



Forschung im Hochgebirge, 20./21. 10. 2009, ÖAW Wien

A. Kaiser, H. Scheifinger

Die regionale GAW Station Hoher Sonnblick: Trends und Herkunft von Spurengasen – Interpretation und Ausblick

Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik



Ziele von GAW und GAW-DACH

GAW (Global Atmosphere Watch):

- Programm der WMO zur Überwachung der großräumigen chemischen Zusammensetzung der Atmosphäre

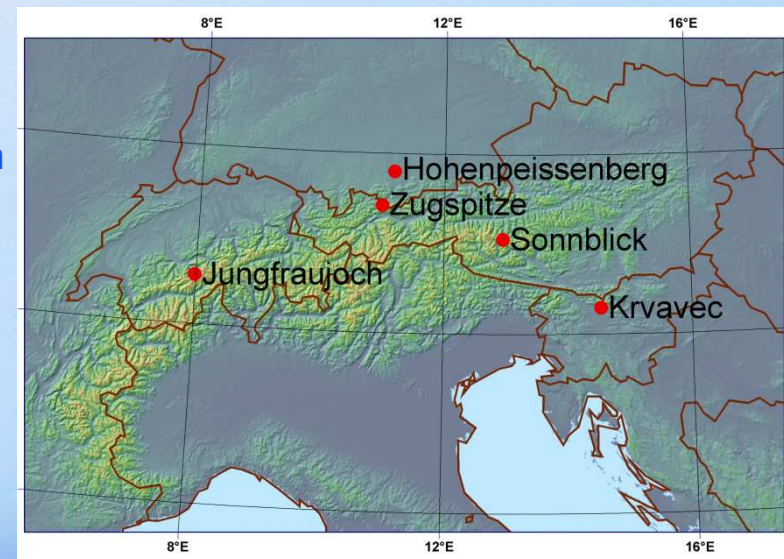
GAW-DACH

- Kooperation zwischen Deutschland, Österreich und der Schweiz unter der Führung der nationalen Wetterdienste
- Seit 1996
- Ziele:
 - + Gemeinsame Datenbank
 - + Erfahrungsaustausch in Fragen der Messtechnik
 - + Räumliche Repräsentativität der Spurengasmessungen
 - + Berechnung und Interpretation von Spurengastrends



umweltbundesamt^U

EMPA

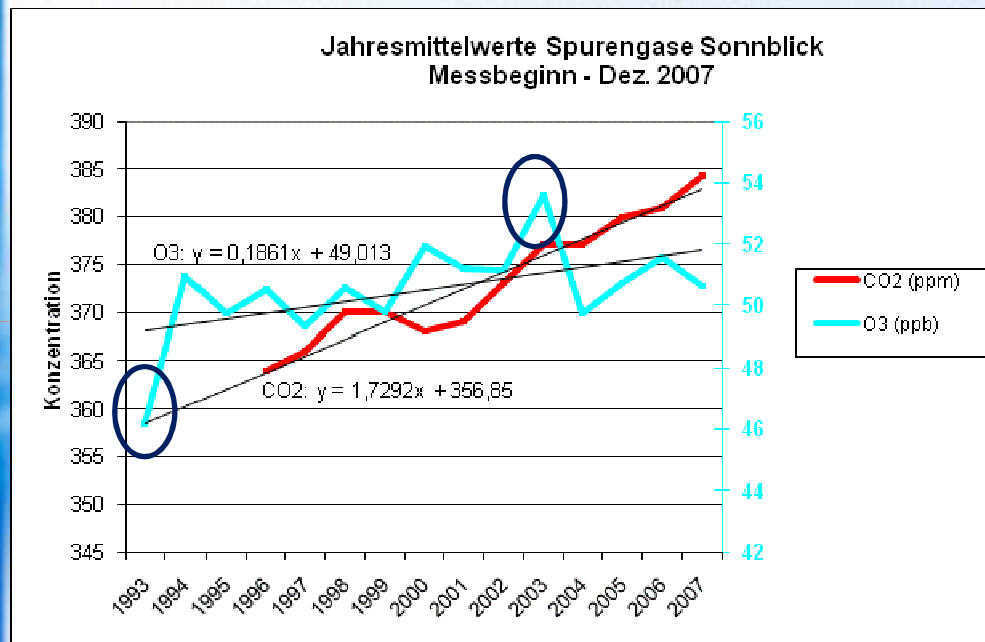


Überblick

- Trends von Spurengasen mit hinreichend langen Messreihen am Sonnblick
 - + Ozon, CO₂
 - + Vergleich mit DACH-Stationen und anderen hochalpinen Messstellen
- Wie exakt lassen sich die Trends bestimmen?
 - + Messperiode
 - + Behandlung von Messausfällen
 - + Definition von Jahreszeiten
- Welche Einflüsse bewirken Änderungen der Ozonbelastung?
- Ausblick über weitere Tätigkeiten im Rahmen von GAW



Überblick Ozon und CO2 Sonnblick (Jahresmittelwerte)



• Ozon:

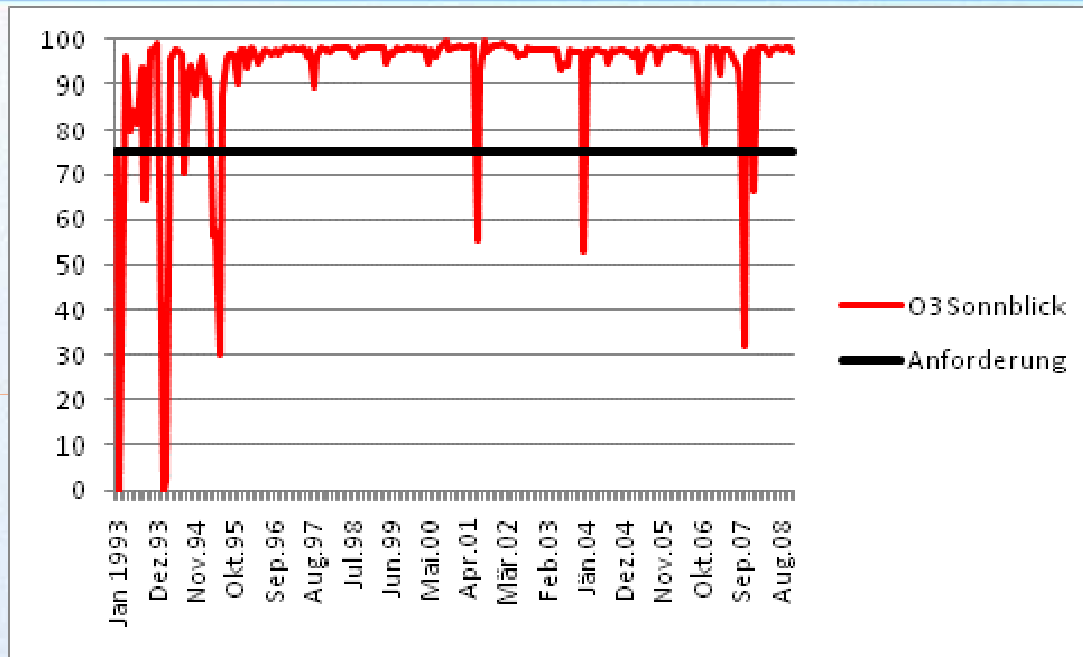
- + Anstieg um 0,19 ppb/Jahr
- + starke Variabilität von Jahr zu Jahr
- + 1993 auffällig niedrige, 2003 hohe Ozonkonzentration
- + Anstieg ohne 1993: 0,087 ppb/Jahr
- + Anstieg ohne 2003: 0,18 ppb/Jahr
- + Anstieg ohne 1993 und 2003: 0,07 ppb/Jahr

• CO2:

