



**DKRZ**

DEUTSCHES  
KLIMARECHENZENTRUM

**2016**  
2017



## Editorial

Liebe Leserinnen und Leser,

Sie halten heute unser Jahrbuch 2016/2017 in Händen, das Ihnen interessante Details aus den letzten zwei Jahren unseres Arbeitens präsentieren möchte. Mitte 2016 erfolgte mit der zweiten Phase der Vollausbau unseres Rechners Mistral. Das DKRZ bietet nun eine Rechenleistung von 3,6 PetaFLOPS mit einem Festplattensystem von 54 Peta-byte Volumen an. Damit können die Wissenschaftler neue Forschungsfragen bearbeiten. Insbesondere die Simulation von Wolken und Niederschlag in Wetter- und Klimamodellen wird von dieser Steigerung der Systemleistung profitieren. Die Zusammenführung von Wetter- und Klimamodellen bildet auch im europäischen Centre of Excellence ESIWACE den Schwerpunkt. Hier koordiniert das DKRZ zusammen mit dem ECMWF die Arbeiten der sechzehn Partner aus sieben Ländern. Ebenfalls auf europäischer Ebene beteiligt sich das DKRZ am Projekt SeaDataCloud und entwickelt Cloud-Lösungen zur Bereitstellung von Ozeandaten. In einer virtuellen Forschungsumgebung können diese dann weltweit genutzt werden.

Wir wünschen Ihnen viel Freude beim Lesen.



Ihr Thomas Ludwig

4	<b>Chronik 2016</b>
6	<b>Chronik 2017</b>
8	<b>Veranstaltungen</b>
12	<b>Workshops</b>
16	<b>Im Fokus</b>
18	HD(CP) <sup>2</sup> : Simulation von Wolken und Niederschlag in Wetter- und Klimamodellen
24	ESiWACE: Das europäische Exzellenzzentrum für künftige Exascale-Vorhersagen
30	<b>Ergebnisse</b>
32	WASCAL: Eine deutsch-westafrikanische Forschungsinitiative
34	ReKliEs-De: Regionale Klimaprojektionen – Ensemble für Deutschland
36	IS-ENES2: Eine stabile Infrastruktur für europäische Klimaprojektionen
38	Endausbau Mistral
42	<b>Laufende Projekte</b>
44	BigStorage: Konvergenz von HPC und Cloud-Technologien für Big Data
46	EUDAT: Auf dem Weg zur European Open Science Cloud
48	PRIMAVERA: Fortschritt in der hochauflösenden Modellierung und der europäischen Klimarisikobewertung
50	PalMod: Simulation eines vollständigen Eiszeitzyklus
52	Schulprojekt Klimawandel: Klimaforschung für Schüler
54	CMIP6-Aktivitäten am DKRZ
56	<b>Neue Projekte</b>
58	HAPPI-DE: Klimafolgen bei 0,5 Grad zusätzlicher Erwärmung
59	Mit SeaDataCloud gehen Meeresdaten in die Cloud!
60	CP4CDS: Klimaprojektionen für Copernicus
61	<b>Dies und Das</b>
66	<b>Zahlen, Daten, Fakten</b>
68	<b>Vorschau</b>
70	<b>Das DKRZ und seine Partner</b>
71	<b>Impressum</b>

# 2016



## Frühjahr

Umbau des Rechnerraums für Mistral-Phase 2



## Januar

Start der Kooperation zwischen DKRZ und Bull

**26. und 27. Januar**  
Expertentreffen des IPCC zur Zukunft der Arbeitsgruppe TGICA



## 30. Januar

Start des AIMES-Projektes



## 1. und 2. Februar

Auftakt des Projekts PalMod an der Hafencity-Universität in Hamburg



## 17. Februar

Erste Rechnerknoten von Mistral-Phase 2 werden angeliefert



## 25. Februar

Thomas Ludwig hält Vortrag auf Aachener Veranstaltung „Stadt. Plan! Klimaprognosen“



## 26. Februar

DKRZ@YouTube: Veröffentlichung der neuen hochauflösenden Wolkensimulation des Projekts HD(CP)<sup>2</sup>



## März

1. Ausgabe der neuen Reihe „Data Management Stories“ zum Projekt CMIP5

## 23. März

DKRZ stellt sich auf dem Unitag im Bereich Meteorologie vor



## April

Interaktiver C-Programmierkurs der Hamburg Open Online University wird erstmals in Lehre eingesetzt



