



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement des Innern EDI
Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz

AtupriFit Wanderung

Meteorologie

Kelvin-Helmholtz-Wellen, Foto: U. Graf

Einführung – Wetter heute

Naturpark Gantrisch, 20. Oktober 2019

Urs Graf, Meteorologe MeteoSchweiz



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement des Innern EDI
Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz

AtupriFit Wanderung

Meteorologie

Kelvin-Helmholtz-Wellen, Foto: U. Graf

Einführung in die Wettervorhersage

Naturpark Gantrisch, 20. Oktober 2019

Urs Graf, Meteorologe MeteoSchweiz



Was ist Wetter?

Wetter

Aktueller (physikalischer)
Zustand der Atmosphäre



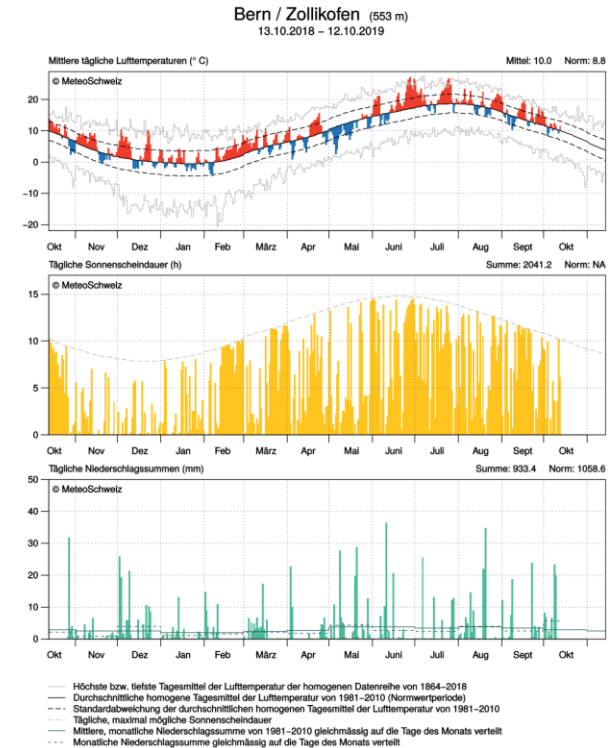
Foto: U. Graf

MeteoSchweiz

≠

Klima

Durchschnittliche Witterung
über einen längeren
Zeitraum (30 Jahre)

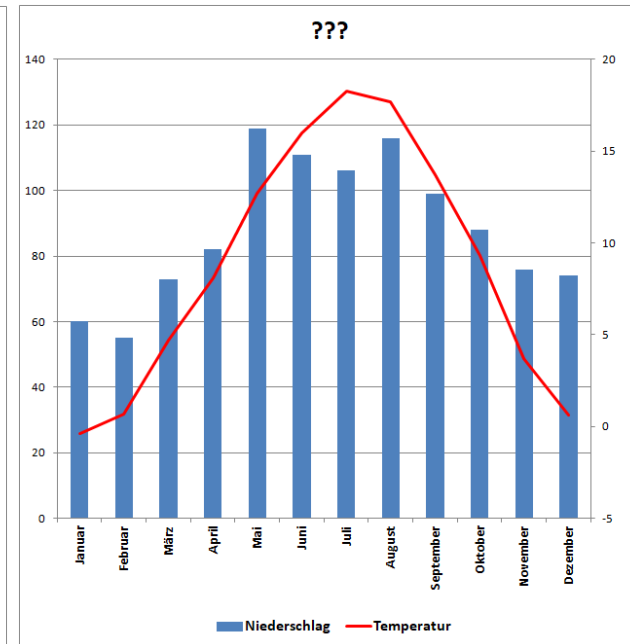
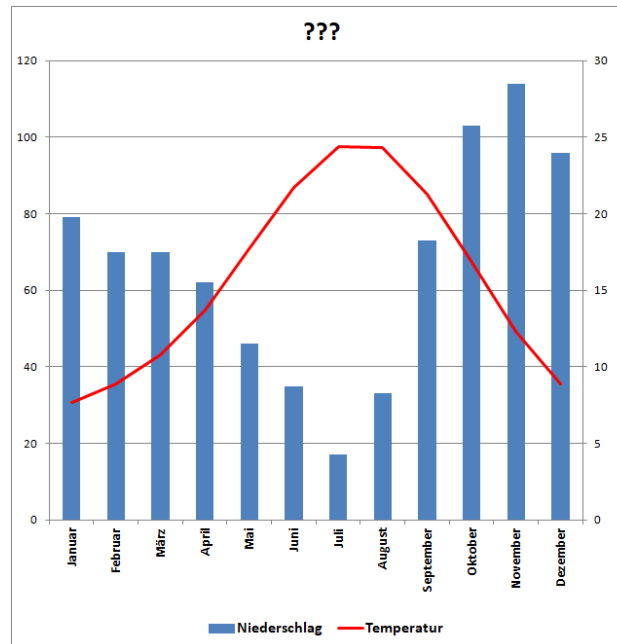
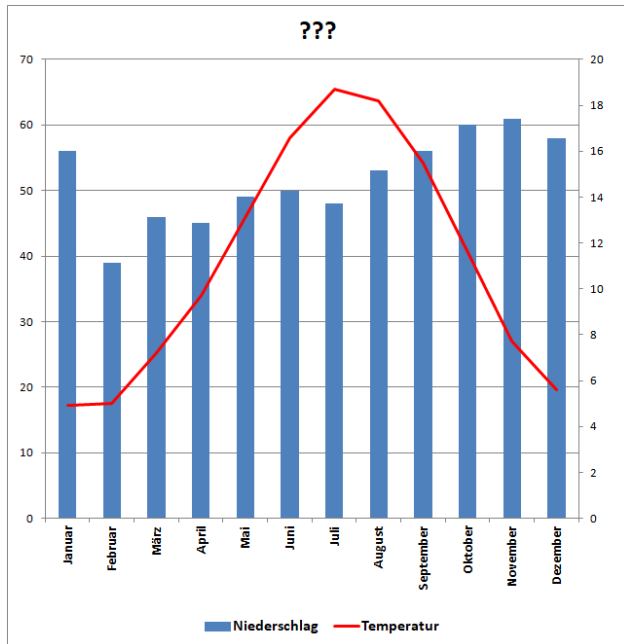


daily.evcl 2.7.9 / 13.10.2019, 09:02 UTC



Wetter vs. Klima

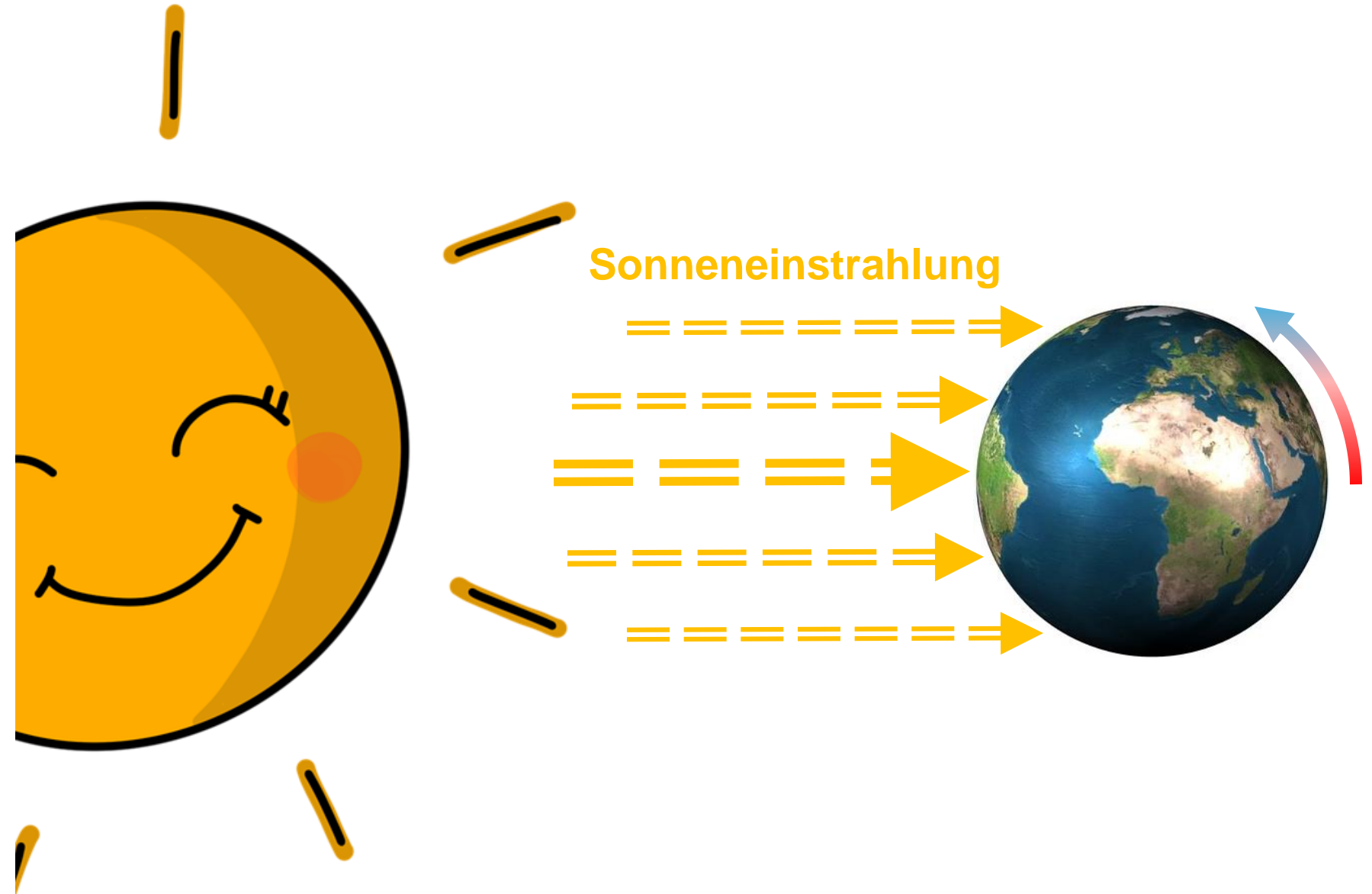
Klimadiagramme der Städte Bern, London und Rom
→ *Welches gehört zur Stadt Bern?*



Rot: Durchschnittstemperatur
Blau: durchschnittlicher Niederschlag pro Monat

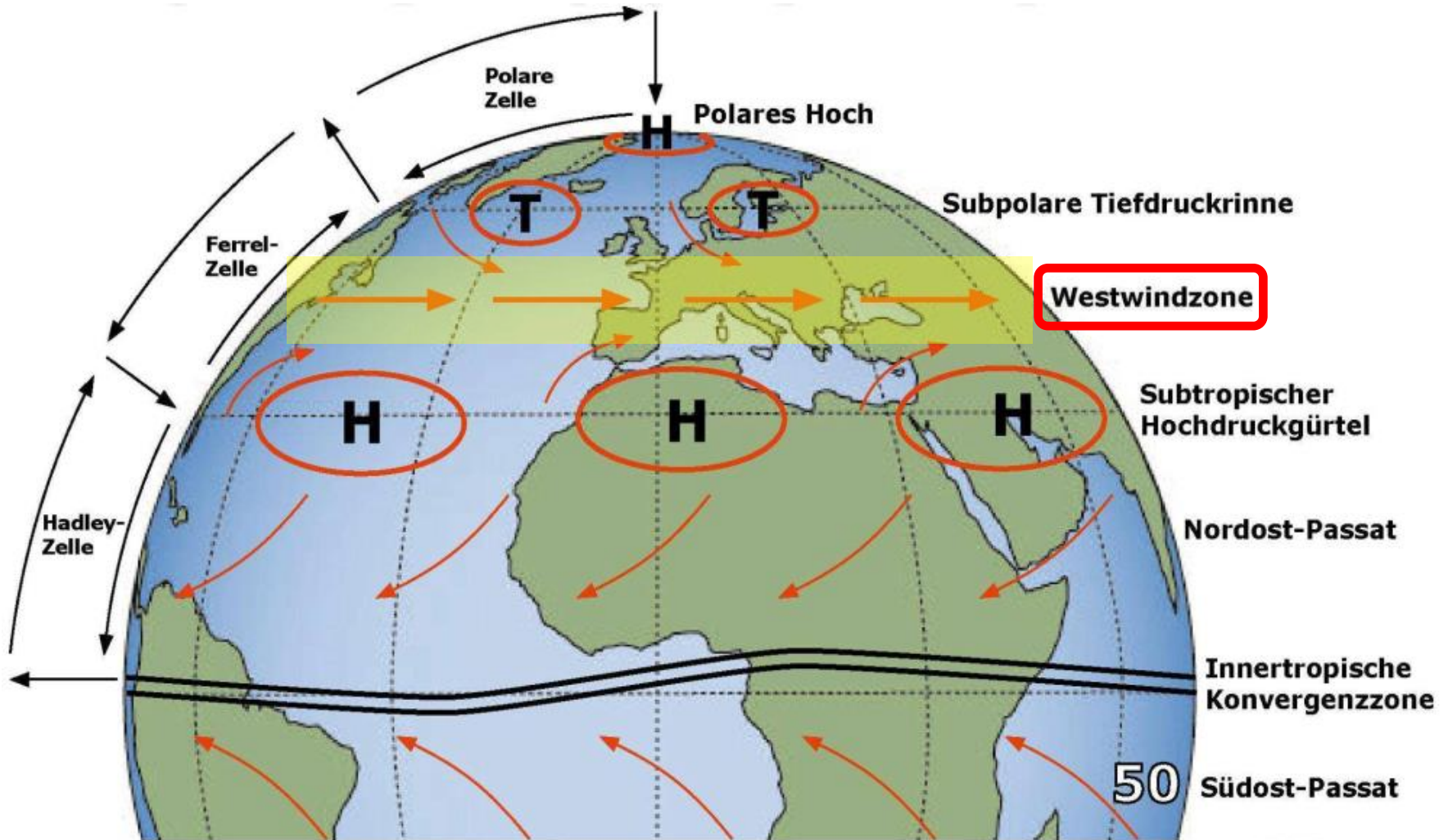


Wie entsteht Wetter?





Wie entsteht Wetter?



Grafik: Meteorologie für Piloten, Hack



Wie entsteht eine Wettervorhersage?



Früher

Wetterzeichen am Himmel, Verhalten der Tiere, Bauernregeln, 100-jähriger Kalender, ...

Heute

vor allem mit Hilfe von Computermodellen



Anfänge der numerischen Wettermodellierung

METEOROLOGISCHE ZEITSCHRIFT. JANUAR 1904.

