

Applications of CO Observations in the Development of Next Generation Forecast Models

EC GEMS Project Requirements

Harald Flentje¹ , Harald Berresheim¹ and Martin Schultz²

¹ Deutscher Wetterdienst, Met. Obs., Hohenpeissenberg, Germany

² Max-Planck Institut für Meteorologie, Hamburg, Germany



CO is a key substance in atmospheric models due to its impact on:

- regional and global air quality (e.g. O₃)***
- atmospheric oxidation capacity***
- greenhouse gas concentrations***
- long range atmospheric transport (tracer)***

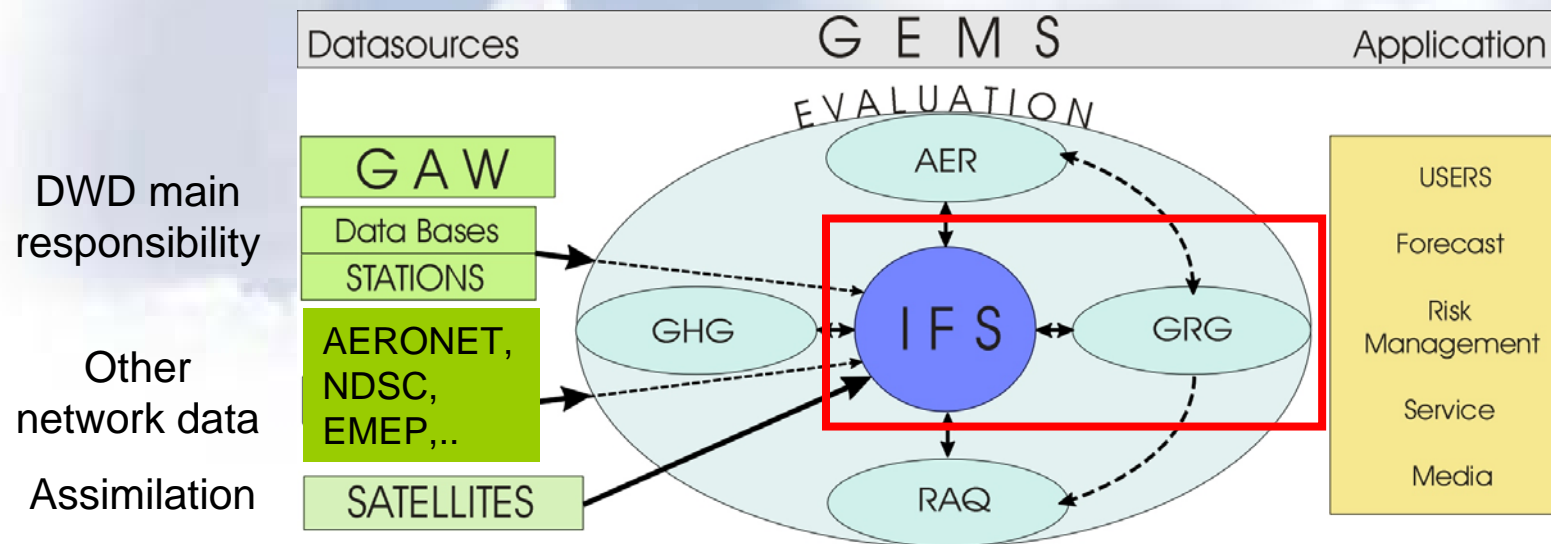
⇒ the integration of global-coverage CO observations is an important issue in IGACO (Integrated Global Atmospheric Chemistry Observations) strategy

GEMS

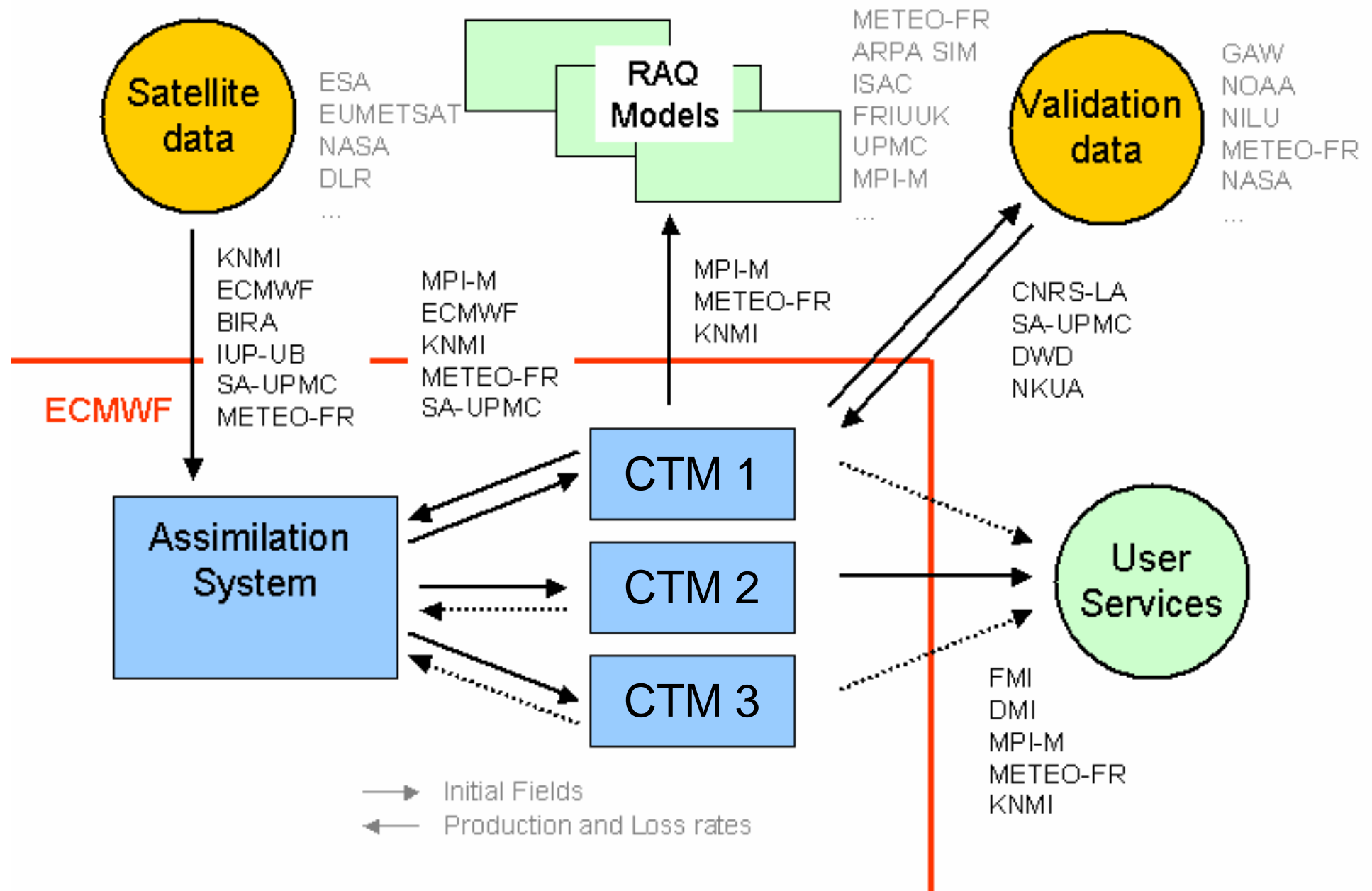
Global and regional Earth-system Monitoring using Satellite and in-situ data

