

Grundlagen zu Radiosondenaufstiegen - Crashkurs

Felix Welzenbach, 31.7.11

- 1) Beobachtungs- und Vorhersage Soundings – Quellen
- 2) Indizes/Werte (rechts vom Diagramm)
- 3) Basishöhen (LCL, LFC, EL)
- 4) Temperaturen (WBZ, CT, ET, Lapse rates)
- 5) Instabilitätswerte (SBCAPE, MLCAPE, MUCAPE, DCAPE, CINH, LI)
- 6) Windscherung (Veering, LLS, DLS, SRH)
- 7) sonstige Faktoren (potentielle Instabilität, hochbasige Konvektion, inverted-V, elevated convection)
- 8) Beispiele für Unwetterfacetten: Starkregen, Hagel (groß, klein), Downbursts, Tornados

1) Quellen für Beobachtungs- und Vorhersage-Soundings

BEOBACHTUNGEN

CAPE-Flächen erkennt man am Besten im Skew-T-Diagramm mit geneigten Isentropen.

=> Wyoming Soundings Europe: <http://weather.uwyo.edu/upperair/europe.html>

bzw.: <http://www.uni-koeln.de/math-nat-fak/geomet/meteo/winfos/radiosonden/Europa/>

VORHERSAGEN

Vorhersage-Soundings gibt es u.a. bei WRF-Leipzig:

http://www.modellzentrale.de/WRF/index_all.php (unter der Tabelle)

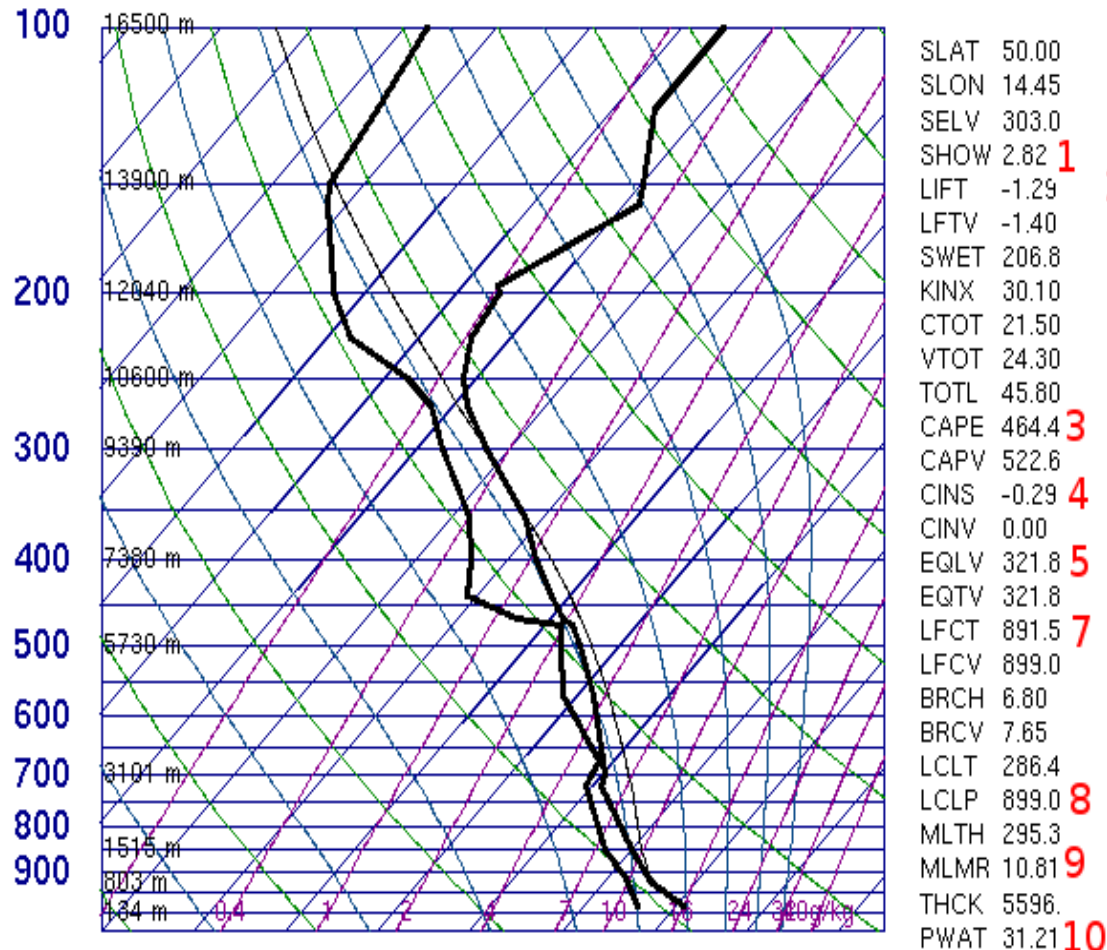
Sowie für beliebige Orte im 3 oder 6stündigen Abstand zum selbst plotten:

<http://ready.arl.noaa.gov/READYcmet.php> (GFS) – die untersten 2 km sind dabei jedoch oft zu feucht (erfahrungsgemäß)

3) Indizes neben dem Skew-T-Diagramm

3.1 Wyoming

11520 Praha-Libus



1) Showalter Index ($T_{500} - T_{\text{Luftpaket}}$, gehoben ab 850 hPa)

2) Lifted Index ($T_{500} - T_{\text{Luftpaket}}$, gehoben ab unterste 500m (mittlere T/TP)

3) CAPE (mit gemittelten T/TP aus 0-500 m)

4) CIN (Convective Inhibition), Energie, die aufgewendet werden muss, um ein Luftpaket vom LCL zum LFC zu hieven

5) Equilibrium Level (Gleichgewichtsniveau), Obergrenze der CAPE-Fläche, auch als LOC (Level of Convection) bekannt

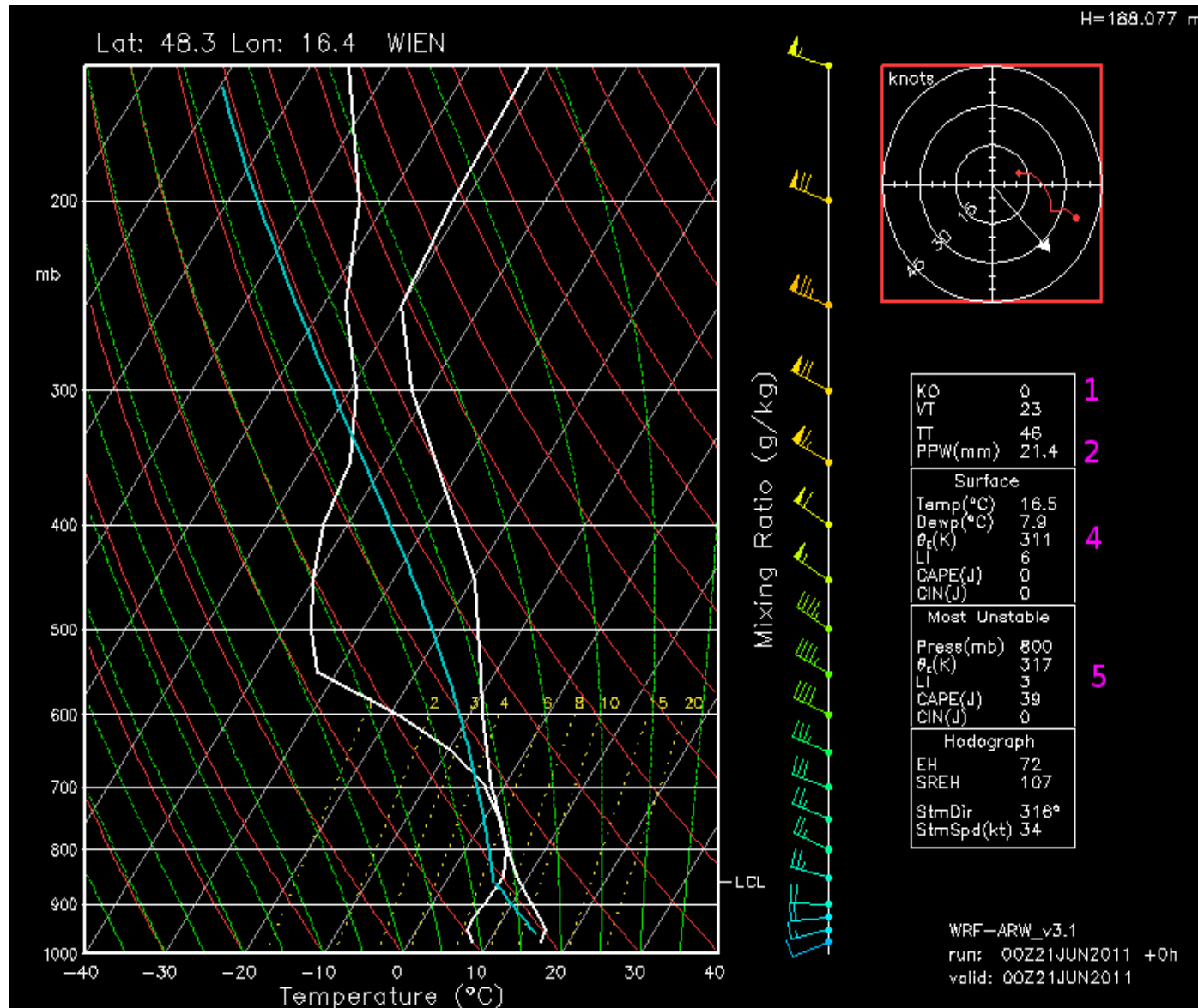
7) Level of Free Convection (Höhe, ab der freier Auftrieb möglich ist)

8) Lifted Condensation Level (mit gemittelten T/TP aus 0-500 m)

9) Mean mixed layer mixing ratio (g/kg), mittleres Mischungsverhältnis in den untersten 500 m

10) PWAT (precipitable water), niederschlagbares Wasser des gesamten Aufstiegs

3.2 WRF Vorhersage Sounding



1) KO = Konvektiv Index, zeigt potentielle Instabilität

2) PPW = Precipitable Water

4) Surface = Angaben für Bodenwerte, inkl. ThetaE

5) Most Unstable, labilstes Luftpaket der untersten 300 hPa, also jenes mit dem höchsten ThetaE-Wert

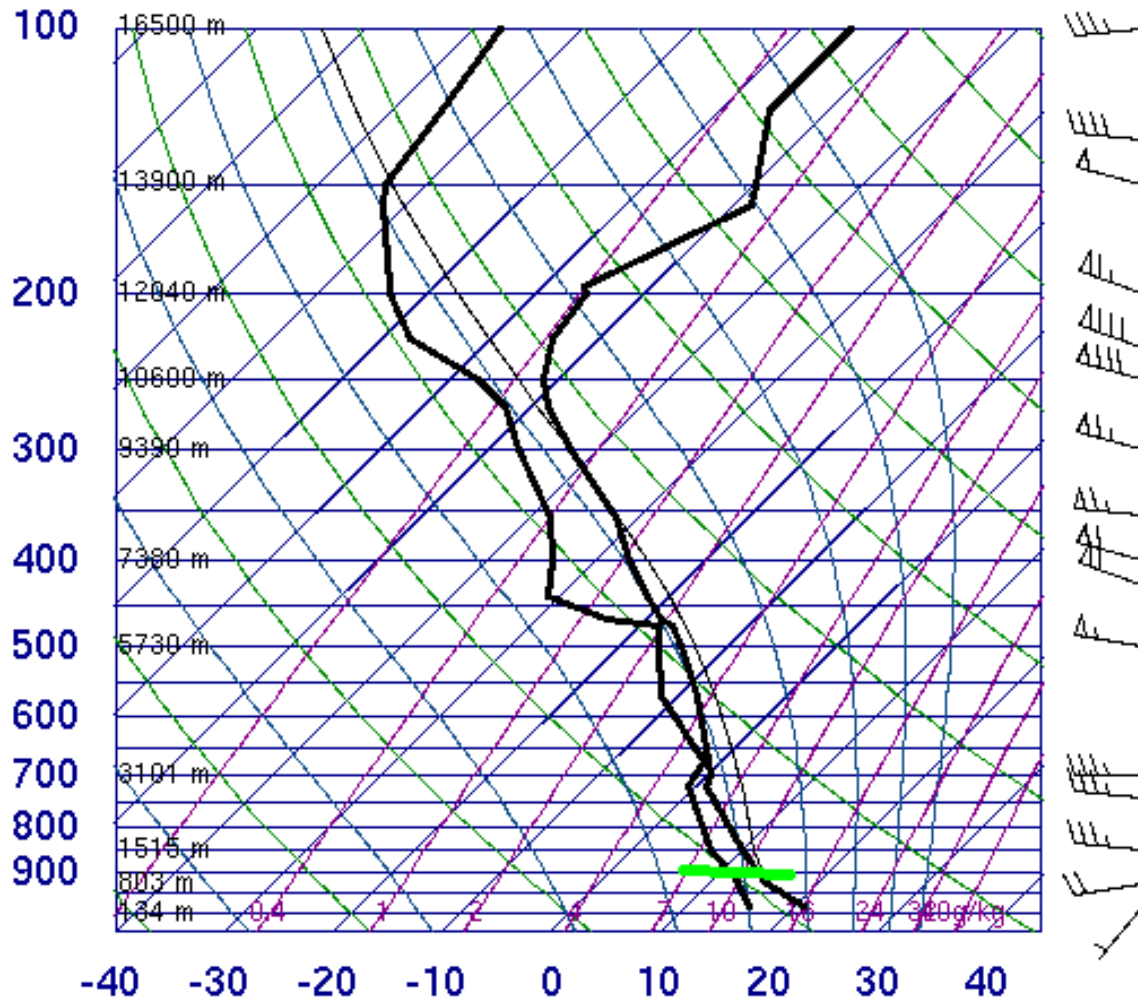
3) Basishöhen

Bestimmung:

3 a) LCL

aus den untersten 500 m (ca. 50 hPa) von der mittleren Temperatur der Trockenadiabate folgen (**rote Linie**), sowie vom mittleren Taupunkt der Mischungslinie folgen (**blaue Linie**). Im Schnittpunkt liegt das Lifted Condensation Level (**grüne Linie**).

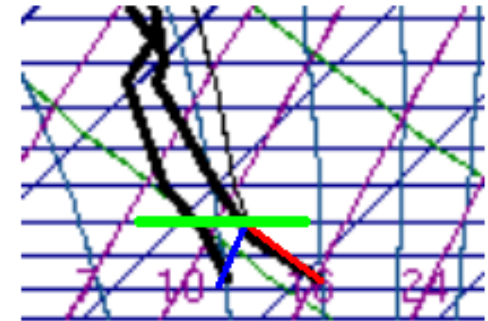
11520 Praha-Libus



12Z 21 Jun 2011

University of Wyoming

SLAT	50.00
SLON	14.45
SELV	303.0
SHOW	2.82
LIFT	-1.29
LFTV	-1.40
SWET	206.8
KINX	30.10
CTOT	21.50
VTOT	24.30
TOTL	45.80
CAPE	464.4
CAPV	522.6
CINS	-0.29
CINV	0.00
EQLV	321.8
EQTV	321.8
LFCT	891.5
LFCV	899.0
BRCH	6.80
BRCV	7.65
LCLT	286.4
LCLP	899.0
MLTH	295.3
MLMR	10.81
THCK	5596.
PWAT	31.23



Je niedriger das LCL, umso leichter kann eine Rotation den Boden erreichen

Sehr hohes LCL spricht für trockene Grenzschichten und erhöhtes Windrisiko

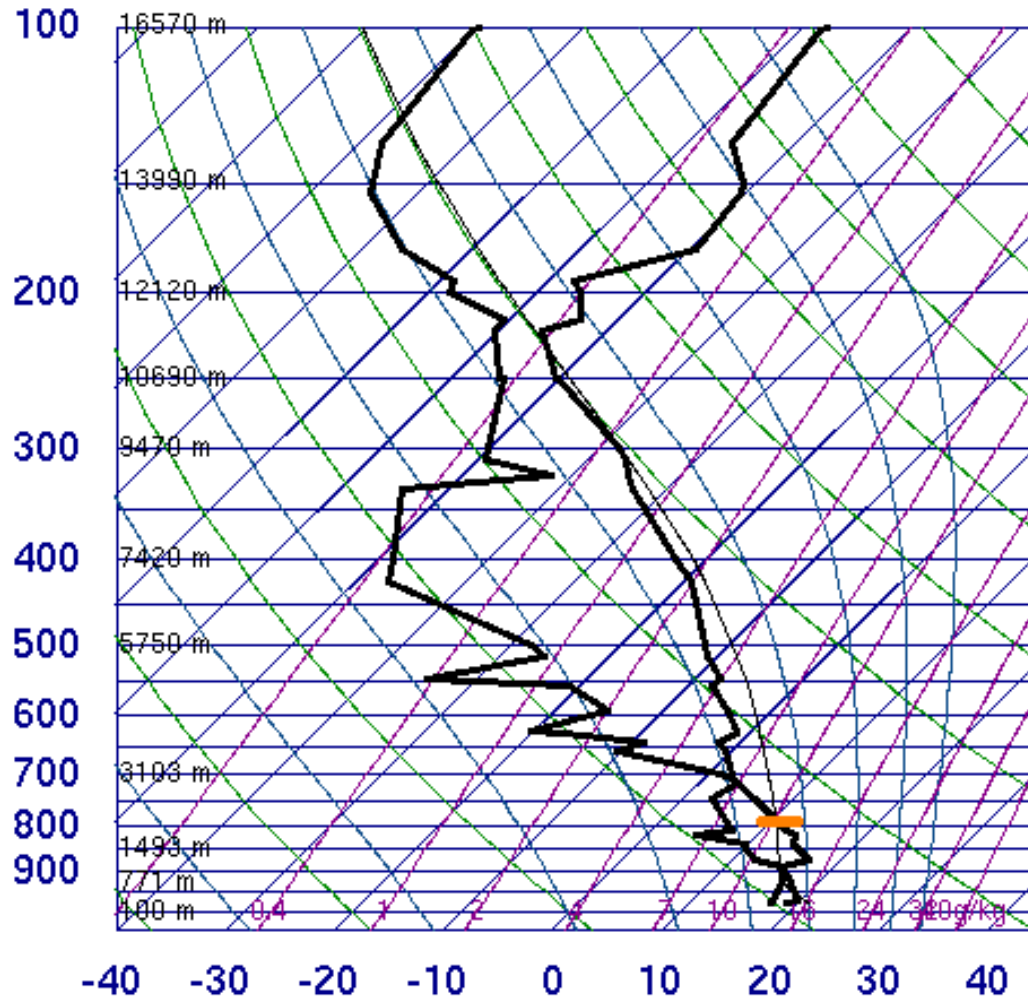
Niedrige LCLs begünstigen viel CAPE.

3) Basishöhen Bestimmung:

3 b) LFC

aus den untersten 500 m (ca. 50 hPa) von der mittleren Temperatur der Trockenadiabate folgen (**rote Linie**), sowie vom mittleren Taupunkt der Mischungslinie folgen (**blaue Linie**). Vom Schnittpunkt (LCL) der Hebungskurve (dünne, schwarze Linie) folgend, bis man rechts der Temperaturkurve liegt: der Schnittpunkt ist das **LFC**.

