

Visualisierung in der Klimaforschung

Michael Böttinger
Deutsches
Klimarechenzentrum



Michael Böttinger, DKRZ

Agenda

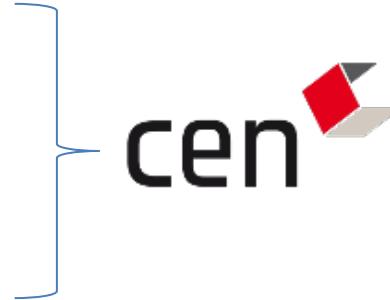
- ▶ Klima und Klimamodellierung
- ▶ Klimarechenzentrum
- ▶ Visualisierung
 - Hardware
 - Software
- ▶ Anwendungen
 - Klimaänderung – IPCC
- ▶ Ausblick
- ▶ Demo

Michael Böttinger, DKRZ

Erdsystemforschung in Hamburg

KlimaCampus

- Universitätsinstitute
 - Meteorologie
 - Ozeanographie
 - Geophysik
 - ...
- Max-Planck-Institut for Meteorologie
- HZG Institut für Küstenforschung
- DKRZ (nationale Einrichtung)
- CSC



Michael Böttinger, DKRZ

Definition Wetter und Klima

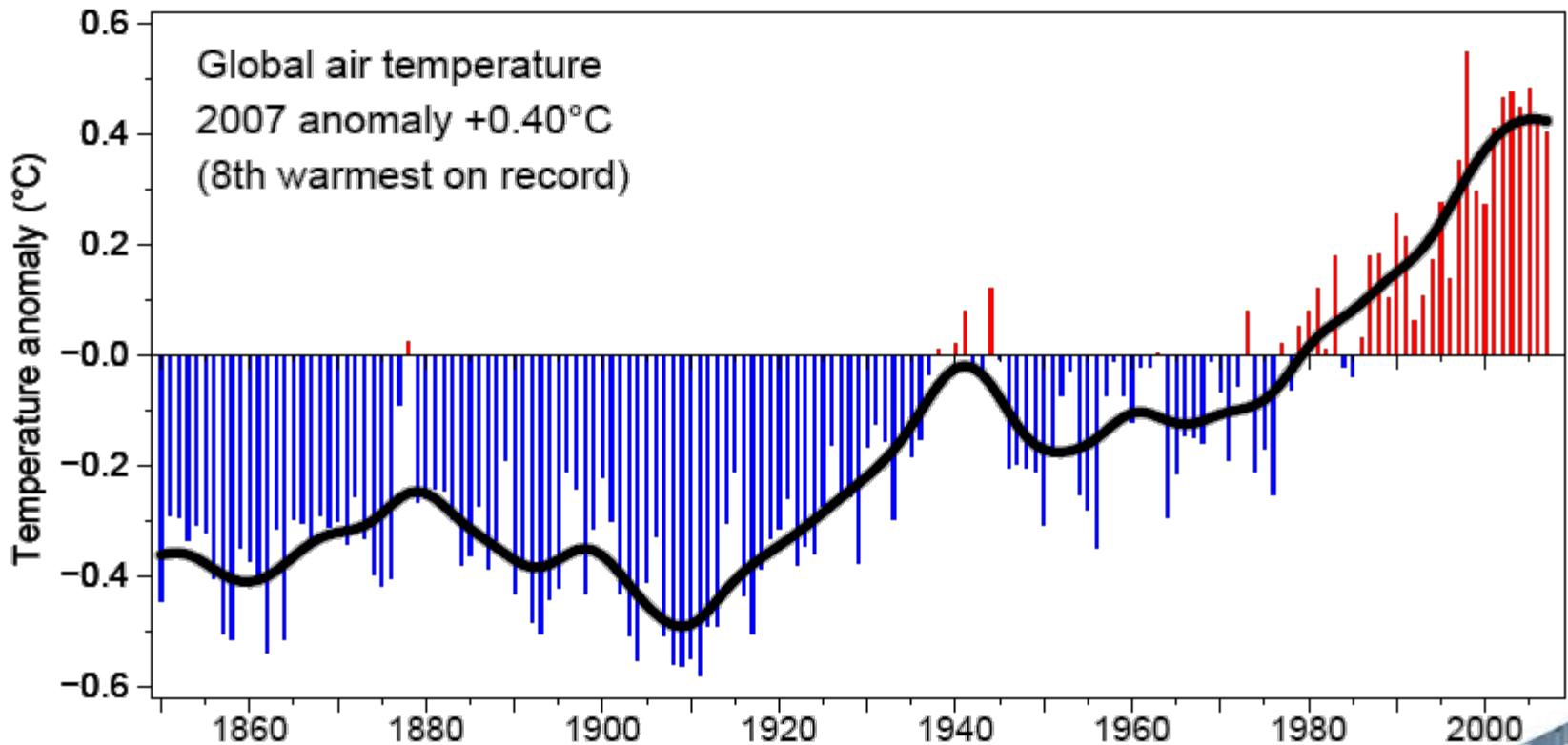
"Unter dem Begriff **Wetter** verstehen wir bekanntlich die **Erscheinungen in den unteren Luftsichten**, die an einem Ort oder in einer Region auftreten, d.h. die von Wolken, Niederschlag, Nebel, Gewitter, und Glatteis, die Höchst- und Tiefsttemperatur, die örtlichen Windverhältnisse." (Malberg, 1997)

"Unter dem **Klima** eines Ortes verstehen wir die **Gesamtheit der atmosphärischen Zustände** und Vorgänge in einem **hinreichend langen Zeitraum** (30 Jahre), beschrieben durch den mittleren Zustand (Mittelwerte) sowie durch die auftretenden Schwankungen (Streuung, Häufigkeitsverteilung, Extremwerte, usw.)." (Malberg, 1997)

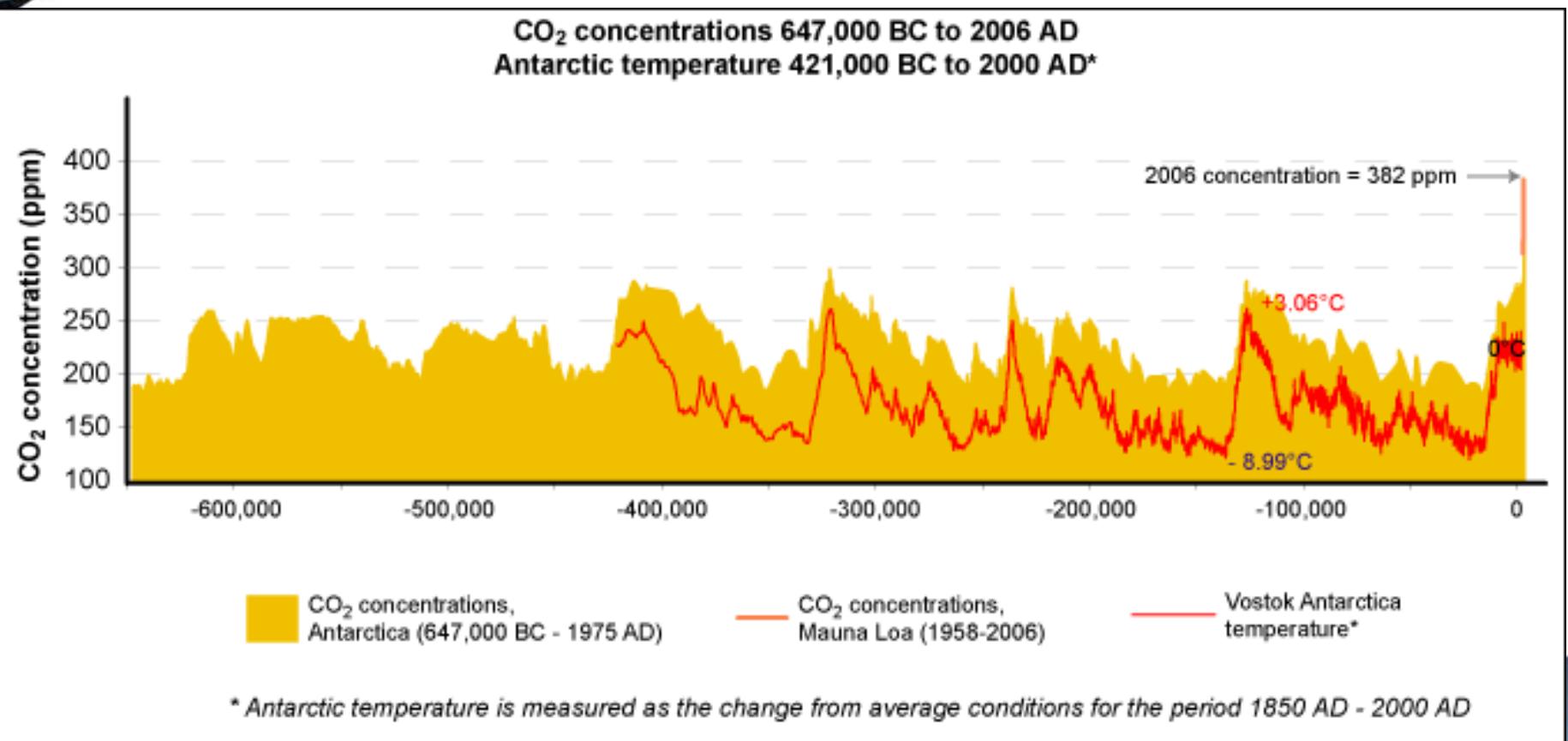
Michael Böttinger, DKRZ

Motivation: Klimaänderung?

Quelle: Climate Research Unit (CRU), Univ. of East Anglia

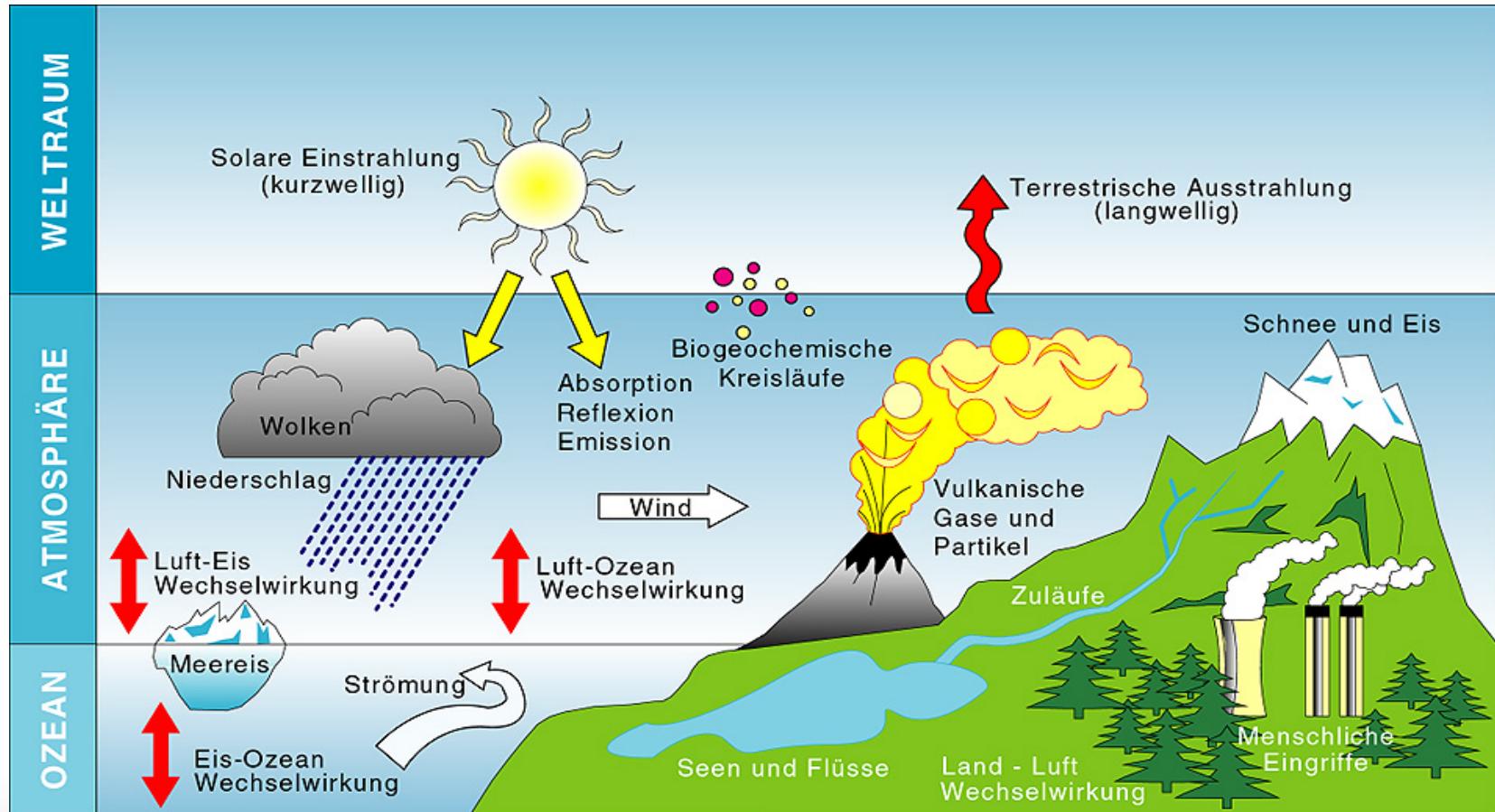


Blick in die Vergangenheit



Quelle: UNEP

Das Klimasystem



Michael Böttinger, DKRZ

Modell der Atmosphäre

- ▶ Gleichungen, die das Verhalten von Flüssigkeiten und Gasen beschreiben
- ▶ Erhaltungssätze (Impuls, Energie, Masse)
- ▶ Strahlung
- ▶ Randbedingungen (Erdgeometrie, Bahnpараметер, Land-Meer-Verteilung,...)

Modell der Atmosphäre

Gleichungen nicht direkt lösbar ...

$$\frac{\partial U}{\partial t} - (f + \xi) \cdot V + \dot{\eta} \frac{\partial U}{\partial \eta} + \frac{R_d T_v}{a} \frac{\partial}{\partial \lambda} \ln p + \frac{1}{a} \frac{\partial}{\partial \lambda} (\phi + E) = P_U + K_U \quad (2.2.1)$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} + (f + \xi) \cdot U + \dot{\eta} \frac{\partial V}{\partial \eta} + \frac{R_d T_v}{a} (1 - \mu^2) \frac{\partial}{\partial \mu} \ln p + \frac{(1 - \mu^2)}{a} \frac{\partial}{\partial \mu} (\phi + E) = P_V + K_V \quad (2.2.2)$$

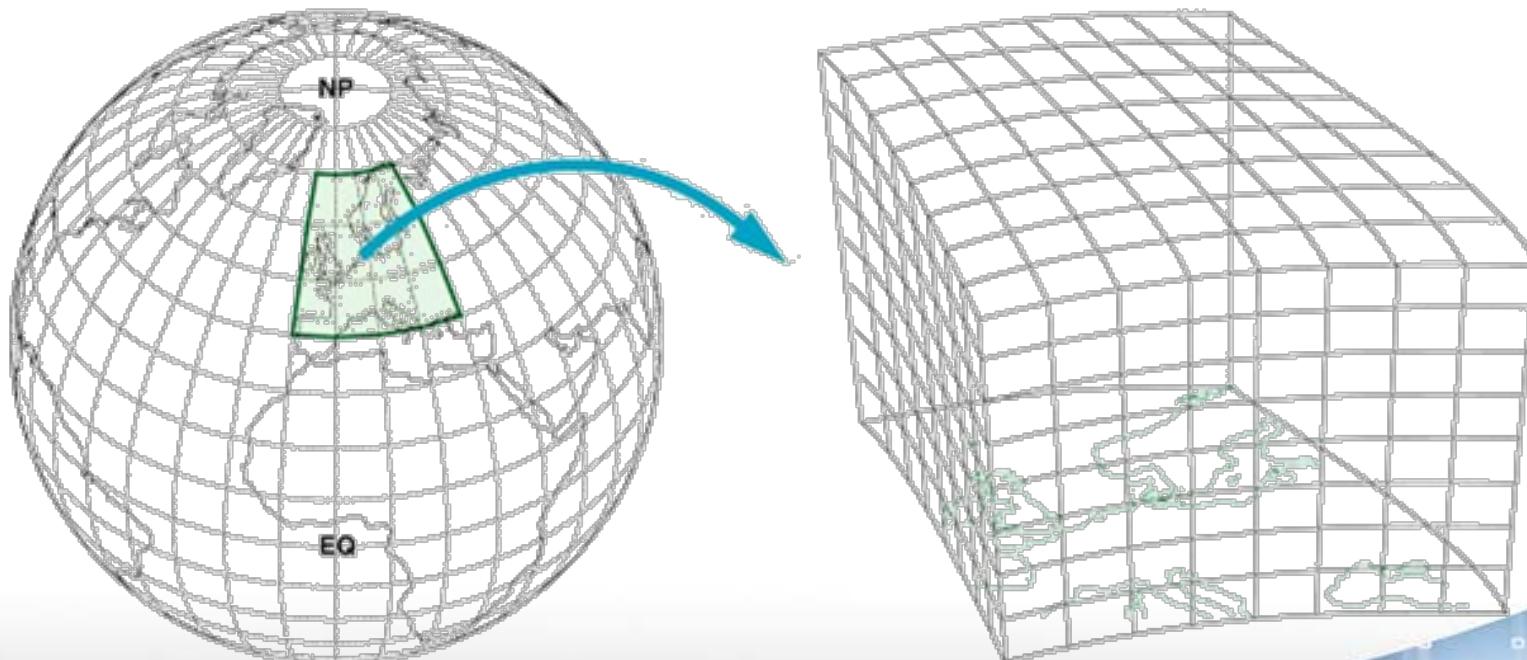
$$\frac{\partial T}{\partial t} + \frac{U}{a(1 - \mu^2)} \frac{\partial T}{\partial \lambda} + \frac{V}{a} \frac{\partial T}{\partial \mu} + \dot{\eta} \frac{\partial T}{\partial \eta} - \frac{\kappa T_v \omega}{(1 + (\delta - 1) q_v) p} = P_T + K_T \quad (2.2.3)$$

$$\frac{\partial q_v}{\partial t} + \frac{U}{a(1 - \mu^2)} \frac{\partial q_v}{\partial \lambda} + \frac{V}{a} \frac{\partial q_v}{\partial \mu} + \dot{\eta} \frac{\partial q_v}{\partial \eta} = P_{q_v} + K_{q_v} \quad (2.2.4)$$

$$\frac{\partial q_w}{\partial t} + \frac{U}{a(1 - \mu^2)} \frac{\partial q_w}{\partial \lambda} + \frac{V}{a} \frac{\partial q_w}{\partial \mu} + \dot{\eta} \frac{\partial q_w}{\partial \eta} = P_{q_w} + K_{q_w} \quad (2.2.5)$$