Das Problem der Wettersvorhersage, betrachtet vom Standpunkte der Mechanik und der Physik.

VON V. BJERKNES, Universität Stockholm.

Wenn es sich so verhält, wie jeder naturwissenschaftlich denkende Mann glaubt, daß sich die späteren atmosphärischen Zustände gesetzmäßig aus den vorhergehenden entwickeln, so erkennt man, daß die notwendigen und hinreichenden Bedingungen für eine rationelle Lösung des Prognoseproblems der Meteorologie die folgenden sind:

1. Man muß mit hinreichender Genauigkeit den Zustand der Atmosphäre zu einer gewissen Zeit kennen.
2. Man muß mit hinreichender Genauigkeit die Gesetze kennen, nach denen sich der eine atmosphärische Zustand aus dem anderen entwickelt.

I.

Die Kenntnis des Zustandes der Atmosphäre zu passenden, übereingekommenen Zeiten zu schaffen, ist die Aufgabe der beobachtenden Meteorologie. In genügendem Umfange für eine rationelle Wetterprognose ist diese



Geschichte der numerischen Wettermodellierung

1922: erste *von Hand* gerechnete Wetterprognose durch L. F. Richardson – Versuch einer 8-stündigen Prognose dauerte 6 Wochen ... und war falsch!



Heute: Supercomputer mit ca. 20 Petaflops (20 Millionen Milliarden Rechenoperationen pro Sekunde)





Numerische Wettermodellierung - Prinzip

1 Physikalische Gesetze:

- Beschreiben die physikalischen Vorgänge in der Atmosphäre
- Bekannt, aber komplex (Atmosphäre ist ein chaotisches System)
- Vereinfachungen nötig → Fehlerquelle

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \vec{v} \nabla u - \frac{uv}{a} \tan \varphi - fv = -\frac{1}{\rho a \cos \varphi} \left(\frac{\partial p'}{\partial \lambda} + \frac{J_\lambda}{\sqrt{G}} \frac{\partial p'}{\partial \zeta} \right) + M_u$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \vec{v} \nabla v - \frac{u^2}{a} \tan \varphi + fu = -\frac{1}{\rho a} \left(\frac{\partial p'}{\partial \varphi} + \frac{J_\varphi}{\sqrt{G}} \frac{\partial p'}{\partial \zeta} \right) + M_v$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} + \vec{v} \nabla w = \frac{1}{\rho \sqrt{G}} \frac{\partial p'}{\partial \zeta} + B + M_w$$

$$\frac{\partial p'}{\partial t} + \vec{v} \nabla p' - g \rho_0 w = -\left(\frac{C_{pd}}{C_{vd}} \right) pD + \left(\frac{C_{pd}}{C_{vd}} - 1 \right) \rho C_{pd} Q_T$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} + \vec{v} \nabla T = \frac{1}{\rho c_{pd}} \left(\frac{\partial p'}{\partial t} + \vec{v} \nabla p' - g \rho_0 w \right) + Q_T$$

$$\frac{\partial q^v}{\partial t} + \vec{v} \nabla q^v = -(S^l + S^f) + M_{q^v}$$

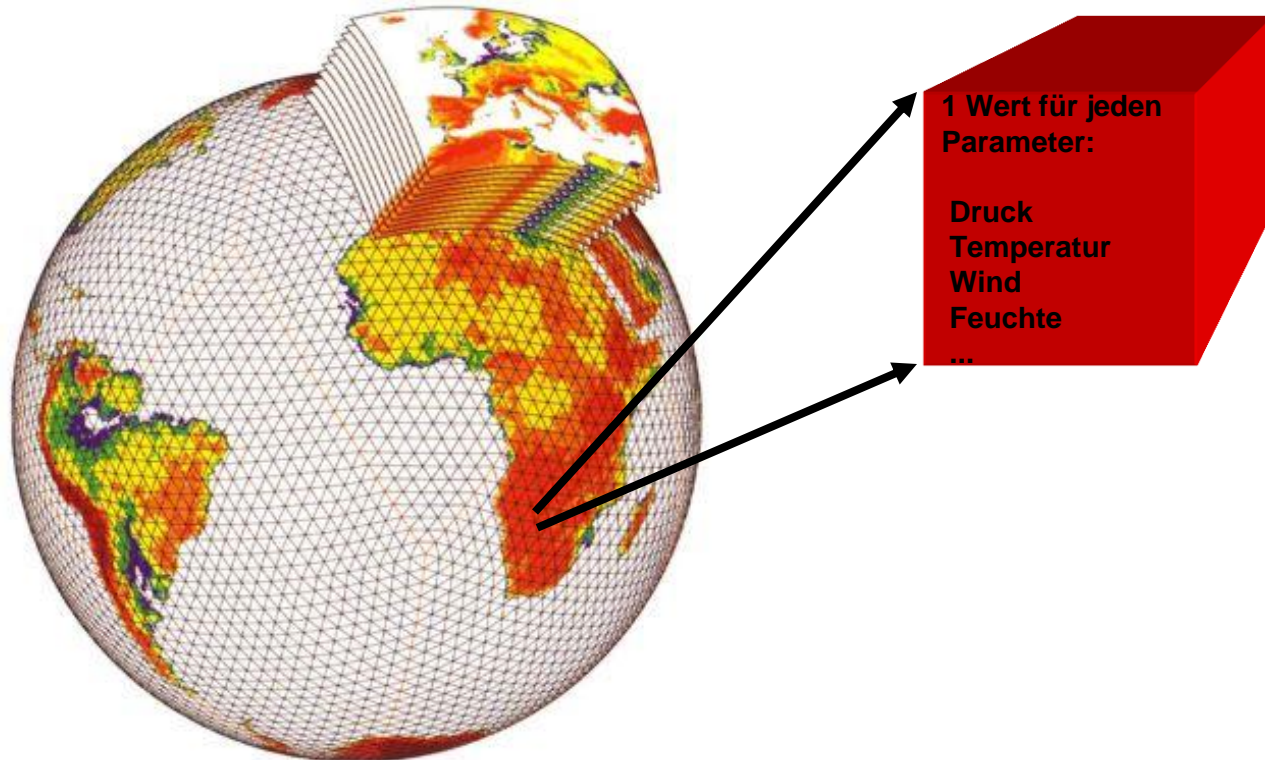
$$\frac{\partial q^{l,f}}{\partial t} + \vec{v} \nabla q^{l,f} = +\frac{1}{\rho \sqrt{G}} \frac{\partial P_{l,f}}{\partial \zeta} = S^{l,f} + M_{q^{l,f}}$$



Numerische Wettermodellierung - Prinzip

2 Computermodell:

- Atmosphäre wird in sehr viele kleine Gitterzellen unterteilt
- Für jede Gitterzelle werden anschliessend die (vereinfachten) physikalischen Vorgänge berechnet
- Glättung/Vereinfachung der Topographie → *Fehlerquelle*

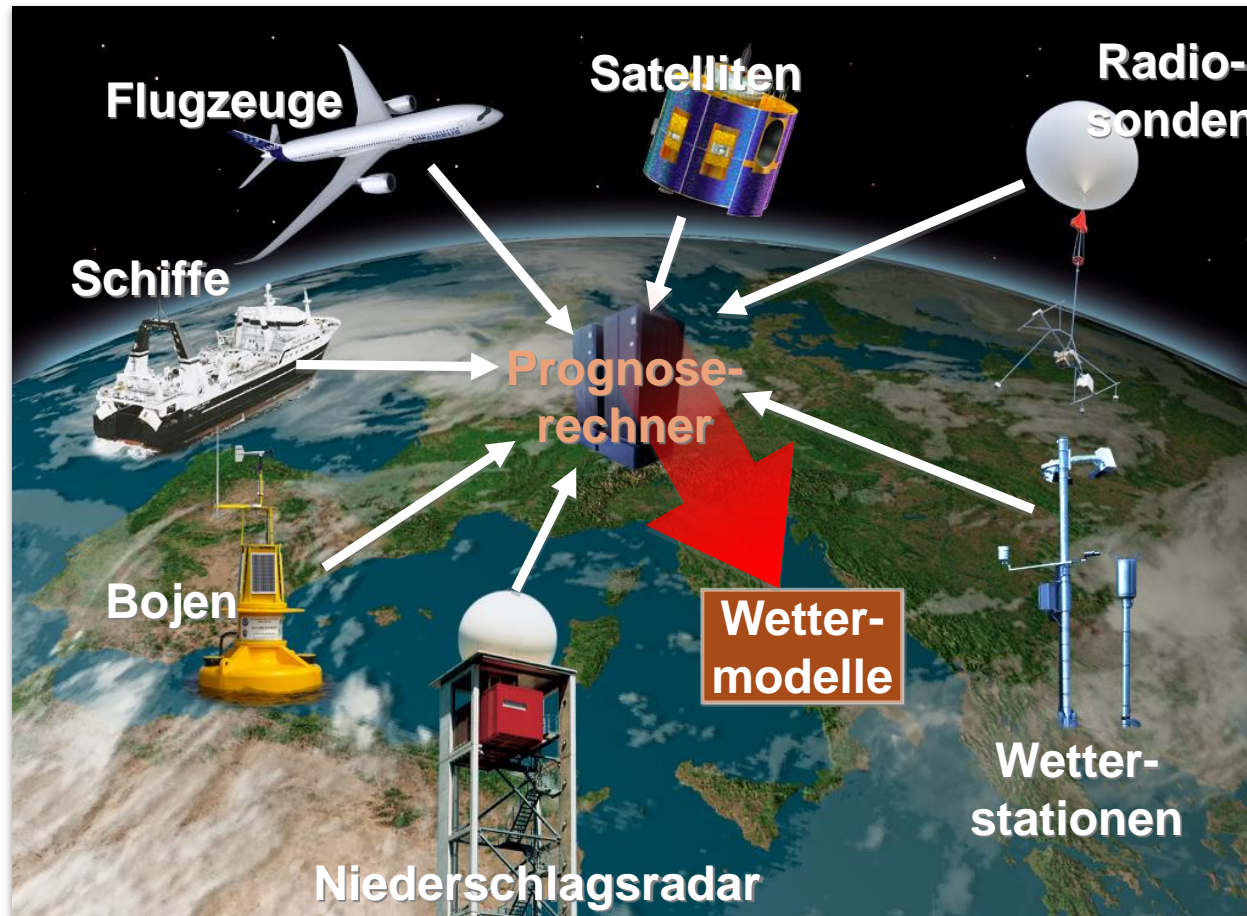




Numerische Wettermodellierung - Prinzip

3 Anfangsbedingungen:

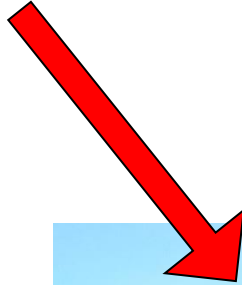
- Mit dem Ist-Zustand der Atmosphäre wird Modell „gefüttert“
- Sammeln von Wetterdaten → *Fehlerquelle*





Numerische Wettermodellierung - Prinzip

Weitere *Fehlerquelle* bei der Entstehung einer Wettervorhersage:





Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement des Innern EDI
Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz

AtupriFit Wanderung

Meteorologie

Kelvin-Helmholtz-Wellen, Foto: U. Graf

Wichtigste Wetterlagen im Alpenraum

Naturpark Gantrisch, 20. Oktober 2019

Urs Graf, Meteorologe MeteoSchweiz



Wichtigste Wetterlagen im Alpenraum

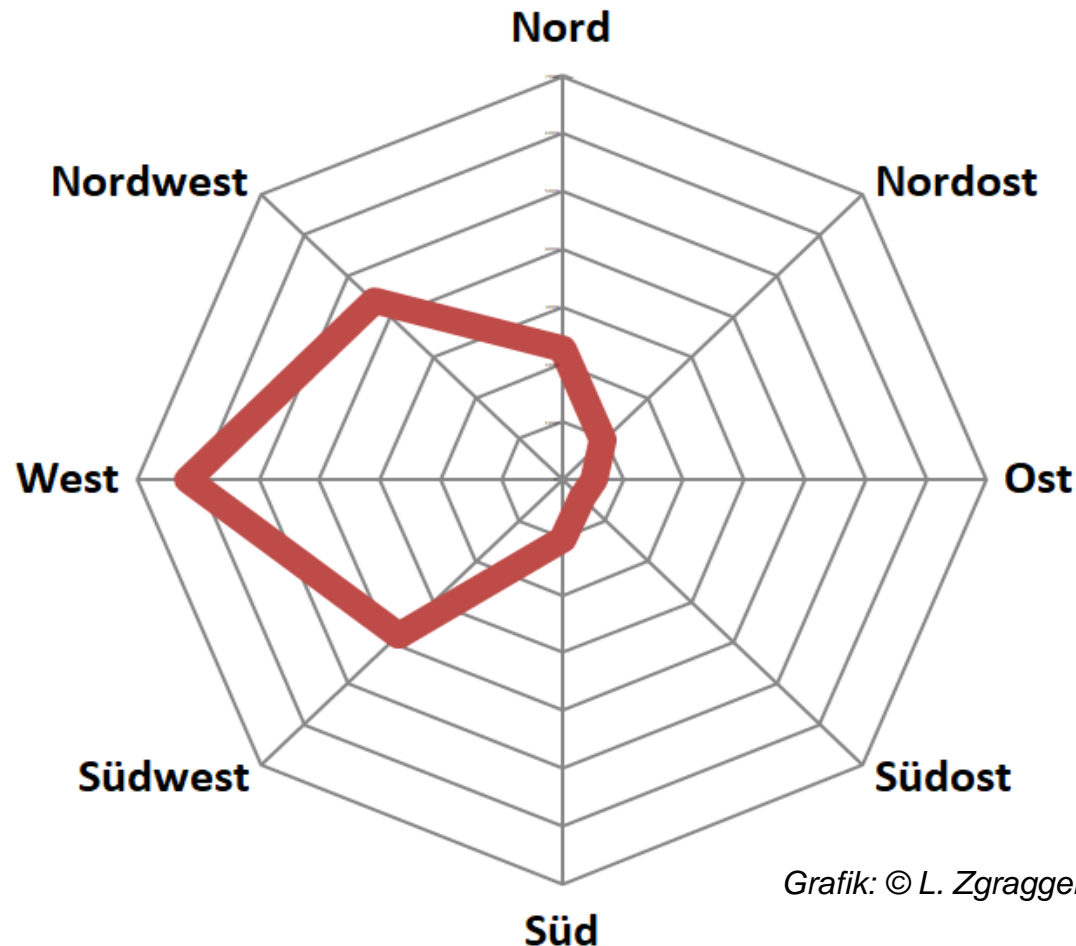
**Welches sind die
wichtigsten/häufigsten
Wetterlagen im Alpenraum?**