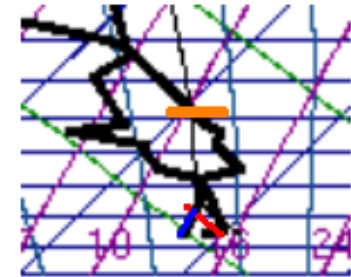
11010 LOWL Linz



03Z 30 Jun 2011

University of Wyoming

SLAT	48.23
SLON	14.18
SELV	313.0
SHOW	-0.74
LIFT	-2.54
LFTV	-3.01
SWET	167.8
KINX	36.50
CTOT	22.50
VTOT	27.10
TOTL	49.60
CAPE	602.6
CAPV	715.6
CINS	-53.6
CINV	-40.6
EQLV	230.2
EQTV	229.9
LFC	784.5
LFCV	795.1
BRCH	37.98
BRCV	45.10
LCLT	289.8
LCLP	927.9
MLTH	296.1
MLMR	13.04
THCK	5650.
PWAT	31.53



Ab LFC ist das
Luftpaket immer
wärmer als die
Umgebung

Je geringer die
Differenz zwischen
LCL und LFC, desto
geringer der CINH.

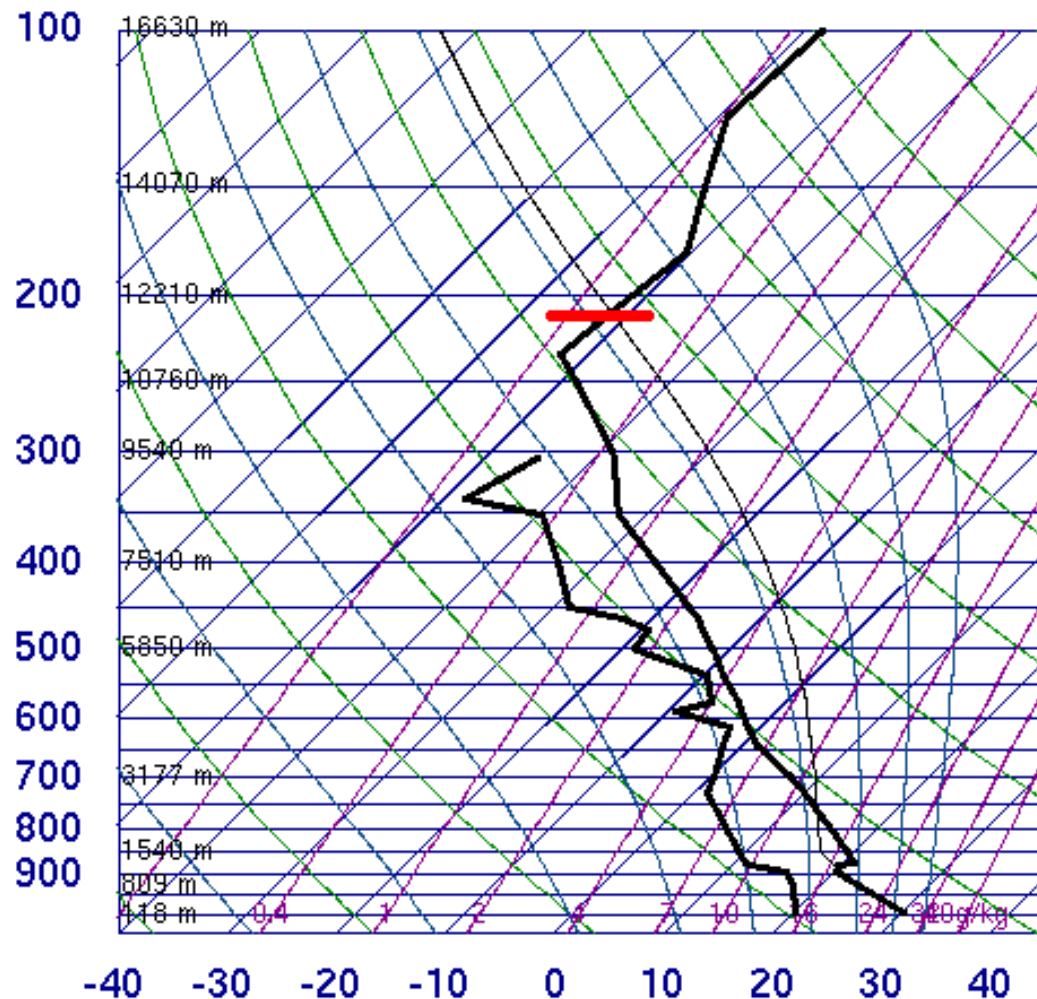
Je niedriger, desto
höher die
Tornadogefahr

3) Basishöhen Bestimmung:

3 c) EL

Nach Bestimmung des LFC der Hebungskurve folgend, bis man die Temperaturkurve schneidet: **Gleichgewichtshöhe**

07145 Trappes



SLAT	48.76
SLON	2.00
SELV	168.0
SHOW	-1.90
LIFT	-7.61
LFTV	-8.26
SWET	232.7
KINX	33.50
CTOT	21.10
VTOT	31.10
TOTL	52.20
CAPE	2720.
CAPV	2881.
CINS	-59.7
CINV	-25.3
EQLV	209.0
EQTV	209.0
LFCT	761.9
LFCV	795.7
BRCH	212.1
BRCV	224.6
LCLT	290.2
LCLP	855.2
MLTH	303.5
MLMR	14.62
THCK	5732.
PWAT	39.78

Je höher das EL, desto höher die Wolkenobergrenzen. Aber: Overshooting tops können höher reichen.

Je höher das EL, desto niedriger der LI

Auch bei niedrigen EL sind schwere Gewitter möglich, wenn die Scherung groß ist bzw. sich die Labilität auf die untersten 3 km konzentriert (Hagel/Tornadogefahr)

4) Basistemperaturen

4 a) ET

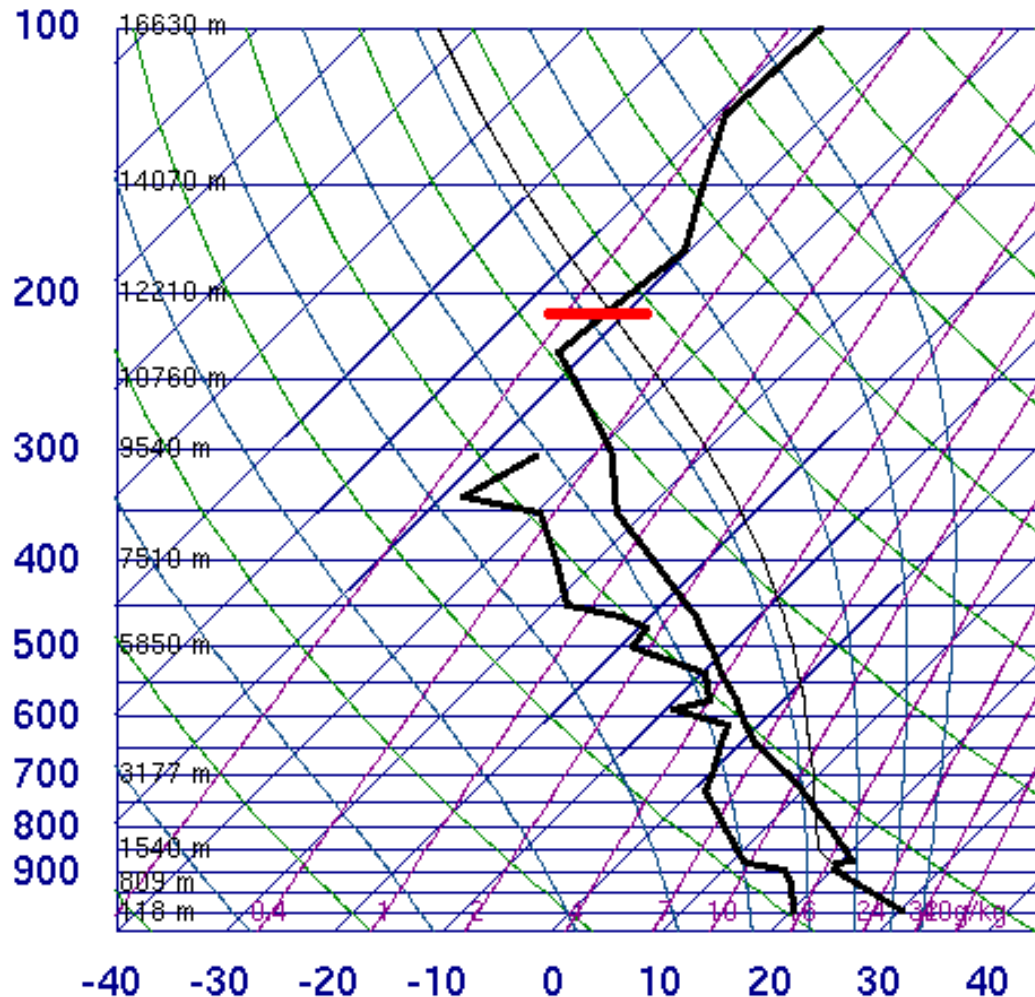
Die Gleichgewichtstemperatur liegt in der Gleichgewichtshöhe, hier: -52°C

Ab -10°C sind Schauer möglich, ab -30°C Gewitter

Ab -50 häufig Schwergewitter

Ab -60 extreme Aufwinde (overshooting tops)

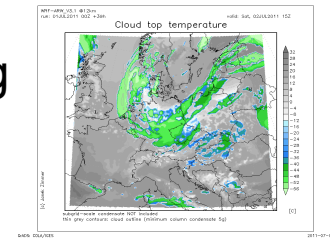
07145 Trappes



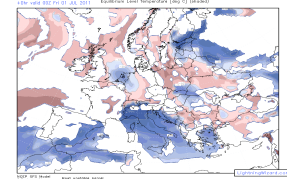
SLAT 48.76
SLON 2.00
SELV 168.0
SHOW -1.90
LIFT -7.61
LFTV -8.26
SWET 232.7
KINX 33.50
CTOT 21.10
VTOT 31.10
TOTL 52.20
CAPE 2720.
CAPV 2881.
CINS -59.7
CINV -25.3
EQLV 209.0
EQTIV 209.0
LFCT 761.9
LFCV 795.7
BRCH 212.1
BRCV 224.6
LCLT 290.2
LCLP 855.2
MLTH 303.5
MLMR 14.62
THCK 5732.
PWAT 39.76

Prognosekarten:

WRF-Leipzig



Lightningwizard



Beobachtung (Satbild)

<http://meteo-mc.fr/satellite-ir-anime-eu.php>

http://portal.chmi.cz/files/porta/docs/meteo/sat/data_jsmsgviewer.html

12Z 28 Jun 2011

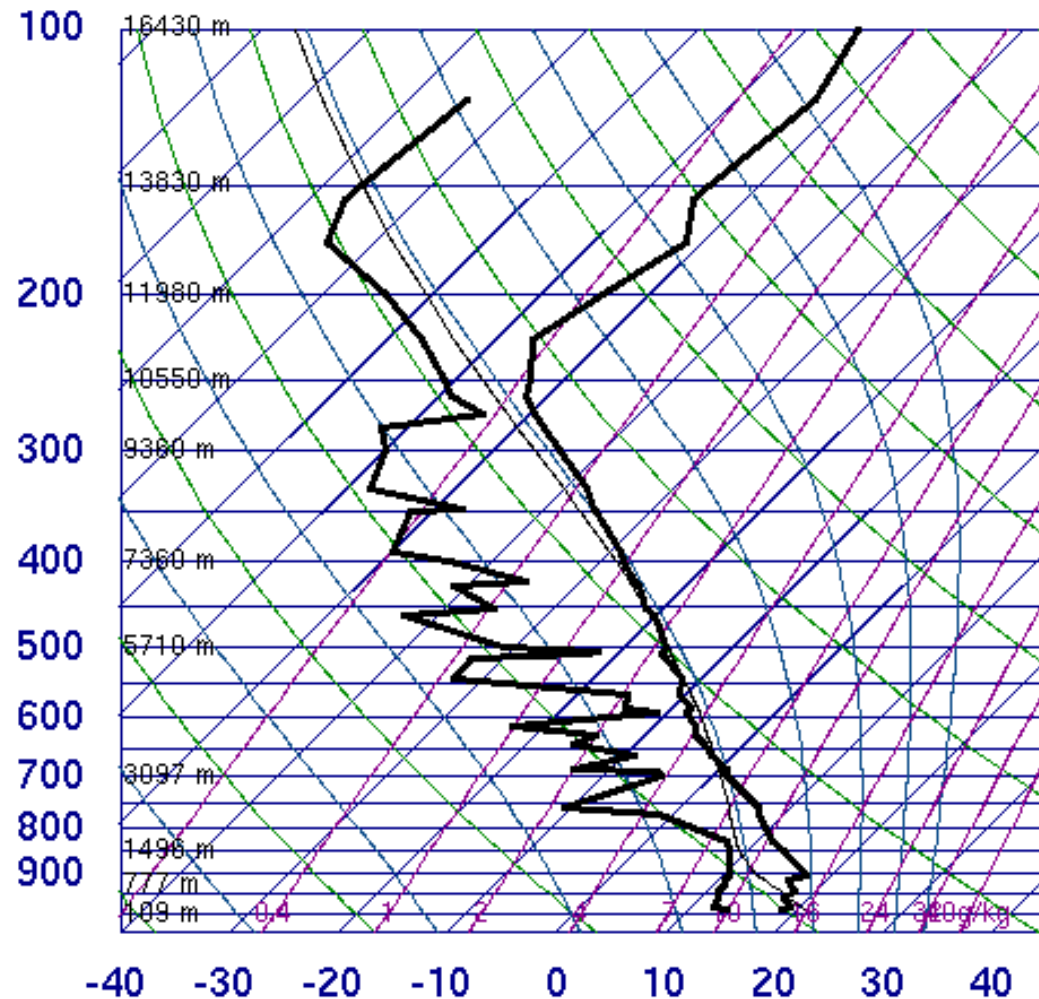
University of Wyoming

4) Basistemperaturen

4 b) CT Convective Temperature (Auslösungstemperatur)

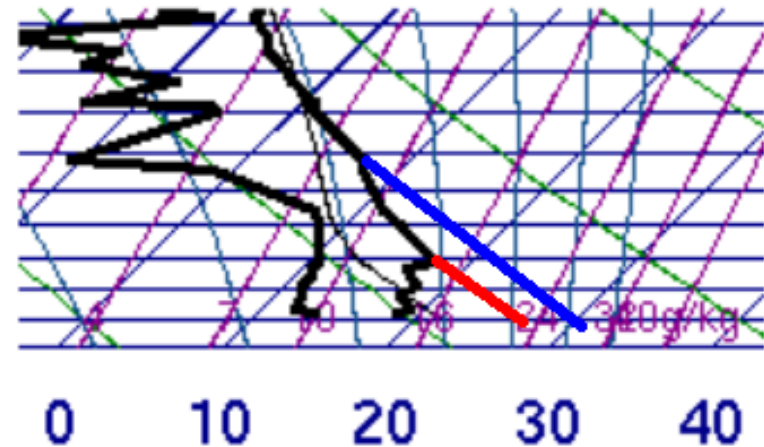
unterteilt in **trockene** (relevant für Flugsport) und **feuchte** (Feuchtkonvektion) CT

11035 Wien



00Z 01 Jun 2011

University of Wyoming



Trocken: durch Sonneneinstrahlung
durchmischt: Blauthermik
(Warmluftpakete steigen auf)

Feucht: durch Sonneneinstrahlung wird
CINH entfernt: Wolken thermik
(ungehinderter Aufstieg möglich)

CT kann sich ändern, wenn CINH durch
WLA/KLA verändert wird.

4) Basistemperaturen

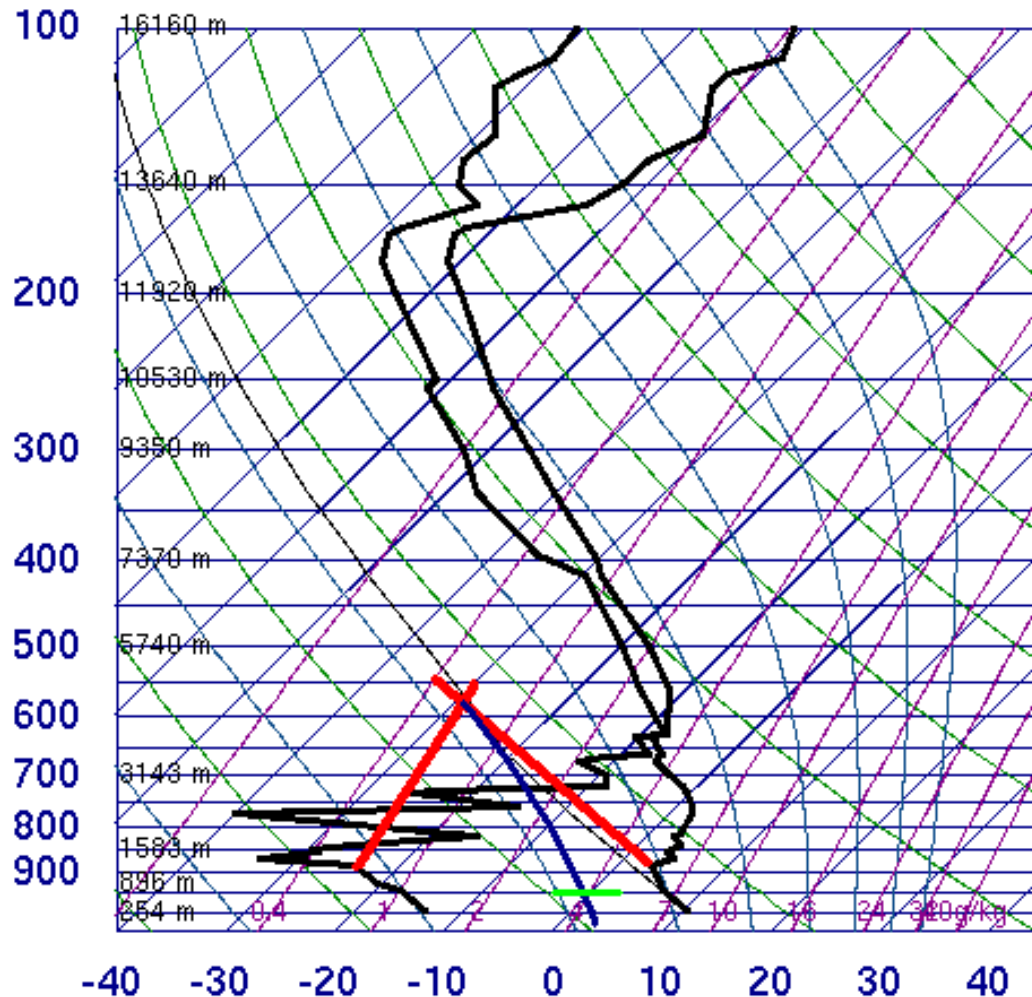
4 c) WBZ

Wet-Bulb Zero

(Nullgradgrenze der Feuchttemperatur)

relevant für Hagelgröße und Schneefallgrenze

10739 Stuttgart



12Z 27 Jan 2008 University of Wyoming

Bestimmung:

Von beliebiger Höhe wird das **LCL** konstruiert (vgl. 3 a), anschließend geht man vom (fiktiven) LCL der **Feuchtadiabaten** nach unten, bis man die Nullgrad-Isotherme schneidet. Am **Schnittpunkt** liegt das WBZ.

