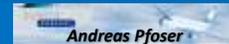


WETTERSYSTEME UND KLIMAZONEN IM WANDEL



WETTERSYSTEME UND KLIMAZONEN IM WANDEL

- Wie das Wetter entsteht (Strahlungsflüsse, Energieumverteilung)
- Zirkulationssysteme, Jetstreams, Meeresströmungen
- Wettersysteme in Europa (Nordatlantische Frontalzone, Polarfrontjet, Hoch- und Tiefdruckgebiete)
- Klimawandel (derzeitige Entwicklung, Ursachen für Klimaänderungen, Zukunft)
- Flugwetterprodukte der Austro Control



MOTOR DES WETTERS

primäre Energiequelle SONNE (1368 W/m²)
 sekundäre Energiequelle ERDWÄRME (0,06 W/m²)



Quelle: Andreas Pfoser



ENERGIEUMVERTEILUNG

Ende Juni nördlich des Äquators
 extraterrestrisch
34-44 MJ/m²d

Ende Juni südlich des Polarkreises
 extraterrestrisch
0 MJ/m²d

maximale **Strahlungsabsorption** in den Tropen (v.a. Pazifik)
 minimale **Strahlungsabsorption** an den Winterpolen



ENERGIEUMVERTEILUNG

Ende Dezember südlich des Äquators
extraterrestrisch
36-46 MJ/m²d

maximale **Strahlungsabsorption** in den Tropen (v.a. Pazifik)
minimale **Strahlungsabsorption** an den Winterpolen



ENERGIEUMVERTEILUNG

Ausgleich durch Energietransport

- 50% Atmosphärische Zirkulation (dominant auf der SHK)
- 50% Meeresströmungen (dominant auf der NHK)

negative Strahlungsbilanz polwärts von 30°N

positive Strahlungsbilanz zwischen 40°S und 30°N

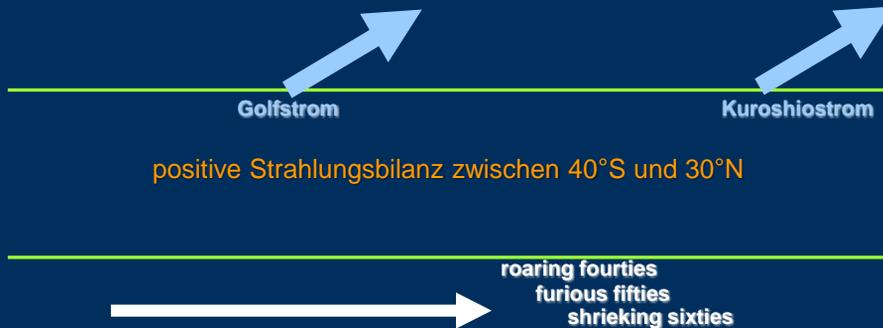
negative Strahlungsbilanz polwärts von 40°S



ENERGIEUMVERTEILUNG

Ausgleich durch Energietransport

- 50% Atmosphärische Zirkulation (dominant auf der SHK)
- 50% Meeresströmungen (dominant auf der NHK)



Andreas Pfoser

ENERGIEUMVERTEILUNG

maximaler Energietransport

- | | | |
|--------------|-------------|-------------|
| - Atmosphäre | 45°S / 45°N | gesamt |
| - Ozeane | 20°S / 20°N | 40°S / 30°N |



Andreas Pfoser

ATMOSPHÄRISCHE ZIRKULATION

HADLEY-ZELLE

- direkte thermische Zirkulation (geschlossen)
- hochreichend
- ermöglicht großräumigen Energietransport
- Position variiert mit dem **Sonnenstand**

aufsteigende *heiße* Luft über der **ITC** fließt mit dem **Antipassat** *polwärts*, sinkt über dem **Subtropenhoch** ab und strömt als **Passatwind** *äquatorwärts* zurück



ATMOSPHÄRISCHE ZIRKULATION

PASSATWINDE

- ganzjährig beständig
- Nordhalbkugel: **NE-PASSAT**
- Südhalbkugel: **SE-PASSAT**
- an den Westküsten der Kontinente kaltes Auftriebswasser → Passatinversion (~ 500-2500m üNN) → meist nur niedrige Quellwolken