Wichtigste Wetterlagen im Alpenraum

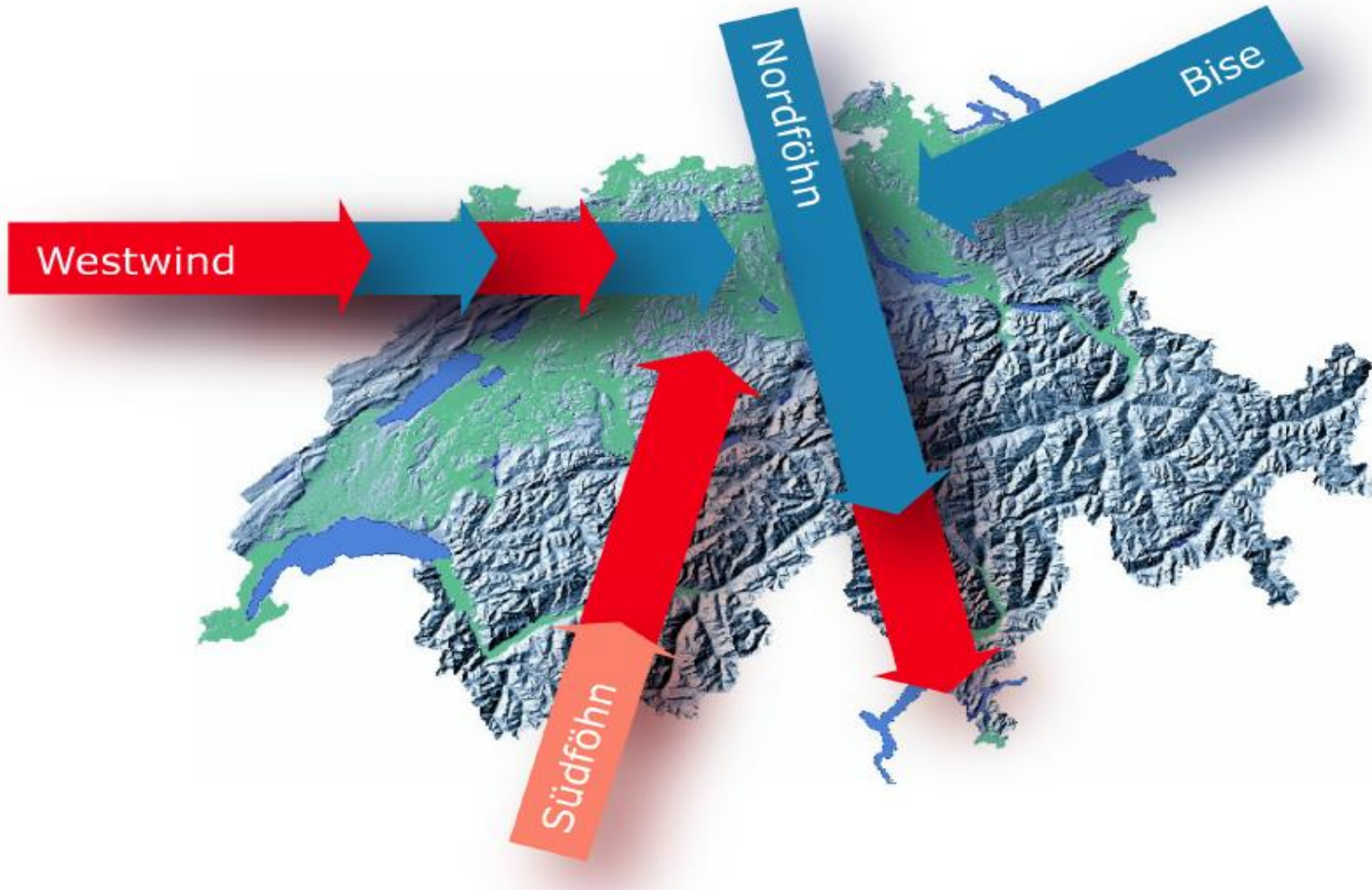
Häufigkeit aller Strömungslagen in der Schweiz 1961-2010:



Grafik: © L. Zraggen, MeteoSchweiz

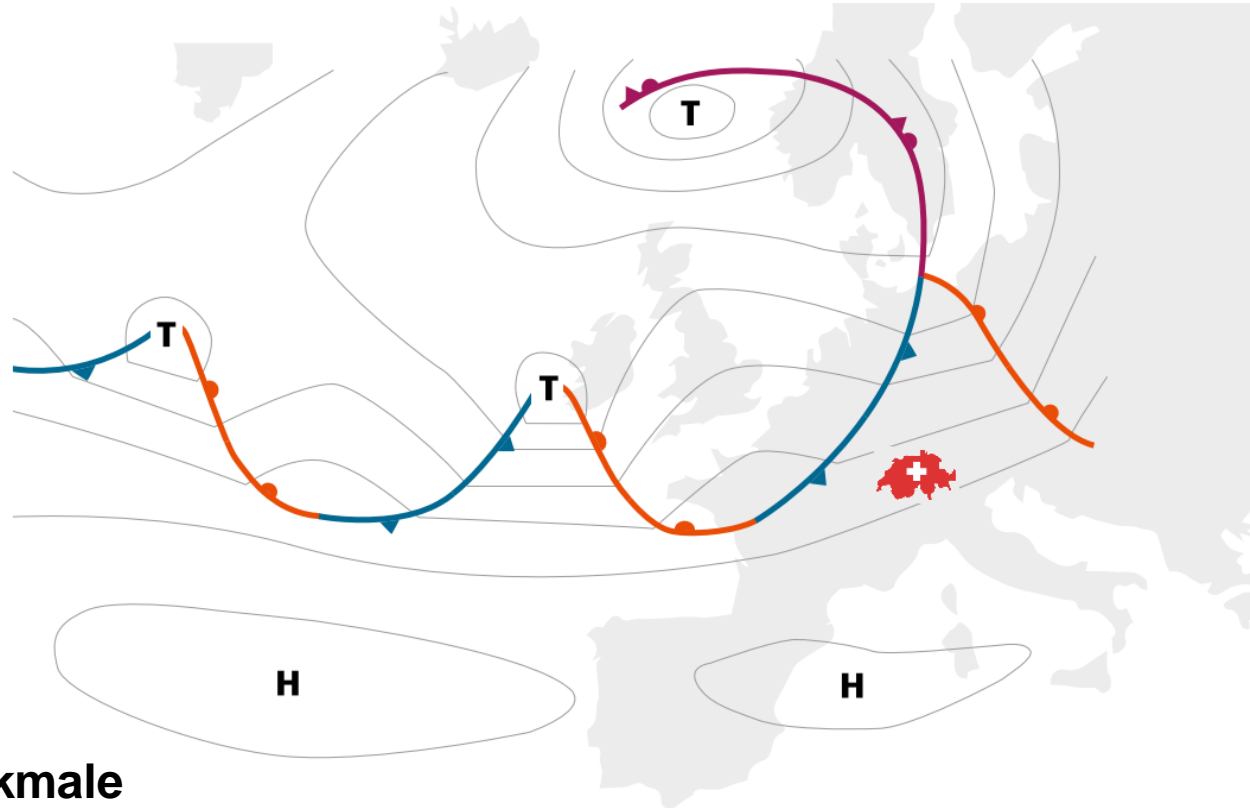


Wichtigste Wetterlagen im Alpenraum





Westwind



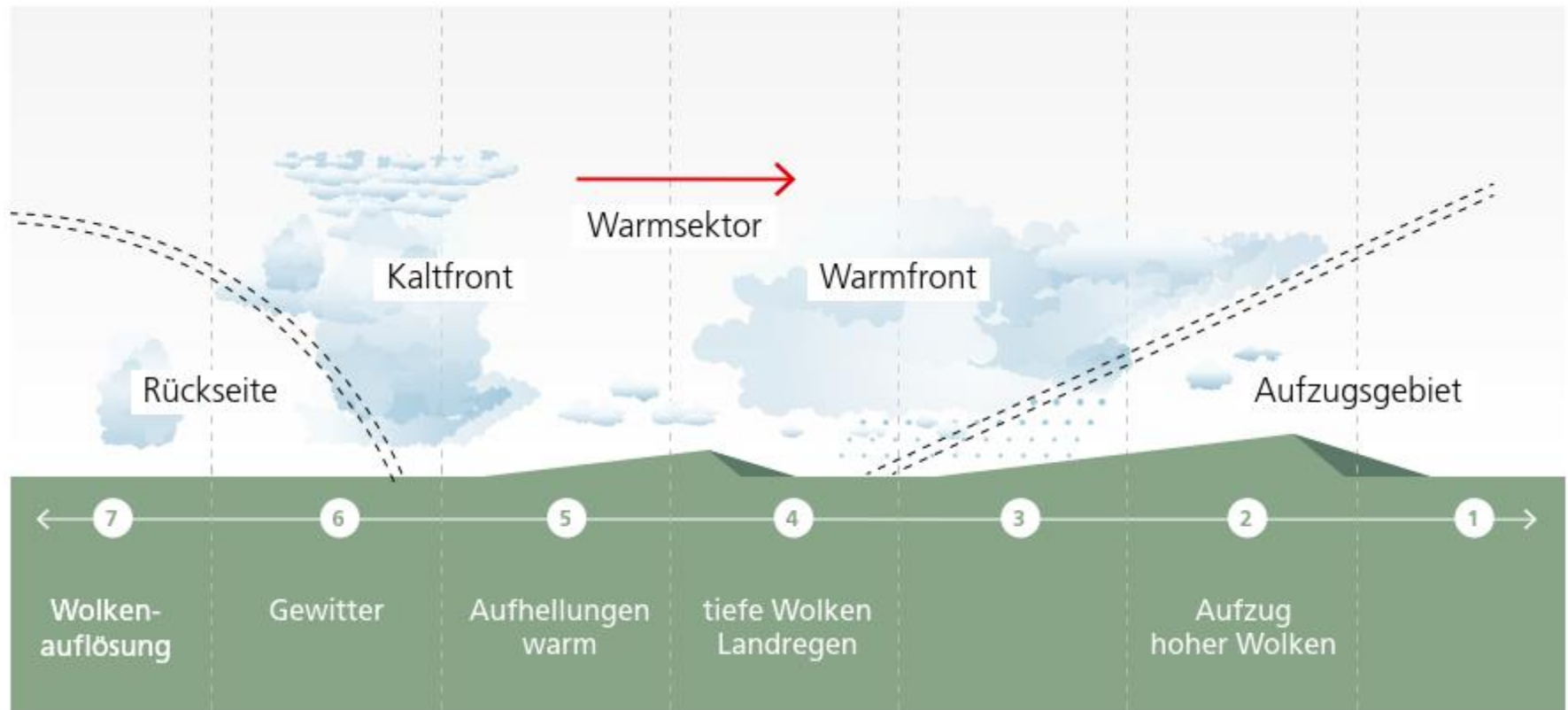
Hauptmerkmale

- Hauptsaison: Herbst bis Frühling
- feuchte (milde) Atlantikluft, bei Südwestströmung instabil geschichtete (Gewitter-)Luft
- Veränderlicher Wettercharakter
- tiefdruckbestimmt (Niederschlag)
- Durchzug von Warm- und Kaltfronten sowie Okklusionen (Mischfronten)
- z.T. windig



Westwind

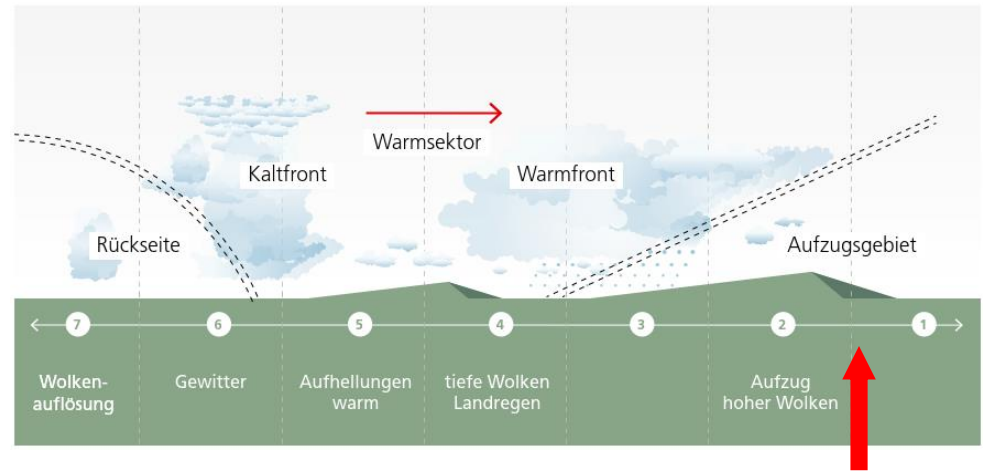
Durchzug eines Frontensystems – schematische Darstellung





Westwind

Aufzugsgebiet
(vor der Warmfront):
Hohe Wolken



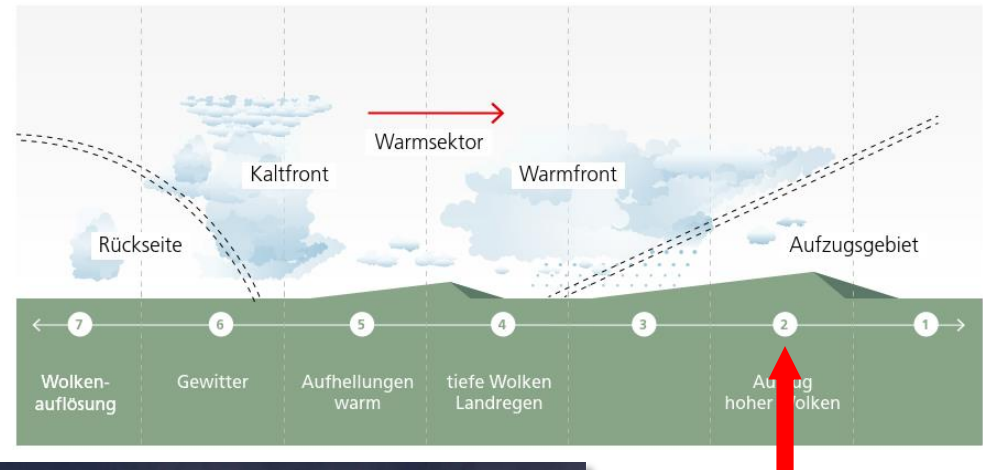
Cirrus uncinus
Foto: U. Graf



Westwind

Aufzugsgebiet

(vor der Warmfront):
Dichter werdende hohe
Wolken



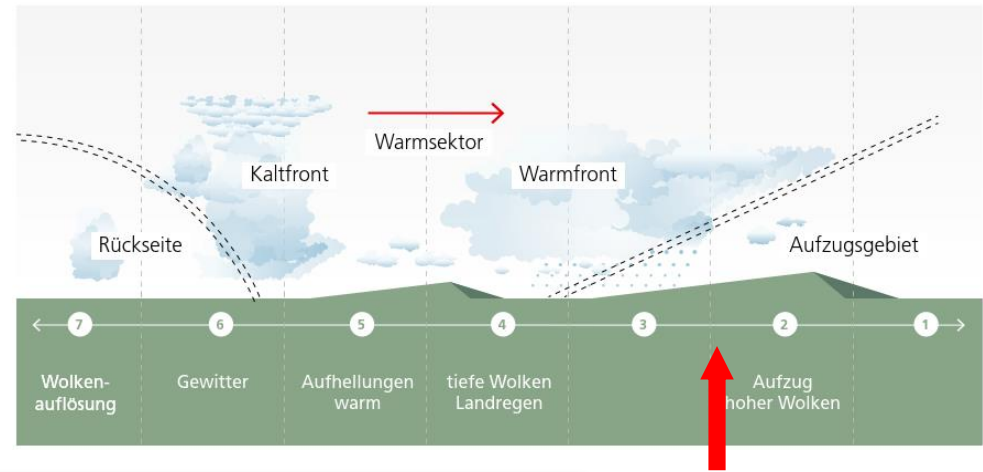
*Cirrostratus und Cirrocumulus
mit Halo-Effekten (22° Kreis,
Nebensonnen)
Foto: U. Graf*