Im Beispiel fielen bei +8 bis +10°C Eiskörner, Schnee und Schneeregen

Für signifikanten Hagel (> 2 cm) liegt das WBZ zwischen 2,2 und 3,2 km (Quelle: NWS Glossary)

Für Schnee in Bodennähe

Für Graupel einige 100 m über dem Boden (unterhalb WBZ schmelzen die Flocken, werden kurzzeitig mit Wasserfilm überzogen, der in der trockenen Luft teilweise verdunstet, die entzogene Wärme führt zu Anfrieren des Wasserfilms)

4) Basistemperaturen

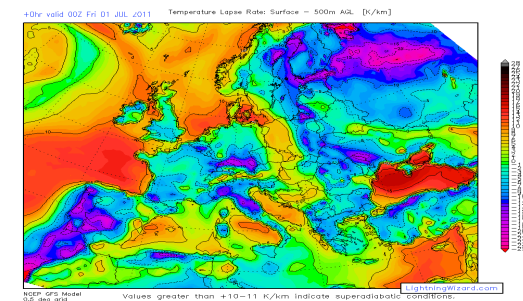
4 d) Lapse rates (Temperaturabnahmen)

i) in Bodennähe (0-500m): $> 10 \text{ K}$ trockenadiabatisch, $< 6 \text{ K}$ feuchtadiabatisch

Niedrigere Werte deuten auf Inversionen hin.

Höhere Werten deuten auf Überadiabasie hin (begünstigt Staubeufel und nichtsuperzellige Tornados)

Parameter zur (Modell-)Wolkenerkennung in Lightningwizardkarten



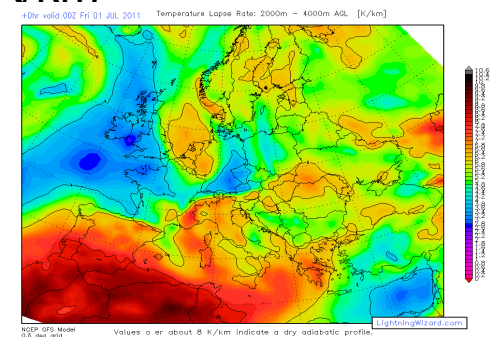
ii) in mittleren Höhen (2000-4000m): $> 7 \text{ K/km}$ erhöhtes Potential für viel Labilität

In polaren Luftmassen rückseitig von Kaltfronten: $> 6 \text{ K/km}$

Bei heftig gekrümmten Kurzwellentrögen/ gesättigten Fronten: $< 6 \text{ K/km}$

In Mitteleuropa Zustandekommen großer lapse rates durch

1) Föhn 2) Spanish Plume 3) rückseitige Polarluft



Im Sounding erkennbar durch....

Taupunkt folgt Linie gleichen Mischungsverhältnis, Temperatur folgt Trockenadiabate

1) Föhn: 10.10.2007 (Sturmtief „Tilo“) - Nordföhn im Oberinntal

11120 LOWI Innsbruck-Flughafen

100

200

300

400

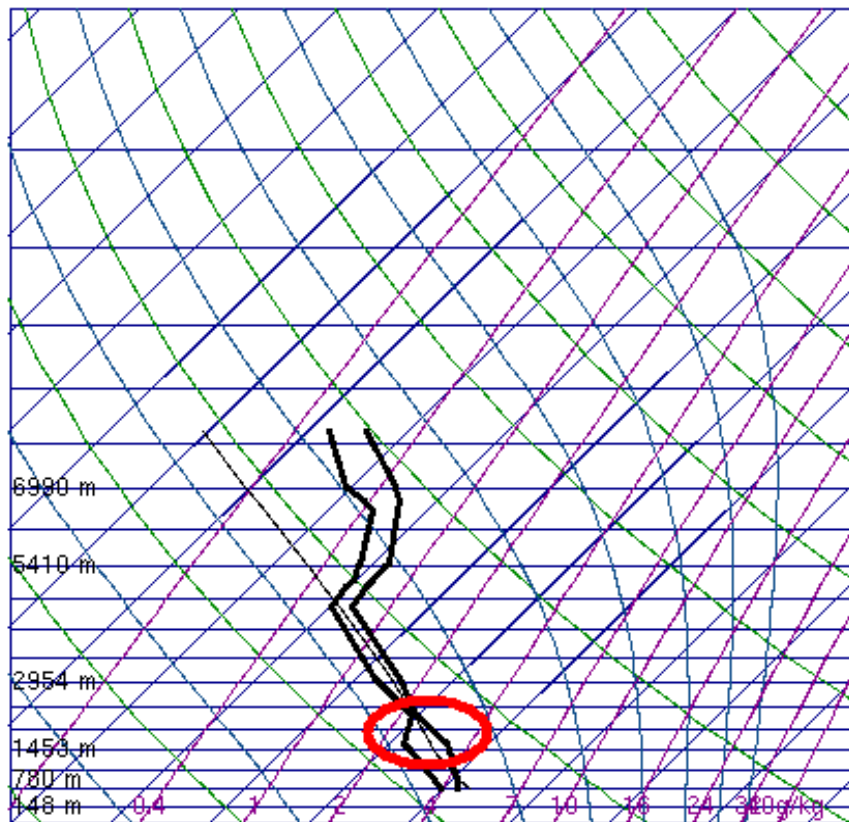
500

600

700

800

900



SLAT 47.26
SLON 11.35
SELV 593.0
SHOW 7.52
LIFT 7.77
LFTV 7.80
SWET 126.2
KINX 15.60
CTOT 21.10
VTOT 25.20
TOTL 46.30
CAPE 0.00
CAPV 0.00
CINS 0.00
CINV 0.00
EQLV -9999
EQTV -9999
LFCT -9999
LFCV -9999
BRCH 0.00
BRCV 0.00
LCLT 270.3
LCLP 885.6
MLTH 279.9
MLMR 3.54
THCK 5262.
PWAT 8.85

11120 LOWI Innsbruck-Flughafen

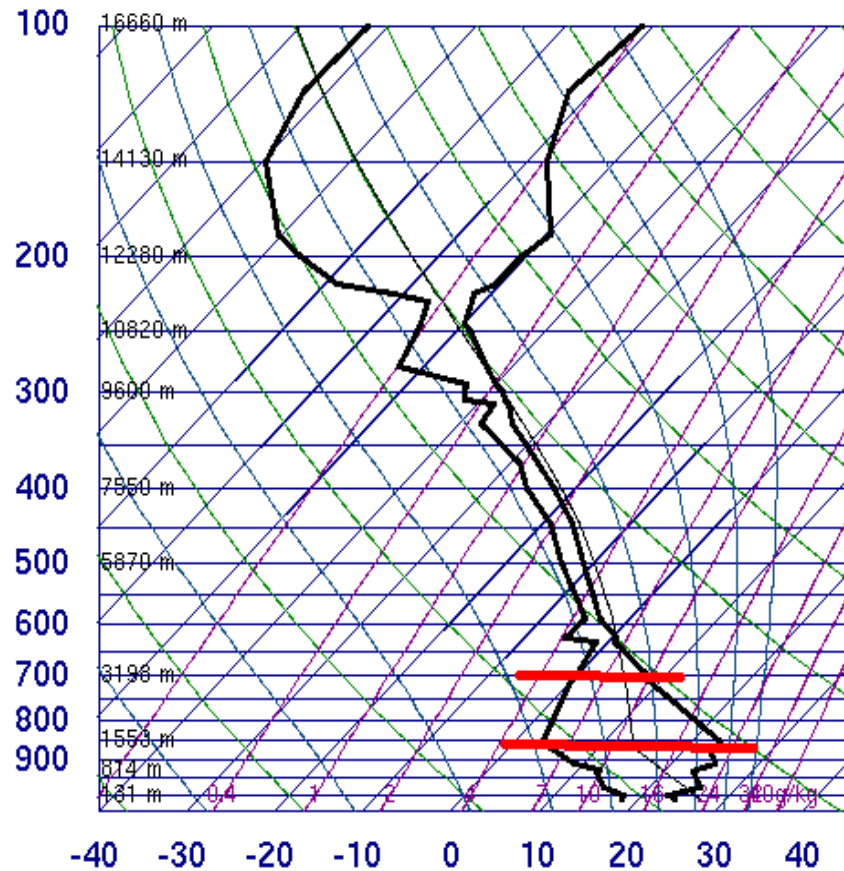
03Z 10 Nov 2007

University of Wyoming

Föhnluft gelangt unterhalb Kammniveau ins Inntal.

2) „Spanish plume“: Beispiel: 28.6.2011 (Hagel bis 7cm, F1+ Downbursts)

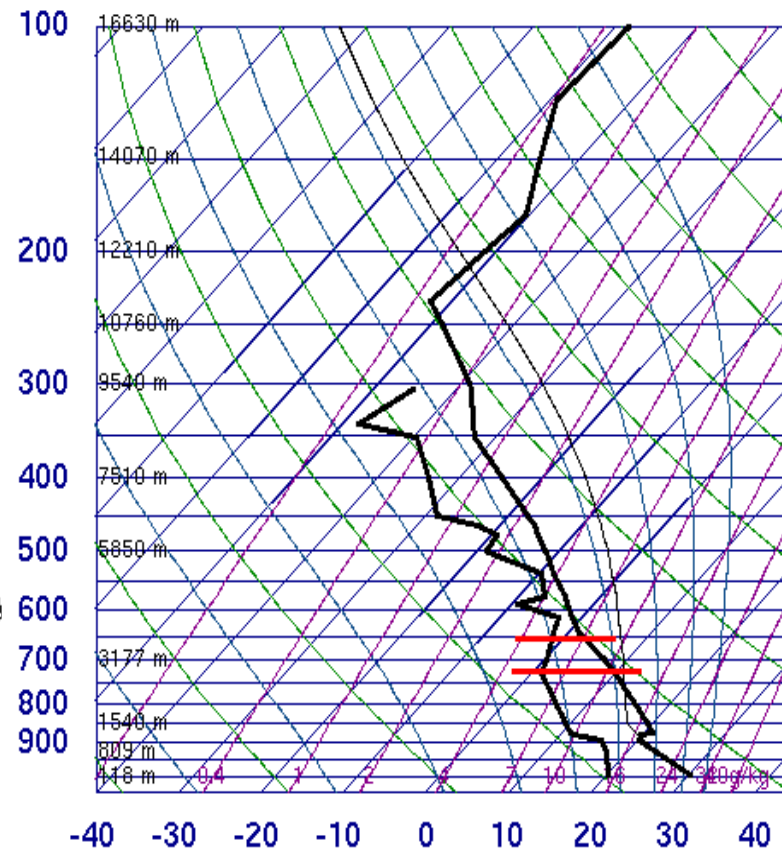
07510 LFBF Bordeaux Merignac



00Z 28 Jun 2011

University of Wyoming

07145 Trappes



12Z 28 Jun 2011

University of Wyoming

SLAT	48.76
SLOE	2.00
SELE	168.0
SHOW	-1.90
LIFT	-7.61
LFTV	-8.26
SWET	232.7
KINX	33.50
CTOT	21.10
VTOT	31.10
TOTL	52.20
CAPE	2720.
CAPV	2881.
CINS	-59.7
CINV	-25.3
EQLV	209.0
EQTV	209.0
LFCT	761.9
LFCV	795.7
BRCH	212.1
BRCV	224.6
LCLT	290.2
LCLP	855.2
MLTH	303.5
MLMR	14.62
THCK	5732.
PWAT	39.78

Entstehung: Bildung hochreichender Grenzschichten über Sahara, Spanische Hochebene, die durch Südwestwind über Atlasgebirge/Pyrenäen gehoben und nordwärts transportiert werden (daher auch entkoppelte durchmischte Schicht = elevated mixed layer, EML genannt)

Dort schiebt sie sich über die feuchtere Grenzschichtluft am Boden und deckelt diese („loaded gun“). Entsprechend entstehen nur isolierte Zellen, die mehr Energie einverleiben können.

EMLs stehen häufig in Zusammenhang mit großem bis riesigem Hagel

- 23.7.2009 > 6 cm in Bayern
- 16.6.2006 (6-7 cm in Leipzig)
- 28.6.2006 (6-8 cm in Villingen-Schwenningen, Baden-Württemberg)
- 12.7.1984 (10-12 cm in München)

Literatur:

<http://www.bangladeshtornadoes.org/EML/emlpage3b.html>

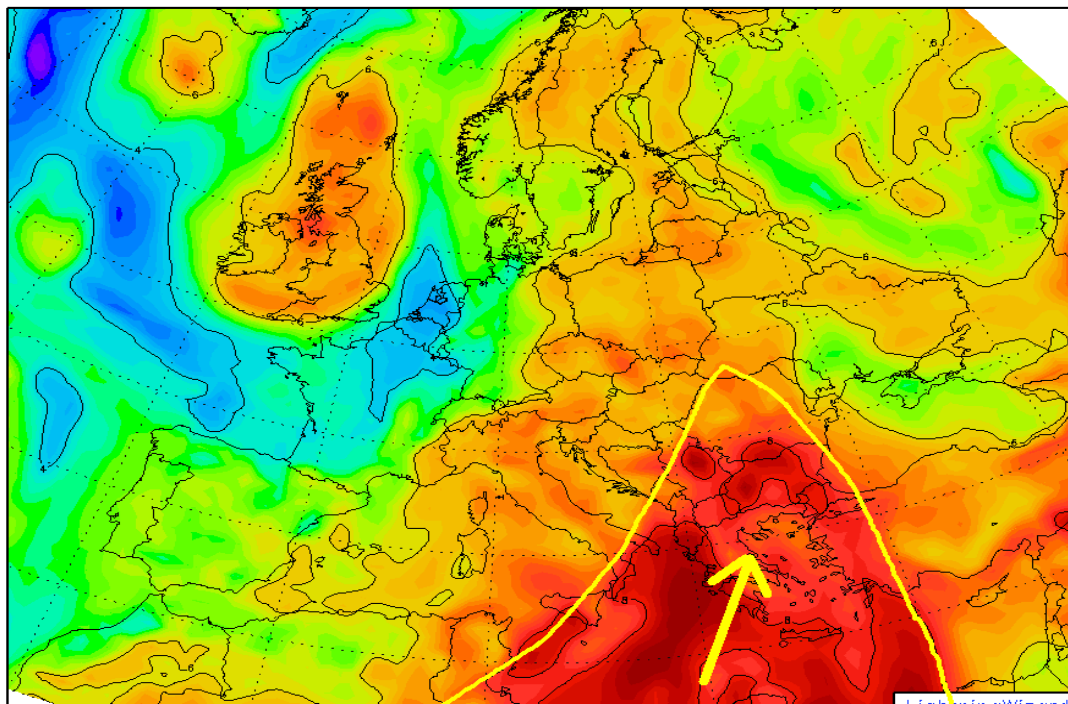
http://www.erh.noaa.gov/btv/research/BanacosEML_waf.pdf

Gradinari, Rumänien: 7 cm Hagel

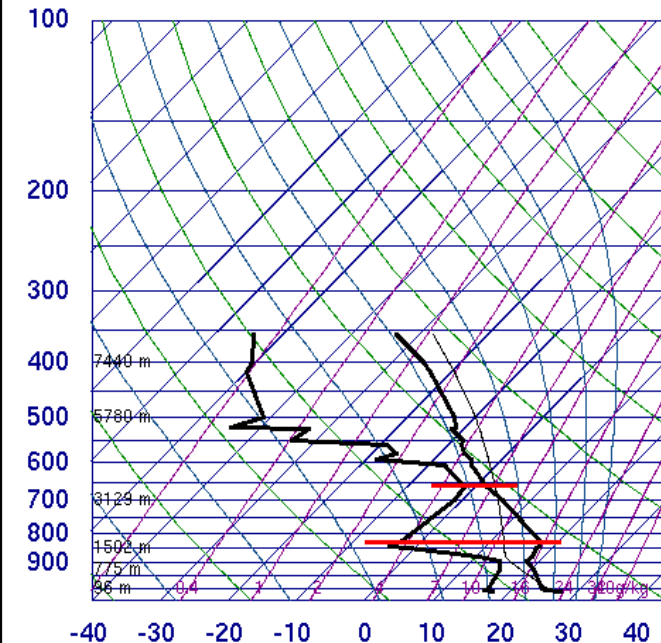
8. Juni 2011: Saharaluft wird zum Balkan advehiert

Serbien: 3,5 cm

+15hr valid 15Z Wed 08 JUN 2011 Temperature Lapse Rate: 2000m – 4000m AGL [K/km]



16320 LIBR Brindisi



SLAT 40.65
SLON 17.95
SELV 10.00
SHOW 4.82
LIFT -3.00
LFTV -3.54
SWET 59.01
KINX 22.50
CTOT 11.70
VTOT 30.70
TOTL 42.40
CAPE 598.5
CAPV 676.0
CINS -274.
CINV -212.
EQLV -9999
EQTV -9999
LFCT 684.6
LFCV 694.3
BRCH 7.20
BRCV 8.14
LCLT 287.5
LCLP 880.3
MLTH 298.2
MLMR 11.89
THCK 5684.
PWAT 30.11

12Z 08 Jun 2011

University of Wyoming

This meteorological map displays the 500 hPa geopotential and temperature fields over Europe and the North Atlantic. The map uses a color scale to represent temperature, ranging from -54°C (dark purple) to 2°C (dark red). Geopotential contours are shown as black lines, with values ranging from 512 to 584 gpm. High-pressure systems (H) are located over the North Atlantic and central Europe, while low-pressure systems (T) are situated over the British Isles, the Mediterranean, and the Balkans. The map also shows the coastline of Europe and the North Atlantic.

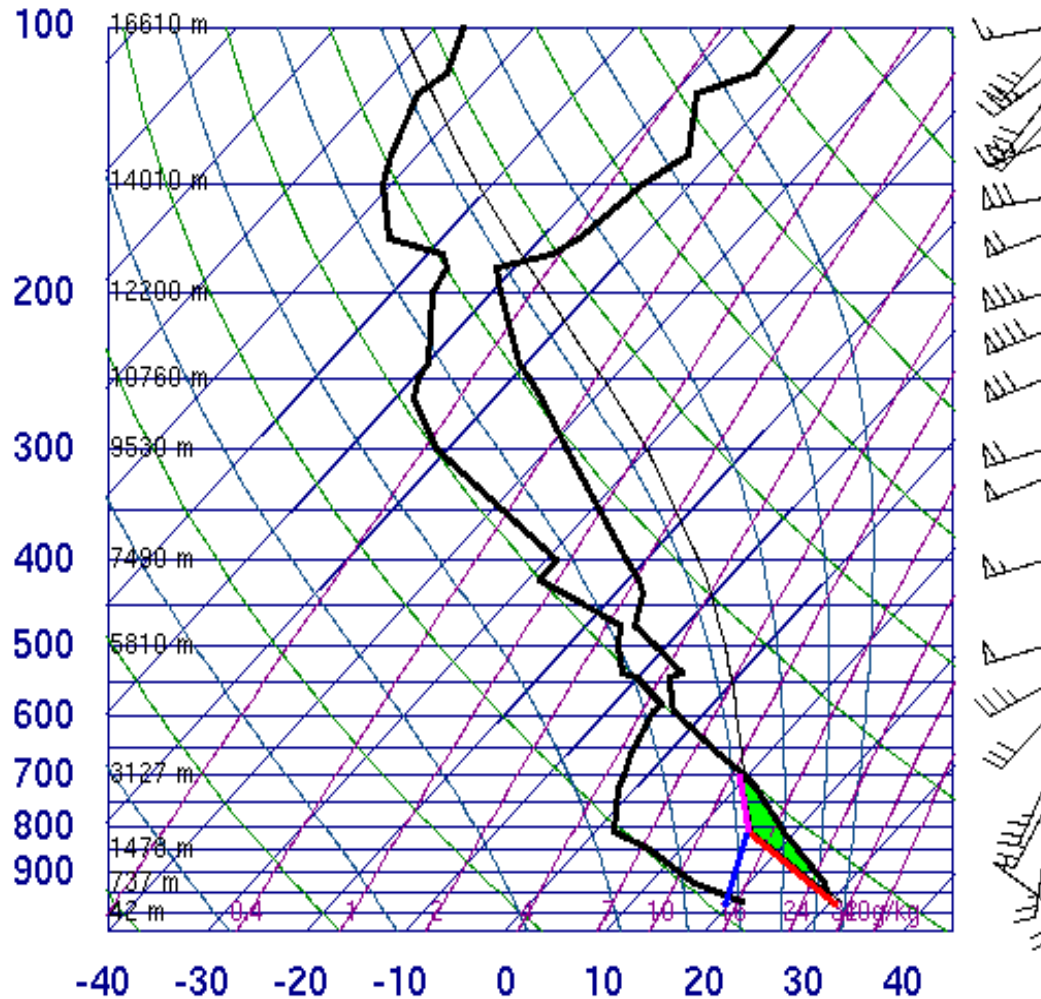
500 hPa Geopotential [gpm], Temperatur [Grad C]
 Donnerstag, 02-11-2006 12 UTC (GFS) {Analyse} © www.wetter3.de

5) Instabilitätswerte

5 a) CIN(H): Convective Inhibition, auch capping layer, „Deckel“, Einheit J/kg

Bestimmung: Falls LCL \neq LFC, dann ist die eingeschlossene Fläche links der Temperaturkurve der CINH (grün).

