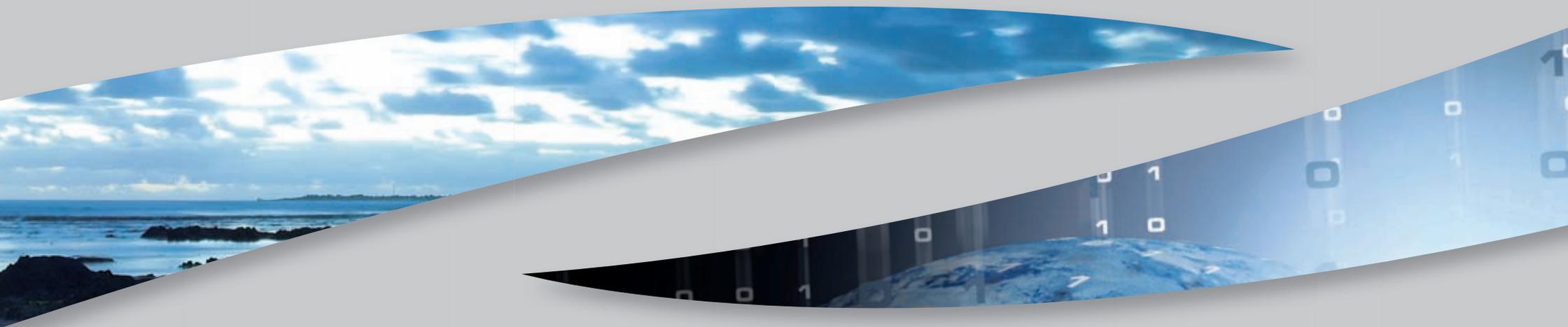




DKRZ

DEUTSCHES
KLIMARECHENZENTRUM

Höchstleistung für die Klimaforschung: Das Deutsche Klimarechenzentrum



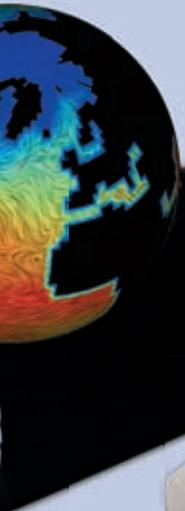
Inhaltsverzeichnis

Unsere Mission	3	Visualisierung am DKRZ	14–15
Das Klimaproblem	4	Unsere Rechengeschichte	16–17
DKRZ: Das Labor der Klimaforscher	5	Unser Ziel:	
Klimamodellierung	6–7	Erstklassige Klimasimulationen	18–19
Warum wir Supercomputer benötigen	8–9	Langfristige Ziele und Verpflichtungen	20–21
Hochleistungsrechnen am DKRZ	10–11	Öffentlichkeitsarbeit	22
Datenhaltung am DKRZ	12–13	Organisation	23



Unsere Mission:

Wir ermöglichen erstklassige Klimasimulationen durch eine einzigartige Kombination von höchster Rechenleistung und kompetentem Personal.



Team

- Sachkundig in Erdsystemforschung
- Kompetent im Hochleistungsrechnen
- Erfahren im Datenmanagement
- Führend in der Visualisierung

Technik

- Parallele Hochleistungsrechner
- Weltweit führende Archivierungssysteme
- Leistungsfähige Visualisierungssysteme

Das Klimaproblem

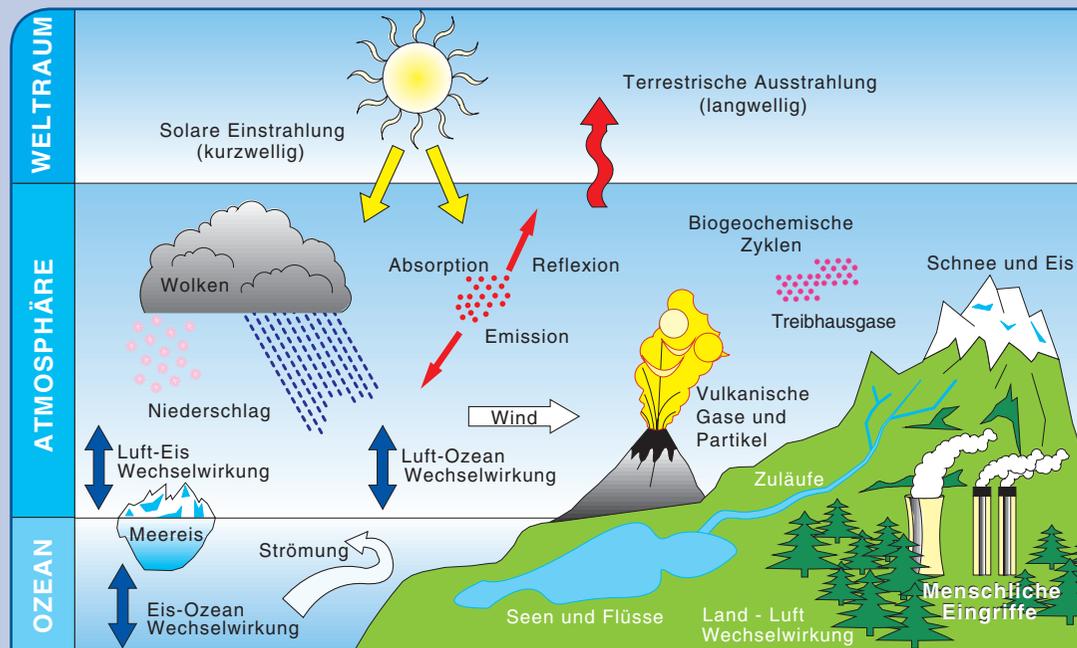
Wie wird sich das Klima in den kommenden Jahrzehnten entwickeln? Welche physikalischen, chemischen und/oder biologischen Mechanismen beeinflussen die Klimavariabilität? Mit welcher Genauigkeit lässt sich die Entwicklung des Erdsystems vorhersagen? Welche Veränderungen beruhen auf natürlichen Schwankungen und welche können menschlichem Handeln zugeordnet werden?

Das Klima unserer Erde unterlag schon immer Schwankungen, und dies wird auch in Zukunft so sein. Es ist von Phasen der Erwärmung und der Abkühlung geprägt.

Die Wissenschaft untersucht diese Veränderungen der vergangenen Jahrtausende, indem sie die Informationen gewinnt, die in den Eiskernen, Gletschern, Baumringen, Pollenfunden oder den Sedimenten des Ozeans archiviert sind.

Heute jedoch erwärmt sich die Erde in noch nie dagewesener Geschwindigkeit. Seit Beginn der Industrialisierung vor 150 Jahren hat sich das komplexe Gefüge der natürlichen Kräfte verändert. Der moderne Mensch spielt jetzt die herausragende Rolle im globalen Klimawandel.

Deshalb besteht heutzutage eine der größten Herausforderungen der Wissenschaft in der Erforschung der natürlichen Prozesse des Erdsystems, der Bestimmung des menschlichen Einflusses auf dieses System und dessen Reaktionen darauf.



Das Klimasystem

Das Klimasystem ist eine riesige Wärmemaschine, die durch die Einstrahlung der Sonne angetrieben wird. Die Unterschiede der einfallenden Sonnenstrahlung zwischen Äquator und Polarregionen, zwischen Tag und Nacht sowie zwischen Sommer und Winter erzeugen Temperaturschwankungen, die die atmosphärischen Bewegungen antreiben. Der Wind treibt seinerseits wieder die Ozeanströmungen an. Energie, Impuls und Massefluss zwischen den Ozeanen, der Atmosphäre, den schnee- und eisbedeckten Regionen und den Pflanzen zu Land und zu Wasser bestimmen die innere Dynamik des Klimasystems in zeitlichen Skalen von Stunden bis hin zu Jahrtausenden. Über die Verbrennung fossiler Brennstoffe und durch Landnutzungsänderungen bewirkt menschliches Handeln die Emission von Aerosolen und Treibhausgasen und beeinflusst so die chemische Zusammensetzung der Atmosphäre. Als Konsequenz dieser Eingriffe in die Stoffkreisläufe wird der natürliche Treibhauseffekt verstärkt. Auf der geologischen Zeitskala beeinflussen zusätzlich natürliche Prozesse wie die Kontinentaldrift, die Gebirgsbildung und die Erosion sowie Veränderungen in der Erdumlaufbahn das Klima.

DKRZ: Das Labor der Klimaforscher

Die Erde kann nicht in einem Labor nachgebildet werden! Wie können wir ein derart dynamisches und komplexes System verstehen? Wie können wir die dringendste aller Fragen beantworten: Was hält das Klima für unsere Zukunft und für die der Erde bereit? Die Antworten lassen sich nur mit Hilfe von Supercomputern finden. Nur sie ermöglichen es, die Komplexität des Klimaproblems nachzubilden.

Das Deutsche Klimarechenzentrum (DKRZ) stellt diese Werkzeuge – Rechenleistung und Datenverwaltung – bereit, sowie die Dienste, die zur effizienten Nutzung dieser Technik notwendig sind. Somit ist das DKRZ also das „Labor der Klimaforscher“.

Damit bildet das DKRZ die herausragende Forschungsinfrastruktur für die modellbasierte Simulation des globalen Klimawandels und seiner regionalen Effekte. Diese Aufgabe fügt sich in die neue High-Tech-Strategie zum Klimaschutz ein, die Prof. Dr. Annette Schavan, Bundesministerin für Bildung und Forschung, auf dem zweiten Klimagipfel in Berlin im Oktober 2007 vorstellte.



