%  
Samstag, 05-02-2011 12 UTC (GFS) (Samstag 06 + 06) © www.wetter3.de

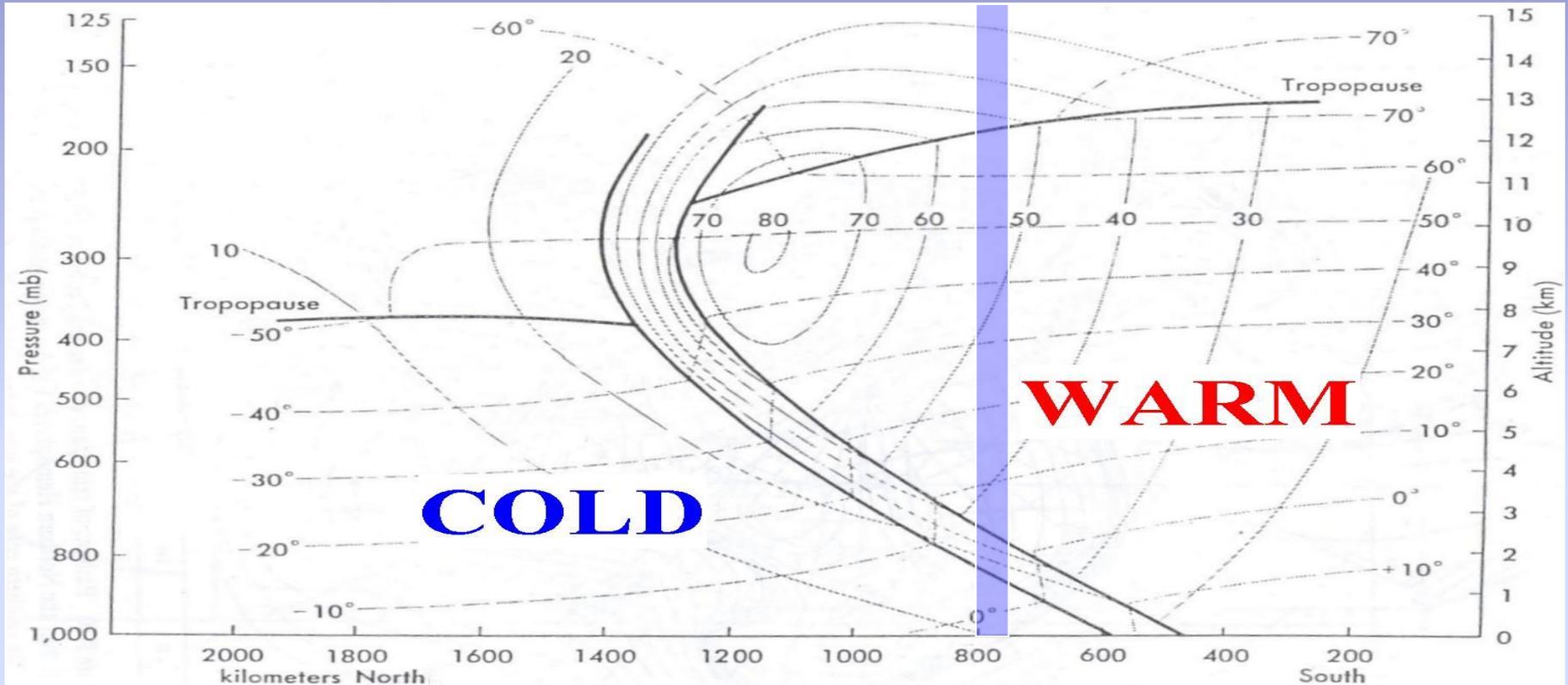
15 Nov. 2015 12UTC

Abziehende WF-Bewölkung

5. Feb. 2011 12UTC

Windparallele Frontalzonenbewölkung

# Meridionaler Schnitt durch die Atmosphäre



Nord

Haardt

Süd

Vertikale Windzunahme innerhalb Frontalzone  
(thermischer Wind)

# Wetterlage: Zusammenfassung

- Position am Südrand des Polarjets ergibt

Höhe in Troposphäre	Wind	Schichtung
Mitte und oben	mäßig stark	weniger stabil
unten	stark	sehr stabil

- Daraus resultieren gute Resonanzbedingungen für hochreichende Wellen bis zur Tropopause und in die unterste Stratosphäre ...

# Simulationen

mit eigenem Programm basierend auf linearisierter Wellentheorie

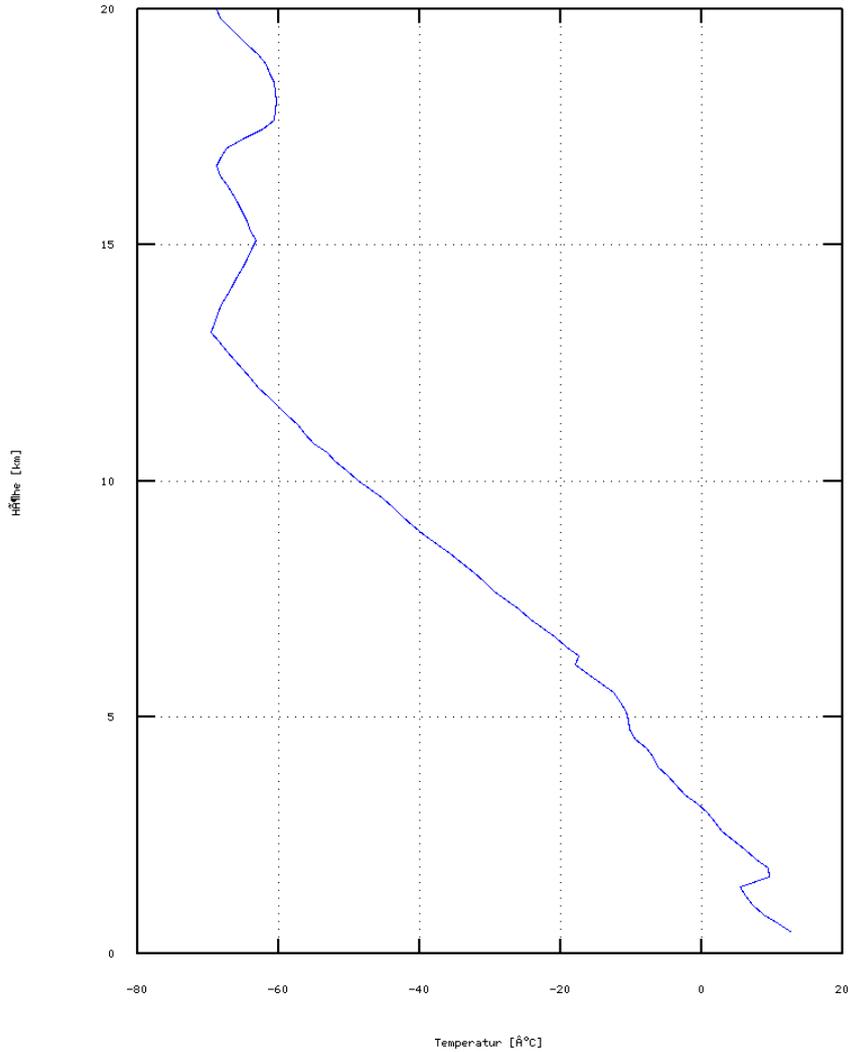
Eingabe von:

- Temperaturprofil
- Windprofil (Stärke, Richtung)
- Berghöhe, Bergbreite
- Höhe des Wellenbrechens

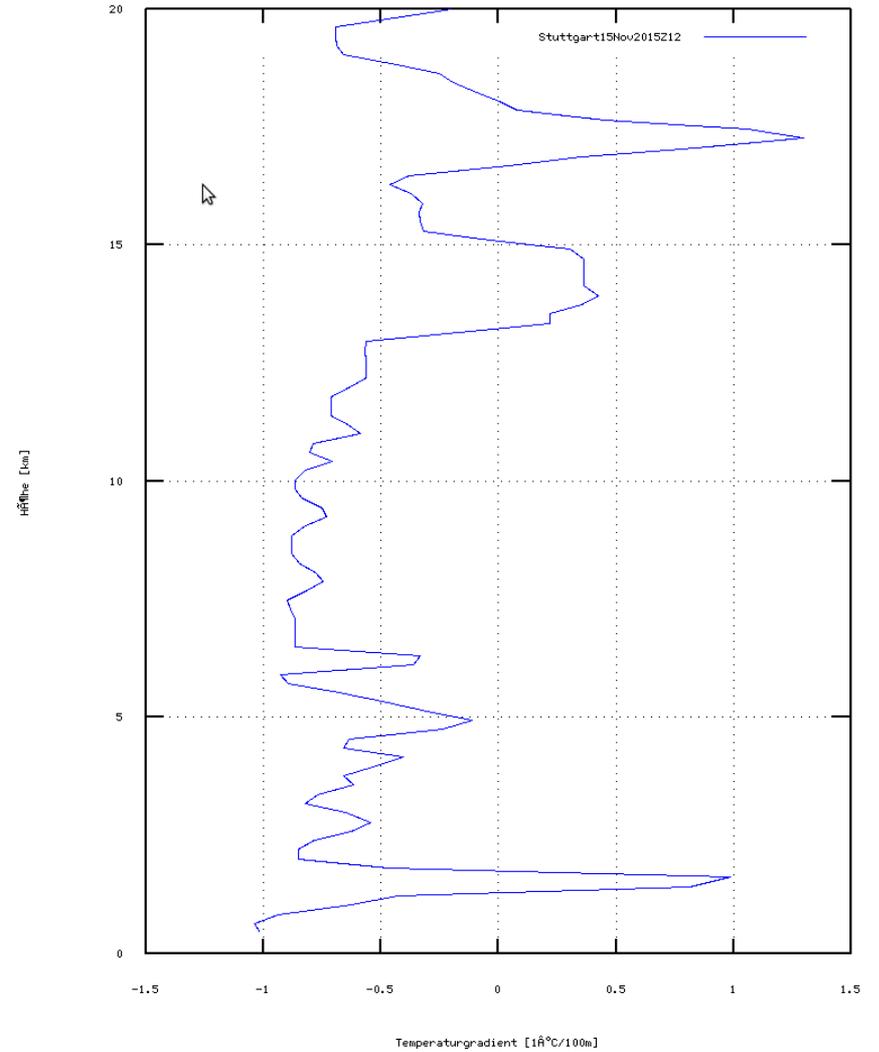
Gute Ergebnisse für kleine Amplituden

15. Nov. 2015

Temperatur (°C)

