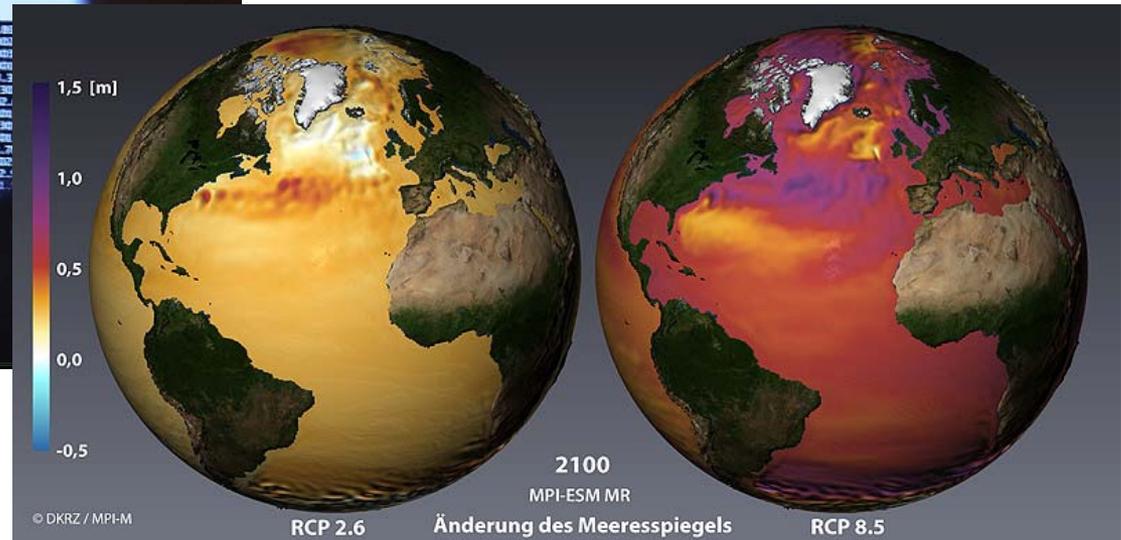
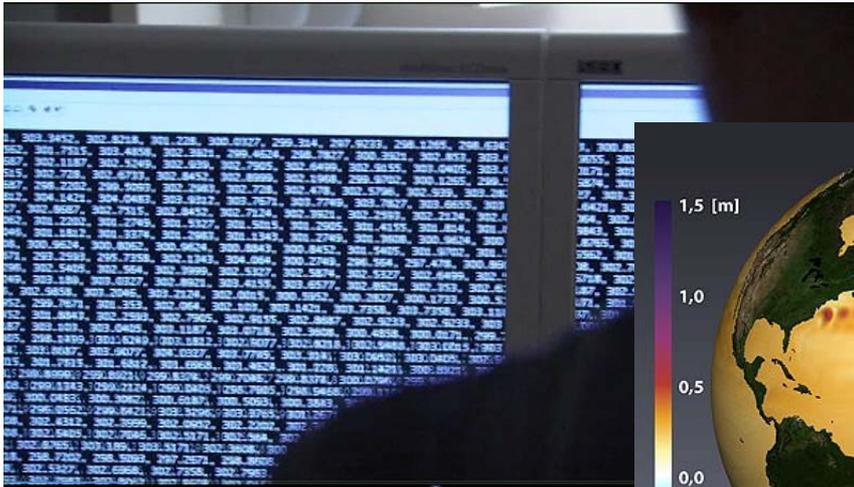


# Dialekte der Klimaforschung: Von den Ergebnisdaten zur Darstellung



**Michael Böttinger**  
Deutsches  
Klimarechenzentrum

Dialekte der  
Klimaforschung

Michael Böttinger, DKRZ

# Motivation

Zahlen alleine sind in großer Menge unverständlich

Ziele von Visualisierungen:

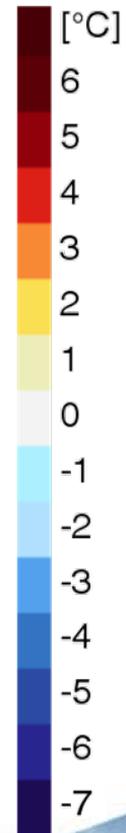
- ▶ Erkenntnisgewinn
  - Interaktive visuelle Datenanalyse
  - Vorgänge und Sachverhalte erkennen, die durch Daten repräsentiert sind
- ▶ Kommunikation von Erkenntnissen
  - Präsentationsqualität
  - In Daten repräsentierte Vorgänge und Sachverhalte so darstellen, dass sie für andere verständlich sind

# Von den Ergebnisdaten zur Darstellung

- ▶ Visualisierung = etwas sichtbar machen
- ▶ In der Klimaforschung: abstrakte Datenwerte mit räumlichen und zeitlichen Bezug zu unserer Welt in eine bildliche Repräsentation überführen.
- ▶ Bild: Formen und Farben
- ▶ Reduktion des Informationsgehaltes
  - z.B. von 64 / 32 Bit pro Gitterpunkt auf 8 Bit
- ▶ Bezug zur Welt herstellen: geographisches Mapping

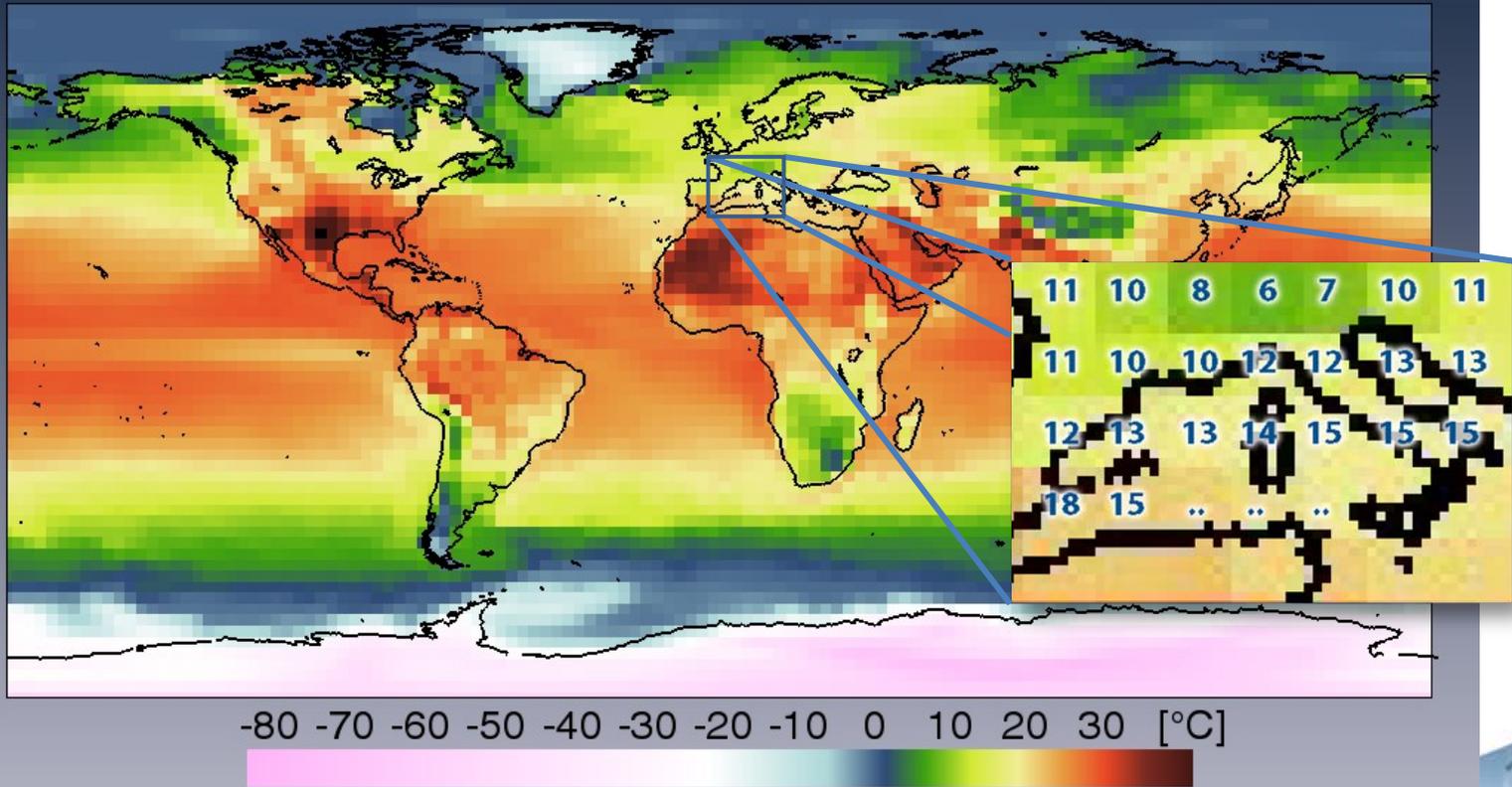
# Von Daten zu Bildern: Farben

- ▶ Abbildung von Wertebereich auf Farbverlauf
- ▶ Nicht standardisiert
- ▶ De-Facto-Standards: Psychologisches Moment
  - Warm -> Rot , Kalt -> Blau
  - Änderungen: Zunahme -> rot, Abnahme -> blau
  - aber: z.B. Niederschlag umgekehrt
  - [colorbrewer2.org](http://colorbrewer2.org)
- ▶ Unterscheidbarkeit