MONSUNWINDE

- jahreszeitlich wechselnd
- Nordhalbkugel: **NE-MONSUN** (Winter) **SW-MONSUN** (Sommer)
- Südhalbkugel: **SE-MONSUN** (Winter) **NW-MONSUN** (Sommer)
- im Winter trocken, im Sommer extrem viel Regen



ATMOSPHERISCHE ZIRKULATION

MONSUNGEBIETE

ASIATISCHER SOMMERMONSUN

- Druckgradient Indischer Ozean → Pakistan
- Strömung zunächst nach Ost-Afrika gerichtet, aber Hochgebirge in Tansania und Kenia schirmen ab; in Somalia kaltes Auftriebswasser
- maximale Auswirkung mit ergiebigsten Regenfällen in Indien (extrem im Osten), Bangladesh, Myanmar, (Sri Lanka)

AFRIKANISCHER SOMMERMONSUN

- Druckgradient Südatlantik → Sahara
- ergiebiger Regen in Kamerun, Golf von Guinea

NORDAUSTRALISCHER SOMMERMONSUN



ATMOSPHERISCHE ZIRKULATION

ENSO NORMALZUSTAND / (LA NINA)

- **Südostpassat** an der Westküste Südamerikas
- Passatdrift verfrachtet Oberflächenwasser westwärts
- in Indonesien steht Wasser
40cm höher als in Peru
(zeitweise sogar 55cm)
- kaltes Auftriebswasser an
der Westküste Südamerikas



ATMOSPHERISCHE ZIRKULATION

ENSO EL NINO

- **Südostpassat** **bleibt aus**
- warmes Oberflächenwasser fließt zurück, benötigt ~ 3 Monate
- kaltes Auftriebswasser unterbunden
- Temperaturerhöhung
Ozean →
Fischsterben
- Temperaturerhöhung
Atmosphäre →
Intensive Konvektion



ATMOSPHERISCHE ZIRKULATION

TROPISCHE WIRBELSTÜRME

- ✓ ausreichend große Meeresfläche (Atlantik, Pazifik, Indik)
- ✓ warmes Wasser (oberste 50 m) **> 26.5°C**
- ✓ „ungestörtes“ Windfeld (geringe vertikale Windscherung)
- ✓ feuchte labile Luftmasse
- ✓ Corioliskraft (verursacht Drehbewegung, zwischen **5°S** und **5°N** nicht wirksam)
im S-Atlantik und SE-Pazifik liegt die ITC im SHK-Sommer nicht südlich des Äquators
→
keine
Sturmentfaltung
möglich



ATMOSPHERISCHE ZIRKULATION

TROPISCHE WIRBELSTÜRME

EIGENSCHAFTEN

- ✓ Durchmesser 500-750km (Rekord 2200km)
- ✓ Mächtigkeit > 9000m
- ✓ Verlagerung 20-40km/h
- ✓ Kerndruck 980-920hPa (Rekord 870hPa)

AUGE DES WIRBELSTURMS

- ✓ Aufgrund von Drehbewegung (Zentrifugalkraft) und lokalen Absinkbewegungen
- ✓ meist 30-60km groß (min 8km, max 200km)
- ✓ im Auge nahezu windstill, sonnig und schwülwarm



ATMOSPHERISCHE ZIRKULATION

TROPISCHE WIRBELSTÜRME

- enorme Windgeschwindigkeiten bis 350km/h
- katastrophale Regenmengen
- außerordentlich hohe Wellen / Sturmflut

z.B.: **HURRIKAN**
 produzierte Energie
 14.500.000.000.000 kWh/day
 Wasseraufnahme
 21.000.000.000.000 lt/day

Kat	Bezeichnung	Wind [km/h]	Luftdruck [hPa]	Sturmflut [m]
TD	tropical depression	< 63		
TS	tropical storm	63-118		< 1.0
H1	hurricane minimal damage	119-153	> 980	1.0-1.6
H2	hurricane moderate damage	154-177	965-979	1.7-2.4
H3	major hurricane extensive damage	178-209	945-964	2.5-3.9
H4	major hurricane extreme damage	210-249	920-944	4.0-5.5
H5	major hurricane catastrophic damage	> 249	< 920	> 5.5