Hochleistungsrechner

Klimasimulationen mit Hilfe numerischer Modelle erfordern ein Höchstmaß an Rechnerressourcen. Nur Forschergruppen mit Zugriff auf die aktuellsten Rechnerarchitekturen sind wettbewerbsfähig. Das DKRZ bietet seinen Nutzern wesentlich mehr Rechenleistung an, als einzelnen Forschungsinstituten oder Universitäten üblicherweise zur Verfügung steht.



Dienste

Das DKRZ richtet seine Dienste speziell auf die spezifischen und anspruchsvollen Anforderungen der Klimasimulation aus. Deshalb betreibt das DKRZ nicht nur einen Rechner höchster Leistungsfähigkeit, sondern stellt auch das Wissen und die Unterstützung bereit, die wissenschaftlichen Anwender bei der Klimasystemmodellierung optimal zu unterstützen.

Daten

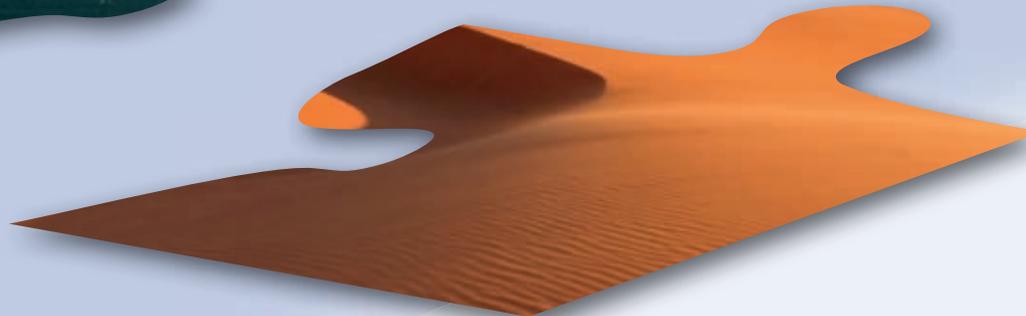
Klimamodellierer produzieren äußerst umfangreiche Datenmengen. Das DKRZ gehört zu einem der wenigen Rechenzentren weltweit, welche sowohl über die technische Ausstattung zur Speicherung dieser großen Datenmengen verfügen als auch über die geeignete wissenschaftliche Kompetenz zu ihrer Verwaltung.



Klimamodellierung

Das Ziel der Klimamodellierung besteht darin, das gesamte Klimasystem mit all seinen Prozessen und Wechselwirkungen zu reproduzieren.

Die verschiedenen Teilsysteme weisen jedoch stark variierende Zeitskalen auf. Daher ist es nicht möglich, alle wichtigen Komponenten des Klimasystems gleichzeitig in ein umfassendes Modell zu integrieren. Es muss eine Hierarchie von Modellen entwickelt werden, welche die verschiedenen Zeitskalen und Kombinationen von Teilsystemen berücksichtigen.



Die Entwicklung eines Klimamodells

Vorgänge im Klimasystem unterliegen bekannten Naturgesetzen, die in Form mathematischer Gleichungen formuliert werden können, zum Beispiel:

Masseerhaltung...

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + u \cdot \text{grad } \rho + \rho \cdot \text{div } u = 0$$

Wärmeleitung...

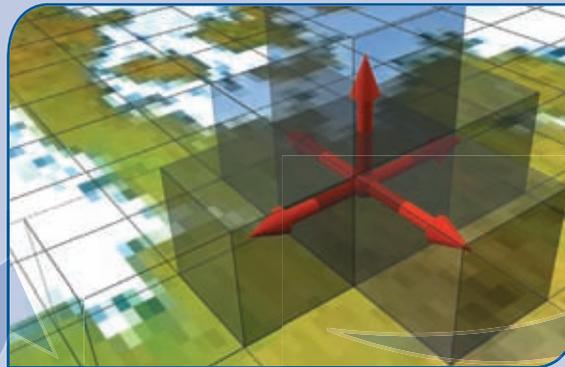
$$\frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial R} + \frac{v}{R} \frac{\partial T}{\partial R \varphi} + w \frac{\partial T}{\partial z} = \Delta^2(\kappa, T)$$

Bewegung...

$$\frac{d\vec{v}_0}{dt} + f(\vec{k} \times \vec{v}_0) = -\frac{1}{\rho_w} [\nabla_H(p + \rho_w g z)] + \vec{F}_H + \vec{F}_V$$

Da es nicht möglich ist, diese Gleichungen direkt zu lösen, haben Klimaforscher numerische Modelle entwickelt, mit denen sie näherungsweise im Computer berechnet werden können.

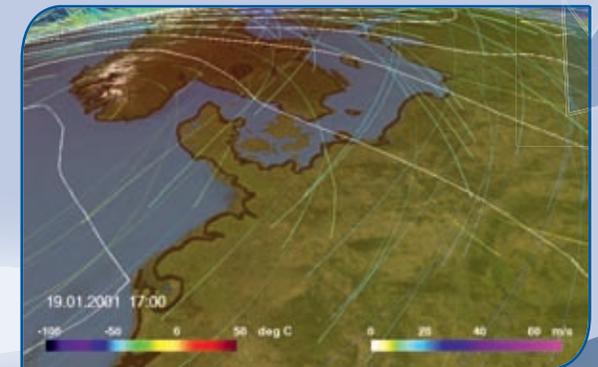
Zunächst müssen die verschiedenen Teile des Klimasystems, z.B. die Atmosphäre, die Landoberfläche, das Meereis und die Ozeane in tausende von Gitterzellen zerlegt werden.



Die Entwicklung von Klimagrößen wie etwa der Temperatur oder des Wasserdampfes in jeder einzelnen Gitterzelle sowie der Austausch dieser Eigenschaften zwischen den Gitterzellen müssen mittels Höchstleistungsrechnern einzeln bestimmt werden. Dieser Vorgang ist hochkomplex und erfordert nicht nur ein genaues Verständnis der physikalischen Vorgänge, sondern auch handwerkliches Können bei der Programmierung dieser Rechner.



Je kleiner die Gitterabstände und je mehr Vorgänge berücksichtigt werden, desto besser gelingt die Annäherung an das reale Klimageschehen.



Warum wir Supercomputer benötigen

Die Genauigkeit eines Klimamodells hängt von der Leistungsfähigkeit des Supercomputers ab, ist aber auch durch sie limitiert. Dies liegt an der Komplexität und Dynamik des Klimas sowie an der enormen Datenmenge, die berechnet und ausgewertet werden muss.

Komplexität

In der Vergangenheit konzentrierte sich die Klimamodellierung auf die Simulation physikalischer Komponenten und ihrer Koppelung, wie zum Beispiel der atmosphärischen und ozeanischen Zirkulation und den Austauschprozessen an der Meeresoberfläche. Der moderne Höchstleistungsrechner des DKRZ gestattet es den Forschern, chemische und biologische Vorgänge zu integrieren, und auch das Zusammenspiel von Klima und sozioökonomischem System zu studieren.

Die Forschungen im Bereich des globalen Klimawandels streben die Entwicklung eines komplexen Erdsystemmodells an, das alle physikalischen, chemischen und biologischen Interaktionen zwischen der Atmosphäre, dem Ozean, der Kryosphäre, der Biosphäre und den sozialen Aspekten umfasst.

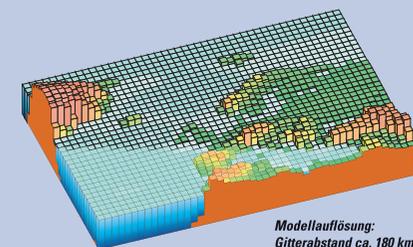
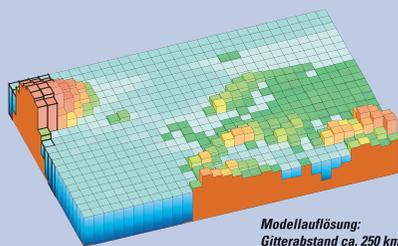
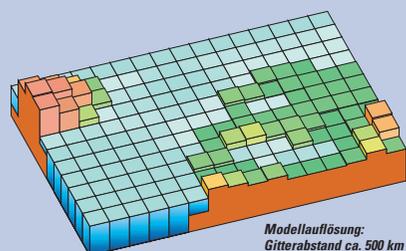
Räumliche Auflösung

Klimamodelle können die relevanten Klimagrößen im Raum nicht kontinuierlich berechnen. Stattdessen teilen sie den Ozean und die Atmosphäre in einzelne Zellen auf, die ein Gittersystem bilden. Es wird lediglich der Mittelwert einer Modelleigenschaft innerhalb einer Gitterzelle betrachtet und dieser als repräsentativ für die gesamte Zelle angesetzt. Je höher die räumliche Auflösung des Modells, d.h. je kleiner die Gitterzellen werden, desto genauer ist das Ergebnis. Eine Verdopplung der Auflösung eines globalen Modells bewirkt jedoch eine Verachtfachung der Anzahl der Koordinatenpunkte und eine Verdoppelung der Anzahl der Zeitschritte und somit eine mehr als zehnfache Erhöhung der benötigten Rechenzeit für dieselbe Simulationsperiode.