11520 Praha-Libus



12Z 23 Jul 2009

University of Wyoming

SLAT 50.00
SLON 14.45
SELV 303.0
SHOW -0.86
LIFT -7.03
LFTV -7.58
SWET 369.2
KINX 28.10
CTOT 18.10
VTOT 33.10
TOTL 51.20
CAPE 2469.
CAPV 2599.
CINS -157.
CINV -78.3
EQLV 183.8
EQTV 183.8
LFCT 701.5
LFCV 725.0
BRCH 38.07
BRCV 40.07
LCLT 287.9
LCLP 801.2
MLTH 306.7
MLMR 13.52
THCK 5768.
PWAT 32.05

Maß für die Energie, die
aufgebracht werden muss, um
ein Luftpaket zum LFC zu
bringen

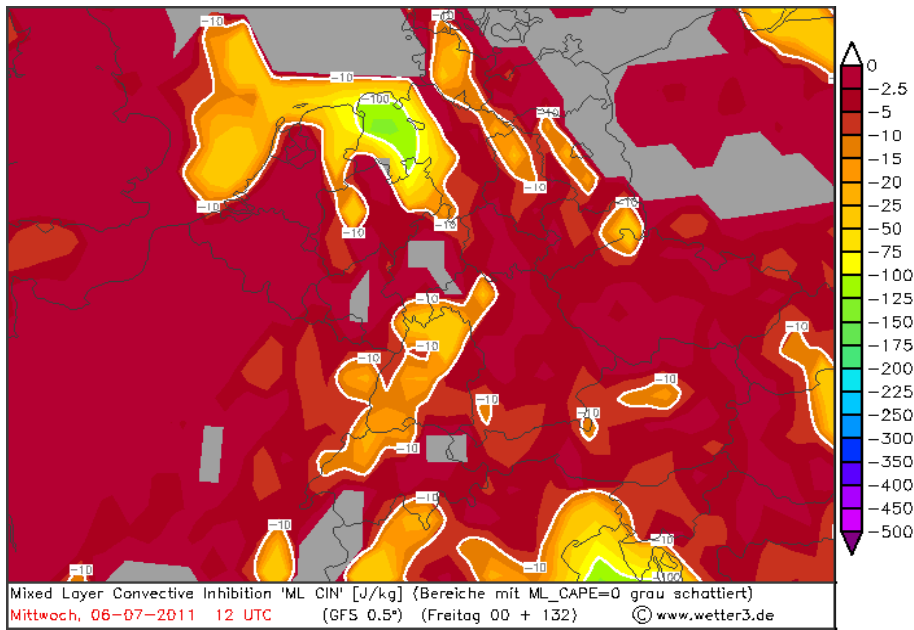
0-50 gering
50-200 mäßig
> 200 groß

Großer CINH tritt häufig
gemeinsam mit EMLs auf

Moderate Werte begünstigen
isolierte Zellen, die je nach
Scherung zu hagelträchtigen
Superzellen heranwachsen
können

wird reduziert durch
Einstrahlung, Hebung, höhere
Taupunkte, KLA in der Höhe

Prognosekarten für CINH



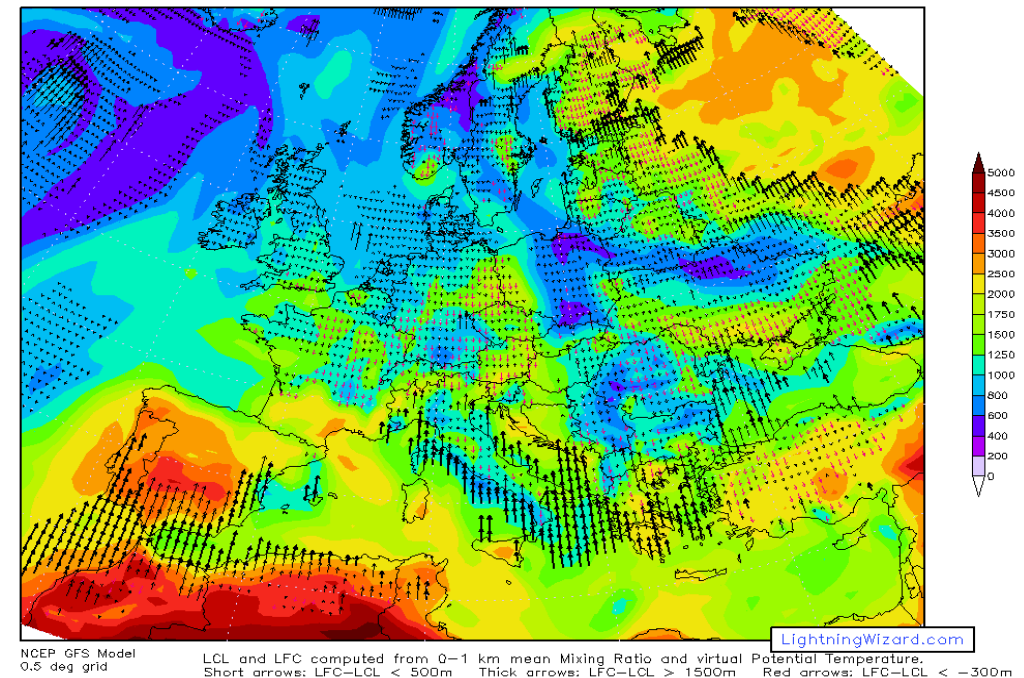
GFS (wetter3)

Lightningwizardmaps (geplottet wird die Höhe von LCL und LFC), je kleiner die Differenz LFC-LCL, desto geringer CINH.

Kurze Pfeile: < 500 m
Dicke Pfeile: > 1500 m

Rote Pfeile: < - 300 m

+12hr valid 12Z Fri 01 JUL 2011 ML Lifting Condensation Level (shaded) | Level of Free Convection - LCL difference



5) Instabilitätswerte

CAPE (convective available potential energy)

CAPE, ist die Energie, die frei wird, wenn ein Luftpaket das LFC erreicht. Die zwischen Hebungskurve und Temperaturkurve eingeschlossene Fläche ist integriert CAPE.

CAPE ist ein Maß für den hydrostatisch bedingten Auftrieb (engl.: Buoyancy), also Dichteänderungen in der Vertikalen, die durch den **Archimedischen Auftrieb** beschrieben werden.

Zum Auftrieb tragen zusätzlich die **Störungsdruckgradientkräfte** (VPPGF) bei (siehe z.B. Doswell & Markowski 2004 oder Houze, Cloud dynamics 2003). Diese werden durch die vertikale Windscherung verursacht und sind maßgeblich für die Organisation von Gewittern (Multizellen, Superzellen) verantwortlich!

CAPE isoliert betrachtet ist also kein guter Indikator für die Schwere von Gewittern!!

Neben der absoluten Menge spielt die Verteilung mit der Höhe eine wichtige Rolle, was die Gefahrenabschätzung von Gewittern betrifft.

Viel 0-3 km CAPE begünstigt starken Auftrieb in der Schicht, wo „vortex stretching“ stattfindet (Tornadobildung), zudem sorgt er für ein längeres Verbleiben von Hagelkernen im Aufwindbereich und Rezirkulation derer kann zu **Großhagel** führen.

Wenig CAPE kann durchaus hochreichend sein, wenn die Profile feucht-indifferent geschichtet sind, meist mit erhöhtem PWAT einhergehend (**Starkregen**)

Die Aufwindgeschwindigkeit entspricht ca. $\frac{1}{2} \sqrt{2 \cdot \text{CAPE}}$, d.h. bei 200 J/kg ca. 10 m/s

Grundsätzlich gilt:

Die Präsenz von CAPE bedeutet nicht, dass zwangsläufig Gewitter entstehen

Die Abwesenheit von CAPE bedeutet nicht, dass sich später kein CAPE entwickeln kann.

Die Präsenz und Höhe muss weder zeitlich noch räumlich repräsentativ für die Umgebung sein (als repräsentativ wird ein Radius von 100-150 km angesehen => „environmental sounding“).

Schwere Gewitter sind auch bei minimalem CAPE möglich, wenn die Windscherung groß ist, was vor allem auf Winterstürme zutrifft, aber auch bei in den Übergangsjahreszeiten, wenn die Instabilität gering, aber die Windscherung noch groß ist.

Beispiel:

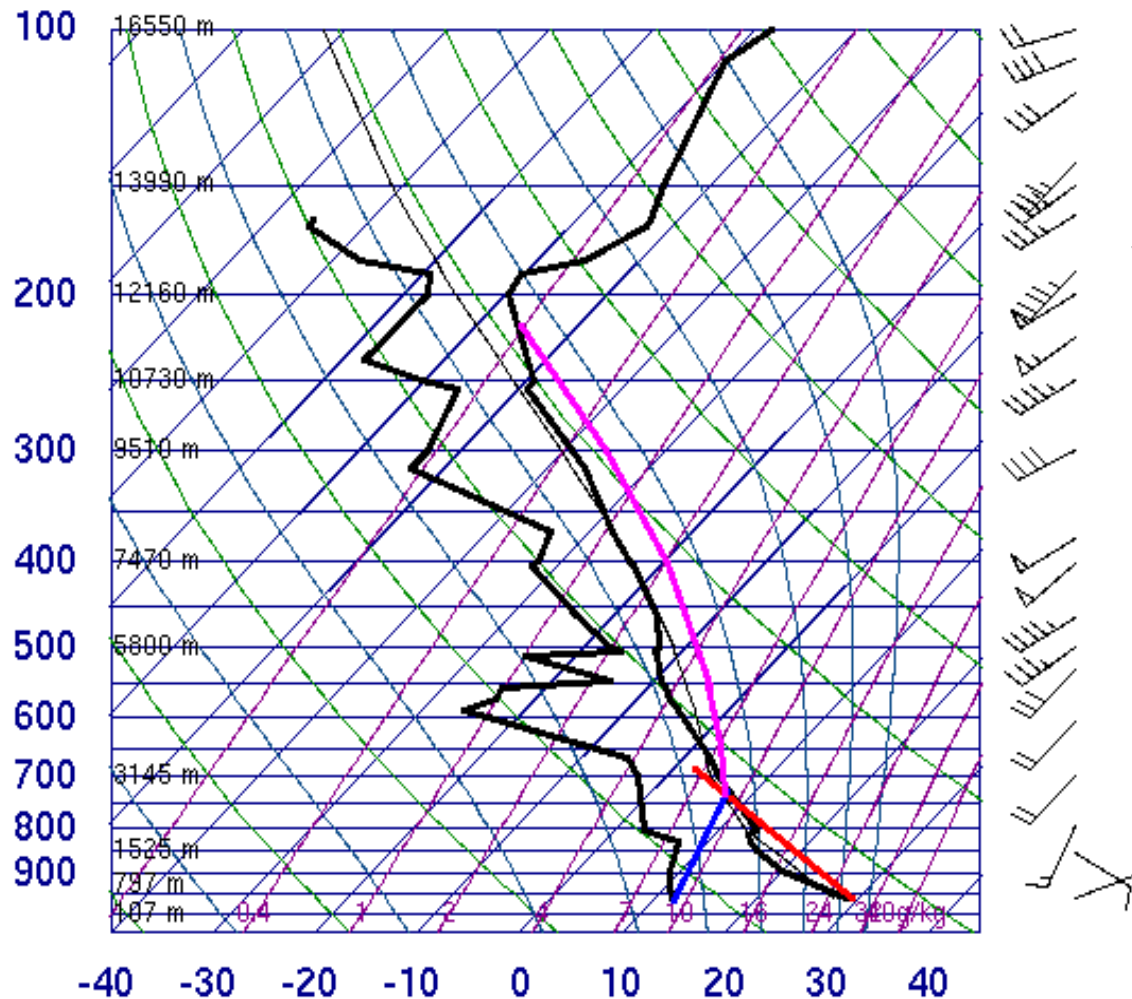
23.6.2004: F3-T7-Tornado in Micheln bei rund 400 J/kg

18.1.2007: F3-Tornados in Ostdeutschland bei rund 200-300 J/kg

5) Instabilitätswerte

5 b) SBCAPE (surface-based CAPE an Einstrahlung gebunden)

10868 Muenchen-Oberschlssheim



12Z 22 Jun 2011

University of Wyoming

Im Gegensatz zum MLCAPE geht man direkt von den gemessenen (prognostizierten) Bodentemperaturen und -taupunkten aus, entsprechend liegt die **Hebungskurve** etwas weiter rechts als beim MLCAPE.

SBCAPE ist kein guter Vorhersage-Parameter, da die Bodenwerte extrem variabel und schwer vorhersagbar sind.

Leider bietet EZMWF nur SBCAPE an.

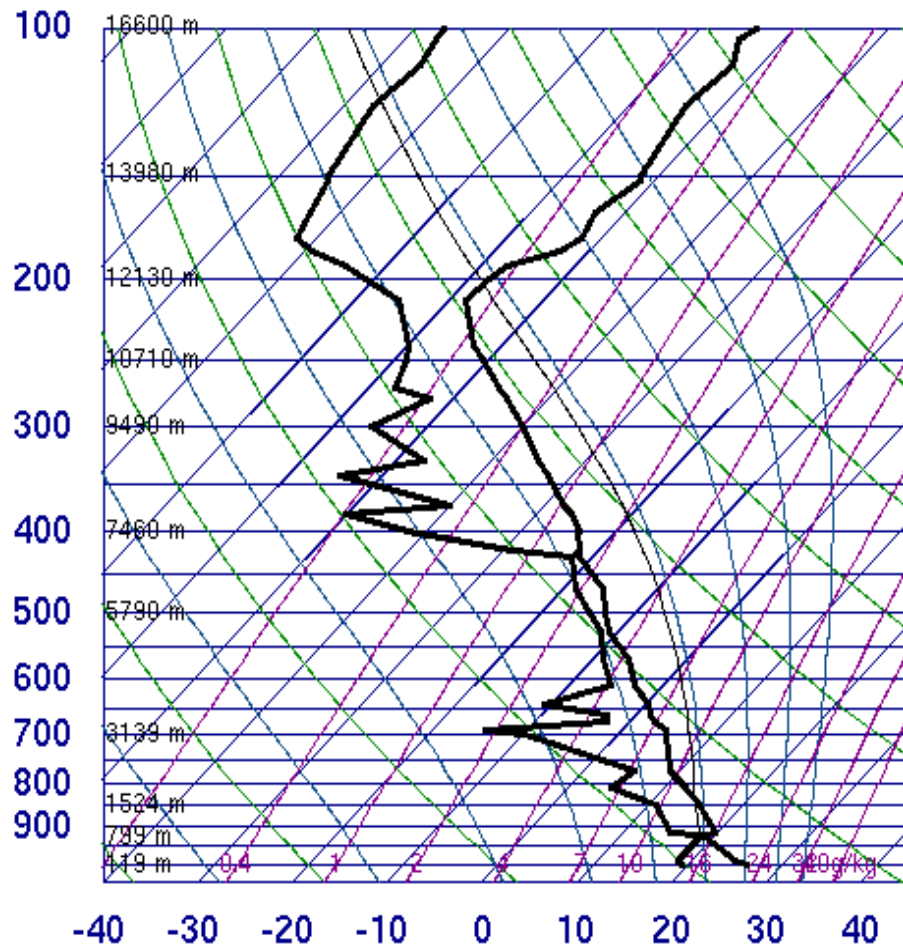
Im Fall von Inversionen wie auch in der Nacht kann SBCAPE nicht durch Einstrahlung freigesetzt werden.

5) Instabilitätswerte

5 c) MLCAPE (mixed-layer CAPE)

Bestimmung: Wyoming: aus untersten 500 m gemittelten T, TP bildet man das LCL und LFC, zwischen Temperatur- und Hebungskurve integriert ergibt sich MLCAPE (dünne, schwarze Linie)

10410 EDZE Essen



12Z 26 Jul 2008

University of Wyoming

SLAT 51.40
SLON 6.96
SELV 153.0
SHOW -2.49
LIFT -6.25
LFTV -6.61
SWET 258.3
KINX 24.50
CTOT 24.10
VTOT 28.50
TOTL 52.60
CAPE 2001.
CAPV 2144.
CINS -26.9
CINV -16.7
EQLV 202.6
EQTV 202.6
LFCT 839.2
LFCV 858.1
BRCH 69.36
BRCV 74.34
LCLT 290.7
LCLP 908.9
MLTH 298.7
MLMR 14.13
THCK 5671.
PWAT 37.20

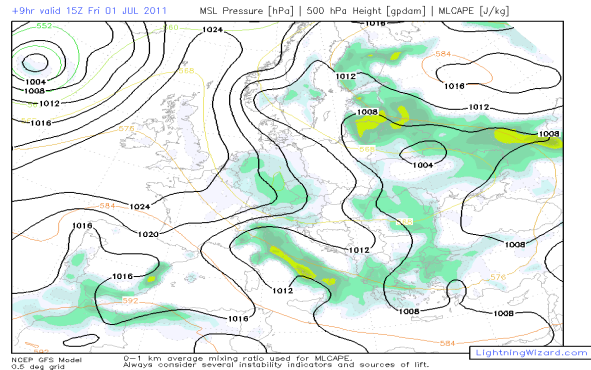
MLCAPE berücksichtigt die tageszeitliche Entwicklung der konvektiven Grenzschicht bzw. geringfügig auch dynamische Änderungen

GFS überschätzt oft die Bodentaupunkte

CAPE reagiert empfindlich auf Temperatur/Feuchteunterschiede => hohe Toleranzbreite von ca. 50 %

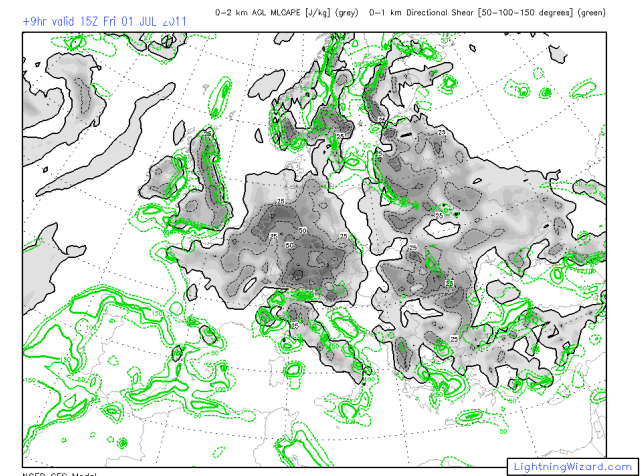
(1000 J/kg Vorhersage heißt 500-1500 J/kg in den Aufstiegen)

