

Luftfeuchtigkeit

Versuche

1. Wasser kochen: Steigt Dampf auf? Wir sehen Nebelschwaden.
2. Dampfkochtopf öffnen: Dampf tritt aus, aber Schwaden sind erst ein Stück danach sichtbar
3. Auf eine kalte Glasscheibe atmen: Dampf ist nicht sichtbar, der Beschlag sind Tröpfchen.
4. Auf eine warme Glasscheibe atmen: Sie beschlägt nicht.
5. Erinnerung: Kalte Brille beim Eintreten in eine feuchtwarme Hütte beschlägt

Wir erkennen:

- a) Luft kann Wasserdampf aufnehmen. Er ist nicht sichtbar
- b) Kalte Luft kann weniger Wasserdampf aufnehmen. Nebel sind sichtbare Tröpfchen.

Die absolute Luftfeuchtigkeit a

$a = m/V$ ist die Masse an Wasserdampf pro Luftvolumen,
zum Beispiel 10 g Wasser pro 1 m³ Luft.

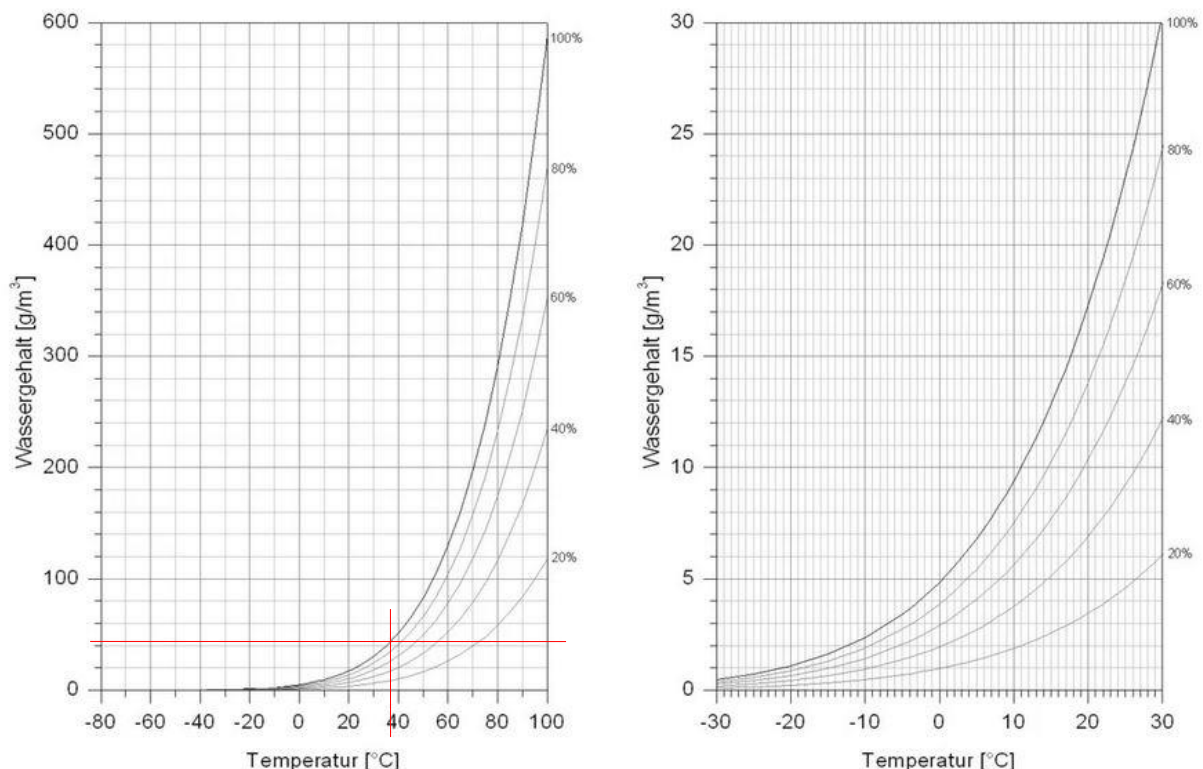
- A1: Das Klassenzimmer misst 7 m x 9 m x 3 m.
Wir verdampfen 1 l Wasser. Um wie viele g/m³ erhöhte sich die Luftfeuchtigkeit?
 $a = m/V = 1000 \text{ g} / 189 \text{ m}^3 = 5,3 \text{ g/m}^3$.
Zusätzlich zu dem Wasserdampf, der sowieso schon in der Luft ist.
Wir sehen ihn nicht.

Sättigung

Je nach Temperatur kann Luft nur eine bestimmte Menge an Wasserdampf aufnehmen.
Das zeigt die 100 %-Kurve im Sättigungsdiagramm.

- A2a: Bei 10 °C kann 1 m³ Luft maximal 9,4 g Wasser aufnehmen. 10 °C 9,4 g
Suche und markiere das im Graphen! 27 °C 25,4 g $\cdot 2,7$
- A2b: Wie viel Wasser kann Luft von 27 °C maximal aufnehmen?
Kann „das“ proportional sein? Keine Ursprungsgerade! Und z.B. für -10°C unsinnig

Sättigungsmenge von Wasserdampf in der Luft



Die relative Luftfeuchtigkeit

gibt an, welcher Anteil des maximalen Wasserdampfgehalts in der Luft erreicht ist

A3: Bei 10 °C kann 1 m³ Luft ca. 9,4 g Wasser aufnehmen. Sind nur 4,8 g Wasser ...

$$rel.F. = \frac{\text{absolute Luftfeuchtigkeit}}{\text{maximal mögliche Luftfeuchtigkeit}} = \dots = 51\%$$

Aufgabe: Zeichne die Kurve für 50% rel.F. ins Diagramm. *Hälfte von 100%, Mitte von 40% ...*

A4: Außenluft 0 °C und 80% rel.F. kommt in den Innenraum und wird auf 23 °C erwärmt ...

Graph: 0 °C; 80% → 3,9 g/m³ → 22 °C; 20%

Trockene Luft macht unsere Schleimhäute anfällig für „Erkältungs“krankheiten.

Der Taupunkt

... ist die Temperatur, bei der die vorhandene absolute Luftfeuchtigkeit eine relative Luftfeuchtigkeit von 100% ergibt.

A5: Im Diagramm lesen wir ab: Bei 4,8 g/m³ Luftfeuchtigkeit liegt der Taupunkt bei 0 °C.

Kühlt Luft unter den Taupunkt ab, so bilden sich Nebel- bzw. Wolkentröpfchen.

HA6: Verwende *dabei das Wort* „Taupunkt“!

A7: In der Küche ist die Luft feucht und warm.

a) Was passiert, wenn du die winterkalte Wohnung durch die offene Türe mitheizt?

b) Wie kannst du Schimmel vorbeugen?

Luftfeuchtigkeit nach außen weglüften.

Du schläfst acht Stunden lang in einem Raum von 32 m³, 19,5 °C und anfangs 60% rel.F. und atmest in jeder Stunde 20 ml Wasser aus.

a) Welche absolute Luftfeuchtigkeit hat der Raum danach?

Anfangs 10 g/m³ also 320 g im Raum

dazu 8·20 ml, zusammen 480 g im Raum

b) Bei welcher Temperatur beschlägt die Fensterscheibe?

rel.F. = 480 g / 32 m³ = 15 g/m³ → 17,5 °C

c) Und in einem echten Haus mit undichten Tür- und Fensterfugen?

Es gibt Luftaustausch. Damit sind die rel.F. und auch der Taupunkt etwas niedriger.

d) Nehmen wir an, der Taupunkt liege bei 15 °C.

Was kannst du über die Außentemperatur sagen, bei der das Fenster beschlägt?

Bei Einfachverglasung:

Zimmertemperatur 19,5 °C (s. Angabe), Glastemperatur 15 °C, außen 10,5 °C.

Bei Isolierfenstern beschlagen die Scheiben eigentlich gar nicht mehr.

d) Wieder eine Zimmertemperatur von ca. 20 °C, Taupunkt 15 °C, außen ca. 10 °C.

Die Mauer ist 30 cm dick nicht ganz gasdicht. Was passiert?

Wie kann man den Taupunkt nach außen schieben?

Der Taupunkt liegt in der Mitte, 15 cm von der Innenwand. Ab dort wird die Mauer feucht.

Mehr Heizen, z.B. auf 25 °C. Dann bleiben die inneren 20 cm trocken → Energieverschw.

Außendämmung → Die ganze Mauer bleibt warm und trocken.

Innendämmung → Die ganze Mauer bleibt kalt und wird feucht → sie wird schimmeln :(

Was tun? Luftfeuchtigkeit im Raum muss reduziert werden: Mehr lüften:

Früher: Zugige Fenster → Energieverschwendung

Heute: Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung.

Merke: Wer in einem schlecht gedämmten Haus mit dichten Fenstern die Raumtemperatur absenkt um Energie zu sparen, muss besser lüften!

1. Das Klassenzimmer misst 7 m x 9 m x 3 m.

Wir verdampfen 1 l Wasser. Um wie viele g/m^3 erhöhte sich die absolute **Luftfeuchtigkeit**?

2. Wie viel Wasser kann Luft von a) 10 °C bzw. von b) 27 °C enthalten?

3. Bei 10 °C kann 1 m³ Luft maximal 9,4 g Wasser aufnehmen.

Wie groß ist die **rel.F.**(relative Luftfeuchtigkeit), wenn nur 4,8 g Wasser enthalten sind?

4. An einem Wintertag von 0 °C habe die Außenluft 80 % rel.F. Sie kommt beim Lüften in den Innenraum und wird auf 22 °C erwärmt. Welche rel.F. hat sie dann?

Bemerkung: Trockene Luft macht unsere Schleimhäute anfällig für Erkältungskrankheiten.

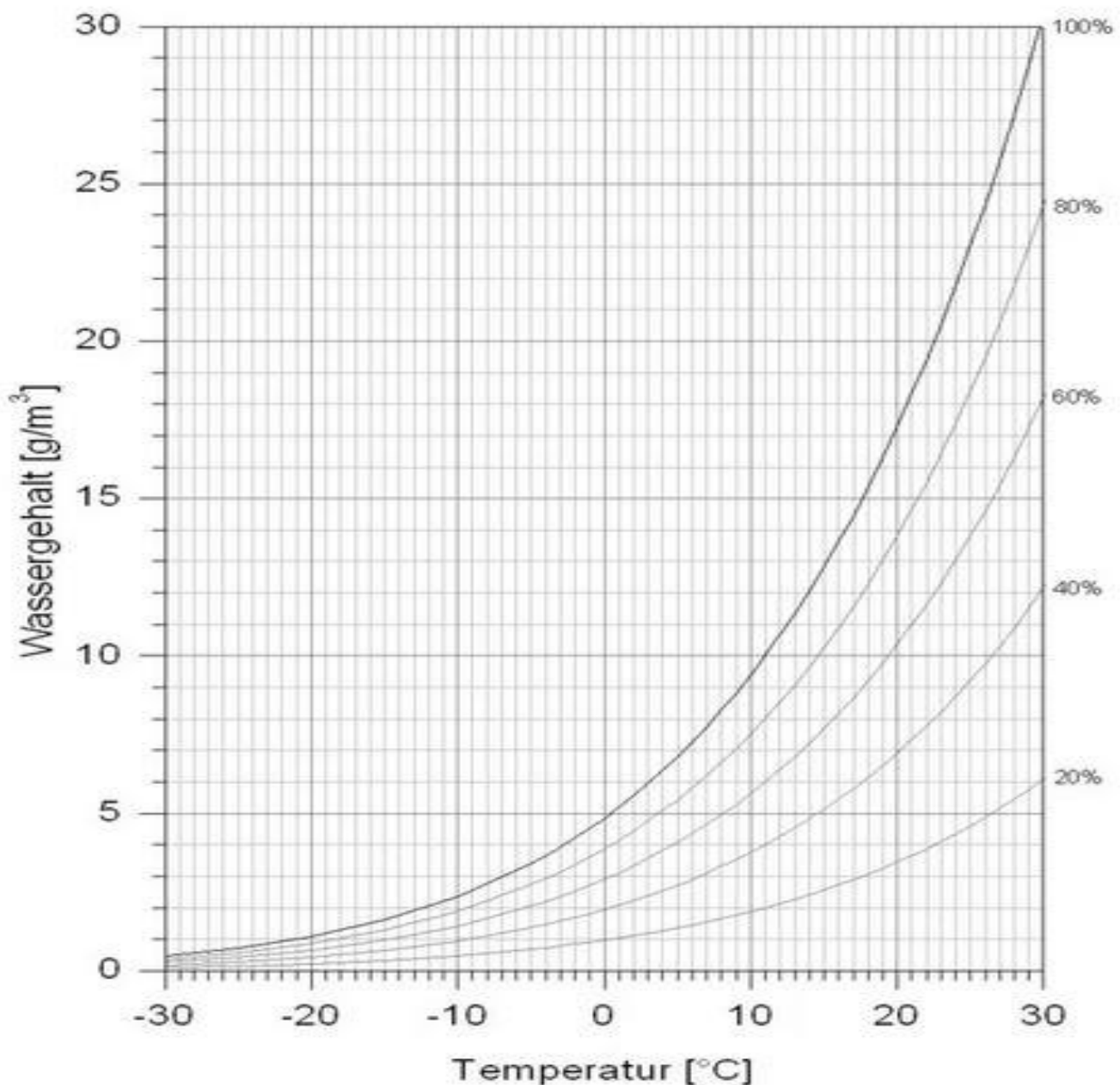
5. Wo liegt der **Taupunkt**, wenn in einem Kubikmeter Luft 4,8 g Wasserdampf enthalten sind?