Modell der Atmosphäre

... aber näherungsweise Lösung über iteratives
Verfahren auf 3D-Rechengitter



Michael Böttinger, DKRZ

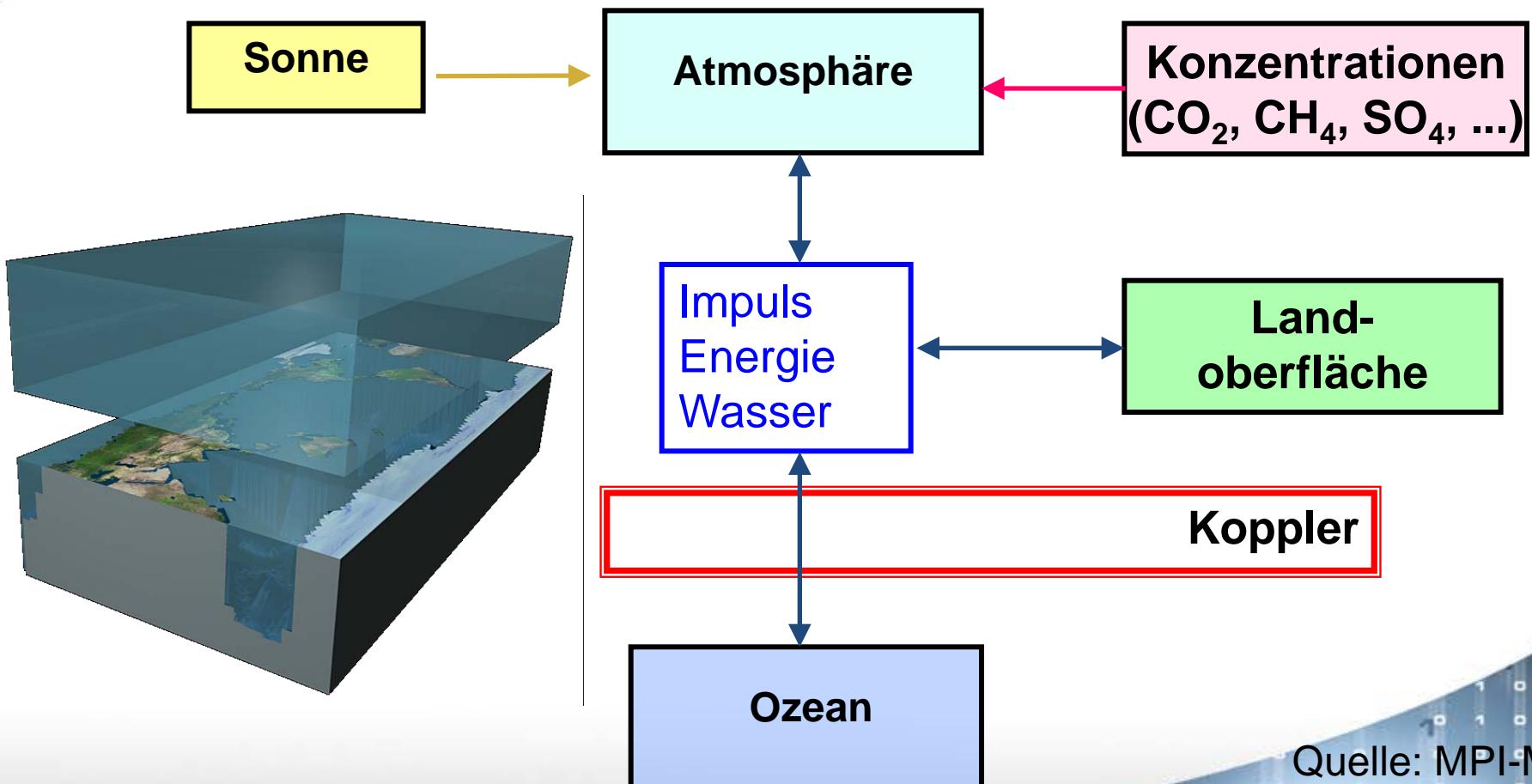
Modell der Atmosphäre

Berechnung der Näherungslösung mit
Computerprogramm

```
summe = 0
do i = 1,10
    summe = summe + i
enddo
print*, summe
```

(natürlich etwas komplizierter als dieses hier)

Klimasystem: Modell (Physik)

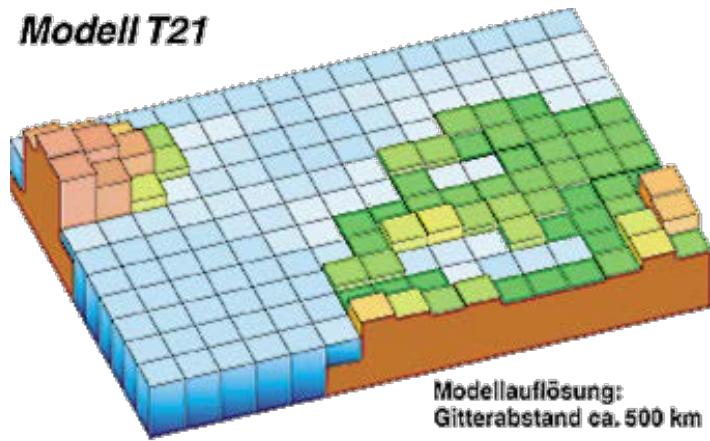


Michael Böttinger, DKRZ

Quelle: MPI-M

Modell-Auflösung

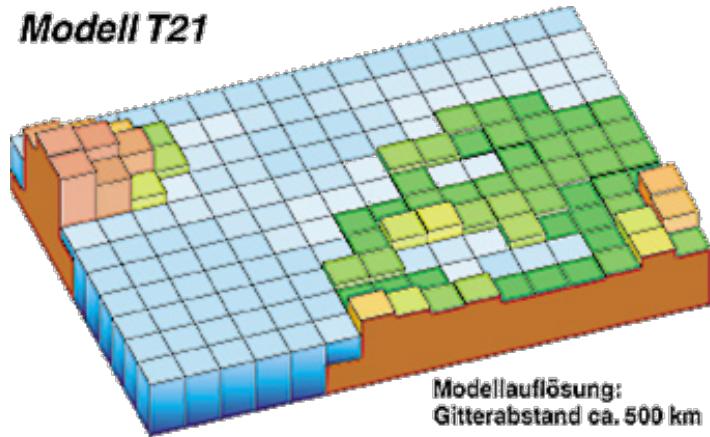
Modell T21



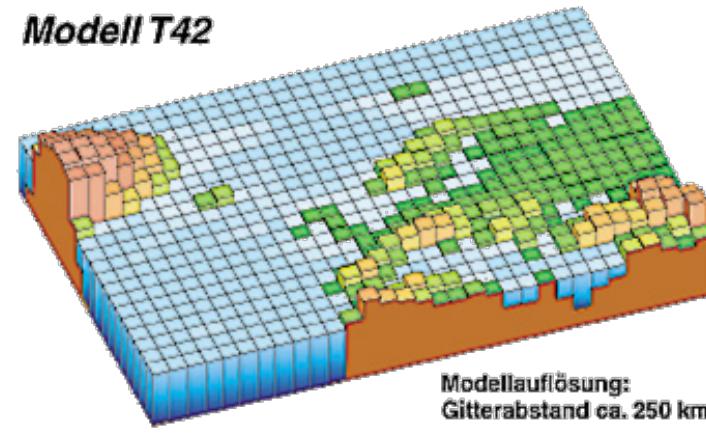
Michael Böttinger, DKRZ

Modell-Auflösung

Modell T21



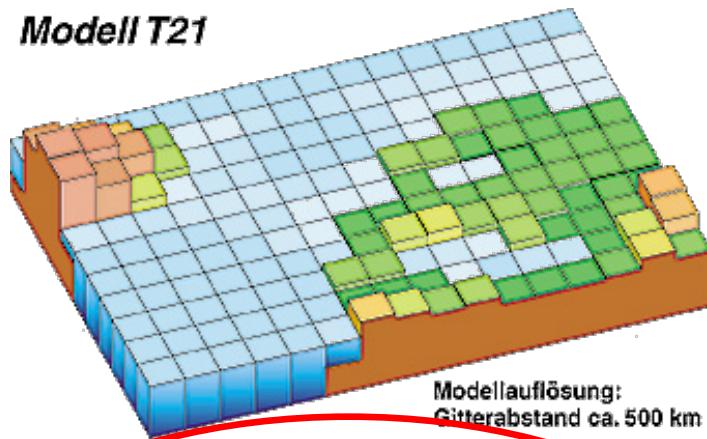
Modell T42



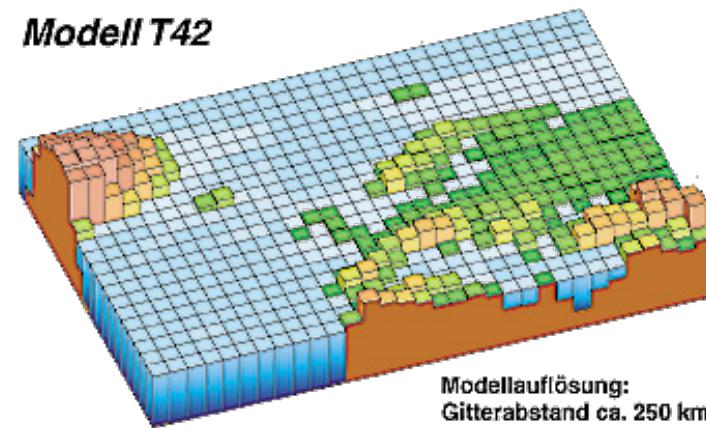
10-fache Rechenzeit!

Modell-Auflösung

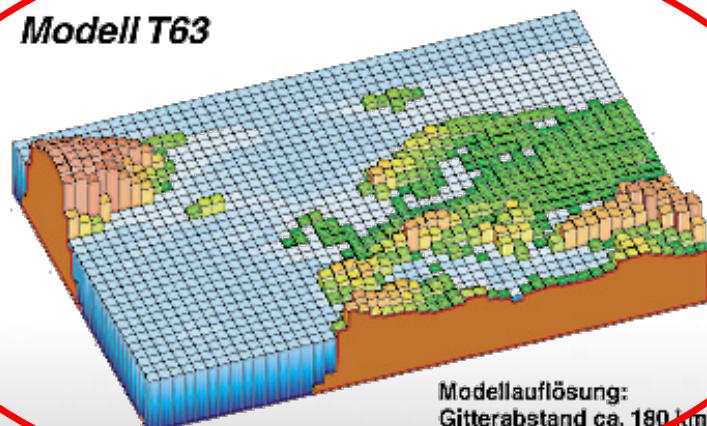
Modell T21



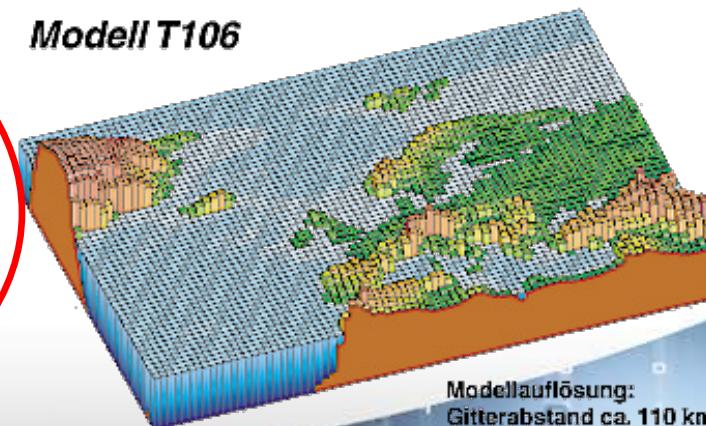
Modell T42



Modell T63



Modell T106

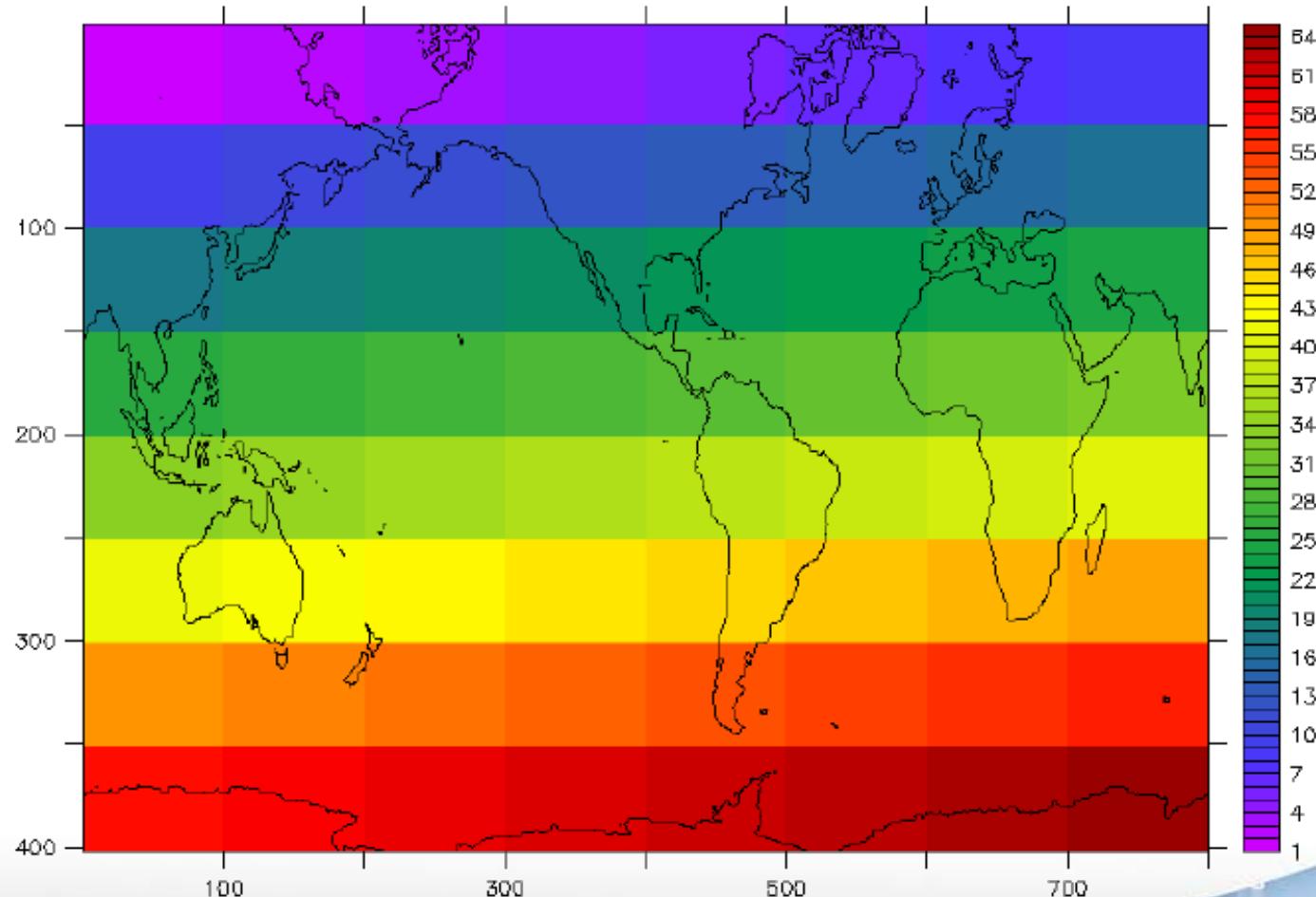


Modellauflösung:
Gitterabstand ca. 180 km

Michael Böttlinger, DKRZ

Modellauflösung:
Gitterabstand ca. 110 km

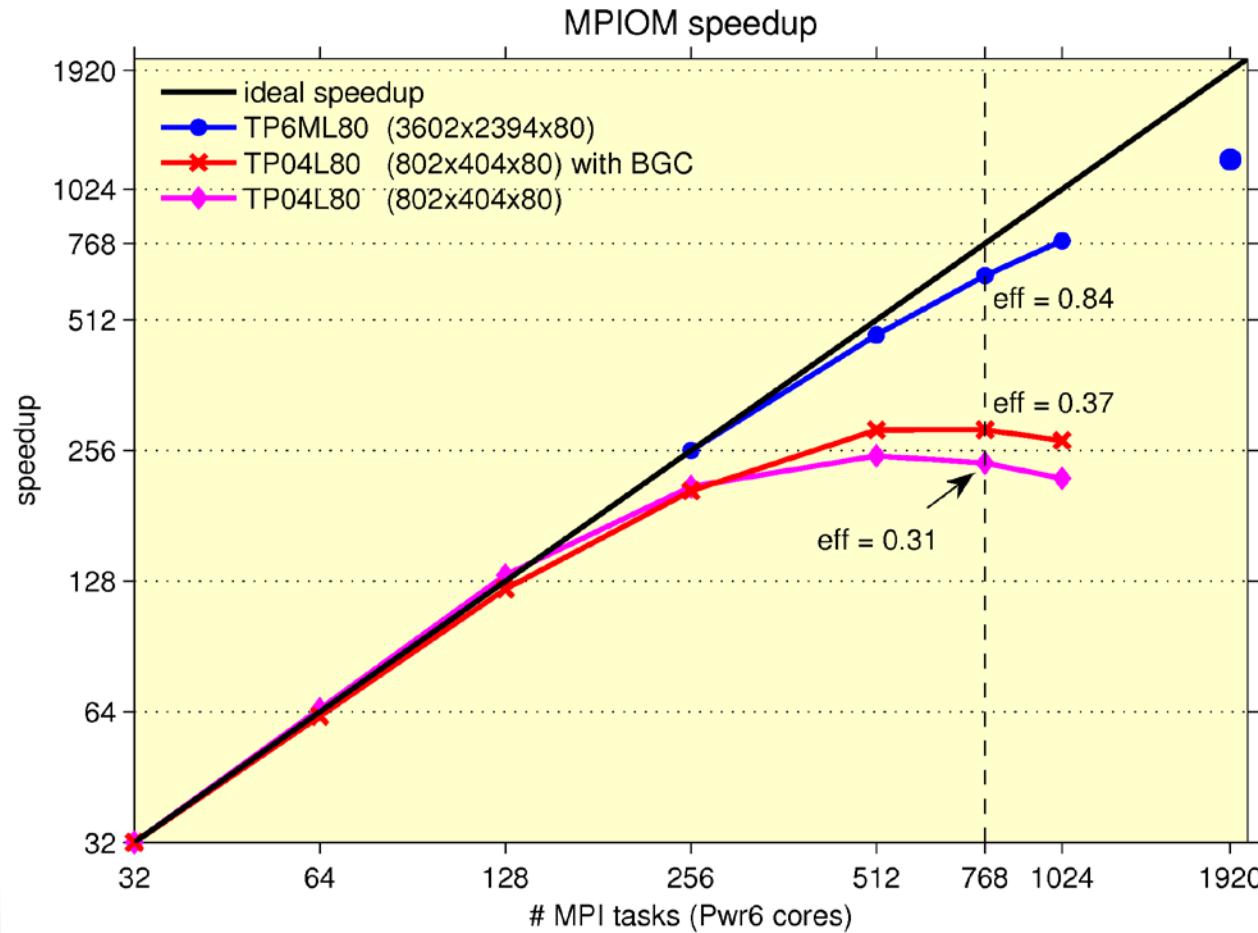
Parallelisierung



8x8

M.Böttger, DKRZ

Skalierung



Das Deutsche Klimarechenzentrum



Michael Böttiger, DKRZ

Organisation

Gesellschafter der DKRZ GmbH:

- MPG: 53% Uni-HH: 27% AWI: 10% HZG: 10%

Kostenverteilung

- Investitionskosten: BMBF
- Betriebskosten: DKRZ-Gesellschafter

Nutzung

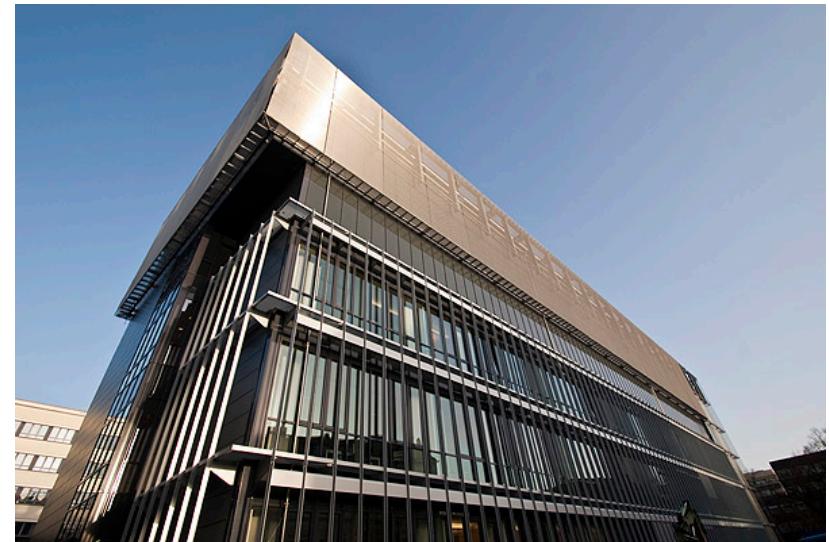
- Gesellschafter: 50 % insgesamt, aufgeteilt in
MPG: 27% Uni-HH: 13% AWI: 5% HZG: 5%
- Erdsystemforschungs-Community 50 % insgesamt, WLA

Michael Böttinger, DKRZ

DKRZ Struktur

> 60 Mitarbeiter:

- ▶ Systeme
- ▶ Anwendungen
 - ▶ Beratung
 - ▶ Programmoptimierung
 - ▶ Parallelisierung
 - ▶ Visualisierung
- ▶ Datenmanagement
- ▶ Verwaltung
- ▶ Uni Forschungsgruppe: Energieeffizienz im Hochleistungsrechnen



Michael Böttinger, DKRZ



Nutzer

+ Wissenschaftler
aus
verschiedenen
europäischen
Instituten

HLRE 2

Das Höchstleistungsrechnersystem für die Erdsystemforschung 2



Michael Böttinger, DKRZ

*“Labor für die
Erdsystem-
forscher”*

*installiert 2009
Kosten: ca. 30 Mio. EUR
Top500: Platz 27 (06/2009)
Platz 368 (06/2013)*

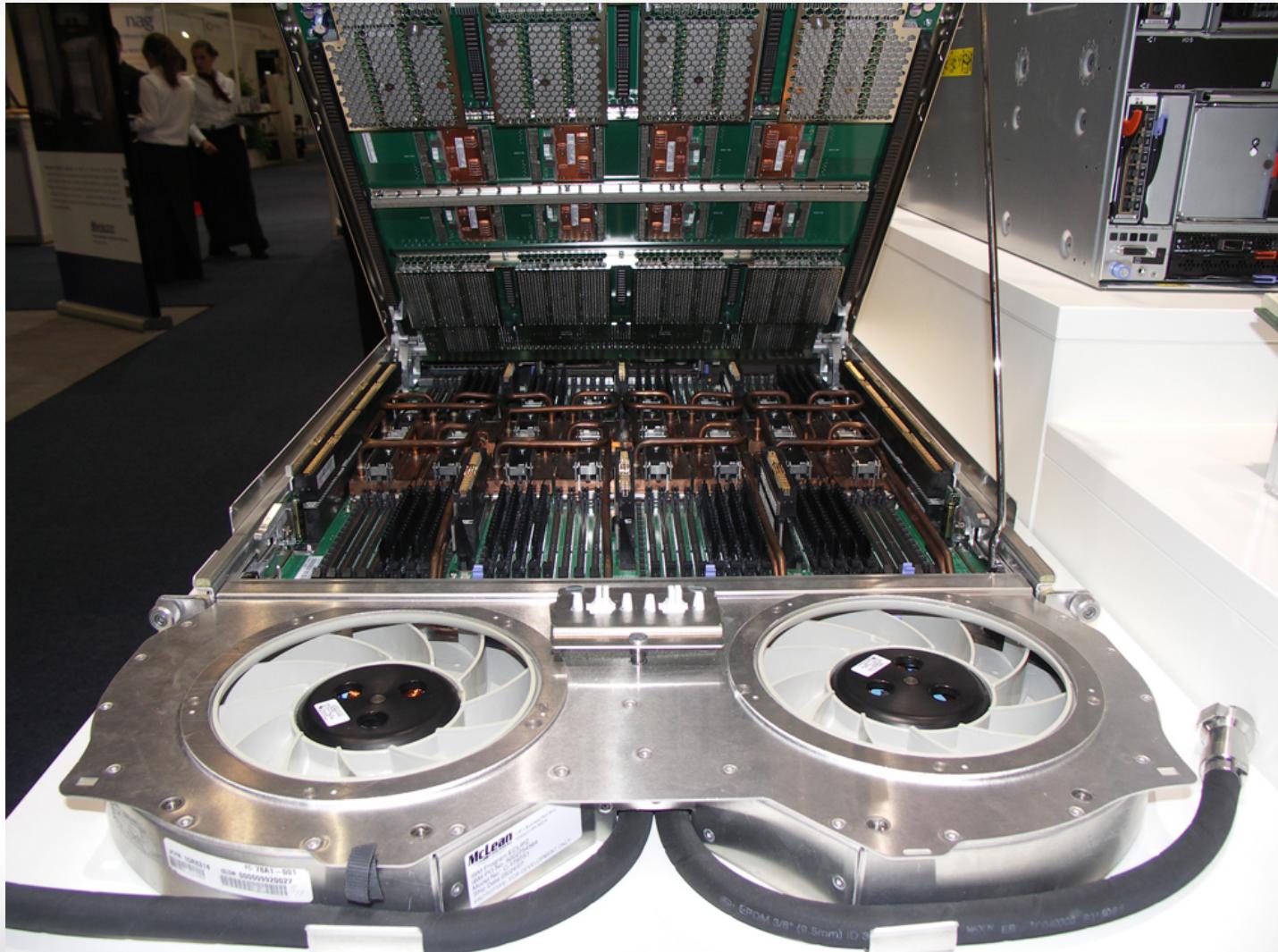
HLRE2
IBM POWER 6
SUPERCOMPUTER
INSTALLATION
AT DKRZ

FEB. 02-06, 2009

Das IBM Power6 System

Processoren , Hauptspeicher	Gesamtsystem
Anzahl von Rechenknoten	264
Anzahl Kerne pro Knoten (SMP)	32
Gesamtanzahl von Rechenkernen	8448
Leistung pro Kern (GFlop/sek)	18,8
Speicher pro Knoten (GByte)	64 / 128
Höchstleistung (TFlop/sec)	~ 158
Hauptspeicher (TByte)	20 TB
Festplatten	6 PetaByte