## 28. April

Gemeinsamer Girls' Day von DKRZ, MPI-M und CiSAP



## 6. und 7. April

4. ENES-Workshop in Toulouse, Frankreich unter Organisation des DKRZ



## 17. bis 22. April

DKRZ auf der EGU in Wien, Österreich



## 2. Mai

Unterzeichnung des Kooperationsvertrages zwischen JAMSTEC und DKRZ



## 13. bis 16. Mai

Ausstellungsschiff „MS Wissenschaft“ in Hamburg, u.a. mit einem Beitrag von CiSAP, MPI-M, DKRZ



## 24. und 25. Mai

RDA-Workshop der deutschsprachigen Sektion am DKRZ



## 15. Juni

Workshop zum Klimawandel in Asien der Konrad-Adenauer-Stiftung am DKRZ



## 19. bis 23. Juni

DKRZ auf der International Supercomputing Conference (ISC'16) in Frankfurt: Mistral auf Platz 33 der TOP500-Liste, deutschlandweit auf Platz 5



## 20. Juni

Offizieller Start des „Virtual Institute for I/O“ und der „High Performance Storage List“

## 27. Juni

Vortrag „Klimasimulationen und Supercomputer“ für Alumni der Universität Hamburg



## 29. Juni

Verleihung des Qualitätssiegels Data Seal of Approval für das DKRZ-Langzeitarchiv



## Juli

2. Ausgabe der Data Management Stories zum „IPCC Data Distribution Centre at DKRZ“ erscheint



## 4. Juli

Inbetriebnahme von Mistral-Phase 2



## 4. und 5. Juli

Datenautobahn: 4,5 Petabyte von Zweitkopien werden von Hamburg nach Garching transferiert



**19. Juli**

Start des CMIP6-Projekts „Unterstützung der CMIP6-Aktivitäten in Deutschland“



**19. Juli**

1. Schülerkongress „Klima, Energie & Nachhaltigkeit“ mit 600 Schülern

**24. August**

Start des Projekts Performance Conscious HPC

**29. bis 31. August**

Gemeinsamer Workshop von IPCC und PROVIA in Stockholm, Schweden



**12. und 13. September**

Visualisierungsworkshop für ParaView am DKRZ



**26. bis 28. September**

DKRZ beim Bildungsprogramm Wetter.Wasser.Waterkant



**27. bis 29. September**

IS-ENES2-Abschlussworkshop unter Organisation des DKRZ in Lissabon, Portugal



**29. und 30. September**

DKRZ auf der Klimawoche Hamburg



**29. September**

Workshop zum „Schulprojekt Klimawandel“ mit 250 Schülern



**11. bis 13. Oktober**

Gemeinsamer Visualisierungsworkshop für NCL von DKRZ und CiSAP

**14. Oktober**

Workshop zu hochauflösenden ICON-Daten am DKRZ

**25. bis 27. Oktober**

Workshop Program Analysis and Tools am DKRZ



**14. bis 18. November**

DKRZ auf der Supercomputing Conference (SC'16) Salt Lake City, USA: Mistral auf Platz 34 der TOP500-Liste, deutschlandweit auf Platz 3



**15. November**

Lehrerfortbildung zur Nutzung des MSCM-Klimamodells

# 2017

## 17. Januar

360-Grad-Film für Ausstellung im Europäischen Haus in Berlin, u.a. mit Aufnahmen aus dem DKRZ-Rechnerraum



## Februar

Bereitstellung von Klimasimulationen für das Schülerlabor OPENSEA auf Helgoland



## März

Inbetriebnahme der Sauerstoffreduktionsanlage für das DKRZ-Datenarchiv



## 22. bis 24. März

Workshop: Das erste Jahr der JAMSTEC-DKRZ-Kooperation



## 22. und 23. März

Gemeinsamer Workshop „Understanding I/O Performance Behavior“ von DKRZ, Universität Hamburg und dem EU-Projekt ESIWACE



## 30. März

Workshop zum Schulprojekt Klimawandel



## April

Relaunch des Webportals der Klimadatenbank am DKRZ



## 10. April

Start des Projekts HAPPI-DE



## 27. April

Gemeinsamer Girls' Day von DKRZ und MPI-M



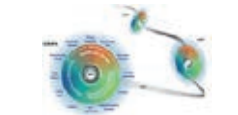
## 3. bis 4. Mai

HD(CP)<sup>2</sup>-Workshop zum Post-Processing und zur Visualisierung



## 8. Juni

Schülerkongress "MeerKlima entdecken" mit 600 Teilnehmern



## Juni

Start von CMIP-Phase 6



## 18. bis 22. Juni

DKRZ auf der International Supercomputing Conference (ISC'17) in Frankfurt: Mistral auf Platz 38 der TOP500-Liste, deutschlandweit auf Platz 3