6. Du betrittst mit der kalten Skibrille einen feuchtwarmen Raum. Was siehst du?

7. In der Küche ist die Luft feucht und warm.

a) Was passiert, wenn du die winterkalte Wohnung durch die offene Türe mitheizt?

b) Wie kannst du Schimmel vorbeugen?



8. Deine Ausatemluft hat 100% rel.F. In einer bestimmten Entfernung ist sie so mit Raumluft vermischt, dass sie 30 °C und 80% rel.F. hat. Welche Temperatur muss ein Spiegel haben, damit er beschlägt? [26 °C]

9. Ob ein Verletzter atmet, können Ersthelfer mit der sogenannten Spiegelprobe feststellen. (Im 18. Jahrhundert wollte man so Scheintote entdecken.) Ein Krimi, bei dem sie nicht klappt: „An einem heißen Sommertag ...“. Setze die Geschichte fort! (Mündlich)

10. Der kalte Keller neigt leider dazu, etwas feucht zu sein.
Ist es schlauer, die Türe an einem heißen Sommertag zu öffnen oder zu schließen? [Zu]

11. Warum tropft es oft aus Klimaanlage? [Kondenswasser]

12. Du schläfst acht Stunden lang in einem Raum von 32 m³, 19,5 °C und anfangs 60% rel.F. und atmest in jeder Stunde 20 ml Wasser aus.

- a) Welche absolute Luftfeuchtigkeit hat der Raum danach? [15 g/m³]
- b) Bei welcher Temperatur beschlägt dann die Fensterscheibe? [17,5 °C]
- c) Und wie ist das in einem echten Haus mit undichten Tür- und Fensterfugen? [< 17,5 °C]
- d) Nehmen wir an, der Taupunkt liege stattdessen bei 15 °C. Was kannst du über die Außentemperatur sagen, bei der das Fenster beschlägt? (Was für ein Fenster?)
[Einscheibenfenster < 15,5 °C; Isolierglasfenster -]

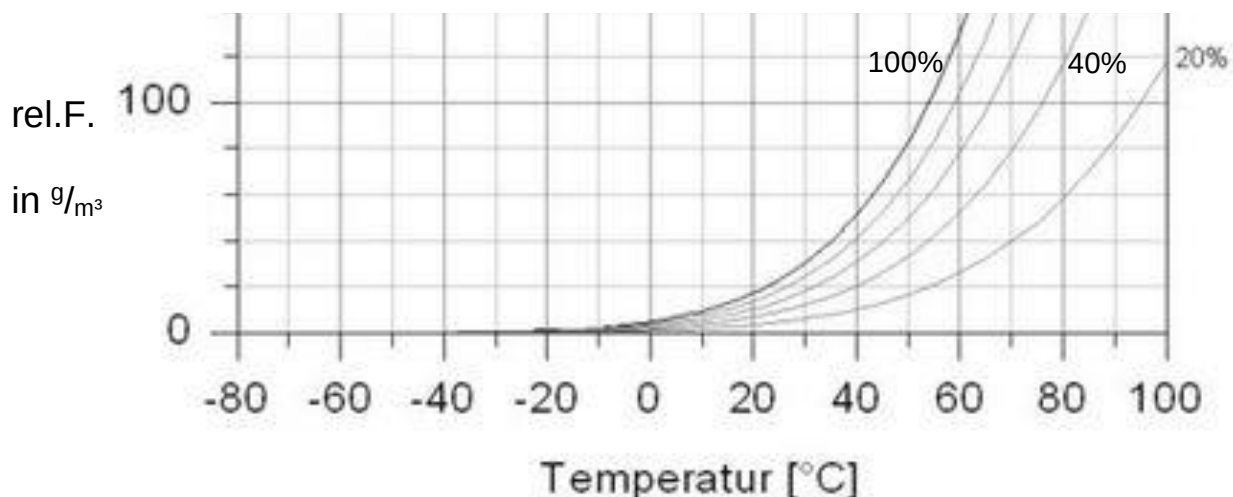
13. Wieder eine Zimmertemperatur von ca. 20 °C, Taupunkt 15 °C, außen ca. 10 °C.
Die Mauer ist 30 cm dick nicht ganz gasdicht. Was passiert? [Feuchtigkeit aber der Mitte]
Mit welchen Möglichkeiten kann man den Taupunkt nach außen schieben?
[heizen, außen dämmen, lüften]

14. Was sind Eisblumen am Fenster? [resublimierte Kristalle]

15. Feuchte Warmluft fließt über den kühlen Boden einer Talsenke. Was siehst du? [Nebel]

16. Aufsteigende Luft kühlt sich alle 100 m um 1 °C ab.
Heute habe es 21 °C und 60% rel.F. In welcher Höhe bildet sich die Wolkenunterkante?
[850 m]

17. Ein sommerlicher Tag, die Luft erwärmt sich, die rel.F. sinkt, Felder trocknen aus.
Abends betrage die rel.F. 60% bei 27 °C. Die Atmosphäre kühlt ab.
- a) Ab welcher Temperatur bildet sich Tau? [18 °C]
 - b) Es kühlt ab bis auf morgendliche 11 °C. Wie viel Tau fällt aus einem m³ Luft? [ca. 5 g]
 - c) Dann steigt die Temperatur wieder auf 27 °C. Welche rel.F. herrscht jetzt? [40%]



Reste

A: Luft von 20 °C und 40% rel.F. wird abgekühlt. Ab wann bilden sich Tröpfchen?

Ein See hat 10 °C. Die Luftschicht auf ihm 80 % rel.F.

Kurz darüber kühlt sie sich schnell um 5 °C ab. Was siehst du?

Die relative Luftfeuchtigkeit deiner 37 °C warmen Atemluft beträgt 100 %. In jeder Stunde atmest du damit etwa einen Kubikmeter Luft und 20 g Wasser aus.

Atemzugvolumen in Ruhe = 0,5 l

bei 37 °C entsprechen 44 g/m³ einer rel.F. von 100%

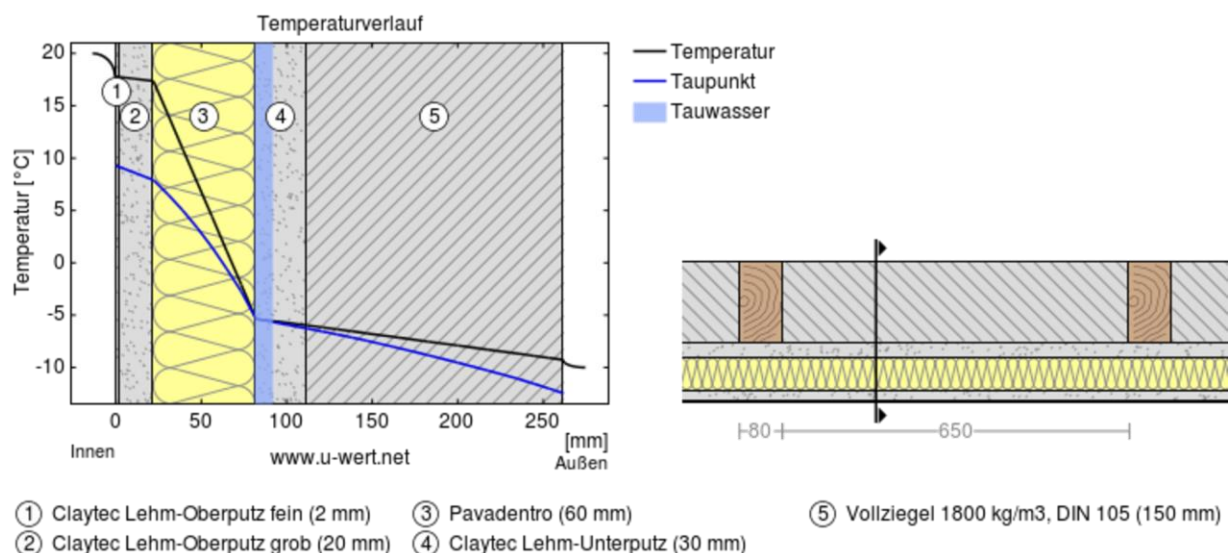
Atemfrequenz in Ruhe = 15 / min = 900 / h → 450 l/h = 10,8 m³/d

Abgeatmet werden = 19,8 ml/h = 0,475 l/d

Nachdem du geduscht hast, hat es in deinem Bad von 20 m³ etwa 26 °C bei 100% rel.F. Der Raum nebenan hat 40 m³ und 60 % rel.F., seine Heizung ist auf 17 °C eingestellt. Ist es schlau, nach dem Duschen die Badtüre offen zu lassen, um die Heizung zu unterstützen?

Wenn der Taupunkt nicht unterschritten würde, könnte man sich denken, dass sich das kleine und das große Luftvolumen zu 20 °C mischen. Tatsächlich aber würde aus der Luft vom Bad beim Abkühlen auf 17 °C etwa 9,5 g/m³ kondensieren, fast 200 ml für die 20 m³. Die trockenere Luft aus dem andere Zimmer kann noch etwa 5,5 g/m³ aufnehmen, also 220 g. Noch bildet sich also kein Kondenswasser im Raum. Aber du atmest jeden Tag etwa einen halben Liter Wasser aus. Deswegen musst du lüften, damit sich kein Schimmel bildet.