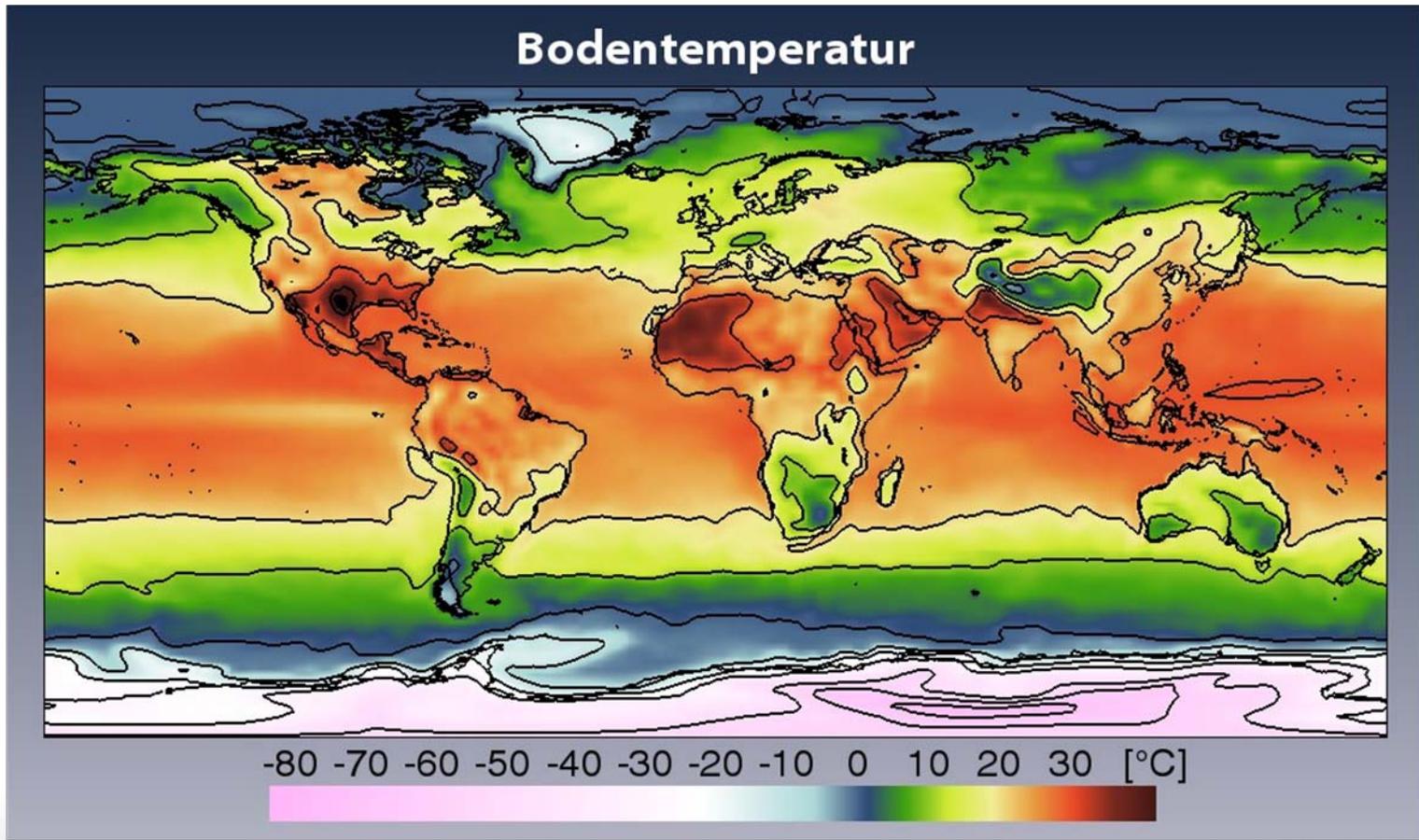


# Algorithmen (2D): Malen nach Zahlen

## Bodentemperatur

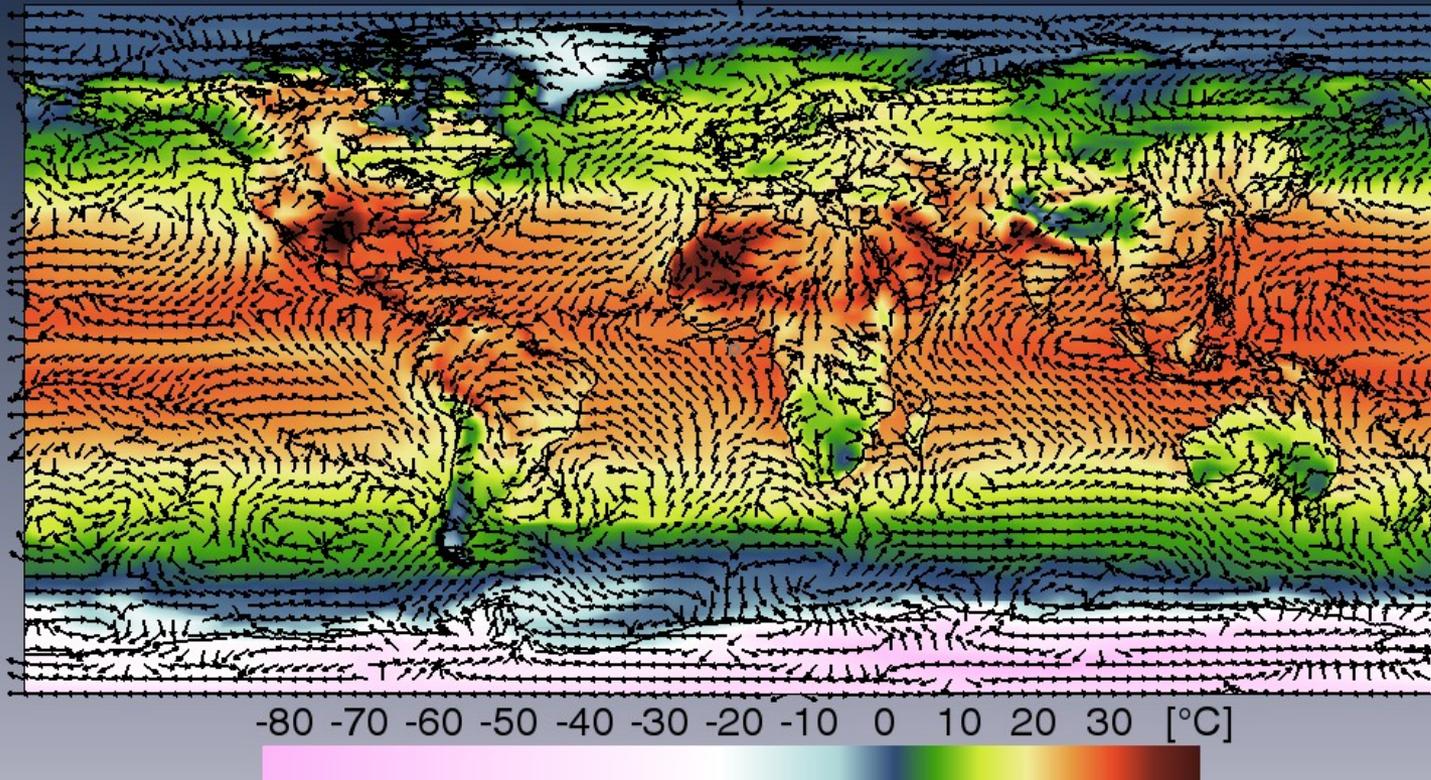


# Algorithmen (2D): Farbinterpolation und Isolinien



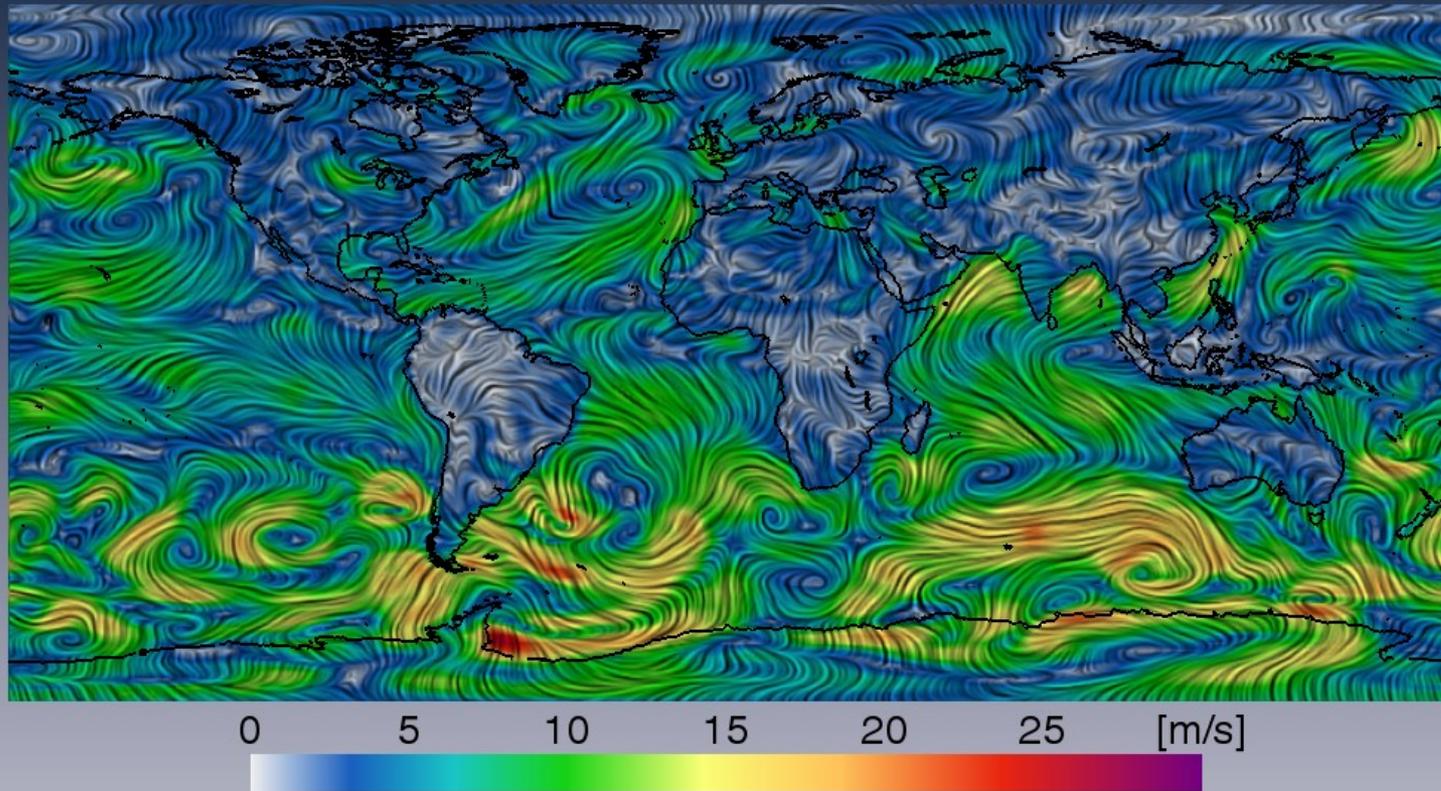
# Algorithmen (2D): Vektorfelder

## Bodentemperatur und 10m-Wind



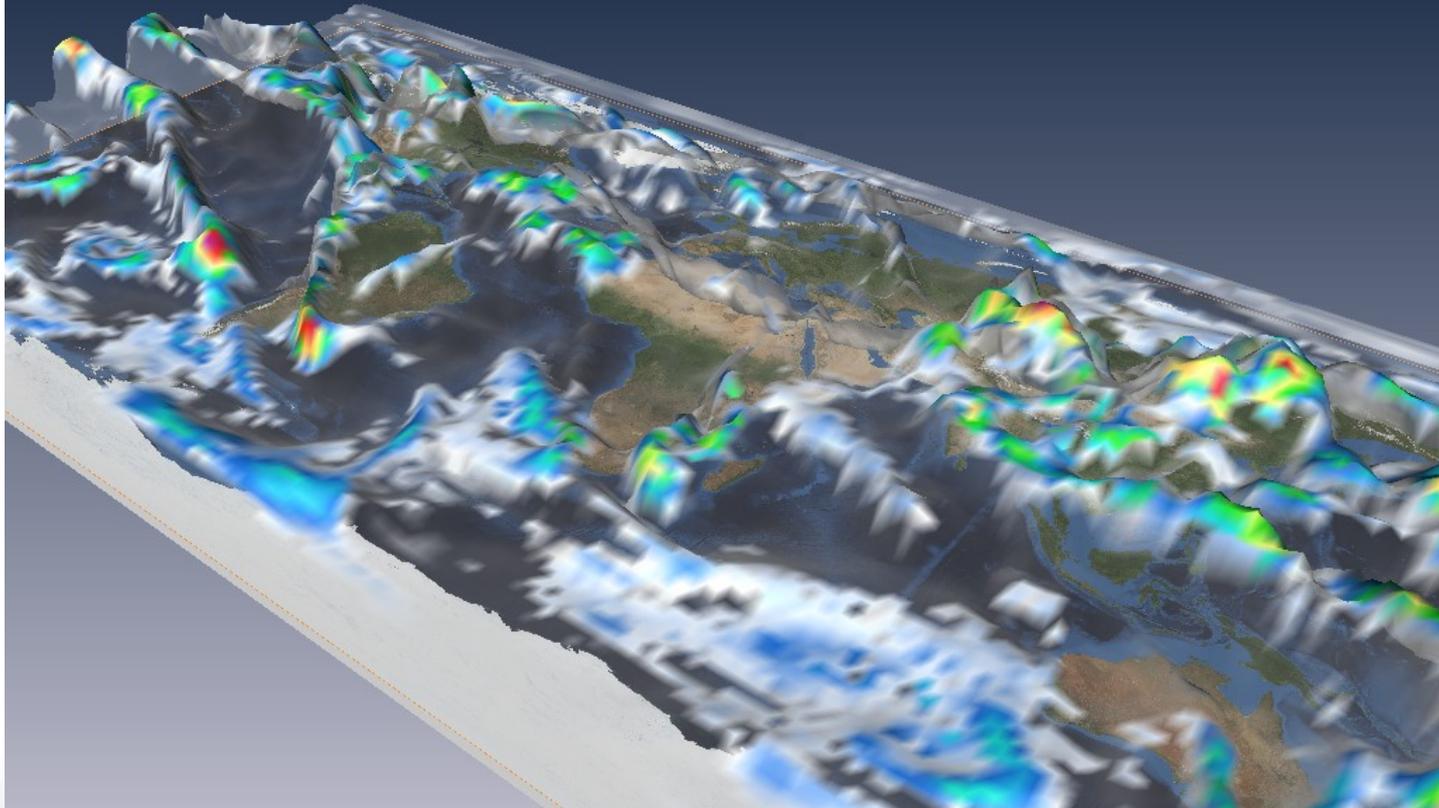
# Algorithmen (2D): Vektorfelder

## 10m-Wind



# Multivariate Daten: 2,5D

## Vertikal Integrierter Wasserdampf und Niederschlag

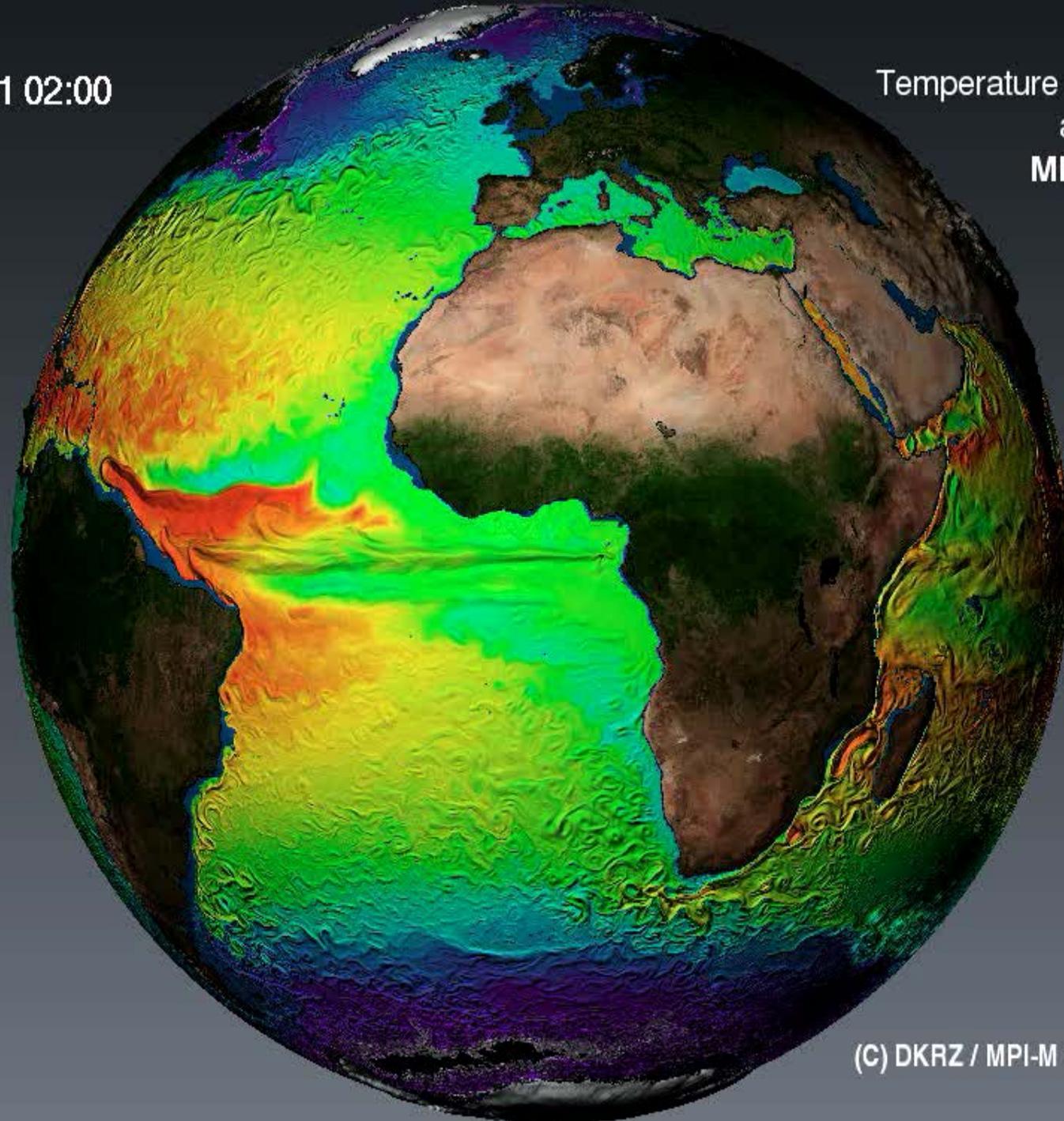


