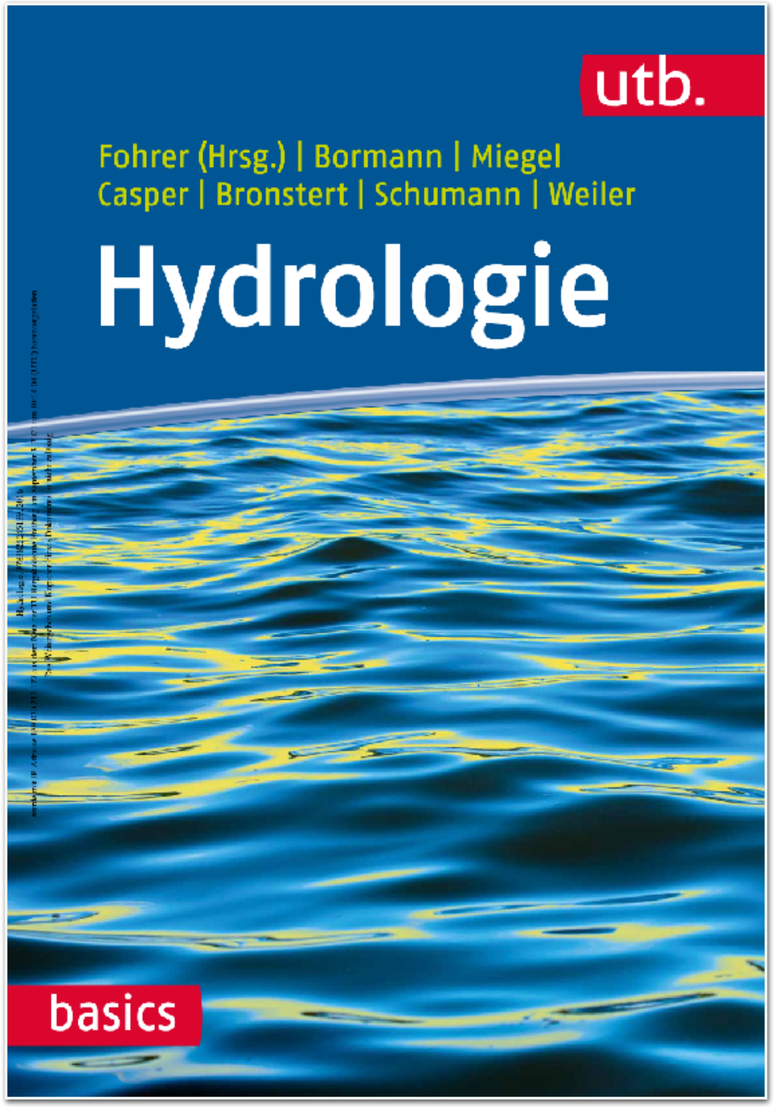
Die Ressourcenuniversität. Seit 1765.

TU BERGAKADEMIE FREIBERG

Niederschlag 2

Grundlagen der Hydrologie
Primer in Hydrology

conrad.jackisch@tbt.tu-freiberg.de



Frage vorweg:

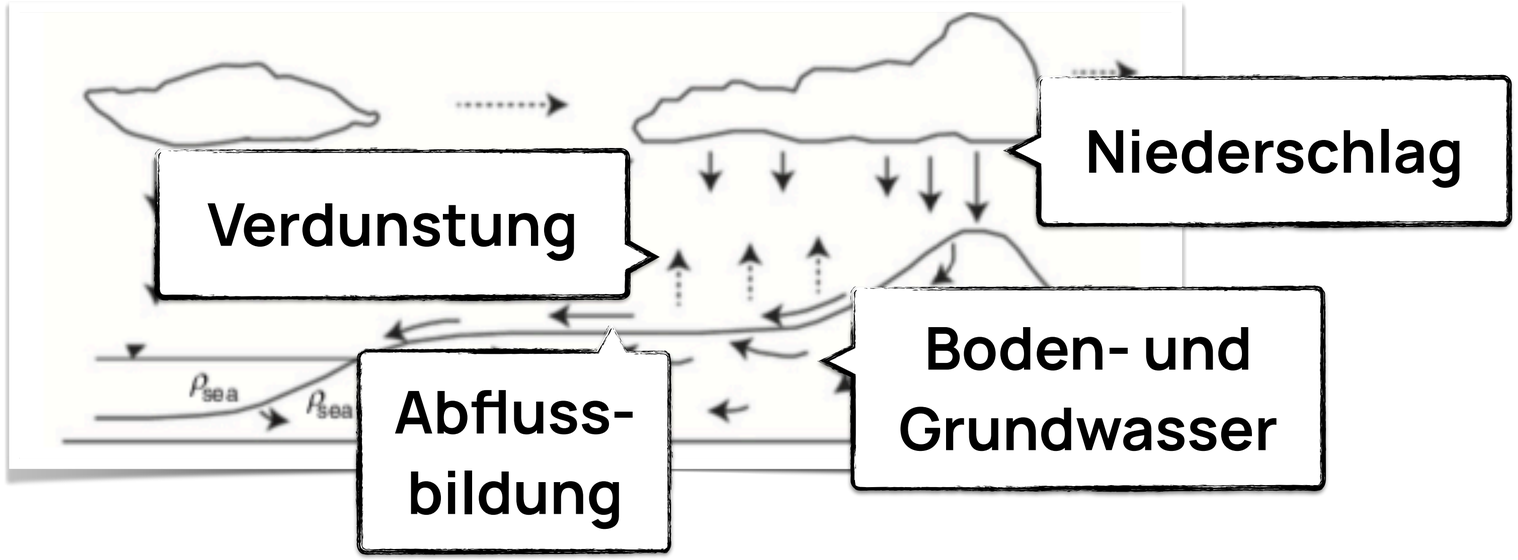
Haben alle das Buch?

Das Buch bietet einen guten Überblick und eine gute Prüfungsvorbereitung.
Ich werde mich aber daran nur orientieren und auf aktuelle Forschung und Entwicklung eingehen.

Vollzugriff auf das pdf über das Uni-Netz:
https://www.utb.de/doi/book/10.36198/9783838545134

Elemente des Wasserkreislaufs

Die nächsten ±4 Vorlesungen…



Niederschlag ist die wichtigste Eingangsgröße für die meisten hydrologischen Berechnungen…

Ziel der heutigen Vorlesung

Wie entsteht Niederschlag?

Welche Formen erwarten wir wo/wann?

2

Meteorologie

- Physik des Entstehens von Wolken
- allgemeines Verständnis über Niederschlagsbildung

Hydrologie

- Eigenschaften von Niederschlagsarten unterscheiden/vergleichen
- Hydrologischen Input abschätzen

Mehr Infos zum Selbststudium

...weil wir hier Meteorologie nur ankratzen können

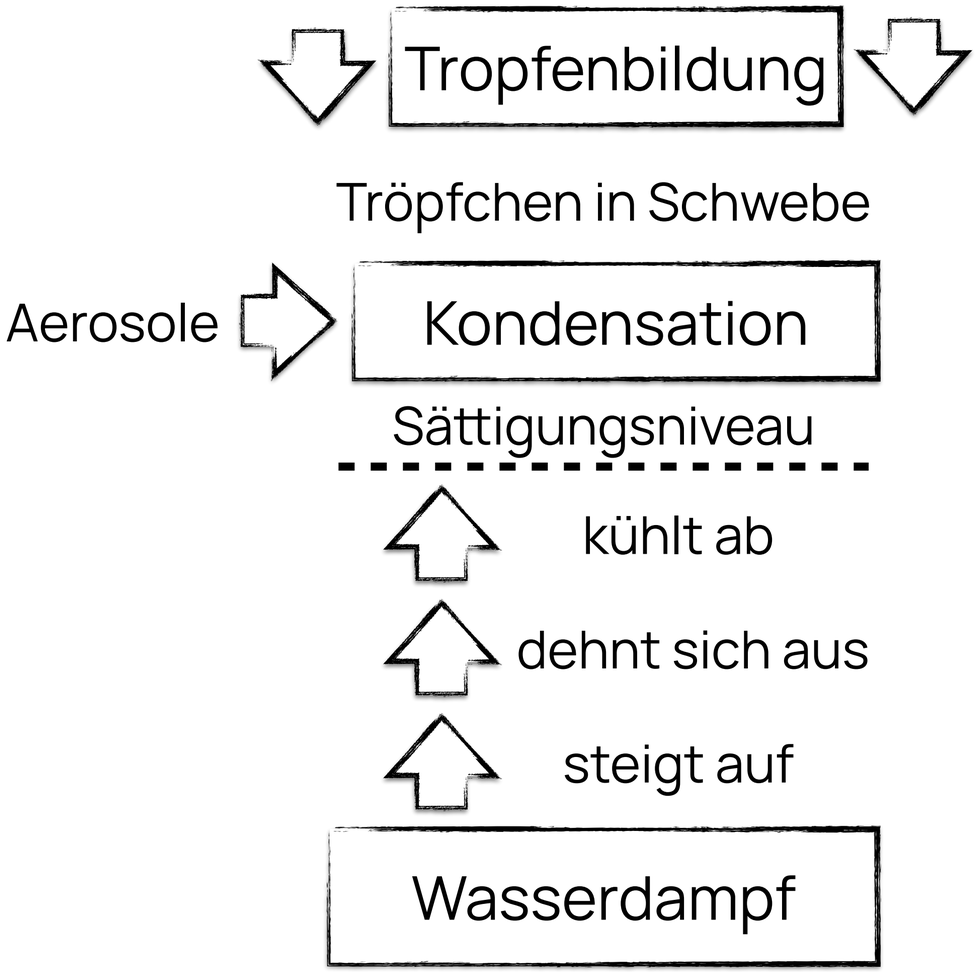
MetEd

- www.meted.ucar.edu

Met Office

- https://www.metoffice.gov.uk/weather/learn-about/weather

Wolkenbildung



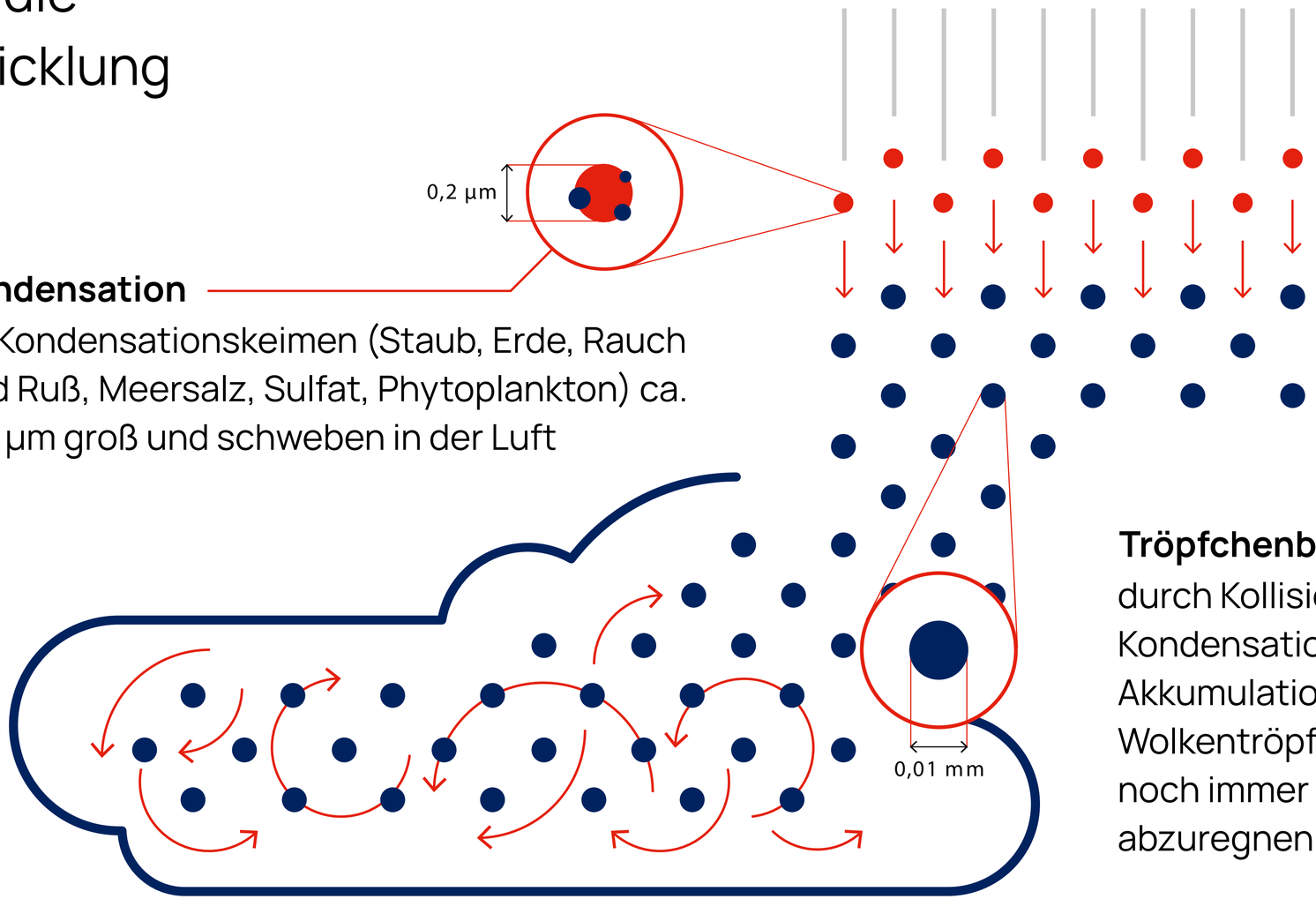
Wolken bestehen aus Wasser in flüssiger und fester Phase

- Wasserdampf ist durchsichtig…
- er muss also irgendwie kondensieren

TU BERGAKADEMIE · FREIBERG

Wolkenbildung

- Kondensationskeime (Art, Häufigkeit) haben einen großen Einfluss auf die Niederschlagsentwicklung



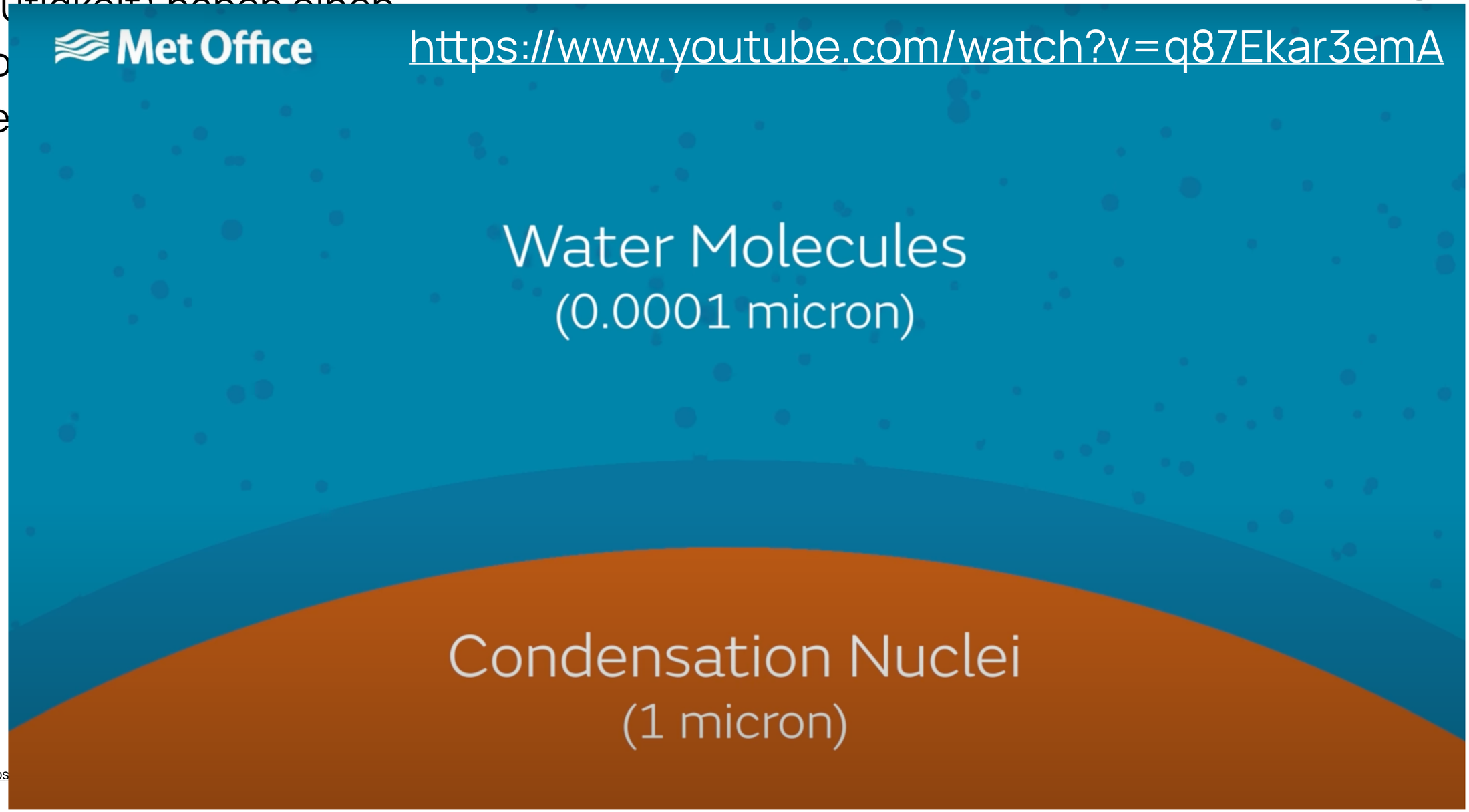
Kondensation
an Kondensationskeimen (Staub, Erde, Rauch und Ruß, Meersalz, Sulfat, Phytoplankton) ca. 0.2 µm groß und schweben in der Luft

Tröpfchenbildung
durch Kollision von Kondensationskernen Akkumulation von Wolkentröpfchen – noch immer zu klein um abzuregnen.

https://www.lufft.com/blog/das-prinzip-niederschlagn-infografik/

Wolkenbildung

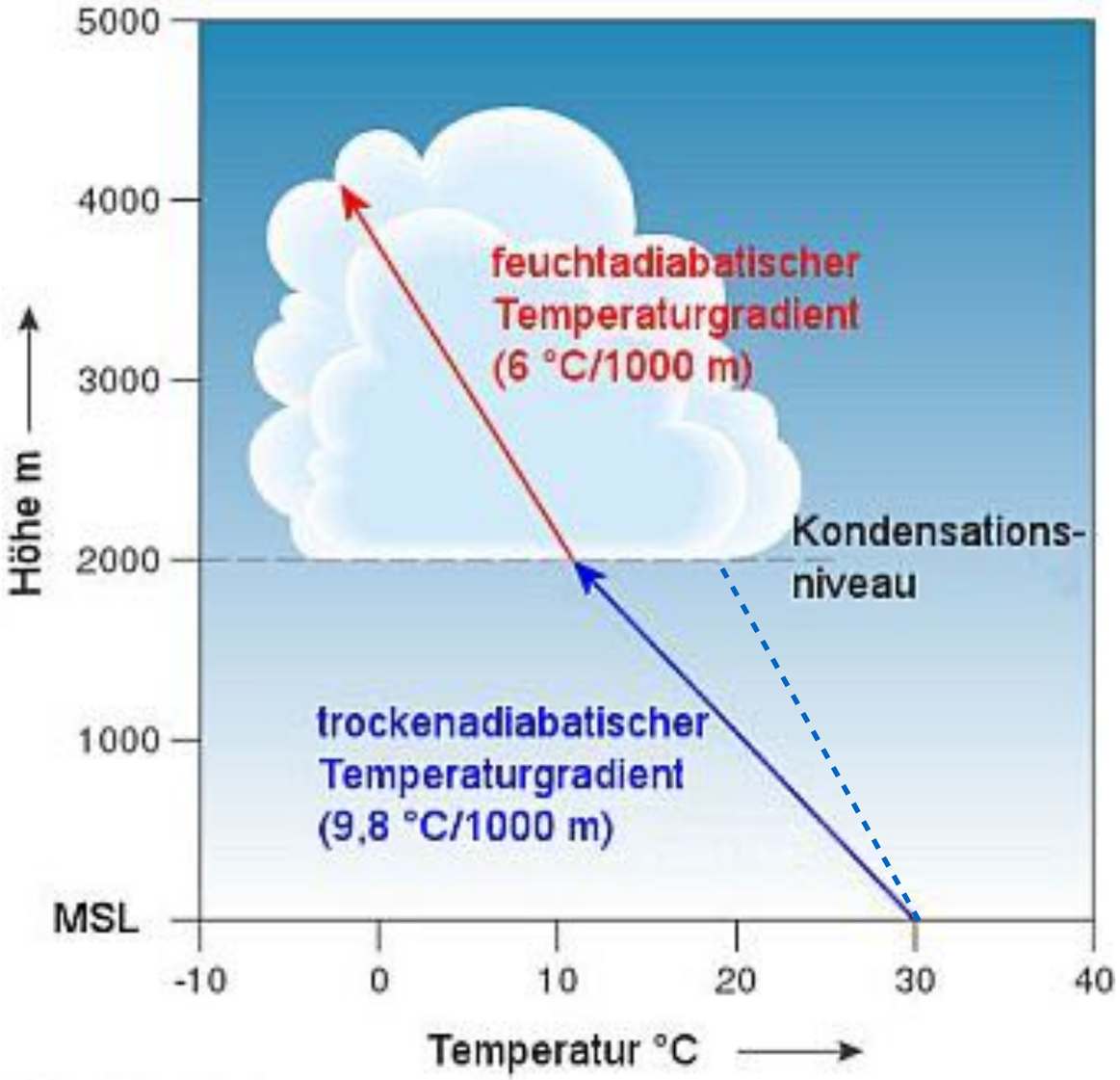
- Kondensationskeime (Art, Häufigkeit) haben einen gro
Nie



https

Adiabatischer Aufstieg

Schichtung der Atmosphäre

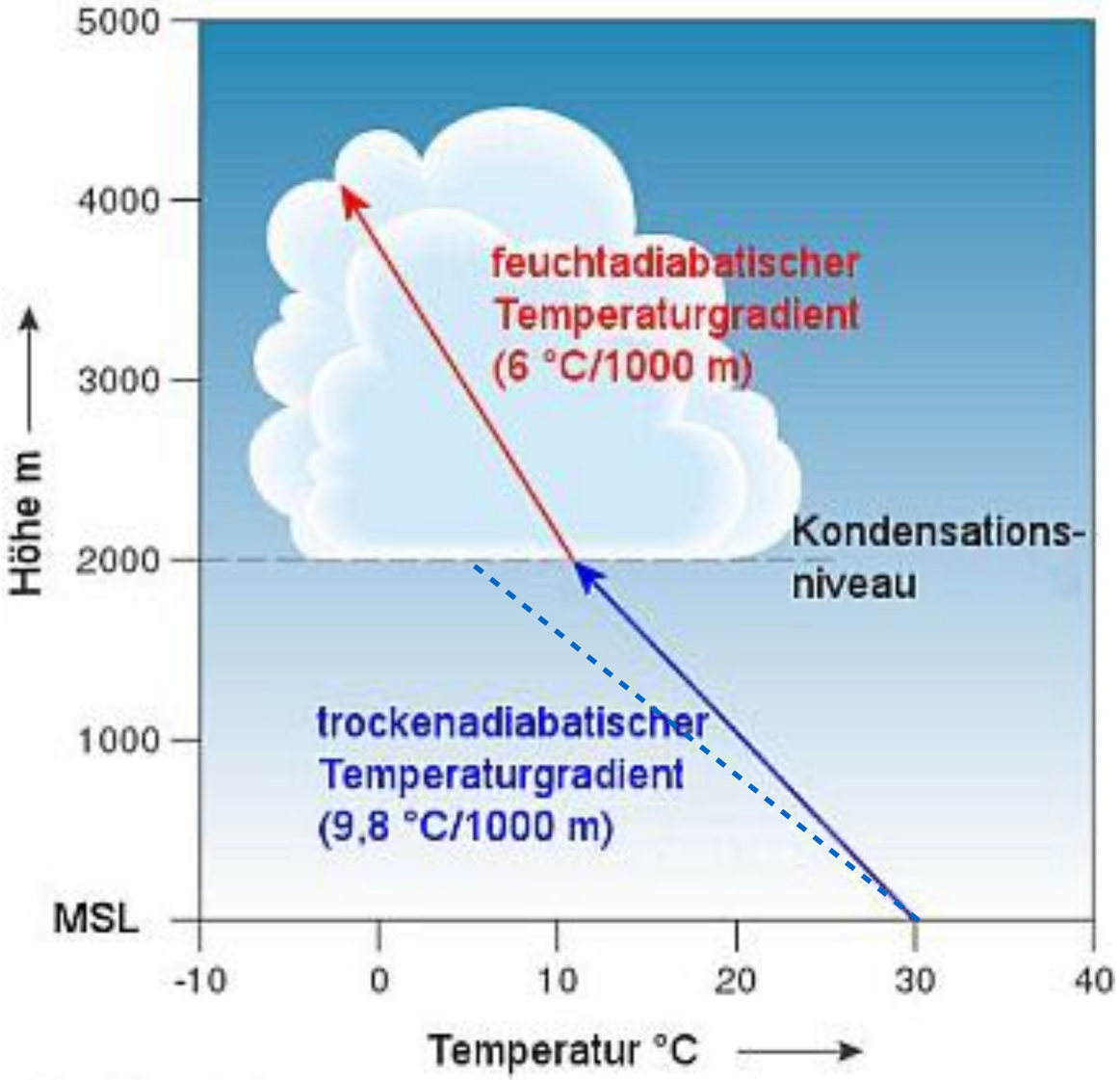


Adiabatisch = ohne Temperatur-austausch mit der Umgebung

- Referenz für die Temperatur-abnahme in der Troposphäre
- stabile Schichtung: Temperaturabnahme mit der Höhe geringer als Adiabate
- Ein aufsteigendes Luftpaket ist sofort kühler als seine Umgebung und sinkt darum wieder ab…

