

Flugwetterseminar „Gewitter“

Allgemeines, Wolkenkunde
Entstehungsvoraussetzungen, Gewitterarten
Gefahrenpotenziale

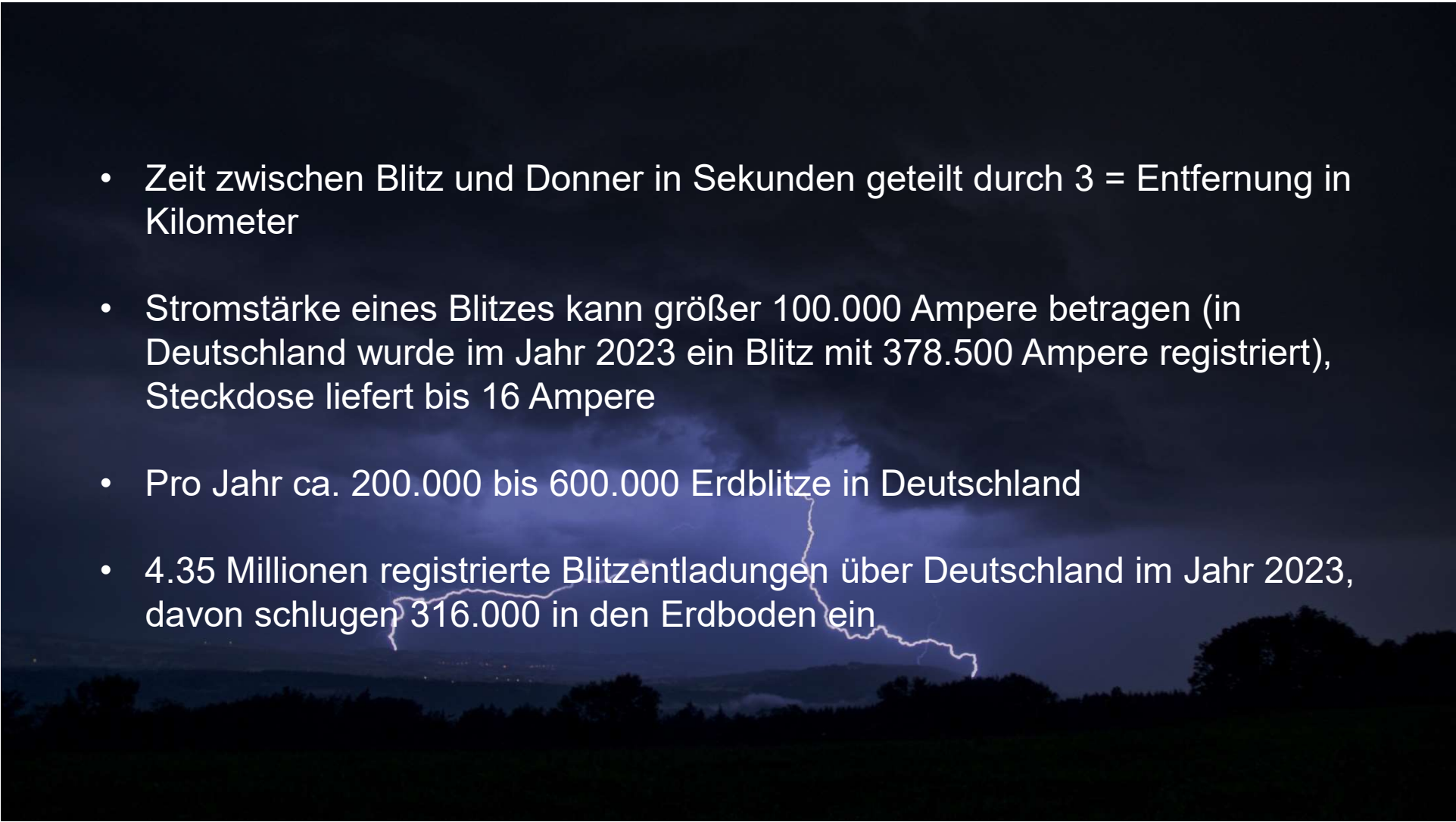


INHALT

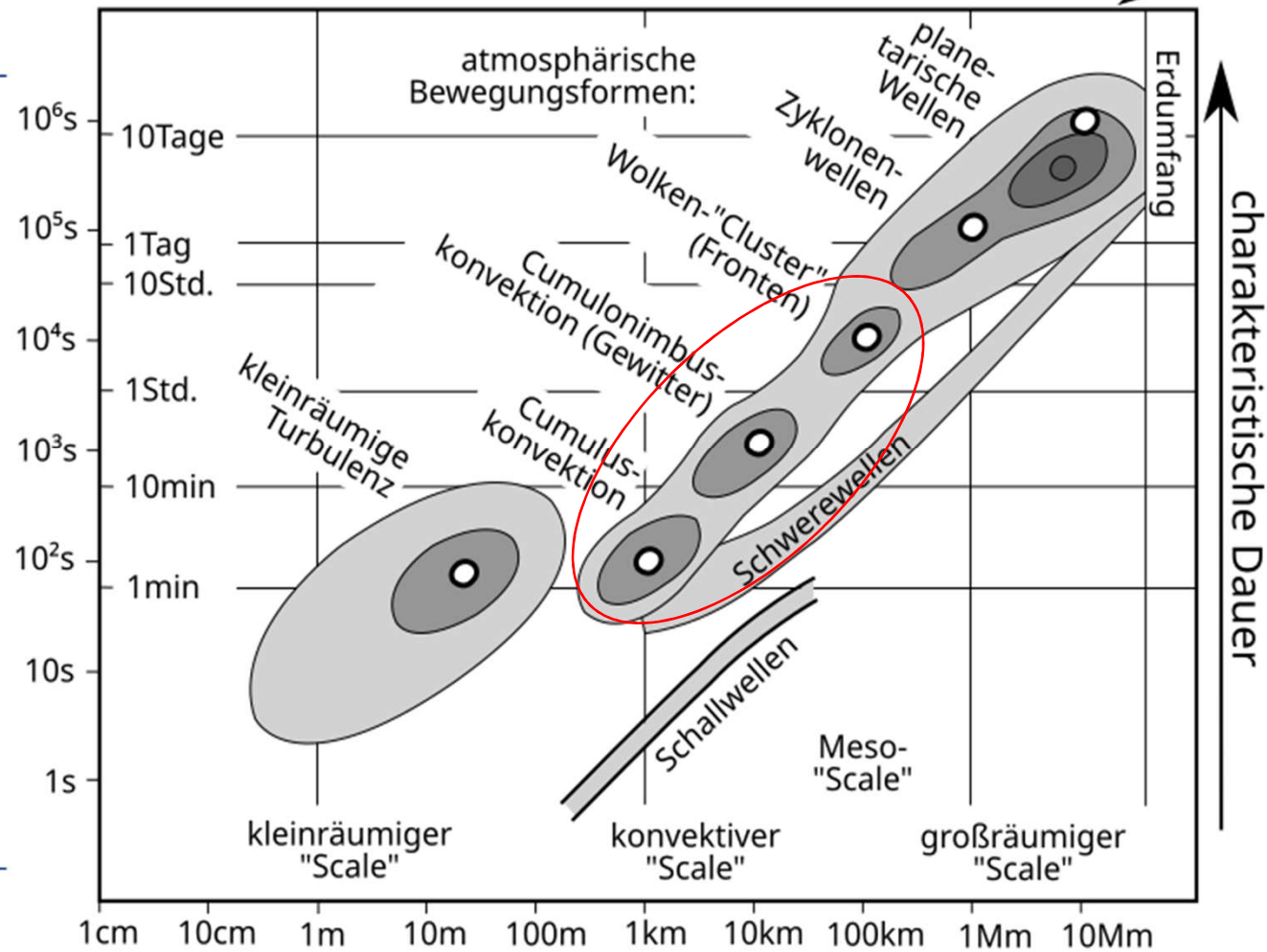
- Allgemeines über Gewitter
- Kleine Wolkenkunde (Eiswolken, Wasserwolken, Mischwolken)
- Entstehungsvoraussetzungen / „Zutatenmethode“
- Gewitterarten (Einzelzelle, Multizelle, Superzelle)
- Gefahrenpotenziale Turbulenz (Downburst), Vereisung, Hagelschlag, Blitzschlag, Starkregen, Tornados

Allgemeines über Gewitter

- Gewitterhäufigkeit nimmt in Deutschland von Süd nach Nord ab
- Norddeutschland im Mittel etwa 20 bis 30 Gewittertage pro Jahr, in Süddeutschland 25 bis 50 Gewittertage pro Jahr
- Die meisten Gewitter in Deutschland im Gebirge oder in Gebirgsnähe
- Der Blitz erhitzt sich schlagartig auf bis zu 30.000 Grad, daraus folgt eine explosionsartige Ausdehnung der Luft im Blitzkanal = Donner
- Lichtgeschwindigkeit 300.000 km/s, Schallgeschwindigkeit 0,343 km/s

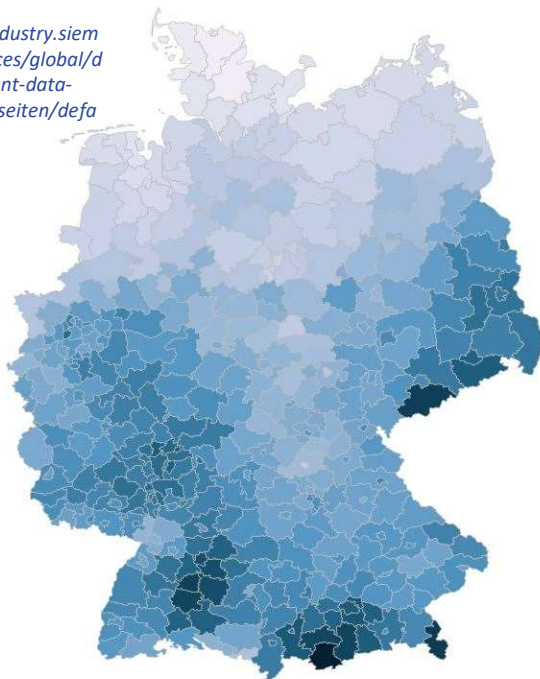
- 
- Zeit zwischen Blitz und Donner in Sekunden geteilt durch 3 = Entfernung in Kilometer
 - Stromstärke eines Blitzes kann größer 100.000 Ampere betragen (in Deutschland wurde im Jahr 2023 ein Blitz mit 378.500 Ampere registriert), Steckdose liefert bis 16 Ampere
 - Pro Jahr ca. 200.000 bis 600.000 Erdblitz in Deutschland
 - 4.35 Millionen registrierte Blitzentladungen über Deutschland im Jahr 2023, davon schlugen 316.000 in den Erdboden ein

charakteristische räumliche Ausdehnung



Jährliche Anzahl Blitzeinschläge pro Quadratkilometer (1999 - 2015)

Quelle:
<http://www.industry.siemens.com/services/global/de/portfolio/plant-data-services/blids/seiten/default.aspx>.

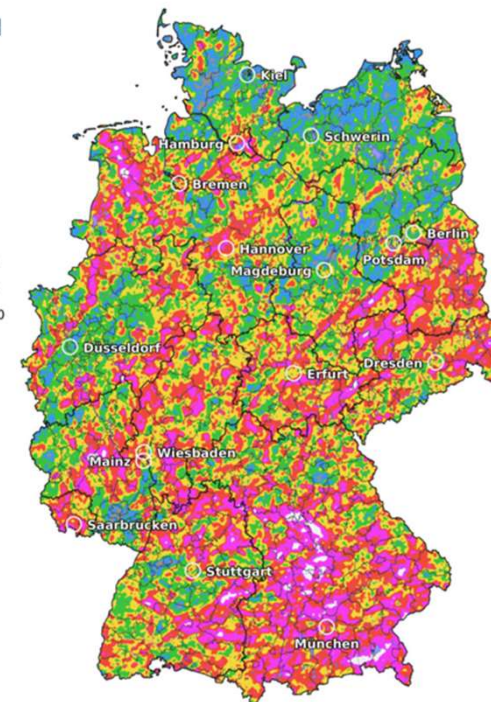


■ niedrigster Wert: 0,6 Blitze je km² ■ höchster Wert: 4,5 Blitze je km²

Blitzdichte Sommer 2024 Deutschland

Blitzdichte [km⁻²]

0 - 0,5	10 - 20
0,5 - 2	20 - 50
2 - 5	50 - 100
5 - 10	

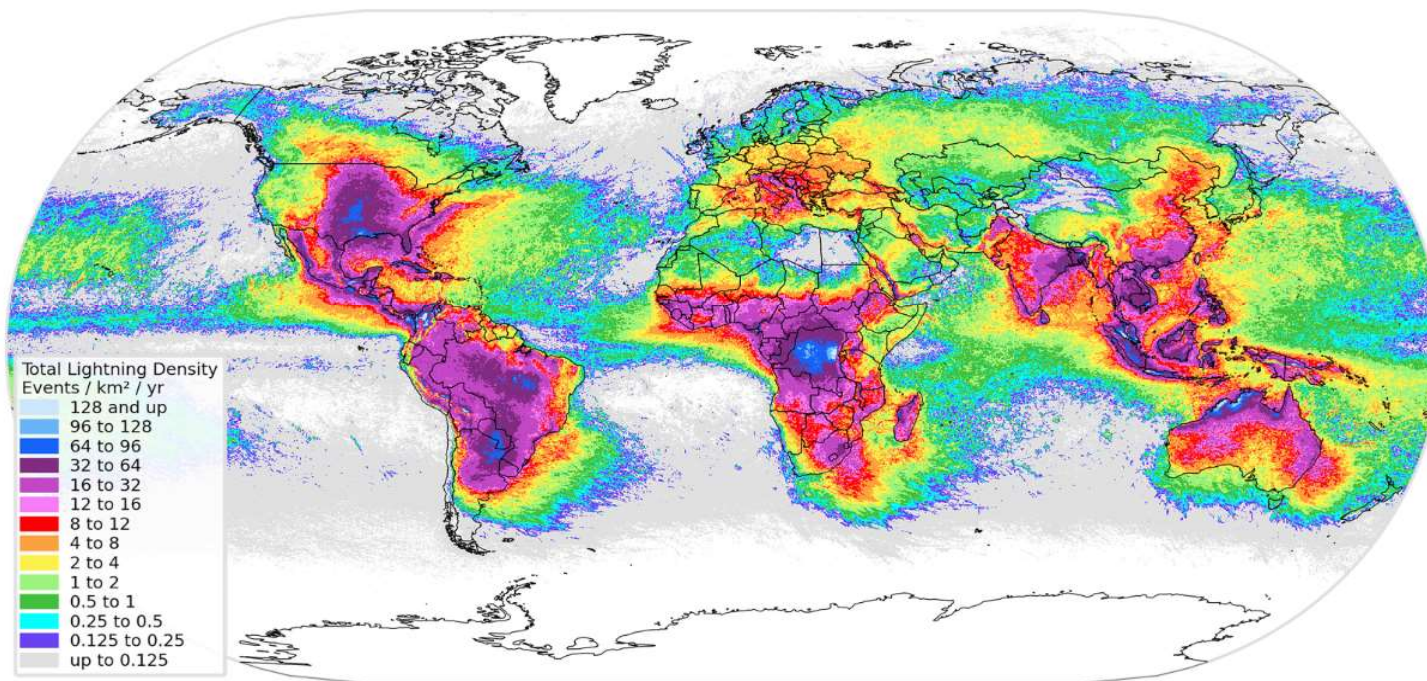


UBIMET

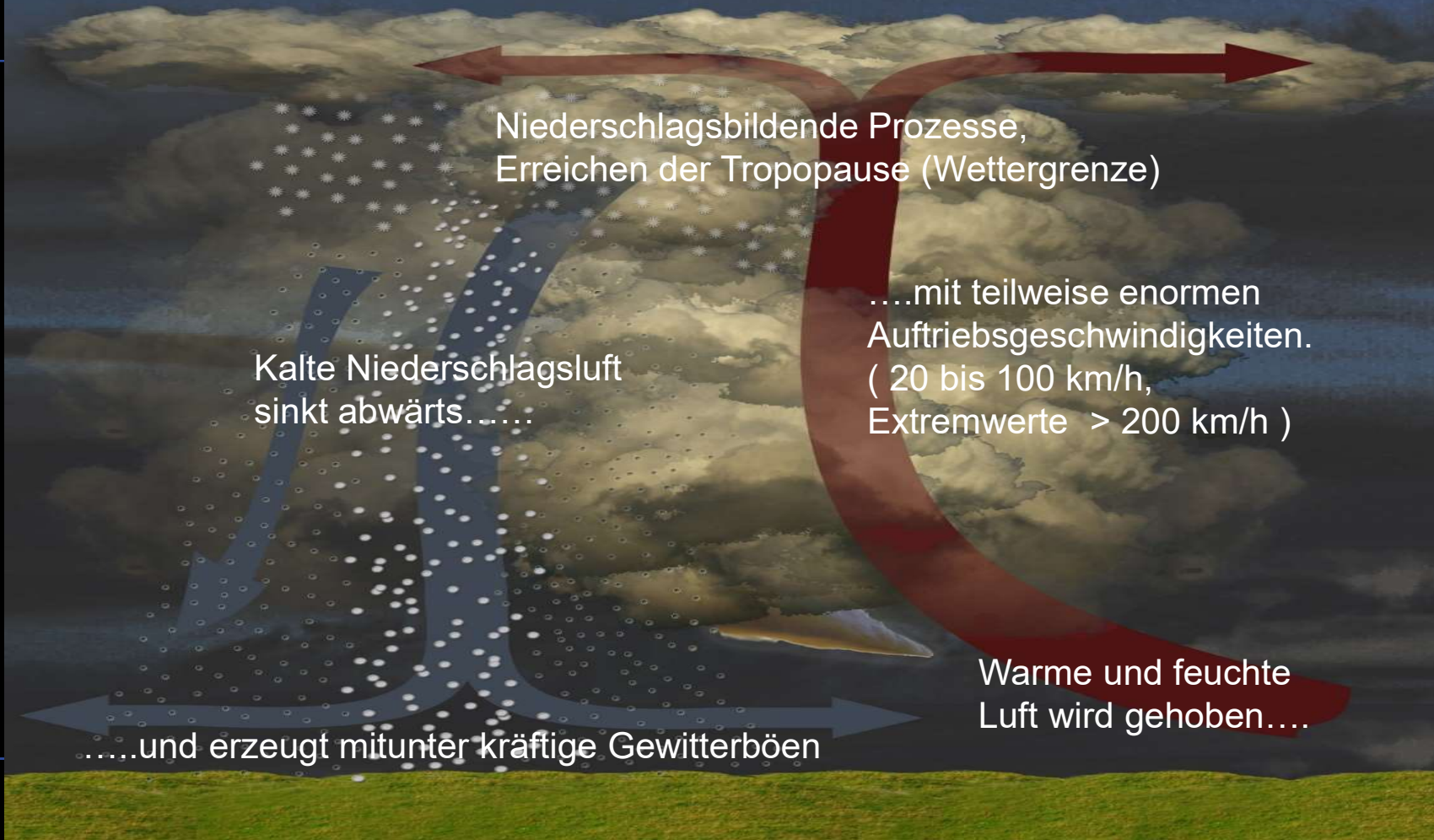


Average global total lightning density, 2016–2020

More than 10 billion events detected



Anatomie einer Gewitterzelle



Niederschlagsbildende Prozesse,
Erreichen der Tropopause (Wettergrenze)

....mit teilweise enormen
Auftriebsgeschwindigkeiten.
(20 bis 100 km/h,
Extremwerte > 200 km/h)

Kalte Niederschlagsluft
sinkt abwärts.....

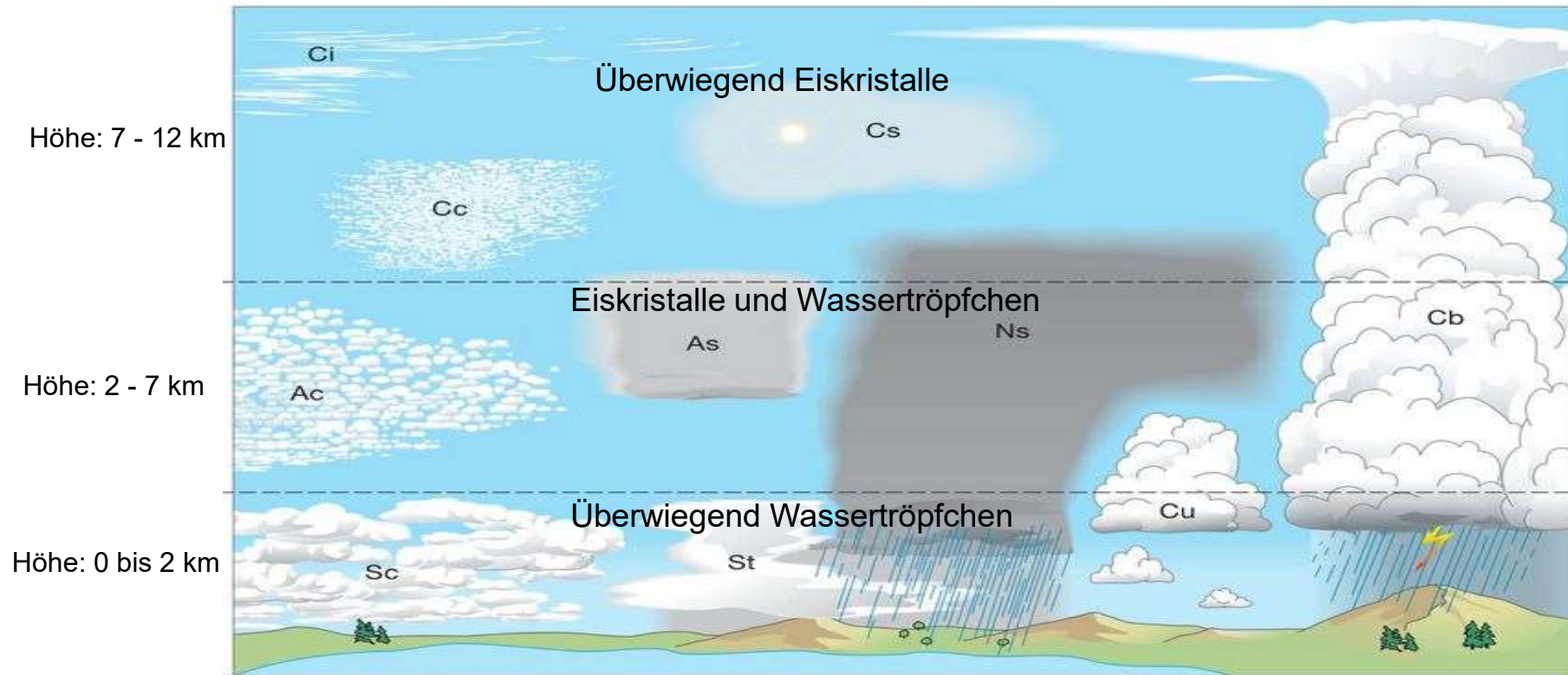
Warme und feuchte
Luft wird gehoben....