<https://www.adolphs-bautenschutz.de/luftfeuchtigkeit-und-schimmel/>



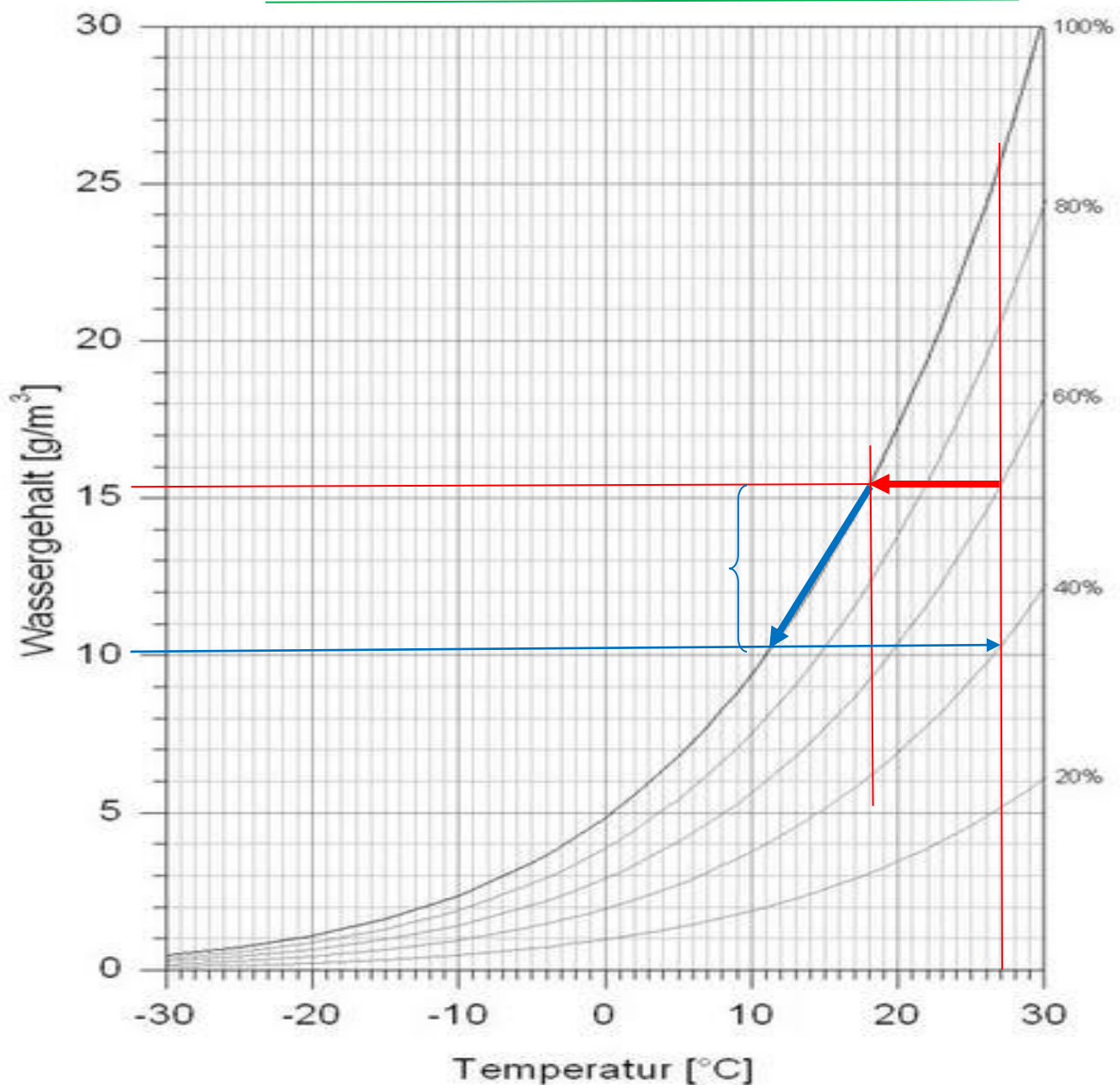
Das Diagramm zeigt für 100 °C eine maximale absolute Luftfeuchte, die im Grenzfalle in eine reine Wasserdampfatmosfera übergeht.

So wie bei 0 °C ein Mol 22,4 l einnimmt, sind es bei 100 °C dann 22,4 l/mol $\cdot$ 373 K/273 K = 30,6 l/mol
 Ein Mol Wasser wiegt 18 g, bei 100 °C haben wir also 18 g/mol / 30,6 l/mol = 0,588 g/l, also 588 g/m³,
 etwas weniger als die Dichte von Luft, aber in der gleichen Größenordnung.

(Kontrollrechnung für Luft bei 0 °C:

80 % N₂ + 20 % O₂ ergibt ein molares Gewicht von $0,8 \cdot 28 \text{ g} + 0,2 \cdot 36 \text{ g} = 29,6 \text{ g}$

0,061 mol/l ergeben $0,061 \text{ mol/l} \cdot 29,6 \text{ g/mol} = 1,81 \text{ g/l}$)



8. Klasse: Wetterkunde in drei Doppelstunden

1. Atmosphäre

(1 Std.)

- 1.1 Luftdruck
- 1.2 Luft kühlt sich beim Ausdehnen ab
- 1.3 Luftschichtung
- 1.4 Die Sonne ist der Motor des Wetters
- 1.5 Hoch- und Tiefdruck
- 1.6 Zusammenfassung

2. Luftfeuchtigkeit

(1 bis 2 Std.)

- 2.1 Die absolute (Luft-)feuchtigkeit
- 2.2 relative L.
- 2.3 Kaltfront, Warmfront
- 2.4 Wolken
- 2.5 Feuchtadiabaten
- 2.6 Kaltfront, Warmfront, Okklusion

3. Wettervorhersage

(1 bis 2 Std.)

- 3.1 Corioliskraft
- 3.2 Winde im Hoch- und im Tiefdruckgebiet
- 3.3 Wetterkarte
- 3.4 Wetterbericht
- 3.5 Wetterlagen

4. Die Erde

(fakultative Auswahl)

- 4.1 Klimazonen
- 4.2 Meer
- 4.3 El Nino
- 4.4 Föhn
- 4.5 Treibhauseffekt

Kopiervorlagen

[Wolken](#)

[Zyklone und Durchzug einer Front](#)

[Treibhauseffekt](#)

Gerade Schrift: Hefteintrag
Kursiv: Nur mündlich.
braun: später

1. Atmosphäre

1.1 Luftdruck

Versuch: Wasserdampf kondensiert im Blechkanister, dann zerknüllt ihn der Luftdruck.

Versuch: Latte unter Zeitungsseite abschlagen

$p = F/A$	Druck = Kraft pro Fläche
-----------	--------------------------

$[p] = 1 \text{ bar} = 10 \text{ N/cm}^2 = 100\,000 \text{ N/m}^2 = 1000\,00 \text{ Pa} = 1000 \text{ hPa}$

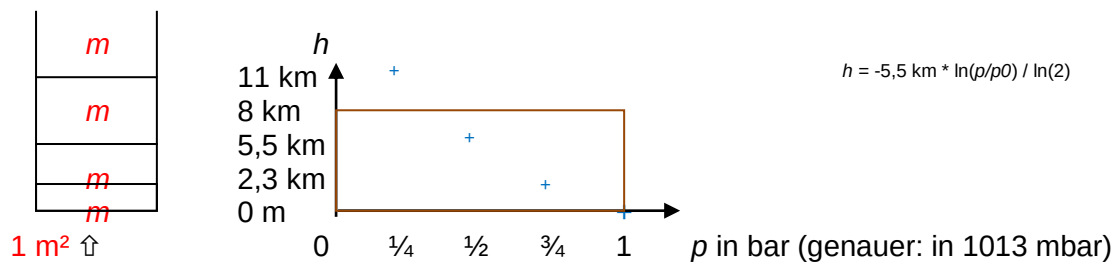
Normaldruck (Durchschnittswert auf Meereshöhe) = 1013 hPa $\approx 1 \text{ bar}$

Versuch zum Barometer

Warum läuft das Wasser nicht aus dem Schlauch? Weil die Luft es von unten hineindrückt.

Auf dem Mond wäre es nicht so (abgesehen vom Dampfdruck).

Vier Pakete mit je 2500 kg Luft drücken aufeinander:



Der Luftdruck nimmt alle 5,5 km um die Hälfte ab
--

Vorstellung Luftsee:

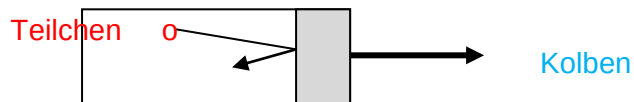
1,3 kg/m³

Wenn die Luft überall die Dichte hätte wie am Boden, wäre die Atmosphäre nur 8 km dick

Unsere Lebensgrundlage ist also dünn und nicht unendlich aufnahmefähig oder belastbar!

1.2 Luft kühlt sich beim Ausdehnen ab

Vorstellung: Die Bewegung der Teilchen ist ein Maß für die Temperatur



Modell: Teilchen werden am Kolben reflektiert. Wenn der sich entfernt, werden sie dabei langsamer. Wenn er hineingeschoben wird, werden sie schneller.

Versuch: Ballwurf auf eine sich weg bewegende Wand (z.B. Lastwagen)

Energieerhaltung: Teilchen schieben den Kolben weg, ihre innere Energie nimmt ab.

Versuch: Beim Zusammendrücken ist es umgekehrt: Die Luftpumpe wird heiß.

Allgemeiner: Genauso, wenn statt des Kolbens nur eine gedachte Hülle die Luftblase begrenzt.

Wenn Luft sich ohne Energiezufuhr ausdehnt, kühlt sie ab.

(Bemerkung: Dabei wird der Druck geringer.

Wenn der Druck gleich bleiben sollte, müsste man die Luft heizen, aber das wäre ein anderer Versuch. In jedem Fall gilt $pV/T = \text{const.}$)

1.3 Luftschichtung

Messung: Wenn es keine Wolken gibt, kühlt Luft beim Aufsteigen um 1 °C pro 100 m ab.

	Beispiel 1: Umgebung		gedachtes Luftpaket		
400 m	15 °C	>	14 °C	↓	Dieses Luftpaket sinkt ab.
200 m	16 °C	=	16 °C	↕	Hier kommt das Luftpaket zur Ruhe.
0 m	17 °C	<	18 °C	↑	Dieses Luftpaket steigt auf.

besser, weil schneller: Lückentext

⇒ stabil, ruhiges Wetter

Beispiel: Inversion, Smog

	Beispiel 2: Umgebung (gegeben)		Luft am Boden z.B. 18 °C			in der Höhe z.B. 10 °C	
400 m	11 °C	<<	14 °C	↑	② Dieses steigt noch schneller	10 °C	① ...
200 m	14 °C		16 °C	↑		12 °C	
0 m	17 °C	<	18 °C	↑	① Das Luftpaket steigt auf	14 °C	② ...

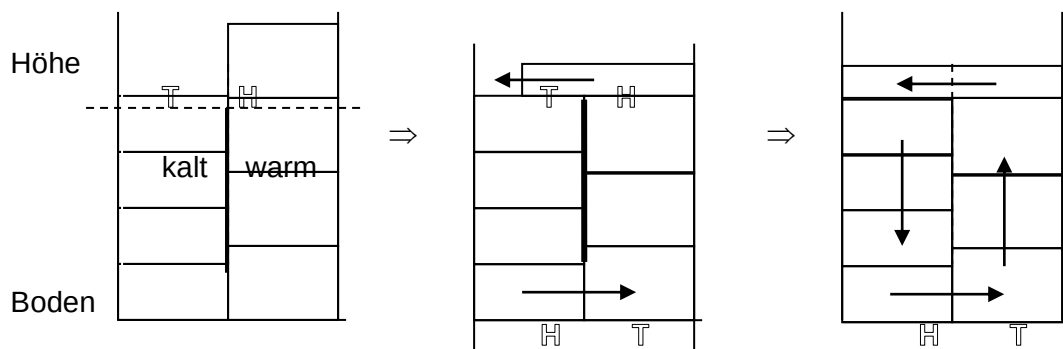
⇒ labil, turbulent, vielleicht Gewitter

1.4 Die Sonne ist der Motor des Wetters

Die Sonne strahlt außerhalb der Erdatmosphäre mit $1,4 \text{ kW/m}^2$ und mit ca. 1000 W/m^2 im Jahresmittel in D., mit ca. 600 W/m^2 im Jahresmittel auf die waagrechten Erdoberfläche

1.5 Hoch- und Tiefdruck

Zweikammermodell: Betrachte zwei Kammern zwischen gedachten Mauern von der Erdoberfläche bis in die Stratosphäre, gefüllt mit Luftpaketen, oben und unten verbunden. Luftpakete der Einfachheit halber in jeder Höhe gleich groß gezeichnet. In Wirklichkeit wird die Trennung durch großen Abstand realisiert, nicht durch Mauern.



