



**u<sup>b</sup>**

**UNIVERSITÄT  
BERN**

**OESCHGER CENTRE  
CLIMATE CHANGE RESEARCH**

# Jungfraujoch: Forschung zwischen Himmel und Erde

## Physik am Freitag der Universität Bern 15. Januar 2016

Markus Leuenberger<sup>1,2</sup> und Forschungsgruppe Uni Bern  
HFSJG Team und diverse Forschungsinstitute

- (1) Internationale Stiftung für Hochalpine Forschungsstationen Jungfraujoch und Gornergrat (HFSJG)
- (2) Klima- und Umweltphysik, Physikalisches Institut, Universität Bern und Oeschger Zentrum für Klimaforschung

# Behauptungen zum Jungfraujoch

## Richtig oder falsch?

- Die tiefste je in der Schweiz gemessene Temperatur stammt vom Jungfraujoch.
- Die erste Absolutmessung der Solarkonstante wurde auf dem Jungfraujoch vorgenommen.
- In der Forschungsstation Jungfraujoch wurden Messungen durchgeführt, die unter anderem zu zwei Nobelpreisen geführt haben.
- Jungfraujoch ist die höchstgelegene Forschungsstation der Welt.

# Vorstellungsinhalte

- > Frühe Forschung auf dem Jungfraujoch
- > HFSJG
- > Jungfraujoch/Gornergrat
- > Forschung «Einst und Jetzt»
- > Aktuelle Forschungsbeispiele

# Die Pioniere und ihre Visionen

- **Jungfraubahn:**

**Adolf Guyer-Zeller**

1839 – 1899



- **Wissenschaftliche Station:**

**Schweizer Regierung**

um 1894

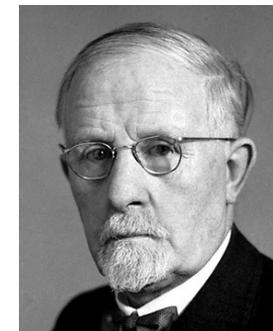
**Alfred de Quervain**

1879-1927

**Walter Rudolf Hess**

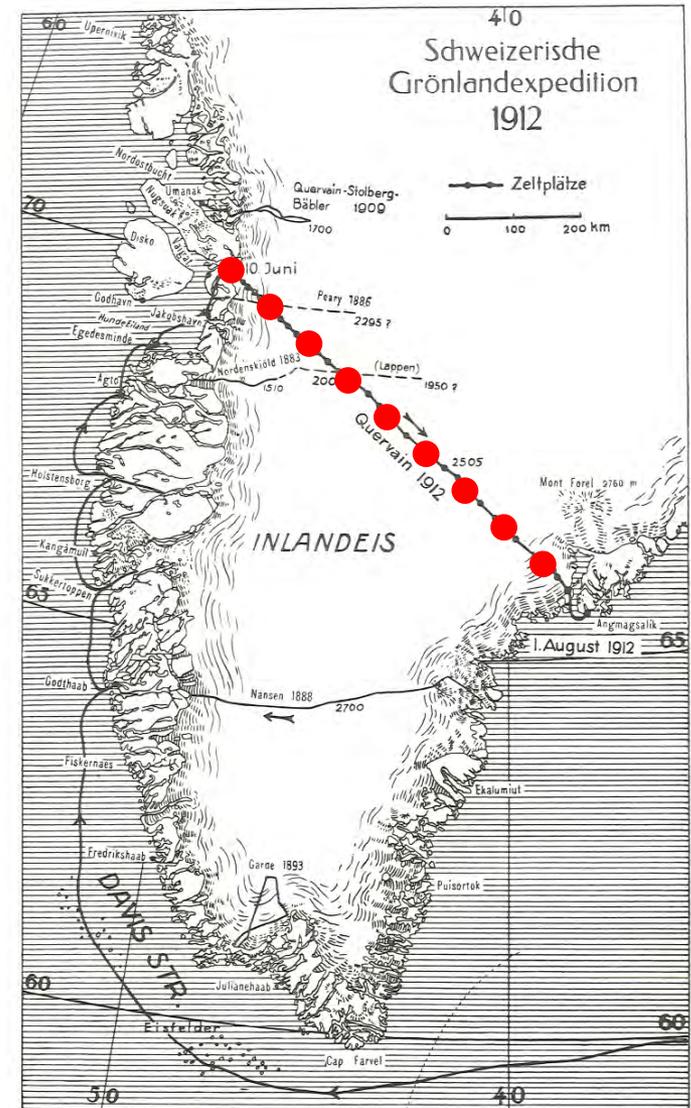
1881-1973

**Scnat**



# Alfred de Quervain

**Pionierhafter Geophysiker**  
erste Durchquerung des  
zentralgrönländischen  
Eisschildes vom Westen nach  
Osten



Reiseroute der Expedition, 1912

# Wie alles begonnen hat!



**Fig. 2 – The first meteorological pavilion at the Jungfrauoch built in 1925. Photo: Fahrni.**

Appenzeller et al., 2007

# Die Astronomie Pioniere



# Die Pioniere der Sonnen Spektroskopie

z. Bsp. 1928

Daniel Chalonge,  
französischer Astronom

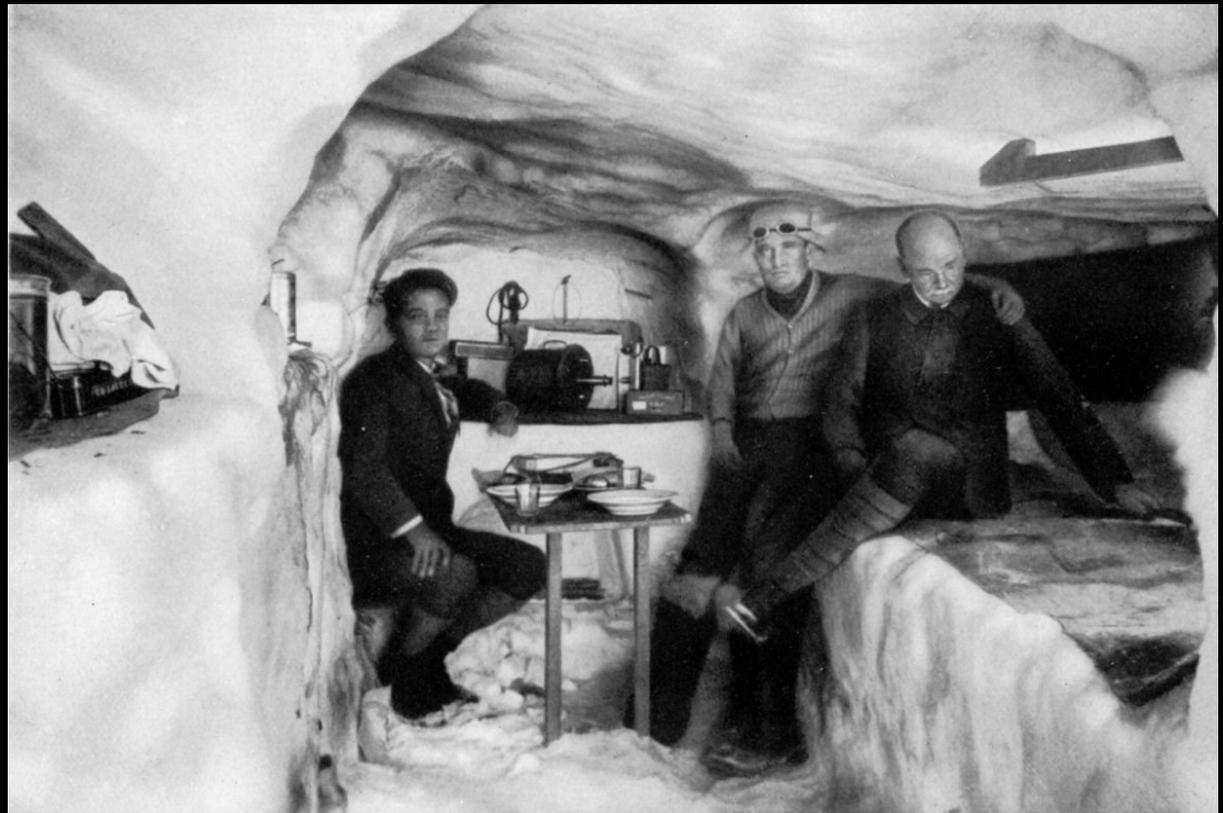
Messungen des Ozon in  
der Erdatmosphäre



# Die Pioniere der Kosmischen Strahlung

z. Bsp. 1926

Kolhörster & von Salis



# Die internationale Stiftung Hochalpine Forschungsstationen Jungfraujoch und Gornergrat (HFSJG)



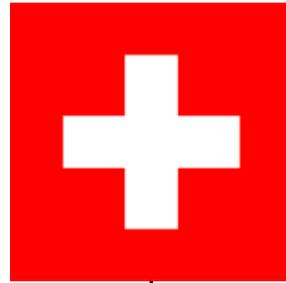
# Die internationale Stiftung HFSJG

- **Gründung:**  
Im Jahre 1930
- **Zweck:**  
Unterstützt und fördert wissenschaftliche  
Forschung, welche in grosser Höhe und/oder in  
hochalpiner Umgebung durchgeführt werden muss
- **URL:**  
<http://www.hfsjg.ch>

# Mitgliedstaaten der Stiftung HFSJG



**fnrs**  
LA LIBERTÉ DE CHERCHER



THE ROYAL  
SOCIETY



**OAW**  
Österreichische Akademie  
der Wissenschaften

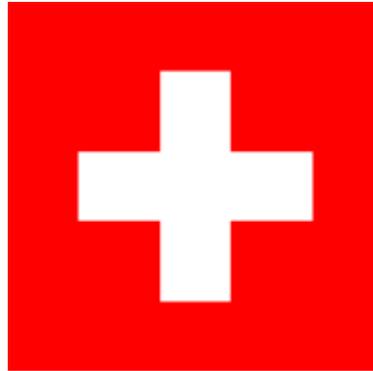


MAX-PLANCK-GESELLSCHAFT

# CH Mitglieder der Stiftung HFSJG

sc | nat <sup>+</sup>

Swiss Academy of Sciences  
Akademie der Naturwissenschaften  
Accademia di scienze naturali  
Académie des sciences naturelles



*u<sup>b</sup>*

<sup>b</sup>  
**UNIVERSITÄT  
BERN**

**HFSJG**

Hochalpine Forschungsstationen  
Jungfrauoch & Gornergrat

**JUNGFRAUBAHNEN**



**Burgergemeinde  
Zermatt**

**gornergrat**  **bahn**  
the matterhorn railway

# Finanzierung HFSJG

-   
SCHWEIZERISCHER NATIONALFONDS  
ZUR FÖRDERUNG DER WISSENSCHAFTLICHEN FORSCHUNG

- Jahresbeiträge

- $u^b$

---

<sup>b</sup>  
UNIVERSITÄT  
BERN

# Jungfraujoch

3500 m ü.M.

## Sphinx Observatory

1937  
1996



Top of Europe  
Restaurant

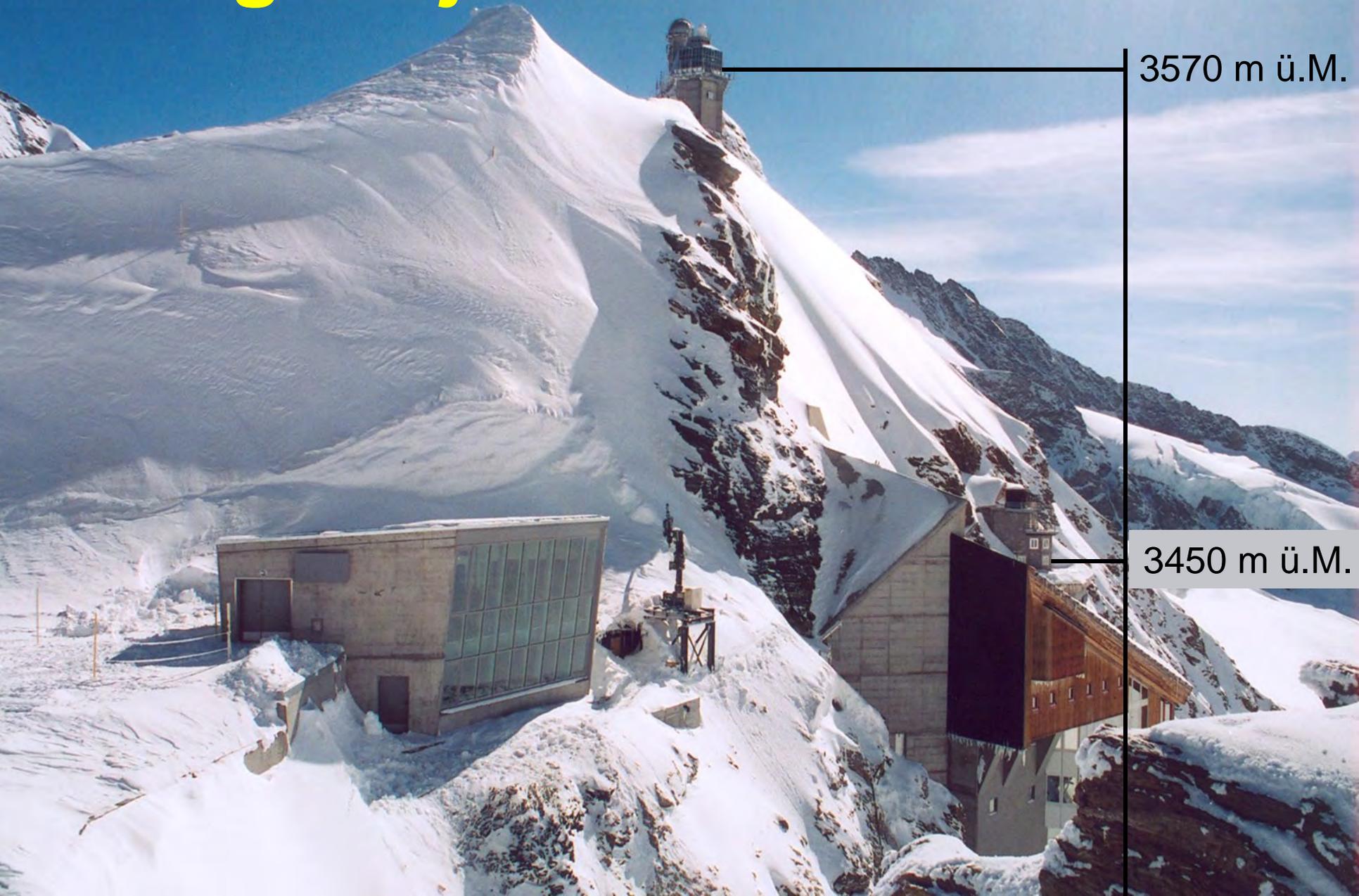
Forschungsstation  
1931

# Jungfraujoch

**Der ideale Ort für  
Umweltforschung**



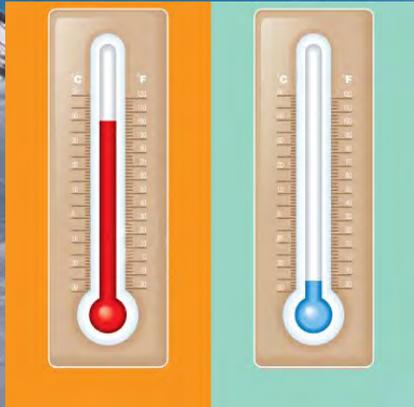
# Jungfraujoch



3570 m ü.M.

3450 m ü.M.