Coordination: ECMWF, Tony Hollingsworth

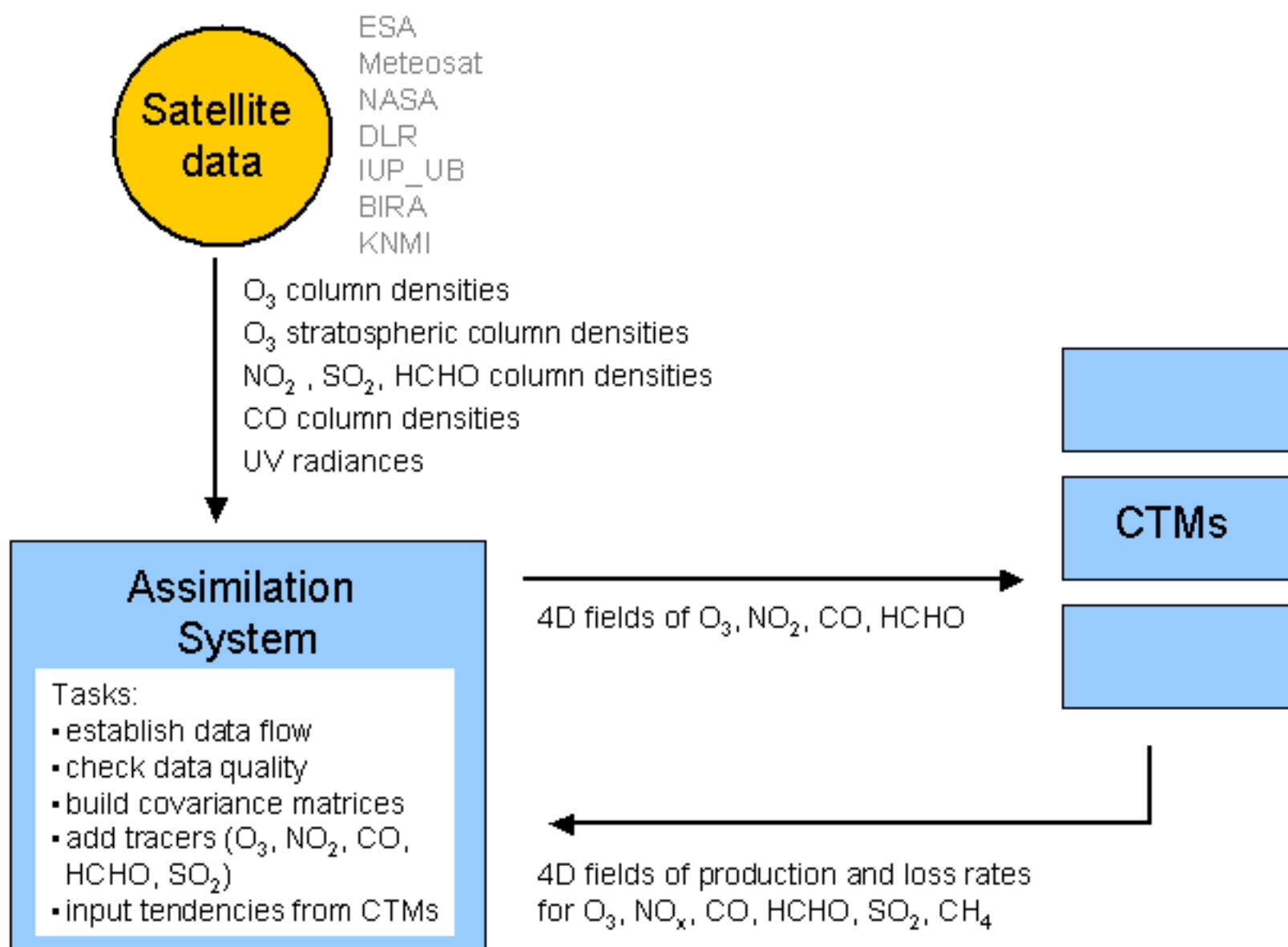
www.ecmwf.int/research/EU_projects/GEMS/



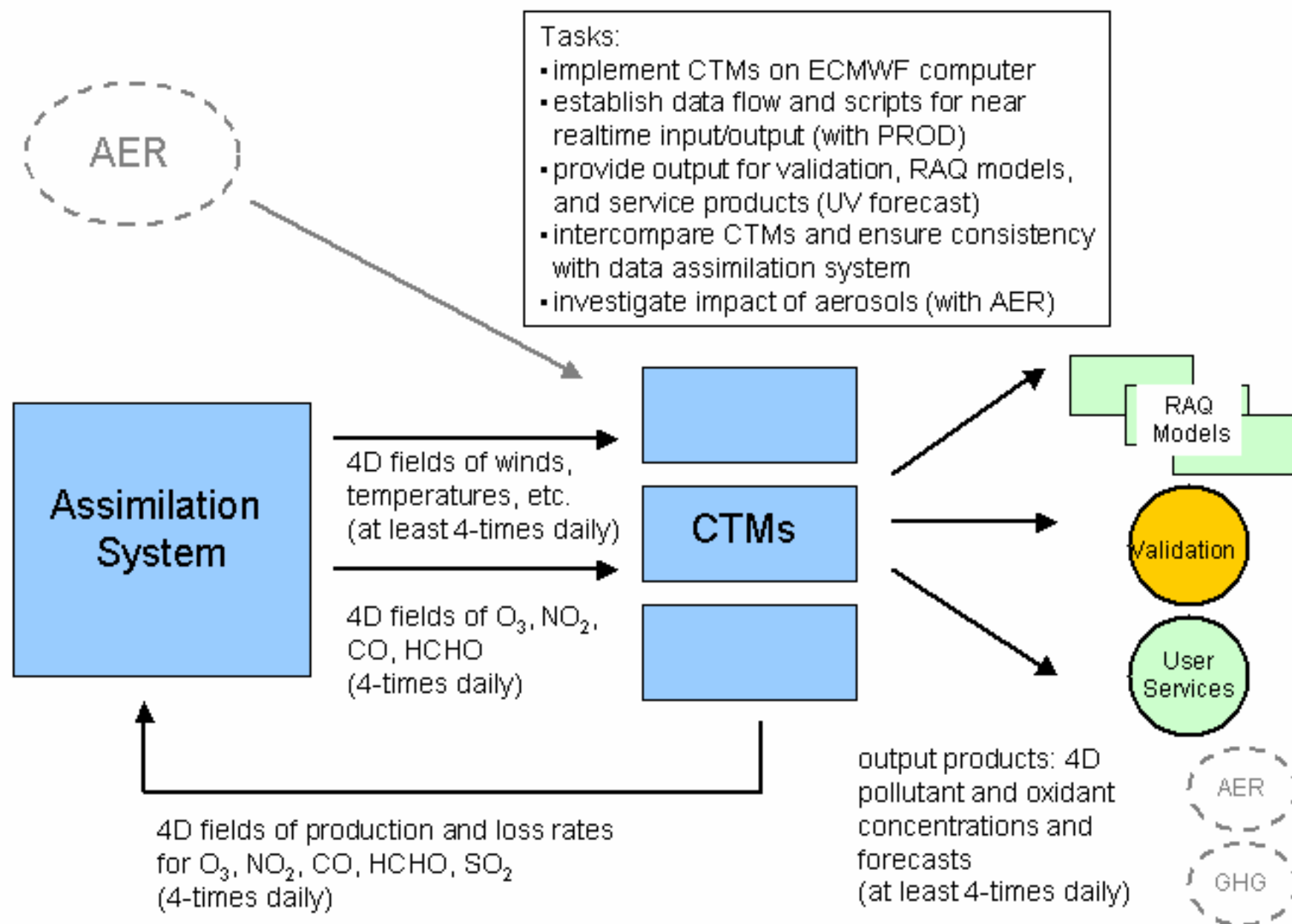
Data Flow and Responsibilities in GEMS GRG