Adiabatischer Aufstieg

Schichtung der Atmosphäre



Adiabatisch = ohne Temperatur-austausch mit der Umgebung

- Referenz für die Temperatur-abnahme in der Troposphäre
- labile Schichtung: Temperaturabnahme mit der Höhe stärker als Adiabate
- Ein aufsteigendes Luftpaket ist sofort wärmer als seine Umgebung und steigt weiter…

Zustand der Atmosphäre

Wir brauchen noch ein paar wichtige Zutaten…

Relative Luftfeuchte (f):

$$f = \frac{\text{Wasser}_{\text{moment}}}{\text{Wasser}_{\text{maximal}}}$$

$$f = \frac{e}{e_w^*}$$

Dampfdruck (e)

Sättigungs-dampfdruck (e^*_w in hPa):

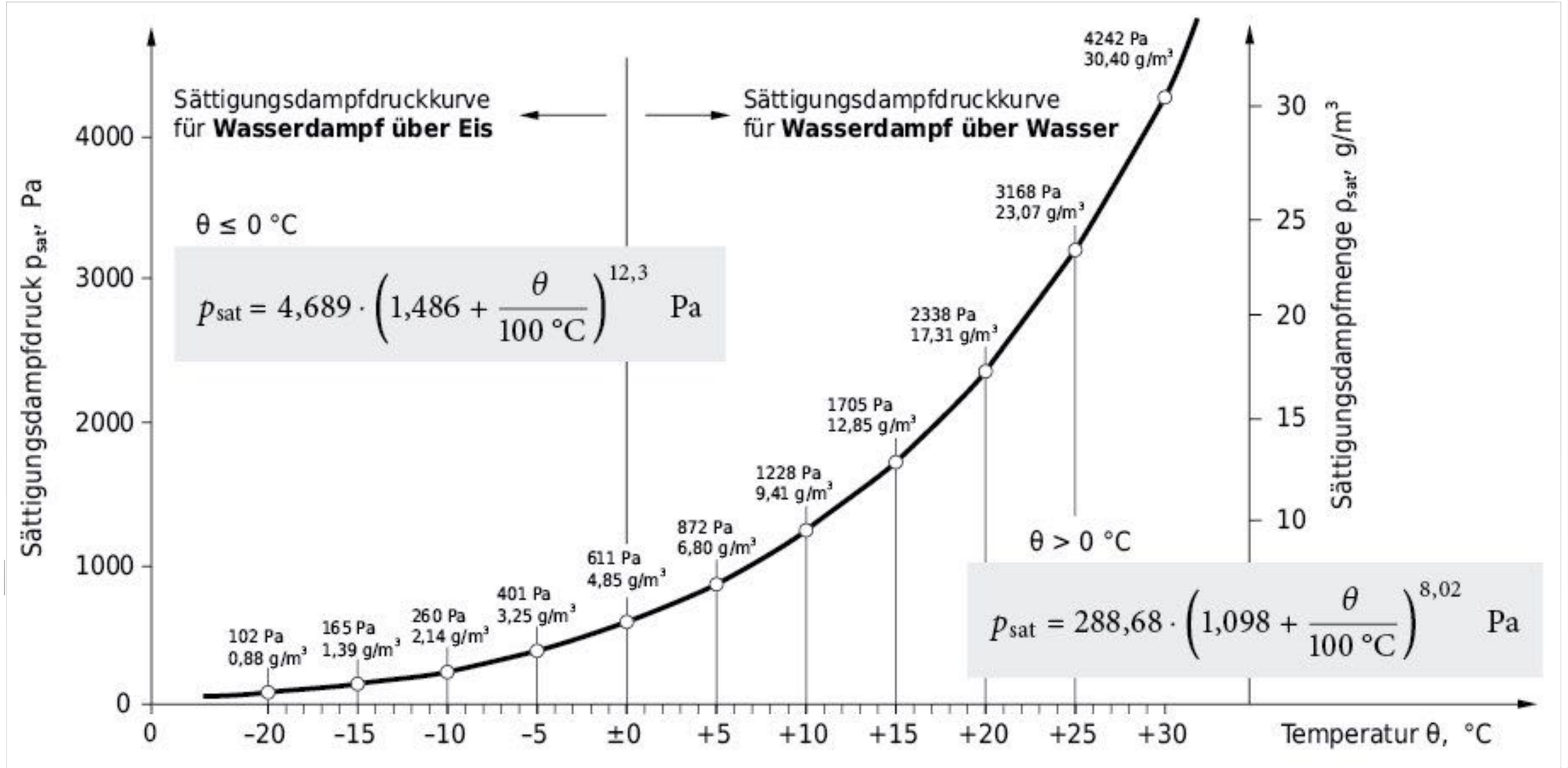
$$e_w^* = 6.1078 \cdot \exp\left(\frac{17.1 \cdot \vartheta}{235 + \vartheta}\right)$$

- Temperatur (in °C)

Magnus-Formel (empirisch über Wasser)

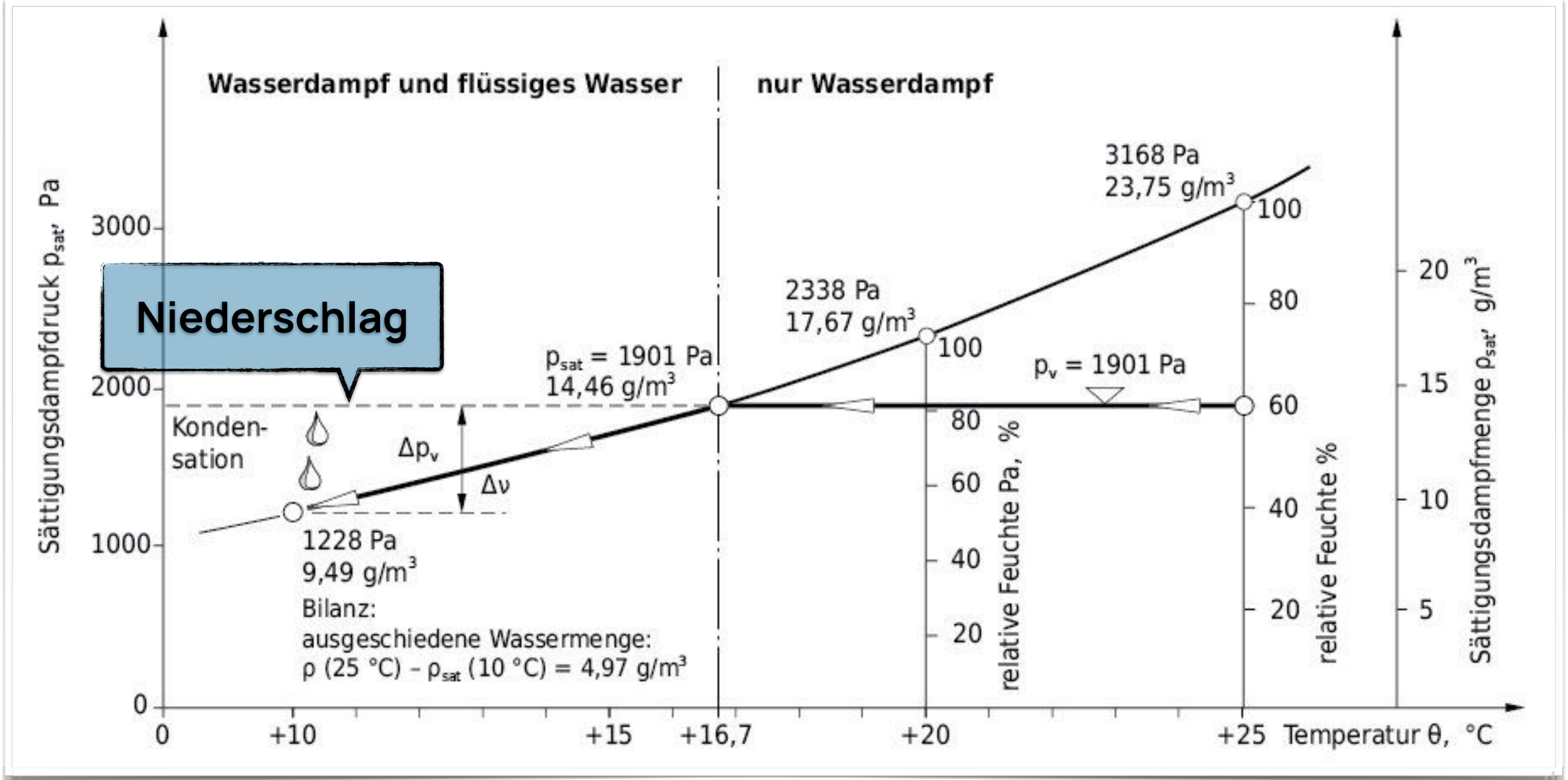
Zustand der Atmosphäre

Wir brauchen noch ein paar wichtige Zutaten…



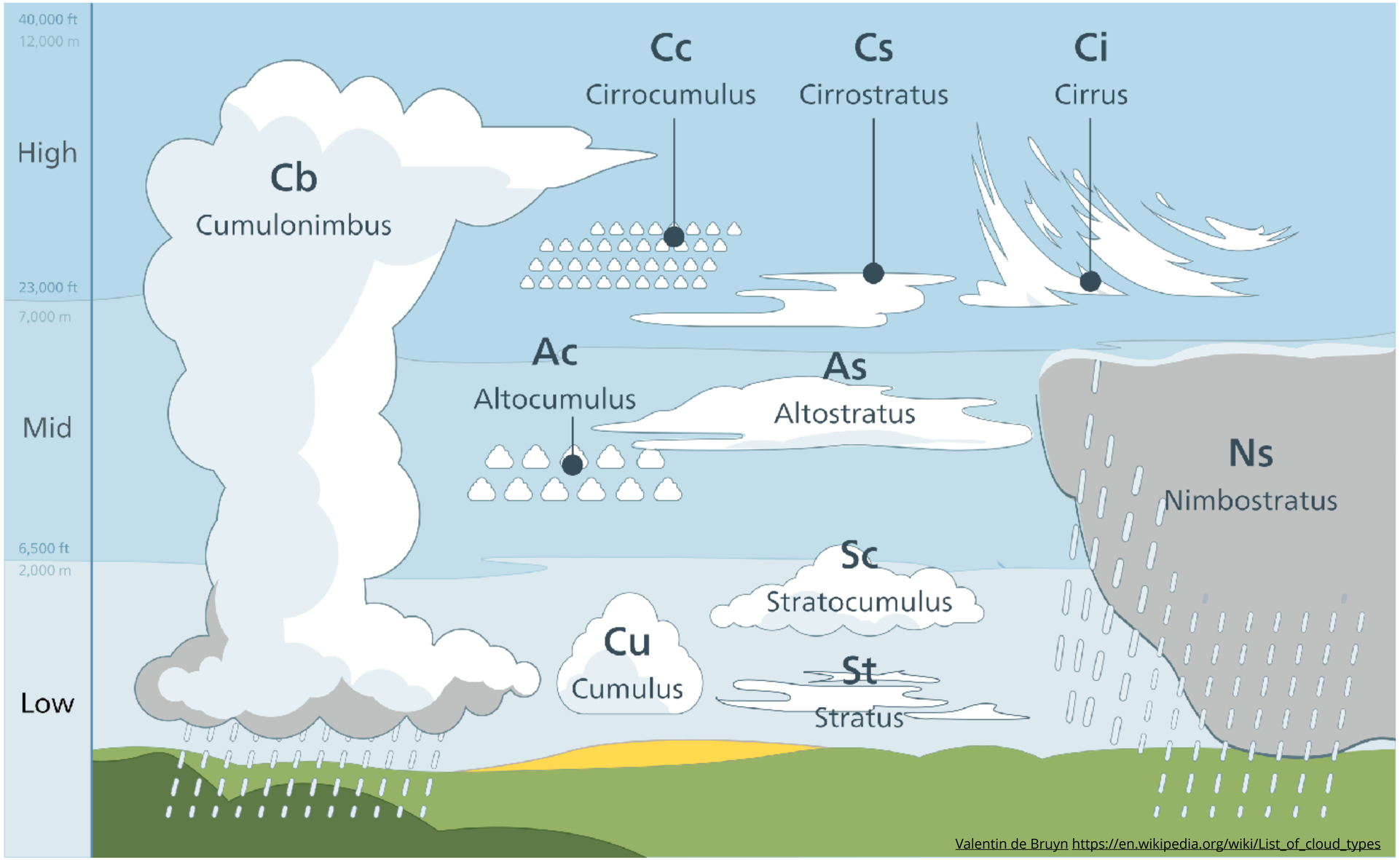
Zustand der Atmosphäre

Wir brauchen noch ein paar wichtige Zutaten…

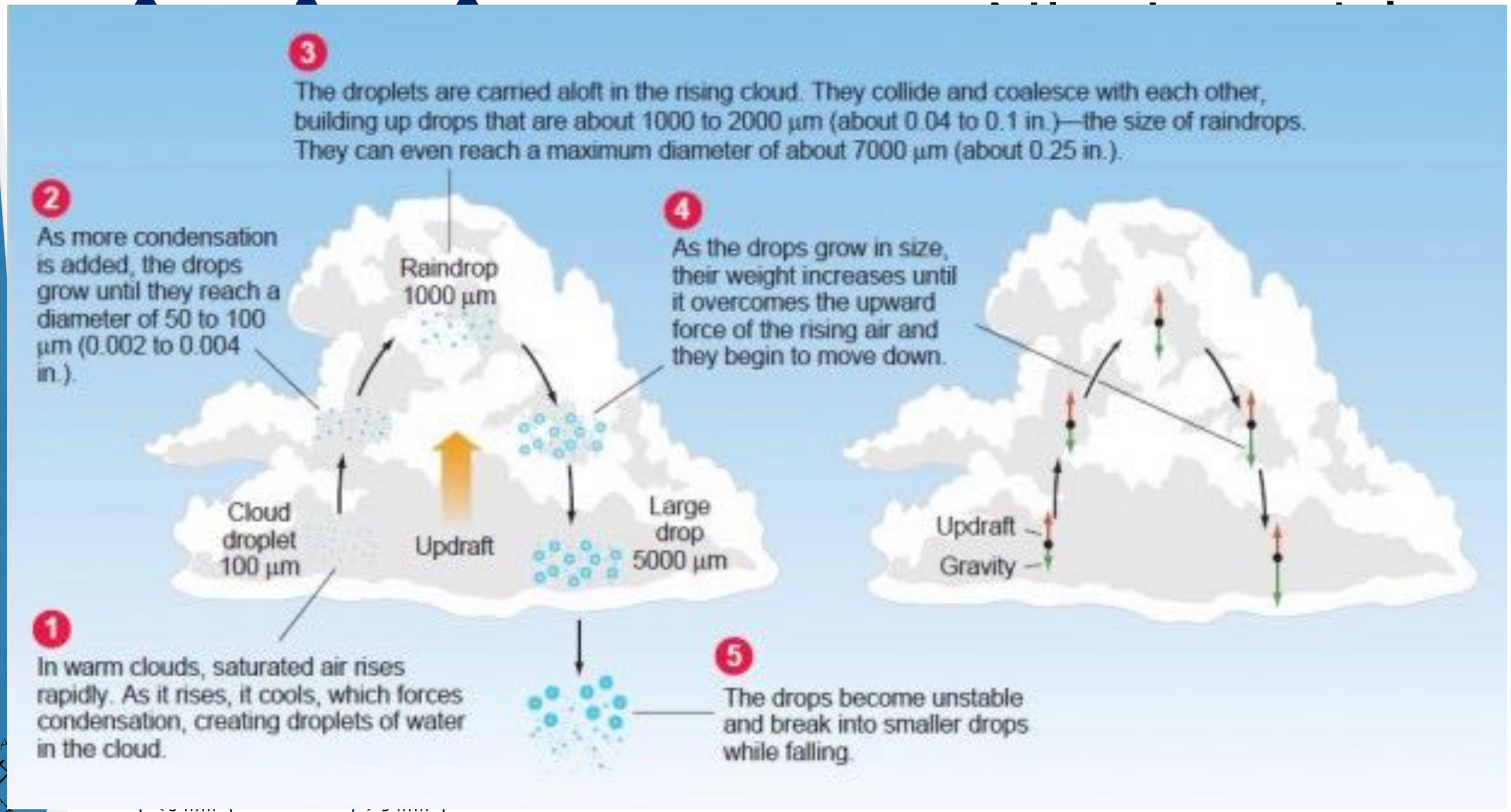


Wolkentypen

und wo sie zu finden sind



Valentin de Bruyn https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_cloud_types