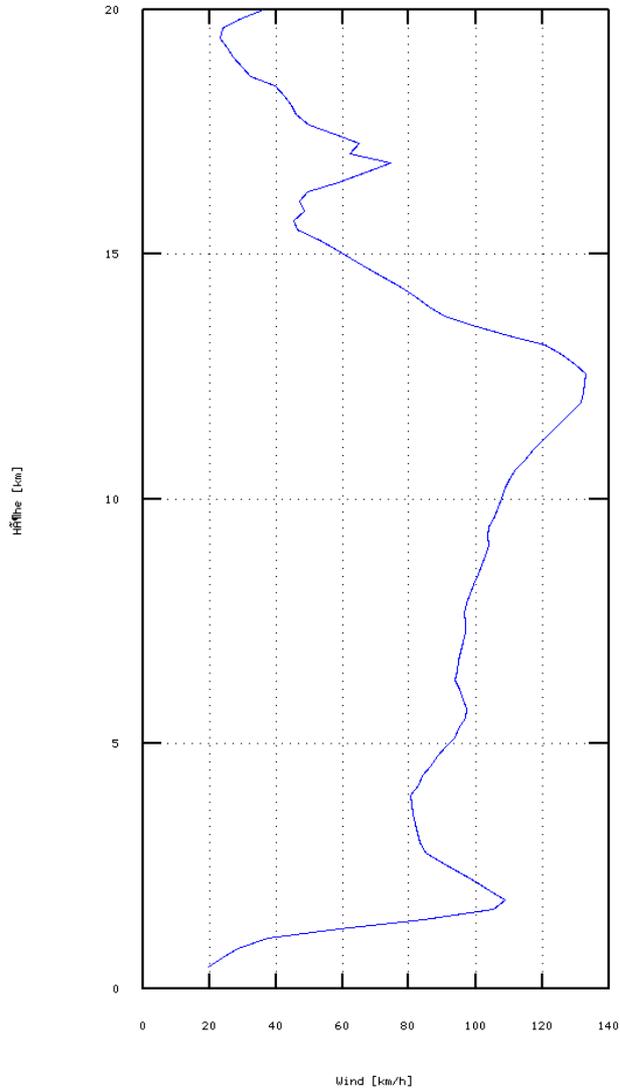


Temperaturgradient (°C/dam)

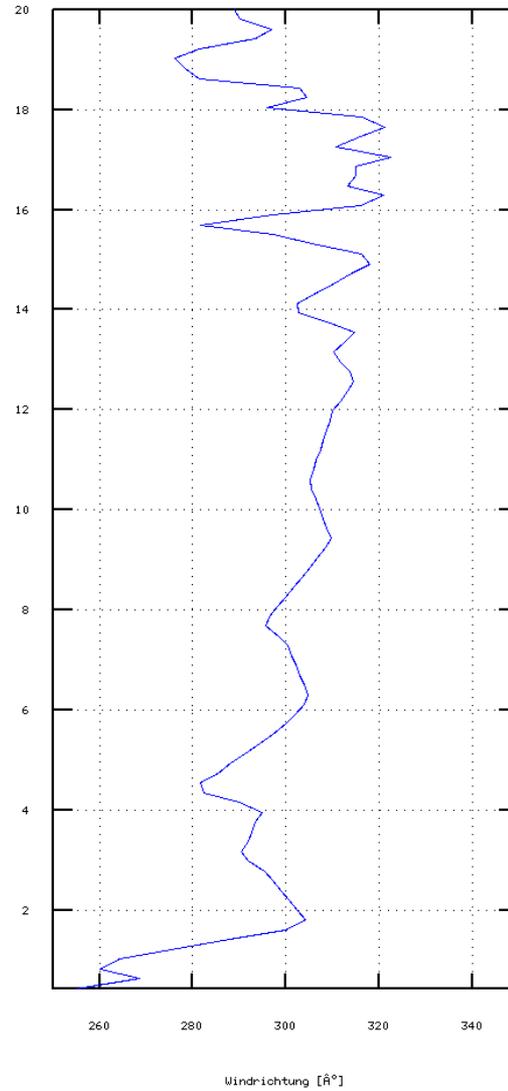


15. Nov. 2015

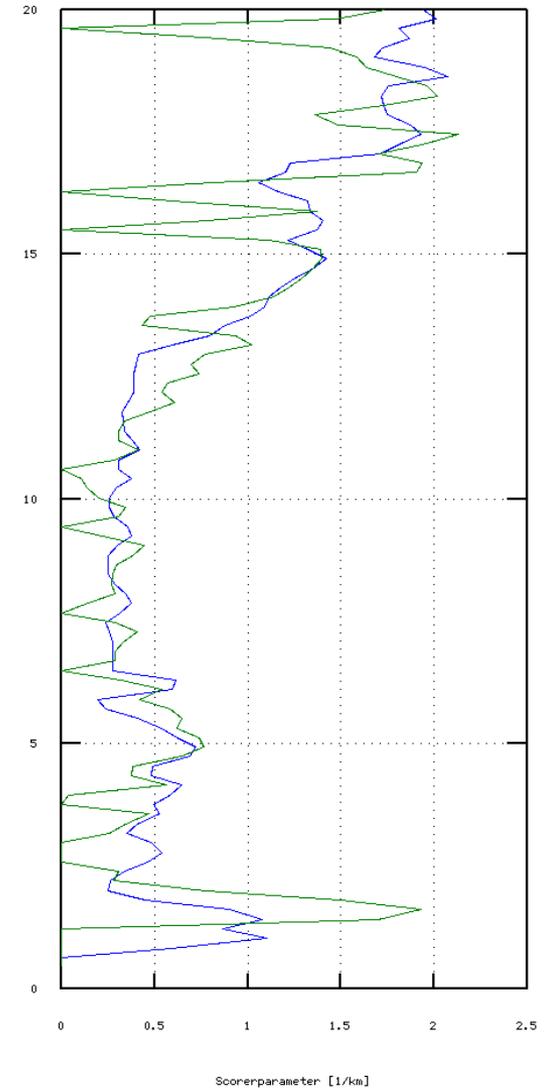
Wind (km/h)