- + Anstieg um 1,73 ppm/Jahr
- + Anstieg gleichmäßig



Datenverfügbarkeit Ozon

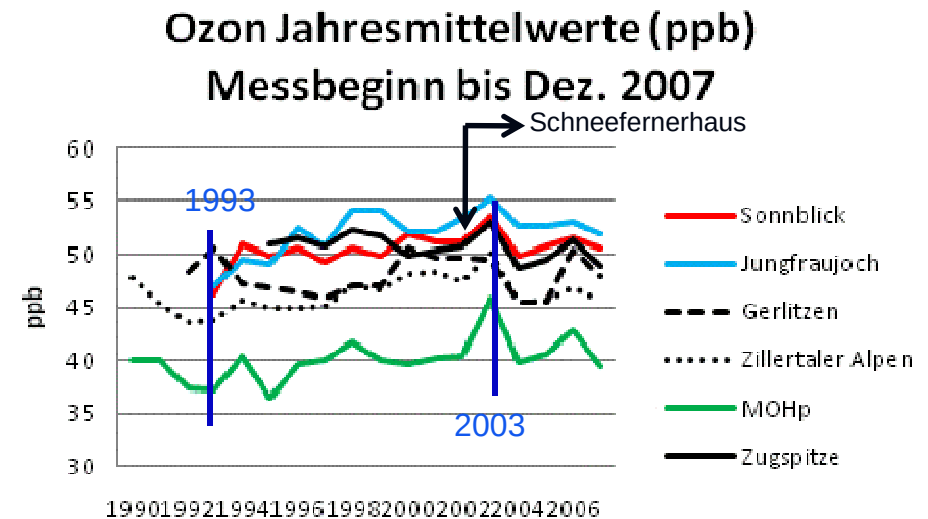
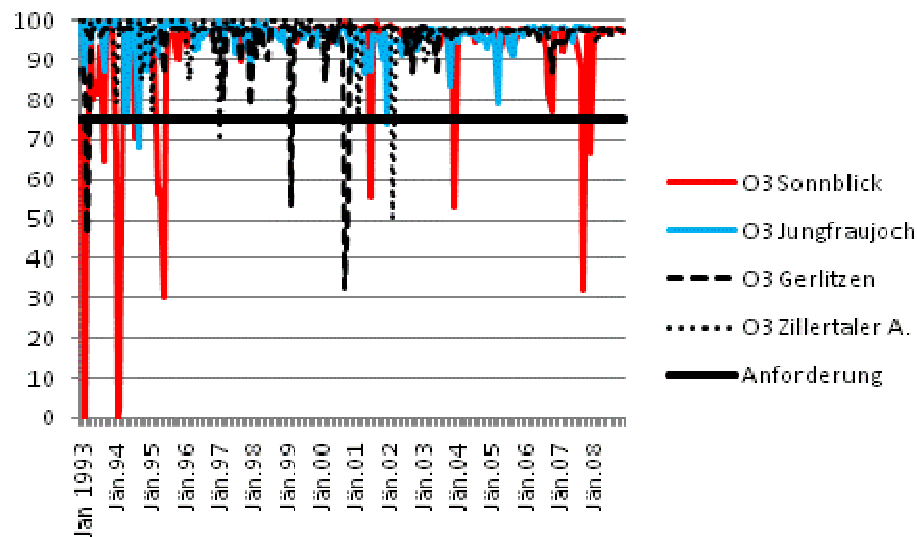


Verfügbarkeit der Ozonkonzentration (monatsweise, %)

- Ozon Sonnblick: häufige Ausfälle 1993 und 1994
+ Dürfen die Jahre 1993 und 1994 für Trendanalysen verwendet werden?



Vergleich der Ozon-Jahresmittelwerte (ppb) und Verfügbarkeit (%)



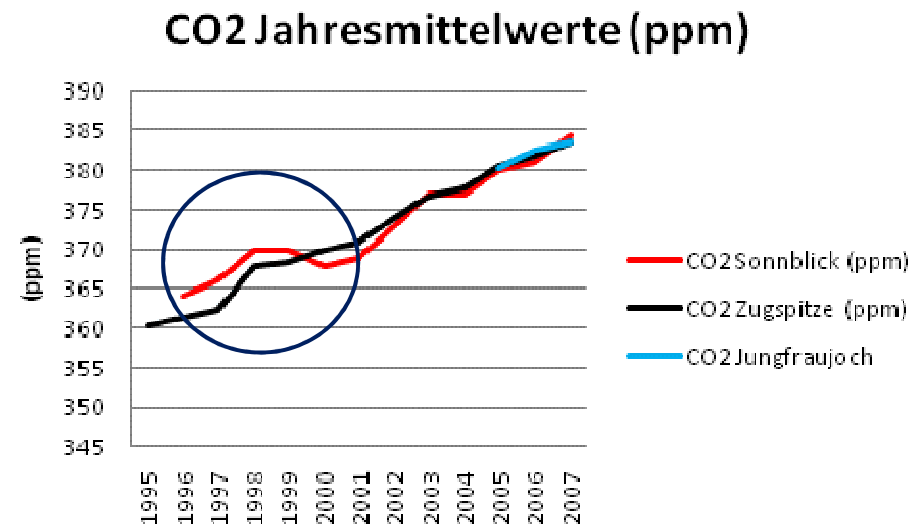
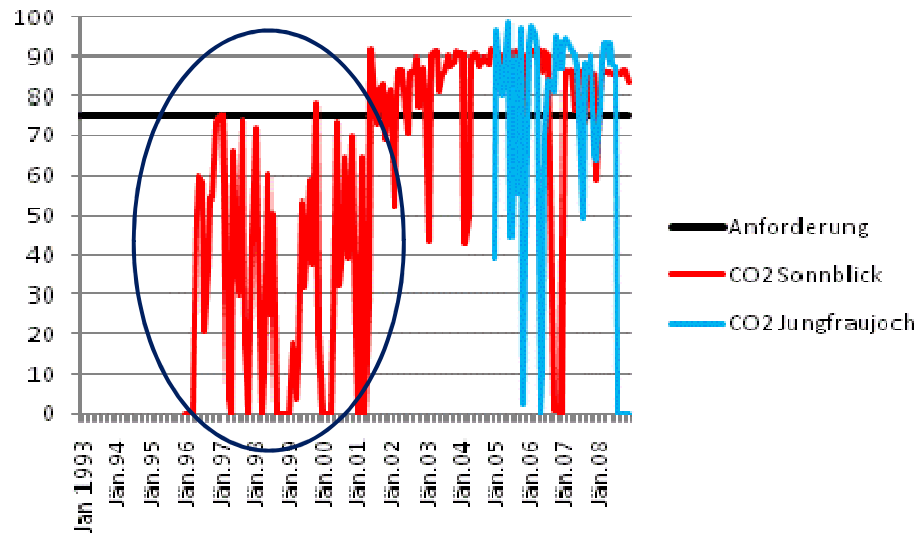
Verfügbarkeit (monatsweise, %)

Jahresmittelwerte (ppb)

- Alle Messstellen zeigen niedrige Ozonwerte 1993 (Ausnahme: Gerlitzen)
- Alle Messstellen zeigen hohe Ozonwerte 2003 (Ausnahme: Gerlitzen)
- → Interpretation der Messungen vom Sonnblick aus 1993 und 1994 macht durchaus Sinn
- FRAGE: Wie sind Zeiträume mit geringer Datenverfügbarkeit zu behandeln?
- Beachte: Zugspitze bis 1999 ≈ Jungfraujoch, danach Zugspitze ≈ Sonnblick!



Vergleich der CO₂-Jahresmittelwerte (ppm) und Verfügbarkeit (%)



Verfügbarkeit (monatsweise, %)

- Größere Differenzen Sonnblick-Zugspitze vor Mai 2001
+ geringe Verfügbarkeit CO₂ Sonnblick
- Danach gute Übereinstimmung der drei Messstellen

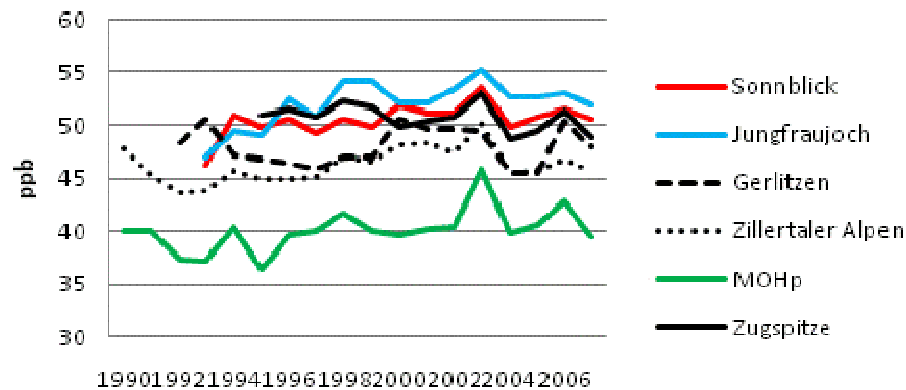
→ CO₂ Trends Sonnblick erst ab Mai 2001

Jahresmittelwerte (ppm)

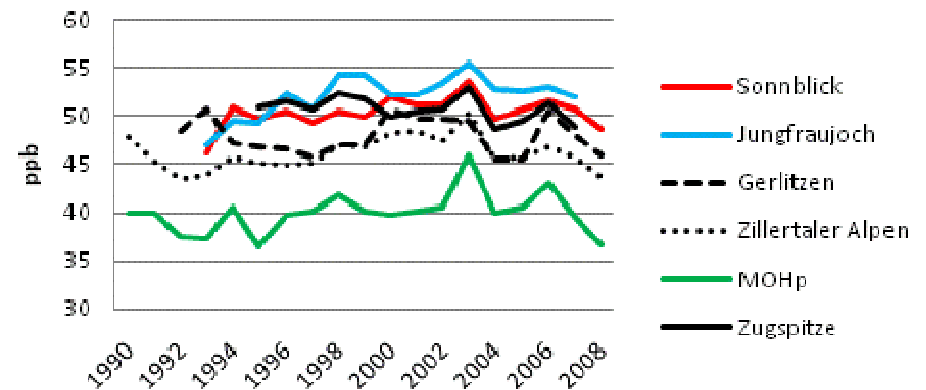


Einfluss der Auswerteperiode – Beispiel Ozon

**Ozon Jahresmittelwerte (ppb)
Messbeginn bis Dez. 2007**



**Ozon Jahresmittelwerte (ppb)
Messbeginn bis Dez. 2008**



Trends Jan. 1995 bis Dez. 2007 (ppb/Jahr) :