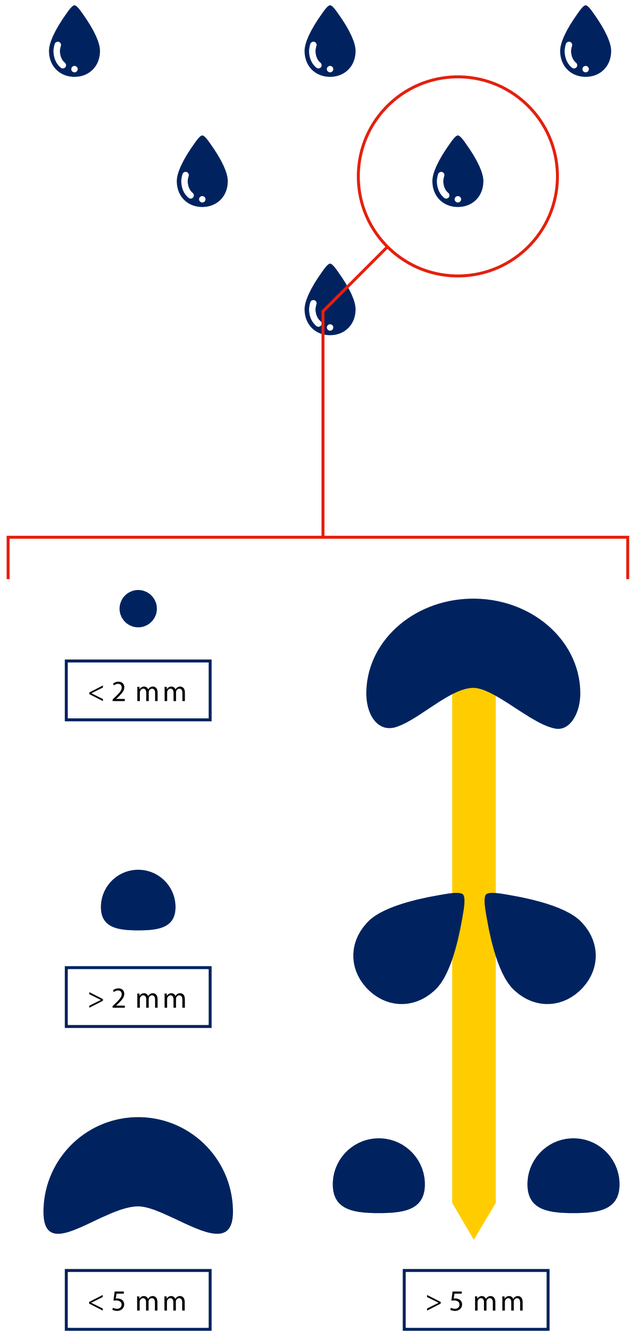


https://www.lufft.com/blog/das-prinzip-niederschlagn-infografik/

https://geography.name/precipitation-2/

Niederschlag

Tropfenbildung allgemein

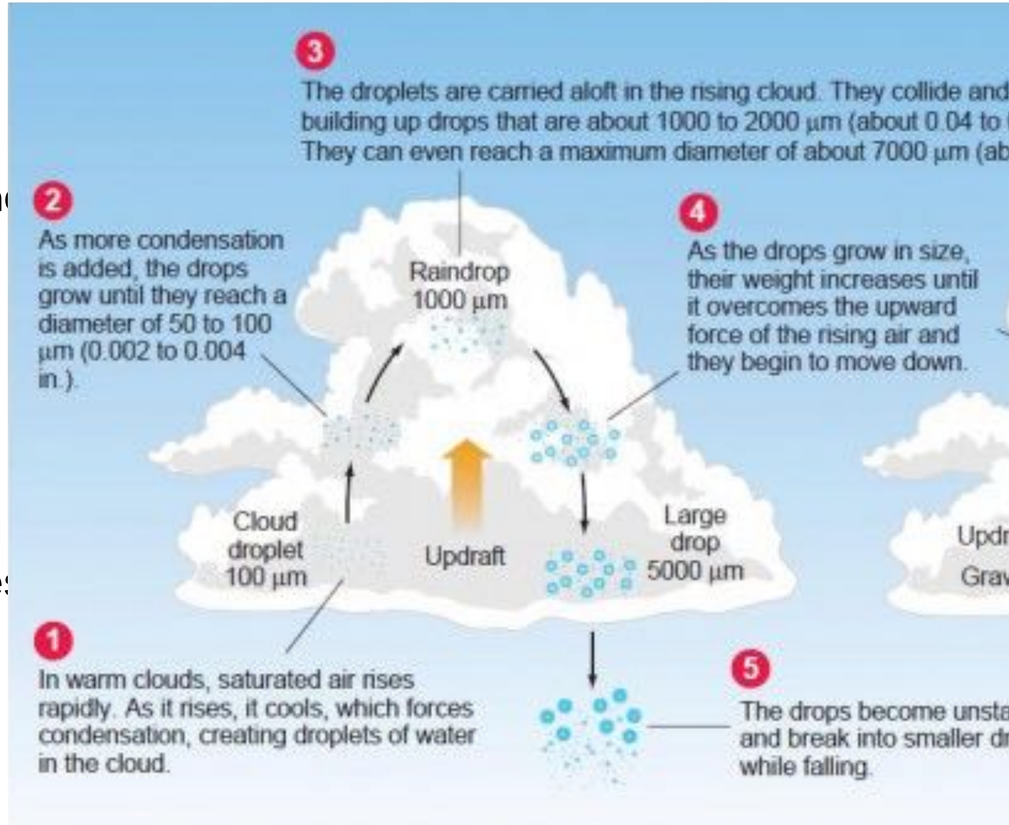


Fortschreitende Akkumulation an Kondensationskernen

die kleinsten Regentropfen sin
eher kugelförmig

mit zunehmender Größe und Luftwiderstand > Abflachen

Ab 5 mm Ø instabil und Teilung aufgrund des Luftwiderstande

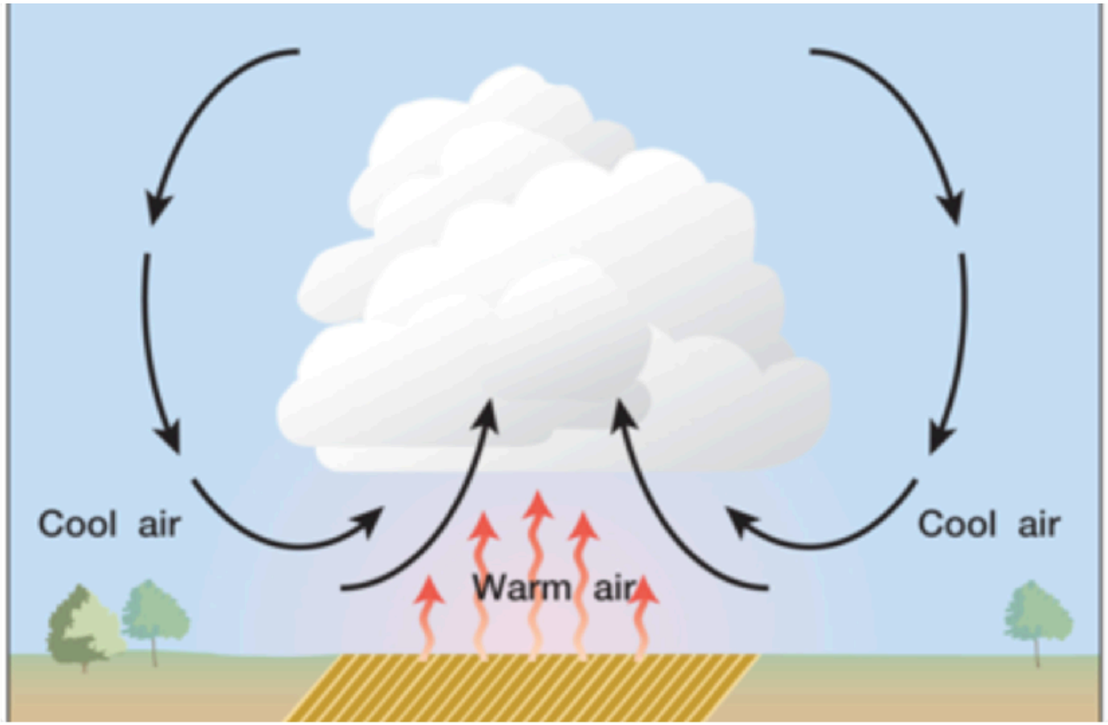


https://www.lufft.com/blog/das-prinzip-niederschlagn-infografik/

https://geography.name/precipitation-2/

Niederschlag

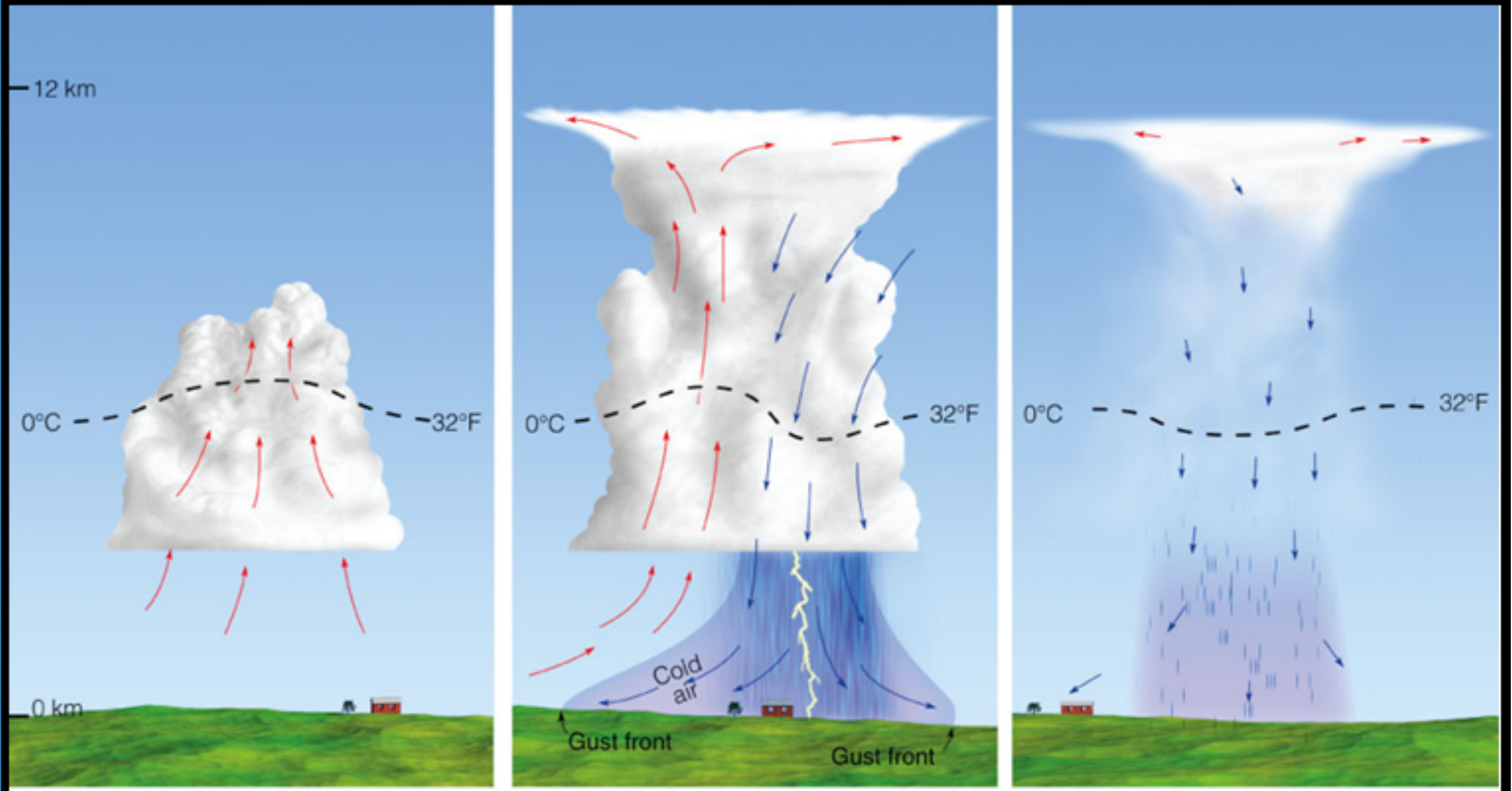
Verschiedene Typen



thermal-konvektiver Aufstieg

- lokale Konvektion
- lokale Zellen, vertikale Winde

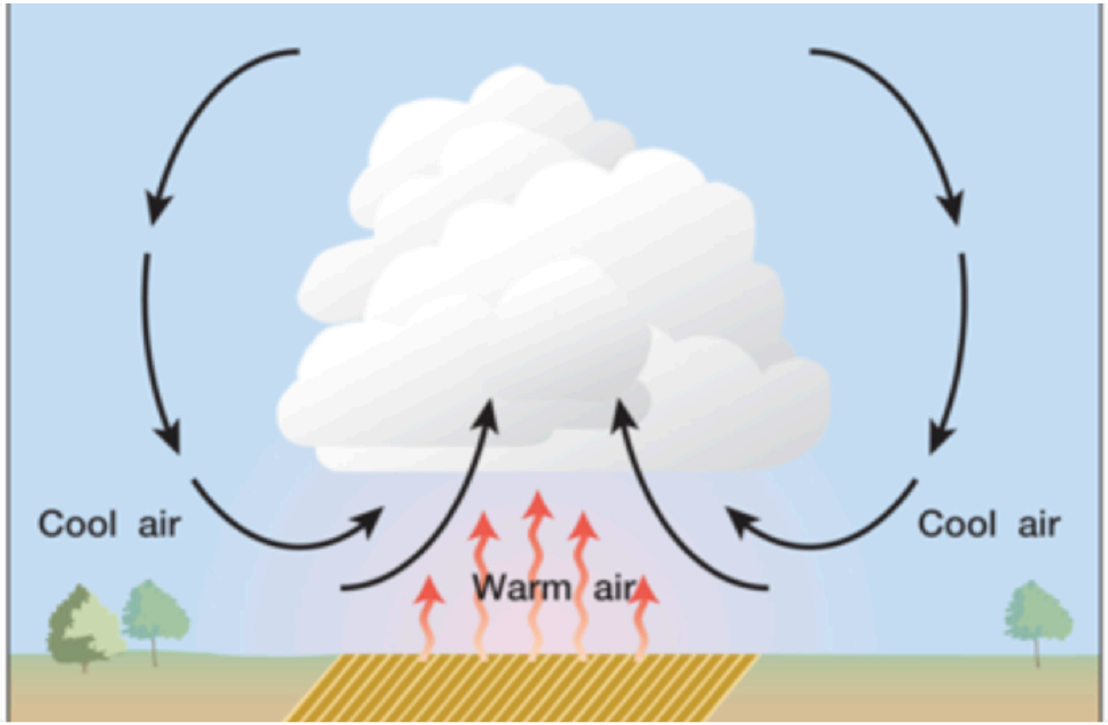
TU BERGAKADEMIE · FREIBERG ·



(a) Cumulus (b) Mature (c) Dissipating

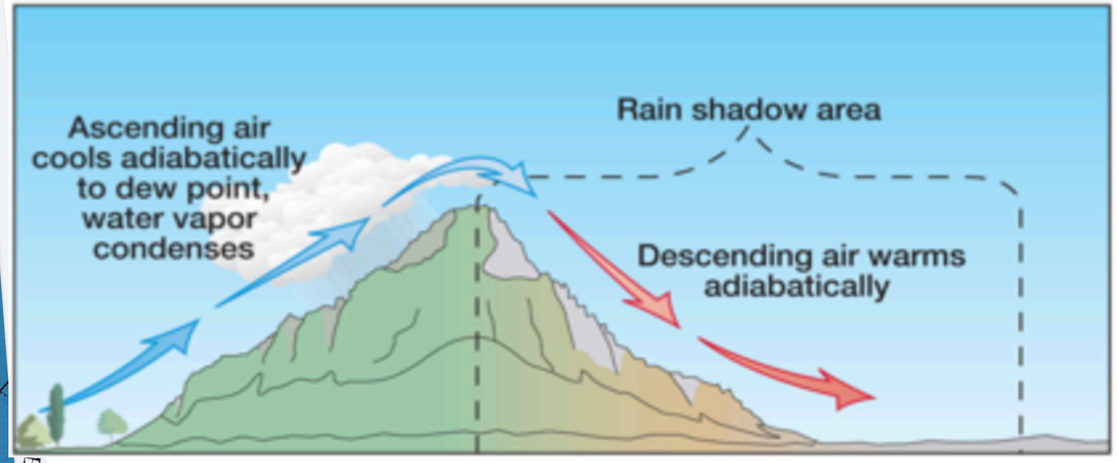
Niederschlag

Verschiedene Typen



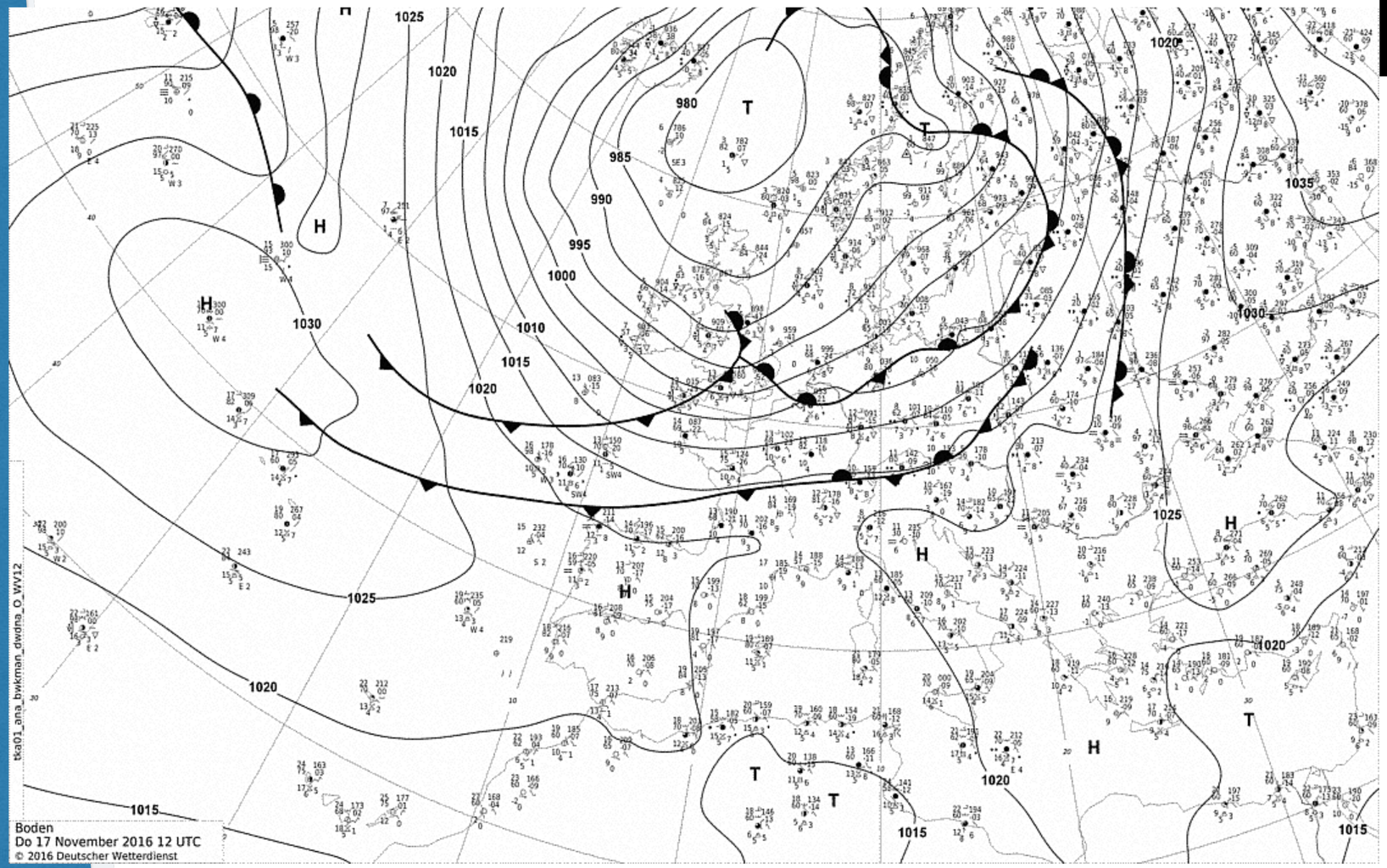
thermal-konvektiver Aufstieg

- lokale Konvektion
- lokale Zellen, vertikale Winde



orographischer Aufstieg

- Luft wird über eine Erhebung gezwungen
- ortsfest an Gebirgsrücken



Niederschlag

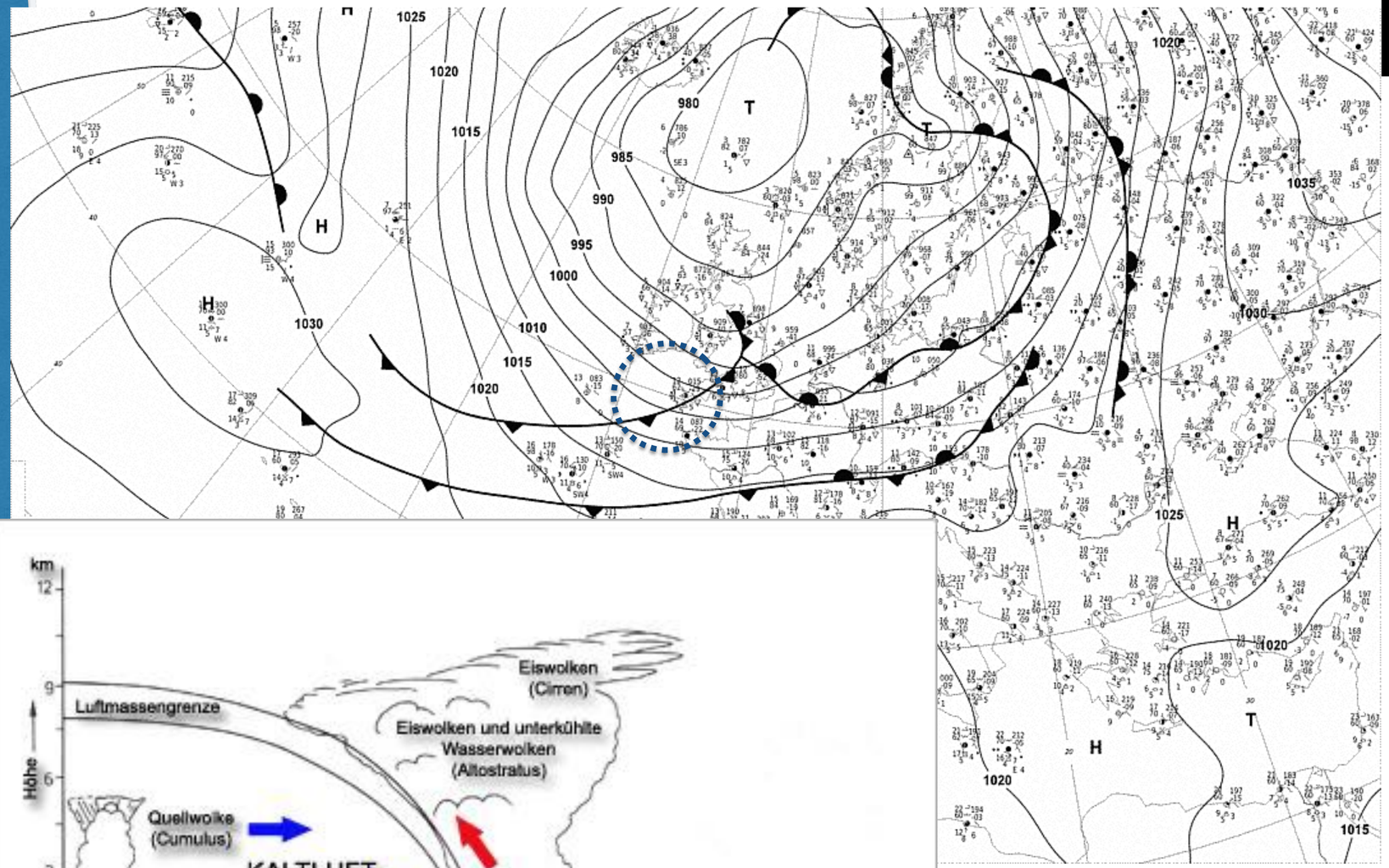
Verschiedene Typen

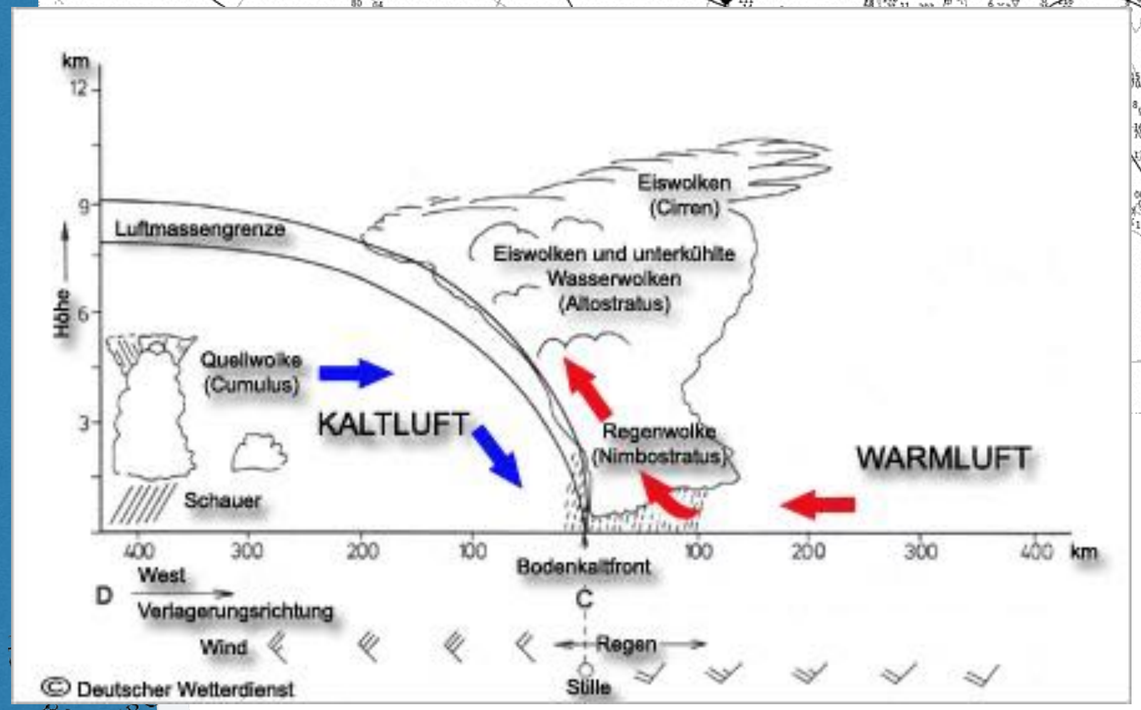
Fronten-Niederschlag

- an Luftmassengrenzen
- Kaltfront
- Warmfront

Niederschlag

Verschiedene Typen



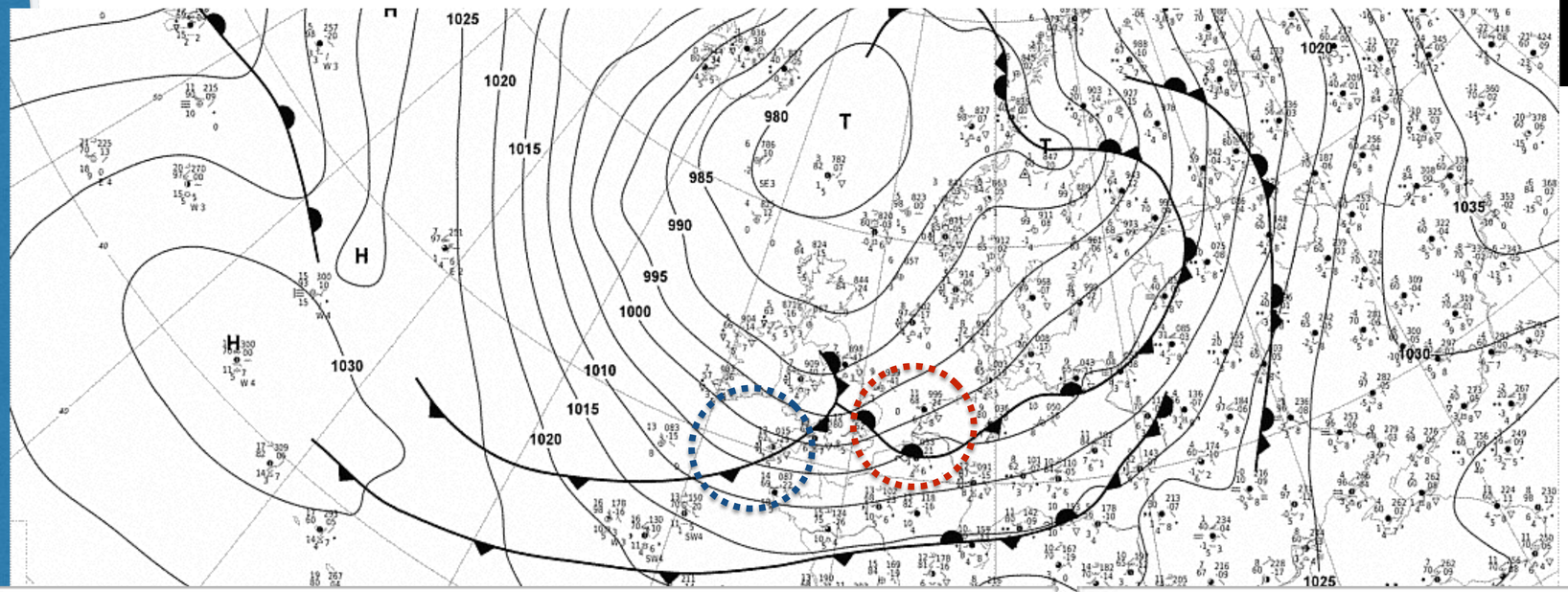


Fronten-Niederschlag

- an Luftmassengrenzen
- Kaltfront
- Warmfront

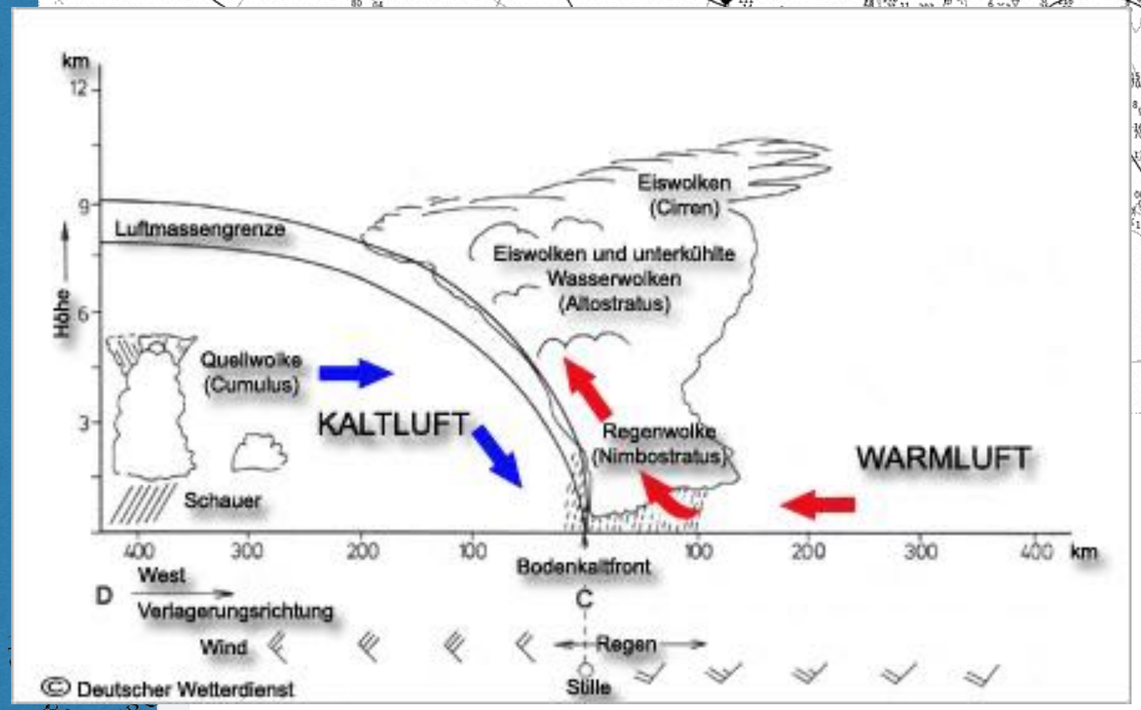