# Jungfraujoch



$$T_{max} = +13^{\circ}\text{C}$$

$$T_{mitt} = -8.2^{\circ}\text{C}$$

$$T_{min} = -37^{\circ}\text{C}$$



$$p_{max} = 675 \text{ mbar}$$

$$p_{mitt} = 653.3 \text{ mbar}$$

$$p_{min} = 619 \text{ mbar}$$

# Gornergrat

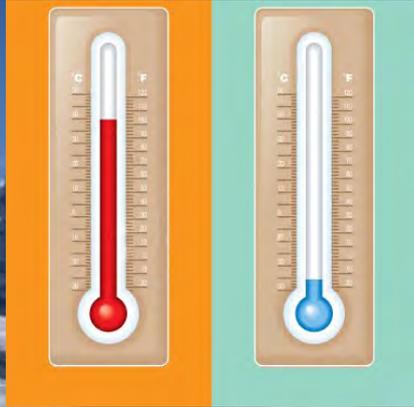


2 astronomische  
Observatorien



1 Laborcontainer

# Gornergrat: 3150 m



$$T_{max} = +16^{\circ}\text{C}$$

$$T_{mitt} = -2.6^{\circ}\text{C}$$

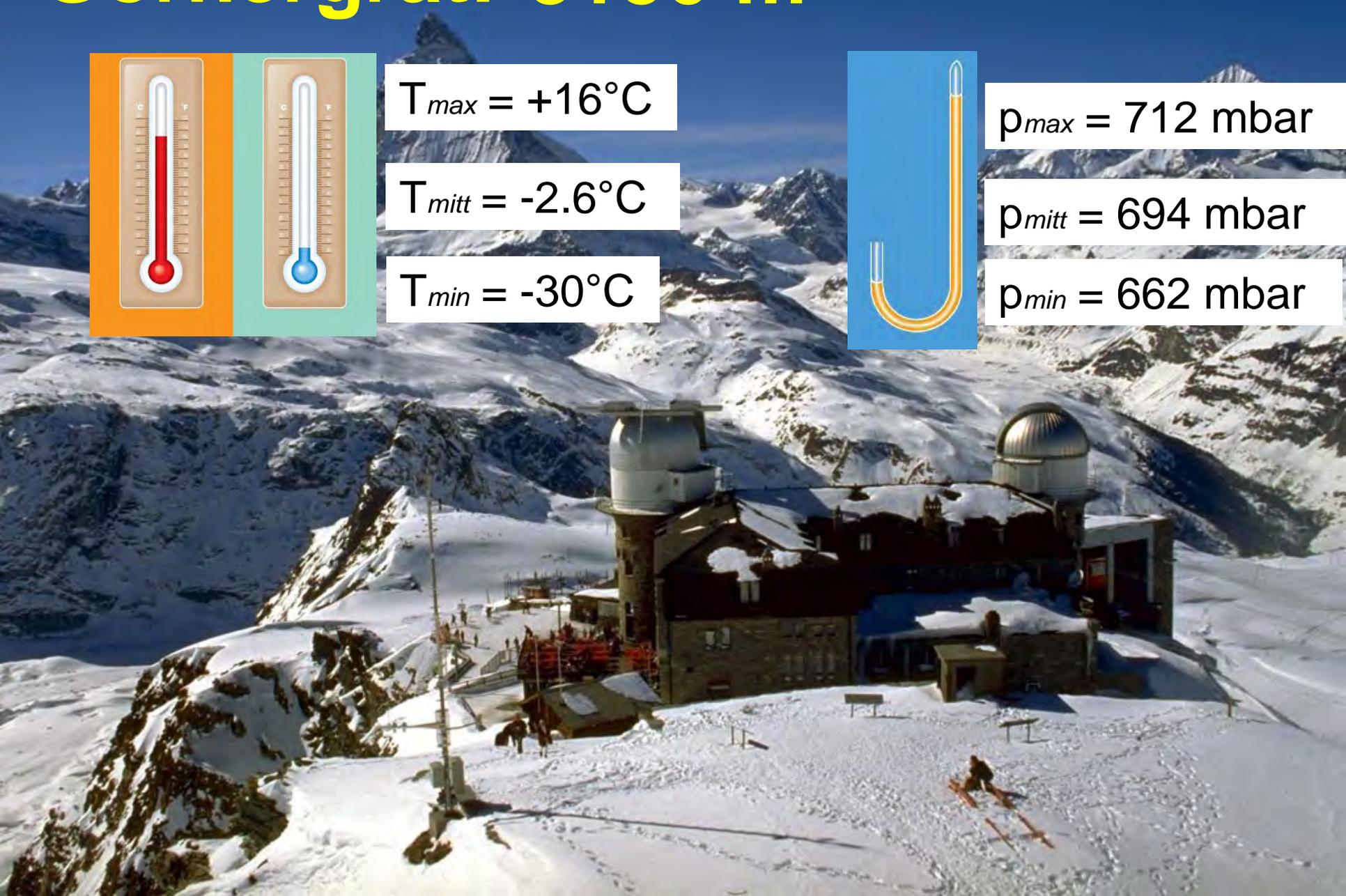
$$T_{min} = -30^{\circ}\text{C}$$



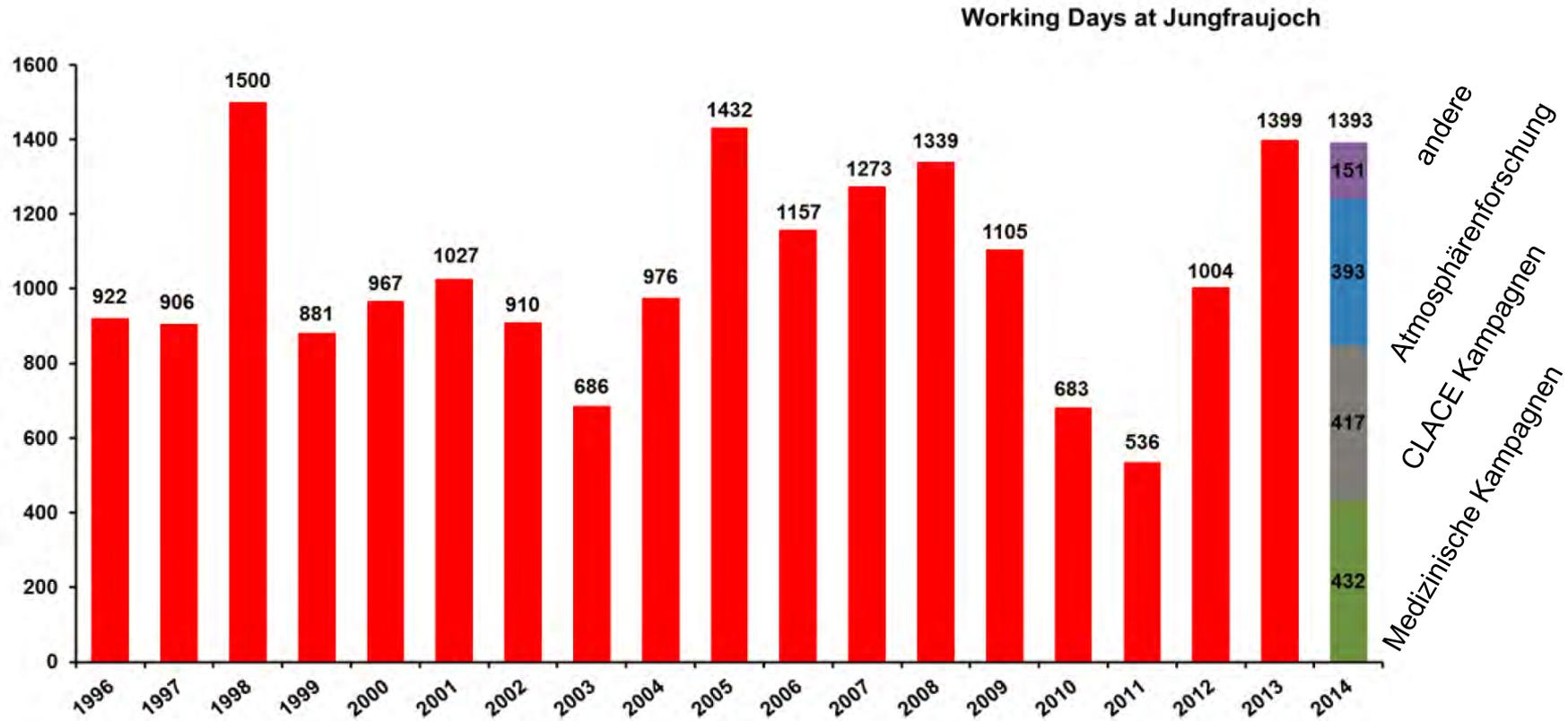
$$\rho_{max} = 712 \text{ mbar}$$

$$\rho_{mitt} = 694 \text{ mbar}$$

$$\rho_{min} = 662 \text{ mbar}$$



# Entwicklung der Arbeitstage auf dem Jungfraujoch



**Tourismus**

>1'000'000  
Besucher/Jahr

**Wissenschaft**

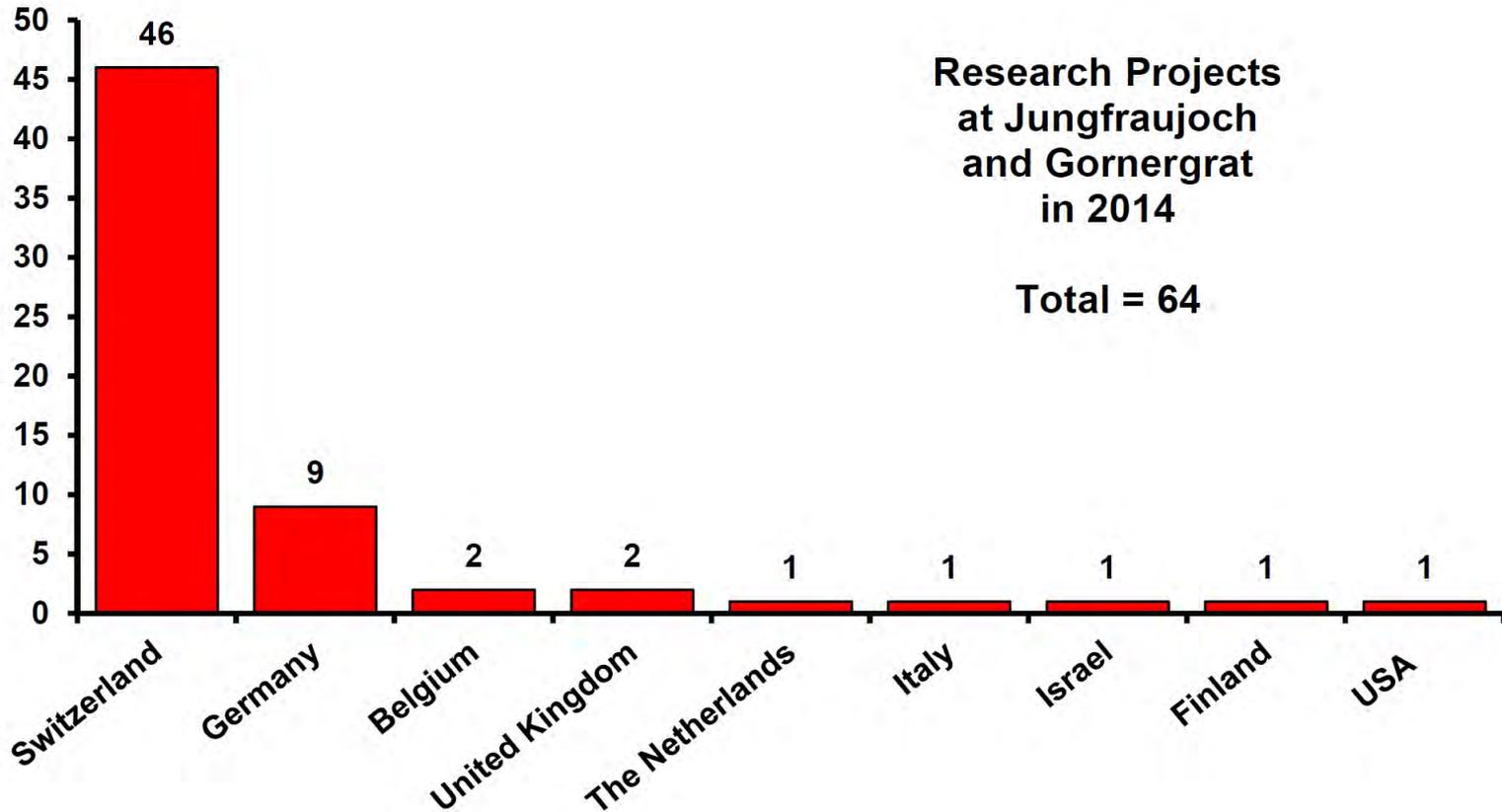
~1000 Personen-  
Tage/Jahr



**HFSJG**

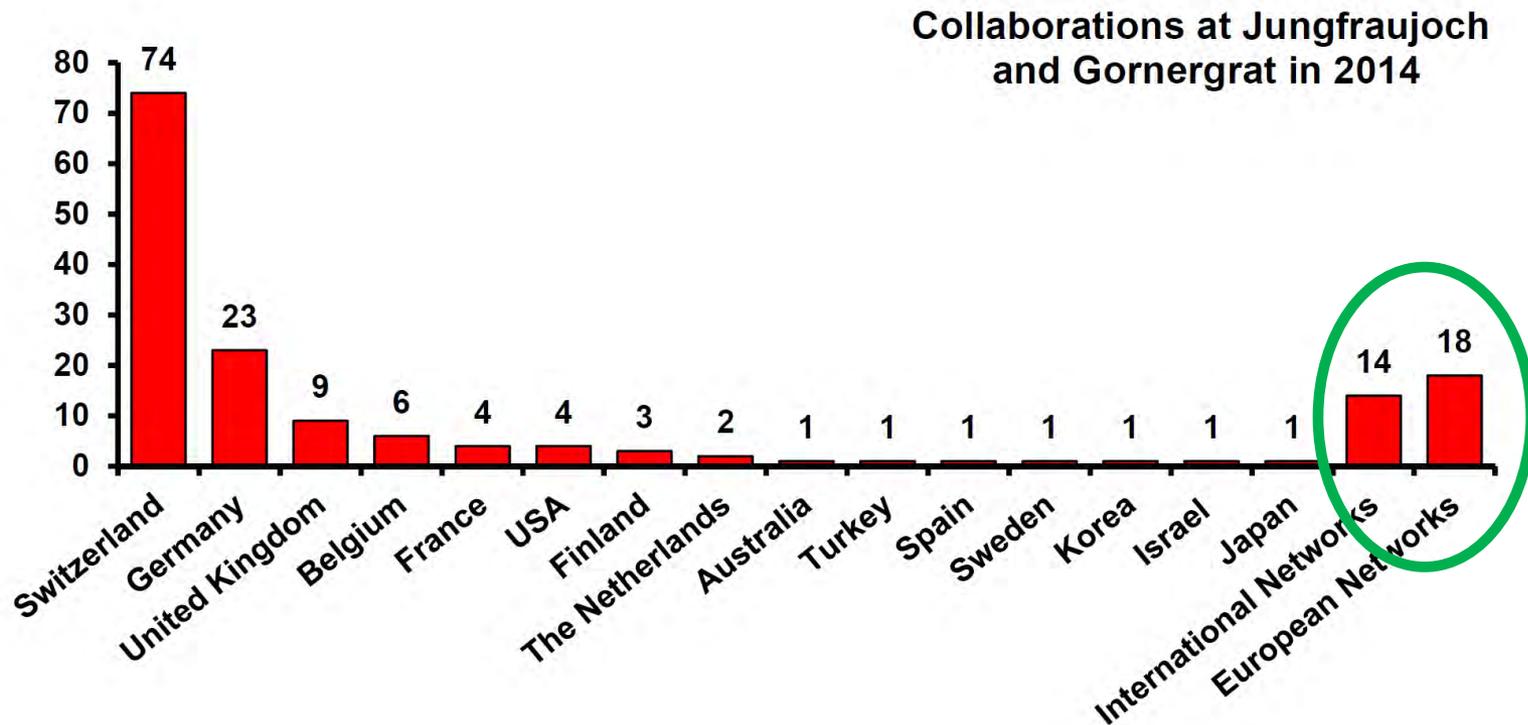
High Altitude Research Stations  
**Jungfrauoch & Gornergrat**

# Wissenschaftliche Projekte



80 % gehören zum Gebiet der Klima- und Umweltwissenschaften

# Zusammenarbeiten national und international



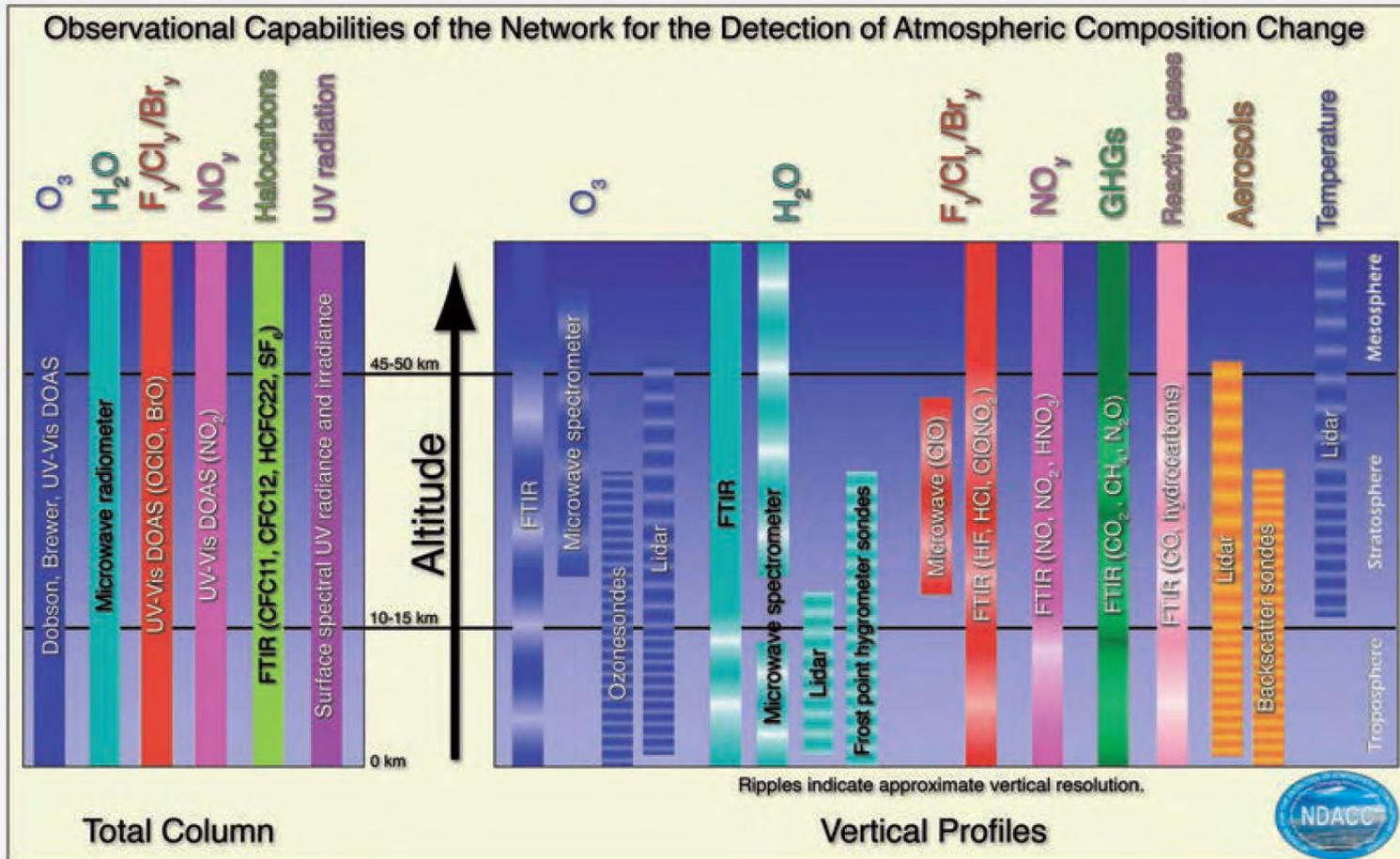
# Internationale Netzwerke

## Die 'Globalen Stationen' des Global Atmosphere Watch (GAW)



# Internationale Netzwerke

Netzwerk zur Erfassung der Veränderung der atmosphärischen Zusammensetzung (NDACC)



## Publikationen, welche auf Untersuchungen in den HFSJG Infrastrukturen basieren

year/publications	2010	2011	2012	2012	2014
peer-reviewed publications	57	42	32	35	53
conference contributions	77	77	48	61	79
data reports	9	11	8	8	7
PhD and master theses	9	12	2	4	4
books and book contributions	3	4	5	1	0

## News über HFSJG Aktivitäten

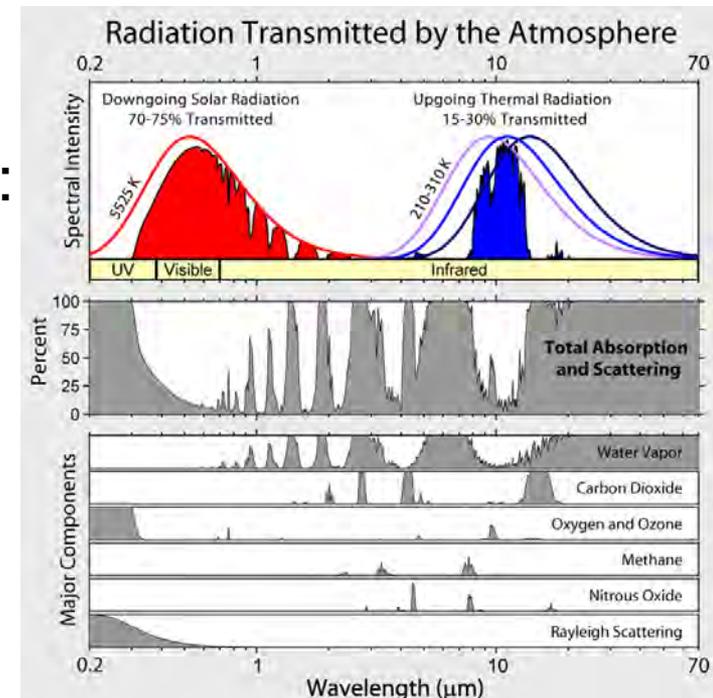
year/publications	2010	2011	2012	2013	2014
print media	59	48	40	19	29
Radio	6	2	2	3	6
Television	4	3	6	7	6
Internet	9	4	1	1	5

# Forschungs-Highlights

## “Einst”

- 1950 - Universität de Liège: Sonnenspektroskopie  
Migeotte, Neven, Swensson:  
Sonnen Atlas 2.8-23.7 $\mu\text{m}$

Delbouille, Roland, Neven:  
Sonnen Atlas 0.3 - 1  $\mu\text{m}$



# Highlights “Einst”

- <1948, 1951      **Blackett, Wilson & Powell**  
(auch auf Pic du Midi, F)
- **Blackett, Nobelpreis 1948:**  
"for his development of the Wilson cloud chamber method, and his discoveries therewith in the fields of nuclear physics and cosmic radiation"
- **Powell, Nobelpreis 1950:**  
"for his development of the photographic method of studying nuclear processes and his discoveries regarding mesons made with this method"



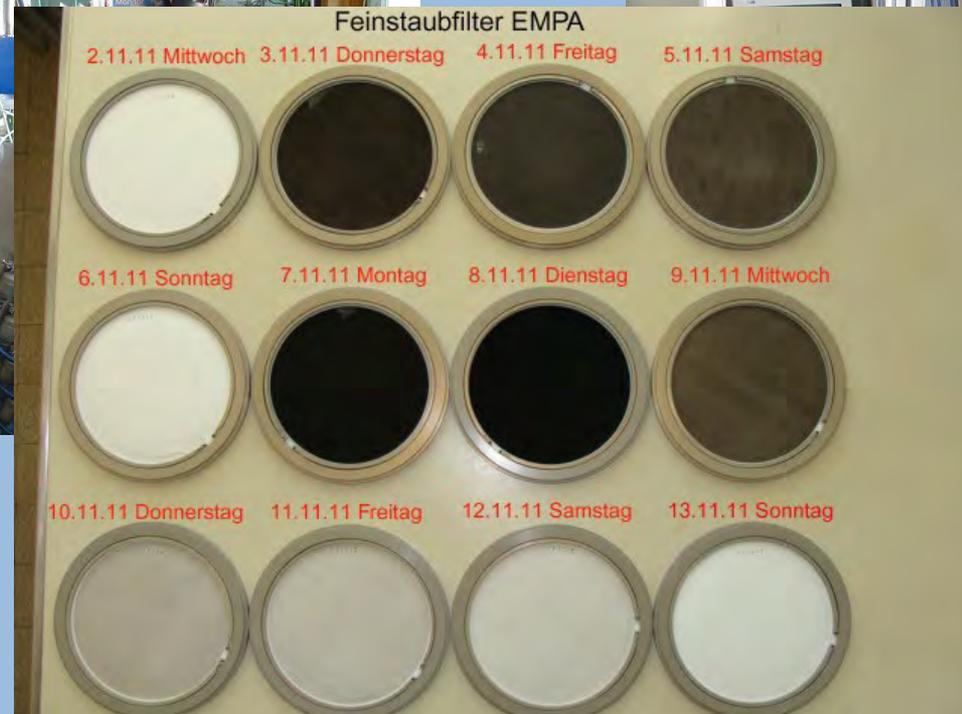
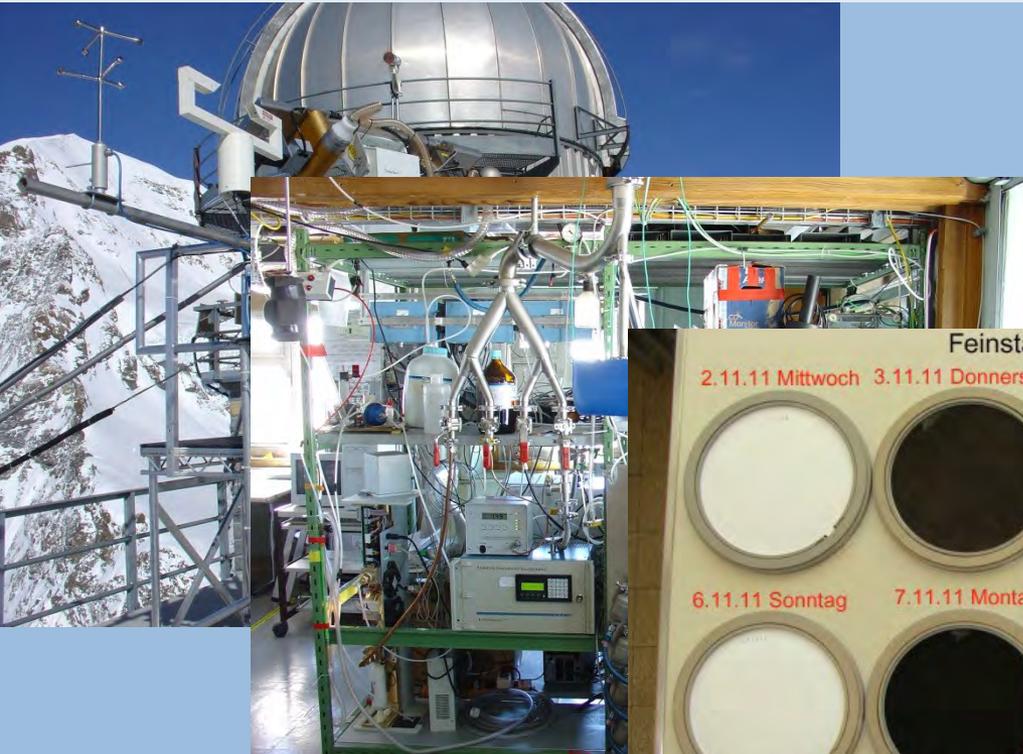
# Highlights “Einst & Jetzt”

- 1962 Labs & Neckel:  
erste Absolutmessung der Solarkonstante
- 1963- Observatoire de Genève (Golay):  
7-Farben Photometrie, Katalog >40'000 Sterne
- 1982 Universität Bern (Debrunner & Flückiger):  
erster Nachweis von solaren Neutronen
- 1990 Blumthaler & Ambach:  
Intensitätsanstieg der UV-Strahlung
- - 2016 verschiedene Forschungsgruppen:  
Langzeitdaten von mehr als 25  
klimarelevanten Spurengasen in der Atmosphäre

# Aktuelle Forschung

- > 20 Langzeitexperimente
  - Fernbedienbare Messapparaturen
  - Über 80% der Projekte aus dem Bereich Umweltwissenschaften
- 
- Es folgen einige Beispiele aus der aktuellen Forschung

# Forschung auf dem Jungfraujoch, heute!



Jetzt folgen einige  
Beispiele!



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Swiss Confederation

Federal Department of Home Affairs FDHA  
Federal Office of Meteorology and Climatology MeteoSwiss

[www.MeteoSwiss.ch](http://www.MeteoSwiss.ch)



Jungfraujoch: höchste permanent besetzte meteorologische Station Europas

# MeteoSchweiz Messstation auf Jungfraujoch



# Wichtige Meteostationen

SCIENCE OF THE TOTAL ENVIRONMENT 391 (2008) 262–268



available at [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)



[www.elsevier.com/locate/scitotenv](http://www.elsevier.com/locate/scitotenv)



## Monitoring climate at Jungfrauoch in the high Swiss Alpine region

Christof Appenzeller<sup>a,\*</sup>, Michael Begert<sup>a</sup>, Evelyn Zenklusen<sup>a</sup>, Simon C. Scherrer<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Federal Office of Meteorology and Climatology MeteoSwiss, Krähbühlstrasse 58, CH-8044 Zürich, Switzerland

<sup>b</sup>National Center for Atmospheric Research, Climate Analysis Section, Climate and Global Dynamics Division, P.O. Box 3000, Boulder CO, 80307, USA

### ARTICLE INFO

#### Keywords:

Jungfrauoch  
Temperature  
Homogeneity  
Trends  
Thawing  
Alpine region

### ABSTRACT

A homogenized temperature record measured at Jungfrauoch, the highest permanently manned meteorological station in Europe at 3580 m asl, is presented based on almost 70 years of record (1937–2005). The observed decadal variability as well as the overall trend (1.8 °C/69 years) in the homogenized data is comparable to other homogenized Swiss time series at other altitudes. A detailed analysis of seasonal mean temperature trends revealed no significant height dependence for the period 1961–2005. The dominant trend features are the weaker trends in autumn, significant only at low altitudes. Temperature indices such as thawing days, derived from newly homogenized minimum temperature series, exhibit strong vertical and seasonal trend dependence. Strongest relative trends occur in winter at an altitude around 1000 and 1600 m asl. For the summer season relative trends in thawing days are strongest at the highest stations, as expected. At Jungfrauoch an increase of about 50% is observed for the period 1961–2005 even when the extraordinary warm summer of 2003 is excluded.