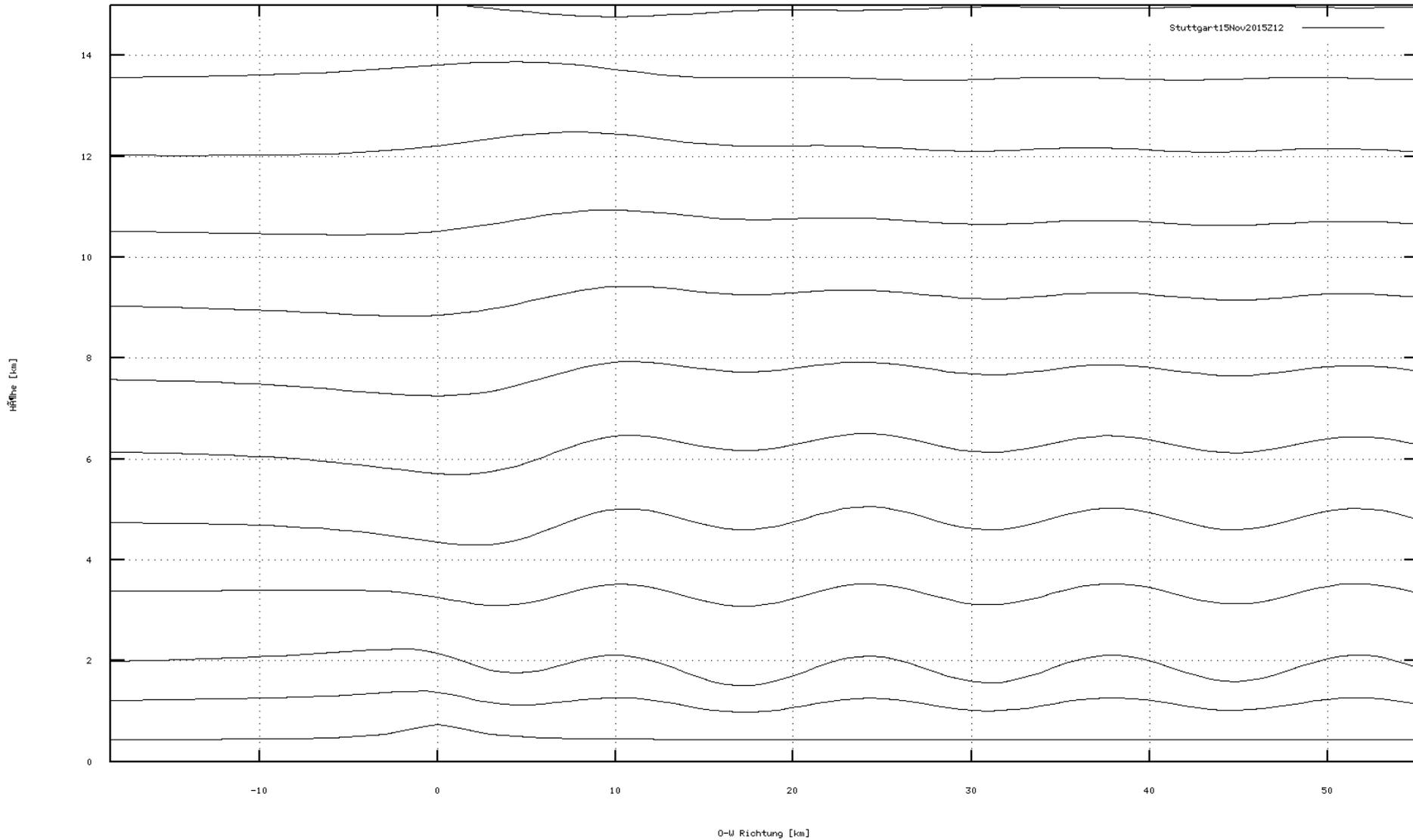


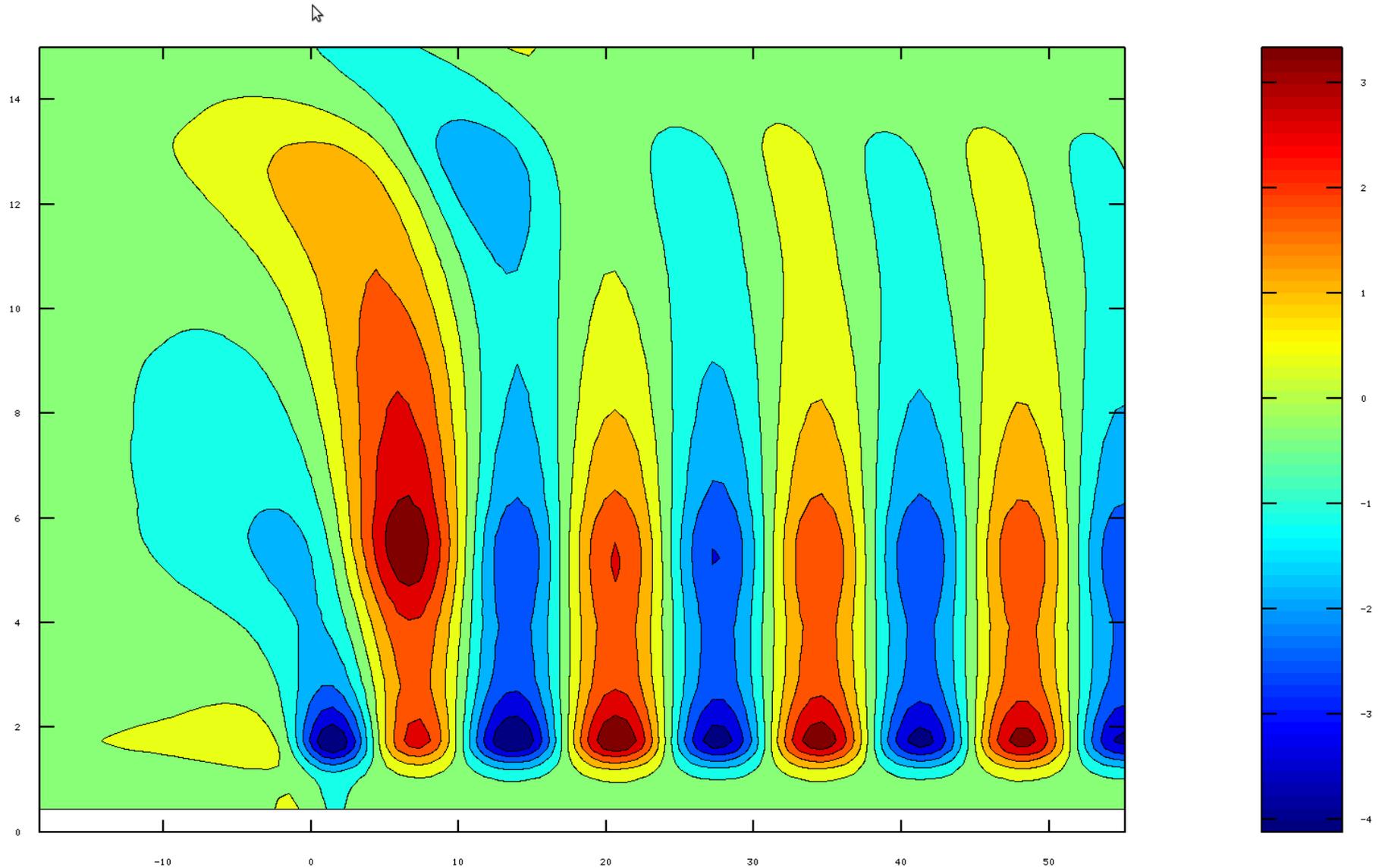
Windrichtung (°)



Scorerparameter (1/km)