## 23. und 24. Juni

Vorstellung des Schulprojekts Klimawandel auf dem Open-Educational-Resources-Festival in Hamburg



## 26. bis 28. Juni

DKRZ auf der PASC17-Konferenz in Lugano, Italien (als Organisator des Minisymposiums „Earth System Modelling: HPC Bringing Together Weather and Climate Prediction“)



## 5. bis 7. Juli

DKRZ als IPCC Data Distribution Center auf dem TGICA-25-Treffen des IPCC



## 7. Juli

G20-Partnerprogramm: G20-Partnerprogramm im Hotel Atlantic unter Mitwirkung von MPI-M und DKRZ



## 28. August bis 1. September

DKRZ auf International Conference on Earth System Modelling (4ICESM) in Hamburg



## 18. bis 20. September

HD(CP)<sup>2</sup>-Workshop am DKRZ



## 18. und 19. September

1. IPCC-AR6-Daten-Workshop am DKRZ: Gründung der Data Distribution Center Support Group



## 29. September

9. Klimawoche: Kunst trifft Computer – Zur Ästhetik der Visualisierung



## 25. bis 26. September

Workshop „Exascale I/O for Unstructured Grids“



## 1. September

Französische Wissenschaftsministerin besucht die Universität Hamburg und das DKRZ

## 28. September

Workshop zum „Schulprojekt Klimawandel“ mit 200 Schülern



## Oktober

Relaunch der DKRZ-Webseite



## 3. bis 5. Oktober

DKRZ auf IEEE-VisWeek-Konferenz in Phoenix, USA; Siegerehrung des diesjährigen SciVis-Wettbewerbs



## 18. Oktober

ENVRIplus-Workshop „Closing the gap: The need for tools to identify, track and cite environmental research data“



## Oktober

13.000 neue Kassetten fürs DKRZ-Archiv

## 3. Oktober

Vorstellung des Klimamodells MSCM auf dem Deutschen Geographenkongress (in Tübingen)



## 9. und 10. Oktober

DKRZ-Nutzerworkshop und Nutzerschulung in Hamburg



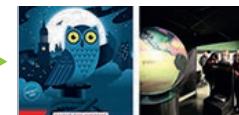
## 24. Oktober

Vertragsunterzeichnung zur zukünftigen Rechnerfinanzierung am DKRZ



## November

3. Ausgabe der „Data Management Stories“ zu „coastDat“ erscheint



## 4. November

Gemeinsame Aktion der Klima- und Erdsystemforscher bei Nacht des Wissens in Hamburg



## 11. November

30 Jahre: Gründung des DKRZ



## 13. November

Vergabe des 1000. DOI für das DKRZ-Langzeitarchiv



## 12. bis 17. November

DKRZ auf der Supercomputing Conference (SC17) in Denver, USA: Mistral auf Platz 42 der TOP500-Liste



## 17. November

Vorstellung der 1. I/O-500-Liste: Mistral auf Platz 5 weltweit, deutschlandweit auf Platz 3

## 27. bis 29. November

Vorstellung des Schulprojekts Klimawandel auf dem Open-Educational-Resources-Festival in Hamburg



## Dezember

Neue DKRZ-Außenstelle in der Fuhrentwiete in Hamburg



## 6. und 7. Dezember

Abschlussworkshop zum Projekt ReKliEs-De (unter Beteiligung des DKRZ)



# DKRZ in der Öffentlichkeit



Abb. 1: Gruppenfoto der Teilnehmer des Partnerprogramms im Hotel Atlantic. (© Bundespresseamt/Gottschalk) Jeweils von links nach rechts: 1. Reihe vorne: Thobeka Madiba-Zuma (Südafrika), Dr. Annette Kirk (MPI-M), Jana Meyer (DKRZ), Prof. Joachim Sauer (Deutschland), Prof. Thomas Ludwig (DKRZ); 1. Treppenstufe: Prof. Martin Claußen (MPI-M), Akie Abe (Japan), Dr. Lulu Quintana (OECD), Kim Jungsook (Südkorea), Tran Nguyet Thu (Vietnam), Lucy Turnbull (Australien); 2. Treppenstufe: Ho Ching (Singapur), Emine Erdogan (Türkei), Brigitte Macron (Frankreich), Malgorzata Tusk (EU-Rat), Christiane Frising-Juncker (EU-Kommission), Michael Böttinger (DKRZ); 4. Reihe: Emanuela Mauro Gentiloni (Italien), Prof. Bjorn Stevens (MPI-M), Prof. Jochem Marotzke (MPI-M), Younsook Lim (Weltbank), Philip May (Großbritannien); oberste Reihe: Xavier Giocanti (IWF), Juliana Awada (Argentinien), Sindre Finnes (Norwegen).



