

Wolkenschnüffler



<http://wolkenschnueffler.de>

Gewitter - Grundformen, Phänomene und Gefahren



Grundform Einzelzelle (selten)



Foto Bernhard Mühr, Universität Karlsruhe
Grundform Multizellen-Cluster (häufig)



Foto Jarin Nemecek, krysaq@krysaq.cz
Grundform Superzelle (selten)



Gewitter – Grundformen, Phänomene und Gefahren

1. Kurze Einführung in die Meteorologie

1.1 Begriffserklärung, Teilgebiete der Meteorologie, Aufgaben des Wetterdienstes und Größenspektrum meteorologischer Bewegungssysteme

1.2 Aufbau und Bedeutung der Troposphäre

1.3 Wolken in der Troposphäre

1.4 Relevanz der Vertikalbewegungen in der Troposphäre für Wolken/Niederschläge und die troposphärischen Zustände labil und stabil



2. Bildungsvoraussetzungen und Intensität von Gewittern
 - 2.1 Schematische Darstellung und kurze Erläuterung der meisten Gewitterphänomene
 - 2.2 Entstehung und Vorkommen in mittleren Breiten
 - 2.3 Intensitätsfördernde und -abschwächende Faktoren
3. Grundformen von Gewittern und ihre typischen Eigenschaften
 - 3.1 Einzelzelle
 - 3.2 Gemeinsamkeiten von Multi- und Superzellen
 - 3.3 Multizelle
 - 3.4 Superzelle
4. Mesoskalige konvektive Systeme - Konvergenzlinien und Squall lines



5. Entstehung, Erscheinungsformen und Auswirkungen von

5.1 Tornados

5.2 Downbursts

5.3 Starkniederschlägen

5.4 Hagelkörnern

5.5 Blitzen

6. Superzelle in Deutschland - kurze Anatomie einer Superzelle mit Tornado im Raum Duisburg am 18.07.2004

7. Kleine Evaluation - Abschlussbesprechung



Haben Sie

Fragen ?

Tipps ?

Hinweise ?

Anregungen ?

Kommentare ?

Bemerkungen ?

Ergänzungen ?

Falls zusätzliches Interesse an Fotos, -Bildungs- und Auflösungsprozessen von Wolken und ihrer Klassifikation besteht, besuchen Sie doch die Internetseite „<http://wolkschnueffler.de>“.





Kapitel 1

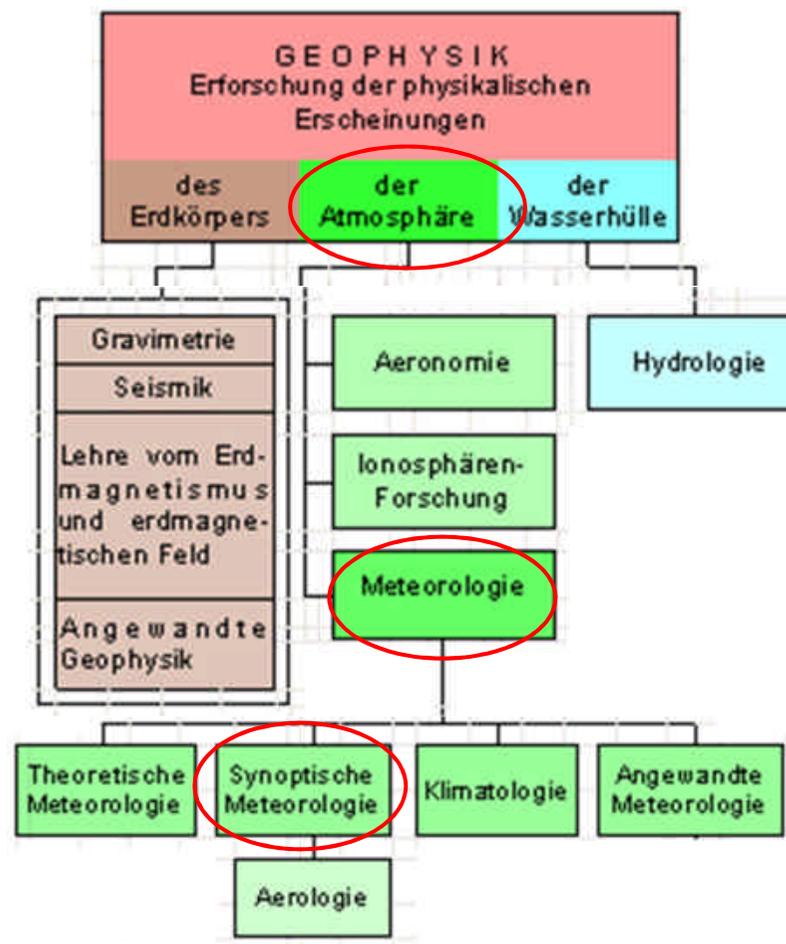
Kurze Einführung in die Meteorologie

- 1.1 Begriffserklärung, Teilgebiete der Meteorologie, Aufgaben des Wetterdienstes und Größenspektrum meteorologischer Bewegungssysteme
- 1.2 Die Troposphäre
- 1.3 Wolken in der Troposphäre
- 1.4 Relevanz der Vertikalbewegungen in der Troposphäre für Wolken und Niederschläge und die troposphärischen Zustände labil und stabil

1. Kurze Einführung in die Meteorologie

1.1 Begriffserklärung, Teilgebiete der Meteorologie

- Meteorologie → Physik der Atmosphäre
- Synoptische Meteorologie
Erfassung des augenblicklichen Zustandes der Atmosphäre (Wetter) durch Beobachtungen und Messungen am Erdboden sowie in der Höhe und Vorhersage seines Ablaufs mit Hilfe von numerischen Modellrechnungen (physikalische Gesetze, Erfahrungsregeln)
- Klimatologie
Lehre von den mittleren Zuständen (viele Jahre) in der Atmosphäre und dem durchschnittlichen Verlauf der Witterung über einem kleineren/größeren Gebiet.
- Witterung
Zustand der Atmosphäre über einem kleineren/größeren Gebiet in einem Zeitintervall von einigen Tagen bis zu einer Jahreszeit



Wetter (dreidimensionale Vorgänge)

Aktueller Zustand der Atmosphäre über einem definierten Ort zu einer bestimmten Zeit



Wetterelemente



z.B. Luftdruck, Lufttemperatur, Wolken, Niederschlag



physikalische (chemische) Abläufe in der Atmosphäre



dynamisch, komplex, vernetzt, rückkoppelnd

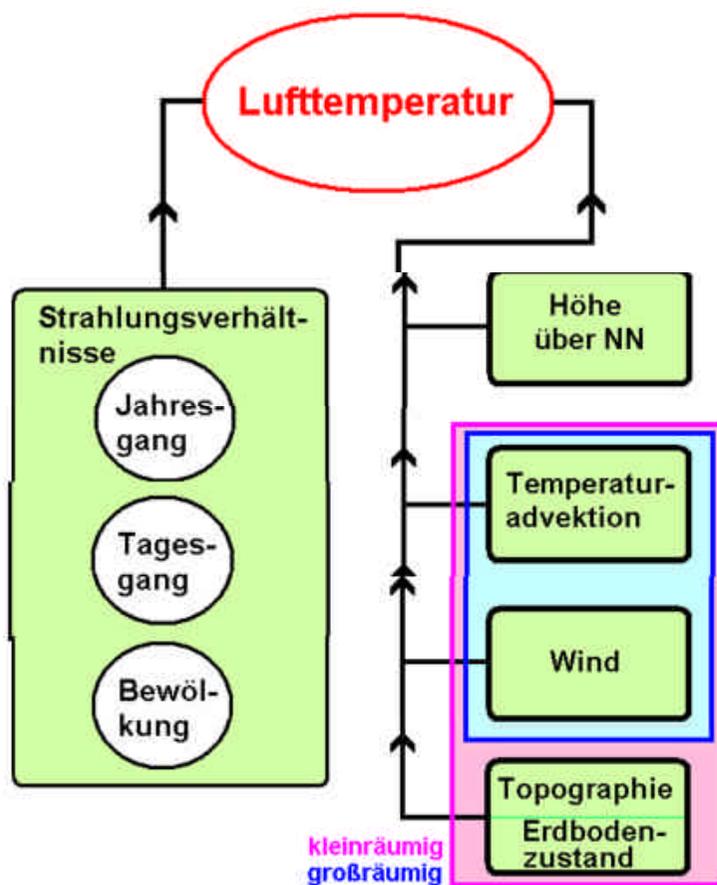


Gewitter – Grundformen, Phänomene und Gefahren



Wetter → dynamisch, komplex, vernetzt und rückkoppelnd

Beispiel: Vorhersage der Lufttemperatur



Beispiel großräumig

Tief über Skandinavien: kalte Luft aus nördlichen Breiten wird auf der Tief-Rückseite nach Süden geführt (KLA: Kaltluftadvektion)

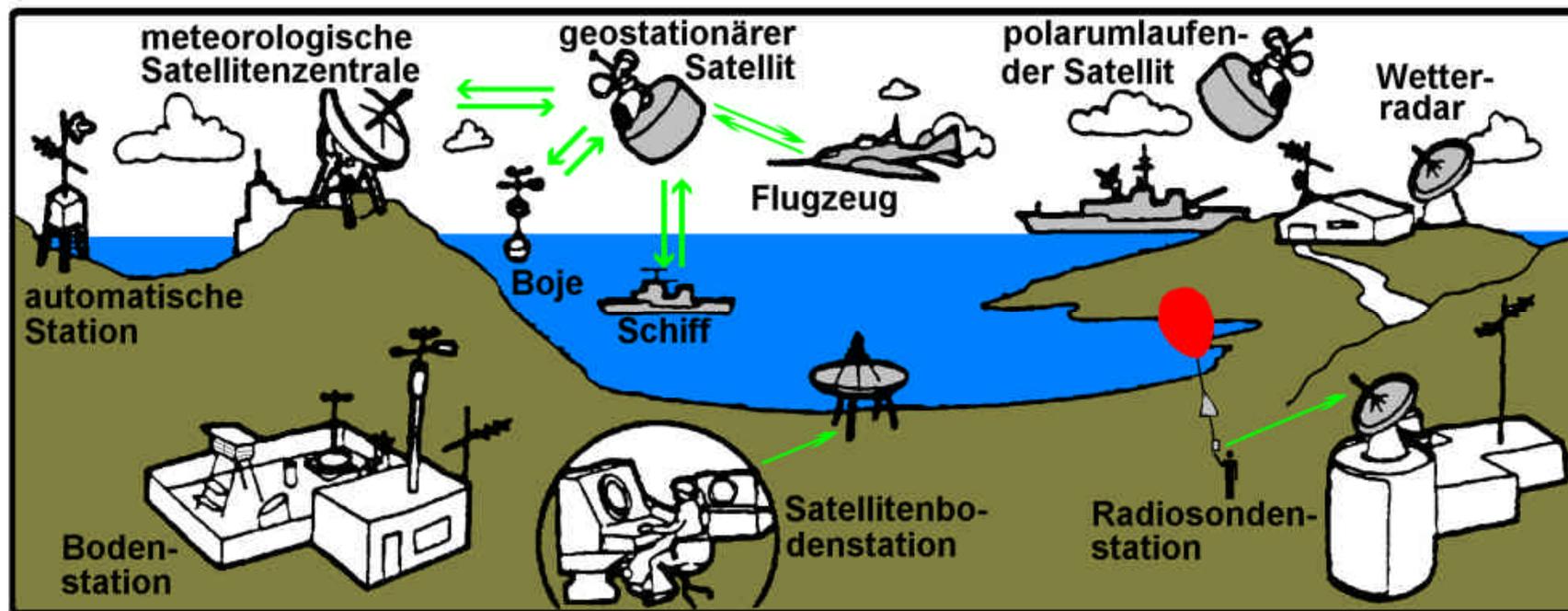
Beispiel kleinräumig

Seewind: kühle Luft wird vom Meer oder einem größeren See landeinwärts transportiert



weiter

Weltweite 24-stündige Wetterbeobachtung



Beobachtungen/Messungen der Wetterelemente am Erdboden (Land, Meer), in der Luft und aus dem Weltraum für Routinedienst und Forschung



Hilfsmittel zur Analyse der Wetterlage (Synoptische Meteorologie)

- Bodenwetterkarten → Darstellung des Luftdruckes in NN
(mittlerer Luftdruck: 1013.25 hPa)  vor 1

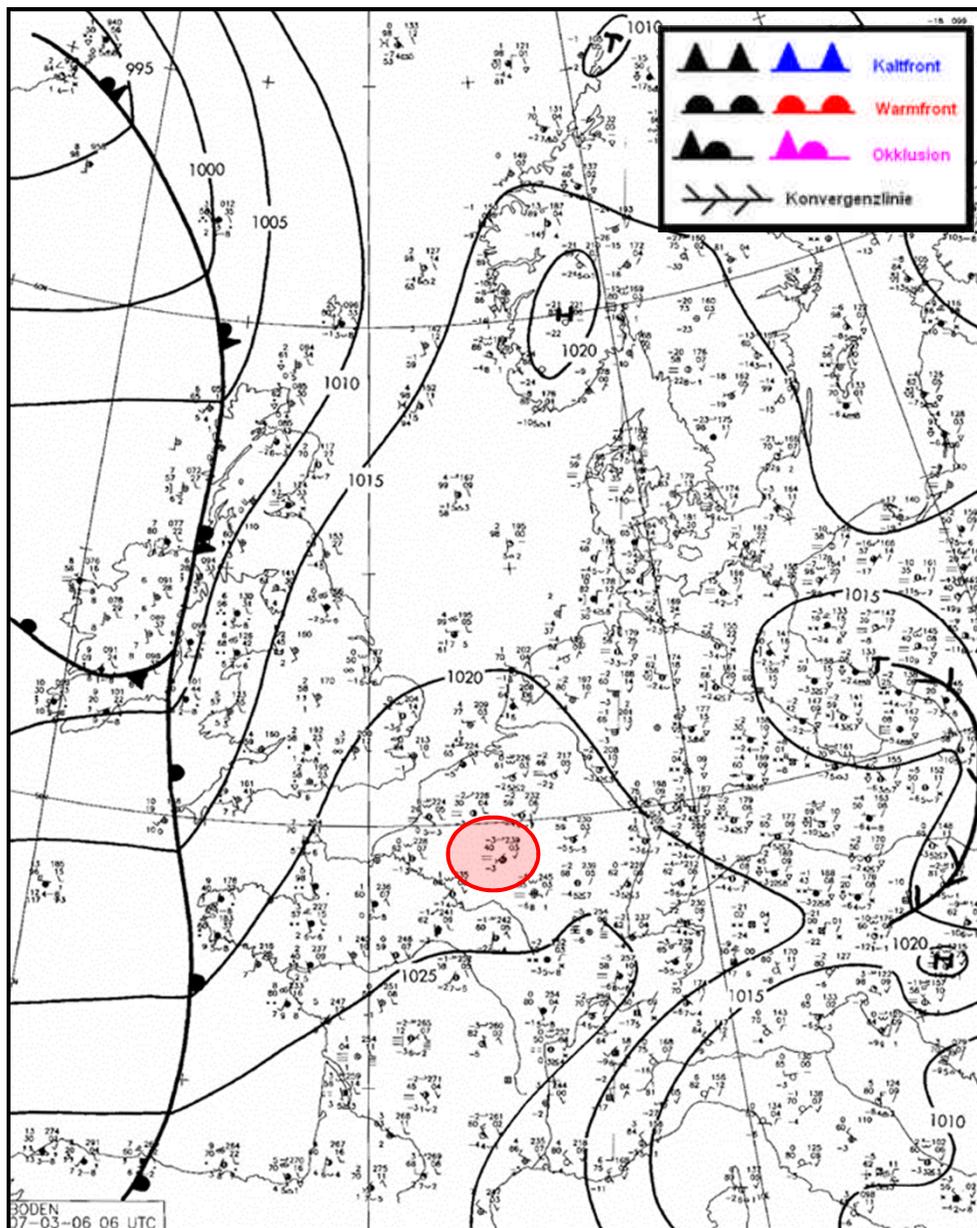
- Radiosondenaufstiege  vor 2

- Höhenwetterkarten → Darstellung der Höhe einer isobaren Fläche über NN; z.B.
 - 850 hPa (mittlere Höhe über NN: 1500 m)  vor 4
 - 500 hPa (mittlere Höhe über NN: 5400 m)  vor 5

- Satellitenbilder  vor 6

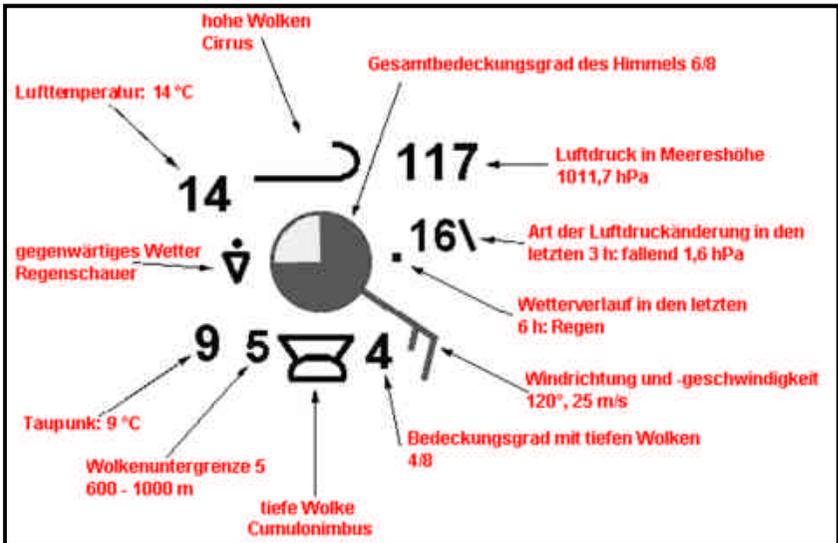
- Radarbilder  vor 6

Bodenwetterkarte

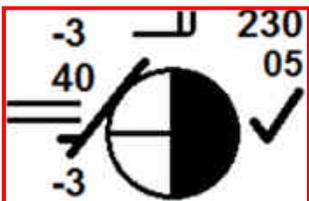


Inhalt der Bodenwetterkarte

Bodenwettermeldungen, Fronten, Konvergenzlinien, Isobaren von 5 zu 5 hPa mit Tief- und Hochdruckgebieten (Zyklonen und Antizyklonen)



Vereinfachtes Stationsmodell einer Bodenwettereintragung

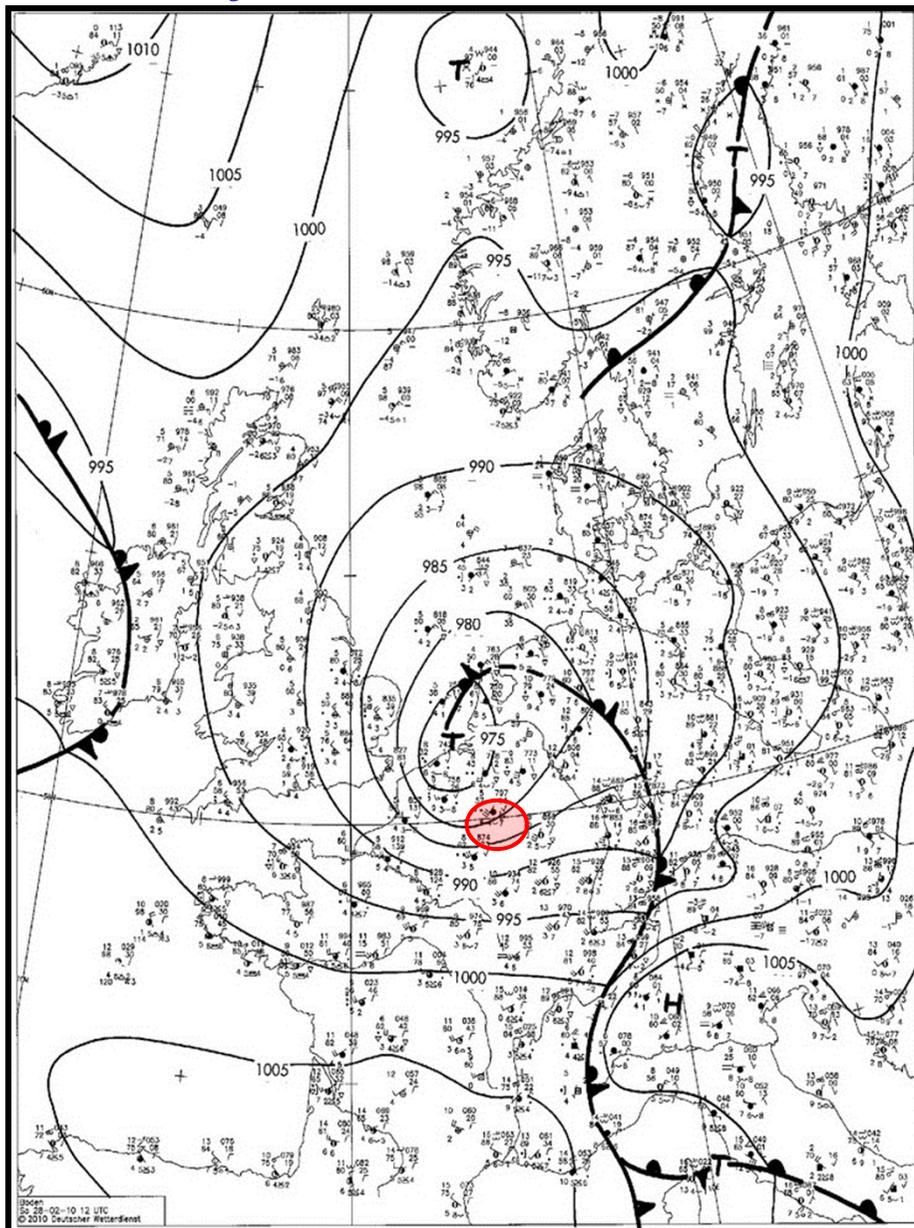


Ci spi, cas, oder flo : 5/8
 Luftdruck : 1023,0 hPa
 Luftdrucktendenz fallend/steigend in 3 h : 0,5 hPa
 Taupunkt : -3 °C

Bodenwind : 210° 5 m/s
 Wetter zum Termin : feuchter Dunst
 Horizontalsicht : 4 km
 Lufttemperatur : -3 °C



Orkantief Zynthia, 28. Februar 2010



Bodenwetterkarte Sonntag, den 28.02.2010, 12 UTC



Baumschäden in 63303 Dreieich-Offenthal; auf 800 m Weglänge am Waldrand ca. 30 entwurzelte Kiefern



Radiosondenaufstiege



Start einer Autosonde des DWD



Radiosondengespann mit Ballon, Fallschirm und Radiosonde (nicht DWD)



Vaisala-Radiosonde RS92 (DWD)

Messgrößen einer Radiosonde im Routinedienst
 Luftdruck, Lufttemperatur und Luftfeuchte (um 00 und 12 UTC, weltweit)

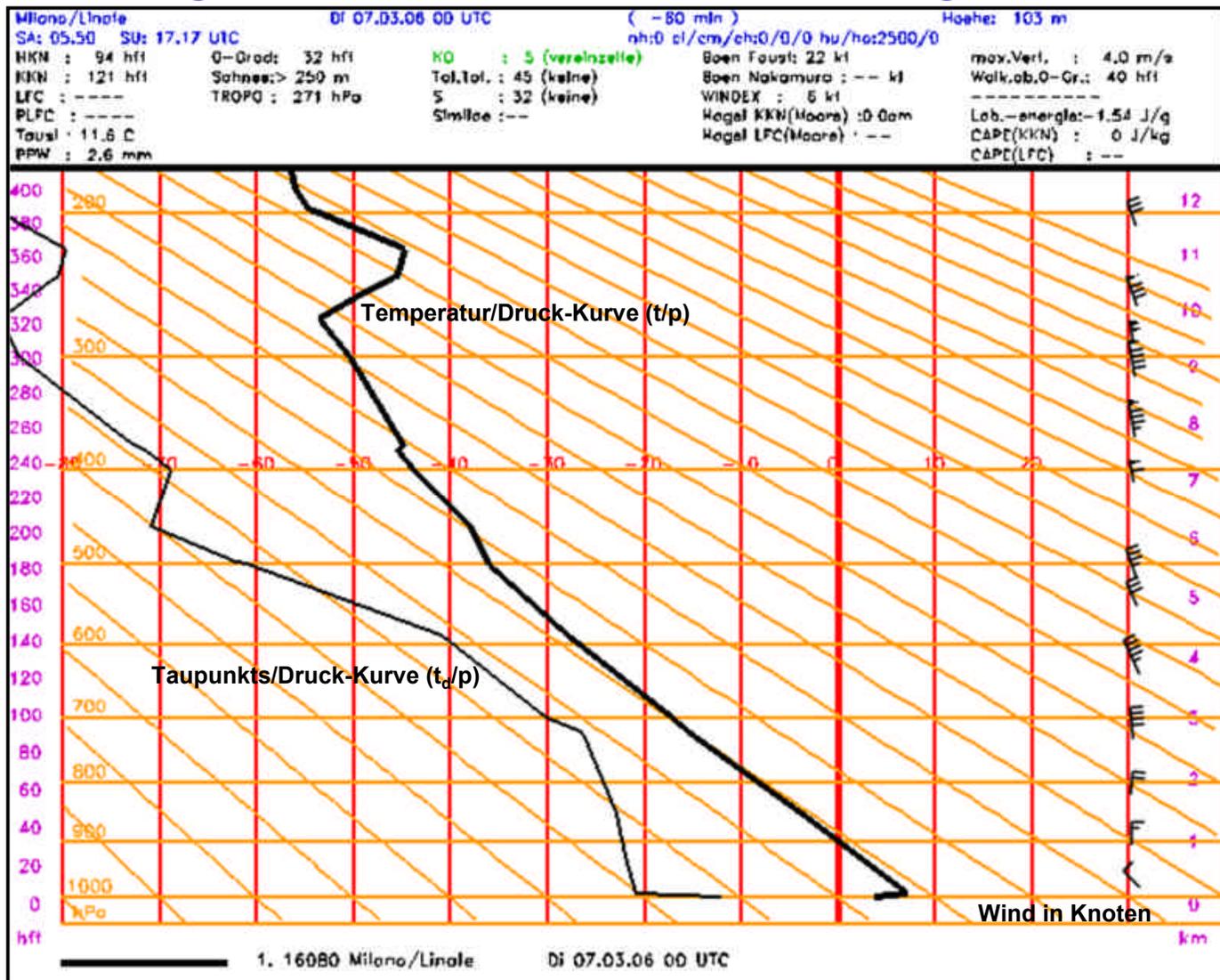
Verfolgung des Ballons mit Radar
 Wind und Höhe

Eintragung der Messgrößen Lufttemperatur, Luftfeuchte, Höhe und Wind
 in Karten gleichen Luftdruckes → Höhenwetterkarten

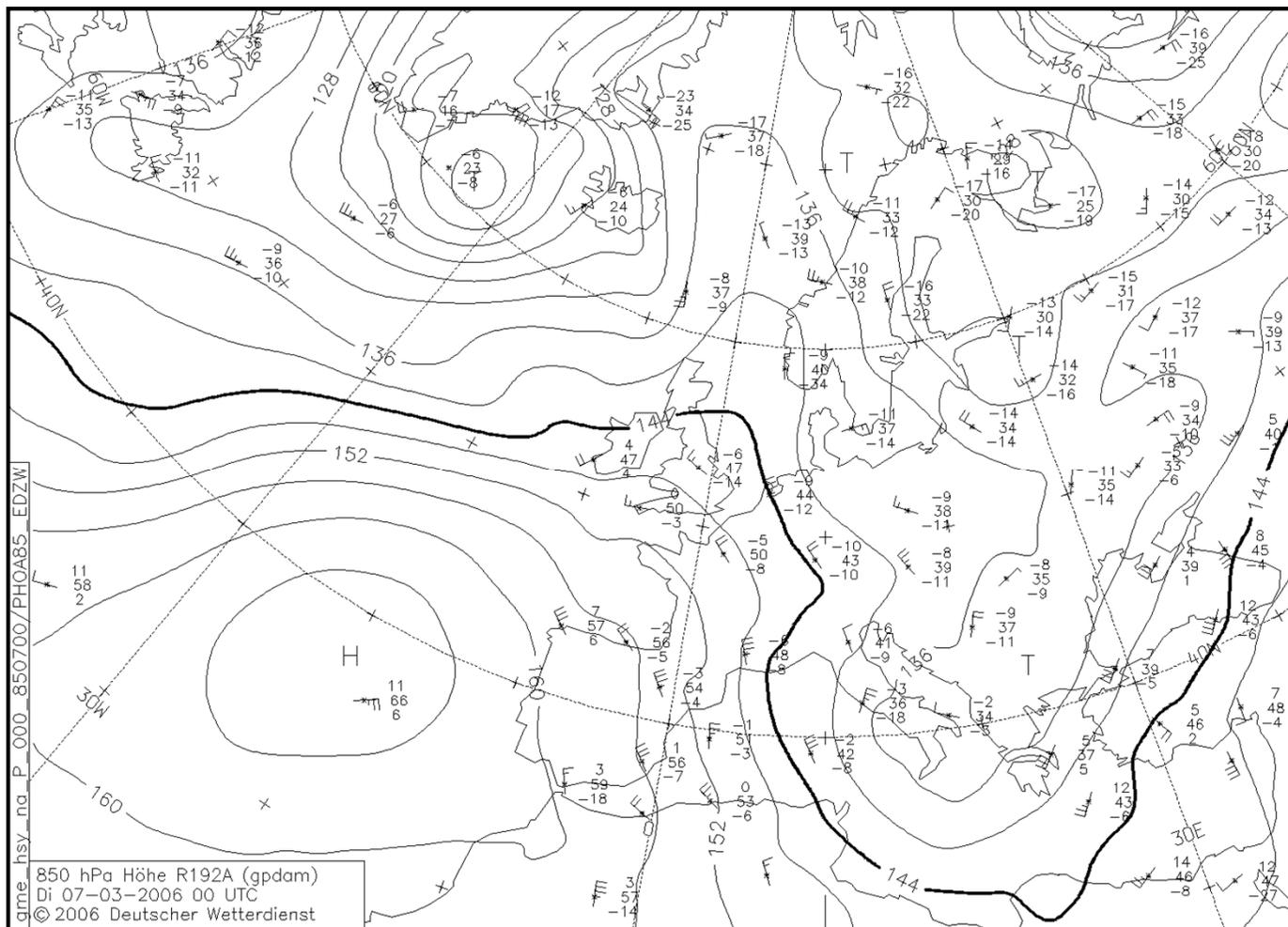
Höhenwetterkarten
 850, 700, 500, 400, 300, 250, 200, 150 und 100 hPa



Darstellung der Messdaten von Radiosondenaufstiegen



Höhenwetterkarte 850 hPa



Stationsmodell einer Eintragung in der Höhenwetterkarte 850 hPa

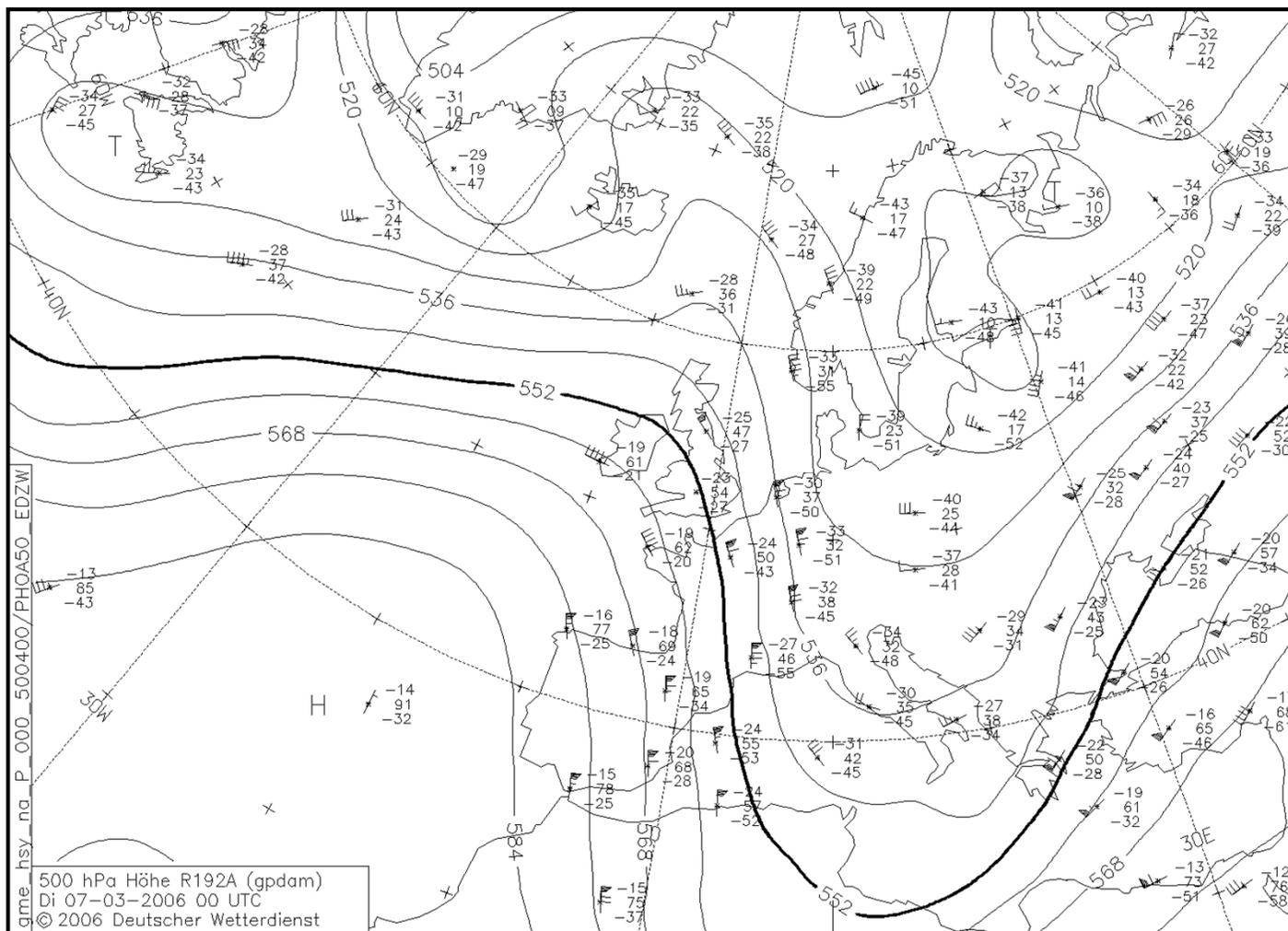


Höhenwind : 70° 25 m/s
 Lufttemperatur : 4 °C
 Höhe : 1470 m
 Taupunkt : 2 °C

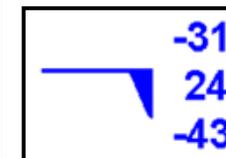
Inhalt der Höhenwetterkarte 850 hPa, mittlere Höhe 1500 m über NN
 Isohypsen von 4 zu 4 dam mit Tief- und Hochdruckgebieten (Zyklonen und Antizyklonen)



Höhenwetterkarte 500 hPa



Stationsmodell einer Eintragung in der Höhenwetterkarte 500 hPa

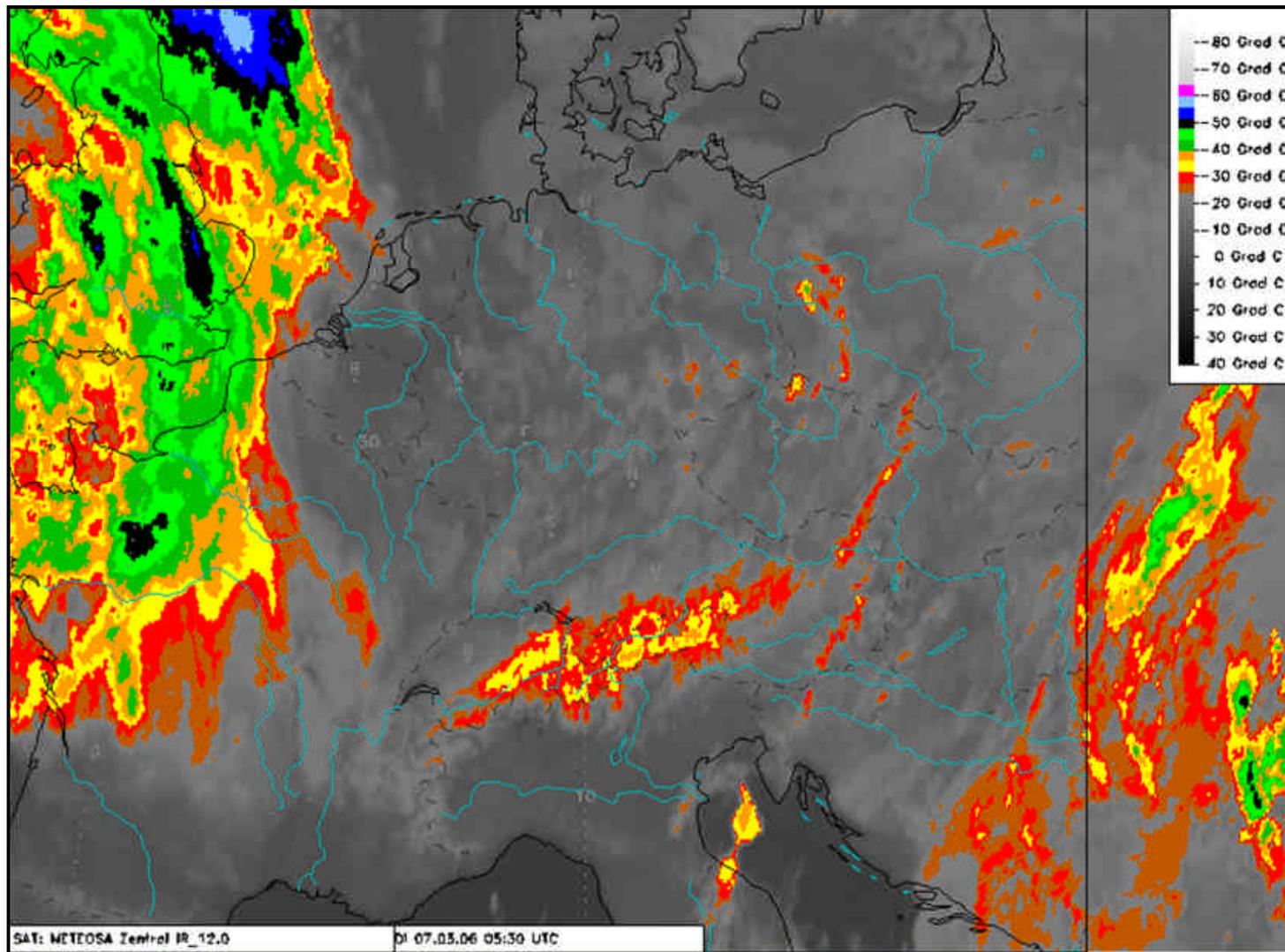


Höhenwind : 090° 50 m/s
 Lufttemperatur : -31 °C
 Höhe : 5240 m
 Taupunkt : -43 °C

Inhalt der Höhenwetterkarte 500 hPa, mittlere Höhe 5400 m über NN
 Isohypsen von 8 zu 8 dam mit Tief- und Hochdruckgebieten (Zyklonen und Antizyklonen)



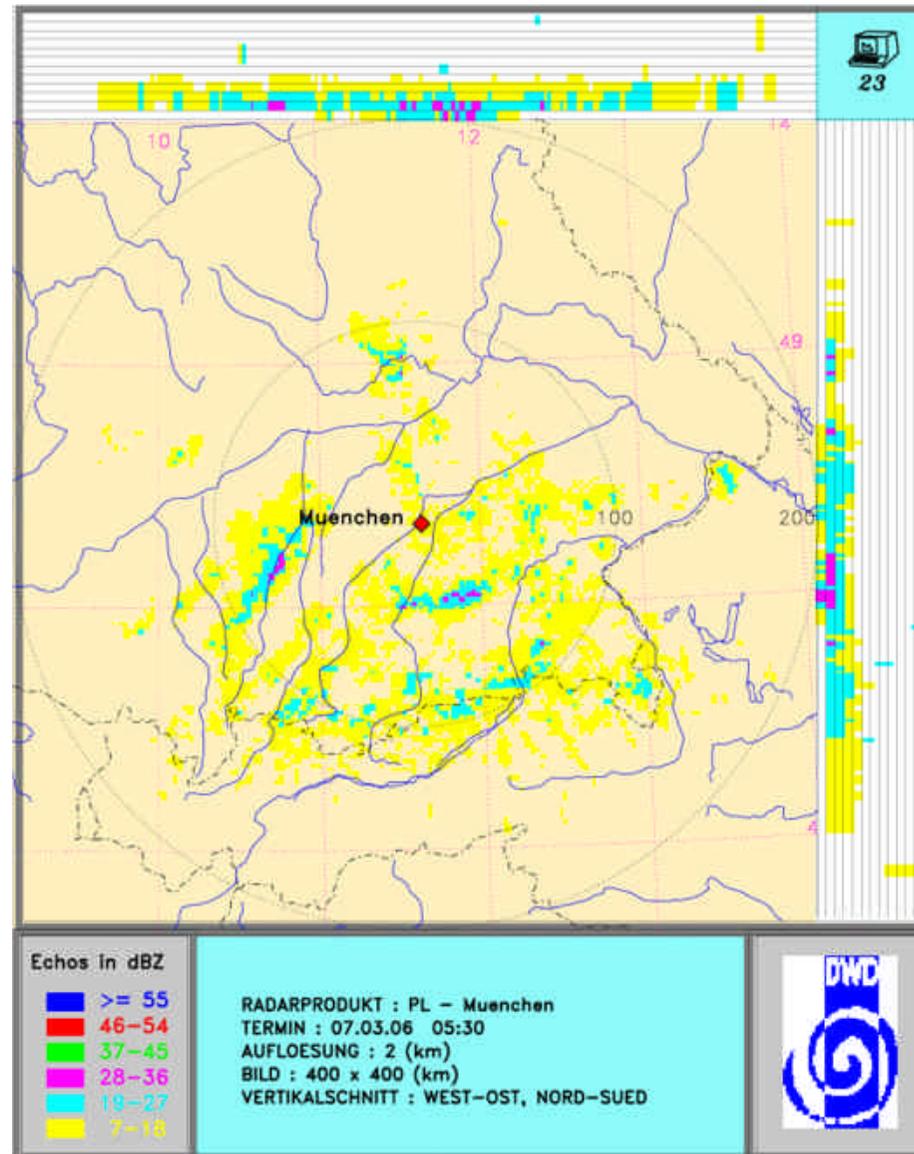
IR-Satellitenbild Meteosat



IR: Infrarot (Wärmestrahlung)



Radarbild München



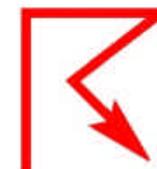
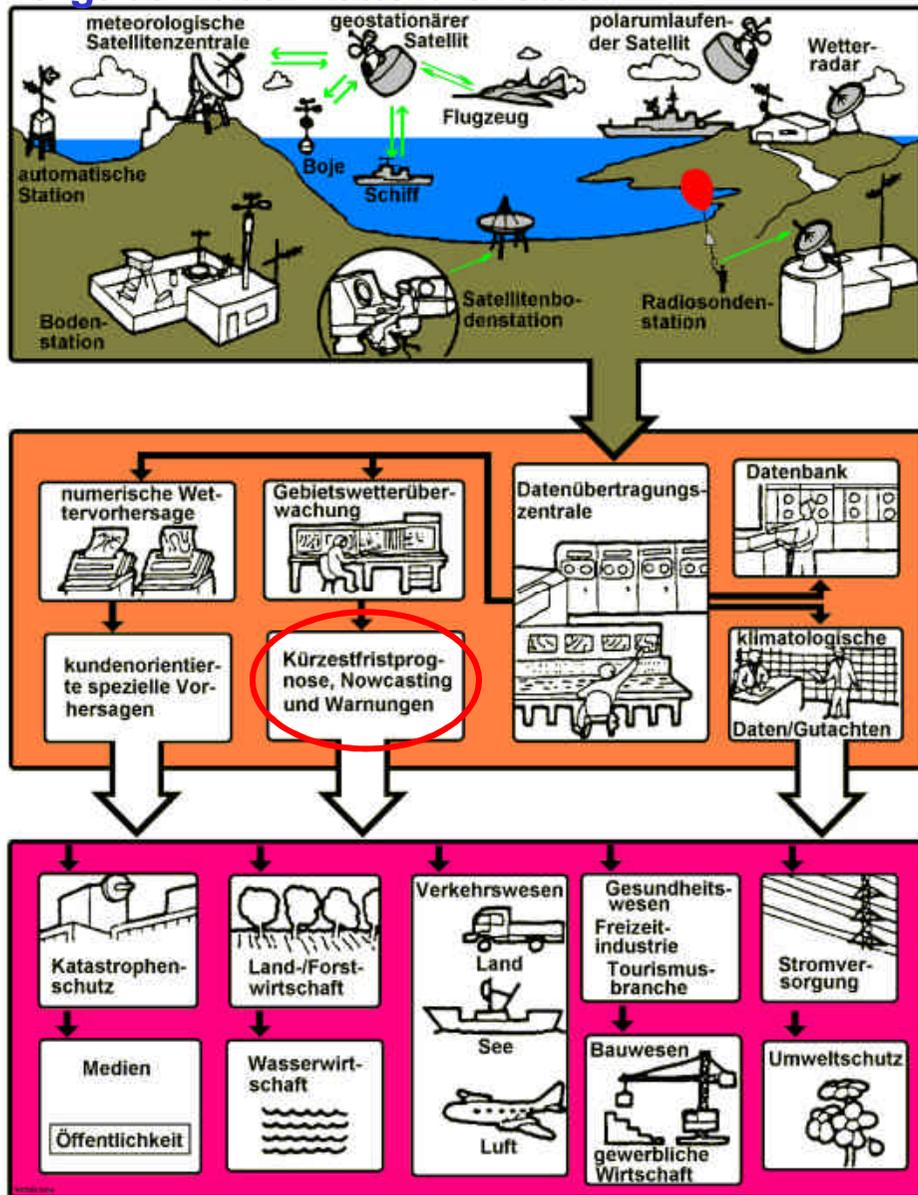
Radarbilder zeigen keine Wolken sondern deren Niederschlag.