Dialekte der  
Klimaforschung

Michael Böttinger, DKRZ

01/01/0031 02:00

Temperature and Velocity  
at 75m depth  
MPI-OM TP6M



(C) DKRZ / MPI-M / KlimaCampus

# 3D-Visualisierung

2D	3D
Falschfarb-Darstellung	Volume Rendering (zusätzlich Transparenz)
Isolinien	Isosurface
Vektorpfeile	Vektorpfeile im Raum
Stromlinien	(beleuchtete) Stromlinien
Schnitte	Schnitte im Raum

**Volcanic Ash**

[5e-7 kg/kg]

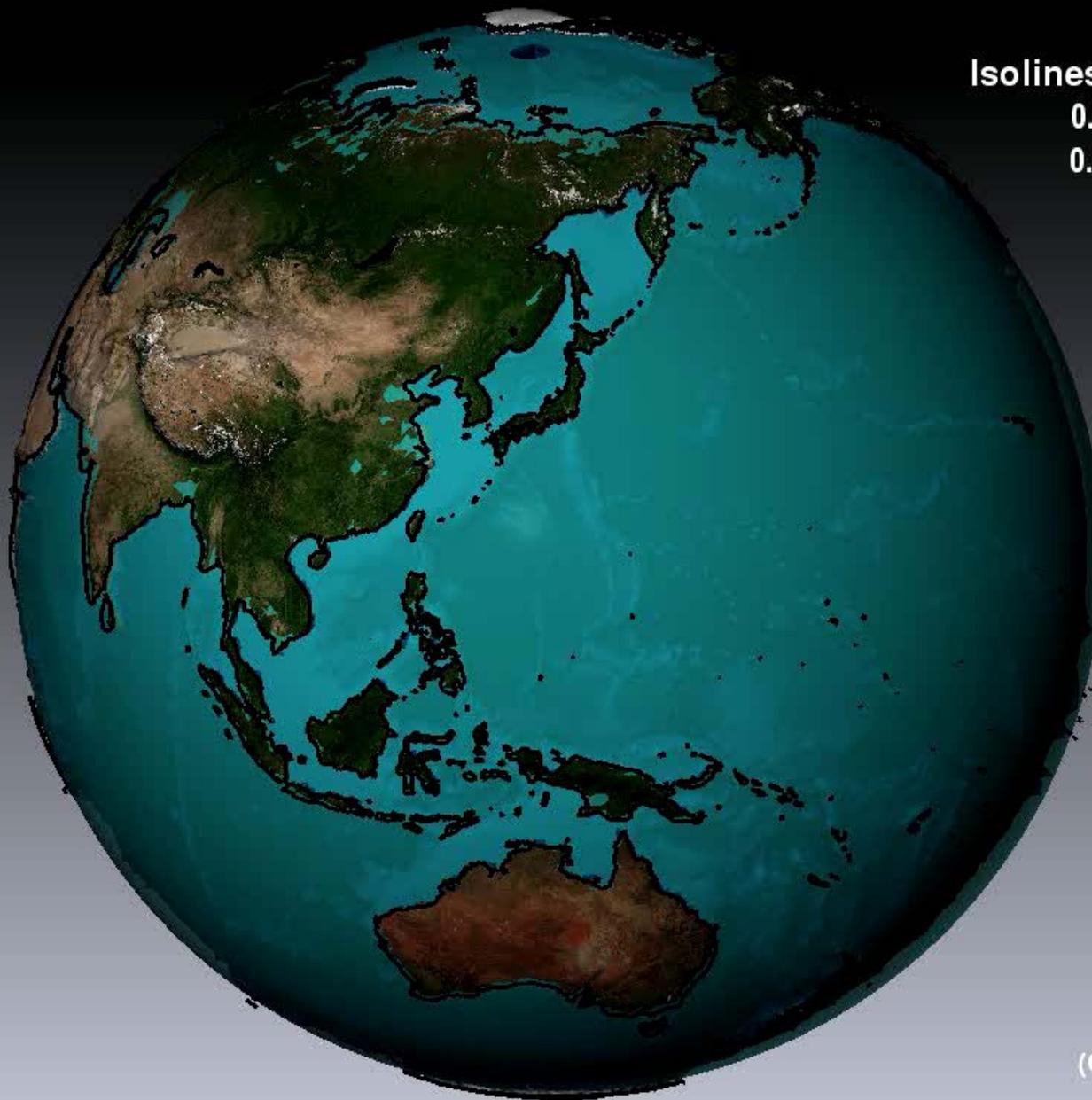
**S tot (yellow)**

[5e-7 kg/kg]