Data Flow and Tasks in GEMS_GRG_1



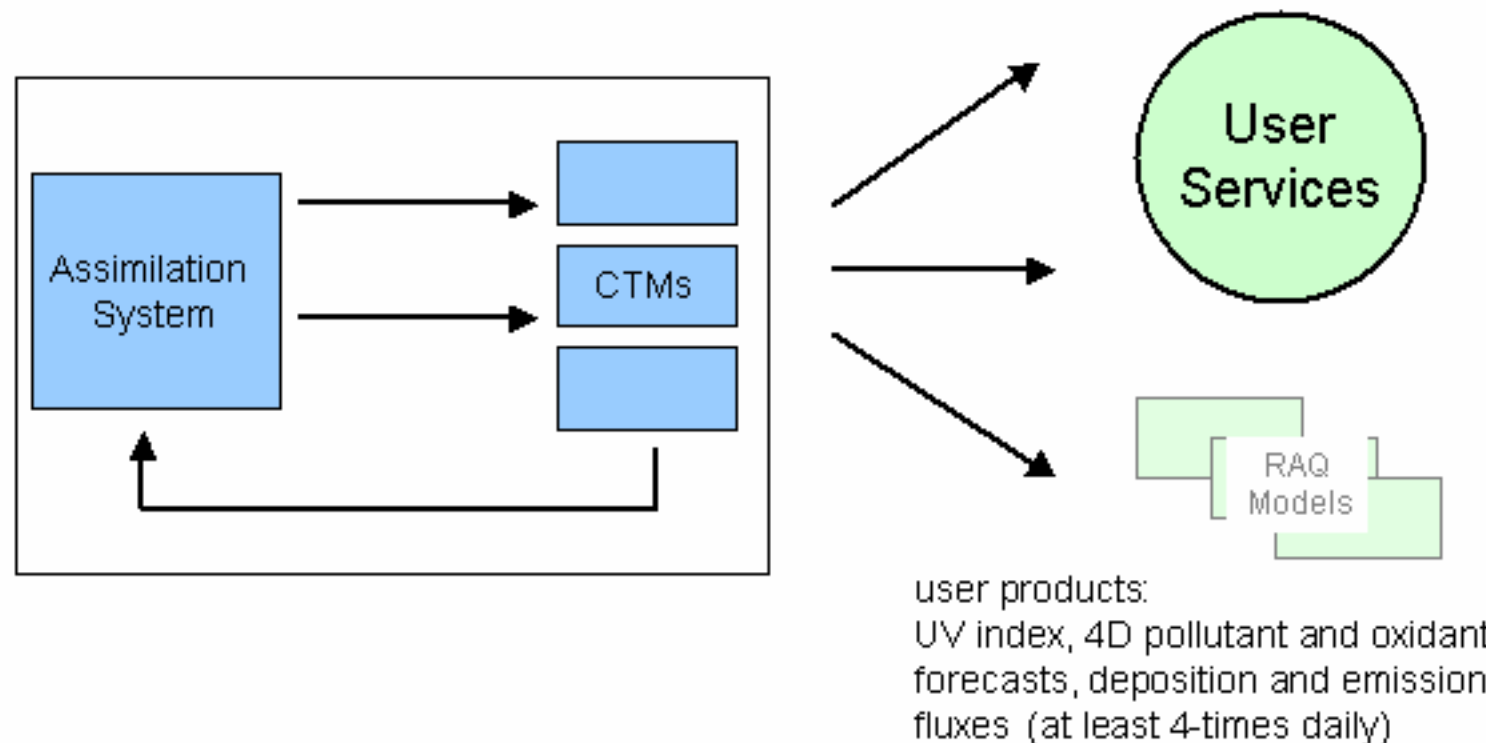
Data Flow and Tasks in GEMS_GRG_2



Data Flow and Tasks in GEMS_GRG_3

Tasks:

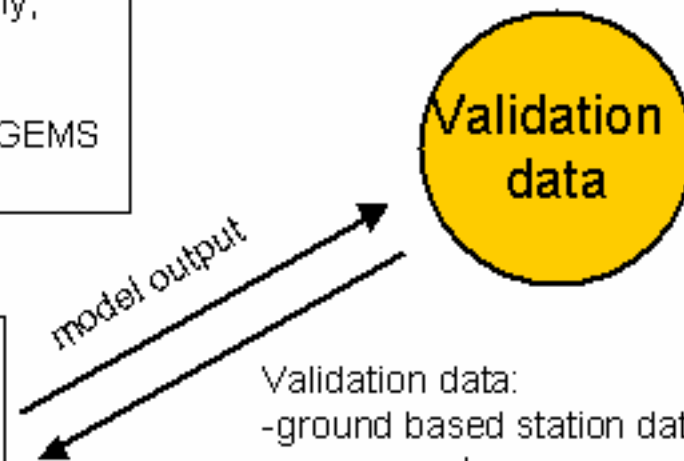
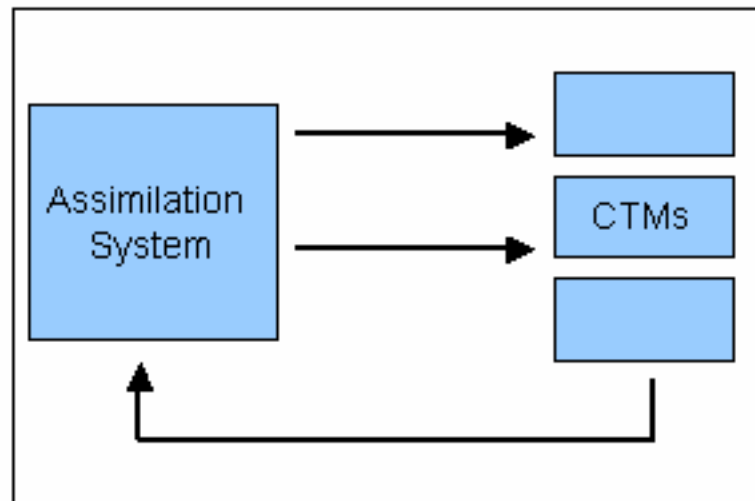
- consult with users to define products and product specifications
- develop realtime UV forecast product
- implement suitable diagnostics and data streams for background pollutant concentrations and doses, and deposition and emission fluxes
- make products available on the web



Data Flow and Tasks in GEMS_GRG_4

Tasks:

- define data formats and data exchange protocols for validation data and model output
- compile available data sets
- develop validation procedures (daily/monthly, case studies) and define parameters
- evaluation of reanalysis run
- define future validation procedure for post-GEMS system



Validation data:

- ground based station data
- ozone sondes
- DOAS and lidar obs.
- aircraft profiles and flight tracks
- research satellite products

Chemical Transport Models I

MOZART-3 (MPI-M, NCAR, NOAA): *Horowitz et al., JGR, D24, 2003*

- Offline global 3-D CTM
- 6-h ECMWF analyses
 - 60 levels from 0-65 km
 - 1.25° x 1.25° resolution (T159)
 - 200 chem. reactions included - 100 species predicted
 - Surface emissions, fuel emissions (EDGAR v2.0 inventory)

Chemical Transport Models II

TM-5 (KNMI): *Krol et al., ACP, 5, 2005*

- Offline global 3-D CTM
- 6-h ECMWF analyses
 - 25 levels up to 10 hPa (hybrid σ -p)
 - 6° x 4° (lon/lat) resolution - nesting to 1°x1° over Europe
 - 25 species / families of species
 - Combined trop/strat chemistry version under development

Chemical Transport Models III

MOCAGE (Meteo France): www.knmi.nl/goa/workshop_pdf/peuch.pdf

- Offline/semi-online 3-D CTM
- 3-h ECMWF analyses
 - 60 hybrid σ -p-levels up to 5 hPa
 - 2° x 2° resolution- nesting to regional scale (10 km)
 - 120 gas phase species/groups (RACM & REPROBUS)
 - Coupled trop/strat gases & aerosols