Selbst heute sind die modernsten Supercomputer noch nicht leistungsfähig genug, um ein umfassendes Klimamodell in der benötigten räumlichen Auflösung zu berechnen.

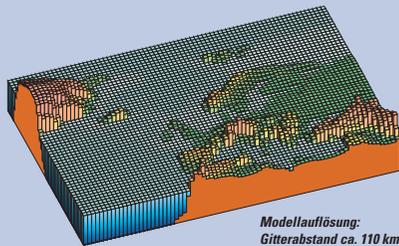
Ensembles

Numerische Methoden reagieren oft empfindlich auf kleine Veränderungen in den Eingabewerten. Die Verlässlichkeit der Modelle wird deshalb immer wieder angezweifelt. Je leistungsfähiger die Computer werden, desto häufiger können sogenannte Ensemble-Berechnungen durchgeführt werden: Die Modellrechnungen werden mehrfach mit leicht veränderten Startwerten wiederholt, so dass man zufallsbedingte Schwankungen von statistischen Trends unterscheiden kann. Je leistungsfähiger der Computer, desto umfangreicher die Ensembles – und desto verlässlicher das Endergebnis.



Lange Simulationsläufe

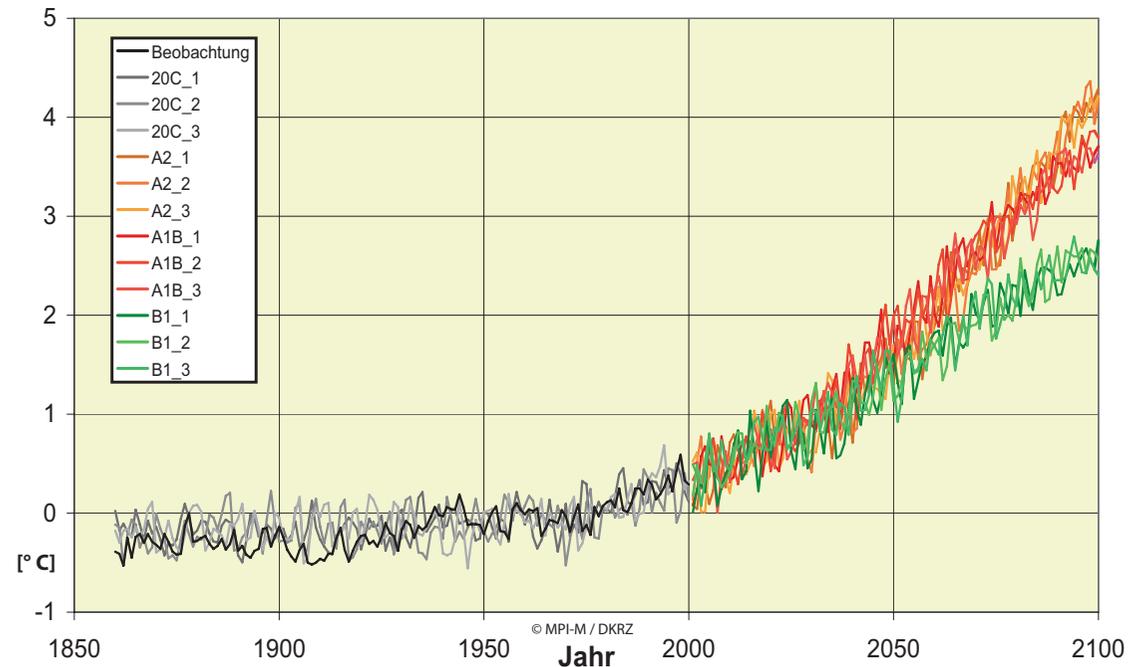
Viele wissenschaftliche Untersuchungen erfordern eine Simulation des Klimageschehens über eine Periode von mehreren Jahrhunderten. Wir müssen hierzu viele Jahre des simulierten Klimas an einem Kalendertag berechnen können. Jedoch brauchen auch die stärksten Supercomputer heute immer noch viele Monate, um ein Klimaereignis wie zum Beispiel eine Eiszeit zu berechnen.



Parametrisierung

Viele wichtige physikalische Prozesse haben eine räumlich kleinere Ausdehnung als die Gitterzelle, innerhalb der sie berechnet werden, so dass sie in heutigen Klimamodellen noch nicht adäquat erfasst werden können.

Die Bildung von Wolken ist ein Beispiel für einen solchen nicht erfassbaren Prozess. Wolken können aber in Klimamodellen nicht vernachlässigt werden, da sie eine wichtige Rolle für die Temperatur auf der Erde spielen: Sie reflektieren die Sonnenstrahlen und begünstigen somit den Treibhauseffekt. Die Modellierer müssen den Wolken Einfluss im Modell parametrisieren und geeignete Darstellungen für die mittleren Einflusswerte bestimmen. Ähnliche Parametrisierungen benötigen wir für den Wärme- und Wasserdampfaustausch der Meere und für viele andere Prozesse.



Ensembles: Mehrere IPCC-Berechnungen zur Änderung der mittleren Jahrestemperatur gegenüber 1961-1991

Hochleistungsrechnen am DKRZ

Rechnersysteme

„Blizzard“

Im Februar 2009 installierte das DKRZ einen neuen Supercomputer, genannt **Blizzard**, der sich unter die 30 schnellsten Rechner der Welt eingruppiert konnte, und der vermutlich stärkste Computer ist, der weltweit ausschließlich für Klimaforschung eingesetzt wird.

Die Architektur des Systems garantiert eine optimale Leistung und Effizienz für anspruchsvolle Simulationsexperimente mit numerischen Klimamodellen. Die Maschine

wurde an Hand von Leistungsdaten ausgewählt, die mit unterschiedlichen realen Klimamodellen auf verschiedenen Rechnersystemen gemessen wurden.

„Tornado“

Tornado ist ein Linux-Rechnercluster, das vom Max-Planck-Institut für Meteorologie und dem DKRZ gemeinsam betrieben wird. Es wird zur Modellentwicklung und zu Testläufen verwendet, während Blizzard die umfangreichen Berechnungen für die Forschungen der Klimawissenschaftler liefert.



Blizzard auf einen Blick

- Maximale Leistung: 158 TeraFlop/s (158 Billionen Gleitkommaoperationen pro Sekunde)
- 264 IBM Power6-Rechnerknoten
- 16 Dual-Core-Prozessoren pro Knoten (insgesamt 8.448 Kerne)
- Mehr als 20 TeraByte Hauptspeicher
- 7.000 TeraByte Plattenspeicher (ab 2011)
- Infiniband-Netzwerk mit 7,6 TeraByte/s aggregierter Übertragungsrate



Tornado auf einen Blick

- Maximale Leistung: 10 TeraFlop/s
- 256 Sun Fire X2200M2-Rechnerknoten
- 2 Quad-Core-Prozessoren pro Knoten (insgesamt 2.048 Kerne)
- 8,5 TeraByte Hauptspeicher
- 300 TeraByte Plattenspeicher
- Infiniband-Netzwerk mit 1 TeraByte/s aggregierter Übertragungsrate

Vergleichszahlen

Das IBM Power6-Rechnersystem liefert mehr als 150 TeraFlop/s Spitzenleistung. Jeder Mensch dieser Erde müsste 20.000 Multiplikationen pro Sekunde durchführen, damit alle zusammen dieselbe Rechenleistung erzielen könnten. Die aggregierte Übertragungsrate zwischen allen Rechnerknoten erreicht 7 TeraByte/s, d.h. pro Sekunde können 150 Blue-Ray-Disks übertragen werden.

Die IBM Power6 setzt sich aus 264 Rechnerknoten zusammen, die mit 51 km Kabel miteinander verbunden sind. Das gesamte Rechnersystem hat ein Gewicht von etwa 35 Tonnen.

Dienste rund um das Hochleistungsrechnen

Neben dem Betrieb von modernsten Höchstleistungsrechnern, die auf die Bedürfnisse der Klimaforscher zugeschnitten sind, stellt das DKRZ auch die Dienste bereit, welche für eine effiziente Nutzung dieser wertvollen Ressourcen notwendig sind.

Optimierung

Moderne Höchstleistungsrechner sind komplexe Systeme. Am DKRZ wird die aktuellste Technologie verwendet, die noch dazu genau auf ihr Anwendungsgebiet abgestimmt ist. Es gibt weltweit nur wenige vergleichbare Systeme. Davon ist keines wie das DKRZ-System konfiguriert. Es ist deshalb von entscheidender Bedeutung, seine charakteristischen Eigenschaften genau zu kennen, um die volle Leistungsfähigkeit dieses Rechners ausschöpfen zu können. Die Mitarbeiter des DKRZ bieten diese Kenntnisse den Wissenschaftlern an, die im Normalfall nicht darüber verfügen.

Parallelisierung

Bis vor kurzem verdoppelte sich die Rechenleistung eines Prozessors ungefähr alle zwei Jahre. Aktuelle Trends zeigen, dass dies in Zukunft für die Anzahl der Rechnerkerne gelten wird. Das erste Rechnersystem am DKRZ hatte vor 20 Jahren nur einen einzelnen Prozessor – das aktuelle System verfügt über mehr als 8.000. Die kommende Generation, die in wenigen Jahren installiert werden wird, verfügt vermutlich über Zehntausende von Rechnerkernen. Die Experten am DKRZ unterstützen die Klimaforscher bei der optimalen Anpassung ihrer Anwendungen auf diese Rechenarchitekturen.