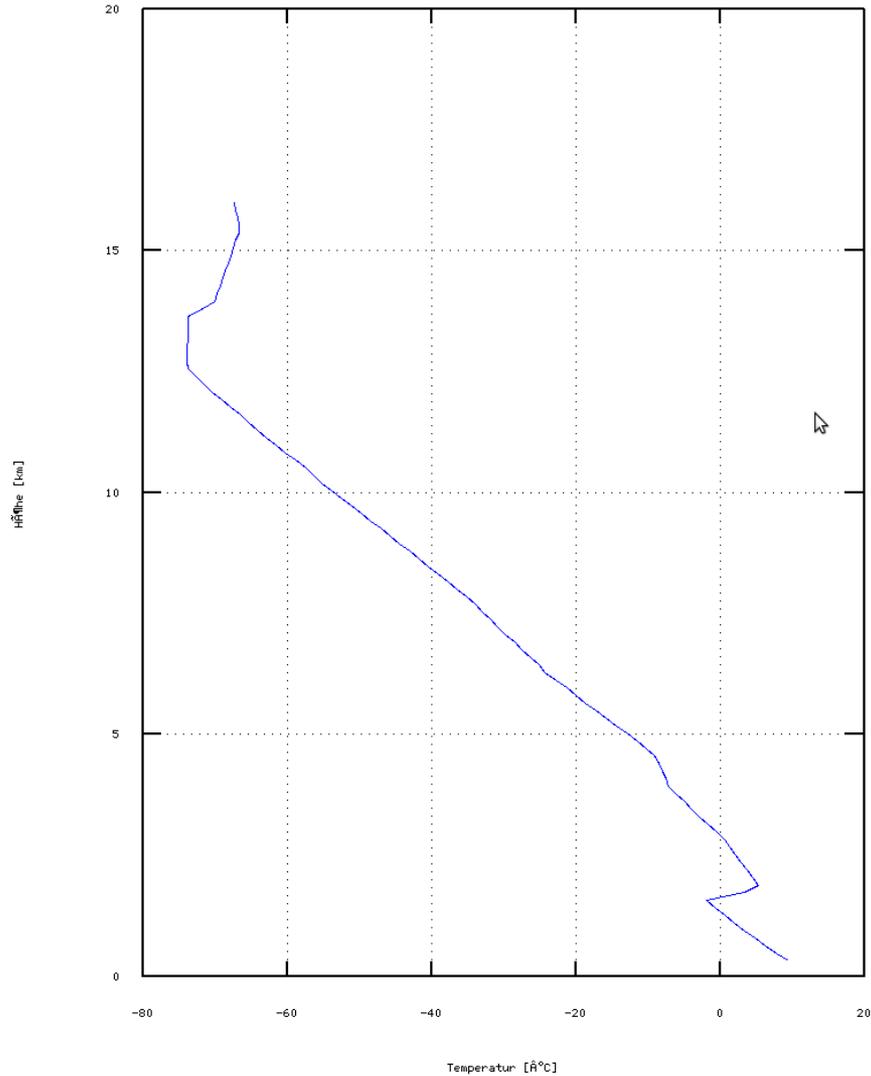




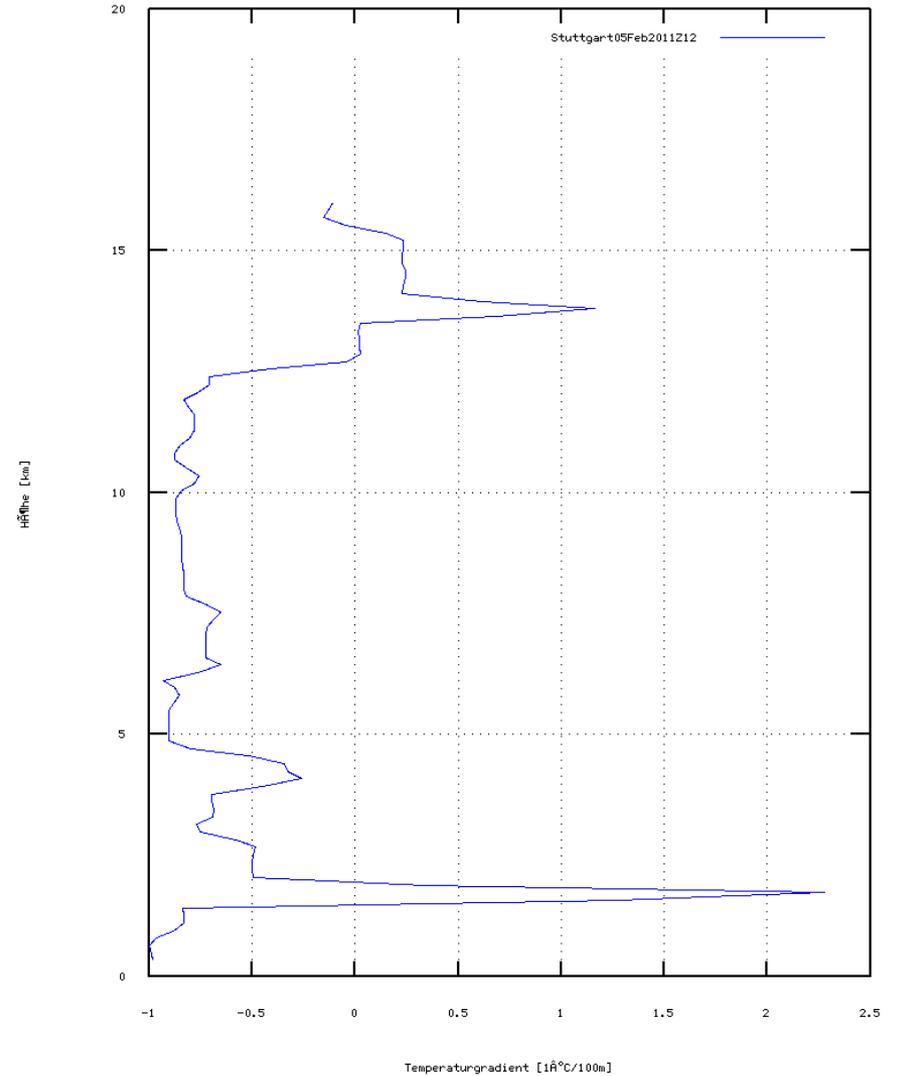
- **Resonanzwellen** in unterer Hälfte der Troposphäre
  - Max. Amplitude bei 2000m
  - Wellenlänge ca. 13.5 km, gemessen ca. 14 km
  - max. Aufwind ca. 3.3m/s
- **Primärwelle** bis mindestens zur Tropopause
  - Max. Amplitude bei 5500m
  - Wellenlänge: Mischung langer Wellen
  - max. Aufwind ca. 3.3m/s
  - Luvverlagerung, vor allem oben
  - Wellenbrechen in Stratosphäre ?

05. Feb. 2011

Temperatur (°C)

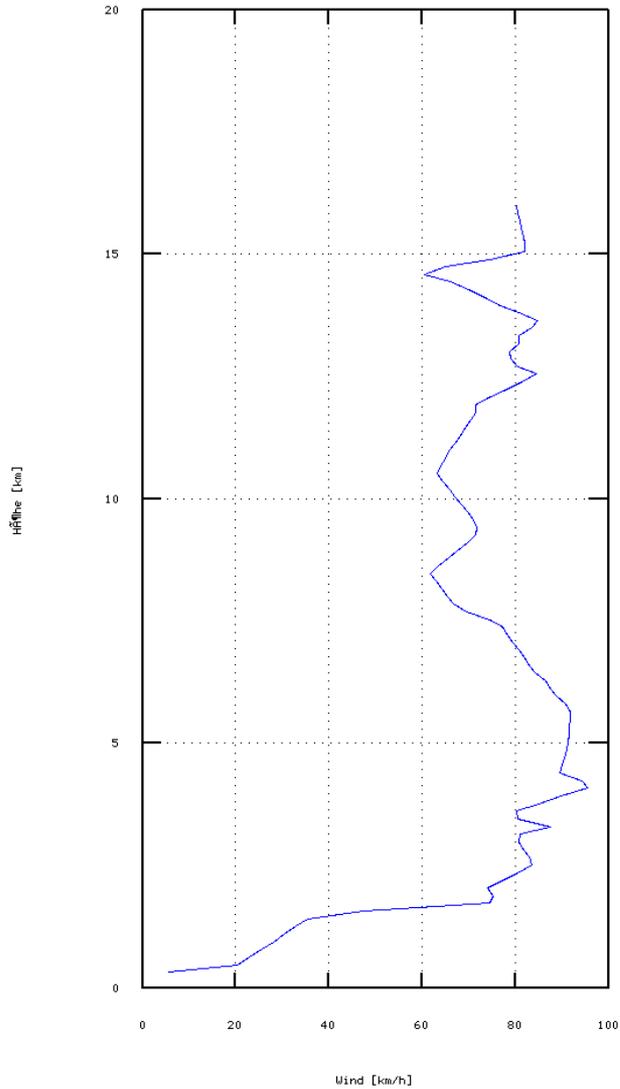


Temperaturgradient (°C/dam)

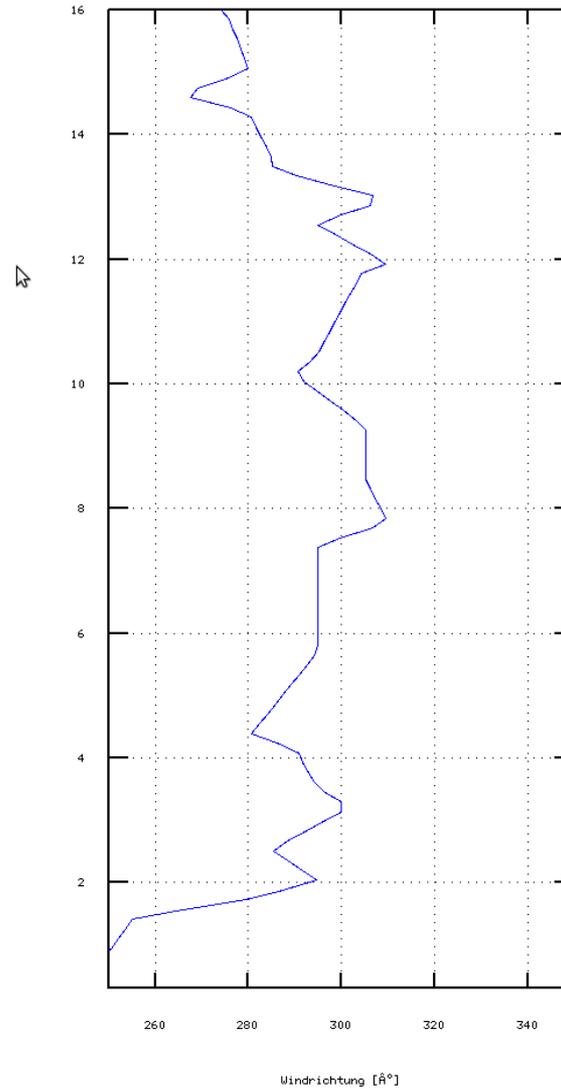


05. Feb. 2011

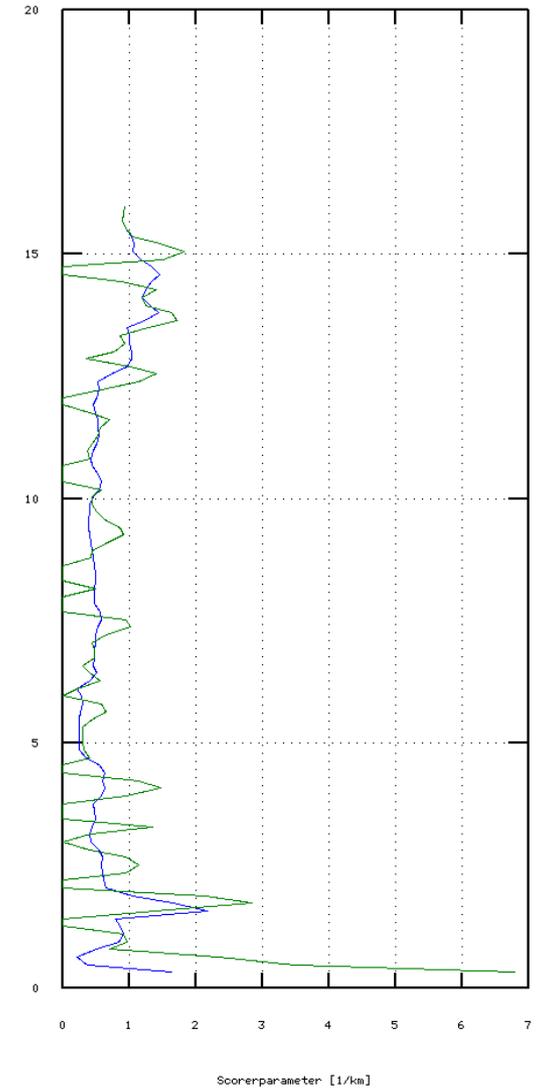
Wind (km/h)