Die Angabe der Echostärke oder Intensität Z erfolgt als logarithmische Angabe in Dezibel von Z (dBZ). Im DWD beginnt die Darstellung der Radarreflexion Z bei 7 dBZ und reicht bis 55 dBZ.



weiter

Aufgaben des Wetterdienstes



z.B. vor Schwergewittern

Vorhersagezeiträume

- Nowcasting : 0 - 6 h
- Kürzestfrist : 0 - 12 h
- Kurzfrist : 0 - 72 h (3 Tage)
- Mittelfrist : 4 - 10 Tage
- Langfrist : über 10 Tage



Problematik der numerischen Vorhersage (z.B. Verwendung nicht-linearer Gleichungen für die Wettervorhersage (dynamisches System))

- geringfügig Abweichungen der Eingangswerte können zu sprunghaften Änderungen der Ergebnisse führen (Chaos)
- festgestellt bereits 1963 vom US-Meteorologen E.N. Lorenz
 - erste Experimente mit der numerischen Wettervorhersage
 - Eingangswerte zweier Computerläufe unterschieden sich nur in der Anzahl der Dezimalstellen
 - 1. Input mit 6 Dezimalstellen
 - 2. Input mit 3 Dezimalstellen
 - große Abweichungen beider Ergebnisse voneinander →  -Effekt
 - 1968 Beginn der numerischen Vorhersage im DWD
 - starke Abhängigkeit des dynamischen Systems Wetter von den Anfangsbedingungen
- u.a. deshalb Ensemble-Vorhersage am EZMW (Europäisches Zentrum für mittelfristige Wettervorhersage (Mittelfrist → 4. bis 10. Folgetag) → 51 Modellläufe



CDC 6600; Supercomputer 1963 von S. Cray



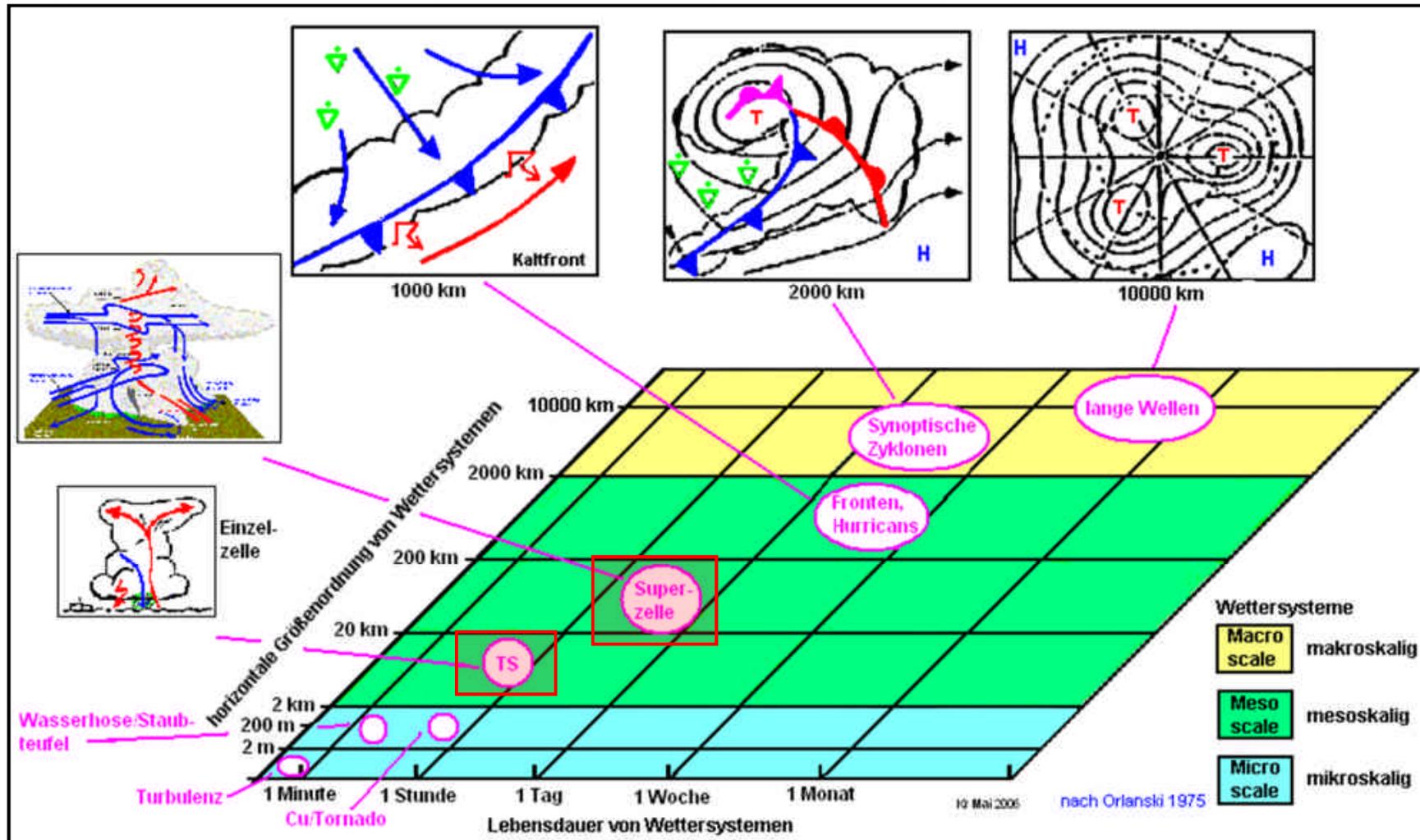
-Effekt

starke Abhängigkeit des dynamischen Systems Wetter von den Anfangsbedingungen



weiter

Ungefähre Größenordnung von meteorologischen Bewegungssystemen



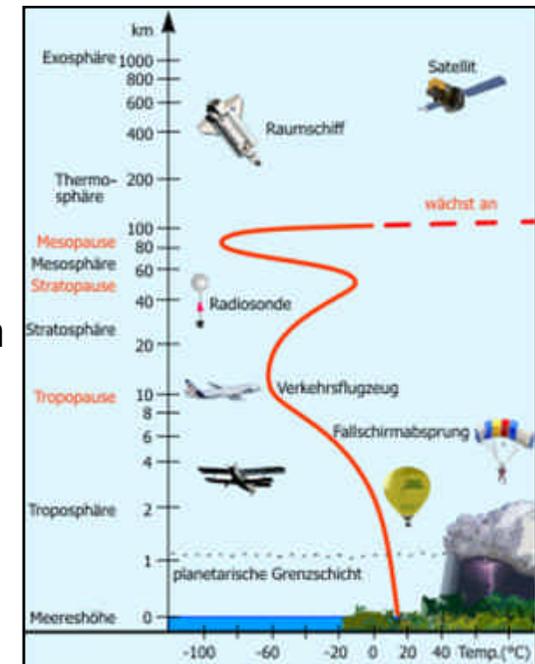
Größenordnung der unterschiedlichen dynamischen Wettersysteme extrem unterschiedlich: Andauer von wenigen Sekunden bis zu mehrere Wochen und horizontale Ausdehnung von Zentimetern bis zu 10000 km



weiter

1.2 Die Troposphäre

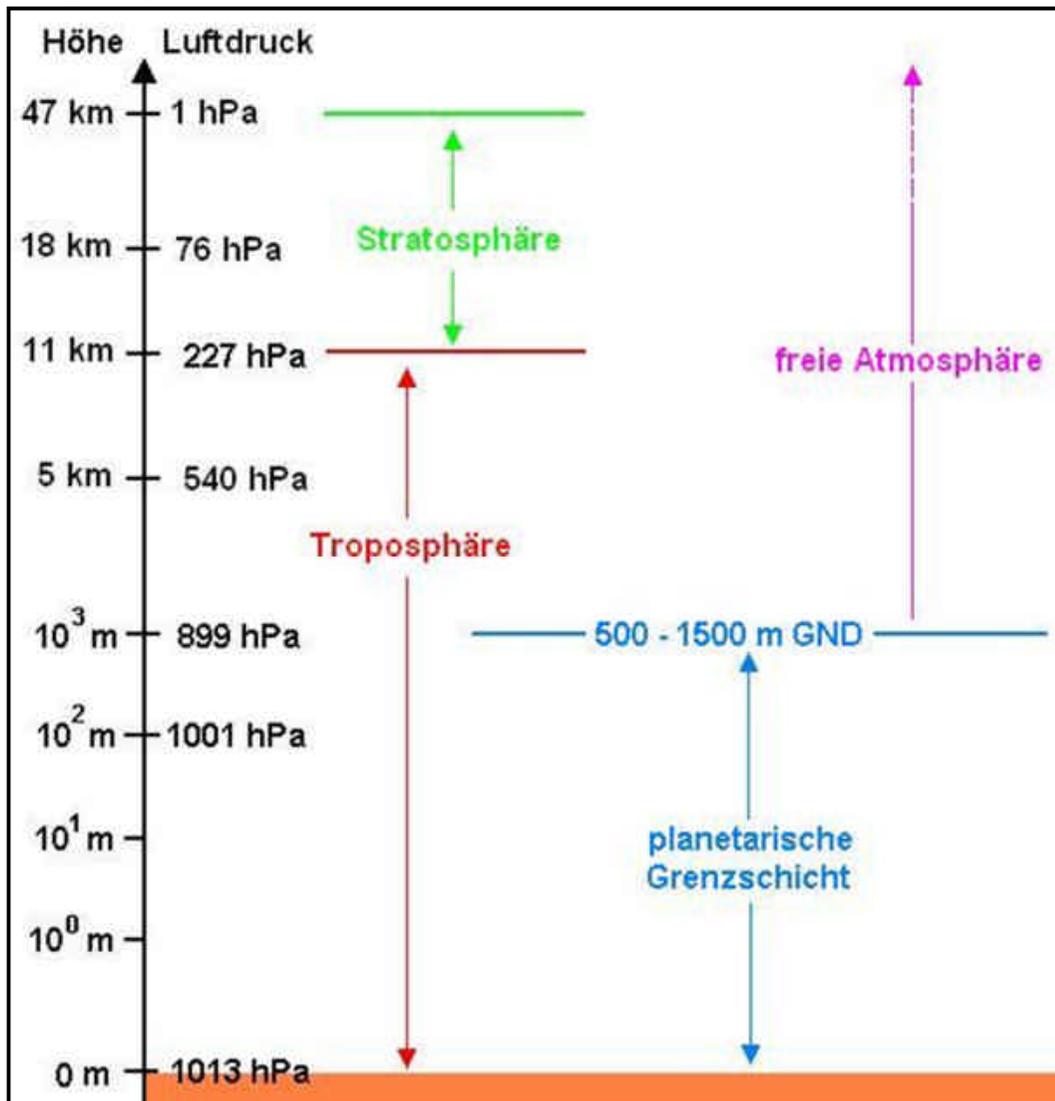
- unterste thermische Schicht der Atmosphäre
 - Untergrenze Erdboden, Obergrenze Tropopause
 - hohe Tropopausen in den Tropen und im Sommer
 - tiefe Tropopausen in den Polargebieten und im Winter
 - Höhe Tropopause: Tropen 16 - 18, polare Breiten 8 - 10 km
- Temperatur in Troposphäre nimmt mit der Höhe ab
 - 15 °C in NN, -56.5 °C in 11 km (Tropopause)
- Troposphäre enthält ca. $\frac{3}{4}$ der gesamten Masse und fast 100% des gesamten Wasserdampfes der Erdatmosphäre
 - **Wetterschicht** (Wolken- und Niederschlagsbildung)
- Schichtdicke der Troposphäre auf einem Globus mit 1.27 m Durchmesser: 1 mm



[Quelle: Uni-Kassel]



Troposphäre



ICAO-Standardatmosphäre (ISA)

International Civil Aviation Organization

Normal Null (NN)

$h = 0 \text{ km}$, $t = 15 \text{ °C}$, $p = 1013.25 \text{ hPa}$

Tropopause (Obergrenze der Troposphäre)

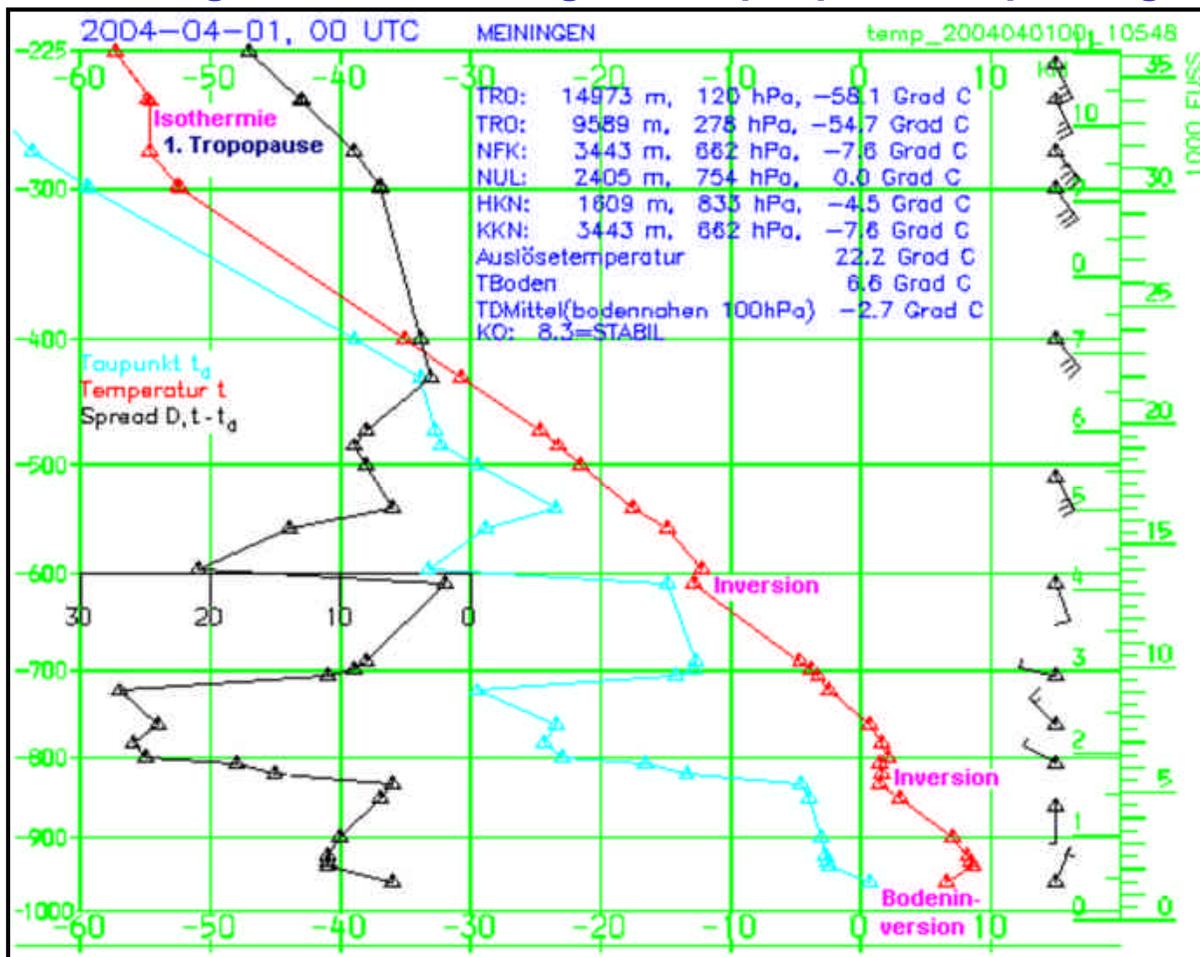
$h = 11 \text{ km}$, $t = -56.5 \text{ °C}$, $p = 227 \text{ hPa}$

Temperaturabnahme mit der Höhe in der Troposphäre (vertikaler Temperaturgradient):
0.65 K pro 100 m



weiter

Meteorologische Darstellung der Troposphäre im p/t-Diagramm



Darstellung heißt TEMP

Einfaches thermodynamisches Diagrammpapier nach G. Stüve

z-Achse : Luftdruck p [hPa]
 x-Achse : Lufttemperatur t [°C]

Kurven im Stüvedigramm

Temperatur/Druck-Kurve (t/p)
 Taupunkts/Druck-Kurve (t_d/p)
 Taupunktsdifferenz/Druck-Kurve ($t - t_d/p$)

TEMP der Radiosondenstation Meiningen, 01.04.2004, 00 UTC



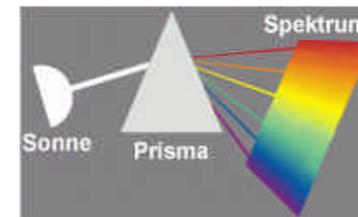
1.3 Wolken in der Troposphäre

– grobe Definition

- sichtbare, schwebende, den Erdboden nicht berührende Anhäufung von Wassertröpfchen u./o. Eisteilchen

• Wolkenelemente sind sichtbar

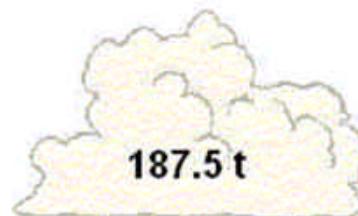
- sie sind größer als die Wellenlängen λ_{VIS} des sichtbaren Lichtes und damit für das menschliche Auge in ihrer Gesamtheit erkennbar $\rightarrow \lambda_{\text{VIS}} \approx 0.4 \cdot 10^{-6}$ bis $0.7 \cdot 10^{-6}$ m



Zerlegung des sichtbaren Lichts (weiß) der solaren Strahlung durch ein Prisma in seine Spektralfarben

• Wolkenelemente schweben

- Aufwärtsbewegungen der Luft kompensieren das Gewicht der Teilchen
- Masse der H₂O-Tröpfchen einer Quellwolke mit einer Höhe von 1500 m und Basisfläche von 500 · 500 m beträgt ca. 187.5 t \rightarrow entspricht etwa 144 VW-Golf V



Wolkenklassifikation

- erste Wolkenklassifikationen
 - 1801 von Jean Lamarck (franz. Naturforscher)
 - 1803 Einteilung von Luke Howard (*1772, †1864, Pharmakologe und Apotheker)
 - 3 primäre Grundtypen
 - Cirrus, Cumulus und Stratus
 - Grundtypen wurden 1929 von IMO übernommen
(IMO: International Meteorological Organization, seit 1950 WMO: World Meteorological Organization)
 - Auswirkungen auf deutsche Literatur
 - Goethe schreibt Wolkengedichte, z.B. *Cirrus* (Johann Wolfgang von Goethe, *1749, †1832)
 - Doch immer höher steigt der edle Drang !
Erlösung ist ein himmlisch leichter Zwang.
Ein Aufgehäuftes, flockig löst sich's auf,
Wie Schäflein trippelnd, leicht gekämmt zu Hauf.
So fließt zuletzt, was unten leicht entstand,
Dem Vater oben still zur Hand.*



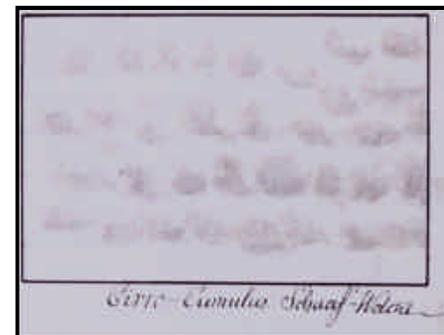
Cirrus



Cumulus



Stratus



Zeichnung von Goethe 1817; Ac, falsch als Cc bezeichnet



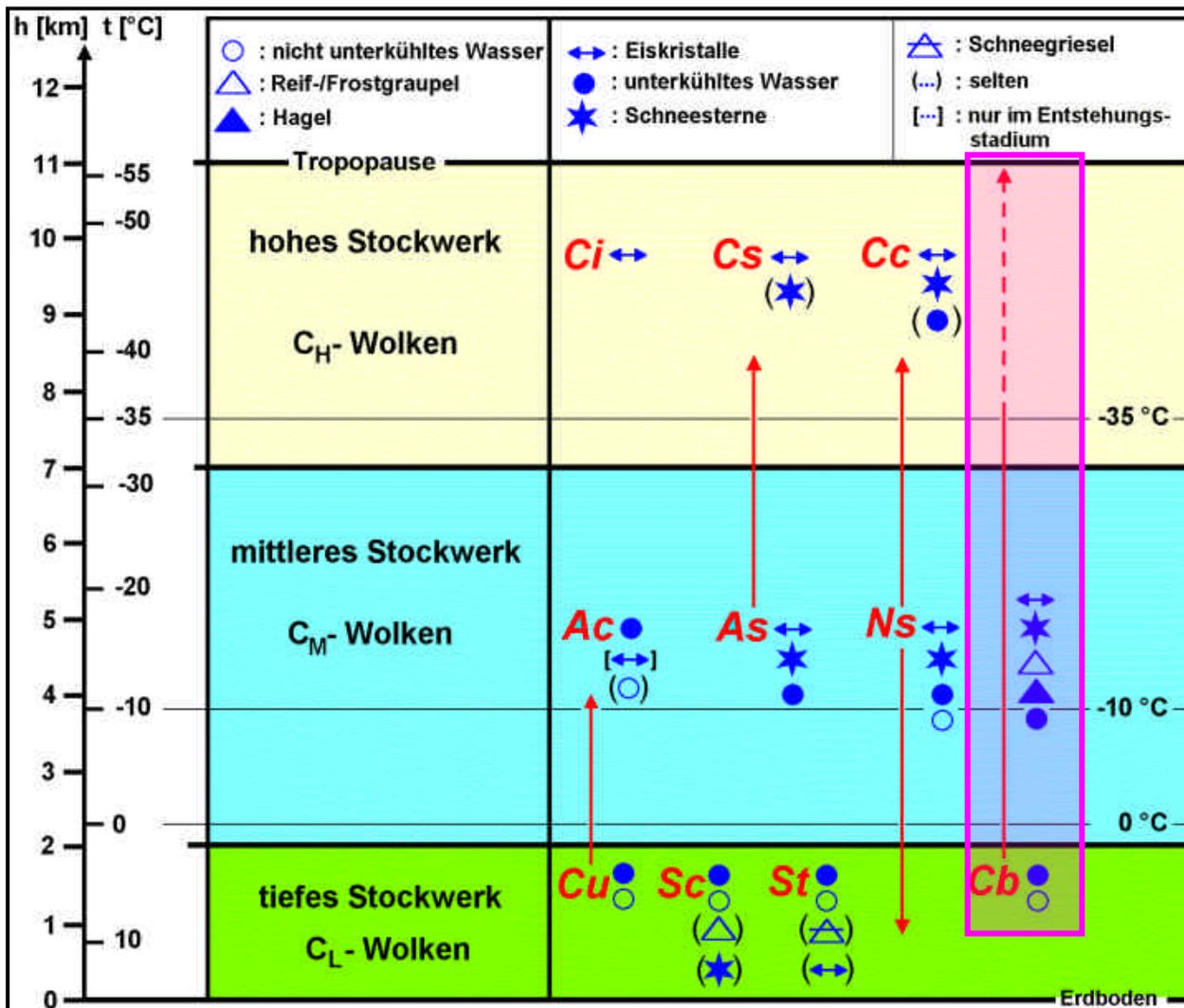
Wolkengattungen

Art/Größe/Anzahl und räumliche Verteilung der Wolkenelemente

Gattung	Allgemeines Aussehen der Wolke
Cirrus	isolierte Wolken, zarte Fäden, dichtere Flecken, weiß, faserig, seidiger Glanz
Cirrocumulus	Flecken, Felder, Schichten, weiß, körnig gerippt
Cirrostratus	weißlicher Schleier, faserig oder glatt
Alto cumulus	weißliche bis graue Flecken, Felder, Schichten, mosaikartig, wogenförmig, Eigenschatten
Altostratus	blaugraue Schicht
Nimbostratus	graue bis dunkle Schicht
Stratocumulus	graue, teils weißliche Flecken, Felder, Schichten, mosaikartig, wogenförmig, Eigenschatten
Stratus	durchweg graue, einförmige Schicht
Cumulus	Einzelwolke mit Vertikalentwicklung, bei scharfen Rändern glänzend weiß, teils blumenkohlartige Gipfel
Cumulonimbus	vertikal sehr mächtige Wolke, Ränder schlierig, streifig; Gipfel glatt oder ausgefranst, gelegentlich anboßförmig; Basis dunkel, drohend aussehend



Wolkenstockwerke der Troposphäre

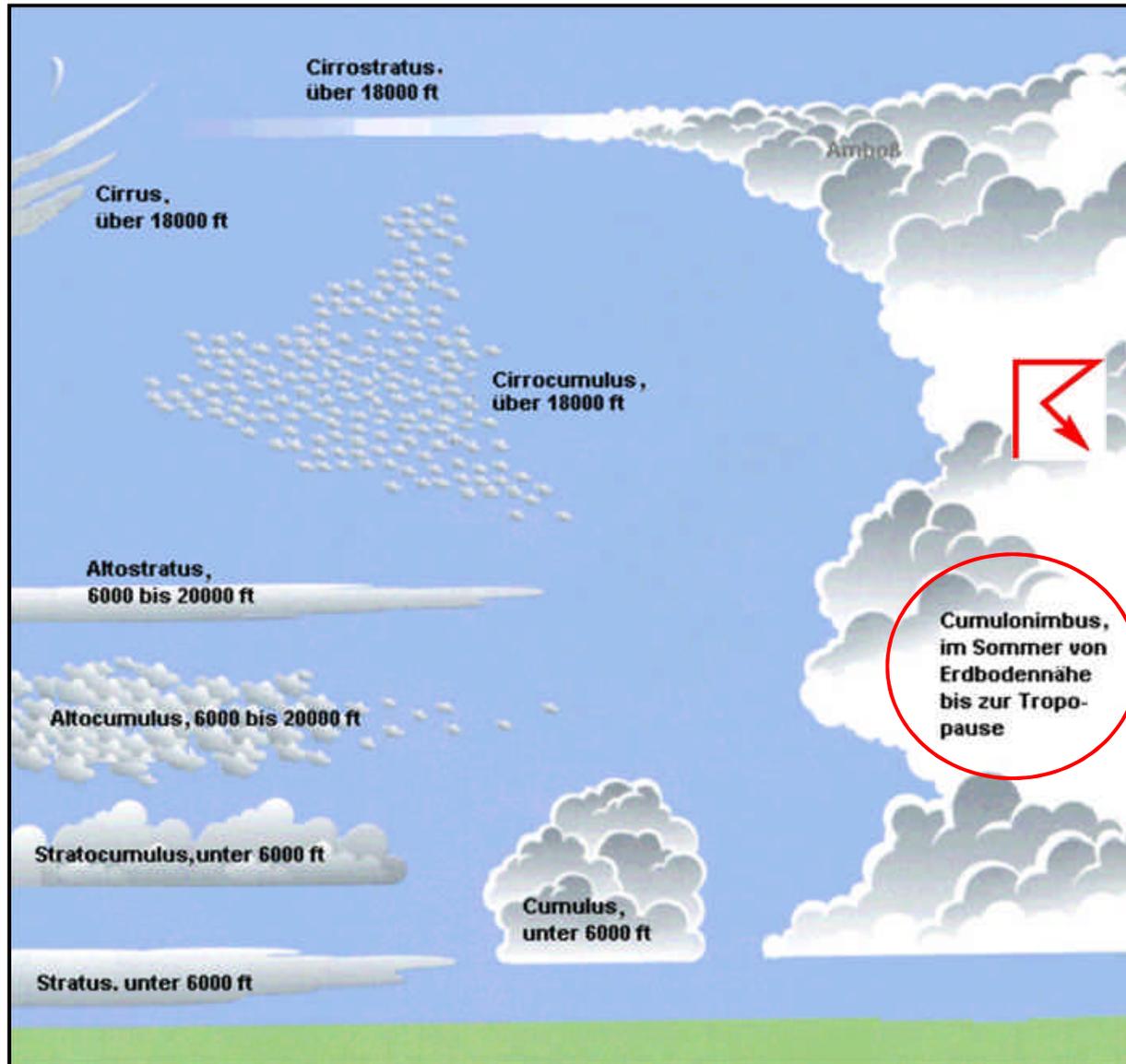


Mischwolke Cb enthält den Stoff Wasser in allen drei Aggregatzustandsformen: Wassertröpfchen (nicht unterkühlt sowie unterkühlt), Eisteilchen und Wasserdampf

Vertikal mächtiger Cb



Schematische Abbildung der meisten Wolkengattungen in der Troposphäre

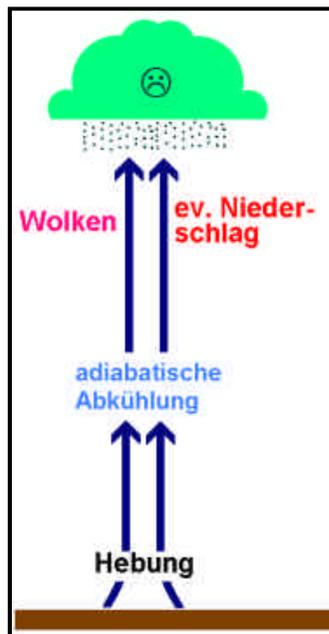


Nimbostratus fehlt



1.4 Relevanz der Vertikalbewegungen in der Troposphäre für Wolken und Niederschläge und die troposphärischen Zustände labil und stabil

1.1 Bedeutung der Vertikalbewegungen in der Troposphäre



Hebung bei ausreichender Luftfeuchte
→ Bildung von Wolken



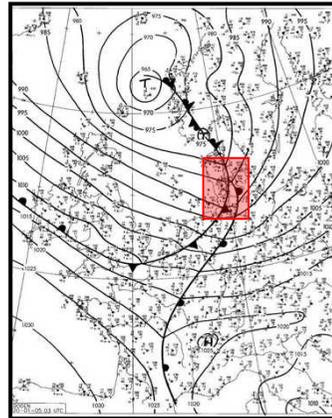
Absinken → Auflösung von Wolken möglich

klein- und großräumige Vertikalbewegungen der Troposphäre bestimmen die Wetterelemente Wolken und Niederschlag

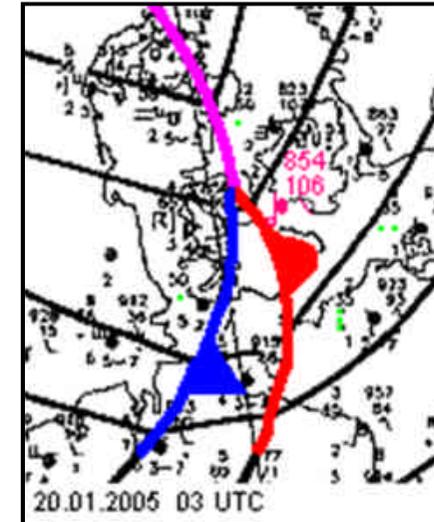


Beispiele für Aufwärtsbewegungen der Luft → troposphärische Hebung

- frontale Hebung
großräumige Vertikalbewegungen



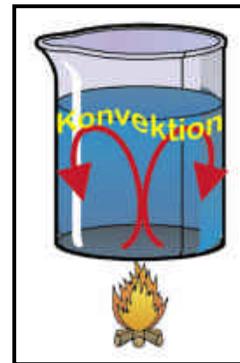
Bodenwetterkarte mit starker Bewölkung und Niederschlag



- Bodenkonvektion

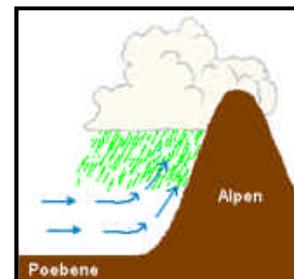
Konvektion:
vertikaler Wärmestrom in Flüssigkeiten und Gasen

kleinräumige Vertikalbewegungen



Entstehung von Quellwolken

- Hebung auf der Luvseite von Gebirgen (Stau)



Staubewölkung und eventuell Niederschlag

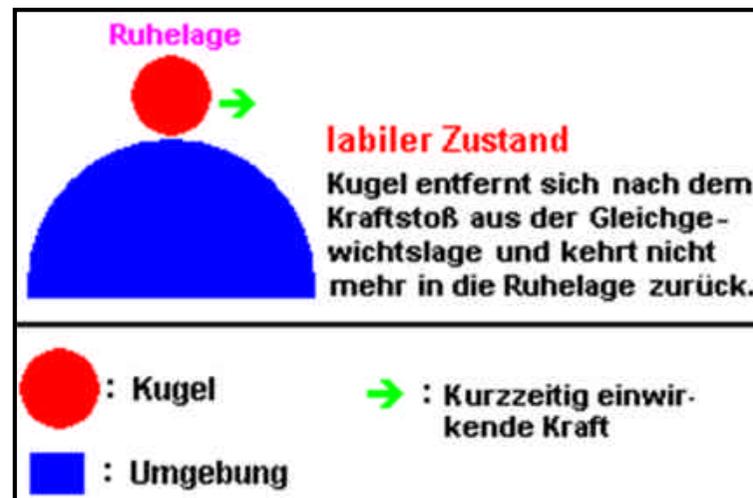


1.2 Die troposphärischen Zustände labil und stabil

Stabiler und labiler Gleichgewichtszustand in der Mechanik



Die Kugel kehrt beschleunigt in die Ruhelage zurück.



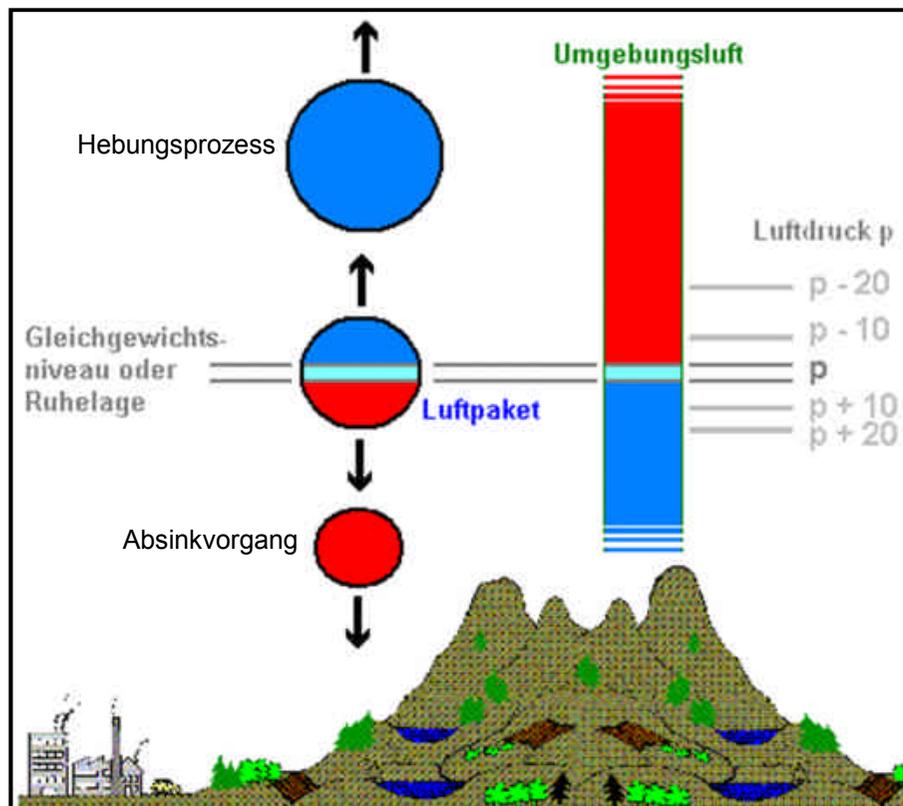
Die Kugel entfernt sich beschleunigt aus der Ruhelage und kehrt nicht mehr in diese zurück.

Atmosphärische abgeschlossene kleine Luftvolumen, Luftpakete oder -quanten genannt, verhalten sich thermodynamisch ähnlich wie Kugeln in der Mechanik.



weiter

Stabiler Gleichgewichtszustand in der Troposphäre



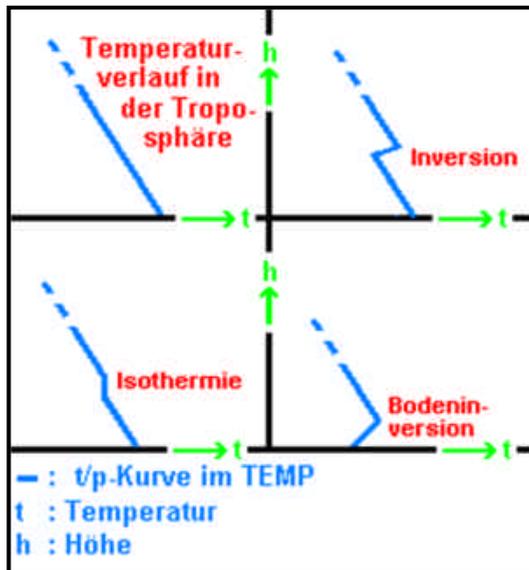
Betrachtet wird ein Luftpaket in einer gegebenen Höhe im Luftdruckniveau p . Im Gleichgewichtsniveau oder in der Ruhelage p besitzt das Luftpaket dieselbe Dichte bzw. Temperatur wie seine Umgebungsluft. Es erfährt dann - wie die Kugel - in der Ausgangslage einen kurzzeitigen Kraftstoß, der es in der Troposphäre auf- oder abwärts in Bewegung setzt.

Ein aufsteigendes Luftpaket ist immer kälter, ein absinkendes immer wärmer als seine Umgebungsluft, so dass es deshalb nicht von alleine Vertikalbewegungen ausführen kann. Wird das Luftpaket allerdings zum Auf- oder Absteigen gezwungen, so kehrt es, wenn die Kräfte, die es aus der Gleichgewichtslage entfernt haben, nicht mehr einwirken, wieder beschleunigt in diese zurück.