Luft fließt vom H zum T. Im T steigt die Luft auf.

Aufsteigende Luft wird kälter ⇒ Luftfeuchtigkeit kondensiert ⇒ Im T ist es bewölkt.

1.6 Zusammenfassung

- Der Luftdruck nimmt mit zunehmender Höhe ab (alle 5,5 km um die Hälfte)
- Aufsteigende Luft dehnt sich daher aus (Versuch Mohrenköpfe im Vakuum)
- Wenn Luft sich ausdehnt, kühlt sie ab (Aber nicht so stark, dass sie gleich wieder absinken würde)

⇒ Aufsteigende Luft kühlt sich ab (trockene alle 100 m um 1 °C)

⇒ Aus der Temperatur der Luftschichten kann man vorhersagen, ob sie stabil oder turbulent sind.

2. Luftfeuchtigkeit

2.1 Die absolute Luftfeuchtigkeit

gibt an, wie viel Gramm Wasser in 1 m³ Luft enthalten sind.

Warme Luft kann mehr Feuchtigkeit aufnehmen als kalte.

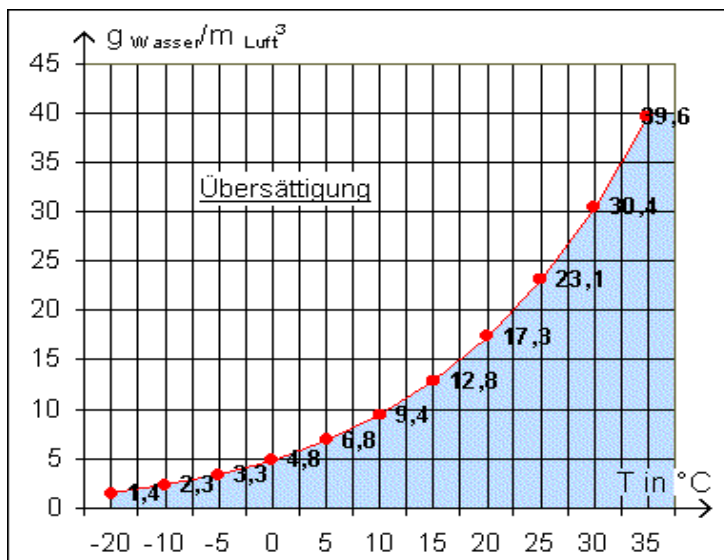
- Im Sommer ist die Neigung zu starken Niederschlägen höher als im Winter.
- Im Sommer vertrocknet das Land mehr als im niederschlagsärmeren Winter.
- Trockene Innenräume im Winter

2.2 Die relative Luftfeuchtigkeit

gibt den Sättigungsgrad der Luft mit Wasserdampf an

$$\text{rel.F.} = \frac{\text{absolute Luftfeuchtigkeit}}{\text{maximal mögliche Luftfeuchtigkeit}}$$

Beispiel: Bei 10 °C kann 1 m³ Luft ca. 9,4 g Wasser aufnehmen.
Sind nur 4,8 g Wasser enthalten, ist die rel.F. = 51%



Grobe Faustregel:
bei Erwärmung um 10 °C
halbiert sich die rel.F. fast

2.3 Der Taupunkt

ist die Temperatur, bei der die vorhandene absolute Luftfeuchtigkeit eine relative Luftfeuchtigkeit von 100 % ergibt.

Beispiel: Im Diagramm lesen wir ab: Bei 4,8 g/m³ Luftfeuchtigkeit liegt der Taupunkt bei 0 °C.

Kühlt Luft unter den Taupunkt ab, so bilden sich Nebel- bzw. Wolkentröpfchen.

Bei höher (absoluter oder relativer) Luftfeuchtigkeit z.B. Schwüle, liegt der Taupunkt höher:
Es kondensiert schon bei höheren Temperaturen

Am Diagramm üben:

Beispiele: (Lehrervortrag zum Mitnotieren)

Beschlagen von feuchter Luft an kalten Flächen:
Scheibe anhauchen, Brille in Skihütte.
Kondensierender Atem

Bei nächtlicher Abkühlung kondensiert die Feuchtigkeit in Tröpfchen aus.
Besonders an Tagen hoher absoluter Luftfeuchtigkeit fällt Tau aus: Im Sommer, wenn tagsüber viel verdunstet ist.

Nebel entsteht, wenn feuchte Luft in Kontakt mit dem kalten Boden kommt.

2.4 Wolken

Erinnerung: Wenn Luft aufsteigt kühlt sie ab. Am Taupunkt kondensiert die Luftfeuchtigkeit.

Beispiel zu 1.5: Ein Tief ist oft regnerisch.

Beispiel heute Wir bestimmen die Höhe der Wolken:

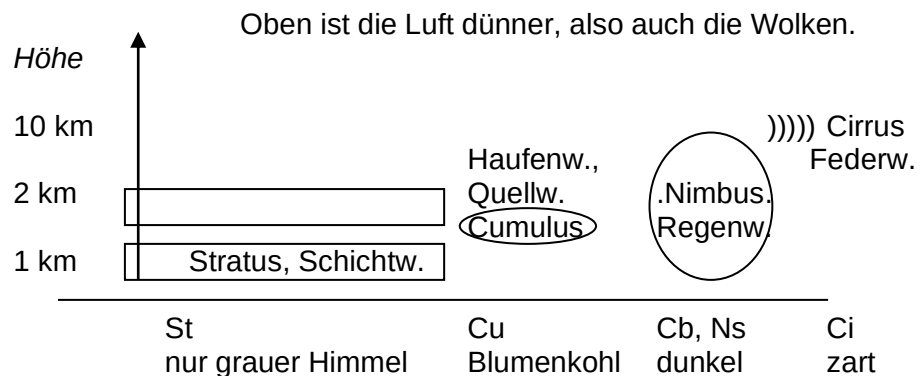
Messung $\vartheta =$ °C, rel.F. = %

⇒ Taupunkt bei °C, also um °C kälter als am Boden

⇒ Wolkenunterkante m über dem Boden.

Beispiel Hoch: In absinkender Luft nimmt die relative Luftfeuchtigkeit ab:
In einem Hoch ist es wolkenlos und trocken.

Wolkenarten



Wolken ziehen entweder über Land und bringen Regen vom Atlantik oder sie bilden sich in aufsteigender Luft, die durch sie hindurchfließt ⇒ ständig neu.

2.5 Kondensieren (ohne Energieaustausch =: Feuchtadiabaten)

Wenn in aufsteigender Luft Wasser kondensiert, kühlt sie nur 0,65 °C pro 100 m ab, So wie zum Verdunsten Energie gebraucht wird, wird sie beim Kondensieren frei.
Beispiel: Verbrühungen durch Wasserdampf.

2.6 Kaltfront

Wassertropfen rinnt auf schräger Unterlage

(Abbildungen dazu auf der folgenden Kopiervorlage)

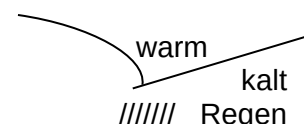
Kalte Luft ist dichter, sie schiebt sich in einer Kaltfront unter die warme Luft.
1.3, Beispiel 2, schnelle Temperaturänderung: Turbulent bis in die Höhe, z.B. Gewitter

Warmfront

Warme Luft ist leichter, sie gleitet auf die kalte Luft über hundert Kilometer
1.3, Beispiel 1, keine schnelle Temperaturänderung: Stabil, Ablauf geht langsam.

Okklusion

Die Kaltfront holt die Warmfront ein und hebt sie ab.
Am Boden ist es nur kalt, in der Höhe gibt es aber Wolken



Wetterkunde

Absolute und relative Luftfeuchtigkeit

Beispiel: Bei 20°C kann 1 m³ Luft bis zu 17,3 g Wasser aufnehmen: 100 % rel.F.
Bei 20°C und 12,1 g/m³ herrscht 70% rel.F.

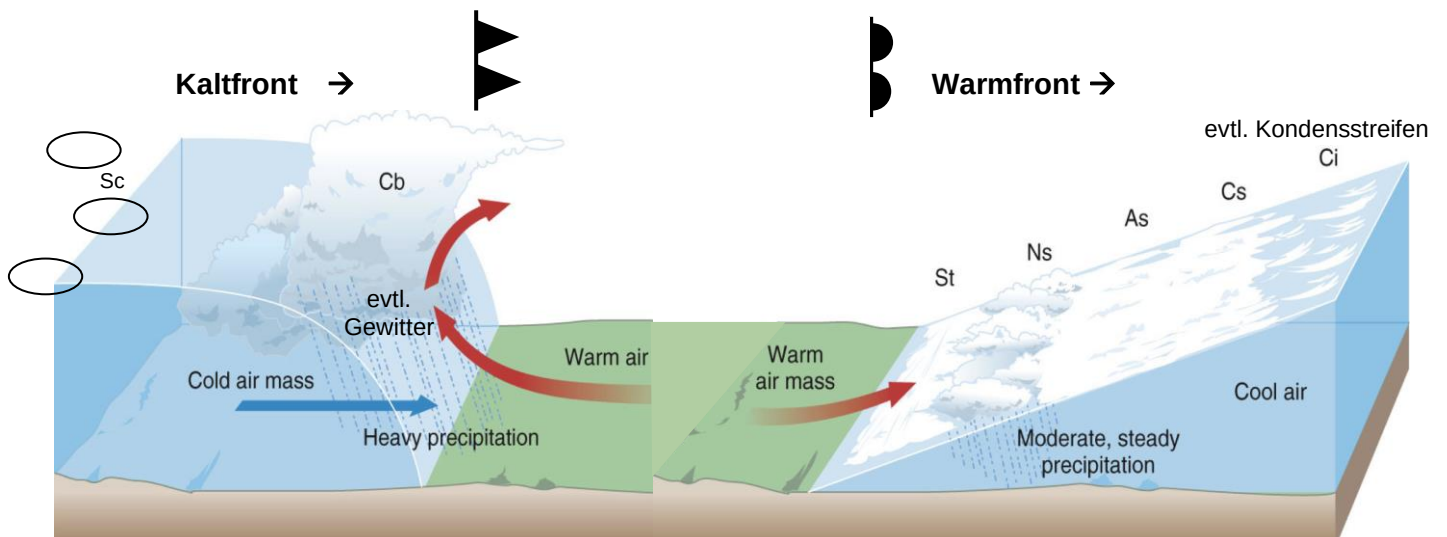
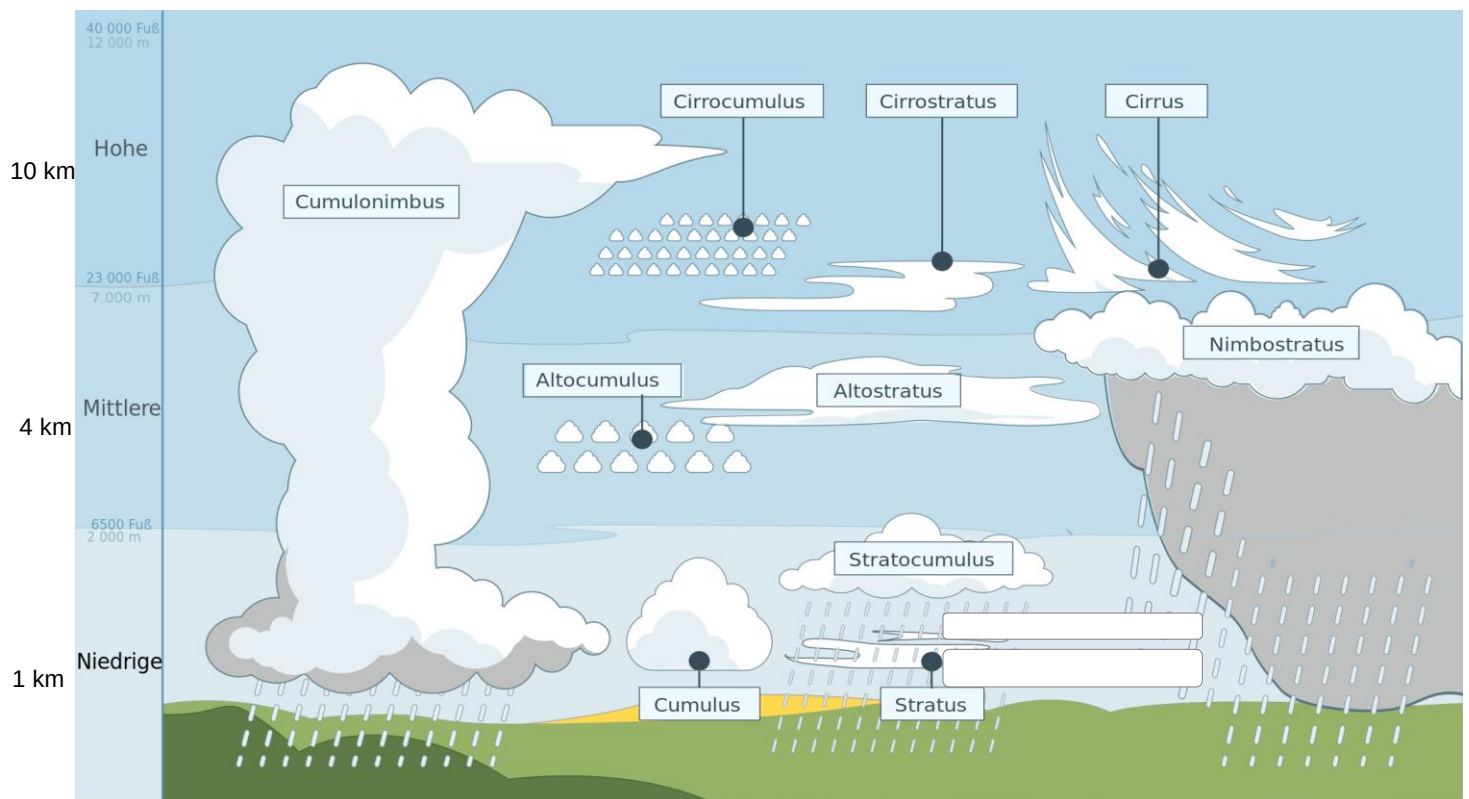
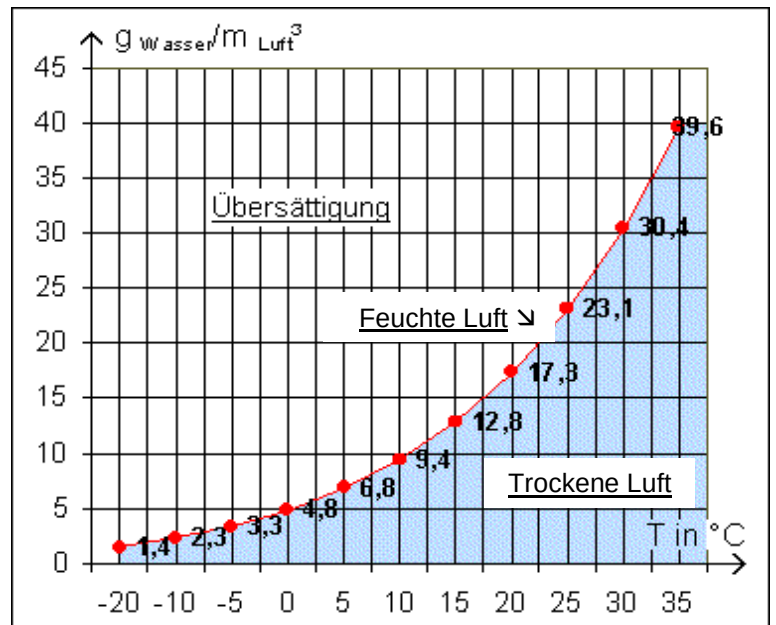
Wetterbericht