Sonnblick:	+0,114
Jungfraujoch:	+0,1472
Gerlitzen:	+0,1366
Zillertaler Alpen:	+0,1005
Hohenpeißenberg:	+0,2371
Zugspitze:	-0,1382

Trends Jan. 1995 bis Dez. 2008 (ppb/Jahr) :

Sonnblick:	+0,0287
Jungfraujoch:	-
Gerlitzen:	+0,0561
Zillertaler Alpen:	-0,006
Hohenpeißenberg:	+0,077
Zugspitze:	-

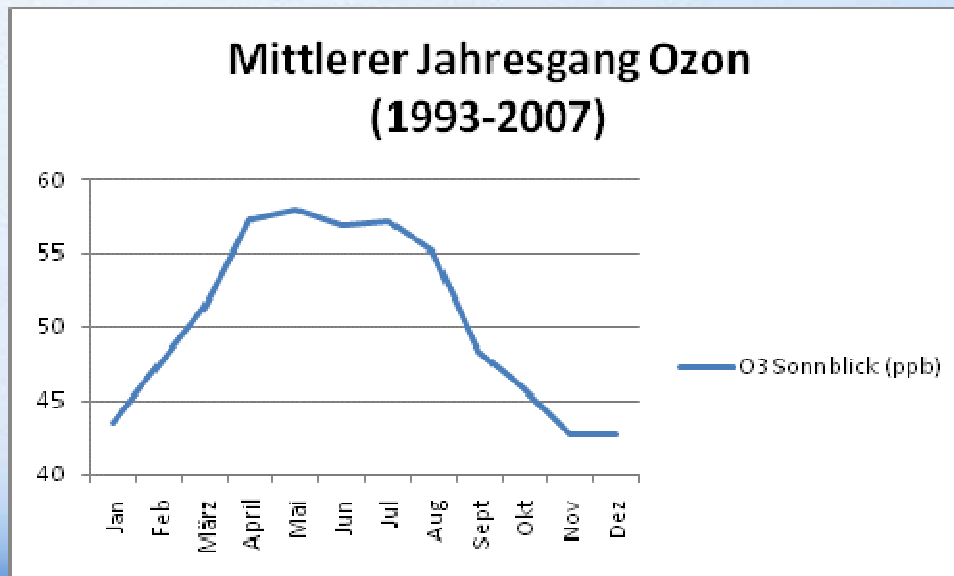
→ Starke Abhängigkeit der Trends von der Auswerteperiode!



Trends für Jahreszeiten

Wie sind Jahreszeiten (Winter) definiert?

- Nach Kalenderjahren, d.h. Jänner, Februar und Dezember eines Jahres zusammengefasst
- Nach physischen Jahreszeiten, d.h. Dezember, Jänner und Februar
 - + Wie werden Messreihen, die mit 1. Jänner beginnen, ausgewertet?
Nur Jänner und Februar als „Winter“ werten?
 - + Wie werden Messreihen, die mit 31. Dezember enden, gewertet?
Dezember als Winter werten oder weglassen?





Signifikanz von Trends

- Beispiel: Trends von Ozon (1993 01 -2007 12) und Kohlenmonoxid (2002 07 – 2007 12)
 - + für monatsweise Perzentile und Mittelwerte, bereinigt um den Jahresgang
 - + mit Angabe der Signifikanz nach Mann-Kendall und t-Test

	O3 (1993-2007)		
Perzentil	Trend (ppb/Monat)	Mann-Kendall	t Test
p5	0,015	99,7	99,9
p25	0,017	99,9	99,9
p50	0,013	99,7	99,9
p75	0,015	99,9	99,9
p95	0,02	99,9	99,9
mean	0,015	99,9	99,9

	CO (200207-200712)		
Perzentil	Trend (ppb/Monat)	Mann-Kendall	t Test
p5	-	72,5	99,2
p25	-	49,0	97,6
p50	-	31,4	92,3
p75	-	6,6	78,0
p95	-	3,1	28,6
mean	-	18,8	90,4

- Mann-Kandall: Differenzen aufeinanderfolgender Einzelwerte
- t-Test: Differenz der Mittelwerte zweier von einander unabhängiger Teilperioden

→ Signifikanztests ergeben z.T. stark unterschiedliche Werte!

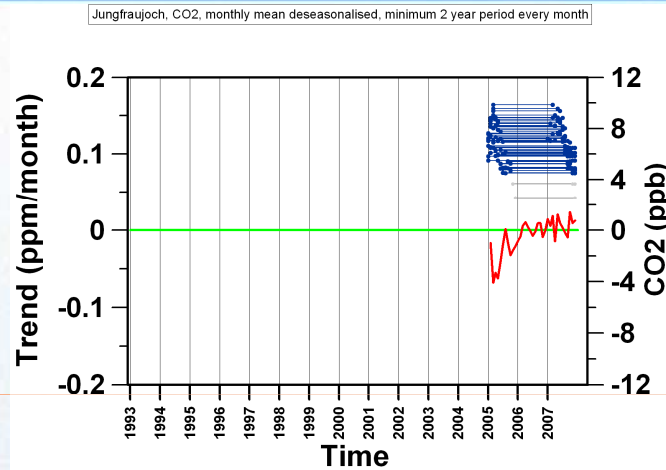


Ozon- und CO2-Trends für Sonnblick und DACH-Stationen

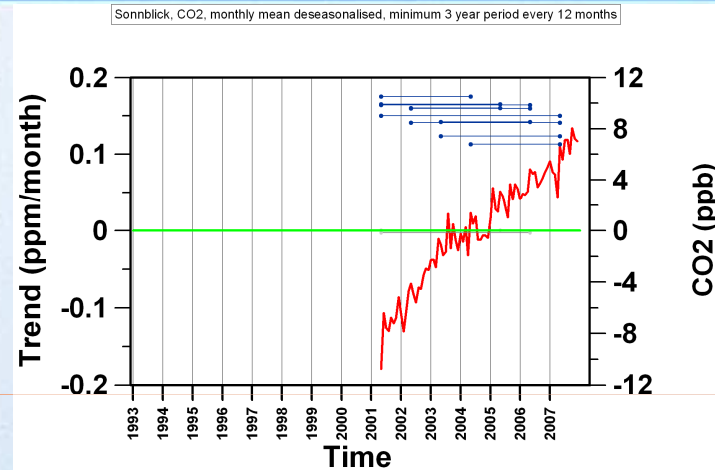
- Auswerteperiode: Jänner 1993 oder Messbeginn bis Dezember 2007
- Trends basierend auf Monatsmittelwerten, bereinigt um mittleren Jahresgang
- Für Monate mit weniger als 1200 HMW bzw. 500 SMW wird das Monatsmittel = Ausfall gesetzt
- Ausgefallene Monatsmittelwerte werden linear interpoliert
- Einteilung der Jahreszeiten: Winter physisch
 - + Dezember bis Februar kontinuierlich
 - + Messbeginn (z.B. Ozon: 1. 1. 1993): Jänner und Februar als Winter gewertet
 - + Ende der Auswerteperiode (Dezember 2007): nicht berücksichtigt
- **Gegenstand ist nicht eine quantitativ exakte Ermittlung der Trends, sondern ein Versuch, die Ursachen der Variabilität der Spurengase zu analysieren**



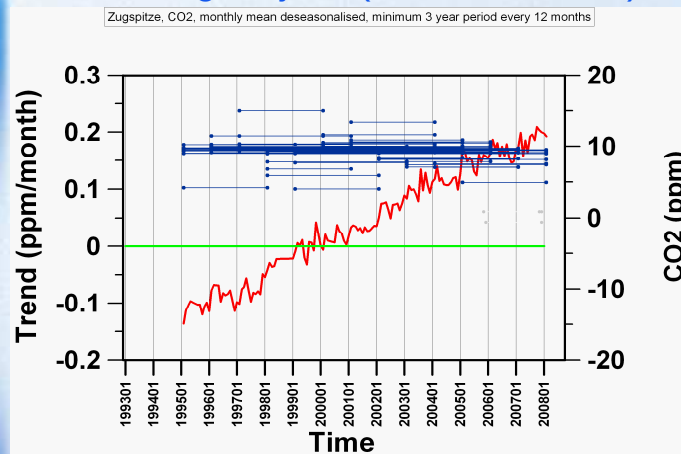
Zeitliche Variation der CO₂-Trends



Jungfraujoch (2005 02 – 2007)