© 2007 Elsevier B.V. All rights reserved.

Appenzeller et al., 2007

# Kalibration der Daten für Trends

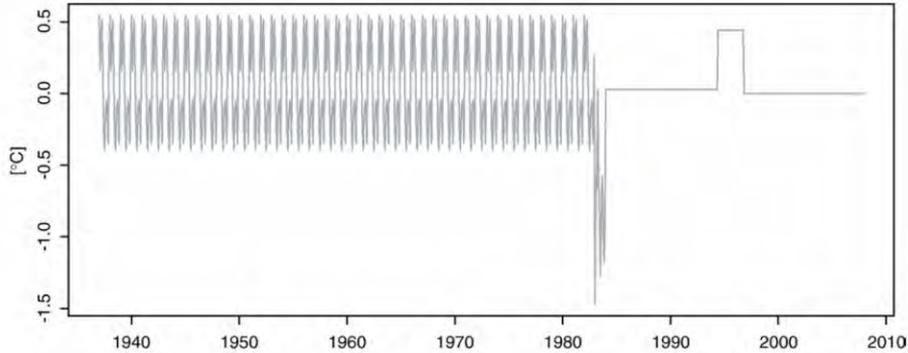


Fig. 3 – Adjustments [°C] of the monthly temperature series at Jungfrauoch for the period 1937 to 2005.

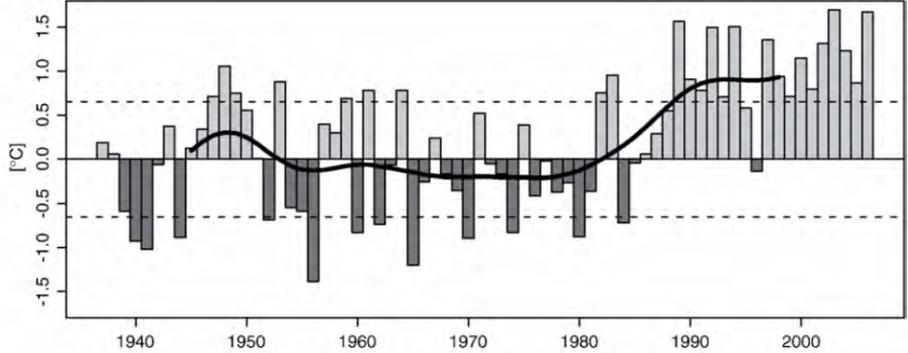
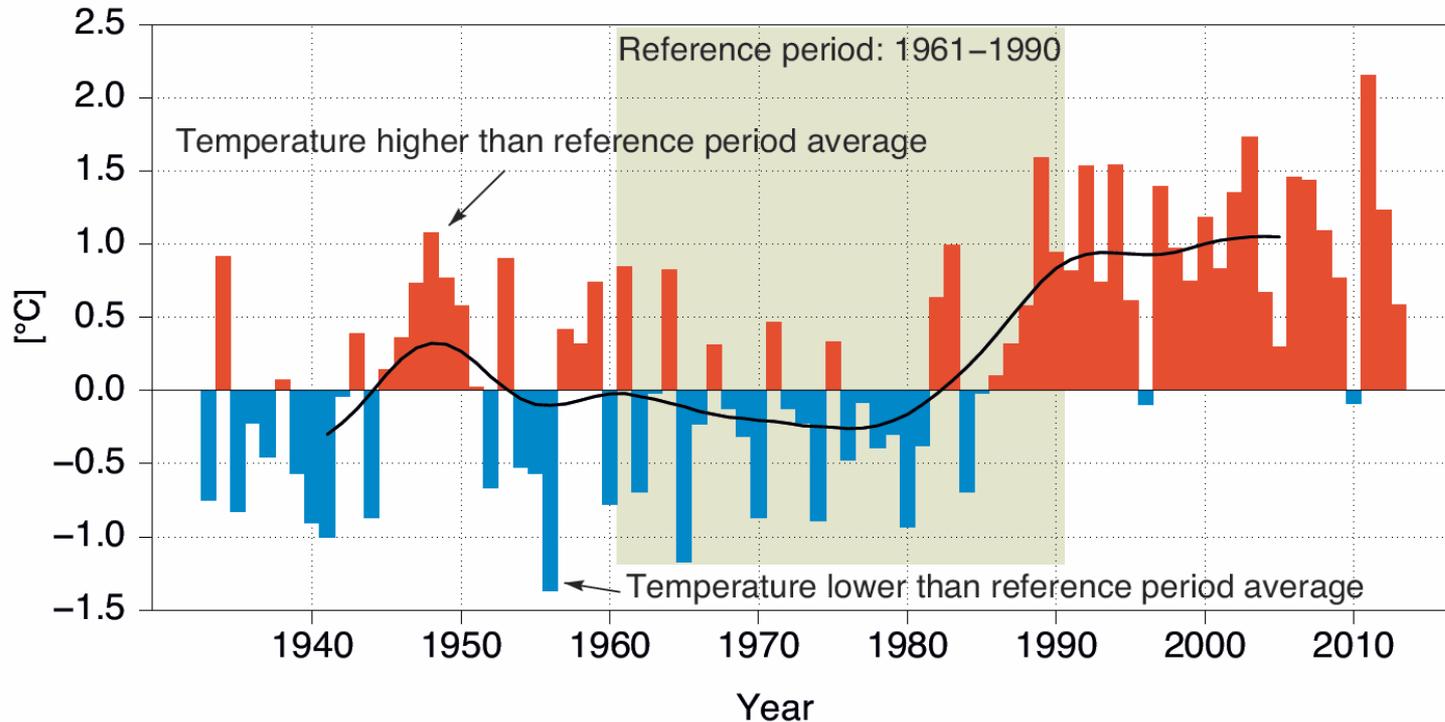


Fig. 4 – Yearly mean temperature anomalies derived from the homogenized series at Jungfrauoch for the period 1937 to 2005 with a 20 year Gaussian low-pass filter (solid line) and the standard deviation (dashed line). All anomalies are in °C and given relative to the 1961 to 1990 period.

Appenzeller et al., 2007



# Langzeit Trend des Klimarekords



- Temperaturanstieg seit 1933:  $\sim 1.4^{\circ}\text{C}$
- Tage mit positiven Temperaturen (24h): 60% Zuwachs seit 1961

# Aerosols at the Jungfraujoch: Properties, trends and aerosol-cloud interaction

Urs Baltensperger and his group

Laboratory of Atmospheric Chemistry

Paul Scherrer Institute, 5232 Villigen PSI, Switzerland



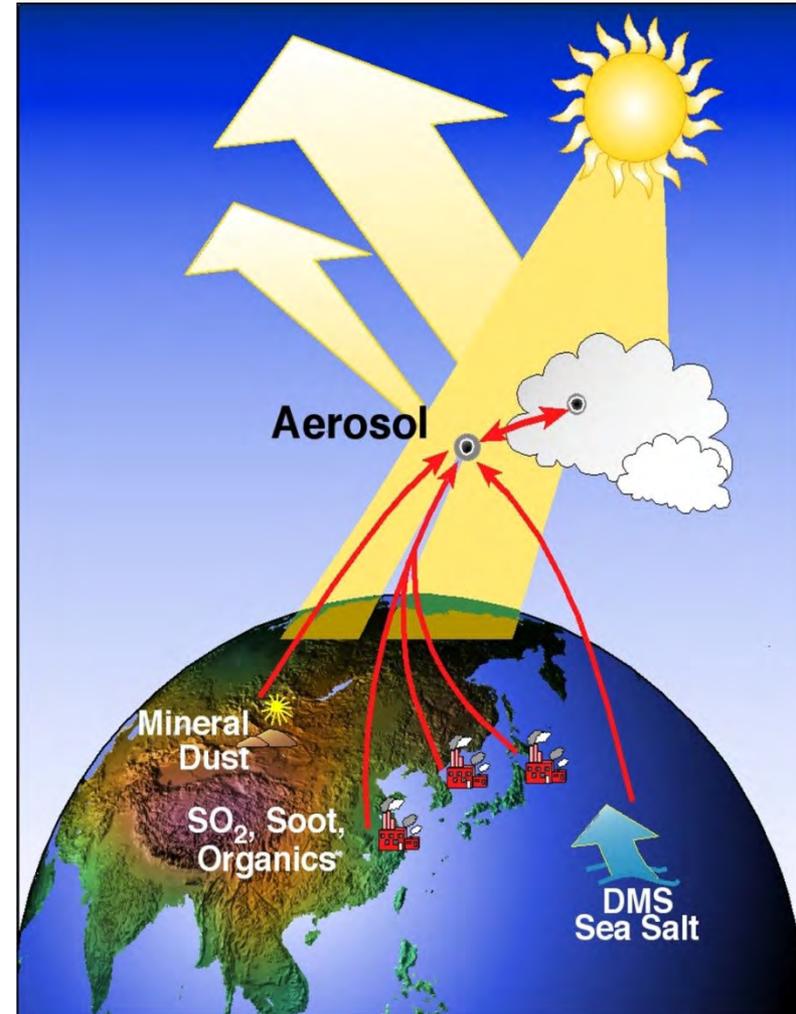
Aerosols are solid or liquid particles  
in the atmosphere

They affect our health and have an impact on climate



**- a health hazard**

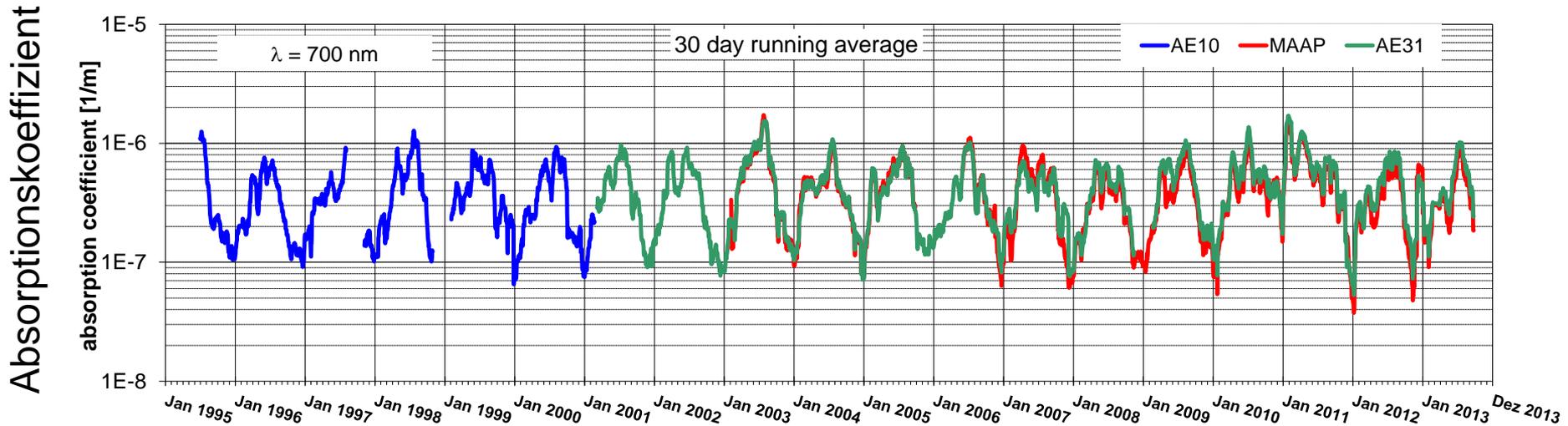
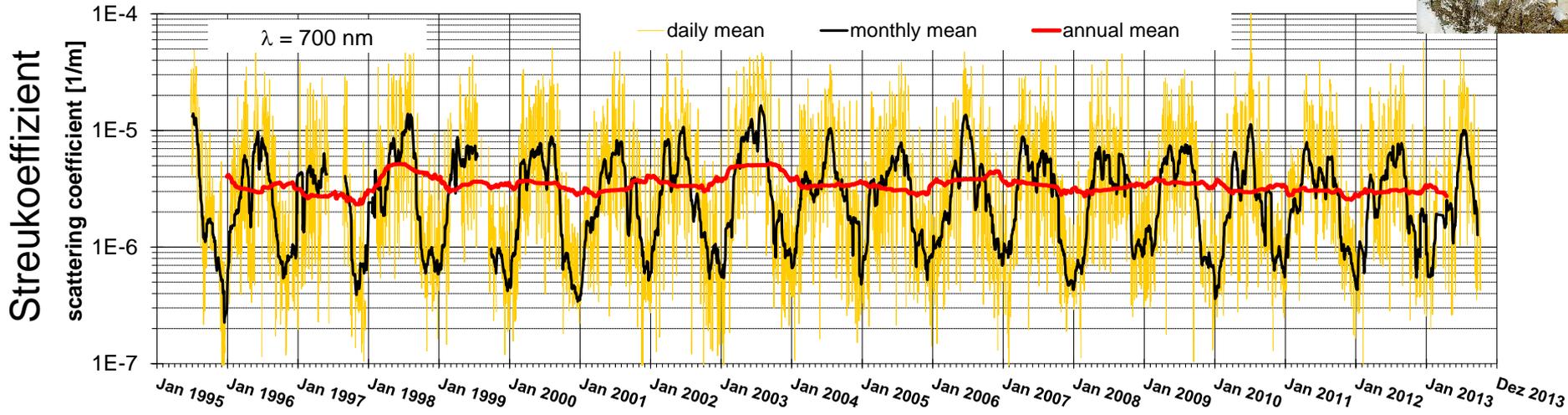
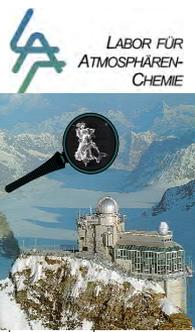
Source: [www.ecocouncil.dk](http://www.ecocouncil.dk)



<http://saga.pmel.noaa.gov/aceasia/>

# 20 years of continuous data at the Jungfraujoch (3580 m asl)

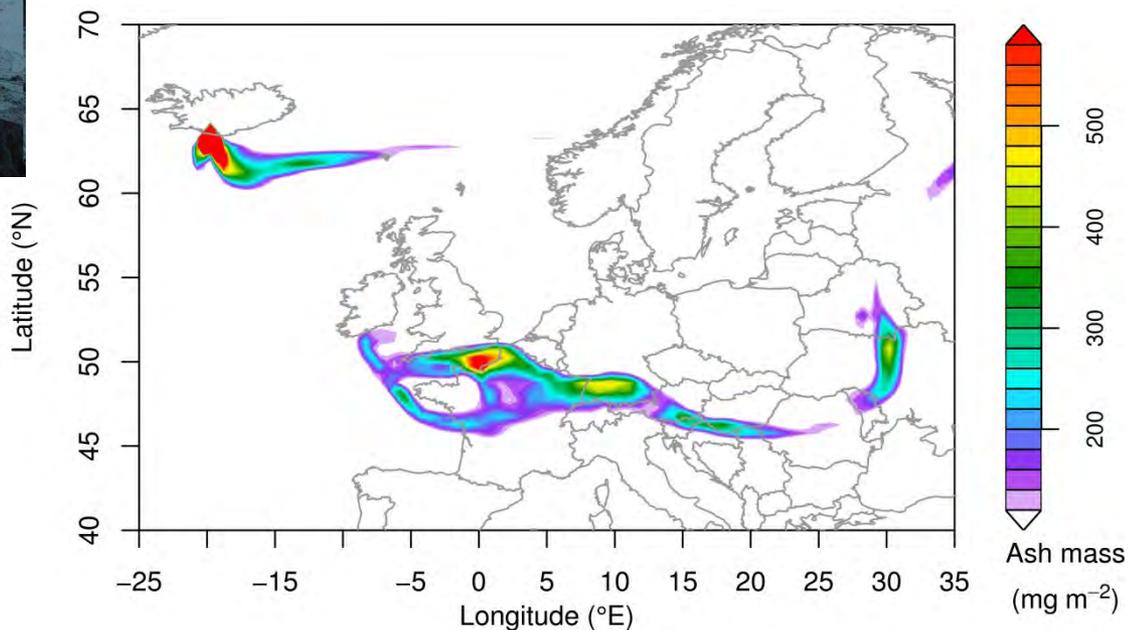
there are only very few stations with a similarly long record



# Modellierung der Ausbreitung der Aschewolke



Eyjafjallajökull



# The Global Atmosphere Watch (GAW) Aerosol Messprogramm

des

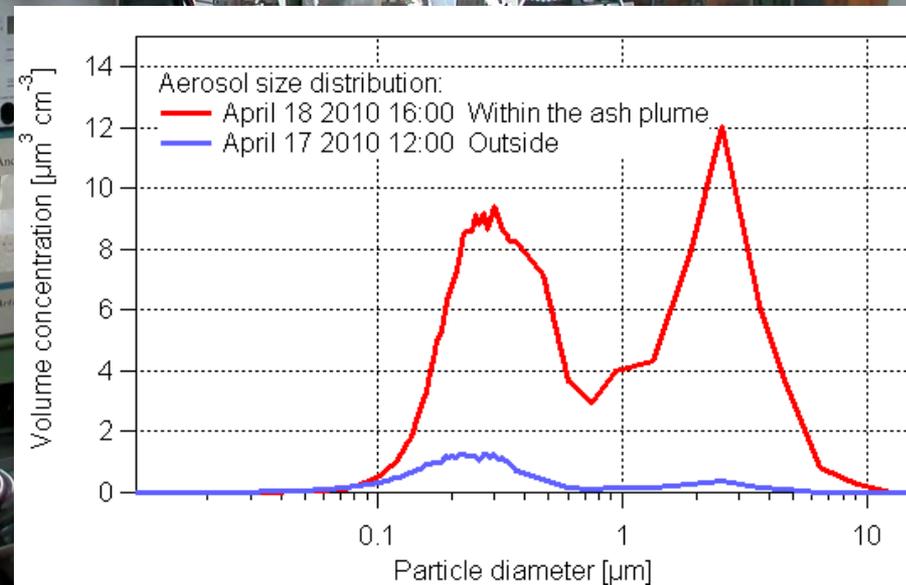
Paul Scherrer Institutes (PSI)

Atmosphärisches Chemie Labor

auf dem Jungfraujoch ist eines der  
fortschrittlichsten und vollständigsten  
weltweit.