Westwind

Aufzugsgebiet

(vor der Warmfront):
Dichte hohe Wolken
(Sonne nur noch knapp
erkennbar)

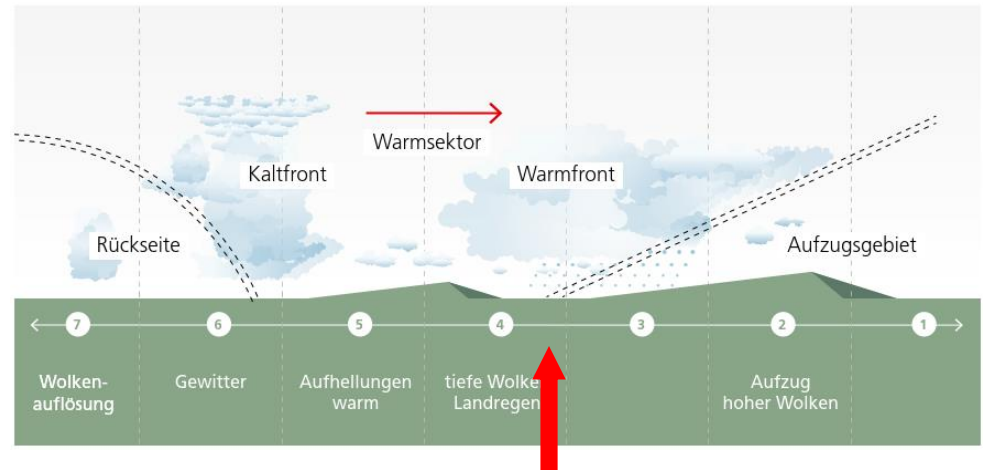


Altostratus
translucidus
Foto: H. Graf



Westwind

Warmfront:
Kompakte Wolken,
Regen/Schnee



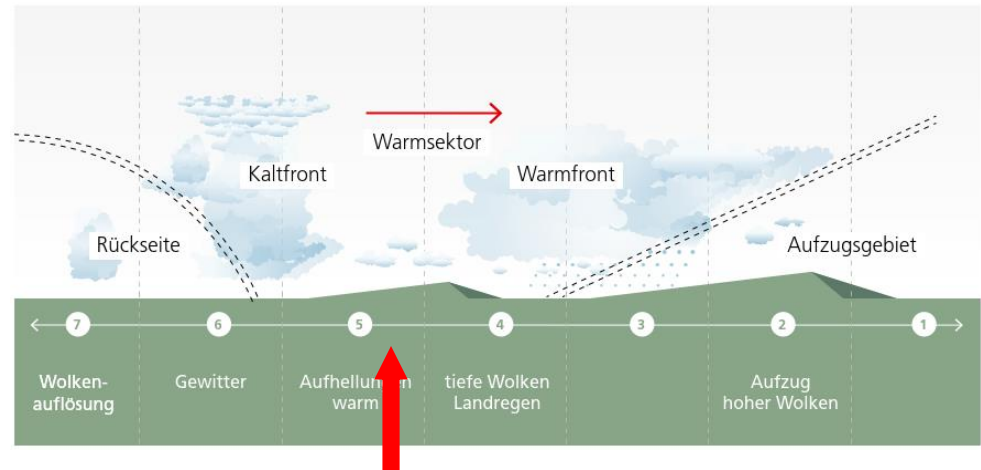
*Nimbostratus
(Regenwolke)
Foto: D. Gerstgrasser*



Westwind

Warmsektor:

Je weiter entfernt vom Zentrum des Tiefs, desto aufgelockerter ist die Bewölkung



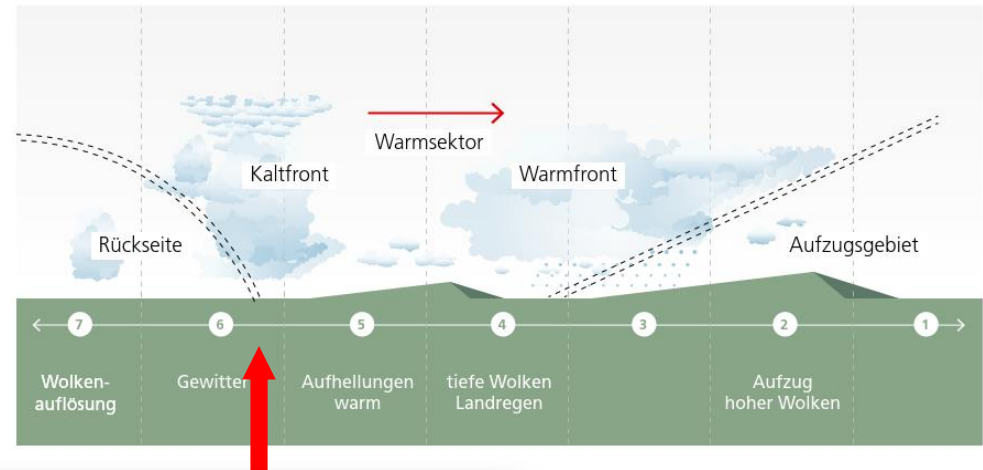
*Altostratus, Altocumulus, Stratocumulus, ...
Foto: K.H. Hack*



Westwind

Kaltfront:

Im Sommer oft mit Gewittern, im Winter oft kompakte tiefe Wolken, Regen/Schnee

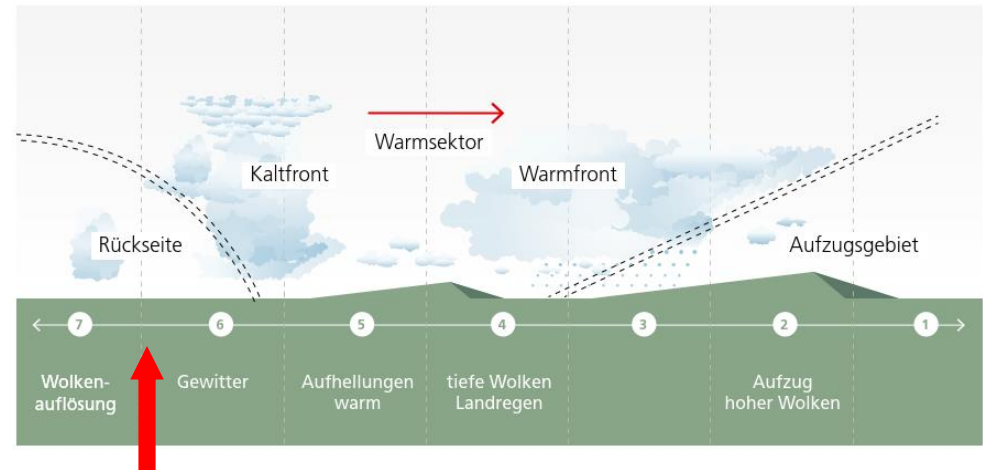


*Cumulonimbus
(Gewitterwolke)
Foto: D. Gerstgrasser*



Westwind

Rückseite der Kaltfront
(Rückseitenwetter):
Aufgelockerte
Bewölkung, klare Sicht,
Schauer möglich