ATMOSPHÄRISCHE ZIRKULATION

FERRELL-ZELLE

- Zone maximalen Energietransports mittels Zyklonen
(tgl. *125.000.000.000.000 kWh* fühlbare Wärme polwärts)
- indirekte thermische Zirkulation
- vorderseitig WL nach N
- rückseitig KL nach S

aufsteigende *kühle* Luft über der **subpolaren Tiefdruckrinne** fließt in höheren Schichten *äquatorwärts*, sinkt in den **Subtropenhochs** ab und strömt in den unteren Schichten *polwärts* wieder zurück → **Westwindzone**



ATMOSPHÄRISCHE ZIRKULATION

FERRELL-ZELLE

- Zone maximalen Energietransports mittels Zyklonen
(tgl. *125.000.000.000.000 kWh* fühlbare Wärme polwärts)
- indirekte thermische Zirkulation
- vorderseitig WL nach N
- rückseitig KL nach S

WINTER IN EUROPA

Azorenhoch, kräftiges Islandtief
(kontinentales Hoch über Russland)

SOMMER IN EUROPA

Azorenhoch, Islandtief,
Polarfrontalzone nach N verschoben



ATMOSPHERISCHE ZIRKULATION

AKTIONSZENTREN IM NORDATLANTIK

ISLANDTIEF (hochreichend)

„beliebter“ Entstehungsort
von Tiefs

(grönländische Kaltluft trifft
auf Warmluft des Golfstroms)

AZORENHOCH (hochreichend)

Teil des Subtropen-Hoch-Gürtels

NORDATLANTISCHE FRONTALZONE

trennt die beiden Zentren



ATMOSPHERISCHE ZIRKULATION

NORDATLANTISCHE FRONTALZONE

POLARLUFTMASSEN links

- M: arktische, grönländische
- C: nordsibirische, russische

WÄRMERE TROPIKLUFTE rechts

- M: mediterrane, atlantische
- C: afrikanische, kontinentale

Lage der Frontalzone bestimmt
die Sommerwitterung in Wien

2003 cTs: 40 Tage > 30°

2007 cT: Andau 39.5° Wien 37.8°

2013 cT: Neusiedl 41° Wien 39.5°



ATMOSPHERISCHE ZIRKULATION

NAO +

2 Aktionszentren bestimmen den Charakter der Winterwitterung in Europa

ISLANDTIEF
AZORENHOCH

*atlantisch beeinflusste milde,
teils stürmische Winter*



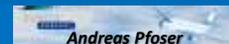
ATMOSPHERISCHE ZIRKULATION

NAO -

Aktionszentren sind geschwächt

ISLANDTIEF
AZORENHOCH

*kontinental beeinflusste
kalte Winter*



ATMOSPHERISCHE ZIRKULATION

REVERSAL 2005

„High-over-Low-Blocking“
Februar / März 2005

etwa 3% aller Monate
des Winterhalbjahres
(ausgewertet 1867-1980)

1962 bis 1969
signifikante Häufung

1961/62 – 1970/71
in Österreich 8 von 10
Winter zu kalt



ATMOSPHERISCHE ZIRKULATION

REVERSAL 2005

Aufspaltung der Frontalzone
weit im Westen

nördlicher Ast verläuft über
Eisregionen

Nordatlantische Frontalzone



Arktische Frontalzone

Mitteleuropa an kalter Seite



ATMOSPHÄRISCHE ZIRKULATION

POLAR-ZELLE

- direkte thermische Zirkulation (geschlossen)
- flach
- eher geringer Energietransport
- Position variiert mit dem **Sonnenstand**

absinkende *kalte* Luft über dem **Pol** strömt *äquatorwärts*, steigt über der **subpolaren Tiefdruckrinne** auf und fließt polwärts zurück



JETSTREAMS

POLAR-FRONT-JETSTREAM (PFJ)

<i>Winter</i>	<i>Sommer</i>
<i>Geschwindigkeit</i> ~ 220 km/h	<i>Geschwindigkeit</i> ~ 150 km/h
<i>Maximalspeed</i> 280-410 km/h	<i>Maximalspeed</i> 220-280 km/h
<i>Höhe</i> 7300-9200 m	<i>Höhe</i> 8200-10700 m
<i>Position</i> 35-50° g.B.	<i>Position</i> 50-70° g.B.