Durchführung von Klimasimulationen

Ein erheblicher Teil der Rechenleistung des DKRZ wird sogenannten Konsortialrechnungen gewidmet, die für eine breite interdisziplinäre Wissenschaftsgemeinde von Bedeutung sind. Diese Berechnungen werden in enger Zusammenarbeit zwischen Mitarbeitern des DKRZ und externen Wissenschaftlern durchgeführt. Die Ergebnisse stehen Dritten unentgeltlich zur Verfügung.

Forschung

Mit jeder neuen Rechnergeneration vergrößert sich die Kluft zwischen der theoretischen Spitzenleistung des Rechners und der in der Praxis erzielten Geschwindigkeit der Anwendung. Für künftige Rechnersysteme müssen neue Programmierkonzepte entwickelt werden, um deren Rechenleistung ausschöpfen zu können. Das DKRZ beteiligt sich an solchen Forschungsprojekten und entwickelt neue Konzepte gezielt für die Bedürfnisse der Klimaforscher.

Ausbildung

Die kontinuierliche Ausbildung unserer Benutzer ist uns besonders wichtig. Das DKRZ hält regelmäßige Schulungen ab, in dem der effiziente und sorgsame Gebrauch unserer Rechnerressourcen vermittelt wird. Ausbildungsabschnitte für Fortgeschrittene spezialisieren sich auf vertiefte Programmiertechniken.



Datenhaltung am DKRZ

Datenarchivierungssystem

HPSS: High Performance Storage System

Das DKRZ besitzt eines der weltweit größten Datenarchive, das 2009 bereits 10 PetaByte Ergebnisdaten von Klimasimulationen der letzten beiden Jahrzehnte umfasste. Der exponentielle Zuwachs an Leistung mit jeder neuen Rechnergeneration lässt auch die Datenmenge entsprechend ansteigen. Mit dem aktuellen Rechnersystem werden ungefähr 10 PetaByte pro Jahr erzeugt. Für die nächste Rechnergeneration erwarten wir einen Anstieg um eine weitere Größenordnung.

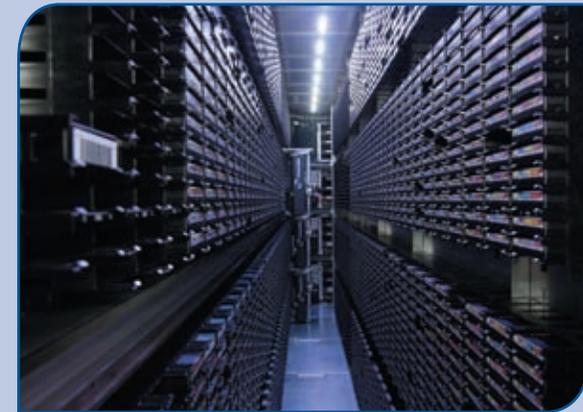


Das Archiv des DKRZ auf einen Blick

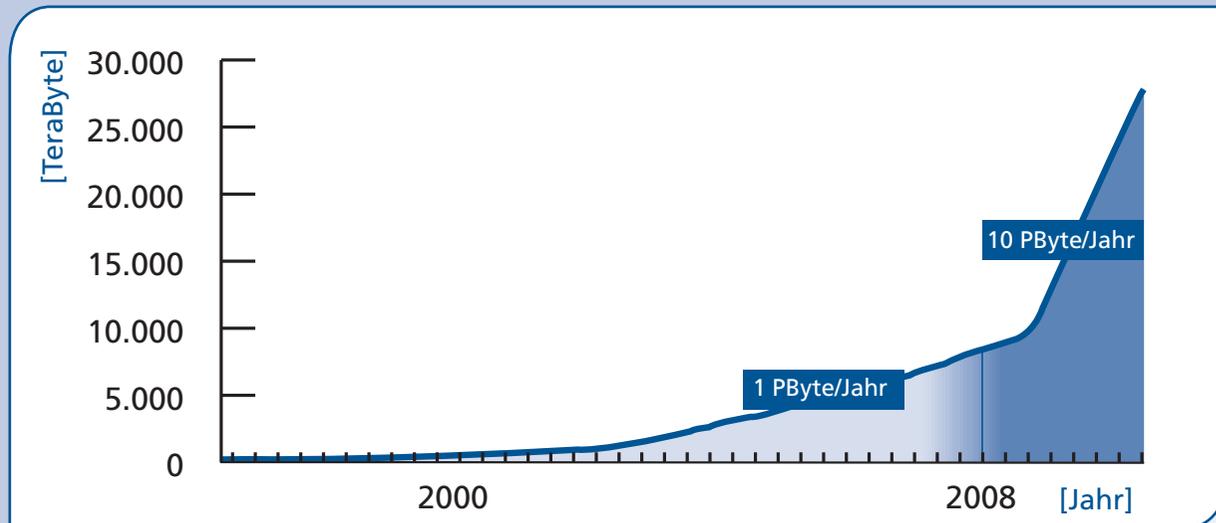
- 7 automatische Sun StorageTek SL8500-Bandbibliotheken
- 8 Roboter je Bibliothek
- Mehr als 60.000 Stellplätze für Bänder
- 78 Bandlaufwerke
- Gesamtkapazität von über 60 PetaByte
- Bidirektionale Bandbreite von 5 GigaByte/s

Vergleichszahlen

Am DKRZ werden jährlich 10 PetaByte (10.000 TeraByte) an Daten produziert, was etwa der Datenmenge von 2 Millionen Video-DVDs entspricht. Die Daten werden auf Magnetbändern in den Datensilos des DKRZ abgelegt. Die Datenübertragungsrate beträgt hier 5 GigaByte/s, d.h. wir übertragen mehr als den Inhalt einer DVD in einer Sekunde.



Blick auf die Magnetbandkassetten in einer der sieben Bandbibliotheken am DKRZ



Exponentieller Datenzuwachs am DKRZ

Datendienste

Die ständig anwachsenden Verarbeitungsgeschwindigkeiten am DKRZ führen auch zu neuen Anforderungen an Speicherung und Handhabung der Daten. Das DKRZ unterstützt die Anwender mit Beratung, Werkzeugen und spezieller Hardware, um die Nutzung der riesigen Datenmengen, die für die Klimaforschung typisch sind, zu gewährleisten.

WDCC: World Data Centre for Climate

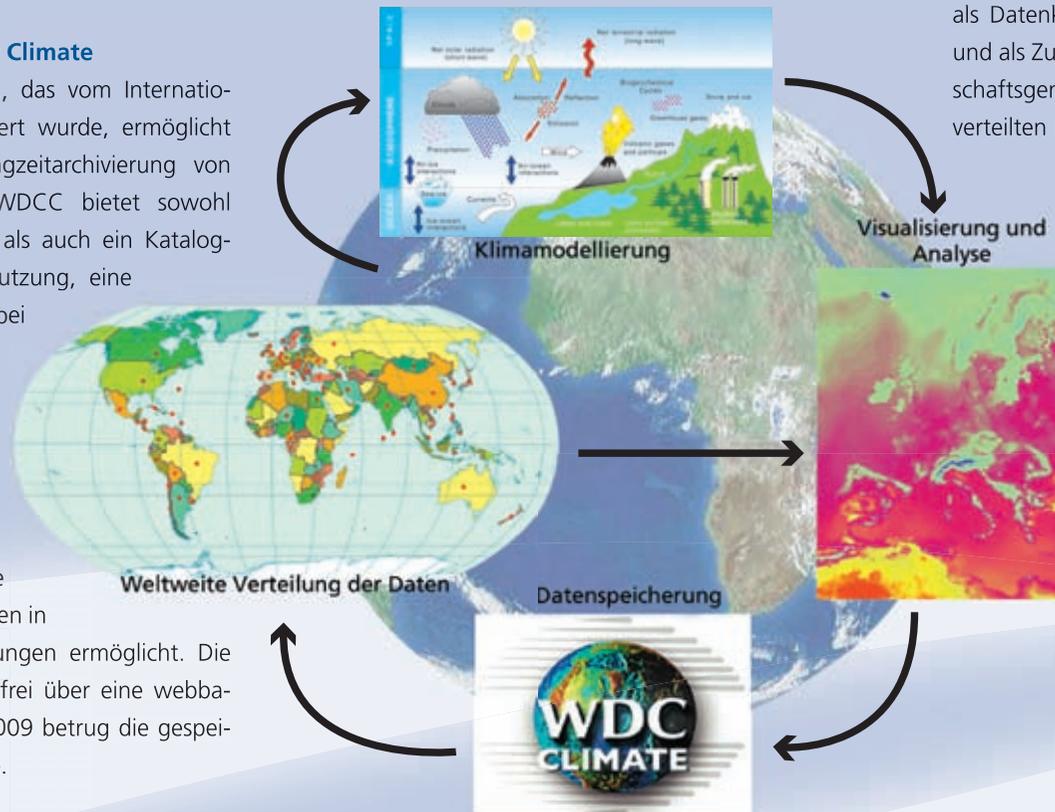
Das am DKRZ ansässige WDCC, das vom International Council for Science zertifiziert wurde, ermöglicht den Wissenschaftlern eine Langzeitarchivierung von Klimasystemmodellldaten. Das WDCC bietet sowohl die reine Datenspeicherung an, als auch ein Katalogsystem, Werkzeuge zur Datennutzung, eine Dokumentation der Daten. Dabei garantiert das WDCC hohe Standards der Archivierung, Qualitätssicherung und Nutzbarkeit. Für ausgewählte und qualitätsgeprüfte Daten bietet das WDCC einen Dienst zur Primärdatenpublikation an, der die direkte Referenzierung dieser Daten in wissenschaftlichen Veröffentlichungen ermöglicht. Die meisten Daten des WDCC sind frei über eine webbasierte Schnittstelle zugänglich. 2009 betrug die gespeicherte Datenmenge 400 TeraByte.