Stabile Schichten in der Troposphäre

TEMP Idar-Oberstein vom 16.01.2006, 06 UTC



normaler Temperaturverlauf in der Troposphäre
Temperatur nimmt mit der Höhe ab

Inversion
Temperatur in einer dünnen Schicht nimmt mit der Höhe zu

Isothermie
Temperatur in einer dünnen Schicht bleibt mit der Höhe konstant

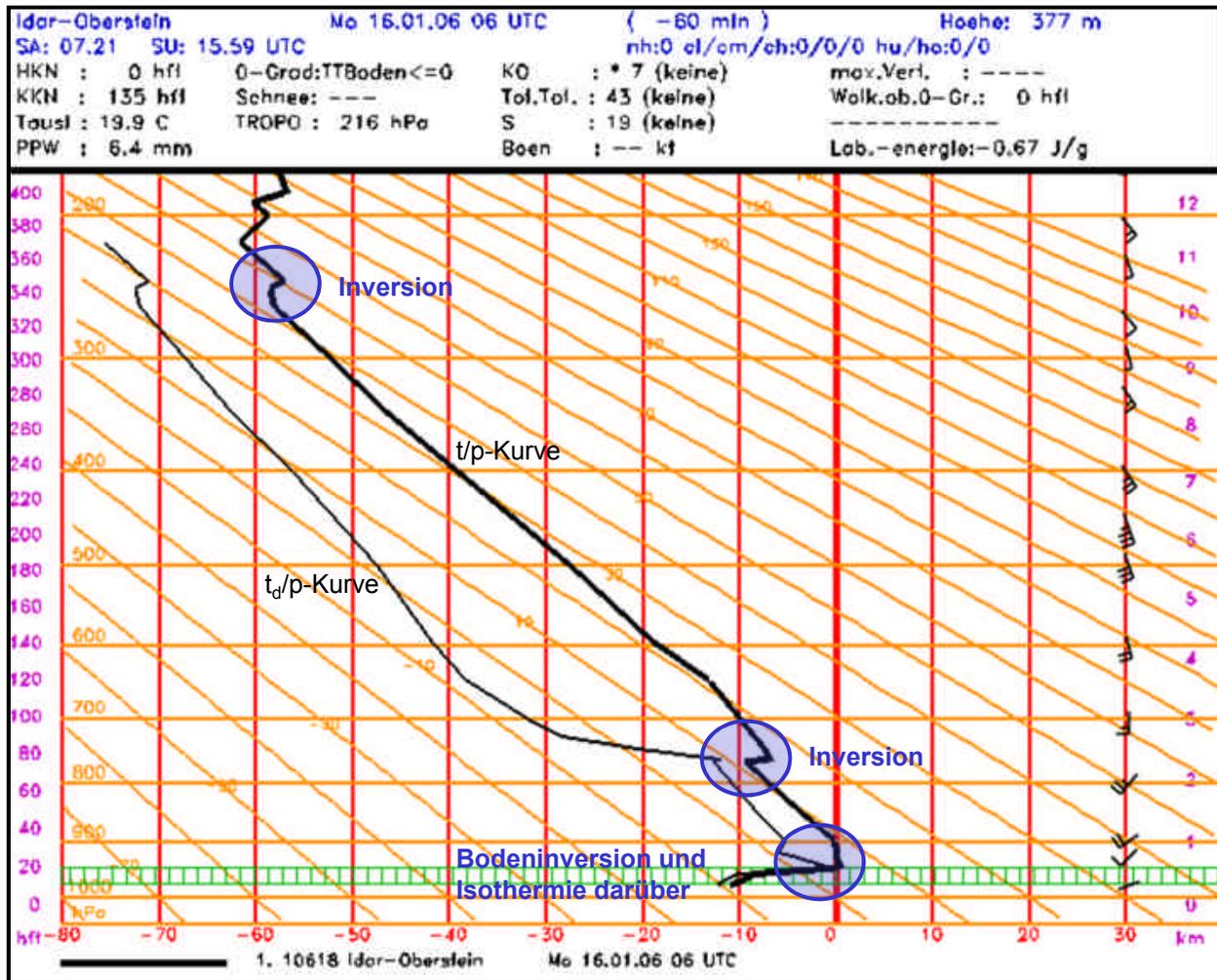


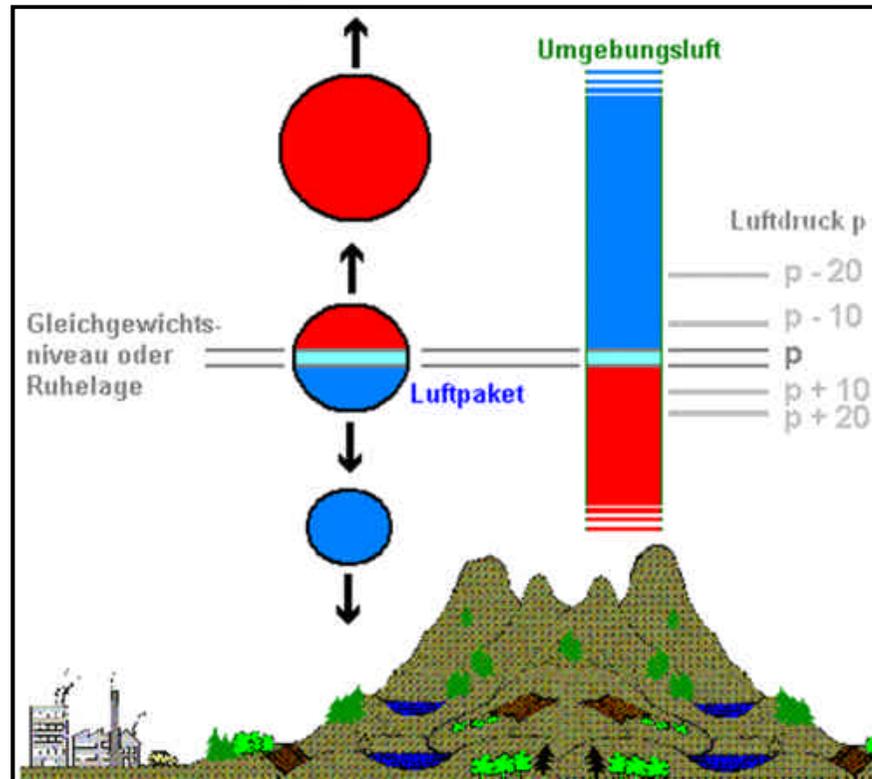
Diagramm mit falschfarbenen Darstellung
grün schraffiert: Wolkenschicht (Stratus)



Obergrenze einer Inversion (Schwarzwald, Rheintal Dez. 1977)



Labiler Gleichgewichtszustand in der Troposphäre

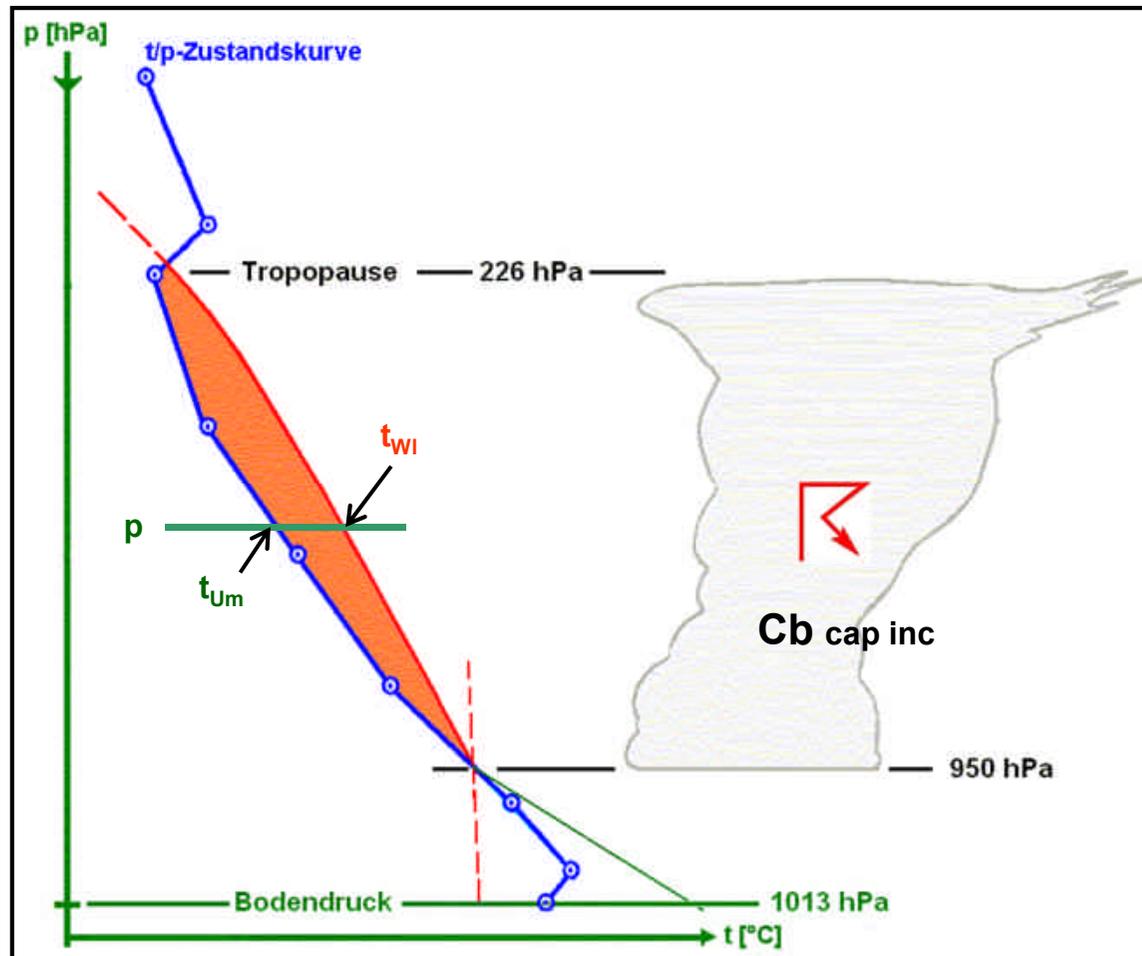


Betrachtet wird ein Luftpaket in einer gegebenen Höhe im Luftdruckniveau p . Im Gleichgewichtsniveau oder in der Ruhelage p besitzt das Luftquantum dieselbe Dichte bzw. Temperatur wie seine Umgebungsluft. Es erfährt dann - wie die Kugel - in der Ausgangslage einen kurzzeitigen Kraftstoß, der es in der Troposphäre auf- oder abwärts in Bewegung setzt.

Ein aufsteigendes Luftpaket ist immer wärmer, ein absinkendes immer kälter als seine Umgebungsluft. In beiden Fällen entfernt das Luftquantum sich von ganz allein beschleunigt aus seiner Gleichgewichtslage und kehrt nicht mehr in diese zurück.



Schematische Darstellung der Labilität einer Gewitterwolke (Cb cap inc) im p/t-Diagramm



cap : capillatus → faserig, streifig (Eiskristalle)
 inc : incus → Cb mit einem ambossförmigen
 Oberteil

t/p-Zustandskurve

Temperatur der Umgebungsluft

rote ausgezogene Linie

Temperatur der beschleunigt von selbst
 aufsteigenden Wolkenluft

Wolkenuntergrenze in 950 hPa

Untergrenze des Cumulonimbus in 950 hPa

Wolkenobergrenze

Obergrenze des Cumulonimbus etwa in 226 hPa

rote Fläche

Labilitätsfläche, Maß für die Stärke der Aufwärts-
 bewegung des beschleunigt aufsteigenden Wol-
 kenluftpaketes; im Druckniveau p ist die Tempe-
 ratur t_{wl} der aufsteigenden Wolkenluft größer als
 die Temperatur t_{um} der Umgebungsluft:

$t_{wl} - t_{um} > 0$: Temperaturdifferenz, Maß für Auf-
 triebskraft (wie bei einem Heißluftballon)



weiter

Gewitterwolke (Cumulonimbus capillatus incus (Cb cap inc)) in 63225 Langen

capillatus

Oberteil des Cumulonimbus ist ausgefranst, behaart oder faserig (Eiskristalle)

incus

Oberteil des Cumulonimbus sieht ambossförmig aus



Foto: Bastian Altmeyer, DWD, 08.04.2005



weiter

Labiles Wetter, 12.08.2006, 14.11 UTC, Dreieich-Offenthal



- Cb mit Schauern und Gewittern traten im Umfeld von Offenthal auf
- thermische Schichtung oder statische Stabilität
 - im Cb-Bereich **labil**,
 - aber im Umfeld der Cb/Cu **stabil**
→ siehe Sc len und Ac len in den Absinkregionen

Cb cap inc





Haben Sie

Fragen ?

Tipps ?

Hinweise ?

Anregungen ?

Kommentare ?

Bemerkungen ?

Ergänzungen ?



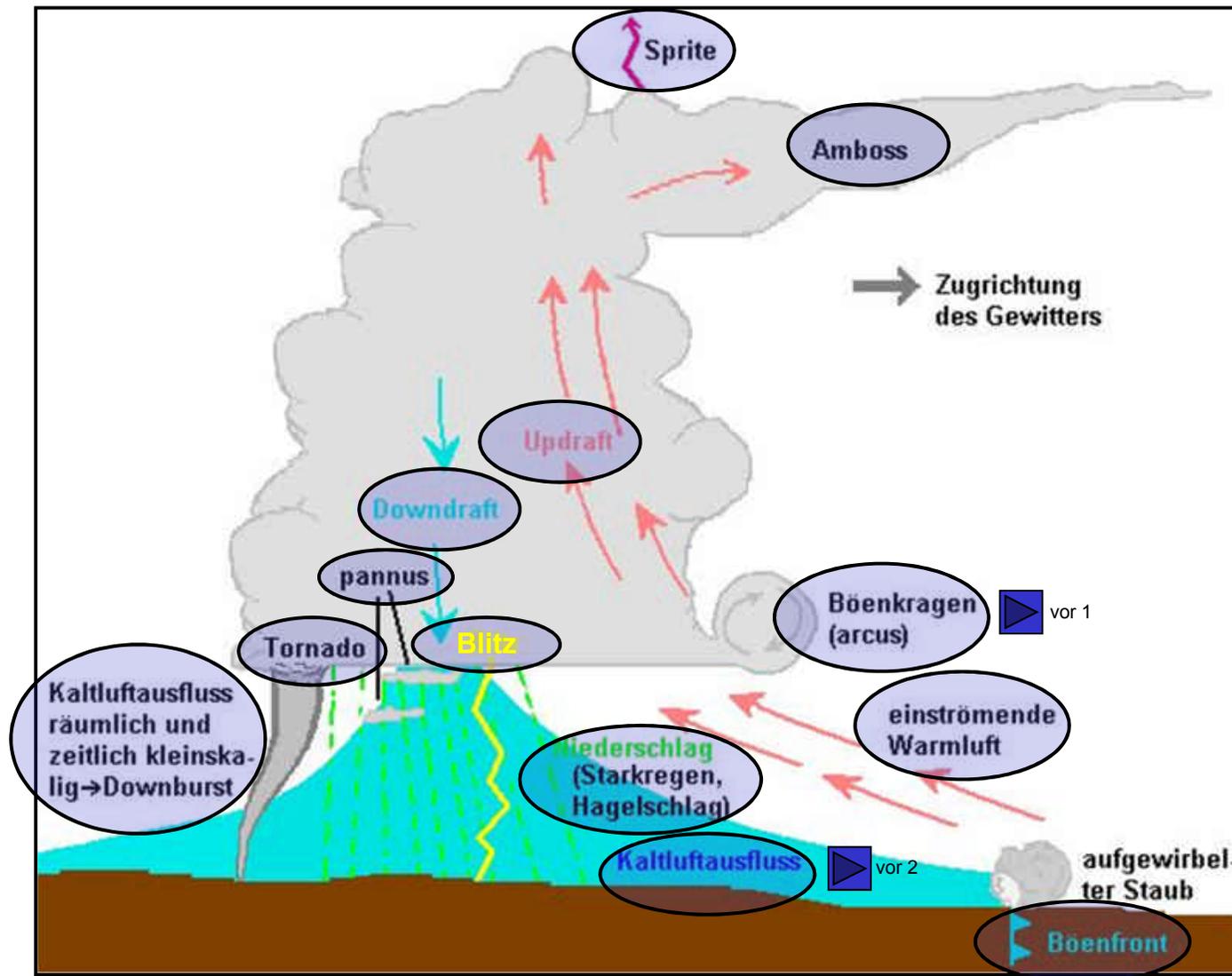


Kapitel 2

Bildungsvoraussetzungen und Intensität von Gewittern

- 2.1 Schematische Darstellung und kurze Erläuterung der meisten Gewitterphänomene
- 2.2 Intensitätsfördernde und -abschwächende Faktoren
- 2.3 Entstehung und Vorkommen in mittleren Breiten

2.1 Schematische Darstellung und kurze Erläuterung der meisten Gewitterphänomene



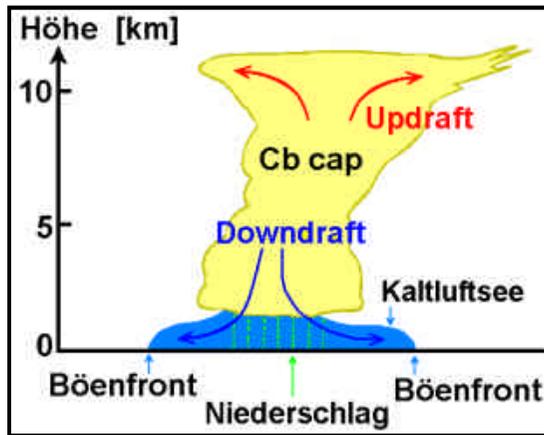
Böenkragen, 17.07.2004



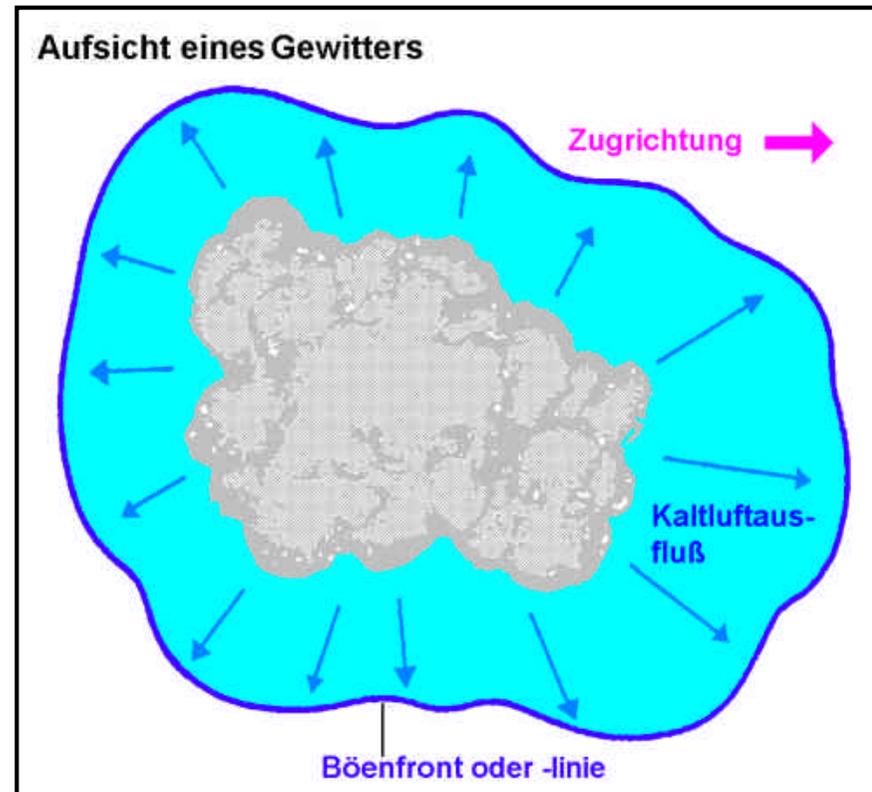
Foto: Volker Clausen, DWD



Der Kaltluftsee (Cold pool) eines Gewitters

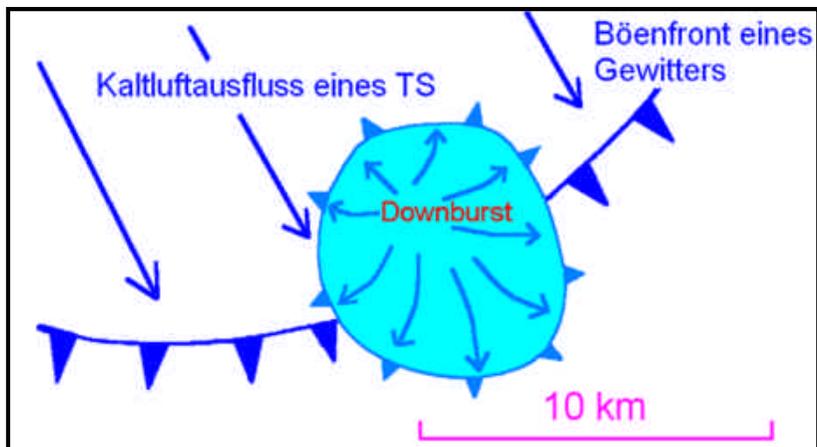


Blaue Flächen
Kaltluftausfluss aus einem Gewitter



Der kleinskalige Downburst und der Kaltluftsee mehrerer Gewitter (TS)

1a) Downburst im Kaltluftausfluss eines TS

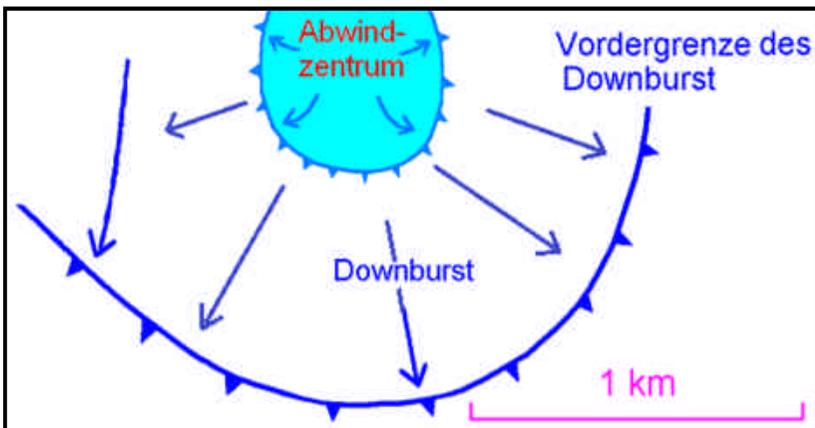


Downburst

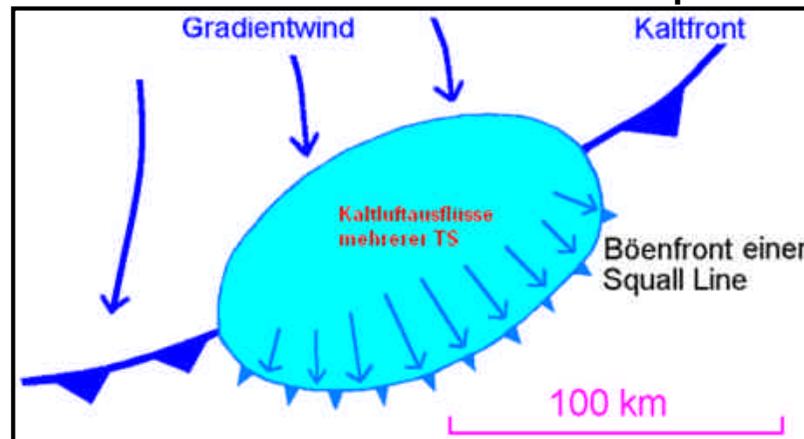
Räumlich und zeitlich kleinskaliger, heftiger und zerstörerischer vertikaler Kaltluftausfluss aus einem Gewitter

Hellblaue Flächen: verschieden skalige Kaltluftausflüsse bei Gewittern

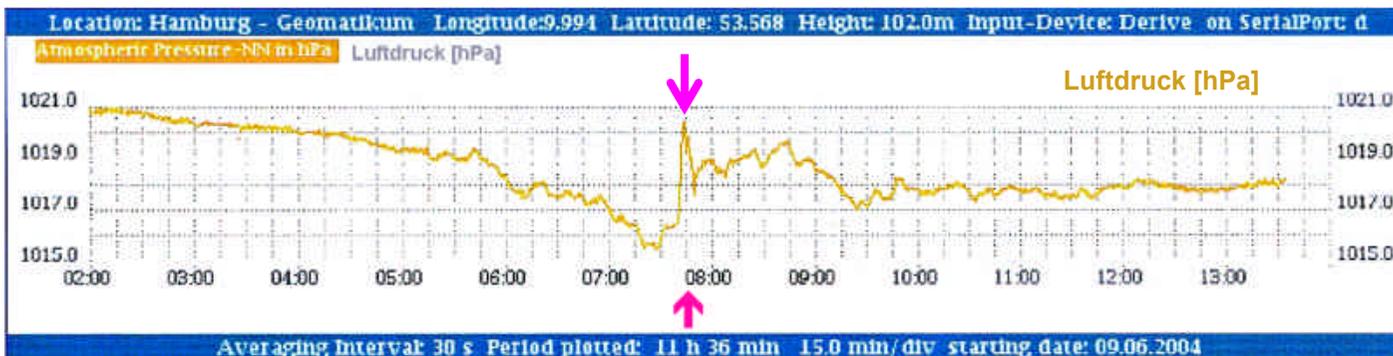
1b) Abwindzentrum eines Downburst



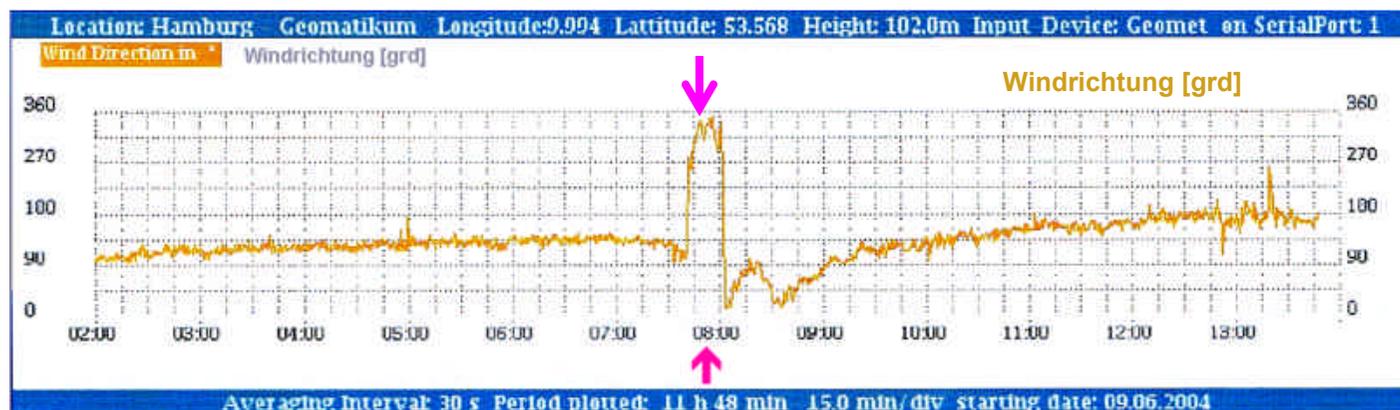
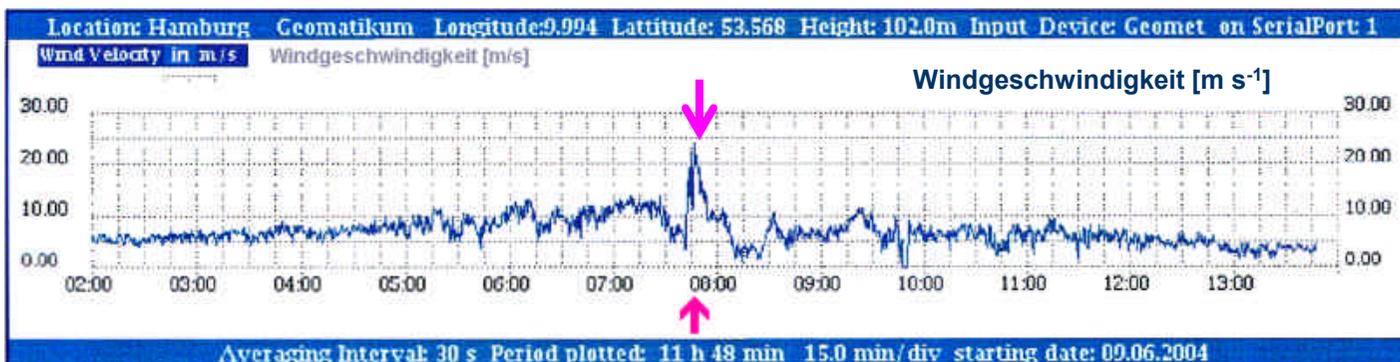
2) Böenlinien einzelner TS bilden eine Squall line



Böenfront eines Gewitters (Hamburg, 09.06.2004)



Verlauf der Wetterelemente Luftdruck und Wind zwischen 2 und 13:30 UTC in Hamburg am 09. Juni 2004

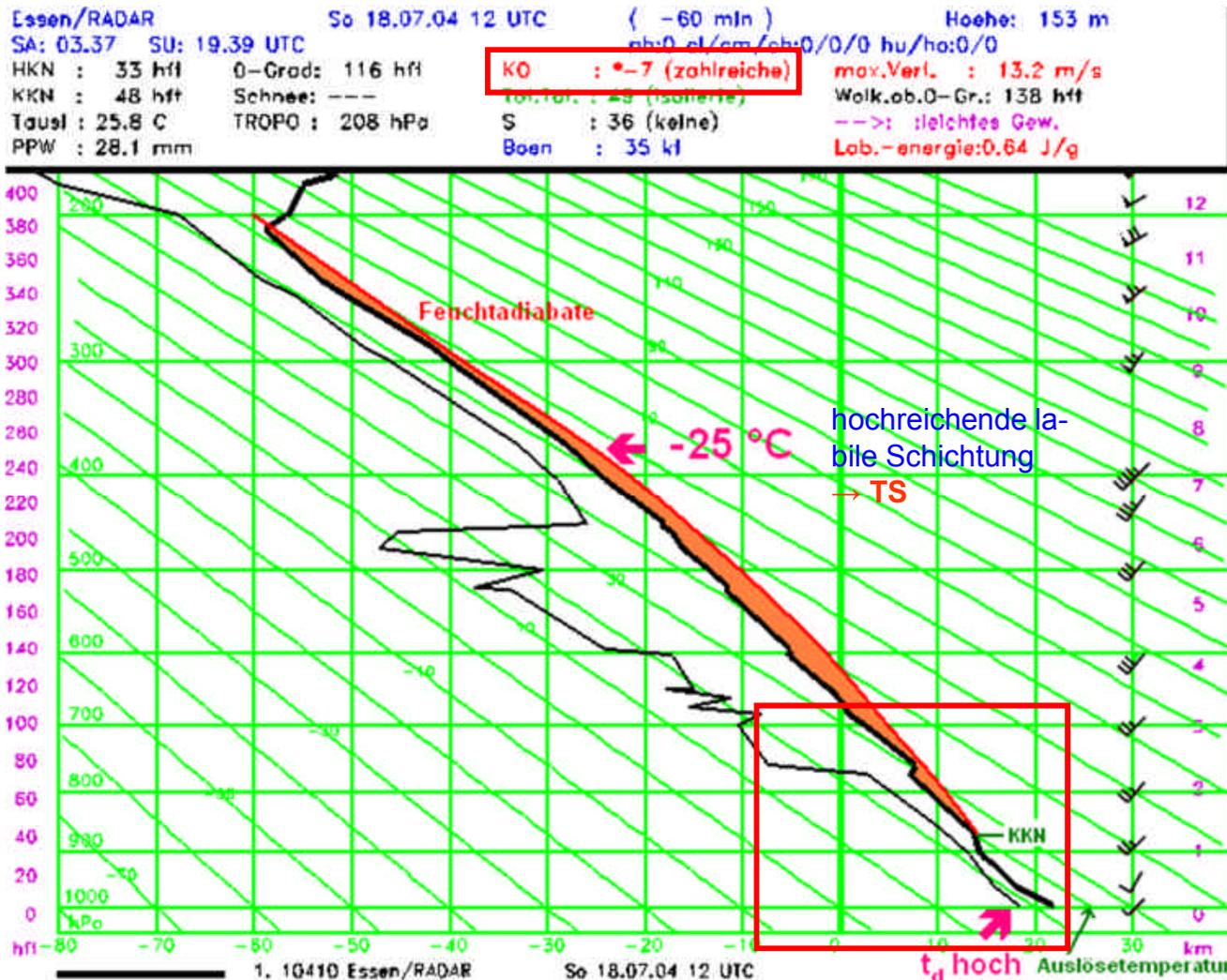


2.2 Entstehung und Vorkommen von Gewittern in mittleren Breiten

- Definition → mindestens ein Donner hörbar
- meist nur im Cumulonimbus (Cb)
 - bei relativ hohen Temperaturen an der Wolkenbasis
 - bei Temperaturen an der Wolkenobergrenze von unter -25 °C
- Bildung bei
 - hochreichender labiler Schichtung
 - z.B. durch unterschiedliche Temperaturadvektion in der Troposphäre → Warmluftzufuhr (WLA) in unteren Luftschichten und/oder Kaltluftzufuhr (KLA) darüber
 - ausreichendem Wasserdampfnachschub von unten
- Stark- oder Schergewitter meist nur in der warmen Jahreszeit über Land
 - genügend Wasserdampf, hohe Temperaturen an der Wolkenbasis, aufgeheizter Erdboden



Labile Schichtung im TEMP



TEMP Essen vom 18.07.2004, 12 UTC

$t_d \approx 18 \text{ °C}$ und $t \approx 22 \text{ °C}$

Gewitterindex KO
 Computeranalyse
 ergibt zahlreiche TS

**Verlauf der t/p - und t_d/p -
 Kurven**
 sehr feuchte Luftschicht
 unten und trockene Luft da-
 rüber → Hinweis auf TS



Gewitter müssen initiiert werden

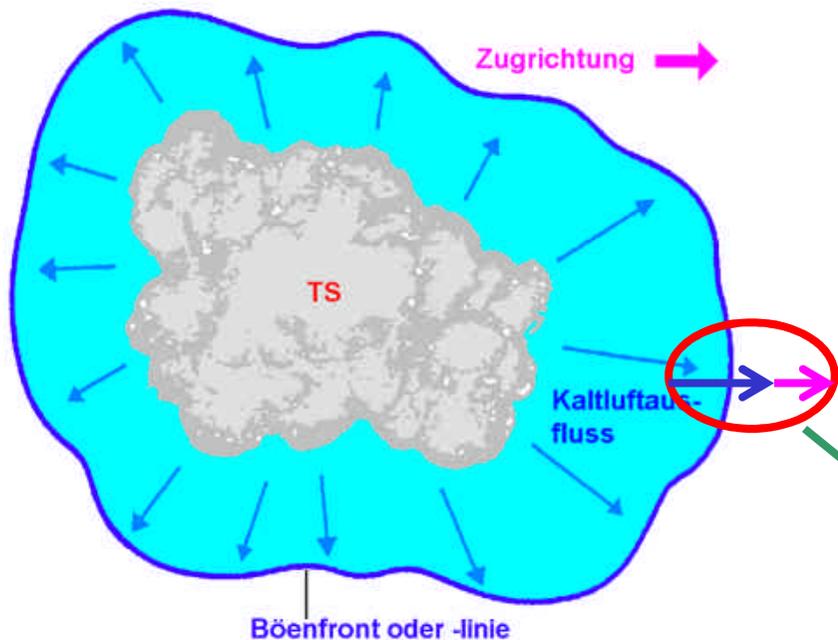
- auslösende Faktoren; z.B.
 - Aufheizung der bodennahen Luftschicht im Tagesgang der Temperatur im Sommer → Wärmegewitter (selten)

- troposphärische Hebungsvorgänge; z.B. durch
 - die mesoskalige gewittereigene Böenlinie/-front  vor 1

- durch synoptische Fronten oder Konvergenzlinien  vor 2

- auf der Luvseite von Gebirgen  vor 3

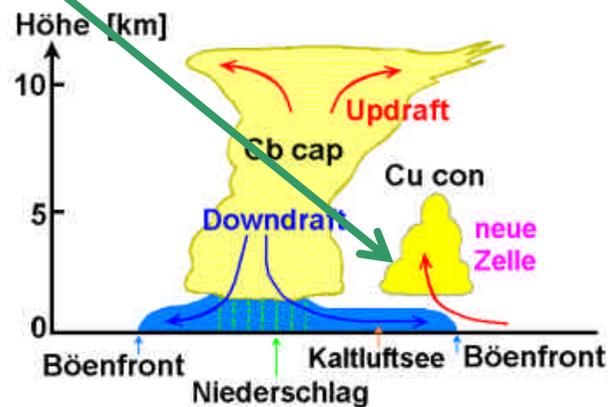
Hebung durch Kaltluftausfluss eines Gewitters



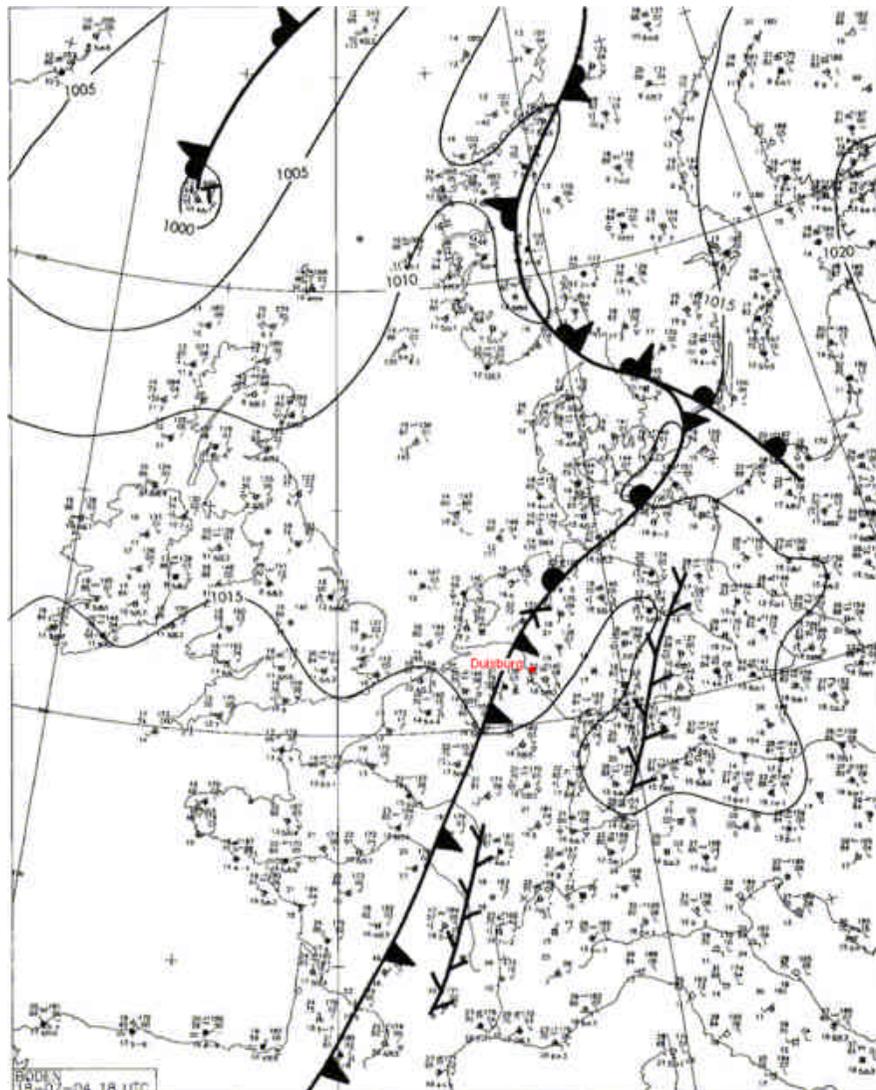
kräftigste Hebung an der Vorgrenze des Kaltluftsees (Geschwindigkeit Kaltluftausfluss und Verlagerung des TS addieren sich)

-  Richtung/Geschwindigkeit der bodennahen Kaltluft
-  Zugrichtung/-geschwindigkeit des Gewitters

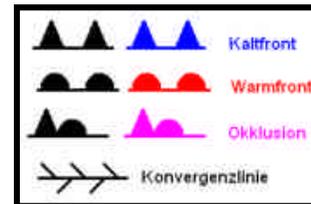
Entstehung einer neuen Gewitterzelle



Fronten und Konvergenzlinien in der Bodenkarte



Bodenanalyse 18.07.2004, 18 UTC



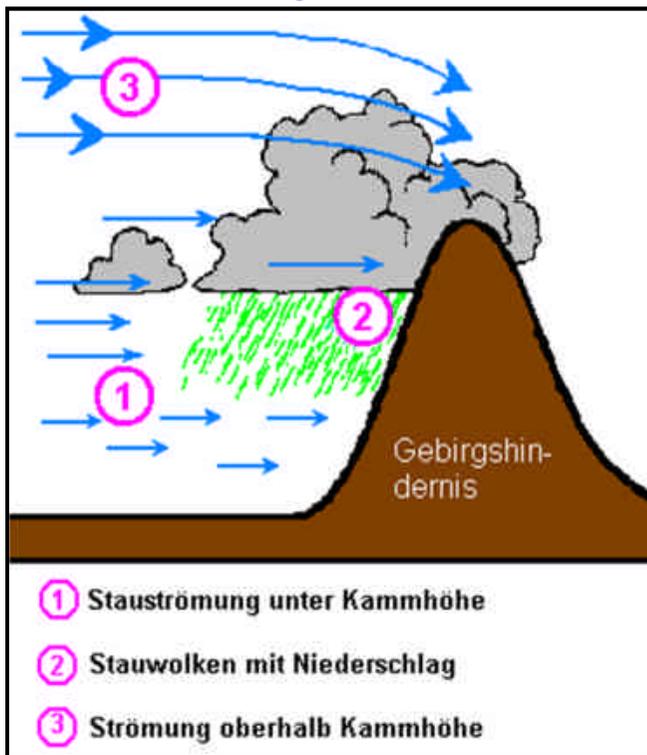
Fronten stellen die Übergangszonen zwischen zwei verschiedenen temperierten, innerhalb der Strömung gegeneinander geführten Luftmassen am Erdboden dar. Ist die Kaltluftmasse aktiv und strömt gegen die Warmluft, so handelt es sich um eine Kaltfront und im umgekehrten Fall um eine Warmfront.



Abziehende Gewitter-Kaltfront, Neustadt/W, Juli 1977



Staubewölkung auf der Luvseite von Gebirgen



Staubewölkung am Taunus, 30.07.07, 04.09 UTC

Blick von 63303 Dreieich-Offenthal nach Götzenhain (Norden)

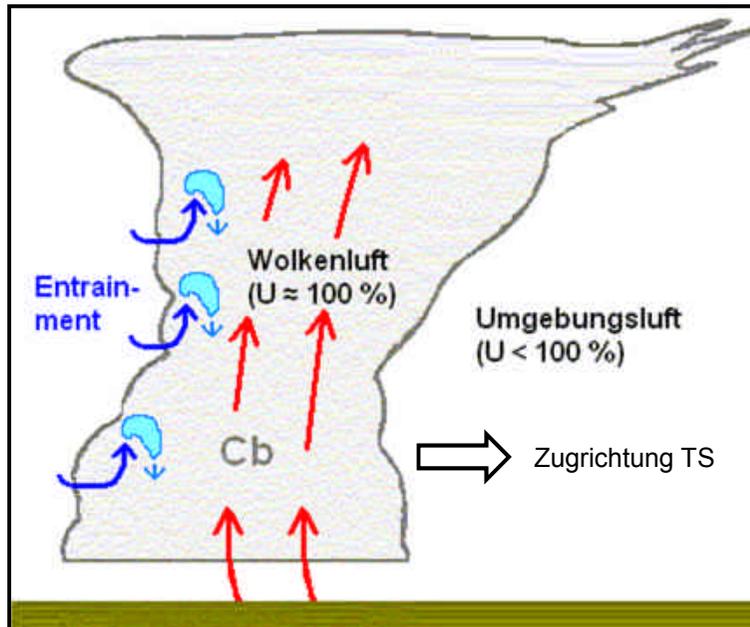


2.3 Intensitätsfördernde und -abschwächende Faktoren von TS

- Intensitätsdämpfende Prozesse; z.B.
 - Entrainment (turbulente Durchmischung an Wolkenrändern)  vor 1
 - Kaltluftsee unterbindet Updraft → bedeutend für Einzelzelle  vor 2
 - Verdunstung von Niederschlag unter Wolkenbasis erzeugt Kaltluft (s. latente Wärme)

- intensitätsfördernde Vorgänge; z.B.
 - hoher Wasserdampfgehalt/ständige Neukondensation → freigesetzte latente Wärme  vor 3
 - lokal stärkere Aufheizung → höhere Labilität
 - zusätzliche Hebungs Vorgänge; z.B.
 - orographische Hebung → intensiviert Aufwärtsbewegung
 - kleinräumige Zirkulationen → z.B. Bodenkonvergenz  vor 5

Entrainment



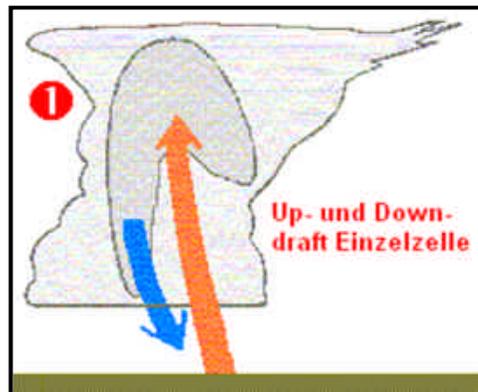
Entrainment

Einbeziehen von trockener Umgebungsluft durch turbulente Durchmischung am seitlichen Rand einer Gewitterwolke

Entrainment schwächt die Entwicklung der Gewitterwolke

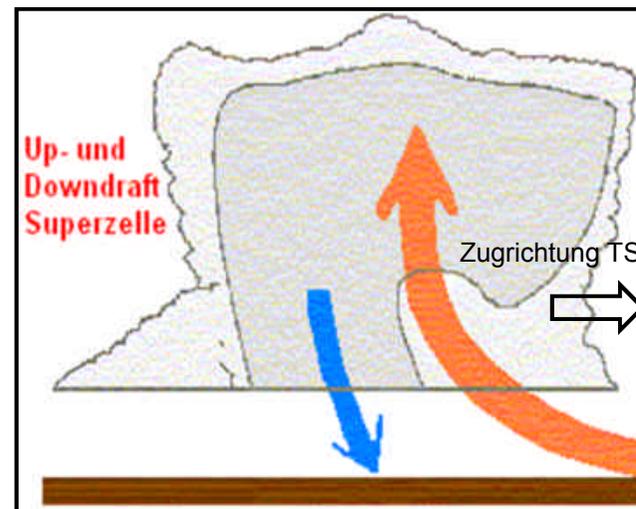


Einzelzelle eines Gewitters: Downdraft unterdrückt Updraft durch Kaltluftsee



Kaltluftsee unterbindet Aufwindstrom (Zufuhr von wasserdampfreicher Luft), Gewitterwolke beginnt sich damit relativ rasch aufzulösen
 → Dauer deshalb nur etwa 0.3 – 0.7 h

Superzelle: Aufwindstrom unbeeinflusst vom Downdraft



Down- und Updraft liefern die Energie für Superzelle → Dauer > 1 h möglich (bis zu 12 h bereits beobachtet)



Latente Wärme des Stoffes Wasser

- Definition
 - Wärmemenge, die bei konstanter Temperatur t und konstantem Druck p für einen Aggregatzustandswechsel des Wassers benötigt bzw. dabei freigesetzt wird
- Betrag der Verdunstungs-/Kondensationswärme von H_2O
 - $L \approx 2501 - 2.33 \cdot t$ [kJ kg^{-1}]
 - 2501 J g^{-1} bei $t = 0 \text{ }^\circ\text{C}$ und $p = 1013.25 \text{ hPa}$
 - Um ein Gramm Wasser zu verdunsten, werden 2501 J bei einer Temperatur von $0 \text{ }^\circ\text{C}$ und einem Luftdruck von 1013.25 hPa benötigt.