Windrichtung (°)

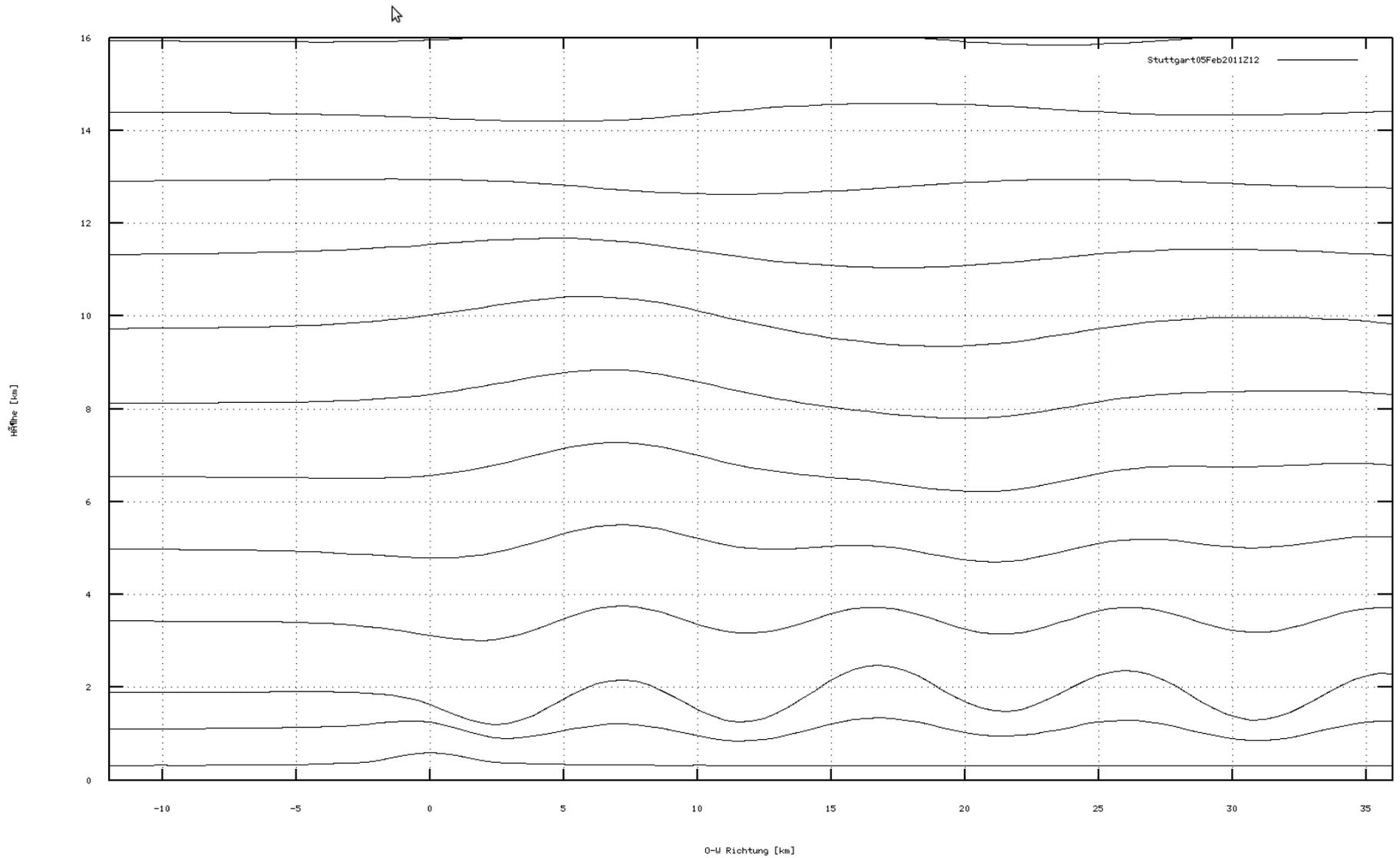


Scorerparameter (1/km)



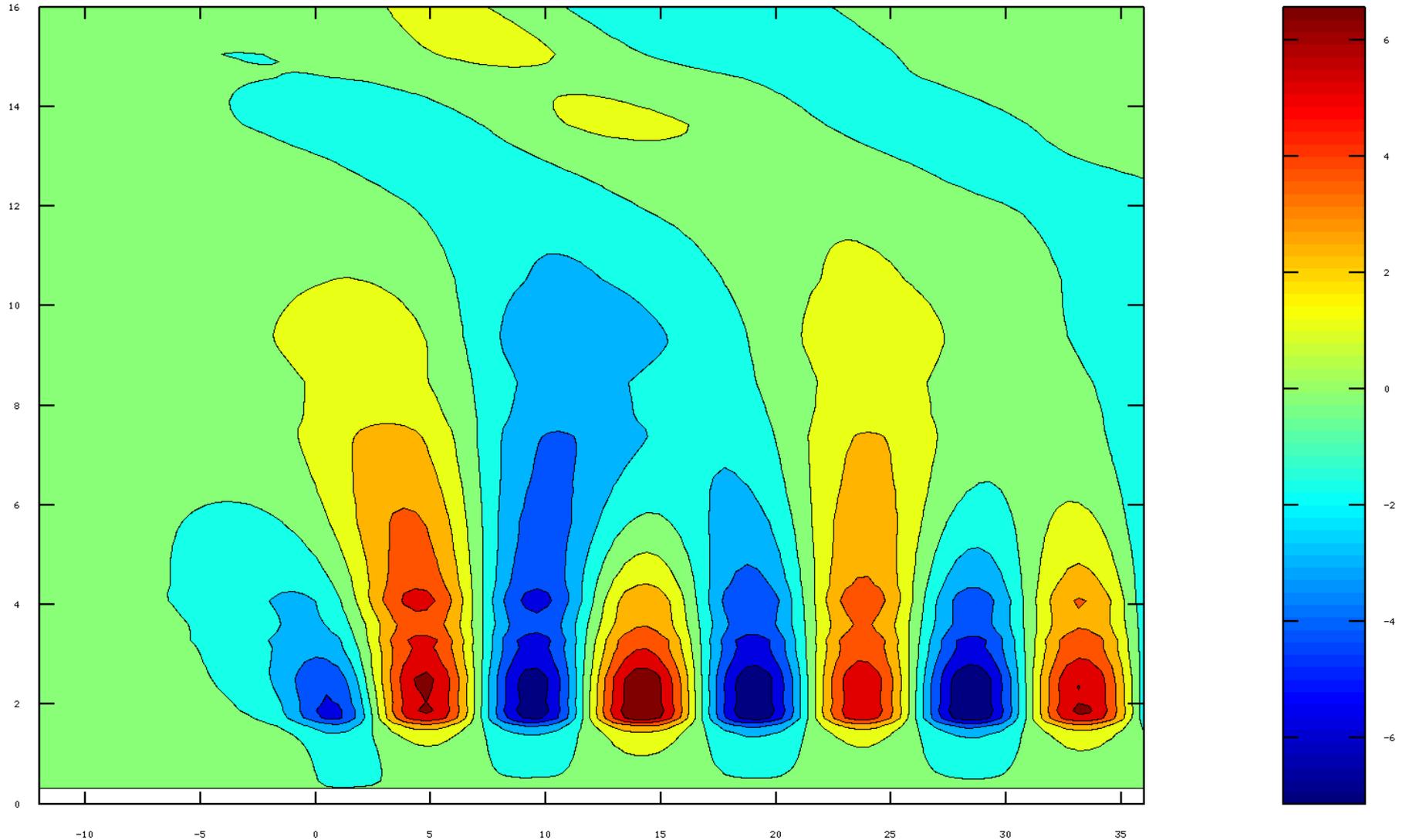
# Stromlinien

05. Feb. 2011



# Aufwindstärke (m/s)

05. Feb. 2011



- **Resonanzwellen** in unterer Hälfte der Troposphäre
  - Max. Amplitude bei 2000m
  - Wellenlänge ca. 9.5 km (gemessen ca. 10 km)
  - max. Aufwind ca. 6.3m/s (?)
- **Primärwelle** bis mindestens zur Tropopause
  - Max. Amplitude bei 4000m (unscharf)
  - Wellenlänge: Mischung, Dominanz bei 25km
  - max. Aufwind ca. 4.0 m/s
  - Luvverlagerung, vor allem oben
  - Wellenbrechen in Stratosphäre ?
- Wellenamplituden generell nach oben abnehmend

# Resumee

- Es gibt **nicht nur eine Wellenlänge**, sondern
- es gibt **ein kontinuierliches Spektrum** von Wellenlängen

**Meist liegt folgende Situation vor:**

<b>Obere Troposphäre</b>	Mischung langer Wellen	Nachschwingungen fehlen oder sind gedämpft
<b>Untere Troposphäre</b>	Dominanz einer Wellenlänge	Nachschwingungen

**Woher kommt das ?**

# Scorerparameter $Sc$

$$Sc(z) = \sqrt{\frac{N(z)}{U(z)} - \frac{\partial^2 U(z)}{U(z) \partial z^2}} \quad (\text{Einheit } 1/\text{m})$$

$N$  = Schwingungsfrequenz eines isolierten Luftpaketes

$U$  = Windgeschwindigkeit

$\frac{\partial^2 U}{U \partial z^2}$  = **Maß für die Krümmung des Windprofils**

(Dieser **Term** wird oft vernachlässigt, ist aber am 15. Nov. 2015 und am 05. Feb. 2011 in Bodennähe dominant (s.o.))