IFS @ ECMWF

Horizontal resolution

- development system: 130 km (T159)
- 2009 system 65 km (T319) or better

Vertical levels

- 91 levels (0-85 km) in operational model

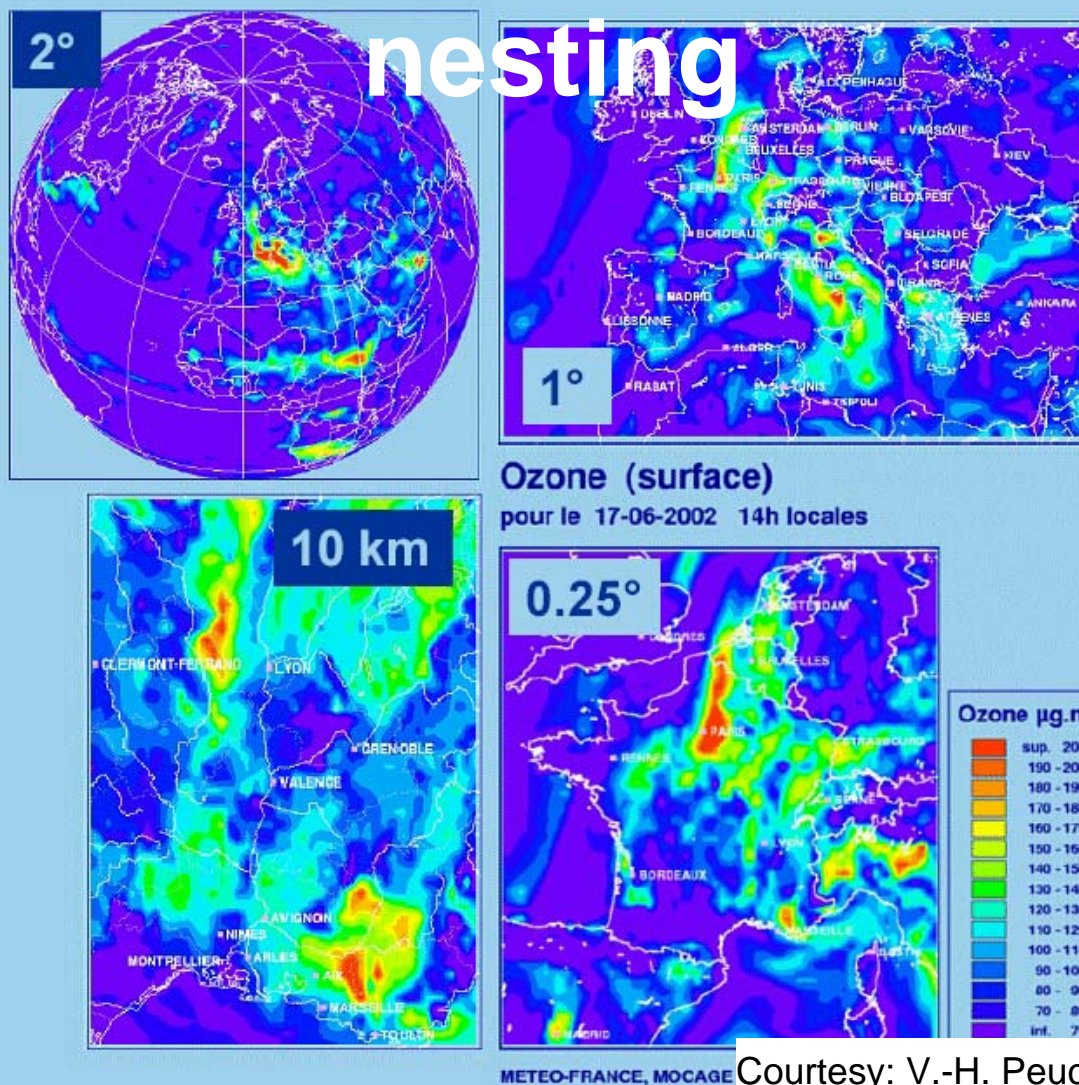
> 2009: operational forecasts of global trace gas and aerosol distributions

Regional Air Quality (RAQ) Modelling

- start from IFS analyses
- assimilation of in-situ data

Regional Models

1. MOCAGE (METEO-FR)
2. BOLCHEM (ISAC)
3. CHIMERE (CNRS)
4. CAC (DMI)
5. EMEP (MET.NO)
6. SILAM and MATCH (FMI)
7. EURAD (FRIUUK)
8. REMO (MPI-M)
9. MM5-UAMV (Univ. of Athens)



Courtesy: V.-H. Peuch

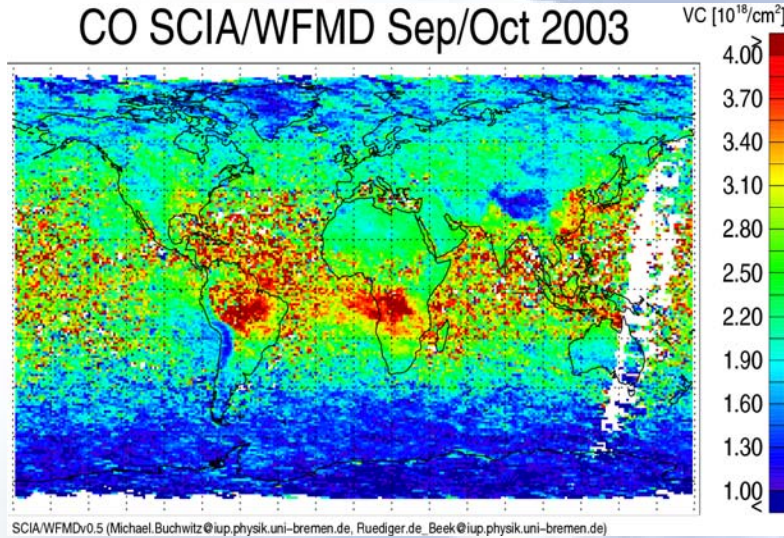
CO Observations to be used by GEMS

- **Satellites:** MOPITT, SCIAMACHY, TES, AIRS, IASI, ...
99-2006 2002-06 04-09 02-07 06- } **Assimilation**
- **Emission inventories**

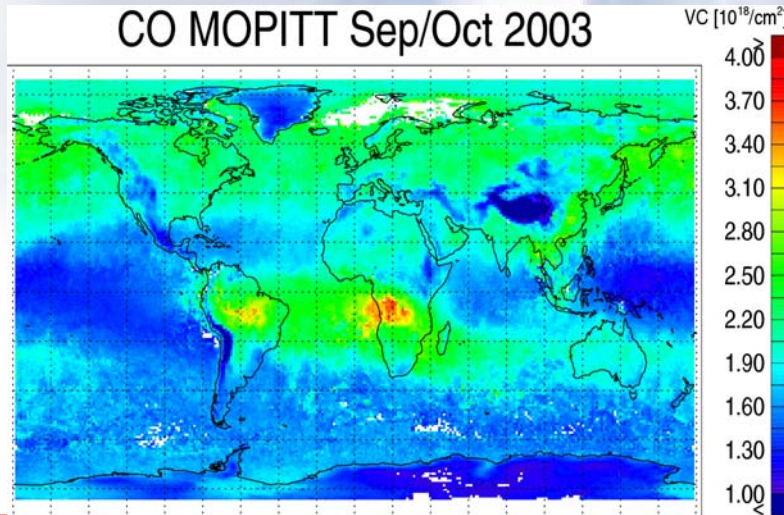
- **Networks:** GAW, EMEP, NOAA-CMDL, ALE/AGAGE
- **“Super sites”:** Hohenpeissenberg, ...
- **Campaigns:** various aircraft & balloon observations
- **Operational projects:** MOZAIC, CARIBIC, ...
- **National/regional agencies:** INERIS, EPAI, UBA, ... } **Validation, RAQ**