Niederschlag

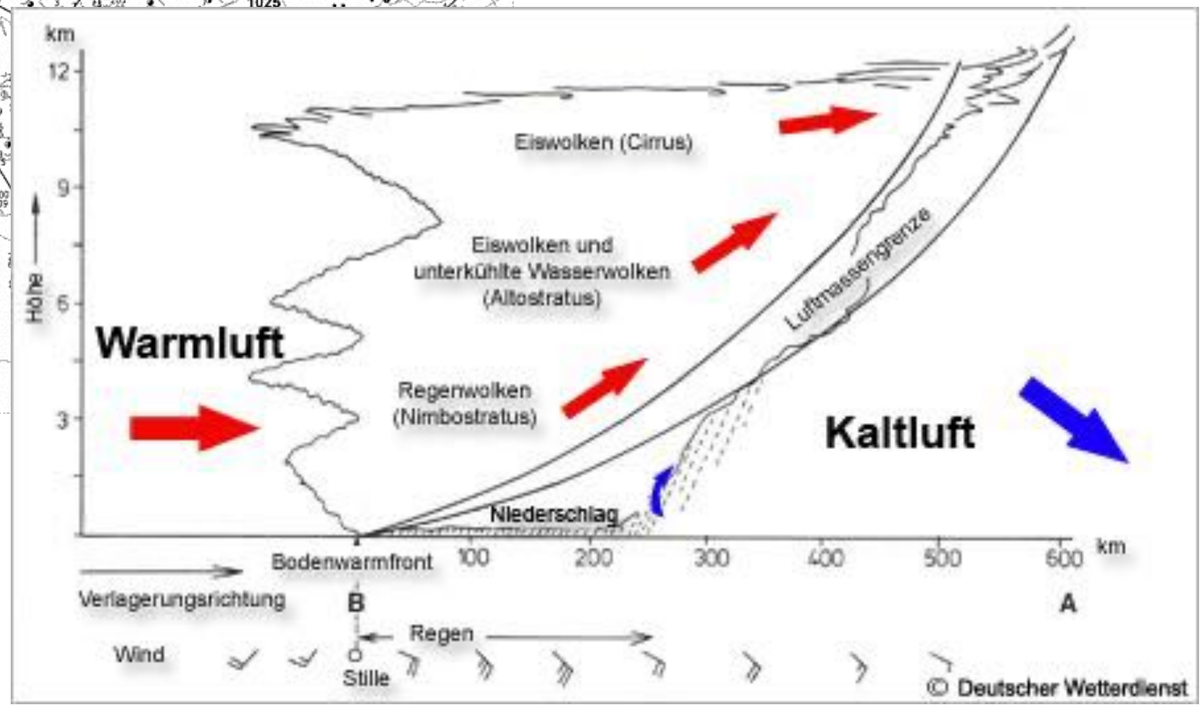
Verschiedene Typen



Fronten-Niederschlag

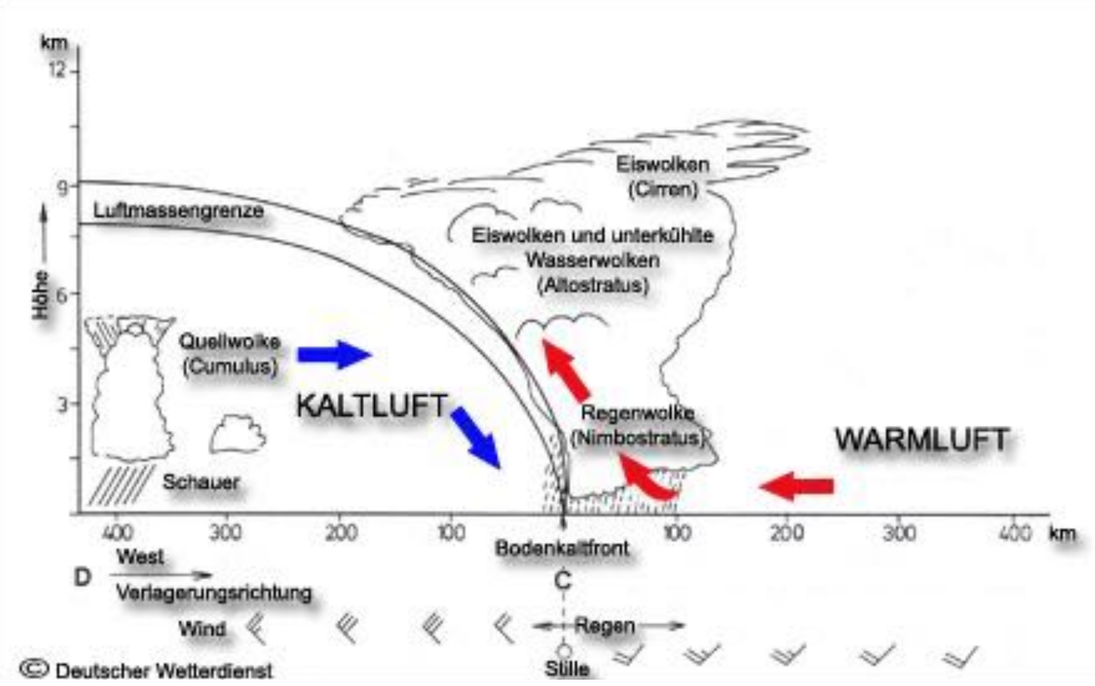
- an Luftmassengrenzen
- Kaltfront





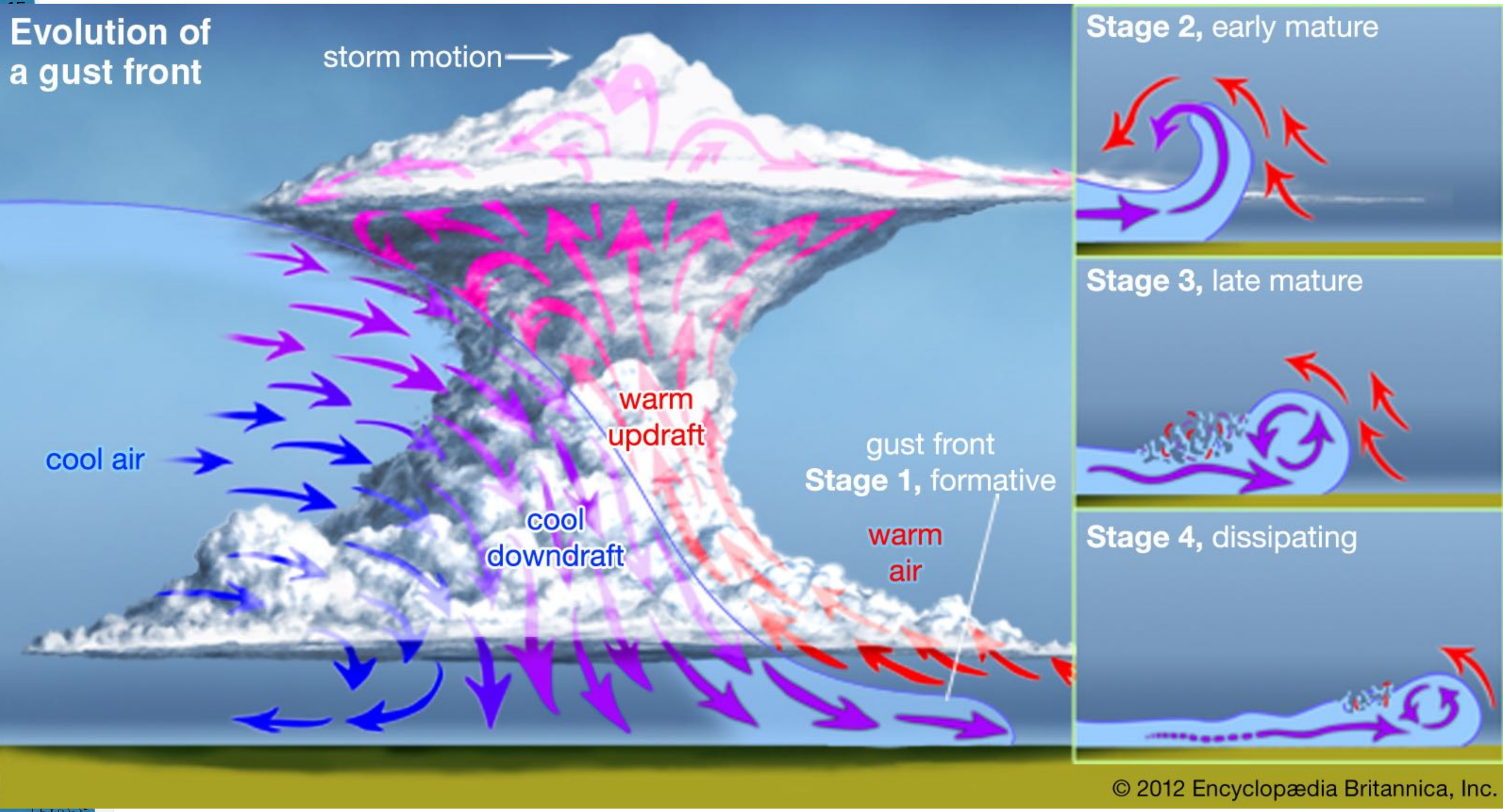
Niederschlag

Verschiedene Typen



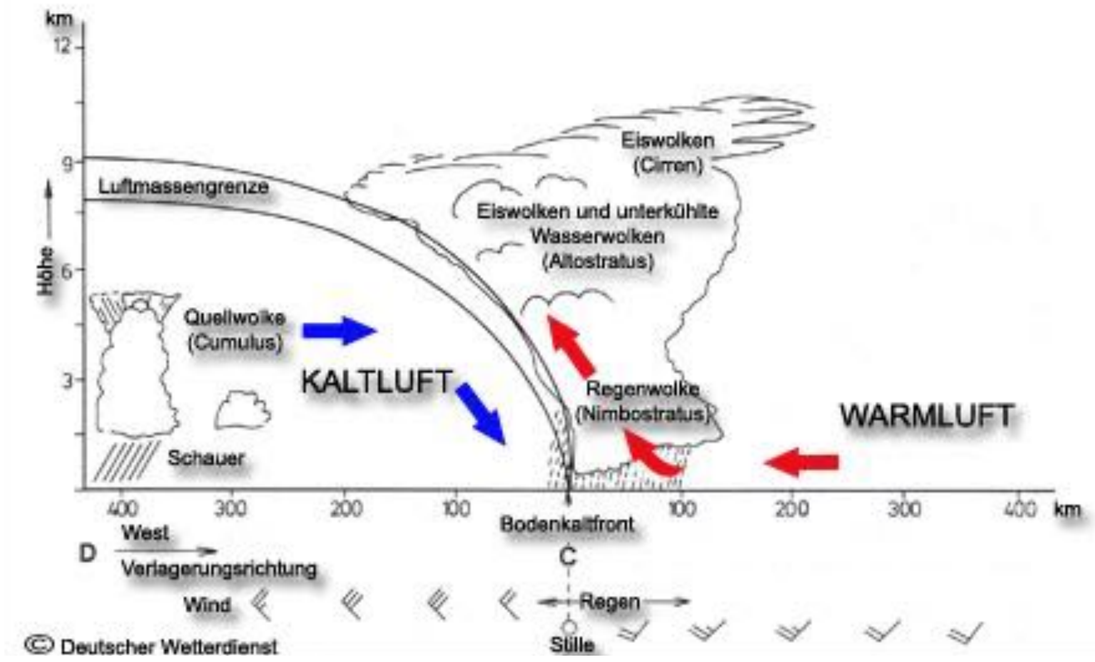
Kaltfront

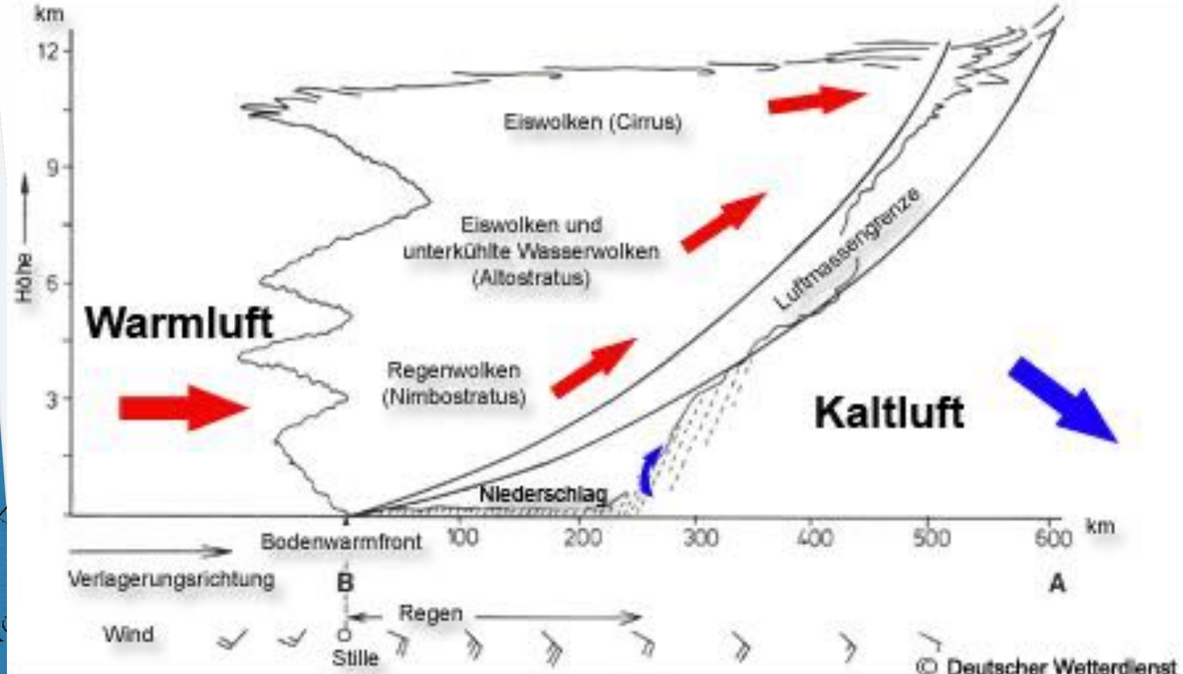
- kurze, heftige Starkregen
- lokale begrenzt
- konvektiver Niederschlag, Gewitter


Evolution of a gust front
storm motion
cool air
warm updraft
cool downdraft
gust front
Stage 1, formative
warm air
Stage 2, early mature
Stage 3, late mature
Stage 4, dissipating
© 2012 Encyclopædia Britannica, Inc.

Niederschlag

Verschiedene Typen





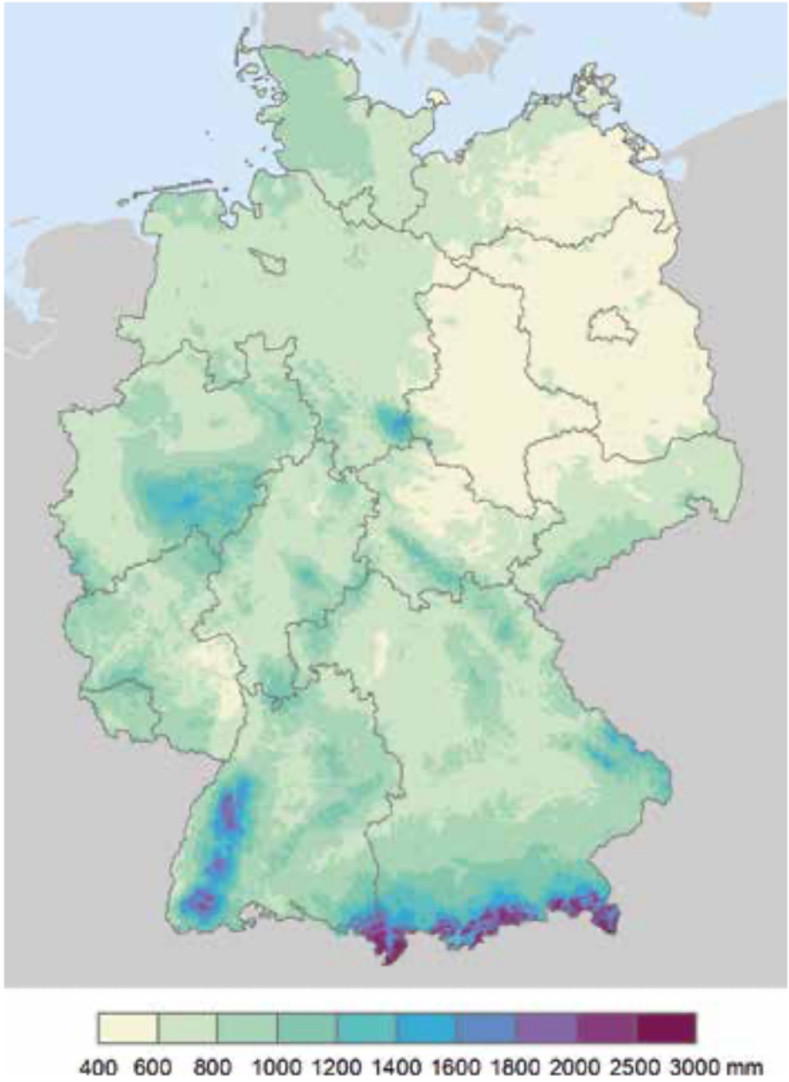
Kaltfront

- kurze, heftige Starkregen
- lokale begrenzt
- konvektiver Niederschlag, Gewitter

Warmfront

- langanhaltender, mäßiger Landregen
- großräumig
- stratiformer Niederschlag

Raum-zeitliche Variabilität



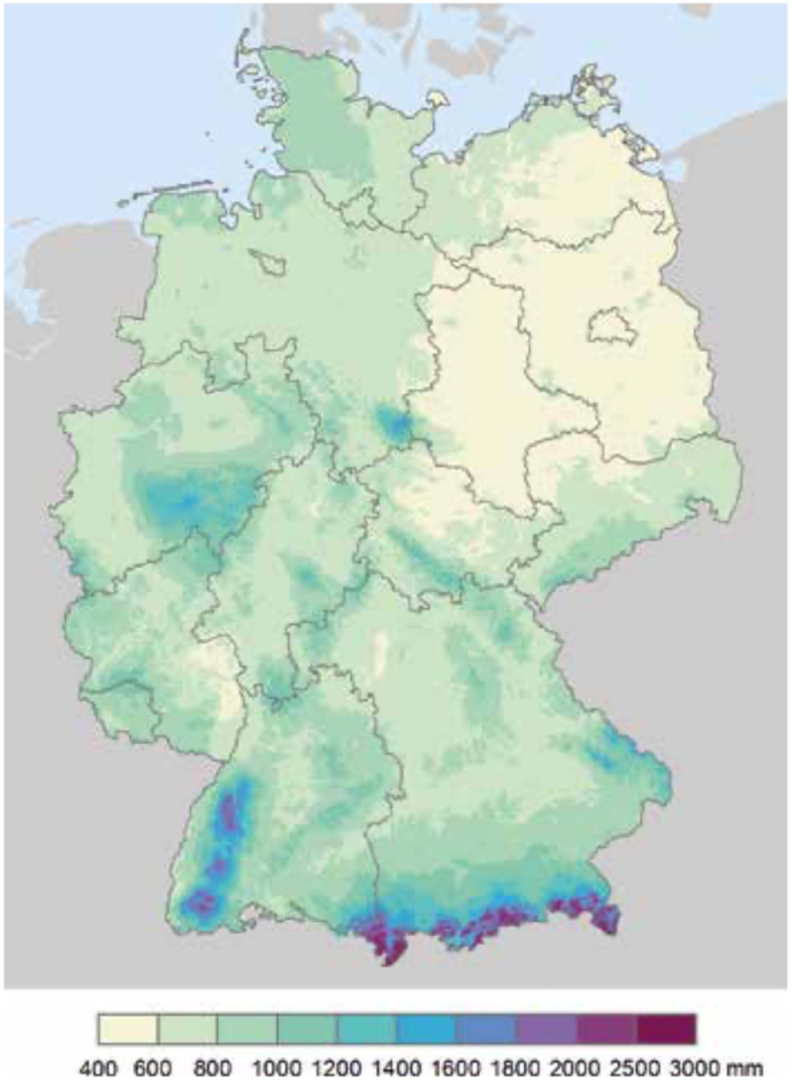
▲ *Jährliche Niederschlagshöhe in Deutschland im Referenzzeitraum 1961–1990 als Flächendarstellung der Rasterwerte (1 km x 1 km).*

Niederschlag ist räumlich variabel

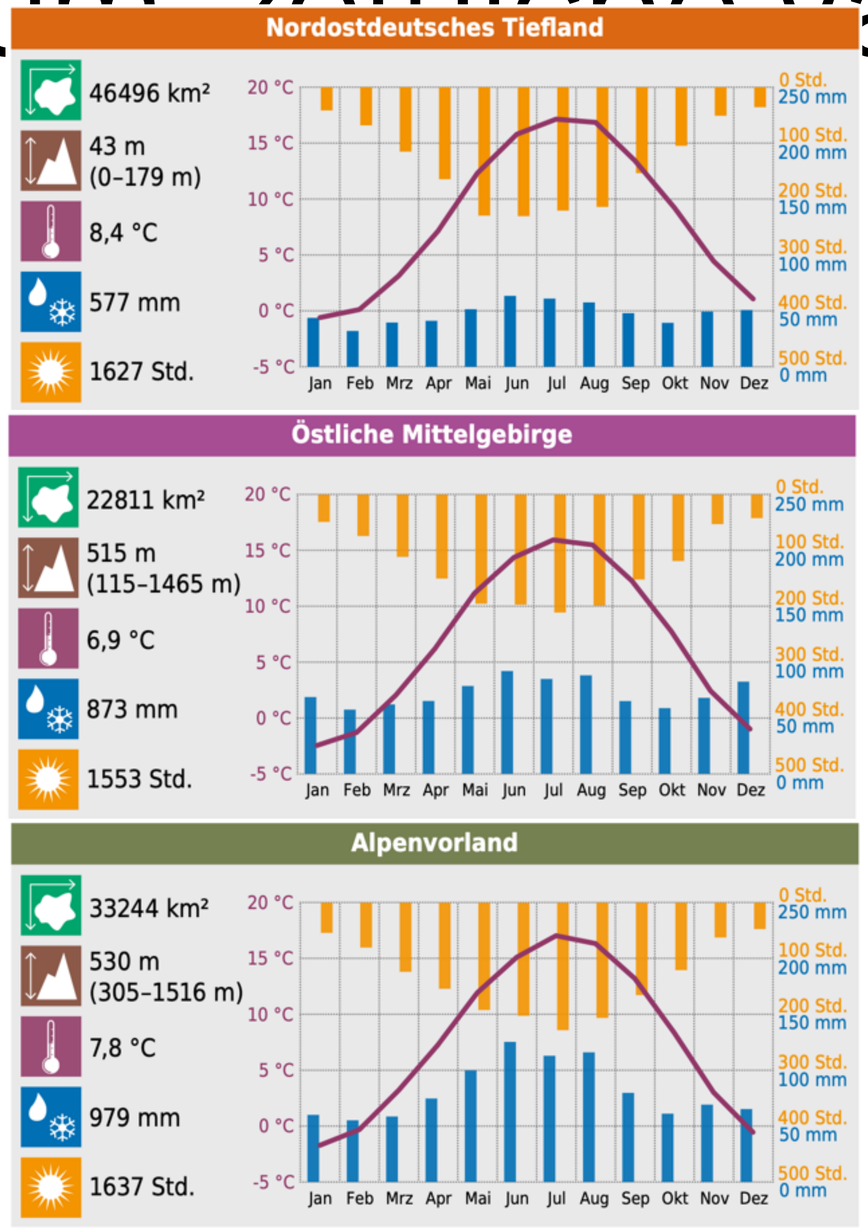
- Zusammenspiel aus orographischen Effekten und Luv-Lee Situationen

DWD Klimareport 2019 https://www.dwd.de/DE/leistungen/nationalerklimareport/download_report_auflage-4.pdf

Raum-zeitliche Variabilität



▲ *Jährliche Niederschlagshöhe in Deutschland im Referenzzeitraum 1961–1990 als Flächendarstellung der Rasterwerte (1 km x 1 km).*