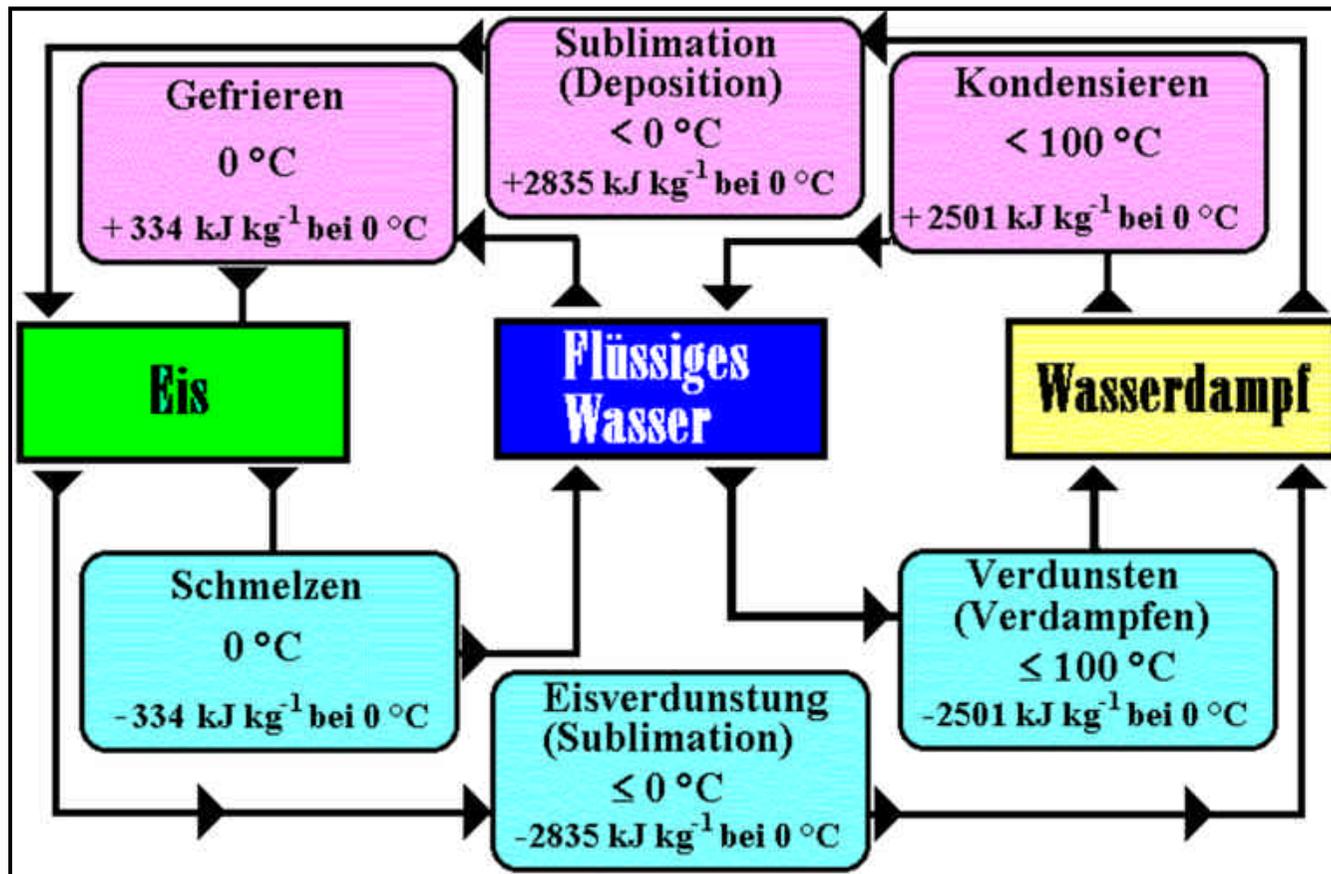
Diese Energie entspricht etwa der Hubarbeit, die ein Mann aufwenden muss, um eine Masse von 60 kg um 4.25 m zu heben.

$$W_h = F_G h = m g h$$

$$h = \frac{W_h}{m g} = \frac{2501 \text{ N m}}{60 \text{ kg} \cdot 9.81 \text{ m s}^{-2}} = \frac{2501 \text{ kg m}^2 \text{ s}^{-2}}{588.6 \text{ kg m s}^{-2}} \approx 4.25 \text{ m}$$



Zustandsänderungen und latente Wärme des Stoffes Wasser

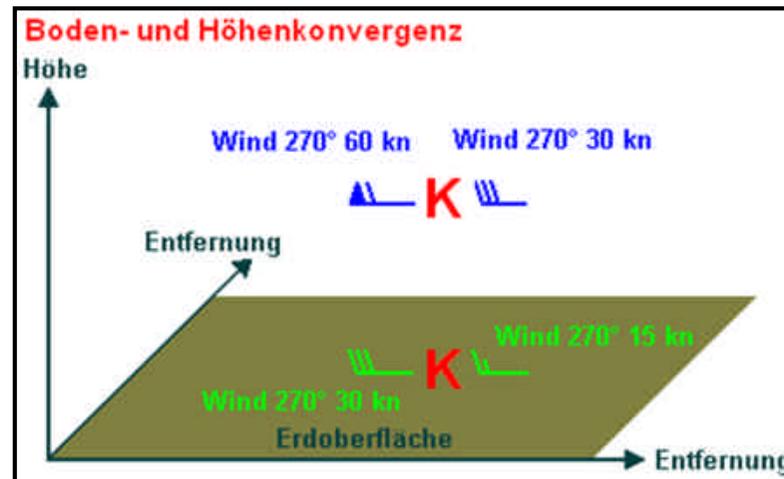


zurück

Horizontale Massenkongvergenz



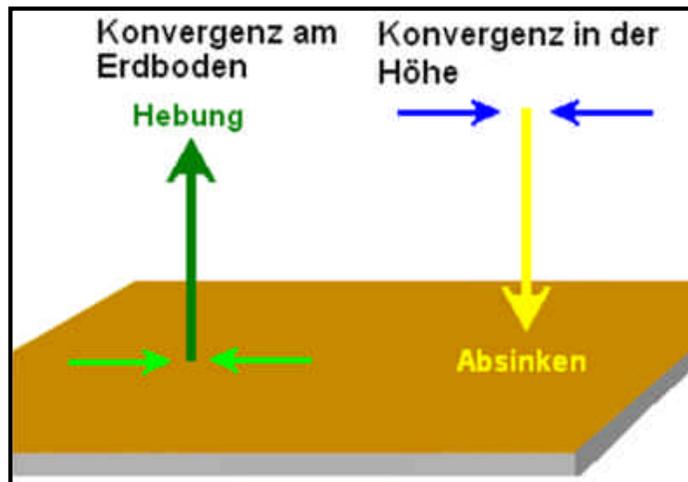
Stau → horizontale Massenkongvergenz auf der Autobahn



Horizontale Massenkongvergenz im troposphärischen Windfeld am Erdboden und in der Höhe

Auswirkung der horizontalen Massenkongvergenz in der Troposphäre

Oberhalb einer horizontalen Massenkongvergenz am Boden tritt Hebung ein



Unterhalb einer horizontalen Massenkongvergenz in der Höhe tritt Absinken ein



Stark- oder Schwergewitter

- Definition

- auftreten bei
 - hoher Labilität → starker Updraft

 - vertikale Windscherung
→ Windrichtung und/oder -geschwindigkeit ändert sich mit der Höhe (Rechtsdrehung, Zunahme)
 - Updraft gebogen

 - große Hagelkörner möglich

- kleine Hinweise auf Schwergewitter; bodennahe
 - hohe Lufttemperaturen

 - großer Wasserdampfgehalt; Taupunkte etwa 15 - 20 °C



Kennzeichen von Schwergewittern

National Weather Service USA und Tornado and Storm Research Organisation UK

- Gewitter mit Hagelkörnern $d \geq 1,9 \text{ cm}$ und/oder
- Windgeschwindigkeiten $\geq 100 \text{ km h}^{-1}$ (ca. $27,8 \text{ m s}^{-1}$, 56 kn oder Bft 10) und/oder
- Tornados

Deutscher Wetterdienst (DWD)

- Gewitter mit Hagelschlag und/oder
- heftigem Starkregen ($> 25 \text{ l/m}^2$ in 1 Stunde oder $> 35 \text{ l/m}^2$ in 6 Stunden) und/oder
- Orkan bzw. orkanartigen Böen (Windgeschwindigkeit $\geq 105 \text{ km h}^{-1}$ (29 m s^{-1} , 56 kn, Bft 10))



Hagelunwetter in München, 12.07.1984



Unwetter in Duisburg, 18.07.2004



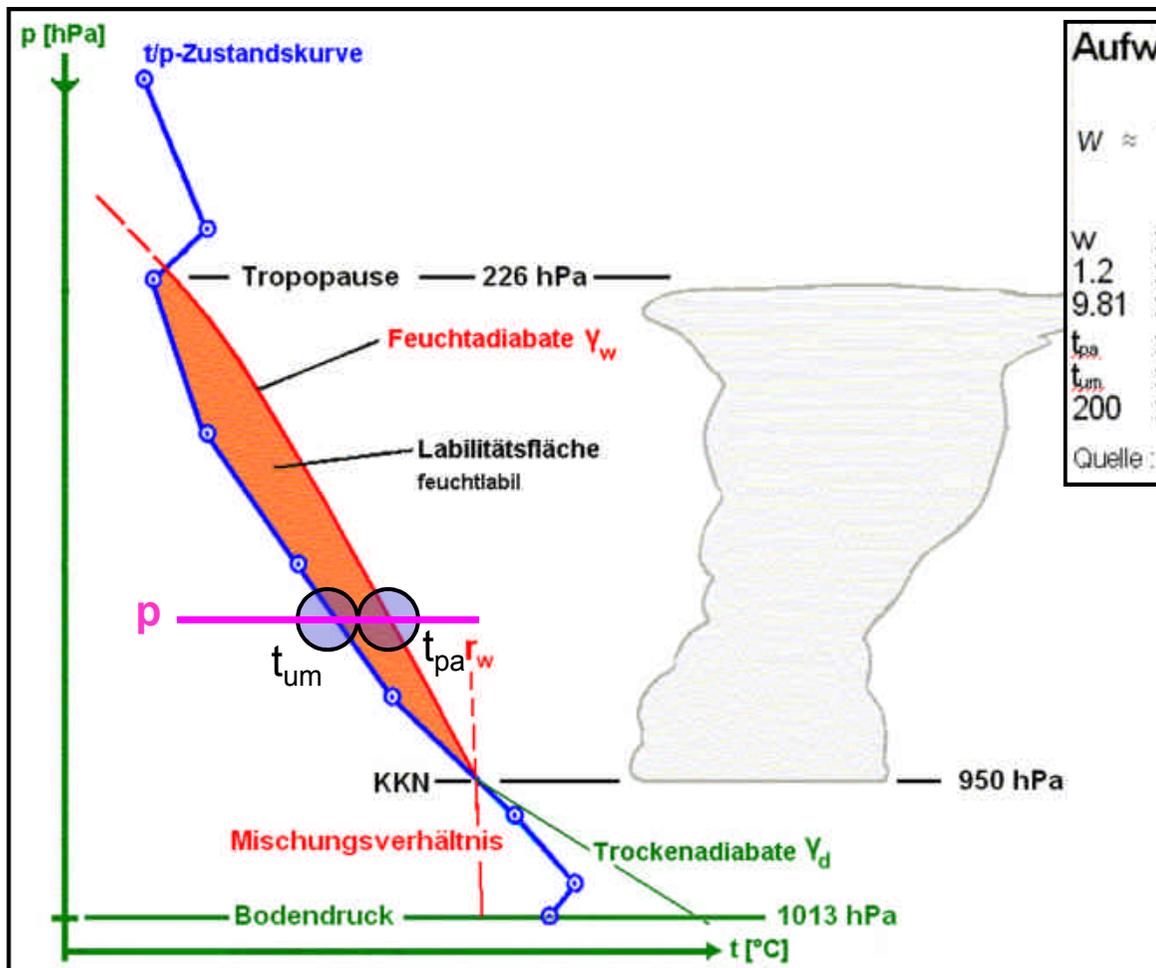
[Videofilm](#)



Pfungstädter Tornado, 01.05.1998



Schematischer TEMP mit hoher Labilität (Stüvediagramm)



Aufwindgeschwindigkeit nach Saunders

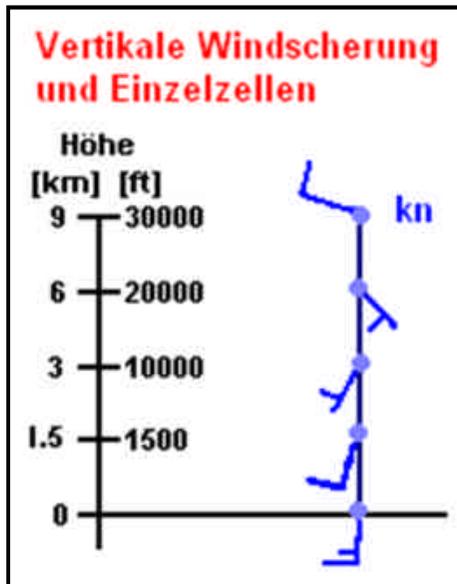
$$w \approx 1.2 \sqrt{9.81 \frac{t_{pa} - t_{um}}{t_{um} + 273.15}} 200 \quad [m \, s^{-1}]$$

- w : Vertikalgeschwindigkeit des Luftpaketes [$m \, s^{-1}$]
- 1.2 : Konstante, keine Dimension
- 9.81 : Erdbeschleunigung \bar{g} [$m \, s^{-2}$]
- t_{pa} : Temperatur [°C] des Luftpaketes
- t_{um} : Temperatur [°C] der Umgebungsluft
- 200 : Radius [m] des Luftpaketes

Quelle : [Aerokurier 3/79]



Vertikale Windscherung bei Einzel- und Superzellen



Einzelzelle
kein typisches Windprofil

Vertikale Windscherung
signifikante Änderung der
Windrichtung und/oder -ge-
schwindigkeit an einem Ort
mit der Höhe

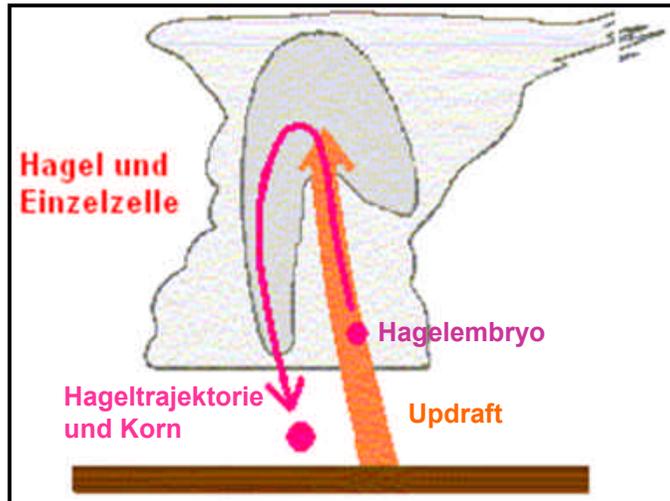


Superzelle
Markante Rechtsdrehung des Windes bis etwa 3 km agl und
kräftige Windzunahme von 0 – 6 km ($> 20 \text{ m s}^{-1}$)



zurück

Bildung von Hagel in der Einzel- und Superzelle

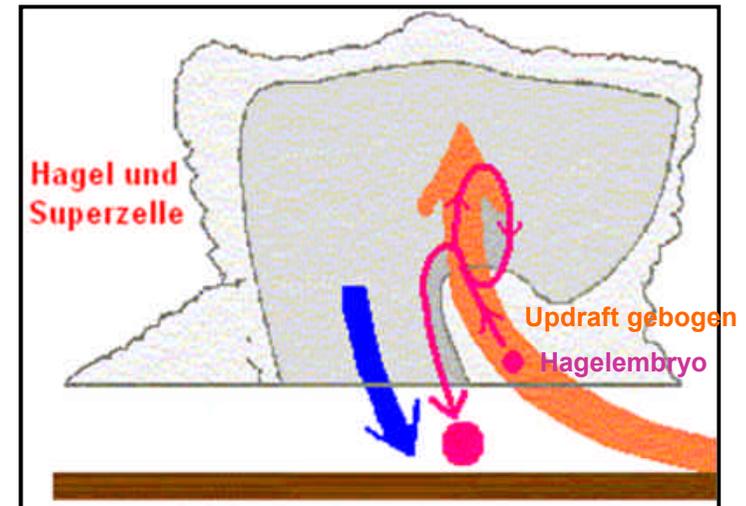


Hagelkorngröße
 $d \geq 0,5 \text{ cm}$ bis ca. 5 cm

Hagelbildung
 Eisteilchen fangen bei ihren Vertikalbewegungen in der Wolke unterkühlte Wolkentröpfchen ein, die an ihnen festfrieren.

Einzelzelle

meist nur kleine Hagelkörner mit $d \geq 0.5$ bis $< 2 \text{ cm}$



Superzelle

große Hagelkörner mit $d \geq 2 \text{ cm}$





Haben Sie

Fragen ?

Tipps ?

Hinweise ?

Anregungen ?

Kommentare ?

Bemerkungen ?

Ergänzungen ?





Kapitel 3

Grundformen von Gewittern und ihre typischen Eigenschaften

3.1 Einzelzelle

3.2 Multi- und Superzellen

3.2.1 Besonderheiten

3.2.2 Multizelle

3.2.3 Superzelle

Grundformen von Gewittern (TS, Tsunderstorm))

- 3 Grundformen von Gewittern existieren, die auch in größeren Gewitterkomplexen (Mesoskalige konvektive Systeme, MCS) sichtbar (Radarbild) werden können
 - Grundformen → Einzel-, Multi- und Superzelle
 - TS nicht immer nach Grundformen klassifizierbar
 - Übergangsformen und mehrfache Wechsel möglich

- Häufigkeit und Intensität der Grundformen
 - Einzelzelle → manchmal, auch Schwergewitter
 - Multizelle → häufig, auch Schwergewitter
 - Superzelle → selten, immer Schwergewitter



Einzelzelle (manchmal)



Multizellen-Cluster (am häufigsten)

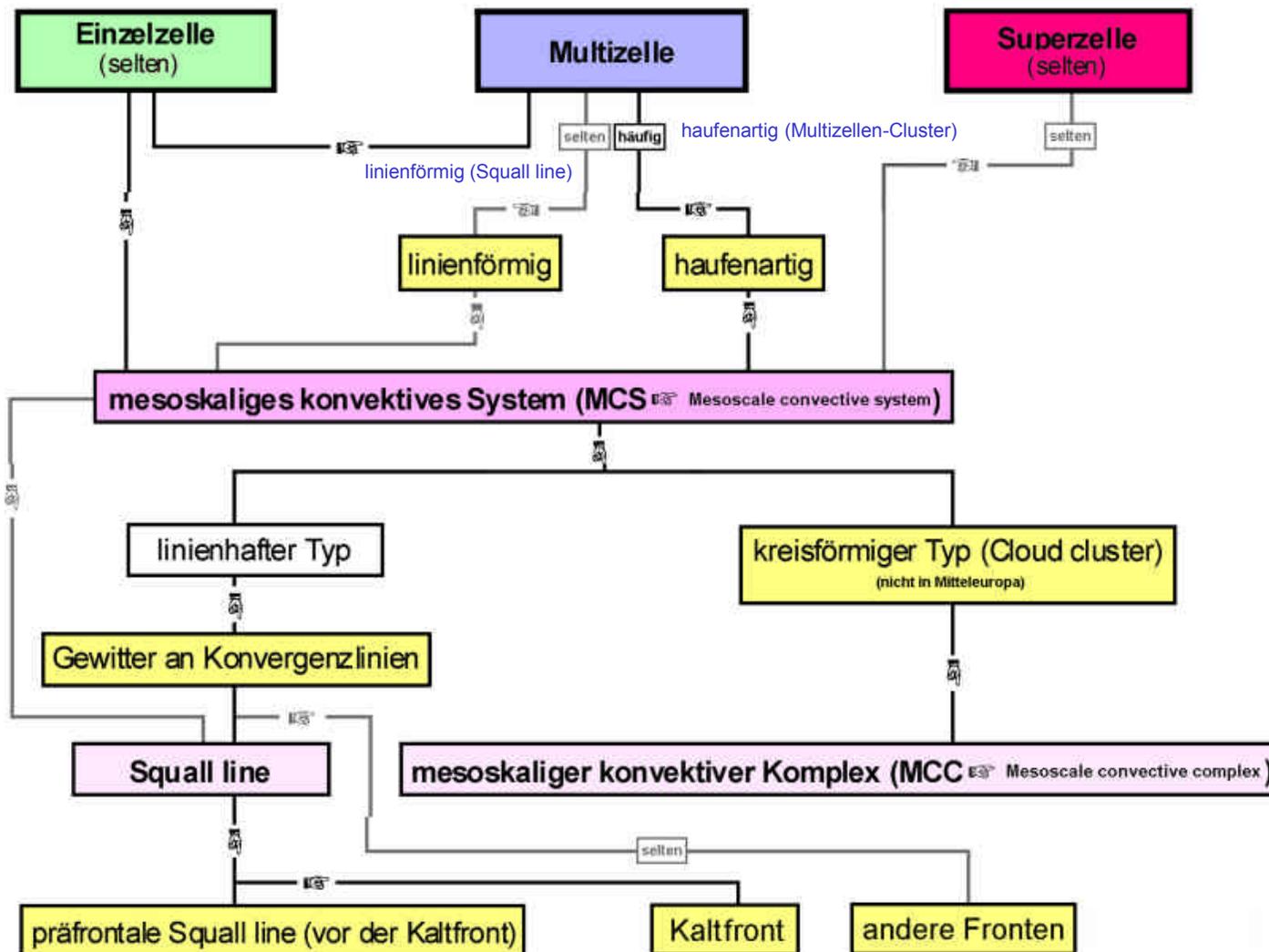


Superzelle (selten)



weiter

Gewittergrundformen und mesoskalige konvektive Systeme



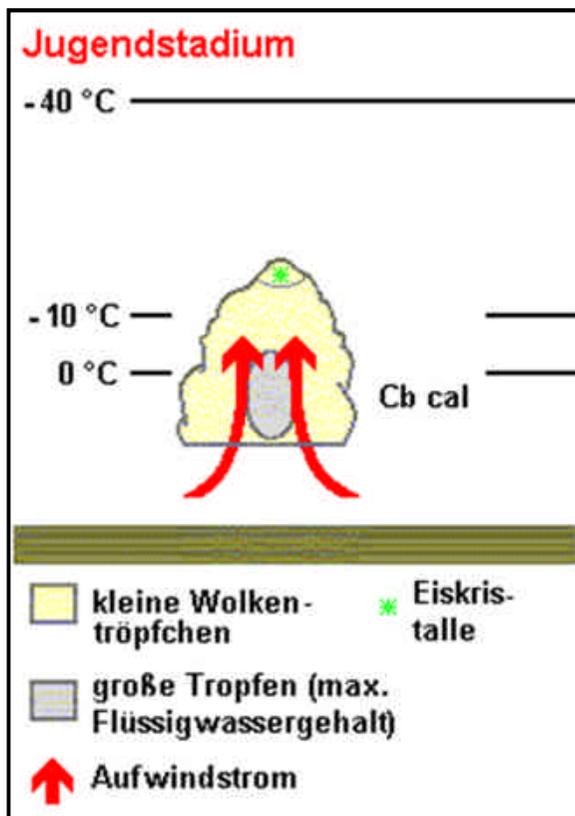
3.1 Einzelzelle (selten)

- Entwicklungsstadien → z.B. 4; Jugend-, Aufbau-, Reife- und Auflösungsstadium
- Lebensdauer 20 - 40 Minuten, jedes Stadium ca. 5 - 10 Min.
- manchmal als Wärmegewitter → mittlere Breiten im Sommer
- ideale Voraussetzungen der Entstehung
 - feuchtwarme Luftmasse
 - geringer Druckgradient → schwachwindig
 - zyklonal gekrümmte Isobaren in der Bodenkarte

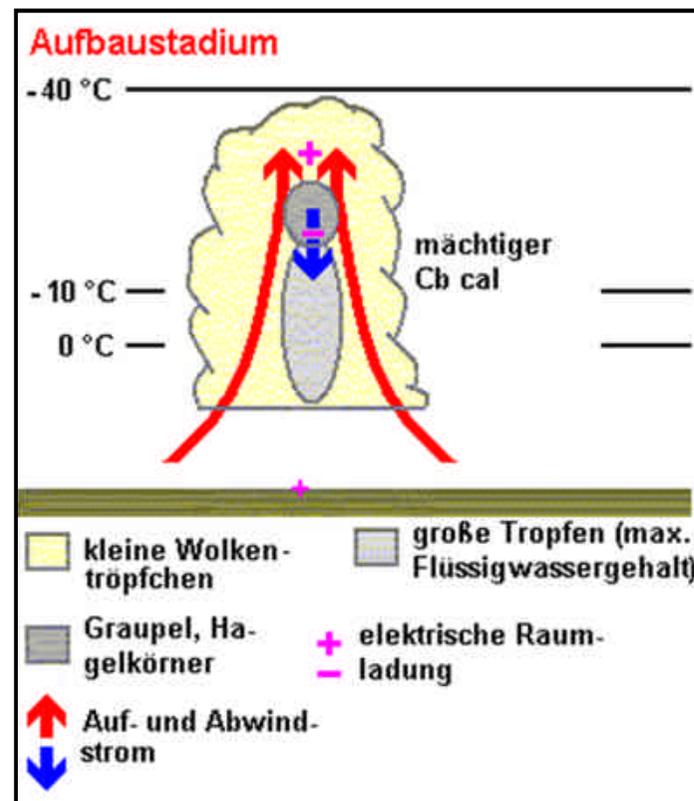


Entwicklungsstadien einer Einzelzelle: Jugend- und Aufbaustadium

Dauer: Insgesamt meist ca. 20 - 40 Minuten, jedes Entwicklungsstadium etwa 5 - 10 Minuten



Gelbe und hellgraue Wolkenbereiche
kleine und große Wolken-tröpfchen, auf dem Radarbild nicht sichtbar



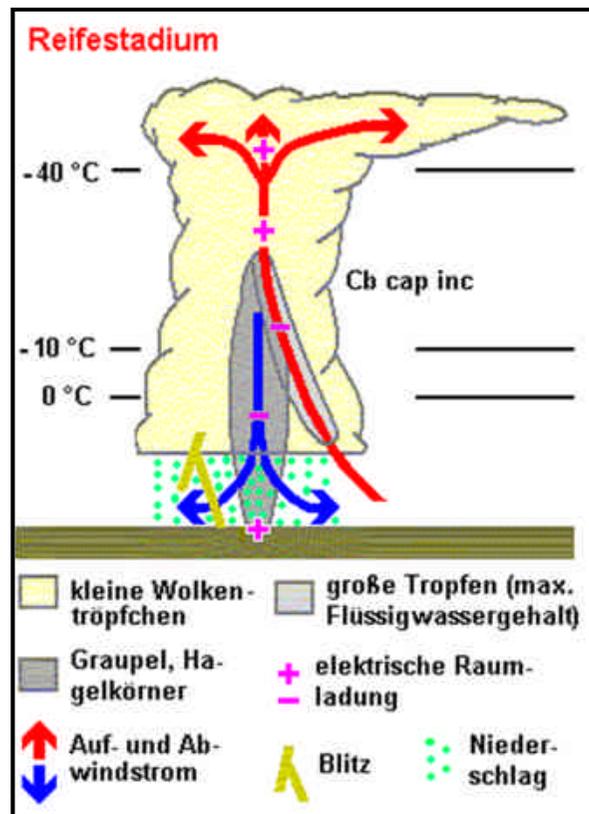
Graupelkörner Frost- oder Reifgraupeln, $d < 5$ mm

Hagelkörner Eisteilchen mit $d \geq 5$ mm

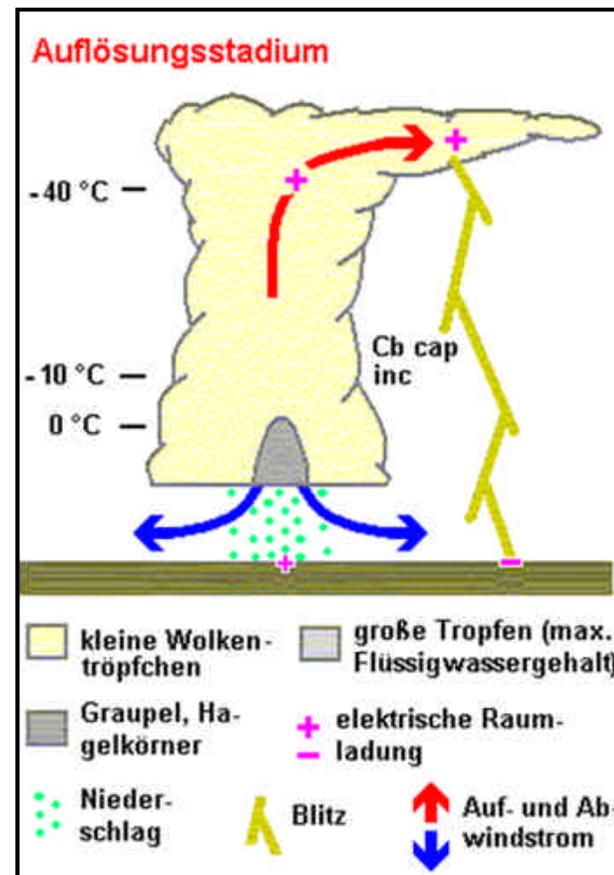


Entwicklungsstadien einer Einzelzelle: Reife- und Auflösungsstadium

Dauer: Insgesamt meist ca. 20 - 40 Min., jedes Entwicklungsstadium etwa 5 - 10 Min.



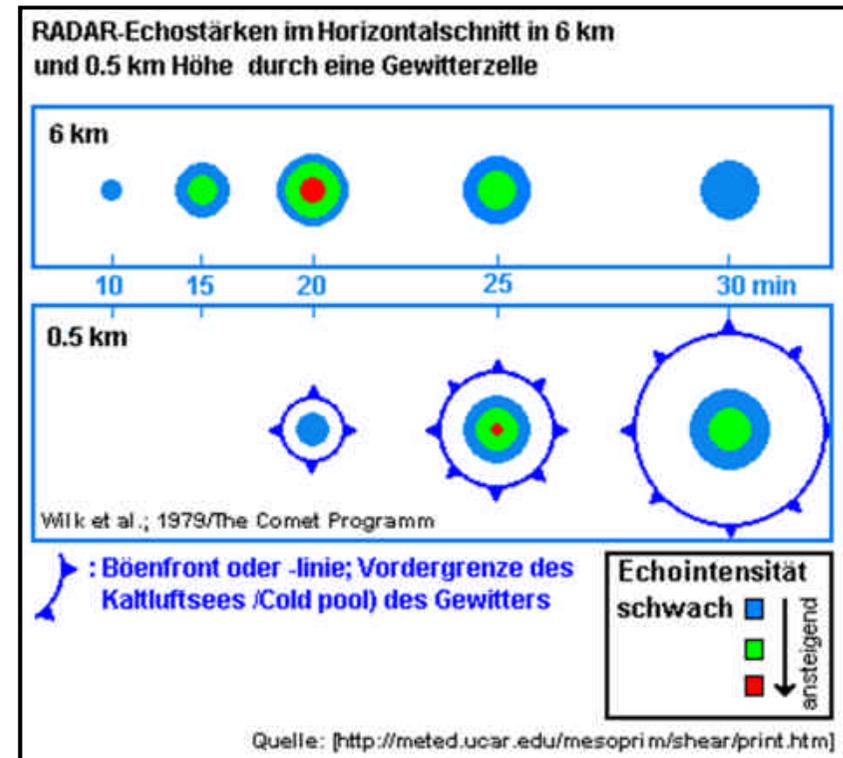
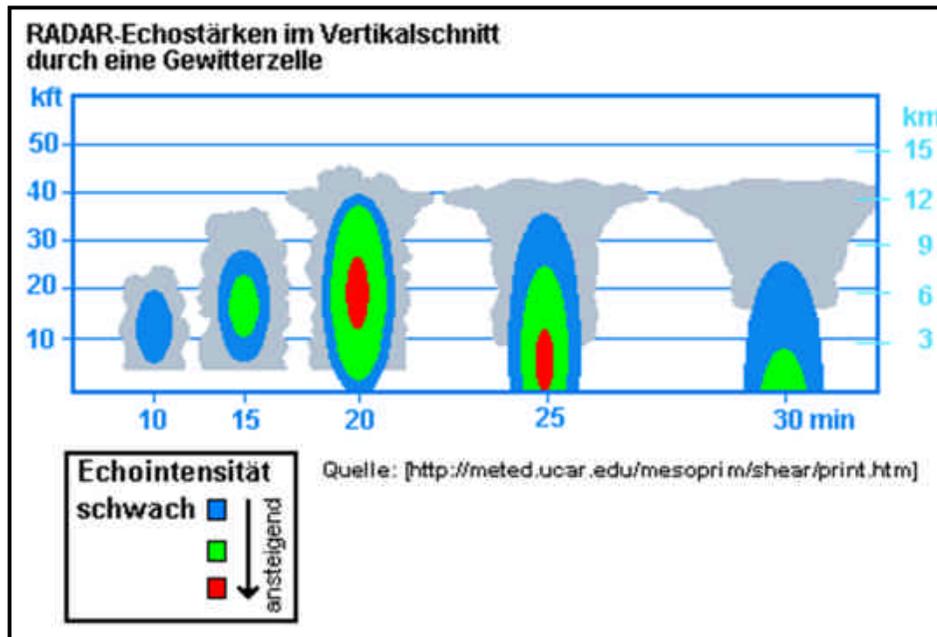
Gelbe und hellgraue Wolkenbereiche
kleine und große Wolkentropfen, auf dem Radarbild nicht sichtbar



Graupelkörner Frost- oder Reifgraupeln, $d < 5$ mm
Hagelkörner Eisteilchen mit $d \geq 5$ mm

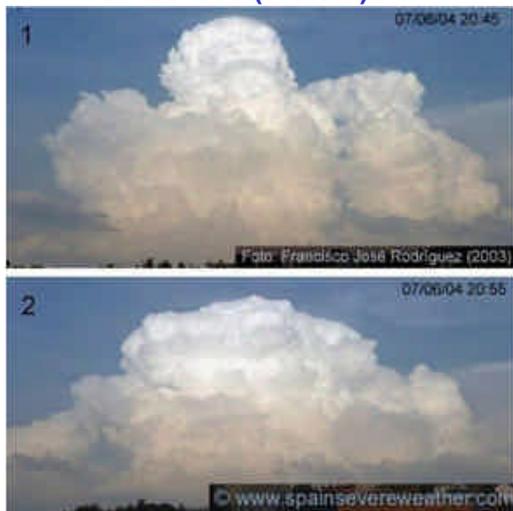


Entwicklungsstadien einer Einzelzelle (Teil 3)



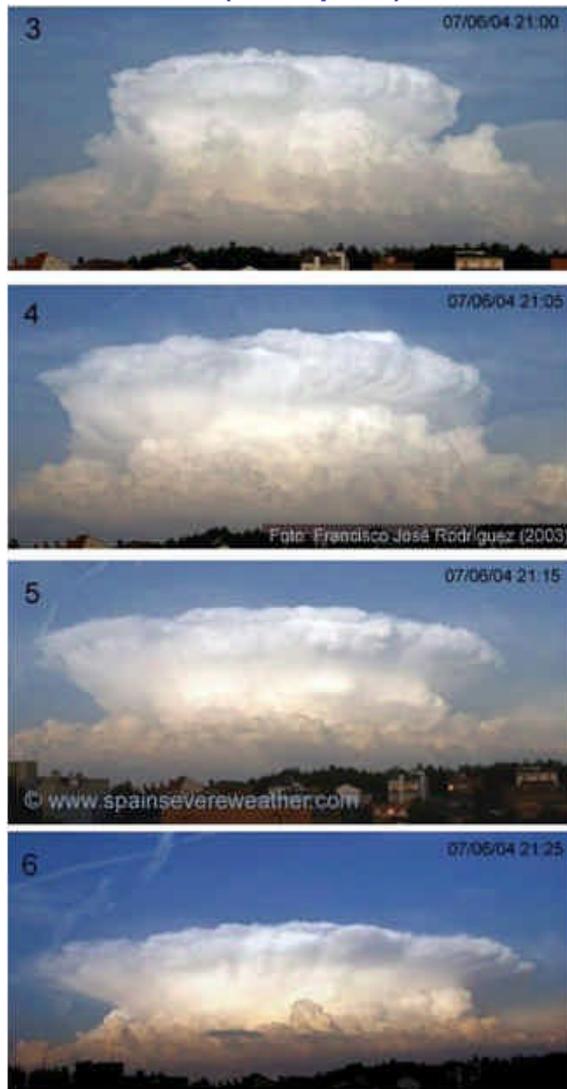
Entwicklungsstadien einer Einzelzelle (Teil 4)

Aufbaustadium (Cb cal)

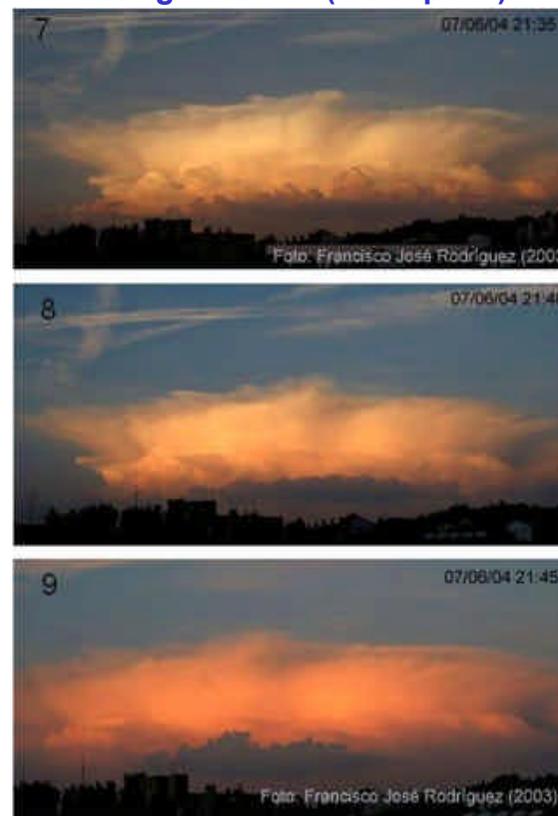


Zyklus von 20.45 bis 21.45 UTC,
vom Aufbau- bis zum Auflösungs-
stadium

Reifestadium (Cb cap inc)



Auflösungsstadium (Cb cap inc)



3.2 Multi- und Superzellen

3.2.1 Besonderheiten



Multizellen-Cluster (häufig)



Supercelle (selten)

- eigene, selbsterhaltende Zirkulation → Andauer mehrere Stunden möglich
- Entwicklung nur bei vertikaler Windscherung → gebogener Updraft
 - Voraussetzung für Entstehung großer Hagelkörner ($d \geq 2 \text{ cm}$)
 - Supercelle → größte Hagelkörner
- oft starke Böenfront oder -linie
- Übergangsformen zwischen Multi- und Supercelle möglich

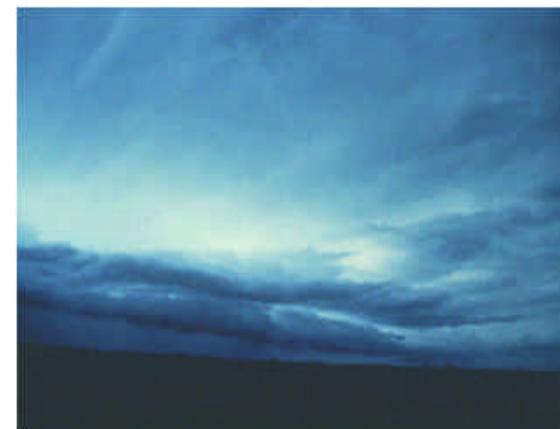


3.2.2 Multizelle

- Gewittersystem
 - Multizellen-Cluster → häufigstes TS; 2 - 5 Einzelzellen in unterschiedlichen Entwicklungsstadien
 - neue Zellen entstehen alle 5 - 10 Minuten; bis zu 30 Zellen insgesamt
 - horizontale Ausdehnung Basis etwa 15 - 30 km
 - umfangreicher, starker, gebogener, verzweigter (mehrere Zellen) Updraft
 - Multizellenlinie → Squall line (selten)
- Wettererscheinungen
 - Downbursts, mittelgroßer Hagel, Überschwemmungen, Böenlinie, “schwache” Tornados
 - für Öffentlichkeit mäßige Gefahr, für Luftfahrt mäßige bis große Gefahr