Ein Knoten der Power6



MICHAEL BOTTLINGER, DKRZ

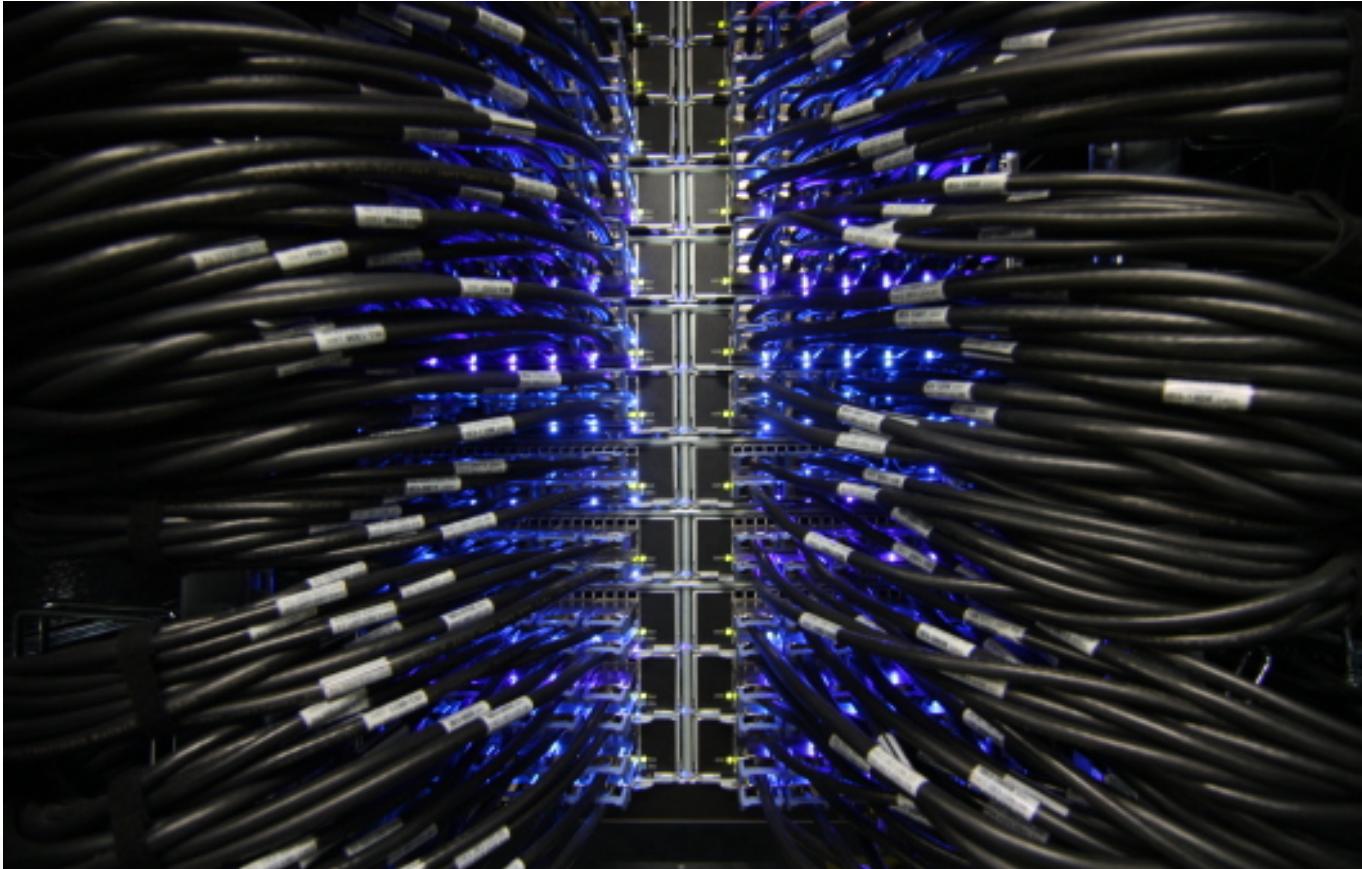
Im Rechnerraum: Unterhalb des Fußbodens

Daten
↑
Strom
↓
Wasser



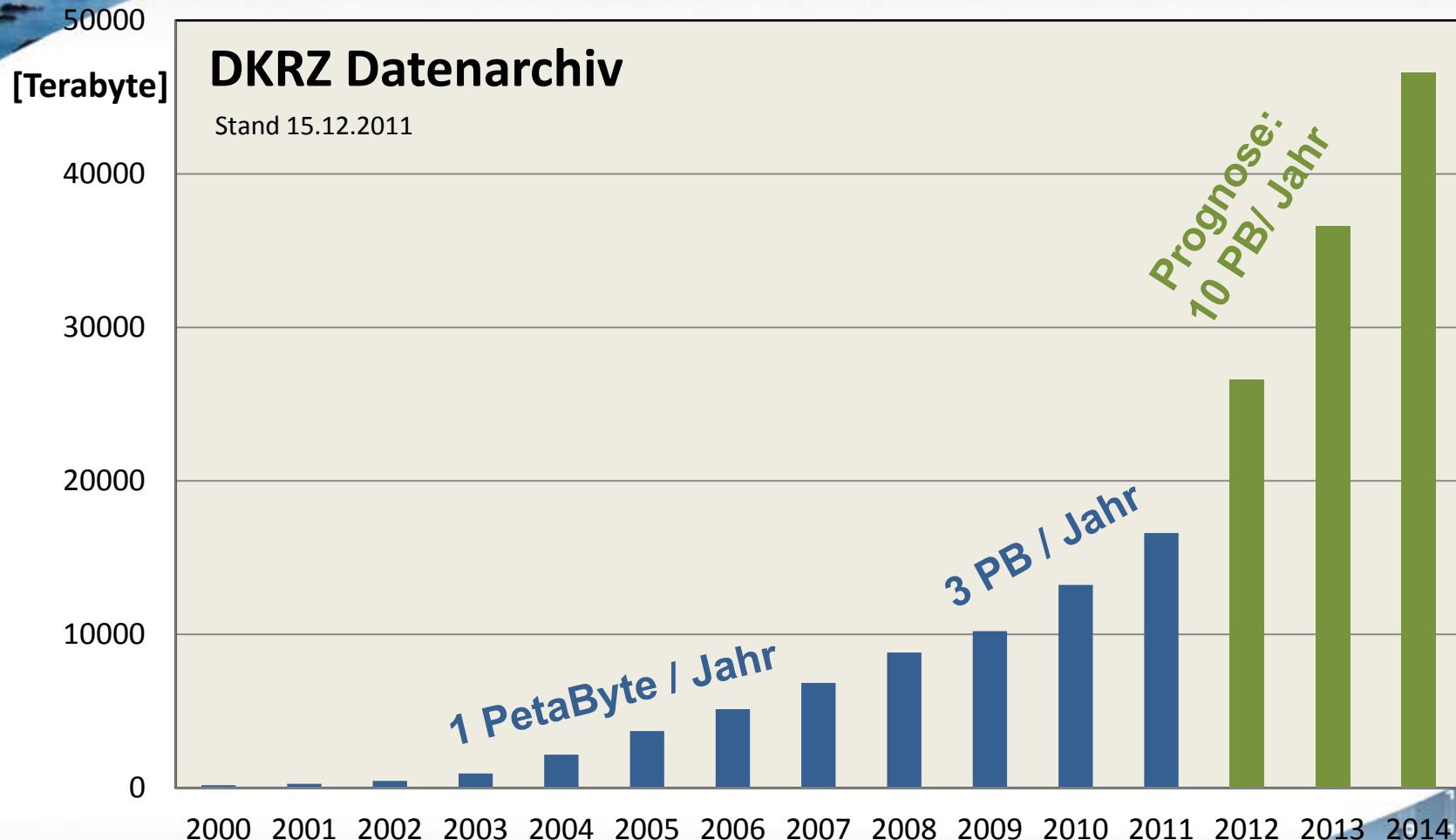
Michael Böttinger, DKRZ

Kommunikation: Infiniband



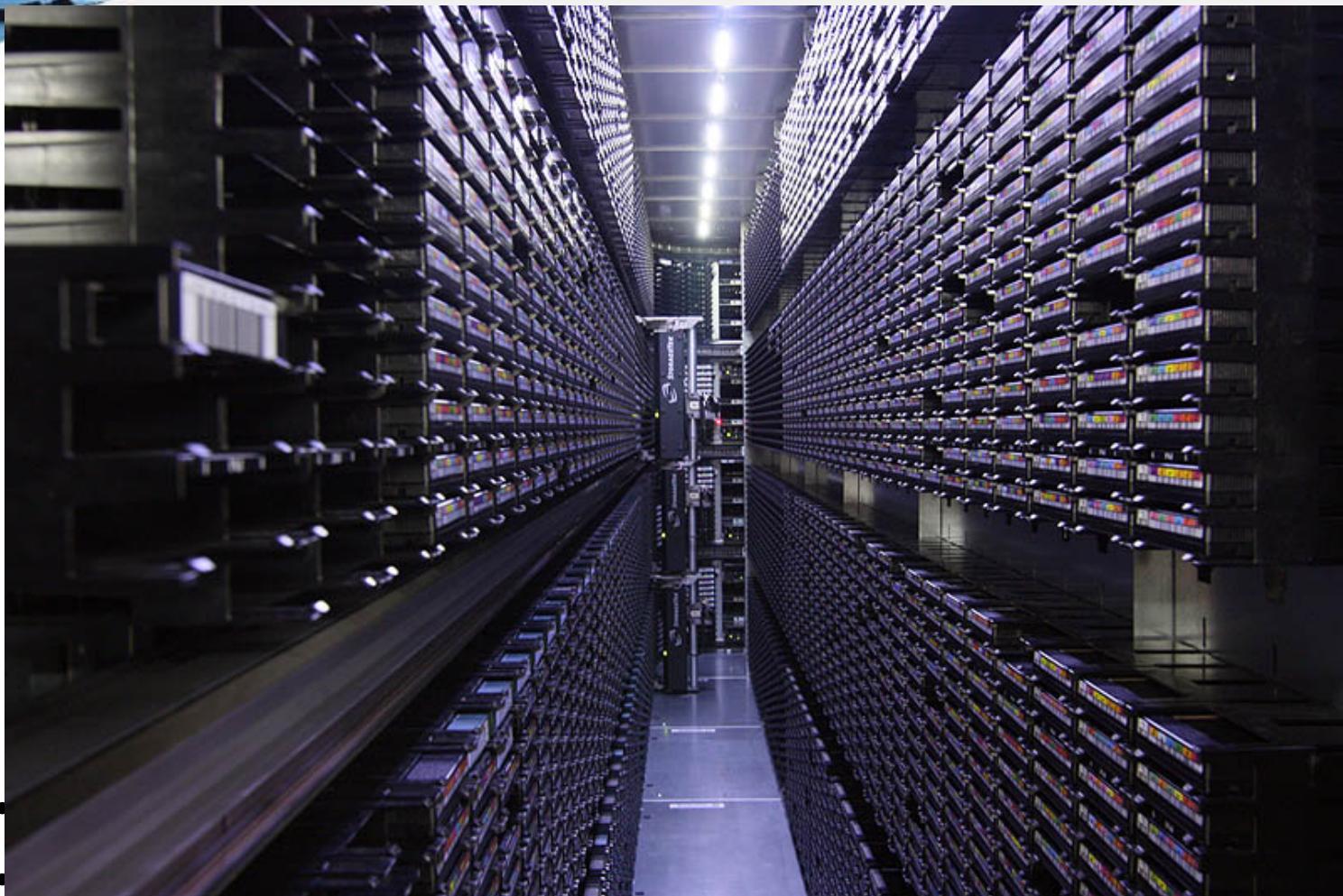
Michael Böttinger, DKRZ

Datenaufkommen am DKRZ



Michael Böttinger, DKRZ

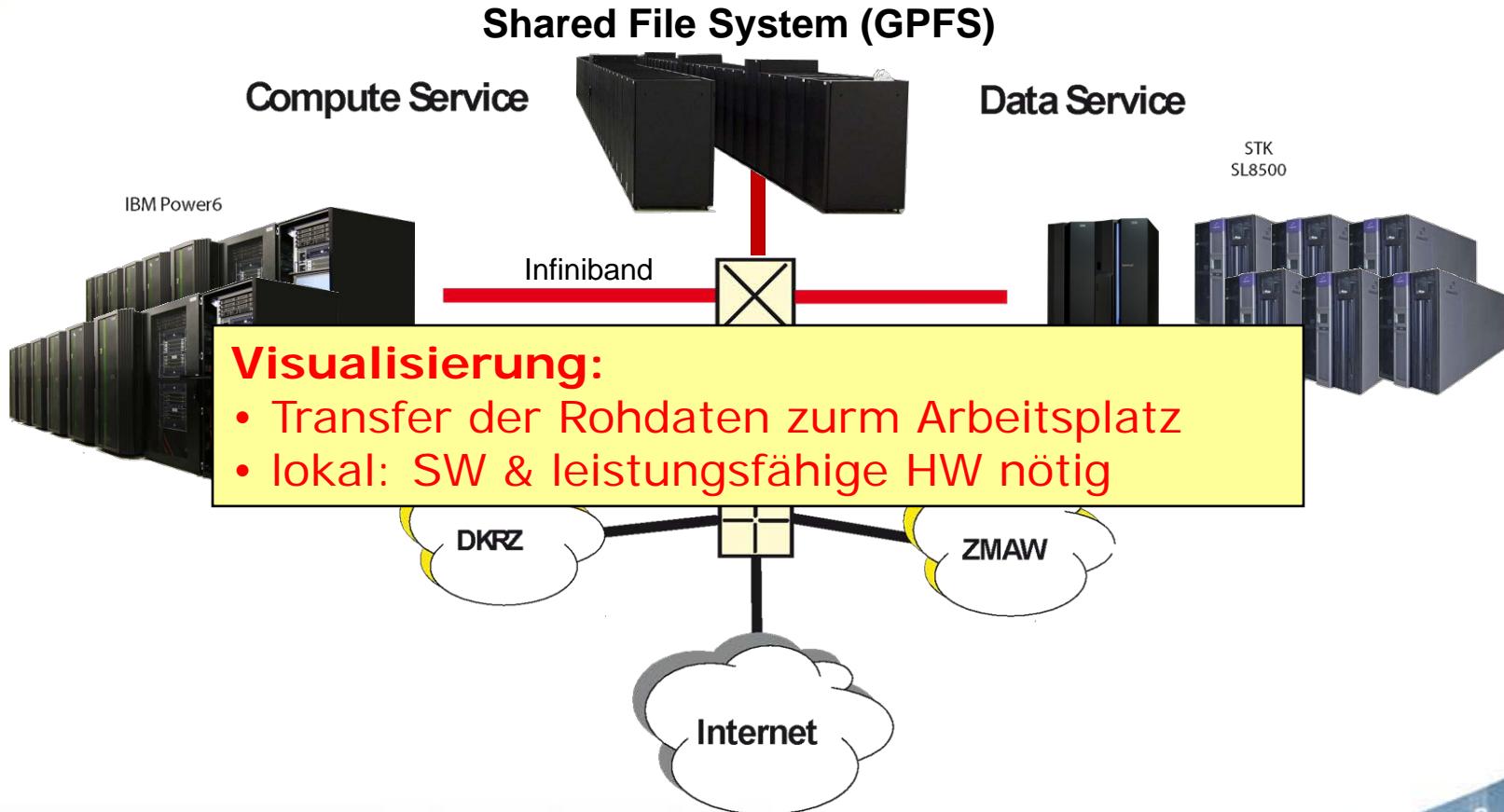
Magnetbandsilo



- 67.000 Medien, entspricht bis zu 100.000 TB bzw. 100 PB

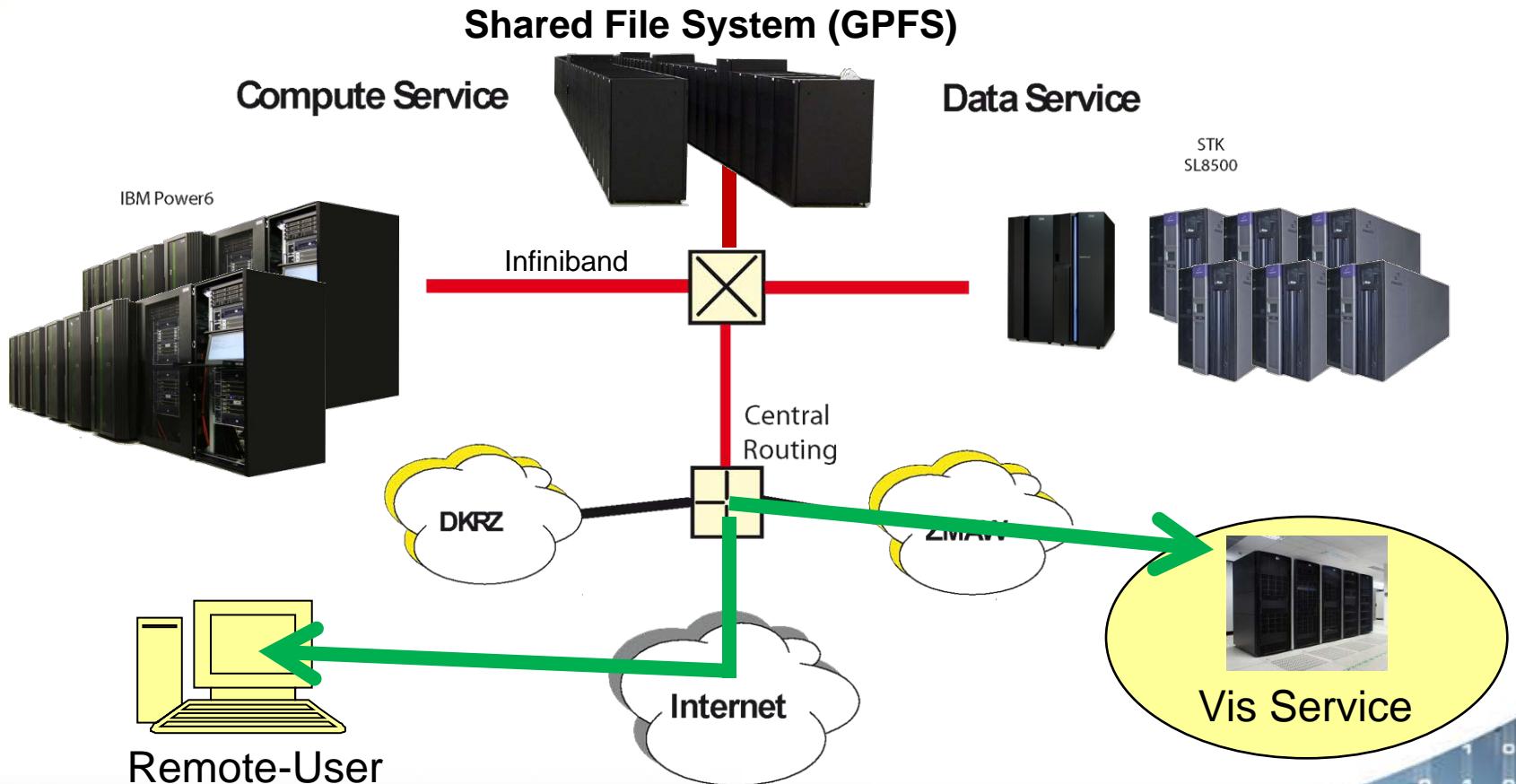
Michael Böttinger, DKRZ

Visualisierung in einer HPC-Umgebung?



Michael Böttinger, DKRZ

Visualisierung in einer HPC-Umgebung?



Michael Böttinger, DKRZ

Visualisierungs-Server

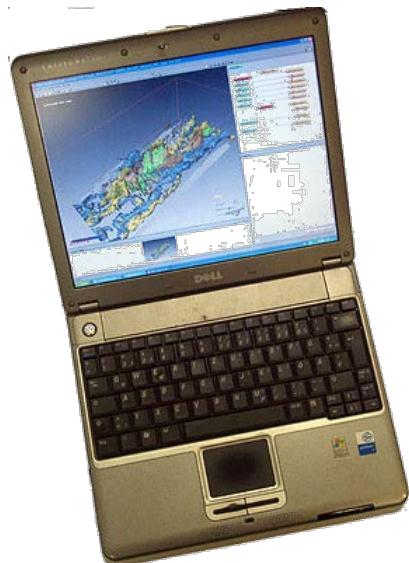
- ▶ 10 Knoten
 - HP, Transtec, Dell
 - 2 CPUs, 2 – 8 Core
 - 32 GB – 256 GB Main Memory
 - Quadro K5000, Quadro 6000, Quadro 5000, NVidia FX5500
- 10 GE Netzwerk
- Remote 3 D-Rendering: TurboVNC/VirtualGL



Remote-3D-Rendering

Lokaler Computer:

- Keyboard / Mouse
- Display
- Remote 3D Client



Software:
Turbo VNC / VirtualGL

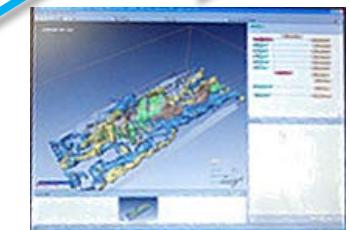
Visualisierungsserver:

- 3-D-Software (OpenGL)
- Remote 3D-Server
- Data



Capture Keyboard / Mouse
Uncompress Image
Display Image

Keyboard / Mouse



Capture Framebuffer
Compress Image
Send Image to Client

Michael Böttinger, DKRZ

Lokale Nutzung: Stereo + VR

Barco „VR-Workroom“

- ▶ 2,90 x 1,63 (16:9)
- ▶ Passives Stereo (Zirkular)
- ▶ 2 Barco ICON H600 (1920x1080, jew. bis 6000 Lumen)
- ▶ ARTtrack 2 optical IR Tracking



SeeReal CN20 Autostereo Displays

- ▶ Vertical Interlacing
- ▶ Setup: Cinerama Desktop
- ▶ 2 Displays mit 20", 1600x1200



Thinklogical DVI/USB Vernetzung

- ▶ Transmitter/Receiver/Martrix
- ▶ LWL

Michael Böttinger, DKRZ

Datenvisualisierung – Anwendungen

Visualisierung als Analyse-Werkzeug

("Interaktive visuelle Datenanalyse")

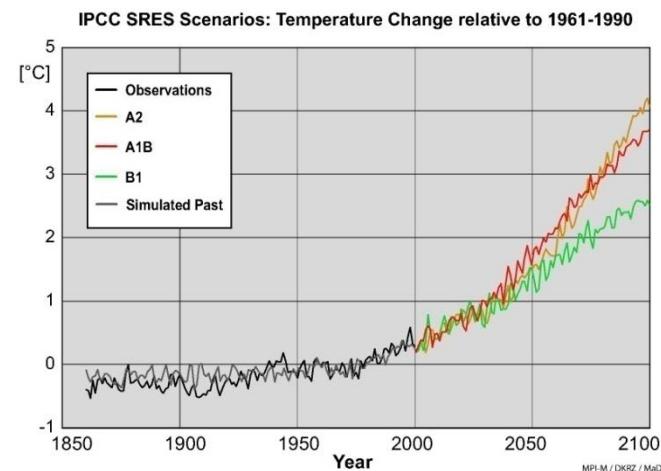
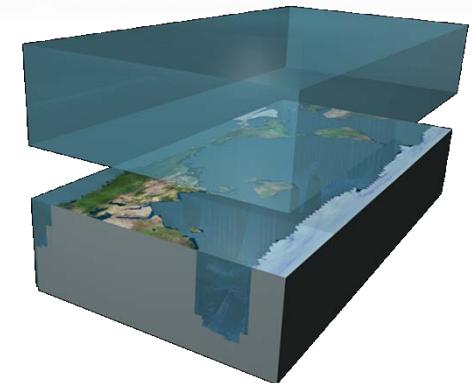
- ▶ Explorieren (unbekannter) Daten
- ▶ Qualitative Analyse

Visualisierung für Präsentationen

- ▶ Visualisierung schon bekannter Vorgänge
- ▶ Medien für Kommunikationszwecke

Visualisierung – Status Quo

- Daten
 - zunehmend groß
 - 3D + zeitabhängig + multivariat (+ Ensembles)
- Visualisierung (üblich)
 - 1D oder 2D-Methoden
 - Batch oder Script basiert
 - lokale Workstation oder über X11
 - -> angemessen für viele Fragestellungen
- Interaktive 3D Visualisierung ...



Datenstrukturen und Formate

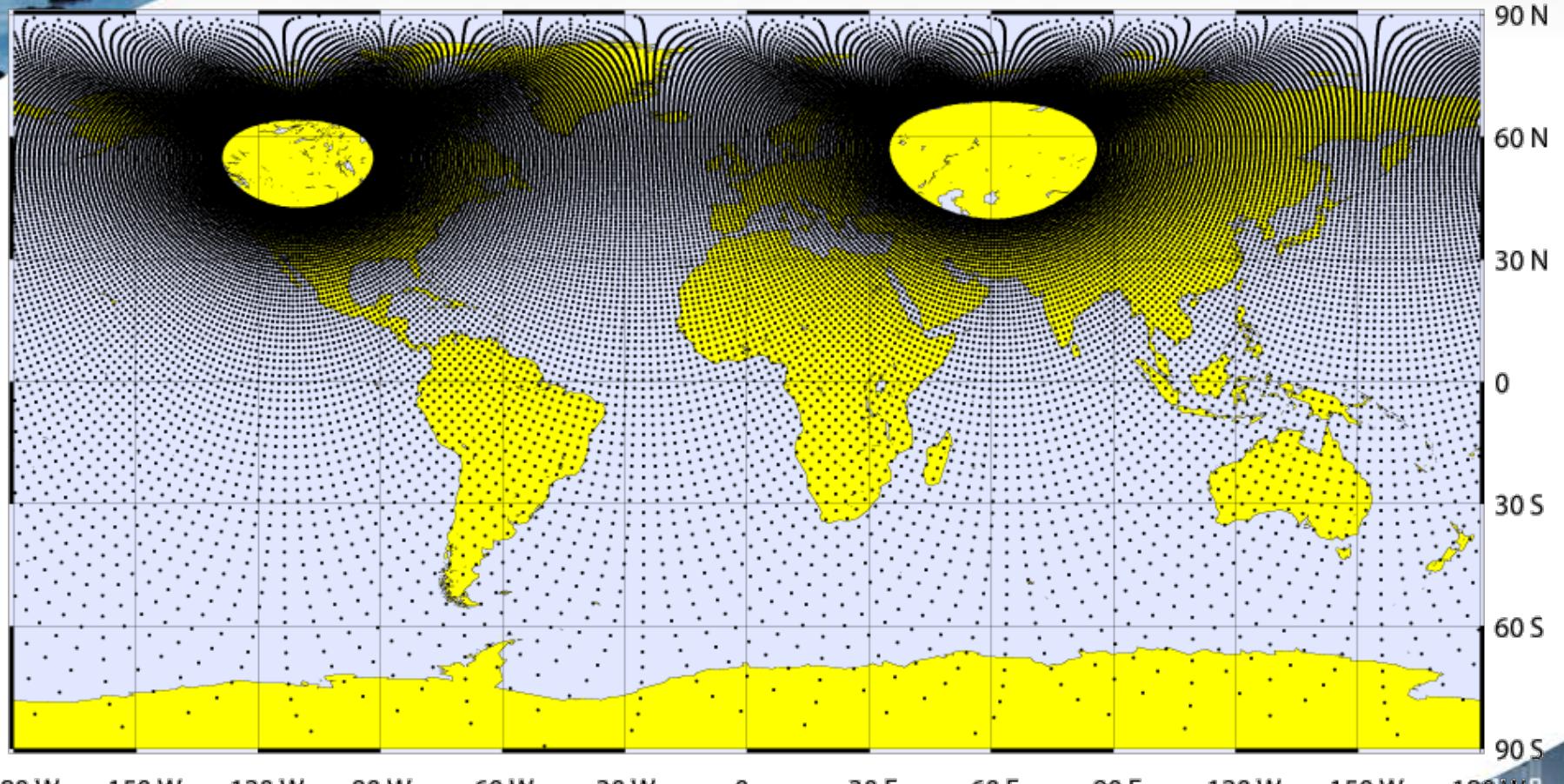
► Formate: GRIB, **netCDF**, IEEE binary

- *Konventionen* für Metadaten (z.B. NetCDF/**CF-1.0**)
- (NetCDF3 → NetCDF4/HDF)

► Andere spezifische Eigenschaften

- Geographisches Mapping
- *Special Values* (Ausmaskieren von Gitterelementen ohne gültige Werte)