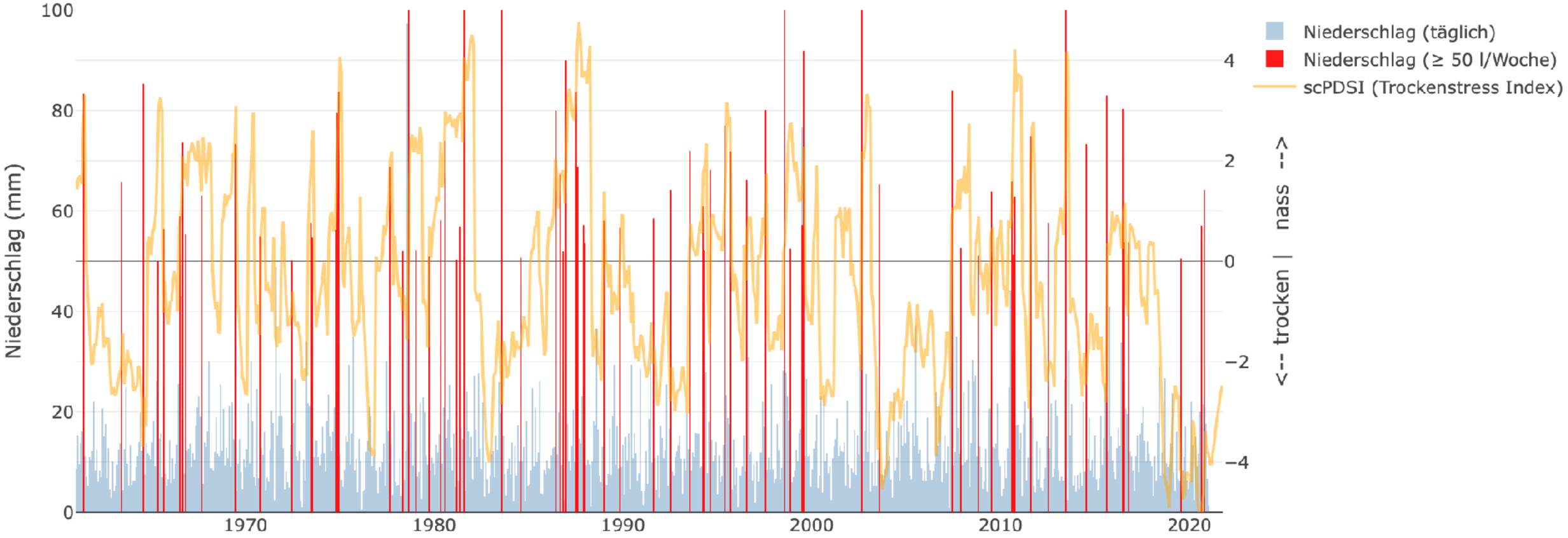


Niederschlag ist räumlich variabel

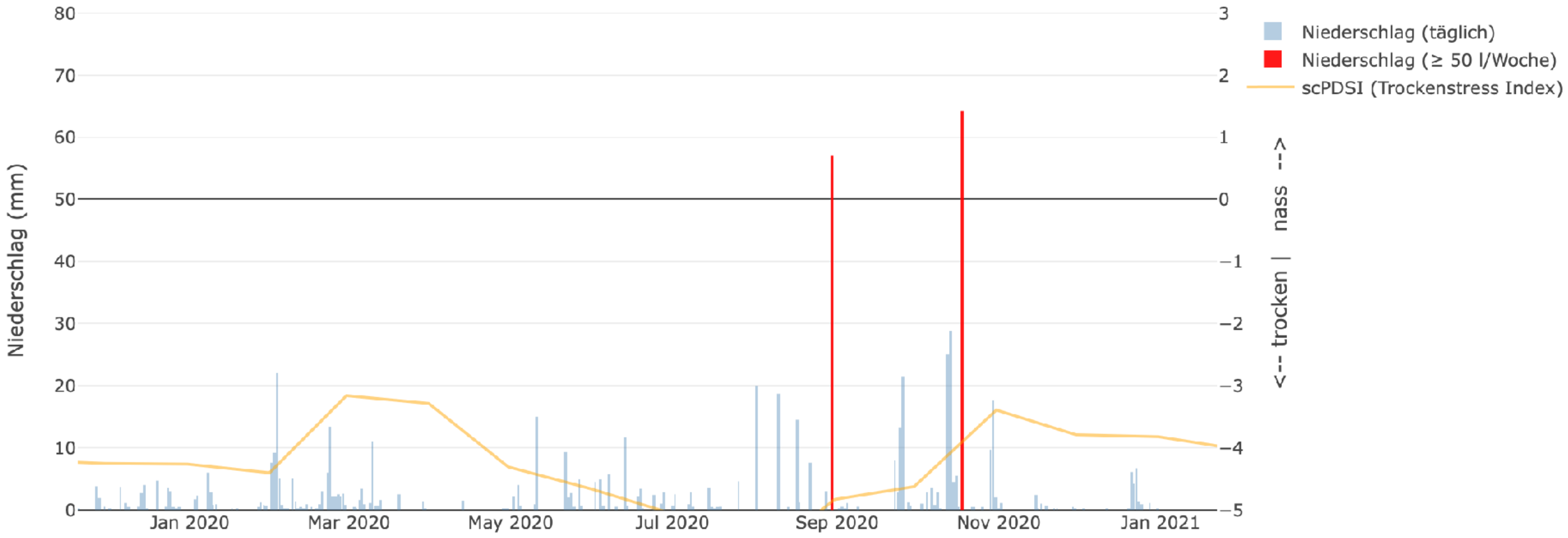
- Zusammenspiel aus orographischen Effekten und Luv-Lee Situationen

DWD Klimareport 2019 https://www.dwd.de/DE/leistungen/nationalerklimareport/download_report_auflage-4.pdf

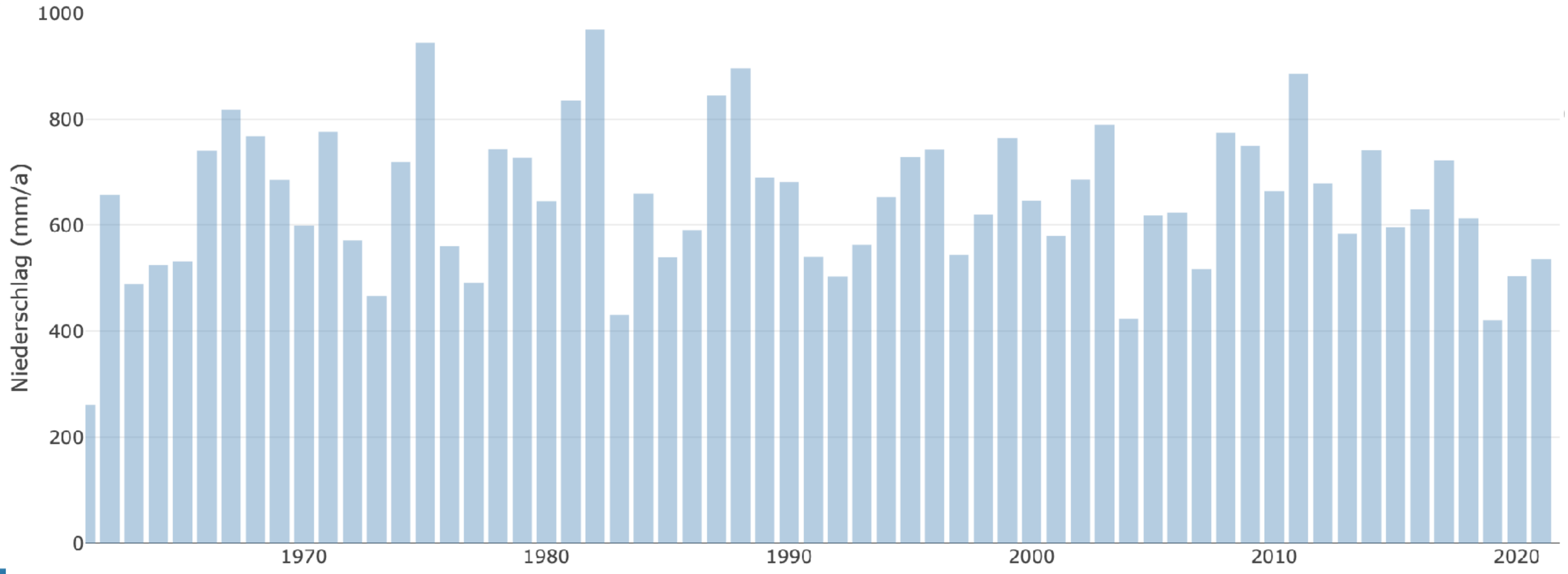
Raum-zeitliche Variabilität



Raum-zeitliche Variabilität

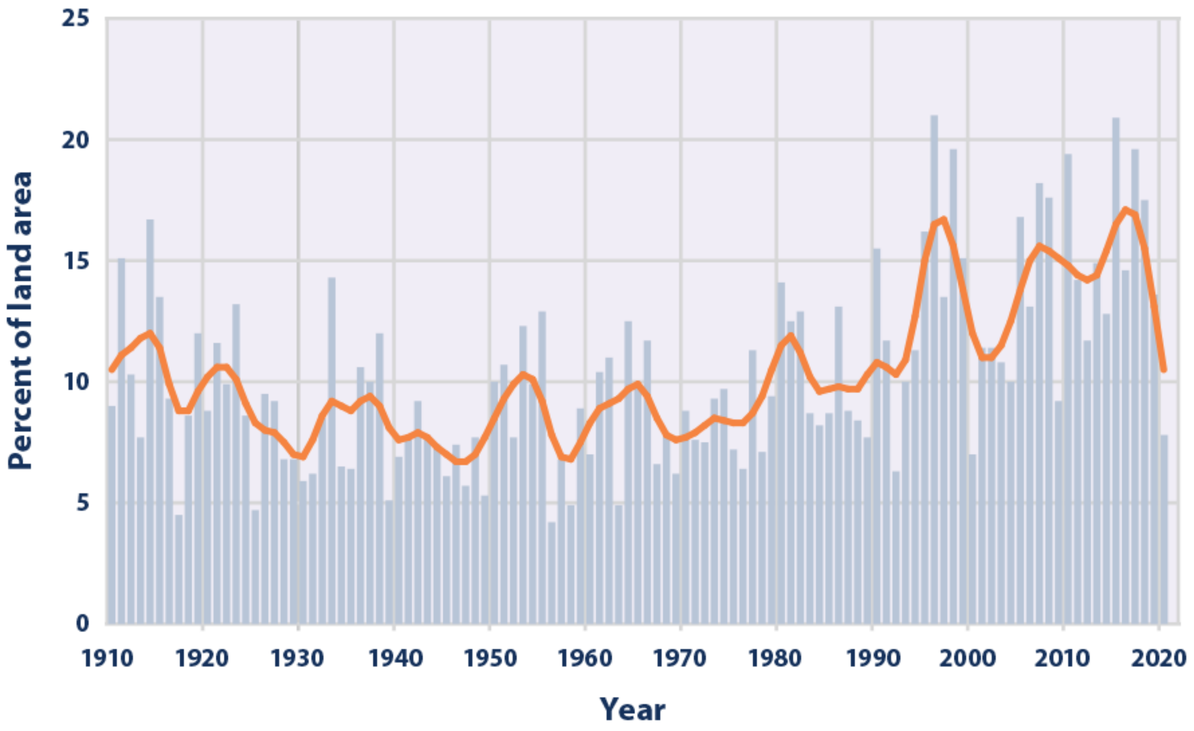


Raum-zeitliche Variabilität



Niederschlag und Klimawandel

Allgemeine Tendenzen



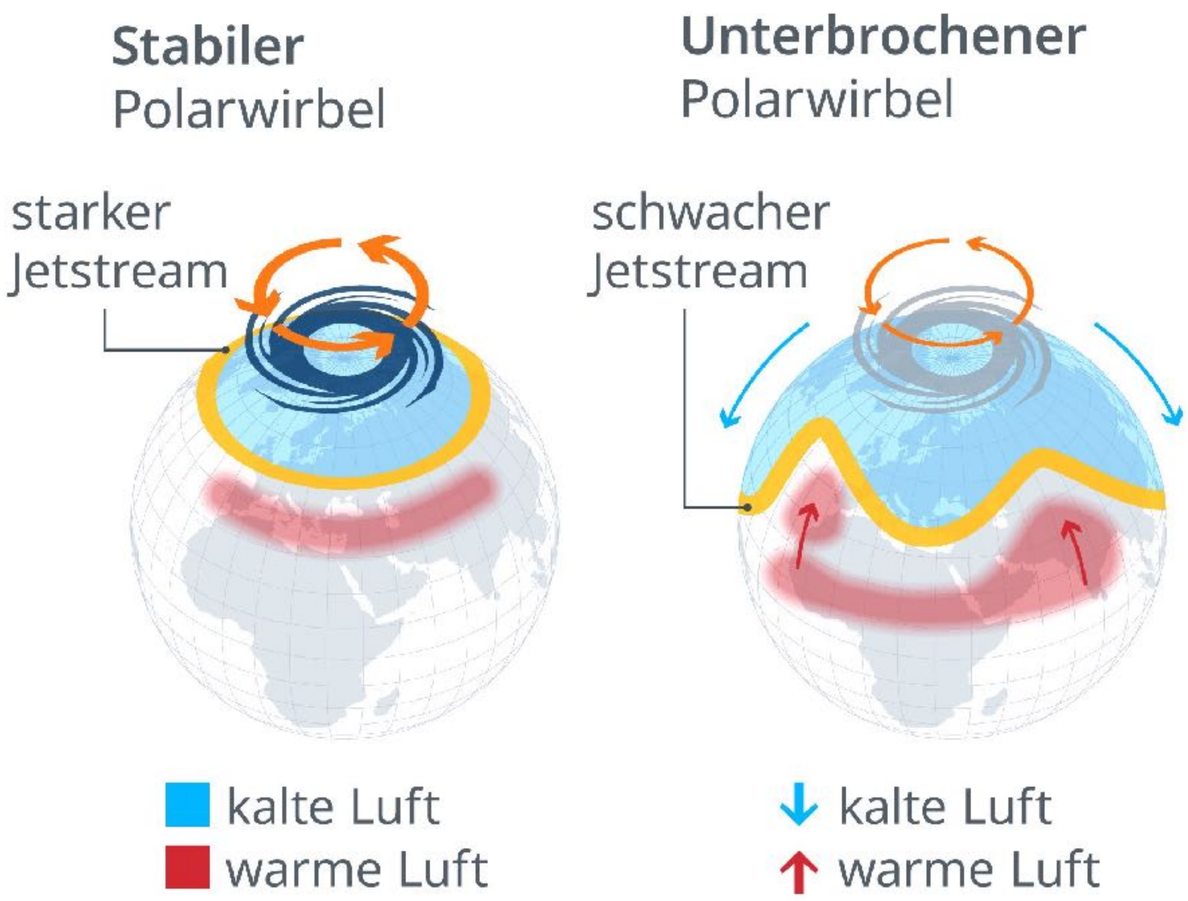
Extreme One-Day Precipitation Events in the Contiguous 48 States, 1910–2020
NOAA, https://www.epa.gov/climate-indicators/climate-change-indicators-heavy-precipitation

Wärmere Atmosphäre

- kann mehr Wasser aufnehmen
- Höhe des Kondensationsniveau erhöht sich
- seltenere Niederschläge
- höhere Intensitäten
- insg. leichte Zunahme der Gesamt-Regenmenge

Niederschlag und Klimawandel

der Motor unseres Wetters schwächt sich ab

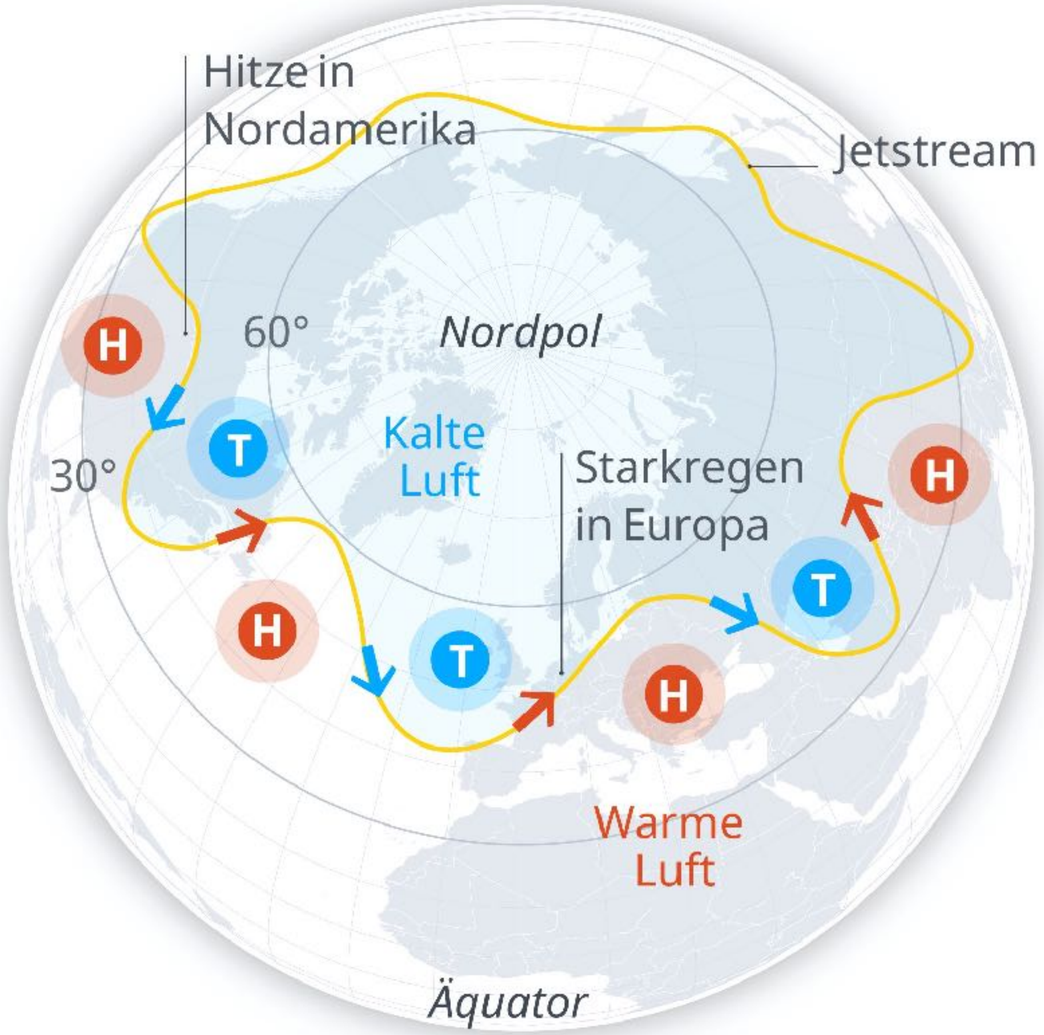


Jetstream

- Energie aus Temperaturdifferenz Arktis - Tropen
- stärkere Erwärmung der Arktis → kleiners ΔT
- schwacher Jet → stärkere Meander & Erhöhung Extremwetterlagen

Niederschlag und Klimawandel

der Motor unseres Wetters schwächt sich ab

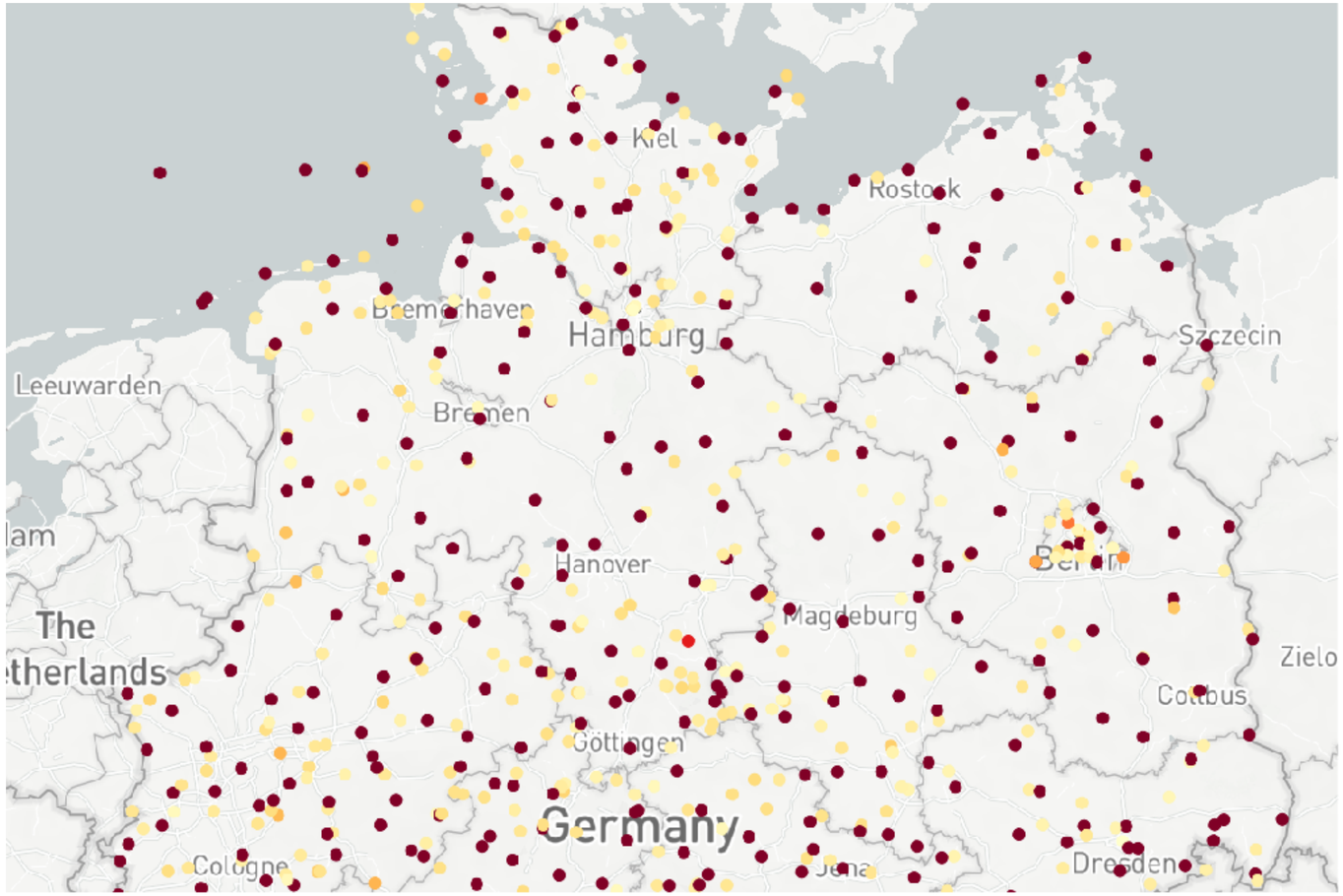


Jetstream

- Energie aus Temperaturdifferenz Arktis - Tropen
- stärkere Erwärmung der Arktis → kleiners ΔT
- schwacher Jet → stärkere Meander & Erhöhung Extremwetterlagen

Niederschlag als hydrologischer Input

$\Delta S = \mathbf{P} - Q - ET$



Aktive DWD Stationen (Norddeutschland)