.....und erzeugt mitunter kräftige Gewitterböen



Kleine Wolkenkunde
(Eiswolken, Wasserwolken, Mischwolken)

Wolkenstockwerke (Familien) und Wolkengattungen



(c) Bild: WMO, Text: DWD

Ci - Cirrus

Cc - Cirrocumulus

Cs - Cirrostratus

Ac - Altocumulus

As - Altostratus

Ns - Nimbostratus

Sc - Stratocumulus

St - Stratus

Cu - Cumulus

Cb - Cumulonimbus

Prinzipiell gilt:



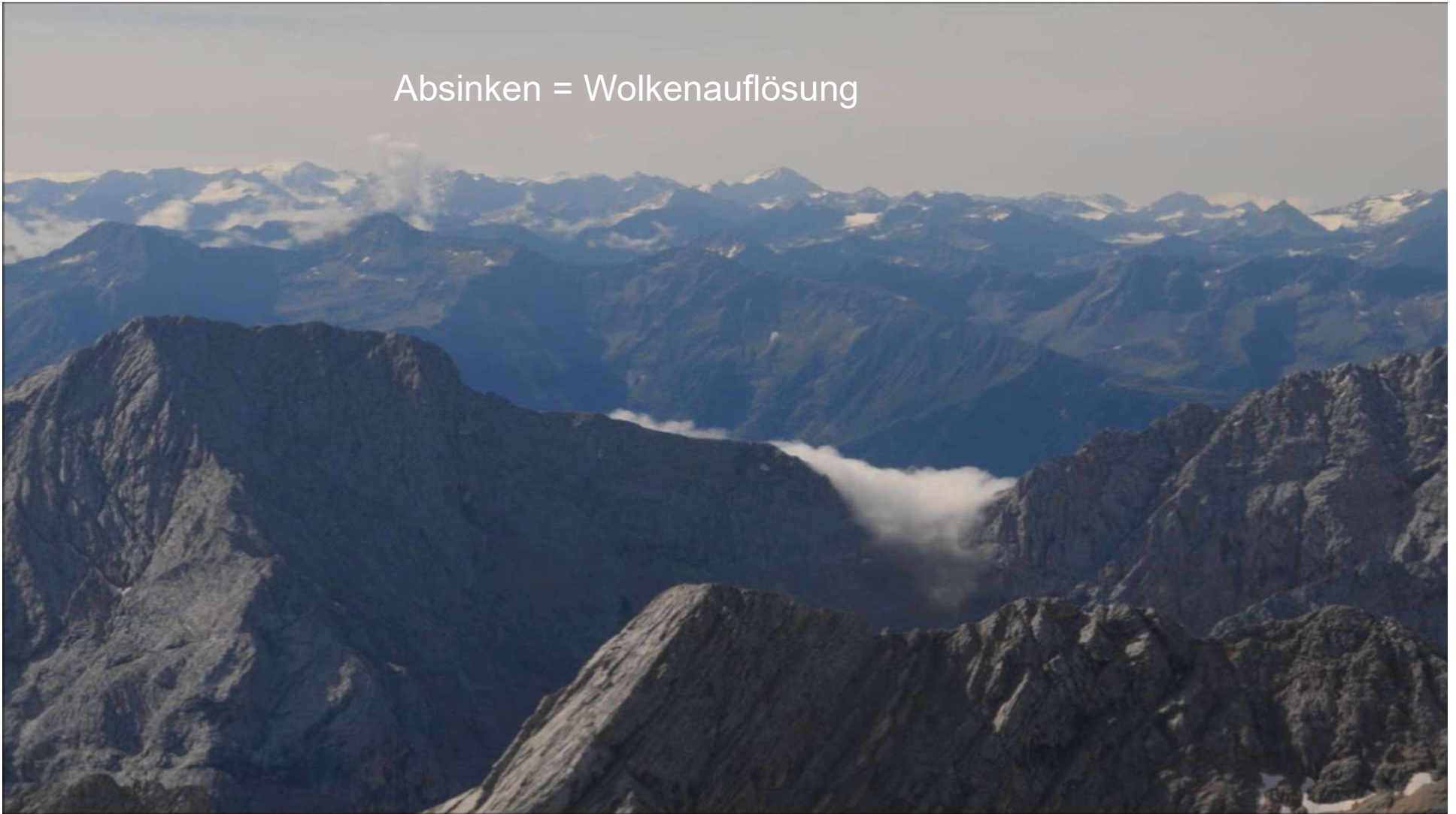
Hebung = Wolkenbildung



Absinken = Wolkenauflösung



Absinken = Wolkenauflösung



Hebung = Wolkenbildung



Wasserwolken (Cumulus mediocris im Übergang zu Cumulus congestus)

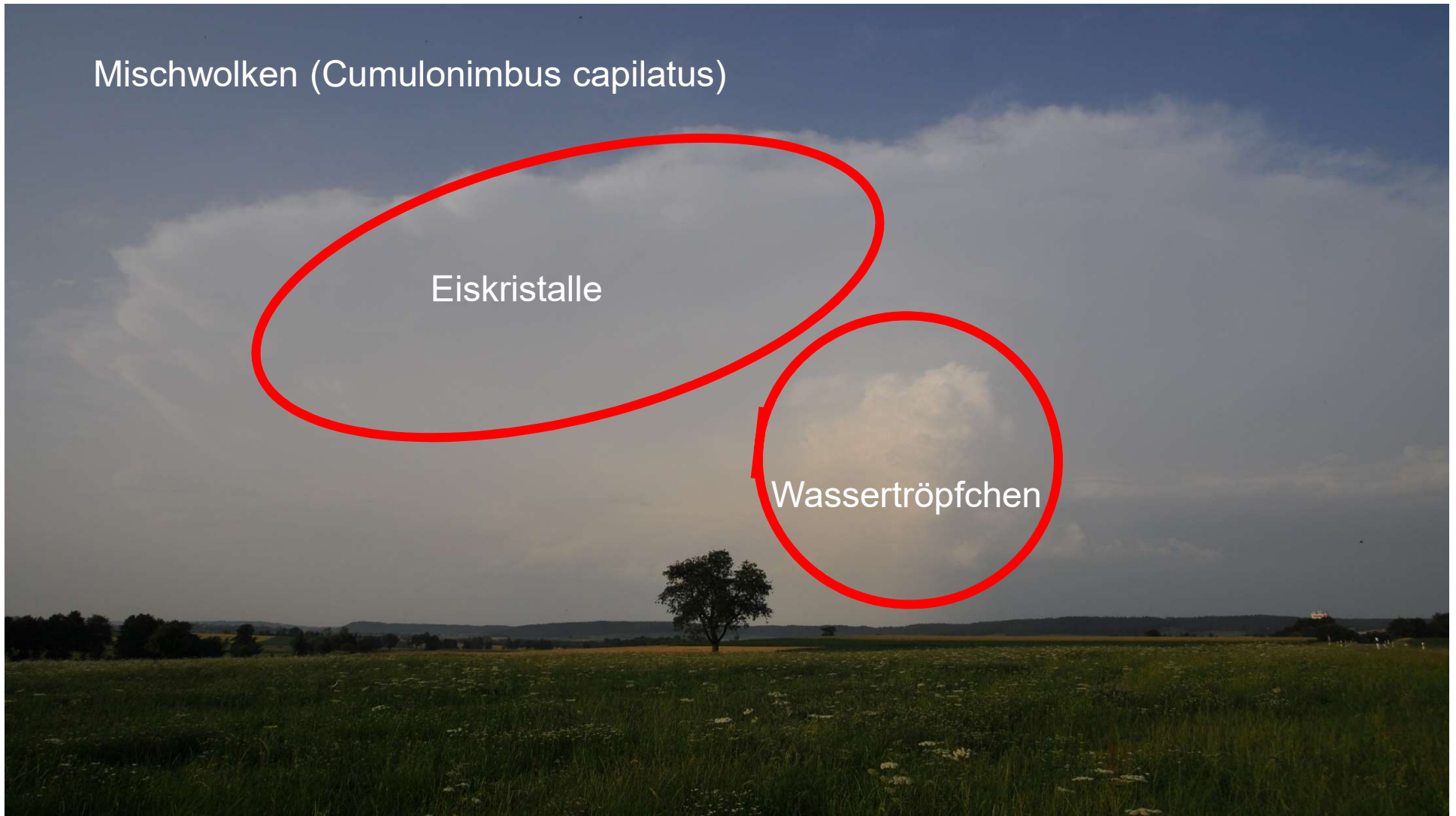
Millionen winziger
Wassertröpfchen



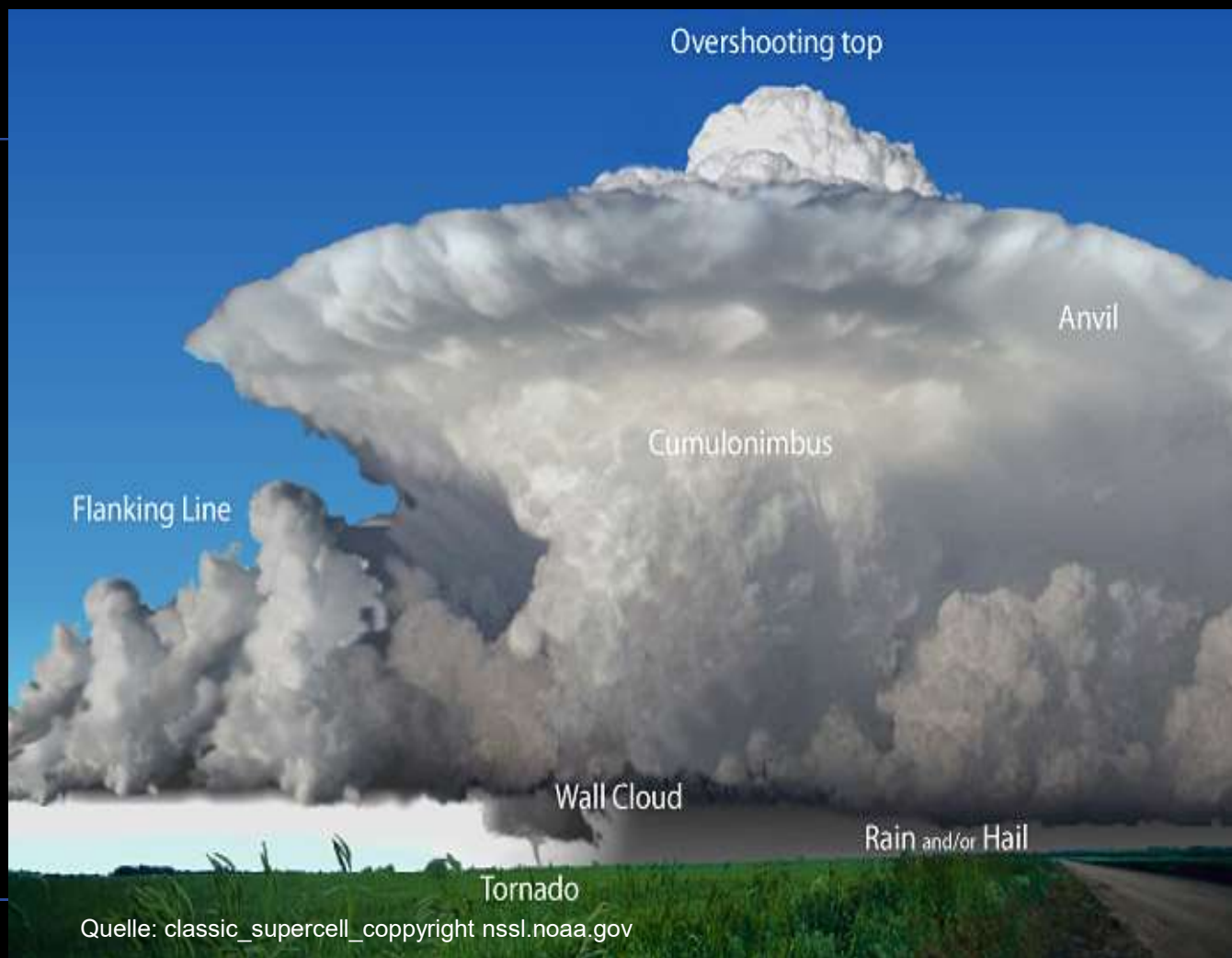
Mischwolken (Cumulonimbus capilatus)

Eiskristalle

Wassertröpfchen







Quelle: classic_supercell_copyright nssl.noaa.gov

Eiswolken (Cirrus fibratus, spissatus)



Entstehungsvoraussetzungen „Zutatenmethode“





Zutaten für ein Gewitter.....

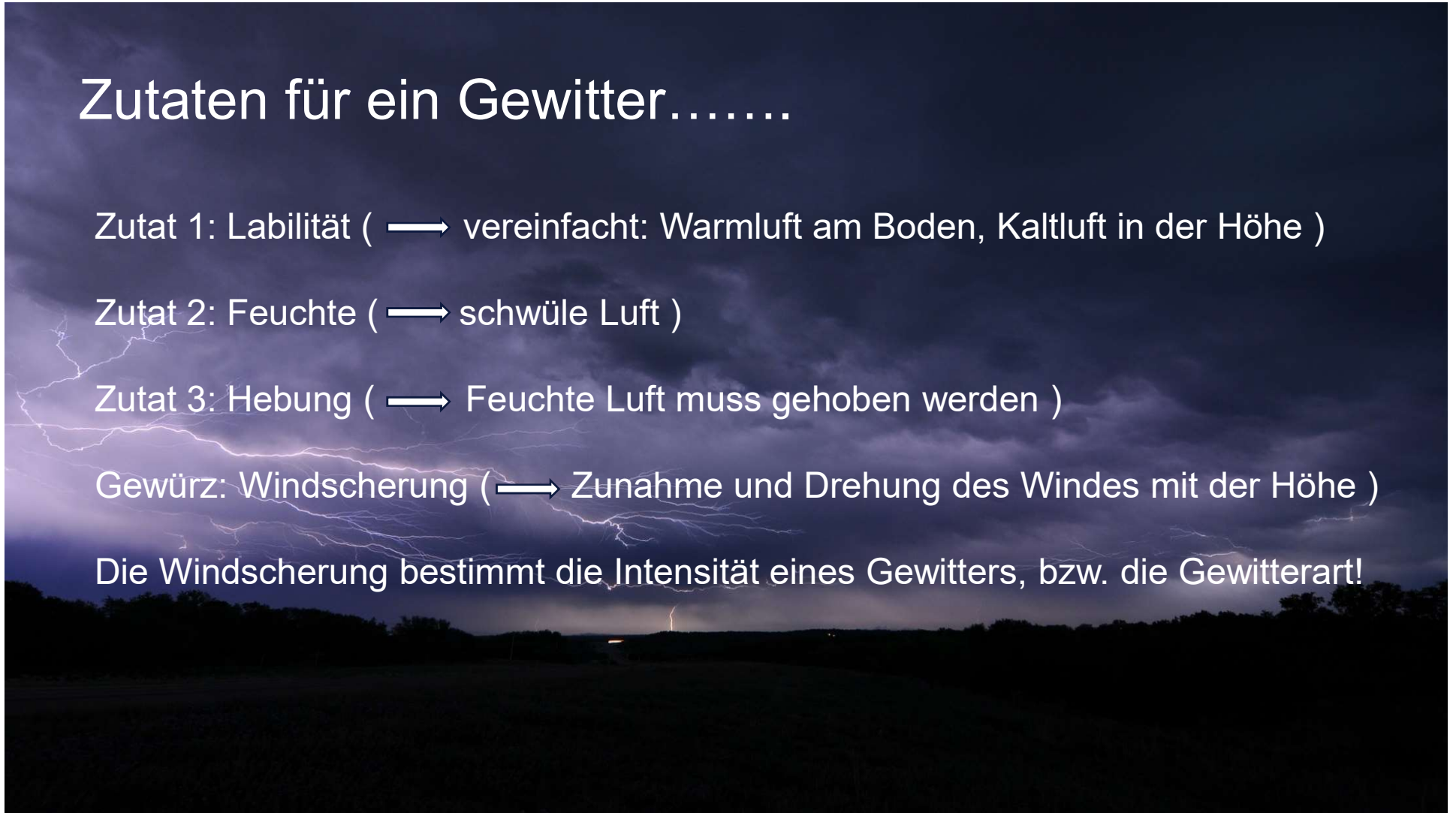
Zutat 1: Labilität ($\longrightarrow$ vereinfacht: Warmluft am Boden, Kaltluft in der Höhe)

Zutat 2: Feuchte ($\longrightarrow$ schwüle Luft)

Zutat 3: Hebung ($\longrightarrow$ Feuchte Luft muss gehoben werden)

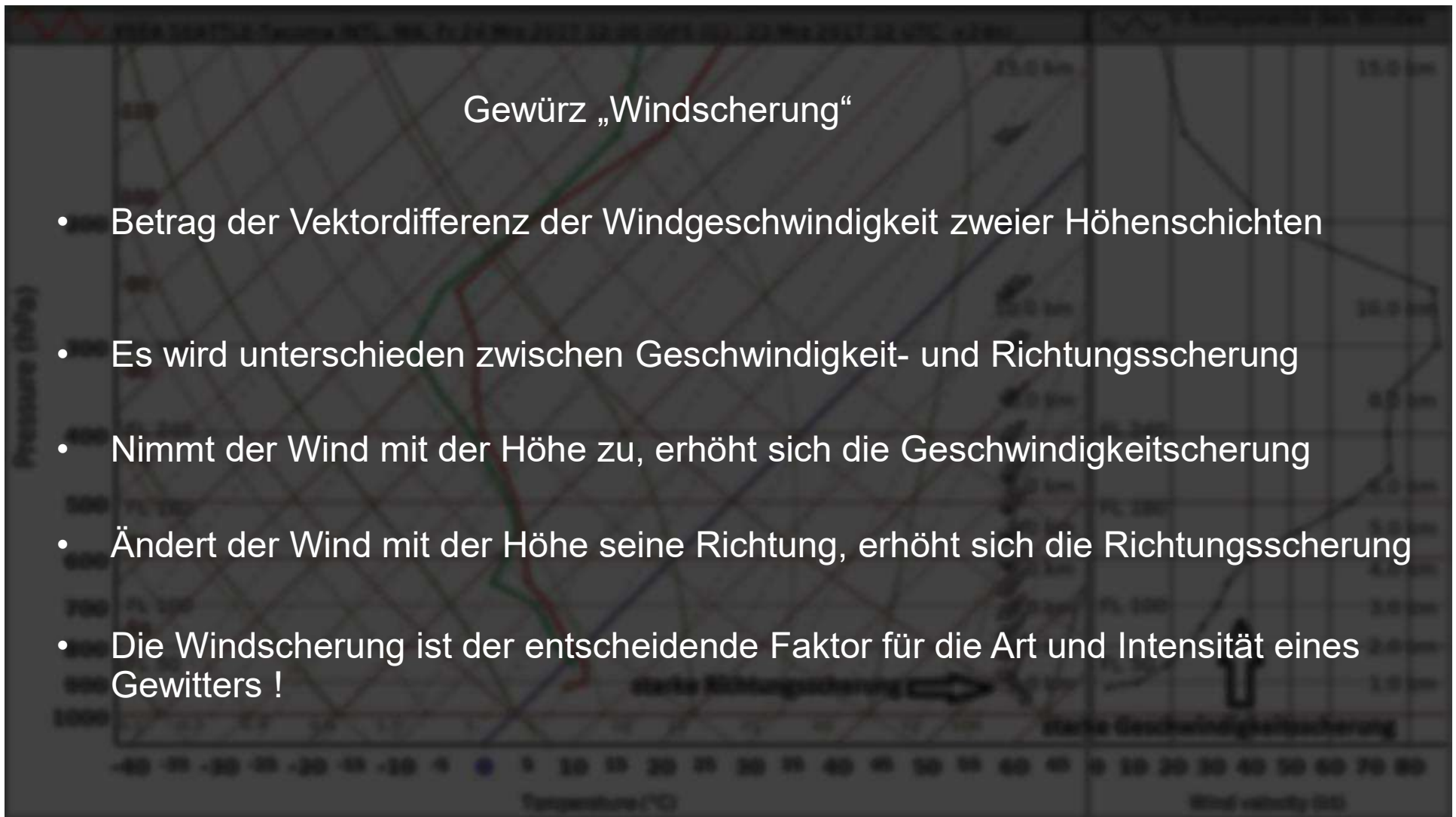
Gewürz: Windscherung ($\longrightarrow$ Zunahme und Drehung des Windes mit der Höhe)