für den Regnitz-Pegnitz-Raum:

www.wetterochs.de ;

dort weitere Links, z.B. zu Wetterkarten

Wolkenarten



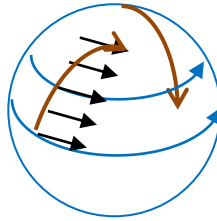
3. Wettervorhersage

3.1 Corioliskraft

Versuch: Drehteller mit Papier bespannt. Nasse Kugel hinterlässt eine gekrümmte Spur
Am Drehkarussell wird ein rollender Ball abgelenkt.

Hausaufgabe: Kinderspielplatz

Die Erde dreht sich nach Osten
(im Osten geht die Sonne auf)



Pol: 0 m/s

Lauf: 300 m/s

Äquator: 463 m/s

Ein Körper „nimmt seine Geschwindigkeit mit“ $\Rightarrow$ Luftmassen bewegen sich im Uhrzeigersinn

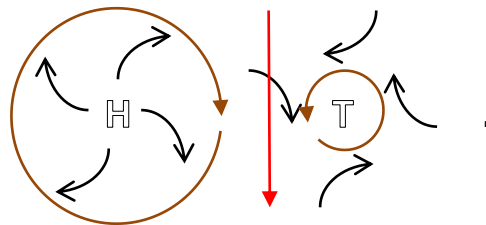
Bemerkung: Auf der Südhalbkugel wird gegen den Uhrzeigersinn abgelenkt.

3.2 Winde im Hoch- und im Tiefdruckgebiet

Ohne Erdrotation würde der Wind direkt vom H ins T wehen.

Mit der CORIOLISKRAFT:

Nicht H $\rightarrow$ T, sondern



H : Wind dreht
im Uhrzeigersinn

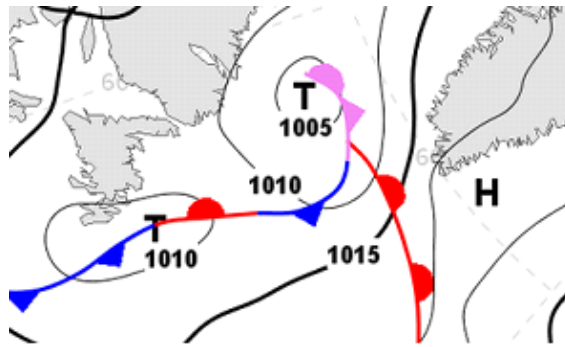
T großer Luftwirbel
gegen den Uhrzeigersinn

Windstärke hängt vom Druckunterschied ab.
Beispiel: 960 hPa ist ein Sturmtief.



3.3 Wetterkarte

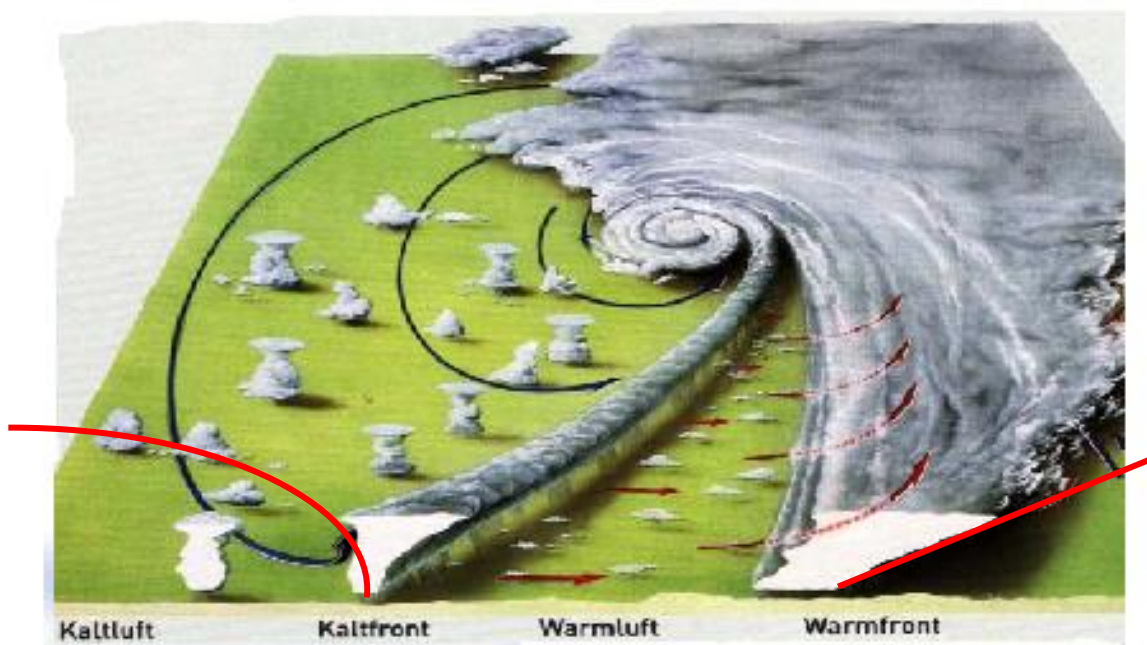
Isobaren, Luftdruck
Wolken
Wind um T
Fronten: Druckverlauf,
Windrichtung, ...



Aufgabe: Windrichtungen; in welche Richtung ziehen also welche Fronten?

Eine Zyklone

(Ein „Zyklon“ ist was anderes)



3.4 Wetterbericht

Gegeben: Aktuelle Wetterdaten, vor allem aus Westeuropa.

- Ein Telefonat mit der Oma in Ansbach ist schon mal ein Anfang

- Nach Erfindung der Telegraphie: Wetterkarten

<http://server.wettermail.de/gds/data/gme-fcst/surface-pressure/index.html>

Hilfe: Computermodelle,

die aus momentanem Wind, Temperatur, Luftfeuchtigkeit etc. weiterrechnen.

Früher (200 km)², bis drei Tage in die Zukunft. Heute (3 km)², 50 Schichten, 7 Tage.

z.B. Meteogramme

<http://wetterstationen.meteomedia.de/station=107630&wahl=vorhersage>

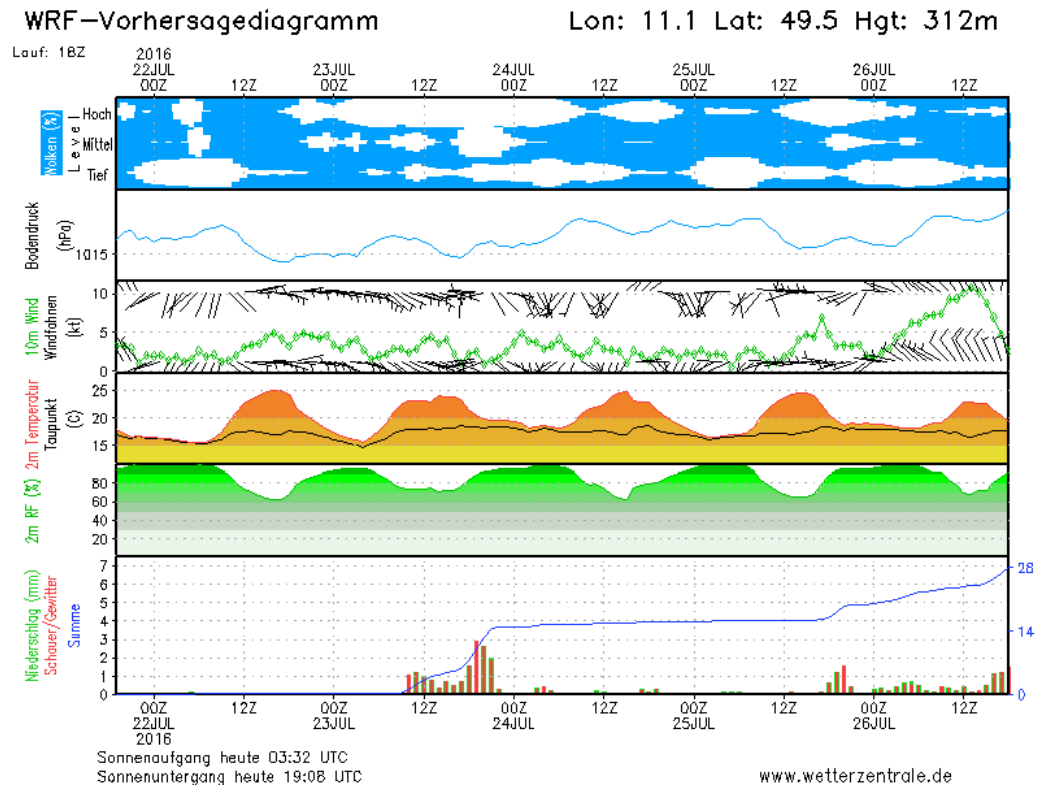
http://old.wetterzentrale.de/pics/MS_111495_wrf.png

Gesucht: Vorhersage

Guter Wetterbericht für Regnitz-Pegnitz-Raum: www.wetterochs.de:

Dort auch immer wieder Bemerkungen und Überlegungen, die anhand der aktuellen Vorhersage anschaulich erklären, wie die Vorhersagen funktionieren.