Modellgitter

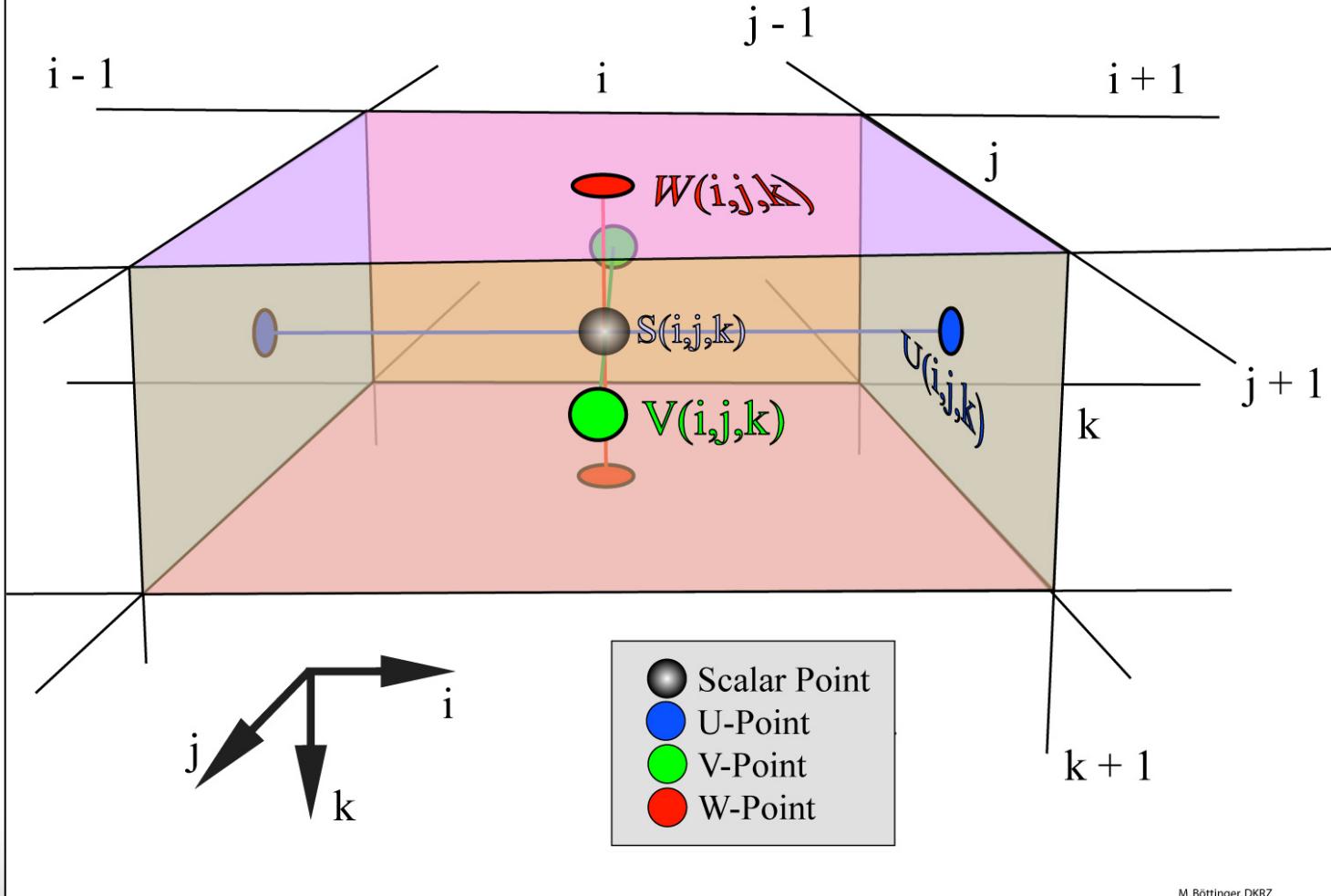


Beispiel: krummliniges 302x132 Gitter des HOPE-C Ozeanmodells.

Michael Böttinger, DKRZ

Krummlinige Modellgitter

MPI-OM - Grid-Definition for Scalar and Vector Quantities

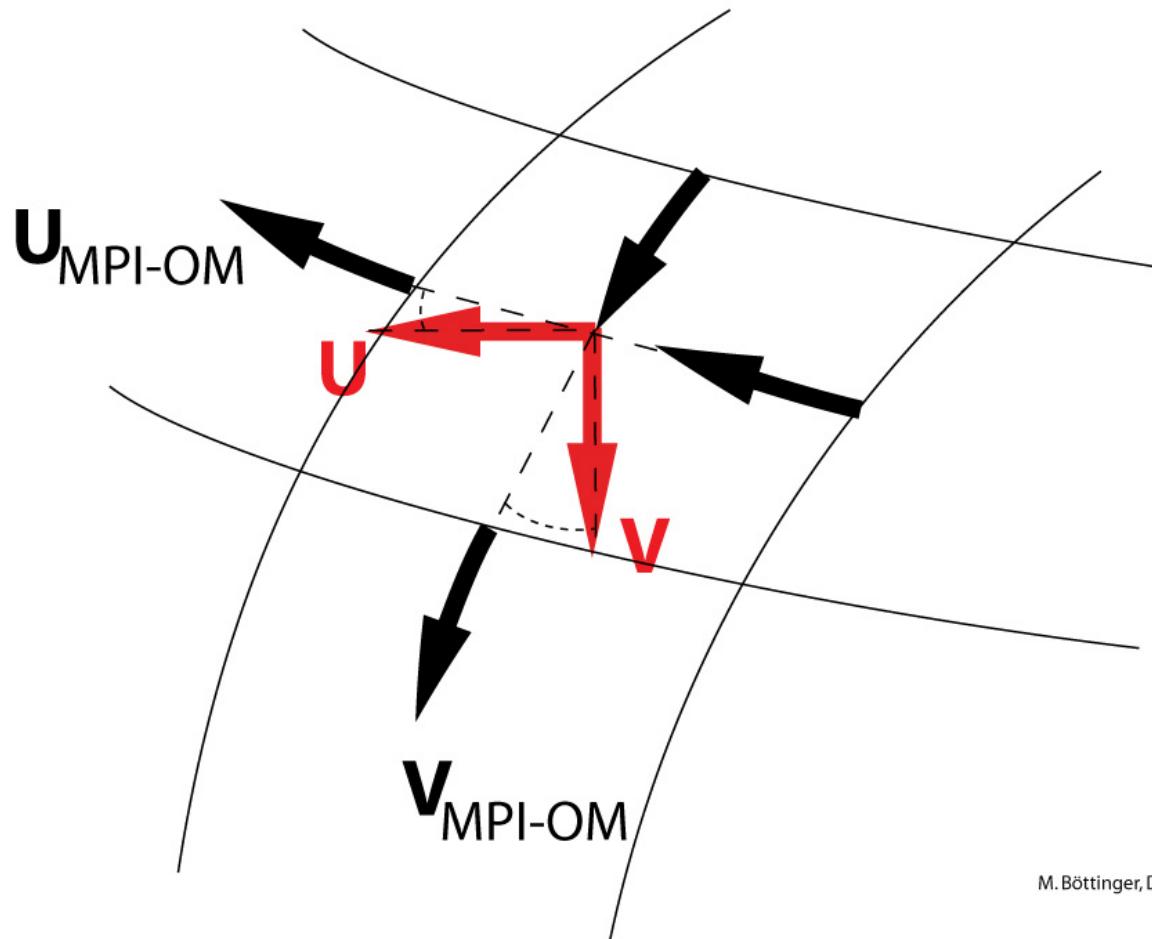


Michael Böttlinger, DKRZ

M. Böttlinger, DKRZ

Krummlinige Modellgitter

Rotation and Interpolation of horizontal Velocity Vectors



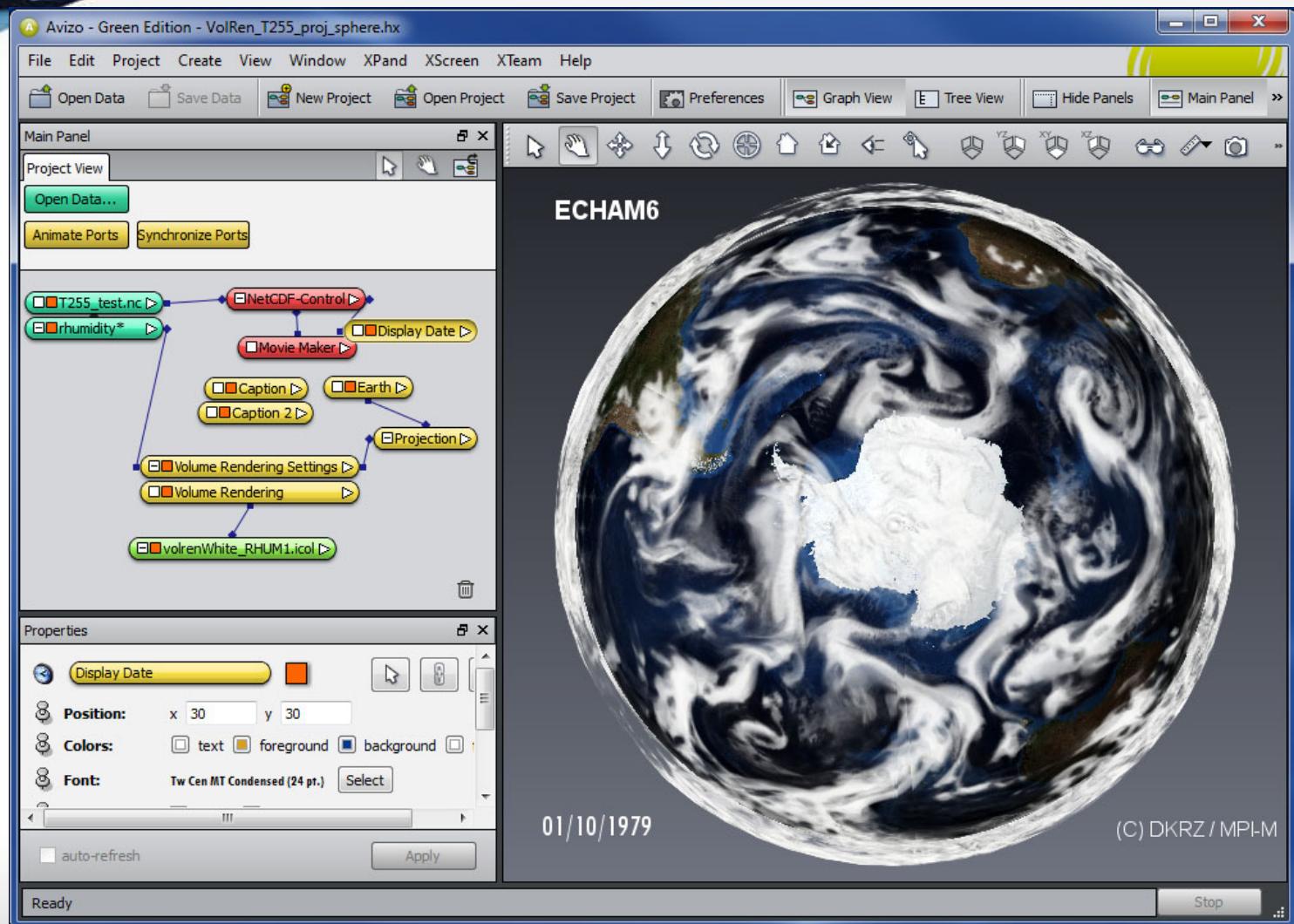
M. Böttlinger, DKRZ

Michael Böttlinger, DKRZ

Visualisierungs-Software

Categorie	Typ	Name	URL	Features
Programming- and Scripting languages for analysis	\$\$ \$\$ \$\$ free	Matlab IDL Mathematica R	www.mathworks.de/products/matlab www.exelisvis.com www.wolfram.com/mathematica www.r-project.org	Simulation + Gfx 2D+ scripting Simulation + Gfx Statistik, 2D script
Domain specific Visualization Software	frei frei frei frei frei frei frei	Ferret GrADS Vis5D+ GMT ODV IDV NCL	ferret.wrc.noaa.gov/Ferret www.iges.org/grads vis5d.sourceforge.net gmt.soest.hawaii.edu odv.awi-bremerhaven.de/ www.unidata.ucar.edu/software/idv www.ncl.ucar.edu/	2D script based 2D script based 3D interactive (old) 2D script based 2D script based 3D interactive 2D script based
3D Visualization Systems	\$\$ frei \$\$ frei \$\$ frei	Avizo OpenDX AVS/Express Paraview SimVis VisIt	www.vsg3d.com/products/avizo.asp www.opendx.org www.avs.com www.paraview.org http://www.simvis.at wci.llnl.gov/codes/visit	Climate Extensions 3D, alt climate features 3D GUI, parallel 3D/2D -> multivariate 3D, parallel

3D Visualization Software: Avizo Green



Avizo Green

Domänenspezifische Features in Avizo

▶ NetCDF CF-1.0 Reader

- Unterstützt reguläre, rektilineare, rotierte und gekrümmte Gitter
- Unterstützung "großer" Datensätze: Streaming für zeitabhängige Daten
- Hauptspeicher-Caching

▶ Geographische Projektionen

- Zylindrisch Äquidistant, Spherisch, Mollweide u.v.a.m.

▶ „Earth“ Modul

- Texturen, 3 Detaillierungsgrade
- Topographie / Bathymetrie
- Kontinente und politische Grenzen

Michael Böttinger, DKRZ



Rechnungen für CMIP5 / IPCC AR5

- ▶ Simulationen 2010/2011
- ▶ Erdsystem: Landbiosphäre, Ozean-Biogeochemie
- ▶ Rechenaufwand Faktor 60 gegenüber IPCC AR4
- ▶ 13 000 simulierte Modelljahre
- ▶ Ergebnisse: 650 TeraByte -> 60 Terabyte ESG