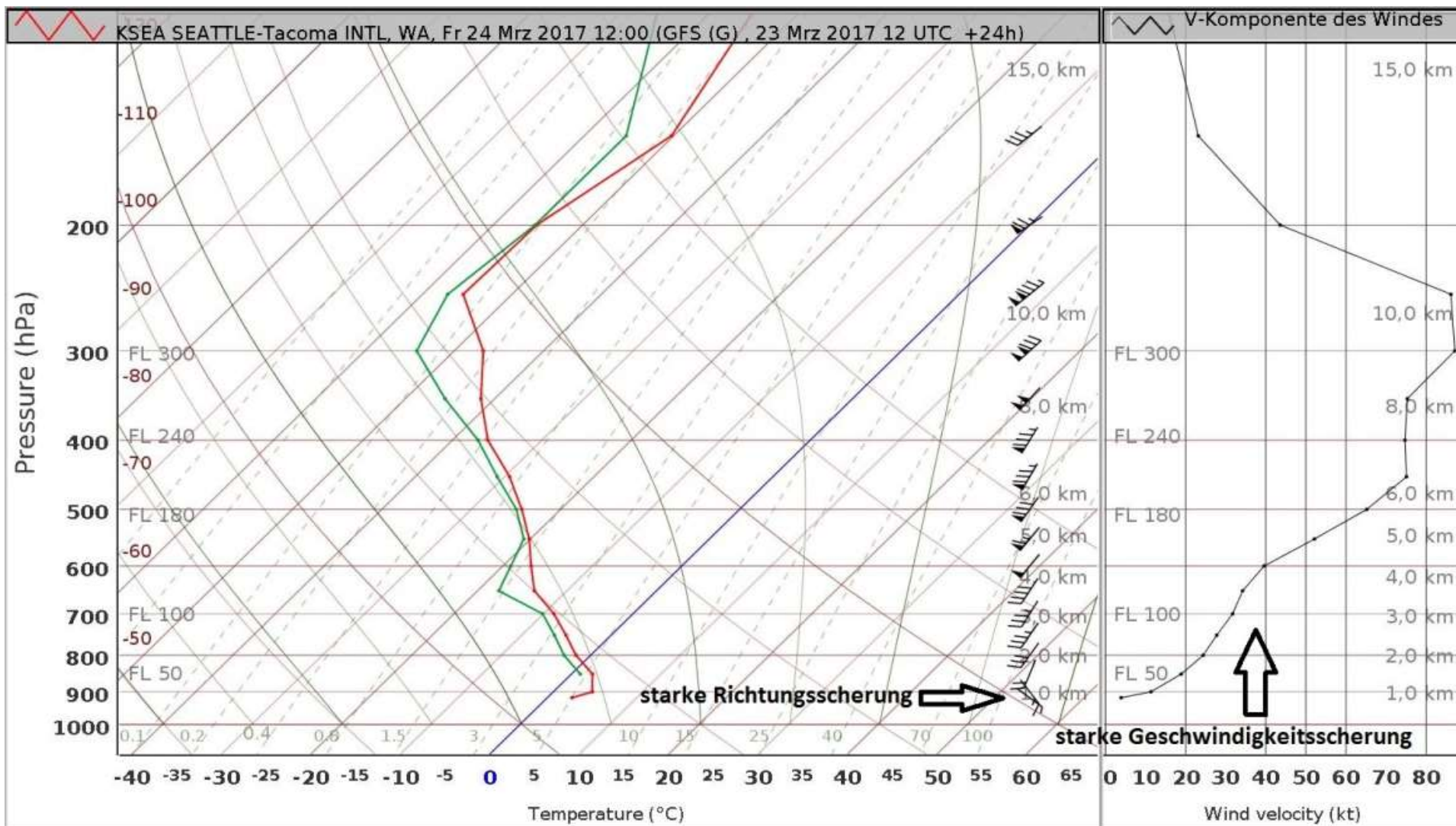
Die Windscherung bestimmt die Intensität eines Gewitters, bzw. die Gewitterart!

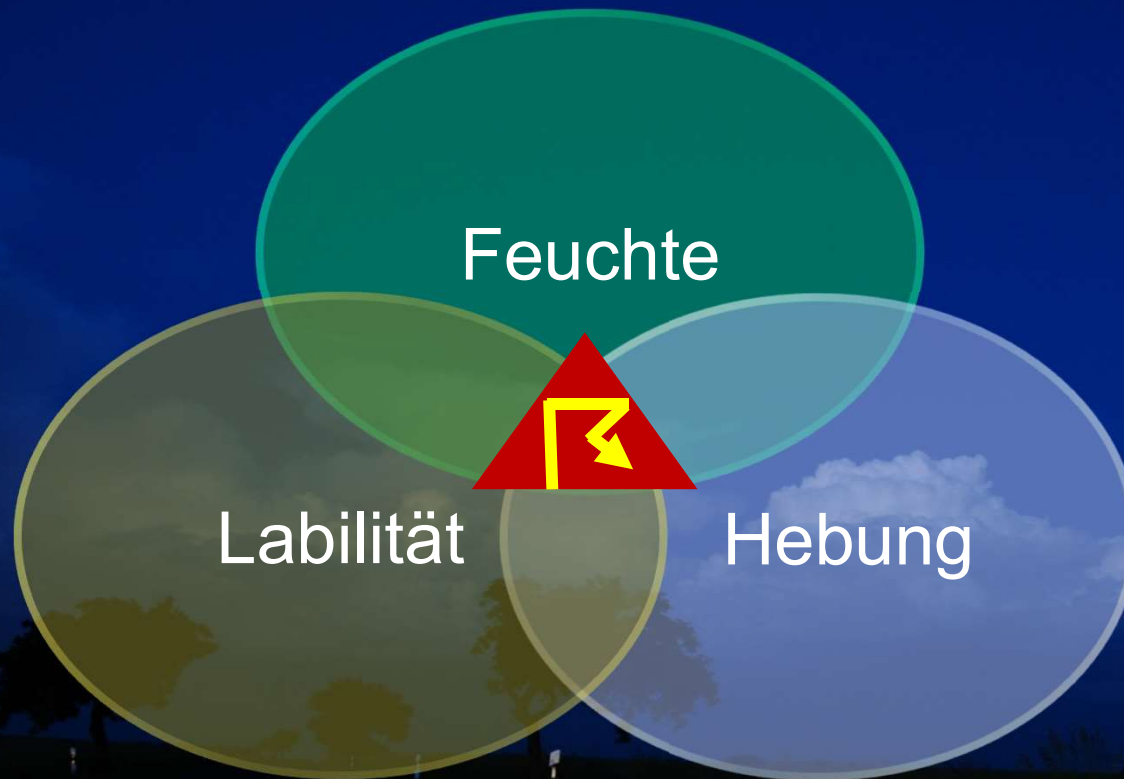


Gewürz „Windscherung“

- Betrag der Vektordifferenz der Windgeschwindigkeit zweier Höhenschichten
- Es wird unterschieden zwischen Geschwindigkeit- und Richtungsscherung
- Nimmt der Wind mit der Höhe zu, erhöht sich die Geschwindigkeitscherung
- Ändert der Wind mit der Höhe seine Richtung, erhöht sich die Richtungsscherung
- Die Windscherung ist der entscheidende Faktor für die Art und Intensität eines Gewitters !





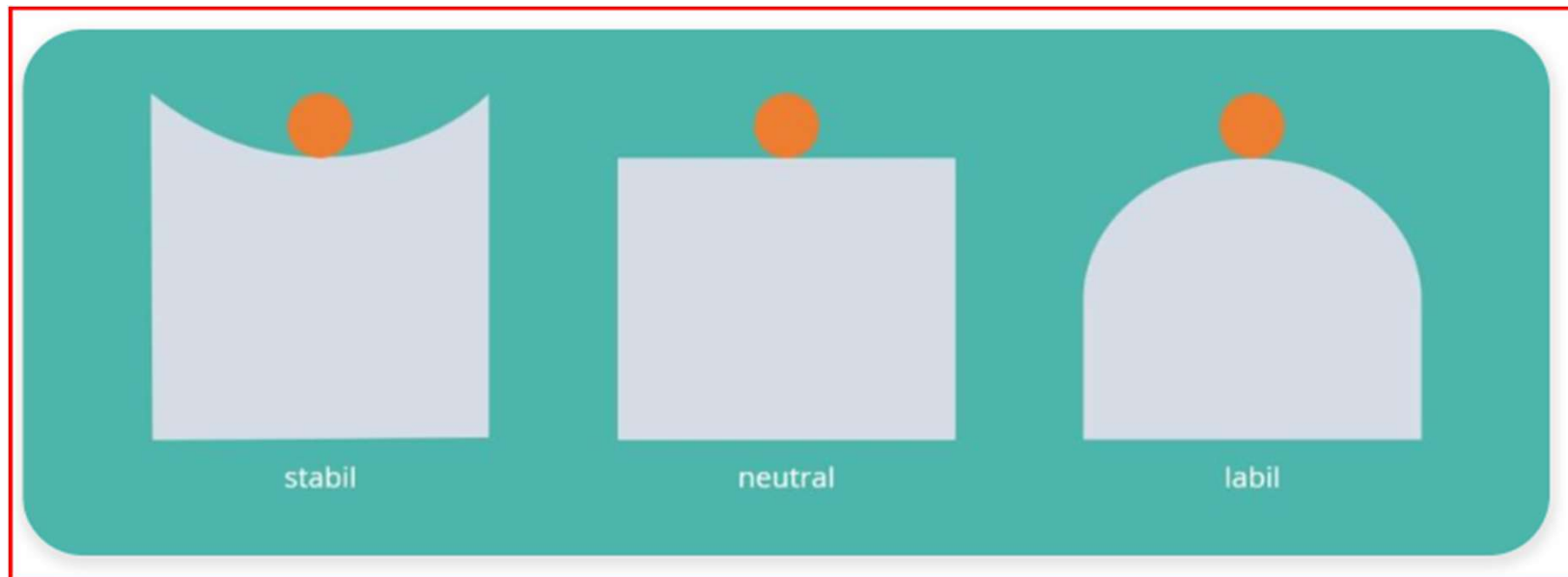


In welchen Regionen überlappen die Zutaten? Genau dort und im unmittelbaren Umfeld ist die Gewittergefahr erhöht.

Herrscht in dieser Region zeitgleich auch noch eine starke Windscherung vor, sind schwere Gewitter wahrscheinlich.

„Zutat“ 1 Labilität

● = Luftpaket



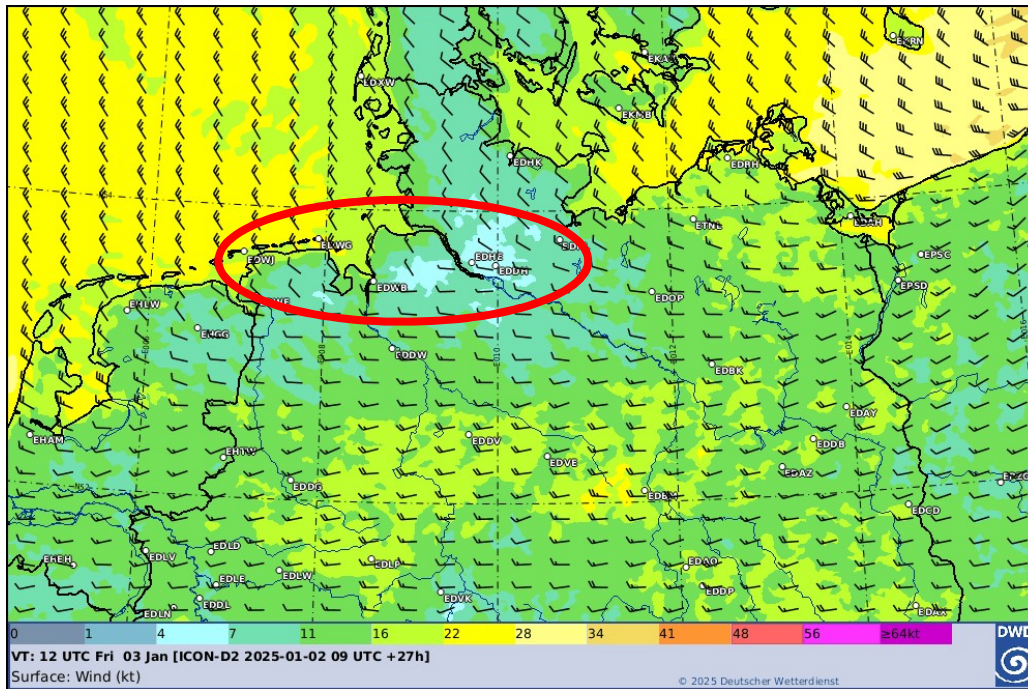
Zutat Hebung ?

- Hebung an Gebirgszügen (Orographische Hebung)
- Zusammenströmen von Luftmassen (Konvergenzen am Boden/Höhe)
- Outflowboundarys (vom Gewitter erzeugte Abwinde/Fallwinde)
- Einstrahlung/Überhitzung des Erdbodens
- Trogvorderseite / Kaltlufttropfen (Höhentiefs)
- Quersirkulationen an Fronten

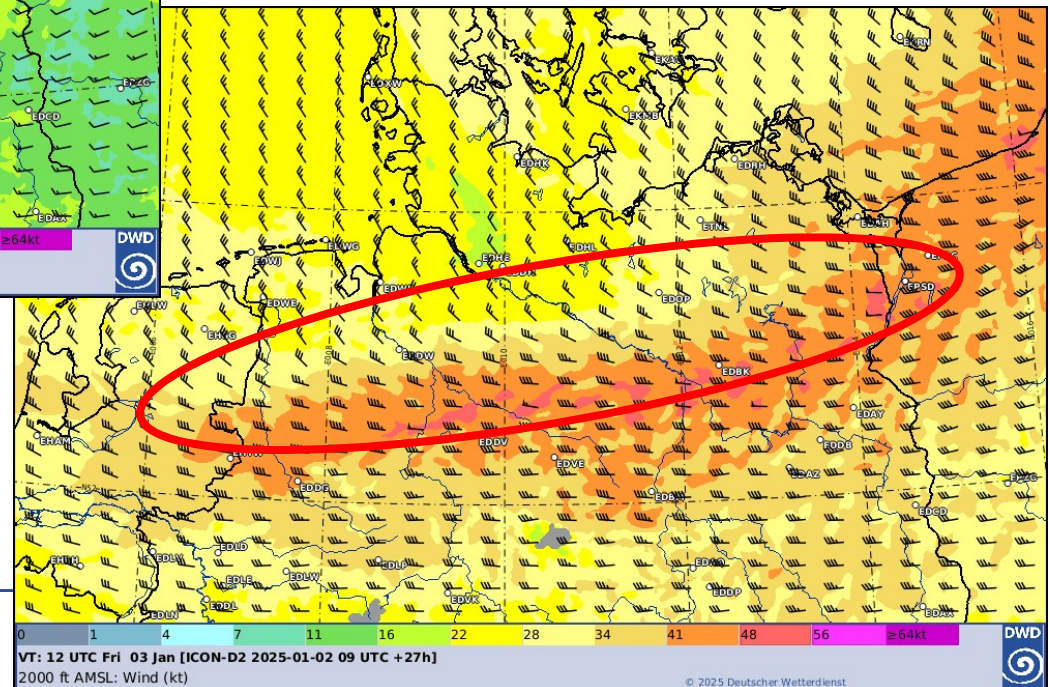
Hebung an Gebirgszügen (Orographische Hebung)

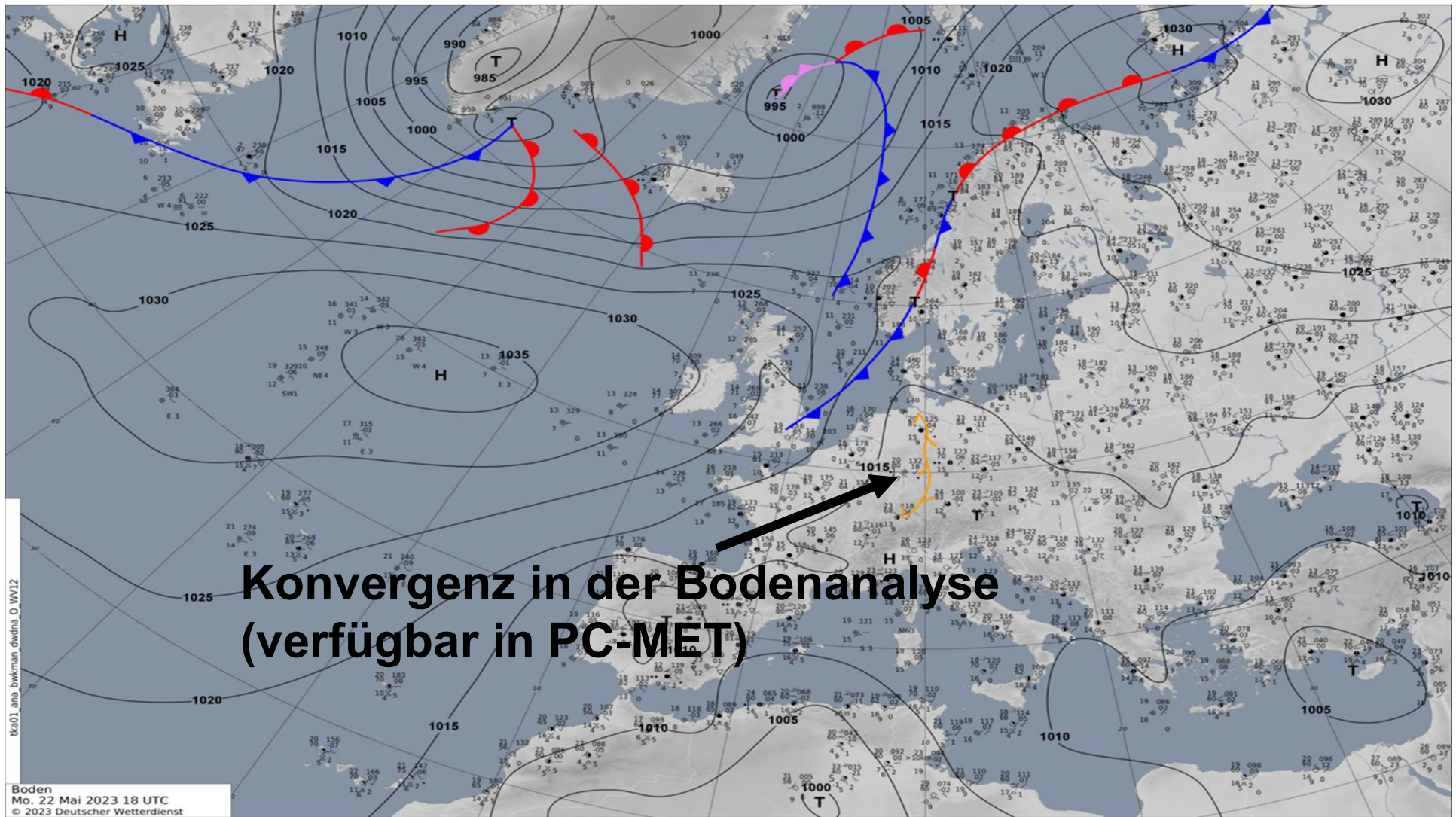


Zusammenströmen von Luftmassen (Konvergenz am Boden/Höhe)

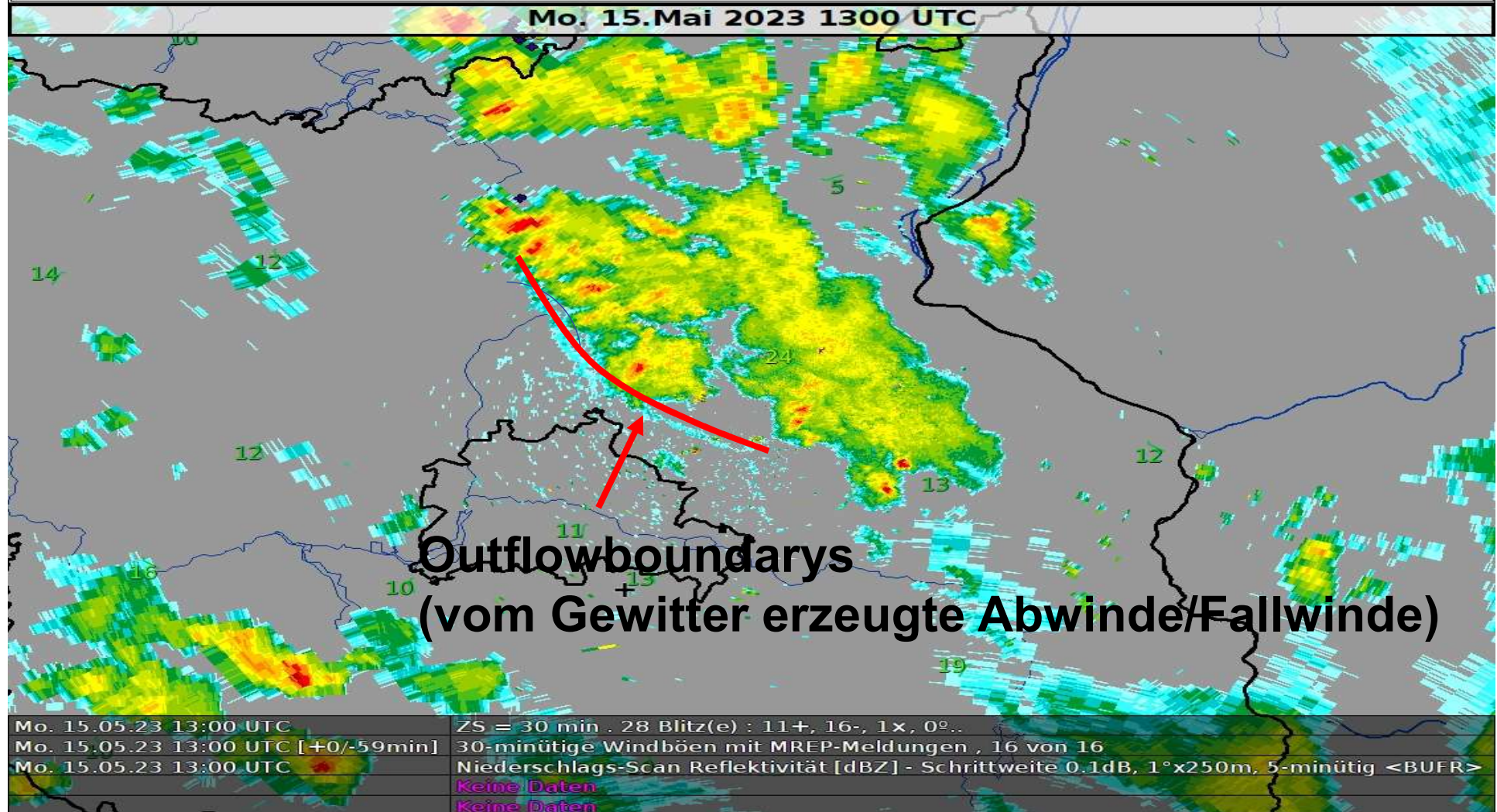


Wetterkarten auf
Konvergenzen analysieren....