Sonnblick (2001 05 – 2007)



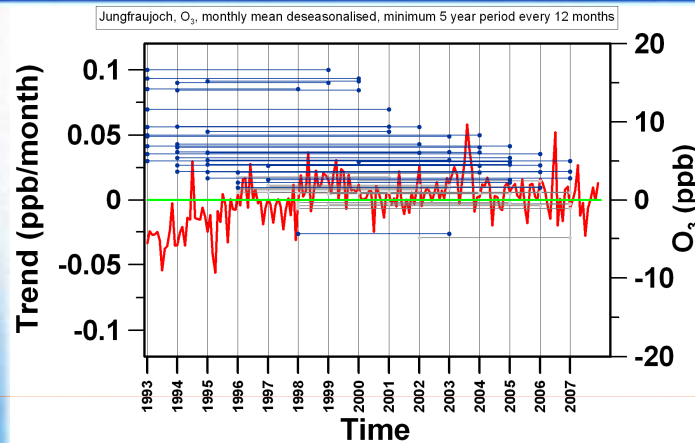
Zugspitze (1995-2007)

- Monatsmittelwerte (jahresgangbereinigt, rot)
- Trends für 3-jährige Teilperioden (Jungfraujoch: 2-monatige Teilperiode)
 - + blau: Mann Kendall > 90
 - + grau: Mann Kendall < 90

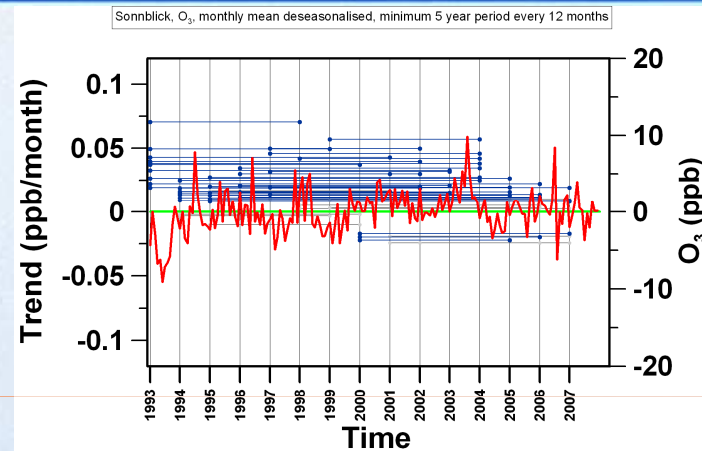
→ Nur geringfügige zeitliche Variation



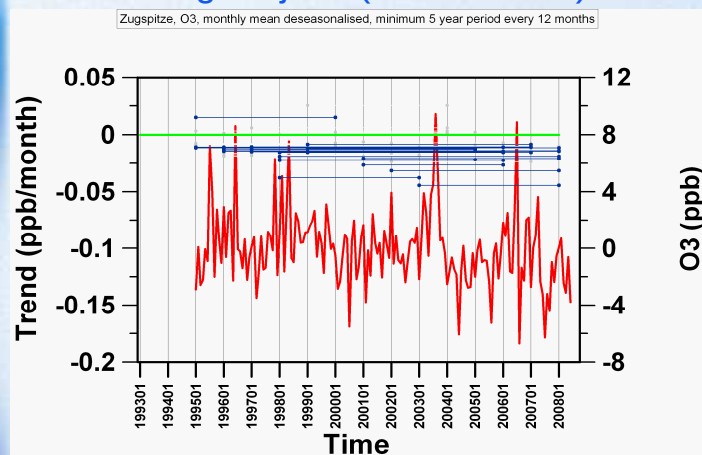
Zeitliche Variation der Ozontrends



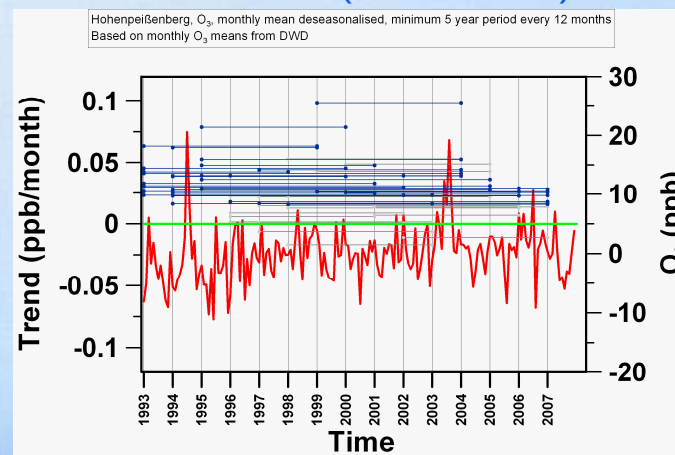
Jungfraujoch (1993 – 2007)



Sonnblick (1993 – 2007)



Zugspitze (1995-2007)



Hohenpeißenberg (1995 – 2007)

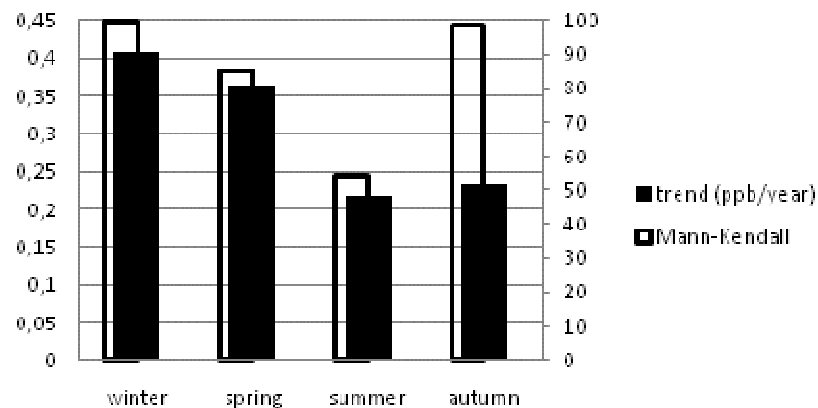
- Monatsmittelwerte
 - 5-jährige Teilperioden analog CO₂
- Deutliche zeitliche Variation

- + Anstieg zu Beginn
- + Anstieg nimmt ab
- + Neuerlichen Anstieg durch Jahr 2003
- + Sonnblick "zwischen" Jungfraujoch und Hohenpeißenberg
- + Zugspitze: Abnahme

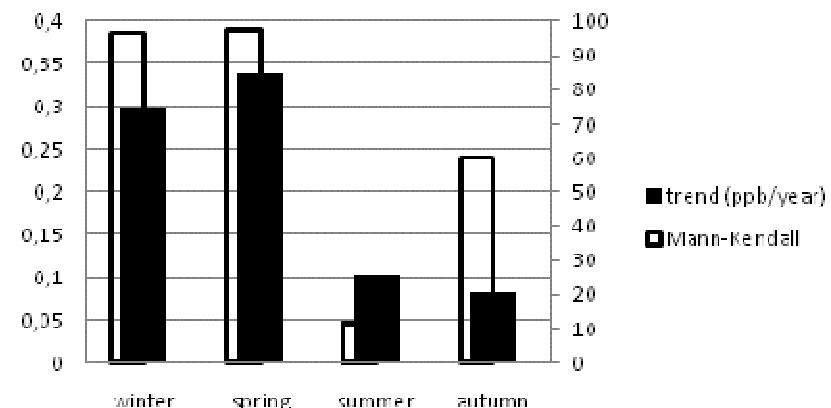


Ozontrends nach Jahreszeiten

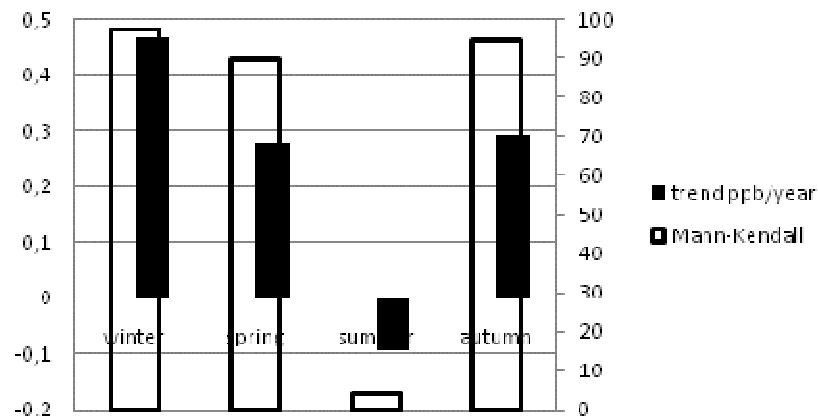
Jungfraujoch O3 (Jan 93 - Dec 07)