# Wellen in ruhendem Medium

	Wasserwellen	Interne Schwerewellen
Schichtung	Dichtesprung an Oberfläche	kontinuierliche Dichteabnahme mit der Höhe
Ausbreitung	nur horizontal	<b>in alle Richtungen</b> (außer genau vertikal)
Wellenlänge(n-Vektor)	L (nur horizontal)	<b>(L, H)</b> (horizontal und vertikal)
Laufgeschwindigkeit	abhängig von L (lange Wellen sind schneller)	<b>abhängig von L und H</b> (lange Wellen sind schneller)

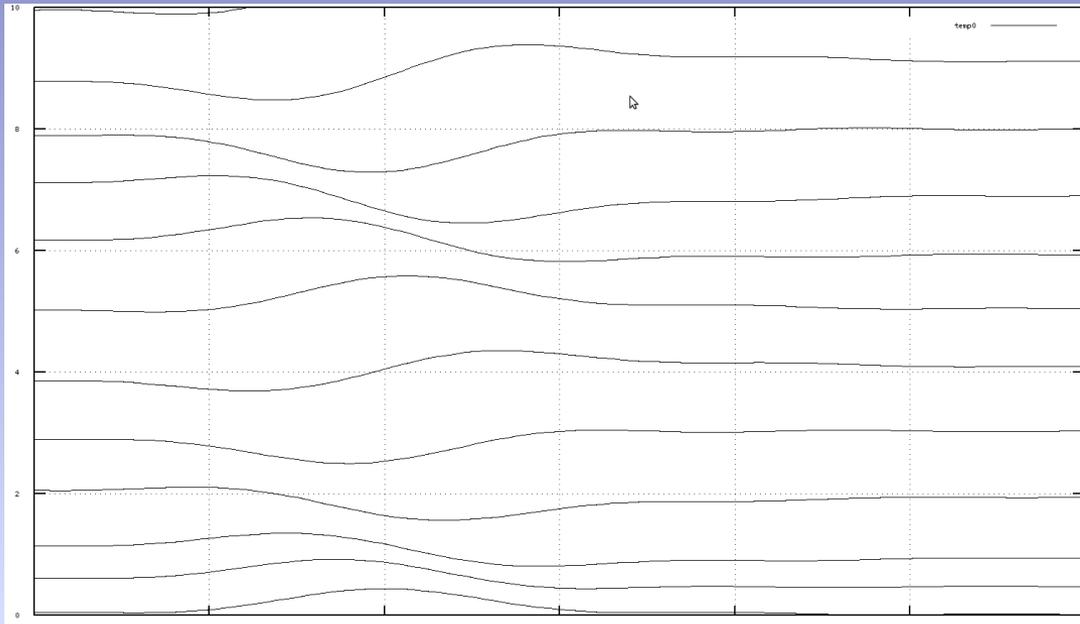
Für lange Wellen ist die vertikale Wellenlänge H gleich der Scorerwellenlänge !

# Stehende Wellen in fließendem Medium (Leewellen)

- **Stehende Wellen** bilden sich genau dann, wenn

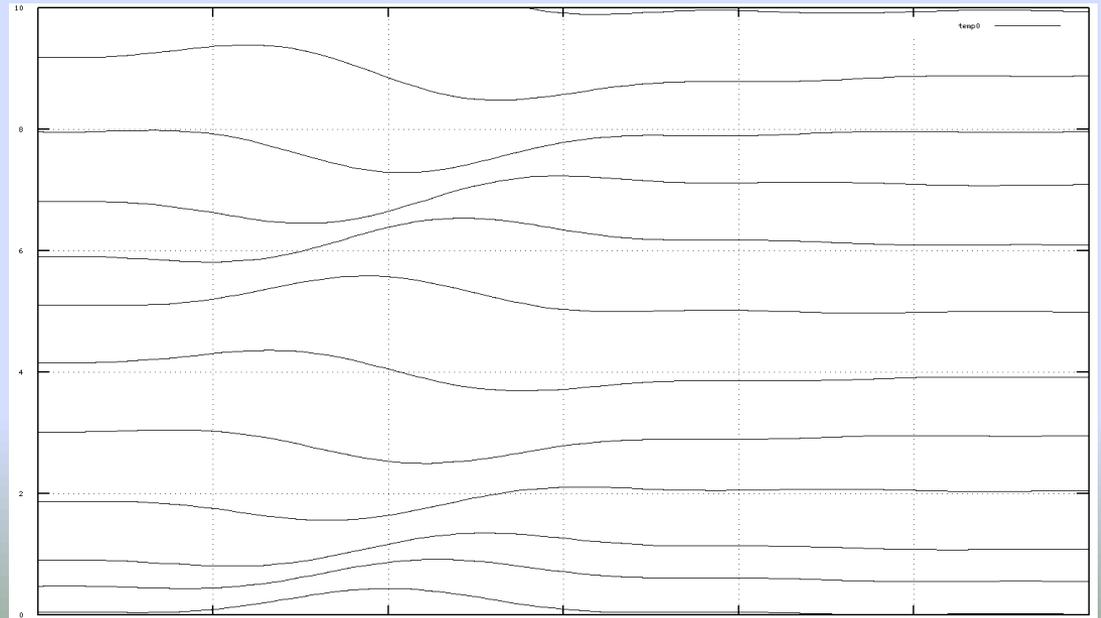
**Laufgeschwindigkeit = negative Windgeschwindigkeit**

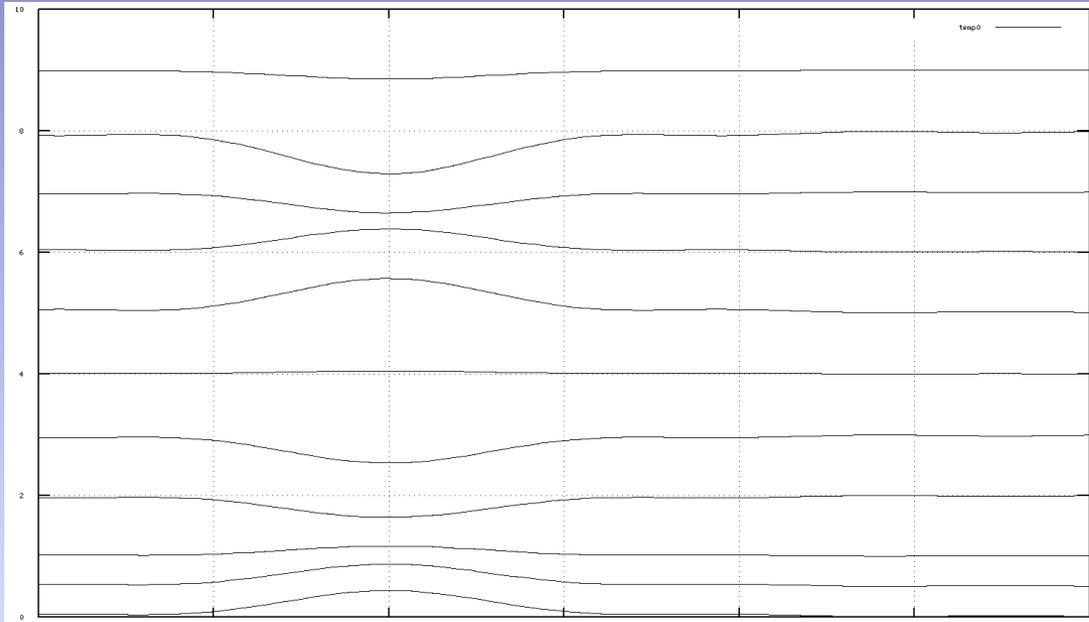
- Für horizontale Wellenlängen  $L$ , die größer als die Scorerwellenlänge sind, gibt es genau zwei passende vertikale Wellenlängen  $+/- H(L)$ , sodass die Welle stationär wird
- Die Welle mit  $+H(L)$  weist dann eine Luvverlagerung auf und transportiert Impuls und Wellenenergie nach oben
- Die Welle mit  $-H(L)$  umgekehrt