Mo. 15.Mai 2023 1300 UTC

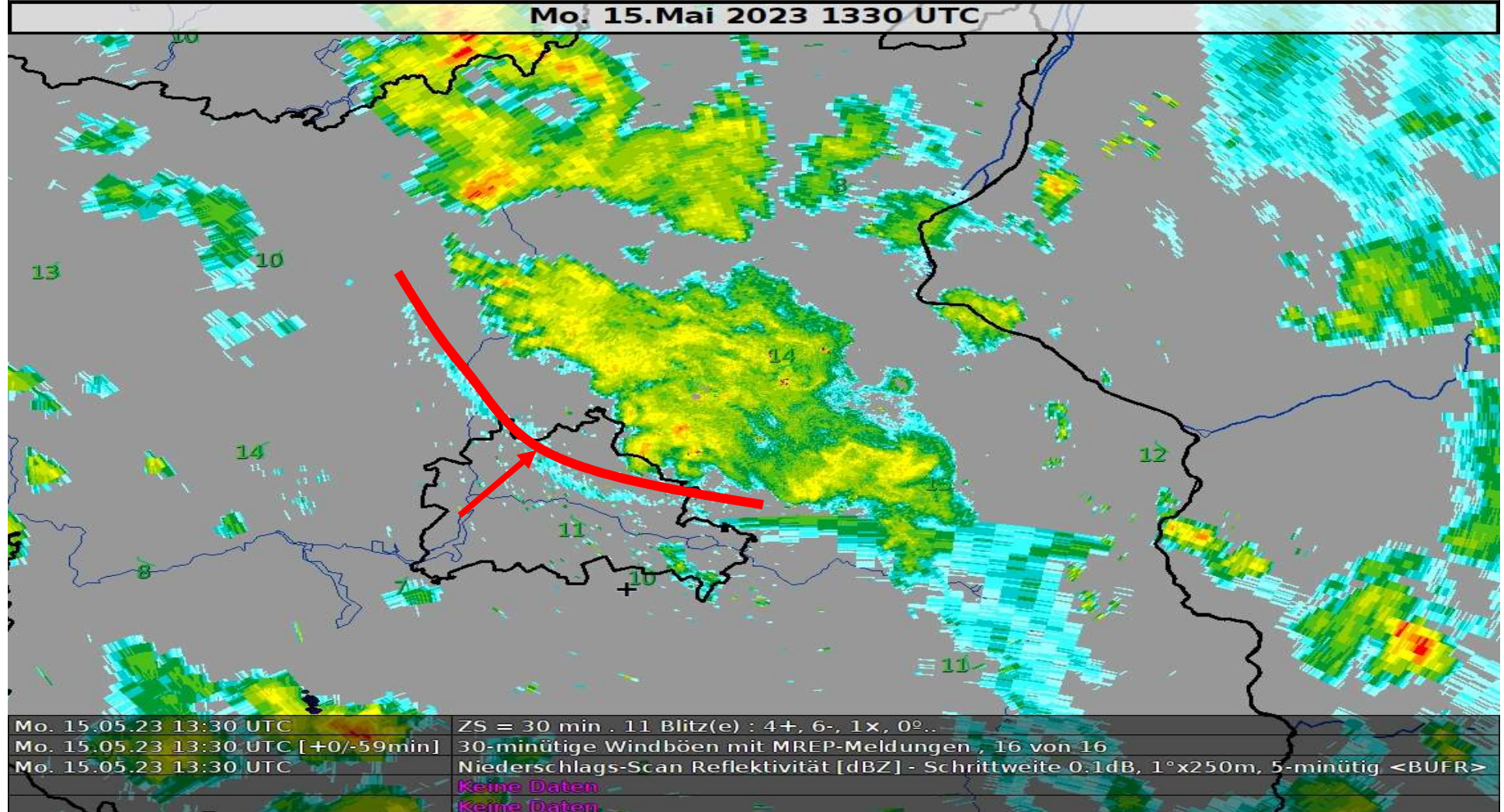


Outflowboundarys
(vom Gewitter erzeugte Abwinde/Fallwinde)

Mo. 15.05.23 13:00 UTC	ZS = 30 min . 28 Blitz(e) : 11+, 16-, 1x, 0°..
Mo. 15.05.23 13:00 UTC [+0/-59min]	30-minütige Windböen mit MREP-Meldungen , 16 von 16
Mo. 15.05.23 13:00 UTC	Niederschlags-Scan Reflektivität [dBZ] - Schrittweite 0.1dB, 1°x250m, 5-minütig <BUFR>
	Keine Daten
	Keine Daten

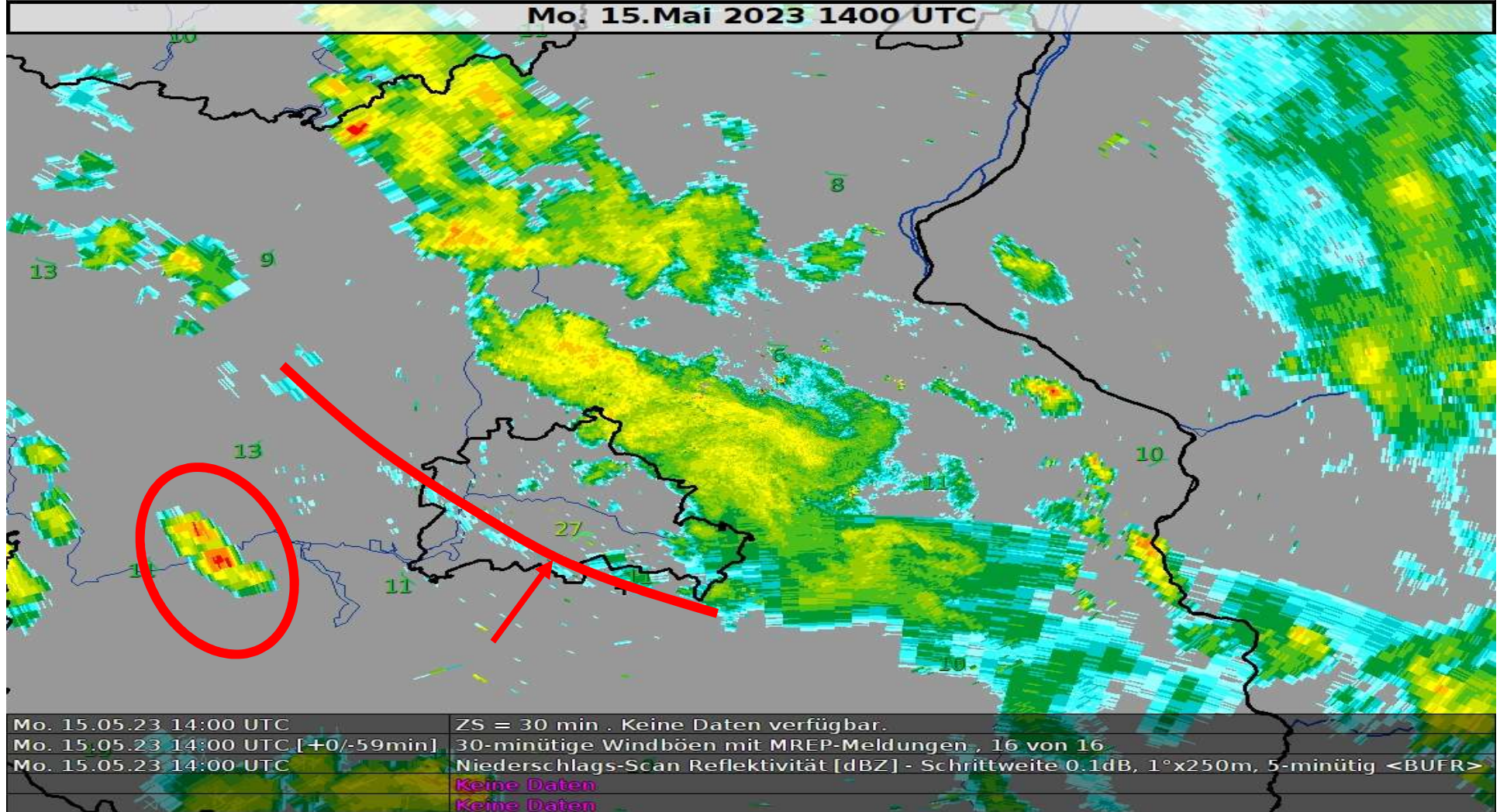
Hauptfenster WX Aviation

Mo. 15.Mai 2023 1330 UTC



Hauptfenster WX Aviation

Mo. 15.Mai 2023 1400 UTC



Hauptfenster WX Aviation

Mo. 15.Mai 2023 1500 UTC

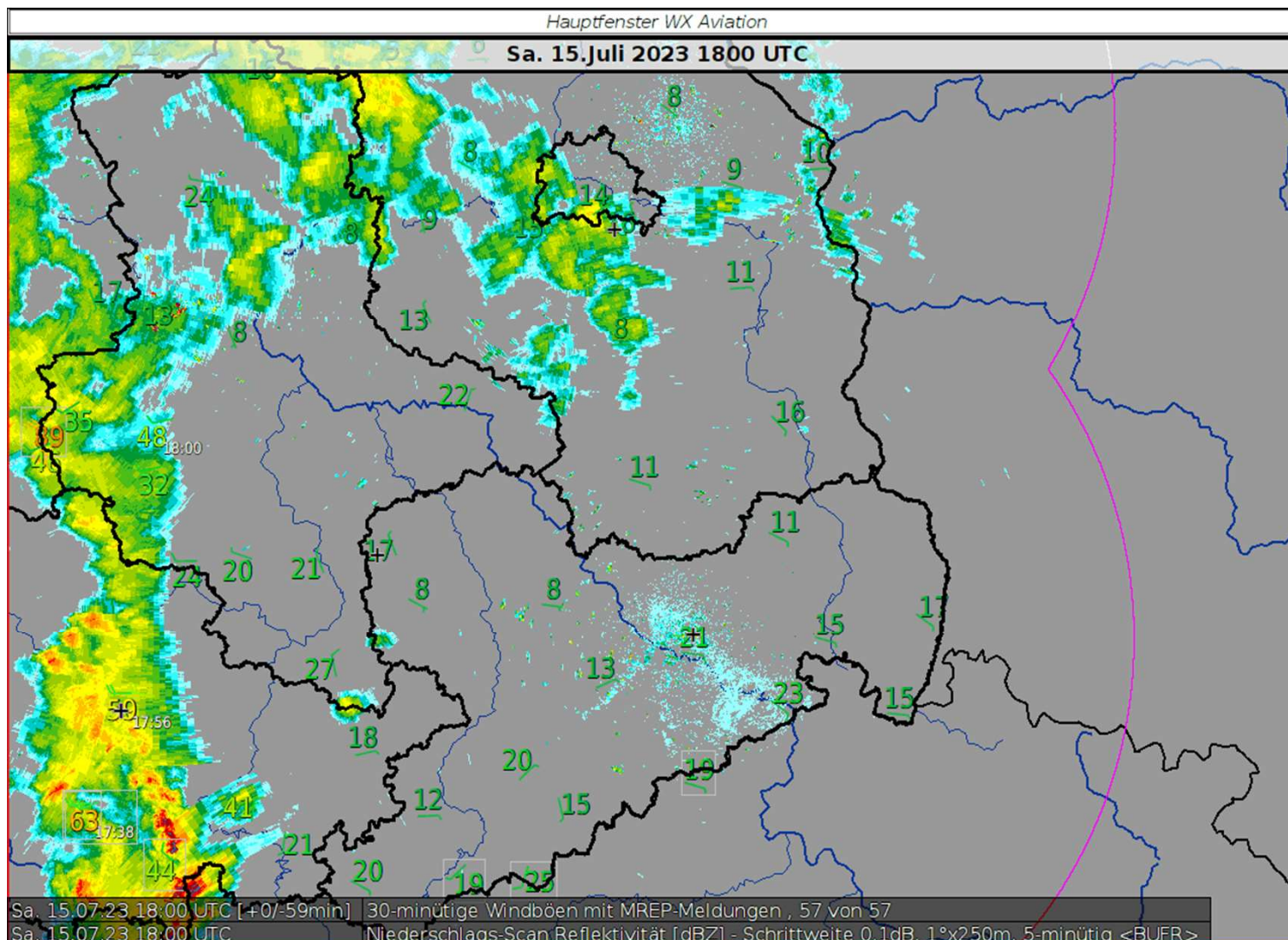


Mo. 15.05.23 15:00 UTC	ZS = 30 min : 58 Blitz(e) : 13+, 28-, 17x, 0°..
Mo. 15.05.23 15:00 UTC [+0/-59min]	30-minütige Windböen mit MREP-Meldungen , 17 von 17
Mo. 15.05.23 15:00 UTC	Niederschlags-Scan Reflektivität [dBZ] - Schrittweite 0.1dB, 1°x250m, 5-minütig <BUFR>
Mo. 15.05.23 15:15 UTC	METEOSAT Europa-Zentral - RGB Tag-HRV-und-Nacht-IR-HiRes
Mo. 15.05.23 15:15 UTC	METEOSAT Europa-Atlantik - IR 10.8

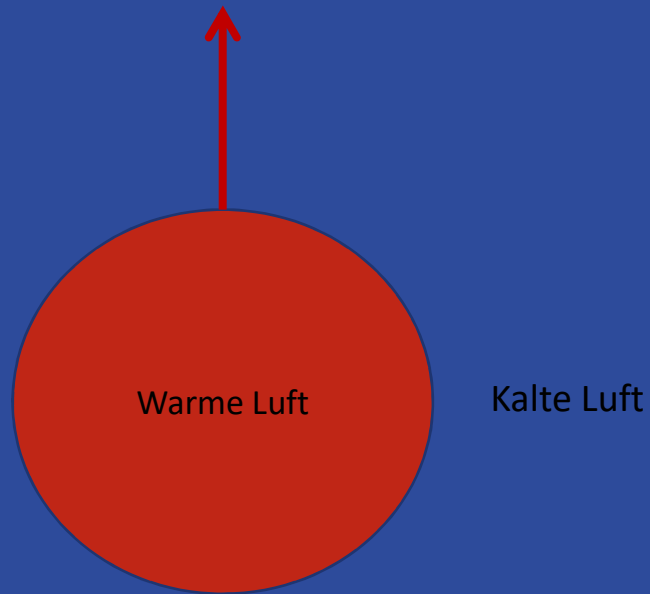
Sa. 15. Juli 2023 1800 UTC



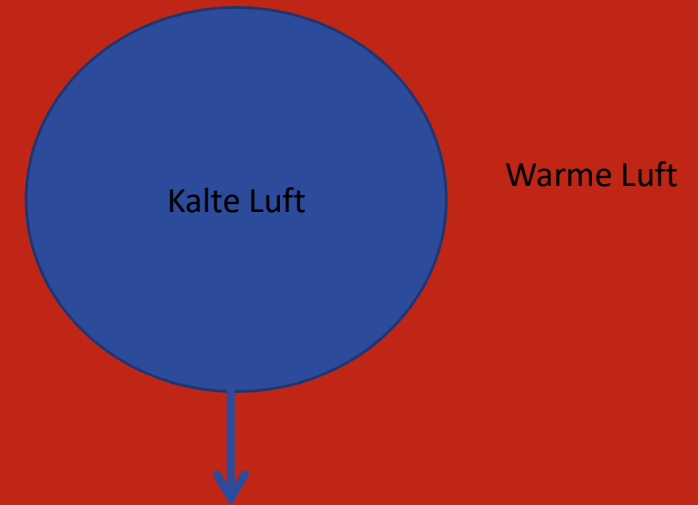
Turbulenz bereits
weit im Vorfeld
der Gewitterfront
möglich



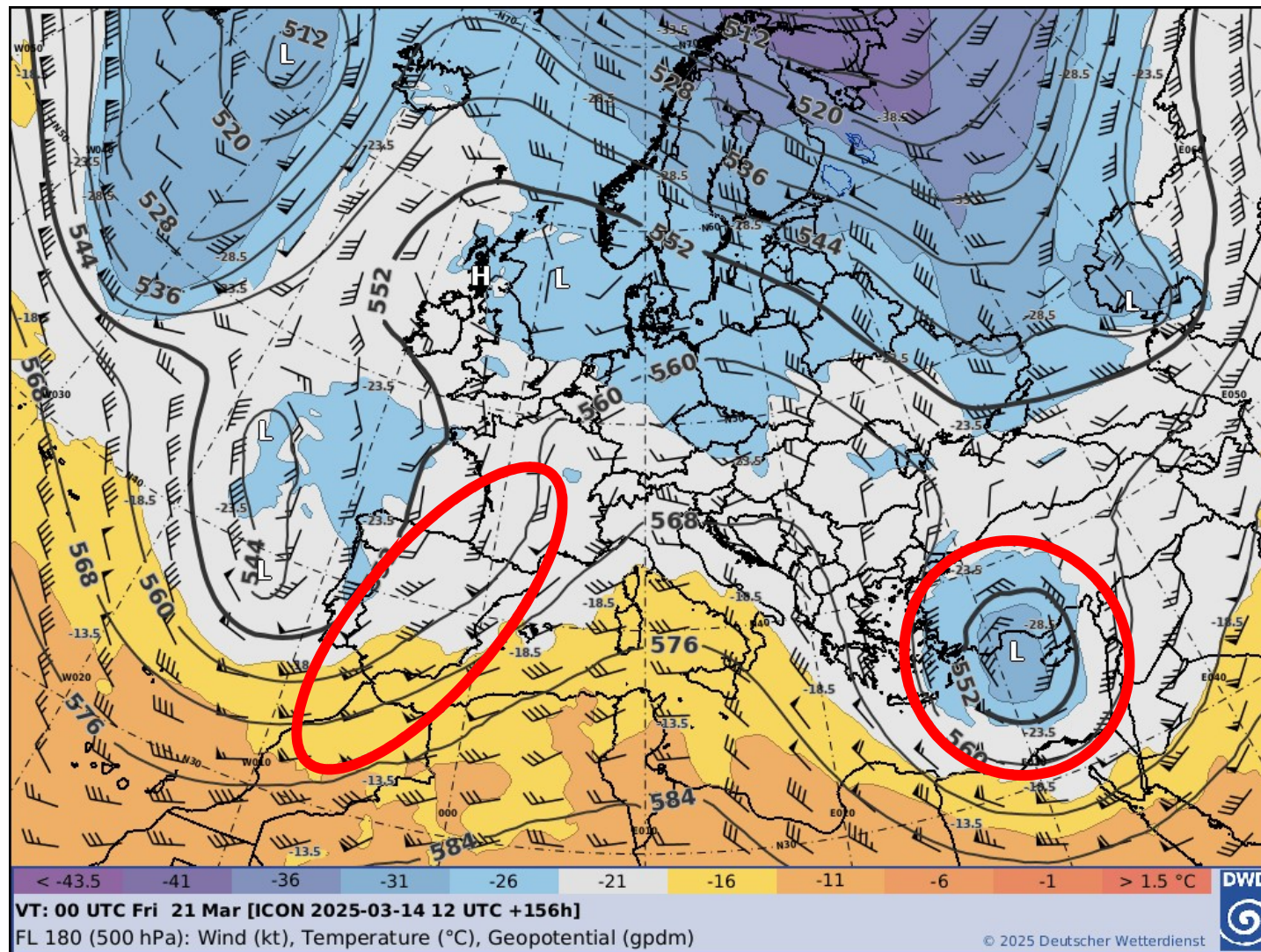
Einsrahlung/Überhitzung des Erdbodens



Wärmere Luft (geringere Dichte) = Aufsteigen!