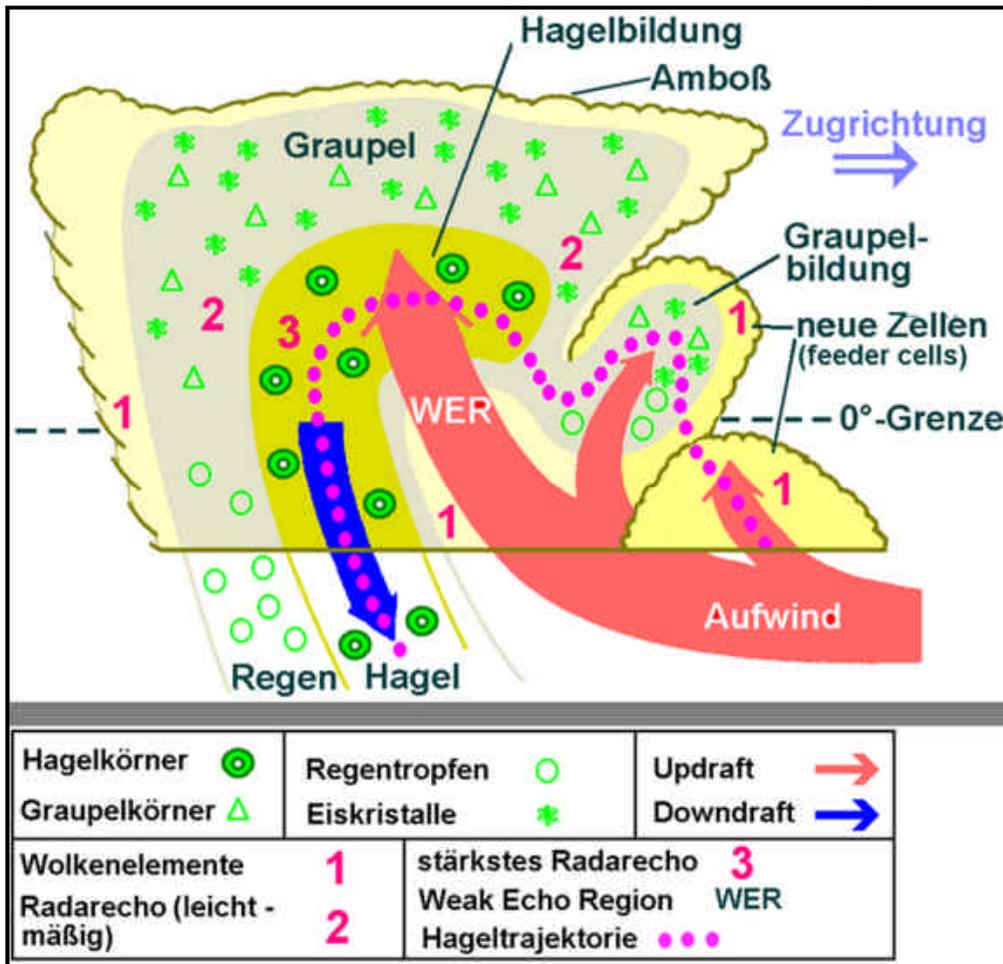
Multizellen-Cluster (häufig)



Multizellenlinie (Squall line, selten)



Schematische Darstellung einer Multizelle (3 Einzellen)



Gelbe Wolkenbereiche
 kleine und große Wolkentröpfchen, auf dem Radarbild nicht sichtbar

Graupelkörner Frost- oder Reifgraupeln, $d < 5 \text{ mm}$
Hagelkörner Eisteilchen mit $d \geq 5 \text{ mm}$



Multizellen-Cluster mit 5 Einzelzellen



Foto Bernhard Mühr, Universität Karlsruhe



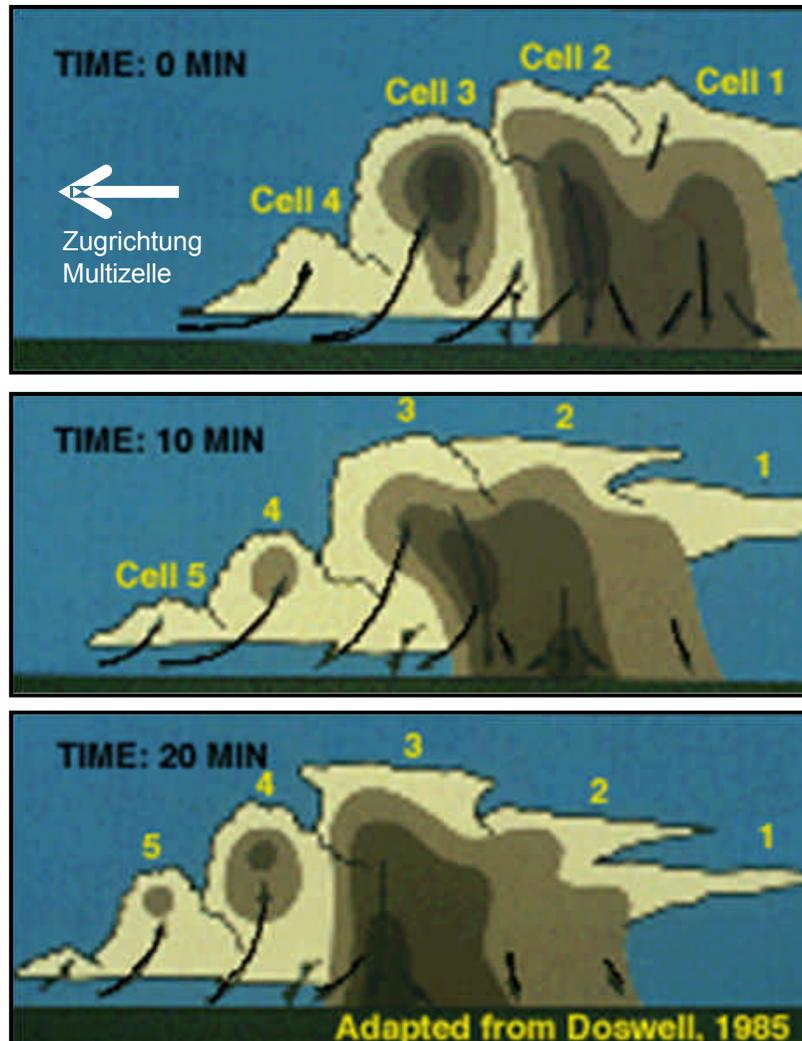
Multizelle über Langen am 01.11.2005



Foto B. Altmeyer, DWD, BTZ Langen



Schematische Darstellung der zeitlichen Entwicklung eines Multizellen-Clusters mit 5 Einzelzellen



Struktur des Multizellen-Clusters

Cell 1: älteste Einzelzelle

Cell 5: jüngste Einzelzelle

Farben der Grafik

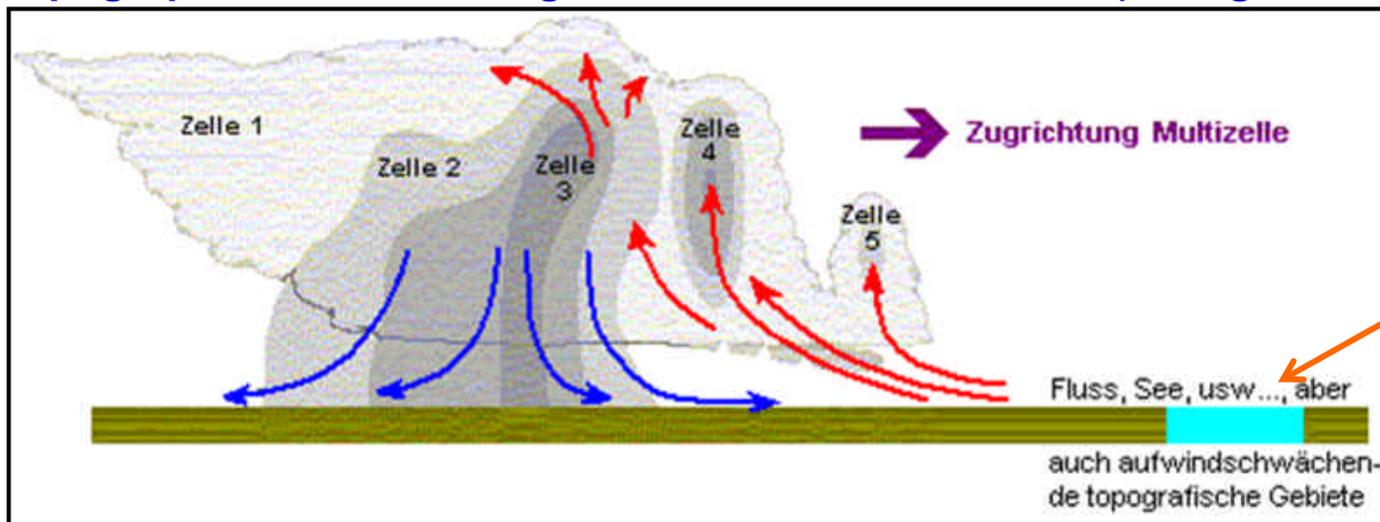
hell → kleine Wolkenelemente, auf dem Radar meist nicht sichtbar

mittel- bis dunkelbraun → Niederschlagselemente mit zunehmender Radarintensität

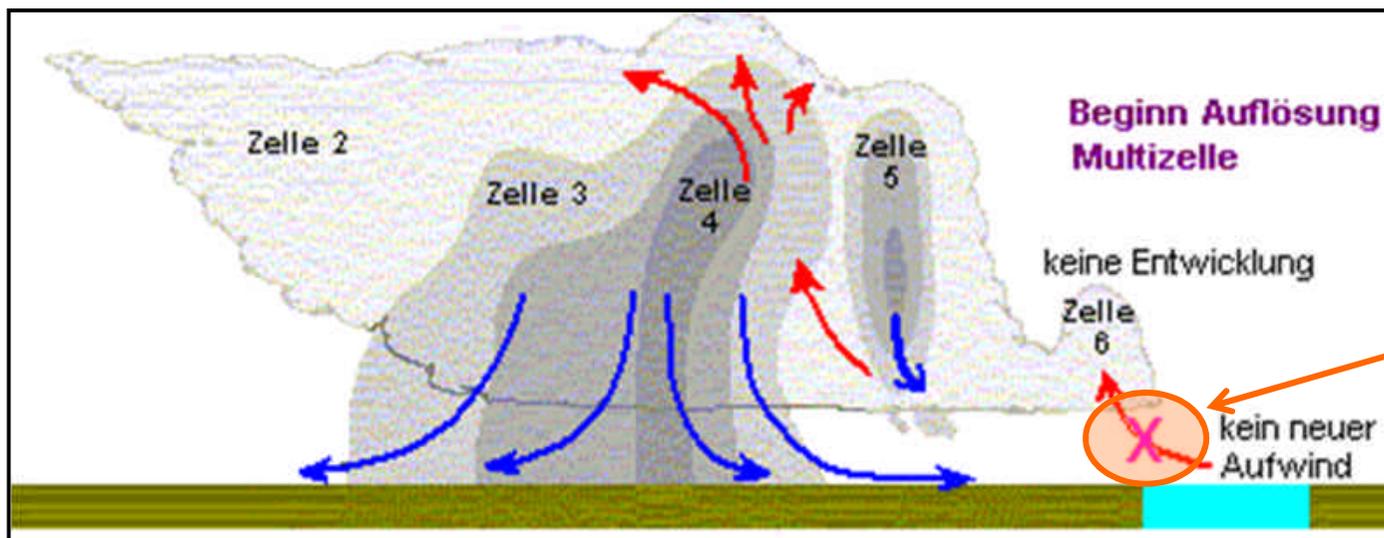
Pfeile → Auf- oder Abwärtsbewegungen der Luft



Topographie und Auflösung eines Multizellen-Clusters (häufigstes Gewitter)



Temperatur der Wasseroberfläche wesentlich geringer als die des aufgeheizten Erdbodens in der Umgebung



Warmluftzufuhr wird deshalb über der Wasseroberfläche abgeschnitten, so dass sich keine neue Zelle bildet und das Multizellen-Cluster sich damit aufzulösen beginnt.



3.2.3 Superzelle (selten)

- Ausmaße
 - riesige Einzelzelle mit meist mesoskaligem Tiefdruckgebiet
 - räumlich/zeitlich größtes und gefährlichstes Gewittergebilde
 - Basis → $d \approx 50$ km, Top → $d \approx 200$ km
 - Andauer mehrere Stunden möglich

- Wettererscheinungen bedrohliche Downbursts,
 - großer Hagel, Überschwemmungen, starke Böen, extreme Tornados

- für Öffentlichkeit und Luftfahrt große Gefahr



Superzelle USA



Foto NOAA: Superzelle über Deutschland, 10.06.2003



Schematische, nicht maßstäbliche Struktur einer klassischen Superzelle

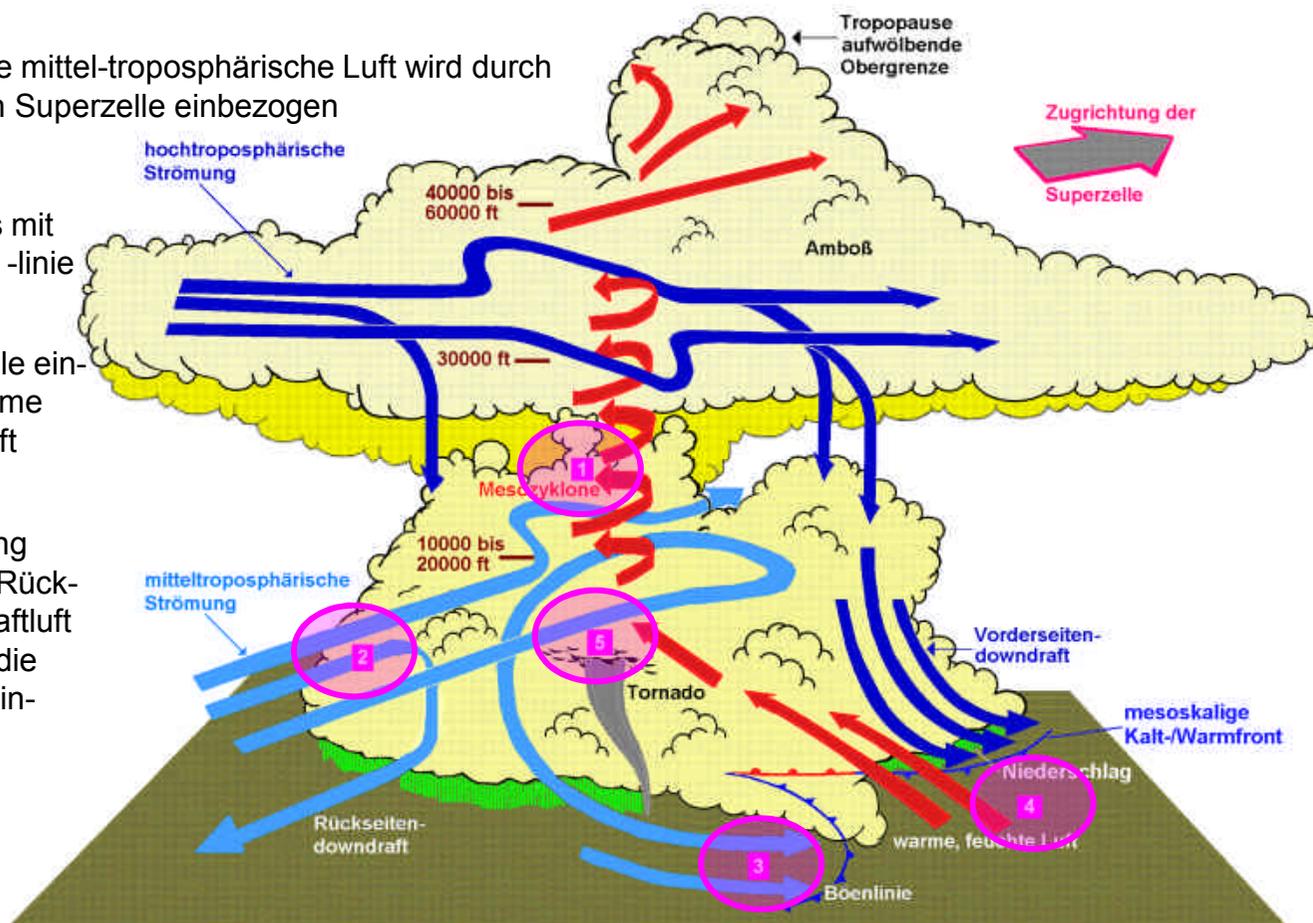
- Mesozyklone, Motor der Superzelle

- ▲ Trockene, kühle mittel-troposphärische Luft wird durch Mesozyklone in Superzelle einbezogen

- ▼ Kaltluftausfluss mit Böenfront oder -linie

- ⊕ In die Superzelle einströmende warme und feuchte Luft

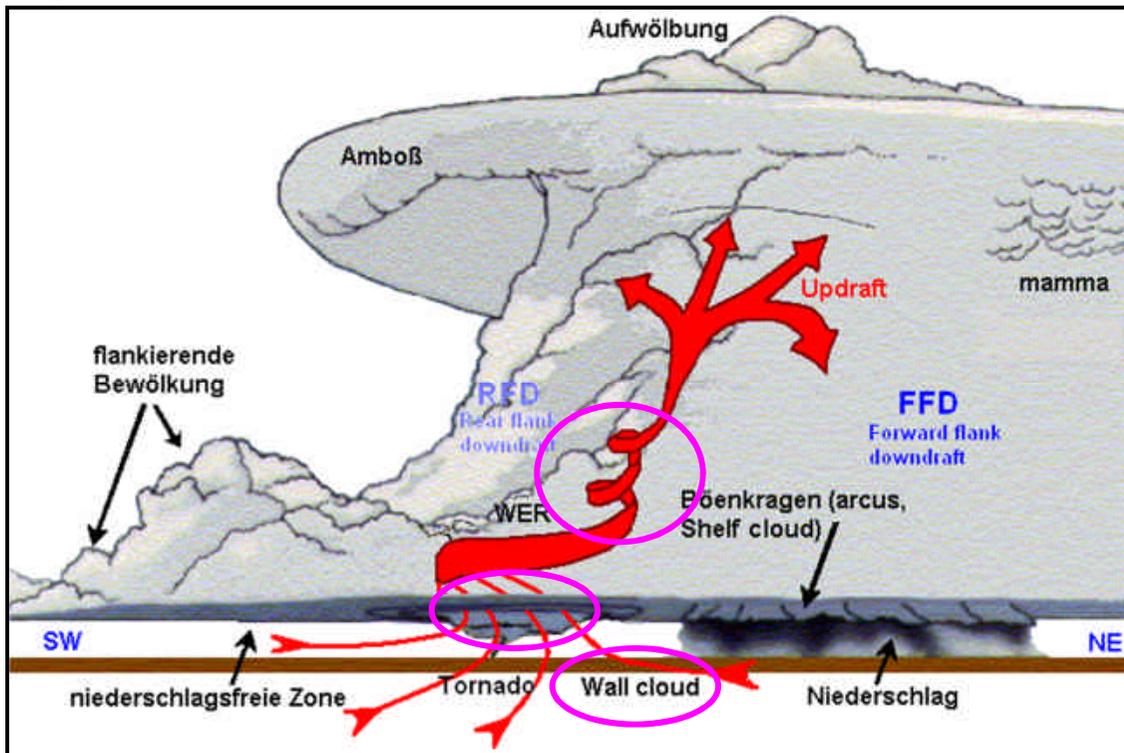
- ⊕ Tornado; Bildung dort, wo kühle Rückseiten-Downdraftluft spiralförmig in die Mesozyklone einbezogen wird



Quelle: [The Weather Book, Jack Williams, USA TODAY, April 1992]



Superzelle



Updraft rotiert → Meso-Zyklone

Wall cloud

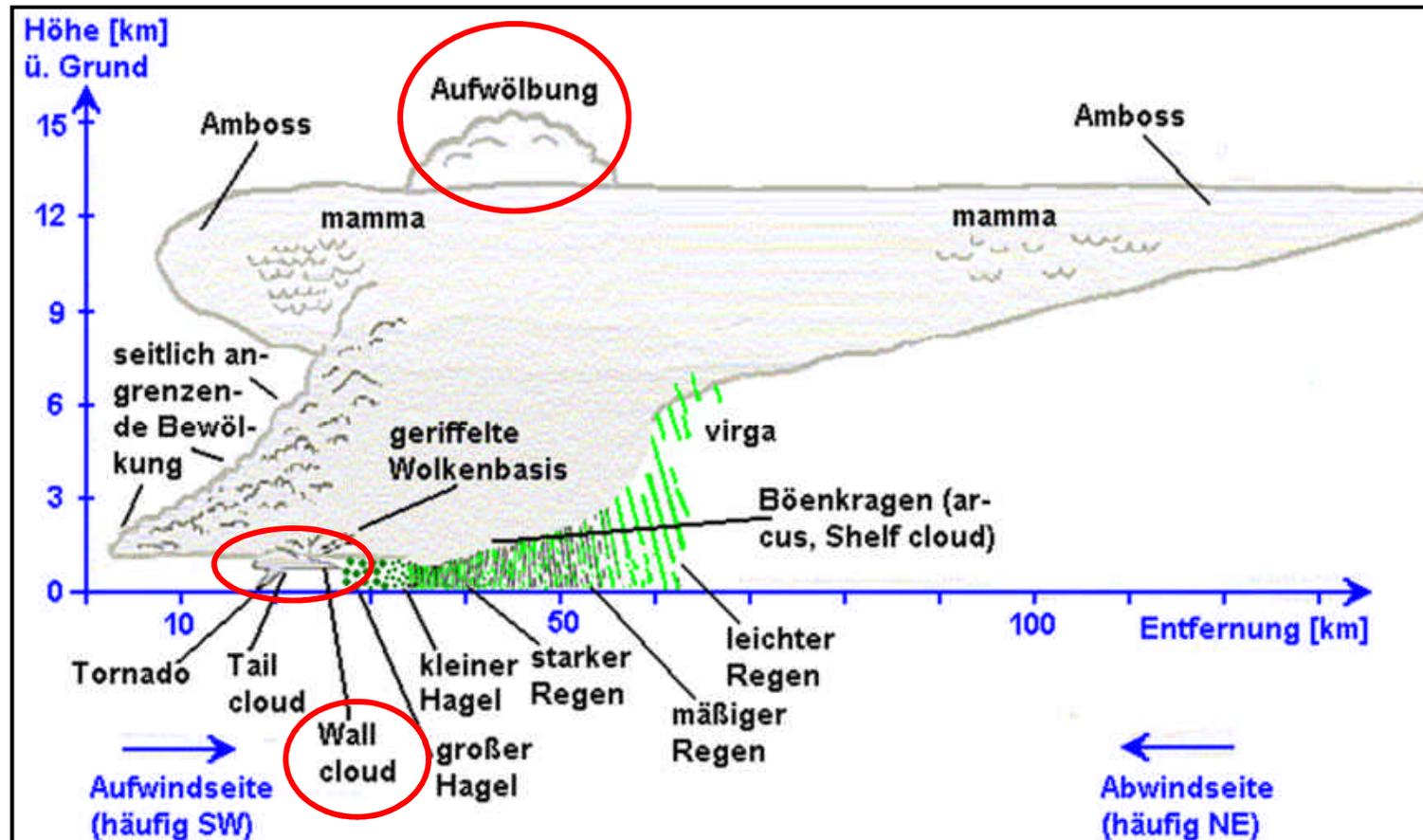
Eine Wolke mit einem Durchmesser von etwa 1.5 - 6.5 km, deren Untergrenze niedriger als die des Schergewitters ist und die in der regenfreien Zone unter dem starken Aufwindstrom kurz nach Niederschlagsbeginn entstehen kann. Anteile der durch Verdunstung von Regen abgekühlten und dadurch absinkenden, sehr feuchten Luft geraten in den Updraft und strudeln aufwärts, bis der Wasserdampf nach kurzer Hebung kondensiert. Aus der Ferne betrachtet zeigen viele Wall Clouds sowohl eine kräftige Aufwärts- als auch Rotationsbewegung, die der von Tornados gleicht, aber von geringerer Stärke ist. Wall clouds entwickeln sich meist im Zeitraum von wenigen Minuten bis zu einer Stunde bevor die Großtrombe in Erscheinung tritt.



Superzelle



Phänomene einer Superzelle



Superzelle mit markanter Wall cloud (Italien 2002)



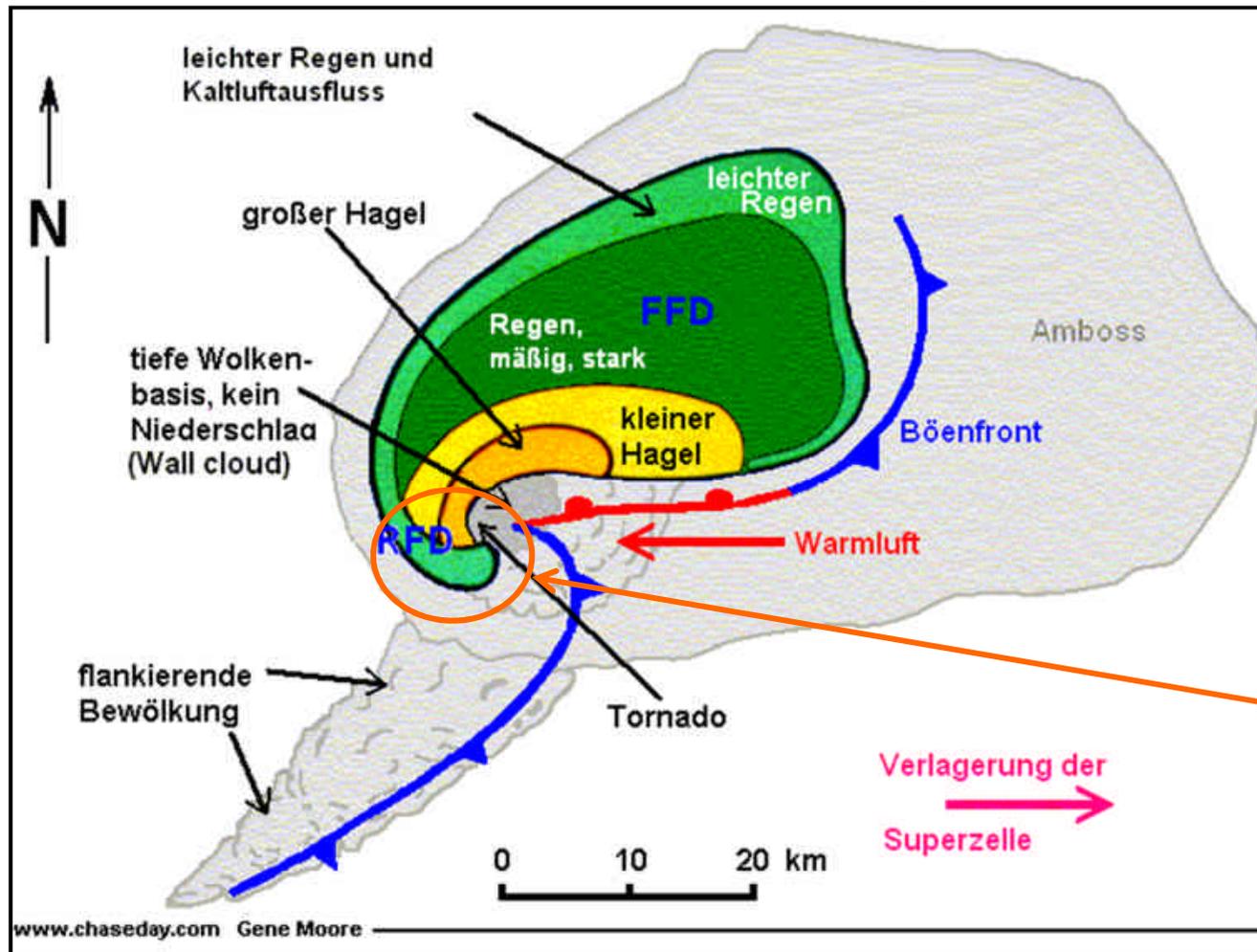
Superzelle bei Chemnitz 29.07.2005, 18.54 MESZ



[Quelle: <http://www.wetter-zentrale.com/cgi-bin/webbbs/wzconfig.pl?read=746237>,
Fotograf Jarin Nemecek, krysaq@krysaq.cz]



Schematischer Horizontalschnitt durch eine Superzelle



Echo hat Hakenform





Haben Sie

Fragen ?

Tipps ?

Hinweise ?

Anregungen ?

Kommentare ?

Bemerkungen ?

Ergänzungen ?





Kapitel 4

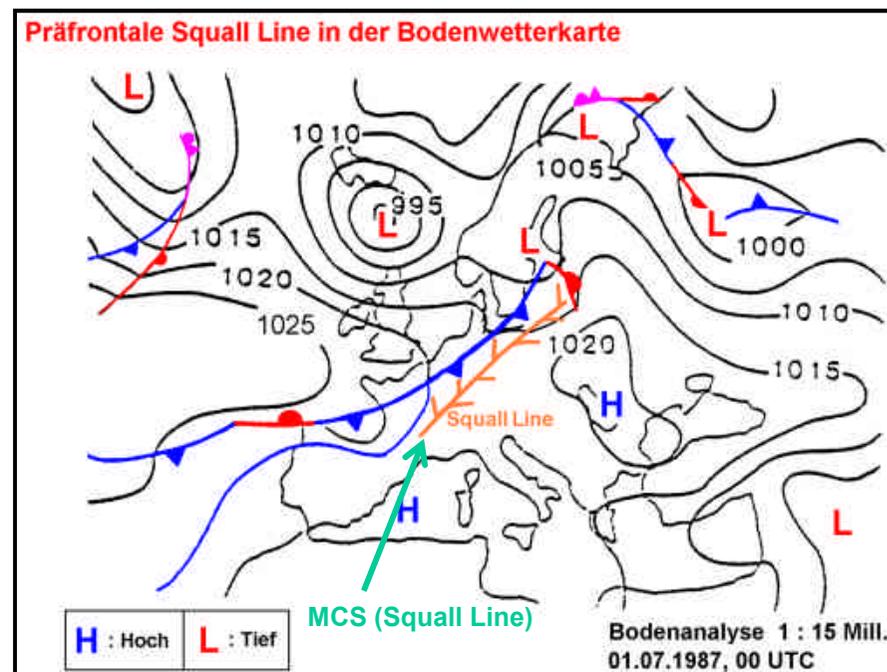
Mesoskalige konvektive Systeme - Konvergenzlinien und Squall lines



Mesoskaliges konvektives Wettersystem (MCS)

- Wettersystem mit Gewittern
 - Lebensdauer mehrere Stunden
 - Ausdehnung einige 100 km

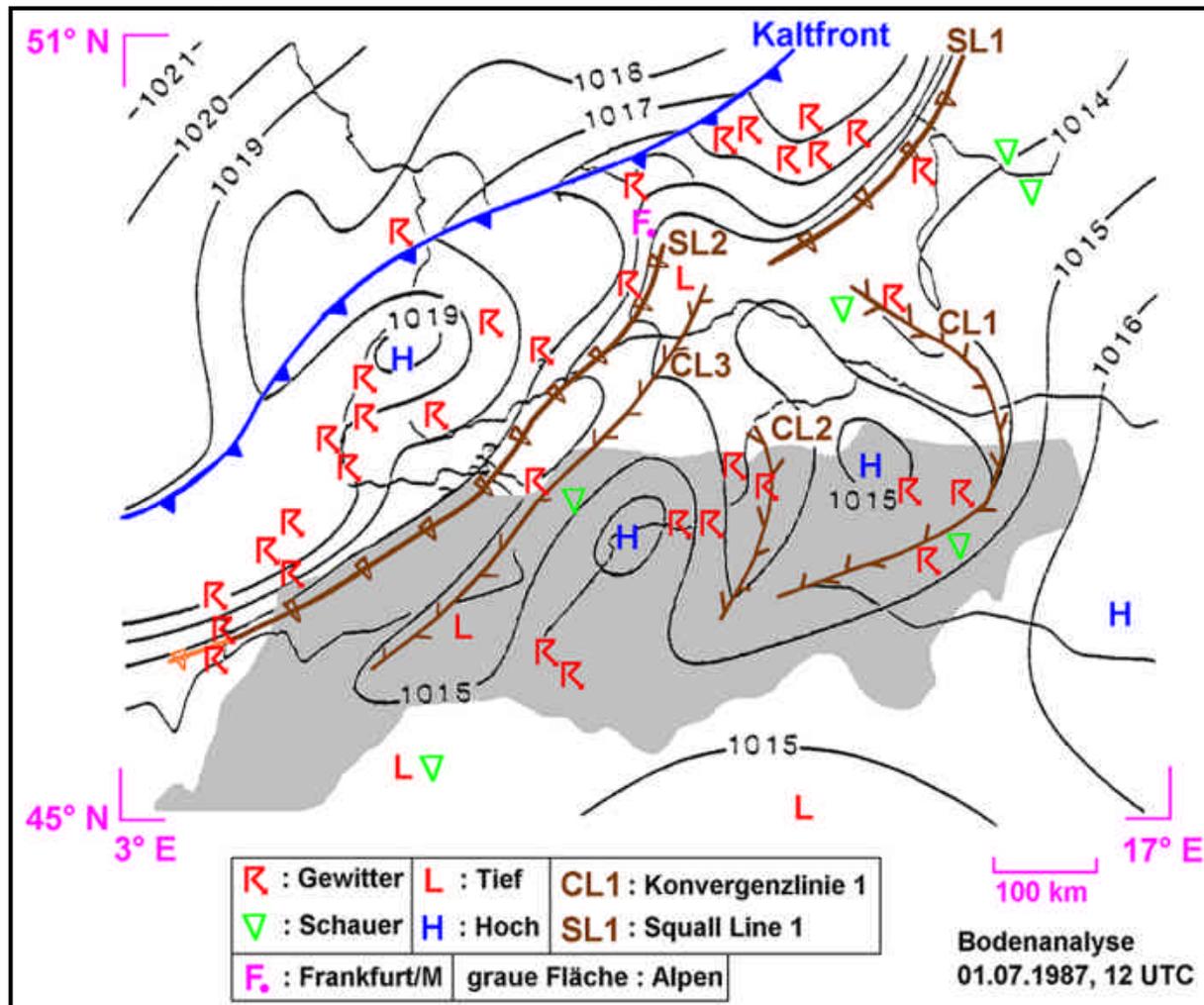
- Form
 - linienhaft
 - Konvergenzlinie
 - Squall line (linienhafte Multizelle)
 - Kaltfront
 - annähernd rundes Cloud cluster (Mesoskaliger konvektiver Komplex (MCC), nicht in Mitteleuropa)



Bodenanalyse einer sommerlichen Wetterlage mit Gewittern an einer präfrontalen Squall Line



Mesoskalige konvektive Wettersysteme am 01.07.1987, 12 UTC



Mesoskalige oder feine Analyse (Isobarenabstand von 1 zu 1 hPa) einer Gewitterlage mit 3 Konvergenzlinien und 2 Squall lines; Isobarenstruktur zeigt Gewittersack



Auswirkungen eines MCS in Saarbrücken am 20.08.1992

zczc
 xx03 201600
 edrs
 zuf info de flugwewa sr

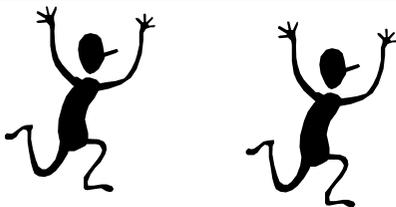
EINGEGANGEN DEUTSCHER WETTERDIENST WETTERDIENSTSCHULE			
21 AUG. 1992			
L	21/8		

durchgang der gewitterfront in saarbruecken/ensheim am 20.08.92
 um 14.40 utc

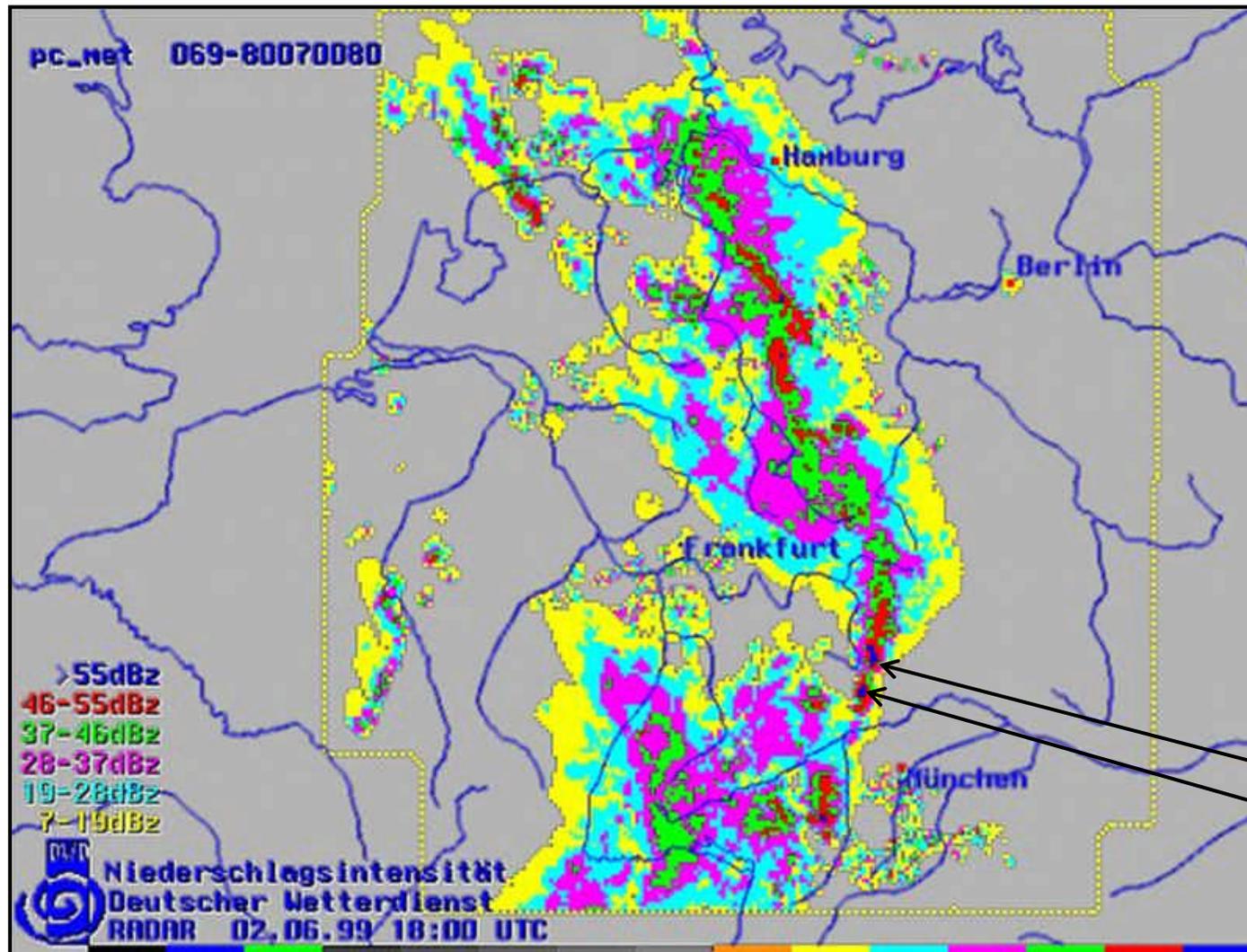
temperaturrueckgang von 25.1 grad c auf 14.2 grad c
 sichtrueckgang von 30 km auf 200 meter
 windspitze: 90 kt aus west 10-min-mittel: 29 kt
 ww: 99 **162 km h⁻¹**
 hagelkorndurchmesser: 24 mm
 niederschlag von 14.32 bis 14.55 utc 32.6 mm

minuten des grauens und voller stress
 (aber vielleicht einmalig im leben eines beobachters...)

flugwetterwarte saarbruecker/ensheim / rosch++++=



Radarbild eines MCS (Deutschland)



Radarreflexion Z, Intensität des Radarechos in dBZ ($\text{dBZ} = 10 \log Z$; Dezibel von Z)

stärkste Echos mit > 55 dBZ



Squall line

- Auftreten in tropischen und mittleren Breiten

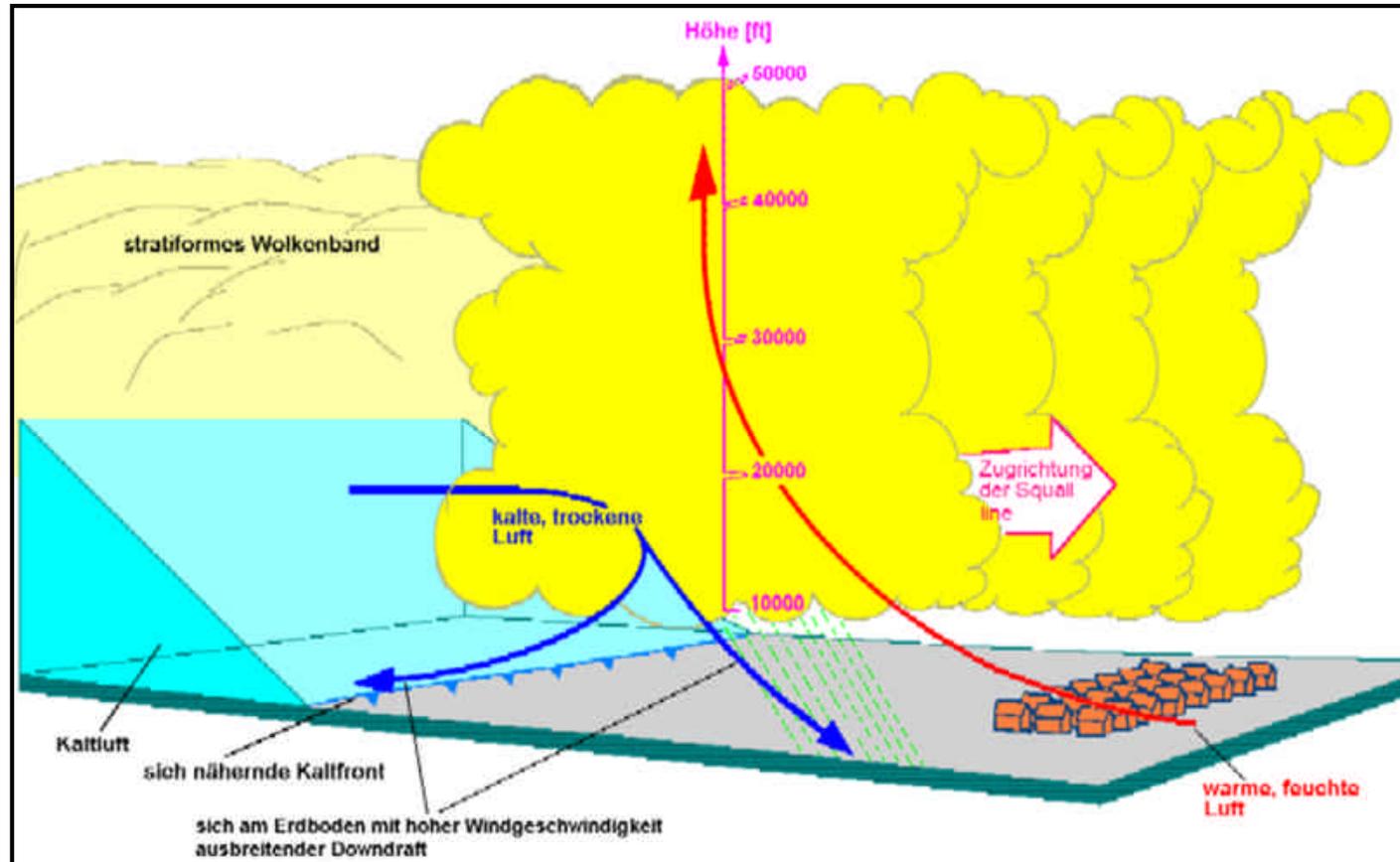
- linienhaftes Gewittersystem (Einzel-, Multi-, manchmal Superzellen)

- horizontale Ausdehnung und Andauer
 - mindestens 50 km lang und 15 Minuten anhaltend
 - bis zu 100 km breit und mehrere 100 km lang

- besondere Merkmale
 - markante Böenfront aus Böenlinien der individuellen Gewittertypen
 - sehr wetteraktiv → schwere Gewitter, Starkwind, Hagelschlag, manchmal Tornados
 - am kräftigsten und häufigsten etwa 80 - 240 km vor heranziehender Kaltfront im Warmsektor einer Zyklone



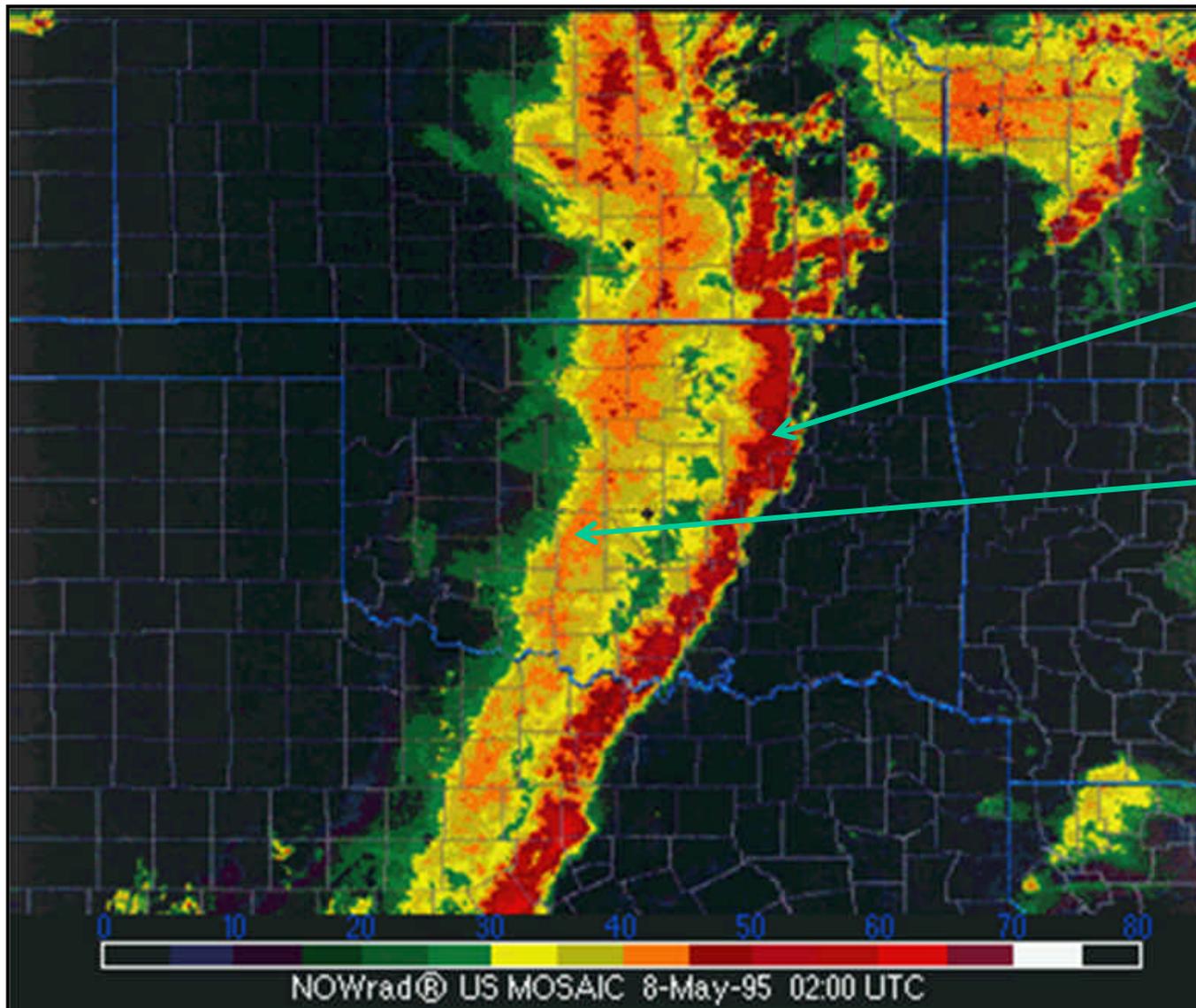
Schematische Zeichnung einer präfrontalen Squall line



präfrontal → vor einer heranziehenden Kaltfront (ca. 80 – 240 km)



Squall line (USA)



Stärkeres Radarecho
Squall Line
konvektiver Niederschlag

Schwächeres Radarecho
Kaltfront
stratiformer Niederschlag



Squall line (USA)





Haben Sie

Fragen ?