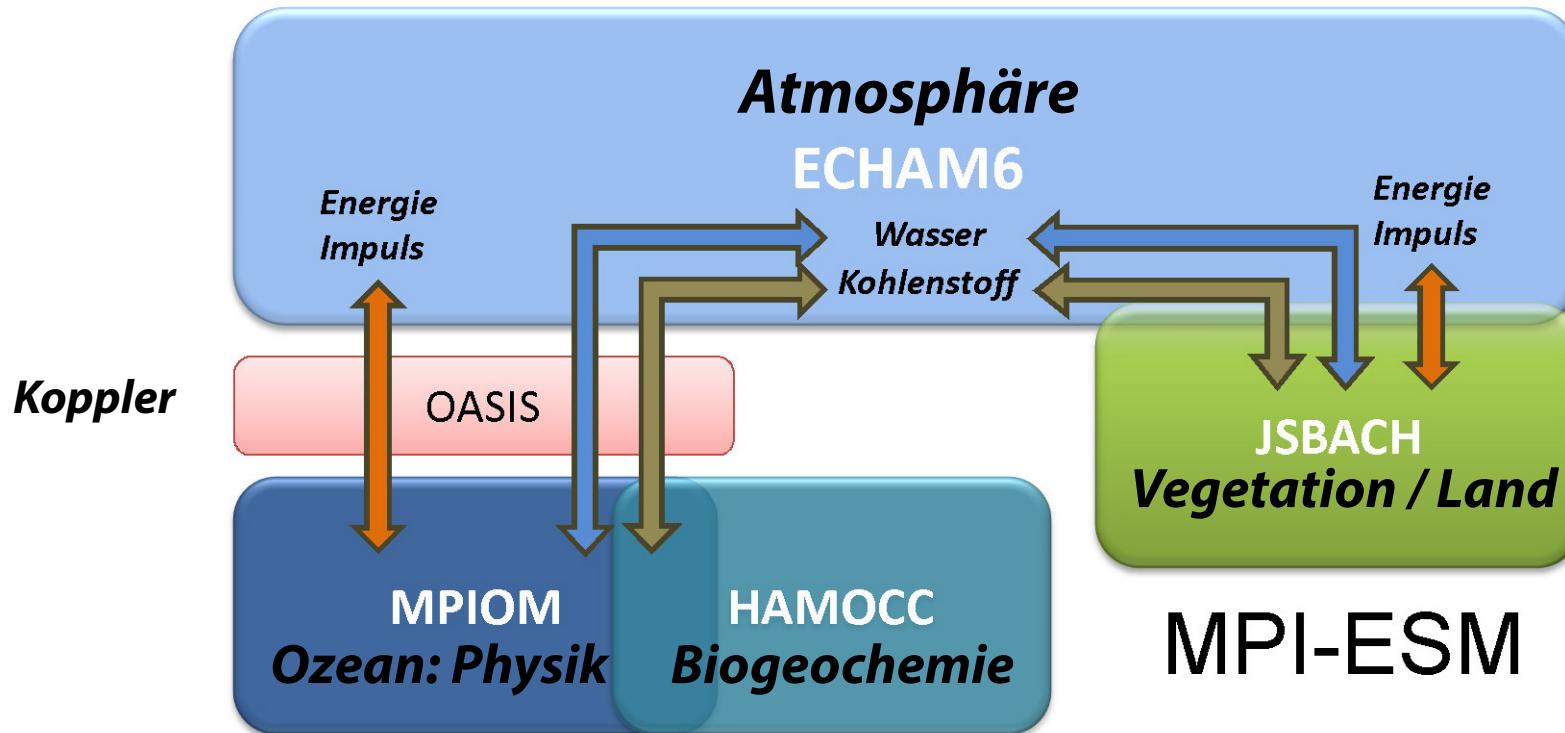


Max-Planck-Institut
für Meteorologie



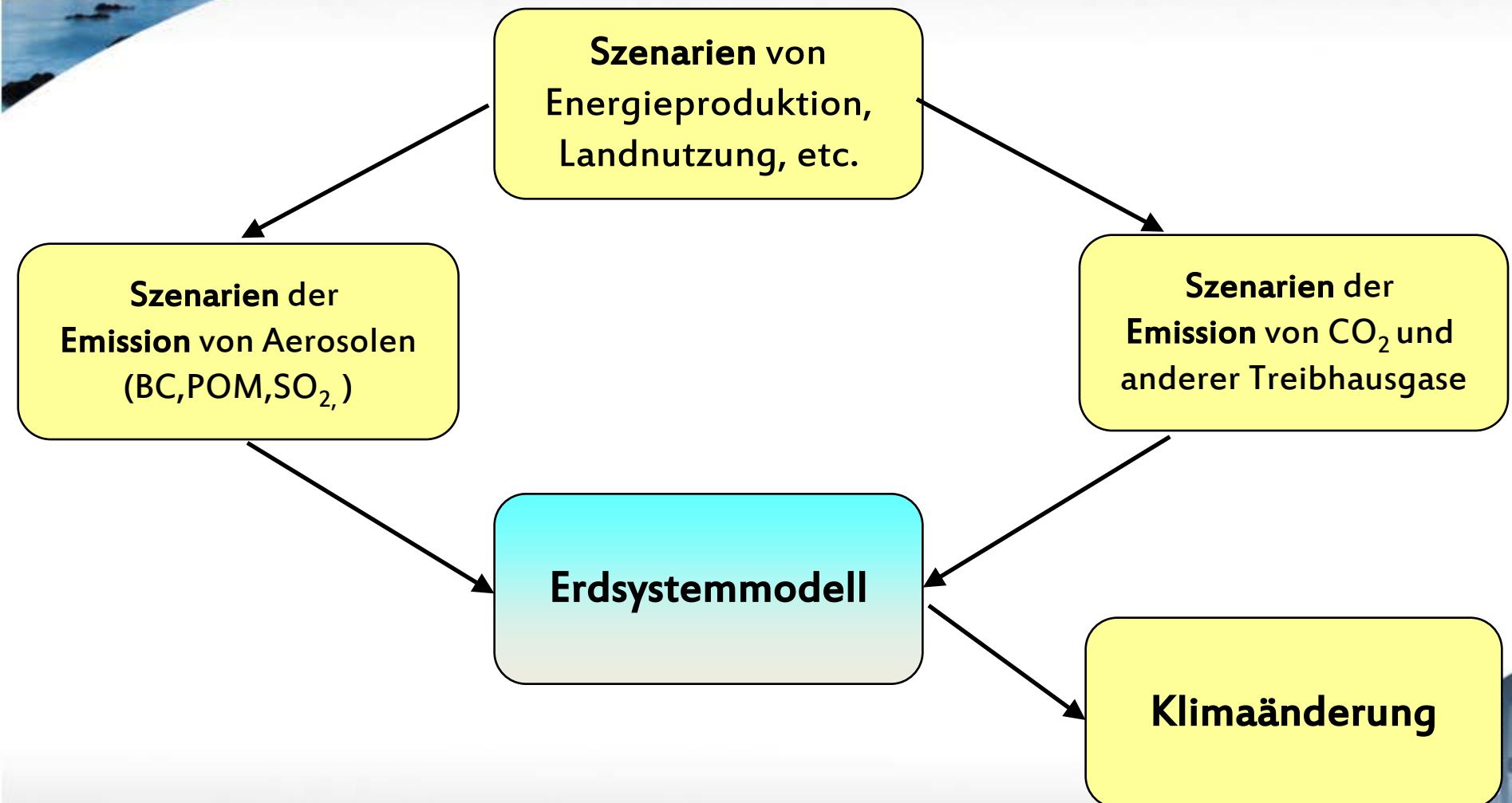
Michael Böttinger, DKRZ

Erdsystem-Modell



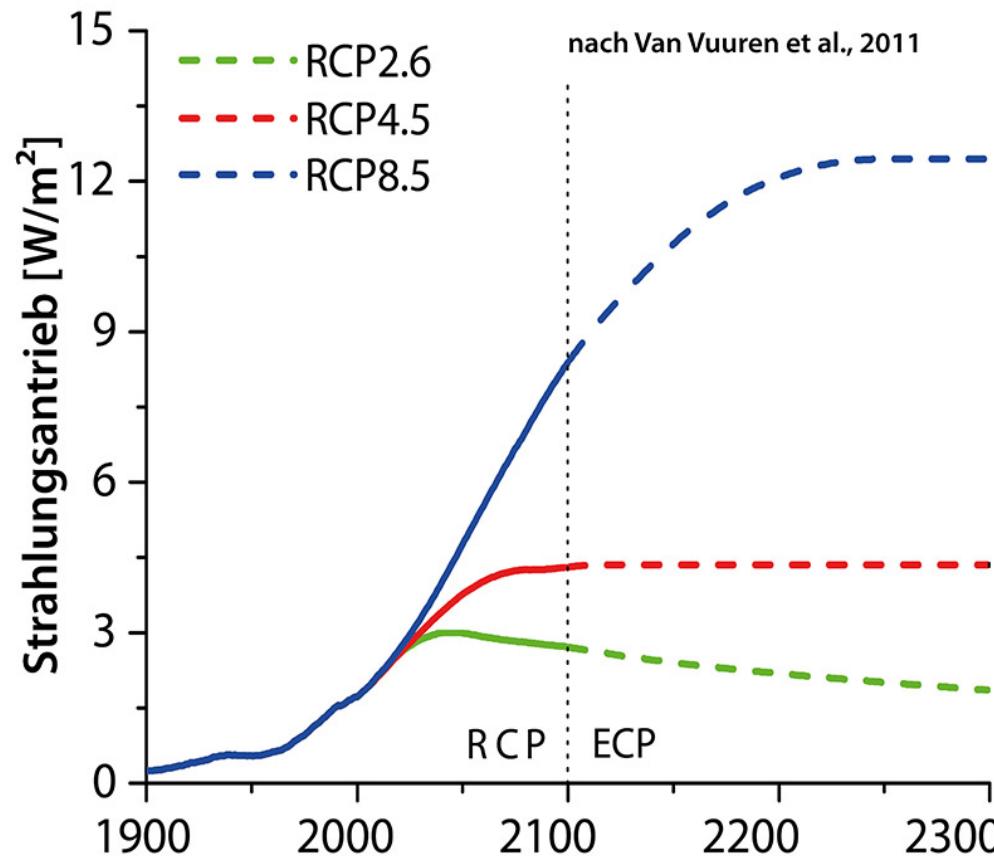
Michael Böttinger, DKRZ

Von Szenarien zur Klimaprognose



IPCC-AR5 Rechnungen Einführung: RCP-Szenarien

RCP = Representative Concentration Pathways

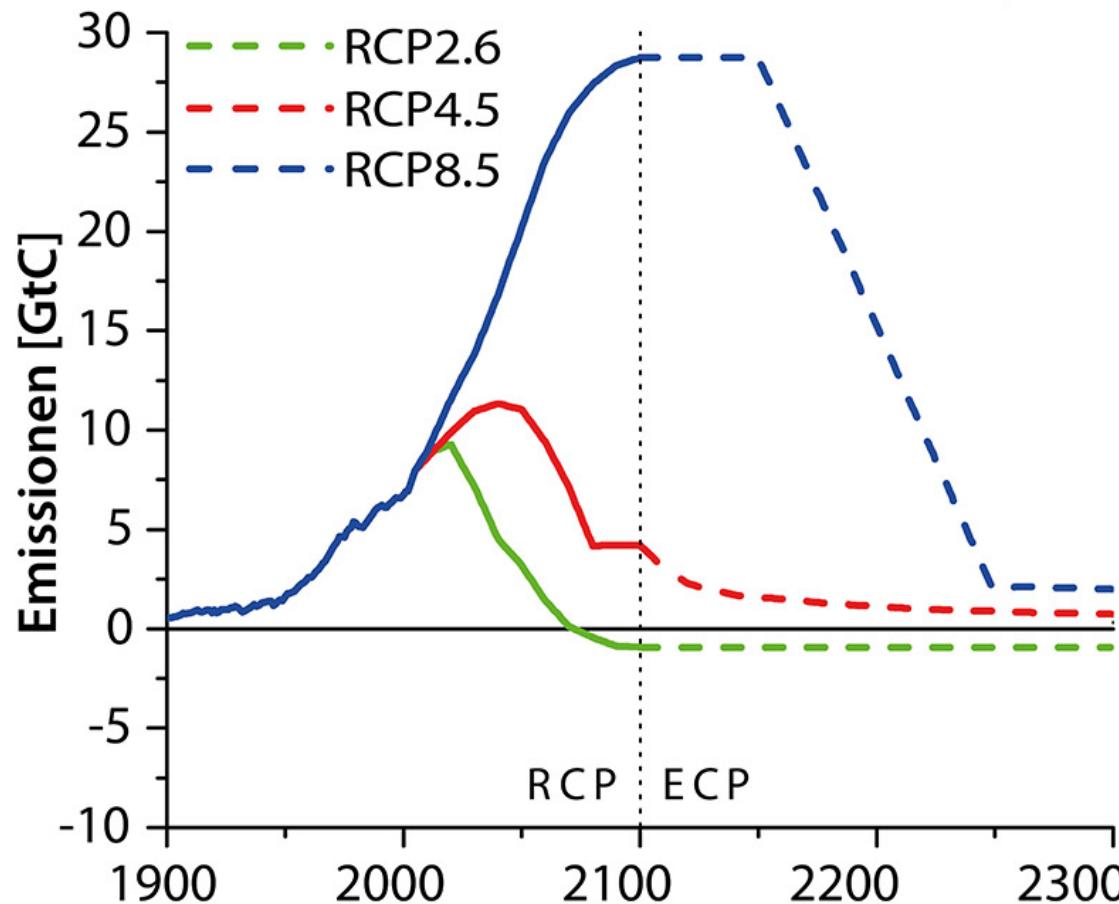


Michael Böttinger, DKRZ

IPCC-AR5 Rechnungen

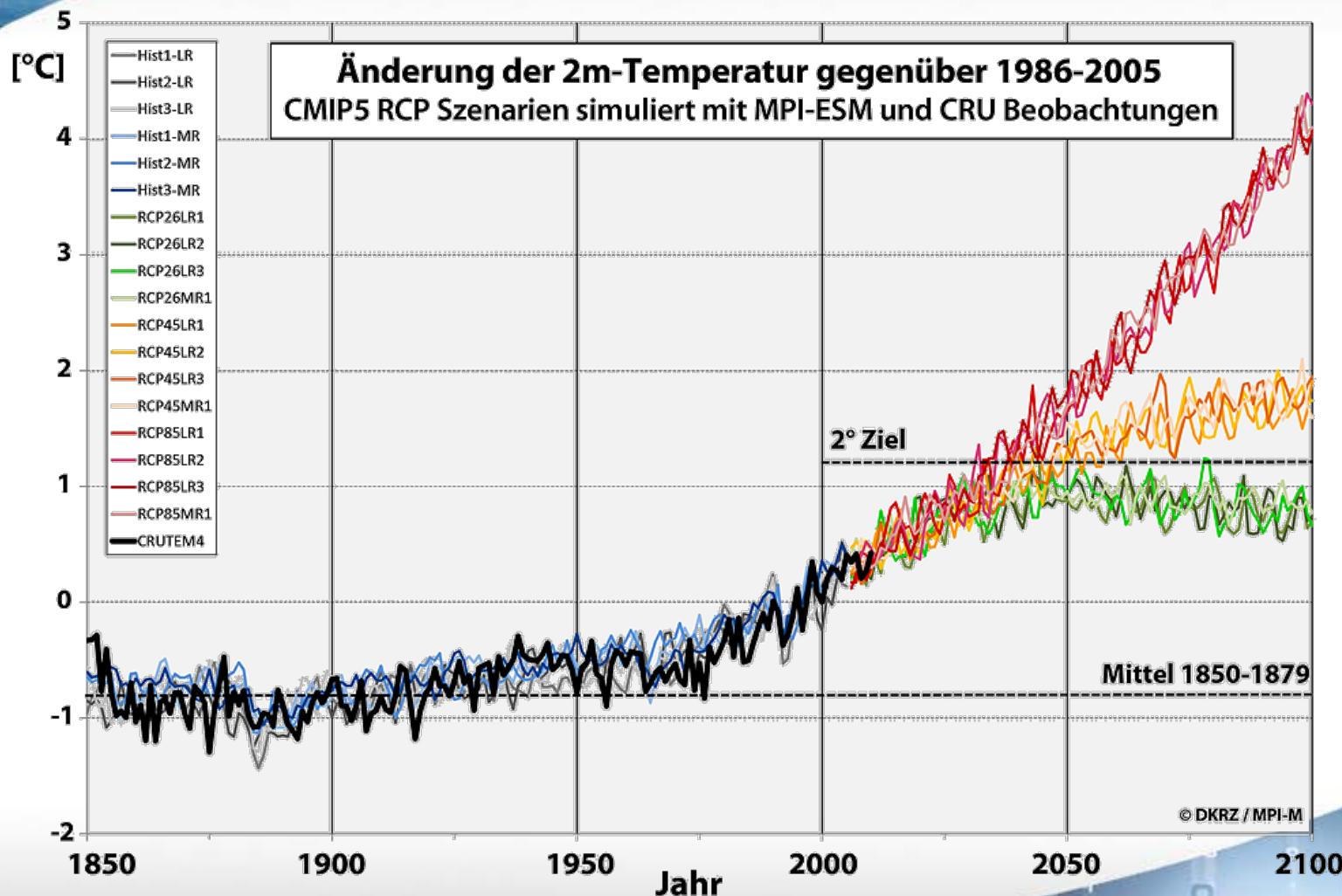
Einführung: RCP-Szenarien

nach Van Vuuren et al., 2011



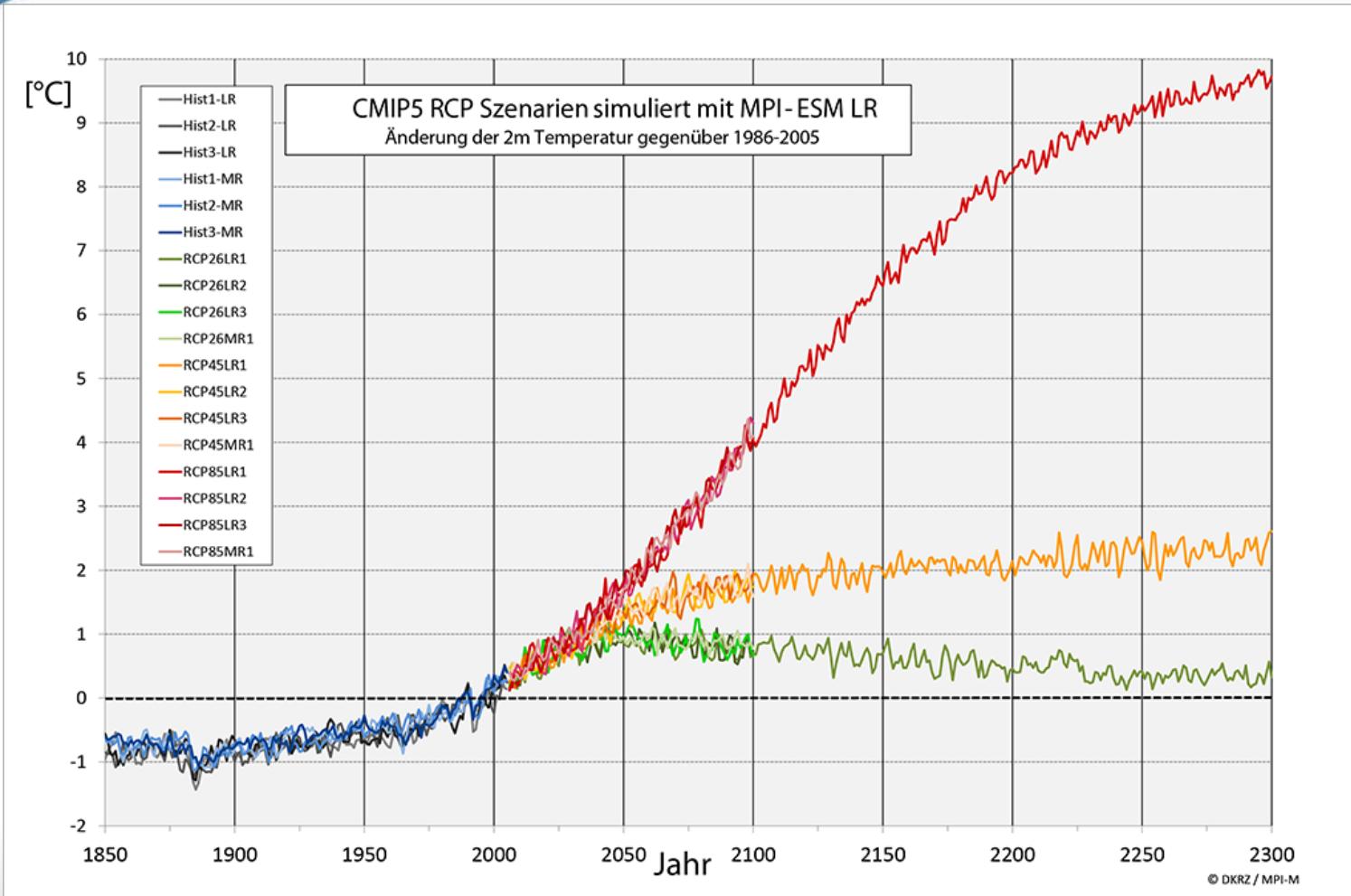
Michael Böttinger, DKRZ

IPCC-AR5 Rechnungen Temperatur-Änderungen



Michael Böttinger, DKRZ

IPCC-AR5 Rechnungen Temperatur-Änderungen



Michael Böttinger, DKRZ

RCP 2.6

Temperature Change
10 year running
ensemble