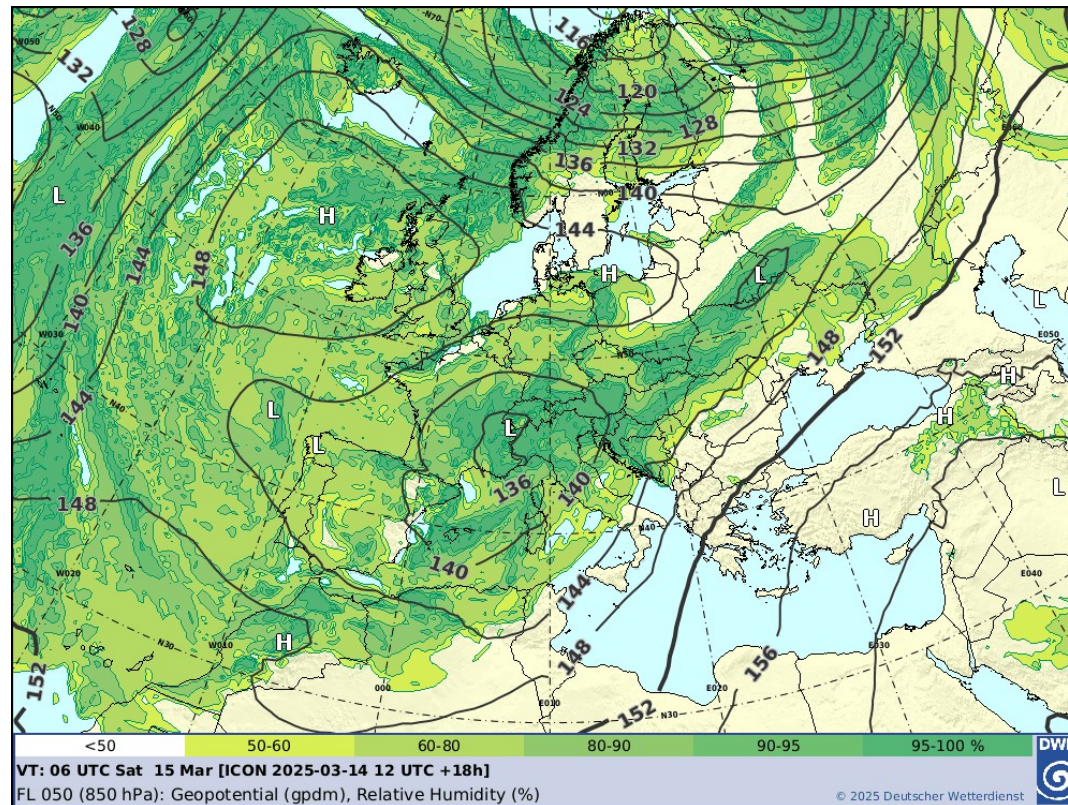


Kältere Luft (höhere Dichte) = Absinken!



Trogvorderseite /
Kaltlufttropfen
(Höhentiefs) /
Frontbereiche

Zutat Feuchte?



Gewitterarten



Gewitterarten

- Einzelzellen (Lebensdauer etwa 30 bis 60min)

- Niedriger Organisationsgrad (schwache Windscherung)
- 3 Phasen: Aufbau-Stadium, Reife-Stadium, Auflösungs- Stadium
- selten extreme Wettererscheinungen

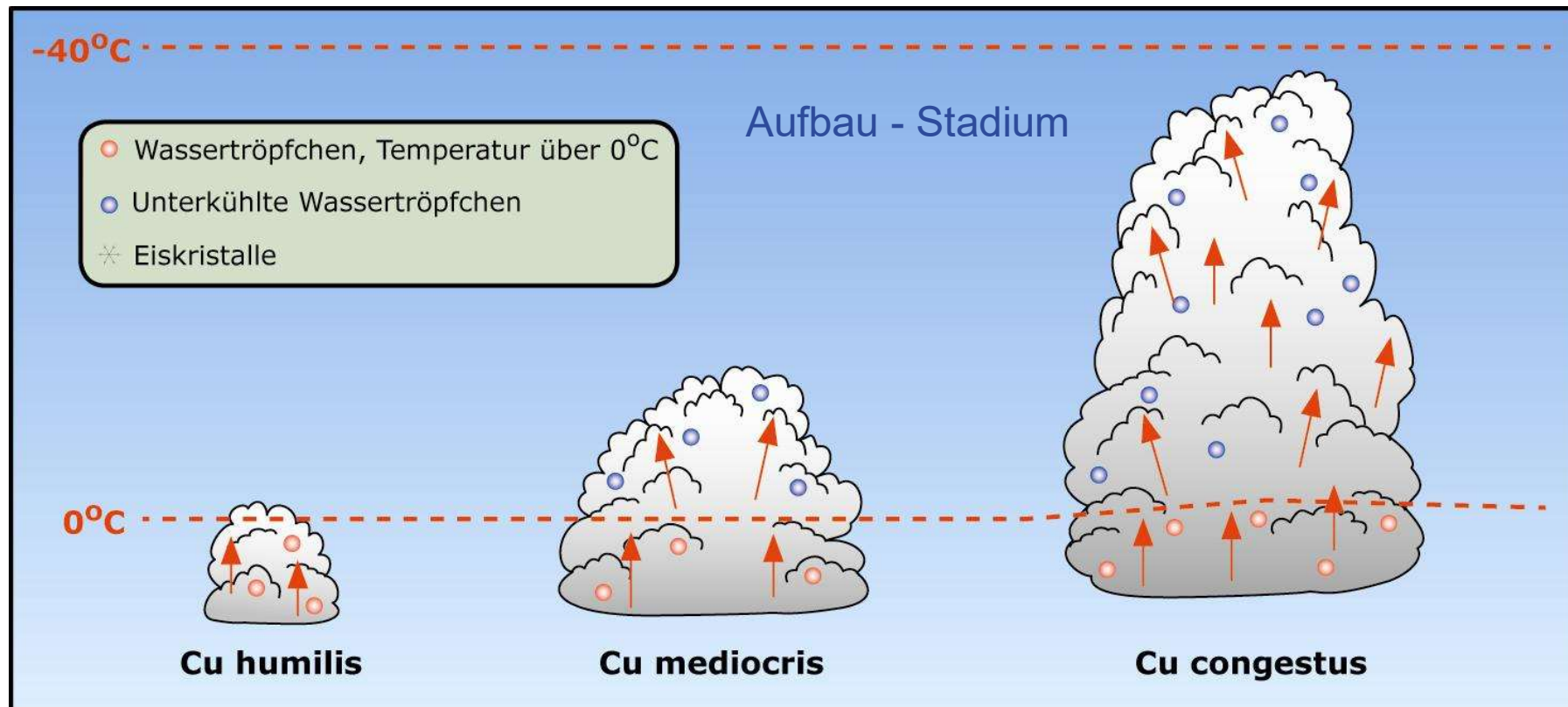
- Multizellen (Lebensdauer als ganzes System > 1h)

- Mittlerer Organisationsgrad (moderate Windscherung)
- Verbund aus mehreren Einzelzellen, Zusammenschluss von Einzelzellen
- Teils Entstehung von Multizellenlinien (Squallines, Derechos) mit einer Länge > 100km
- oft verbunden mit hohen Regenmengen über mehrere Stunden hinweg, Sturm

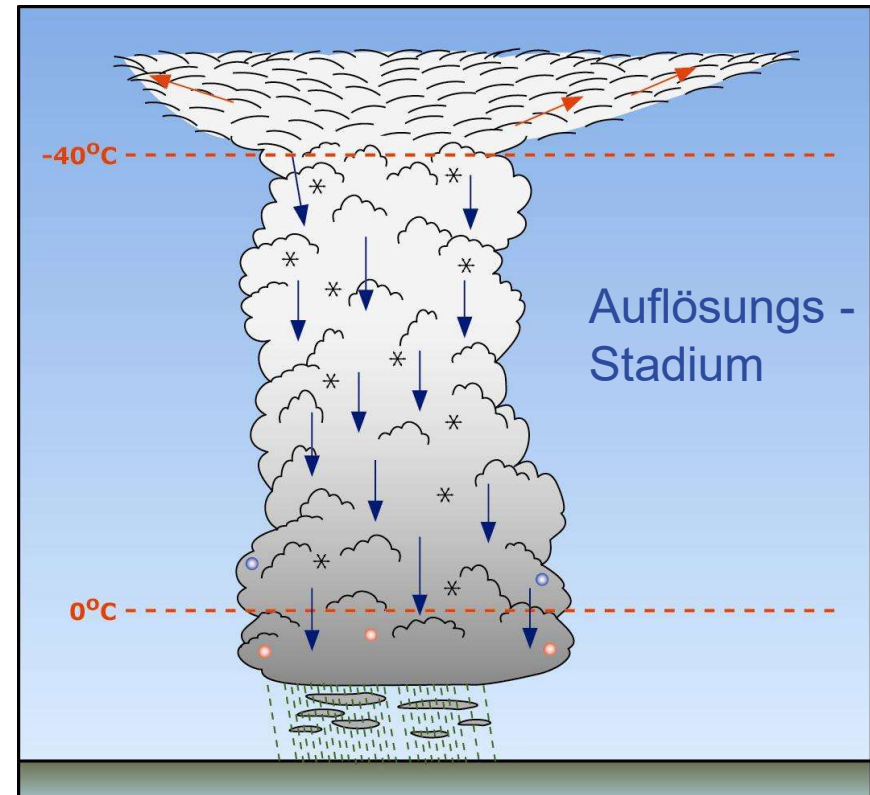
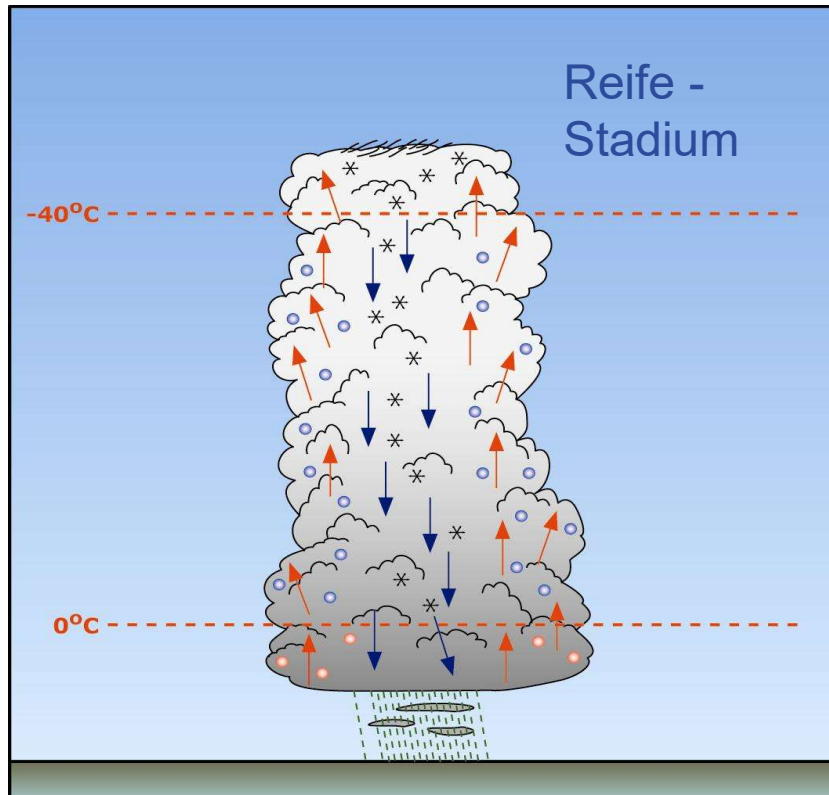
- Superzellen (Lebensdauer teils mehrere Stunden)

- Hoher Organisationsgrad (starke Windscherung)
- Mesozyklone (rotierender Sturm) = kleines Tiefdruckgebiet, langlebig
- Gefahr durch kurzzeitig extremen Starkregen / Großhagel / Downburst / Tornados

Einzelzellen



Einzelzellen

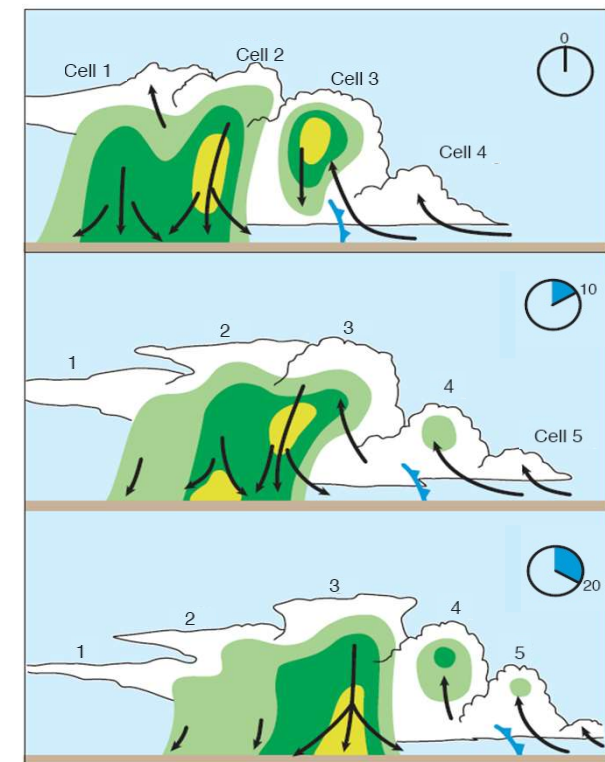




Einzelzelle
stirbt....fehlende
Aufwindbasis

Frische
Auwindbasis,
aber nur sehr
schmächtig

Multizellen

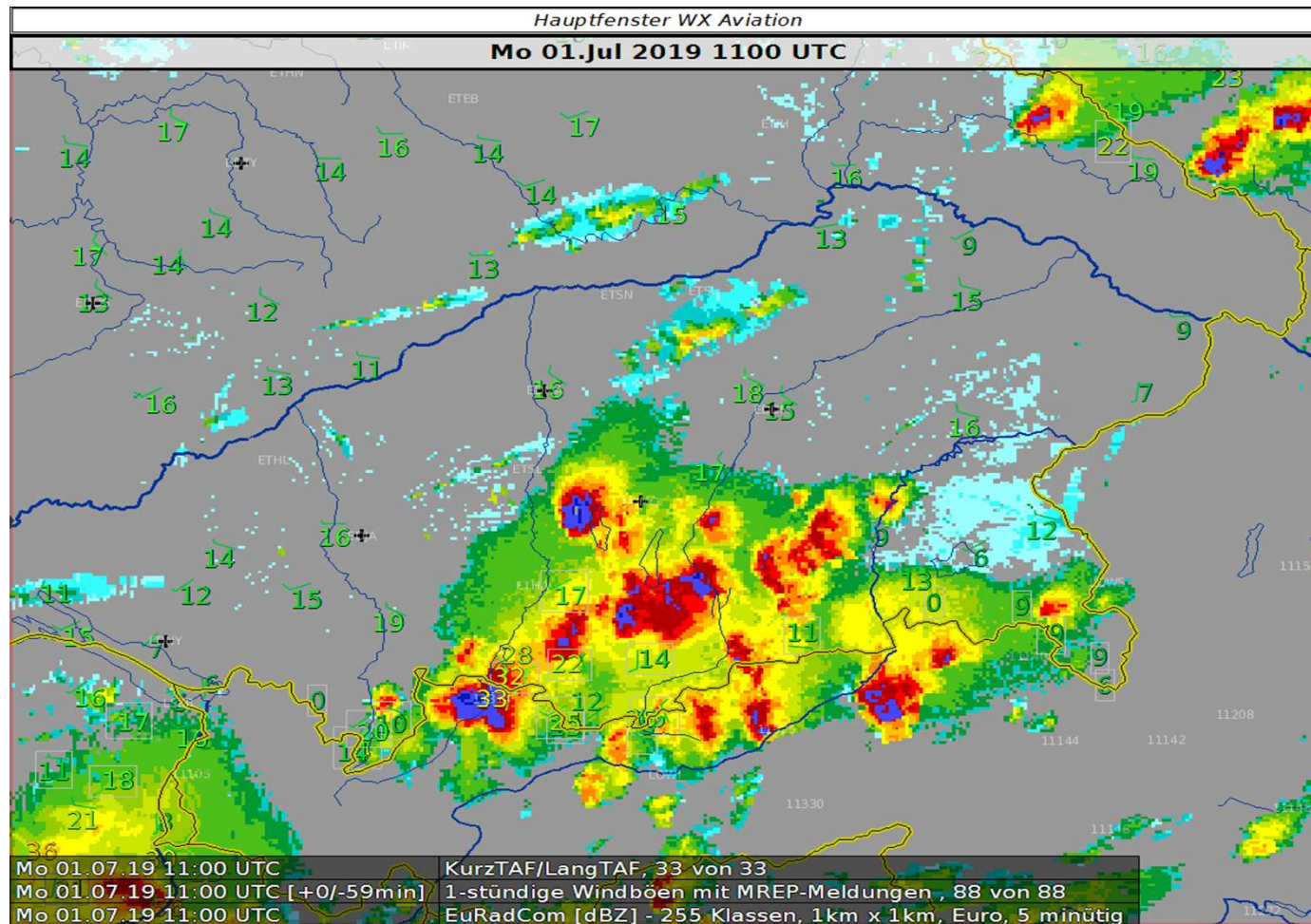


Slide courtesy of Matt Parker



Simulation
Multizellenbildung





Verclustering von Einzel- und Multizellen zu einem MCS (Mesoscale Convective System).
Gefahr: EMBD CB

Superzelle – die „Königin“ unter den Gewitterzellen



© S. Rubach

Superzellen

○ LP Supercell

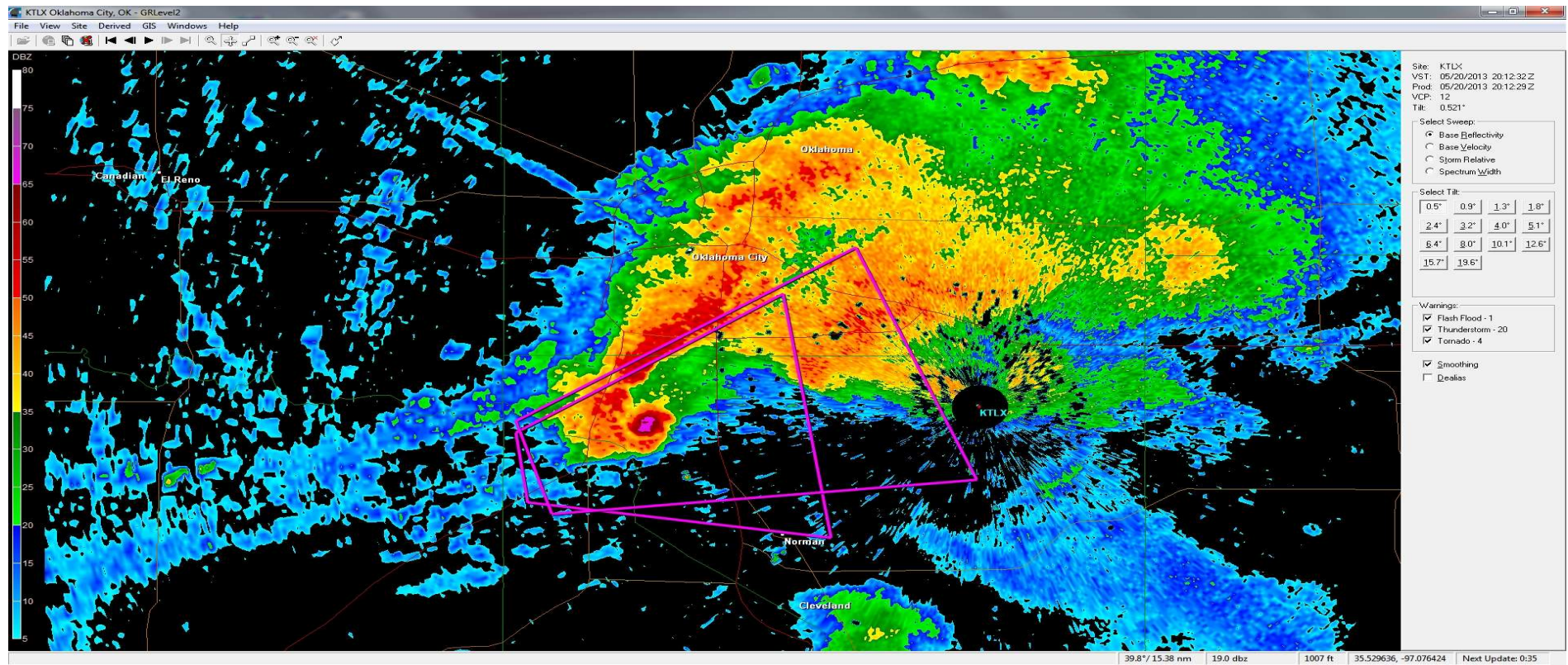
- Low Precipitation
- Selten großer Hagel, wenig Niederschlag, trockene Fallböen
- selten Tornados