Jeweils das aktuelle Meteogramm besprechen:



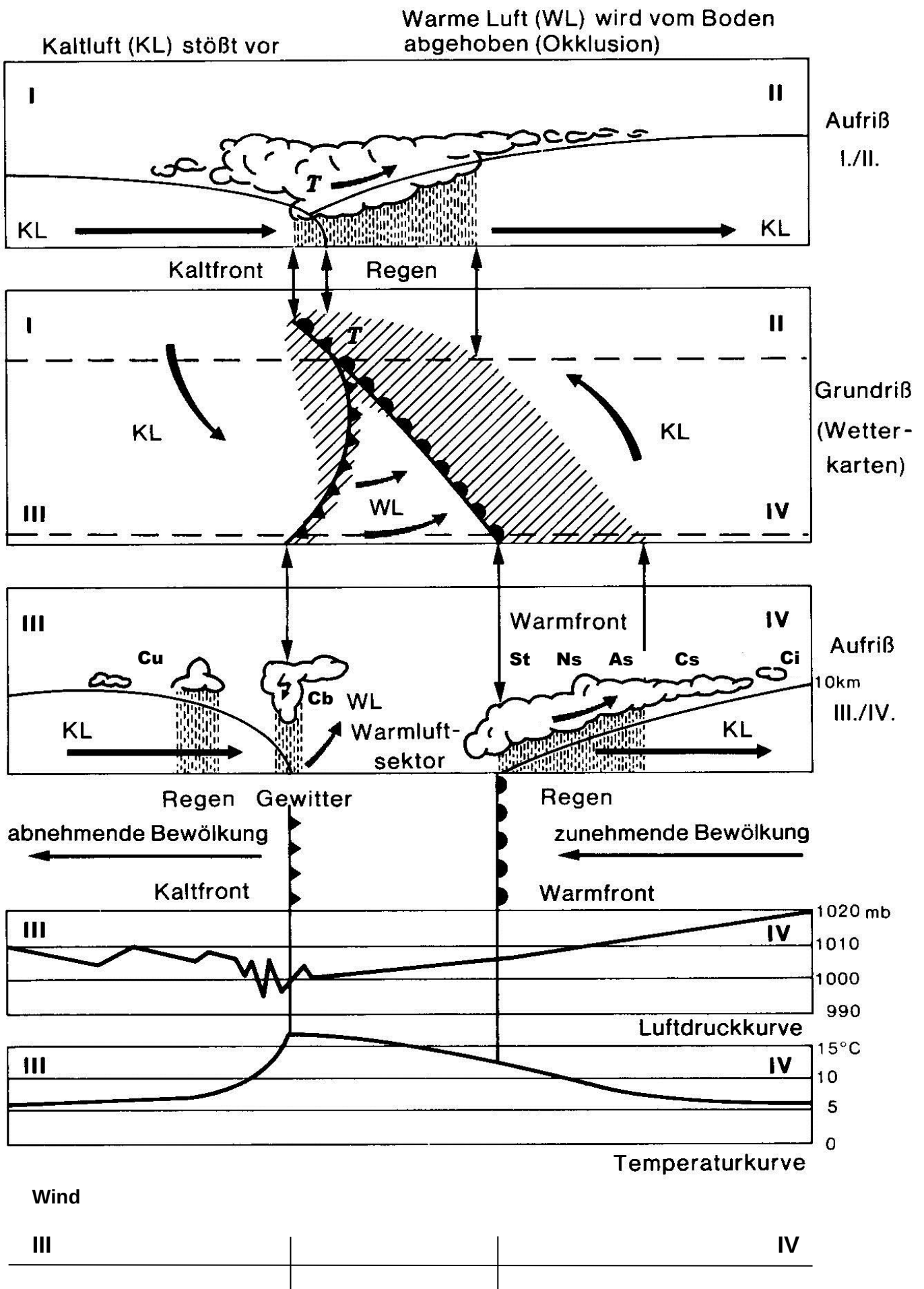
3.5 Wetterlagen

Durchzug einer Front: *Siehe Arbeitsblatt: Zieht von W nach O → über den Finger.*
Windrichtungen, Windstärke (Beaufortskala), Bewölkungsgrad einzeichnen, IV → III
Meist nicht so lehrbuchmäßig, natürlich auch oft schräg dazu

Stabiles Hoch im Sommer: Wolken am Nachmittag, Gewitter am Abend, Tau in der Nacht.

Tief über Genua

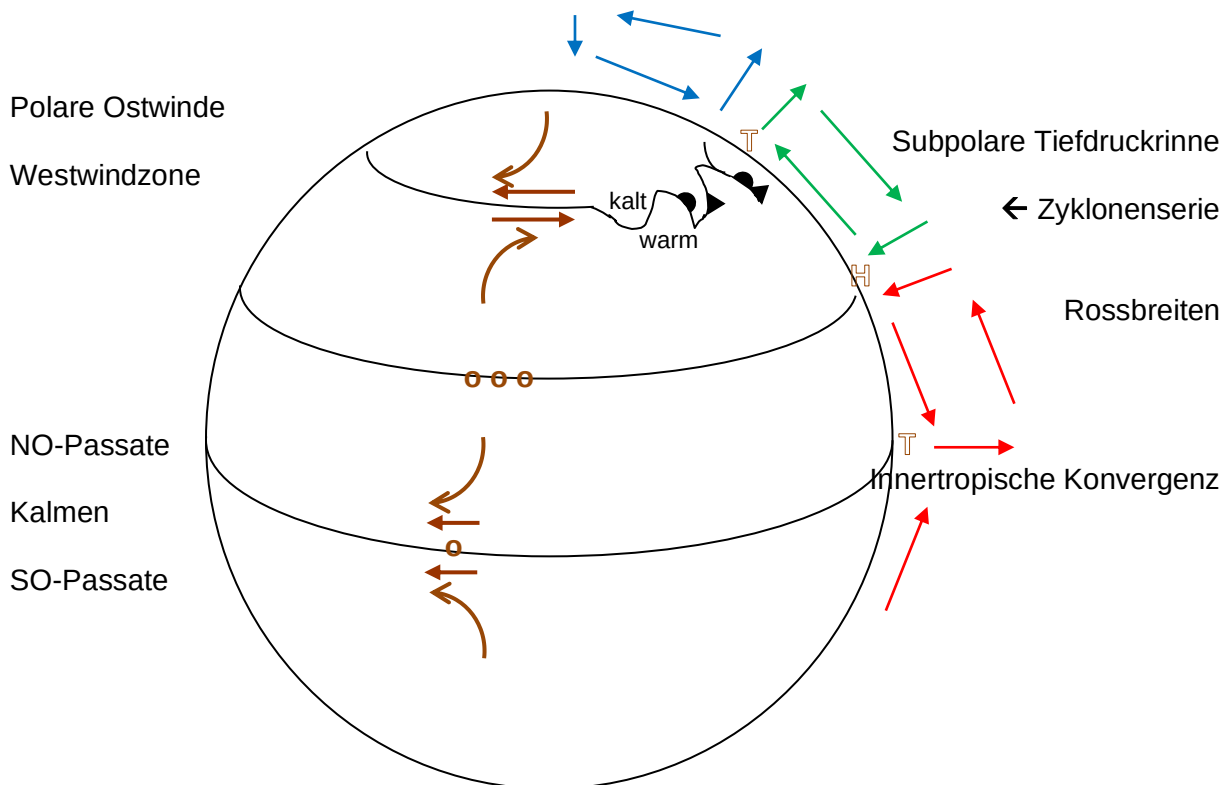
Zyklone und Durchzug einer Front



4. Die Erde

4.1 Klimazonen

Erinnerung: Kalte Luft sinkt ab, warme steigt auf.
Die Corioliskraft lenkt auf der nördlichen Hemisphäre nach rechts ab.



Pro Halbkugel bilden sich drei Zellen aus.

Wegen der gegenläufigen Luftbewegungen ist die subpolare Tiefdruckrinne recht stürmisch.
Im Winter liegt diese Frontalzone südlich, im Sommer nördlich von uns.

(Versuch Schiebetafel)

Sie steuert eine Kette von Zyklonen mit abwechselnd Warm- und Kaltfronten über uns,
vor allem im Herbst und Frühjahr.

Dagegen herrschen häufige Windstillen in den äquatorialen Kalmen und Rossbreiten.
Monsun in Indien

Jahreszeiten

Ozeane ändern ihre Temperatur langsamer als Kontinente,
denn $c_w > c_{\text{Stein}}$ und Wasser durchmischt sich in die Tiefe

Nordhalbkugel	Kontinent	Ozean
Winter	Hoch „Sibirisches Hoch“ (kalt: absinkende Luft)	Tief „Atlantisches Tief“
Sommer	Tief (warm: aufsteigende Luft)	stärkeres Hoch als im Winter

4.2 Meer

Der warme Golfstrom dreht im Uhrzeigersinn:

Lappland ist nicht arktisch wie die kanadische Arktis, sondern eisfrei.

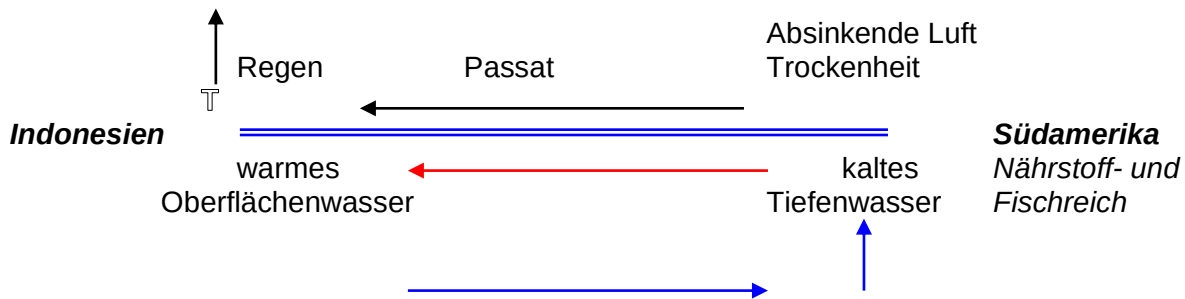
Mitteleuropa ist warm und feucht, nicht unwirtlich kalt wie Labrador.

Das Wasser fließt als kalter Kanarienstrom, Kalifornienstrom, Humboldtstrom zurück.