Tipps ?

Hinweise ?

Anregungen ?

Kommentare ?

Bemerkungen ?

Ergänzungen ?





Kapitel 5

Entstehung, Erscheinungsformen und Auswirkungen von

5.1 Tornados

5.2 Downbursts

5.3 Starkniederschlägen

5.4 Hagelkörnern

5.5 Blitzen

5.1 Tornados (stärkster Tornado → destruktivste Wettererscheinung der Erde)

- meteorologische Großtrombe
 - Erdboden nicht berührend → Wolkenschlauch
 - Untergrund berührend
 - über Land → Tornado
 - über dem Meer → Wasserhose
- zwei Haupttypen; Entstehung
 - im Kaltluftausfluss einer Gewitterzelle (max. F2)
 - meist nur „schwacher“, örtlicher Wirbel
 - Andauer i.a. < 5 Minuten
 - Windgeschwindigkeiten selten > 240 km h⁻¹
 - im Aufwindbereich einer Superzelle → stärkste Tornados
 - z.B. F4: Windgeschwindigkeit 333 bis 419 km h⁻¹



Wolkenschlauch (Funnel cloud)



Tornado



Wasserhose



Fujita-Pearson-Skala (F-Skala)

Dr. Tetsuya Theodore Fujita, Prof. University of Chicago, 1920 -1998;
Forschungsschwerpunkt Unwetter (Tornado, Downburst)

Art	Windgeschwindigkeit	Zerstörungskraft
F0	$\leq 116 \text{ km h}^{-1}$ ($\leq 72 \text{ Meilen h}^{-1}$)	leicht
F1	$> 117 \text{ bis } 180 \text{ km h}^{-1}$ ($> 73 \text{ bis } 112 \text{ Meilen h}^{-1}$)	mäßig
F2	$\geq 181 \text{ bis } 253 \text{ km h}^{-1}$ ($\geq 113 \text{ bis } 157 \text{ Meilen h}^{-1}$)	bedeutend
F3	$> 254 \text{ bis } 332 \text{ km h}^{-1}$ ($> 158 \text{ bis } 206 \text{ Meilen h}^{-1}$)	stark
F4	$\geq 333 \text{ bis } 419 \text{ km h}^{-1}$ ($\geq 207 \text{ bis } 260 \text{ Meilen h}^{-1}$)	verheerend
F5	$> 420 \text{ km h}^{-1}$ ($> 261 \text{ Meilen h}^{-1}$)	unglaublich

Beaufortskala B (Skala der Windgeschwindigkeit v)

B (Bft)	m s^{-1}	km h^{-1}	
06	10.8 - < 13.9	39 – 49	starker Wind
07	13.9 - < 17.2	50 – 61	steifer Wind
08	17.2 - < 20.8	62 – 74	stürmischer Wind
09	20.8 - < 24.5	75 – 88	Sturm
10	24.5 - < 28.5	89 – 102	schwerer Sturm
11	28.5 - < 32.7	103 – 117	orkanartiger Sturm
12	> 32.7	> 118	Orkan

$$v = 0.836 \cdot B^{3/2} \text{ [m s}^{-1}\text{]}$$

$$v = 3.01 \cdot B^{3/2} \text{ [km h}^{-1}\text{]}$$



Zerstörungen eines F0- und F1-Tornados (USA)



Schäden eines F0-Tornados



Schäden eines F1-Tornados

F1-Tornado: 117 - 180 km h⁻¹



F4-Tornado (USA)



Schäden eines F4-Tornados

F4-Tornado: 333 - 419 km h⁻¹

Beispiel Winddruck
(Orkan, Bft 12: $\geq 66.6 \text{ kg m}^{-2}$)
3 m Holzlatte wurde im Hurrikan durch eine Palme getrieben.



Quelle: [Sturm – Neue Schadendimensionen einer Naturgefahr; Münchener Rückversicherungsgesellschaft]

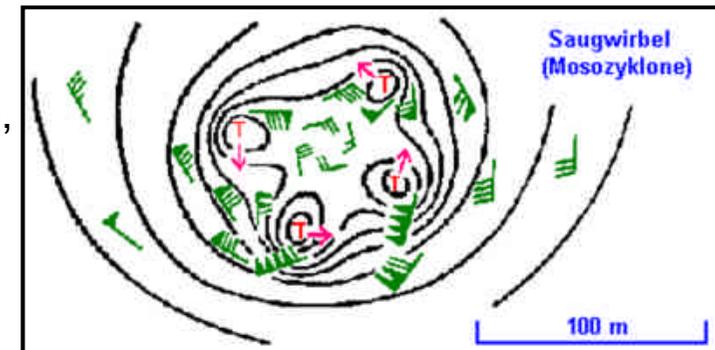
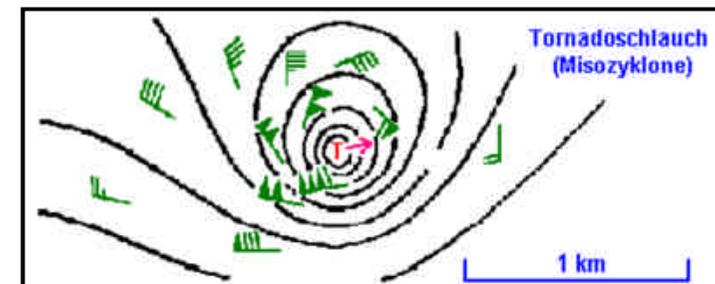


[Videofilm](#)

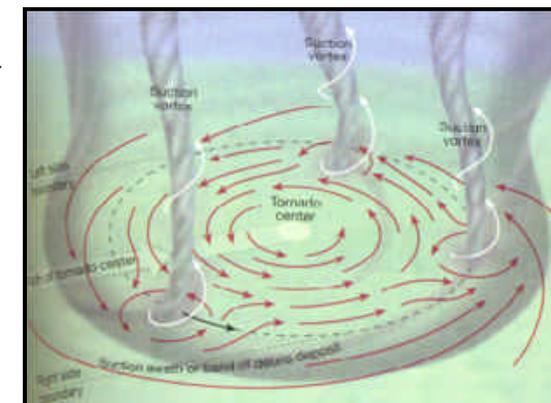


weiter

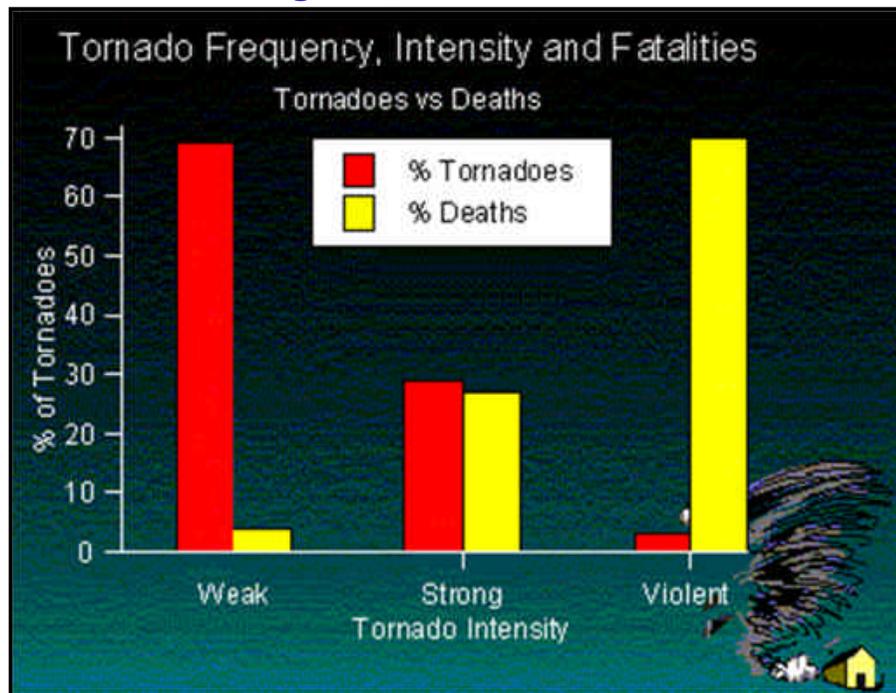
- Tornado-Extreme
 - kleinste Tornados
 - Lebenszeit wenige Sekunden, Wegstrecke wenige Meter, Windgeschwindigkeit $\leq 80 \text{ km h}^{-1}$
 - seltene Monster-Tornados (z.B. Twister)
 - mehrere, sich ständig Neubildende/auflösende Wolkenschläuche, Andauer von Stunden möglich, Tornado-Durchmesser von über 800 m, Wegstrecke mehr als 320 km, Windgeschwindigkeit $> 420 \text{ km h}^{-1}$ (F5)
- Struktur von großen Tornados
 - Tornadorüssel (Misozyklone)
 - Saugwirbel (Mosozyklone)
 - bis zu 6 im Tornadorüssel



Mögliche Struktur eines horizontal großen Tornados



Tornado-Häufigkeit, -Intensität und -Todesfälle (USA)



Schwache Tornados

fast 70 % aller Tornados sind „schwach“ mit Todesfällen von unter 5 %

Starke Tornados

knapp 1/3 aller Tornados sind stark und führen zu etwa 30 % der Todesfälle

Heftige Tornados

weniger als 4 % aller Tornados sind heftig, aber sie verursachen ca. 70 % der Todesfälle



Markante Tornados/Wasserhosen in Europa

Datum	Ort	Stärke	Besonderheiten
30.04.1054	England, Killbeggan	k.A.	frühester bekannter Tornado in Europa
23.10.1091	England, Zentral-London	T8	stärkster bekannter Tornado in England
Juni 1233	Süd-England	k.A.	früheste bekannte britische Wasserhose
23.09.155?	Malta, Hafen von Valetta	T7	Wasserhose vernichtete militärische Schiffsflotte; 600 Tote
Sept. 1669	Frankreich	k.A.	längste bekannte Tornadospur; 400 km
22.09.1810	England, Fernhill Heath	T4	breiteste bekannte Tornadospur; 805 - 1609 m
19.08.1845	Frankreich, Montville	T10 - T11	Tornadospur 15 - 30 km lang, 100 - 300 m breit, 70 Tote
28.12.1879	England, Brücke am Tay	k.A.	Einsturz der Brücke mit Konstruktionsmängeln durch Wasserhosen; Zug von Brücke gerissen, 74 Tote
03.06.1902	Frankreich, Javaugues	T6 - T7	größter bekannter Tornado; 3 km breit
24.07.1930	Italien, Treviso/Udine	T10-11	Spur der Verwüstung 80 km, 22 Tote
21.09.1981	England	T5 (stärkste)	längste Tornadoausbruch in England; entlang einer Kaltfront traten 105 Tornados in 5.5 h auf; keine Toten
09.06.1984	West-Rußland	T10	über 400 Tote

k.A. : keine Angaben

Meaden-Skala (T-Skala)

(Tornado und Storm Research Organization (Torro, UK))

Skala feiner und nach oben offen

T7 : 302 bis 342 km h⁻¹,
F3-/F4-Tornado

T8 : 346 bis 385 km h⁻¹,
F4-Tornado

T10 : 436 bis 482 km h⁻¹,
F5-Tornado

Theodor Fontane (30.12.1819 – 20.09.1898)

„Die Brücke am Tay“

„Wann treffen wir drei wieder zusamm'?"

"Um die siebente Stund', am Brückendamm."

"Am Mittelpfeiler."

"Ich lös'ch die Flamm'."

"Ich mit "

"Ich komme vom Norden her."

"Und ich vom Süden."

"Und ich vom Meer."

3 Wasserhosen

"Hei, das gibt ein Ringelreihn,
und die Brücke muß in den Grund hinein."

"Und der Zug, der in die Brücke tritt
um die siebente Stund'?"

"Ei, der muß mit."

"Muß mit."

"Tand, Tand

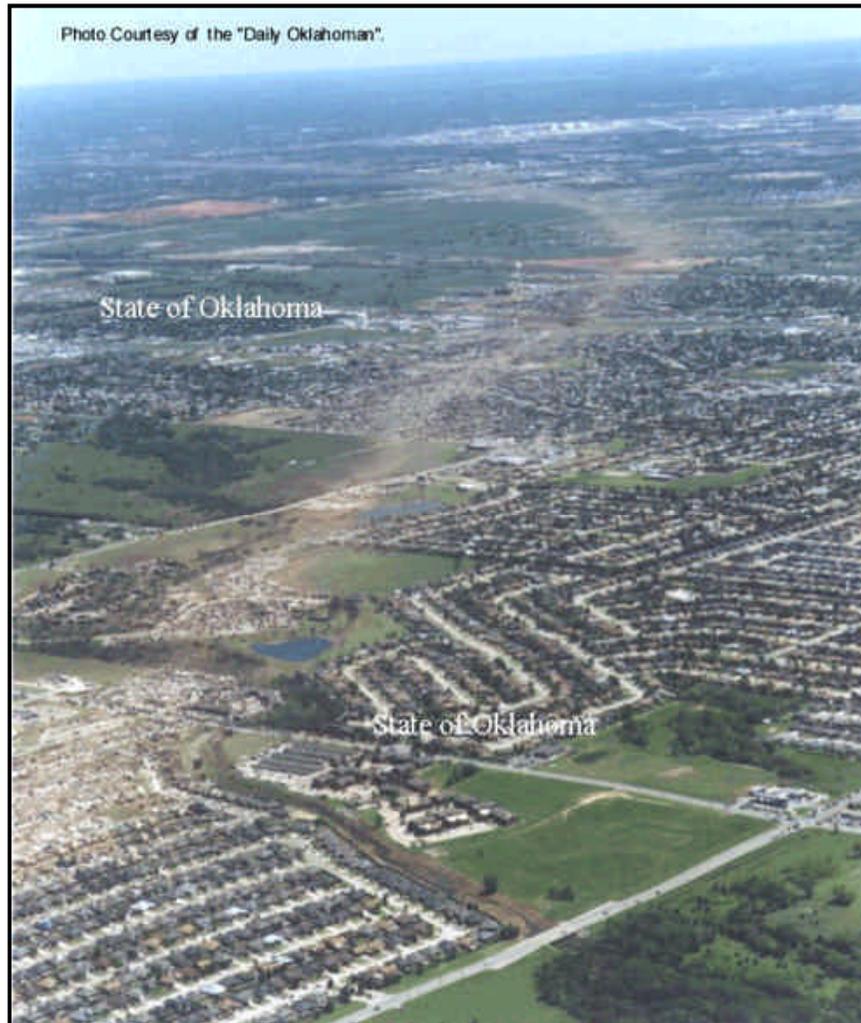
ist das Gebild von Menschenhand . . .

.....

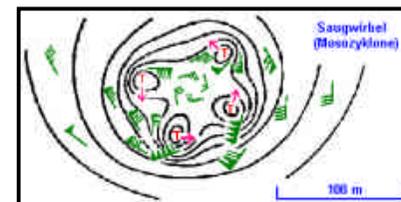


weiter

Spur der Verwüstung von F5-Tornados (USA)



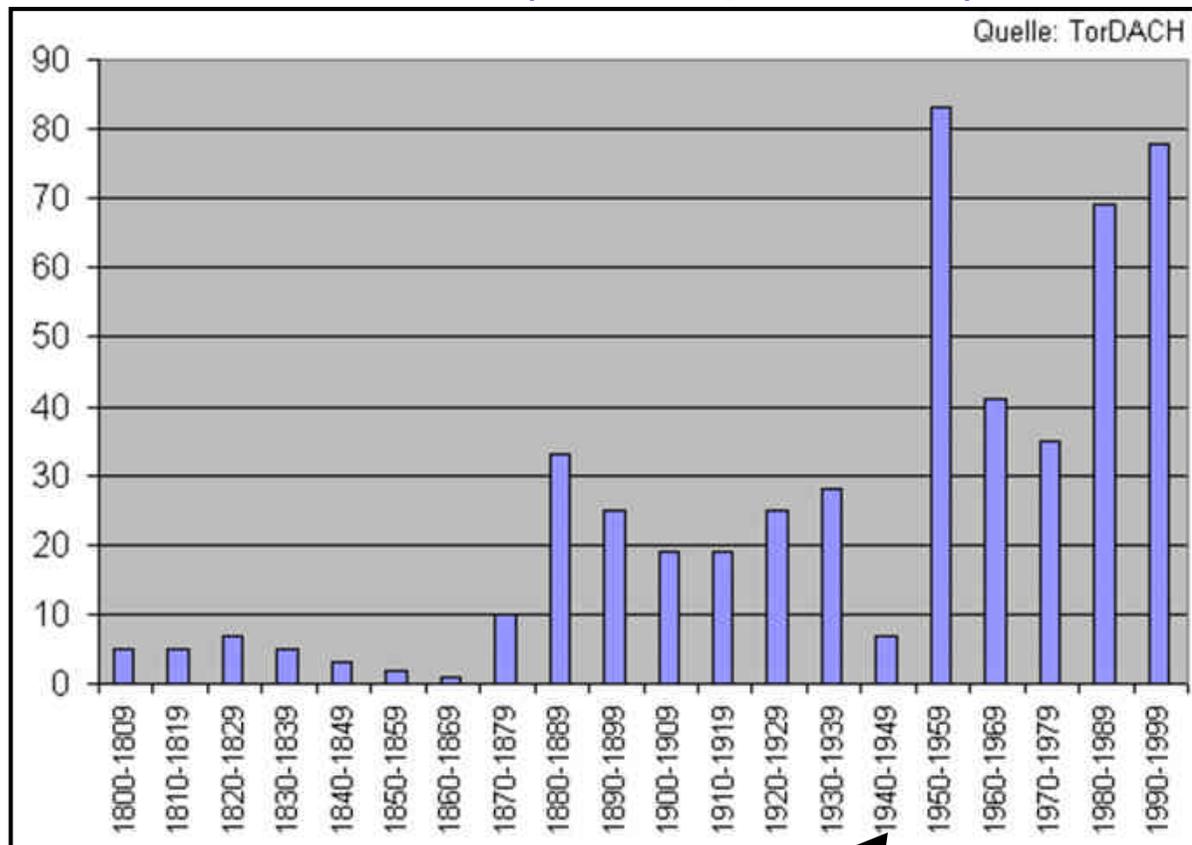
ZDF Nachrichten, 25.02.1998, 19:00 Uhr
 Ein Kleinkind, in eine Bettdecke eingewickelt, wurde von einem Twister durch die Luft getragen und in einem Baum zwischen den Ästen praktisch unverletzt - es wies nur einige Kratzer auf - abgelegt.



Mögliche Struktur eines horizontal großen Tornados



Tornados in Deutschland (Beobachtungen 1800 – 1999)



Tornado-Beobachtung
abhängig von Besied-
lungsdichte

TorDACH
Kompetenzzentrum für lokale Un-
wetter in Deutschland, Österreich
und der Schweiz

2. Weltkrieg



Der Tornado von Pfungstadt-Hahn am 01.05.1998 gegen 16:30 Uhr



[Quelle: Darmstädter Echo vom 08.05.1998]

Schäden (Darmstädter Echo, 06. Mai 1998)

20 abgedeckte Hausdächer, 1 zerlegter Bauwagen (nur Fahrgestell blieb übrig), gefällt hundertzehnjährige Buchen, eingedrückte Fensterscheiben, zerstörte Pavillons;
Schneise der Verwüstung ca. 100 m breit und 2 km lang

Stärke des Pfungstädter Tornados: F2

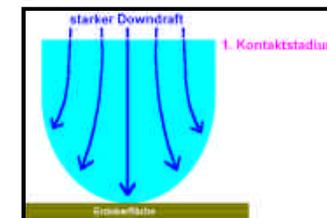
aufgetretene Schäden und geschätzte Windgeschwindigkeit von 200 km h^{-1} lassen auf einen F2-Tornado schließen



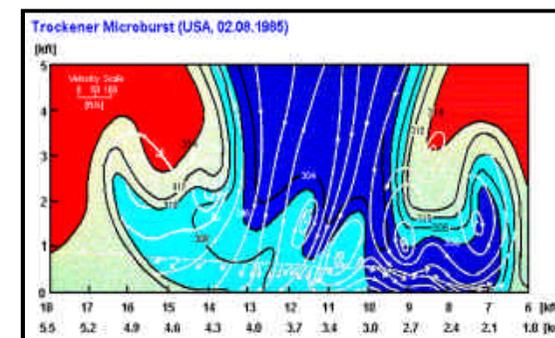
5.2 Downburst

- räumlich/zeitlich kleinskaliger, sich horizontal ausbreitender, bodennaher, stark divergenter Kaltluftausfluss aus TS (n. Fujita 1981) → gefährlich für Luftfahrt
- Macro- und Microburst
 - Macroburst
 - Ausbreitungsdurchmesser > 4 km, Lebensdauer ca. 5 bis 60 Minuten
 - Microburst
 - Ausbreitungsdurchmesser 0.4 bis zu 4 km, Lebensdauer ca. 5 bis 15 Minuten
 - trockener oder feuchter Microburst
 - gefährlich für Luftfahrt → hohe Windgeschwindigkeiten, starke horizontale Windscherungen
 - 01.08.1983, Andrews Air Force Base (Washington) → Windgeschwindigkeitsänderung von 110 m s^{-1}

Downburst



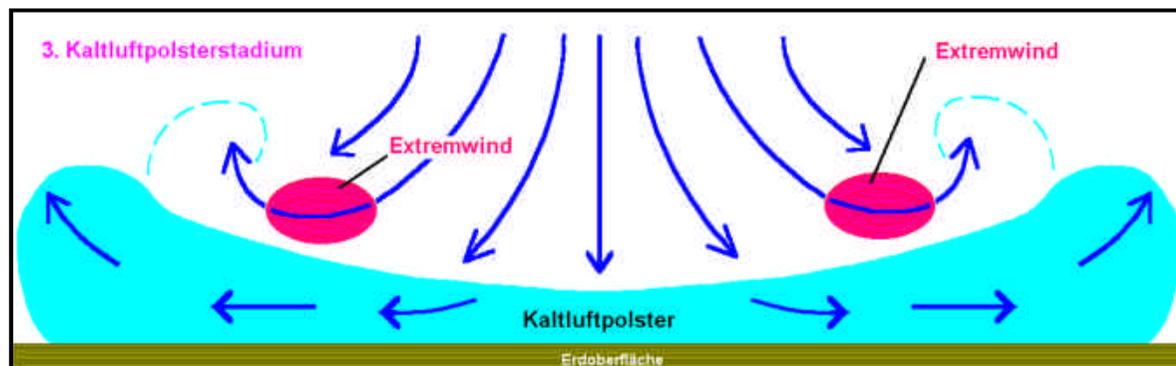
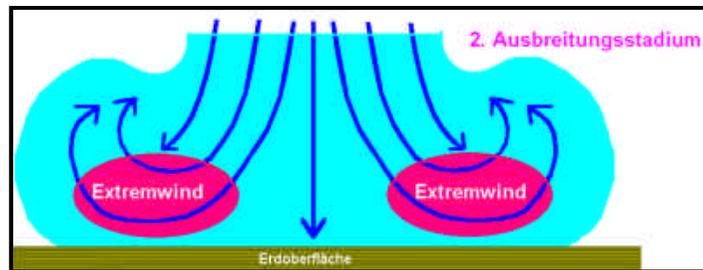
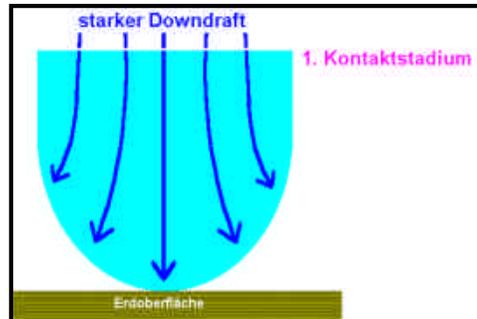
feuchter Microburst (sichtbar)



trockener Microburst (nicht sichtbar)



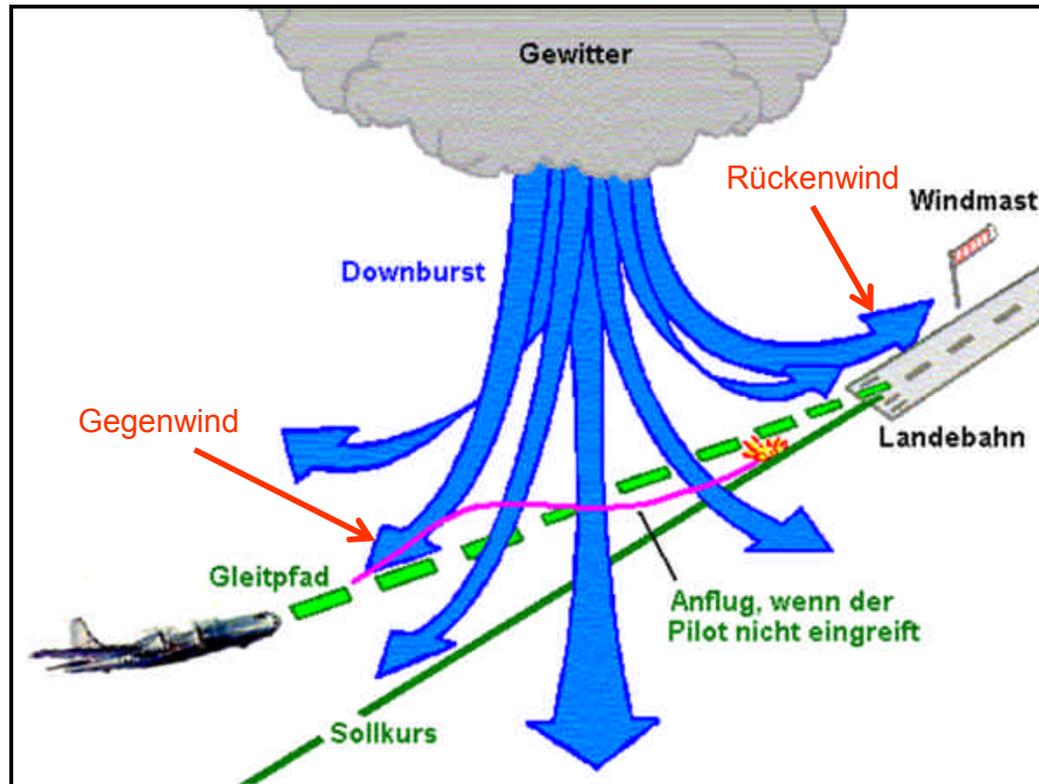
Schematische Entwicklungsstadien eines Microburst



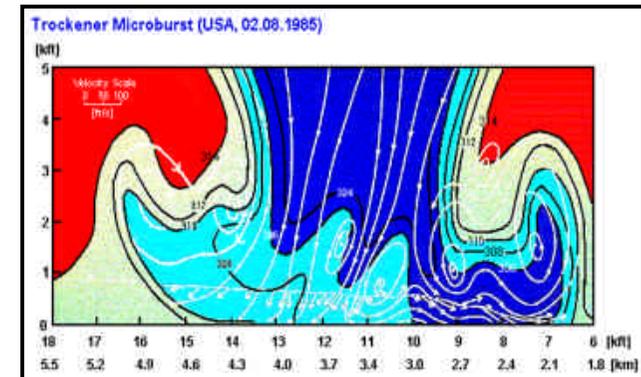
feuchter Microburst (USA)



Downburst und zivile Verkehrsluftfahrt



Am 02.08.1985 geriet eine Lockheed L-1011 der Delta Airlines beim Anflug auf Dallas/Forth Worth USA in einen trockenen Microburst und zerschellte am Erdboden.

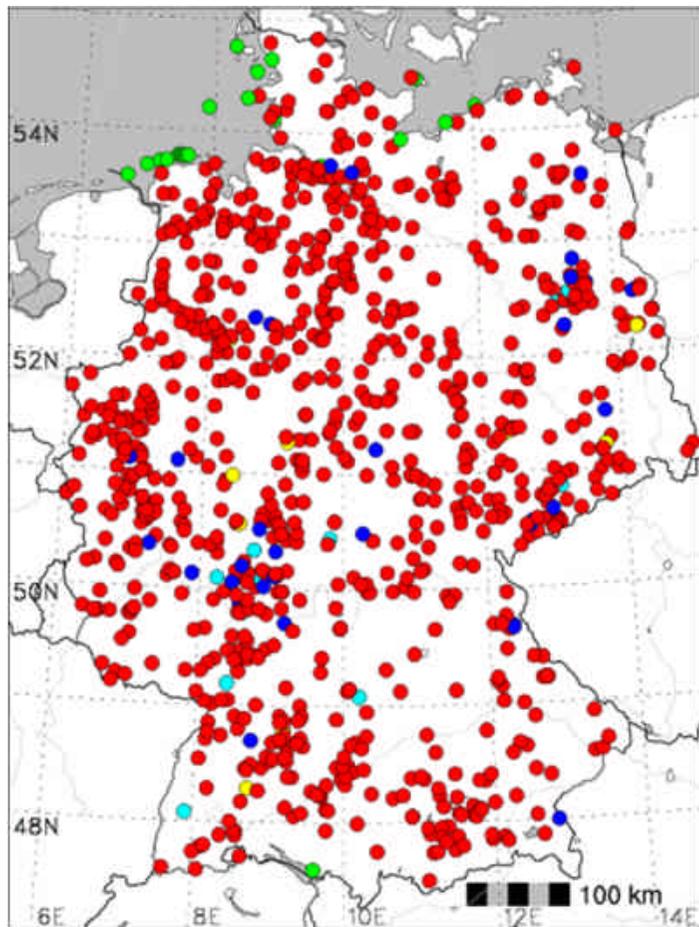


Trockener Microburst (nicht sichtbar)

Die Grafik beruht auf den Modellvorstellungen und den Daten des Flugschreibers der verunglückten Lockheed L-1001



Orte mit Tromben in Deutschland (963 Beobachtungen in den Jahren 855 bis 2005)



Trombe (italienisch Trompete)

Kleintrombe: horizontal rotierende Luftsäulen über trockenen und staubigen oder schattigen Gebieten an heißen und windschwachen Tagen (Staubteufel, Dust Devils)

Großtrombe: Wolkenschlauch, Wasserhose, Tornado

- Tornado
- Wasserhose bzw. Wasserhose aufs Land ziehend
- Tornado/Downburst
- Tornado/Kleintrombe
- Tornado/Böenfrontwirbel

TorDACH

Kompetenzzentrum für lokale Unwetter in Deutschland, Österreich und der Schweiz



5.3 Starkniederschlag

- Definition DWD (Warnkriterien) DWD
→ Niederschlagsmenge von $> 25 \text{ l/m}^2$ in einer Stunde oder $> 35 \text{ l/m}^2$ in 6 Stunden
- 1 Liter pro m^2 verursacht eine Wasserhöhe von 1 mm auf einem 1 m^2

$$\frac{1 \text{ l}}{\text{m}^2} = \frac{1 \text{ dm}^3}{\text{m}^2} = \frac{10^3 \text{ cm}^3}{10^4 \text{ cm}^2} = 10^{-1} \text{ cm} = 1 \text{ mm}$$

kein Abfluss, keine Versickerung und keine Verdunstung

- Verwüstung als Folge von Starkniederschlag



Starkregen in Frankreich, 01.05.2003



Starkregen [Quelle: Uni-Freiburg]



Starkregen [Quelle: DWD]



- Extremwerte des Niederschlages im Zeitraum bis zu 6 Stunden
 - weltweit

Zeitraum	Höhe [mm]	Ort	Datum
1 Minuten	31.2	Unionsville, USA	01.07.1956
15 Minuten	198.1	Plumb Point, Jamaica	12.05.1916
42 Minuten	304.8	Holt, USA	22.06.1947
2 3/4 Stunden	558.8	D'Hanis, USA	31.05.1935
4 1/2 Stunden	782.3	Smethport, USA	18.07.1942

Quelle : [Liljequist u. Cehak, Allgemeine Meteorologie; DWD, Wetterrekorde (Stand Januar 1995)]



Starkregen und Hagel, 25.06.2008 in Offenthal;
Bild: J. Fix

Niederschlagsmenge in Langen am
25.06.2008: 27,6 mm

- Deutschland

Zeitraum	Höhe [mm]	Ort	Datum
5 Minuten	16.4	Offenbach/Main	15.06.1968
8 Minuten	126.0	Füssen (Allgäu)	25.05.1920
30 Minuten*	ca. 25	Langen (Hessen)	25.06.2008
1 Stunde	67.1	Nürnberg	01.08.1955
1 h (gute Stunde)**	ca. 73	Berlin-Alexanderplatz	12.08.1994
6 Stunden	91.1	Nürnberg	01.08.1955

Quelle : [Liljequist u. Cehak, Allgemeine Meteorologie; DWD, Wetterrekorde (Stand Januar 1995);
*B. Henning, BTZ Langen (DWD); **Berliner Zeitung]



Starkregen und Hagel, 25.06.2008 in Offenthal



5.4 Hagelkörner

- Hagelkorn → Eisteilchen mit $d \geq 0,5 \text{ cm}$ bis ca. $d = 5 \text{ cm}$
- Auftreten nur in TS; in mittl. Breiten meist im Sommer über Land
- Hagelgebiet meist wenige km lang und $< 1 \text{ km}$ breit; selten mehrere 100 km lang und einige km breit
- Häufigkeit von Hagelschlag
 - meist nur bei 10 % aller TS, in Süddeutschland bei 64 %
- Größe
 - Durchmesser selten größer als 3 cm
- Fallgeschwindigkeit → sehr große Körner ca. 45 m s^{-1}
- Aussehen
 - oft abwechselnd klare und weiße, poröse Eisschichten mit Kern aus Reifgraupeln oder gefrorenen Regentropfen



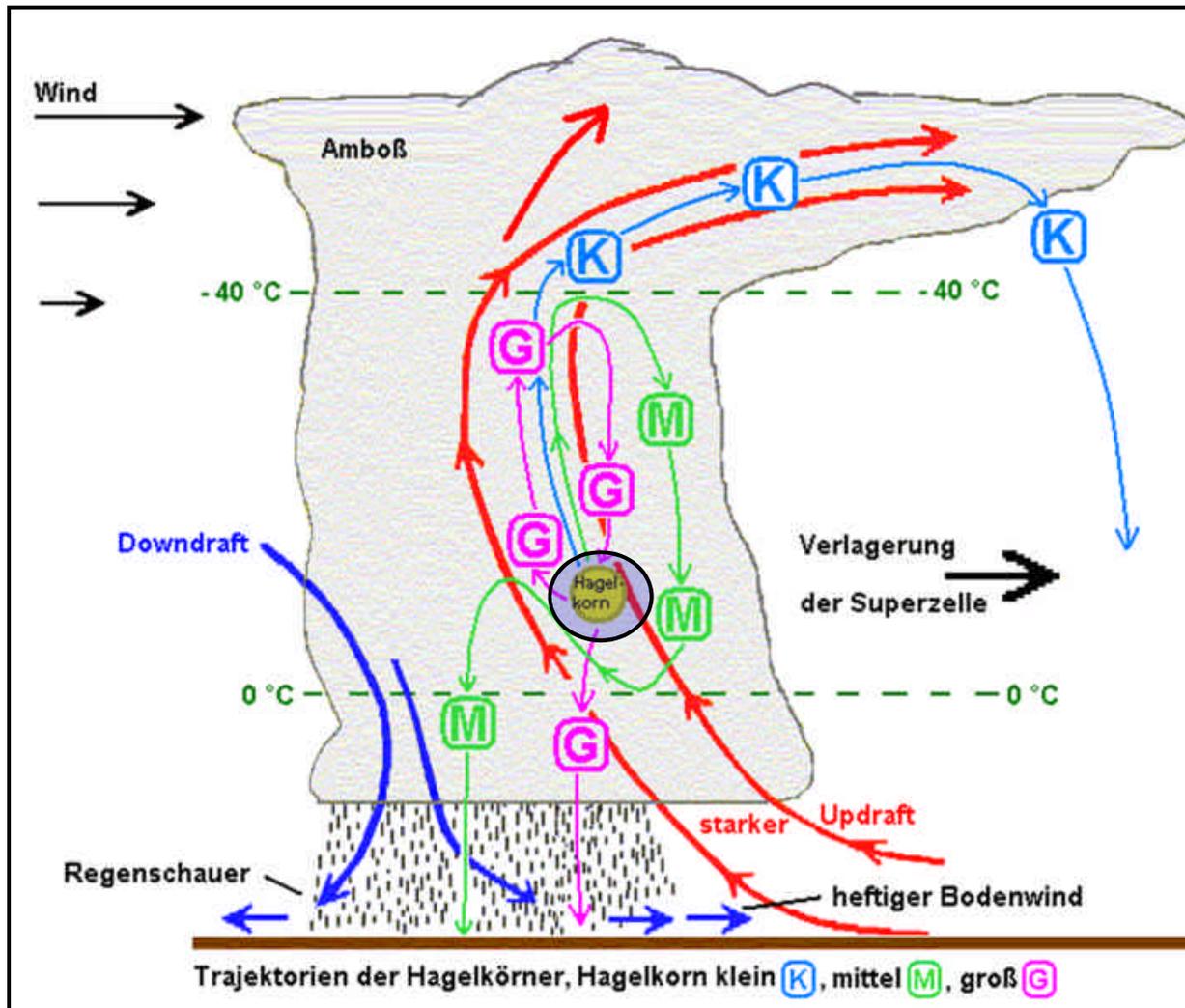
Hagelunwetter, München, 12.07.1984



Coffeyville, Kansas, USA, 03.09.1970



Hagelunwetter (Superzelle)



Hagelunwetter mit den drei Wolkebahnen für kleine (K), mittlere (M) und große (G) Hagelkörner



weiter

Größtes dokumentiertes Hagelkorn (Coffeyville, Kansas (USA), 03.09.1970)



Durchmesser 14 cm, Gewicht 770 g

Quelle: [Hagel; Münchener Rück-
versicherungs-Gesellschaft]



Hagelkorn in Aurora, Nebraska (USA), 23.06.2003



Hagelkorn von Grapefruitgröße, Durchmesser 17.8 cm, Aurora, Nebraska



Dokumentiertes Hagelkorn München, 12.07.1984



Quelle: [Hagel; Münchener Rück-
versicherungs-Gesellschaft]