**Isolines: Ash Deposition**

0.01, 0.02, 0.05, 0.1, 0.2,

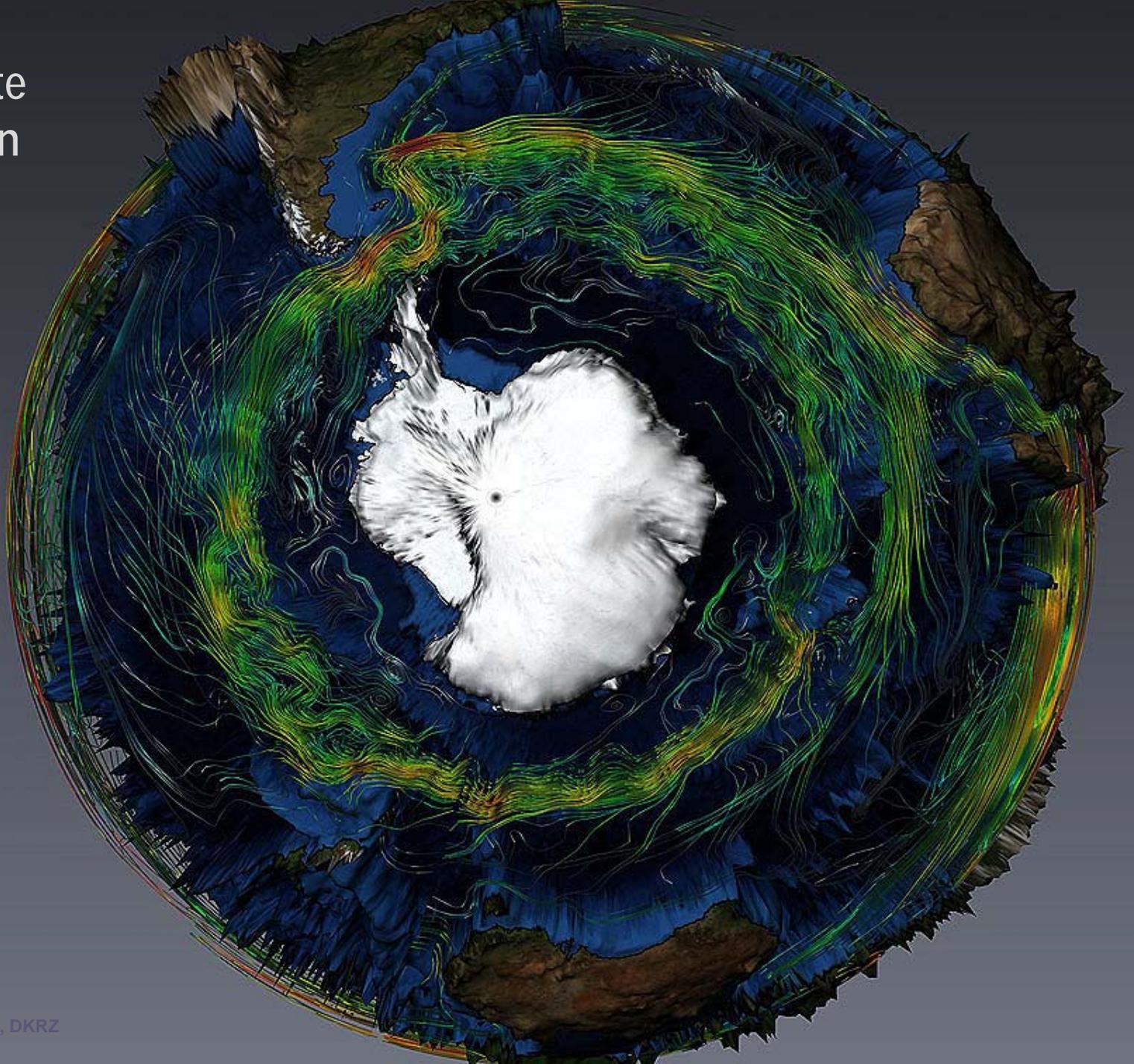
0.5, 1, 2, 5, 10 [kg/m\*\*2]



**Day 01**

(C) DKRZ / MPI-M

# Beleuchtete Stromlinien



# Vom Wetter zum Klima

## Wetter

- Erscheinungen in den unteren Luftschichten, die an einem Ort oder in einer Region auftreten:
- z.B. Wolken, Niederschlag, Nebel, Gewitter, Höchst- und Tiefsttemperatur, Windverhältnisse.

## Klima

- Gesamtheit der atmosphärischen Zustände und Vorgänge in einem hinreichend langen Zeitraum
- Mittlere Zustände und Variabilität (Streuung, Häufigkeitsverteilung, Extremwerte, etc.)

# Vom Wetter zum Klima

## Wetter

- Erscheinungen in den unteren Luftschichten, die an einem Ort oder in einer Region auftreten:
- z.B. Wolken, Niederschlag, Nebel, Gewitter, Höchst- und Tiefsttemperatur, Windverhältnisse.

## Klima

- Gesamtheit der atmosphärischen Zustände und Vorgänge in einem hinreichend langen Zeitraum
- **Mittlere Zustände und Variabilität** (Streuung, Häufigkeitsverteilung, Extremwerte, etc.)

# Variabilität im Klimasystem

## ▶ Randbedingungen

- Erdrotation - > Tageszyklus
- Bahn um die Sonne -> Jahresgang
- Quasi-periodische Variationen der Erdbahnparameter (95000, 41000, 19000, 23000 Jahre)
- Variabilität in der Sonnenaktivität
- Einzelereignisse -> z.B. Vulkanausbrüche

## ▶ Interne Variabilität des Erdsystems

- „Schwingungen“ des gekoppelten Systems (El Nino, NAO, ...)

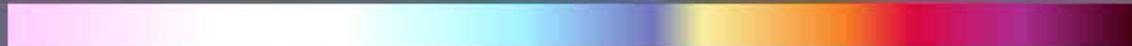
# 2m Temperatur (6h)

Film: Variabilität mit 6-stündigen Daten (Tagesgang)  
100 %

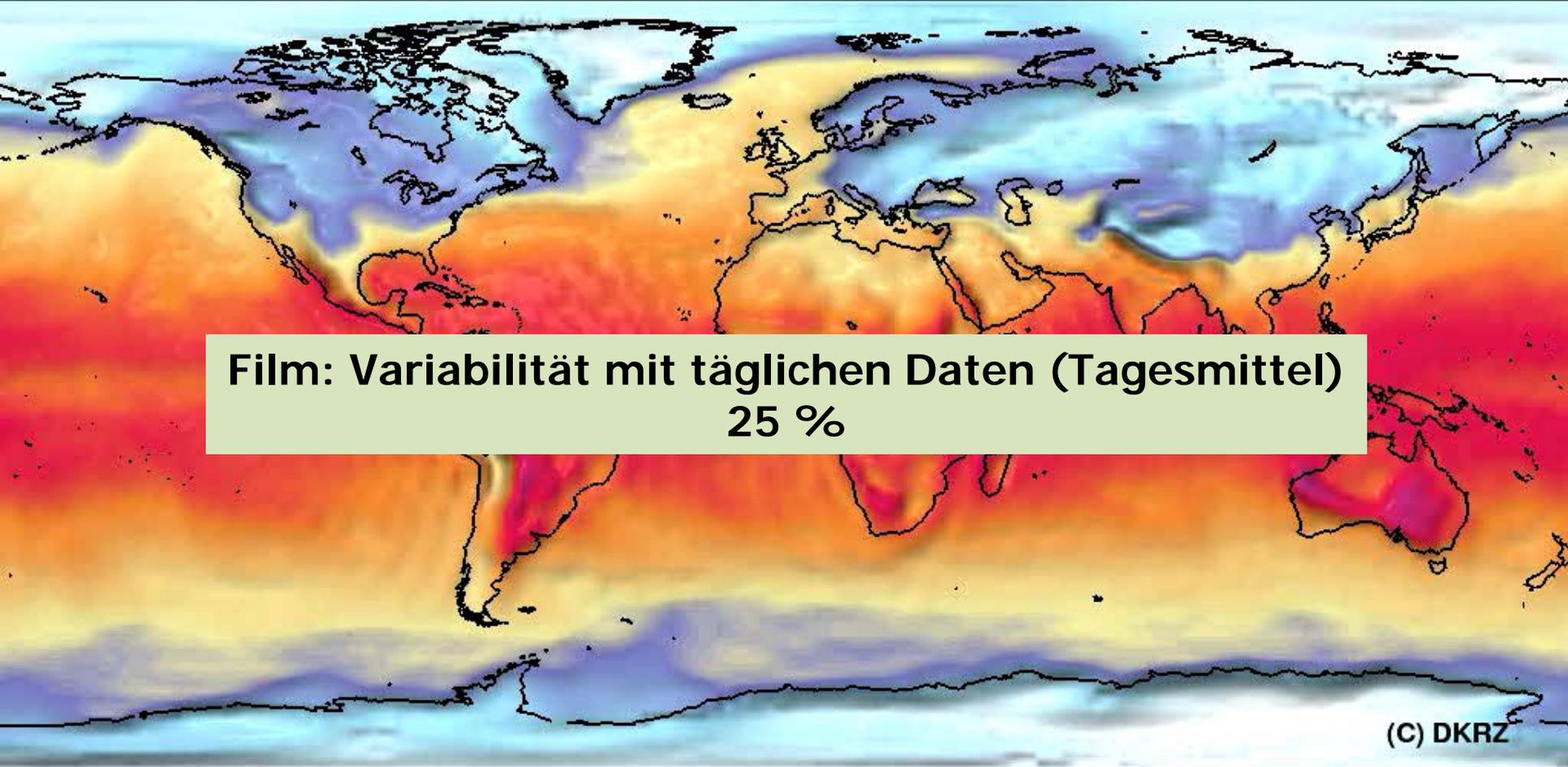
(C) DKRZ

01/01/2006

-70 -60 -50 -40 -30 -20 -10 0 10 20 30 40 50 [C]