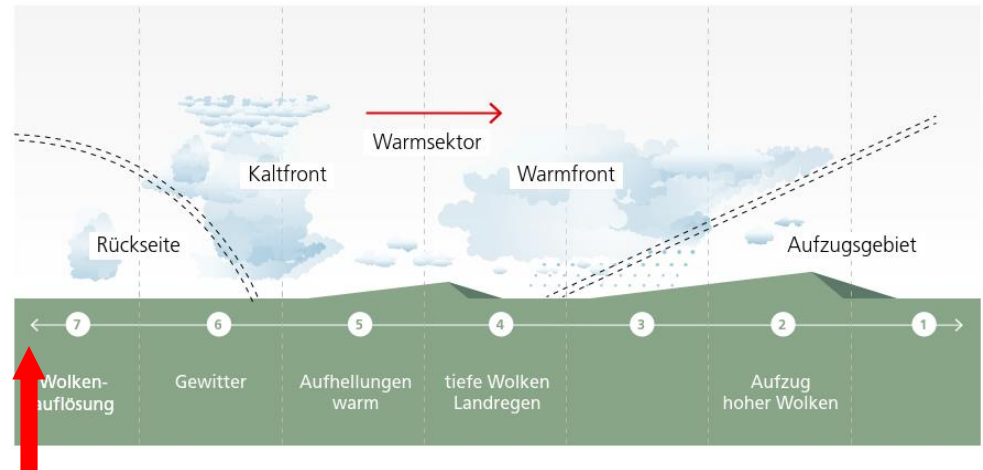


Cumulus
Foto: S. Kämpfe,
Int. Wolkenatlas WMO



Westwind

(Zwischen-)Hoch:
Bewölkungsauflösung

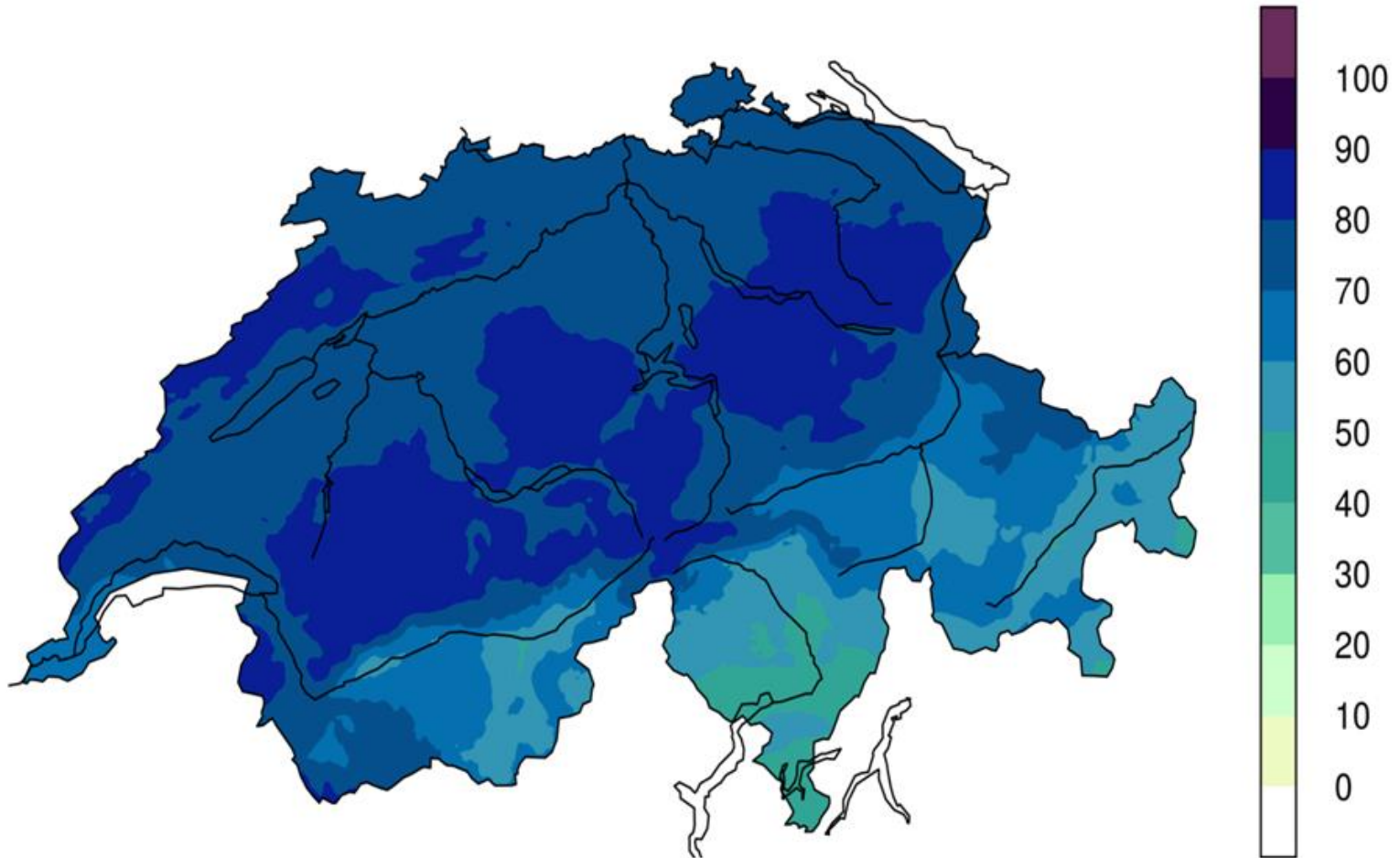


Cumulus humilis
Foto: H. Graf



Westwind

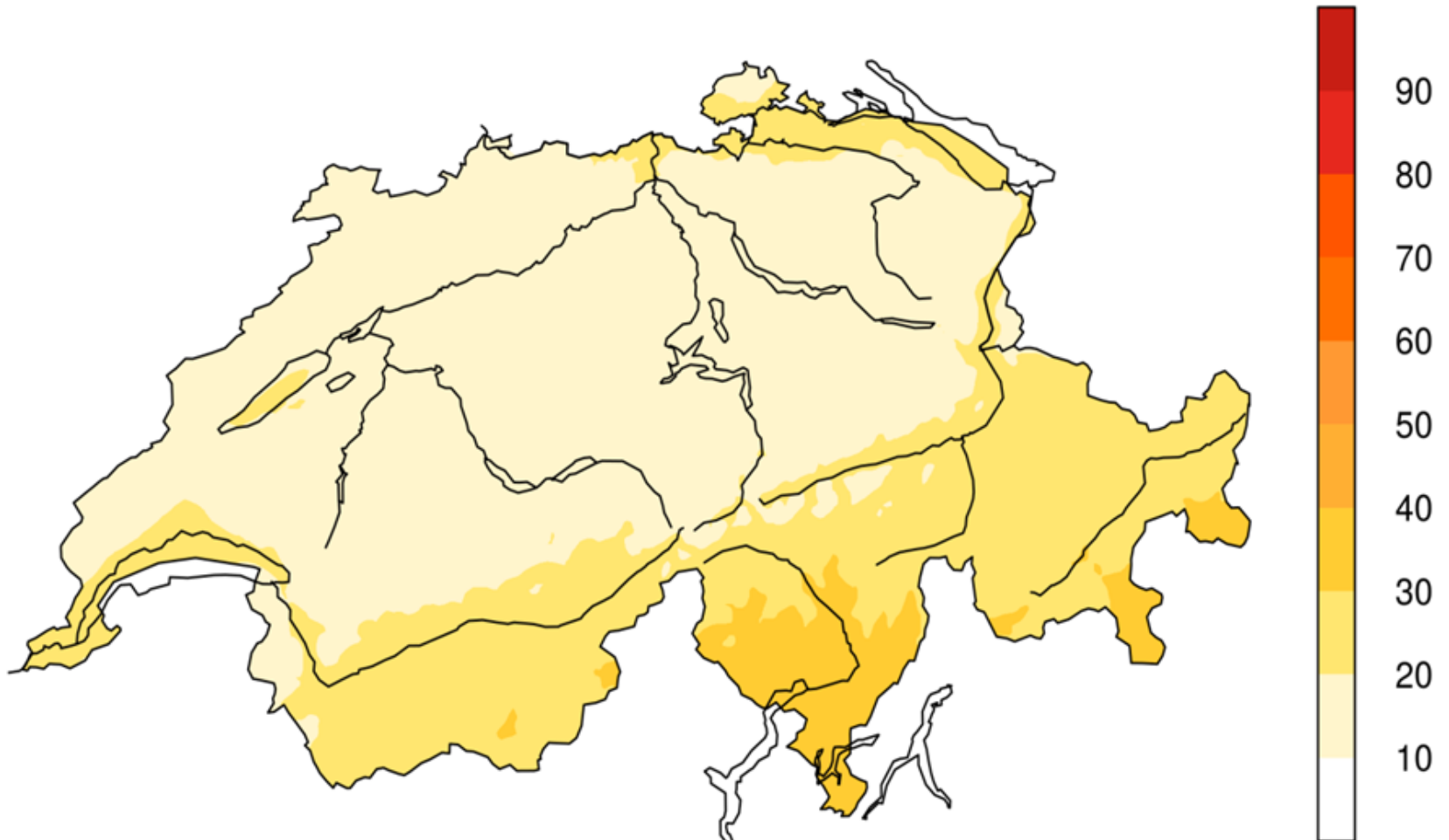
Niederschlagshäufigkeit in % (Jahresmittelwert) aller tiefdruckbestimmten Westwindlagen 1961-2010





Westwind

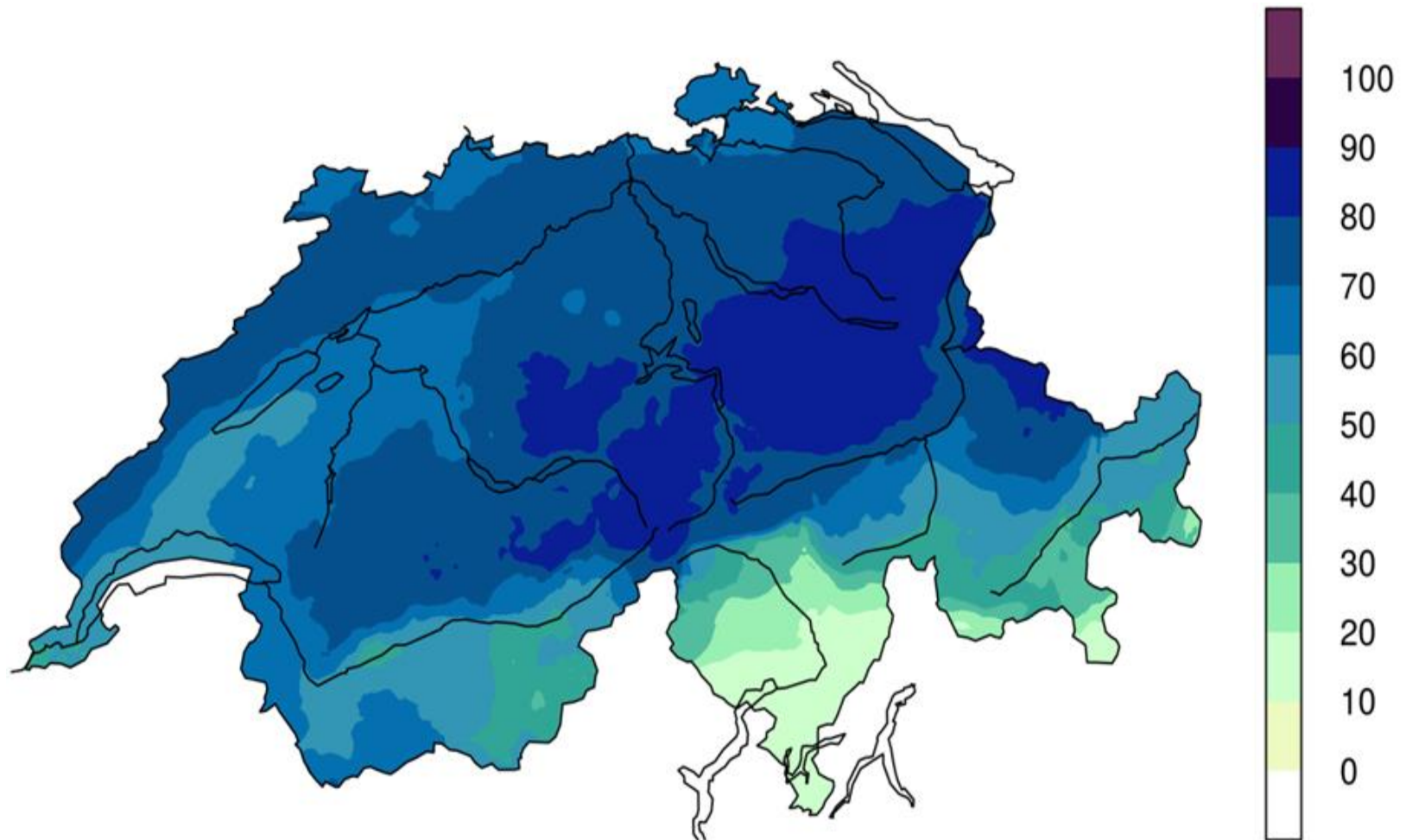
Relative Sonnenscheindauer in % (Jahresmittelwert) aller tiefdruckbestimmten Westwindlagen 1981-2010





Nordwestlage

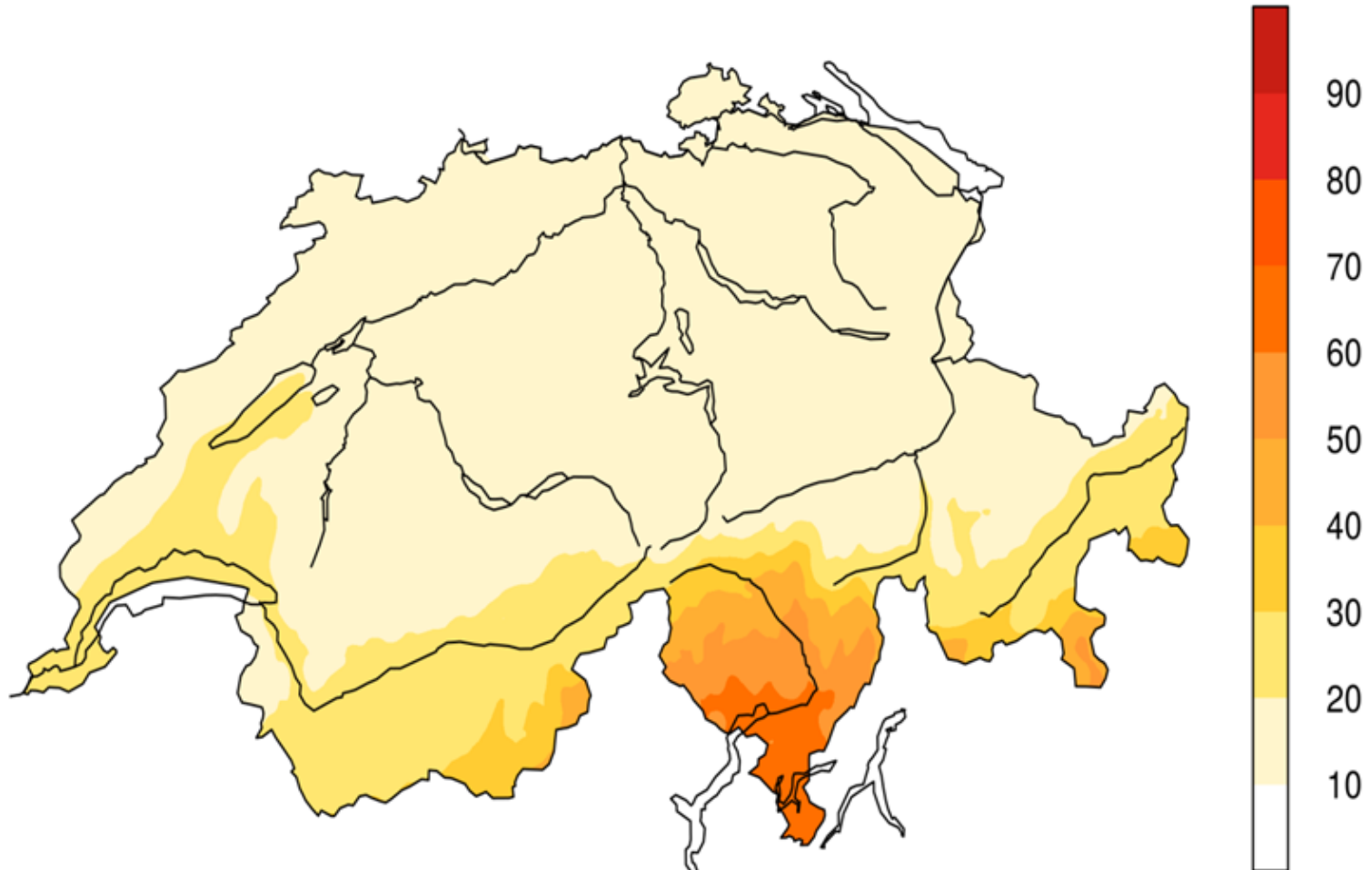
Niederschlagshäufigkeit in % (Jahresmittelwert) aller tiefdruckbestimmten Nordwestlagen 1961-2010





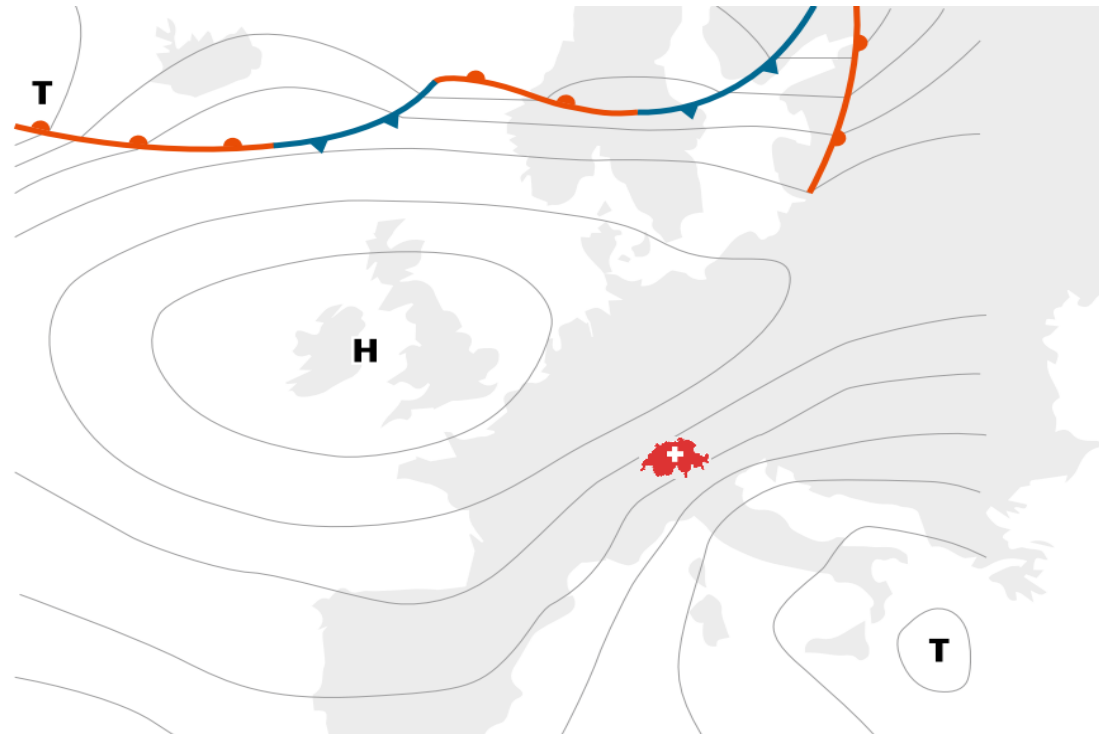
Nordwestlage

Relative Sonnenscheindauer in % (Jahresmittelwert) aller tiefdruckbestimmten Nordwestlagen 1981-2010





Bise (Nordostlage)



Hauptmerkmale

- Hauptsaison: ganzjährig (Winter)
- Relativ trockene, kalte (im Winter) Kontinentalluft
- Im Winter Inversion und häufig Hochnebel auf der Alpennordseite
- Meist hochdruckbestimmt
- Vorhersageschwierigkeiten: Auflösung Hochnebel, Obergrenze



Bise (Nordostlage)