Hagelkorn München 12.07.1984, Durchmesser 9 cm



Hagelschaden USA und München 1984



Hagelschaden USA



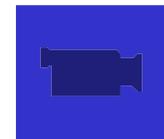
Hagelschaden USA



Hagelschaden München, 12.07.1984



Videofilm 1, Hagelunwetter (Superzelle, USA)



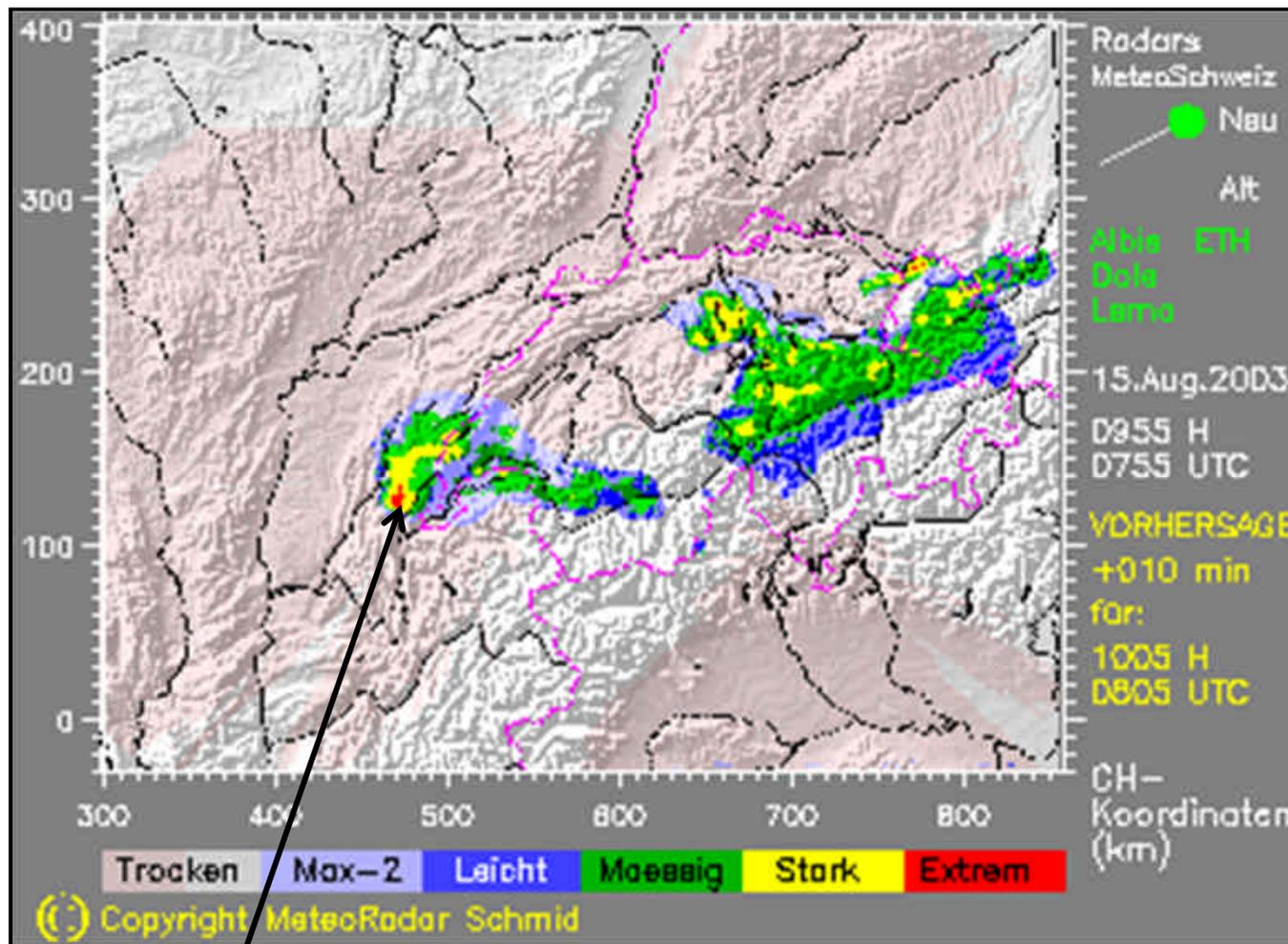
[Videofilm 2](#)



Hagelschaden an Boeing B-737 der Fluggesellschaft „EasyJet“ am 15.08.2003, wahrscheinlich durch eine Superzelle verursacht



Radarbild Schweiz, 15.08.2003, 07.55 UTC



extreme Echostärke



Unwetter am 25.06. 2008 in 63303 Dreieich-Offenthal (Teil 1)



[Videofilm](#)



Bild: Jürgen Fix, Offenthal

Unwetter am 25.06. 2008 in 63303 Dreieich-Offenthal (Teil 2)



Bild: Jürgen Fix, Offenthal



Niederschlagsmenge in Langen
am 25.06.2008: 27,6 mm, davon
fielen 25 mm in etwa 30 Minuten

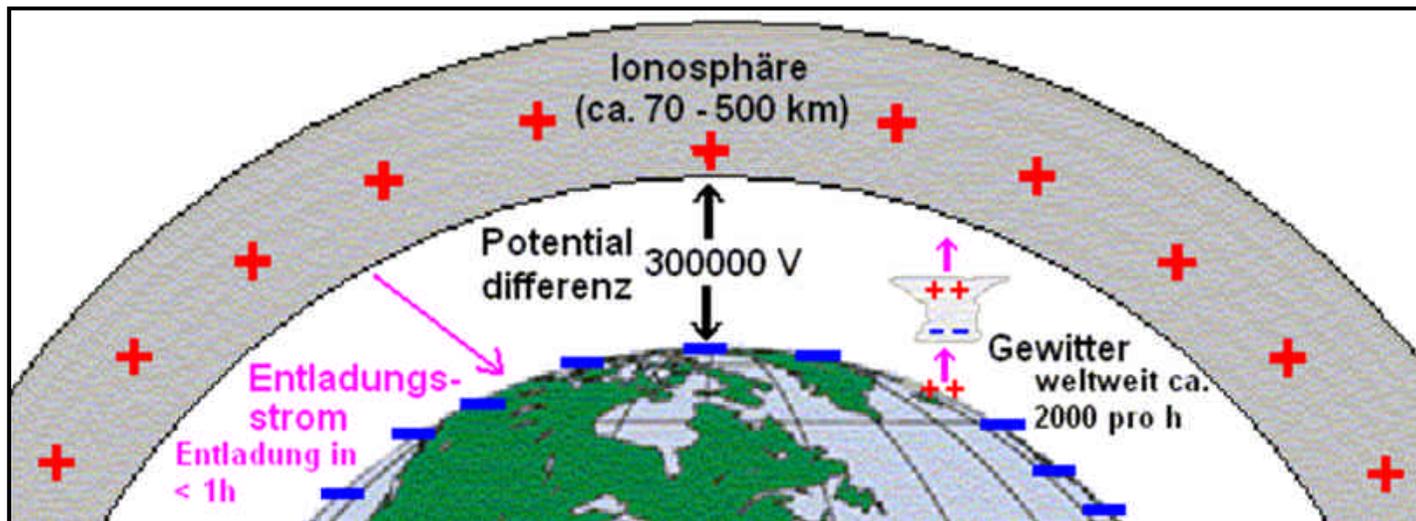


5.5 Blitze

- vertikales elektrostatisches Feld der Erde
 - Erde/Atmosphäre → kugelförmiger Kondensator
 - untere Fläche → Erde, negativ geladen
 - obere Fläche → Ionosphäre, positiv geladen
 - Eigenschaften
 - kräftige zeitliche und räumliche Änderungen
 - Beeinflussung besonders durch Gewitter und durch Bildung/Bewegung von Wolken und Niederschlägen
 - vertikaler Ausgleichstrom zw. Erdboden/Ionosphäre → Abbau des elektrostatischen Feldes in < 1 h
 - Gewitter → Generatoren des elektrostatischen Feldes
- Anzahl der Gewitter/Blitze weltweit
 - ca. 2000 auftretende Gewitter pro Stunde
 - ca. 30 -100 Wolke/Erde-Blitze pro Sekunde

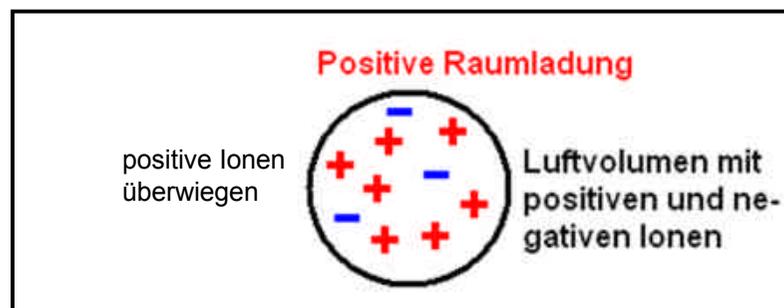


Das elektrostatische Feld der Erde



technische Stromrichtung: + → -

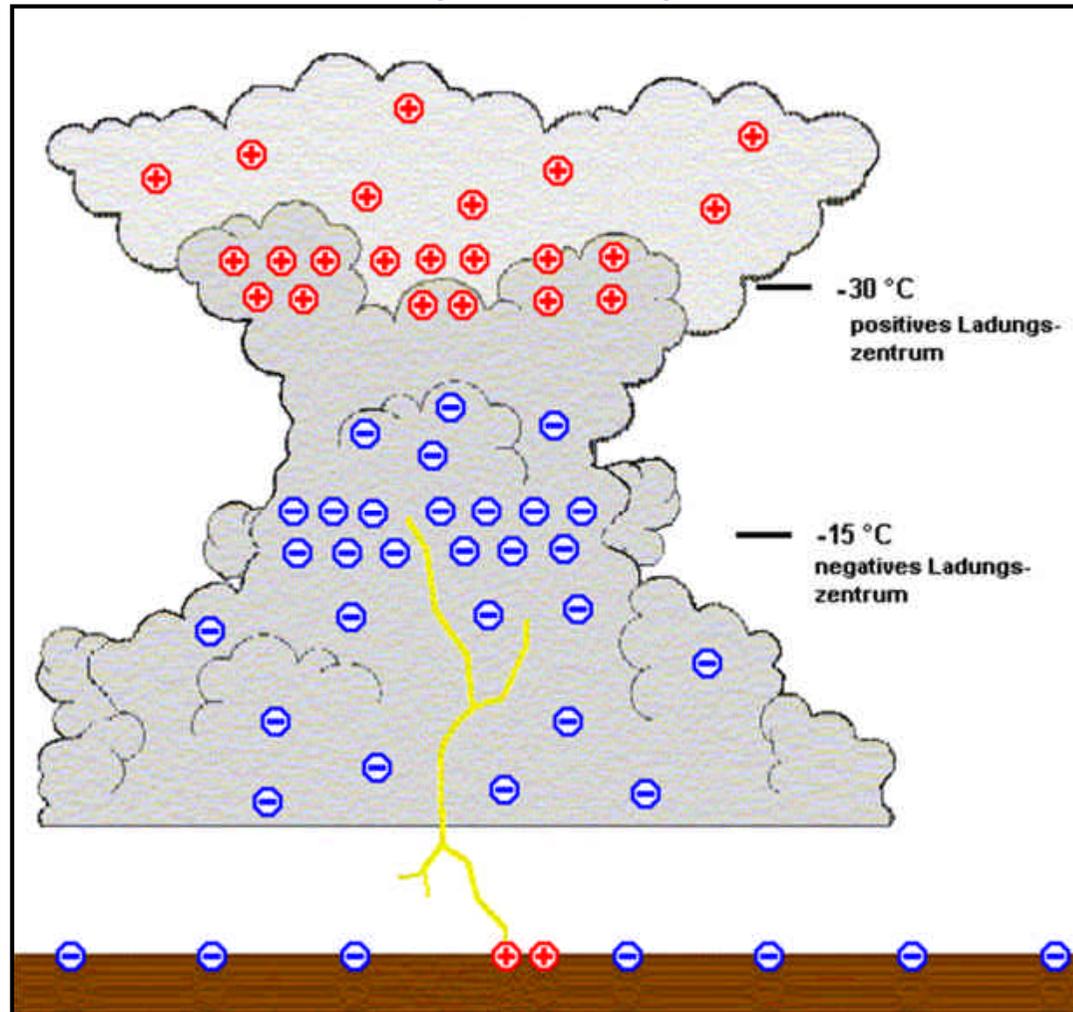
Ladungen sind Raumladungen



- Ladungsverteilung der Gewitterwolke → häufig Dipolcharakter
 - positive Ladungen oben, Zentrum bei -30 °C
 - negative Ladungen unten, Zentrum bei -15 °C
 - Elektrifizierung
 - Voraussetzungen
 - viel Wasserdampf, viele Wassertröpfchen, viele Eisteilchen
 - kräftige Aufwinde
 - Hypothese (Konvektions-/Gravitationstheorie)
 - Einfang von freien Ionen durch Wasserteilchen bzw. Bildung/Austausch durch Wechselwirkungen zwischen ihnen
 - effektivster Vorgang → Eis-/Eisprozess
 - Kollisionen von Eiskristallen/Graupelkörnern beim Vergraupelungsprozess
 - Aufladung von Graupelkörnern negativ, Eiskristallen positiv, Transport durch Konvektionsschlote ab-/aufwärts



Schematische Ladungsverteilung in einer Gewitterwolke mit Dipolcharakter

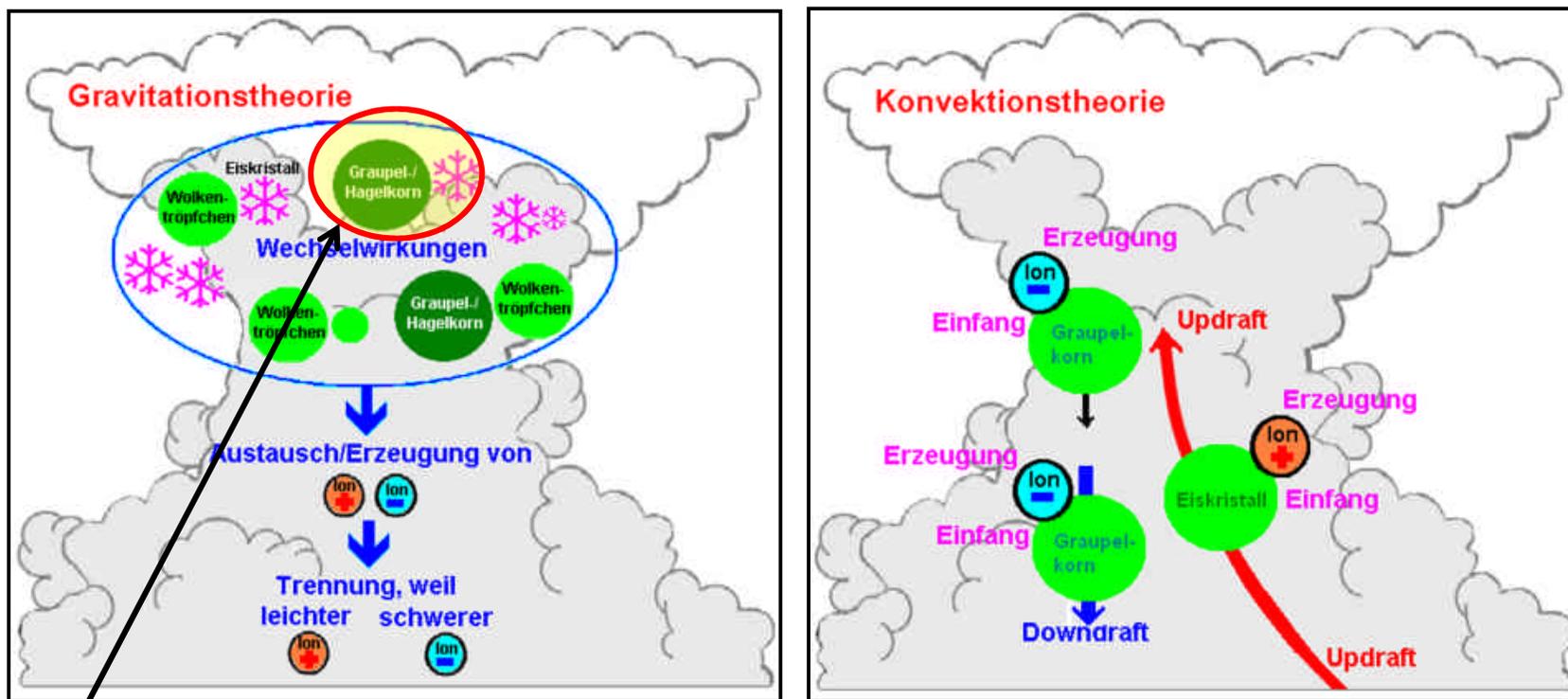


2 Hauptladungszentren bei
 -15 °C (-) und
 -30 °C (+)



Theorie der Elektrifizierung von Gewittern

- Aufladung durch Einfang/Erzeugung (Wechselwirkungen zw. den H₂O-Teilchen im Cb)
- Transport der Ladungsträger im Cb durch Up- und Downdrafts



besonders wirksam Eis-Eis-Aufladung

Wasserteilchen im Cb

Wassertropfchen nicht unterkühlt und unterkühlt, Eiskristalle, Graupel- und Hagelkörner



– Arten der Entladung

- Wolkenblitze

- im TS → Intracloud (IC); > 50 % aller Blitze in N-Breiten
- zwischen benachbarten Wolken → Cloud-to-cloud (CC)



- Luftblitze → Cloud-to-air (CA); von TS in umgebende Luft

- Erdblitz → Cloud-to-ground (CG); zwischen TS und Erdboden



- zu beobachten als

- Linienblitze → häufigste Blitzart, oft stark verzweigt (CA, CG)
- Flächenblitze → großräumige Aufhellung im TS (CA)
- Perlschnurblitze → Reihe von Feuerkugeln längs einer Bahn (CG)
- Kugelblitze → sphäroidisch ionisierte Luft ($d = 10 - 20 \text{ cm}$)



Wolkenblitze



Linienblitze

typische dünne, verzweigte, manchmal wild zuckende Helligkeitsphänomene am dunklen Gewitterfirmament

Wolkenblitze (CC, Cloud-to-cloud)

Entladungen zwischen benachbarten TS



Linienblitze, Erdblitzte und Luftentladungen



Erdblitzte (CG, Cloud-to-ground)
Entladungen zwischen TS und Erdboden
und umgekehrt

Luftentladungen (CA, Cloud-to-air)
Entladungen vom TS in die umgebende
Luft



Perlschnurblitz



Perlschnurblitz

Eine Reihe von Feuerkugeln längs der Bahn einer Bodenentladung



Kugelblitz ?



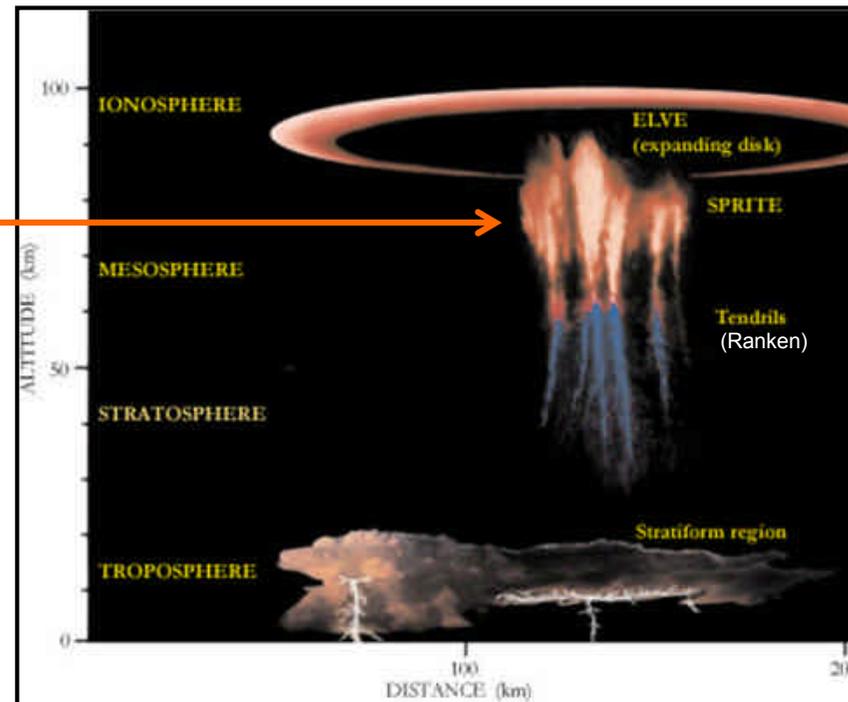
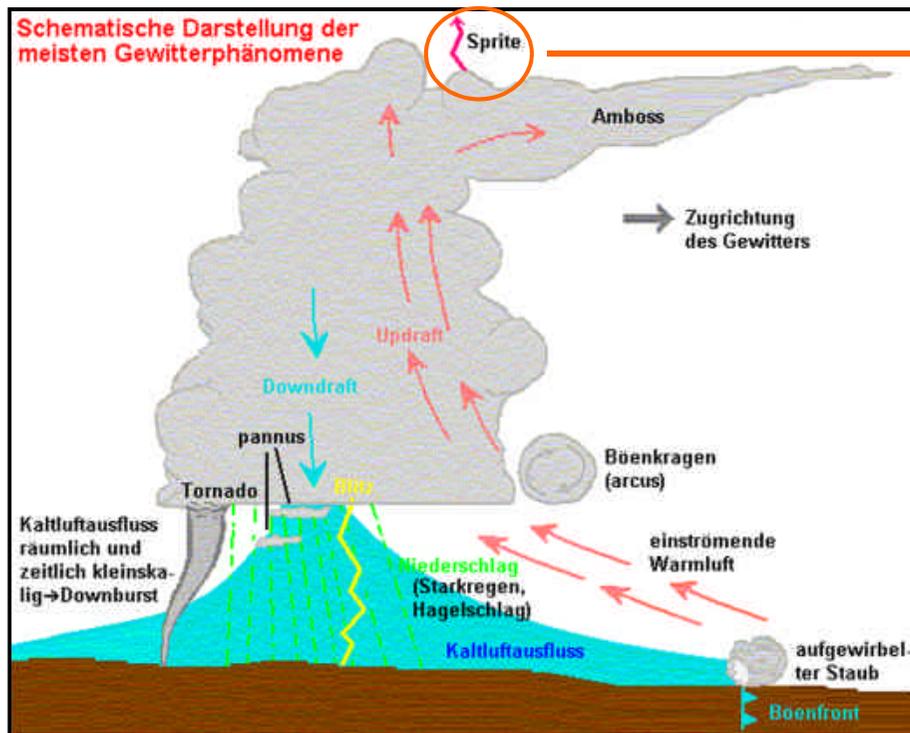
Kugelblitz

sphäroidische Menge glühender Luft, die normalerweise einen Durchmesser von 100 bis 200 mm aufweist und sich mit dem Wind bewegt



Sprite

Entladung zwischen Gewitterwolke und tiefer Ionosphäre

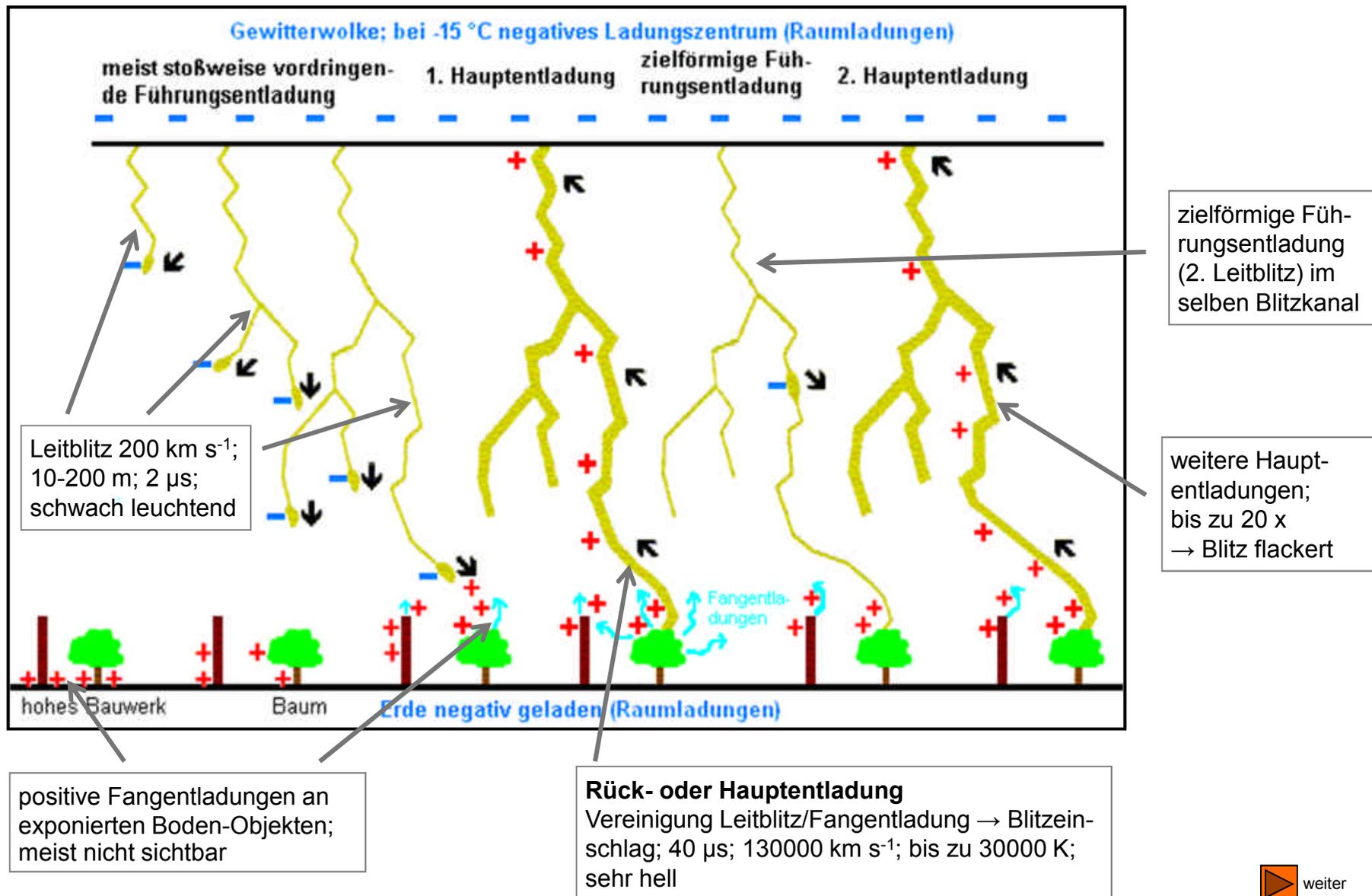


Ionosphäre

Elektrisch geladene Schicht mit einer signifikanten Menge von positiven Ionen und freien Elektronen, die oberhalb der Mesosphäre bei einer Höhe von ungefähr 80 km beginnt, ihr Ladungsmaximum bei etwa 300 km erreicht und letztlich in den interplanetaren Raum übergeht.



Stufenweiser Entladungsvorgang → drei Phasen



Erdblitz (CG) und Wolkenblitze (CC-Blitze)

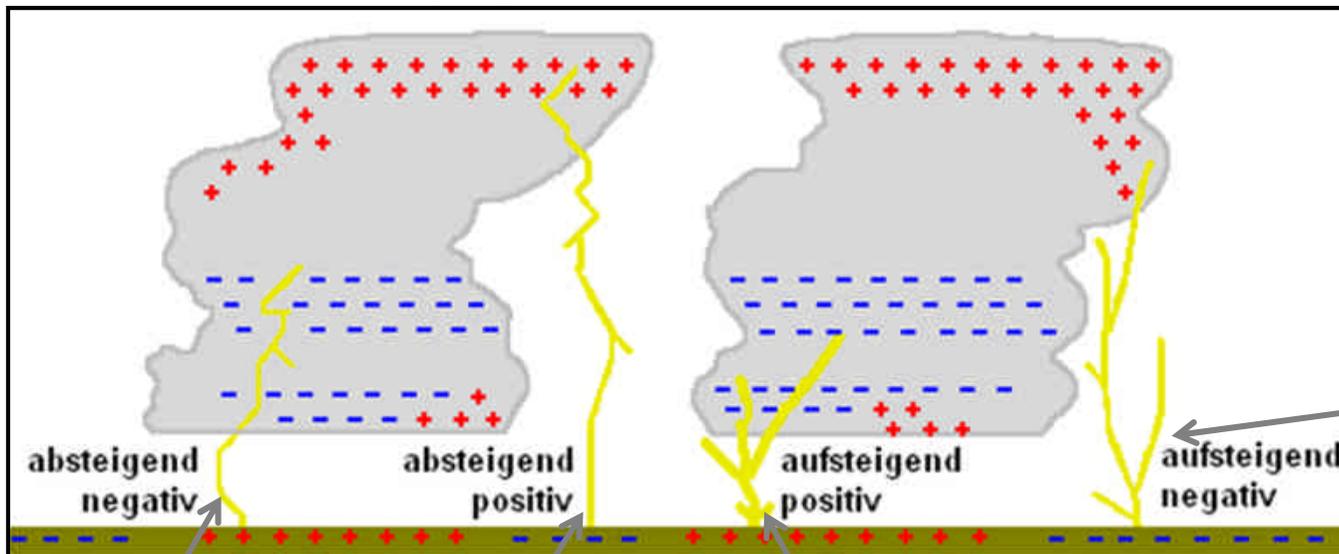


[Videofilm](#)



weiter

Arten des Erdblitzes (CG)



keine Angaben in Literatur gefunden

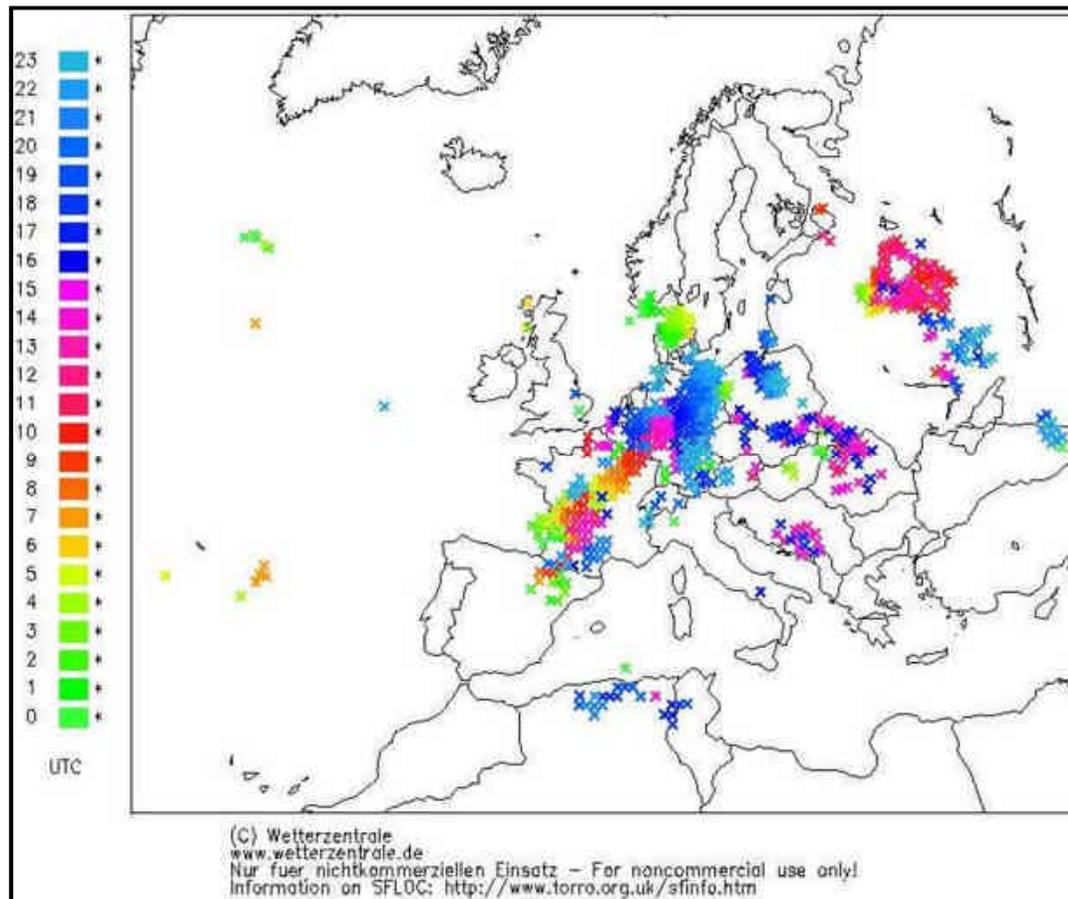
Leitblitz 200 km s^{-1} ;
 10-200 m; $2 \mu\text{s}$; mittl.
 Anzahl 3 bis 4

selten, mittl. Dauer $460 \mu\text{s}$,
 mittl. max. Stromstärke 35 kA ;
 mittl. Anzahl 1

Rück- oder Hauptentladung;
 mittl. Dauer $40 \mu\text{s}$; 30 kA , 130000 km s^{-1} ;
 bis zu 30000 K



Blitze (Sferics) in Europa am 18.07.2004, von 00 bis 23 UTC

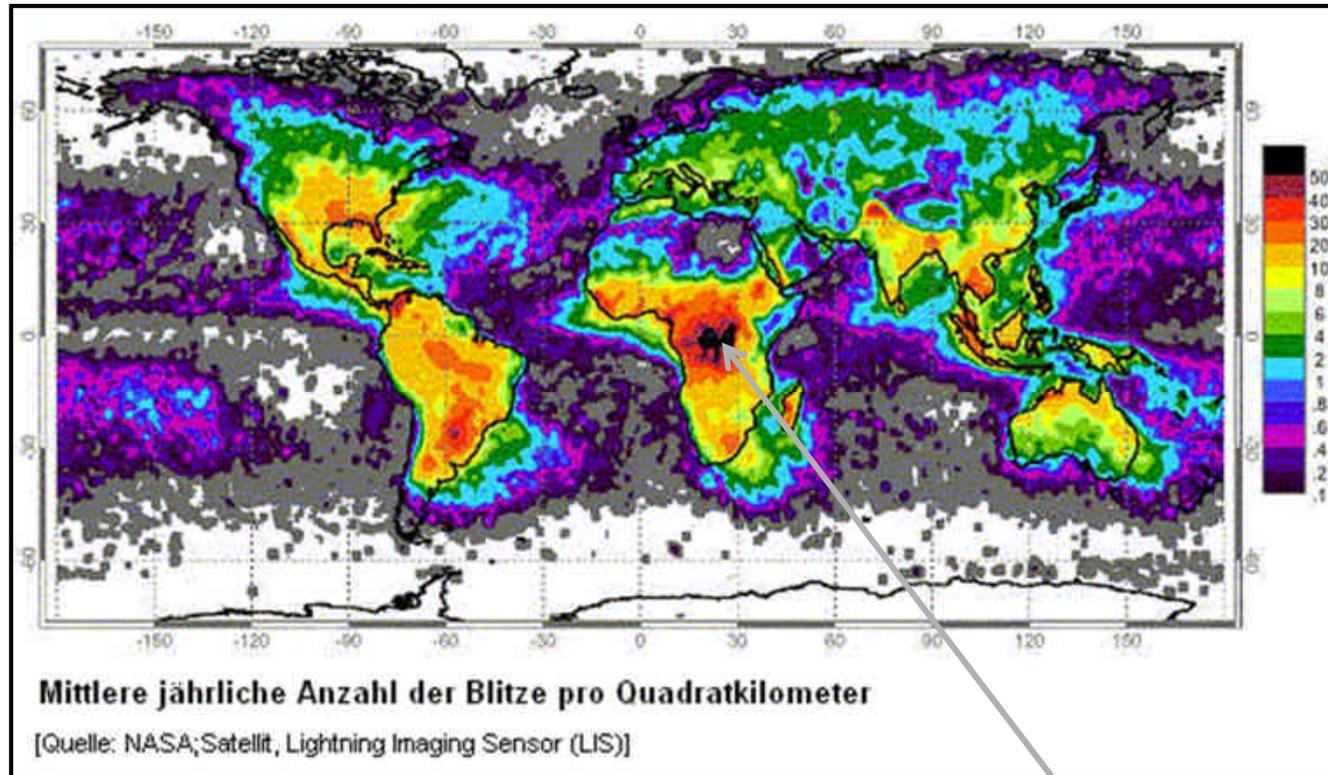


Sferics

Kurze elektromagnetische Impulse, verursacht durch troposphärische Wetterphänomene wie z.B. Gewitter (**Blitze**), Tiefdruckgebiete, Tornados; Hauptquelle Blitze, die im Radio zu mehr oder wenigen kurzen, lauten Knackgeräuschen führen



Weltweite Blitzhäufigkeit (April 1995 bis März 2000)



Maximum der Blitzhäufigkeit in Zentralafrika;
über 50 Blitze pro km² und Jahr

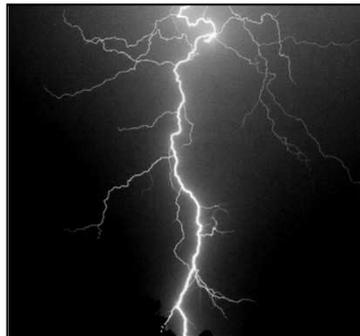


Blitze in der Presse

Blitz im BH

Darmstädter Echo 30.10.1999

LONDON (dpa). Eine Frau ist in London vom Blitz erschlagen worden, weil der Metallbügel in ihrem Büstenhalter als Leiter für die Elektrizität gedient hat. Wie die Zeitung „The Daily Telegraph“ berichtete, hatte sich die Neununddreißigjährige während eines Unwetters unter einem Baum im Hyde Park untergestellt. Dort wurde sie vom Blitz getroffen. Eine Untersuchung zur Todesursache ergab nun, dass der Draht in ihrem Büstenhalter zerschmolzen war und den Blitz geleitet hatte.



Blitzschlag überlebt

Darmstädter Echo Sommer 1997

(dpa). Der italienische Golf-Profi Alberto Binaghi ist nach einem Blitzschlag am Montag beim Finale der „European Tour Qualifying School“ im spanischen San Roque mit dem Leben davongekommen. Ein Blitz war in den Schirm des 32 Jahre alten Spielers gefahren.

Reiter und Pferd vom Blitz erschlagen

In Neuseeland hat ein Blitz am Dienstag einen 50-jährigen Reiter und sein Pferd tödlich getroffen. Der Blitz schlug am Dienstag während eines Unwetters in eine Gruppe von sieben Jägern ein. Sie waren bei Dargaville auf der Nordinsel auf einem Farmgelände unterwegs, hieß es im Rundfunk. Vier Reiter wurden vorsorglich ins Krankenhaus gebracht.

Frankfurter Rundschau, 16.04.2008



Donner

- Entstehung
 - plötzliche/intensive Aufheizung der Luft im Blitzkanal bei der Rückentladung
 - explosionsartige Ausdehnung → Schock-/Stoßwelle

- Art des Geräusches Tonhöhe → abhängig von der Entfernung des Blitzeinschlages
 - explosionsartiger, hoher Knall bei CG-Blitz im Umkreis von 100 m
 - je weiter entfernt, desto tiefer und rumpelnder oder rollender der Ton

- Hörbarkeit
 - im Mittel ca. 5 - 7 km, abhängig von Luftdichte und Umfeld (Orographie, Bebauung, usw...)



Gewitter in der Umgebung von 63303 Dreieich-Offenthal am 16.08.2009 um 18:24 UTC





Haben Sie

Fragen ?

Tipps ?

Hinweise ?

Anregungen ?

Kommentare ?

Bemerkungen ?

Ergänzungen ?





Kapitel 6

Superzelle in Deutschland – kurze Anatomie einer Superzelle mit Tornado im Raum Duisburg am 18.07.2004



Kleine Anatomie einer Wetterlage mit Superzelle und Tornado in Deutschland

Duisburg 18.07.2004 gegen 21.00 MESZ



Tornado Duisburg, 18.07.2004

1. Unwetterbericht

SPIEGEL ONLINE - 19. Juli 2004, 6:08

Unwetter über Deutschland

Windhose tobt am Niederrhein

Über Deutschland sind in der Nacht erneut schwere Unwetter hinweg gezogen. Teils gab es sintflutartige Wolkenbrüche, teils fegten heftige Stürme über das Land hinweg. Am Niederrhein verursachte eine Windhose Millionenschäden.

Duisburg/Düsseldorf - Wie die Polizei in der Nacht mitteilte, hinterließ der Tornado in Duisburg, Oberhausen und Essen eine Spur der Verwüstung. Das gesamte Ausmaß der Schäden sei allerdings noch nicht abzusehen, da Polizei und Feuerwehr noch im Einsatz seien. Am stärksten betroffen seien das Zentrum von Duisburg und der Hafen sowie Duisburg-Rumeln und Rheinhausen. Nach bisherigen Erkenntnissen seien vier Personen leicht verletzt worden, drei davon in Oberhausen und eine Person in Duisburg. In der ganzen Region seien zahlreiche Häuser abgedeckt und Bäume entwurzelt worden. "Unzählige" Autos seien beschädigt und viele Keller voll Wasser gelaufen. Im Parallelhafen Duisburg sei ein Bagger auf ein Motorschiff gestürzt. Bei einer Tankfirma sei ein Teil der Umschlagsanlage in Mitleidenschaft gezogen worden. Gefährliche Güter seien aber nicht freigesetzt worden. Zudem habe der Sturm zwei Container ins Hafenbecken geweht. Sie stünden hochkant im Wasser und könnten nicht wegtreiben.