Datenerzeugung für die Forschungsgemeinschaft

Im Rahmen der Konsortialrechnungen werden Klimadaten, die für eine größere Gemeinschaft von Interesse sind, erzeugt, verarbeitet und von den DKRZ-Mitarbeitern in Zusammenarbeit mit den Wissenschaftlern Dritten zugänglich gemacht.

IPCC-Datenknoten und -Zugangsknoten

Der Weltklimarat (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) erstellt regelmäßig Bewertungsberichte zum Klimawandel, die auf den Ergebnisdaten von Klimasimulationen dutzender internationaler Forschungseinrichtungen beruhen. Das DKRZ ist eines der wenigen Zentren weltweit, das zwei Rollen innehat: Es agiert als Datenknoten, um Datenteilmengen abzuspeichern, und als Zugangsknoten, um der internationalen Wissenschaftsgemeinde und Politikern Zugriff auf die weltweit verteilten Daten zu gewähren.



Forschung

Das DKRZ ist in Forschungsprojekte integriert, die sich mit einer effizienten und zuverlässigen Datenverwaltung befassen. Das beinhaltet die Beschreibung und Annotation von Klimadaten in einer standardisierten und international austauschbaren Weise, das Auffinden von Daten für spezifische Forschungsprojekte und technische Lösungen zur Speicherung und zur einfachen Wiederherstellung von Daten aus verteilten Datenarchiven.

Visualisierung am DKRZ

Visualisierungssystem

Die statistische und visuelle Analyse der Daten aus Klimasimulationen gewinnt durch die stark anwachsenden Datenmengen zunehmend an Bedeutung.

Visualisierung ist eine der Schlüsseltechnologien zum Verständnis und zur Kommunikation von Ergebnissen umfangreicher numerischer Simulationen. Bis vor kurzem wurde eine interaktive Datenvisualisierung auf dem lokalen Rechner des Wissenschaftlers ausgeführt. Dies erforderte eine sehr schnelle Netzverbindung zwischen Rechenzentrum und Arbeitsplatzrechner, um die Daten in akzeptabler Zeit übertragen zu können.



Der Visualisierungsserver „Vision“

- 8 Visualisierungsknoten HP XW 9400
- 1 SMP-Visualisierungsknoten HP dl 585
- 18 NVidia FX5500-Grafikkarten
- 48 TeraByte Plattenspeicher
- Infiniband-Netzwerk

Zusätzlich mussten diese lokalen Rechner sehr leistungsfähig und mit genügend Speicherplatz und teuren Grafikkarten versehen sein.

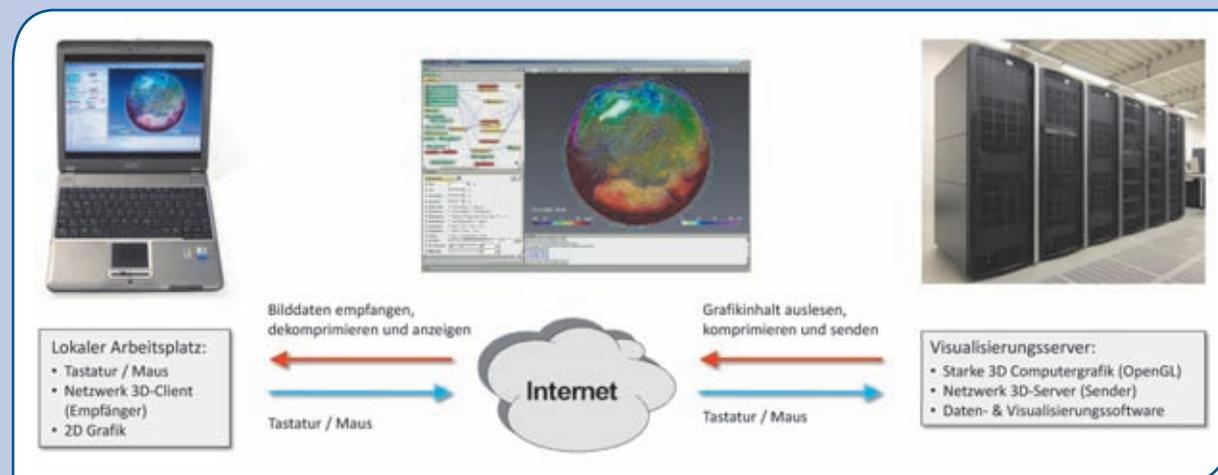
Das DKRZ betreibt einen Visualisierungsserver, um die oben beschriebenen Nachteile zu beseitigen. Ein zentraler Server innerhalb des DKRZ-Netzwerkes verfügt über einen unmittelbaren Zugriff auf alle am DKRZ gespeicherten Daten. Der Server ist ein Rechnercluster leistungsfähiger Grafikworkstations, die mit einem schnellen Netzwerk und einem parallelen Speichersystem verbunden sind.

Eine Client/Server-Lösung für netzwerkbasierendes 3D-Rendern vervollständigt das System: Die 3D-Visualisierung wird effizient auf einer zentralen 3D-fähigen Grafikkarte

Hardware berechnet. Diese Technik gestattet es uns, den Bildschirminhalt kontinuierlich zu übertragen und die großen Datenmengen innerhalb der leistungsfähigen DKRZ-Infrastruktur zu belassen.

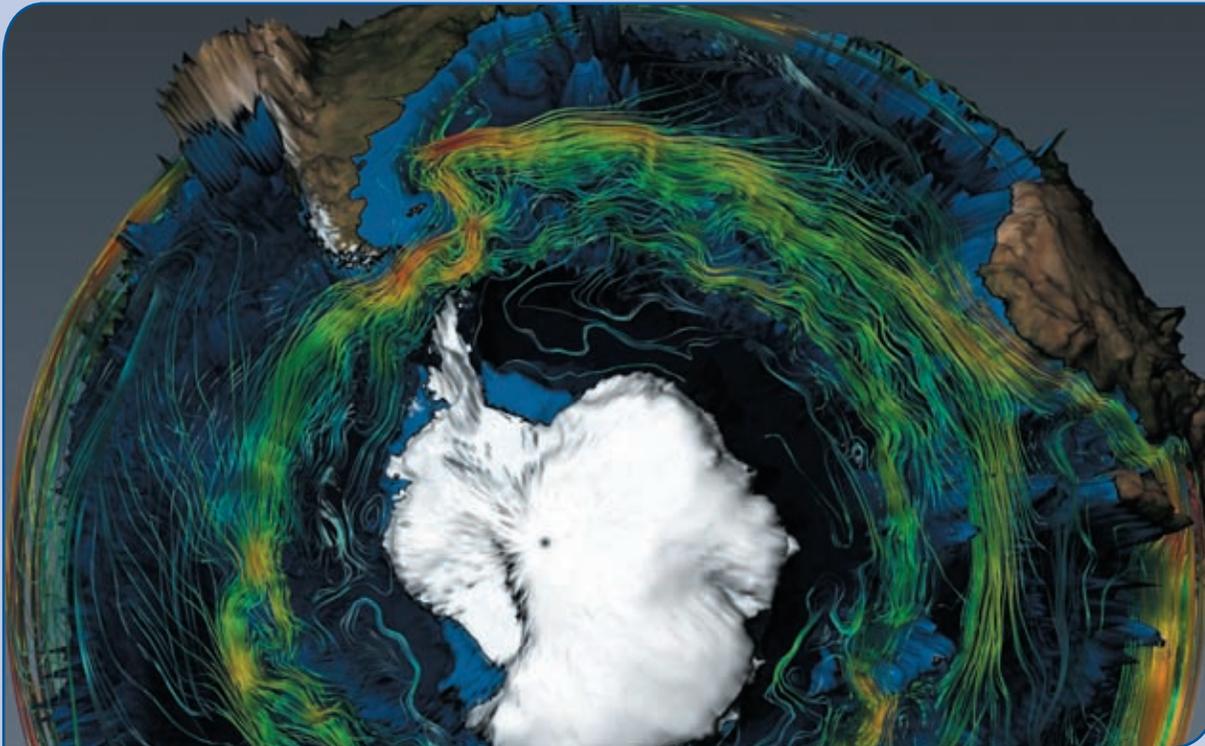


Im Seminarraum des DKRZ können Daten interaktiv in 3D Stereo auf einer hochauflösenden „VR-Powerwall“ visualisiert werden.



Am DKRZ verwendete Client/Server-Lösung für netzwerkbasierendes 3D-Rendern

Visualisierungsdienste



Visualisierung des simulierten antarktischen Zirkumpolarstromes anhand von „illuminierten Stromlinien“. (Daten: MPI-OM Ozeanmodell)

Die typischen Datensätze eines Klimasystemmodells sind dreidimensional, multivariat und zeitabhängig. Eine interaktive visuelle Datenanalyse verbessert und beschleunigt das Erfassen der riesigen Datenmengen. Darüber hinaus helfen aussagekräftige Visualisierungen bei der Verbreitung wissenschaftlicher Ergebnisse in Veröffentlichungen und Vorträgen.