Stratus (Hochnebel)
Foto: U. Graf

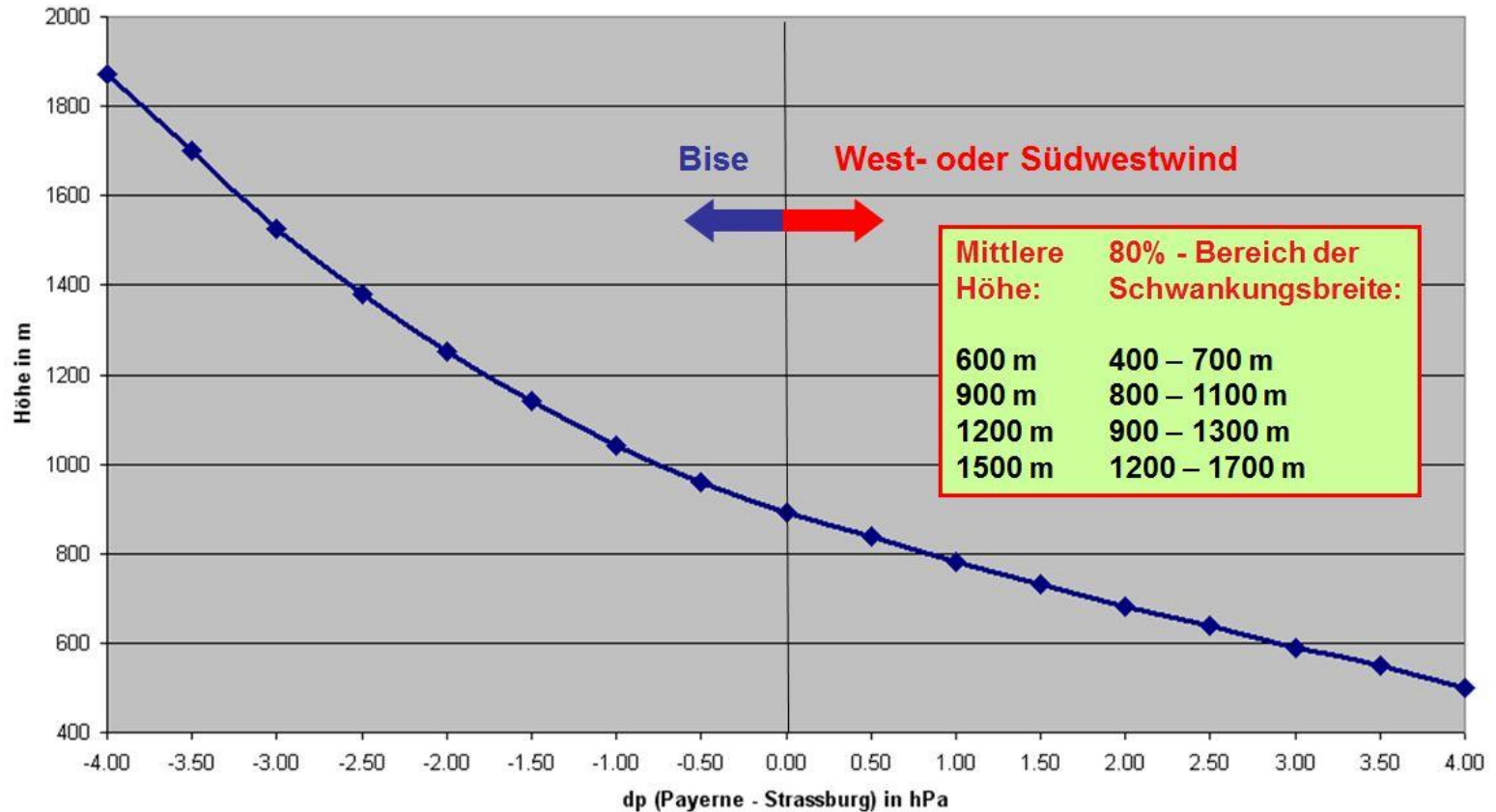


Bise (Nordostlage)



Check Obergrenze nach Courvoisier, 1976

Obergrenze Hochnebel auf der Alpennordseite

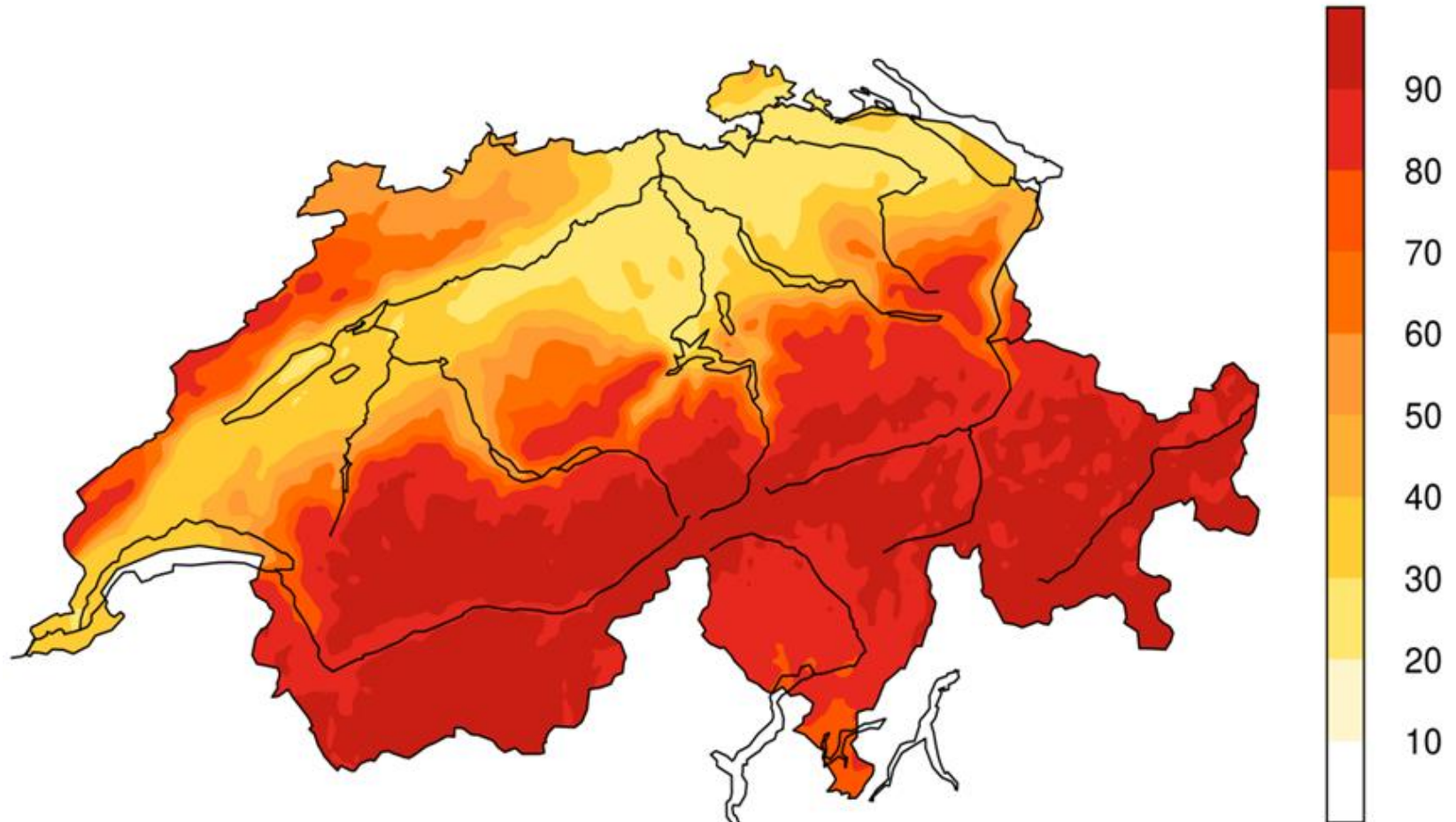


Druckdifferenz Payerne - Strassburg



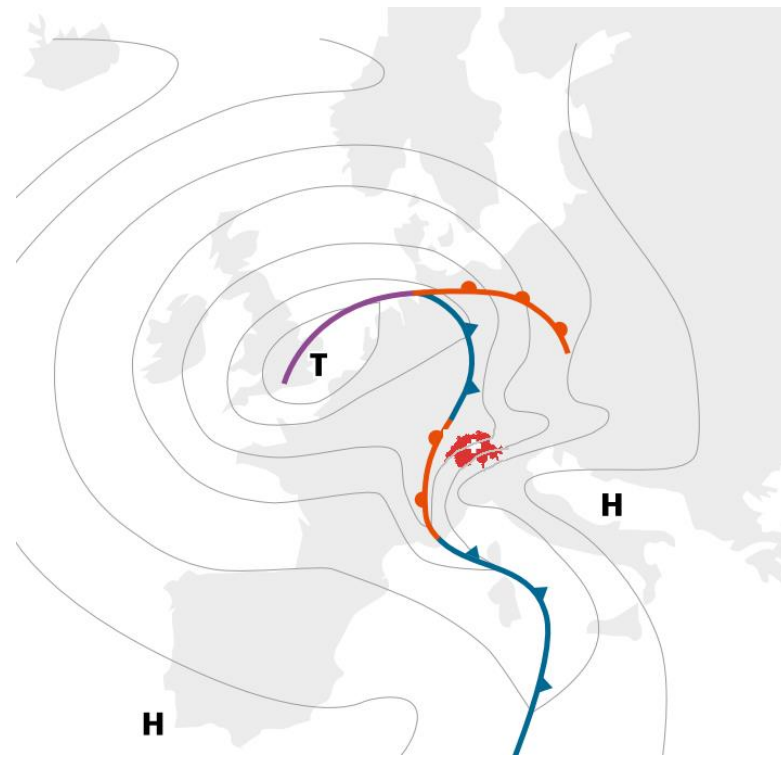
Bise (Nordostlage)

Relative Sonnenscheindauer in % (Winter) aller hochdruckbestimmten Nordostlagen 1981-2010





Südföhn

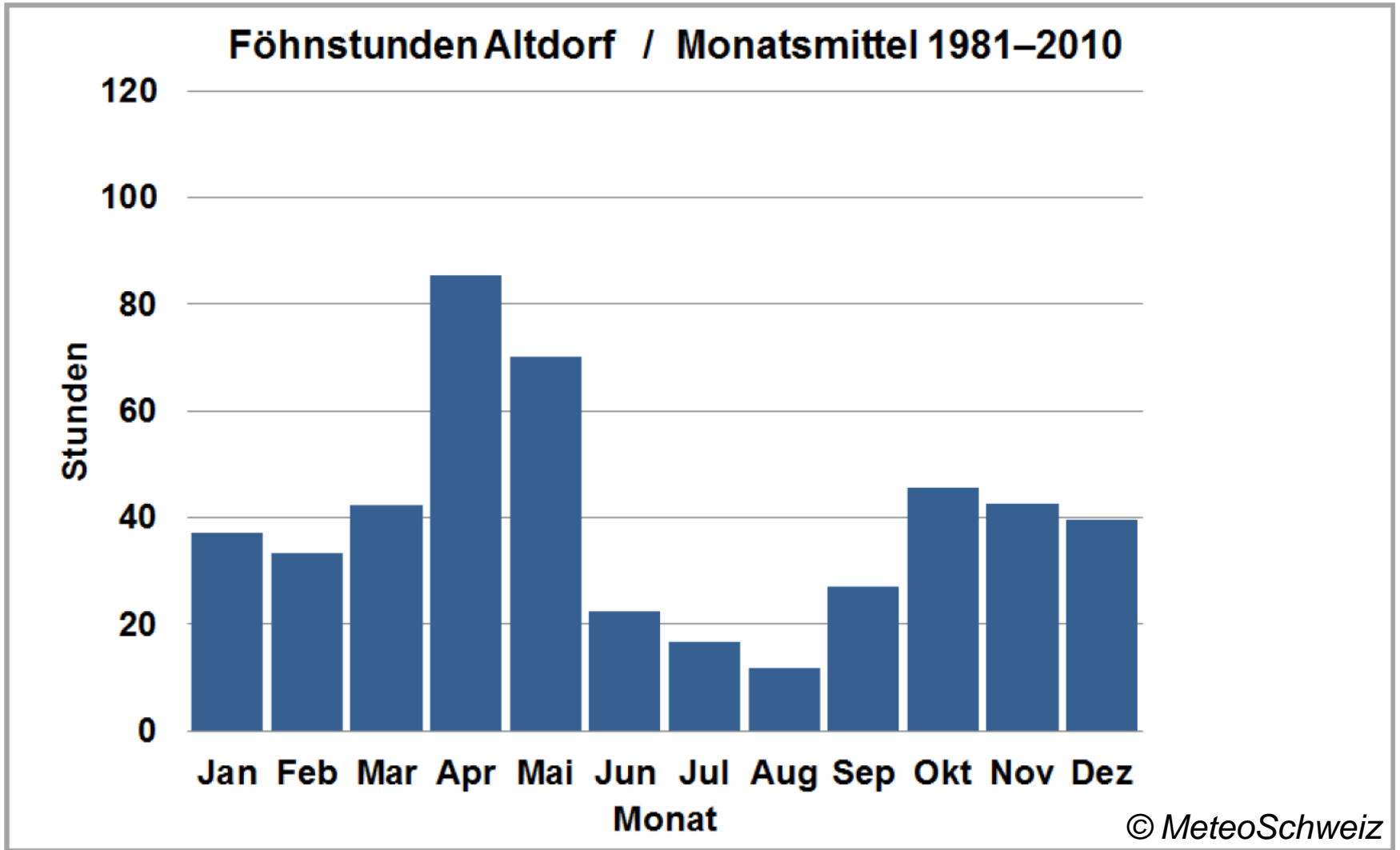


Hauptmerkmale

- Hauptsaison: Frühling (Herbst)
- Südlich der Alpen feuchte Mittelmeerluft, Stauniederschläge
- Vorhersageschwierigkeiten: Besonnung, Föhnvorstoss Alpentäler und angrenzendes Mittelland
- Eher tiefdruckbestimmt
- nördlich der Alpen in Föhnregionen meist trocken, Aufhellungen (Föhnfenster)
- Föhnarten: klassischer Südföhn, Dimmerföhn, Güllerföhn