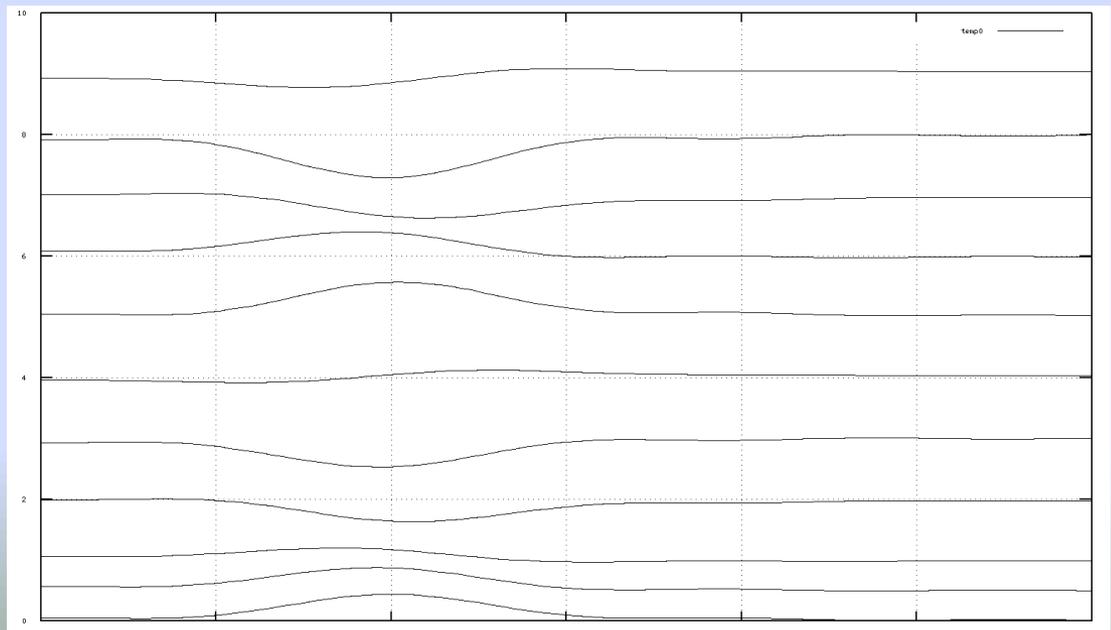
nach oben laufende  
Welle  $W_o$

nach unten laufende  
Welle  $W_u$



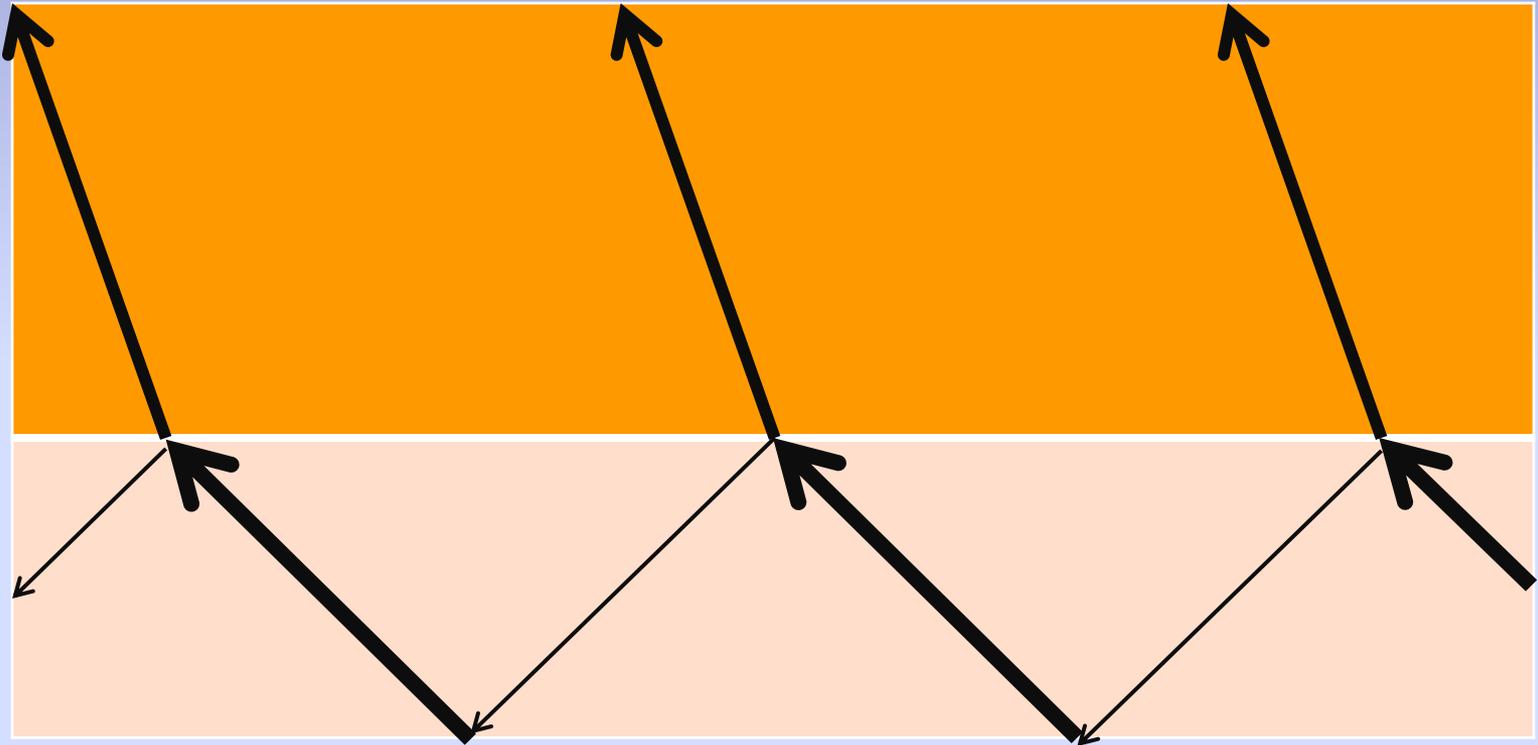


$0.5W_o + 0.5W_u$



$0.65W_o + 0.35W_u$

Änderung des Scorerparameters mit der Höhe ergibt **Brechung der Wellen mit Teilreflexion** ähnlich wie bei Licht :



Fortsetzung dieses Prinzips für viele Schichten ergibt:

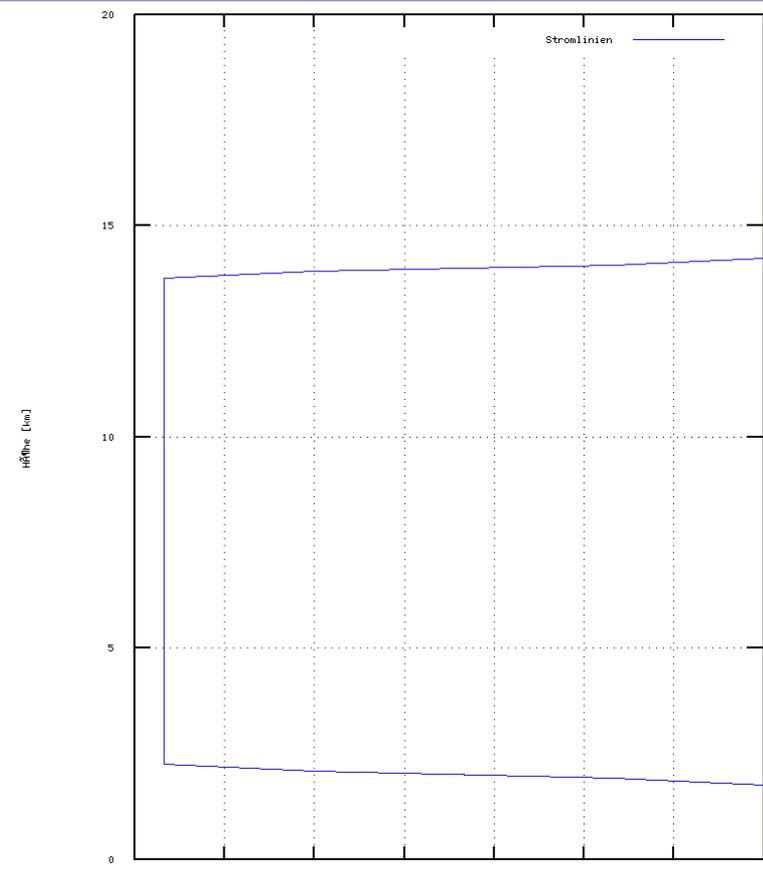
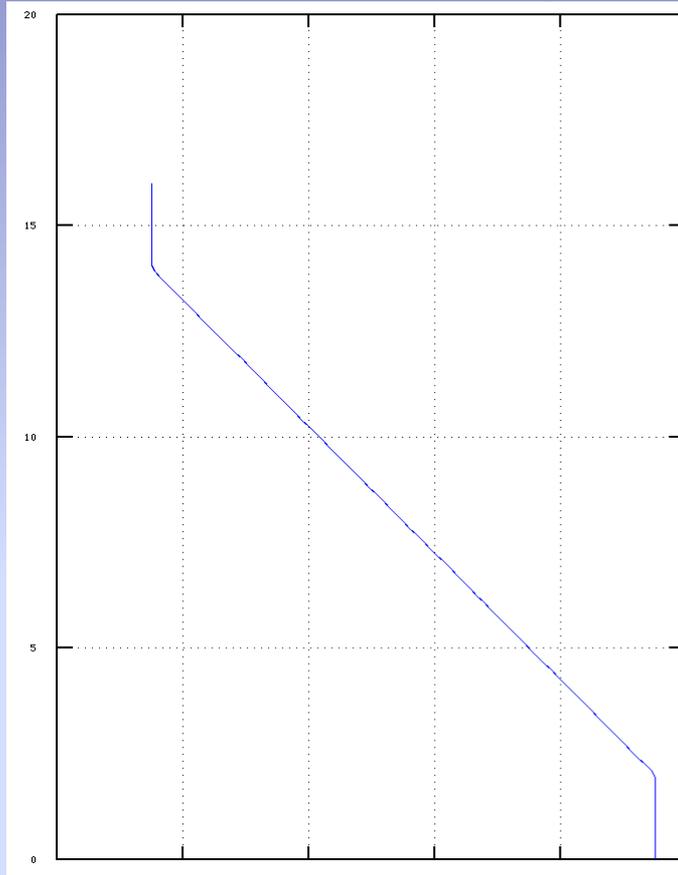
In allen Höhen hat man eine Überlagerung von nach oben und nach unten laufenden Wellen, in unterschiedlicher Zusammensetzung und wechselseitigem Austausch