mean

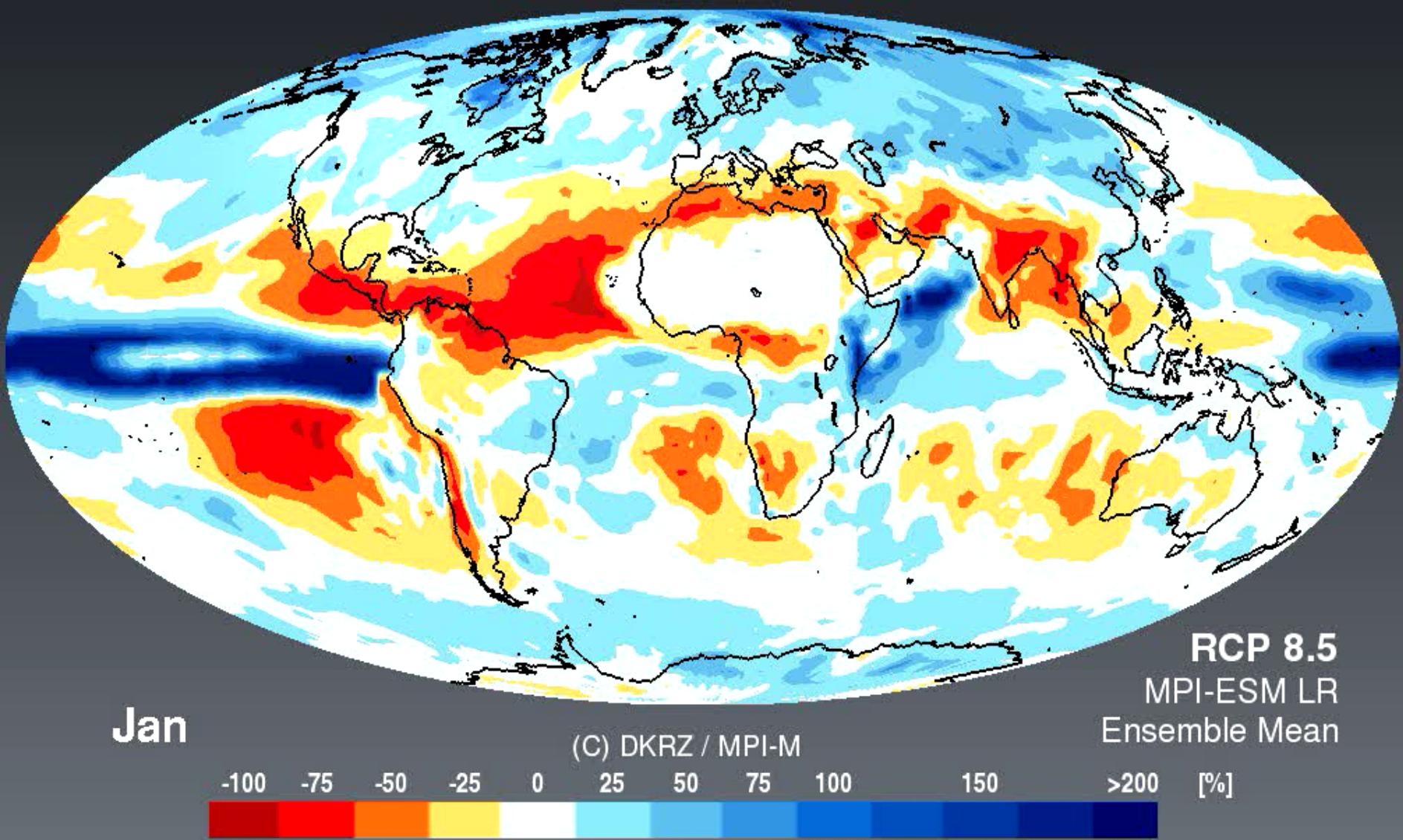
RCP 8.5

MPI-ESM LR
1985

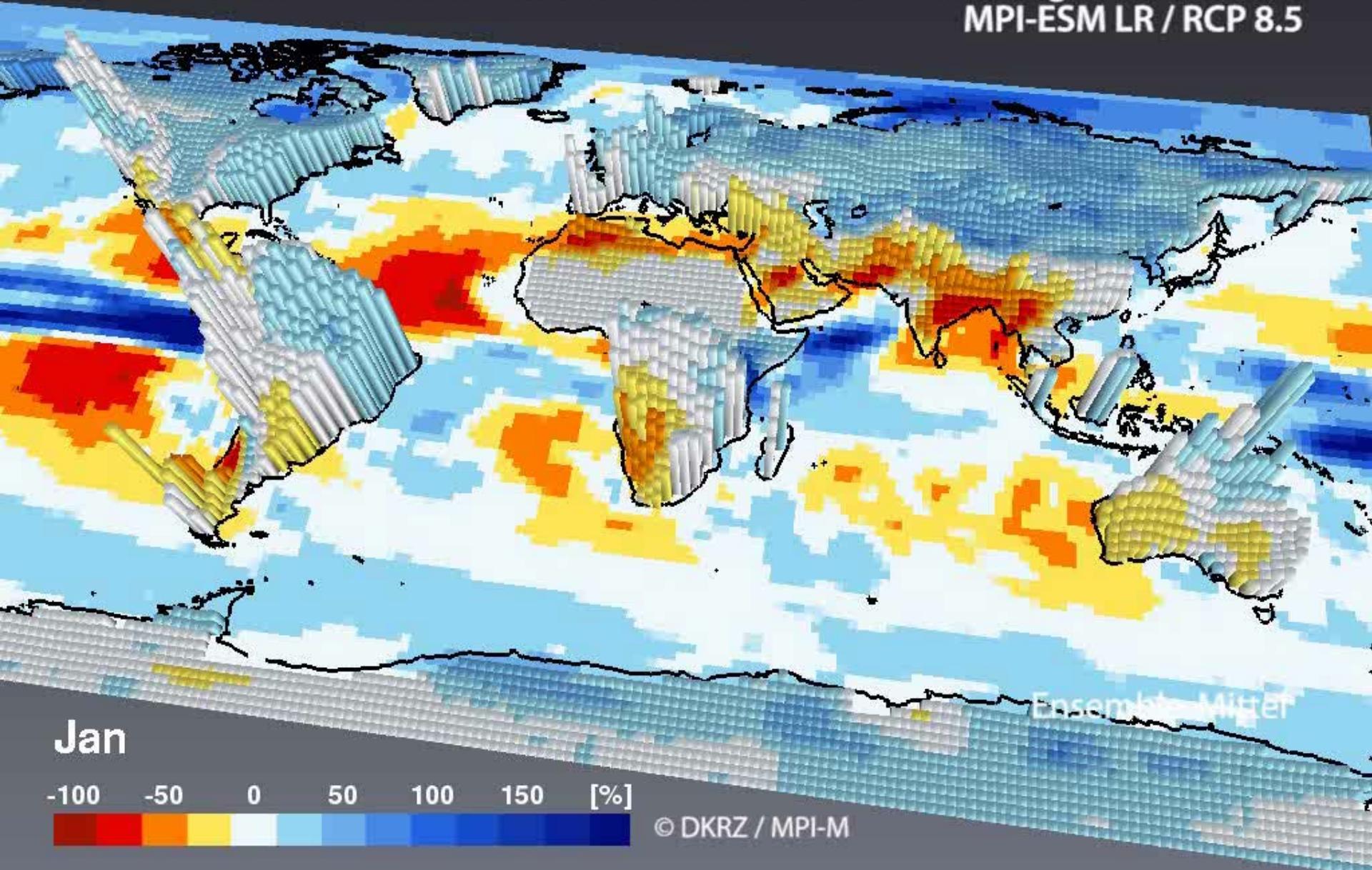


© DKRZ / MPI-M

Change in Precipitation for 2071-2100 relative to 1986-2005



Farbe: Prozentuale Niederschlagsänderung 2071-2100 gegenüber 1986-2005
Höhe: Simulierter mittlerer monatlicher Niederschlag für 1986-2005
MPI-ESM LR / RCP 8.5



Meereis-Konzentration

September

März

1975

MPI-ESM LR

RCP 2.6

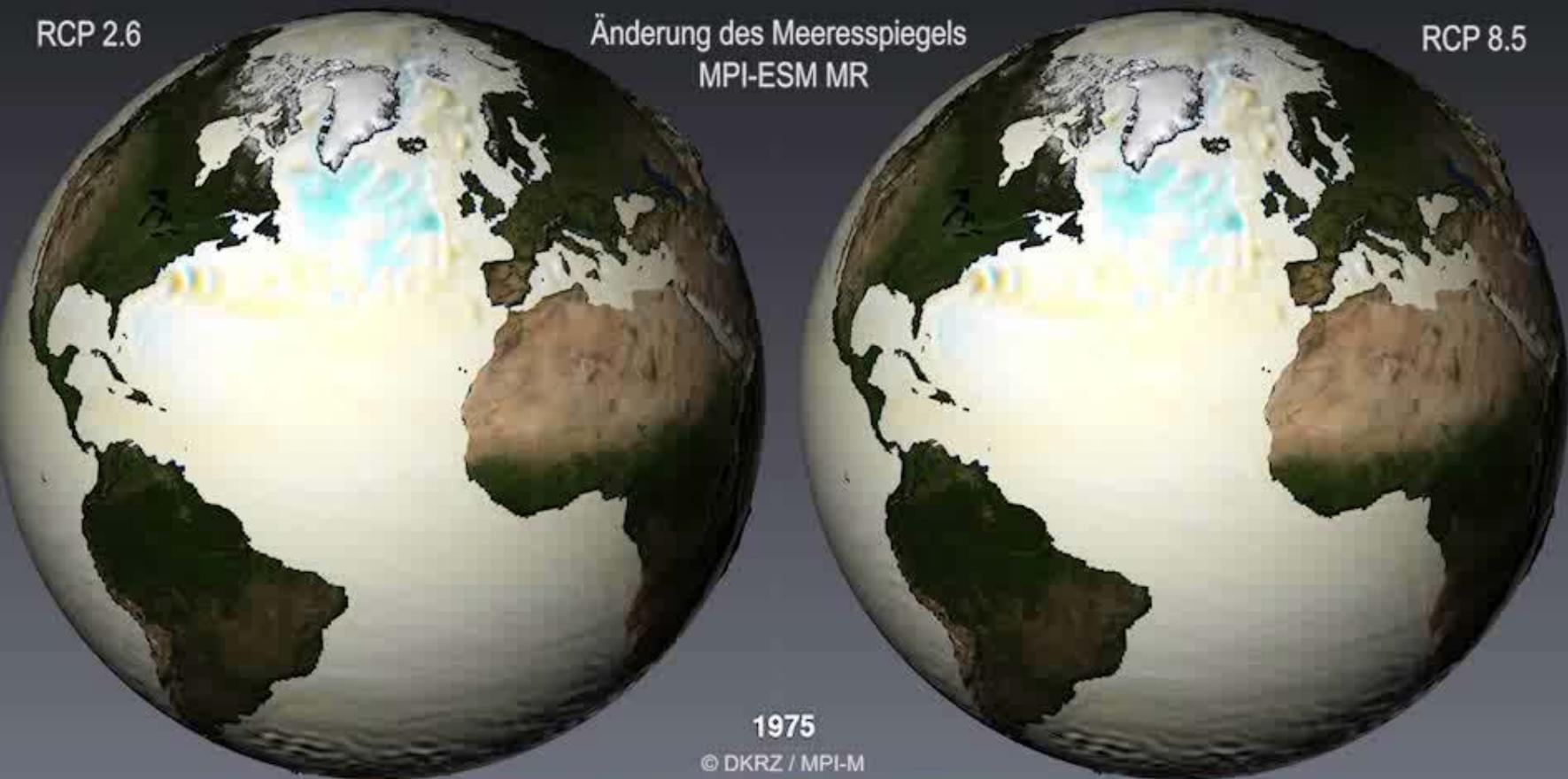
© DKRZ / MPI-M

RCP 8.5

RCP 2.6

Änderung des Meeresspiegels
MPI-ESM MR

RCP 8.5



1975

© DKRZ / MPI-M

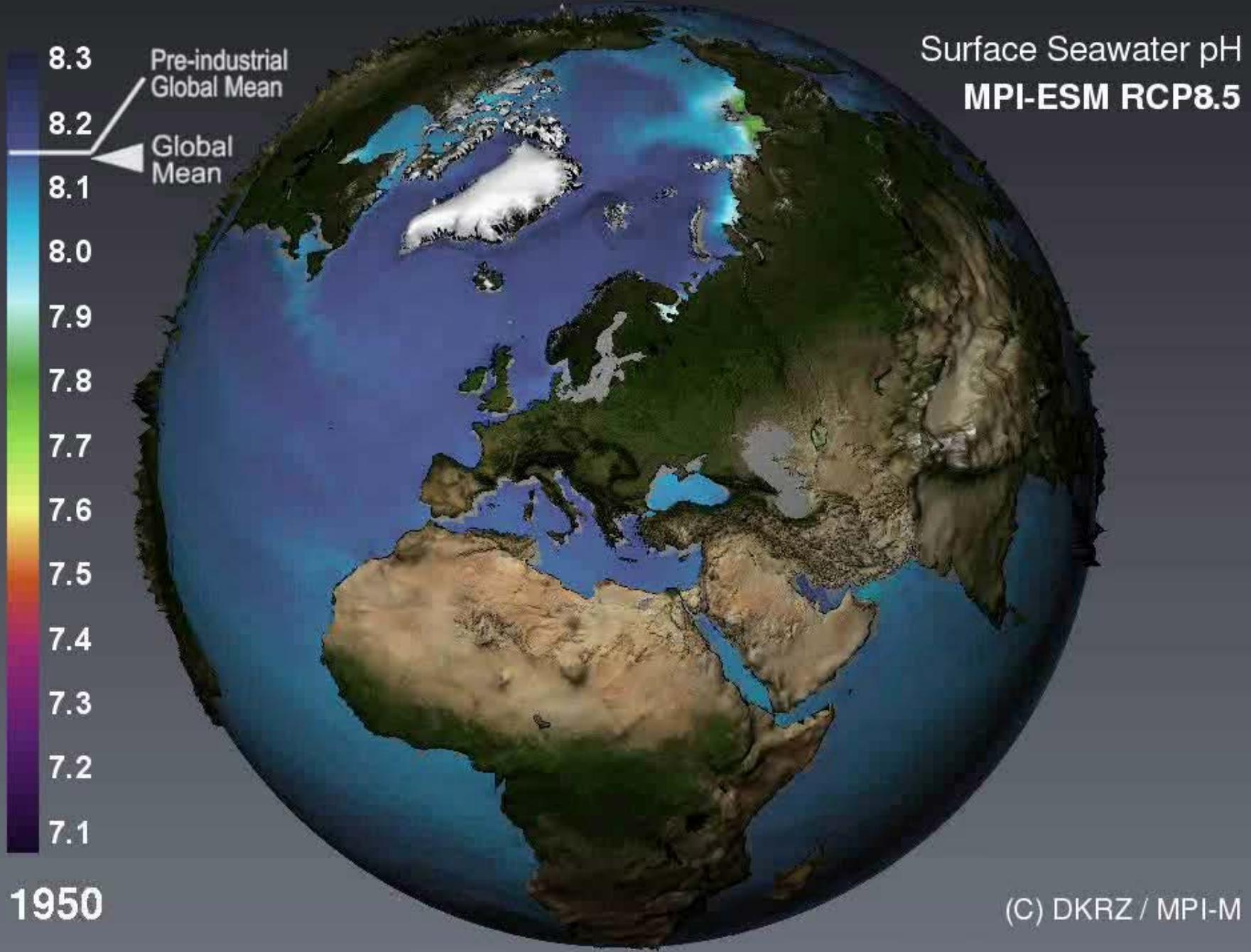
-0.5

0.0

0.5

1.0

1.5 [m]



MPI-ESM RCP 8.5

CaCO₃ Saturation State



Omega of Calcite
Values > 1: Supersaturation
Values < 1: Undersaturation

1950

(C) DKRZ / MPI-M]

Accumulated
Ash
[kg/m²]