## Aschenwolke vom Island- Vulkan Eyjafjallajökull



# Spurengase in der Atmosphäre

Lukas Emmenegger, Martin Steinbacher und viele andere  
Empa

Labor für Luftfremdstoffe / Umwelttechnik

# Reaktive und Treibhaus Gase @ Jungfrauojch

Mehr als 70 kontinuierliche  
Zeitreihen

**Halogenkohlen-  
wasserstoffe**

Montreal & Kyoto  
Protokolle

**Treibhaus  
Gase**

$N_2O$   $CH_4$   $CO_2$   
 $^{13}C$  &  $^{18}O$  in  $CO_2$

**Reaktive  
Gase**

Ozone  $CO$   $SO_2$   
 $NO_2$   $NO$   $NO_y$   
 $H_2$   $VOC$



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Bundesamt für Umwelt BAFU

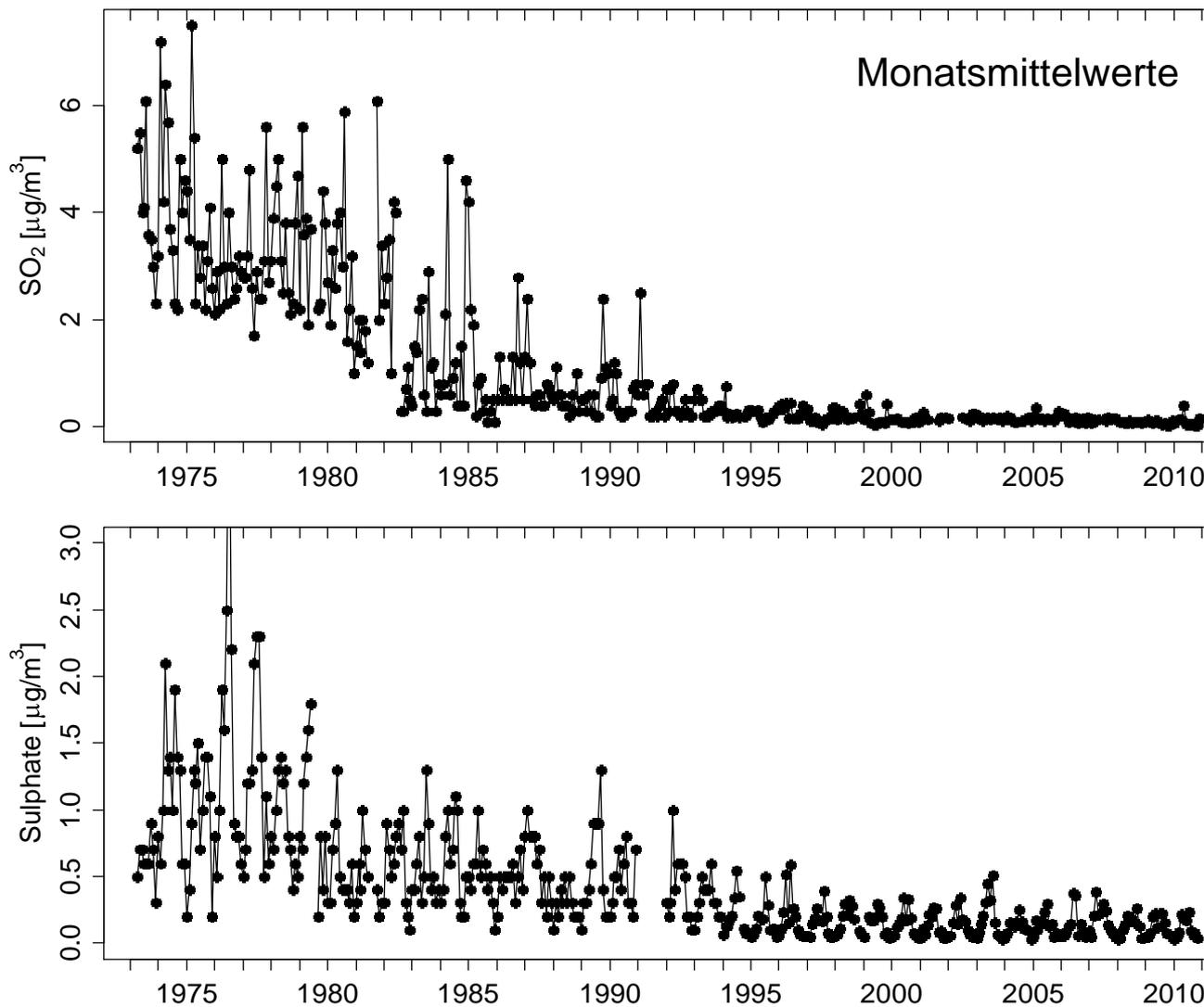


FONDS NATIONAL SUISSE  
SCHWEIZERISCHER NATIONALFONDS  
FONDO NAZIONALE SVIZZERO  
SWISS NATIONAL SCIENCE FOUNDATION

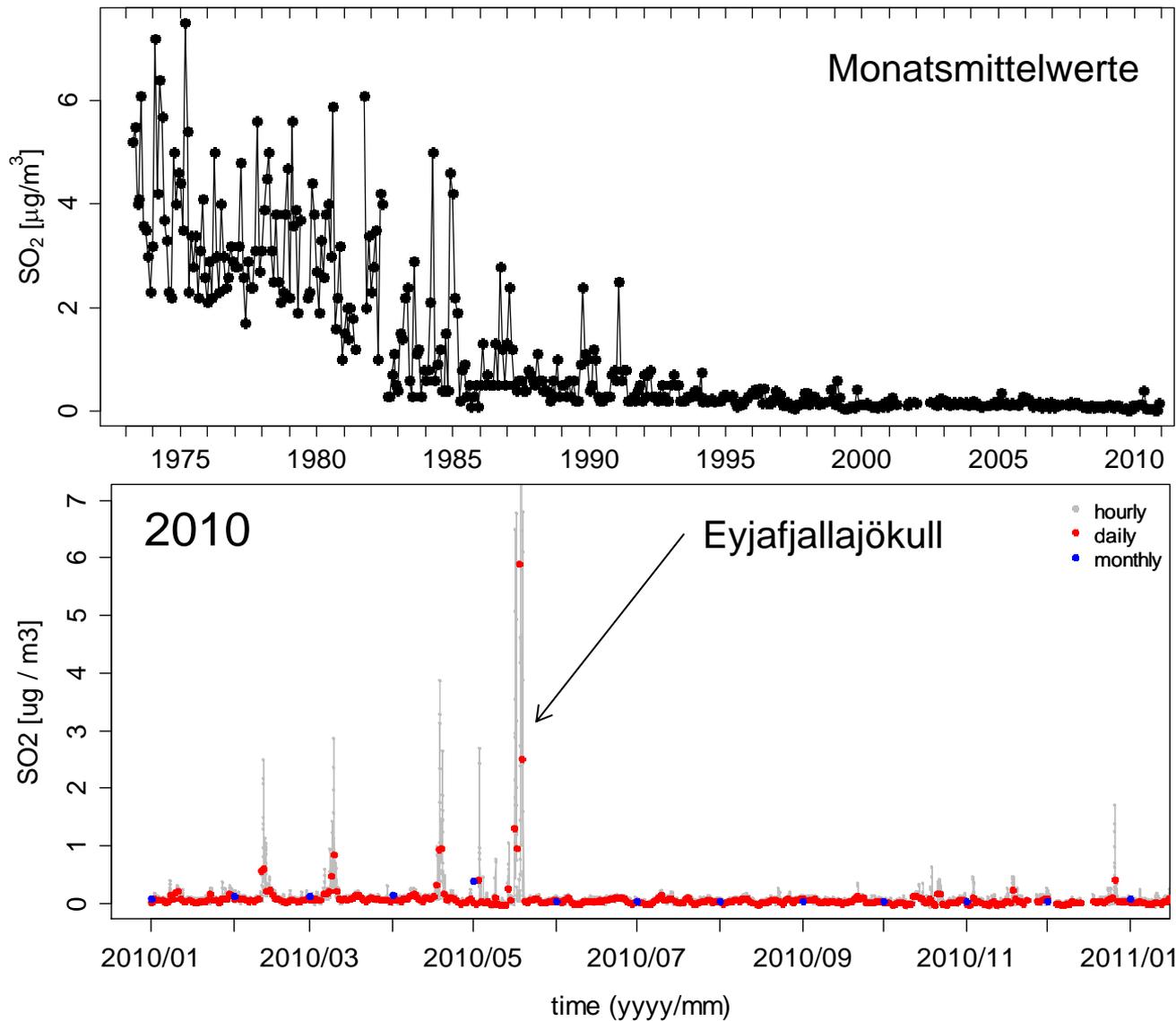


Materials Science & Technology

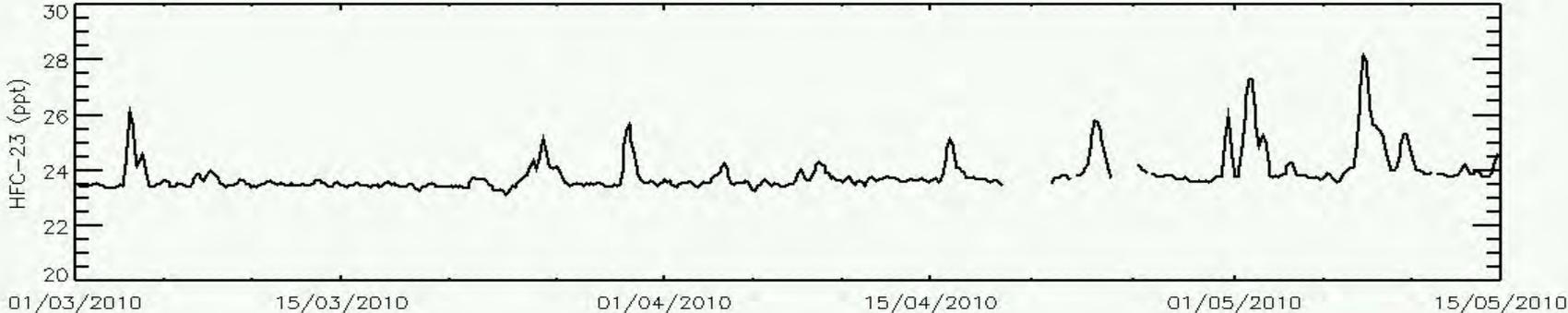
# Längste Messreihen auf dem Jungfraujoch



# Längste Messreihen auf dem Jungfrauoch



# Messungen und Quellenregionen, z. Bsp. HFC-23 (Fluoroform)



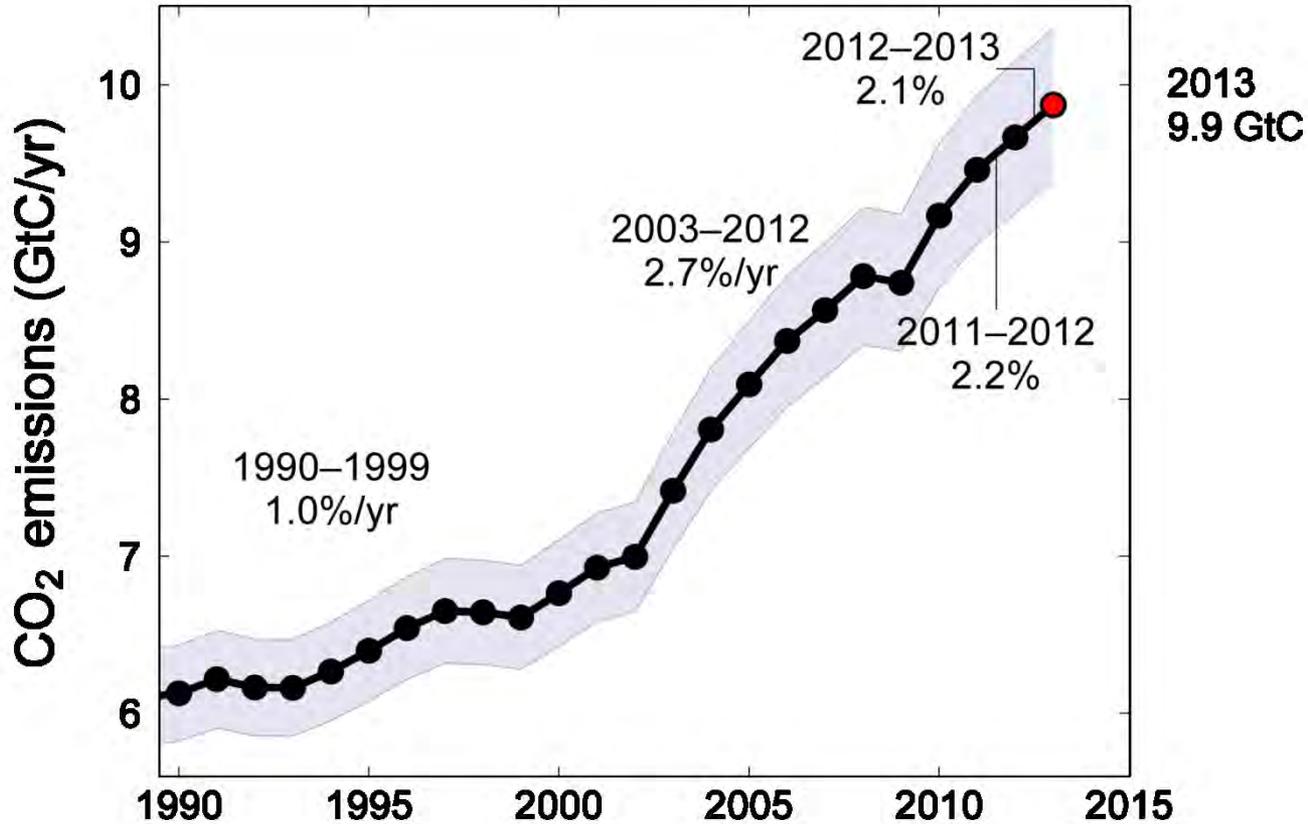
# Was wissen wir über Treibhausgase?

- > Entwicklung der Treibhausgase (**CO<sub>2</sub>**, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, H<sub>2</sub>O)
- > Zeitlicher Verlauf der CO<sub>2</sub> Emissionen
- > Zeitlicher Veränderung der atmosphärischen CO<sub>2</sub> Konzentration

# Fossil Fuel and Cement Emissions

Global fossil fuel and cement emissions:  $9.7 \pm 0.5$  GtC in 2012, 58% over 1990

● Projection for 2013 :  $9.9 \pm 0.5$  GtC, 61% over 1990



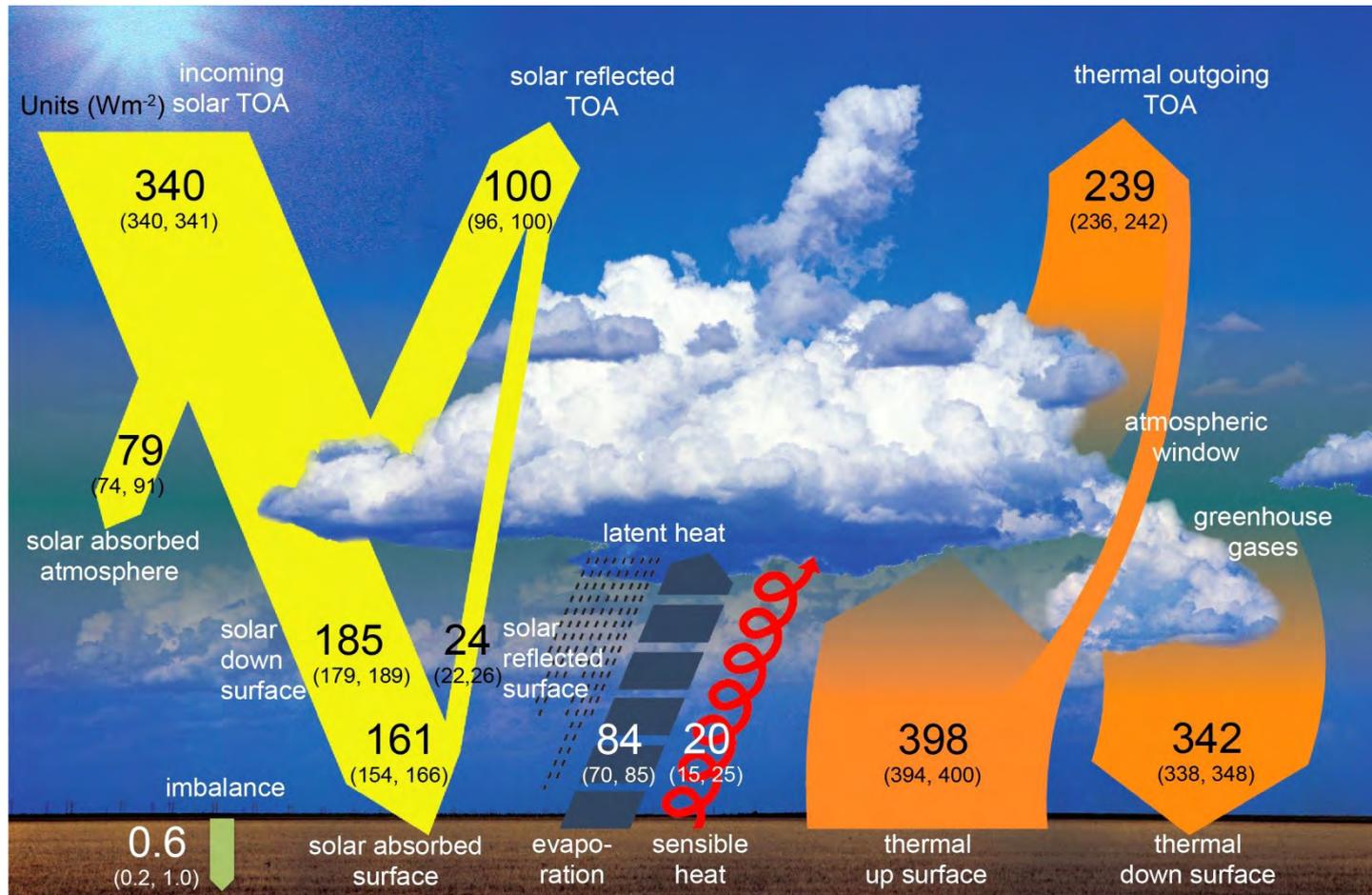
y is  $\pm 5\%$  for standard deviation (95% range)

With leap year adjustment: 2012 growth rate is 1.9% and 2013 is 2.4%

Source: [Le Quéré et al 2013](#); [CDIAC Data](#); [Global Carbon Project 2013](#)

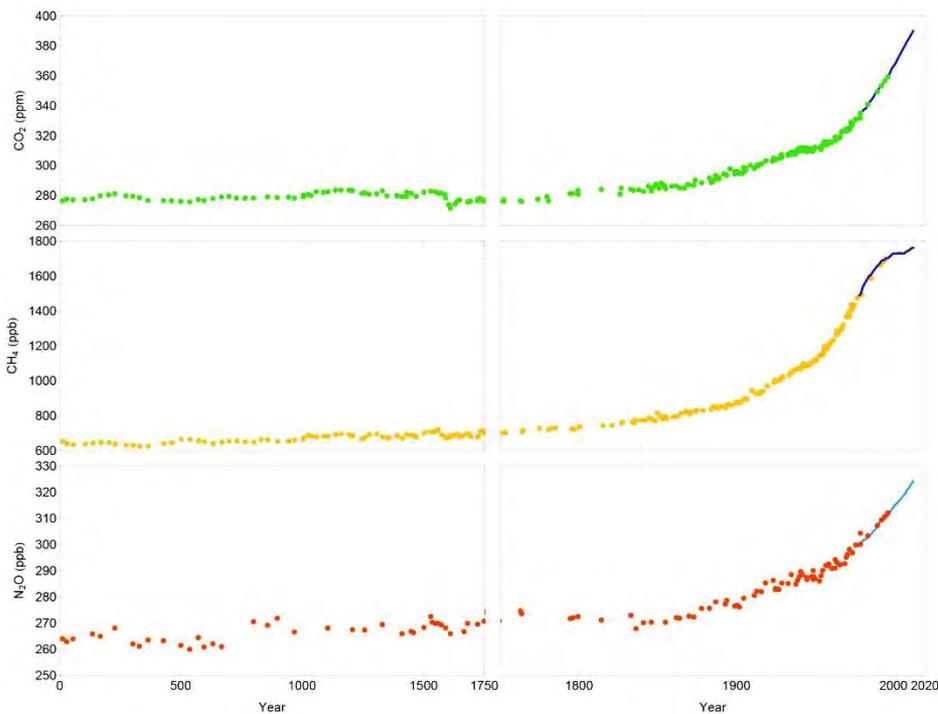
# Der Treibhauseffekt

Natürlicher Effekt: Temperatur steigt von  $-18^{\circ}\text{C}$  auf  $+15^{\circ}\text{C}$   
 Zusätzlicher Effekt: Temperatur steigt weiter an!

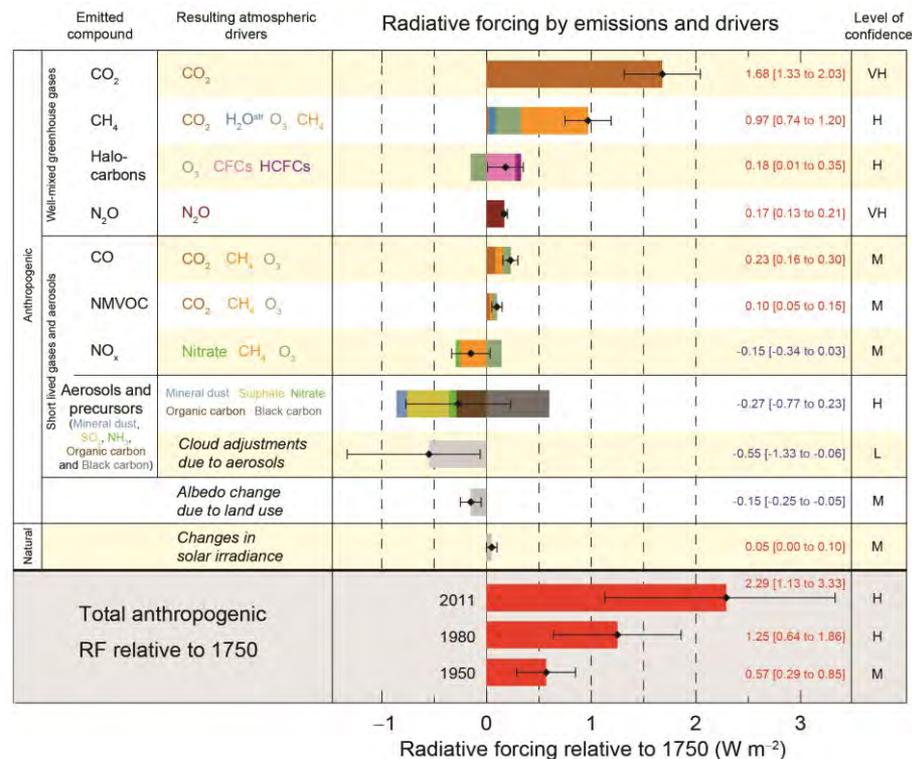


# Strahlungsantrieb

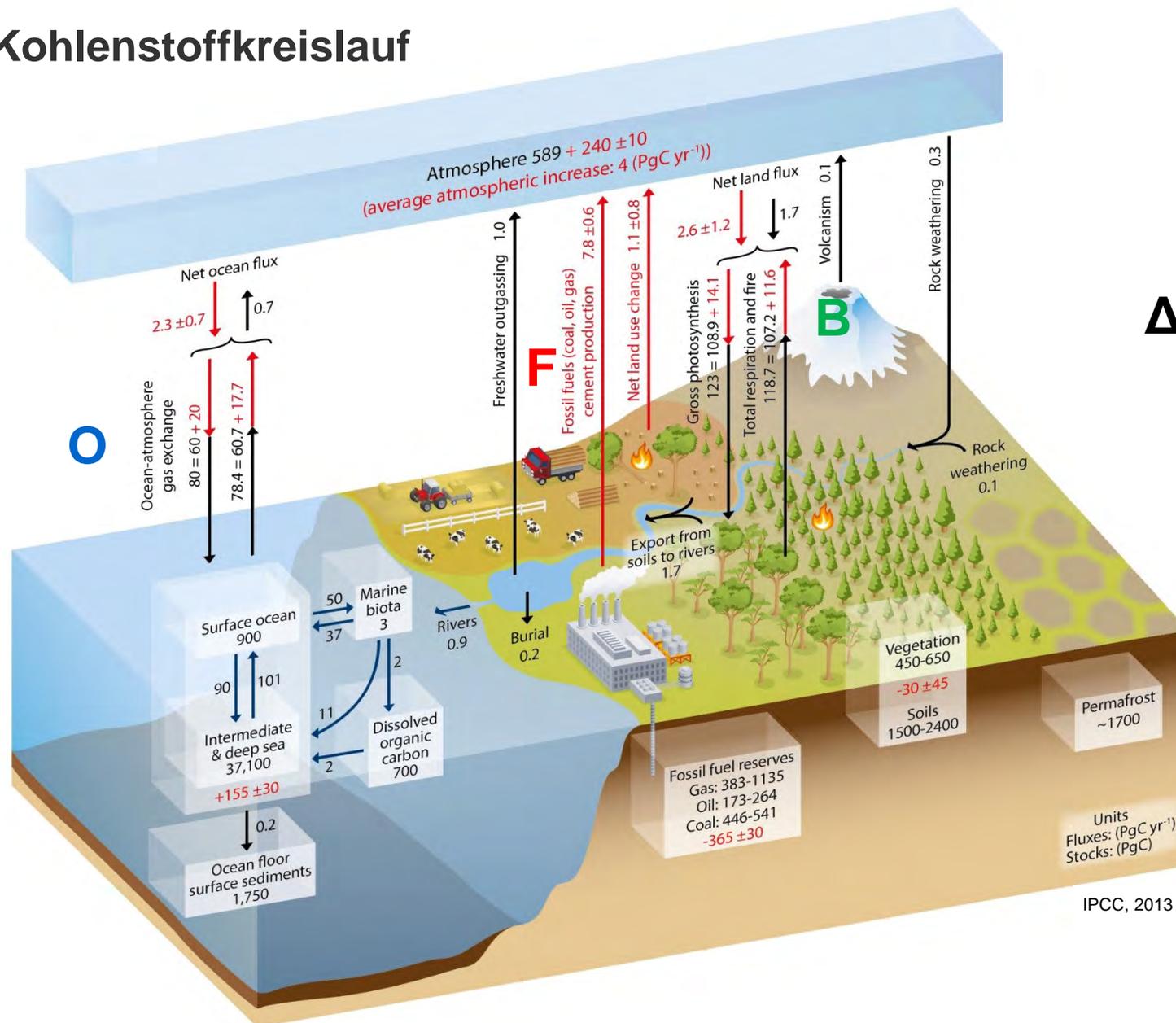
## CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> und N<sub>2</sub>O Veränderungen