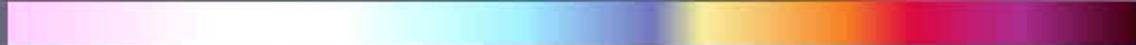


# 2m Temperatur (1d)

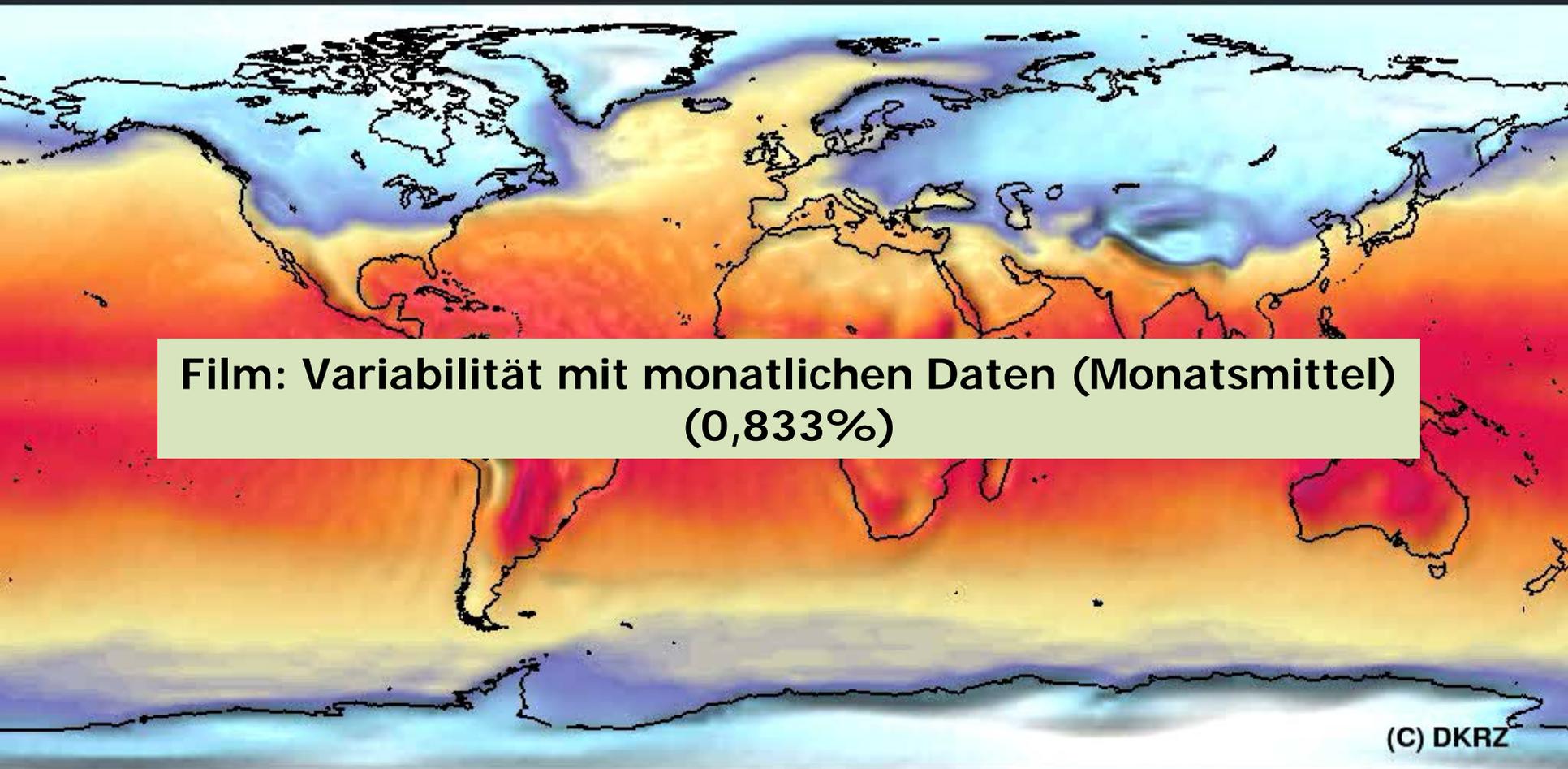


01/01/2006

-70 -60 -50 -40 -30 -20 -10 0 10 20 30 40 50 [C]



# 2m Temperatur (1m)

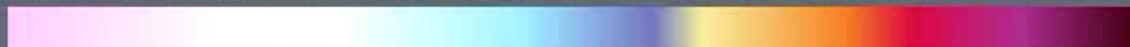


Film: Variabilität mit monatlichen Daten (Monatsmittel)  
(0,833%)

(C) DKRZ

01/2006

-70 -60 -50 -40 -30 -20 -10 0 10 20 30 40 50 [C]



Temperature Anomaly

MPI-ESM LR  
Millenium

[DegC]

3.5

3.0

2.5

2.0

1.5

## Film: Temperaturanomalie

Variabilität auf Basis von jährlichen Daten (10 yrm geglättet)  
abgedunkelt: Anomalie kleiner als  $2 * \text{Standardabweichung (CTL)}$   
(0,07%)

-0.5

-1.0

-1.5

-2.0

-2.5

-3.0

0855

Dialekte der  
Klimaforschung

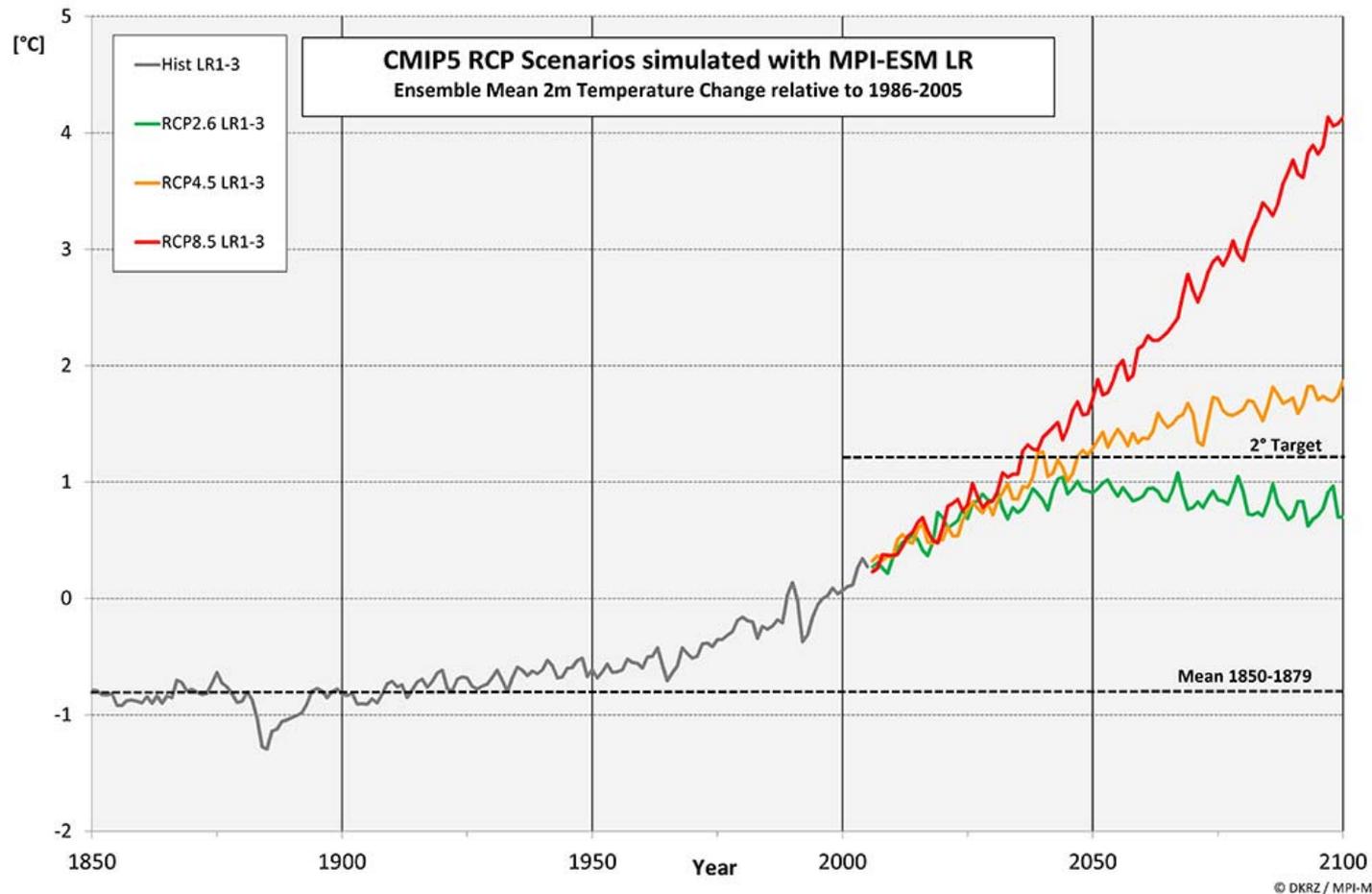
Michael Böttinger, DKRZ

(C) DKRZ / MPI-M

# Ergebnisdaten aus Nachverarbeitungen: Klima

- ▶ Änderungen (Differenzen)
- ▶ Mittelwerte
  - räumlich
  - zeitlich
- ▶ Integrale
- ▶ Klimatologien
- ▶ Extremwertstatistik
- ▶ Spektralanalysen
- ▶ etc.

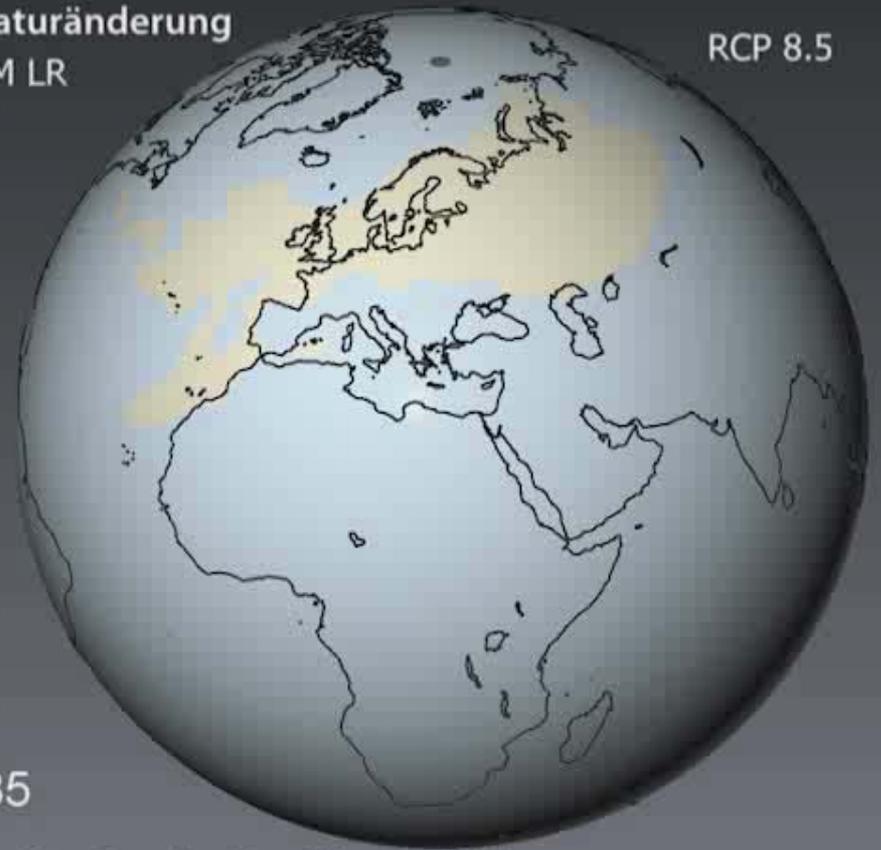
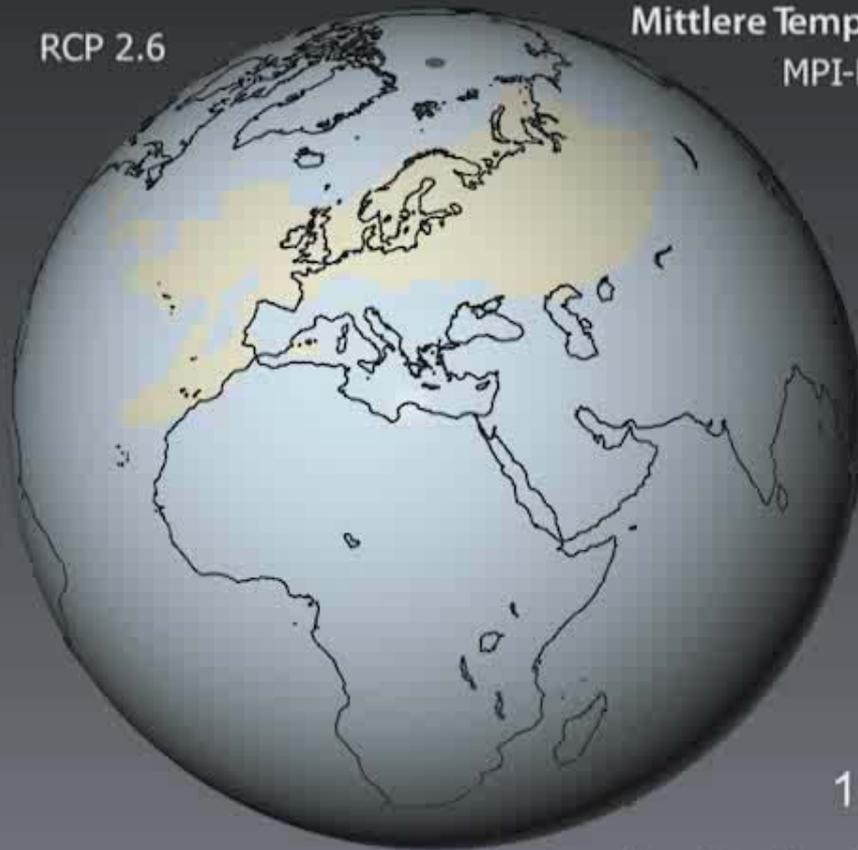
# Differenzen räumlich und zeitlich gemittelt