Sonnblick O3 (Jan 93 - Dec 07)



Hohenpeißenberg O3 (Jan 93 - Dec 07)



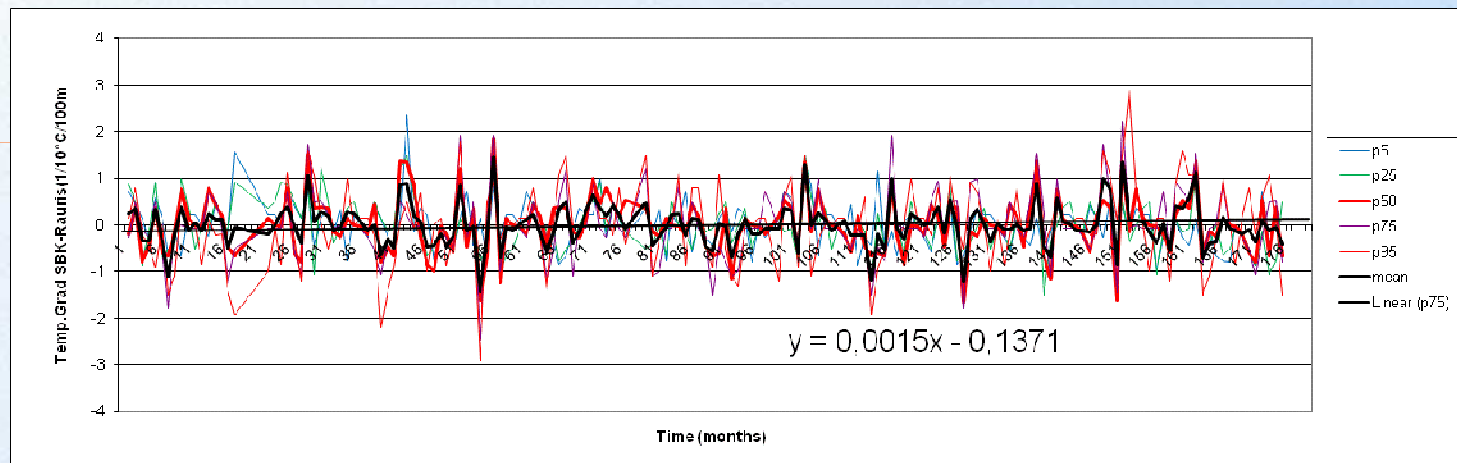
- Ozonanstieg ist im Winter und Frühjahr, z.T. Herbst am größten, hohe Signifikanz
- Sommer: kleinster Anstieg bzw. Rückgang, niedrige Signifikanz



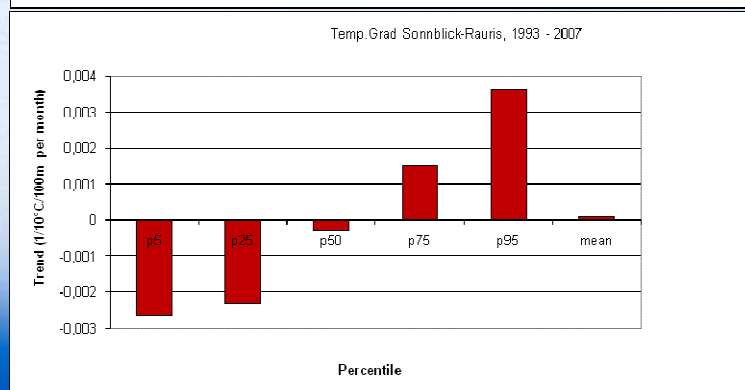


Sonnblick: Ozon, Vorläufersubstanzen und meteorologische Parameter

- Trends der Ozon-Vorläufer können Ozonanstieg nicht erklären
→ Vortrag Gilge
 - + Aerosolmessungen TU Wien am Sonnblick zeigen für 2002-2004 und 2005-2008 kaum Änderung (leichte Abnahme)
- Temperaturgradient Sonnblick-Rauris



- Monatsweise Kenngrößen des Temperaturgradienten bereinigt um Jahresgang

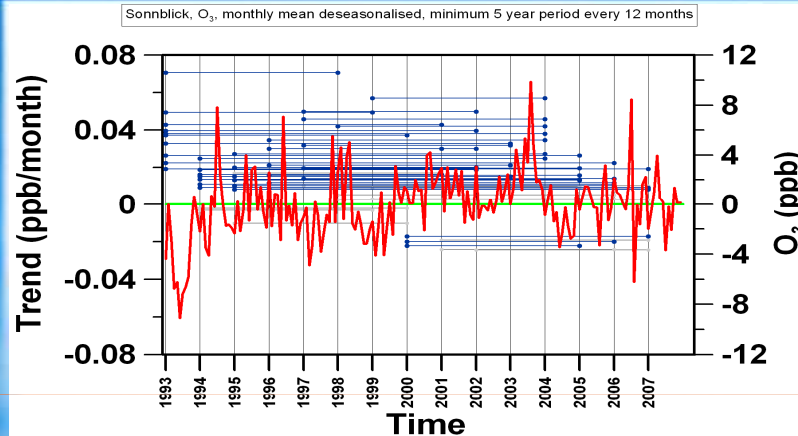


- Kaum Trend im Mittelwert und im Median
- negative Gradienten (kleine Perzentile) werden negativer
- positive Gradienten (hohe Perzentile) werden positiver

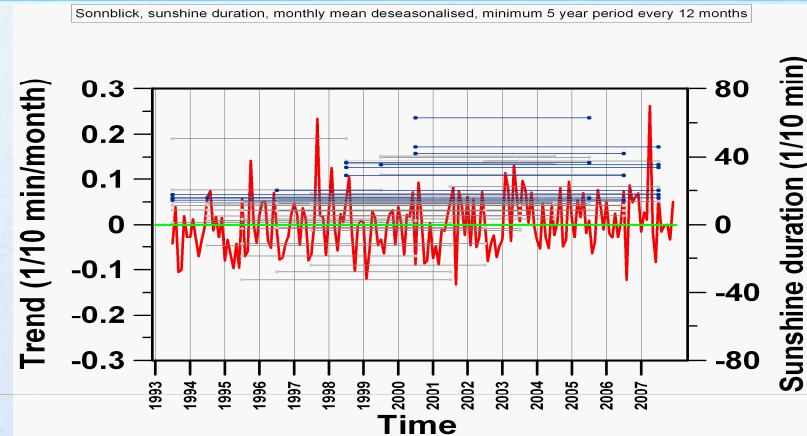
→ Abnahme der Bewölkung?



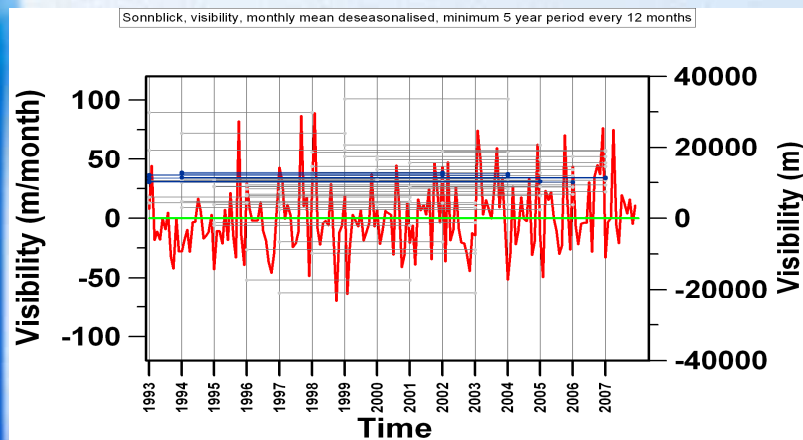
Sonnblick: Ozon, Sonnenscheindauer, Sichtweite