Für die interaktive dreidimensionale Visualisierung und die Analyse dreidimensionaler Daten bietet das DKRZ geeignete hochmoderne Software-Lösungen an.

XGreen, eine Erweiterung der interaktiven Visualisierungssoftware Avizo, wurde in enger Zusammenarbeit mit dem DKRZ entwickelt und ist besonders auf die Visualisierung von Klimadaten ausgerichtet. Zum Beispiel kann XGreen Datenformate, die in der Klimaforschung häufig verwendet werden, direkt einlesen und die Daten interaktiv darstellen. Hierbei können verschiedene Darstellungsarten eingesetzt werden und weitere Daten wie zum Beispiel Satellitenbilder hinzugefügt werden.

Die 3D-Visualisierungslösungen können am DKRZ auch in einem Modus für virtuelle Realität auf einer hochauflösenden „VR-Powerwall“ genutzt werden. Dies ermöglicht es, Visualisierungen auch stereoskopisch auf einem großen Bildschirm interaktiv und räumlich erfahrbar darzustellen.



Simulierte Vulkaneruption. Die Isofläche zeigt die ausgestoßene Aschewolke. (Daten: MPI-M)

Unsere Rechengeschichte



1985: Control Data Cyber-205

- 1 Prozessor • 0,2 GFlop/s
- 0,032 GByte Hauptspeicher



1988: Cray 2-S

- 4 Prozessoren
- 1 GByte Hauptspeicher



1994: Cray C-916

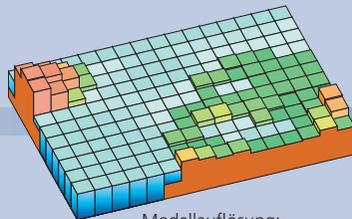
- 16 Prozessoren • 16 GFlop/s
- 2 GB Hauptspeicher + 4 GB SSD



2002: NEC SX-6

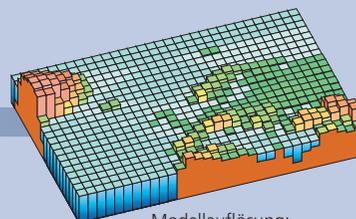
- 192 Prozessoren • 1.536 GFlop/s
- 1.536 GByte Hauptspeicher

1985



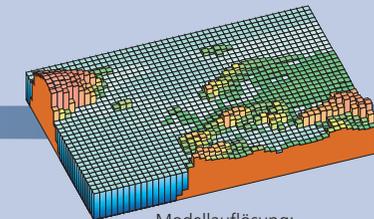
Modellauflösung:
Gitterabstand ca. 500 km

1990



Modellauflösung:
Gitterabstand ca. 250 km

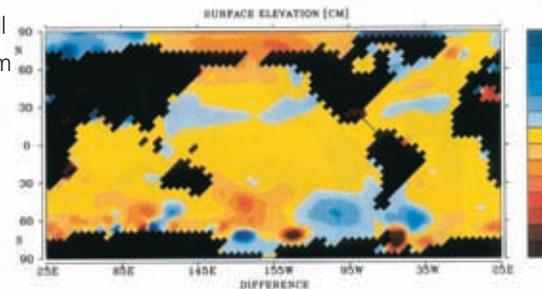
1995



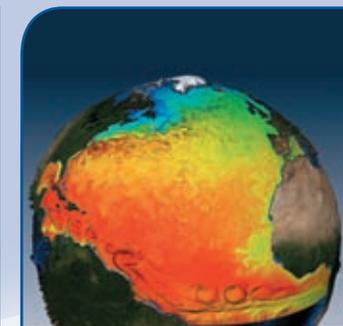
Modellauflösung:
Gitterabstand ca. 180 km

- Simulationen mit 3D-Atmosphären- oder Ozeanmodellen
- Gekoppelte Modelle: 3D-Atmosphäre und ozeanische Deckschicht
- Simulationszeit: Monate bis Jahre
- Gitterabstand Atmosphäre: 500 km

- Erste Simulationen mit gekoppeltem 3D-Atmosphären-Ozean-Modell
- Gitterabstand: 500 km
- Experiment zur CO₂-Verdopplung
- Erste Simulationen mit kontinuierlichem CO₂-Anstieg
- Flusskorrektur
- Simulierte Zeit: 200 Jahre



- CO₂-Szenariosimulationen
- Gekoppelte 3D-Atmosphären-Ozean-Modelle
- 2D-Aerosol-Antrieb
- Flusskorrektur
- Simulierte Zeit: mehrere 100 Jahre
- Gitterabstand: 250–500 km

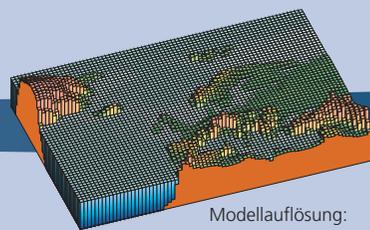


- Hochauflösende Regionalmodelle



2009: IBM Power6

- 8.448 Prozessoren
- 158.000 GFlop/s
- 20.000 GByte Hauptspeicher



Modellauflösung:
Gitterabstand ca. 110 km

2004

- CO₂-Szenariosimulationen
- Gekoppelte 3D-Atmosphären-Ozean-Modelle
- 3D-Aerosol-Antrieb
- Hydrologisches Landmodell
- Ohne Flusskorrektur
- Simulierte Zeit: 5.000 Jahre
- Gitterabstand: 180 km
- Dreifach Ensemble-Simulation
- Ergebnisdaten: 150 TeraByte

2010

- CO₂-Szenariosimulationen
- Gekoppelte 3D-Atmosphären-Ozean-Modelle
- 3D-Aerosol-Antrieb
- Kohlenstoffkreislauf inklusive Biosphäre und Ozeanbiogeochemie
- Ohne Flusskorrektur
- Simulierte Zeit: 10.000 Jahre
- Gitterabstand: 50–100 km
- Mehrfach-Ensemble-Simulation
- Ergebnisdaten: 3 PetaByte

Rechenleistung und wissenschaftlicher Fortschritt

Die in den letzten Jahrzehnten stetig gestiegene Rechenleistung am DKRZ ermöglichte einen wesentlichen Fortschritt bei der Berechnung von Klimamodellen. Als das DKRZ 1987 gegründet wurde, erlaubte die damalige CDC Cyber-205 jeweils nur die Simulation der Atmosphäre oder des Ozeans. Ebenso war das Gitter sehr grob und die simulierte Zeit war auf einige wenige Jahre beschränkt.

Seit dieser Zeit ermöglicht jedes neue System des DKRZ eine Ausdehnung der simulierten Zeitspannen, eine Aufnahme weiterer Prozesse und eine höhere räumliche Auflösung. Dies führt zu immer realitätsnäheren Simulationen. Aber auch heute noch, mit einem der weltweit stärksten Klimarechner, ist die Realitätstreue der Modellrechnungen durch die verfügbaren Rechnerressourcen beschränkt.

Unser Ziel: Erstklassige Klimasimulationen

Klimaprojektionen

Die weltweit führenden Gruppen zur Klimamodellierung führen regelmäßig ausgedehnte CO₂-Szenarienrechnungen für die Statusberichte des Weltklimarats aus (siehe Kasten). Der deutsche Beitrag hierzu wird überwiegend auf den Supercomputern des DKRZ berechnet. Diese Simulationen fordern die Ressourcen des DKRZ regelmäßig auf das Äußerste heraus.

Für die deutsche Klimawissenschaft haben sich die Dienste und Systeme des DKRZ als unverzichtbar herausgestellt, um bei solch außergewöhnlichen Simulationsprojekten erfolgreich sein zu können.



Modellauflösung der Simulationen für die IPCC Sachstandsberichte (links: AR4, rechts: AR5)

IPCC

Das Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) ist ein zwischenstaatlicher Ausschuss, der 1988 von der Weltorganisation für Meteorologie (WMO) und dem Umweltprogramm der Vereinten Nationen (UNEP) eingesetzt wurde. Seither wurden vier Sachstandsberichte (Assessment Report, AR) vom IPCC erstellt: 1990, 1995, 2001, 2007.

Der vierte Sachstandsbericht

Im Jahr 2004 wurde etwa ein Viertel der damals verfügbaren Rechnerleistung am DKRZ ausschließlich für die Klimaberechnungen im Rahmen des vierten IPCC-Sachstandsberichts eingesetzt. Sechs NEC SX-6-Rechnerknoten rechneten dafür rund um die Uhr.

Die Simulationen wurden mit dem gekoppelten Atmosphären-Ozean-Modell ECHAM5/MPI-OM durchgeführt. Die atmosphärische Komponente hatte eine horizontale Auflösung von ca. 180 km und 31 Höhenschichten. Das Ozeanmodell wurde mit örtlich variierenden horizontalen Auflösungen zwischen 10 km und 150 km genutzt.