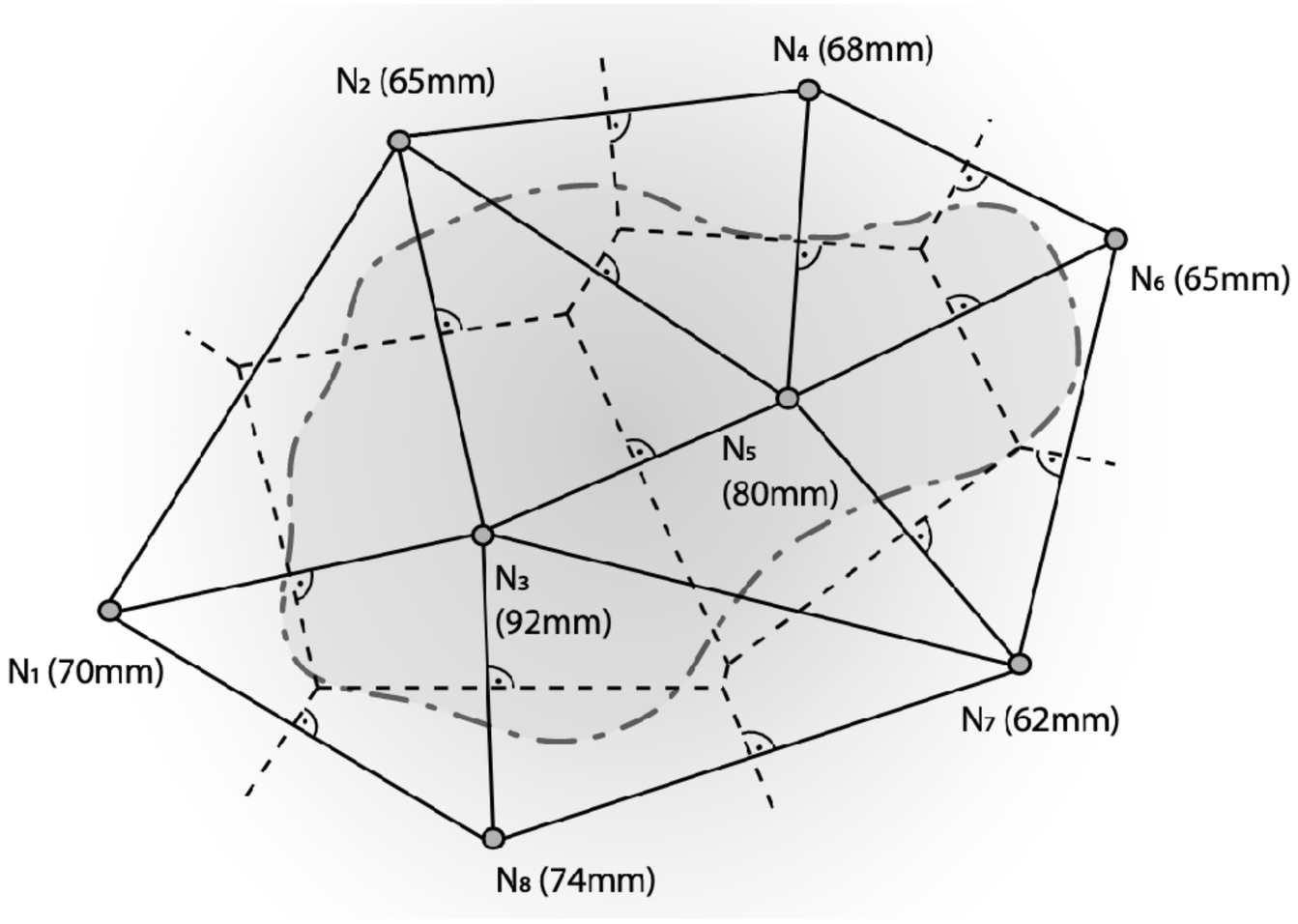
Problem

- Niederschlag ist raum-zeitlich sehr variabel
- Begrenzte Zahl an Messstationen (DWD)
- plus etliche Hobby-Stationen

https://www.wunderground.com/wundermap

Niederschlag als hydrologischer Input

$\Delta S = \mathbf{P} - Q - ET$

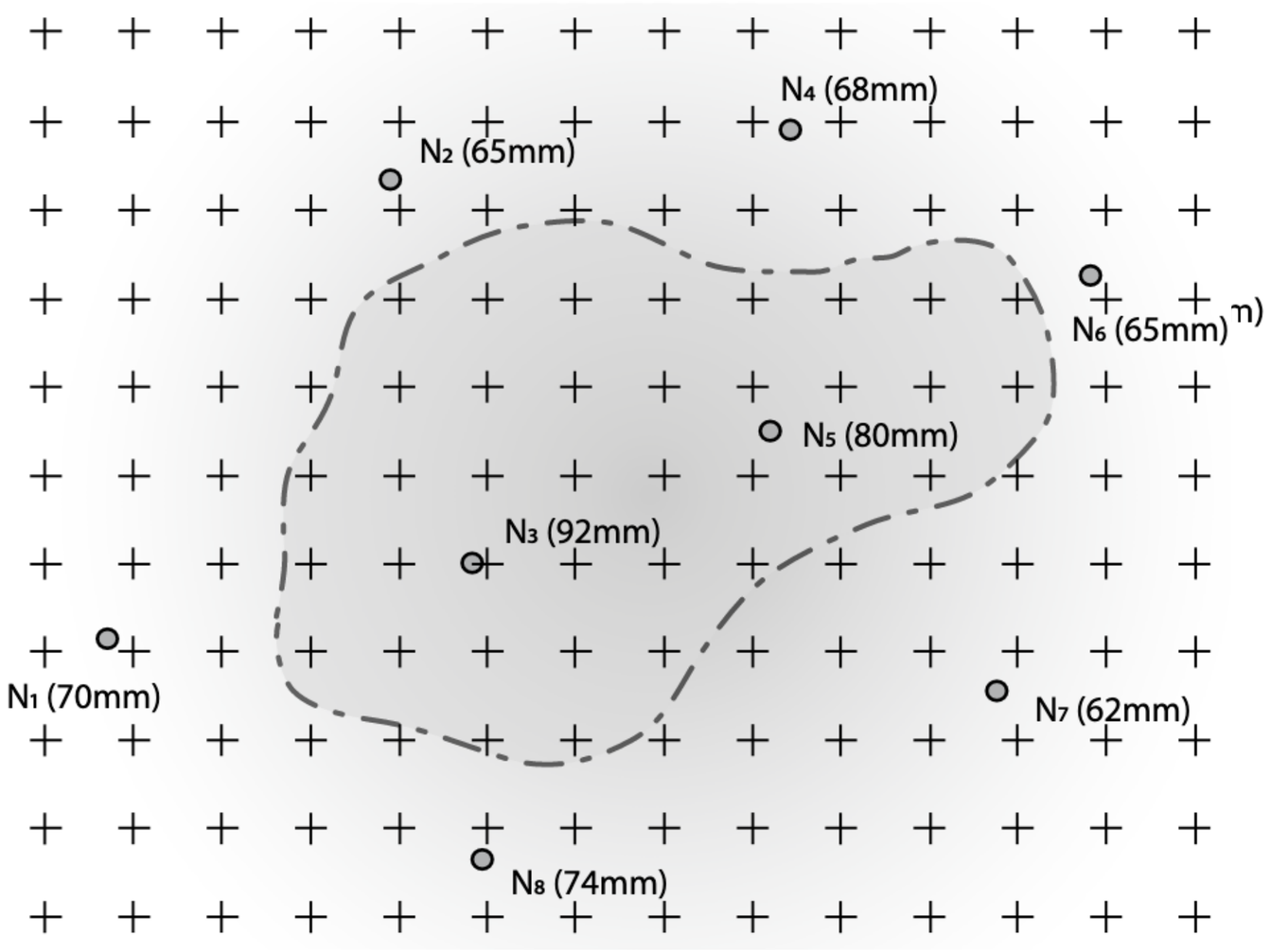


Lösung

- Räumliche (und ggf. zeitliche) Interpolation
- Thiessen Polygone

Niederschlag als hydrologischer Input

$\Delta S = \mathbf{P} - Q - ET$

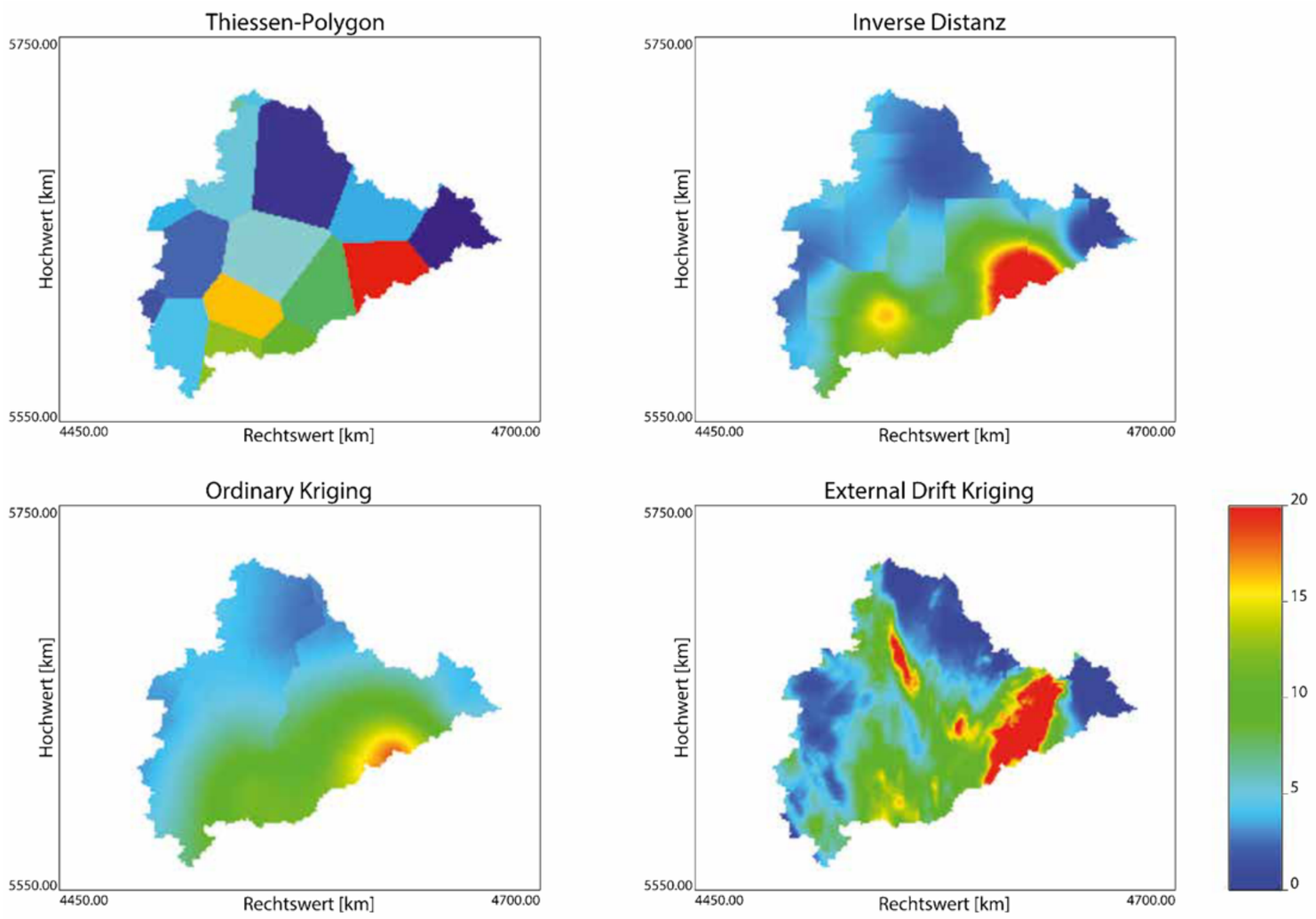


Lösung

- Räumliche (und ggf. zeitliche) Interpolation
- Thiessen Polygone
- inverse Distanz Gewichtung

Niederschlag als hydrologischer Input

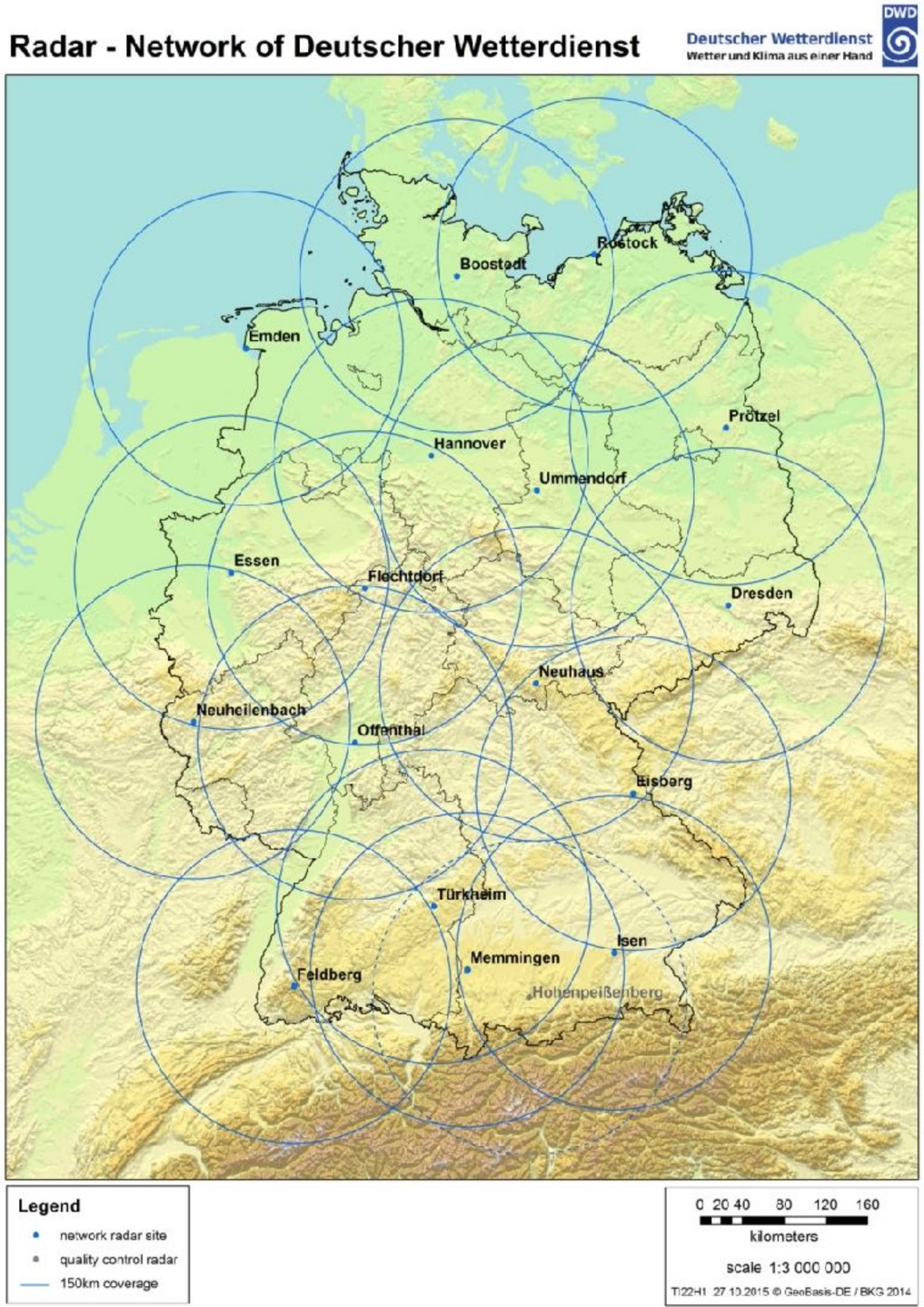
$\Delta S = \mathbf{P} - Q - ET$

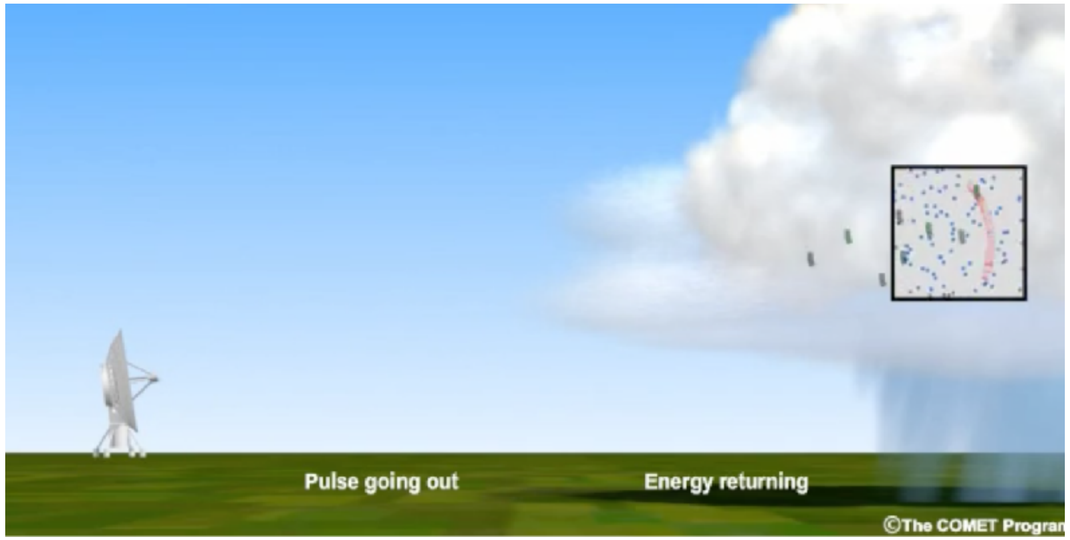


Lösung

- Räumliche (und ggf. zeitliche) Interpolation
- Thiessen Polygone
- inverse Distanz Gewichtung
- Geostatistische Interpolation (zB. Kriging)

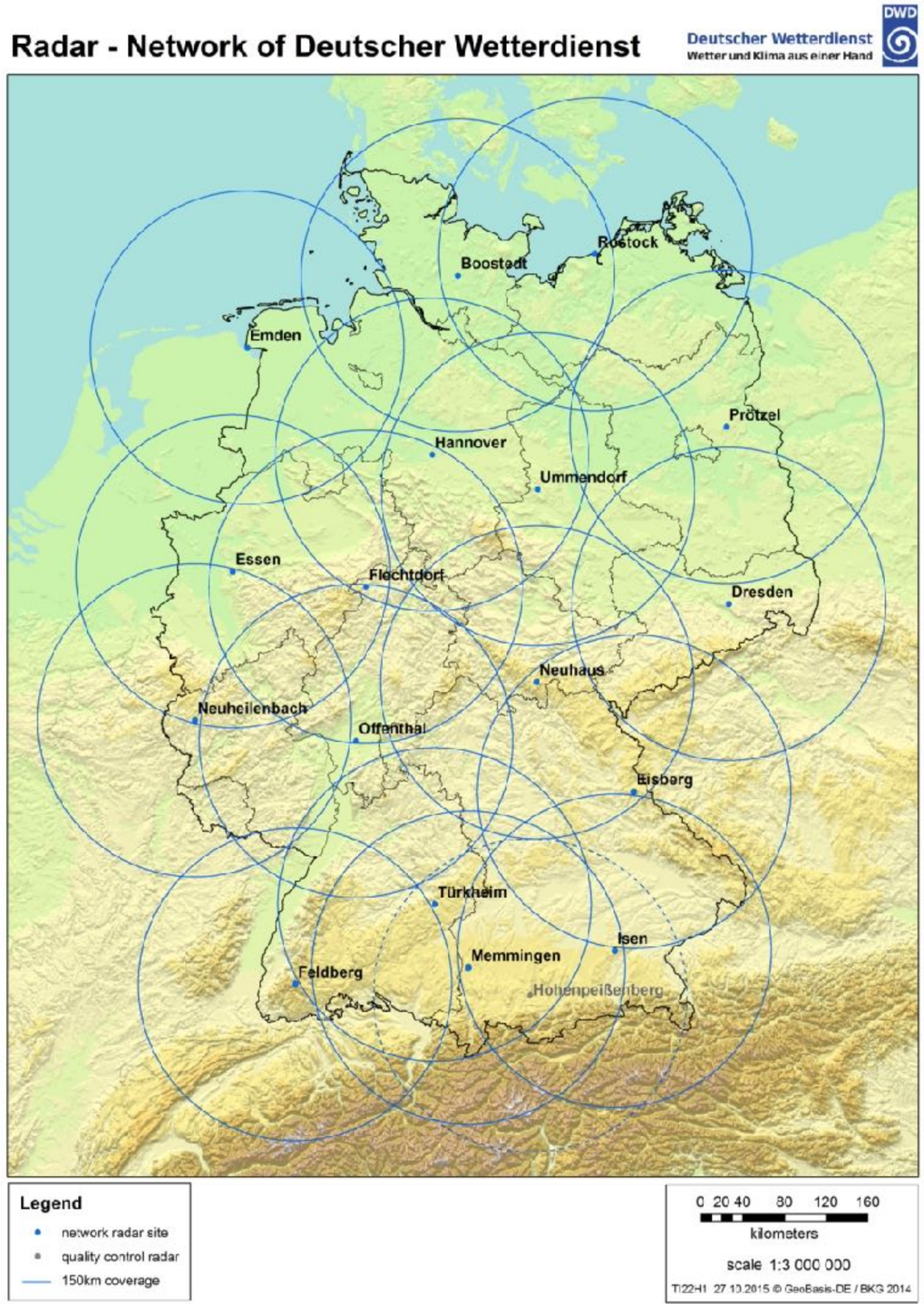
Regen-Radar



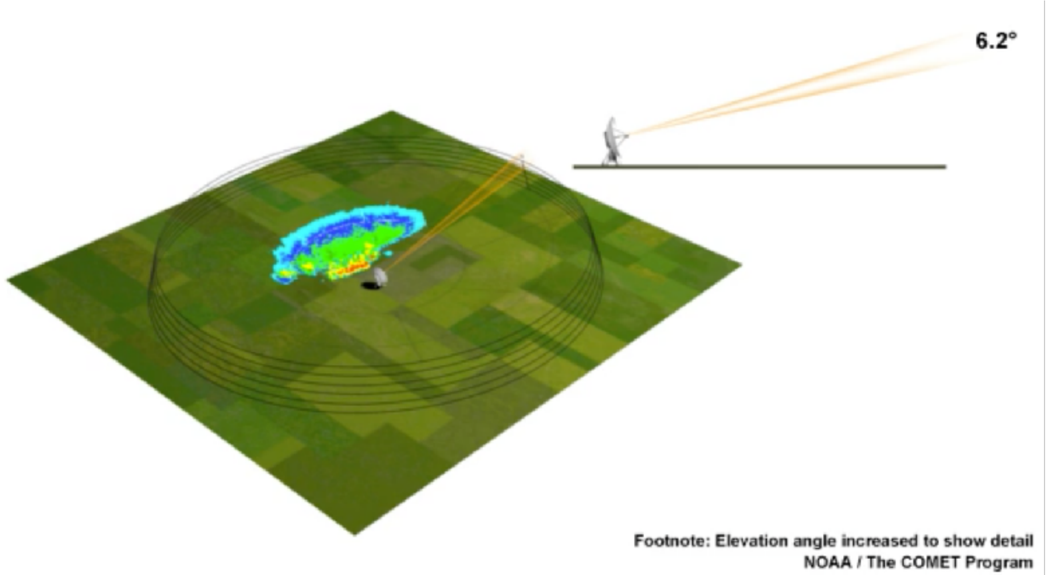


Tolles Tool mit vielen Einschränkungen

- Interpretation der Reflexionen
- Winkel, Auflösung, Abschattung
- andere Gründe für Reflexionen



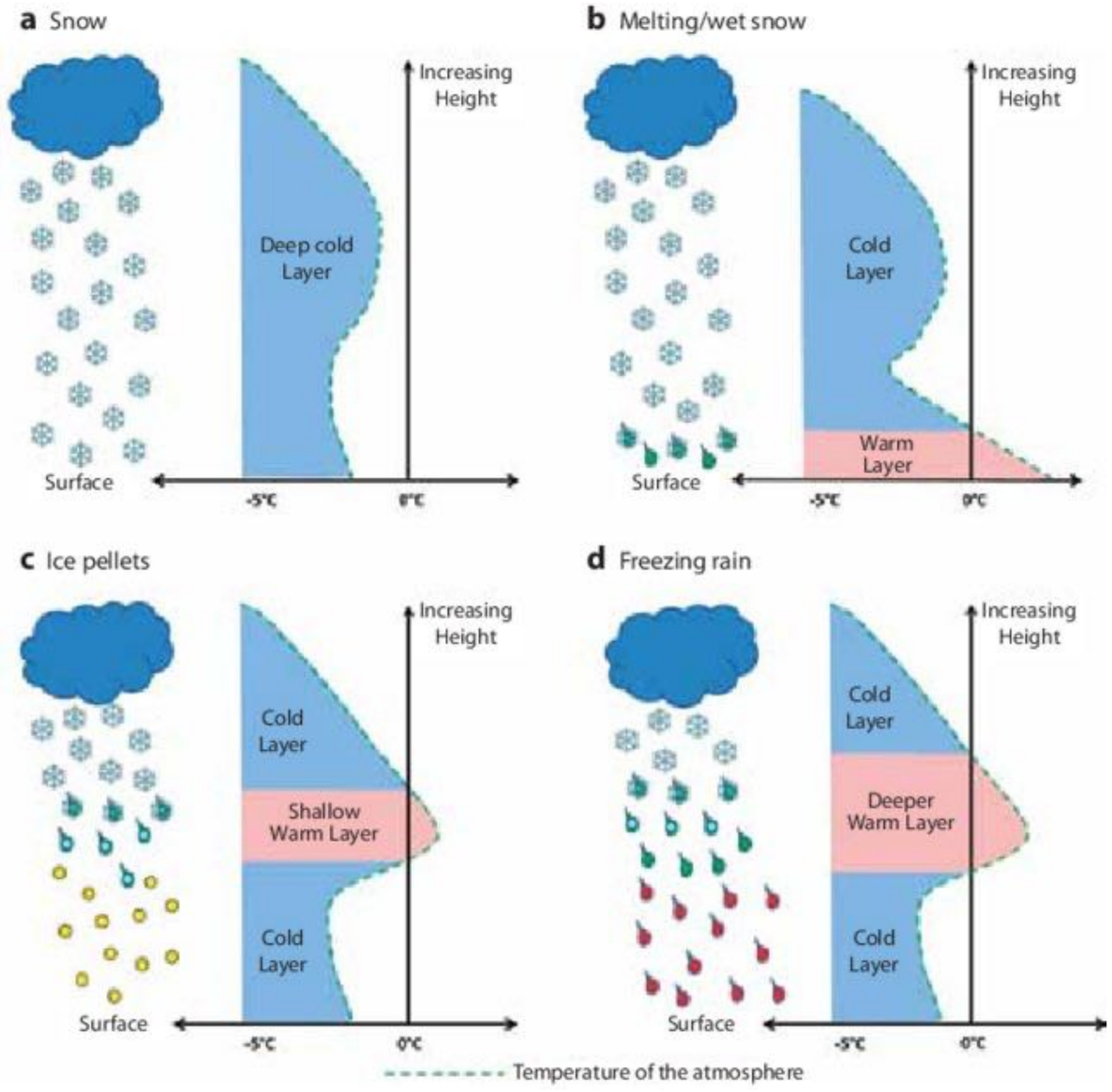
Regen-Radar



Tolles Tool mit vielen Einschränkungen

- Interpretation der Reflexionen
- Winkel, Auflösung, Abschattung
- andere Gründe für Reflexionen