Ozon



Sonnenscheindauer



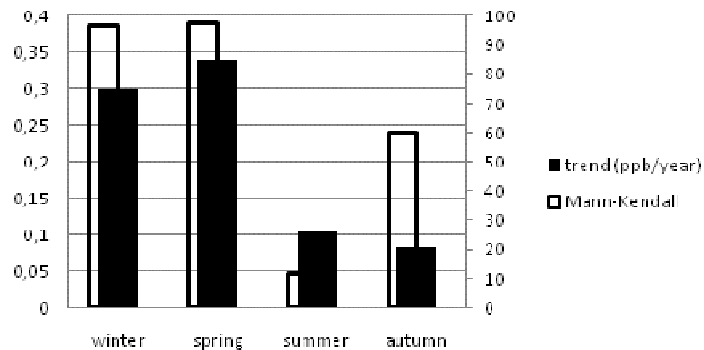
Sichtweite

- Ozon-Anstieg erfolgt parallel mit Anstieg von Sonnenscheindauer und Sichtweite



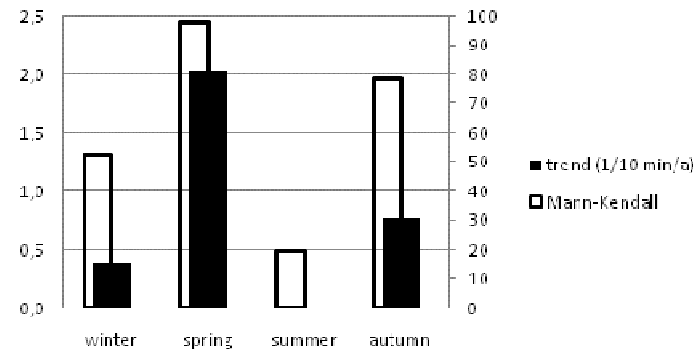
Sonnblick: Ozon, Sonnenscheindauer, Sichtweite

Sonnblick O3 (Jan 93 - Dec 07)



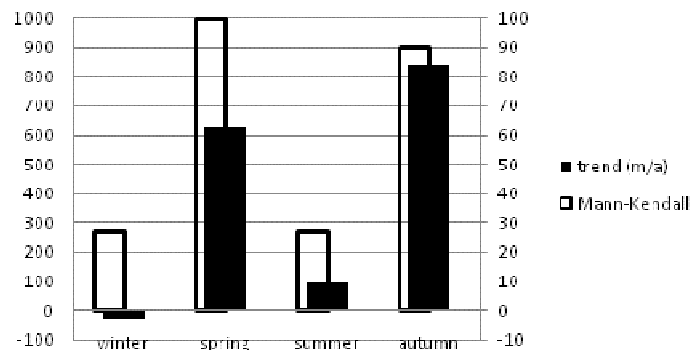
Ozon

Sonnblicksunshine duration (Jan 93 - Dec 07)



Sonnenscheindauer

Sonnblick visibility (Jan 93 - Dec 07)



Sichtweite

- Sonnenscheindauer und Sichtweite nehmen im Frühjahr, z.T. Herbst zu
+ hohe Signifikanz

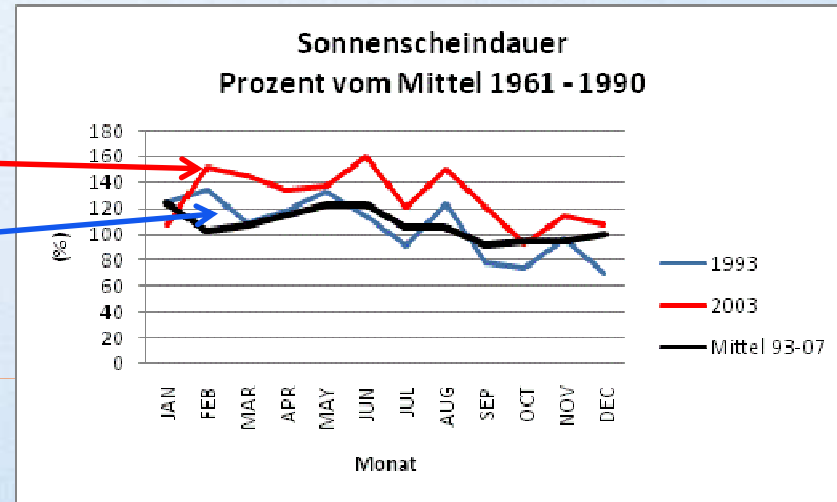
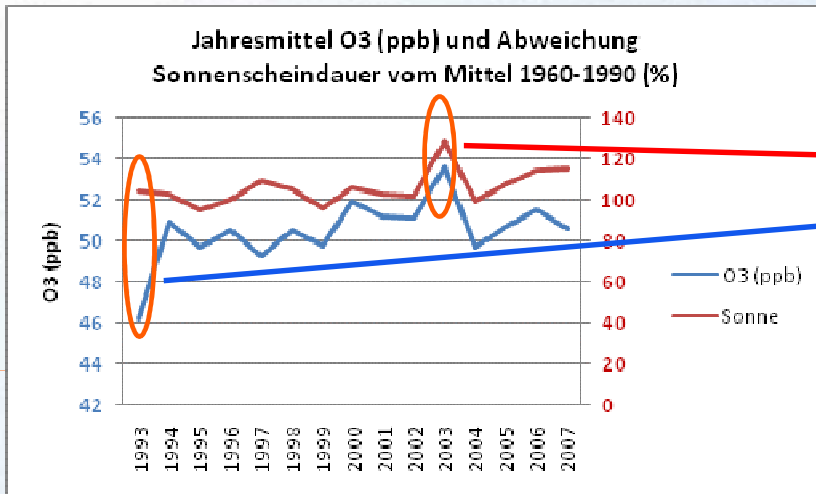
- Geringste Zunahme: Sommer, niedrige Signifikanz

→ Zunahme der photochemischen Ozonbildung?

→ ABER: Wie erklärt sich Ozonzunahme im Winter?



Sonnblick: Ozon, Sonnenscheindauer



- Jahresmittel O₃ und Anomalie der Sonnenscheindauer meist – aber nicht immer – parallel
(Quelle: <http://www.zamg.ac.at/histalp>)
- Ozonbelastung 1993, 1997 und 2007 lässt sich nicht aus Sonnenscheindauer erklären

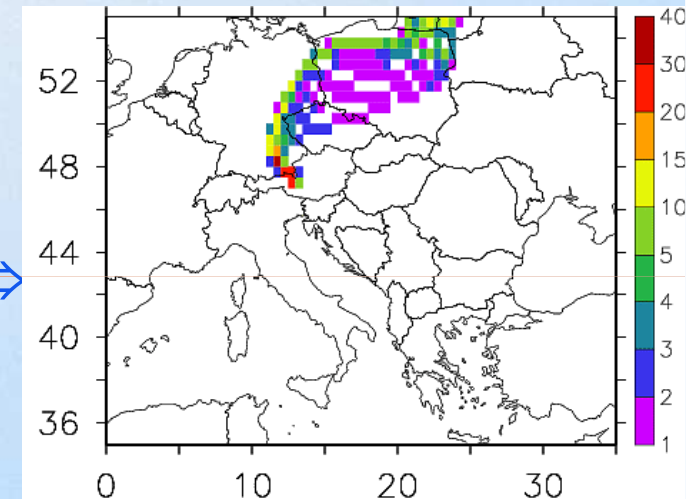
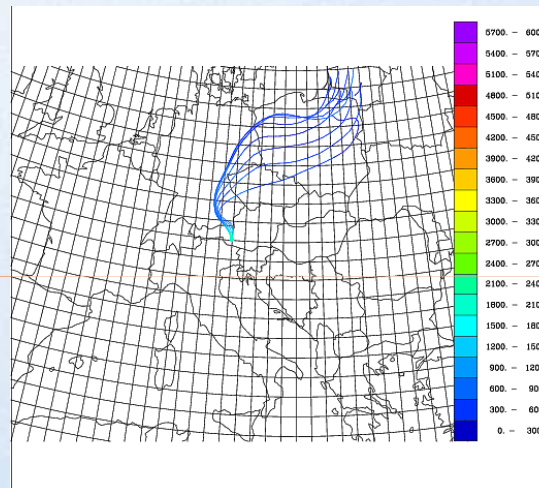
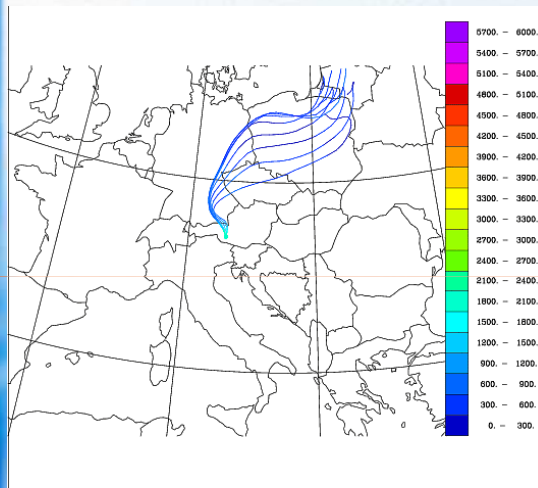
- 2003 Sonnenscheindauer das ganze Jahr hindurch überdurchschnittlich
(Quelle: <http://www.zamg.ac.at/histalp>)
- 1993 Sonnenscheindauer das ganze Jahr hindurch annähernd normal

→ Sonnenscheindauer alleine kann die Variabilität von Ozon nicht erklären



Woher kommen Ozon und Vorläufer? –Trajektorienstatistik

- Modell FLEXTRA (Stohl)
- Input: ECMWF, Auflösung 1 Grad



Trajektorie:

- Weg, den ein infinitesimal kleines Luftteilchen in einem bestimmten Zeitraum zurücklegt.
- Ankunftszeit: alle 3 Stunden
- Ankunftshöhe: 100 m über Modelltopographie
- -96 Stunden rückwärts

Trajektorienstatistik:

- Gitter wird über Untersuchungsgebiet gelegt
- Horizontale Auflösung: 0,5 Grad
- Vertikale Auflösung: bis 2000 m: 200 m darüber: 500 m

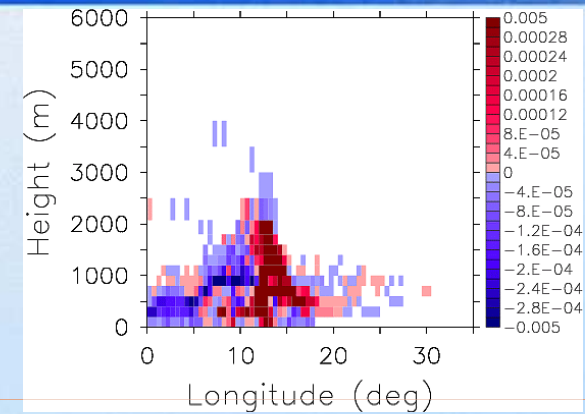
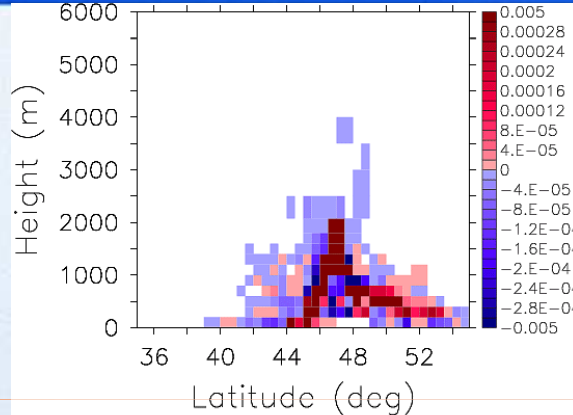
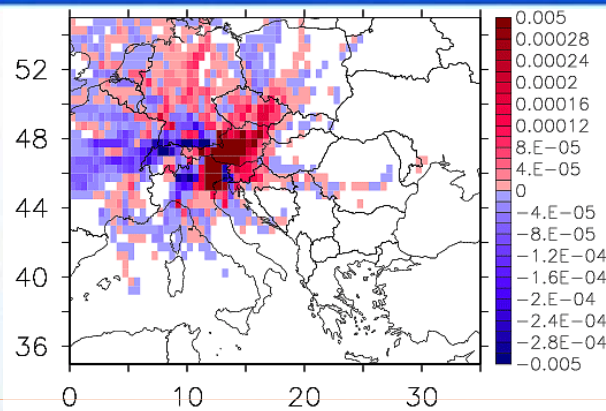
Trajektorienverweilzeit:

- Verweilzeit der Trajektorien in den Gitterelementen wird berechnet

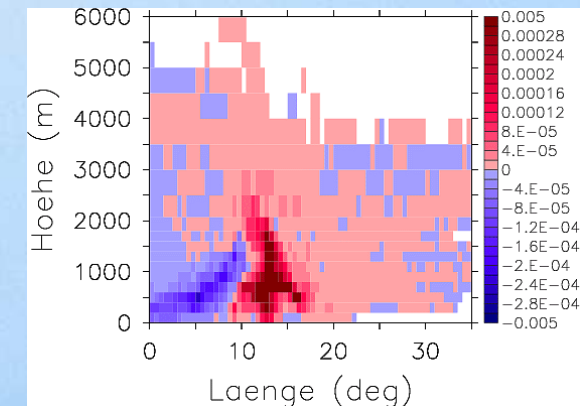
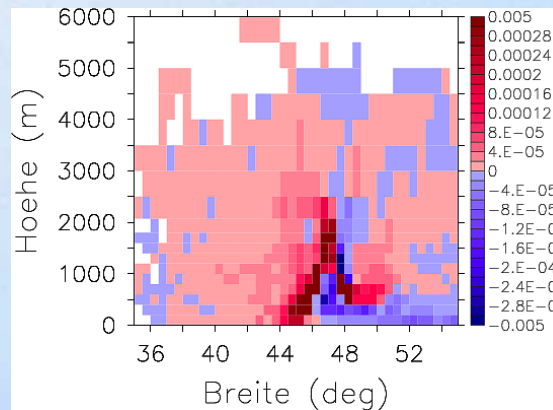
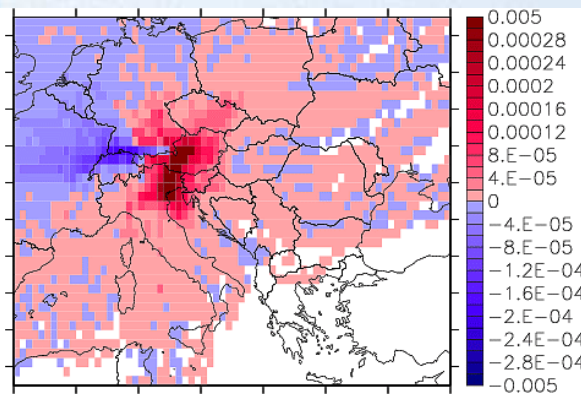
Gewichtung mit Abweichung der **Immissionskonzentration** von Gauß Tiefpass