Das DKRZ präsentiert seine Arbeit und seine Dienstleistungen auf zahlreichen Fachtagungen und Konferenzen. So gehören der DKRZ-Messestand und weitere Aktivitäten wie Vorträge und Posterpräsentationen auf den beiden wichtigsten Konferenzen im Bereich des Hochleistungsrechnens (HPC) – der *International Supercomputing (ISC)*, 2016 und 2017 in Frankfurt, sowie auf der *Supercomputing Conference (SC)*, 2016 in Salt Lake City und 2017 in Denver, mittlerweile zum festen Programmbestandteil. Auf der weltweit zweitgrößten geowissenschaftlichen Konferenz, der Jahrestagung der European Geosciences Union (EGU) in Wien, stellten DKRZ-Wissenschaftler ihre Arbeiten im Bereich fachspezifischer Informatik vor. Auf der interdisziplinären HPC-Konferenz PASC (*Platform for Advanced Scientific Computing*) organisierte das DKRZ ein Minisymposium zum Thema „*Earth System Modelling: HPC bringing together weather and climate prediction*“ und Mitarbeiter wirkten im Programmkomitee mit.

Das DKRZ ist auch gefragter Partner für zahlreiche Veranstaltungen: Für das Partnerprogramm während des G20-Gipfels in Hamburg wünschte sich der Gastgeber Prof. Joachim Sauer, Ehemann der Bundeskanzlerin Dr. Angela Merkel, neben einer Hafensrundfahrt und dem Besuch des Rathauses auch ein wissenschaftliches Programm. So begrüßten am 7. Juli 2017 Prof. Ludwig, Geschäftsführer des DKRZ, und Prof. Claußen, Prof. Jochem Marotzke sowie Prof. Bjorn Stevens, Direktoren am Max-Planck-Institut für Meteorologie, die Partnerinnen und Partner der Staats- und Regierungschefs in den Räumen des Hotels Atlantic und gaben einen Überblick über die Klimaforschung in Hamburg sowie die Besonderheiten des Hochleistungsrechner-

systems am DKRZ und seiner enormen Speicherkapazitäten. Den ursprünglich geplanten Rundgang durch den Rechnerraum und das Datenarchiv des DKRZ erlebten die Staatsgäste virtuell anhand von Filmaufnahmen.



Abb. 2: Thomas Ludwig trägt im Februar 2016 im Rahmen von „Stadt. Plan! Klimaprognosen“ vor 400 Gästen im Krönungssaal des Aachener Rathauses vor.

Das Vortragsprogramm bei der Internationalen Konferenz zur Erdsystemmodellierung 4ICESM, die im August 2017 in Hamburg stattfand, ergänzte das DKRZ mit der Präsentation von Klimasimulationen auf seinem Klimaglobus und einem interaktiven Touchtisch. Auf der Aachener Veranstaltung „Stadt. Plan! Klimaprognosen“ im Februar 2016 und dem Alumni-Treffen der Universität Hamburg im Juni 2016 stellte Prof. Thomas Ludwig mit Vorträgen das DKRZ als nationale Serviceeinrichtung für die Klimaforschung vor.

Die Themen Klima und Klimawandel werden auch im Bildungsbereich zunehmend wichtiger. Das DKRZ gibt

## Veranstaltungen

gemeinsam mit dem Max-Planck-Institut für Meteorologie sowie dem Exzellenzcluster CliSAP Nachwuchsforscherinnen auf dem jährlich im April stattfindenden Girls' Day Einblick in den Alltag eines Klimaforschers. Im Rahmen des vom DKRZ betreuten Schulprojektes Klimawandel können Schüler eigene Fragestellungen erforschen und stellen diese dann auf den regelmäßig stattfindenden Schülerkongressen vor. Für das Bildungsprogramm von „Wetter.Wasser.Waterkant“ und der Klimawoche im September 2016 übernahm das DKRZ Vorträge zum Thema „Supercomputer für die Klimaforschung“. Angehende Studenten erhalten auf dem Unitag bei den Vorträgen „Auswirkungen menschlichen Handelns auf das Klima“ und „Hochleistungsrechnen in der Klimaforschung“ Informationen zum DKRZ. Weiteres Bildungsmaterial bereitete das DKRZ für das Schülerlabor OpenSea auf Helgoland im Februar 2017 auf.