## Strahlungsantrieb relativ zu 1750



# Kohlenstoffkreislauf

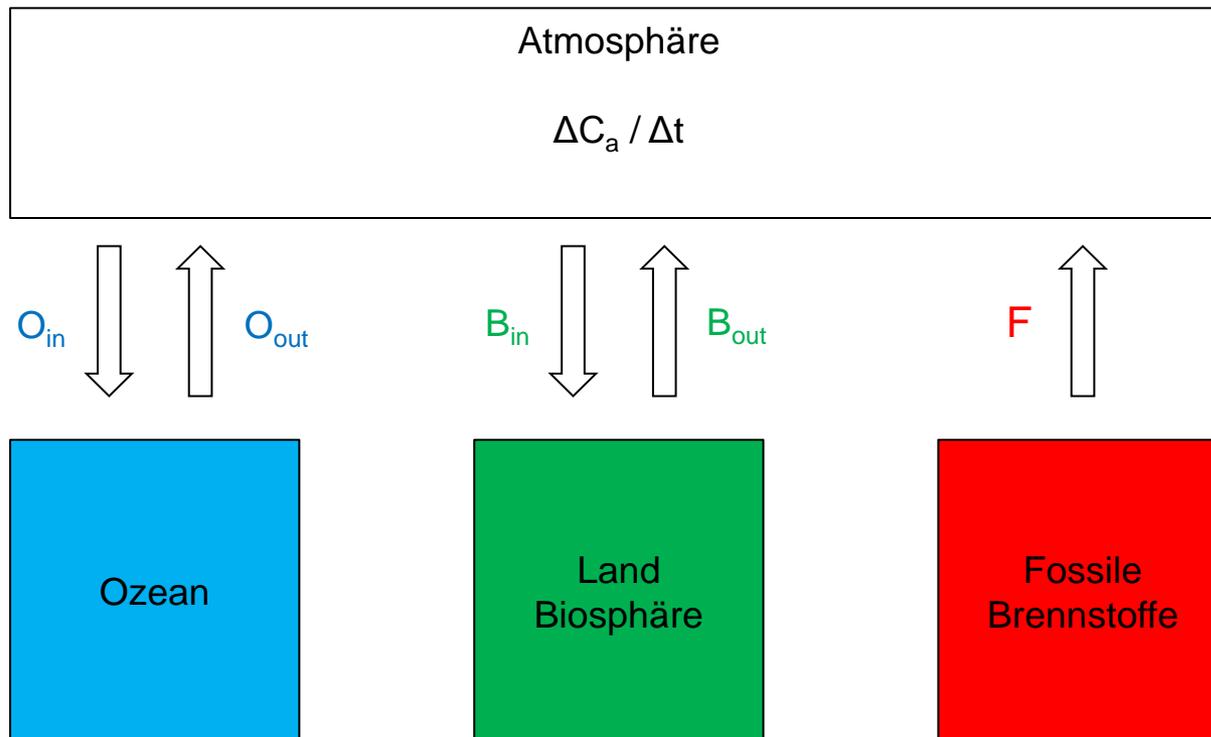


$$\Delta C_a / \Delta t$$

IPCC, 2013

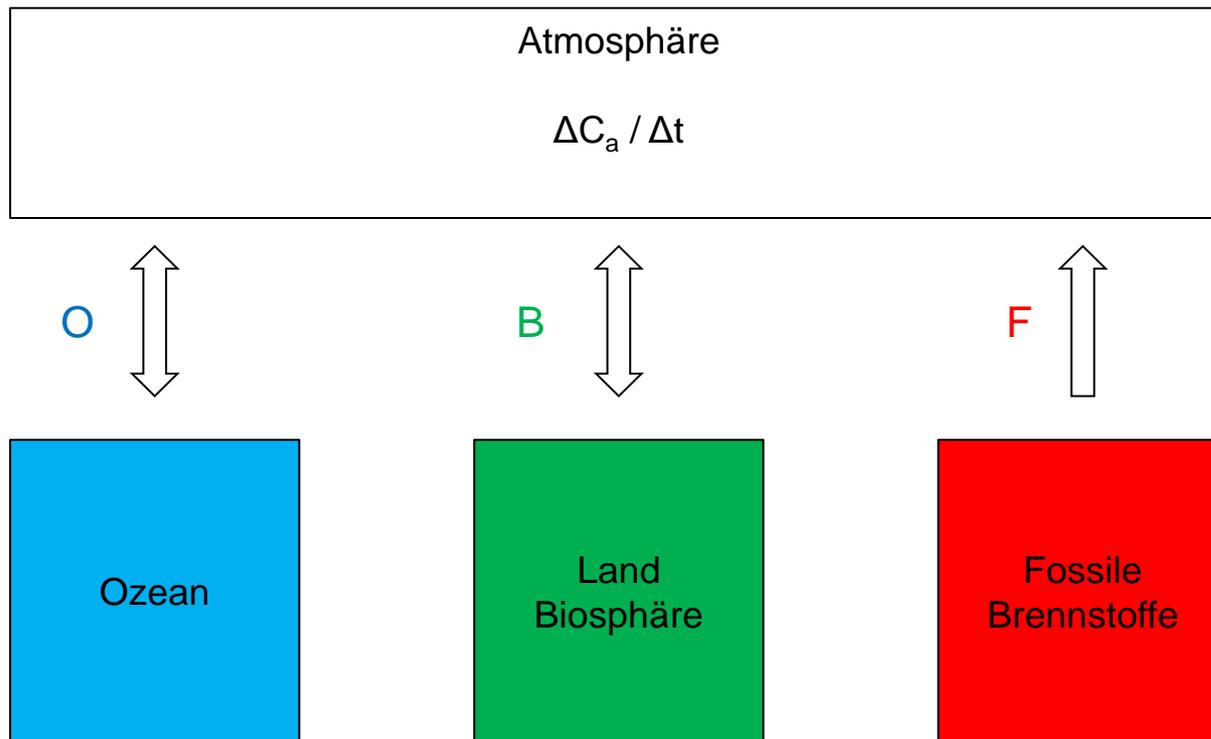
# Kohlenstoff-Flüsse

$$\Delta C_a / \Delta t = - O_{in} + O_{out} - B_{in} + B_{out} + F$$



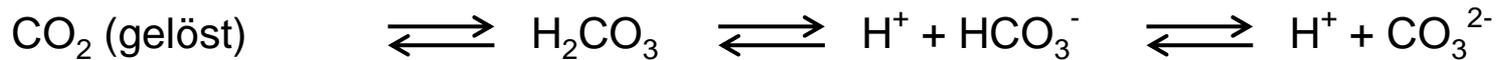
# Kohlenstoff-Flüsse

$$\Delta C_a / \Delta t = - O - B + F$$



# Oxidation-Verhältnisse

## Ozean



## Biosphäre

Photosynthese

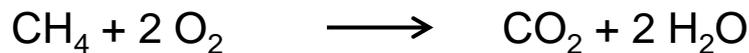


$$\alpha_B \text{ -1.1 mol O}_2 \text{ mol}^{-1} \text{ CO}_2$$

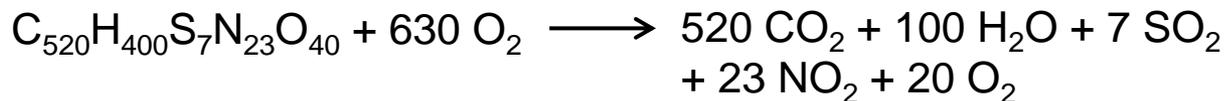
Respiration

Severinghaus, 1995

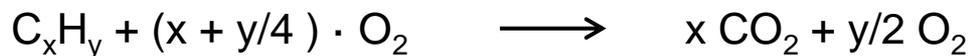
## Fossile Brennstoffe



$$\alpha_F \text{ -2.0 mol O}_2 \text{ mol}^{-1} \text{ CO}_2$$



$$\alpha_F \text{ -1.17 mol O}_2 \text{ mol}^{-1} \text{ CO}_2$$



$$\alpha_F \text{ -1.4 mol O}_2 \text{ mol}^{-1} \text{ CO}_2$$

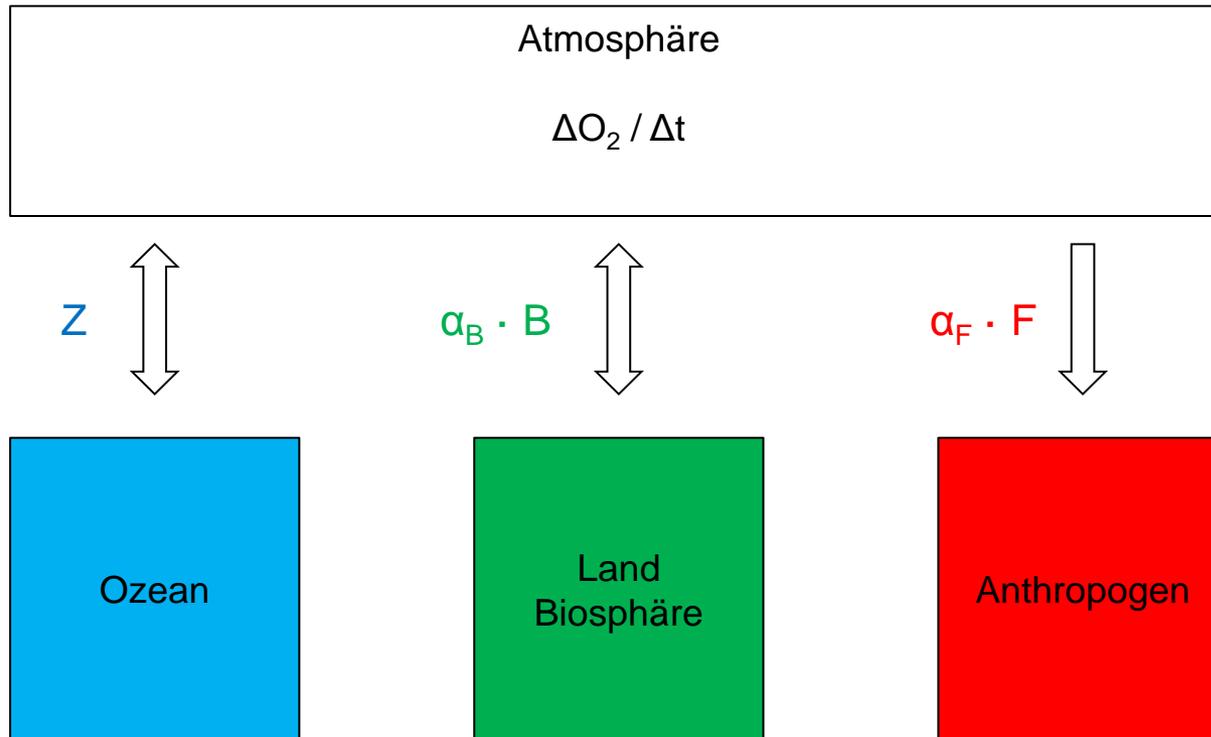
Marland and Rotty, 1984

Steinbach, 2011

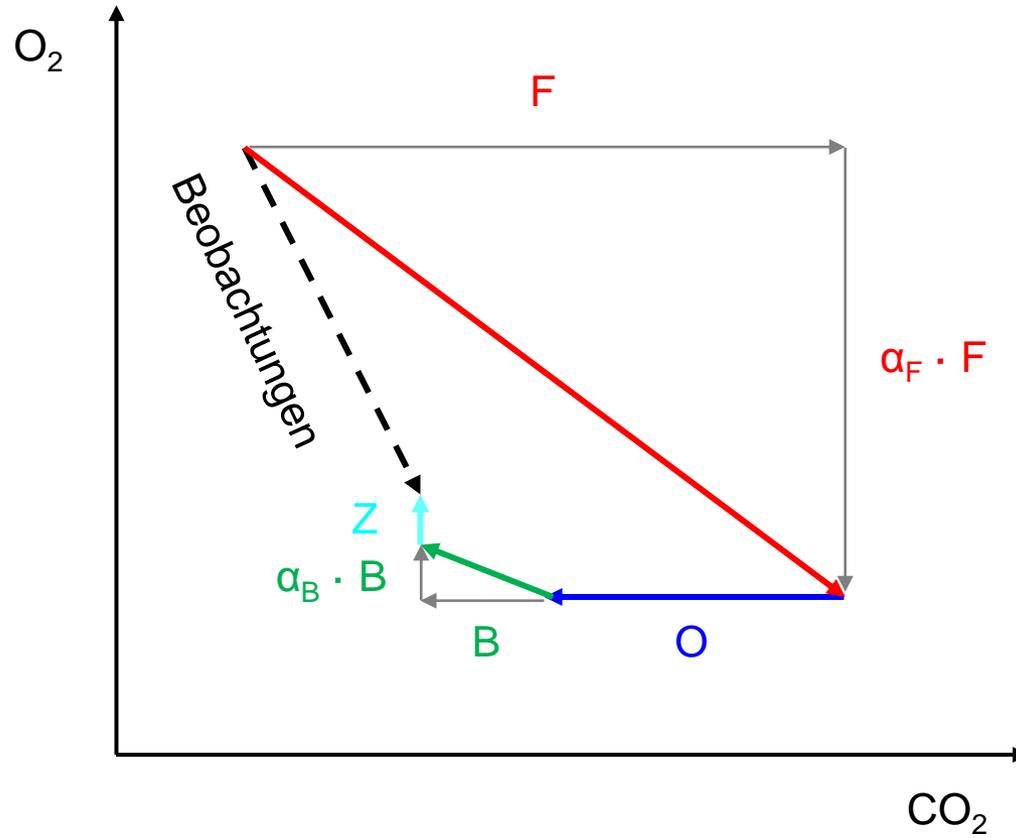
# Sauerstoff-Flüsse

$$\Delta C_a / \Delta t = - O - B + F$$

$$\Delta O_2 / \Delta t = \alpha_B \cdot B + Z - \alpha_F \cdot F$$



# Kohlenstoff-Aufteilung



# Mess-Methoden

# Flaschenmessungen

CO<sub>2</sub> and O<sub>2</sub> Messungen am IRMS (Delta<sup>plus</sup>XP):  
 $\delta\text{CO}_2/\text{N}_2$  (44/28),  $\delta\text{O}_2/\text{N}_2$  (32/28)

Jede Flasche wird zweimal für je fünf Zyklen bestehend aus acht SA/ST Paare gemessen

$$\delta\text{O}_2/\text{N}_2 = \left( \frac{R_{\text{sample}}}{R_{\text{standard}}} - 1 \right) \cdot 10^6 \quad [\text{per meg}]$$

$\delta^{13}\text{C}(\text{CO}_2)$  Messungen am GC/IRMS (Delta<sup>plus</sup>XP):

Jede Flasche wird dreimal gemessen

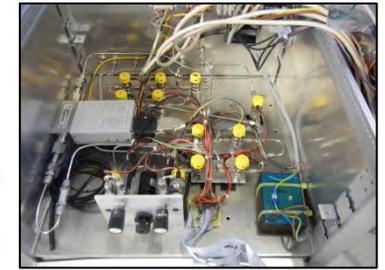
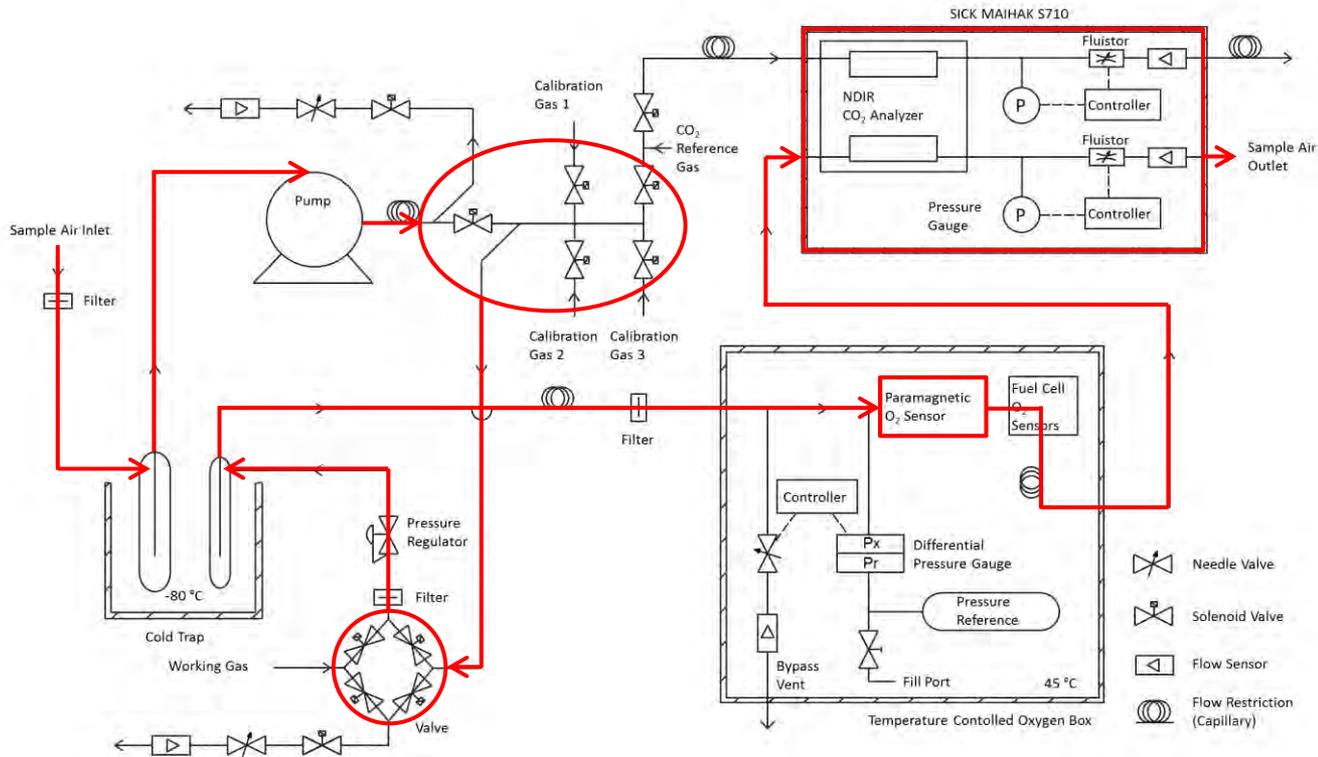
CO<sub>2</sub> wird kryogen aus der Luft extrahiert

N<sub>2</sub>O und CO<sub>2</sub> werden mittels GC getrennt

$$\delta^{13}\text{C} = \left( \frac{R_{\text{sample}}}{R_{\text{standard}}} - 1 \right) \cdot 10^3 \quad [‰ \text{ VPDB}] \quad {}^{13}\text{R} = \frac{{}^{13}\text{C}}{{}^{12}\text{C}}$$

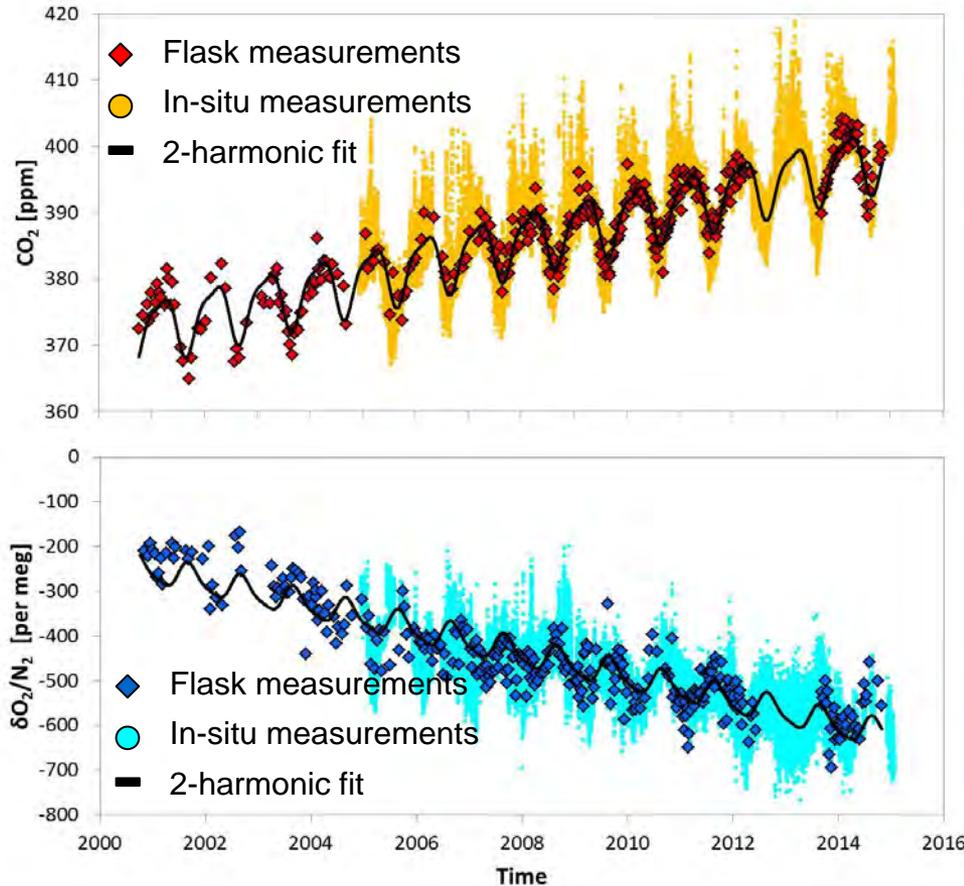


# In-situ CO<sub>2</sub> und O<sub>2</sub> Messsystem



# Flaschen und in-situ Messungen auf JFJ

# Flaschen und in-situ Messungen: Trends



CO<sub>2</sub> Zeitreihe:

Steigung in-situ:  $2.07 \pm 0.06 \text{ ppm yr}^{-1}$

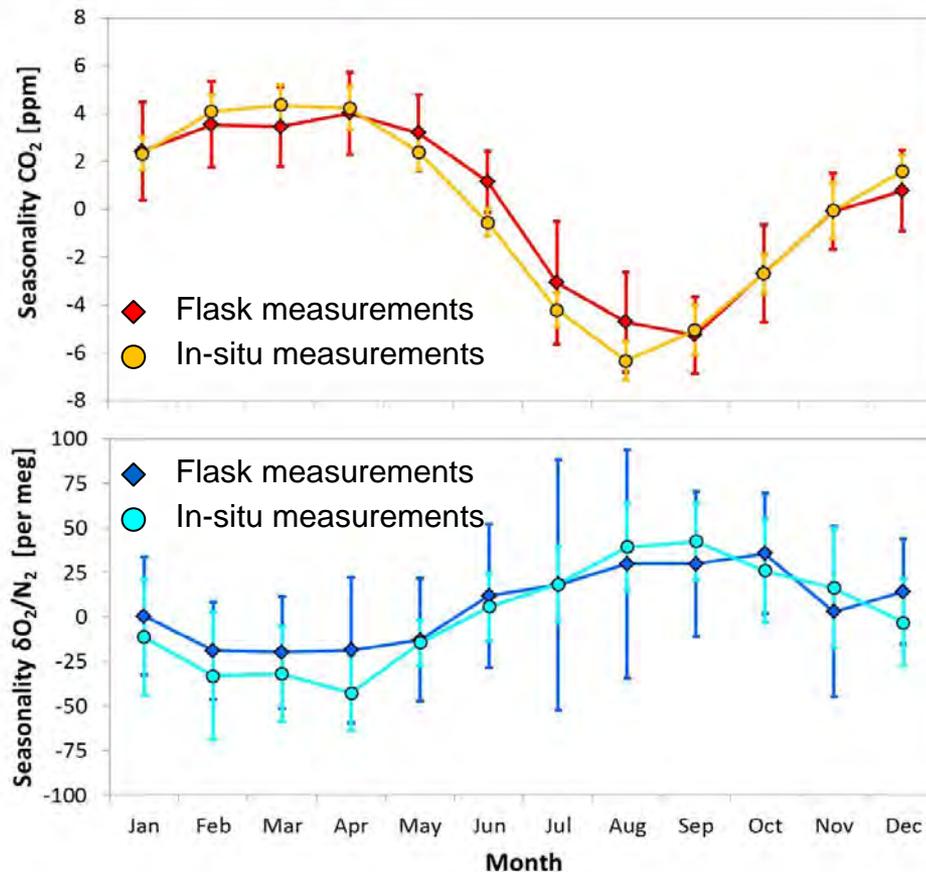
Steigung:  $1.91 \pm 0.15 \text{ ppm yr}^{-1}$   
Flaschen  $(1.90 \pm 0.24 \text{ ppm yr}^{-1})$

O<sub>2</sub> Zeitreihe

Steigung in-situ:  $-23.6 \pm 0.6 \text{ per meg yr}^{-1}$

Steigung:  $-26.7 \pm 1.8 \text{ per meg yr}^{-1}$   
Flaschen  $(-20.3 \pm 2.1 \text{ per meg yr}^{-1})$

# Flaschen und in-situ Saisonalität



CO<sub>2</sub> Zeitreihe:

Saisonalität in-situ:  $9.27 \pm 1.17 \text{ ppm yr}^{-1}$

Saisonalität:  $10.68 \pm 2.35 \text{ ppm yr}^{-1}$   
Flaschen  $(8.27 \pm 1.85 \text{ ppm yr}^{-1})$

O<sub>2</sub> Zeitreihe

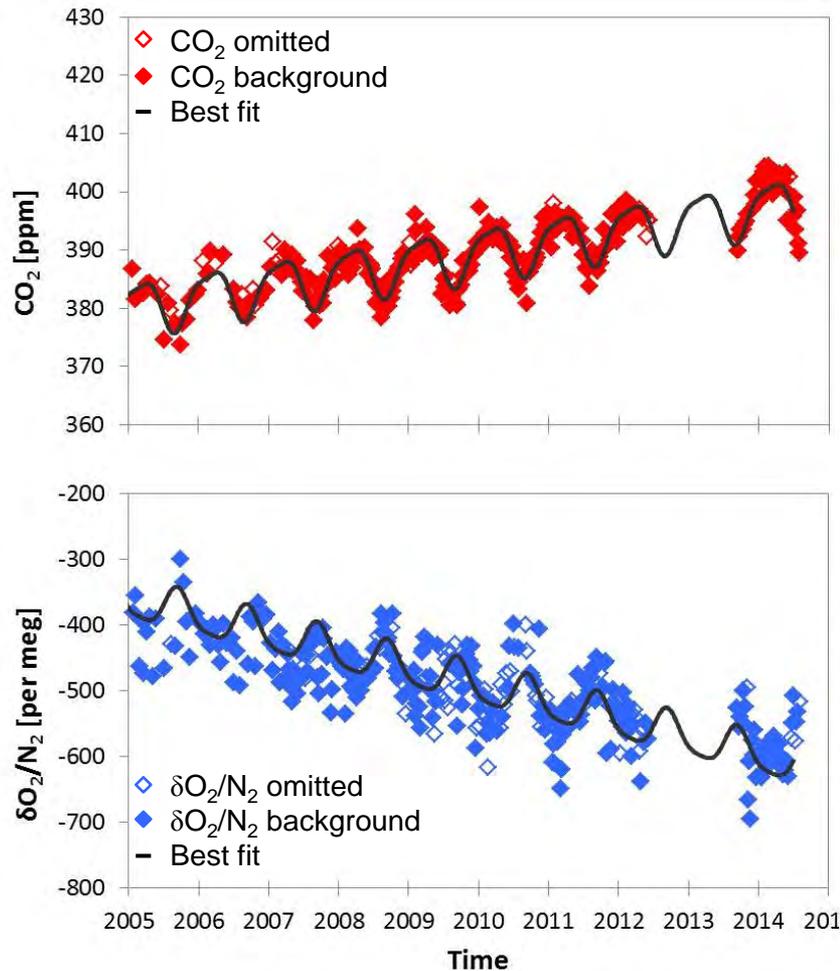
Saisonalität In-situ:  $85.2 \pm 30.4 \text{ per meg yr}^{-1}$

Saisonalität:  $55.4 \pm 46.2 \text{ per meg yr}^{-1}$   
Flaschen  $(62.9 \pm 47.7 \text{ per meg yr}^{-1})$

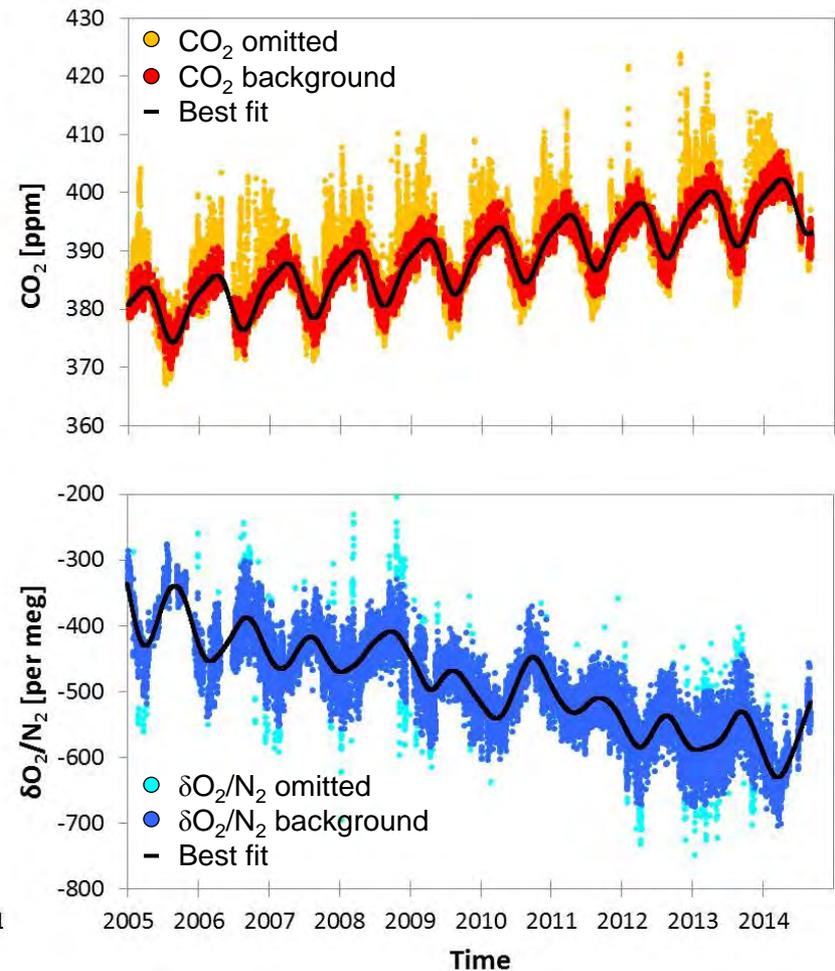
# Kohlenstoff Aufteilung

# Kohlenstoff-Aufteilung: Flaschen und in-situ Messungen

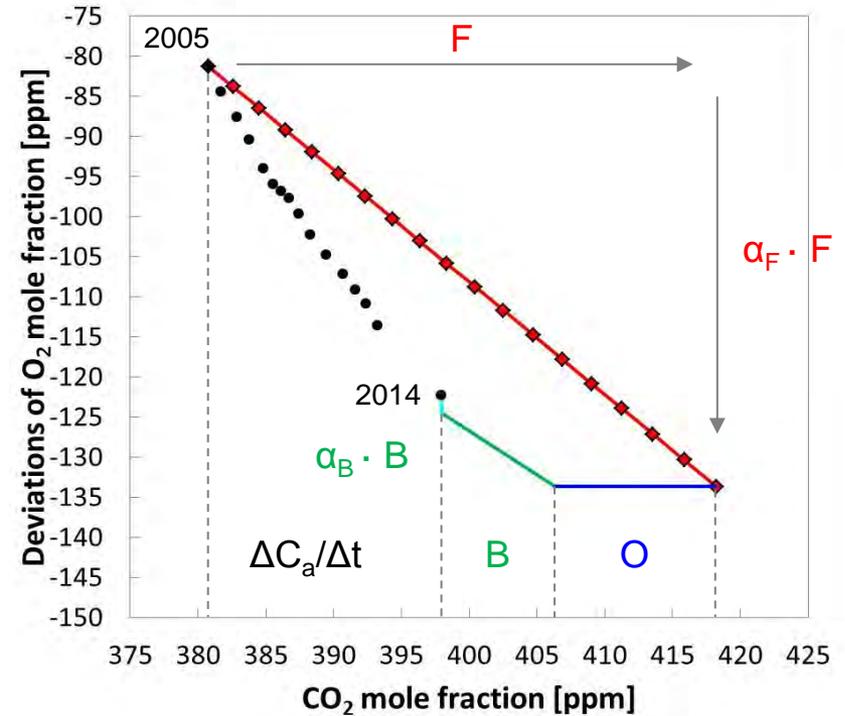
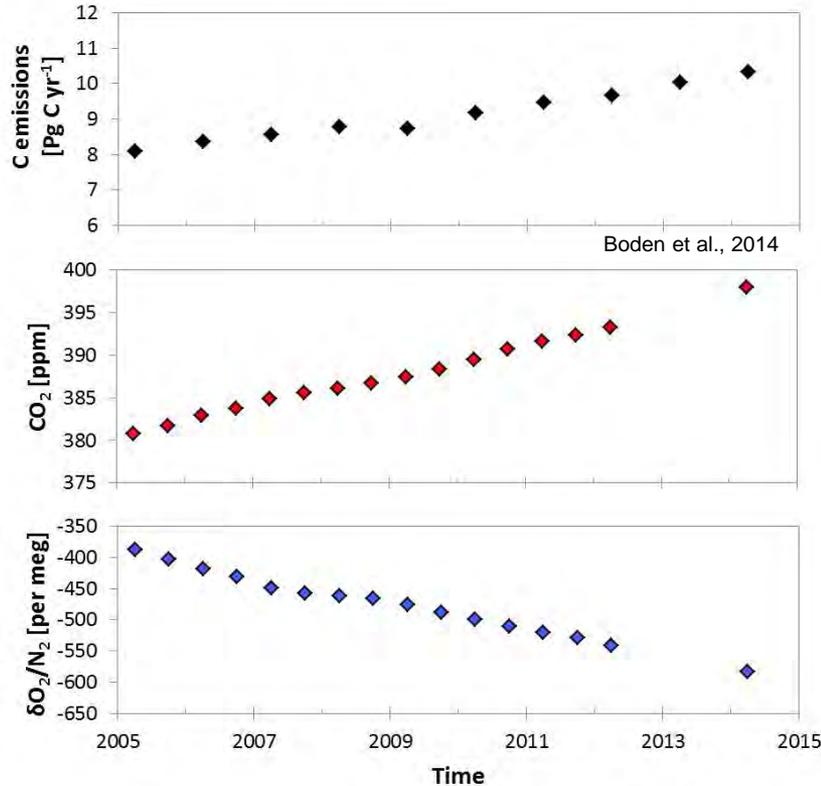
## Flaschen Messungen



## In-situ Messungen



# Kohlenstoff-Aufteilung mittels Flaschen Messungen



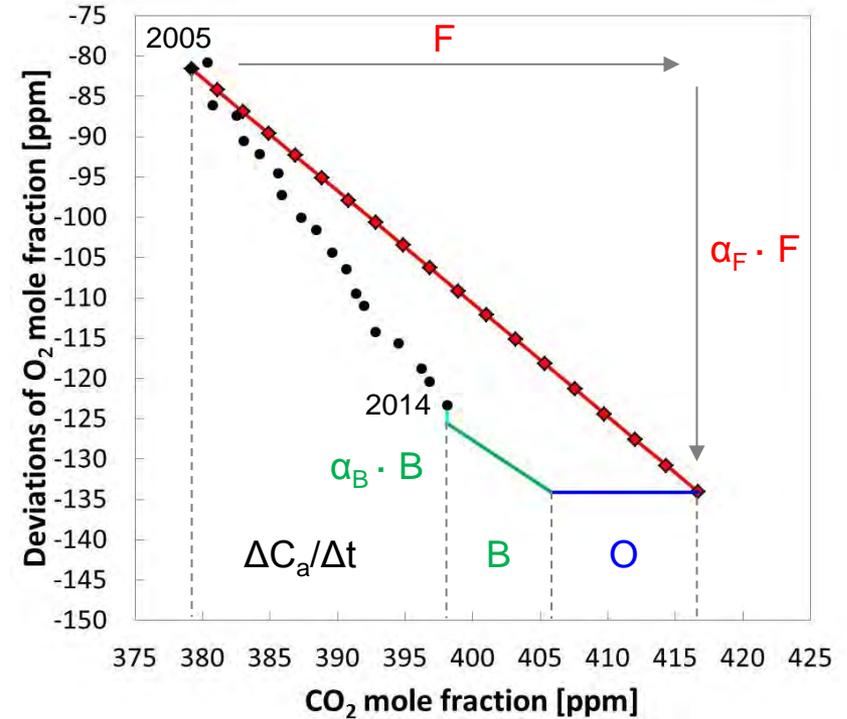
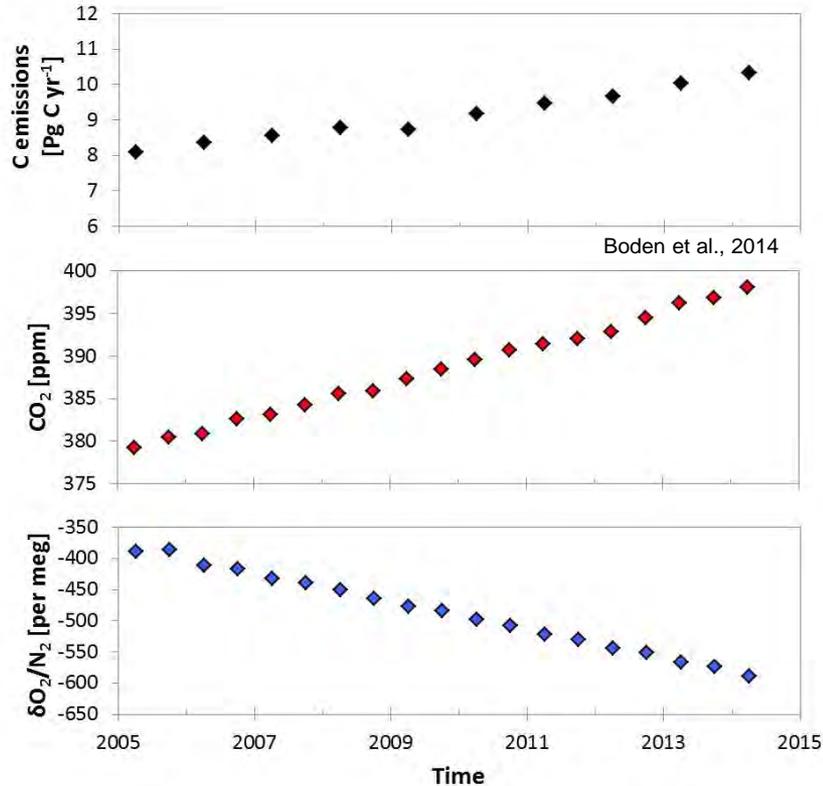
$F = 9.11 \text{ Pg C yr}^{-1} \text{ (100 \%)}$

$B = -2.04 \text{ Pg C yr}^{-1} \text{ (22.4 \%)}$

$\Delta C_a / \Delta t = 4.18 \text{ Pg C yr}^{-1} \text{ (45.9 \%)}$

$O = -2.89 \text{ Pg C yr}^{-1} \text{ (31.7 \%)}$

# Kohlenstoff-Aufteilung mittels in-situ Messungen



$F = 9.11 \text{ Pg C yr}^{-1} \text{ (100 \%)}$

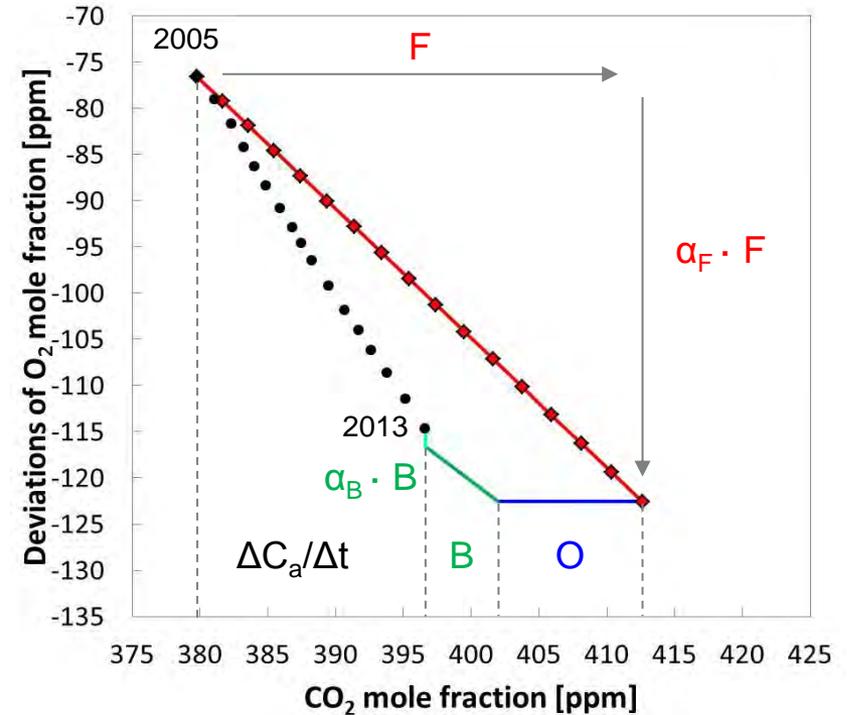
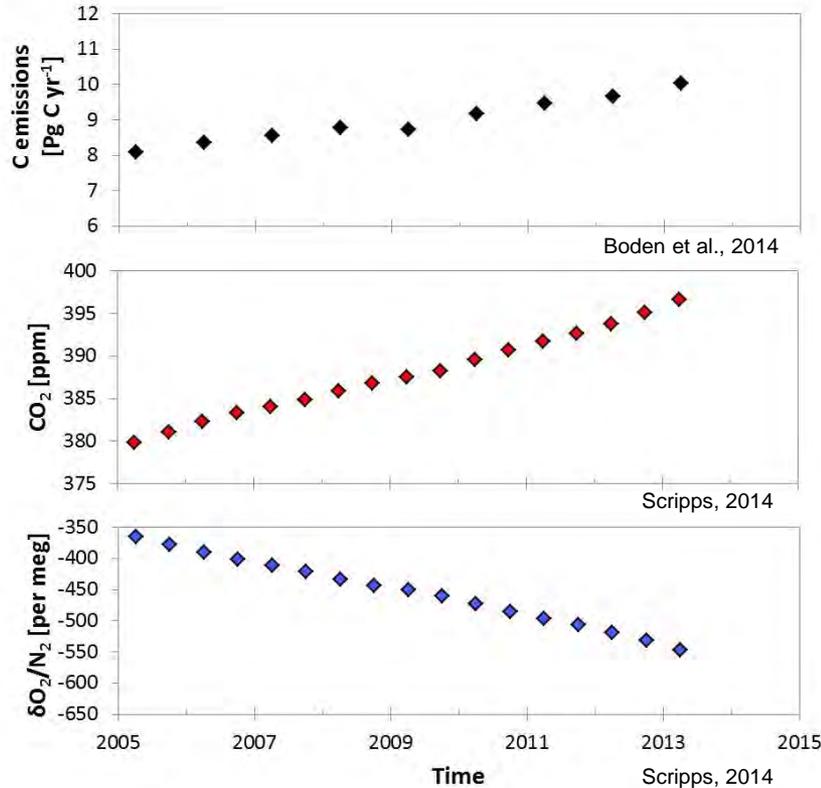
$B = -1.89 \text{ Pg C yr}^{-1} \text{ (20.7 \%)}$

$\Delta C_a / \Delta t = 4.59 \text{ Pg C yr}^{-1} \text{ (50.4 \%)}$

$O = -2.64 \text{ Pg C yr}^{-1} \text{ (28.9 \%)}$

# Kohlenstoff-Aufteilung mittels Scripps data

Scripps data (La Jolla and Alert)



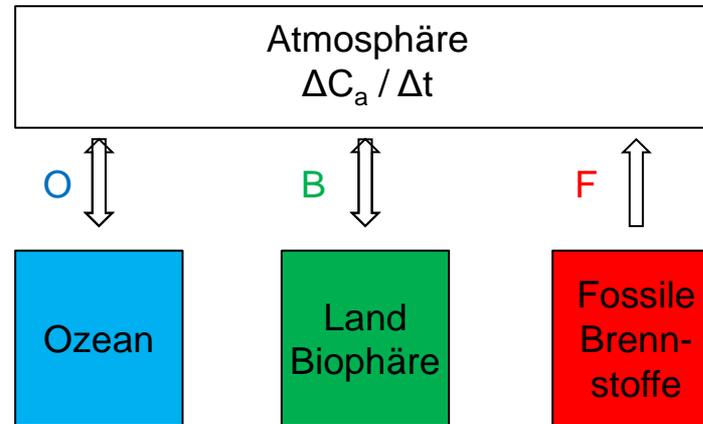
$F = 8.98 \text{ Pg C yr}^{-1} \text{ (100 \%)}$

$B = -1.48 \text{ Pg C yr}^{-1} \text{ (16.5 \%)}$

$\Delta C_a / \Delta t = 4.59 \text{ Pg C yr}^{-1} \text{ (51.2 \%)}$

$O = -2.91 \text{ Pg C yr}^{-1} \text{ (32.4 \%)}$

# Kohlenstoff-Aufteilung



Dataset	Periode	F <sup>1</sup>		O		B		$\Delta C_a / \Delta t$	
		Pg C yr <sup>-1</sup>		Pg C yr <sup>-1</sup>	%	Pg C yr <sup>-1</sup>	%	Pg C yr <sup>-1</sup>	%
JFJ Flask	2005-2014	9.11 ± 0.5		-2.89 ± 0.8	31.7	-2.04 ± 0.8	22.4	4.18 ± 0.1	45.9
JFJ in-situ	2005-2014	9.11 ± 0.5		-2.64 ± 0.8	28.9	-1.89 ± 0.8	20.7	4.59 ± 0.1	50.4
Scripps <sup>2</sup>	2005-2013	8.98 ± 0.4		-2.91 ± 0.9	32.4	-1.48 ± 0.9	16.5	4.59 ± 0.1	51.2

<sup>1</sup> Boden et al., 2014

<sup>2</sup> Scripps Institute of Oceanography, 2014

# Europäische Quellen- und Senkregionen

# Europäische Quellen- und Senkregionen

Atmos. Chem. Phys., 11, 8017–8036, 2011  
www.atmos-chem-phys.net/11/8017/2011/  
doi:10.5194/acp-11-8017-2011  
© Author(s) 2011. CC Attribution 3.0 License.