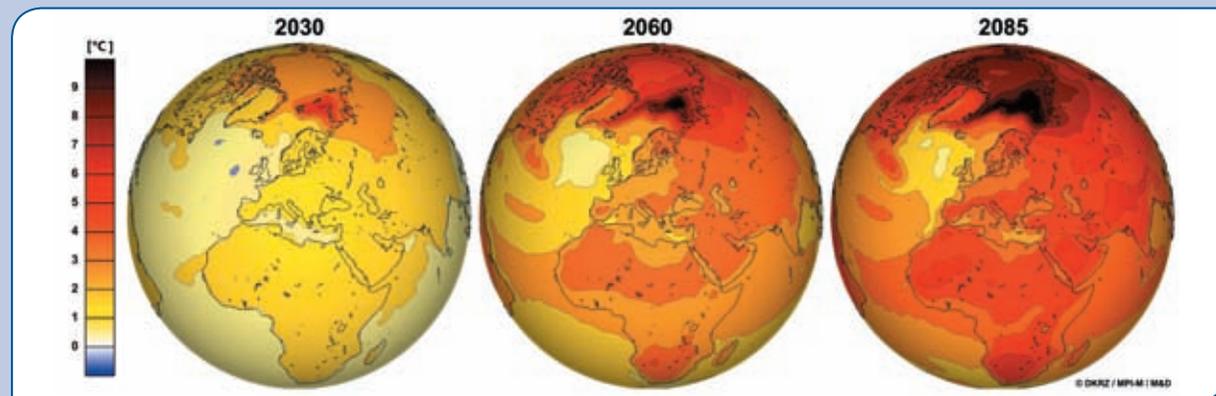
Die Ergebnisse der Simulationen wurden in einer relationalen Datenbank abgespeichert und stehen im WDCC den Wissenschaftlern zur weiteren Analyse zur Verfügung. Die Ergebnisse dieser Modelle der IPCC-Berechnungen umfassen mehr als 150 TeraByte.

Der fünfte Sachstandsbericht

Der am DKRZ 2009 neu installierte Supercomputer ermöglicht deutlich höhere räumliche Auflösungen als bei vorangegangenen Experimenten. Das Atmosphärenmodell arbeitet mit einer horizontalen Auflösung von unter 100 km (gegenüber 180 km zuvor). Das Ozeanmodell löst horizontal mit bis zu 0,4 Grad auf, was etwa 45 km entspricht. Mit dieser feineren Auflösung können nun physikalische Prozesse wie zum Beispiel starke Stürme oder Ozeanwirbel realistischer simuliert werden.

Zusätzlich berechnet das neue Modell weitere physikalische Prozesse, insbesondere in der Landbiosphäre und der Biogeochemie im Ozean, um einen vollständigen Kohlenstoffzyklus zu simulieren.

Der Berechnungsaufwand für diese neuen Simulationen mit diesem deutlich verbesserten Modell beträgt etwa das 100-fache der vorherigen Untersuchungen.

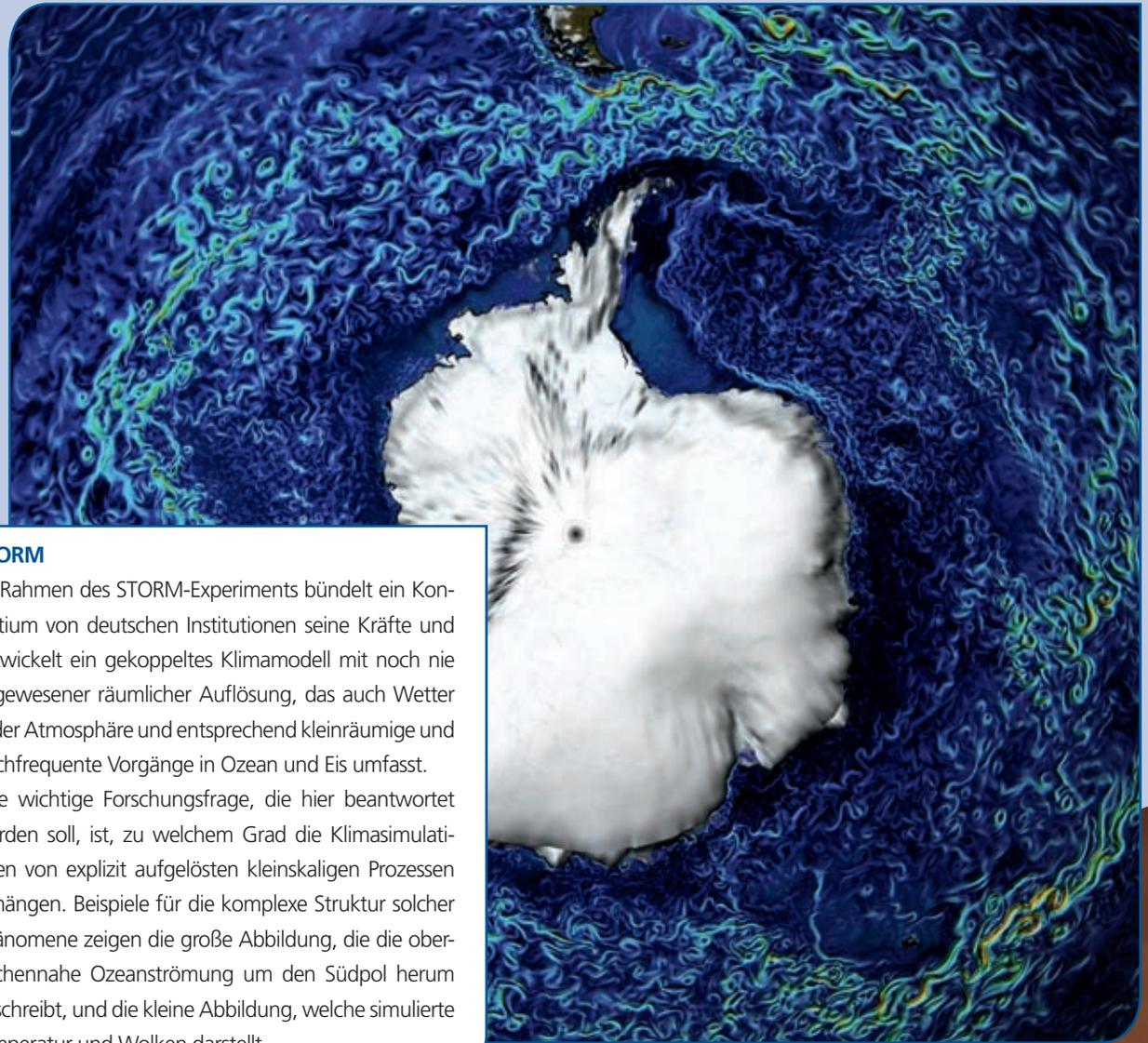


Temperaturänderung, die mit einem gekoppelten Atmosphären-Ozeanmodell für den vierten IPCC-Sachstandsbericht berechnet wurde

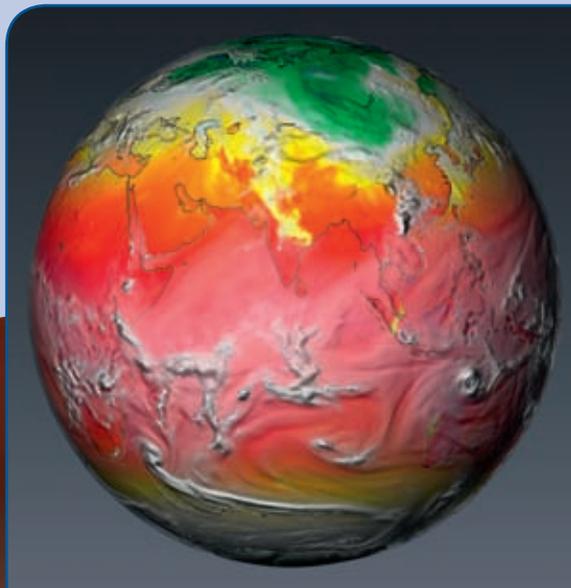
Spitzenforschung

Die am DKRZ eingesetzten und weltweit führenden Systeme zur Berechnung und Datenverwaltung ermöglichen es den Wissenschaftlern, komplexe Modellexperimente zu entwerfen, durchzuführen und zu evaluieren, die vor wenigen Jahren noch gänzlich unmöglich gewesen wären und auch heute nur an wenigen Orten weltweit realisierbar sind.

Diese Spitzenforschung im Bereich Klima- und Erdsystemmodellierung produziert einzigartige Datensätze für die deutsche und internationale Forschergemeinschaft und lässt auf bahnbrechende neue Erkenntnisse hoffen.



Zirkumpolarstrom in der Südhemisphäre



Simulation von Temperatur und Wolken

STORM

Im Rahmen des STORM-Experiments bündelt ein Konsortium von deutschen Institutionen seine Kräfte und entwickelt ein gekoppeltes Klimamodell mit noch nie dagewesener räumlicher Auflösung, das auch Wetter in der Atmosphäre und entsprechend kleinräumige und hochfrequente Vorgänge in Ozean und Eis umfasst. Eine wichtige Forschungsfrage, die hier beantwortet werden soll, ist, zu welchem Grad die Klimasimulationen von explizit aufgelösten kleinskaligen Prozessen abhängen. Beispiele für die komplexe Struktur solcher Phänomene zeigen die große Abbildung, die die oberflächennahe Ozeanströmung um den Südpol herum beschreibt, und die kleine Abbildung, welche simulierte Temperatur und Wolken darstellt.

Langfristige Ziele und Verpflichtungen

Verantwortung für unsere Umwelt

Das DKRZ versucht seiner Verantwortung gerecht zu werden und den ökonomischen und ökologischen Einfluss seiner Systeme zu vermindern.