○ Classic Supercell

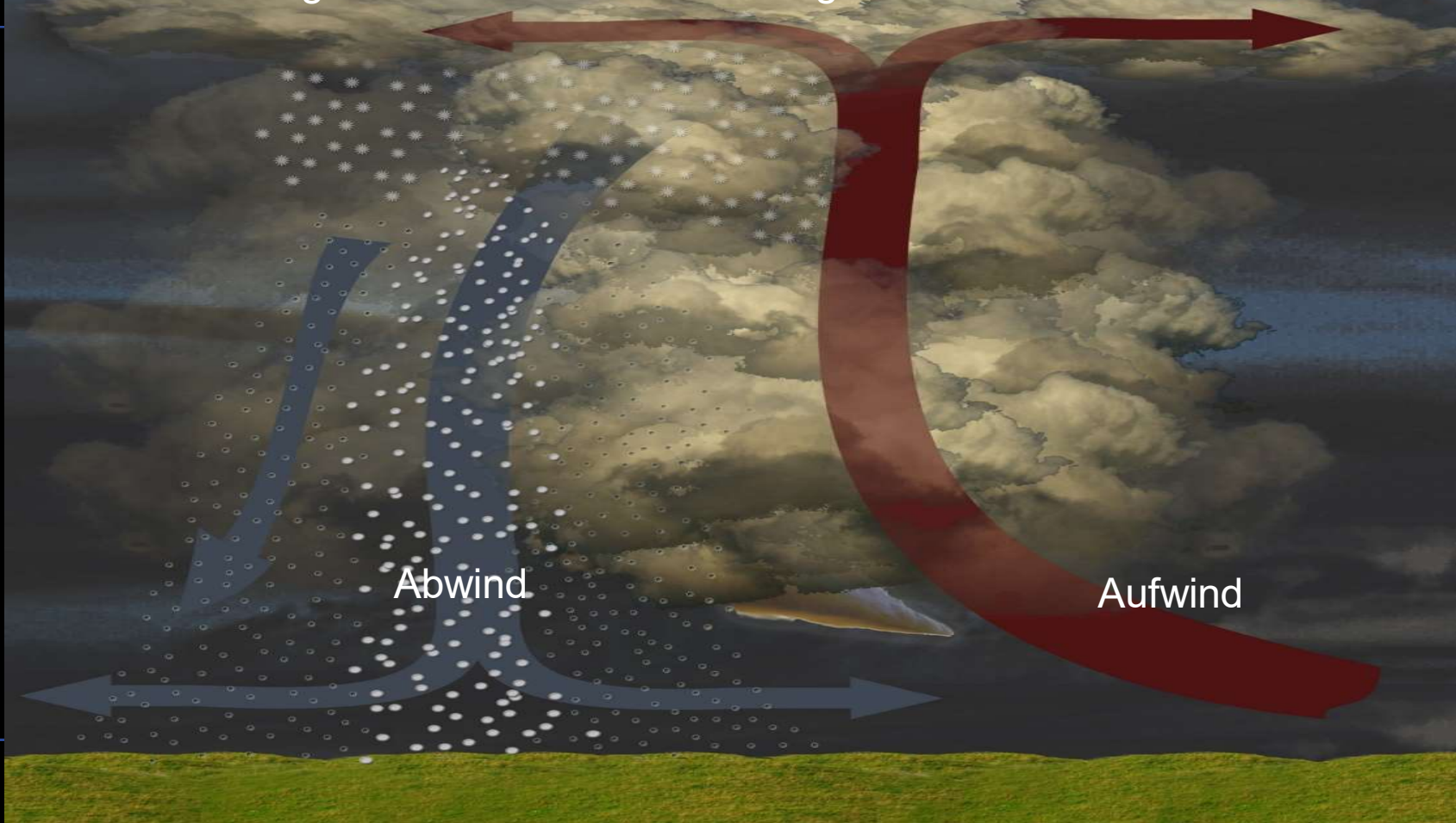
- Hohe Niederschlagssummen, großer Hagel, feuchte Fallböen
- Etwa 10 % aller klassischen Supercellen sind tornadisch

○ HP Supercell

- High Precipitation
- Extreme Niederschlagssummen, großer bis sehr großer Hagel, extreme feuchte Fallböen
- Tornados können im Niederschlag eingewickelt sein



Besonderheit bei Superzellen:
Klare Trennung von Auf- und Abwind = lange Lebensdauer

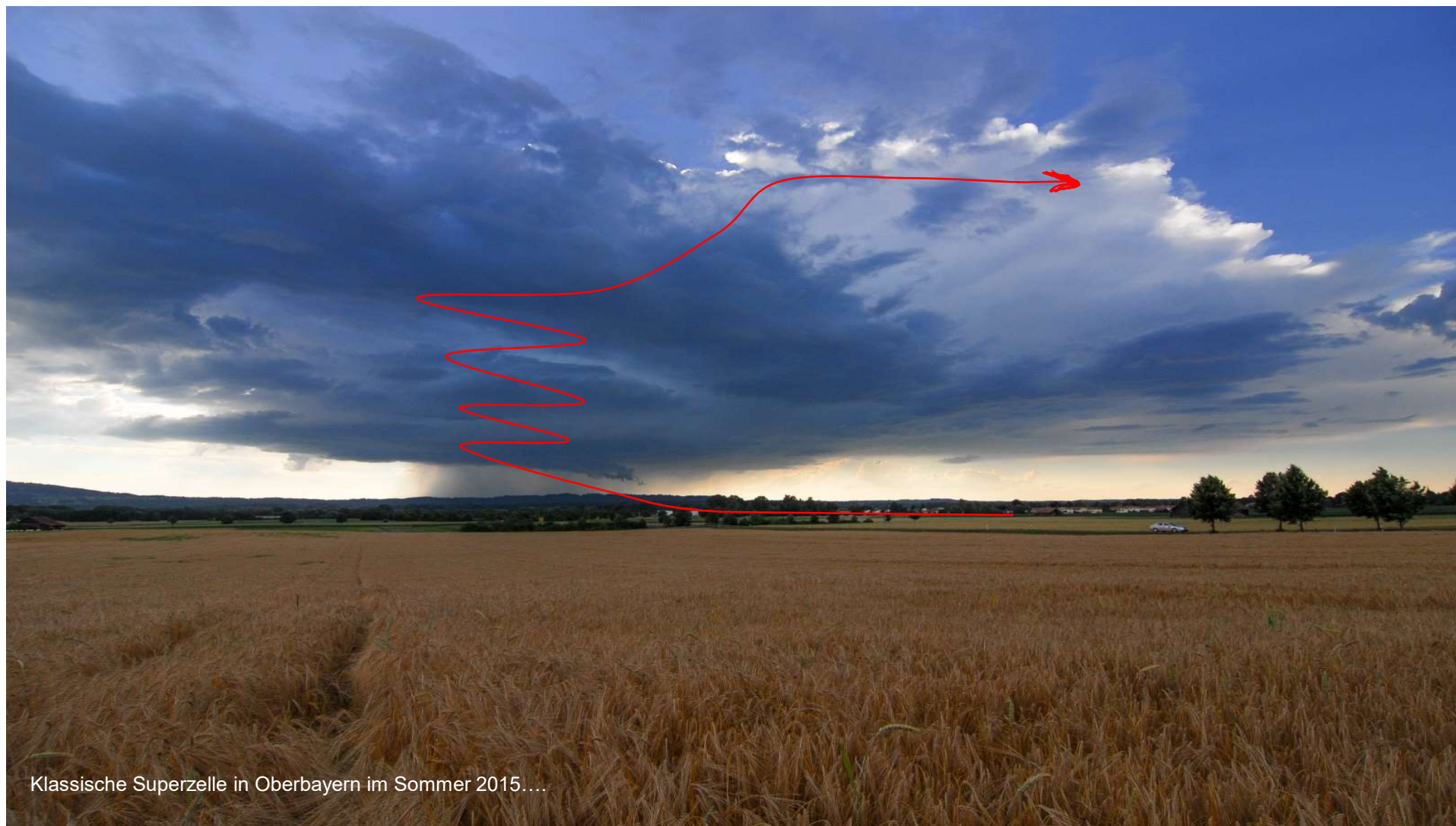




Courtesy of Mike Olbinski





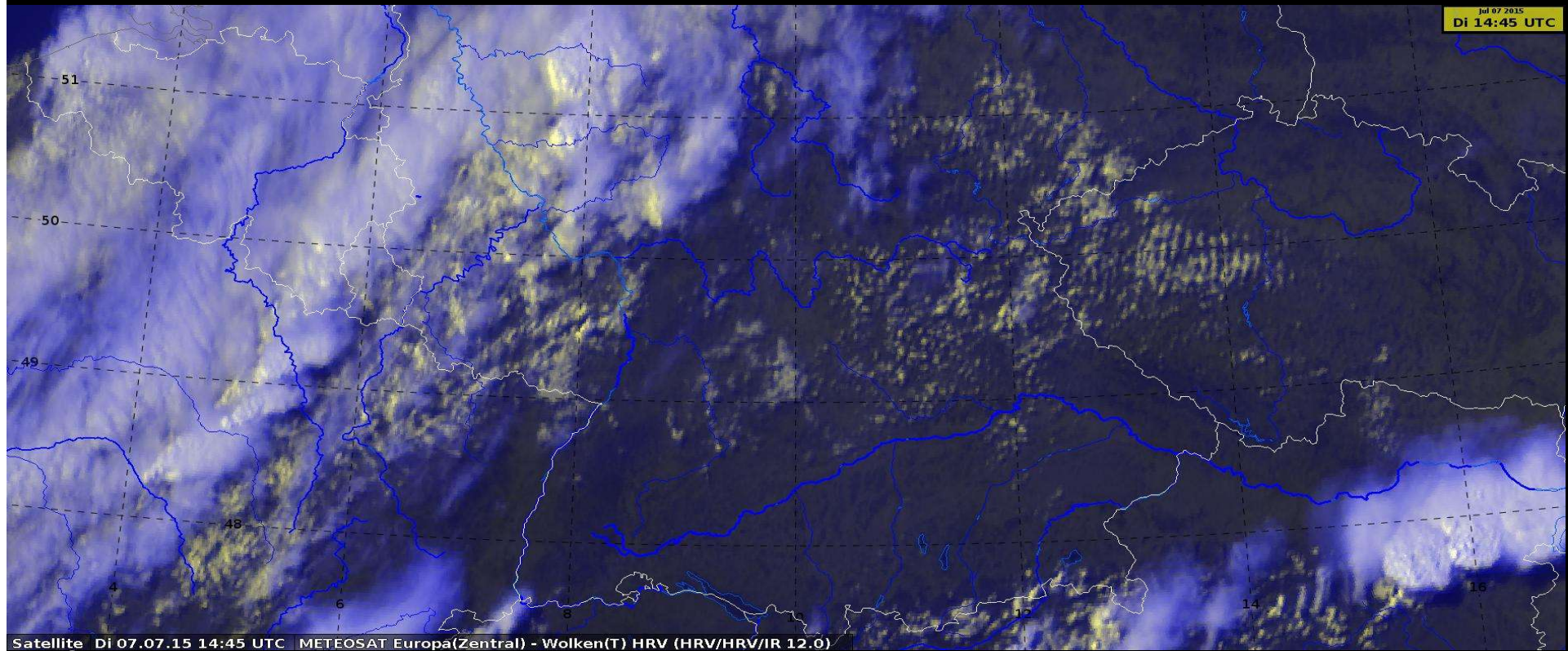


Klassische Superzelle in Oberbayern im Sommer 2015....



Klassische Superzelle in Baden-Württemberg im Sommer 2015...

16:45 Uhr Ortszeit , explosionsartige Entwicklung einer Superzelle im Satellitenbild....

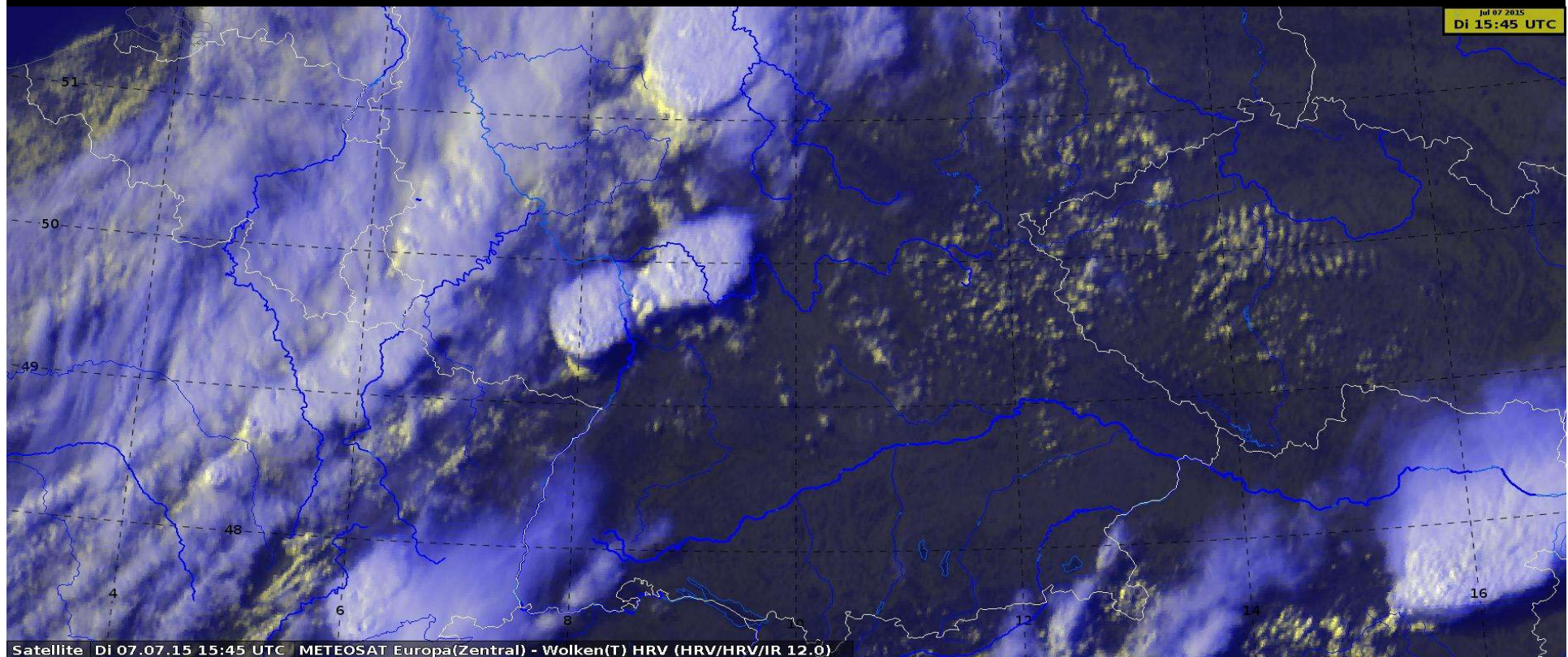


Quelle: DWD, Ninjo



Stefan Rubach (DWD Potsdam)

17:45 Uhr Ortszeit , explosionsartige Entwicklung einer Superzelle im Satellitenbild....



20:40 MESZ



20:50 MESZ



21:00 MESZ



21:10 MESZ



Sommer 2021, Starnberger See Bildquelle: <https://www.addicted-sports.com>

Gefahrenpotenzial Hagel





Die A320 »Arlberg« nach dem Hagelsturm, am Flughafen Wien-Schwechat Foto: Leserreporter / Kronen Zeitung

Quelle: Der Spiegel

STUTTGART

Schaden des Hagelunwetters erreicht Milliardenhöhe

Das Hagelunwetter vom 28. Juli schlägt sämtliche Rekorde. Die Schadenssumme an Gebäuden übersteigt die Milliardenengrenze. Das Unwetter gilt nunmehr als größtes Hagelschadensereignis in Deutschland.

RAIMUND WEIBLE | 23.08.2013

Unwetter im Kreis Reutlingen

Nach zehn Minuten Hagel war nichts mehr wie zuvor

dpa/lsw, 28.08.2013 07:43 Uhr

Quelle: Stuttgarter
Zeitung

Tausende Vögel getötet

Nach dem Unwetter fanden Tierschützer immer wieder von Hagelkörnern erschlagene Vögel. "Sicherlich sind im ganzen Land unbemerkt viele Tausend Tiere umgekommen", sagte Daniel Schmidt-Rothmund, der Leiter des Nabu-Vogelschutzzentrums Mössingen im Kreis Tübingen. "Leider können wir nur wenigen Vögeln helfen." Da viele Verletzungen schwer seien, bleibe den Helfern nichts anderes übrig, als das "Leid zu verkürzen und diese Tiere einzuschläfern".

Quelle: Tagesspiegel



Stefan Rubach (DWD Potsdam)

A photograph of a narrow, unpaved road winding through a dense forest. The road is covered in a layer of light-colored gravel or sand, which appears wet and reflective. The surrounding trees are dark and their branches are silhouetted against a bright, hazy light source in the distance, creating a strong backlighting effect. Two white, rectangular road markers with black markings are visible on either side of the road. The overall atmosphere is misty and ethereal.

Plötzlich auftretende Glätte durch Hagel....

Vegetationsschäden, entlaubte Bäume, Schäden in der Landwirtschaft....



Schäden durch schweren Hagelsturm am 20.06.2022 (Landkreis Freising)



20.06.2022 nördliches
Oberbayern

Quelle: www.sturmwetter.de

Schäden durch schweren Hagelsturm am 20.06.2022 (Landkreis Freising)



Hagelschäden in München im Juni 2020....



Was ist schlimmer? Viel kleiner Hagel oder einzelne große Hagelkörner?



**Extremhagel bei Feuchtwangen (Bayern) am 30.06.2012 - bis zu
8 cm im Durchmesser!**





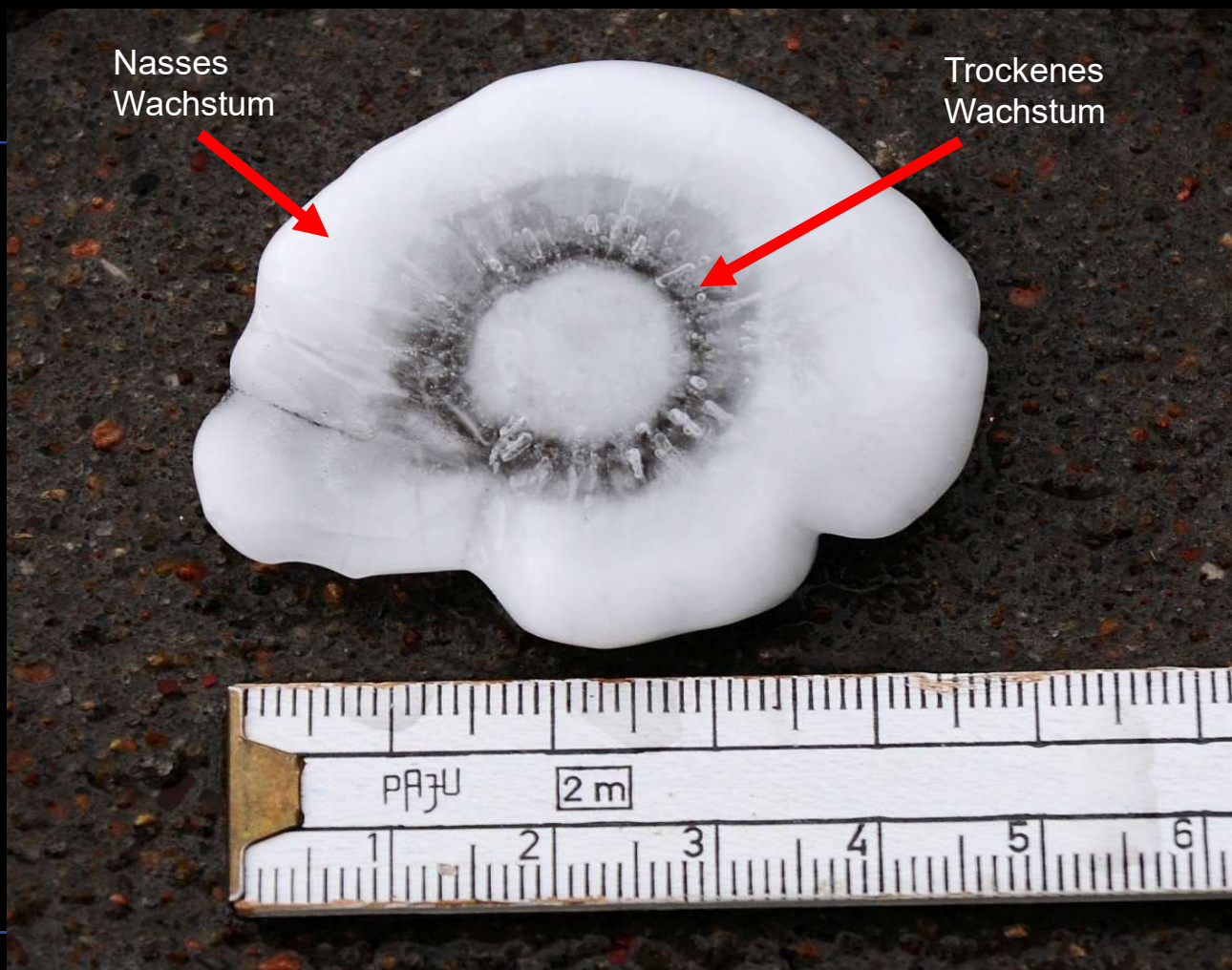
**Extremhagel bei Feuchtwangen (Deutschland) am 30.06.2012 -
8 cm im Durchmesser!**

Schalenförmiger Aufbau des Hagelkorns.....