## European source and sink areas of CO<sub>2</sub> retrieved from Lagrangian transport model interpretation of combined O<sub>2</sub> and CO<sub>2</sub> measurements at the high alpine research station Jungfrauoch

C. Uglietti<sup>1,2</sup>, M. Leuenberger<sup>1,2</sup>, and D. Brunner<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Climate and Environmental Physics, Physics Institute, University of Bern, Sidlerstr. 5, 3012 Bern, Switzerland

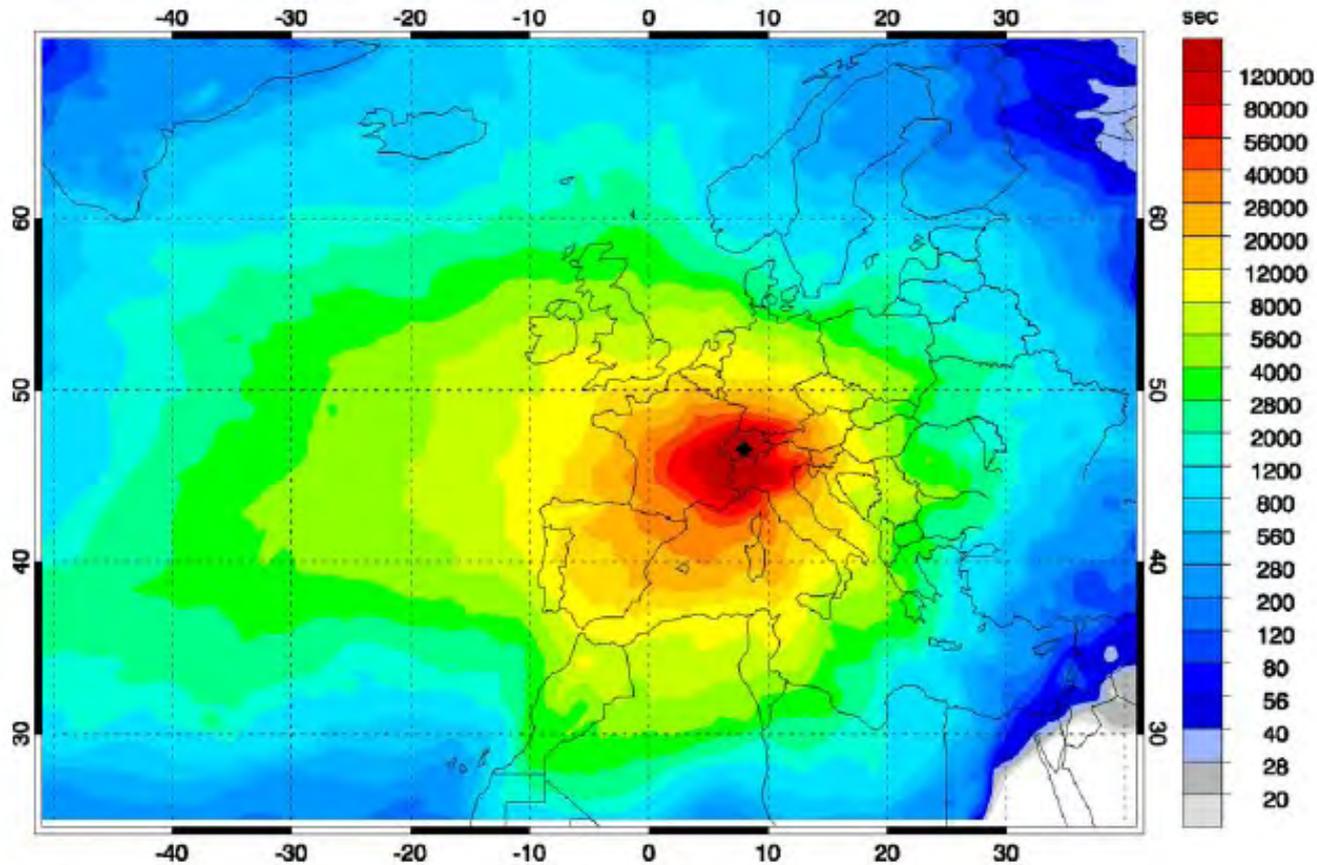
<sup>2</sup>Oeschger Centre for Climate Change Research, Zähringerstr. 25, 3012 Bern, Switzerland

<sup>3</sup>Empa, Swiss Federal Laboratories for Materials Science and Technology, Ueberlandstr. 129, 8600 Dübendorf, Switzerland

## Europäische Quellen- und Senkregionen

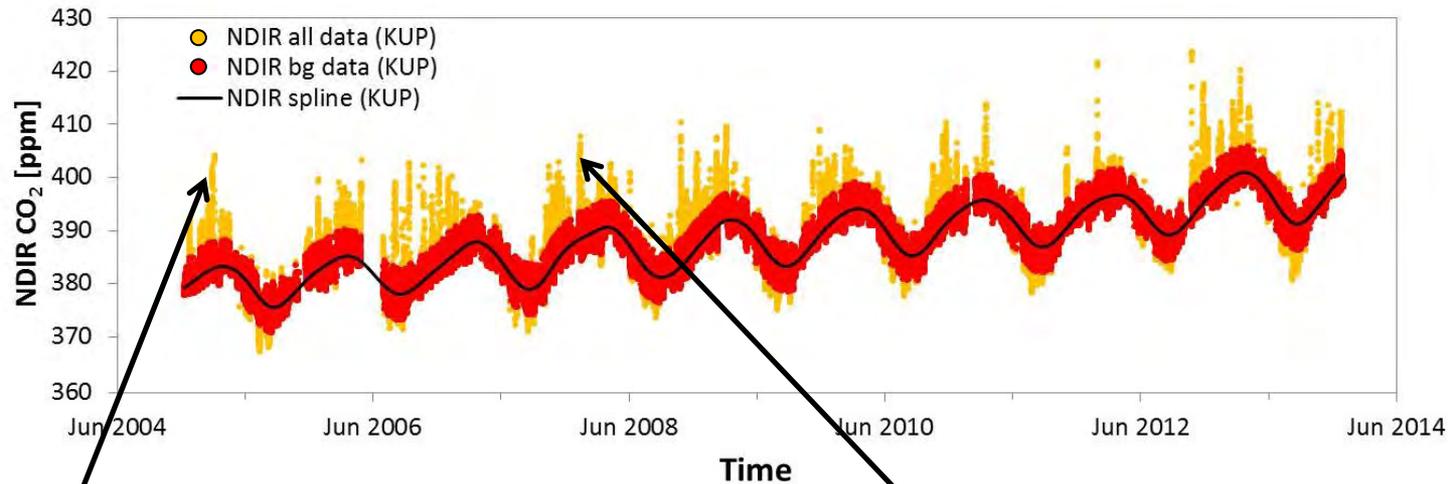
- > JFJ's zentrale Lage und Höhe → freien troposphärischen Hintergrundluft
- > Wind ist lokal kanalisiert in Nord-Süd Richtung, Hauptwindrichtung ist Nord-Nordwest
- > Aerosole und andere Spurengasstudien → transportierte Luft von der verschmutzten Bodenschicht und der tieferen freien Troposphäre
- > Hintergrundkorrigierte CO<sub>2</sub> und O<sub>2</sub> Daten → Teildaten können für Fallstudien benutzt werden (relative Fussabdrücke; relative footprints)

# Europäische Quellen- und Senkregionen



Totaler Fussabdruck der Luftmassen vom JFJ (2005-2009)  
(FLEXPART LPDM)

# In-situ/column intercomparison: Measurements

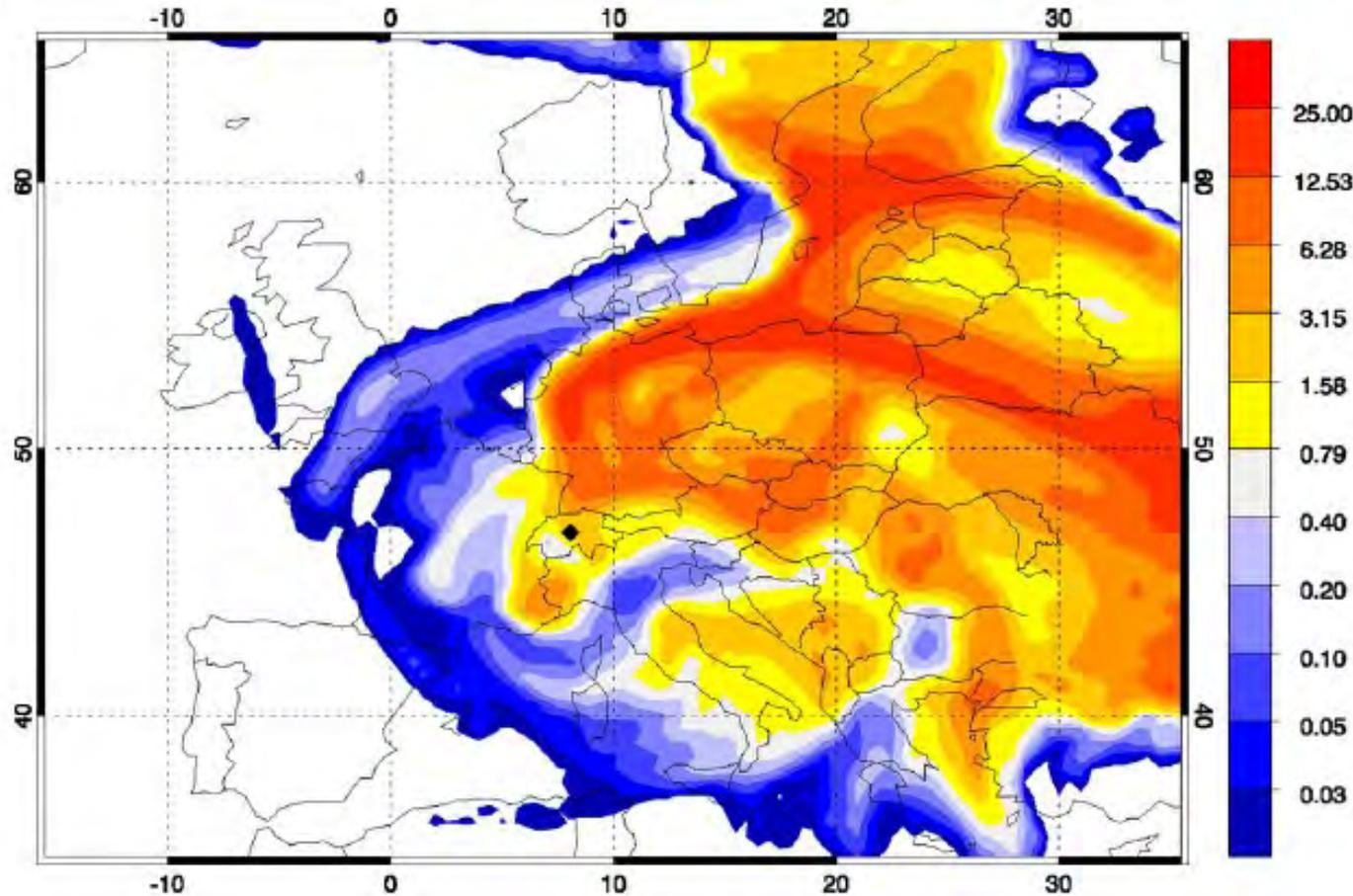


Wir untersuchen zwei Spezialfälle:

Fall 1: Sehr hohe CO<sub>2</sub> Werte im  
Februar 2005

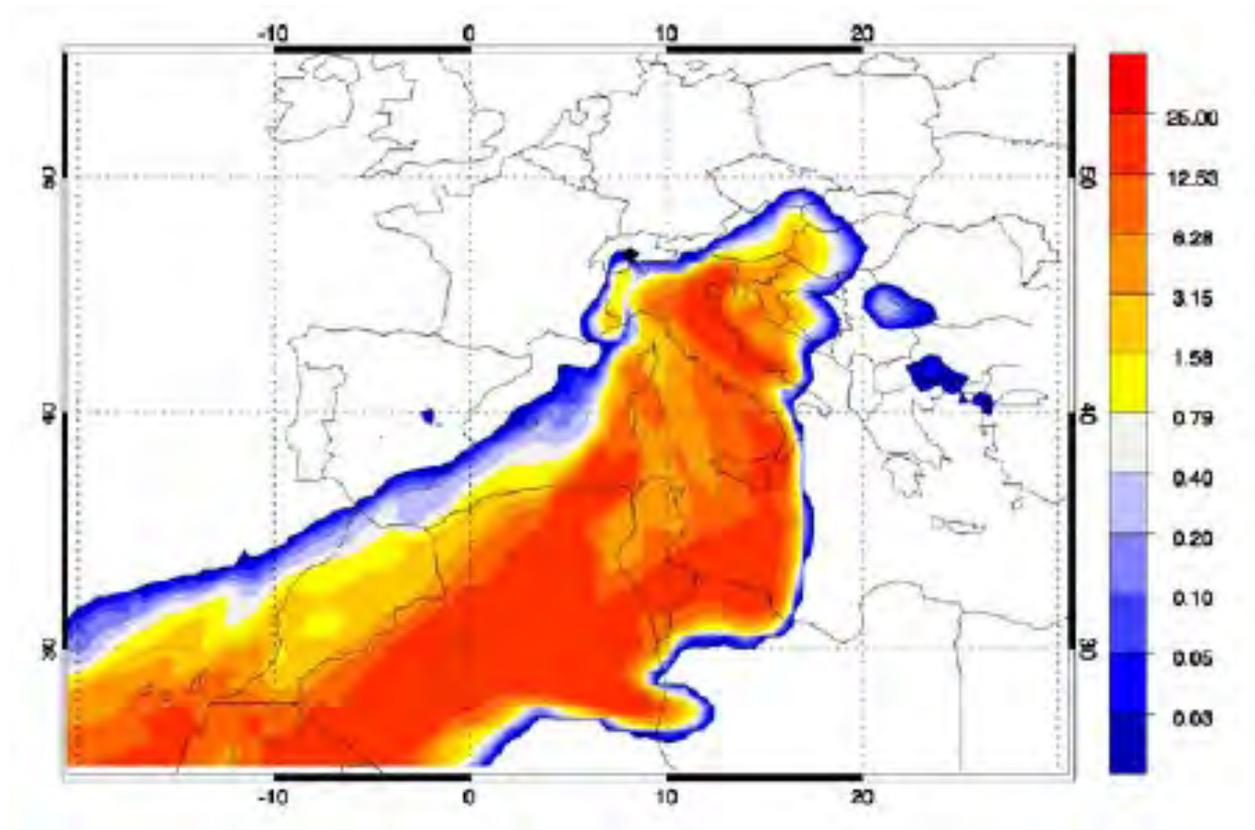
Fall 2: Sehr hohe CO<sub>2</sub> Werte im  
November 2007

## Europäische Quellen- und Senkregionen



Fall 1: sehr hohes CO<sub>2</sub> Ereignis 24-27 Feb 2005  
Hohe Russanteil und andere chemische Substanzen 80  
(GAW Aerosol Beobachtungsprogramm)

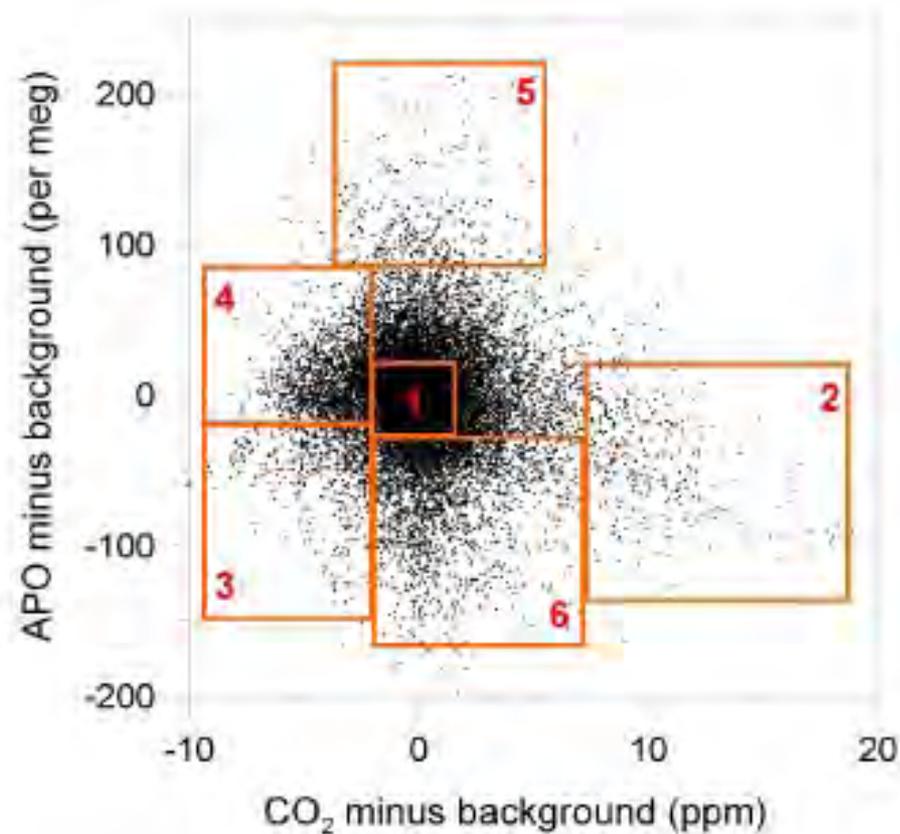
## Europäische Quellen- und Senkregionen



Fall 2: sehr hohe CO<sub>2</sub> Werte 21-24 Nov 2007  
Südföhnlage: Transport hoch verschmutzter Luft  
von der Poebene zum JFJ.

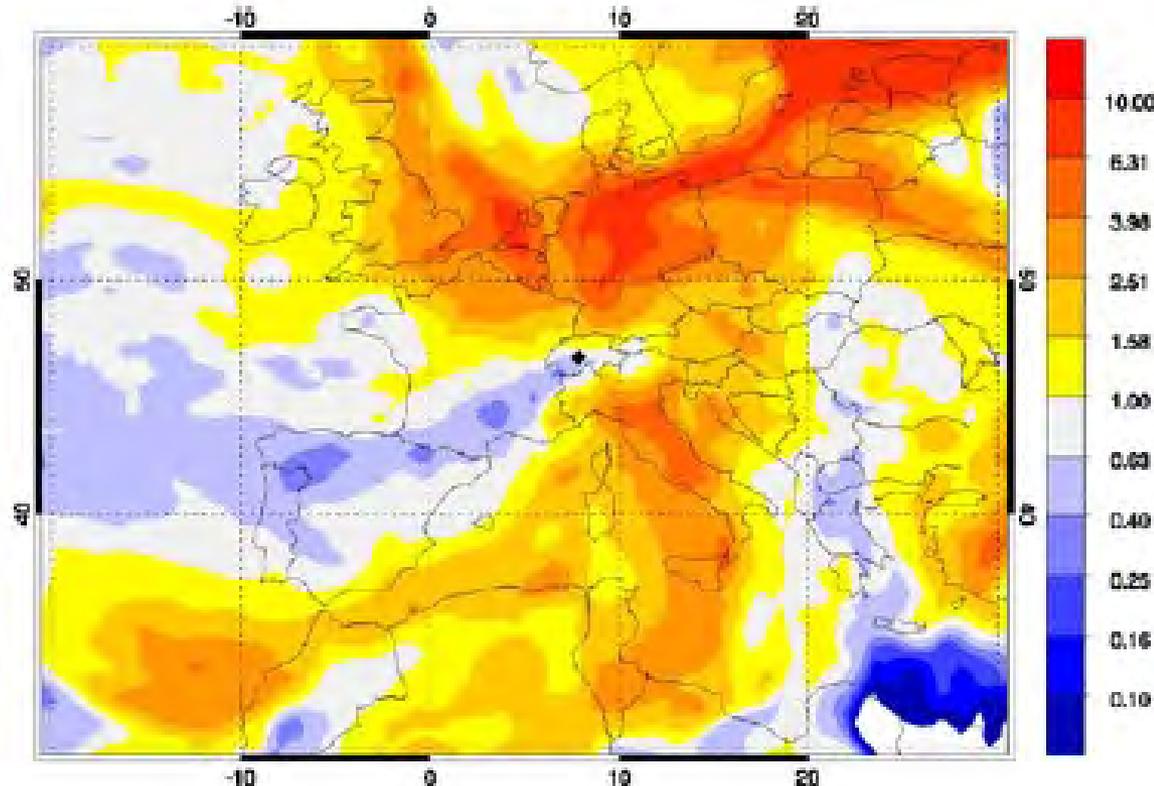
## Europäische Quellen- und Senkregionen

$APO = O_2 + 1.1 \times CO_2$  (Indikator für Ozeanprozesse)



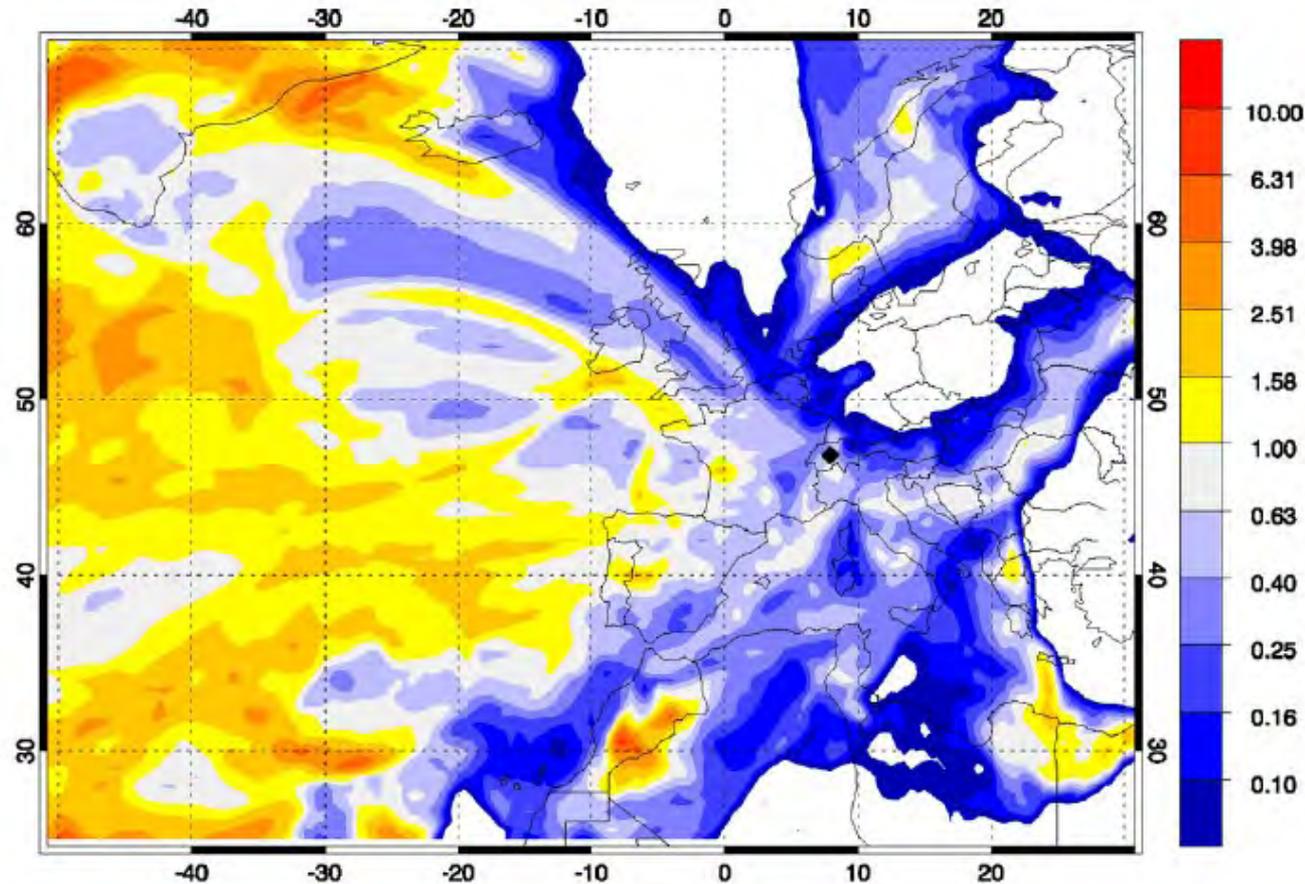
Selektion verschiedener Teilmengen  
basiert auf APO und CO<sub>2</sub>

## Europäische Quellen- und Senkregionen



Teilmenge 2: Hohe  $\text{CO}_2$  und tiefe APO Werte, hauptsächlich im Winter, hohe anthropogene Emissionen, hohe Aufenthaltszeiten über Deutschland, Polen etc.