Hochleistungsrechner bestehen aus hunderttausenden elektronischen Komponenten. Sie erfordern viel Strom für ihren Betrieb und produzieren viel Abwärme. Die Energieversorgung und die Kühlung heutiger Supercomputer stellt ein deutliches Hindernis für ein künftiges Anwachsen der Rechenleistung dar.

Die Stromrechnung für einen Supercomputer liegt bei einer Betriebszeit von 5 Jahren bereits in der Größenordnung der Anschaffungskosten und wird sie vermutlich

bald übersteigen, da die Hardware-Kosten sinken und die Strompreise steigen werden. Zusätzlich produziert die Stromerzeugung CO₂ und verwandelt Hochleistungsrechnen in eine ökologisch relevante Unternehmung.

Der Rechner des DKRZ wird durch Ökostrom betrieben, bei dessen Produktion kein CO₂ entsteht. Zusätzlich arbeiten das DKRZ und seine Mitarbeiter an Methoden, um den Stromverbrauch der einzelnen Anwendungen zu senken.

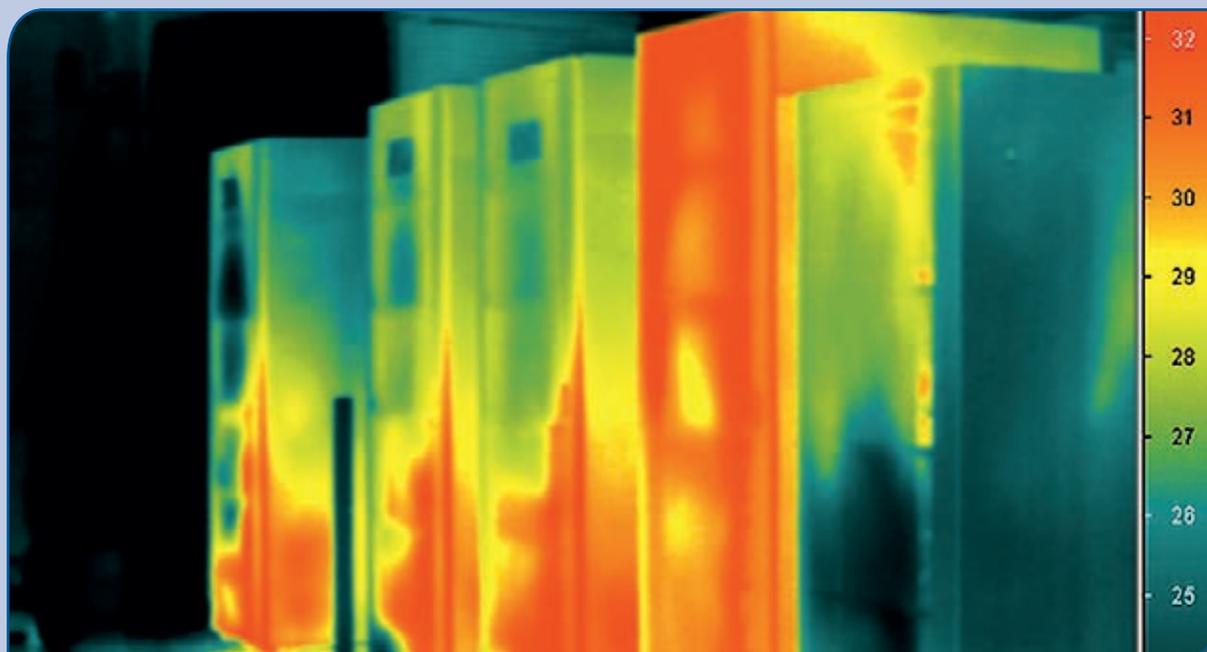
Der Geschäftsführer des DKRZ, Thomas Ludwig, forscht als Professor im Fachbereich für Informatik der Universität Hamburg an den Problemen der Energieeffizienz beim Hochleistungsrechnen. Seine Arbeitsgruppe beschäftigt

sich mit Methoden, ungenutzte Hardware selektiv und zeitweilig auszuschalten. Als Ergänzung hierzu wurde am DKRZ eine Stelle geschaffen, die sich mit dem Energiemanagement des Rechenzentrums befasst.

Das DKRZ unterstützt die Freie und Hansestadt Hamburg in ihren ehrgeizigen Bemühungen zur Erreichung von Klimazielen, mit denen sie bereits die Auszeichnung European Green Capital 2011 errungen hat.



Thermische Isolierung der Kaltgänge verhindert eine Vermischung der Luftströme und verbessert damit die Leistungsfähigkeit der Klimaanlage und der Kühlung.



Warme und kühle Bereiche der Computerschränke verdeutlichen die unterschiedliche Auslastung des Systems. (Quelle: IBM)

Verlässliche Dienstleistung auf höchstem Niveau

Das DKRZ ist ein einzigartiges nationales Rechenzentrum für die Klimaforschung. Eine leistungsfähige Technik und ein exzellentes Team führen zu einer Synergie, die den Klimaforschern hilft, tiefere Einsichten in das Klimasystem zu erhalten.

Wir bieten:

- Kompetenz bei der Optimierung von Anwendungen, um diese sowohl schneller als auch energieeffizienter abwickeln zu können
- Kompetenz bei der Datenverwaltung zur effizienten langfristigen Speicherung wertvoller Ergebnisdaten auf magnetischen Datenträgern
- Kompetenz bei der Visualisierung zur Veranschaulichung von komplexen Berechnungsergebnissen
- Kompetenz beim Energiemanagement, um die Kosten und den ökologischen Fußabdruck der Klimaforschung zu reduzieren.

Obwohl es mittlerweile keinen Zweifel mehr am Einfluss menschlichen Handelns auf das Klima gibt, sind viele quantitative Fragen noch unbeantwortet. Die Leistungen des DKRZ sind für die deutsche Klimaforschung und die Nutzer aus Politik und Öffentlichkeit unentbehrlich.

Der Umzug in ein neues Rechenzentrum und die Inbetriebnahme eines neuen Supercomputers im Jahr 2009 stellen einen wichtigen Schritt zur Erhaltung und Fortführung erstklassiger Dienste für die deutsche Klimaforschung dar.

Es liegt an der Gesellschaft, die Ergebnisse zu nutzen und Taten folgen zu lassen zum Wohle einer stabilen und lebenswerten Umwelt für uns alle.



Öffentlichkeitsarbeit

Der Klimawandel ist eine der größten ökologischen, sozialen und ökonomischen Herausforderungen, der die moderne Welt heute gegenübersteht. Seit seiner Gründung bringt das DKRZ der Öffentlichkeit hochklassige Klimaforschung näher.

Das DKRZ informiert die Öffentlichkeit aktiv über seine Arbeit und die Ergebnisse der Klimamodellierungen und bietet Vorlesungen, Führungen durch die Rechnerräume und vielfältige Informationsveranstaltungen an. Seine Mitarbeiter stellen Informationen für Rundfunk, Fernsehen und Druckmedien bereit.

Regelmäßig nimmt das DKRZ auch an Veranstaltungen wie zum Beispiel der „Klimawoche“ und der „Hamburger Nacht des Wissens“ teil und präsentiert sich und seine Arbeiten auf nationalen und internationalen Konferenzen wie der CeBIT und der International Supercomputing Conference.



Organisation

Das DKRZ ist eine gemeinnützige GmbH mit vier Gesellschaftern:

- Max-Planck-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften e.V.
- Freie und Hansestadt Hamburg vertreten durch die Universität Hamburg
- GKSS-Forschungszentrum Geesthacht
- Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung



MAX-PLANCK-GESELLSCHAFT



Hansestadt Hamburg



Die Geschäftsführer des DKRZ sind:

Prof. Dr. Thomas Ludwig (wissenschaftlich/technisch)
Michael Truchseß (kaufmännisch)

Im Jahr 2009 zog das DKRZ in ein neues Gebäude, welches von der Freien und Hansestadt Hamburg als Teil des Universitätscampus gebaut wurde. Zur gleichen Zeit wurde ein neues Hochleistungsrechnersystem in Betrieb genommen, finanziert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung.



Das neue DKRZ-Gebäude in der Bundesstraße 45a in Hamburg.

Netzwerk

Das DKRZ ist als wichtiger Partner in verschiedene nationale, europäische und internationale Kooperationen integriert:

Der **KlimaCampus Hamburg** führt Natur-, Sozial- und Geisteswissenschaften zusammen, um die Frage des Klimawandels zu erforschen.

In der **Gauß-Allianz** bündeln die zwölf führenden deutschen Hochleistungsrechenzentren ihre Kräfte.

Das **European Network for Earth System Modeling** wird von der EU gefördert, um eine europäische Infrastruktur für die Erdsystemmodellierung aufzubauen.





DKRZ
DEUTSCHES
KLIMARECHENZENTRUM

Deutsches Klimarechenzentrum GmbH
Bundesstraße 45a
20146 Hamburg

Telefon: (040) 46 00 94 0
Telefax: (040) 46 00 94 270

info@dkrz.de
www.dkrz.de

Herausgeber: Joachim Biercamp, Jana Meyer
Mitarbeit: Michael Böttinger, Thomas Ludwig,
Jochem Marotzke, Niklas Röber
Gestaltung und Druck: schulzdialog gmbh