JETSTREAMS

POLAR-FRONT-JETSTREAM (PFJ)

Ursache

ausgeprägte **horizontale Temperaturgegensätze** an der Polarfront
(Bsp.: Warmfrontvorderkante, Höhentrog)

Eigenschaften

- ✓ ausgeprägtes Mäandrieren
- ✓ im Winter zeitweise ununterbrochenes Band
- ✓ sinkt im Bereich von Trögen (Höhentief) ab
- ✓ steigt im Bereich von Keilen (Höhenhoch) an



JETSTREAMS

SUB-TROPICAL-JETSTREAM (STJ)

<i>Winter</i>	<i>Sommer</i>
<i>Geschwindigkeit</i> ~ 190 km/h	<i>Geschwindigkeit</i> ~ 110 km/h
<i>Maximalspeed</i> ?	<i>Maximalspeed</i> ?
<i>Höhe</i> 10100-11900 m	<i>Höhe</i> 11300-13700 m
<i>Position</i> 20-35° g.B.	<i>Position</i> 35-45° g.B.



JETSTREAMS

SUB-TROPICAL-JETSTREAM (STJ)

Ursachen

Massenüberschuss im Bereich des subtropischen Hochdruckgürtels **erhöht** die **Strömungsgeschwindigkeit** unterhalb der Tropopause

die mit dem Antipassat polwärts transportierten Luftteilchen bringen **erhöhte Erdumlaufgeschwindigkeiten** mit

Besonderheit

bei weit nach S vordringenden Höhenträgen kann sich ein Polar-Front-Jetstream unter den Sub-Tropical-Jetstream schieben



JETSTREAMS

ARCTIC-JETSTREAM (AJ)

<i>Winter</i>	<i>Sommer</i>
<i>Geschwindigkeit</i> ~ 150 km/h	<i>Geschwindigkeit</i> -
<i>Maximalspeed</i> ?	<i>Maximalspeed</i> -
<i>Höhe</i> 4900-7600 m	<i>Höhe</i> -
<i>Position</i> 60-80° g.B.	<i>Position</i> -



JETSTREAMS

ARCTIC-JETSTREAM (AJ)

Ursache

während der Polarnacht starke
Auskühlung der Polarregionen



MEERESSTRÖMUNGEN

URSACHEN

- **Schubspannung (Reibung) durch tropische Ostwinde**
Nordäquatorial/Südäquatorialströme
- **Dichteunterschiede (starke Verdunstung → salzhaltig)**
Kuroshioström, Ostaustralström, Golfström, Brasilström, Agulhasström
- **Schubspannung (Reibung) durch Westwinde**
Nordpazifikström, Nordatlantikström, Westwinddrift (Zirkumantarktischer Ström)
- **Ströme mit kaltem Auftriebswasser (~ 5°C kälter)**
Kalifornischer Ström, Humboldtström (Peruström), Kanarenström, Benguelaström, Westaustralström
- **Gegenströme, ...**



HÖHENTROG

Wetterbedingungen:

- an der **Vorderseite** Wolken
- im Winter tagsüber Regen-, Schnee- oder Graupelschauer, während der Nacht manchmal nur Wolkenfelder
- an der **Rückseite** nachts oft sehr rasches Aufklaren, wolkenlos
- gut durchlüftet, sehr frisch bis kalt



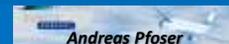
KALTLUFTTROPFEN

EIGENHEITEN

- ✓ sehr langsame Verlagerung,
- ✓ häufig am Südrand eines Bodenhochs gelegen

Wetterbedingungen:

- in trockener winterlicher Kontinentalluft kaum Auswirkungen
- ansonsten nur begrenzte wolkenfreie Zonen zwischen **Höhen-KF** (NE-/E-/SE-Sektor) und **Höhen-WF** (W-/N-Sektor)



JETSTREAK LEFT EXIT REGION

EIGENHEITEN

- ✓ wird von den Wettermodellen gerne unterschätzt, kommt daher scheinbar „überraschend“
- ✓ besonders intensiv, wenn gemeinsam mit der Höhentrogachse eintreffend

Wetterbedingungen:

- intensive Schauer- und Gewittertätigkeit
- im Winter Gewitter mit heftigen Schneefällen und –verwehungen möglich (blizzardähnlich)



FRONT FRONTALZONE JET

POLARFRONT

- Grenze zwischen **Polarluft** und **Tropikluft**
- Temperaturoegensätze im Winter stärker als im Sommer
- Lage: *Winter 35-45° N*
Sommer 50-65° N



HOCHDRUCKGEBIETE

BLOCKIERENDES HOCH

- ✓ stationär, **lange Zeit** beständig (einige Tage bis mehrere Wochen), eher im Winterhalbjahr
- ✓ Fronten werden abgeschwächt, aufgelöst oder umgelenkt
- ✓ bei Ostwärtsverlagerung leichte Tendenz zum Abbau
- ✓ bei Westwärtsverlagerung leichte Tendenz zur Verstärkung

Typen:

- **HOCHKEIL**
- **KLASSISCHE FORM**
- **OMEGAHOCH**
- **HIGH OVER LOW**
- **HOCHDRUCKBRÜCKE** (langgestrecktes flaches Hoch)



HOCHDRUCKGEBIETE

ZWISCHENHOCH

- ✓ zwischen Kaltfront und nachfolgender Front gelegen
- ✓ nicht stationär, nur **kurze Zeit** beständig (maximal 2 Tage)



BODENTIEF

POLARFRONTTIEF

Entstehung:

- ✓ gegensätzliche Luftmassen treffen aufeinander (Kaltluft und Warmluft)
- ✓ Jetstreaminduzierung

steuert Frontensysteme

Wetter:

- starke Bewölkung
- Niederschlag, lokal Gewitter



BODENTIEF

LEETIEF

Entstehung:

- ✓ äquatorwärts gerichtete kräftige Luftströmung trifft auf quer zur Strömung liegendes Hindernis → an der Luvseite geringe antizyklonale Ablenkung → an der Leeseite verstärkte zyklonale Ablenkung

steuert Frontensysteme

Typen (im Alpenraum): **GENUATIEF** und **ADRIATIEF**

Wetter:

- starke Bewölkung
- Niederschlag, im Winter oft intensive Schneefälle bis in tiefe Lagen (vor allem in Osttirol, Kärnten, Lungau, Steiermark, bei **Vb-Zugstraße** auch im Burgenland, Wien, Niederösterreich)



Impuls: Natur versucht, die **großen meridionalen Temperaturgegensätze** (im Winter stärker ausgeprägt als im Sommer) auszugleichen

Wellenbildung: Reibung der verschiedenen Strömungen aneinander (passiert vielerorts an der Polarfront) → **warme Luft** nach NE, **kalte Luft** nach SE, Welle muss nicht unbedingt ein Tief werden

Zyklone: **Druckfall** im Kern, **zunehmende Windgeschwindigkeit**, vor der **WF** großes Wolkenfeld mit Niederschlag, an der **KF** schmales Schauergebiet, Tief bewegt sich mit der Höhenströmung

Okklusion: **KF** holt die **WF** ein → **Warmluft** wird vom Boden abgehoben (beginnend vom Tiefkern aus), **Tiefdruckgebiet** erreicht seine größte Stärke (**tiefster Kerndruck**)

Auflösung: Front ist komplett okkludiert, kalte Luft füllt das Tief auf (Bodendruck steigt), warme Luft in der Höhe fließt in das Höhentiefzentrum ein (Druck in der Höhe steigt) → Temperaturunterschiede abgebaut → Zyklone ohne Energie