Prognosekarten für MLCAPE



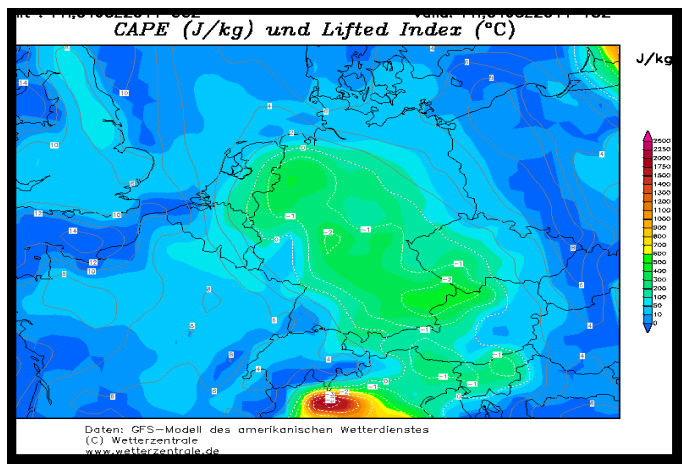
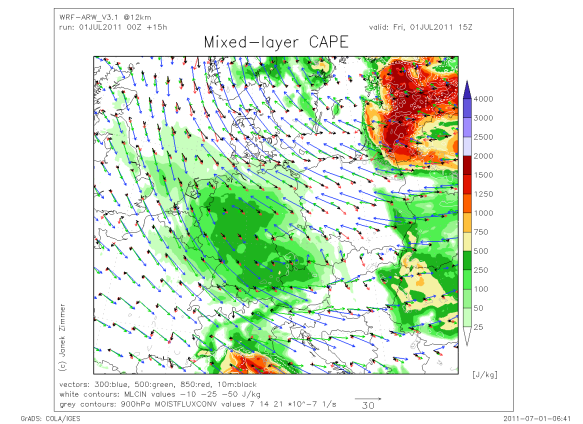
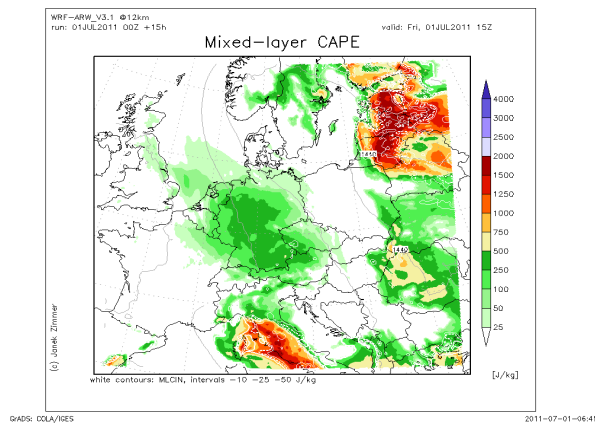
Lightningwizard (0-1 km mixing ratio)

Rechts: 0-3 km (relevant für Hagel/Tornados)

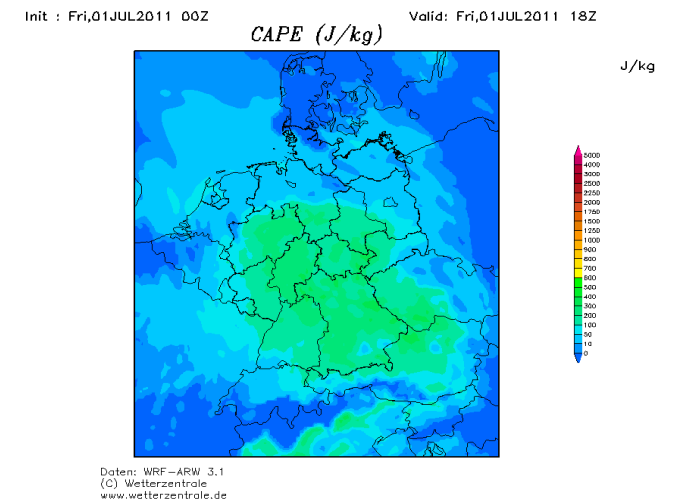


WRF-Leipzig (MLCAPE + MLCIN)

Rechts: MLCAPE + Windscherung



GFS (Wetterzentrale) und WRF-Wetterzentrale (unterste 50 hPa)



5) Instabilitätswerte

5 d) Lifted Index (LI)

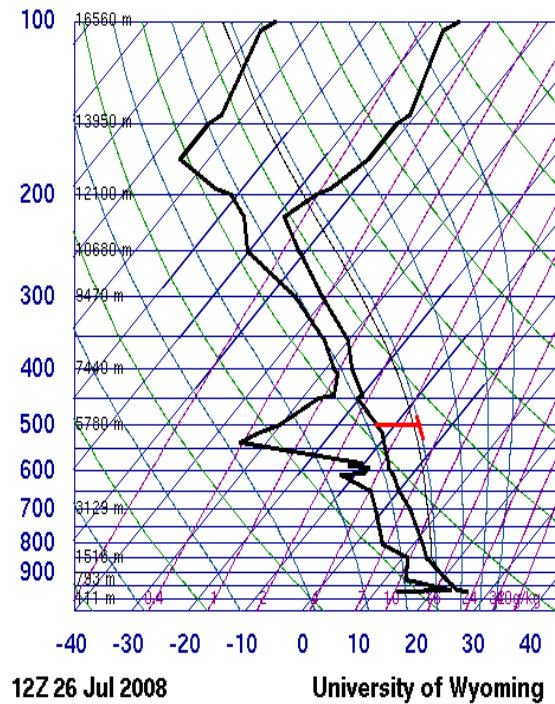
Bestimmung: Differenz zwischen Hebungs- und Temperaturkurve in 500 hPa

0 : feuchtneutral; positiv: stabil; negativ: instabil;

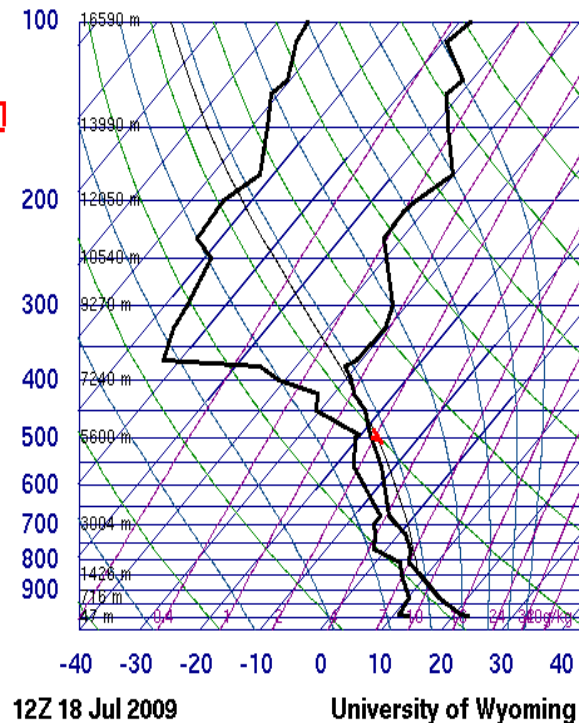
Vorsicht: gerade bei niedrigen Wolkenobergrenzen (Winter, Rückseite) kann trotz positivem oder leicht negativem LI genügend 0-3 km CAPE für Tornados/ signifikanten Hagel vorhanden sein, auch feuchtneutrale Schichtung (LI = 0) erlaubt Unwetterrisiko, wenn PWAT und/oder Scherung erhöht ist.

LI < -4 deutet auf breite (bauchige) CAPE-Flächen mit Großhagel hin.

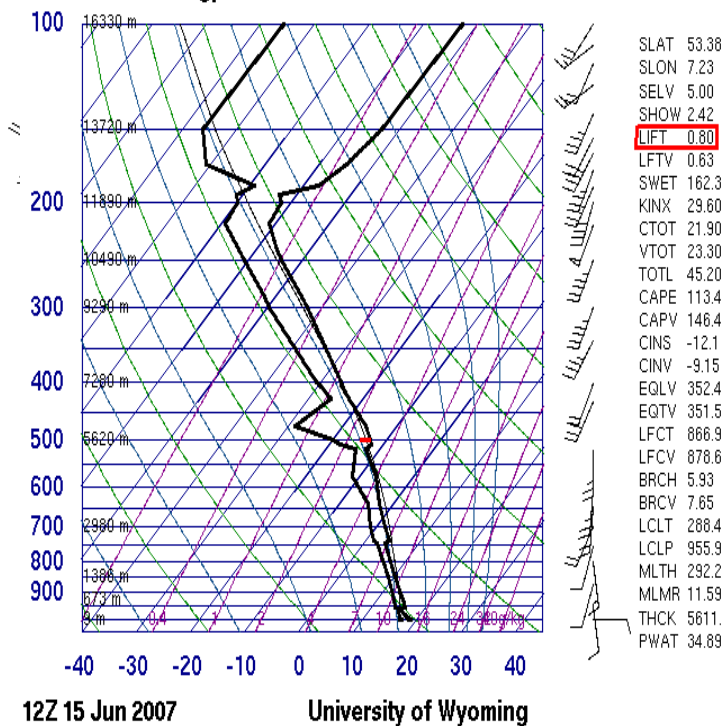
10618 ETGI Idar-Oberstein



16044 LIPD Udine



10200 Emden-Flugplatz



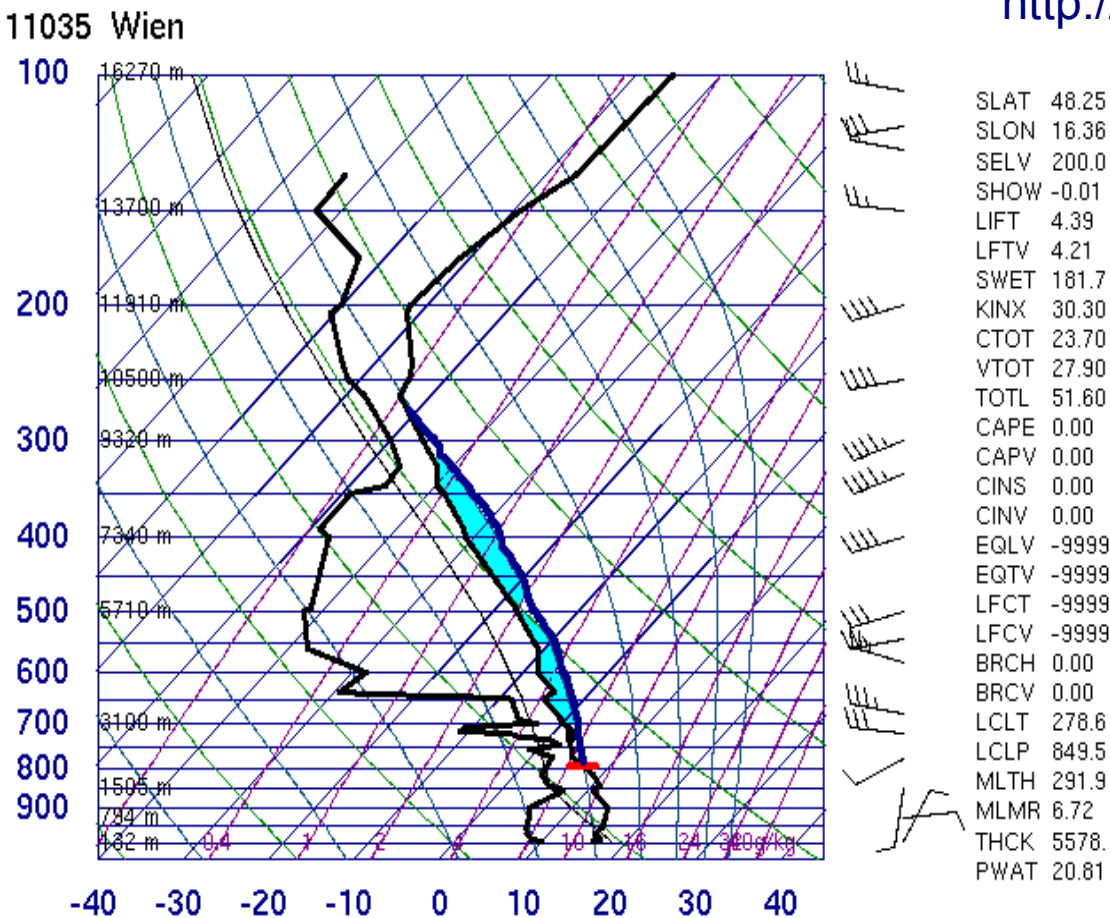
5) Instabilitätswerte

5 e) MUCAPE (most unstable CAPE)

Der labilste CAPE-Wert wird aus dem labilsten Luftpaket der untersten 300 hPa bestimmt (jenes mit dem höchsten Theta_e-Wert)

Bsp.: Gewitterbildung am frühen Morgen
des 21.5.2004

<http://ams.confex.com/ams/pdfpapers/47319.pdf>



00Z 21 May 2004

University of Wyoming

MUCAPE ist ein hilfreicher Parameter, wenn die Konvektion von der Grenzschicht entkoppelt stattfindet (nachts, Gebirge)

Bei MUCAPE < 3 km und niedrigen LFCs ist die Wahrscheinlichkeit schwacher und nichtsuperzelliger Tornados erhöht (Gatzen & Groenemeijer 2005)

5) Instabilitätswerte

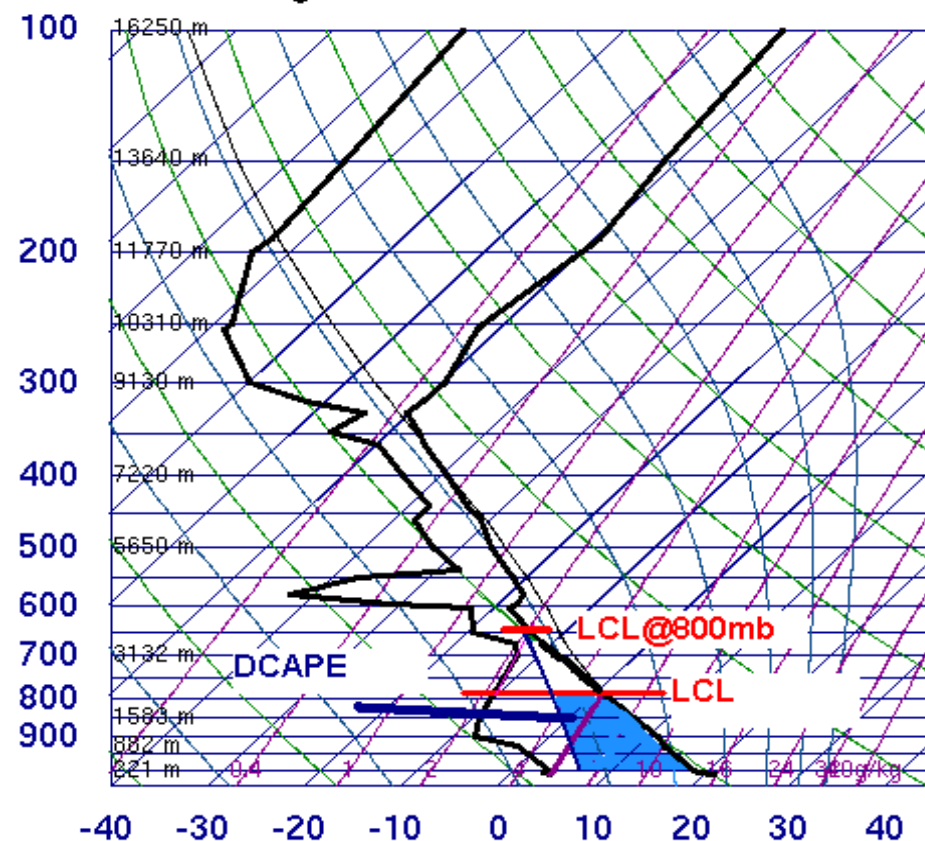
5 f) DCAPE (downdraft CAPE) – experimentell (Gilmore & Wicker 1998)

Leichter: Differenz Thetae zwischen Boden und geringstem Wert der untersten 500 hPa.

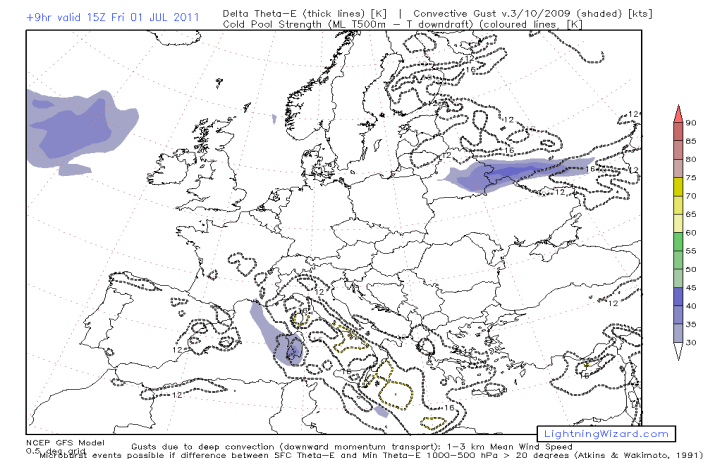
> 20K: Downbursts möglich (Atkins & Wakimoto 1991) : Lightningwizardkarten

Maß für die Abwindstärke durch Verdunstungskälte

10393 Lindenberg



SLAT	52.22
SLON	14.11
SELV	115.0
SHOW	2.16
LIFT	-1.60
LFTV	-1.68
SWET	100.2
KINX	20.00
CTOT	17.50
VTOT	33.50
TOTL	51.00
CAPE	287.2
CAPV	312.3
CINS	-59.8
CINV	-36.6
EQLV	363.7
EQTV	363.3
LFCT	747.8
LFCV	755.7
BRCH	16.15
BRCV	17.57
LCLT	272.1
LCLP	782.4
MLTH	291.9
MLMR	4.60
THCK	5429
PWAT	11.52



Bestimmung:

Wolkenuntergrenze festlegen (beobachtet oder LCL), von dort das LCL bilden und feuchtadiabatisch bis zum Boden gehen. Die eingeschlossene Fläche (siehe links) ist integriert DCAPE.

6) Windscherung

Einheit: $\text{m}^2/\text{s}^2 = \text{J/kg} \Rightarrow$ Energie-Einheit!

Windscherung ist maßgeblich für die Organisation von Gewittern verantwortlich.

i) wenig CAPE und wenig Scherung: gelegentlich nichtsuperzellige Tornados, sofern 0-3 km MLCAPE > 50 J/kg ist.

ii) wenig CAPE und viel Scherung: superzellige Tornados, Downbursts

iii) viel CAPE und wenig Scherung: viel Regen, mäßig Hagel, nichtsuperzellige Tornados

iv) viel CAPE und viel Scherung: ganze Bandbreite, wobei Starkregenpotential etwas niedriger

Bei der Beurteilung, ob die Gewitter warnwürdig werden, IMMER CAPE & SCHERUNG zusammen betrachten!

Literatur:

http://www.nssl.noaa.gov/users/brooks/public_html/papers/ECSS2004.pdf

http://www.flame.org/~cdoswell/tornado_musings/tornado_musings_08.html

gemäß Brooks et al. (2005)

- bedeutende Windereignisse werden wahrscheinlicher, wenn die Scherung **abnimmt**.
- bedeutende Hagelereignisse werden wahrscheinlicher, wenn die Scherung **zunimmt**.
- bedeutende Tornados zeigen **kaum CAPE-Abhängigkeit**, wenn CAPE > 0 ist, aber sie werden wahrscheinlicher, wenn die Scherung zunimmt.
- sehr großer Hagel ist mit sehr hohem CAPE wahrscheinlich

gemäß Markowski et al. (2002)

Superzellen, die starke Tornados produzieren, verursachen keine ausgeprägten Downbursts. Letztere benötigen höhere LCLs (trockene Grenzschicht), was Tornados unwahrscheinlicher werden lässt.

gemäß Johns, Davies and Leftwich (1993)

Extreme Scherung und extremer CAPE überlappen sich sehr selten bei starken Tornados.