- Alternativ kann man diese Zusammensetzung in einen Anteil von stehenden und von nach oben laufenden Wellen zerlegen
- Bei geeigneten Resonanzbedingungen kann sich dadurch viel Wellenenergie in einer Schicht ansammeln

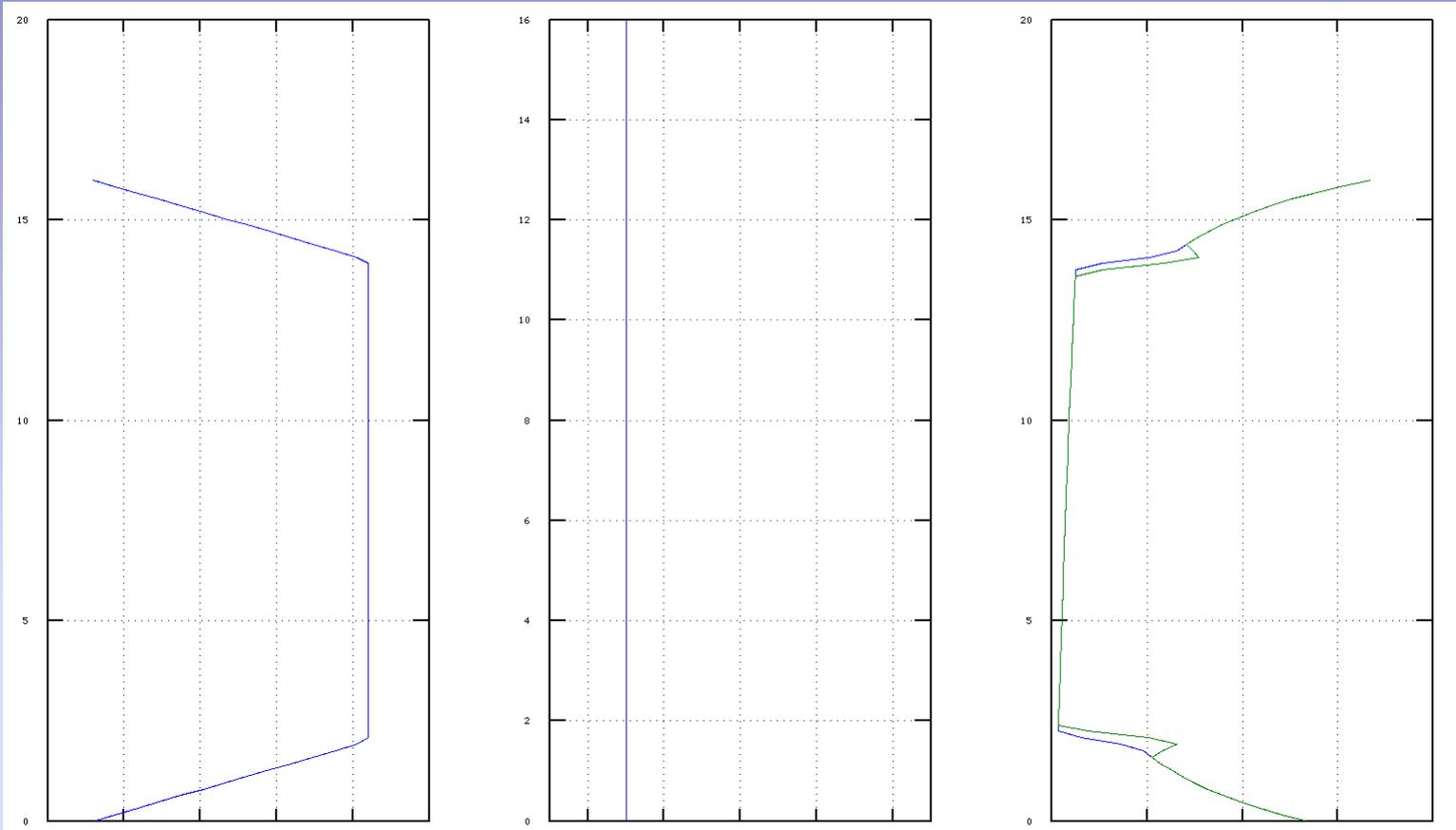
Analog:

- Angeregte schwingende Seite mit variabler Dicke
- Membran (Trommel) mit variabler Dicke

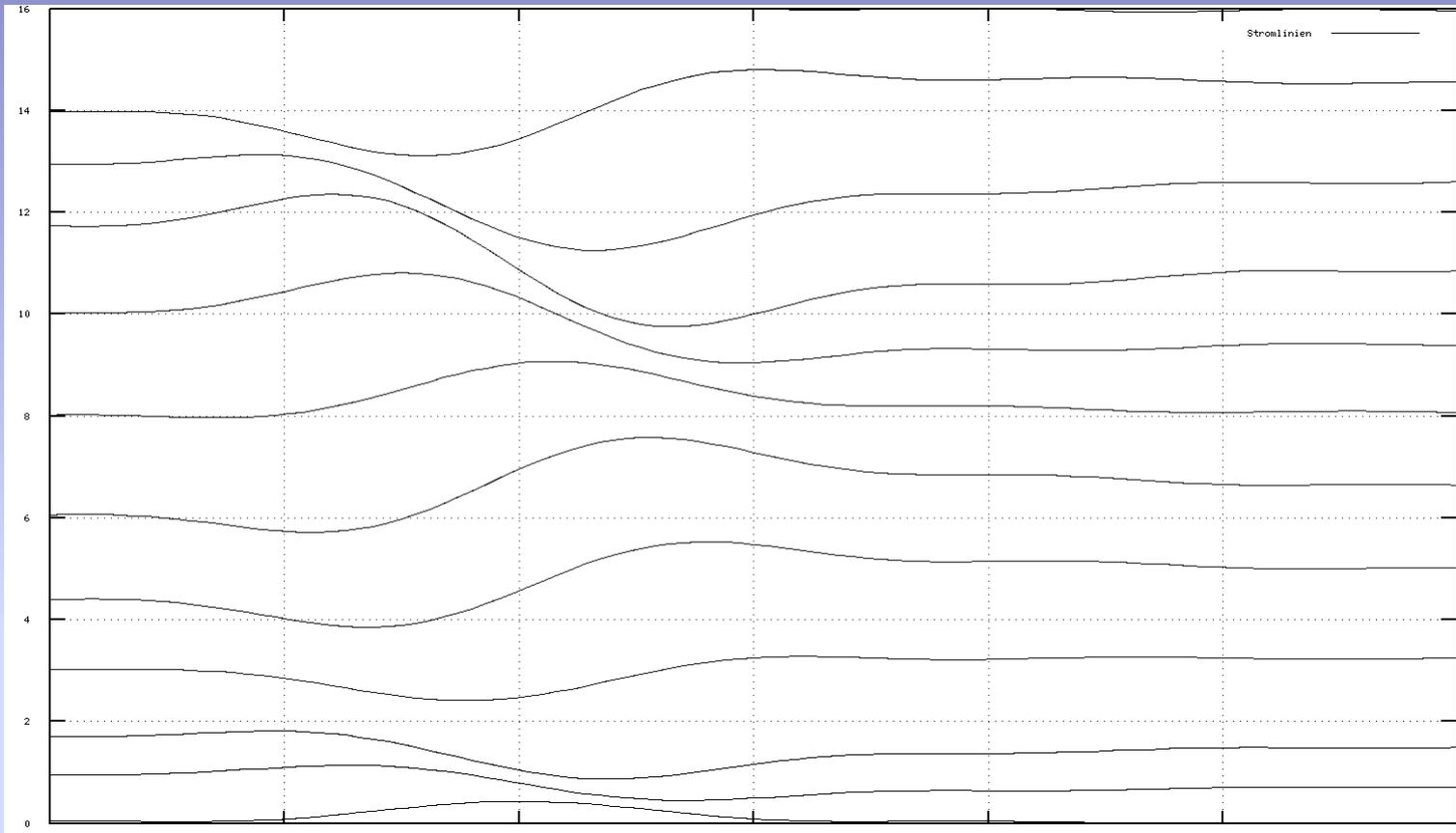
# Ein Beispiel



- Isothermie bis 2000 m und in der Stratosphäre
- dazwischen schwach stabil



- Maximalwind schon ab 2000m
- Scorerparameter oben und unten groß
- dazwischen klein



Amplitudenverstärkung in der untersten Schicht  
aufgrund großem Scorerparameter in der untersten  
Schicht

- Dies wird erreicht durch
  - Große Stabilität der untersten Schicht
- Bauchiges Windprofil (konvex), d.h.
  - Starker Wind in der untersten Schicht
  - Wenig Windzunahme darüber

Danke