Nasses
Wachstum

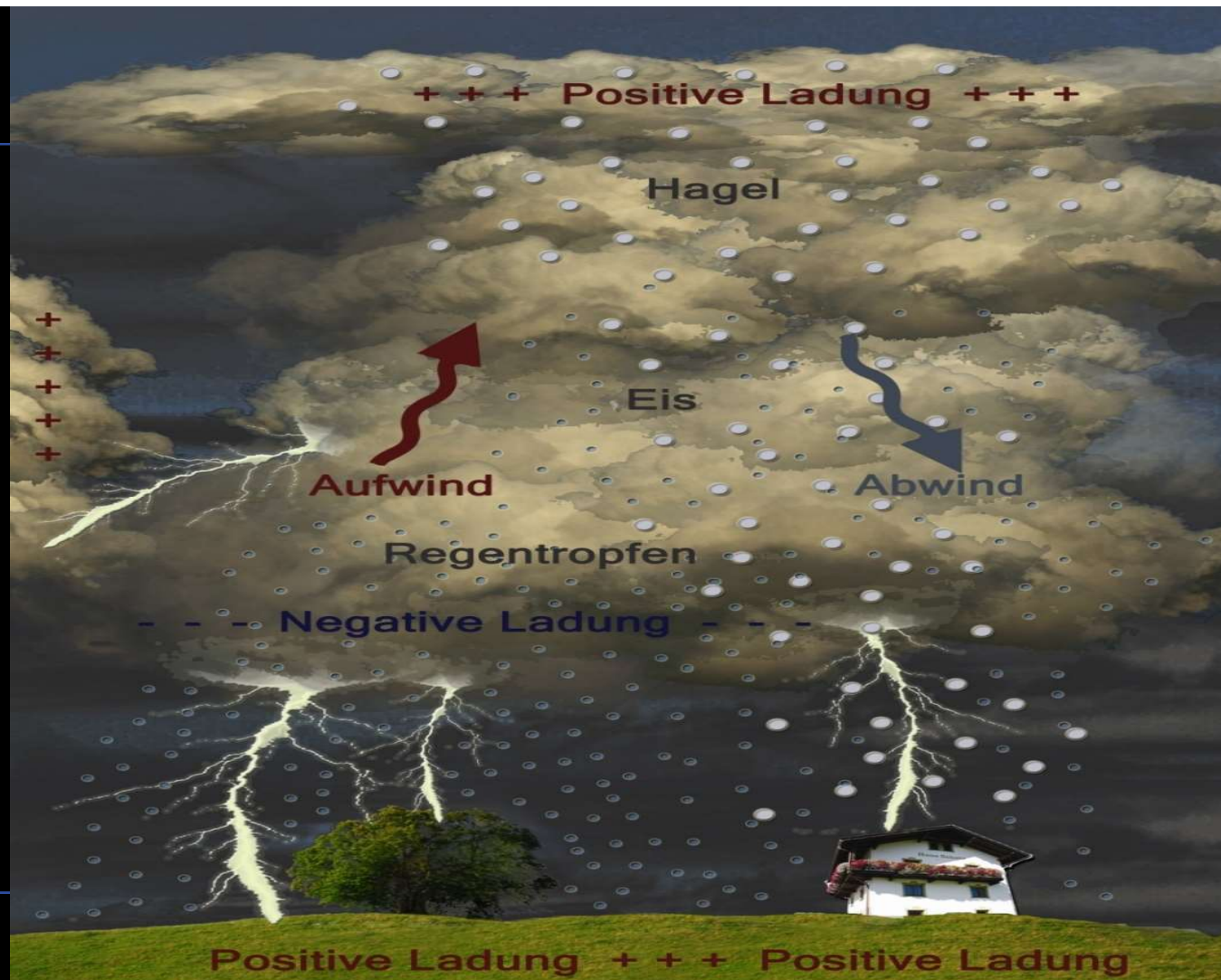
Trockenes
Wachstum



Größtes gefundenes Hagelkorn in Deutschland, Quelle: Marco Kaschuba, <https://www.youtube.com/watch?v=xKvsHEnSkOw>

Gefahrenpotenzial Blitzschlag





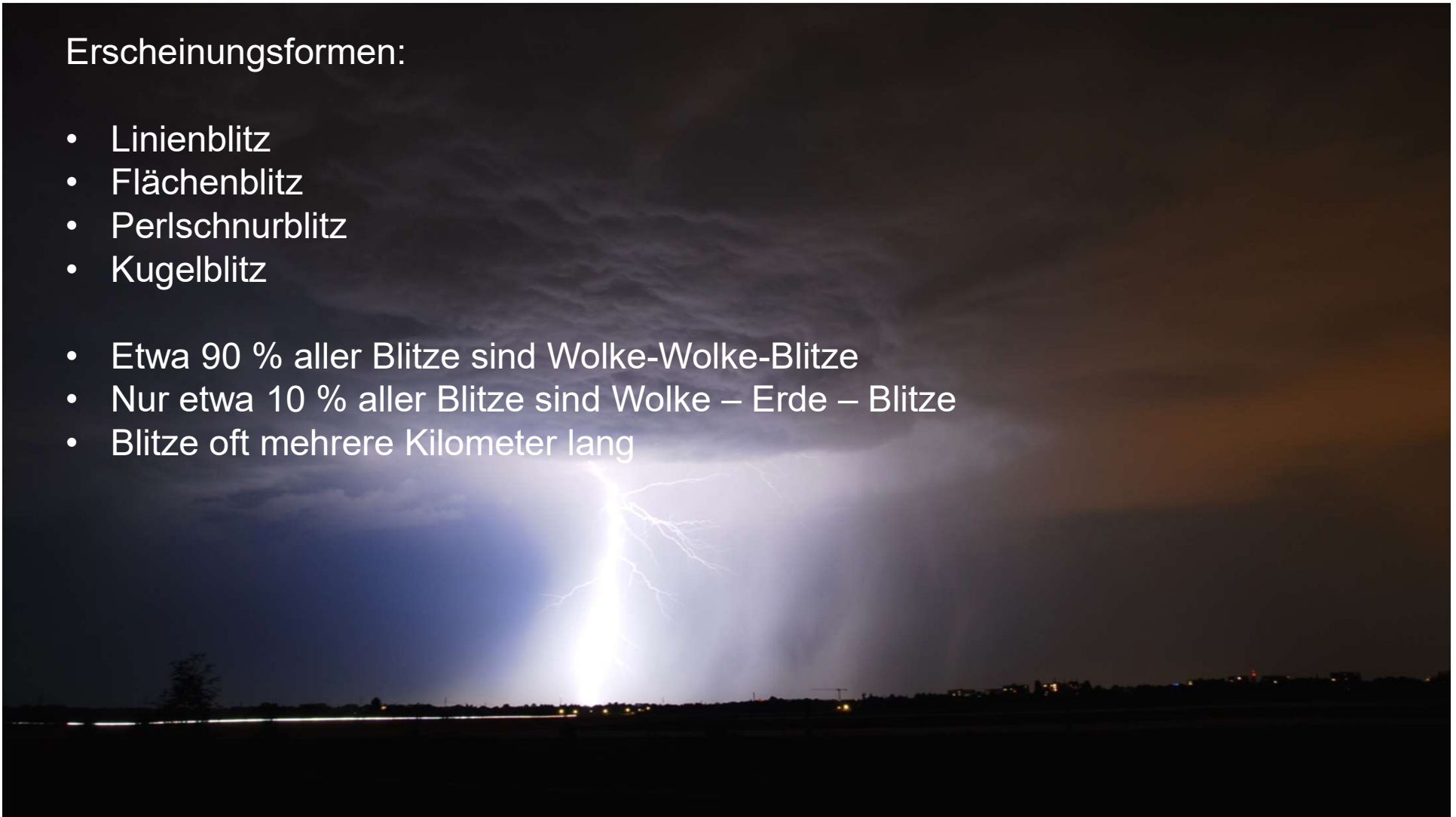


Mehrfache Nutzung eines Blitzkanals.....

Erscheinungsformen:

- Linienblitz
- Flächenblitz
- Perlschnurblitz
- Kugelblitz

- Etwa 90 % aller Blitze sind Wolke-Wolke-Blitze
- Nur etwa 10 % aller Blitze sind Wolke – Erde – Blitze
- Blitze oft mehrere Kilometer lang



Linienblitz



Flächenblitz



Besonders gefährlich sind „Querschläger“....







Havelland, Sommer 2014



Havelland, Sommer 2014



Kansas, Sommer 2014



München, Sommer 2010



Chiemgauer Alpen, Sommer 2010



Chiemgauer Alpen, Sommer 2010

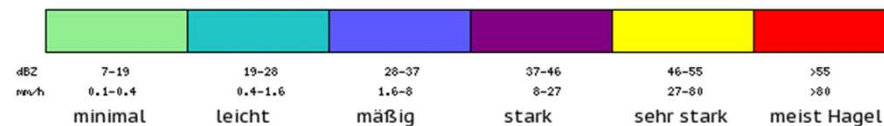
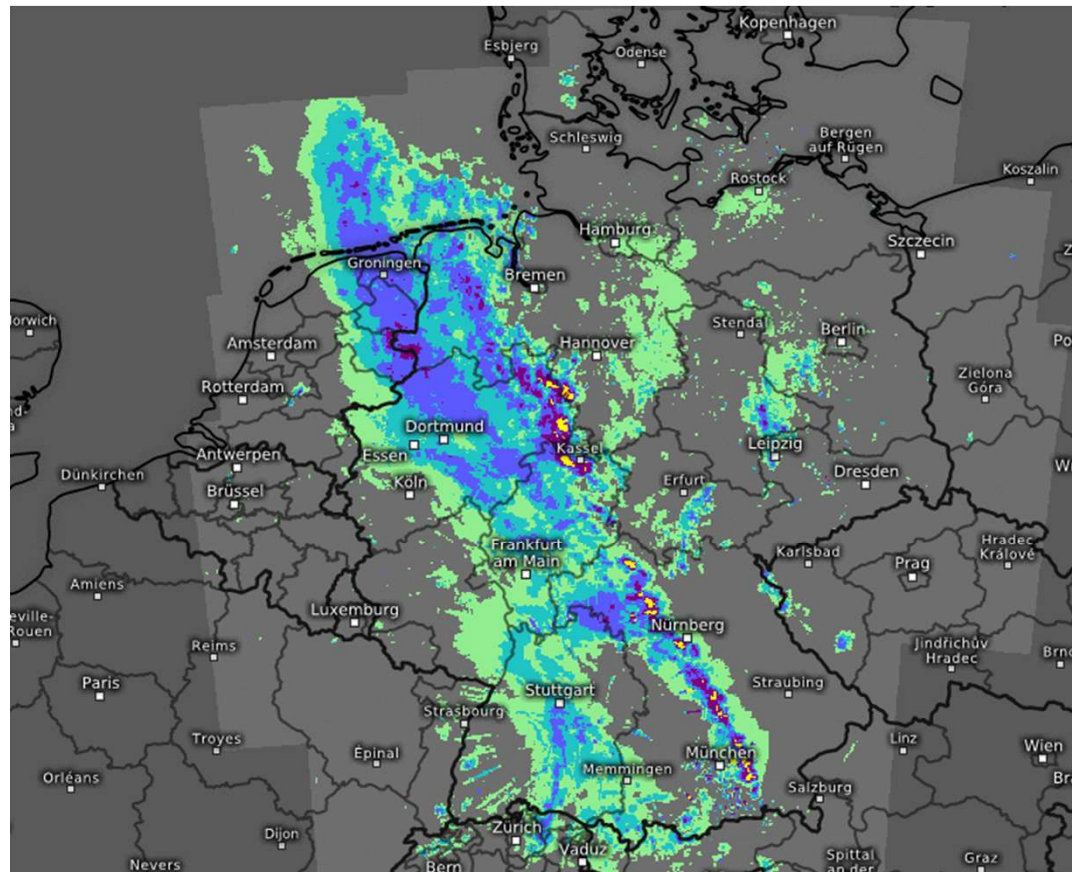


Chiemgauer Alpen, Sommer 2010

Gefahrenpotenzial Böenwalzen, Squalllines (Derechos)

South-Dakota, Sommer 2013





Quelle: <https://wetterkanal.kachelmannwetter.com/10-juli-2002-unwetterfront-in-berlin/>

kachelmann.

Swiss-Flug 850

Auf dem **Swiss-Flug LX 850** (Flugnummer: LX850), einem internationalen **Linienflug** der **Swiss** von **Basel** nach **Hamburg**, verunglückte am 10. Juli 2002 eine **Saab 2000**. Das Flugzeug konnte wegen eines Gewitters nicht in Hamburg gelandet werden. Nach vergeblichen Versuchen, die Maschine nach **Berlin** und **Eberswalde** umzuleiten, entschloss sich die Besatzung wegen des knappen Treibstoffs zur Landung auf dem **Flugplatz Werneuchen**. Nach dem Aufsetzen prallte das Flugzeug auf einen Erdwall, wodurch alle drei Fahrwerksbeine abbrachen, und kam auf dem Rumpf mit einem brennenden Triebwerk zum Stehen. Einer der sechzehn Passagiere an Bord erlitt leichte Verletzungen. Das Flugzeug musste als wirtschaftlicher Totalschaden abgeschrieben werden.

Die Untersuchung des Unfalls durch die **Bundesstelle für Flugunfalluntersuchung** (BFU) dauerte mehr als acht Jahre. Sie warf eine Vielzahl an Fragen auf, darunter ein mangelhaftes **Crew Resource Management**, eine ungenügende Weitergabe von Wetterinformationen an die Besatzung sowie fehlerhafte Landebahnmarkierungen am Flugplatz Werneuchen, auf dem die Landebahn von 2400 m auf 1500 m verkürzt worden war, die Markierungen der neuen Abmessungen aber bis „zur optischen Bedeutungslosigkeit erodiert“ waren.^[1] Quelle: Wikipedia



Aufzug einer Böenwalze im Sommer 2013 auf der Schwäbischen Alb



Stefan Rubach (DWD Potsdam)







Erding im Sommer 2010



Oklahoma, Sommer 2014



Oklahoma, Sommer 2014





Texas, Sommer 2014



Kansas, Sommer 2014



Texas, Sommer 2014

Gefahrenpotenzial Vereisung

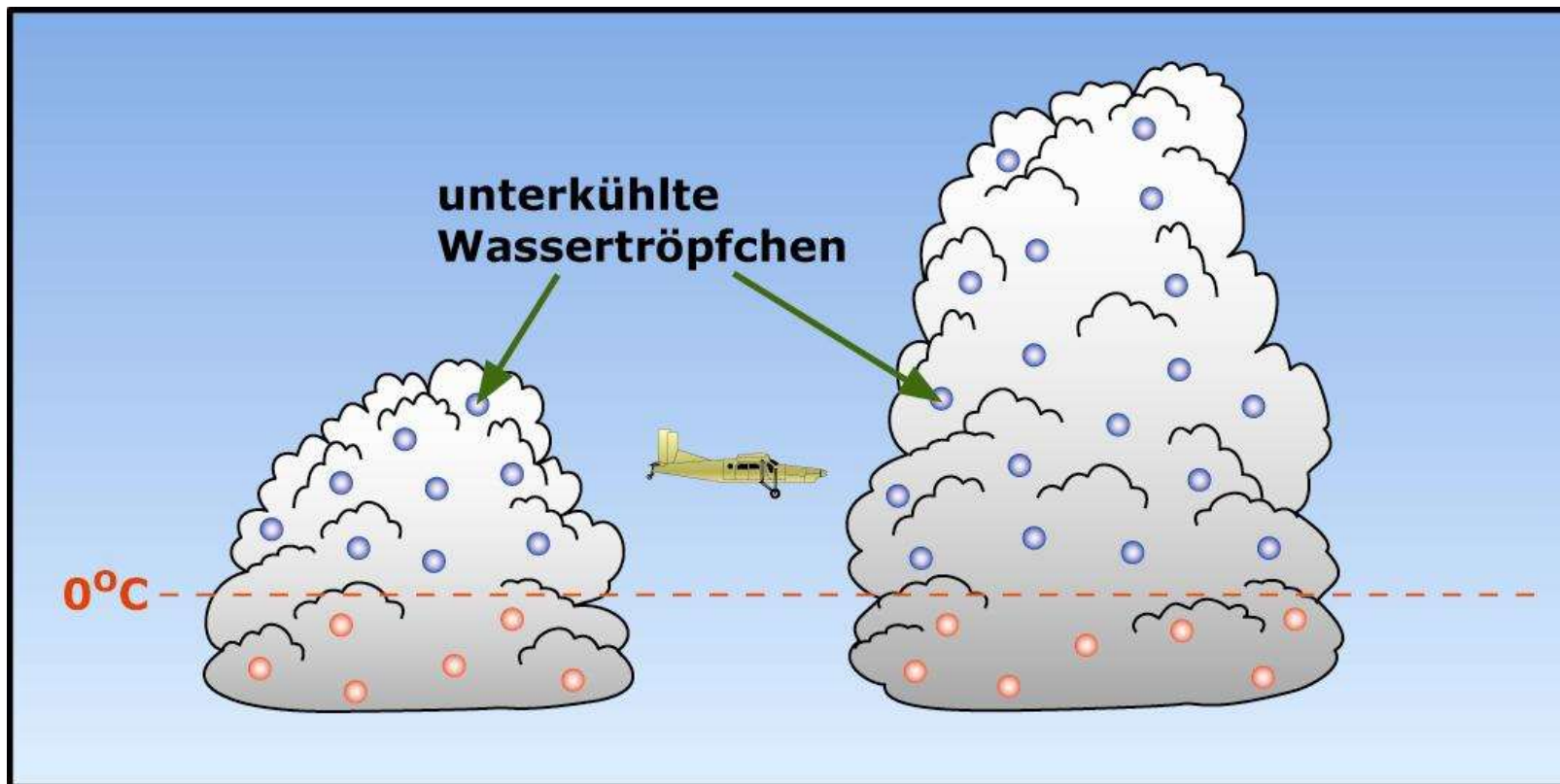


Abbildung aus Karl Heinz Hack „Flugwetter“

Gefahrenpotenzial Vereisung

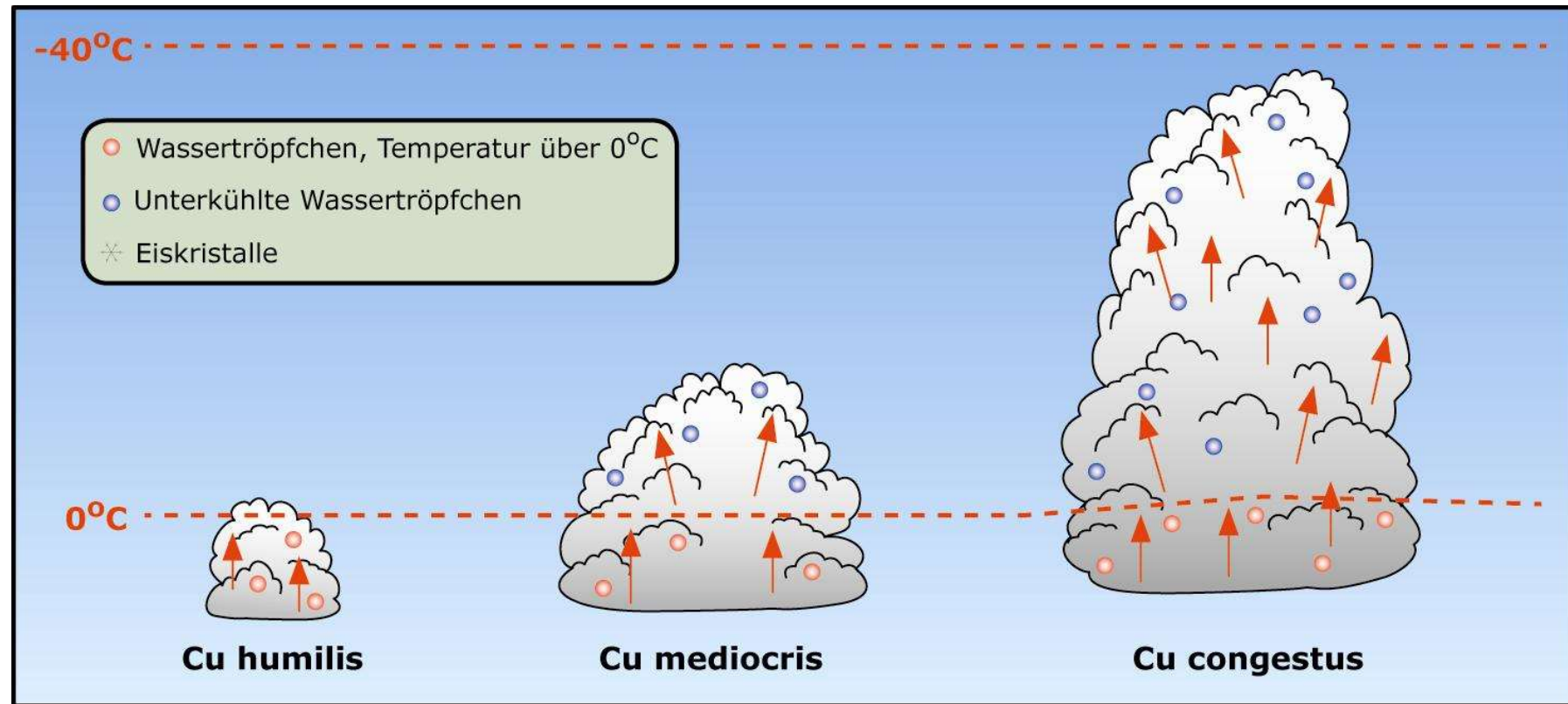
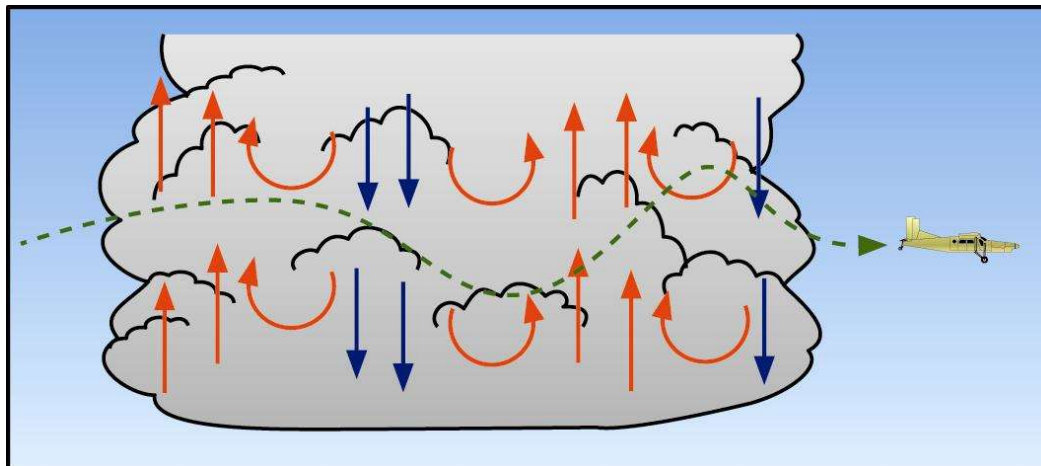
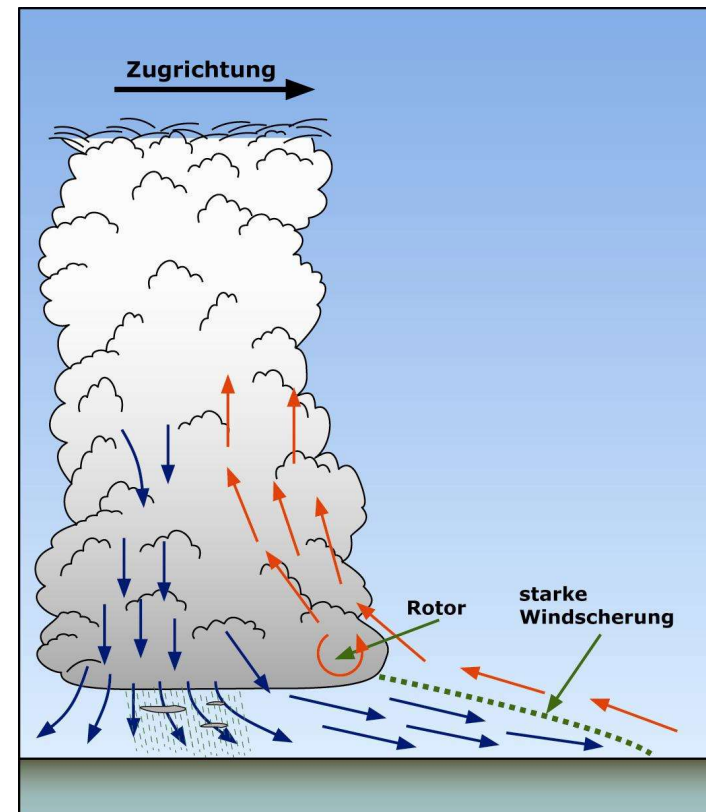