=> bei extremen CAPE-Werten ist der CINH zu groß für Auslösung

=> bei extremer Scherung wurde CAPE vorher schon verbraucht.

6 Windscherung

a) „Veering“ : Rechtsdrehung mit der Höhe (Richtungsscherung)

Ein Maß für Richtungs- + Geschwindigkeitsscherung ist die Helizität

Der Wind dreht mit der Höhe nach rechts (= Warmluftadvektion)

Je größer die Richtungsänderung in der 0-3 km Schicht bei gleichzeitiger Windzunahme, umso wahrscheinlicher die Bildung von (rechtsausscherenden) Superzellen

Bsp.: 15.8.2008

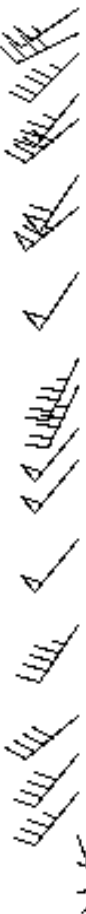
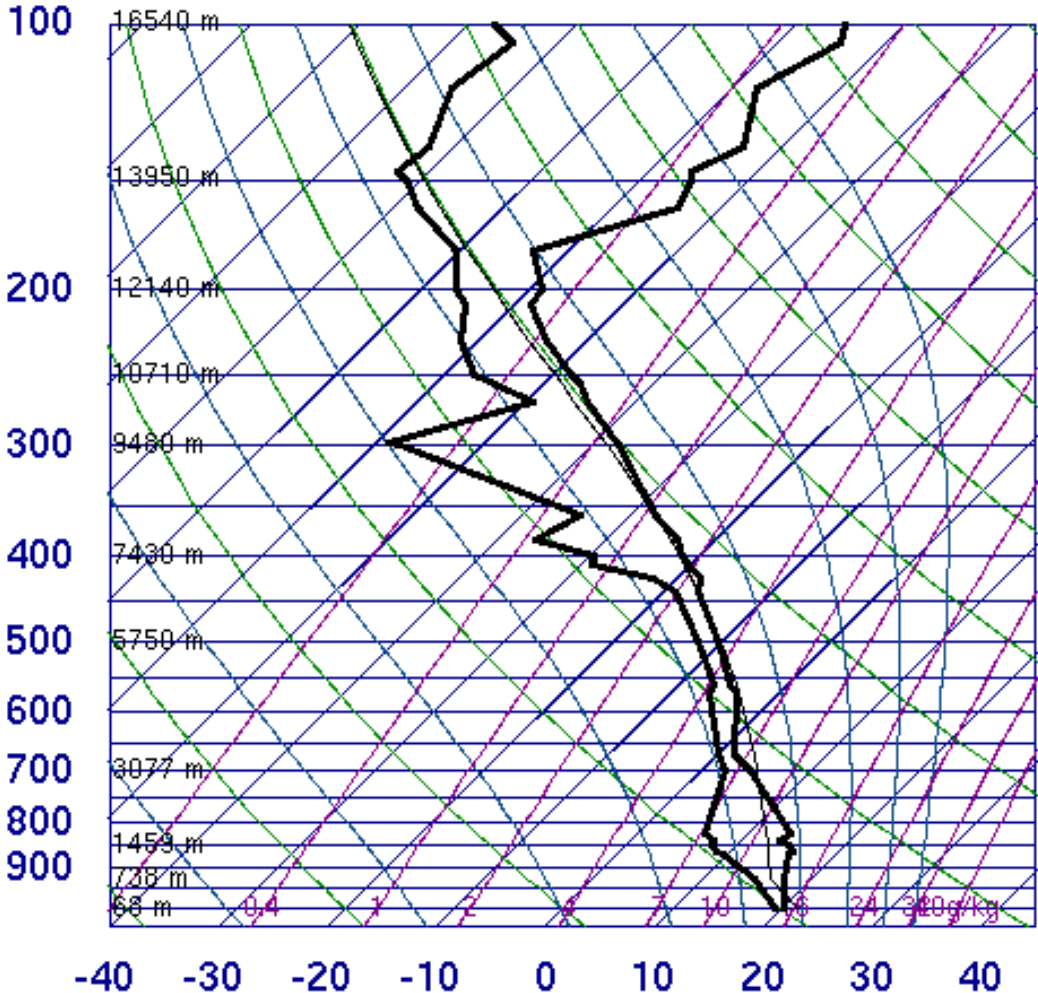
4 F3-Tornados in Polen,

6-9 cm Hagel

T3-Downbursts

Enormer Starkregen

12374 Legionowo



SLAT	52.40
SLOH	20.96
SELV	96.00
SHOW	3.37
LIFT	-0.25
LFTV	-0.34
SWET	268.0
KINX	30.80
CTOT	18.10
VTOT	25.10
TOTL	43.20
CAPE	89.79
CAPV	113.8
CINS	-96.1
CINV	-66.1
EQLV	437.8
EQTV	436.6
LFCT	731.3
LFCV	746.2
BRCH	0.50
BRCV	0.64
LCLT	290.3
LCLP	947.7
MLTH	294.8
MLMR	13.20
THCK	5682.
PWAT	39.66

12Z 15 Aug 2008

University of Wyoming

6 Windscherung

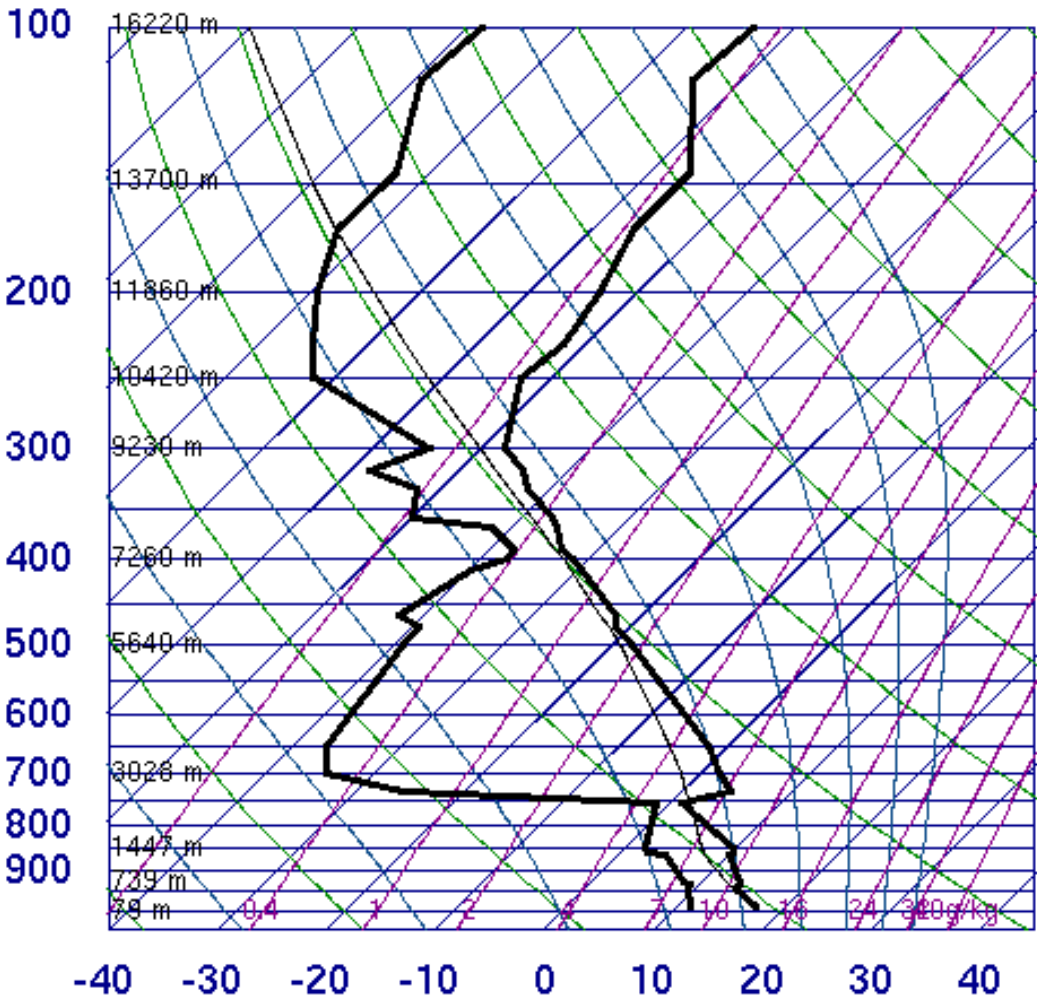
b) LLS: Low-Level Shear (meist 0-1 bzw. 0-2 km)

In Modellkarten: 925 hPa, 850 hPa Wind

Bei mehr als 10 m/s in der 0-2 km Schicht sind Bogenechos bzw. linienförmige Segmente möglich, bei großflächiger Hebung auch Squall lines (linearer MCS)

Falls Superzellenbildung: Tornadogefahr erhöht. (Brooks & Craven, 2002)

11035 Wien



SLAT	48.25
SLON	16.36
SELV	200.0
SHOW	3.13
LIFT	1.10
LFTV	0.88
SWET	194.4
KINX	-6.30
CTOT	19.90
VTOT	27.90
TOTL	47.80
CAPE	2.47
CAPV	4.89
CINS	-93.0
CINV	-78.8
EQLV	748.8
EQTV	747.5
LFCT	772.6
LFCV	778.8
BRCH	0.02
BRCV	0.05
LCLT	282.0
LCLP	888.1
MLTH	291.8
MLMR	8.14
THCK	5561.
PWAT	16.58

12Z 29 Oct 2006

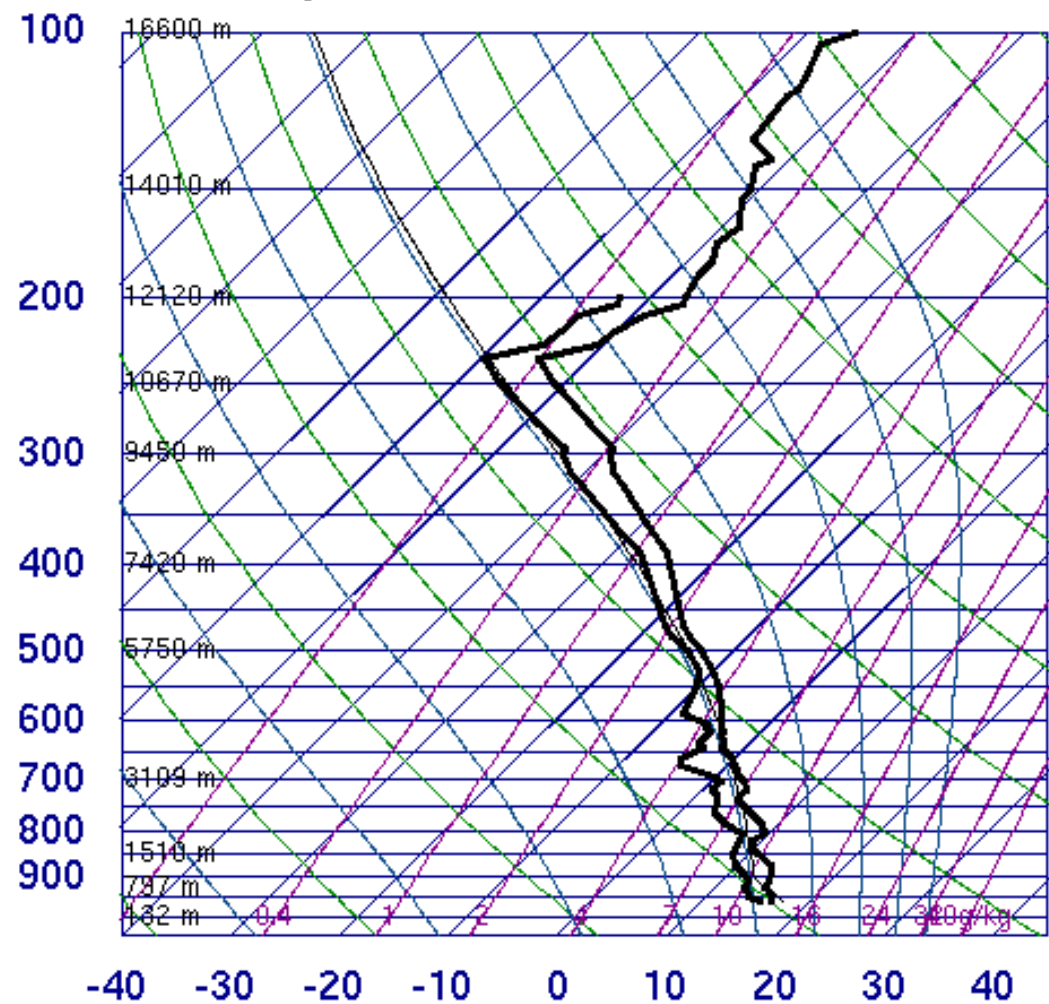
University of Wyoming

6 Windscherung

c) DLS: Deep-Layer Shear (meist 0-6 km)

In Modellkarten: 700, 500; falls 1-8 km: 300 hPa

06610 LSMP Payerne



12Z 02 Aug 2007

University of Wyoming

Bei ausreichend starkem Höhenwind sind Auf- und Abwindbereiche getrennt, die Zelle wird somit langlebiger und organisierter.

Ab 20 m/s sind Multizellenlinien möglich, darunter handelt es sich meist um Cluster (tropfenförmig), www.estofex.org/guide

Bei Superzellen:

< 18 m/s: HP (langsam ziehend, Großhagelgefahr)

> 30 m/s: „LP“ (hochbasig, Windrisiko)

18-30 m/s: „classic“ (Tornadogefahr)

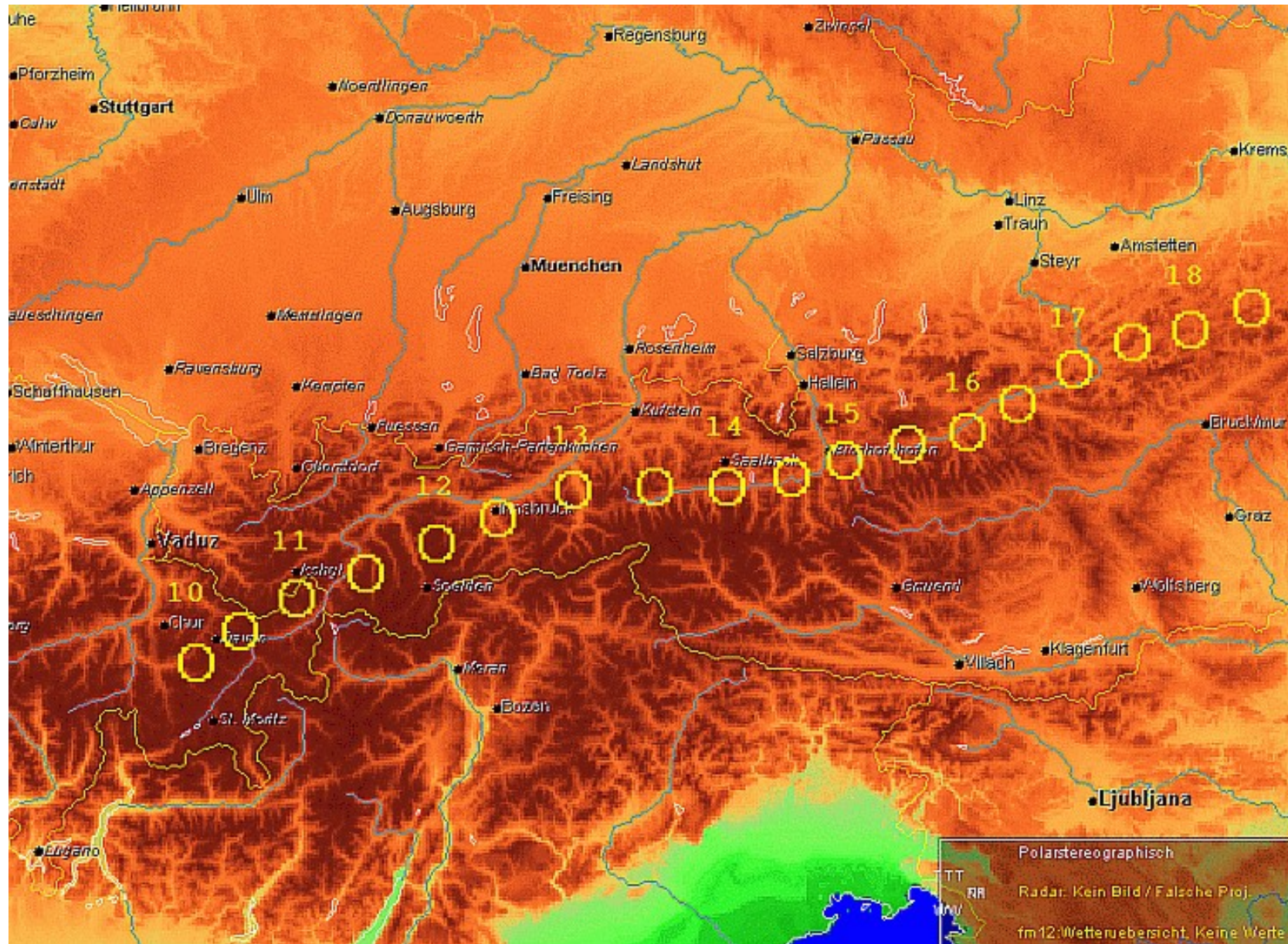
Quelle: „Warning Decision Training Branch!“

Bei zu starker DLS und zu wenig CAPE werden die Zellen „zerrissen“ !