Woher kommen Ozon und Vorläufer? - Sommer



NO_x (Molybdänkonverter) Sommer: bodennah aus Nordwest, Nordost und Po-Ebene

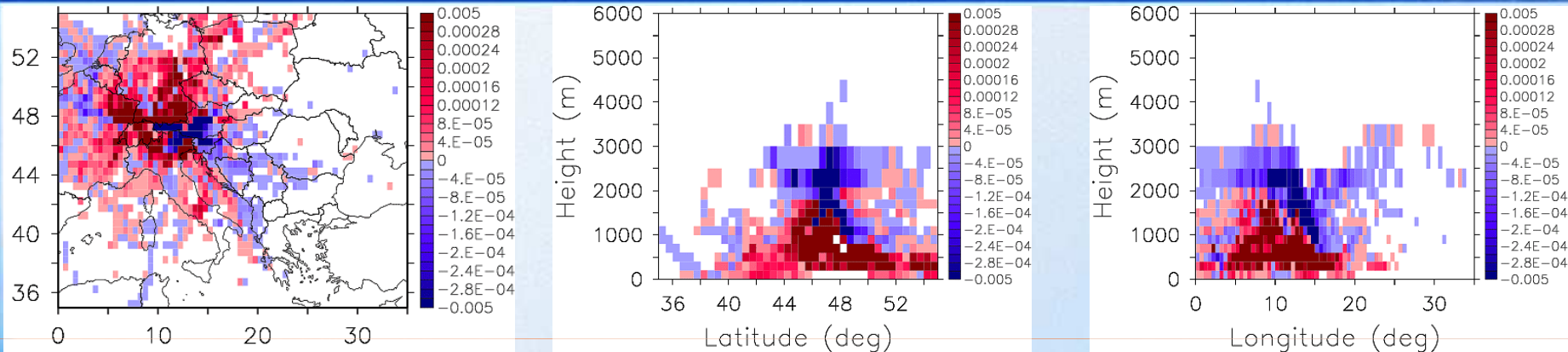


Ozon Sommer: bodennah aus Nordwest, Nordost und Po-Ebene

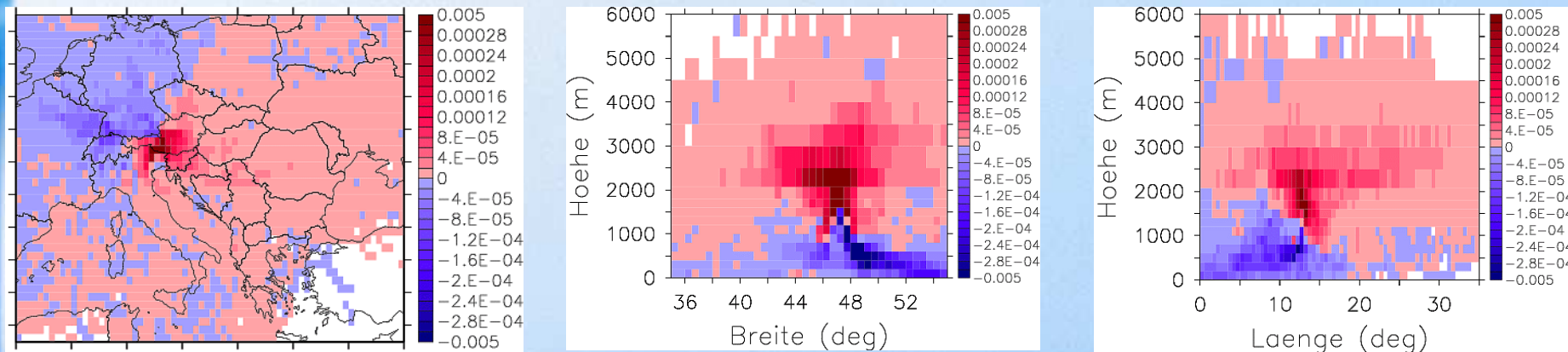
→ stickoxidreiche Luft ist ozonreich



Woher kommen Ozon und Vorläufer? - Winter



NO_x (Molybdänkonverter) Winter: bodennah aus Nordwest und Po-Ebene

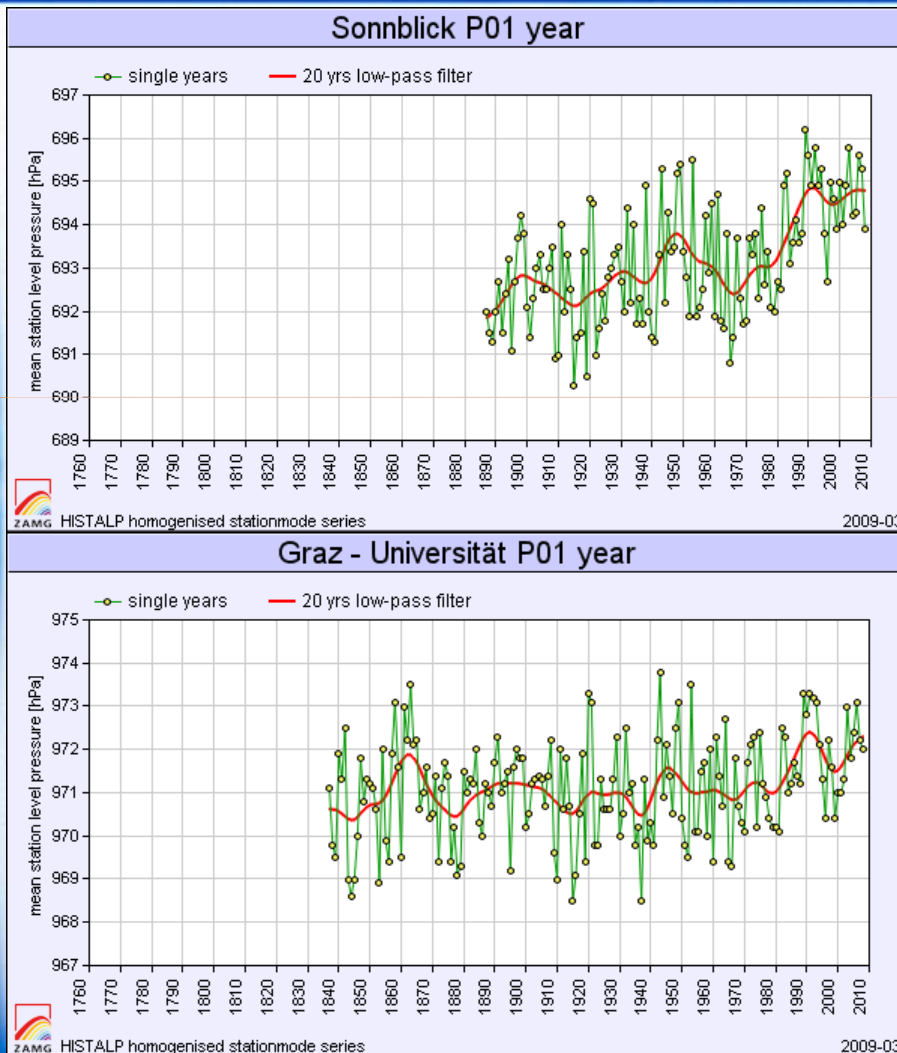


Ozon Winter: Absinken aus größerer Höhe

→ bodennahe Luft (stickoxidreich) ist ozonarm



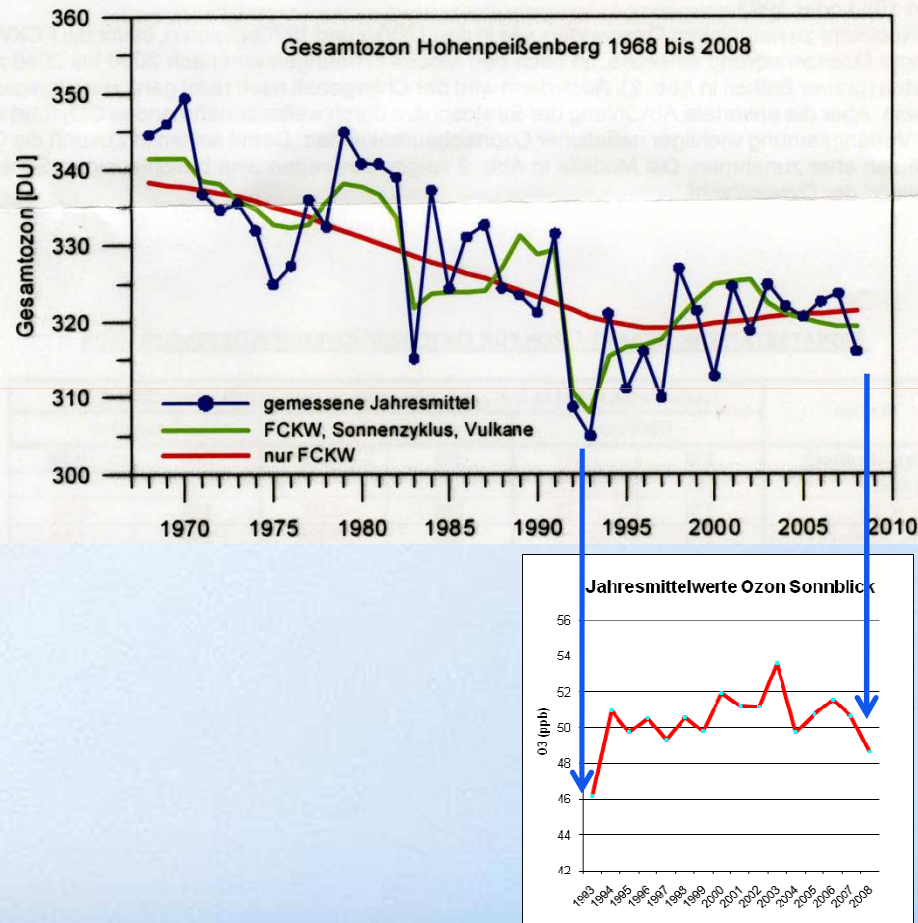
Ozonanstieg infolge zunehmender Hochdrucklagen?



- Zunahme des Luftdrucks vor allem zwischen Mitte 60er bis Anfang 90er Jahre
(Quelle: <http://www.zamg.ac.at/histalp>)
- Hochdrucklagen sind mit absinkenden Luftbewegungen verbunden
- ABER: Seit Mitte der 90er Jahre kein Anstieg mehr



Ozonanstieg infolge von Einflüssen aus höherer Atmosphäre?



- Jahre mit geringer Ozonbelastung am Sonnblick waren auch Jahre mit geringem Gesamtozon
(Quelle: Ozonbulletin des DWD Nr. 122, Jan. 2009)

- Vgl. Scheel (persönliche Mitteilung): Ozonanstieg Zugspitze bei Hintergrundbedingungen

→ Ausständig: Trends in Abhängigkeit von der Herkunft der Luftmassen



Zusammenfassung und Ausblick

- CO₂ und Ozon zeigen im hochalpinen Gelände Anstieg seit Messbeginn bis Ende 2007
+ Ausnahme: Zugspitze
 - Während der CO₂ Anstieg recht gleichmäßig erfolgt, zeigt der Ozonanstieg eine starke zeitliche Variabilität
 - Der Ozonanstieg geht parallel mit einer Zunahme der Sonnenscheindauer und der Sichtweite
+ vermehrte photochemische Ozonproduktion?
+ und/oder vermehrtes Absinken von Luft im Winter/Frühjahr?
+ Luftdruck zeigt seit 90er-Jahren kaum mehr Änderung
 - Hinweise, dass sich Gehalt an Gesamtozon auf Hochgebirgsstationen auswirkt
+ Nachweis noch ausständig
-
- **Weiterer Ausblick für Tätigkeiten im Rahmen von GAW:**
 - + Einfluss großräumiger Luftströmungen auf Spurengaskonzentrationen am Sonnblick systematisch untersucht (Trajektorienstatistiken) ✓
 - + Verfeinerung mittels Modellrechnung (LPDM rückwärts)
 - + Vertikale Durchmischung bisher kaum untersucht
Juli bis Oktober 2009 Ceilometer in Kolm-Saigurn
→ Analyse der vertikalen Durchmischung