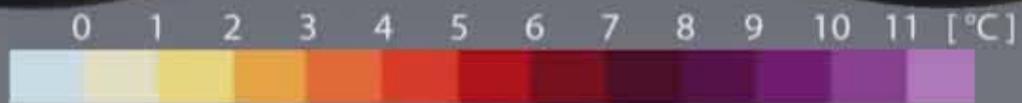
RCP 2.6

Mittlere Temperaturänderung  
MPI-ESM LR

RCP 8.5

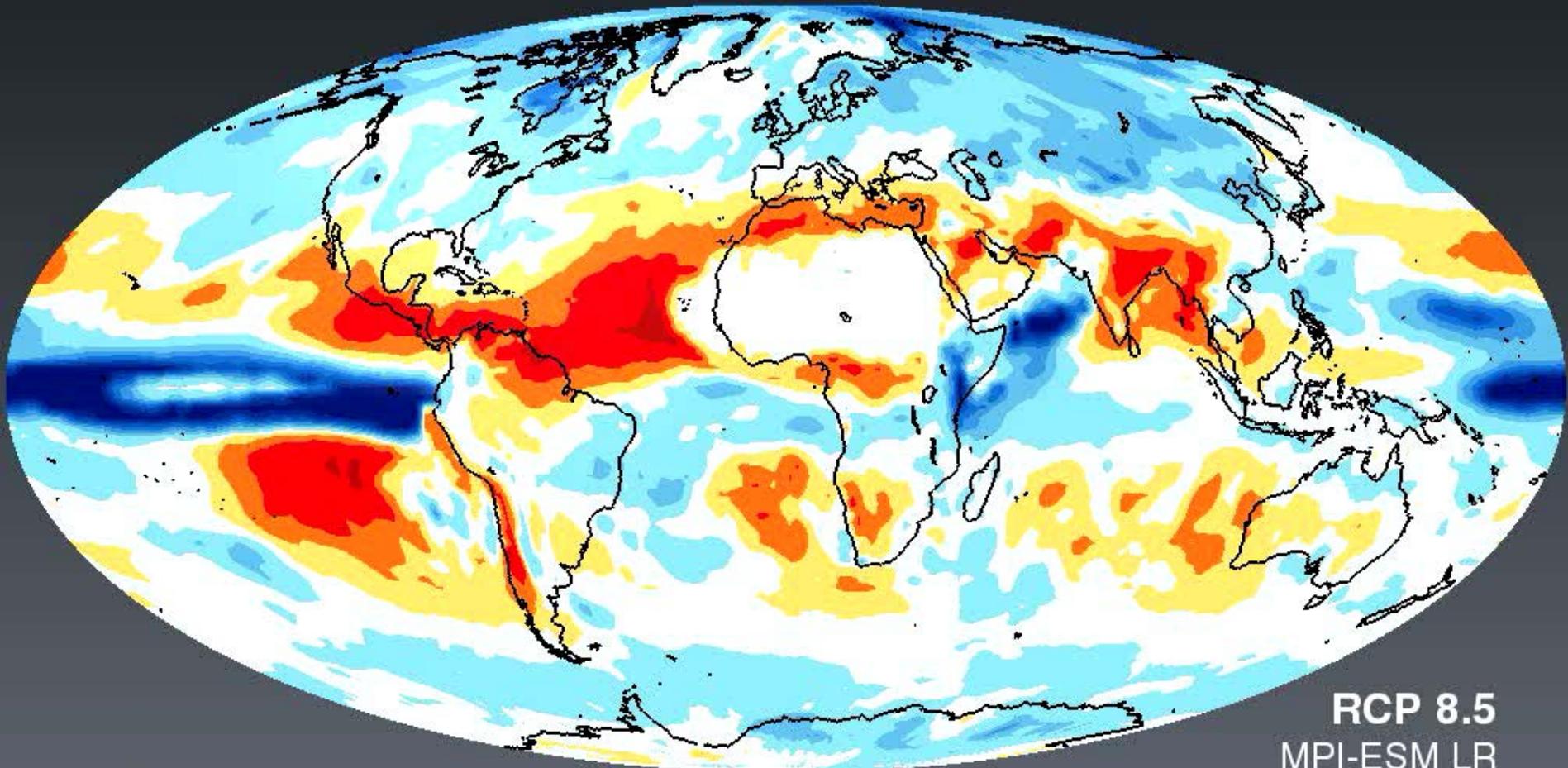


1985



© DKRZ / MPI-M

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



Jan

(C) DKRZ / MPI-M

RCP 8.5  
MPI-ESM LR  
Ensemble Mean

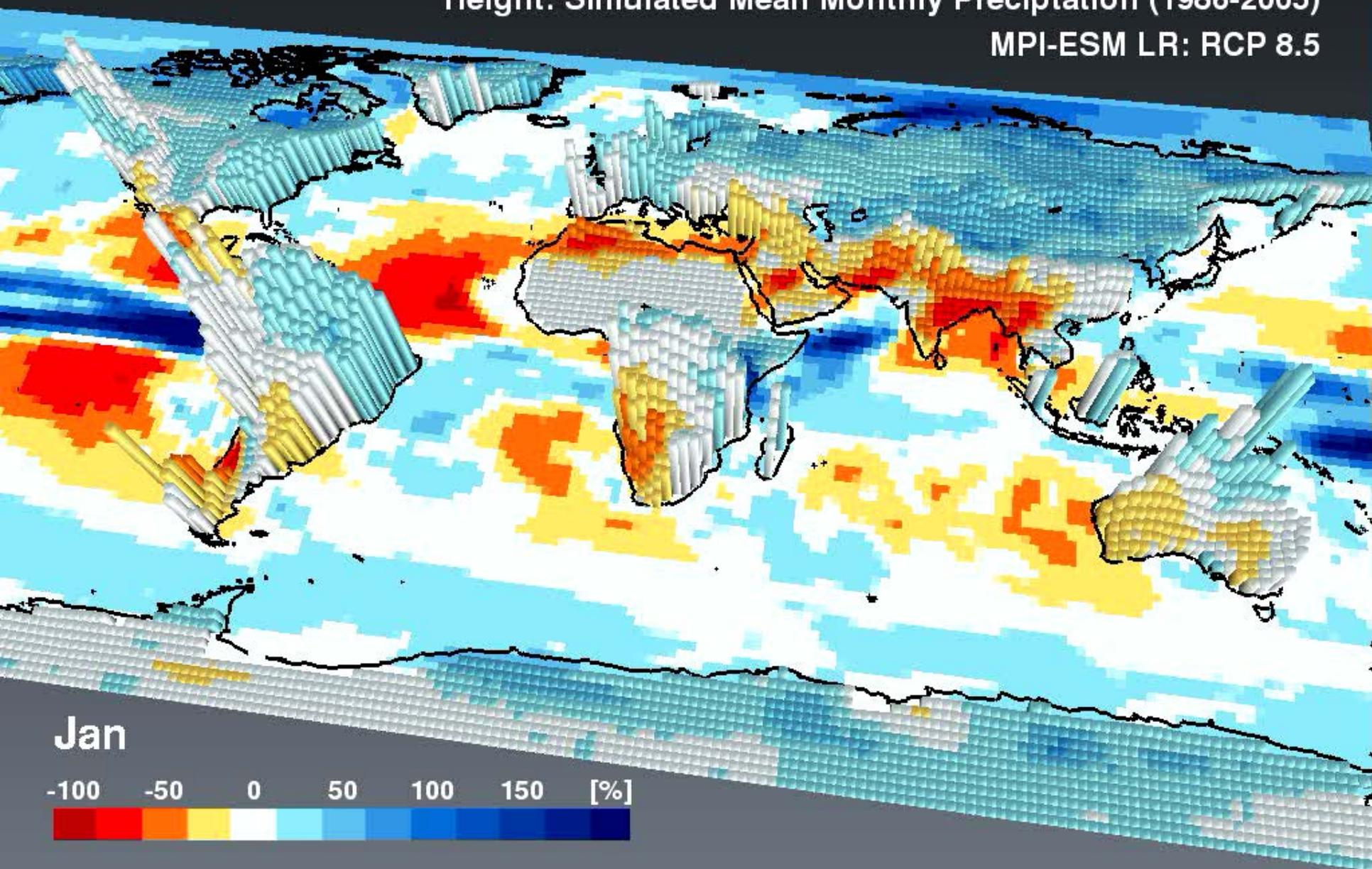


(C) DKRZ / MPI-M

Color: Precipitation Change for 2071-2100 relative to 1986-2005

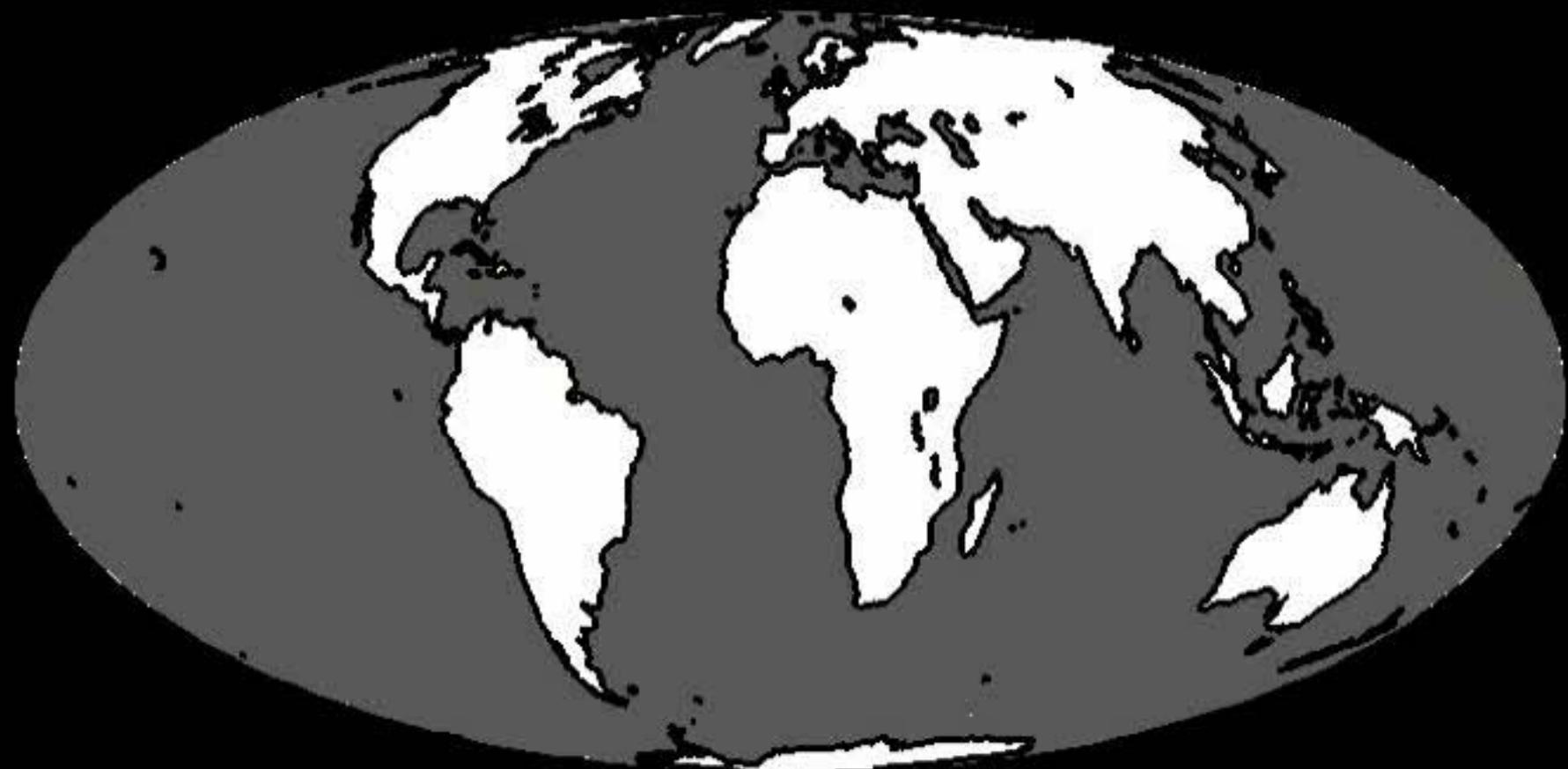
Height: Simulated Mean Monthly Precipitation (1986-2005)

MPI-ESM LR: RCP 8.5



# A1B RM30 max. Heat Wave Duration Anomaly [d]

2000



© MPI-M / DKRZ

-150 -100 -50 -25 25 50 100 150 200

# Technische Umsetzung

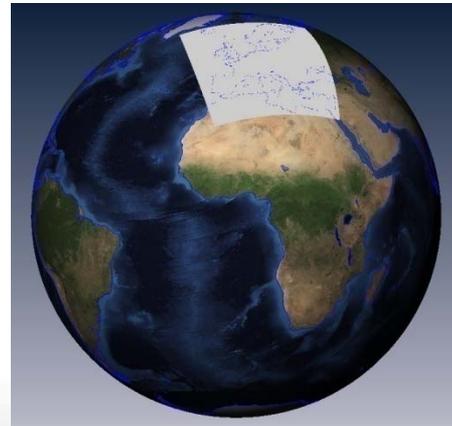
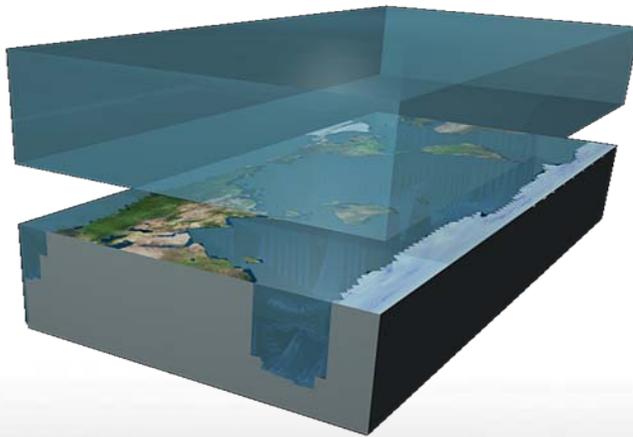
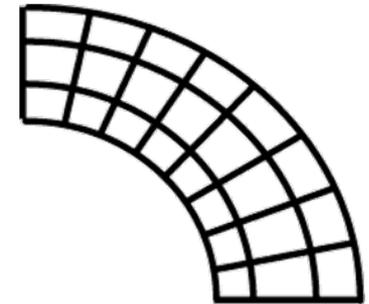
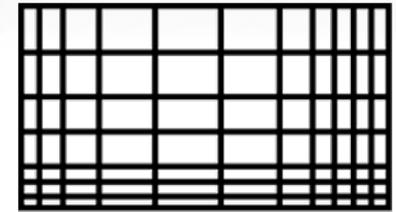
- ▶ Visualisierung in einer HPC-Umgebung
- ▶ Visualisierungssoftware
- ▶ Herausforderungen

# Visualisierungssoftware

Kategorie	Typ	Name	URL	Eigenschaften
Domänen-spezifische Visualisierungs-Software	frei	Ferret	<a href="http://ferret.wrc.noaa.gov/Ferret">ferret.wrc.noaa.gov/Ferret</a>	2D script based
	frei	GrADs	<a href="http://www.iges.org/grads">www.iges.org/grads</a>	2D script based
	frei	Vis5D+	<a href="http://vis5d.sourceforge.net">vis5d.sourceforge.net</a>	3D interactive (old)
	frei	GMT	<a href="http://gmt.soest.hawaii.edu">gmt.soest.hawaii.edu</a>	2D script based