.....



weiter

2. Tornado-Schäden

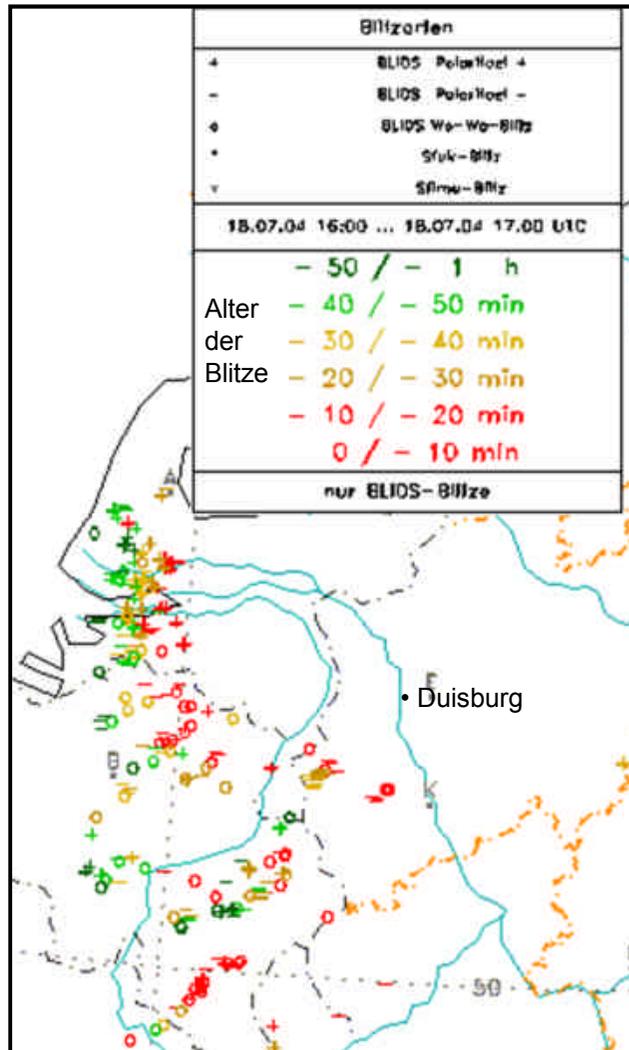
Tornado Duisburg, 18.07.2004



3. Wetterkarten

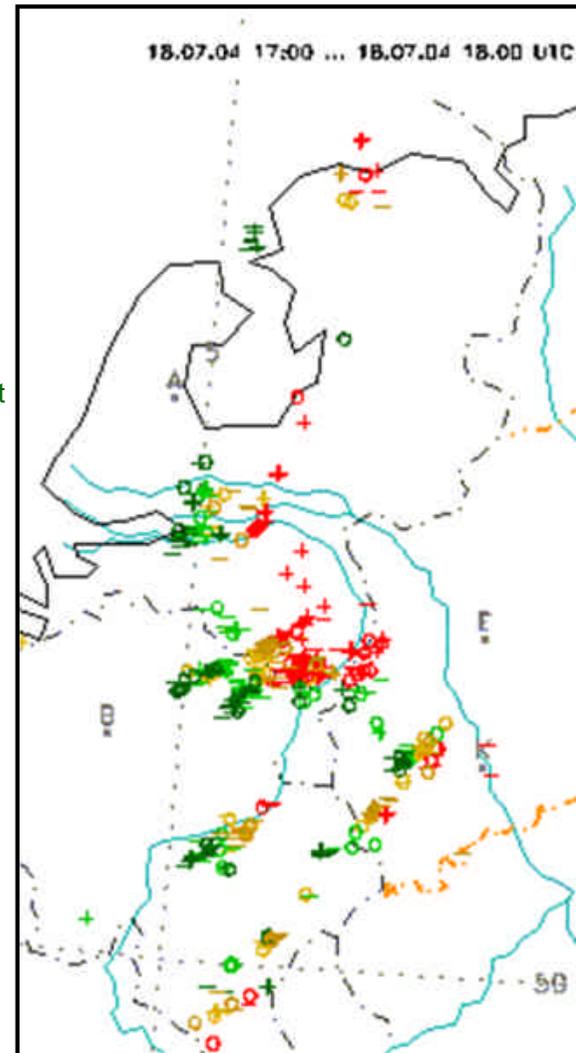
3.1 Blitzkarten vom 18.07.2004, 16 bis 17 und 17 bis 18 UTC

Tornado Duisburg, 18.07.2004



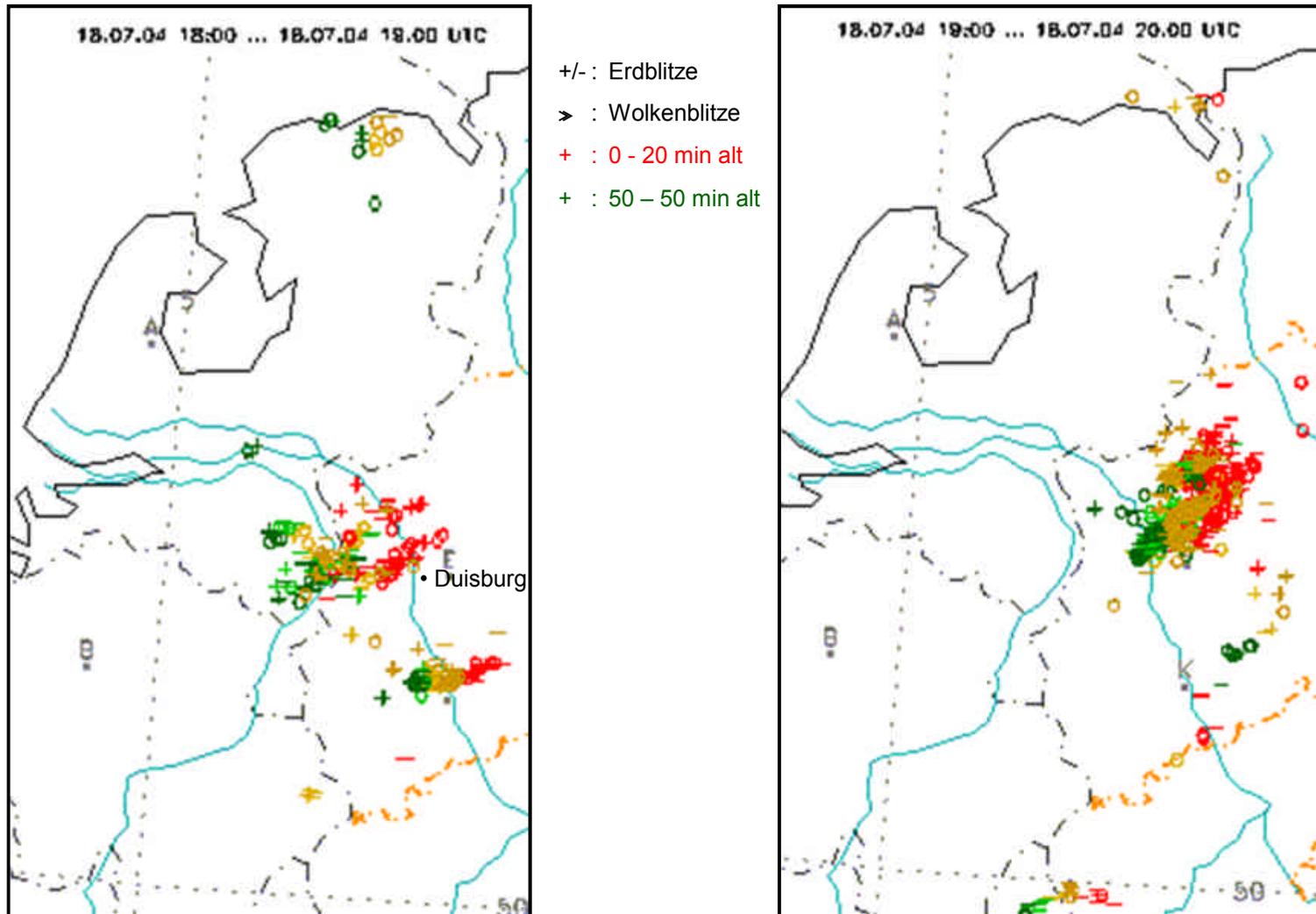
BLIDS
Blitz-Informationsdienst von Siemens

- +/- : Erdblitze
- > : Wolkenblitze
- + : 0 - 20 min alt
- + : 50 - 50 min alt



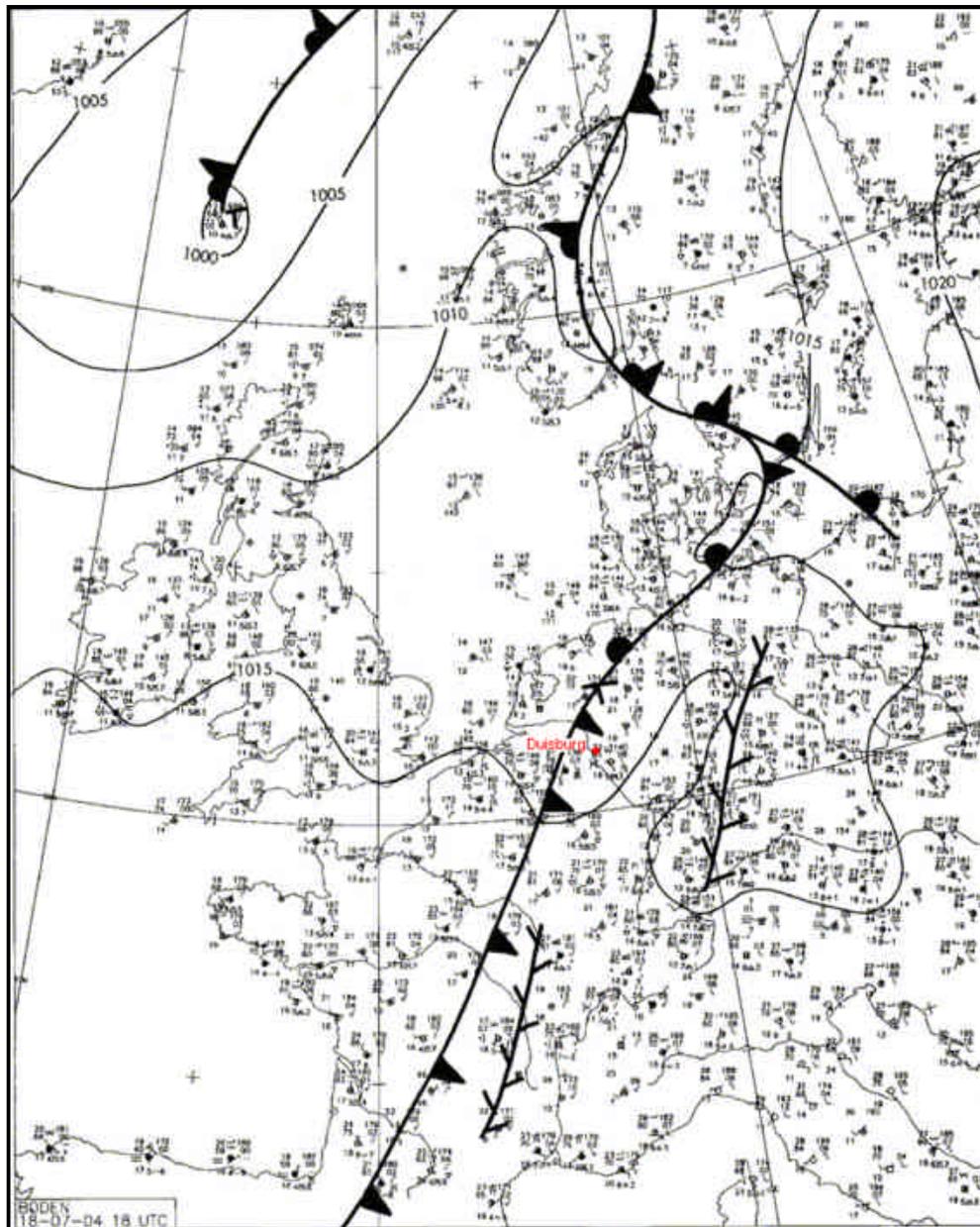
3.2 Blitzkarten vom 18.07.2004, 18 bis 19 und 19 bis 20 UTC

Tornado Duisburg, 18.07.2004



weiter

3.3 Bodenanalyse 18.07.2004, 18 UTC



Tornado Duisburg, 18.07.2004

Wetterlage

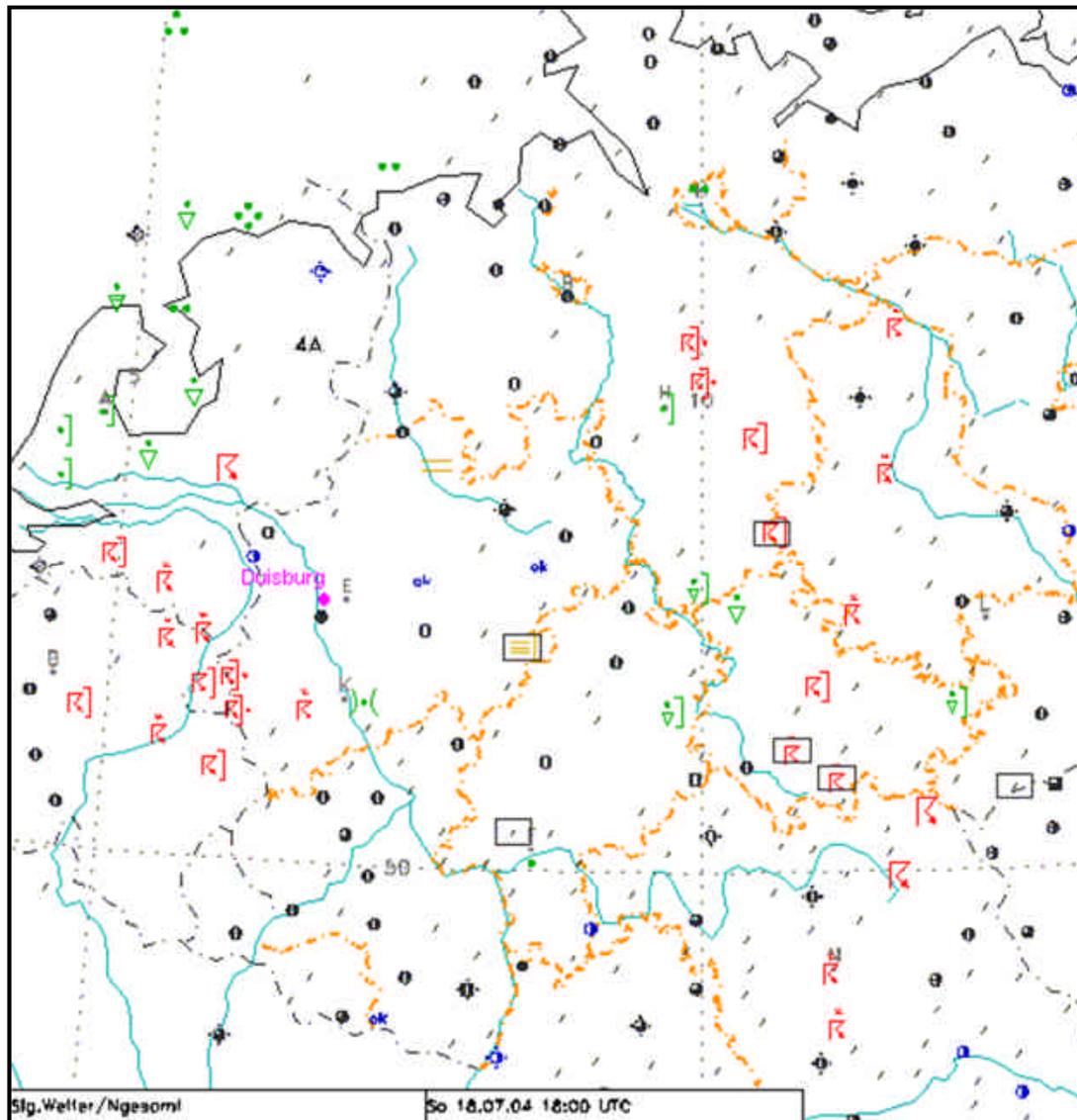
Tiefdruckgebiet über den Färöer-Inseln mit einer Kaltfront, die Duisburg zwischen 18 und 19 UTC passierte.



weiter

3.4 Bodenwetter 18.07.2004, 18 UTC

Tornado Duisburg, 18.07.2004

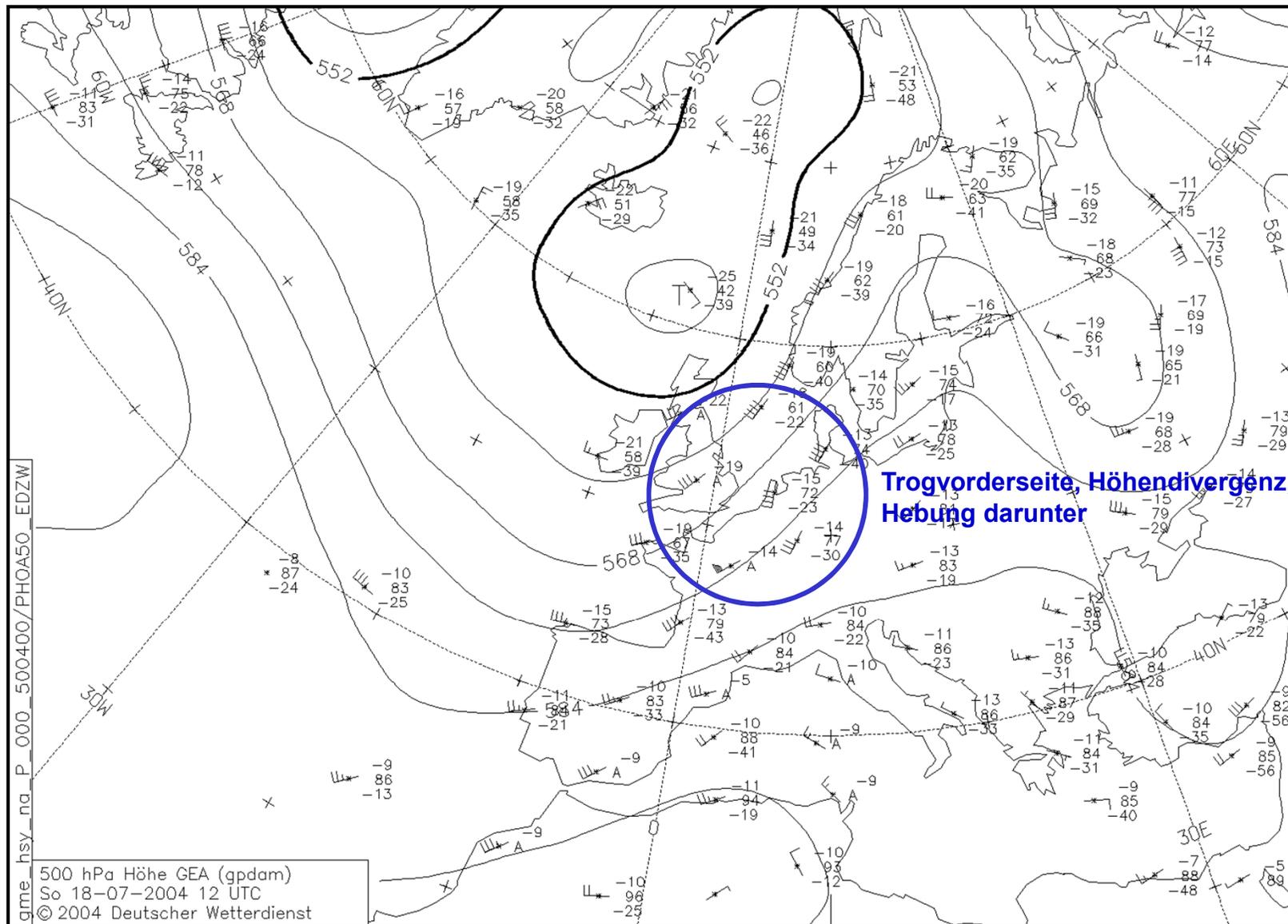


Gewitter in der Bodenwetterkarte (mit Niederschlag, in der letzten Stunde) westlich von Duisburg



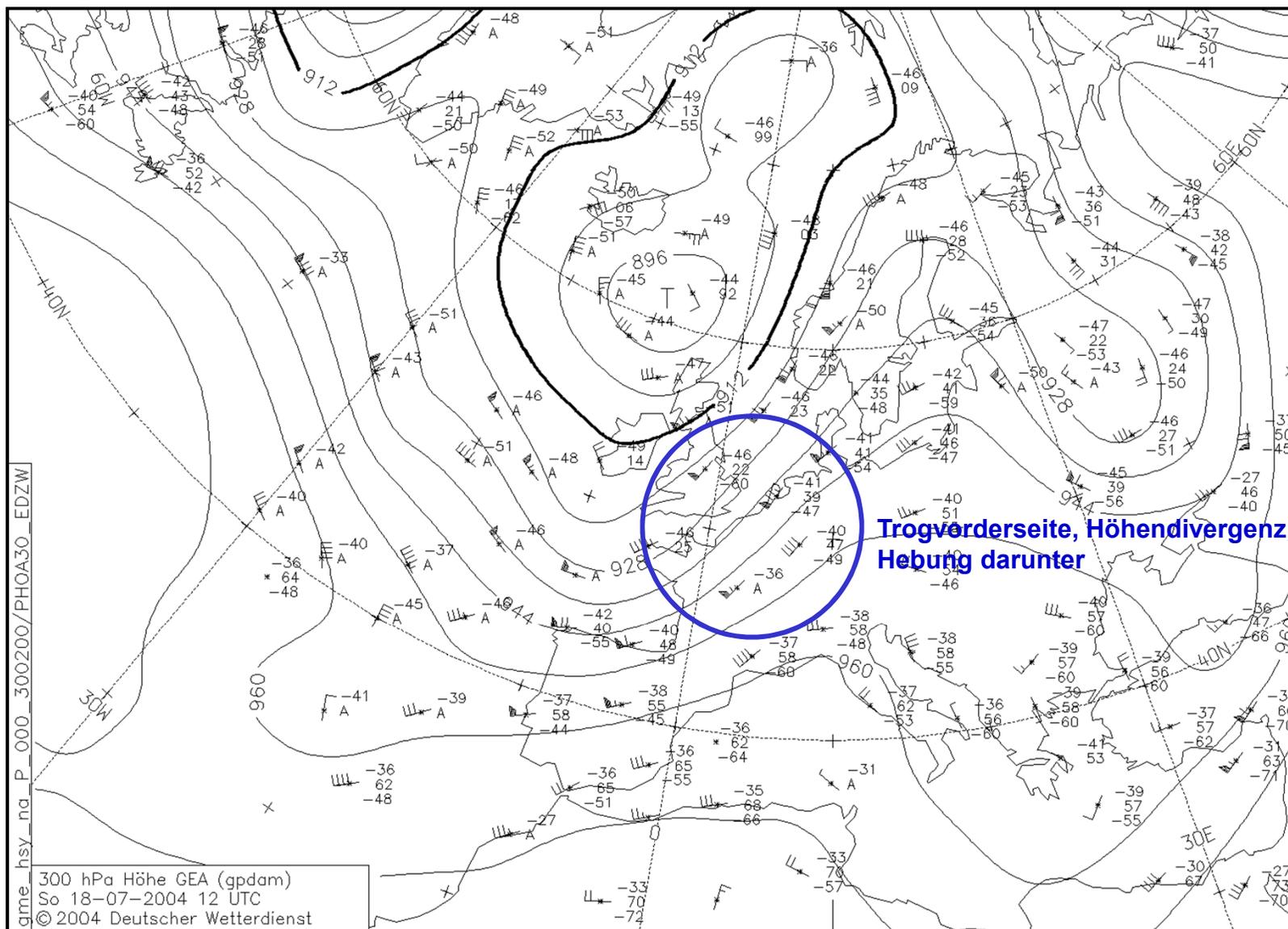
3.5 Analyse 500 hPa vom 18.07.2004, 12 UTC

Tornado Duisburg, 18.07.2004



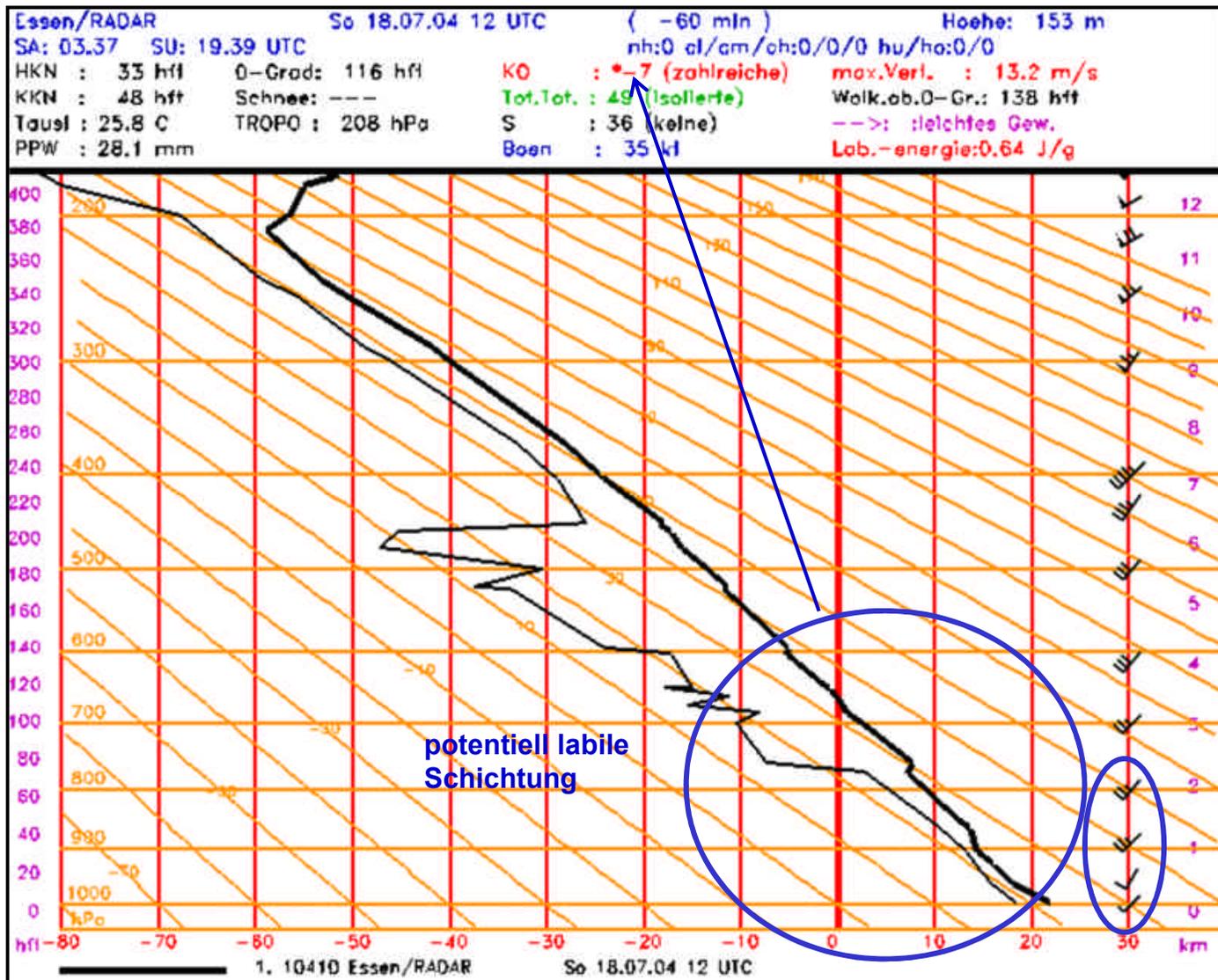
3.6 Analyse 300 hPa vom 18.07.2004, 12 UTC

Tornado Duisburg, 18.07.2004



3.7 TEMP Essen 18.07.2004, 12 UTC

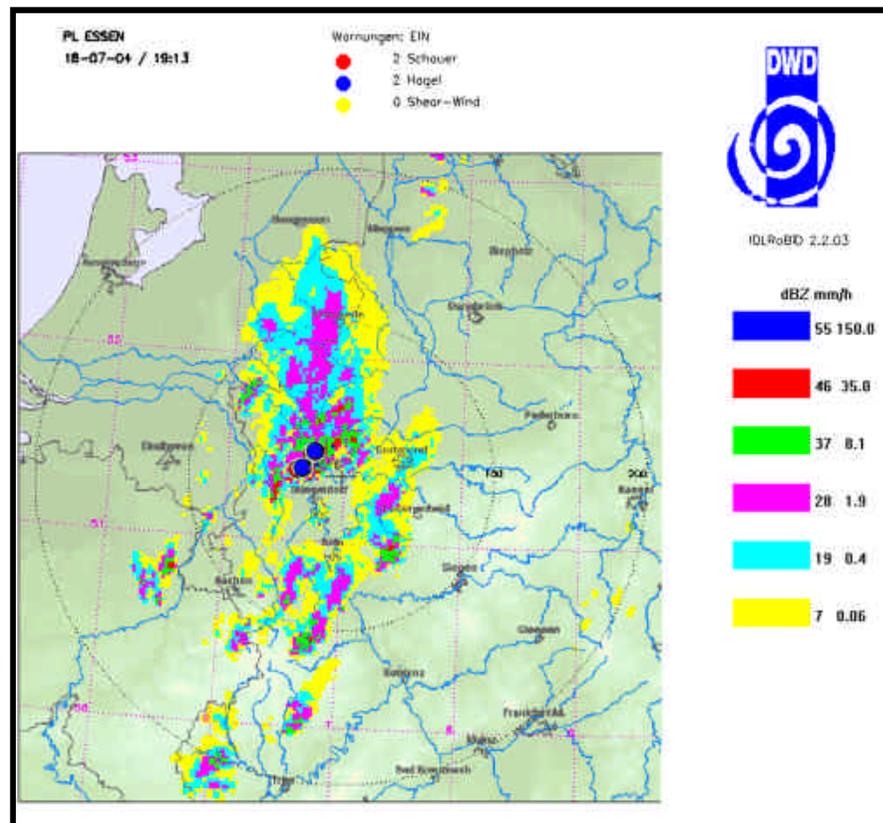
Tornado Duisburg, 18.07.2004



Tornado Duisburg, 18.07.2004

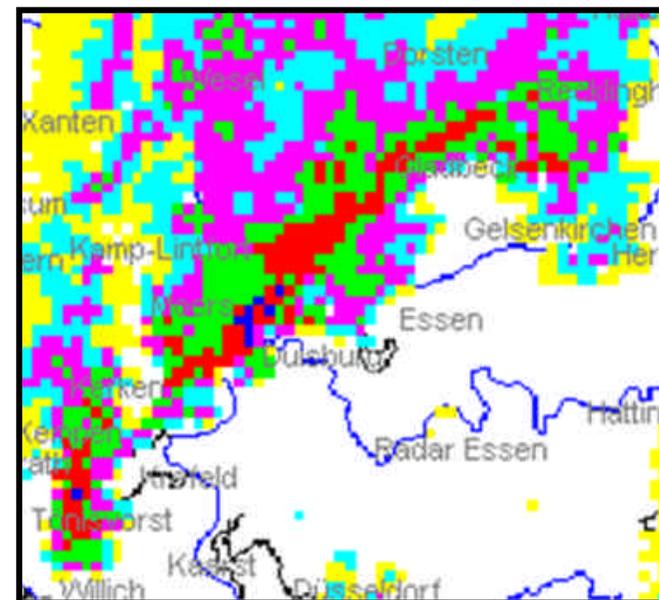
3.8 Radarbilder vom 18.07.2004

3.8.1 Radarbild einer Kaltfront vom 18.07.2004, 19:13 UTC und 19:20 UTC



18.07.2004, 19:13 UTC

2 Warnpunkte Hagel ●



18.07.2004, 19:20 UTC

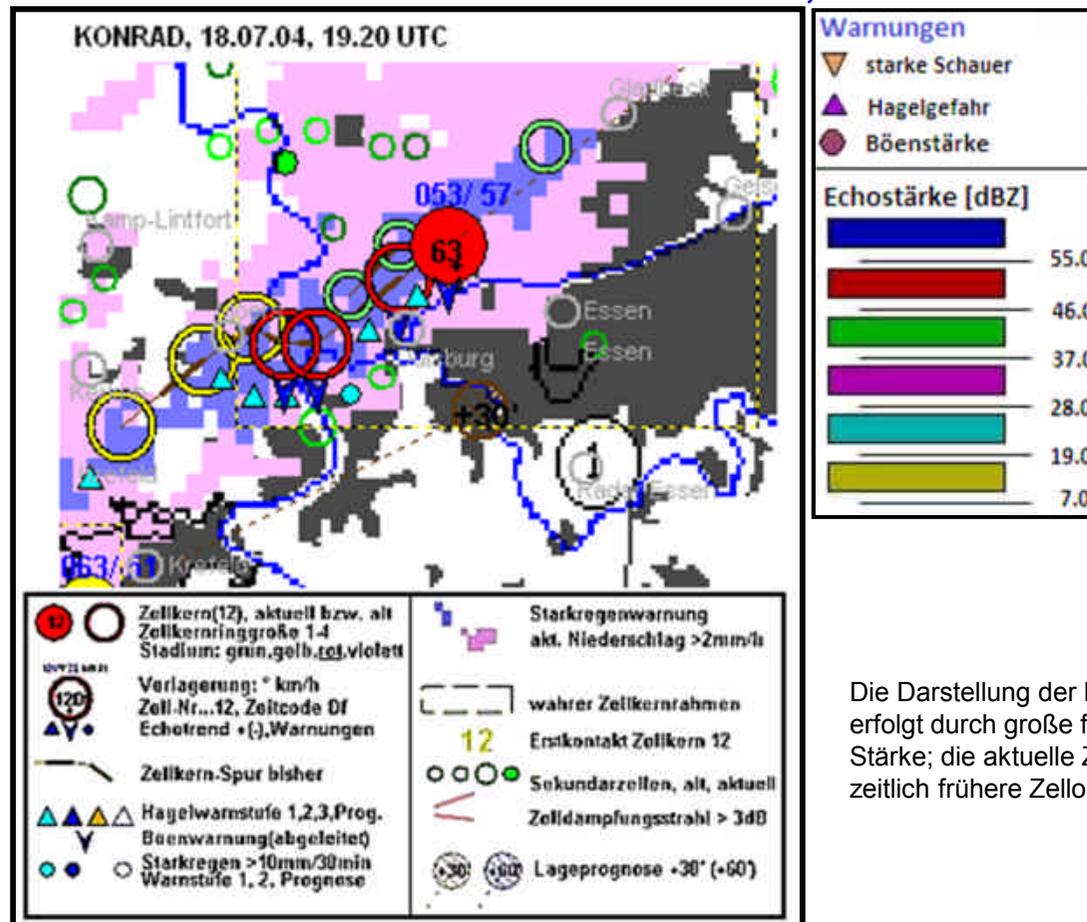
Intensität der Radarechos im Großraum Duisburg: **46** bis über **55** dBZ bzw. \geq **35** mm/h



Tornado Duisburg, 18.07.2004

3.8 Radarbilder vom 18.07.2004

3.8.2 KONRAD-Bild einer Kaltfront vom 18.07.2004, 19:20 UTC



Konvektionsentwicklung in Radarprodukten

Die Software KONRAD entnimmt aus Radarbildern die Kerne der Gewitterzellen, analysiert die Echostärke, horizontale Ausdehnung und Zugrichtung und berechnet daraus Warnhinweise in Bezug auf Hagel, Starkregen und Böen in 5 Minuten-Schritten.

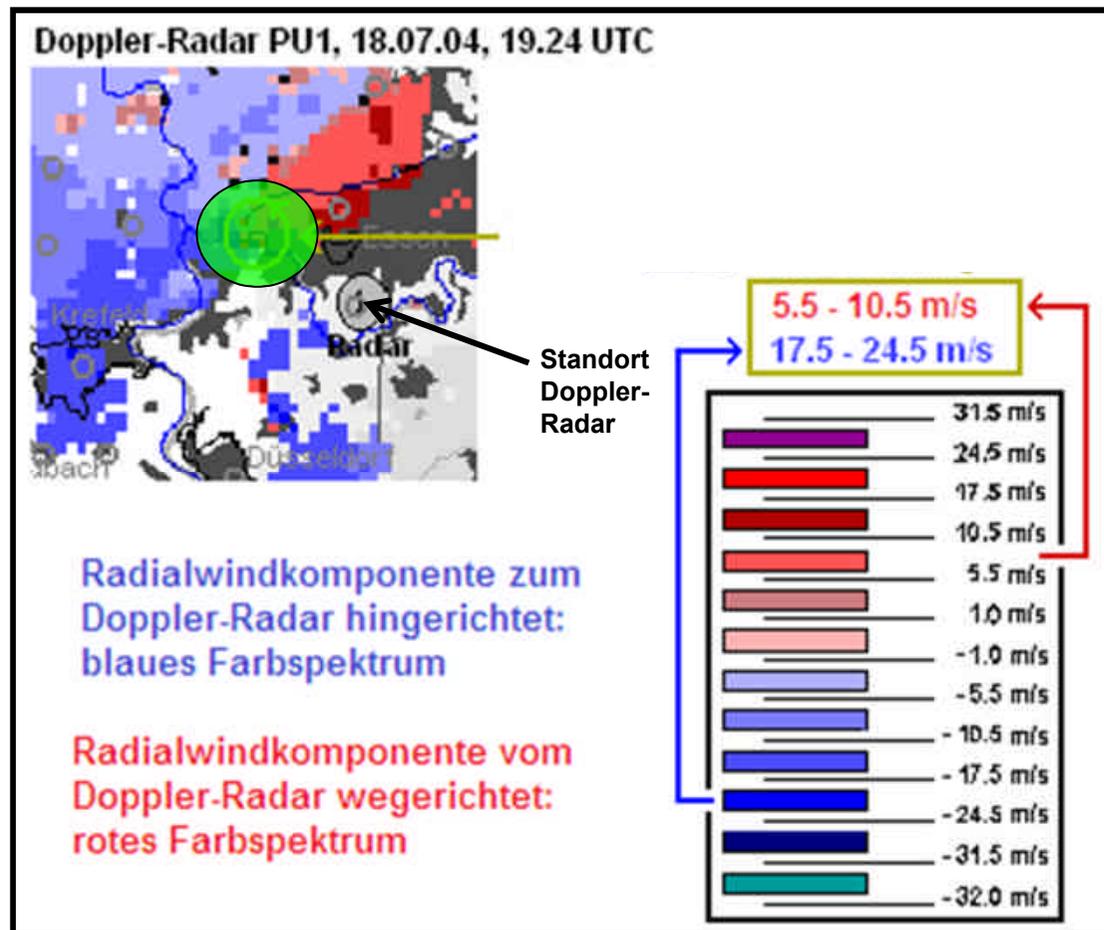
Die Darstellung der Kerne der Gewitterzellen (stärkste Echos) erfolgt durch große farbige Kreise entsprechend der dBZ-Stärke; die aktuelle Zellposition zeigt ein ausgefüllt Kreis, zeitlich frühere Zellorte sind durch farbige Kreisen markiert.



Tornado Duisburg, 18.07.2004

3.8 Radarbilder vom 18.07.2004

3.8.3 Doppler-Radar 18.07.2004, 19:24 UTC



Doppler-Radar: Messung der Radial-Windgeschwindigkeit

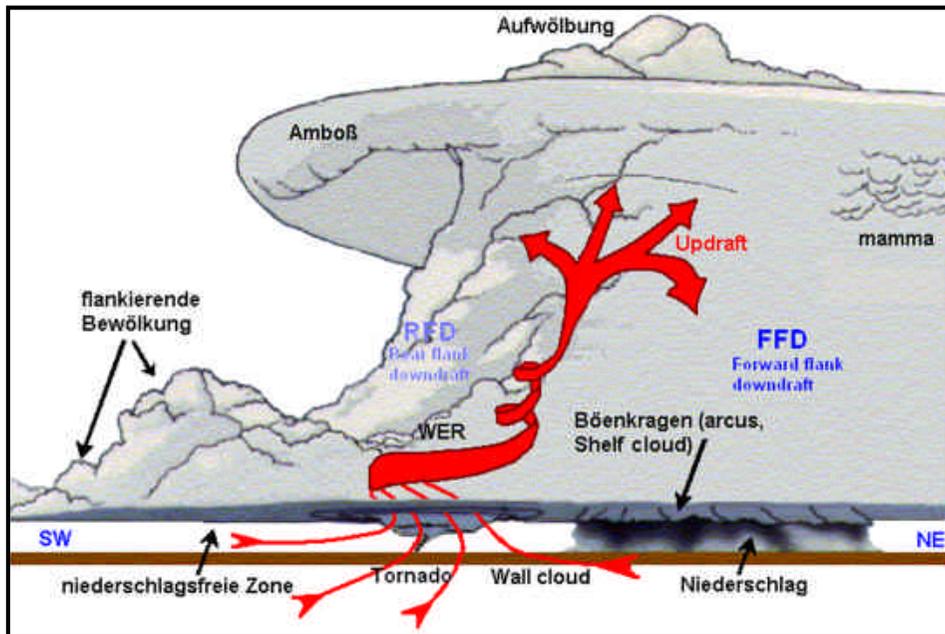


Mesoskaliges Tiefdruckgebiet → Superzelle



Tornado Duisburg, 18.07.2004

4. Superzelle produzierte Duisburger F2-Tornado





Kapitel 7

Kleine Evaluation - Abschlussbesprechung

Fragen ?

Hinweise ?

Tipps ?

Anregungen ?

Ratschläge ?

Bemerkungen ?

Kommentare ?

Ergänzungen ?



Ende



Gewitter- Grundformen, Phänomene und Gefahren

Herzlichen Dank für Ihre Aufmerksamkeit



Unwetternachrichten vom 29.07. (ZDF) und 30.07.2005 (ARD)



Videofilm Hagel (Galileo spezial)



Blitze im Videofilm (Galileo spezial)

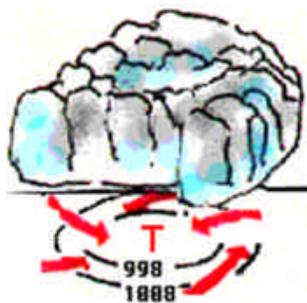
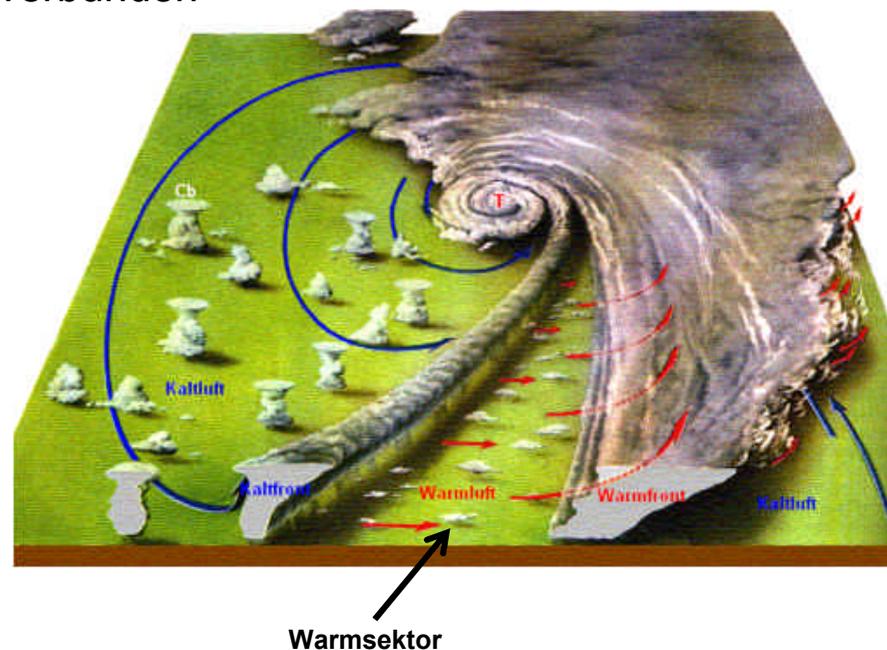


Tornados (WDR, Planet Wissen)



Warmsektor einer Zyklone (Nordhalbkugel)

- Zyklone → Tiefdruckgebiet, großer troposphärischer Wirbel
 - in mittleren/hohen Breiten mit Fronten verbunden
 - z.B. Kalt- und Warmfront
 - Tief-Drehrichtung auf Nordhalbkugel
 - gegen den Uhrzeigersinn
 - Rückseite des Tiefs → Kaltluft wird nach Süden geführt
 - Vorderseite des Tiefs → Warmluft wird nach Norden geführt
- Zyklone in den Tropen → keine Fronten



Tropischer Sturm





PowerPoint-Präsentation als pdf-Dokument (DIN A4-Querformat, 1 Folie pro Seite)

Gewitter Grundformen VHS.pdf, 15 MB

1. Internet

- Webseite Wolkenschnueffler.de
- Skripte (pdf)
- letzte pdf-Datei herunterladen

2. USB-Stick mitbringen



Unwetter am 25.06. 2008 in 63303 Dreieich-Offenthal