Sciamachy retrievals of CO

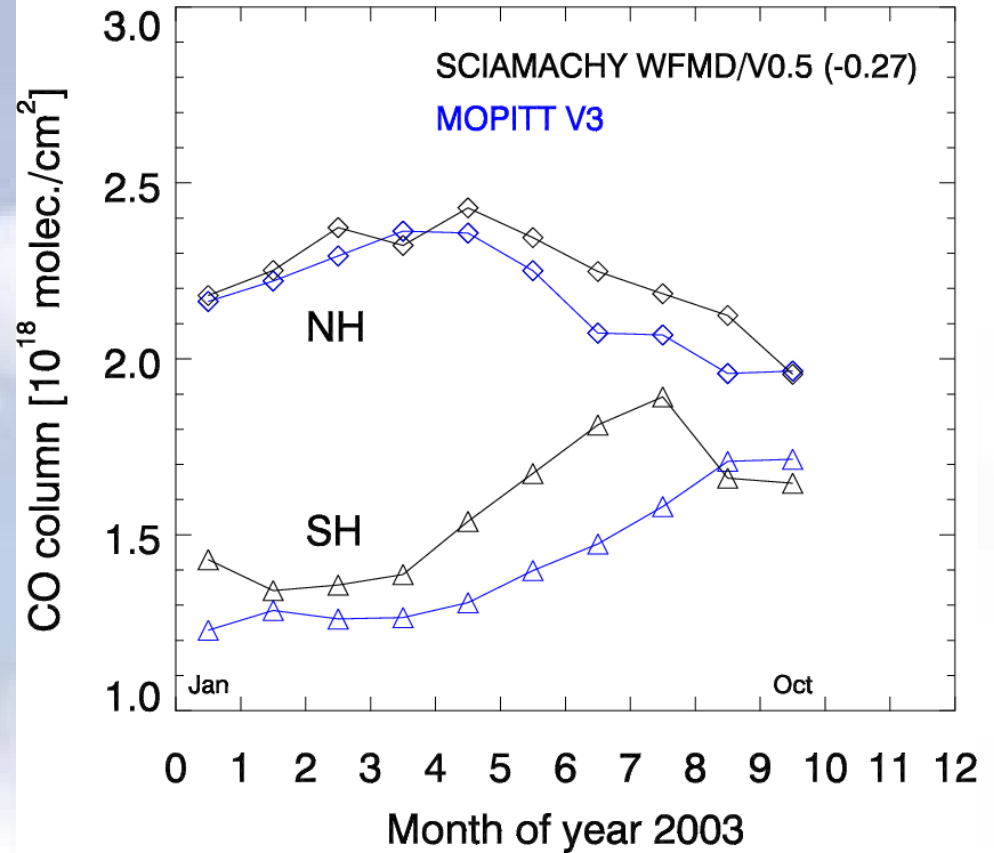
CO SCIA/WFMD Sep/Oct 2003



CO MOPITT Sep/Oct 2003

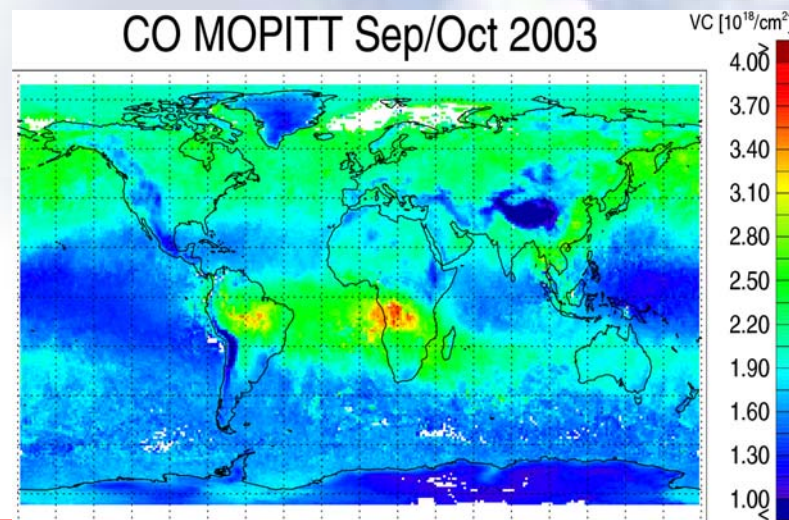
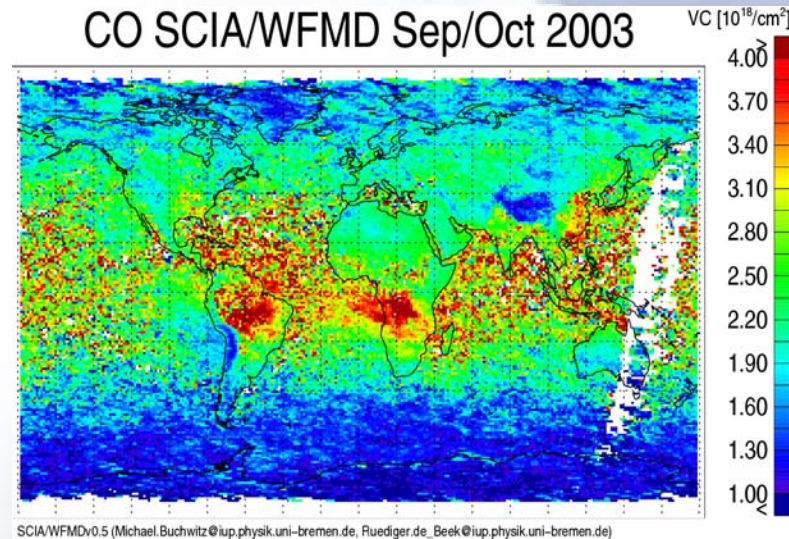


Hemispheric CO columns



courtesy J. Burrows, IUP Bremen

Sciamachy retrievals of CO

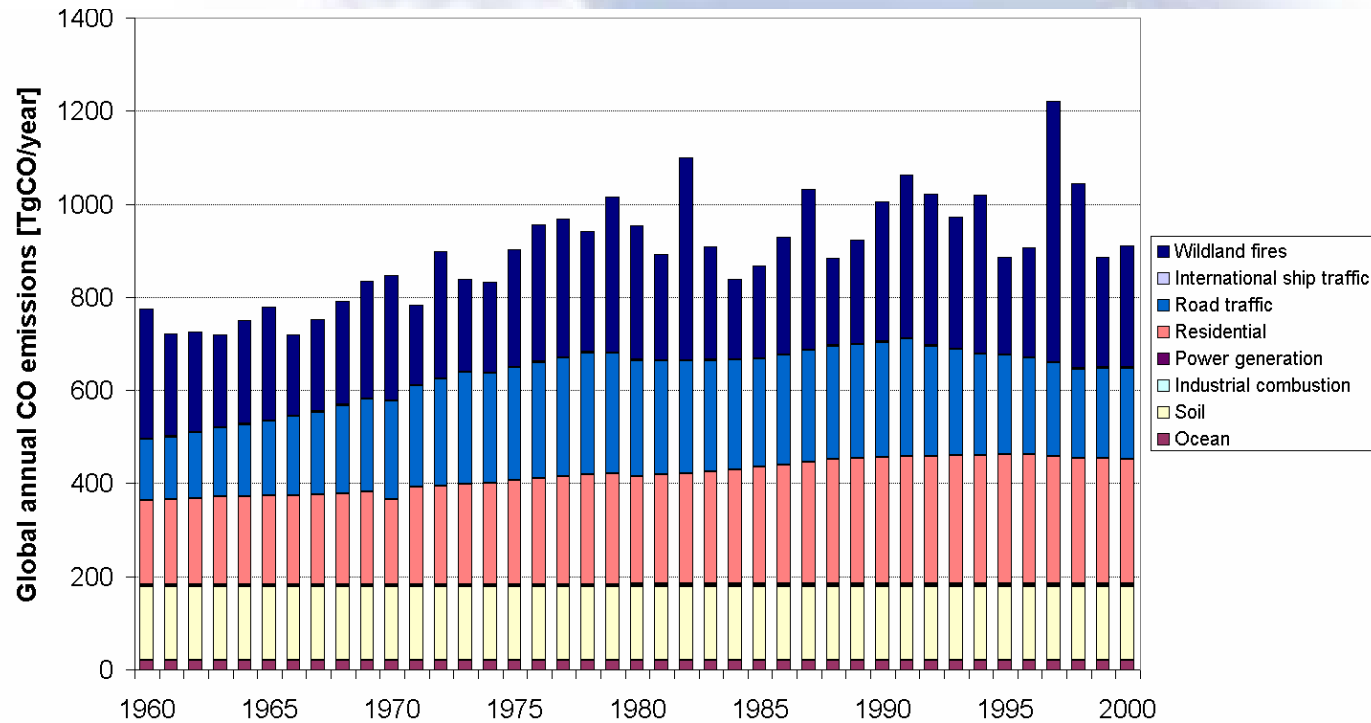


*CTMs assimilate radiances
(unprocessed level 1a data)*

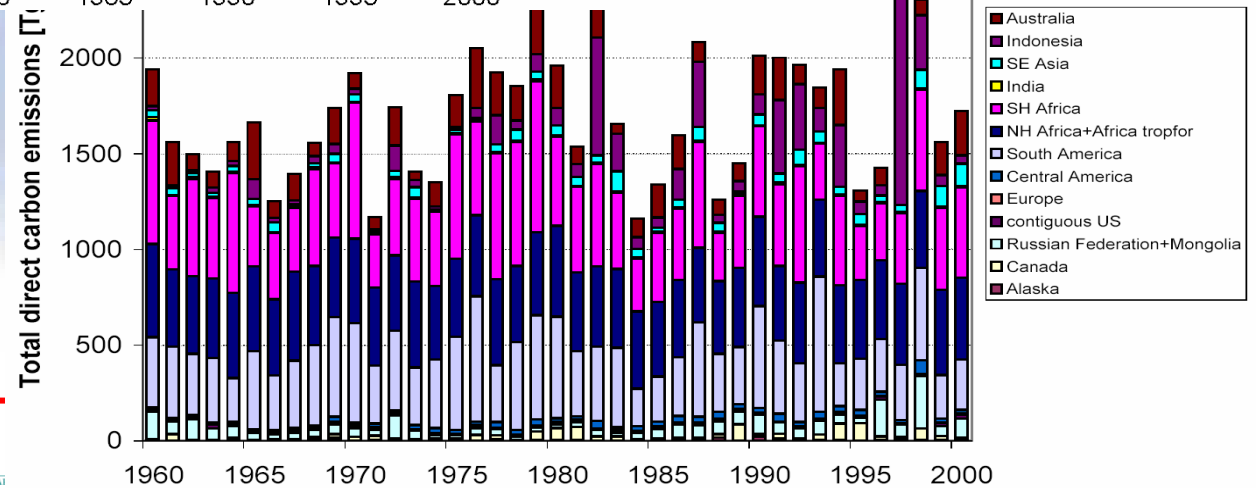
&

*perform their own inversion to
prevent inconsistencies!*

CO emission trends (RETRO)