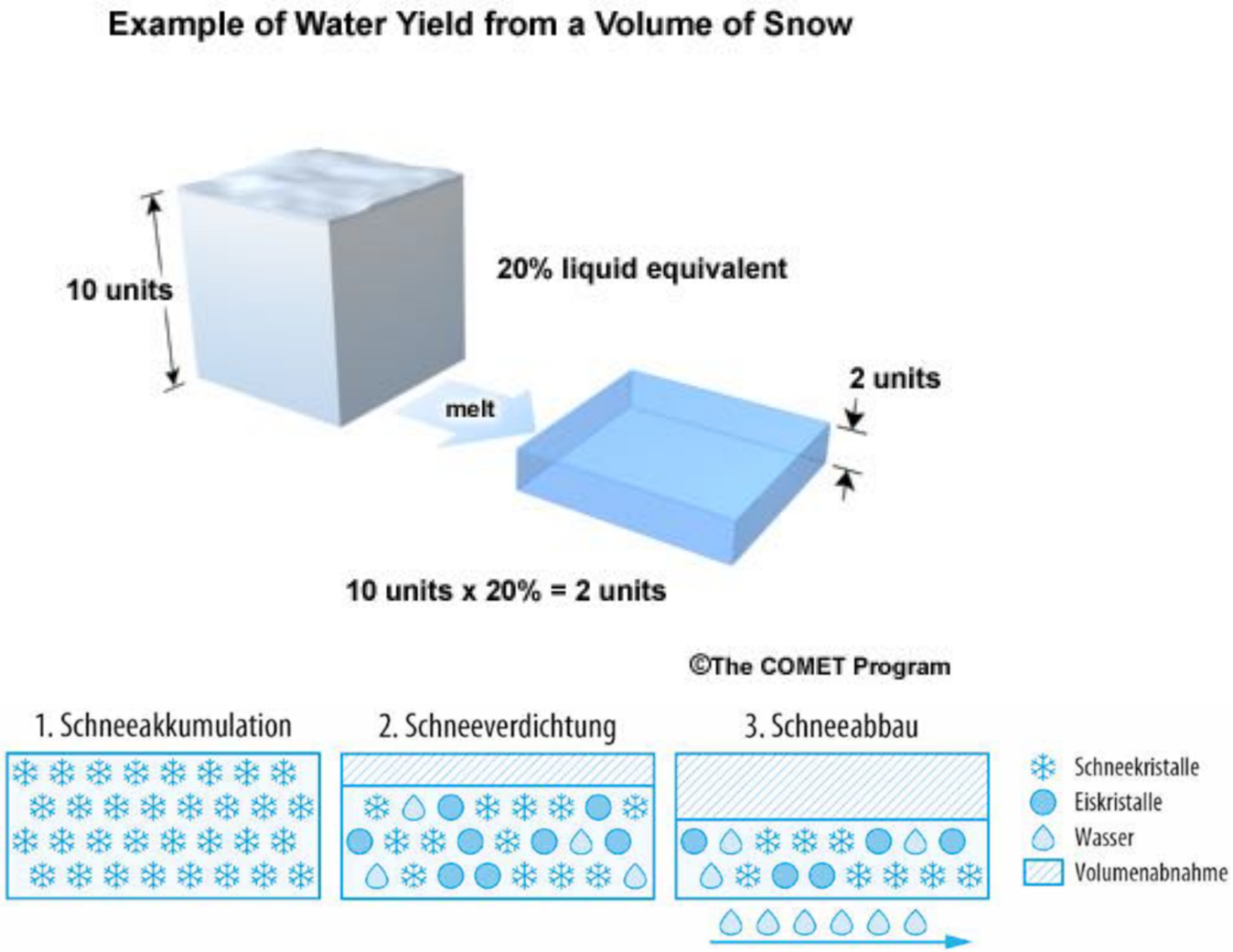
Anderer Niederschlag



In unseren Breiten startet Regen oft als Schnee

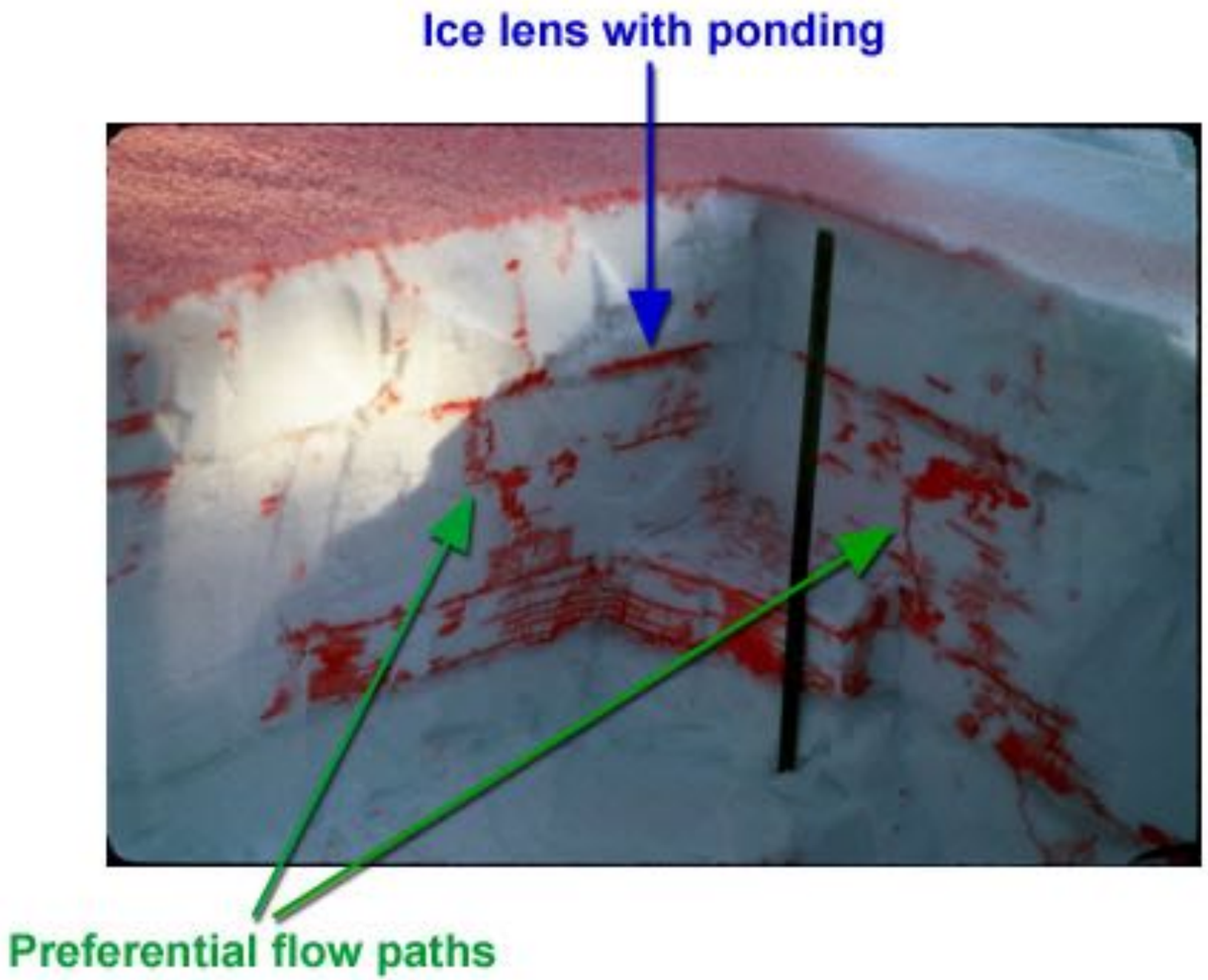
- aber nur selten gibt es die passende Kombination aus
- durchgängig kalter Troposphäre
- nicht zu kalt, da sonst zu trocken
- kalter Boden

Schnee und Schneeschmelze



- Volumen Schnee zu Wasser ca. 5:1
- Schmelzprozess oft selbstverstärkend
- Wärmeeintrag durch Regen…

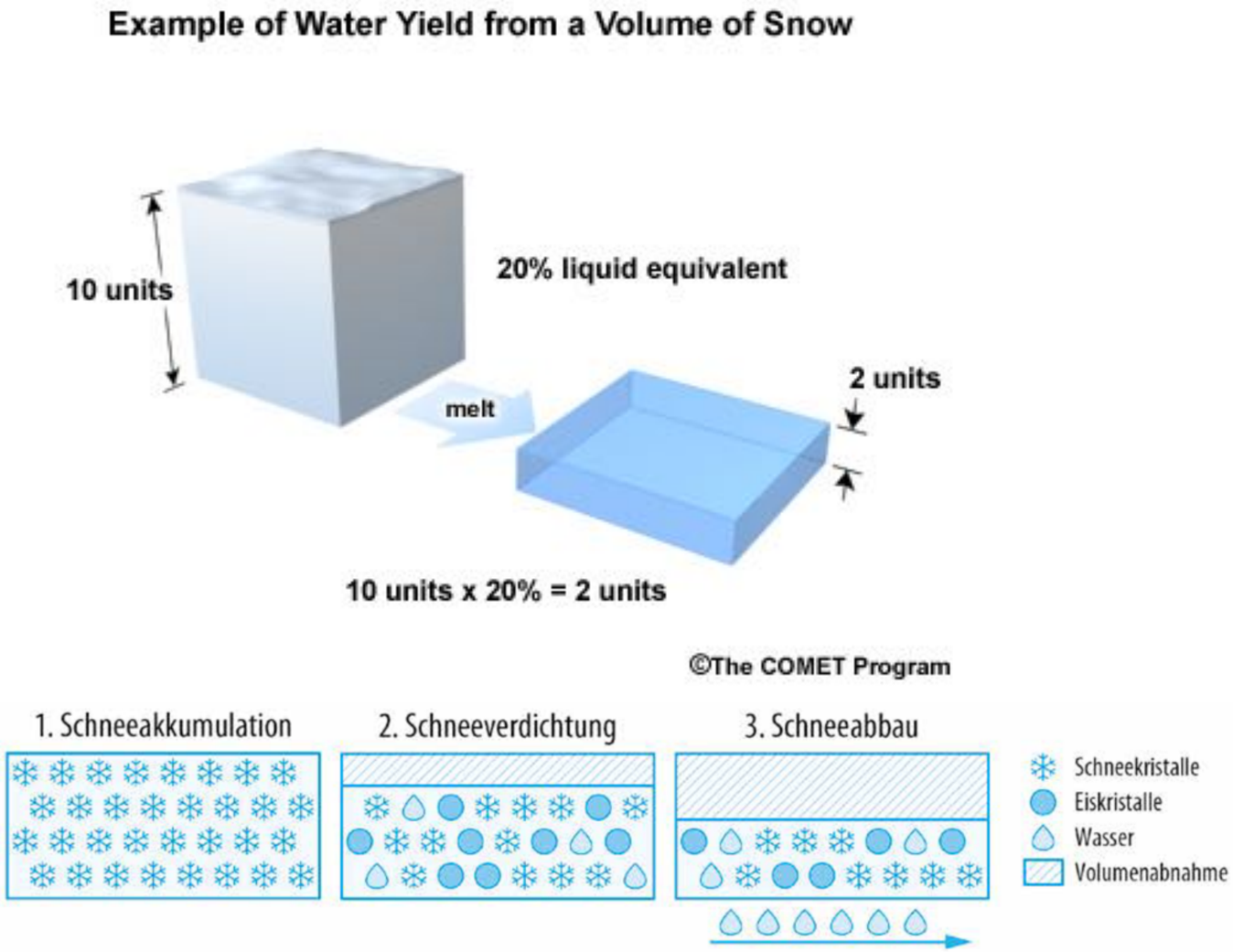
Schnee und Schneeschmelze



Jeff Dozier / UCSB / The COMET Program

- Volumen Schnee zu Wasser ca. 5:1
- Schmelzprozess oft selbstverstärkend
- Wärmeeintrag durch Regen…

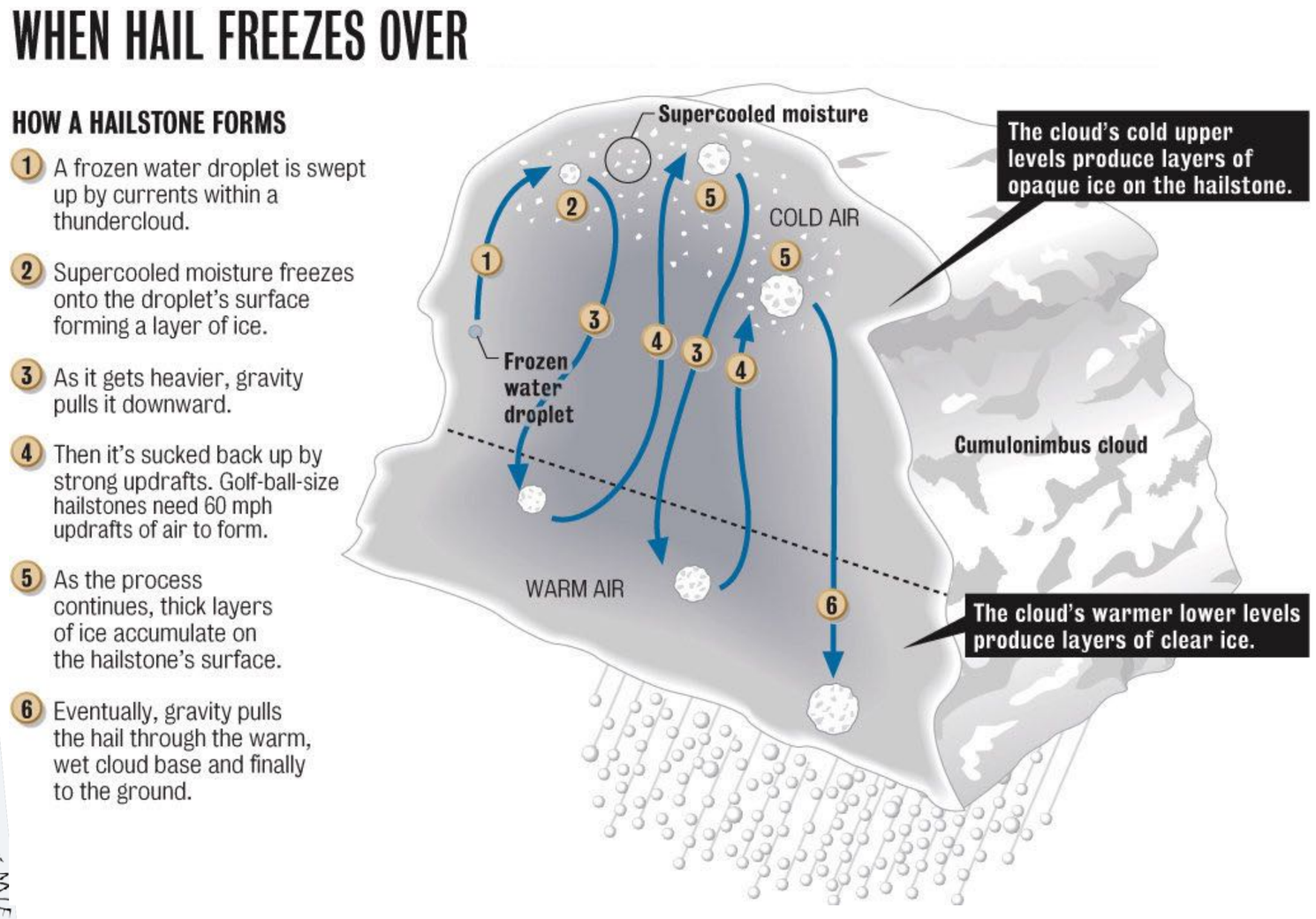
Schnee und Schneeschmelze



- Volumen Schnee zu Wasser ca. 5:1
- Schmelzprozess oft selbstverstärkend
- Wärmeeintrag durch Regen…

Hagel

siehe auch Kaltfront Gewitter

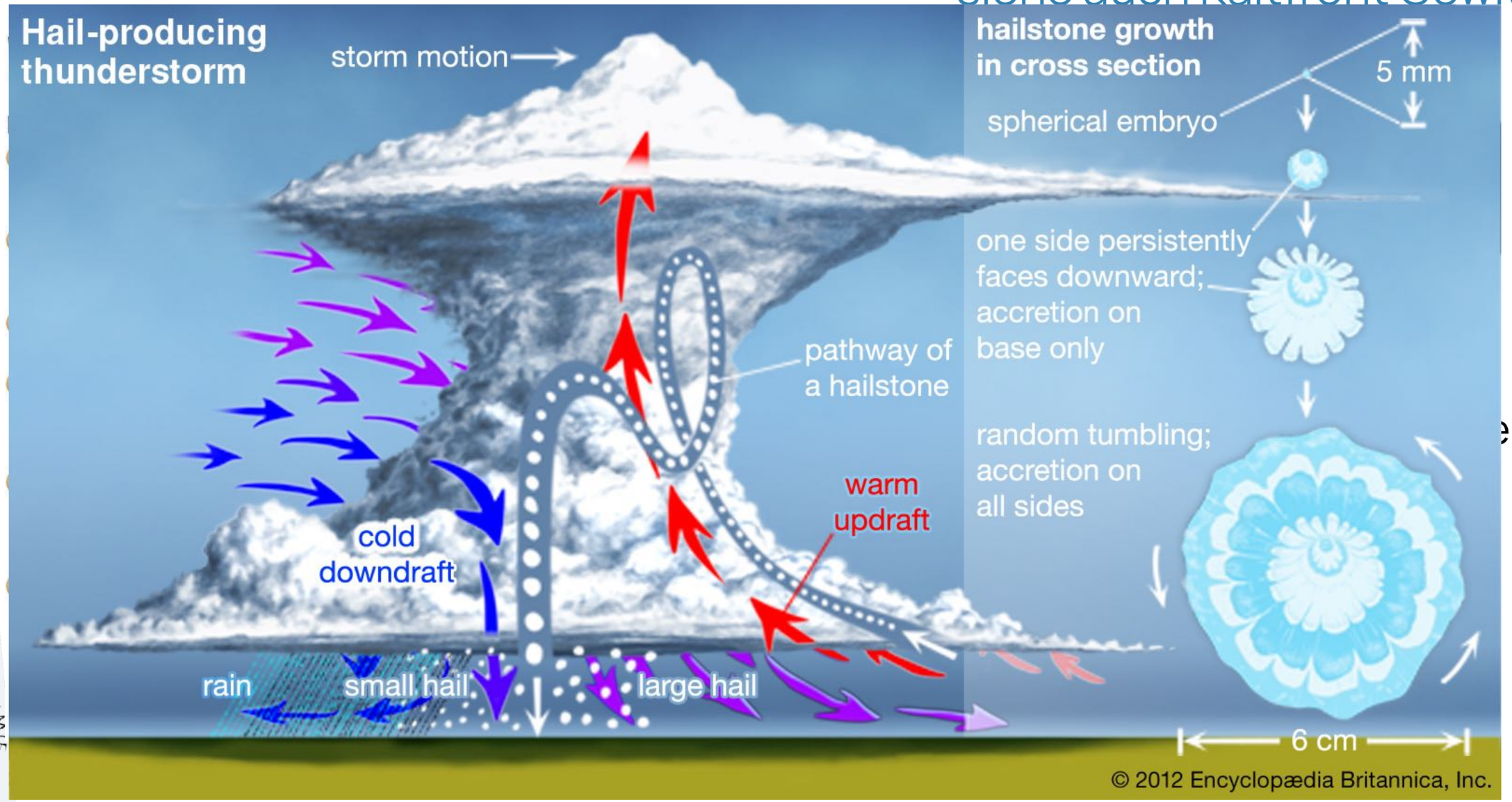


Cumulonimbus

- über Gefrierniveau hinweg
- kalt über warm und feucht
- starke Vertikalwinde

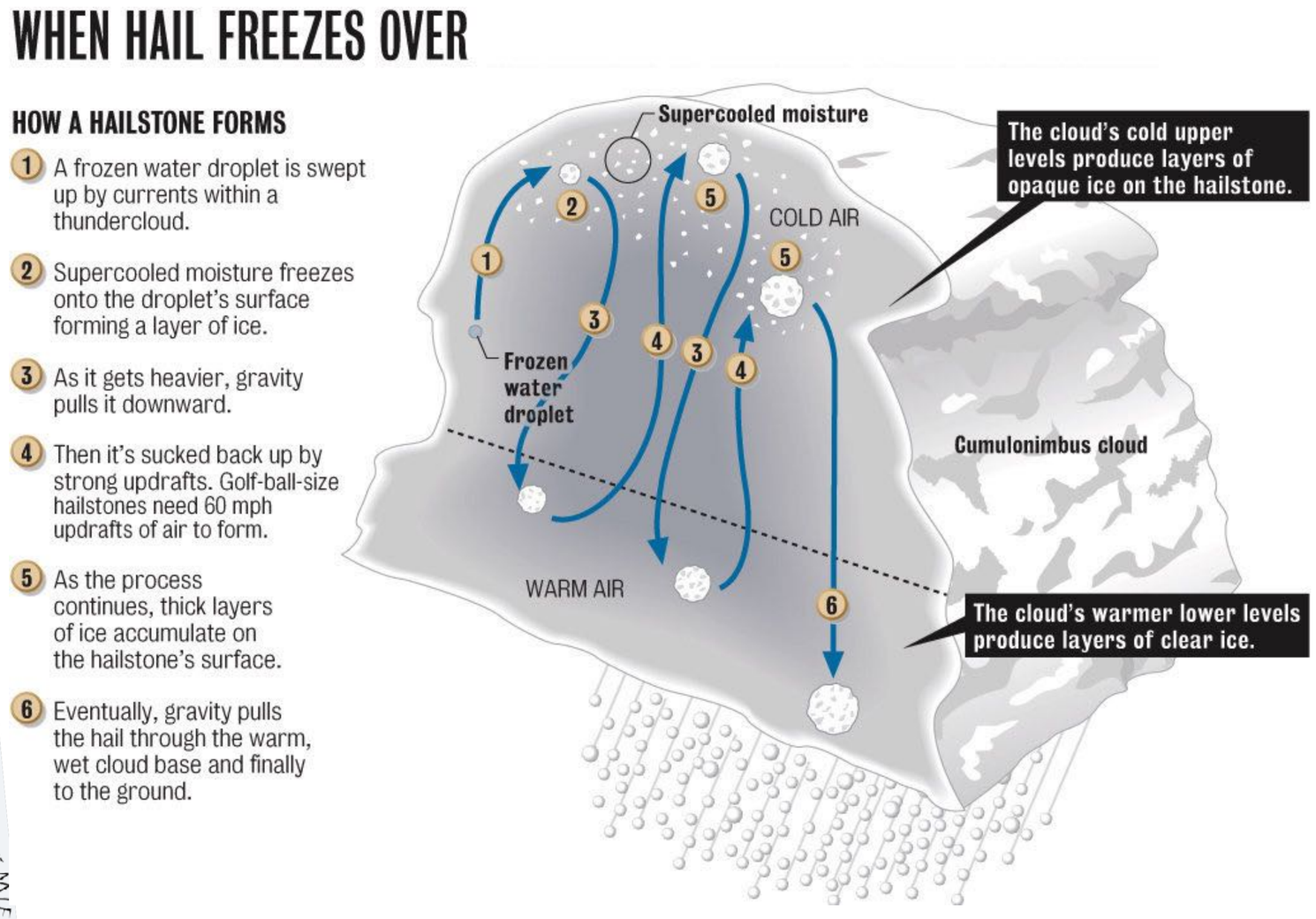
Hagel

siehe auch Kaltfront Gewitter



Hagel

siehe auch Kaltfront Gewitter



Cumulonimbus

- über Gefrierniveau hinweg
- kalt über warm und feucht
- starke Vertikalwinde

Niederschlag und Hydrologie

Hauptzutat für Hochwasser: Luft mit hoher Feuchte

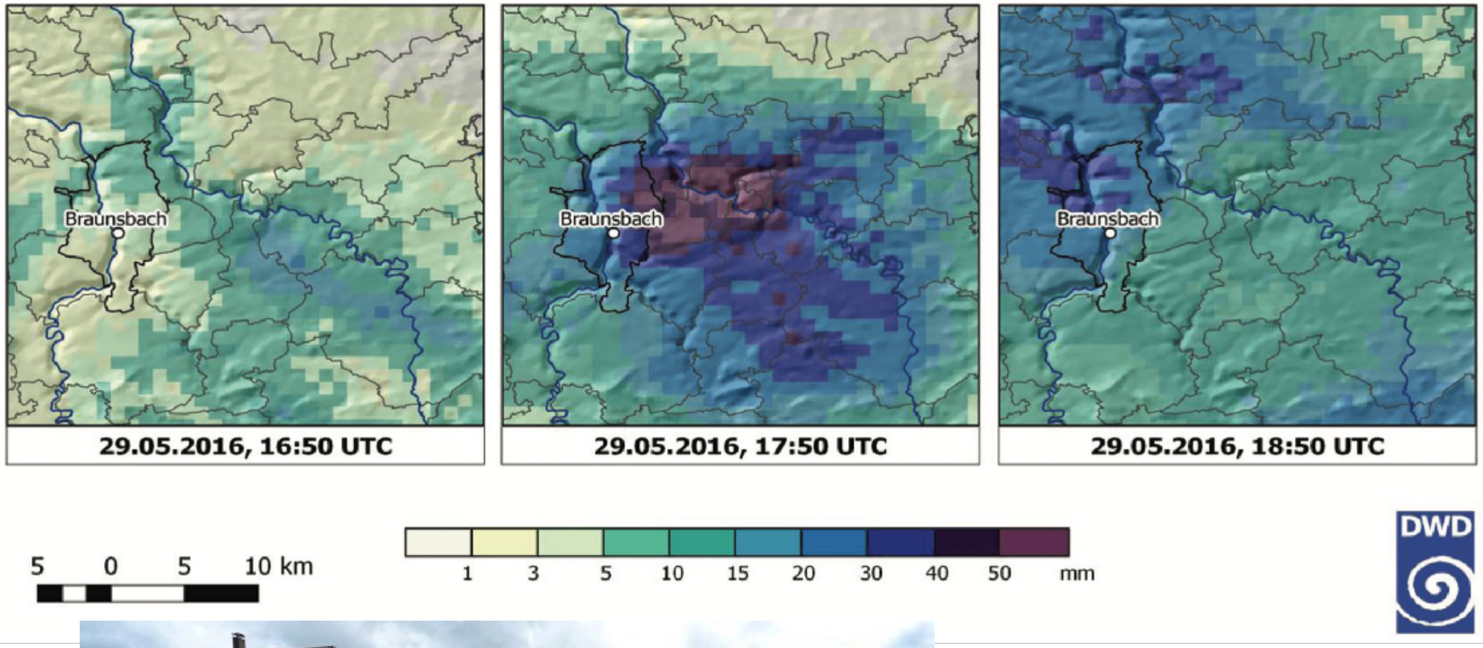
stratiforme Hochwasserlage

- langanhaltender Niederschlag (Dauerregen)
- Stauen an einem Ort (orographisch, aufgrund der Konstellation der Druckgebiete)