FRONTEN

Grenzen zwischen zwei verschiedenen Luftmassen

WARMFRONT

KALTFRONT

OKKLUSION



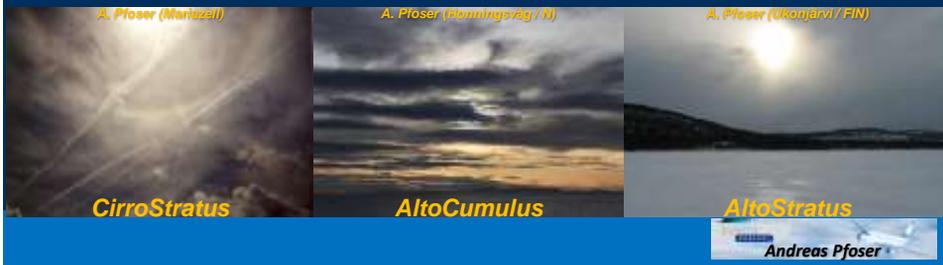
ANNÄHERUNG EINER WARMFRONT

STABILE WARMFRONT

Ursprung:

- meist Atlantik
- am intensivsten bei Anströmung aus NW oder NNW

Warmluft **gleitet** langsam über vorhandene kältere Luft **auf**
→ breites präfrontales Wolkenfeld



WARMFRONTPASSAGE

STABILE WARMFRONT

Ursprung:

- meist Atlantik
- am intensivsten bei Anströmung aus NW oder NNW

mäßiger/starker anhaltender **Regen**, im **Winter** auch **Schneefall** oder **gefrierender Regen**, teils Dunst oder Nebel

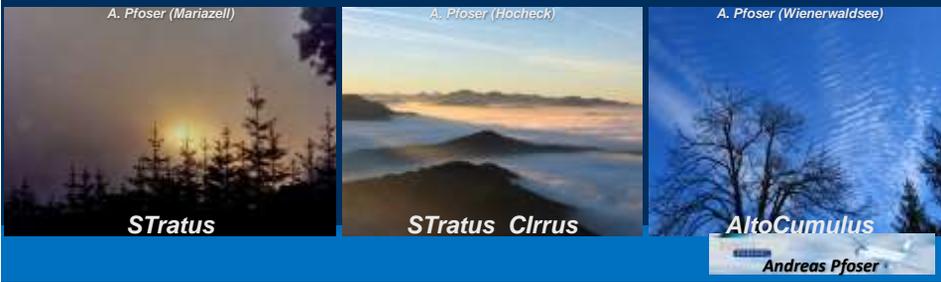


WARMSEKTOR

WARMSEKTOR im Winter

Wetterbedingungen:

- je näher am Okklusionspunkt desto mehr Wolken
- im Winter hohe Neigung zu **Nebel** oder **Hochnebel** mit Nieseln/Grieseln in Wien



KALTFRONTWETTER

AKTIVE STABILE KALTFRONT

Ursprung:

- Atlantik oder Ostsee
- typisch im Winter

Wetterbedingungen:

- stark bewölkt bis bedeckt, aber eine bis dahin hartnäckige Hochnebeldecke bricht auf, speziell bei Anströmung aus NW
- vorübergehend etwas Regen oder Schneefall, eventuell Schauer
- teils starker Wind (vom Atlantik mild, von der Ostsee kalt)



KALTFRONTPASSAGE

AKTIVE LABILE KALTFRONT

Ursprung:

- meist Atlantik
- typisch im Sommer
- schwächt sich in Österreich mit Ostwärtsverlagerung meist sukzessive ab

Kaltluft schiebt sich wie ein Keil unter die Warmluft und **hebt diese an**



KALTFRONTWETTER

AKTIVE LABILE KALTFRONT

Ursprung:

- meist Atlantik
- typisch im Sommer
- schwächt sich in Österreich mit Ostwärtsverlagerung meist sukzessive ab

Wetterbedingungen:

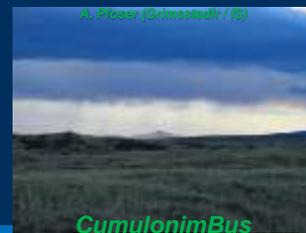
- Achtung: es ist mit **plötzlichem** Auftreten von **stürmischem Wind** und **heftigen Regenschauern**, eventuell **Gewittern**, zu rechnen
- nächtliche Kaltfronten überqueren Wien manchmal als „trockene Druckwellen“



NACH ABZUG DER KALTFRONT

RÜCKSEITENWETTER

(hinter einer atlantischen Kaltfront)



Andreas Pfoser

OKKLUSIONSWETTER

KALTFRONT-OKKLUSION

Ursprung:

- Atlantik
- Mittelmeerraum
- (gealtert kontinental)
- typisch im Sommer

nur sehr langsamer Übergang in besseres Wetter (z.B. „Vb-Zugstraße“; herumgeführtes Wolkenband zieht sich „ewig“ hin)

Wetterbedingungen:

- bestenfalls begrenzte Wolkenlöcher

Andreas Pfoser

KLIMAENTWICKLUNG

VIELE MEINUNGEN – KONTROVERSIELLE DISKUSSION

„Das Klima ändert sich“

„Es gibt keine Klimaänderung“

„Okay. Das Klima ändert sich ...“

„Aber wir sind nicht schuld“

„Die Klimaänderung ist menschengemacht“

„Das Klima hat sich schon immer geändert“

„Es war früher viel wärmer als heute“

„Das Klima ändert sich. Aber was soll's ...“

„Endlich haben wir richtige Sommer“

„Ich halte so eine Hitze nicht aus“

„Ich mag die Winterkälte sowieso nicht“

„Ich will schifahren“



EINFLUSSFAKTOR OBERFLÄCHE

HAT DEN STÄRKSTEN EFFEKT AUF DAS KLIMA

PROZESSE DER PLATTENTEKTONIK

- Kontinentalverschiebung (Verlagerung in höhere/niedrigere Breiten verändert die Strahlungsbilanz)
- Bildung/Zerfall von „Superkontinenten“ (im Inneren extreme Austrocknung)
- Gebirgsbildung greift markant in die atmosphärische Zirkulation ein (Luv/Lee-Effekt, erhöhte Heizflächenwirkung, Vergletscherung)
- Kontinentaldrift öffnet/schließt Meeresstraßen (ozeanische Zirkulation wird angekurbelt/unterbunden)

ALBEDO RÜCKKOPPLUNGEN

- bei Abkühlung bildet sich Eis → Eis reflektiert Sonnenlicht zurück ins Weltall → weitere Abkühlung
- bei Erwärmung breitet sich Vegetation aus, Eis geht zurück → Erde wird dunkler → ein dunkler Planet absorbiert mehr Sonnenlicht



EINFLUSSFAKTOR OBERFLÄCHE

EFFEKTIVE STRAHLUNGSTEMPERATUR ERDE

Albedo 0,00	„schwarze Erde“	+ 6°C
Albedo 0,30	„heutige Erde“	- 18°C
Albedo 0,75	„polare Erde“	- 76°C

ZUSCHLAG TREIBHAUSEFFEKT ATMOSPHÄRE

derzeit + 33°C



WIR LEBEN IN EINER EISZEIT

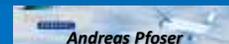
ERDE 85-90% IHRER ZEIT EISFREI

ABER
SEIT 34 MIO. JAHREN EISZEIT

Antarktis-Vereisung durch Öffnen zweier Meeresstraßen (Drake-Passage und Tasmanische Passage) → zirkumantarktische Meeresströmung entsteht und schirmt von nun an wärmere Zuflüsse aus niedrigeren Breiten ab

Arktis-Vereisung durch Zusammenschluss von Nord-/Südamerika → Kuroshio-Strom und Golfstrom entstehen und bringen Feuchtigkeit in den hohen Norden

seit ~ 34 Mio. Jahren gibt es Eis in der **Antarktis**
seit ~ 3.2 Mio. Jahren gibt es Eis in der **Arktis**
seit ~ 0.9 Mio. Jahren gibt es Eis in den **Alpen**