SLAT	46.81
SLON	6.95
SELV	491.0
SHOW	2.40
LIFT	1.32
LFTV	1.32
SWET	203.2
KINX	30.30
CTOT	21.50
VTOT	23.90
TOTL	45.40
CAPE	2.63
CAPV	5.90
CINS	-60.5
CINV	-52.8
EQLV	626.1
EQTV	622.0
LFCT	739.8
LFCV	745.5
BRCH	0.02
BRCV	0.06
LCLT	286.0
LCLP	905.6
MLTH	294.2
MLMR	10.41
THCK	5618.
PWAT	31.85



2.August 2007: Ostschweiz: Zellbildung, über Innsbruck mit feuchtem Downburst (108 km/h) ziehend, dann über Zell am See Hageldownburst (20 cm Hageldecke) mit Bogenecho, ins Salzach und Ennstal ziehend (Radstadt: 5cm Hagel), schließlich kurz vor Wiener Neustadt eingehend. Lebensdauer: ca. 8-9 Stunden (zyklische Superzelle)



6 Windscherung

d) SR(E)H: storm-relative (Environmental) Helicity (Schraubenhaftigkeit relativ zum Gewitter)

- berücksichtigt nur die Rotation der Zelle, nicht aber deren Verlagerungsgeschwindigkeit
- beschreibt das Verhältnis der einströmenden Luft („inflow“) zur Verlagerungsrichtung.
- 0-3 km Schicht für Supercellen entscheidend („inflow layer“), bei unterschiedlichen Winddrehungen mit der Höhe (z.B. Rechtsdrehung am Boden, Linksdrehung in der Höhe) können sich die positiven und negativen Flächen des Integrals im Hodographen aufheben, entscheidend ist jedoch die Rechtsdrehung mit der Höhe → 0-1 km Schicht betrachtet

> 150 m²/s² 0-3 km: Supercellen möglich (Davies Jones et al. 1990)

> 350 m²/s² 0-3 km: F2-3 -Tornados möglich (Davis & Johns 1993)

> 450 m²/s² 0-3 km: F4-5 Tornados möglich (siehe Beispiel auf der folgenden Folie)

Aus dem Wyoming-Sounding lässt sich SRH **nur qualitativ** bestimmen,

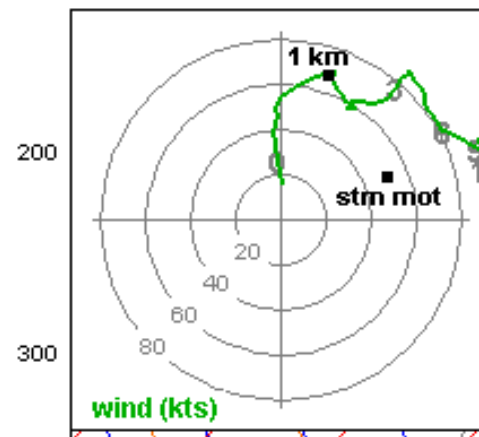
Für exakte Werte: Hodographen, WRF-Leipzig Vorhersage-Soundings

<http://www.wetteran.de/soundings/explanations/hodograph.htm>

http://twister.ou.edu/MM2005/Supercell_3.ppt

6 Windscherung

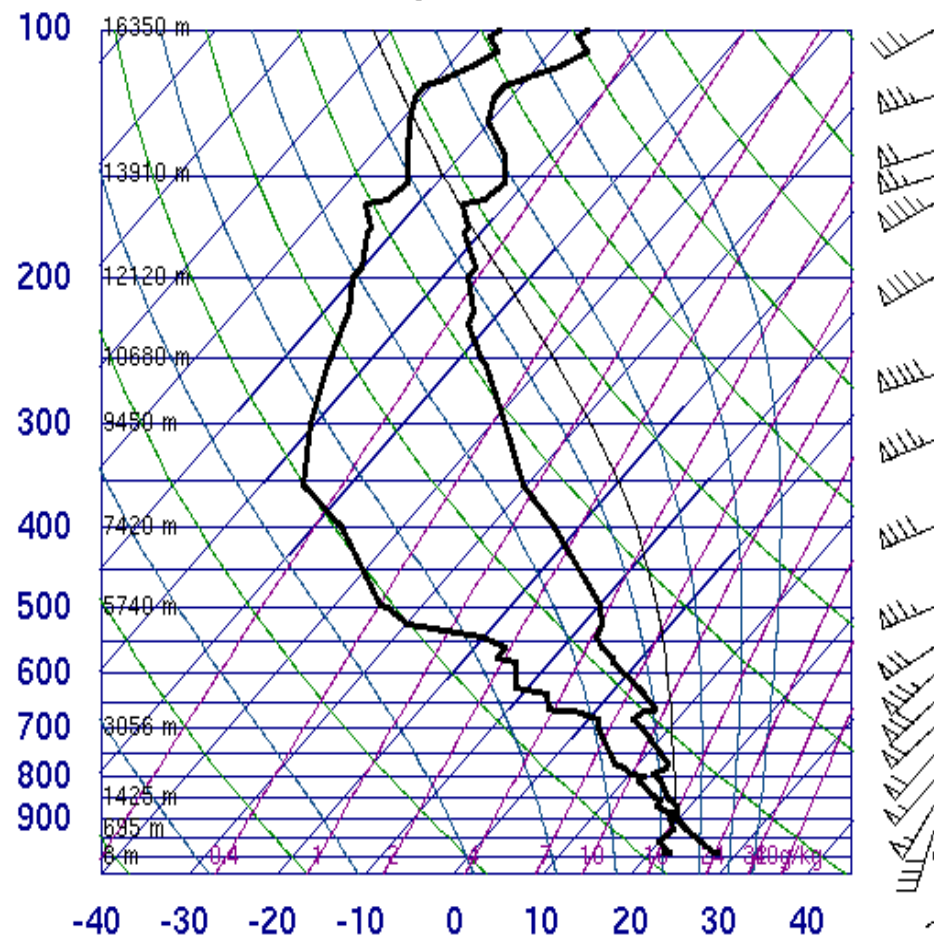
d) SRH:



RUC analysis
Tuscaloosa AL
2100 UTC
27 April 2011

MLCAPE 3100 J kg⁻¹
0-1 SRH 625 m²s⁻²
0-1 EHI 12.1
0-6 shear 72 kts
MLLCL 890 m
MLCIN -3 J kg⁻¹

72235 JAN Jackson Thompson Fld



SLAT 32.31
SLON -90.08
SELV 101.0
SHOW -3.89
LIFT -6.53
LFTV -7.45
SWET 506.0
KINX 36.80
CTOT 25.00
VTOT 26.50
TOTL 51.50
CAPE 2912.
CAPV 3132.
CINS -3.58
CINV -2.62
EQLV 166.4
EQTV 166.3
LFCT 892.7
LFCV 895.5
BRCH 22.12
BRCV 23.80
LCLT 292.9
LCLP 904.6
MLTH 301.4
MLMR 16.34
THCK 5732.
PWAT 42.57

3kewT-log P

NOAA / ESRL / GSD

F5-Tornado von Tuscaloosa, Alabama

0-1 km: 625 m²/s² SRH
MLCAPE: 3100 J/kg

18Z 27 Apr 2011

University of Wyoming

7) Sonstige Parameter

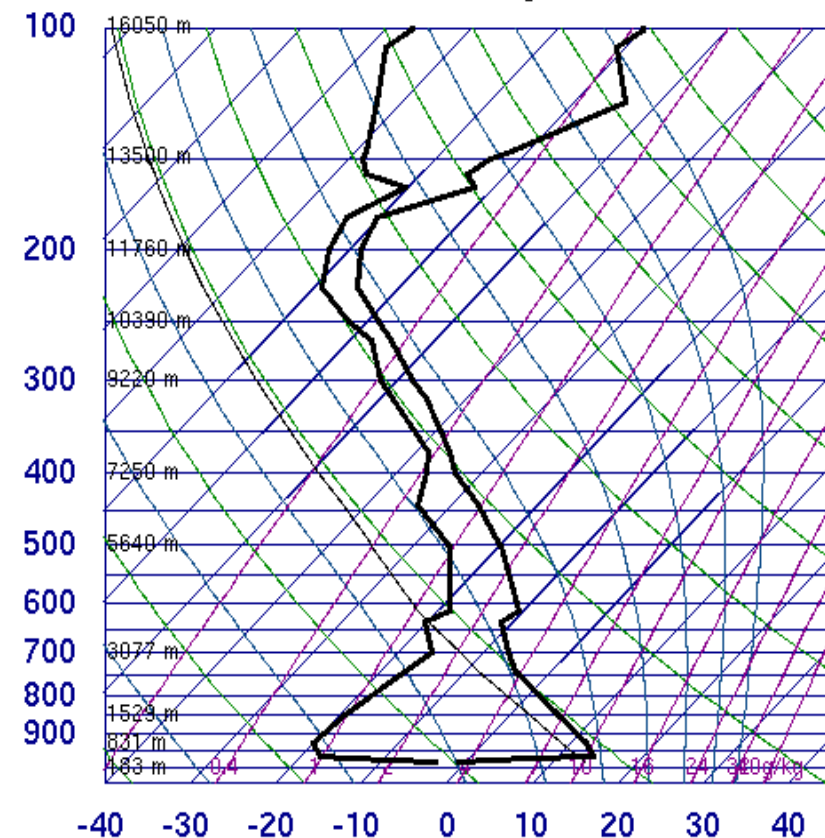
a) „Inverted-V“:

Taupunkts- und Temperaturzunahme ähneln einem umgedrehten „V“

Graz am 27.1.2008: in 800 m: +11,9°C über -20,1°C

→ sehr trockene Luft in der Grenzschicht, bei Niederschlag starke Verdunstungskälte und kräftige Böen, selbst stabiler Schichtung (hier: Warmfrontwelle am 27.1.2008, 6 UTC)

11240 LOWG Graz-Thalerhof-Flughafen



03Z 27 Jan 2008

University of Wyoming

SLAT	47.00
SLON	15.43
SELV	347.0
SHOW	12.33
LIFT	14.85
LFTV	14.94
SWET	137.9
KINX	-2.70
CTOT	0.70
VTOT	25.70
TOTL	26.40
CAPE	0.00
CAPV	0.00
CINS	0.00
CINV	0.00
EQLV	-9999
EQTV	-9999
LFCT	-9999
LFV	-9999
BRCH	0.00
BRCV	0.00
LCLT	250.7
LCLP	613.3
MLTH	288.4
MLMR	1.11
THCK	5457.
PWAT	6.75

27.1.2008: Spitzenböen (24h)

Mariazell: 137 km/h
Wolfsegg: 130 km/h
Zeltweg: 115 km/h
Aigen i. Ennstal: 115 km/h
Unterlaa: 112 km/h
Wien-Innere Stadt: 101 km/h
Neusiedl am See: 101 km/h
Lienz: 101 km/h

Bei Konvektion:

„trockene“ Downbursts möglich

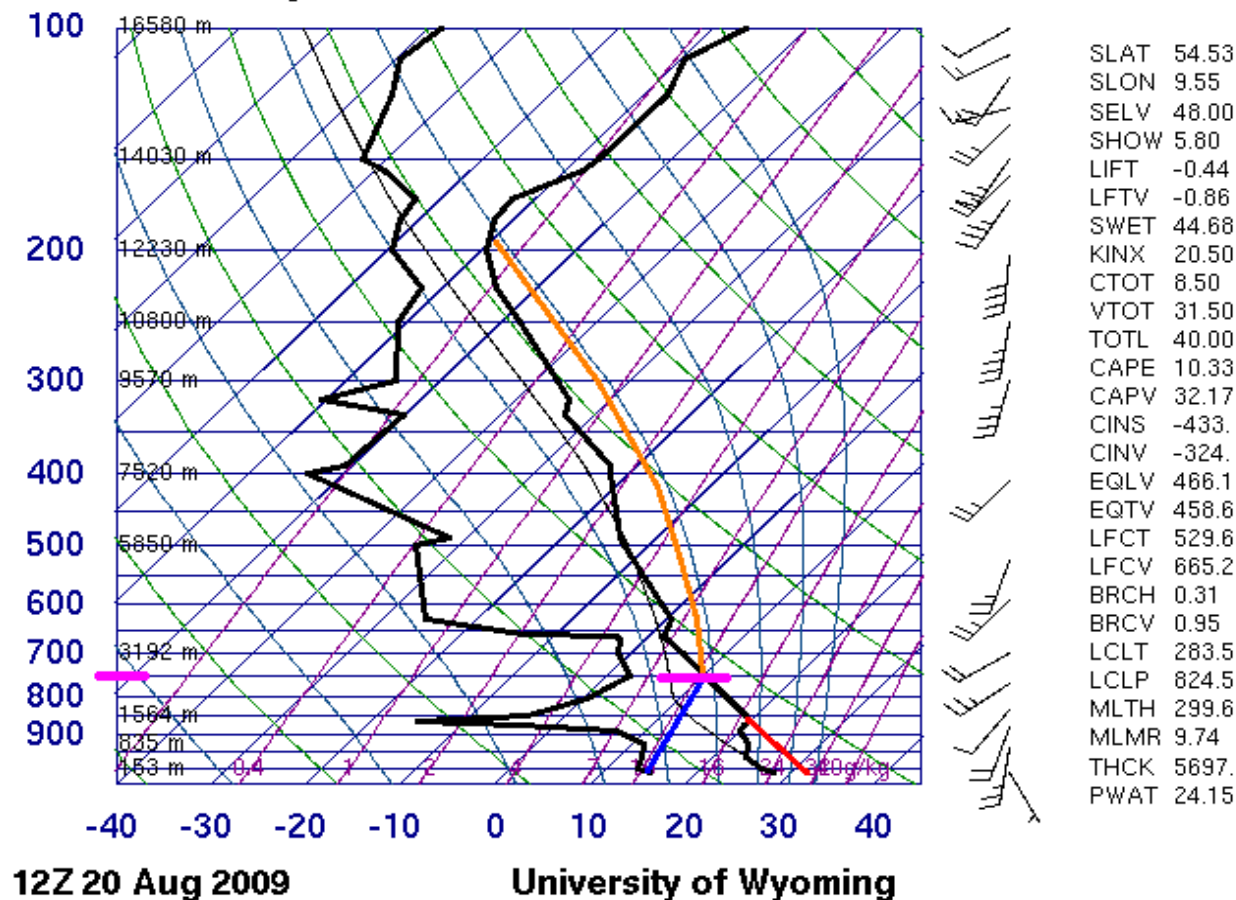
7) Sonstige Parameter

b) hochbasige Konvektion

- erhöhtes Starkwindrisiko (trockene Grenzschicht)
- minimales Tornadorisiko (großer Abstand Wolke-Boden)
- minimales Starkregenrisiko (Verdunstung, niedriger PWAT)

wenn in der Höhe sehr trocken: geringe Lebensdauer (Vertrocknung)

10035 Schleswig



Im Beispiel:

Auslösung per Einstrahlung ab 32°C

→ CCL (= KKN) bei 2500 m.

Bildquelle: www.seewetter-kiel.de



7) Sonstige Parameter

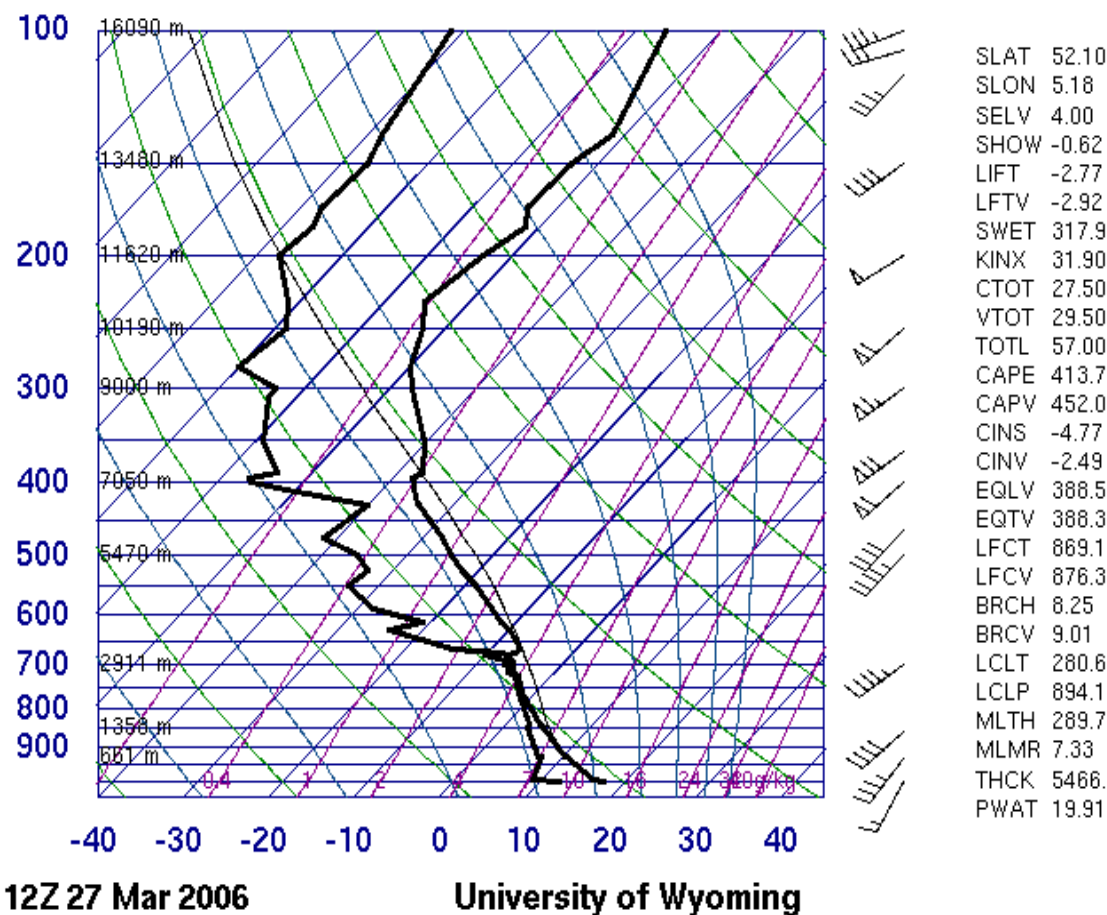
c) bedingte & potentielle Instabilität (conditional & potential instability)

- bedingt: wenn die Temperatur des Luftpakets wärmer als die Umgebung wird, ist ein freier Aufstieg vom LFC zum EL möglich

→ Luftpakete sind stabil, wenn sie trocken sind, und labil, wenn sie gesättigt sind.

27.3.2006: Superzellen-Outbreak in Norddeutschland

06260 EHDB De Bilt



Tornados:

F1-T2 in Roggendorf
F2-T4 in Segrahn
F2-T4 in HH-Harburg (2 Tote)
F1 in Ehestorf
F1 in Dohren
F1-T3 in Ganderkesee
F1-T3 in Esenshamm

Hagel bis 3cm

7) Sonstige Parameter

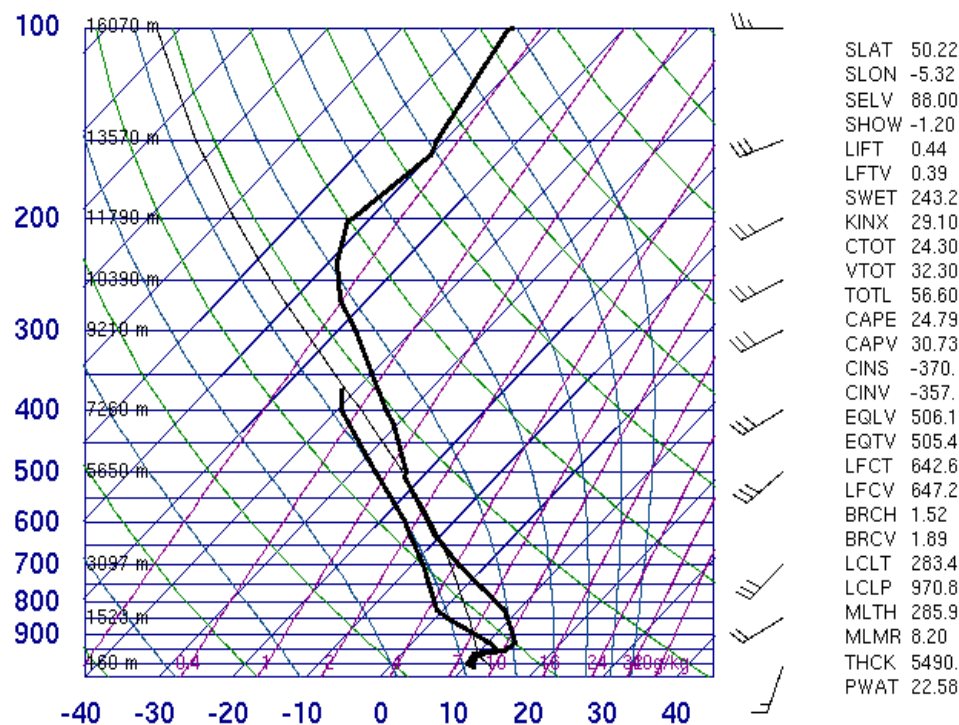
c) bedingte & potentielle Instabilität (conditional & potential instability)

- potentiell:

→ trockene Luft in mittleren Höhen wird über feuchte Luft am Boden advehiert. Die potentielle Instabilität wird frei, wenn dynamische Hebung einsetzt: Dann kühlen sich die trockenen Luftmassen stärker als die feuchten Luftmassen ab und erzeugen stärkeren Temperaturrückgang mit der Höhe (→ Labilisierung)

Vorgang ausgeprägt bei „EML“-Advektion (vgl. spanish plume, Kapitel 4 d)), bei „Dry Intrusion“ in Zusammenhang mit Winterstürmen (rückseitig der Kaltfront) und bei Föhn.