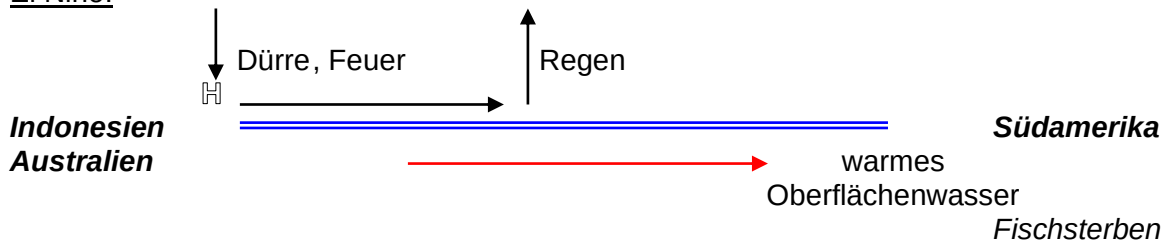
Dort grenzen eher trockene Gebiete an, z.B. die Sahara oder die Atacama (klare Sicht ist gut für die ESO-Teleskope!).

4.3 El Nino

Südpazifik Normal:



El Nino:



4.4 Föhn

Feuchtadiabaten $0,65\text{ °C pro }100\text{ m}$

Trockenadiabaten $1\text{ °C pro }100\text{ m}$

warme, feuchte Luft steigt in Südtirol auf: Dort viel Regen

d.h. rel.F ist immer 100 %, aber dabei nimmt die absolute Luftfeuchtigkeit ab.

sehr warme Luft sinkt in Oberbayern ab: Hier sehr trocken

d.h. absolute Luftfeuchtigkeit bleibt konstant, aber es wird wärmer $\Rightarrow$ rel.F. nimmt ab.

Leckt in Windeseile den letzten Schnee auf

4.5 Treibhauseffekt

CO₂

lässt kurzwellige Strahlung (Licht) durch, aber hält langwellige Strahlung (Wärme) zurück.

Natürlicher Treibhauseffekt:

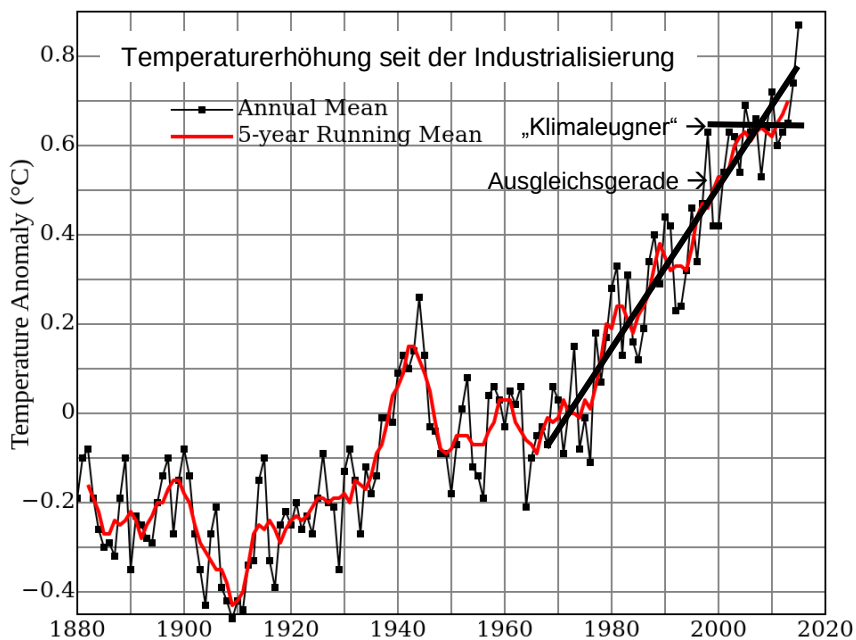
Sonst wäre die Erde bei -15 °C vergletschert.

Das hatten wir vermutlich vor 700 Ma schon mal, als es nur Pflanzen, aber noch keine Tiere gab, die aus O₂ wieder CO₂ erzeugt hätten:
Schneeball Erde

Anthropogener Treibhauseffekt:

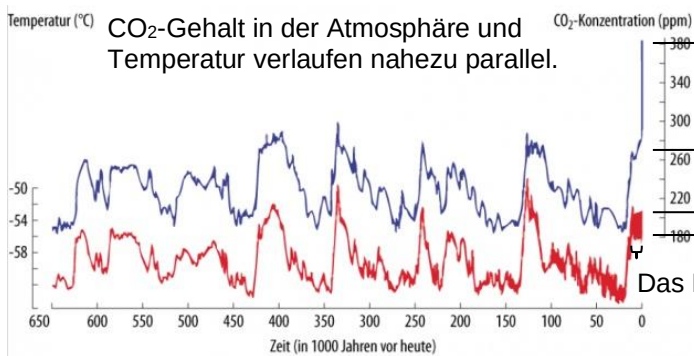
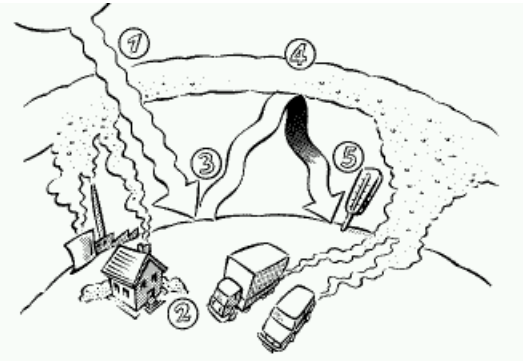
- Zunahme von CO₂ durch Verbrennen fossiler Energieträger
- Nachwachsende Rohstoffe sind klimaneutral.

Wir verlassen das Klimaoptimum des Holozän, das die menschliche Zivilisation ermöglicht.



Treibhauseffekt

CO₂ in der Erdatmosphäre ④ ist durchsichtig für sichtbares Licht ①, aber absorbiert Wärmestrahlung ⑤:



was passiert uns, wenn die Temperatur wie zu erwarten dem CO₂-Gehalt folgt?

spürbar ist die Erderwärmung bereit jetzt.

Das Klimaoptimum seit der Jungsteinzeit hat unsere Zivilisation ermöglicht.

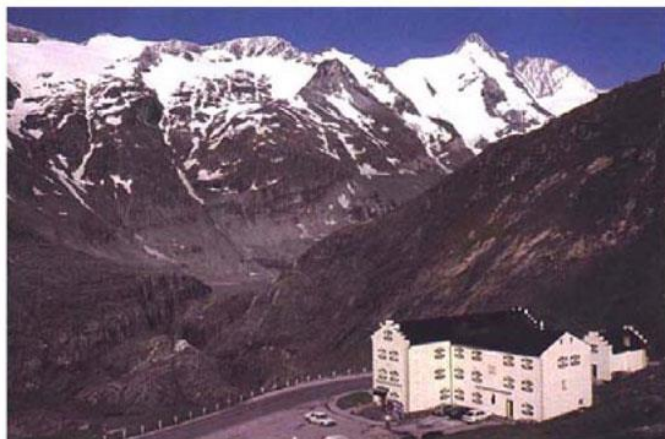


1877



um 1900

Fotovergleich:
Blick vom
Glocknerhaus



1993



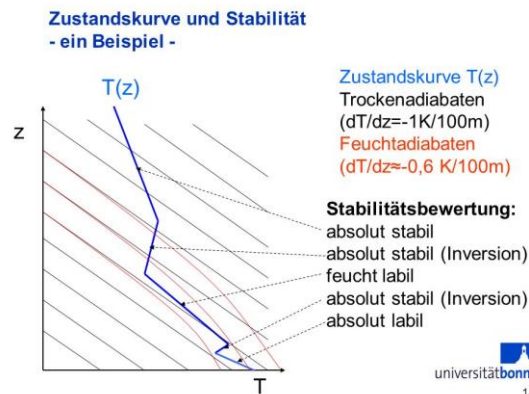
2003

Anhang: Genaueres

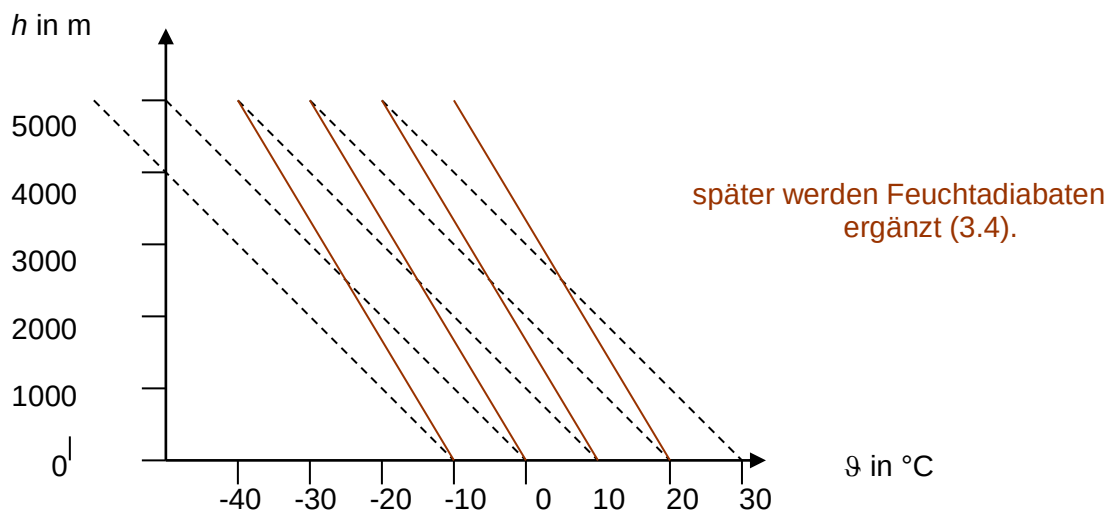
Adiabatische Expansion

Diagramm
Trockenadiabaten

Achseneinteilung
nach oben je 100 m
nach rechts je 1 °C



Aufgabe: Zeichne in ein ϑ - h -Diagramm im Abstand von 10°C Trockenadiabaten ein.



Bei Temperaturerniedrigung nimmt die relative Luftfeuchtigkeit bis zur Sättigung zu.
Niederschläge bilden sich in aufsteigender Luft.
(Ein Tief ist oft regnerisch.)

Feuchtadiabaten

Um Wasser zu verdampfen oder zu verdunsten, wird Energie benötigt.

→ Verdunstungskälte

Wenn Wasser auskondensiert, wird Energie frei.

→ Kondensationswärme.

Steigt Luft über ihr Kondensationsniveau auf, wird (Energie frei und) der Luft Wärme zugeführt.
Sie kühlt nicht mehr um 1°C pro 100 m ab,
sondern nur noch um ca. 0,6 °C pro 100 m

Aufgabe: Ergänze im Diagramm 3.2 die Feuchtadiabaten.
Genauer: Siehe kopiertes Diagramm.

Aufgabe: Am Boden herrschen etwa 39°C, die Wolkenuntergrenze liegt bei 1000 m.
 Welche Temperatur hat ein aufsteigendes Luftpaket in 4000 m Höhe?
 Was passiert im Einzelnen?
 Steigt das Luftpaket noch weiter?

- a) Trockenadiabate bis 1000 m,
 Abkühlung auf 30 °C, relative Luftfeuchtigkeit nimmt zu.
- b) rel. F = 100 %. Kondensation (wenn Kondensationskeime vorhanden sind)
 (zeichne die entsprechende Feuchtdiabate ein)
- c) Die Temperatur fällt gemäß der Feuchtdiabate
 rel.F. bleibt 100 %, absolute Luftfeuchtigkeit nimmt von 30 g/m³ ab.
 In 4000 m hat das Luftpaket 15 °C, rel.F = 100 %, absolute Luftfeuchtigkeit ca. 13 g/m³
- d) Das kommt auf die Umgebungstemperatur in 4000 m Höhe an:
 Ist sie < 15°C, steigt es weiter, sonst nicht.

Bemerkung:

Durch die Wolkenuntergrenze weht ein ständiger Luftstrom.
 Es sind immer neue Luftpakete, die dort auskondensieren.
 Segelflieger suchen Wolken, weil sie aufsteigende Luft anzeigen.
 Aber direkt unter und in der Wolke können sie unkontrollierbar hochgesaugt werden.