wildfires



GEMS Objectives

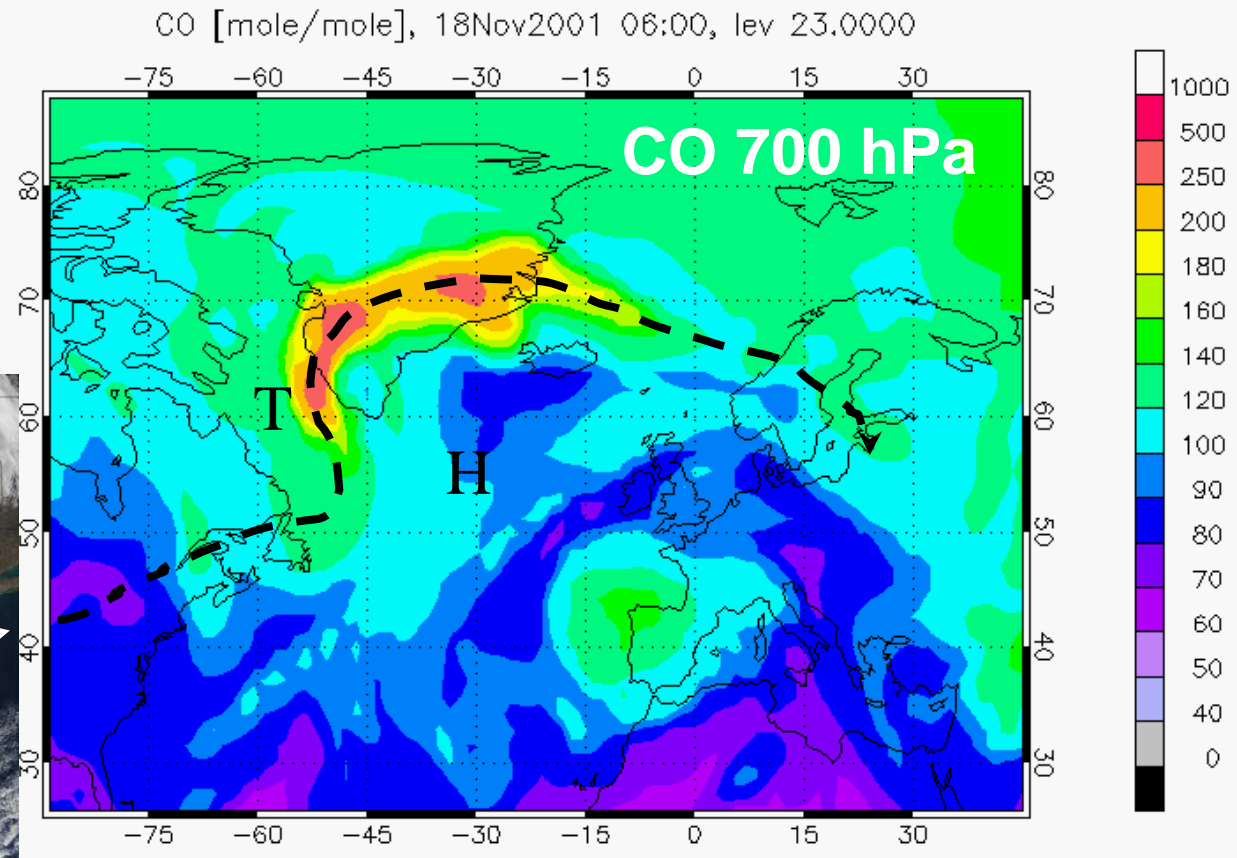
“chemical weather forecasting”

- **Operational global forecast** for dynamics and **chemical composition** at ECMWF
- **Improve weather forecast** through feedback of gases/aerosols (e.g. O₃-radiation coupling)
- Establish global **assimilation capability** for gases/aerosols using satellite data
- **Evaluate forecasts** with observational data
- Provide gas/aerosol distributions for **regional air quality modelling**.
- Set up **new analysis & forecast products** for regional & local users and for the GMES Service Element.

GEMS Objectives

“example forecast”

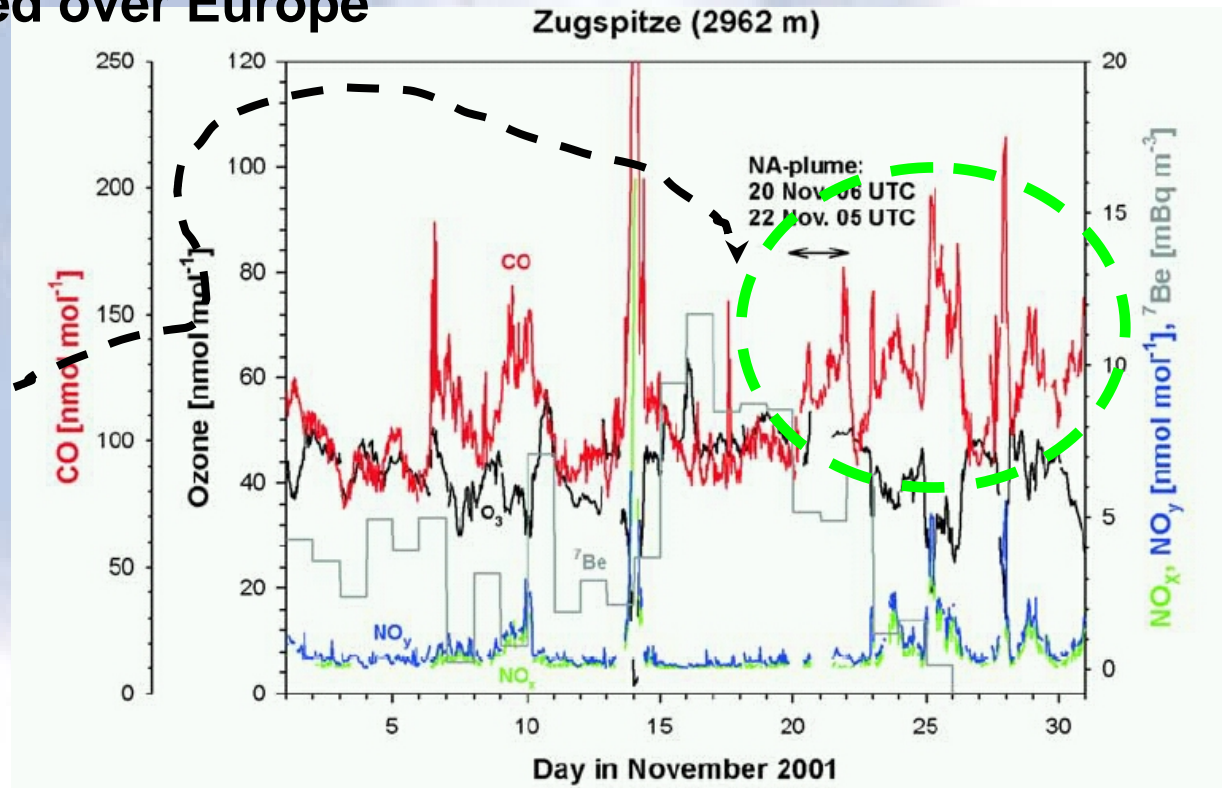
CO from
Wildfires in US
and Canada



GEMS Objectives

“example forecast”

CO from
Wildfires in US
and Canada observed over Europe



Validation

Initial Parameters for Validation:

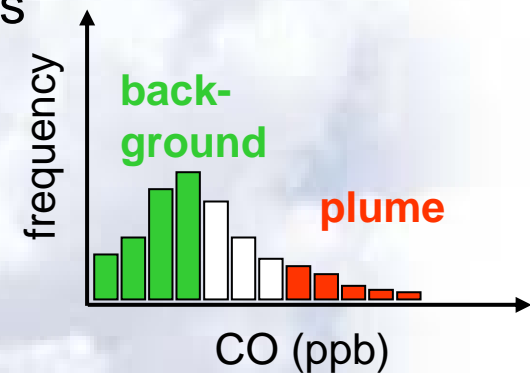
- Reactive Gases (CO, O₃, NO_x,...)
- Aerosol (optical density (AOD), profiles)
- Greenhouse gases (CO₂ concentrations and fluxes)
- "supersite" (e.g. MOHP) data for Regional Air Quality modelling

3 STEPS

- EVALUATION OF STATISTICAL DIFFERENCES (model vs. measurements)
- IDENTIFICATION OF MODEL DEFICITS (critical assessment of observational data accuracy - e.g. station environment)
- PROPOSAL FOR MODEL IMPROVEMENT (joint effort with modellers)

Evaluation of models (CO)

- Yet no rigorous model intercomparison for CO
- Evaluations within IPCC/ACCENT and RETRO indicate:
 - generally good agreement with surface/airborne observations
 - single plumes are reproduced satisfactorily
 - uncertainties in predicted CO background levels
 - discrepancies in seasonal cycle (→ biomass burning, transport, OH seasonal distribution)
 - larger uncertainty in vertical profiles



- Emission inventories contain large uncertainties (vertical profile!)

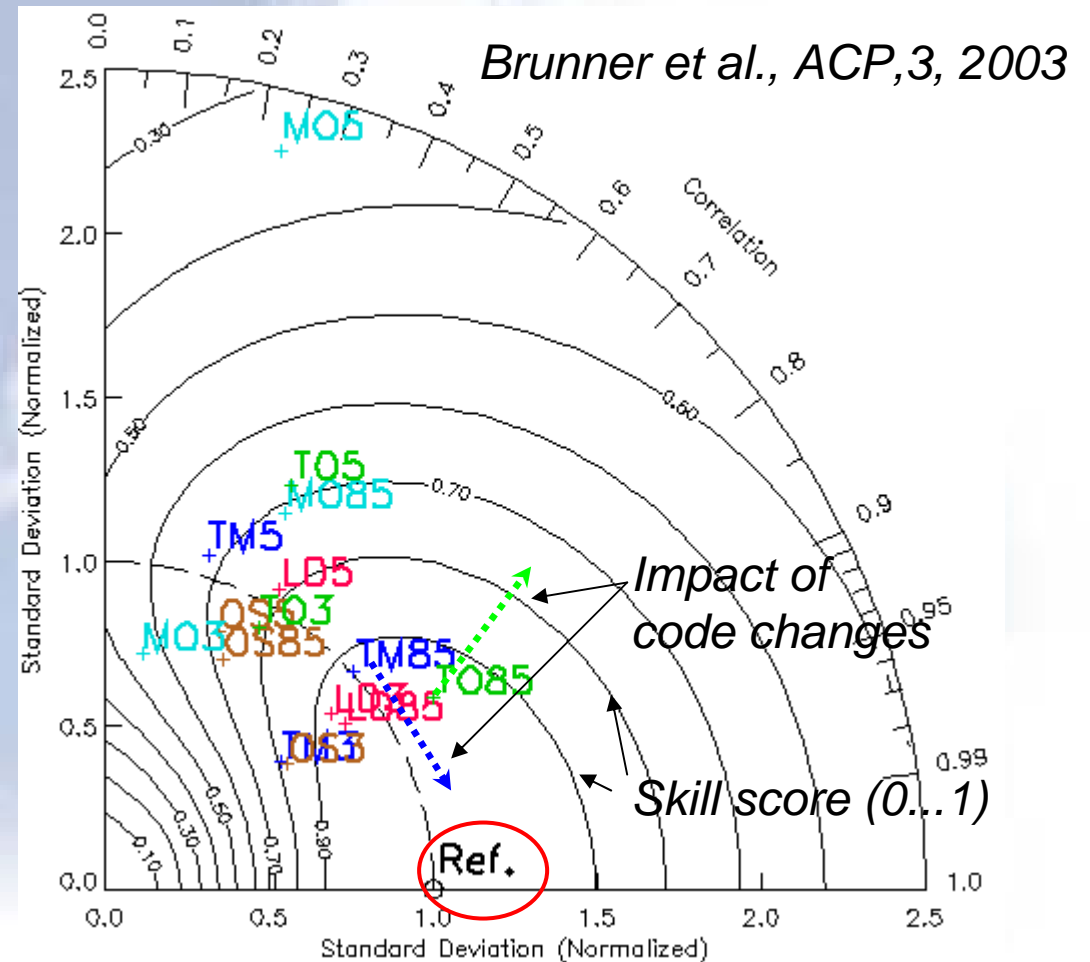
Evaluation of CO models I

Taylor Diagrams:

K. E. Taylor, JGR, 106, 2001

Summarise multiple aspects of model performance and improvement in a single diagram:

- root mean square to Ref.
- correlation coefficient
- standard deviation
- → operational product



GEMS Requirements

- CO data delivery within 1-2 months
- More CO observing stations (impact regions, fires/episodes, SH,...)
 - CO profiles (campaigns, satellites, MOZAIC,...)
 - Sustained satellite observations of CO (timely replacement)
- CO uncertainty < 10 %
 - Estimates of uncertainties and errors
- Info about representativeness (local climate/CO sources, instruments)
- **Communication between operators, evaluators and modellers**

Benefit for data providers

GEMS Description of Work:

... "Stations are privileged USERS ! They will be provided with the model data upon request !"

- High visibility for data providers
- Intensive use of network/operational data
- Model data e.g for scientific or health purposes

	Global Atmosphere Watch GAW Brief des Deutschen Wetterdienstes Meteorologisches Observatorium Hohenpeißenberg	
	www.wmo.ch/web/arep/gaw/gaw_home.html	
Allgemein Klima Strahlung Treibhausgase Spurengase Aerosol Niederschlag Analysen Trends Ursachen		

Entwicklung einer operationellen chemischen Wettervorhersage: GEMS und GAW

Harald Berresheim und Harald Flentje, Meteorologisches Observatorium Hohenpeißenberg
 Martin Schultz, Max-Planck-Institut für Meteorologie, Hamburg

Die Überwachung des globalen Klimawandels ist eine Hauptaufgabe von GAW. Sie gliedert sich in drei aufeinander aufbauende Elemente: 1. Dauermessungen (Monitoring), 2. wissenschaftliche Analysen / Erkennung von Trends und 3. Vorhersagen und Warnungen. Im Rahmen des fortschreitenden internationalen Ausbaus des GAW-Programms gewinnt zunehmend die dritte Phase an Bedeutung, in der die Messdaten und wissenschaftlichen Erkenntnisse auch für eine operationelle Vorhersage der Luftqualität und des Klimawandels auf globaler und regionaler Ebene genutzt werden sollen. Die Einbeziehung von luftchemischen Daten soll auch die Wettervorhersage selbst verbessern, insbesondere die Niederschlags- und Strahlungsprognose. Nach Schätzungen der ESA und EU könnten allein in Europa durch geeignete Maßnahmen die Kosten aus Umweltschäden um etwa 1 Mrd. € jährlich gesenkt werden. Die EU hat daher in diesem Jahr ein umfassendes Projekt gestartet, in dem unter Verwendung von Satellitenmessungen und Daten aus GAW (und anderen Messnetzen) chemische Modellvorhersagen entwickelt und ab 2009 kontinuierlich betrieben werden sollen. Das Projekt heißt GEMS (Global and regional Earth-system (Atmosphere) Monitoring using Satellite and in-situ data). Etwa 30 europäische Forschungsinstitute und Wetterdienste (z.B. der DWD) sind an GEMS beteiligt, koordiniert wird es vom Europäischen Zentrum für mittelfristige Wettervorhersage (EZMW) in Reading, England. Der vorliegende GAW-Brief soll eine kurze Übersicht über das Projekt vermitteln, ausführliche Informationen findet man auf der GEMS-Website: www.ecmwf.int/research/EU_projects/GEMS/.