konvektive Hochwasserlage

- kurzer Niederschlag mit extremen Intensitäten (Gewitter)
- geringe Verlagerungsdynamik bzw. mehrere Zellen hinter einander

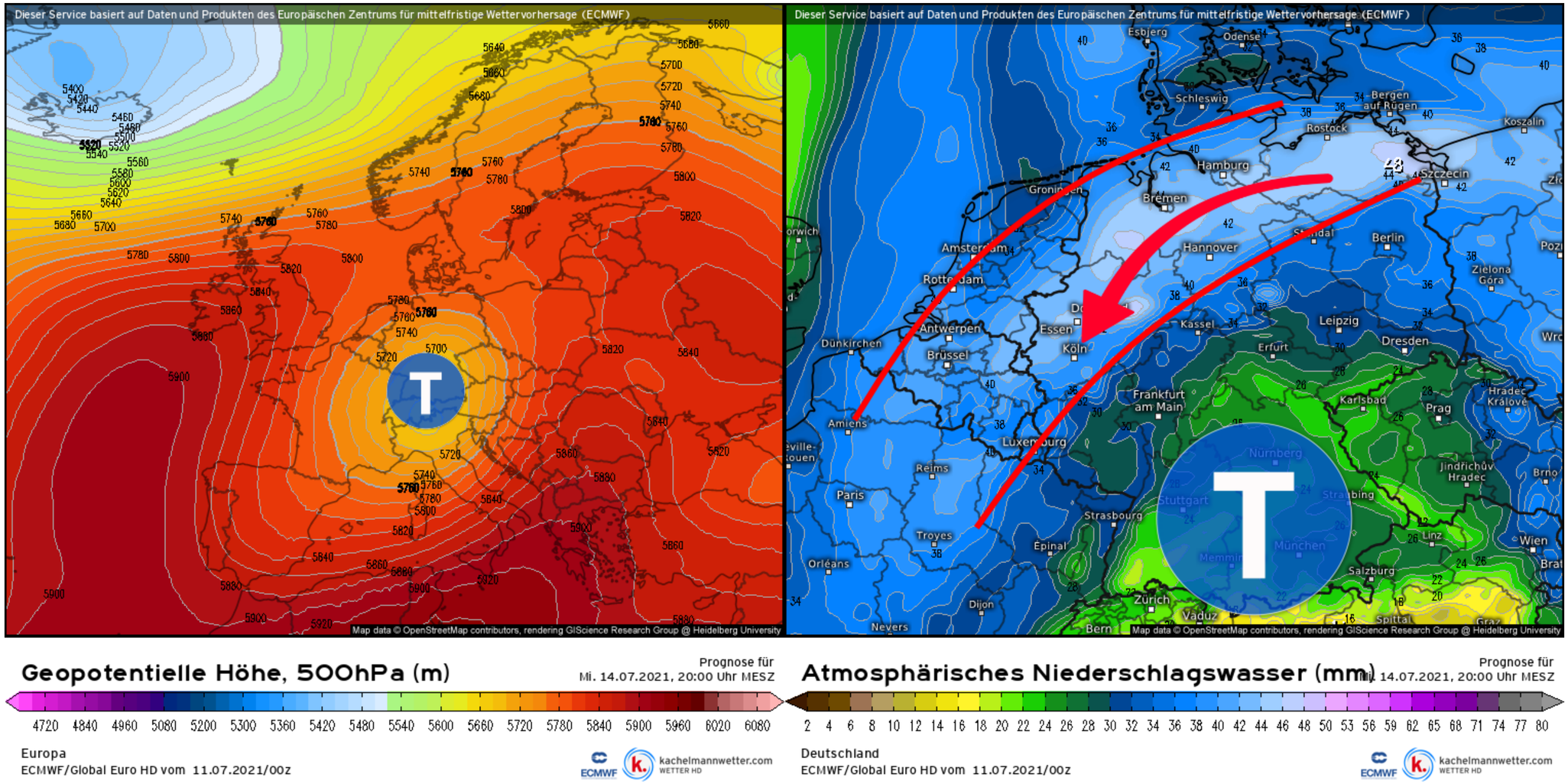
Braunsbach 2016



- hier vor allem Zusammentreffen von Starkregenzelle, langsamer Verlagerung, kleines Einzugsgebiet und genauer Überlappung der Gebiete

Bronstert et al.: Die Sturzflut von Braunsbach, HyWa (2017) http://dx.doi.org/10.5675/HyWa_2017,3_1

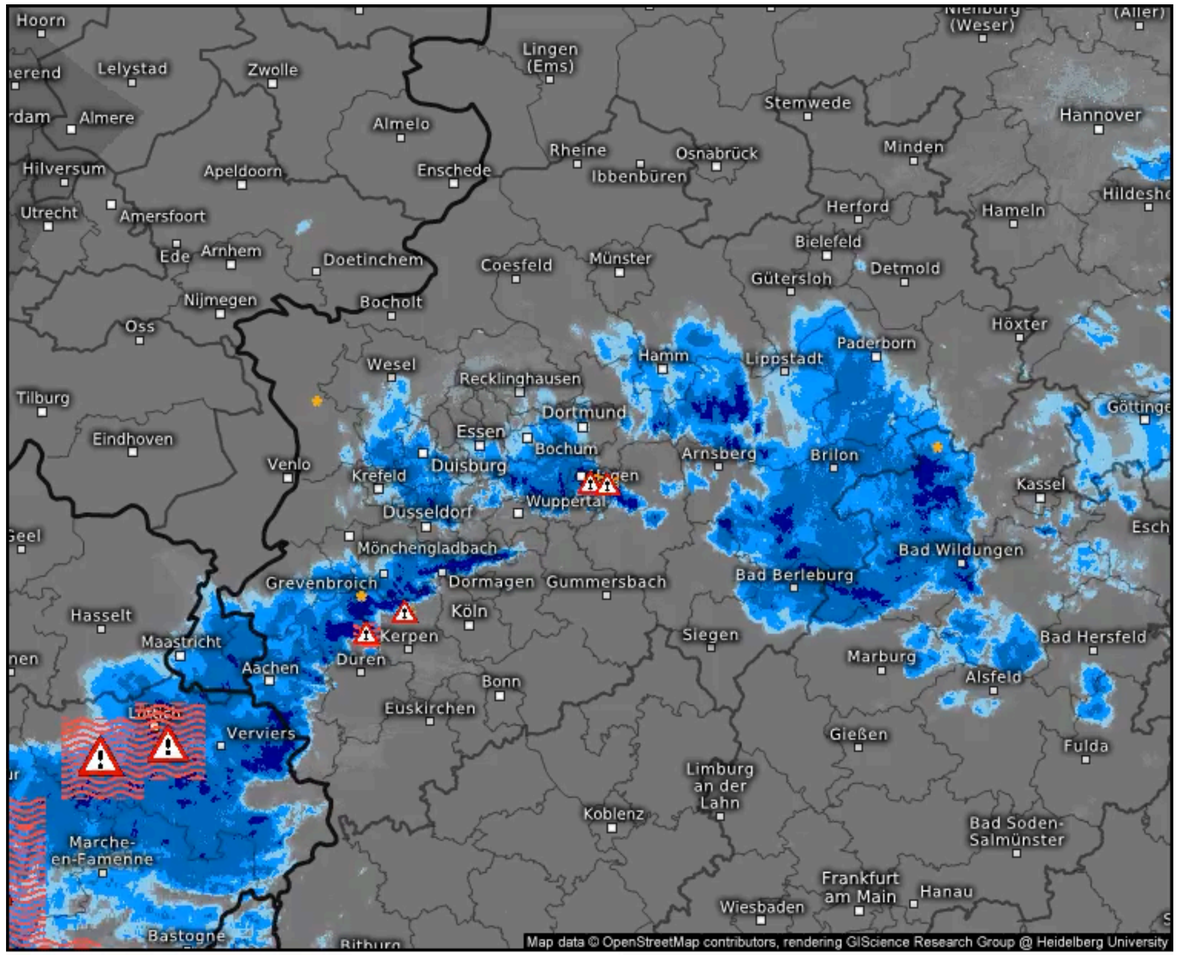
Ahr, Erft und Belgien 2021



https://wetterkanal.kachelmannwetter.com/meteorologische-chronologie-der-flutkatastrophe-im-westen-deutschlands-im-juli-2021/

Ahr, Erft und Belgien 2021

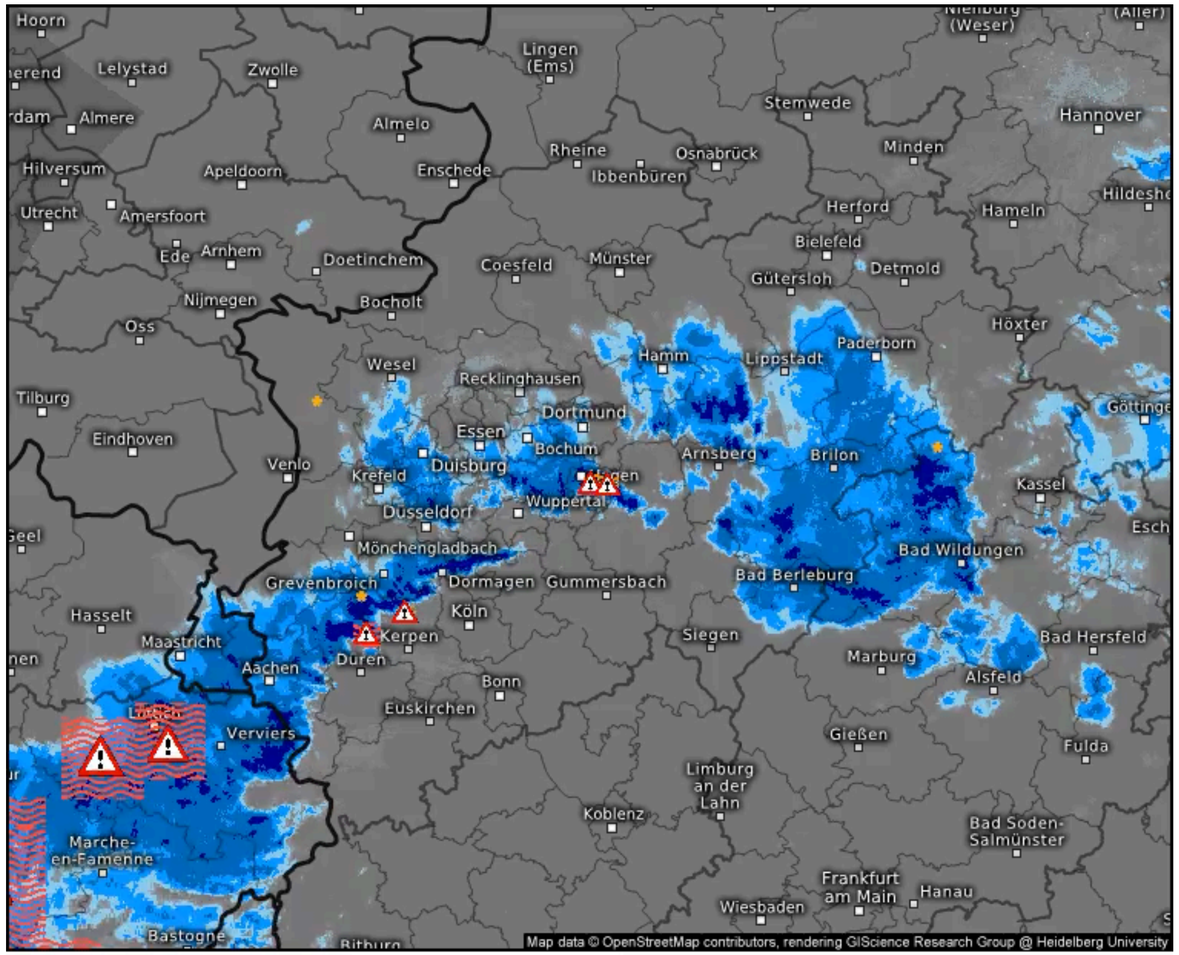
- hier vor allem Zusammentreffen von einer Kette von Starkregenzellen, Einkeilung zwischen Druckgebieten, kleine Einzugsgebiete mit sehr geringer Retentention (Wasserrückhalt in der Landschaft)



uli-2021/

Ahr, Erft und Belgien 2021

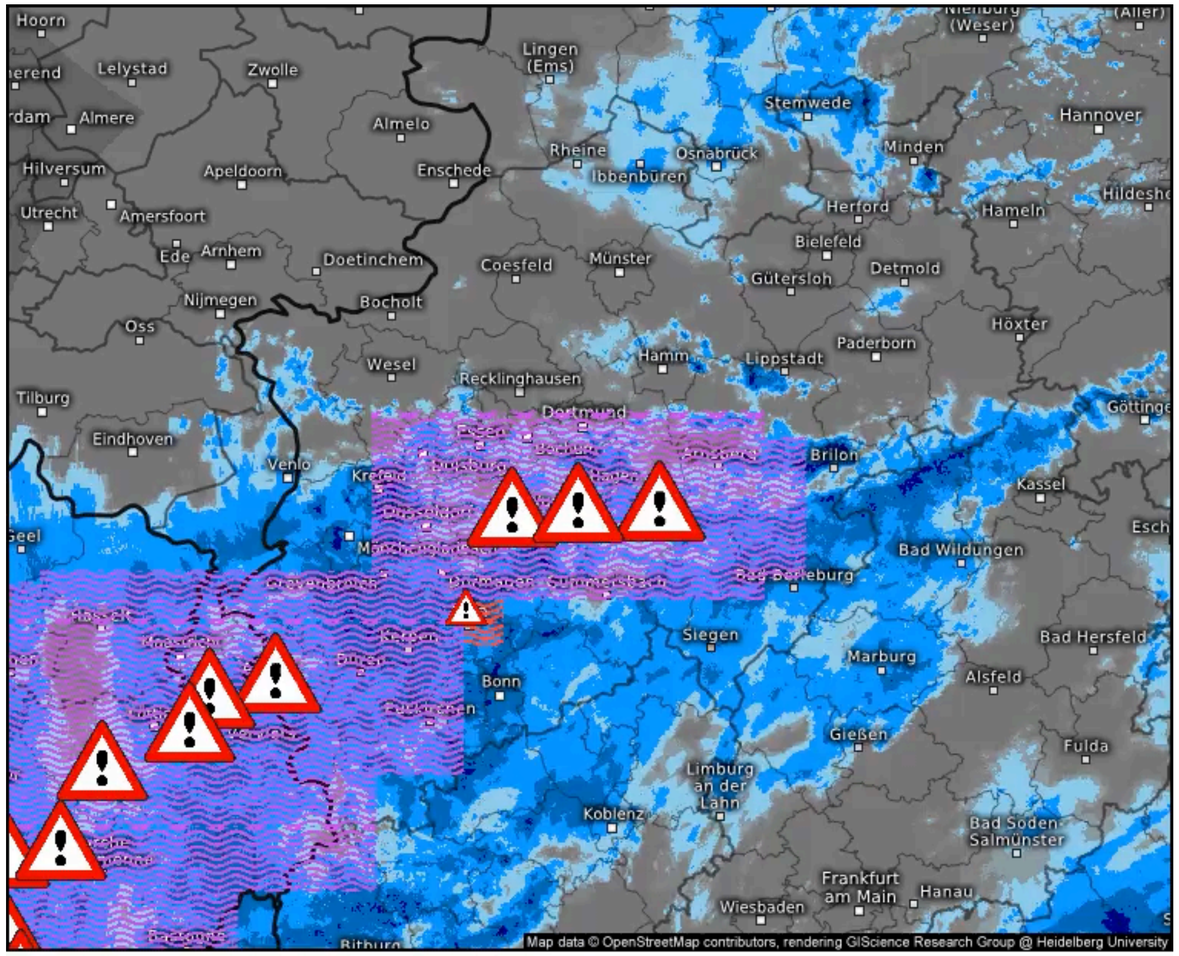
- hier vor allem Zusammentreffen von einer Kette von Starkregenzellen, Einkeilung zwischen Druckgebieten, kleine Einzugsgebiete mit sehr geringer Retentention (Wasserrückhalt in der Landschaft)



uli-2021/

Ahr, Erft und Belgien 2021

- hier vor allem Zusammentreffen von einer Kette von Starkregenzellen, Einkeilung zwischen Druckgebieten, kleine Einzugsgebiete mit sehr geringer Retentention (Wasserrückhalt in der Landschaft)



Sturzflut / Flash Flood

Mi. 14.07.2021, 12:00 Uhr MESZ

In diesem Gebiet besteht **mäßige Überflutungsgefahr**

In diesem Gebiet besteht **große Überflutungsgefahr**

In diesem Gebiet besteht **extreme Überflutungsgefahr**

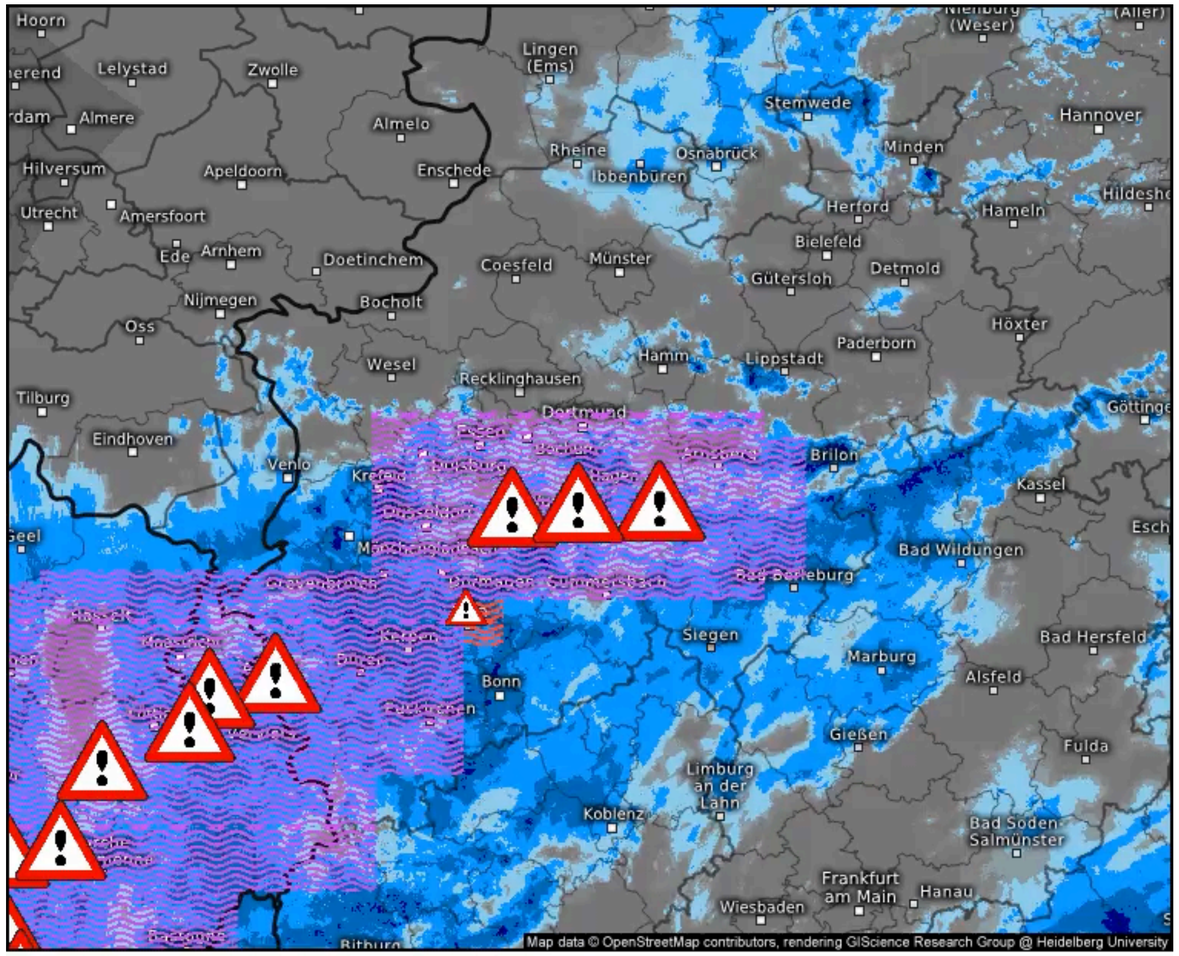
https://wetterkanal.kachelmannwetter.com/meteorologische-chronologie-der-flutkatastrophe-im-westen-deutschlands-im-juli-2021/

Nordrhein-Westfalen

kachelmannwetter.com WETTER HD

Ahr, Erft und Belgien 2021

- hier vor allem Zusammentreffen von einer Kette von Starkregenzellen, Einkeilung zwischen Druckgebieten, kleine Einzugsgebiete mit sehr geringer Retentention (Wasserrückhalt in der Landschaft)



Sturzflut / Flash Flood

Mi. 14.07.2021, 12:00 Uhr MESZ

In diesem Gebiet besteht **mäßige Überflutungsgefahr**

In diesem Gebiet besteht **große Überflutungsgefahr**

In diesem Gebiet besteht **extreme Überflutungsgefahr**

https://wetterkanal.kachelmannwetter.com/meteorologische-chronologie-der-flutkatastrophe-im-westen-deutschlands-im-juli-2021/

Nordrhein-Westfalen

kachelmannwetter.com WETTER HD