	frei	ODV	<a href="http://odv.awi-bremerhaven.de/">odv.awi-bremerhaven.de/</a>	2D script based
	frei	IDV	<a href="http://www.unidata.ucar.edu/software/idv">www.unidata.ucar.edu/software/idv</a>	3D interactive
	frei	NCL	<a href="http://www.ncl.ucar.edu/">www.ncl.ucar.edu/</a>	2D script based
Allgemeine Visualisierungssysteme	\$\$	Avizo	<a href="http://www.vsg3d.com/products/avizo.asp">www.vsg3d.com/products/avizo.asp</a>	Climate Extensions
	frei	OpenDX	<a href="http://www.opendx.org">www.opendx.org</a>	open source
	\$\$	AVS/Express	<a href="http://www.avs.com">www.avs.com</a>	climate features
	\$\$	IDL	<a href="http://www.itvis.com/">http://www.itvis.com/</a>	2D/3D script-based
	\$\$	SimVis	<a href="http://www.simvis.at">http://www.simvis.at</a>	3D/2D -> multivariate

# Klimamodelle: Datenstrukturen

- 3D Gitter, einige Größen nur 2D
- Multivariate, skalare and vektorielle Felder
- Gitter: rektilinear, kurvilinear, irregulär, verschränkt, regional rotiert
- Gekoppelte Modelle: unterschiedliche Gitter
- Zeitabhängigkeit: Vierte Dimension
- Multi-Run-Experimente (Ensembles)



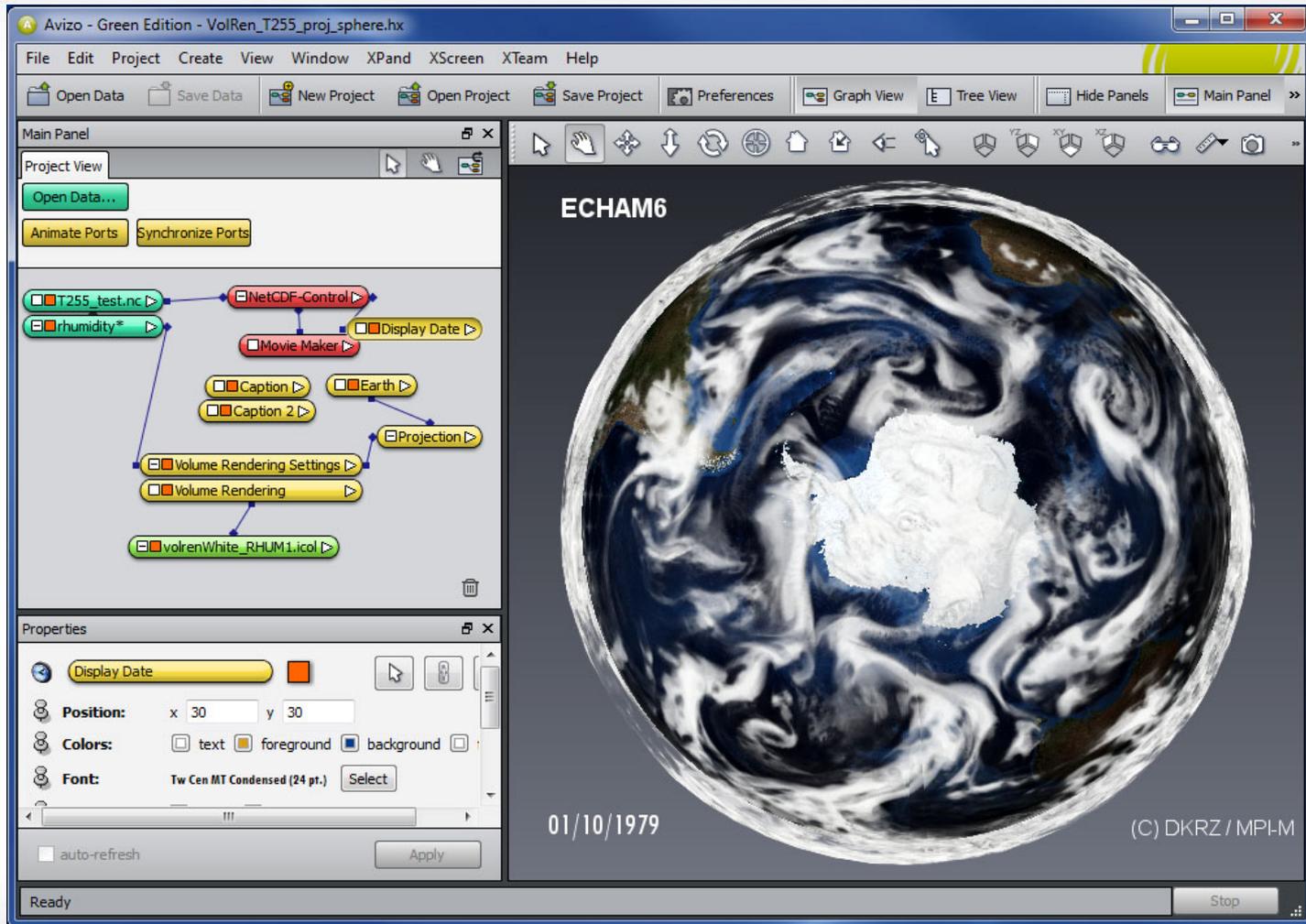
Dialekte der  
Klimaforschung

Michael Böttinger, DKRZ

# Klimadaten

- ▶ Formate: GRIB, netCDF
  - *Konventionen* für Metadaten (z.B. NetCDF/CF-1.0)
- ▶ Andere spezifische Eigenschaften
  - Geographisches Mapping
  - *Special Values* notwendig, um Gitterelemente ohne gültige Werte auszumaskieren