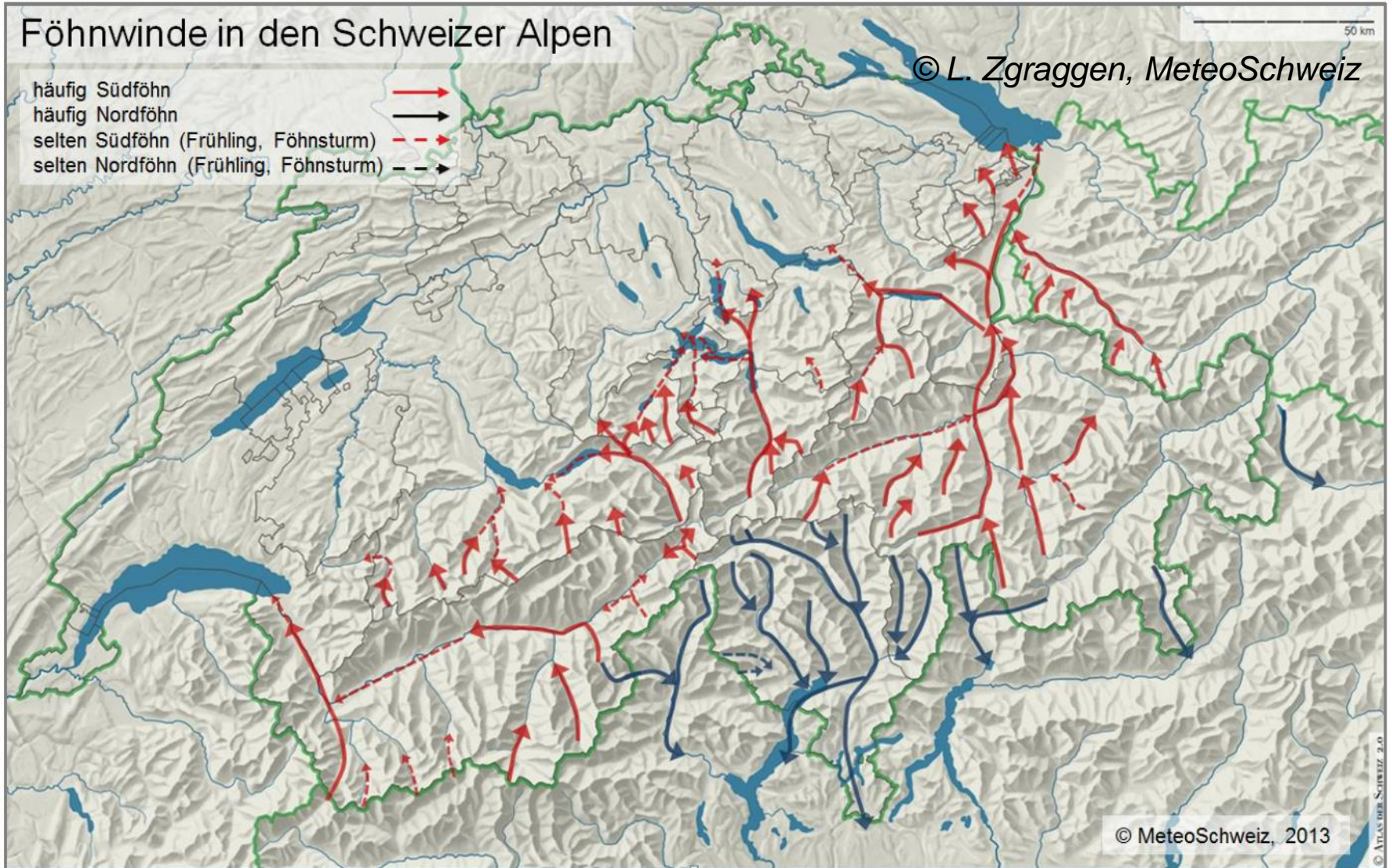


Südföhn - Häufigkeit





Südföhn - Hauptföhnregionen





Südföhn

Föhnfenster, Föhnmauer:

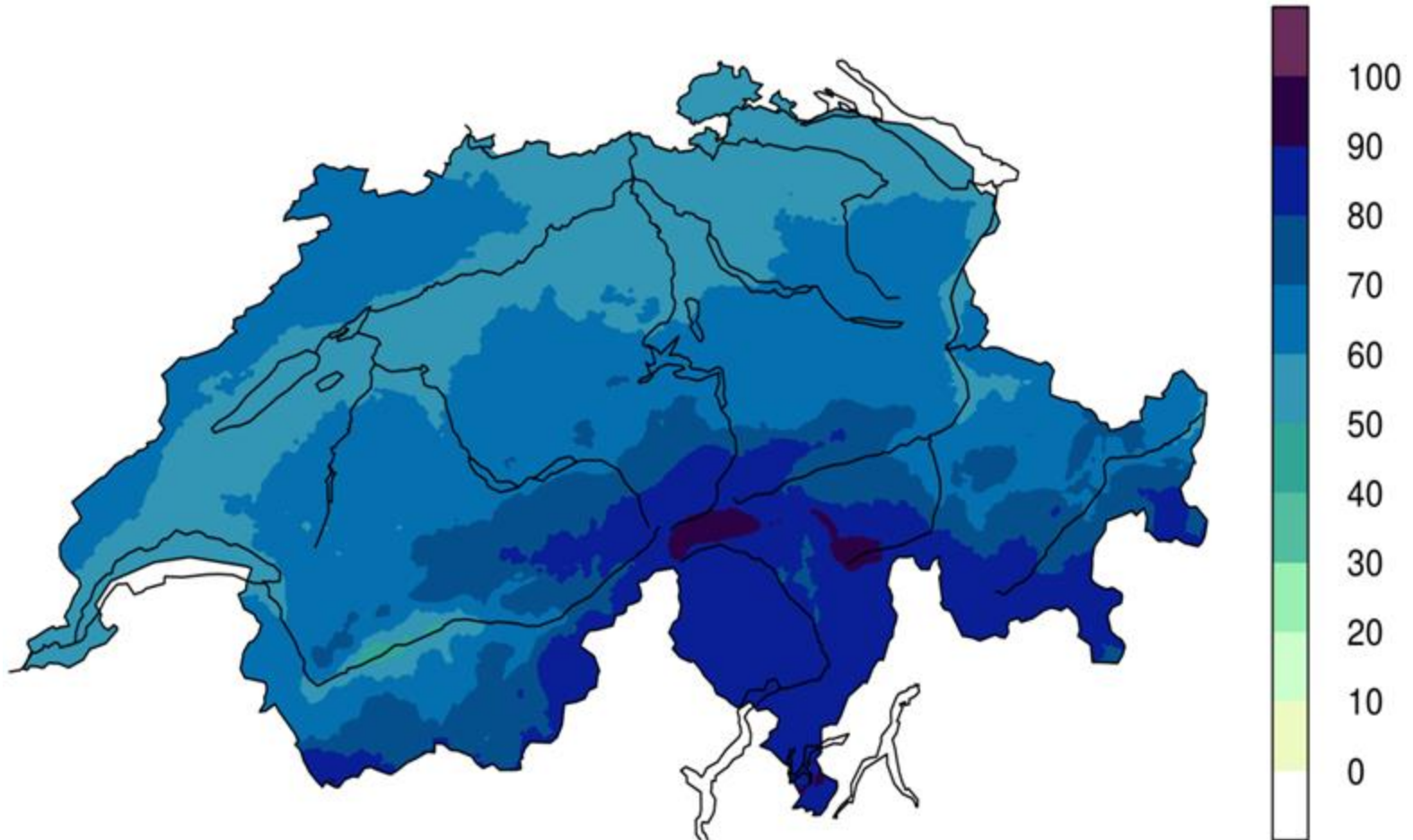


*Föhnmauer und Föhnfenster
Foto: U. Graf*



Südföhn

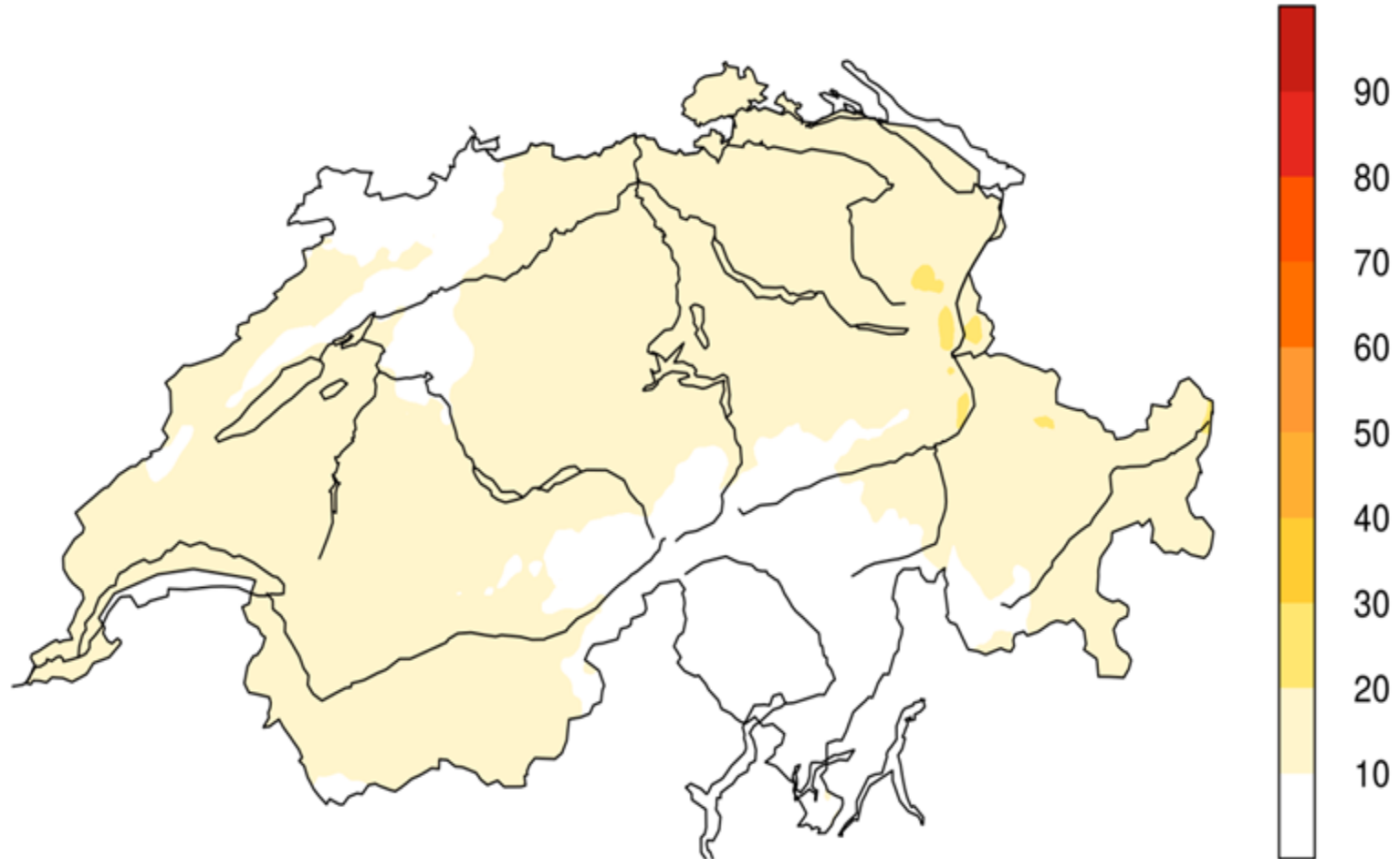
Niederschlagshäufigkeit in % (Jahresmittelwert) aller tiefdruckbestimmten Südlagen 1961-2010





Südföhn

Relative Sonnenscheindauer in % (Jahresmittelwert) aller tiefdruckbestimmten Südlagen 1981-2010





Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement des Innern EDI
Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz

AtupriFit Wanderung

Meteorologie

Kelvin-Helmholtz-Wellen, Foto: U. Graf

Wetterinterpretation im Gelände

Naturpark Gantrisch, 20. Oktober 2019

Urs Graf, Meteorologe MeteoSchweiz



Wetterinterpretation im Gelände

- Recht zuverlässige Gewittervorboten:
Alto cumulus castellanus (türmchenförmige Quellwölkchen)
- Treten häufig am Morgen auf und kündigen Gewitter in den nächsten 6-12 Stunden an



Alto cumulus castellanus, Foto: D. Gerstgrasser



Wetterinterpretation im Gelände



Altocumulus castellanus, Foto: U. Graf



Wetterinterpretation im Gelände

Quellwolken:

- Vermehrte/rasche Bildung bereits am Morgen/Vormittag:
Risiko auf Schauer/Gewitter am Mittag/Nachmittag relativ hoch
- „Kappe“ an der Oberkante der Quellwolke (**Pileus**):
Hinweis auf starken Aufwind → Risiko für Schauer oder
Gewitter in den nächsten Stunden erhöht



Cumulus congestus mit Pileus, Foto: U. Graf



Wetterinterpretation im Gelände

Hauptgefahren von **Gewittern** in den Bergen:

- Blitzschlag
- Starkniederschlag → Murgangrisiko bei stationären Gewittern
- Starke Windböen



Cumulonimbus (Gewitterwolke), Foto: U. Graf



Wetterinterpretation im Gelände

Kommt das **Gewitter** näher?