EINFLUSSFAKTOR ERDBAHN

EXZENTRIZITÄT DER ERDBAHN

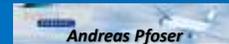
derzeit Sonne-Erde min 147.1 Mio. km → 1415 W/m²
 Sonne-Erde max 152.1 Mio. km → 1323 W/m²

kleine Exzentrizität

in Europa kühle Winter – warme Sommer

große Exzentrizität

in Europa milde Winter – kühle Sommer



EINFLUSSFAKTOR ERDBAHN

PERIHELDREHUNG

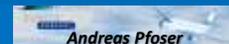
derzeit Sonnennähe 3. Januar
 Sonnenferne 4. Juli

Perihel im Januar

in Europa kühle Winter – warme Sommer

Perihel im Juli

in Europa kalte Winter – heisse Sommer



EINFLUSSFAKTOR ERDBAHN

NEIGUNG DER ROTATIONSACHSE

derzeit 23°26'21,5"

geringere Neigung ~ 21°
in Europa mildere Winter – kühlere Sommer

stärkere Neigung ~ 25°
in Europa kältere Winter – heissere Sommer



WIR LEBEN IN EINER EISZEIT

CHARAKTERISTIKA DER HEUTIGEN EISZEIT:

Wechsel zwischen Glazialen und Interglazialen
(zeitlich gute Übereinstimmung mit den Zyklen der Erdbahnparameter)

Erdmittel-Temperatur ~ 7-15°C

bislang letztes Glazial („Würm-Kaltzeit“):

Beginn vor ~ 90.000 Jahren

Maximum vor ~ 20.000 Jahren

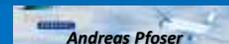
Ende vor ~ 11.700 Jahren

seit ~ 34 Mio. Jahren gibt es
Eis in der **Antarktis**

seit ~ 3.2 Mio. Jahren gibt es
Eis in der **Arktis**

seit ~ 0.9 Mio. Jahren gibt es
Eis in den **Alpen**

derzeit Interglazial („Holozän-Zwischenkaltzeit“):
mit Stadialen (letztes 1540-1850 „Kleine Eiszeit“)



EINFLUSSFAKTOR SONNE

AKTIVITÄTSZYKLUS

keine Aktivität	1280-1360	(„Wolf-Minimum“)
keine Aktivität	1450-1550	(„Spörer-Minimum“)
keine Aktivität	1645-1715	(„Maunder-Minimum“)
„Kleine Eiszeit“	1540-1850	(weltweite Gletschervorstöße)



EINFLUSSFAKTOR ATMOSPHÄRE

TREIBHAUSGASE

- ✓ Wasserdampf H_2O
- ✓ Kohlendioxid CO_2
- ✓ Methan CH_4
- ✓ Distickstoffmonoxid N_2O
- ✓ Ozon O_3
- ✓ FCKW

TROCKENE LUFT

Stickstoff	78,08%
Sauerstoff	20,95%
Argon	0,93%
Kohlendioxid	0,04%
Neon, Helium, Methan, Krypton, Wasserstoff, Distickstoffmonoxid, Kohlenmonoxid, Xenon, Ozon	

FEUCHE LUFT (Mittelwert)

Stickstoff	76,1%
Sauerstoff	20,4%
Wasserdampf	2,6%
Argon	0,9%



KLIMAENTWICKLUNG

AUSWIRKUNGEN AUF DIE LUFTFAHRT

- weiterer Temperaturanstieg
- teils bedeutsamer Meeresspiegelanstieg für küstennahe Airports
- eventuell Zunahme von Starkwindereignissen
- Polarfront-Jetstream verlagert sich gut 100km pro Dekade nordwärts
- vermutlich weniger Gewitter aber heftiger, CBs mit immer höheren Tops



Quelle: A. Pfoser

Andreas Pfoser

WETTERSYSTEME UND KLIMAZONEN IM WANDEL



DANKE FÜR DIE AUFMERKSAMKEIT

DEUTSCHE LUFTFAHRTAGS-GESAMTSCHAFT
DLG

Andreas Pfoser