# 3D-Visualisierungssysteme: Avizo



Dialekte der  
Klimaforschung

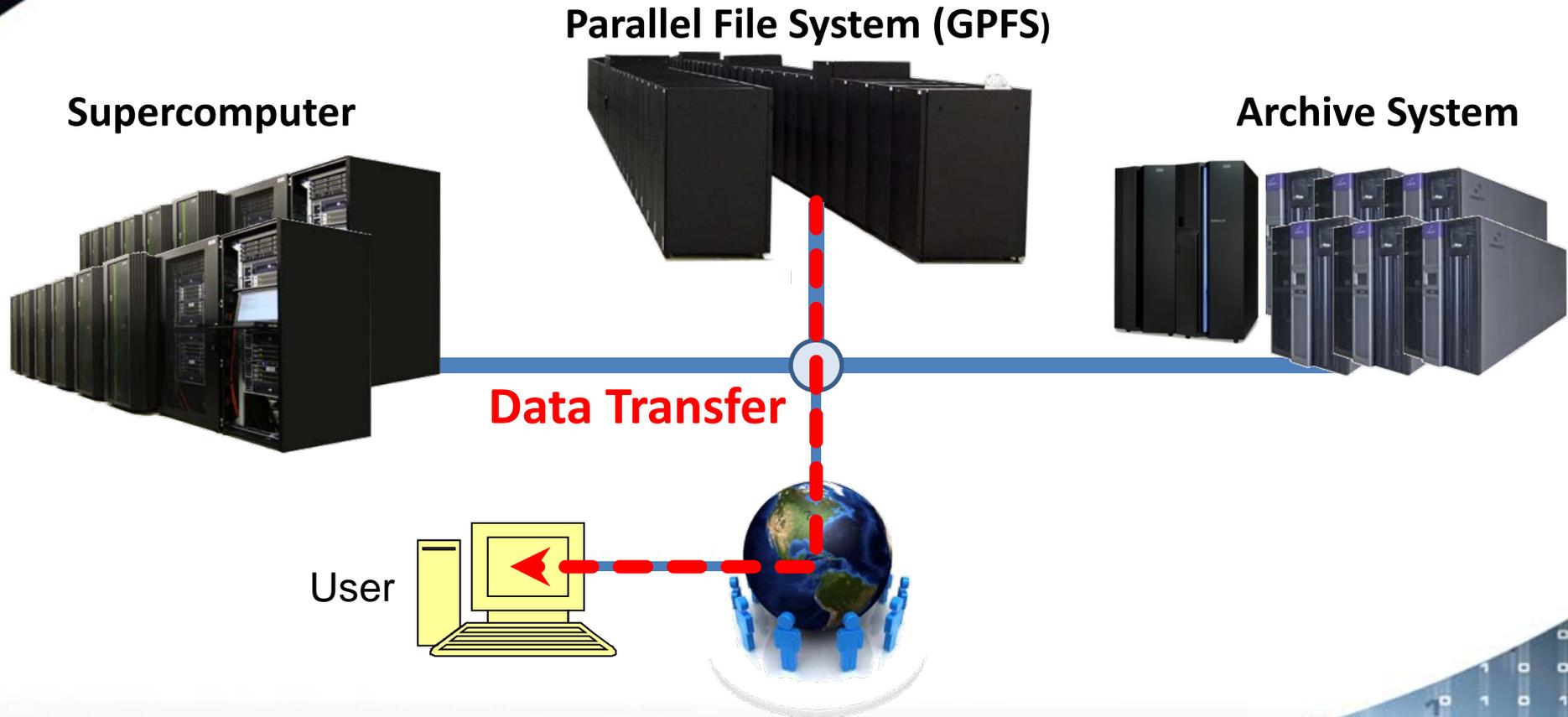
Michael Böttinger, DKRZ

# 3D-Visualisierungssysteme: SimVis

The image displays the SimVis software interface, which is used for 3D visualization and data analysis. The interface is divided into several panels:

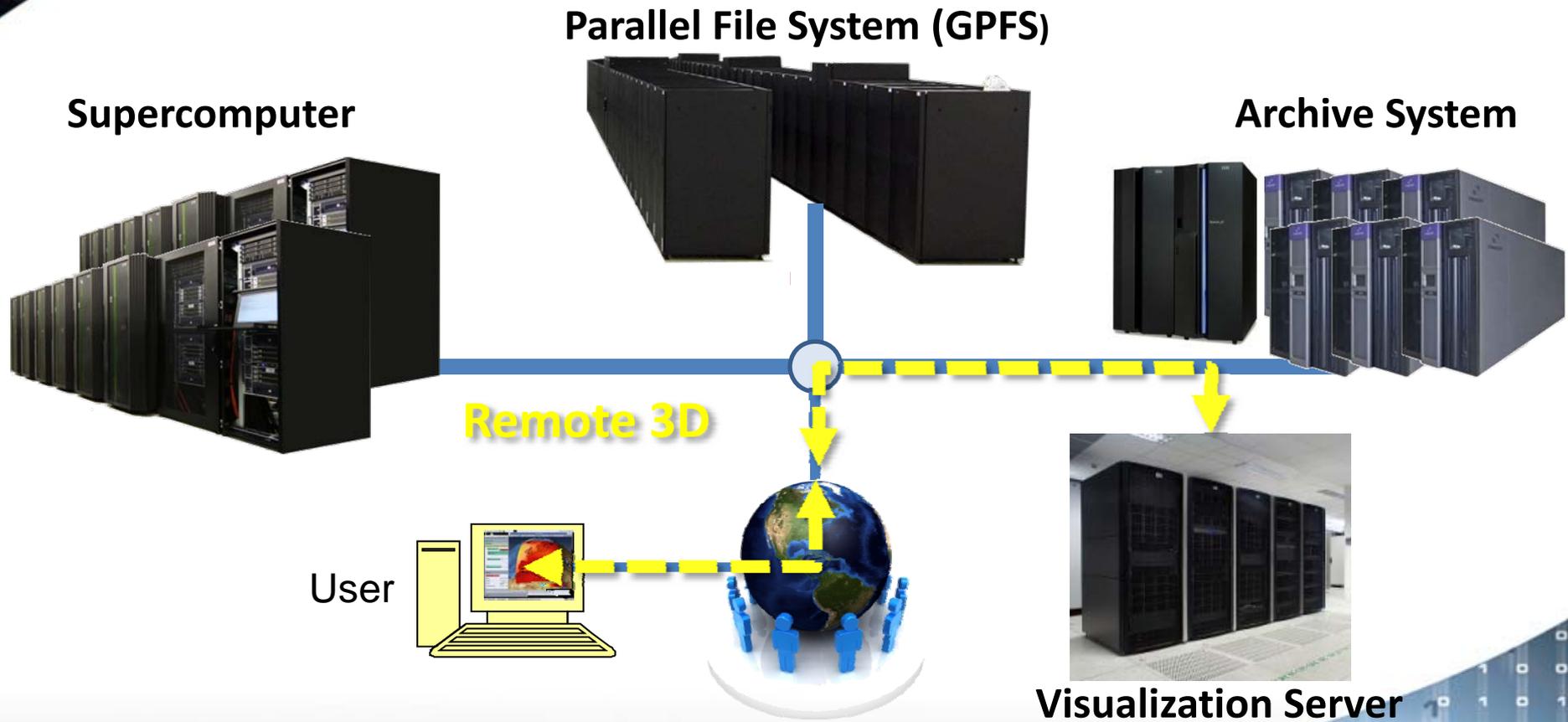
- SimVis: Tree View:** Shows the dataset details, including filename, timestep, active parts, time channels, cells, and vertices. It also lists the FDL root and feature sets.
- SimVis: Properties:** Contains the active rendering modes (Standard Utility Renderer, Pointbased Renderer, Structured Grid Renderer) and rendering mode settings. It includes color settings, transfer functions, and advanced settings like focus opacity, context opacity, and point size/density.
- SimVis: 3D View (Left):** Displays a 3D visualization of a building model with a color scale ranging from 0.000 to 3.000. The scale is labeled "Magnitude".
- SimVis: 3D View (Right):** Displays a 3D visualization of a building model with a color scale ranging from 0.000 to 1.000. The scale is labeled "Magnitude".
- SimVis: Scatterplot:** Shows a scatterplot of data points, with a color scale ranging from 0.000 to 3.000. The plot is labeled "building\_mask".
- SimVis: Derived Data View:** Shows a list of derived data variables, including "Magnitude", and provides options to select, save as template, and calculate data.

# Visualization in einer HPC Umgebung



Michael Böttinger, DKRZ

# Visualization in einer HPC Umgebung



Michael Böttinger, DKRZ

# Remote-3D-Rendering

## Lokaler Computer:

- Keyboard / Mouse
- Display
- Remote 3D Client

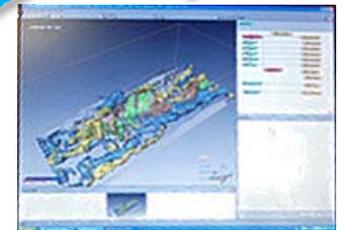
## Visualisierungsserver:

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

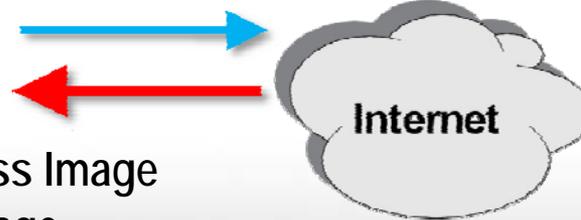


Keyboard / Mouse

Capture Keyboard / Mouse



Capture Framebuffer  
Compress Image  
Send Image to Client



Uncompress Image

Display Image

Dialo  
Klimaforschung

Michael Böttinger, DKRZ

# Herausforderungen

- ▶ Daten: Ein/Ausgabe, Speicherung und Zugriff wächst nicht wie Berechnung
- ▶ Geringe Skalierbarkeit heutiger Visualisierungssoftware
- ▶ Paradigmenwechsel?
- ▶ (zumindest einen Teil der) Visualisierungs-Pipeline zusammen mit dem Simulationsprogramm auf dem HPC-System ausführen?

# Fragen?

[boettinger@dkrz.de](mailto:boettinger@dkrz.de)

<http://www.dkrz.de>



# DKRZ

DEUTSCHES  
KLIMARECHENZENTRUM

Dialekte der  
Klimaforschung

Michael Böttinger, DKRZ