03808 Camborne



00Z 23 Nov 1981

University of Wyoming

23.11.1981: weltweit größter Tornado-Outbreak

102 Tornados in England

- in nur fünf Stunden
- an einer Squall line
- ohne Gewitter

„rapid cyclogenesis“ (25 hPa/24h)

Vorhersage potentieller Instabilität:

- qualitativ: im Sounding feuchte Bodenschicht, darüber trockene Schicht
- KO-Index: bezieht sich auf die Schicht zwischen 1000 und 500 hPa, siehe z.B. Wetter3
- Thetae-Werte: bei Wyoming Sounding - 'Textlist'; abnehmende Thetae mit der Höhe
- Vertikalschnitte: www.satreponline.org, www.wetter3.de
- Satellitenbilder:
 - 1 Wasserdampf: schwarze (trockene) Einschübe zeigen trockene Luft in höheren Schichten
 - 2 RGB-Satbilder: pink/braun zeigen ebenfalls „Dryslots“ an, z.B.
<http://oiswww.eumetsat.org/IPPS/html/MSG/RGB/AIRMASS/CENTRALEUROPE/index.htm>

Potentielle Instabilität spielt hauptsächlich bei dynamischer Hebung eine Rolle, speziell auch im Winterhalbjahr im Kontext von Sturmtiefs und potentiell gefährlicher Kaltfronten oder Rückseitenlagen

7) Sonstige Parameter

d) elevated convection – (von der Grenzschicht) entkoppelte Konvektion

- selbst bei surface-based convection kommt die Luft meist von oberhalb der Grenzschicht
→ Übergang zwischen elevated und surface-based ist fließend

Beispiel für Umwandlung von surface-based zu elevated:

Gewitter entstehen im Gebirge (hochreichend durchmischt) und ziehen ins Flachland (niedrigere Grenzschicht), werden dabei entkoppelt, selbst wenn kein CINH vorhanden ist
→ Tornados werden damit unwahrscheinlicher

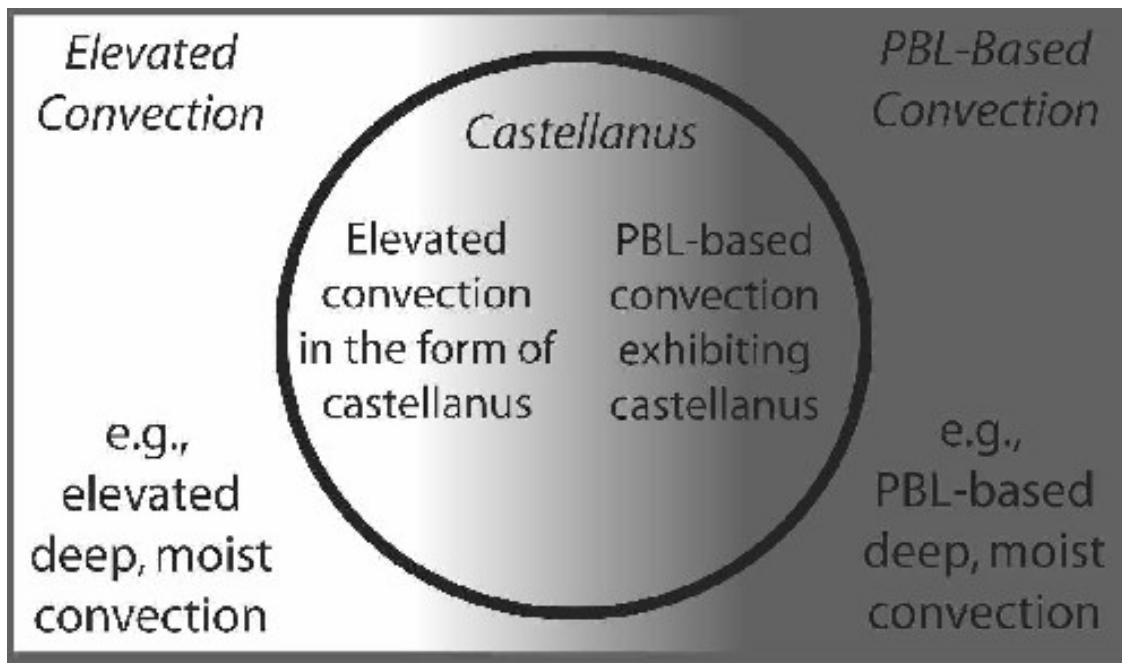
Beispiel für Umwandlung von elevated zu surface-based: abends, wenn sich die Gewitter abwärts entwickeln und feuchte Grenzschichtluft einsaugen → Tornados wahrscheinlicher

Ideal für entkoppelte Konvektion:

- starke Warmluftadvektion in Bodennähe
- seichte Schicht mit Kaltluft, die von einer hochreichenden EML überlagert wird
→ MCS finden nachts ideale Bedingungen (LLJ transportiert feuchte Luft)

Ac cas können, müssen aber keine Vorboten von elevated convection darstellen – sie stehen in erster Linie für Feuchtlabilität in der Höhe, was SBCAPE nicht ausschließt.

elevated convection ist auch tagsüber zu erwarten, wenn dynamische Hebung groß ist (vgl. 23.6.2011 in Südösterreich, 2.8.2007 im Alpenraum), typisch sind Gewitter, die scheinbar unabhängig vom Relief ziehen (egal ob Berg oder Tal, Hauptsache drüber)



Corfidi et al. (2008)

Übergang von bodengebundener (PBL) zu entkoppelter Konvektion, mit castellanus als Übergangsform.

Achtung: elevated convection muss nicht zwangsläufig hochbasig sein!

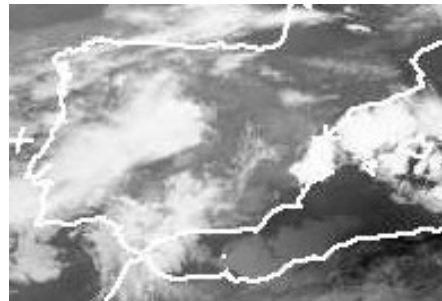
24. Mai 2007, 00 UTC:

- 750 J/kg MLCAPE oberhalb 780 hPa

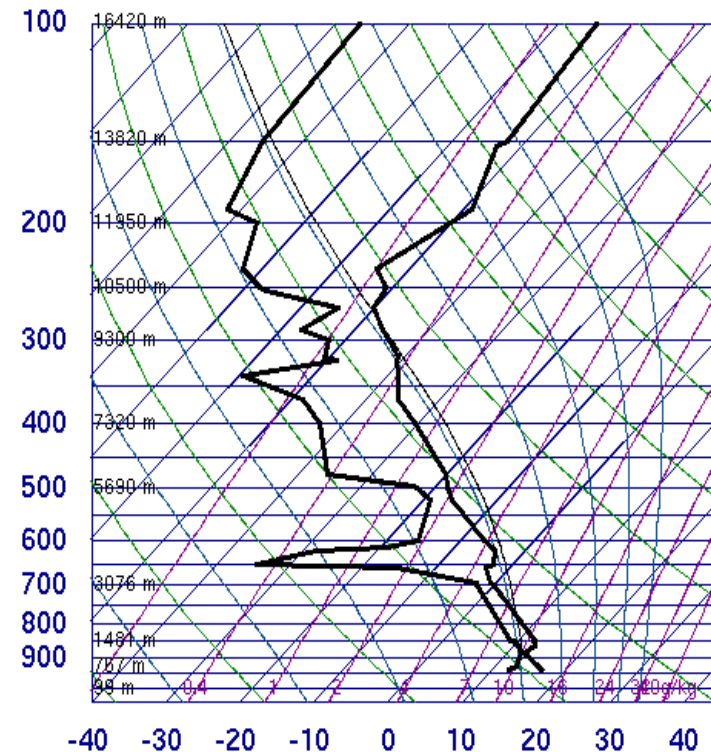
Gewitterbildung nachts westl. und östl. von Madrid

Quelle:

Sat Dundee



08221 LEMD Madrid



SLAT	40.50
SLON	-3.58
SELV	633.0
SHOW	-4.23
LIFT	-4.16
LFTV	-4.37
SWET	373.8
KINX	37.40
CTOT	27.50
VTOT	30.30
TOTL	57.80
CAPE	764.4
CAPV	835.6
CINS	-38.1
CINV	-33.1
EGLV	284.9
EQTV	284.3
LFCT	780.5
LFCV	788.9
BRCH	8.37
BRCV	9.15
LCLT	285.1
LCLP	882.3
MLTH	295.5
MLMR	10.07
THCK	5591.
PWAT	23.26

00Z 24 May 2007

University of Wyoming

8) Fallbeispiele für Unwetter-Begleiterscheinungen

Viele Erdbeben: 29.7.2008, Innsbruck, http://www.youtube.com/watch?v=auFbaL_FRyl)

- LCL > -10°C (Quelle für unterkühltes Wolkenwasser), EL < -20 (Eiskernbildung)
- CAPE > 100-200 J/kg innerhalb der 0 bis -20°C-Schicht

Starkregen: 8.6.2011, Wien: 50 mm in 30min)

- geringer Höhenwind, training cell effect, hoher PWAT, orographische Hebung

Kleiner, dichter Hagel < 2 cm: 24.8.2010, München

- starke Scherung, viel 0-3 km CAPE
- kaum Scherung, viel CAPE (stationäre Einzelzellen)

Großhagel: 16.8.2008, Losiewice, Polen: 10 cm; 28.6.2006, Villingen-Schwenningen, D: 8-12 cm

- langsam ziehende Multizellen (maximal 5 cm) und Superzellen (Europa: ca. 15 cm)
- hoher PWAT, viel Flüssigwasser zwischen -10 und -30, WBZ zwischen 2,2 und 3,2 km
- viel CAPE, moderate Scherung

Downbursts: 22.6.2011, Alpennordseite, Flachgau: 130 km/h, Rosenheim: > 150 km/h

- trockene Grenzschicht (Verdunstungskälte) , hoher PWAT (Niederschlagslast), hohe bodennahe Scherung (Impulstransport), Störungsdruckgradientkräfte (Superzellen), Großhagel (entzogene Schmelzwärme)

Tornados:

- **Typ I: Superzellentornados; erhöhte SRH, DLS, niedrige LCLs, starke bodennahe Scherung**

Bsp: 21.6.2011, Pardubice, F1-T3, 26.5.11, Klosterneuburg F2-T4, Hipperdorf F1-T3, 22.5.2009, Rannersdorf am Sassbach F2-T4

- **Typ-II: nichtsuperzellig, geringe 0-3 km Scherung, bodennahe Konvergenzlinie, viel 0-3 km CAPE, niedrige LCLs**

Bsp: 11.5.2009, Atzenbrugg, F0-T1, 13.5.2010, Mogersdorf, F0-T0

- **Hybridformen: an Squall lines, flanking lines, Outflow Boundaries**

Bsp: 14.5.2011, Müllendorf, F1-T3, evtl. 8.6.11, Klosterneuburg, abends

Polen am 15.8.2008

Tornados (ab F2-T4)

F3-T6 in Gorzkowice

F2-T5 in Kletnia

F3-T6 in Radomsko

F3-T6 in Kalina

F3-T7 in Dolnica

Hagel (> 5 cm)

6 cm in Zdieszowice

6 cm in Czeladz

7 cm in Katowice

7 cm in Bedzin

8 cm in Brzeziny slaskie

8 cm in Piekary slaskie

8,5 cm in Siemianowice

Polen am 16.8.2008

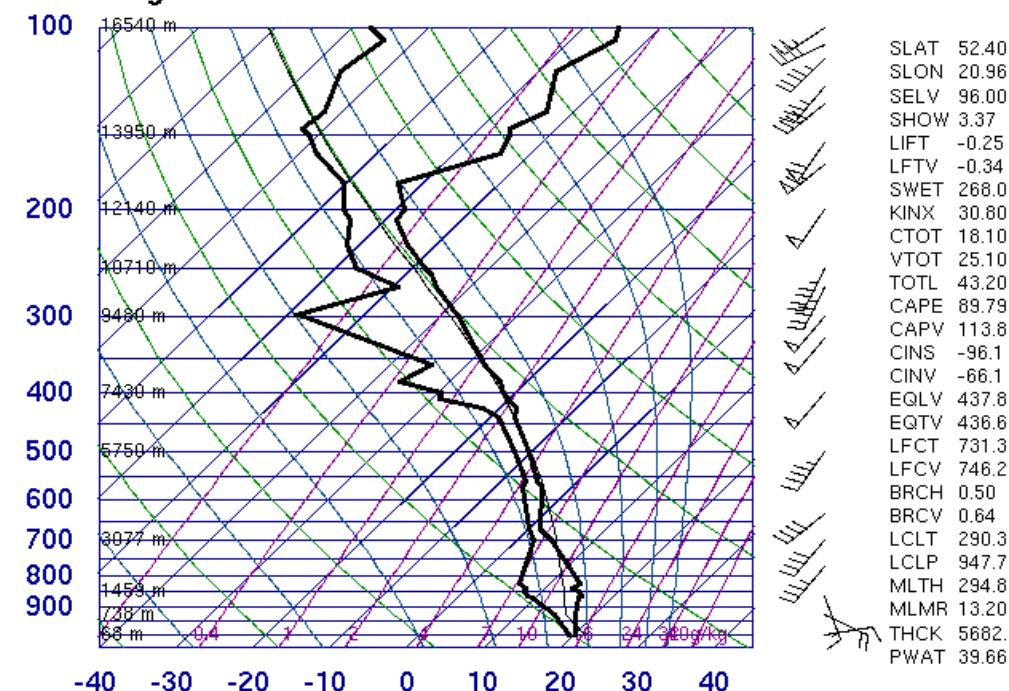
6cm Hagel in Minsk

10 cm Hagel in Losiewice

F1/T3-Tornado in Seroczyn mazowieckie

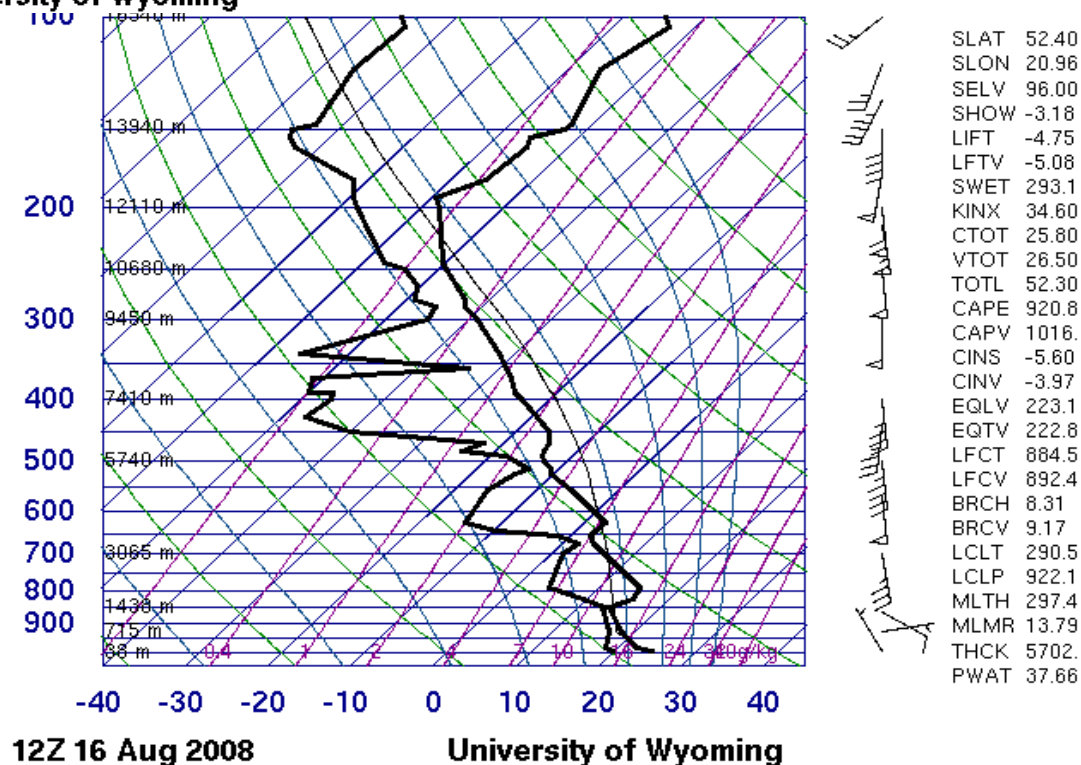
F1 in Osipy Kolonia

12374 Legionowo



12Z 15 Aug 2008

University of Wyoming



12Z 16 Aug 2008

University of Wyoming

Literatur und Bildquellen:

1) Radiosondenaufstiege

<http://weather.uwyo.edu/upperair/europe.html>

<http://www.modellzentrale.de/WRF/index.php>

2) Lightningwizardkarten (8,11,14,17,22)

<http://www.lightningwizard.com/maps/>

3) Modellkarten (15,17,22)

<http://wetter3.de/>

<http://www.wetterzentrale.de/topkarten/>

<http://www.modellzentrale.de/WRF/index.php>

4) sonstige Abbildungen (31,33,35,40)

<http://www.unwetterstatistik.at/analysen/schwergewitter/2007/3.pdf>

<http://davieswx.blogspot.com/2011/05/27-april-2011-extraordinary-environment.html>

www.seewetter-kiel.de

<http://www.sat.dundee.ac.uk>

Corfidi et al. (2008), siehe folgende Folie

Literaturangaben

1) Hyperlinks

Folie 10: <http://www.weather.gov/glossary/>

Folie 14:

<http://www.bangladeshtornadoes.org/EML/emlpage3b.html>

http://www.erh.noaa.gov/btv/research/BanacosEML_waf.pdf

Folie 16,30: <http://www.estofex.org/guide> und www.wdtb.noaa.gov/

Folie 24: <http://ams.confex.com/ams/pdfpapers/47319.pdf>

Folie 26

http://www.nssl.noaa.gov/users/brooks/public_html/papers/ECSS2004.pdf

http://www.flame.org/~cdoswell/tornado_musings/tornado_musings_08.html

Folie 32 http://twister.ou.edu/MM2005/Supercell_3.ppt

<http://www.wetteran.de/soundings/explanations/hodograph.htm>

2) Wissenschaftliche Literatur

- *Corfidi et al. (2008), Elevated convection and castellanus: Ambiguities, Significance, and Questions*
- Doswell & Markoswkis (2004), Is buoyancy a relative quantity?
- Houze (2003), *Cloud dynamics (Buch)*
- Craven et al.(2002), Baseline climatology of sounding derived parameters associated with deep, moist convection
- Brooks and Craven (2002), *A database of proximity soundings for significant severe thunderstorms, 1957-1993*
- Brooks et al. (2005), Climatological aspects of convective parameters from the NCAR/NCEP reanalysis
- Markowski et al. (2002), *Direct surface thermodynamic observations within rear-flank downdrafts of nontornadic and tornadic supercells*
- Johns et al. (1993), Some wind and instability parameters associated with strong and violent tornados. Part 2
Variations in combinations of wind and instability parameters
- Gilmore & Wicker (1998), *The influence of midtropospheric dryness on supercell morphology and evolution*
- Atkins & Wakimoto (1991), Wet microburst activity over the southeastern United States: Implications for forecasting
- Gatzen & Groenemeijer (2005), *Forecasting tornadoes using model- and sounding derived parameters*
- Davies-Jones et al. (1990), Test of helicity as a tornado forecast parameter
- Davies & Johns (1993), *Some wind and instability parameters associated with strong and violent tornadoes. Part 1: Wind shear and helicity*