Thermik

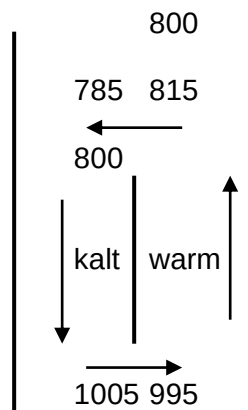
bildet sich über sonnigen Flächen, die leicht aufgewärmt werden (z.B. Sand).
 → Zweikammermodell.

zu 1.5 Zweikammermodell

- 1.) Die Sonne erwärmt eine Seite. Dort dehnt sich die Luft aus.
- 2.) Im kalten Bereich nimmt der Luftdruck nach oben hin schneller ab.
 Zum Ausgleich fließt die Luft in der Höhe von der warmen in die kalte Kammer (H → T).
- 3.) Am Boden ist unter der aufsteigenden Luft ein Tief(druckgebiet). Die Luft fließt zur warmen Kammer (wieder H → T).

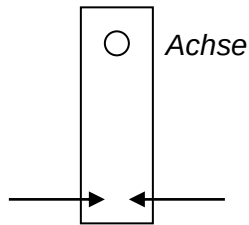
Realistischer:

Drucke in hPa

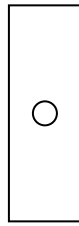


Stabile und labile Schichtung

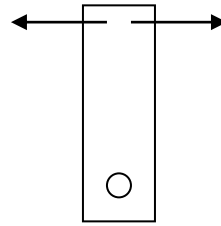
Versuch: stabiles



indifferentes



labiles Gleichgewicht



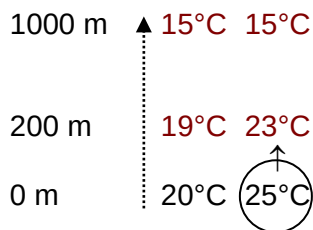
kleine Ursache → kaum Auswirkung

*kleine Ursache → große Wirkung
evtl. schwer kalkulierbar!*

Bei 20 °C Umgebungstemperatur beginnt eine 25 °C warme Luftblase nach oben zu steigen:

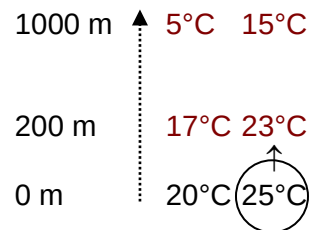
a) Die Luft nimmt nach oben mit 0,5 °C je 100 m ab.

b) $\frac{\Delta T}{\Delta h} = \frac{1,5\text{ °C}}{100\text{ m}}$



Der Temperaturunterschied von aufsteigender Luft zur Umgebung wird immer kleiner. Die Aufwärtsbewegung wird immer langsamer und hört (hier in 1000 m Höhe) auf.

stabile Schichtung



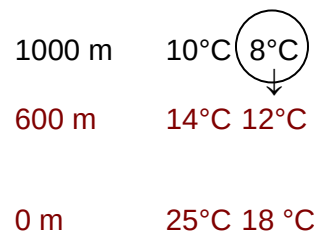
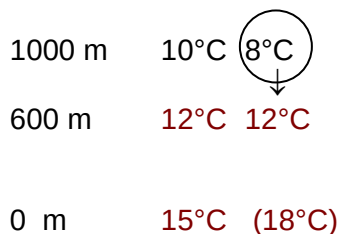
Temperaturunterschied ... immer größer. Aufwärtsbewegung ... immer stärker.

labile Schichtung

HA:

a) Die Luft nimmt nach oben mit 0,5 °C je 100 m ab.

b) $\frac{\Delta T}{\Delta h} = \frac{1,5\text{ °C}}{100\text{ m}}$



stabile Schichtung	labile Schichtung
Sowohl auf- als auch absteigende Luft kommt zum Stillstand	... wird immer schneller.

Besonders bei Isothermie oder gar Inversion ist die Schichtung sehr stabil. Vertikaler Luftaustausch ist nicht möglich, Smog (= *smoke and fog*) liegt über den Städten.

Folie: Fünf Rauchfahnen (*Ausführlich zu besprechen!*)

In großer Höhe gilt:

Der Wind weht parallel zu den Isobaren (geostrophischer Wind)

Isobaren := Linien gleichen Drucks (vgl. Höhenlinien).

Durch die Reibung am Boden weht der Wind in den unteren 1500 m Höhe unter 10° bis 20° spiralig ins Tiefdruckgebiet hinein.

Aufgabe: Aktuell liegt Sturmtief Bianca über Island, Hoch Alf über der Ukraine.

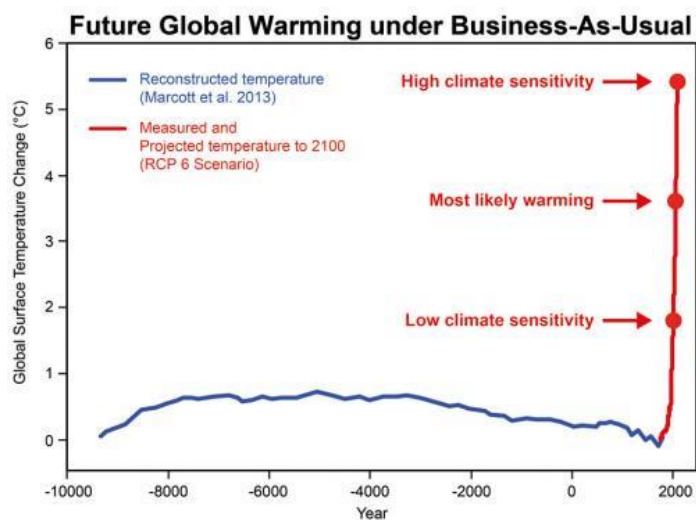
a) Welche Windrichtung herrscht?

b) Welche Luftmassen erwarten wir?

<http://motorradphilosophen.de/geographie/klima/luftdr.htm>

<http://www.bpb.de/gesellschaft/umwelt/klimawandel/38427/wetter-klima-und-klimawandel>

<https://de.wikipedia.org/wiki/Treibhauseffekt>



Dampfdruck von Wasser

$T_h / ^\circ\text{C}$ p / mbar

-10	2,60
-5	4,02
0	6,10

Eis

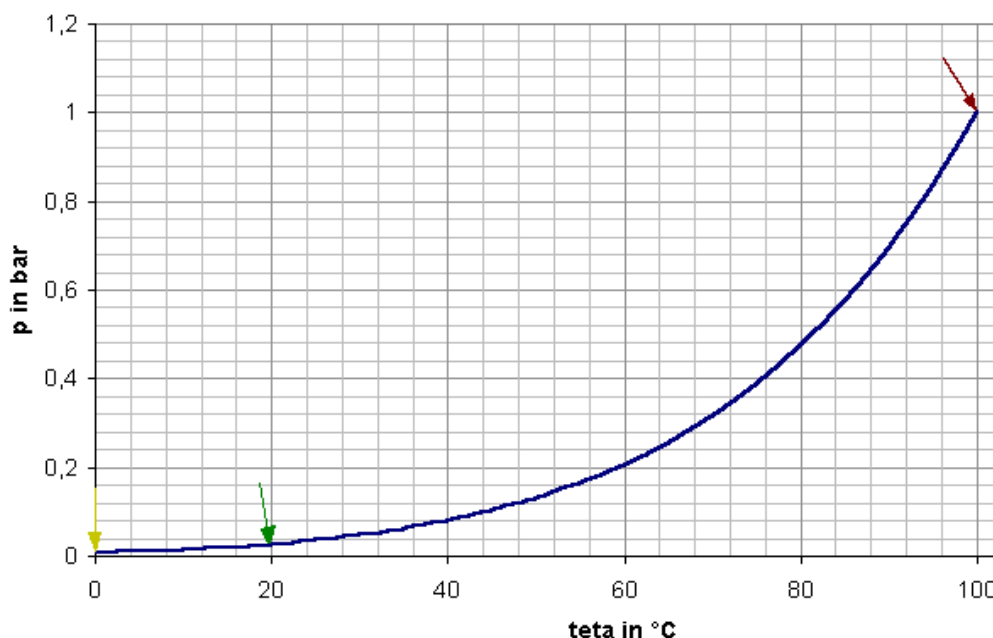
0	6,10
---	------

Wasser

5	8,7
10	12,3
15	17,0
20	23,4
25	31,7
30	42,4
35	56,2
40	73,7
50	123
60	199
70	311
80	473
90	701
97,92	940
98,21	950
98,50	960
98,79	970
99,07	980
99,36	990
99,64	1000
99,92	1010
100,00	1013
100,20	1020

http://www.wissenschaft-technik-ethik.de/wasser_dampfdruck.html

Dampfdruckkurve für Wasser



Staub in der Mars-Atmosphäre,

Inversion an unserer Stratosphäre wegen des Ozons:

Aber warum ist es dort nur so staubig? Die Mars-Atmosphäre ist so dünn, da müsste der Staub doch schnell wieder zu Boden fallen. Natürlich fehlt auf dem Mars das Wasser. Es gibt keinen Regen, der die Luft wieder reinwaschen würde und keine Gewässer, in denen der Staub versinkt. Aber wir haben auf der Erde doch auch große trockene Landmassen. Tatsächlich kommt auf dem Mars noch ein anderer Effekt dazu: Es gibt keine Ozonschicht und damit keine Stratosphäre. Bei der Stratosphäre handelt es sich um eine warme Luftschicht oberhalb von etwa 10-15 km. Dort befindet sich Ozon, das die UV-Strahlen der Sonne absorbiert. Dadurch wird die Luft dort oben erwärmt und bildet für vom Boden aufsteigende Luftpakete ein unüberwindliches Hindernis (Inversion). Staub vom Boden wird also in der Erdatmosphäre nicht beliebig weit nach oben getragen. Er ist zusammen mit den feuchten Luftmassen unterhalb der Stratosphäre in der sogenannten Troposphäre gefangen, in der sich die Wettervorgänge abspielen.

Die Ozonschicht schützt uns also nicht nur vor den schädlichen UV-Strahlen der Sonne. Sie verhindert auch, dass sich aufgewirbelter Staub ungehindert nach oben ausbreitet.

Ohne die Ozonschicht hätten wir das gleiche Problem wie auf dem Mars. Sehr weit nach oben aufsteigender Staub, der sich dann um den Globus legt. Aber leider gibt es auf unserer guten alten Erde auch Fälle, in denen die warme Ozon-Schicht der Stratosphäre zu schwach ist und mit Wucht durchstoßen wird. Die Eruptionssäulen großer Vulkanausbrüche können bis in 50 km Höhe reichen. Ist der Staub erst einmal dort oben angekommen, dauert es Jahre, bis er wieder absinkt. Es sinkt dann nämlich wegen der dichteren Atmosphäre der Erde tatsächlich deutlich langsamer ab als auf dem Mars.

Vorhersagbarkeit im chaotischen System

Im Vorfeld hatte sich ja bereits abgezeichnet, dass die Ergebnisse Wettermodelle sehr unzuverlässig sein würden. Stark streuten die prognostizierten Niederschlagsmengen. Es gab sogar Horror-Rechnungen mit 140 Litern pro Quadratmeter. Aber woran lag das? Schuld waren die Alpen. Die Wettermodelle arbeiten nur mit einer stark vereinfachten Orographie, d.h. die Höhenstrukturen können nur ganz grob berücksichtigt und je mehr die Berge ins Spiel kommen, um so unsicherer werden die Prognosen.

Stupst man eine Kugel an und lässt sie eine schiefe Ebene hinunterrollen, kann jeder Oberstufenschüler die Bahn berechnen. Lässt man aber einen Felsbrocken vom Zugspitzgipfel hinunterrollen, weiß kein Mensch, wo genau er nach unten holpern wird. Es gibt im Gelände tausend Ecken und Kanten, die die Bewegungsrichtung unvorhersehbar beeinflussen. Und so holprig war dann auch die Tiefdruckbildung von Freitag auf Samstag, die sich am Nordrand der Alpen vollzog.

Wetterochs