1. Zähle die Sekunden zwischen Blitz und Donner
2. Teile die Anzahl Sekunden durch 3
3. Das Resultat gibt die Entfernung des Gewitter in Kilometern an.
4. Wiederhole die Berechnung nach ein paar Minuten
5. Damit weisst du nun, ob das Gewitter näher kommt oder abzieht

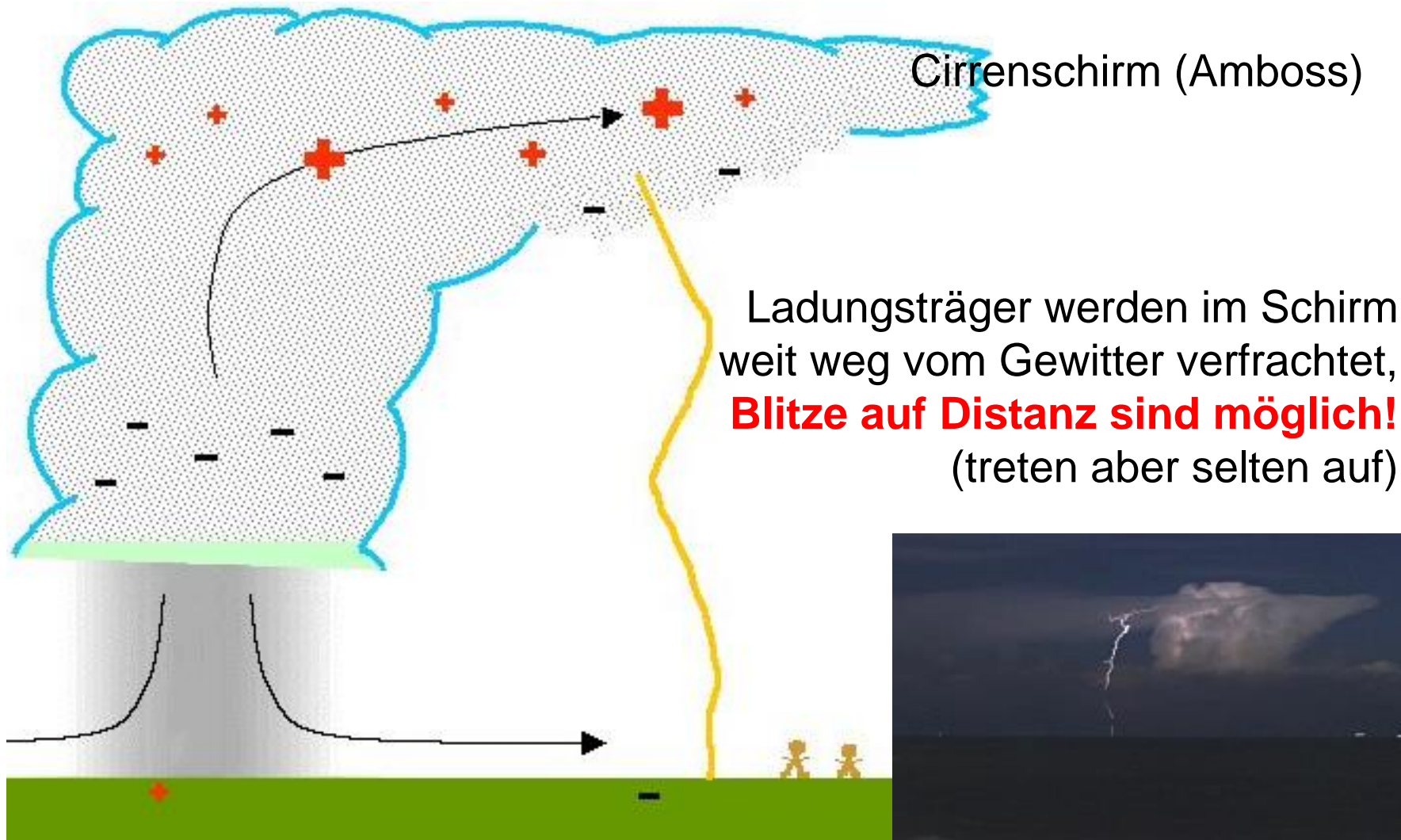
Bei Handy-Empfang natürlich
Radaranimation (MeteoSchweiz App)
anschauen 😊!



Foto: U. Graf



Wetterinterpretation im Gelände



Ladungsträger werden im Schirm weit weg vom Gewitter verfrachtet,
Blitze auf Distanz sind möglich!
(treten aber selten auf)

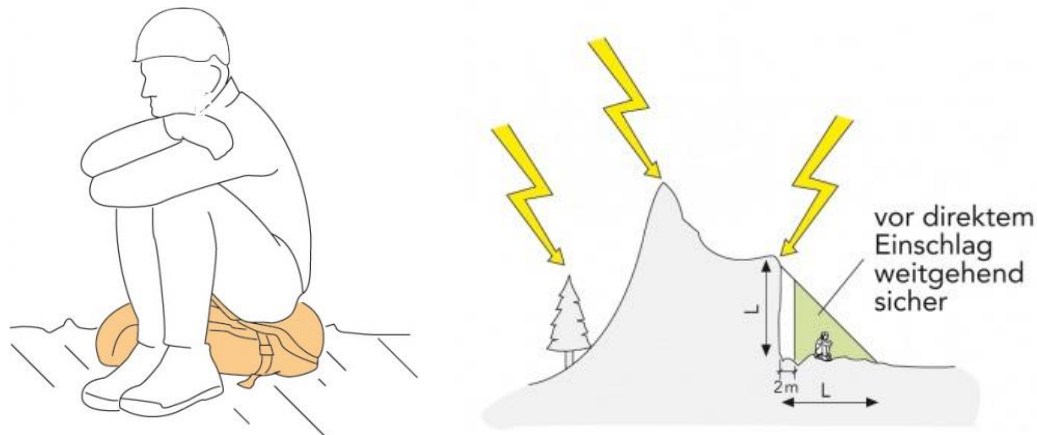




Wetterinterpretation im Gelände

Verhalten bei **Gewitter**:

- Gipfel, Grate, einzelne Bäume, Wasserläufe, Strom- und Seilbahnmasten meiden
- Sicherer Ort aufsuchen, z.B. Unterkünfte (keine offenen Unterstände), an einer Felswand (ca. 2 m Abstand, nicht berühren)
- auf den Rucksack sitzen und Boden möglichst nur an einem kleinen Ort berühren (Schrittspannung)



Grafiken: sicher-bergwandern.ch



Wetterinterpretation im Gelände

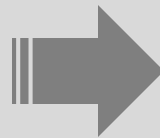
Hohe Wolken:



Fotos: U. Graf



Cirrus uncinus (hakenförmig),
Cirrostratus translucidus mit
Halo-Effekten



Ankunft von feuchterer Luft
(aus Westen),
Wetterverschlechterung



Wetterinterpretation im Gelände

Kondensstreifen von Flugzeugen:



Foto: U. Graf

Kondensstreifen lösen sich hinter dem Flugzeug rasch auf



Luft trocken, keine Wetteränderung in den nächsten Stunden

Kondensstreifen bleibt lange bestehen



Feuchte Luft, Hinweis für Wetterverschlechterung



Wetterinterpretation im Gelände

Hochnebel:



Foto: U. Graf

Hochnebelobergrenze sinkt



Anzeichen für steigenden Luftdruck,
Hochdruckwetter bleibt bestehen

Hochnebelobergrenze steigt markant an
(ohne Zunahme der Bise), oder Hochnebel
löst sich in der Nacht oder am Morgen auf.



Anzeichen für fallenden Luftdruck,
Wetterverschlechterung



Wetterinterpretation im Gelände

Föhnwolken (Alto cumulus lenticularis):



Alto cumulus lenticularis
Foto: U. Graf

Linsenförmige Wolken (Alto cumulus lenticularis) nördlich des Alpenhauptkamms



Südföhn, Wetterverschlechterung durch Herannahen einer Störungszone aus Westen (Zeithorizont: ~12h bis ~2 Tage)



Wetterinterpretation im Gelände

Weitere Wetterzeichen:

Sichtweite in den Bergen wird besser



Zunehmender Hocheinfluss

Wind ändert Richtung (in der Höhe),
und/oder frischt stark auf (Schneefahnen
auf Bergkämmen)



Hinweis für allmähliche
Wetterveränderung bzw.
-verschlechterung



Cumulonimbus (Gewitterwolke), Foto: U. Graf



Wetterinterpretation im Gelände

Was hat es mit dem Morgenrot und dem Abendrot auf sich?

Morgenrot – Schlechtwetterbot

Im Osten klar, aufgehende Sonne strahlt die aus Westen aufziehenden Wolken an

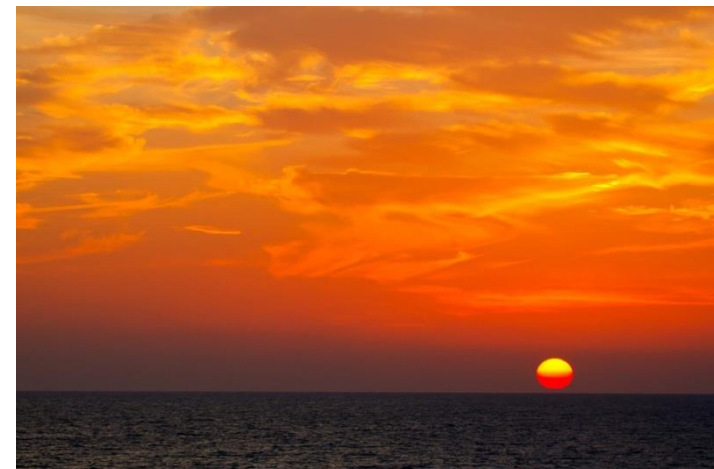
→ Ankunft von feuchterer Luft aus Westen → *Wetterverschlechterung*



Abendrot – Gutwetterbot

Im Westen klar, untergehende Sonne strahlt die nach Osten abziehenden Wolken an

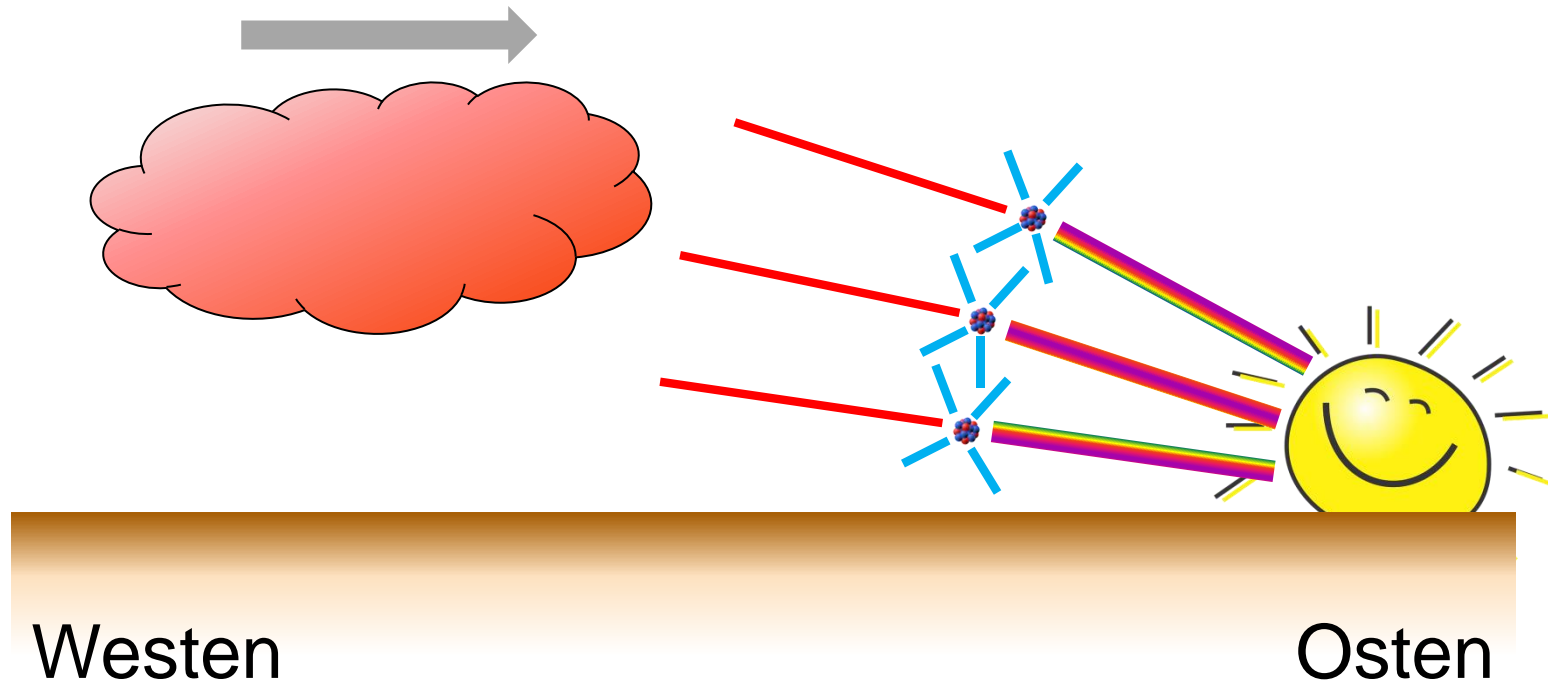
→ Feuchtere Luft zieht ostwärts ab → *Wetterverbesserung*





Wetterinterpretation im Gelände

Schematische Darstellung Morgen- oder Abendrot





Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement des Innern EDI
Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz

AtupriFit Wanderung

Meteorologie

Kelvin-Helmholtz-Wellen, Foto: U. Graf

Quiz Wetterrekorde

Naturpark Gantrisch, 20.10.2019

Urs Graf, Meteorologe MeteoSchweiz



Höchsttemperatur

Schweiz

41.5 °C

Grono GR

13. August 2013

Weltweit

56.7 °C

Death Valley USA

10. Juli 1913



Tiefsttemperatur

Schweiz

-41.8 °C

La Brévine NE

12. Januar 1987

Weltweit

-89.2 °C

Vostok, Antarktis

21. Juli 1983



Wärmster Ort (ganzjährig bewohnt)

Schweiz

12.4 °C

Locarno TI

mittlere Jahrestemperatur 1981-2010

Weltweit

34.4 °C

Dallol, Äthiopien

mittlere Jahrestemperatur 1960-1966



Kältester Ort (ganzjährig bewohnt)

Schweiz

1.9 °C

Samedan GR

mittlere Jahrestemperatur 1981-2010
(nicht bewohnt: -7.2 °C, Jungfraujoch)

Weltweit

-19.7 °C

Nunavut, Kanada

mittlere Jahrestemperatur



Stärkste Windböe (ohne Tornado)

Schweiz

(Berglagen)

268 km/h

Grand St. Bernard

27. Februar 1990 (Sturm Vivian)

Schweiz

(Niederungen)

190 km/h

Glarus

15. Juli 1985 (Gewitter)

Weltweit

408 km/h

Barrow Island, Australien

10. April 1996 (Trop. Wirbelsturm Olivia)



Höchste Regenmenge in 24 h

Schweiz

455 mm

Camedo TI

26. August 1935

Weltweit

1'825 mm

La Réunion, Frankreich

7.-8. Januar 1966



Höchste Regenmenge in 1 Jahr

Schweiz

4173 mm

Säntis

1922

Weltweit

26'470 mm

Cherrapunji, Indien

Jahr unbekannt



Trockenster Ort

Schweiz

545 mm

Ackersand VS

mittlerer Jahresniederschlag 1981-2010

Weltweit

1.8 mm

Arica, Atacama Wüste, Chile

längste Trockenperiode: ca. 14 Jahre



Nässester Ort

Schweiz

2'872 mm

Säntis

mittlerer Jahresniederschlag 1981-2010

Weltweit

11'872 mm

Mawsynram, Indien

mittlerer Jahresniederschlag



Schnee (nur Schweiz)

Grösste Neuschneemenge in 1 Tag:

130 cm

Berninapass

15. April 1999

Grimsel

20. März 2018

Grösste Schneehöhe:

816 cm

Säntis

April 1999



Gewicht einer Quellwolke

Wie viel Wasser steckt in einer Quellwolke, die 500m lang, 500m breit und 500m hoch ist?



Cumulus mediocris, Foto: U. Graf

1'200 Tonnen

≈ 1'200 m³

≈ 1.2 Mio. Liter

≈ 240 Elefanten

(Annahmen: Lufttemperatur 10 °C,
Wassergehalt 9.5 g/m³)