## Europäische Quellen- und Senkregionen

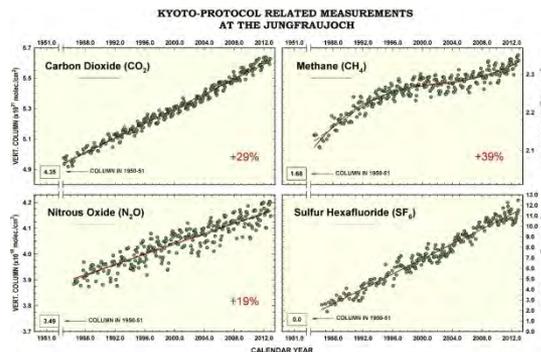
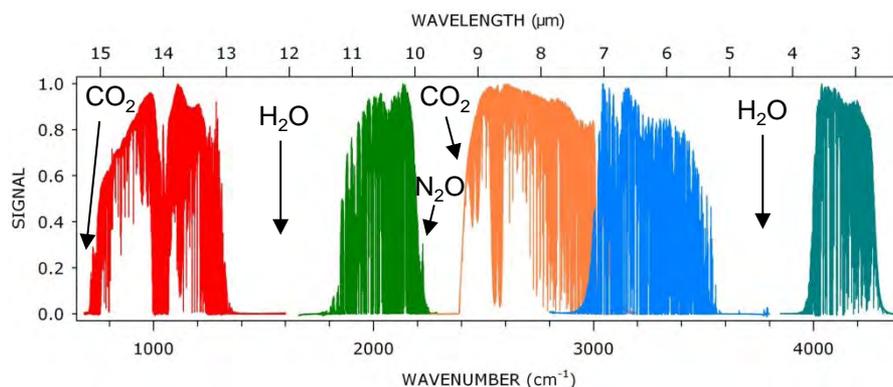


Teilmenge 5: Mittlere  $\text{CO}_2$  und hohe APO Werte (Nov-Apr),  
Ozean Biosphärenaktivität.

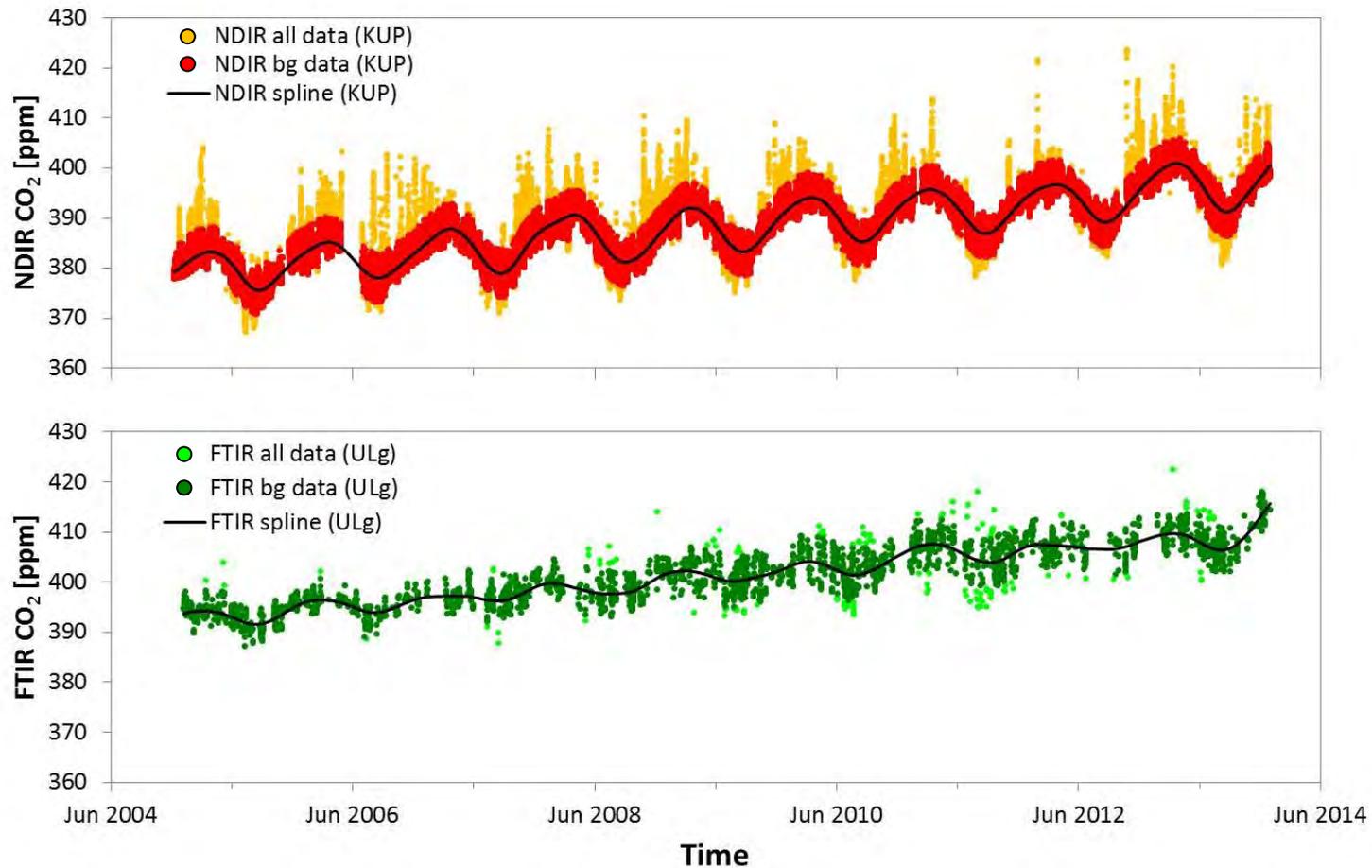
# Vergleich zwischen in-situ und Säulen integrierten CO<sub>2</sub> Messungen auf JFJ

# In-situ/column intercomparison

## Fourier Transform Infrared spectrometry (FTIR) measurement principle

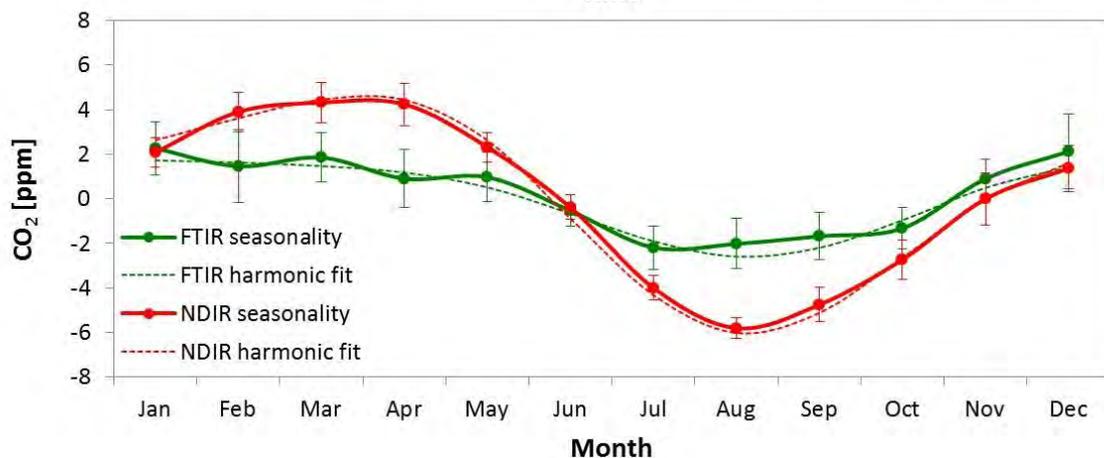
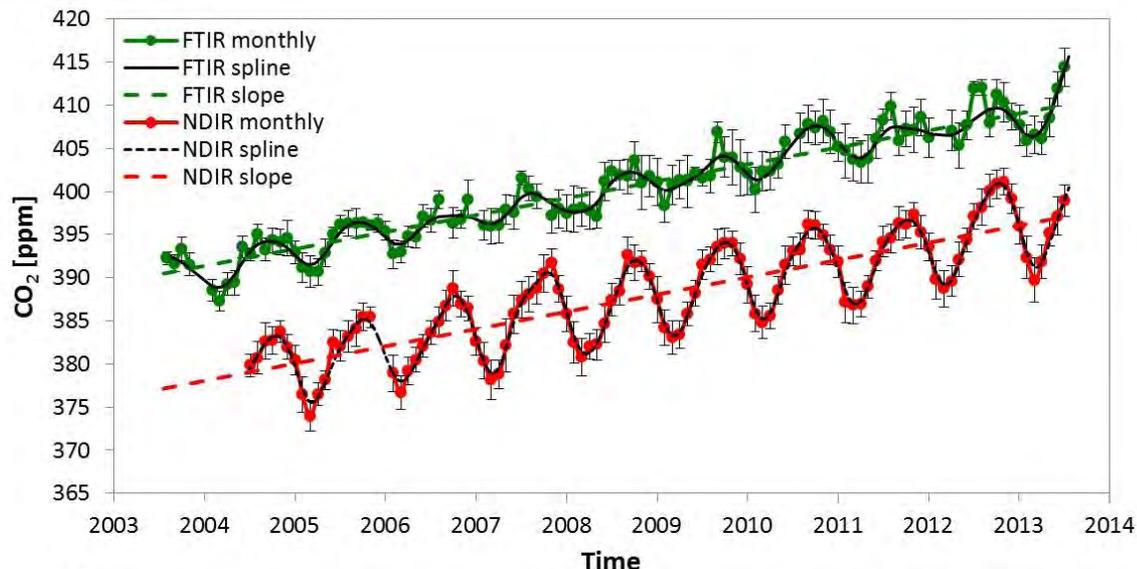


# In-situ/column intercomparison: Measurements



	Nr of meas.	Omitted as outlier
NDIR (KUP)	68477	~5 %
FTIR (ULg)	2922	~2.5 %

# In-situ/column intercomparison: Slope and Seasonality



Slope:

NDIR (KUP) :  $2.01 \pm 0.05 \text{ ppm yr}^{-1}$

FTIR (ULg) :  $1.98 \pm 0.08 \text{ ppm yr}^{-1}$

Seasonality:

NDIR (KUP):  $10.13 \pm 0.71 \text{ ppm}$

FTIR (ULg) :  $4.45 \pm 1.17 \text{ ppm}$

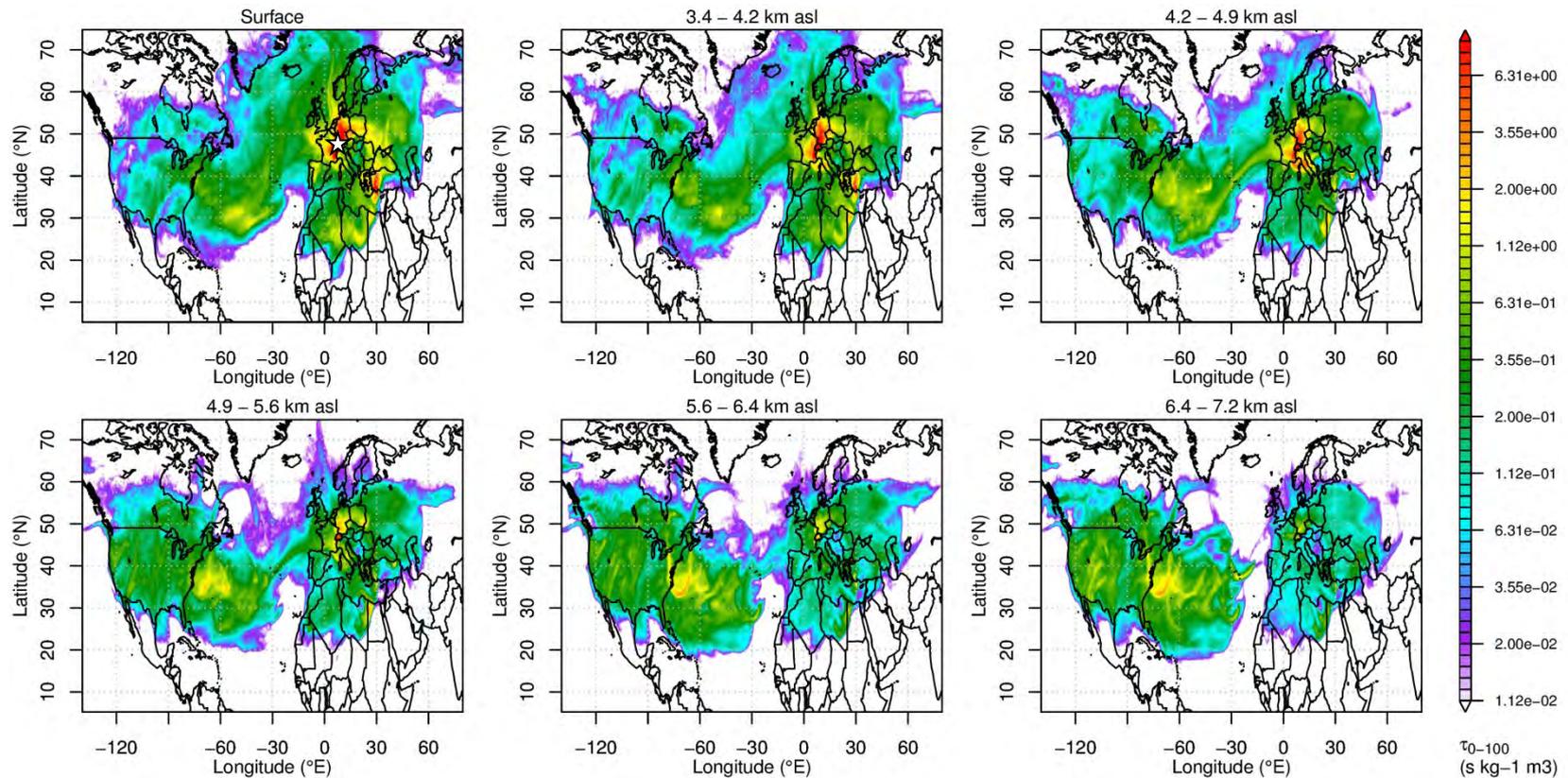
Maximum Minimum

NDIR (KUP) March August

FTIR (ULg) January August

# In-situ/column intercomparison: Sensitivity analysis

## Sensitivities of the partial columns during June



S. Henne, 2014

## Schlussfolgerungen

- > Jungfrauoch ist eine Schlüsselstation der Klima- und Umweltforschung
- > Diese Tatsache beruht auf einer guten, soliden und von Beginn weg international geprägten Organisations-Struktur
- > Die Forschungsstation Jungfrauoch ist permanent besetzt
- > Es wurde und wird international hervorragende Forschung betrieben
- > Wir sind zuversichtlich, dass dies auch in Zukunft anhalten wird



The vision of SCNAT and HFSJG is that the Research Station Jungfrauoch remains, and continues to develop as one of the leading high altitude infrastructures worldwide for investigating alpine surroundings, particularly in environmental and climate research.

The mission is to maintain, improve and extend, as required, the infrastructure of the Research Station Jungfrauoch and to protect its clean environment in close collaboration with the stakeholders engaged in the touristic exploitation of Jungfrauoch, so that the station can continue to serve as one of the best-equipped high altitude research stations worldwide, with the ability to support cutting-edge research, including environmental monitoring and campaigns in various additional scientific fields.

## White Paper

### Research at Jungfrauoch – Vision and Mission Statement 2015-2050

Strategy for the development of the unique,  
internationally renowned High Altitude Research Station Jungfrauoch

The implementation of this vision shall rest on three main pillars:

1. **A clean natural environment at the Jungfrauoch for the next decades:** maintain the cleanliness of the environment for the benefit of both research and tourism.
2. **A world-class research facility for the next generation of scientists:** consolidate the Research Station Jungfrauoch as a world-leading research infrastructure by maintaining and extending its facilities to host upcoming international research initiatives and campaigns and to continue to support various disciplines, including environmental and climate science, glaciology and permafrost studies, materials science and technology, as well as physiological and medical research.
3. **Outreach to policy makers and the public:** raise the awareness of stakeholders, and of the public at large, of the important scientific mission of the Research Station, which delivers the basis for critical policy decisions on climate change that are needed for a sustainable socio-economic development.



**u<sup>b</sup>**

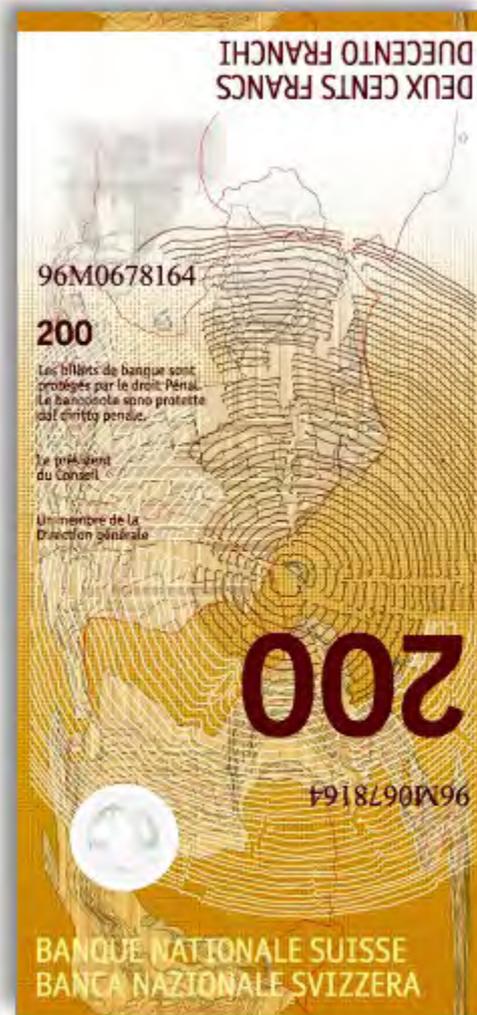
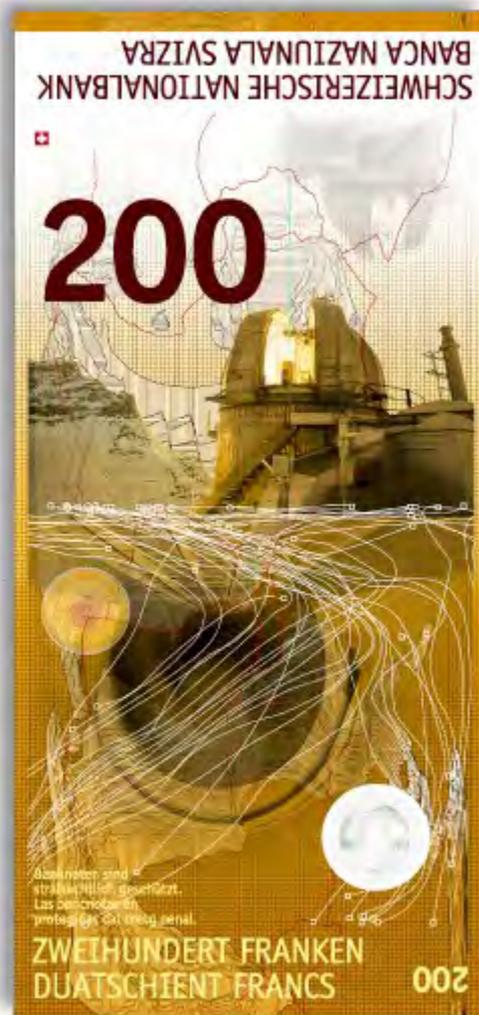
**UNIVERSITÄT  
BERN**

**OESCHGER CENTRE  
CLIMATE CHANGE RESEARCH**

**Herzlichen Dank für Ihre Aufmerksamkeit**

**....und bald werden Sie ein bisschen  
Jungfrauoch in den Händen halten....**





## Schweizerische Nationalbank

Projekt Neue Schweizer Banknoten, Wettbewerb 2005. Design 200er Note von Manuela Pfrunder zum Thema «Schweiz als Innovations-Plattform in der Bildung, Wissenschaft und Entwicklung».



**u<sup>b</sup>**

**UNIVERSITÄT  
BERN**

**OESCHGER CENTRE  
CLIMATE CHANGE RESEARCH**

**Herzlichen Dank für Ihre Aufmerksamkeit**