Abbildung aus Karl Heinz Hack „Flugwetter“

Gefahrenpotenzial Turbulenz



Abbildungen aus Karl Heinz Hack „Flugwetter“



Gefahrenpotenzial Turbulenz

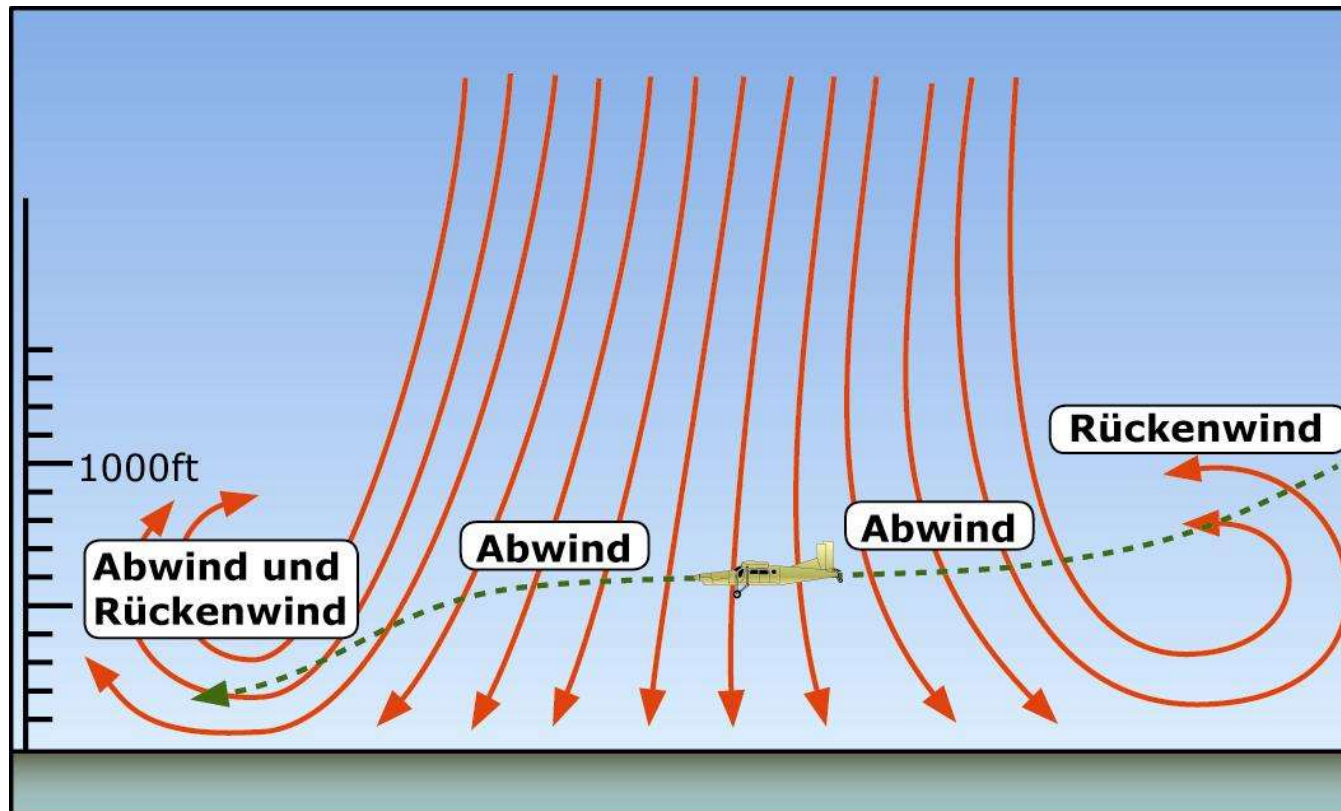


Abbildung aus Karl Heinz Hack „Flugwetter“

Gefahrenpotenzial Downburst (Turbulenz)

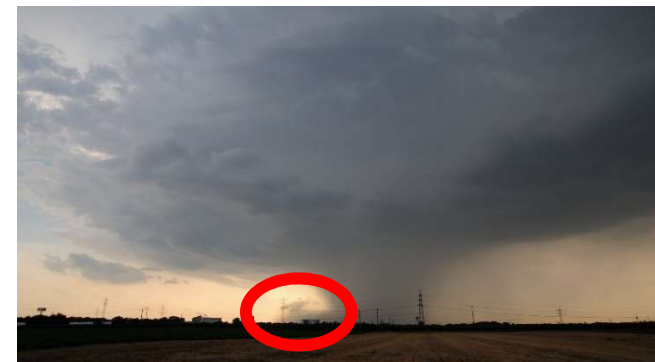
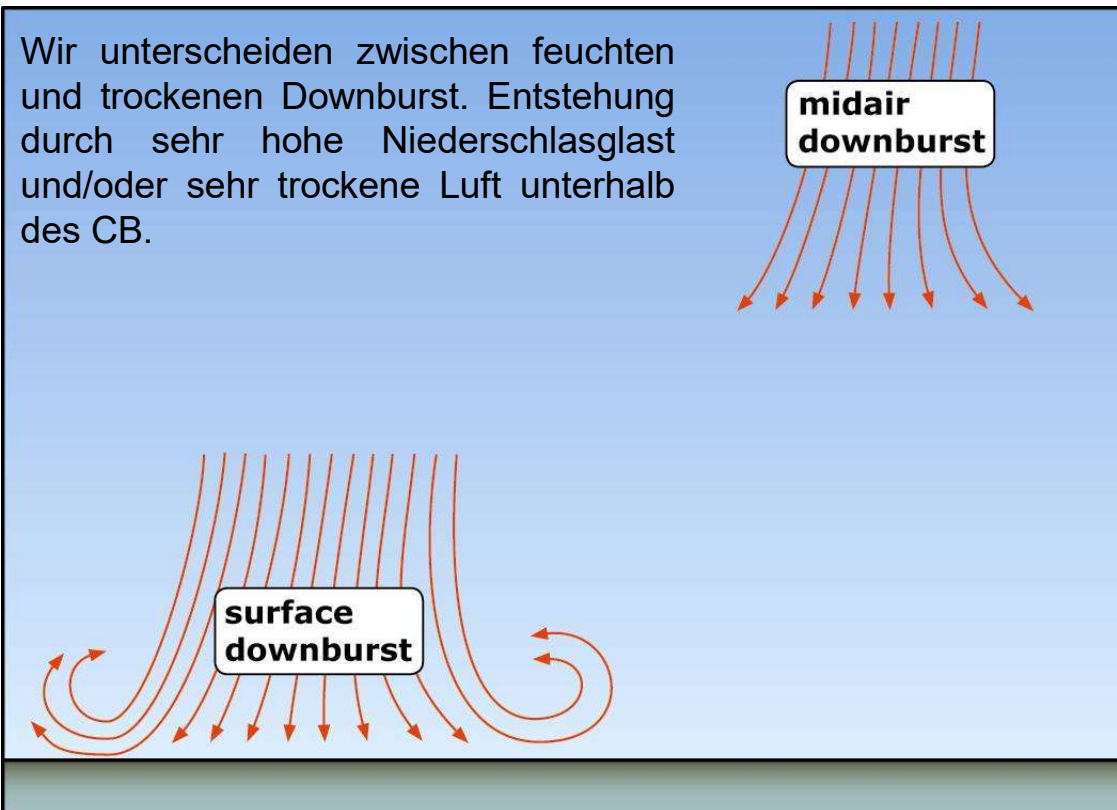
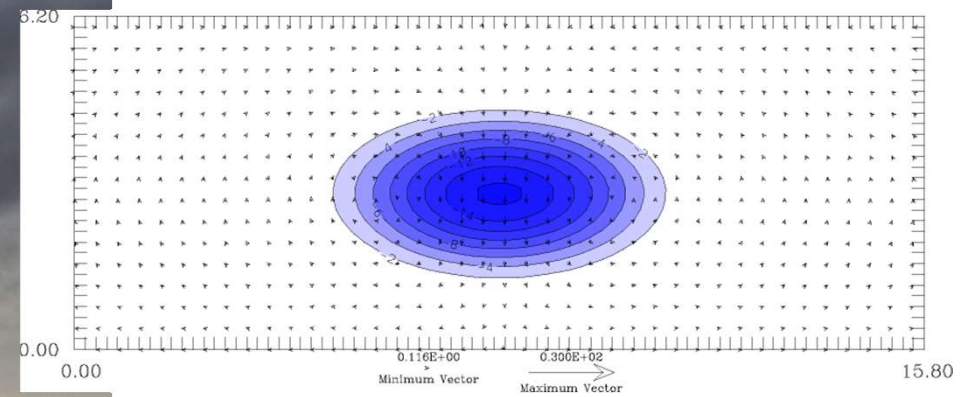


Abbildung aus Karl Heinz Hack „Flugwetter“

Courtesy of Jim Ladue (8/9/2006)



Slide from P. Markowski



Quelle: Gilberto Fisch





Delta Air Lines Flight 191

Delta Air Lines from Fort Lauderdale, Florida, to Los Angeles with an intermediate stop at Dallas/Fort Worth International Airport (DFW). On August 2, 1985, the Lockheed L-1011 TriStar operating Flight 191 encountered a microburst while on approach to land at DFW.

The National Transportation Safety Board (NTSB) determined that the crash resulted from the flight crew's decision to fly through a thunderstorm, the lack of procedures or training to avoid or escape microbursts, and **the lack of hazard information on wind shear.**

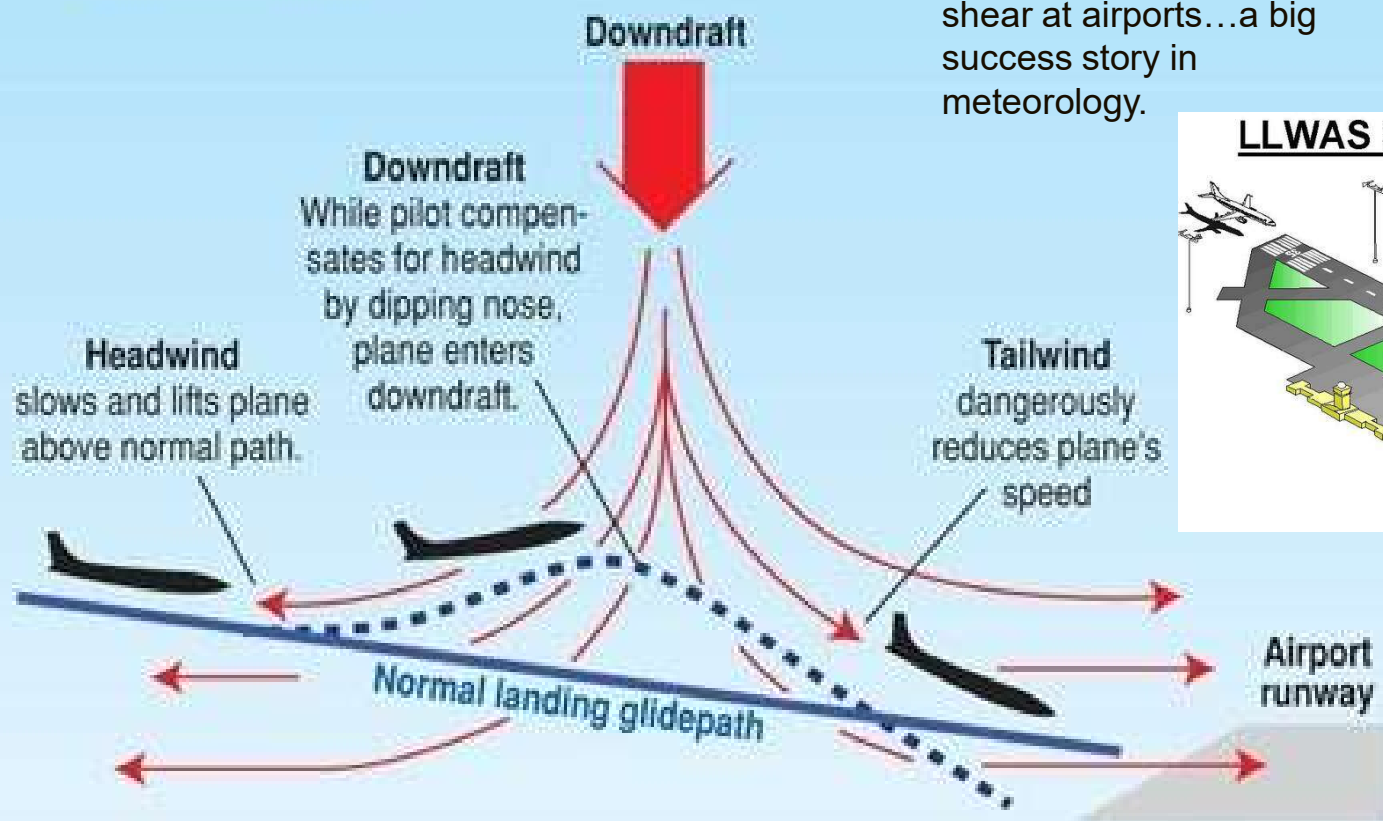


From Wikipedia, 01-16-2023



Microburst

We now monitor for wind shear at airports...a big success story in meteorology.



LLWAS SITING CRITERIA

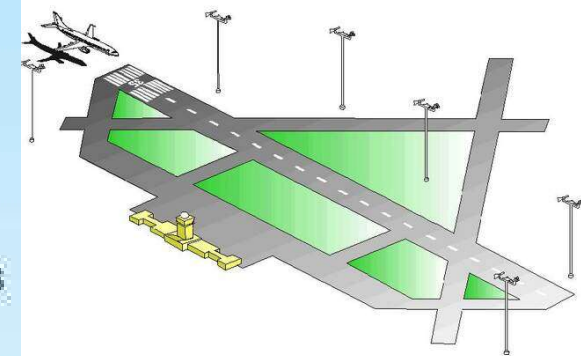


Figure from Quora.com

Gefahrenpotenzial Tornados

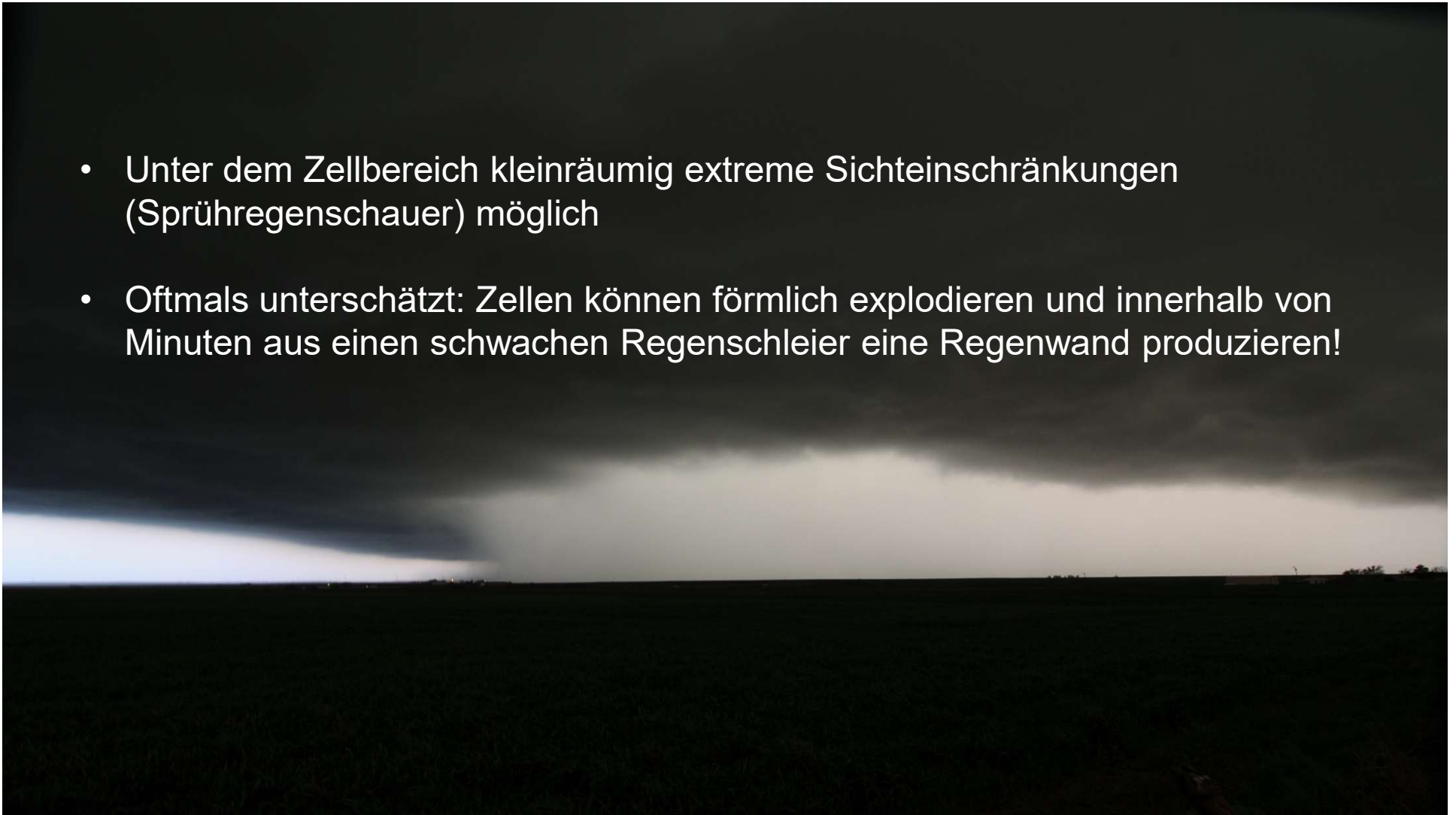
- Oftmals unkorrekt als „Minitornado“ oder „Windhose“ bezeichnet
- Häufige Fragestellung: Downburst oder Tornado?
- In Deutschland jährlich ca. 40 bis 60 bestätigte Tornadofälle
- Meist im unteren F0 bis F1 – Bereich
- Weitere Informationen unter www.tornadoliste.de



Gefahrenpotenzial Starkregen



- Unter dem Zellbereich kleinräumig extreme Sichteinschränkungen (Sprühregenschauer) möglich
- Oftmals unterschätzt: Zellen können förmlich explodieren und innerhalb von Minuten aus einen schwachen Regenschleier eine Regenwand produzieren!





Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!

Stefan Rubach (DWD Potsdam)