2

1

0

Ash:
Isosurface
 $1.e-5 \text{ kg/kg}$

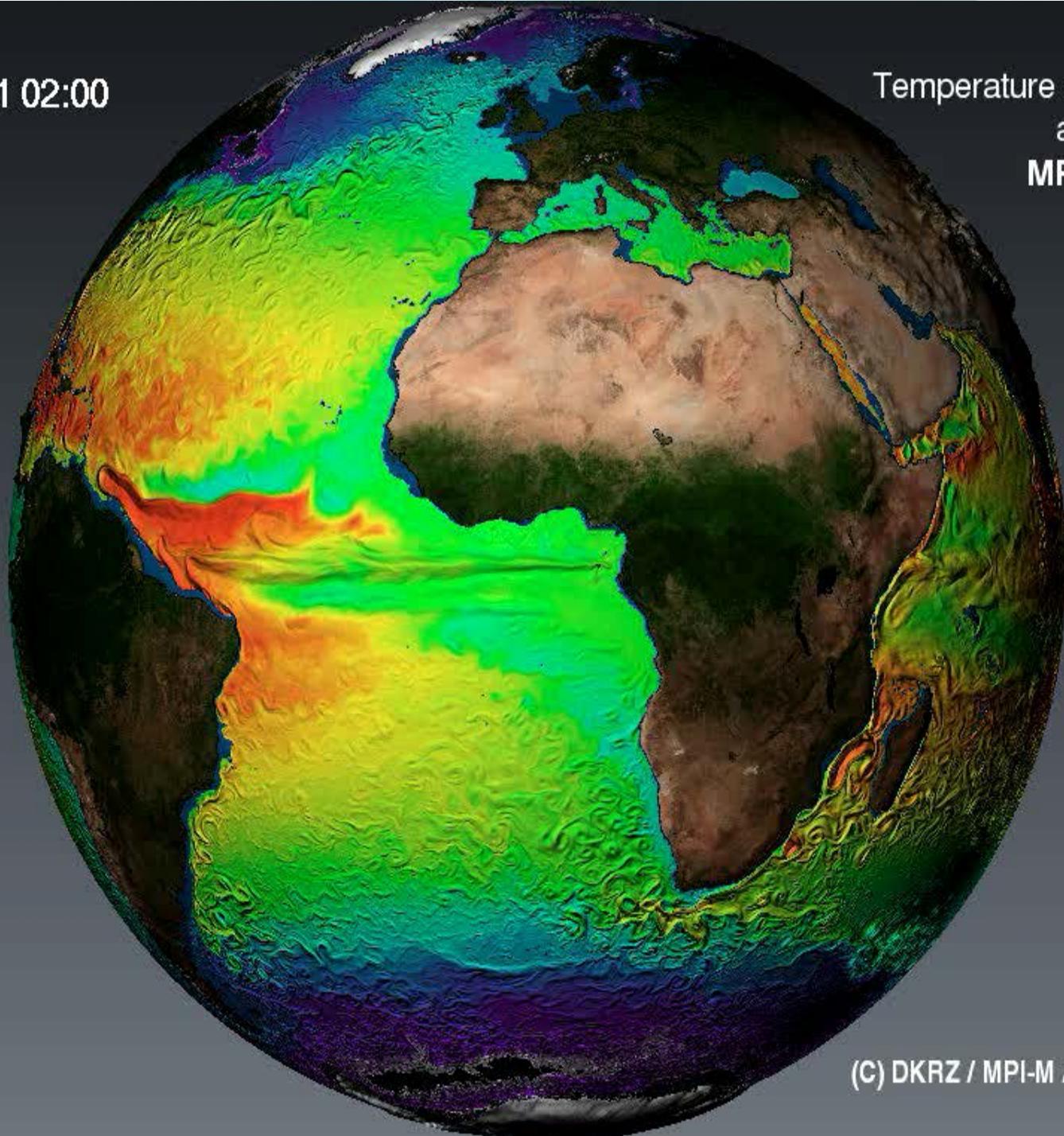


© DKRZ / MPI-M

2000-06-01

01/01/0031 02:00

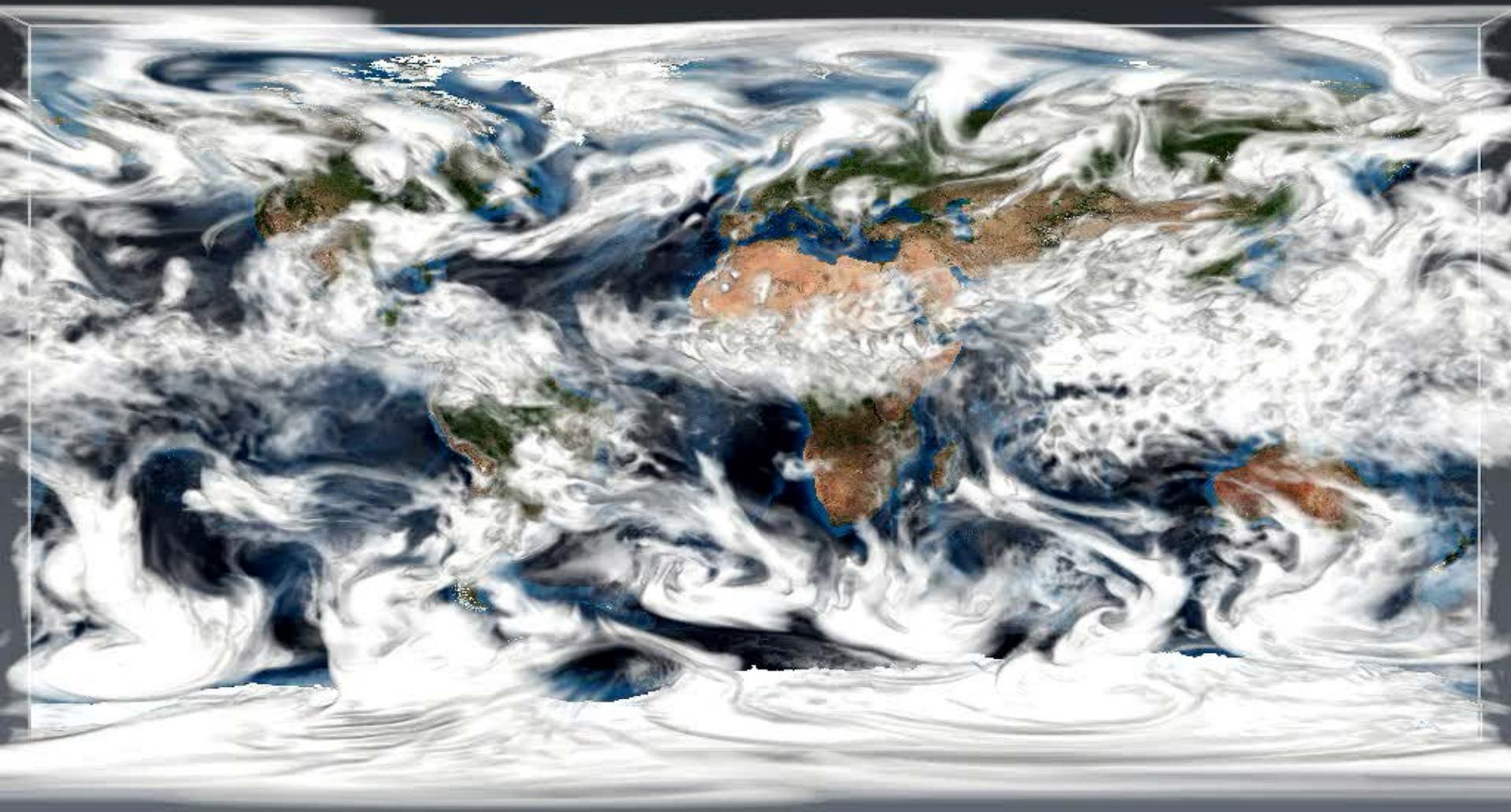
Temperature and Velocity
at 75m depth
MPI-OM TP6M



(C) DKRZ / MPI-M / KlimaCampus

ECHAM6 T255

Relative Humidity



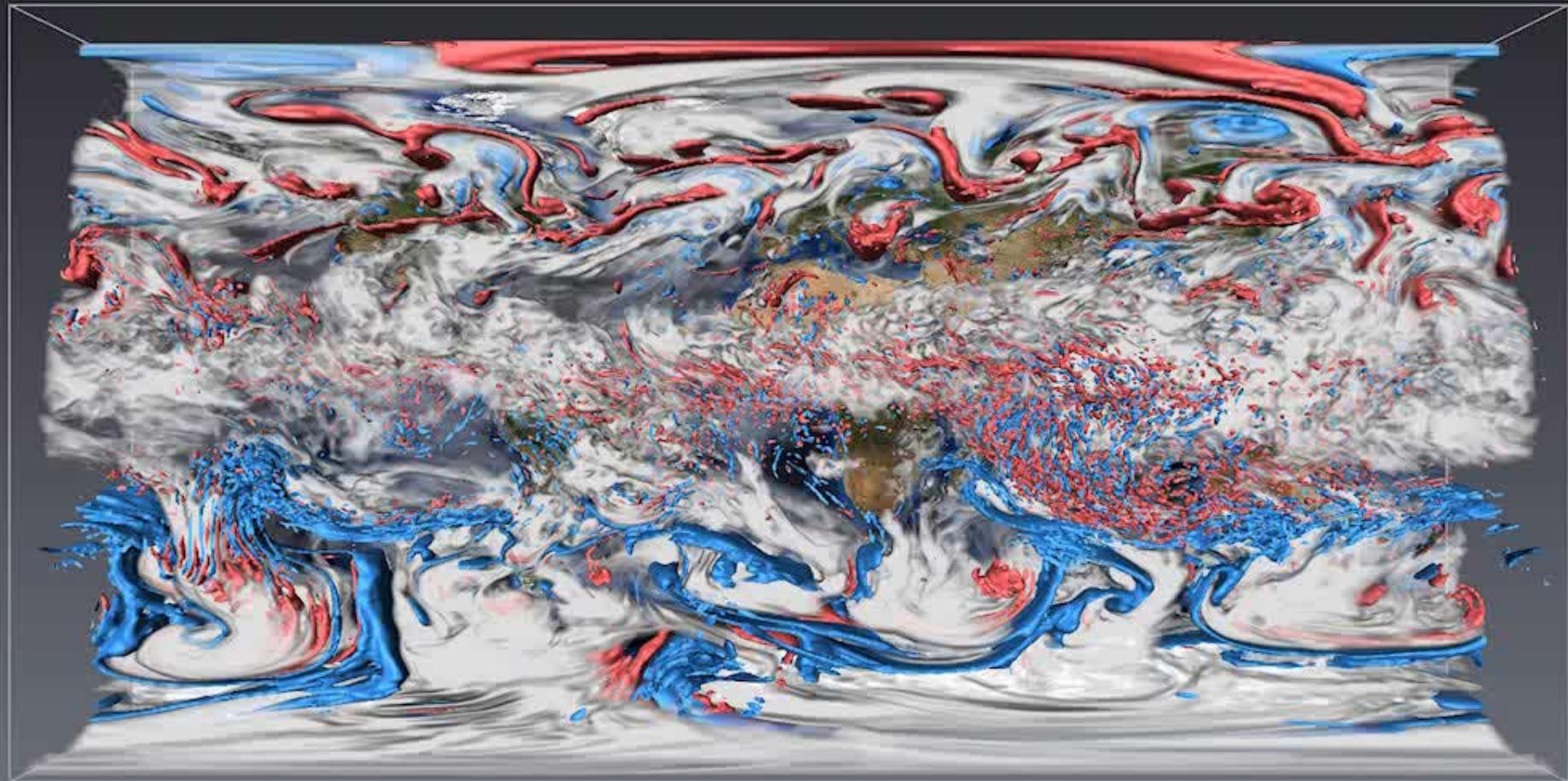
**01/08/1985
00:00**

(C) DKRZ / MPI-M

ECHAM6 T255

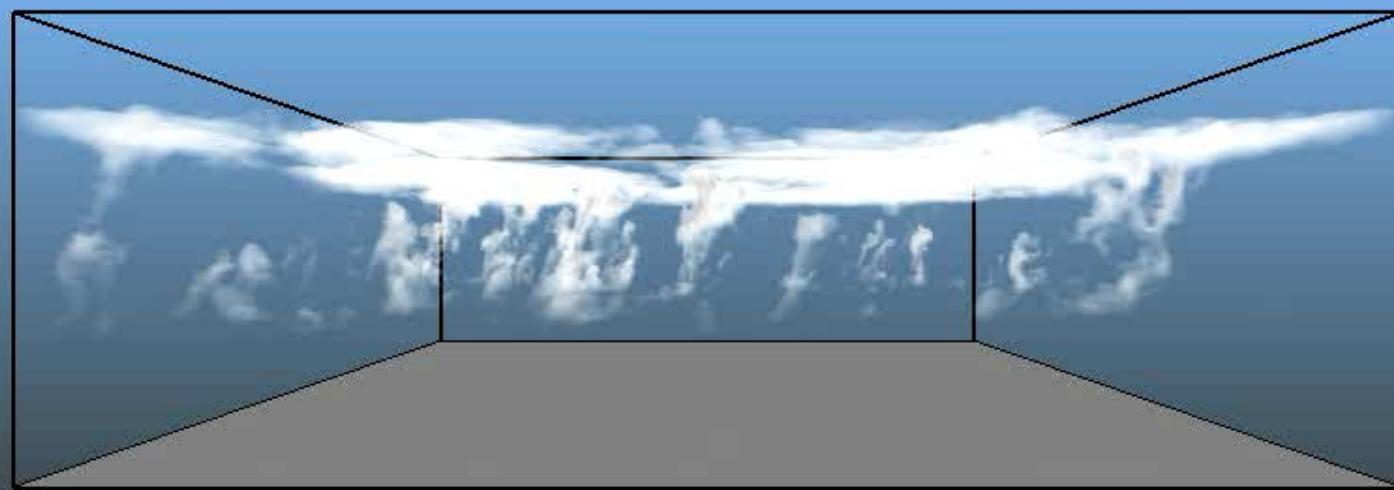
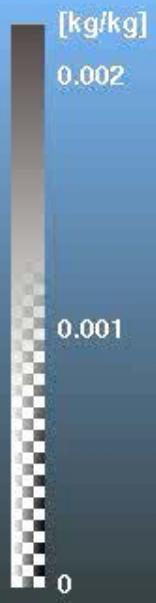
Volume Rendering: Relative Humidity

Vorticity Isosurfaces: Blue: -0.0001 , Red: 0.0001



01/08/1985 00:00

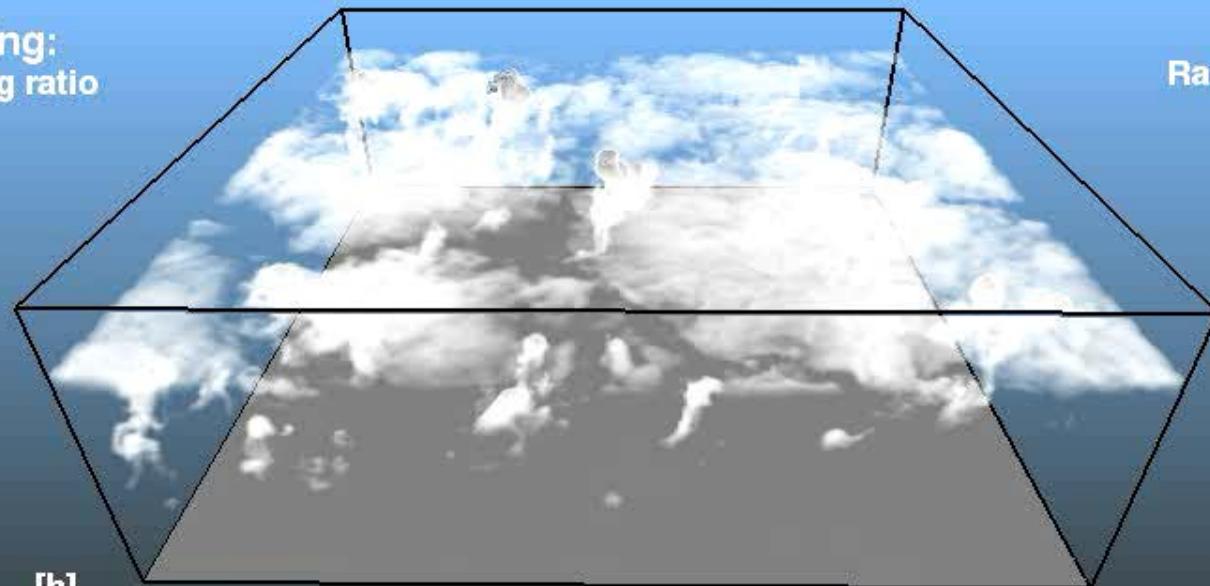
(C) DKRZ / MPI-M



Volume rendering:
Liquid water mixing ratio

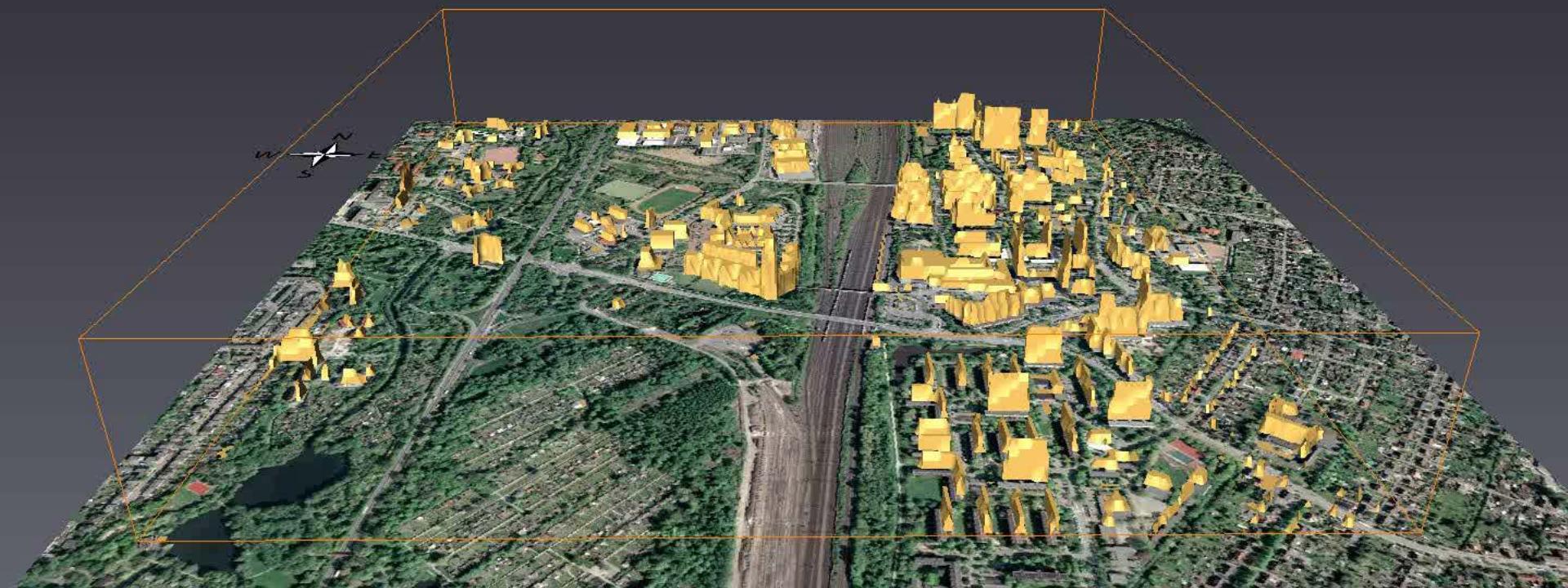
Isosurface:
Rain-water mixing ratio
 $5 \cdot 10^{-6} \text{ kg/kg}$

0 1 2 [h]
00:00



(C) DKRZ / MPI-M

MITRAS - Wilhelmsburg BSU Building - Difference

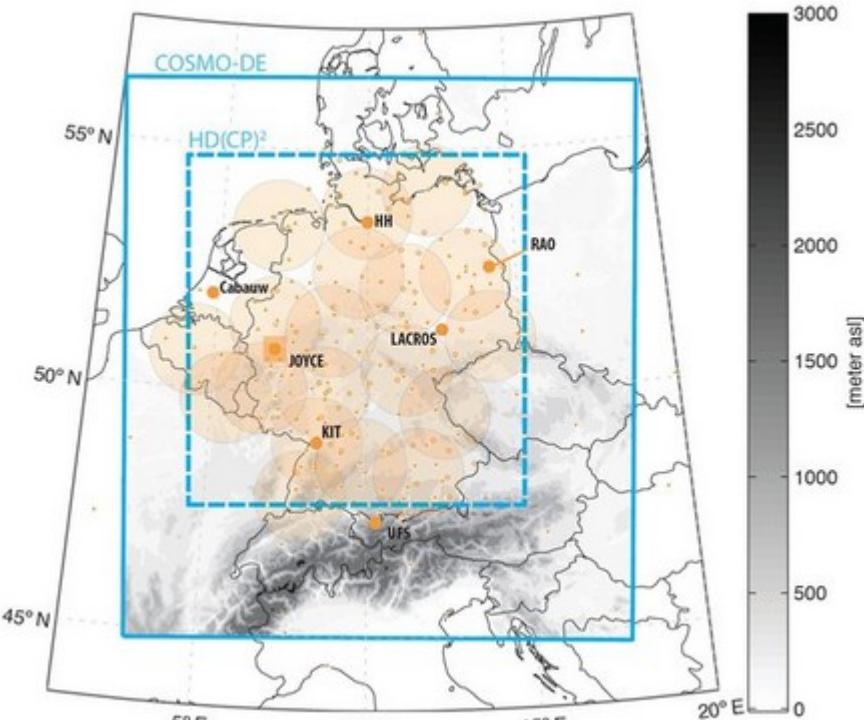


Herausforderungen



HD(CP)²

High definition clouds and precipitation
for advancing climate prediction



- ▶ BMBF -Projekt (ab 2013)
 - ▶ Wolkenauflösendes Modell
 - ▶ ICON-Gitter (unstrukturiert)
 - ▶ Horizontales Gitter : 100 m Aufl.
 - ▶ Vertikal: 250 Schichten
 - ▶ Modellgebiet 1000 km * 1000 km
- <http://hdcp2.zmaw.de/>

Michael Böttinger, DKRZ



ENDE

boettinger@dkrz.de

<http://www.dkrz.de>



Michael Böttinger, DKRZ