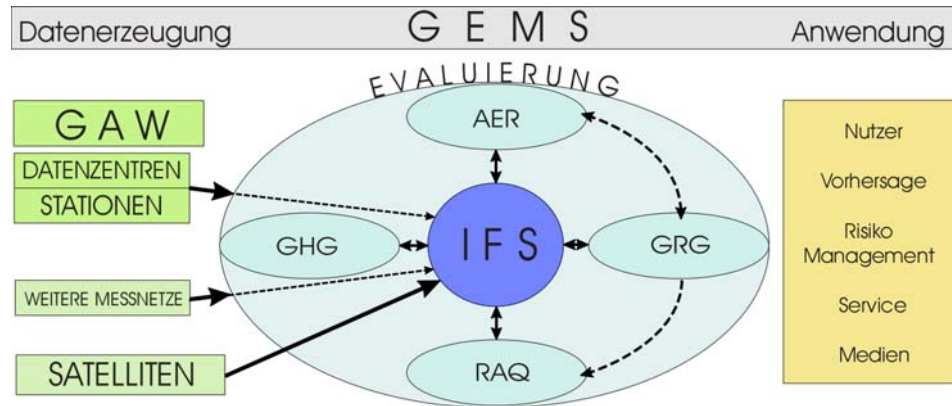


Abb. 1: Beziehung des Integrierten Vorhersage Systems (IFS) zu den GEMS Modulen Aerosol (AER), Treibhausgase (GHG), Reaktive Gase (GRG) und Regionale Luftqualität (RAQ) sowie Bedeutung von Beobachtungsdaten (GAW und andere Messnetze, Satelliten) und Verwertung der Modellergebnisse. GAW Daten werden zur Evaluierung der Modellanalysen und -vorhersagen verwendet, um Defizite in den Modellen zu beseitigen.

In GEMS sollen bisher parallel existierende Atmosphärenmodelle zu einem integrierten Vorhersagesystem (IFS) zusammengefasst werden (Abb. 1). Dazu werden in den Arbeitspaketen Aerosole (AER), Treibhausgase (GHG) und Reaktive Gase (GRG) zunächst jeweils verschiedene Modelle am EZMW implementiert, in parallelen Reanalysen betrieben und mit Daten aus globalen Messnetzen (z.B. GAW, AERONET) evaluiert. Anhand der Beobachtungen sollen Defizite einzelner Modelle erkannt, durch direkten Vergleich von Prozessstudien beseitigt und eine Auswahl für das IFS getroffen werden. Die Kopplung der einzelnen Atmosphärenmodule inkl. Assimilation, Parameteraustausch und Vorhersage der globalen Verteilungen von Partikeln und Spurengasen erfolgt am EZMW. Darauf basierend werden im Teilprojekt Regionale Luftqualität (RAQ) regionale/nationale Verteilungen von Gasen und Partikeln vorhergesagt, evaluiert und unter klimatischen und gesundheitlichen Aspekten bewertet. Während in die Assimilation zunächst nur Säulenwerte von Satelliten einfließen, werden für die Evaluierung der Modellsimulationen räumlich und zeitlich höher aufgelöste Messdaten von Bodenstationen, Sonden und auch Flugzeug- oder Schiffskampagnen benötigt. Das Projekt konzentriert sich zunächst auf einige Schlüsselparameter wie O₃, CO, NO₂, SO₂, CO₂, CH₄ sowie Streuung und Absorption von Strahlung durch Aerosolpartikel, später werden weitere hinzugefügt.

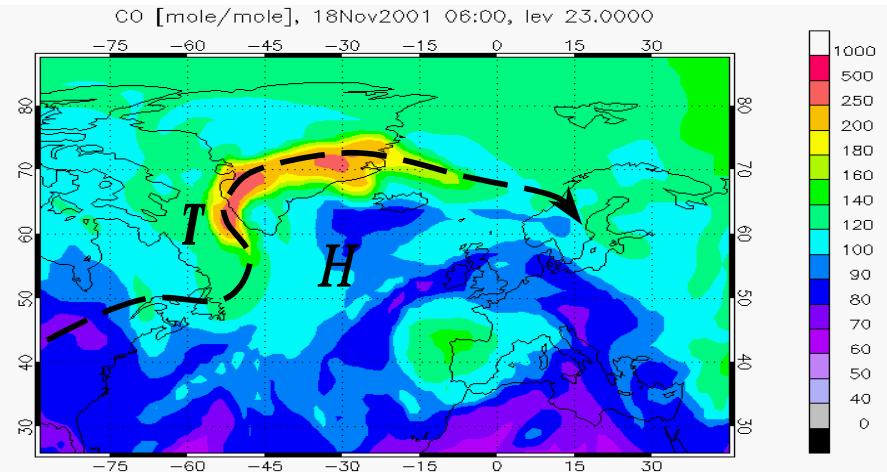


Abb. 2: Beispiel einer chemischen Wettervorhersage: Simulation der Kohlenmonoxid (CO) Verteilung im 700 hPa Niveau für den 18. Nov. 2001, 0600UTC, erstellt mit dem Chemie-Klima-Modell ECHAM. CO aus Verbrennungsprozessen in Kanada/USA wird entlang der angedeuteten Zugbahn nach Europa transportiert. Beim Überqueren eines Hochdruckrückens über Grönland wird die Luftmasse bis in (und über) das dargestellte 700 hPa Niveau angehoben.

Zur Illustration einer operationellen Vorhersage der großräumigen Spurengasverteilung zeigt Abb. 2 eine Simulation für CO, hier des gekoppelten Chemie-Klima Modells ECHAM im Prognosemodus, für den 18. November 2001. In diesem während der CONTRACE Kampagne (<http://www.pa.op.dlr.de/contrace>) untersuchten Fall wurde eine mit Abgasen fossiler Brennstoffe belastete Luftmasse von Kanada/USA über dem nördlichen Atlantik nach Europa transportiert. Die beteiligten Prozesse - frontale Hebung, Ferntransport und Wiederabsinken - führen episodisch innerhalb weniger Tage zum interkontinentalen Austausch von Luftbeimengungen. Eine genaue Prognose der Transportwege und der zwischenzeitlichen chemischen Umwandlung erfordert u.a. zeitnahe und räumlich dichte, regional repräsentative Spurenstoffmessungen. In anderen Fällen dagegen, wie etwa dem sporadischen Transport von Saharastaub nach Europa, hängt die Vorhersagequalität wesentlich von realistischen Windprofilen, atmosphärischen Trübungsbeobachtungen und der Berücksichtigung aerosoldynamischer Prozesse (z.B. Sedimentation, Koagulation) ab. Globale, relativ gering aufgelöste Simulationen wie in Abb. 2 werden zur Vorhersage mit Echtzeitdaten initialisiert bzw. angetrieben und anschließend zur höher aufgelösten regionalen Modellierung der Luftqualität (RAQ) bis hinunter zu Auflösungen von wenigen km verwendet (z.B. <http://www.eurad.uni-koeln.de>). Zur Überprüfung und Verbesserung der globalen und der regionalen Modelle sind in GEMS intensive Evaluierungen mit Daten internationaler Messnetze wie GAW, AERONET und EMEP vorgesehen.



Thank You !



H. Tientle, H. Berresheim



M. Schulz

CO Workshop, Dübendorf 24 - 26 Oct 2005

Application of CO measurements in GEMS I

GEMS-GHG: Develop operational system to monitor CO₂, **CO**, N₂O, CH₄ and their surface sources/sinks by combining state-of-the-art (remote) sensing, data assimilation, and forward/inverse models.

GEMS-GRG: Tropospheric NO_x, **CO**, and NMHC are key species in O₃ formation, and their emissions are regulated under various international protocols.

Assimilation of available tropospheric satellite data of **CO**,...

Generation of chemical production/loss rates for **CO**, NO_x,...

Operational forecast of 3-D global distributions (6-hly, 50 km resolution) of key species: GHG, reactive gases O₃, NO₂, SO₂, **CO**,...

Tracer calculations for NO_x, SO₂, **CO** and HCHO by IFS

Application of CO measurements in GEMS II

GEMS-GRG (cont.): Evaluation of model re-analyses/forecasts with operational data

GEMS-RAQ: Regional (high resolved) re-analysis simulations of reactive gases, aerosols for selected periods (later on operational)

Pre-operational near-real-time daily forecasts of aerosols and reactive gases

Use GEMS data to assess public health effects of long-range aerosol and reactive gases