Abb. 3: Auf dem 11. Workshop des Schulprojektes Klimawandel im September 2016 freuen sich Martin Seele und Nikita Pieper (Schule am Burgfeld, Bad Segeberg) sowie Lisa Hannemann und Lary Beyer (Anne-Frank-Schule, Bargteheide) über die Urkunden für ihre ausgezeichneten Vorträge.



Während der Nacht des Wissens lockte das DKRZ gemeinsam mit den anderen Hamburger Einrichtungen der Klima- und Erdsystemforschung am 4. November 2017 über 2.500 Besucher ins Geomatikum. Auf dem Programm standen fast fünfzig Vorträge, Führungen, Präsentationen, Diskussionsrunden und Mitmachaktionen. Wieder kamen Klimaglobus und der interaktive Touchtisch zum Einsatz, auf dem sich die Nachteulen verschiedene Klimasimulationen und besonders hochauflösende

Wolken- und Ozeanvisualisierungen anschauen konnten. Diese waren genauso beliebt wie die Rechnerraumführungen oder die interaktiven 3D-Visualisierungsvorführungen am DKRZ. Auch die beiden Mitmachaktionen „Parallelrechnen“ und das Klimamodellspiel „Krieg der Sterne“ waren bis auf wenige Ausnahmen komplett ausgebucht. Der Vortrag „Hamburger Klimaforscher beim G20-Partnerprogramm“ lockte ebenfalls viele Zuhörer an.

Beiträge und Ergebnisse aus der Hamburger Klimaforschung, darunter Klimasimulationen vom MPI-M, CliSAP und DKRZ, gingen im Wissenschaftsjahr 2016/17 auch mit dem Ausstellungsschiff MS Wissenschaft auf Deutschlandtour. Die Ausstellung „Meere und Ozeane“ stoppte 2016 in 33 deutschen Städten, unter anderem im Mai 2016 in Hamburg, und legte 2017 weitere Stopps in Süddeutschland und Österreich ein.



Abb. 4: Besucher sehen sich bei der Nacht des Wissens neue hochauflösende Klimasimulationen an.



Abb. 5: Prof. Thomas Ludwig und der Künstler Jürgen G. Haberstroh vor dessen Gemälde „Wetterleuchten“.

Im Rahmen der Hamburger Klimawoche wurde im DKRZ-Foyer die Kunstausstellung „Erde“ im September 2016 und im September 2017 „Umwelt im Ökologiediskurs: Sonne – Wasser – Erde – Luft“ eröffnet. Am 29. September 2017 rundete der Vortrag „Kunst trifft Computer – zur Ästhetik der Visualisierung“ sowie eine Rechnerraumführung das Programm der Vernissage ab.

# Wissen teilen: Workshops und Schulungen am DKRZ

Fachkompetente und individuelle Beratung ist unabdingbar, um die wissenschaftlichen Anwender in der Nutzung der HPC-Systeme am DKRZ zu unterstützen. Dazu gehört auch die Organisation und Durchführung von Workshops und Schulungen, die auch Gelegenheit zum persönlichen Kennenlernen sowie Raum für Diskussionen und Erfahrungsaustausch bieten.

## Hochleistungsrechnen

Im Workshop „Programmanalyse und HPC-Werkzeuge (*Program Analysis and Tools*)“ vom 25. bis 27. Oktober 2016 am DKRZ stellten Referenten vom Forschungszentrum Jülich und der Technischen Universität Dresden die von ihnen entwickelten HPC-Werkzeuge Scalasca und Vampir auf Basis der Score-P-Infrastruktur vor. Weiter berichteten Vertreter von Intel über die Entwicklungen der Haswell- und Broadwell-Architektur und über ihre Optimierungswerkzeuge für Code-Entwickler. Partner vom *Barcelona Supercomputing Center* stellten ihre Werkzeuge vor, die Nutzern eine Codeanalyse ohne vorherige Instrumentierung ermöglichen und diese sowohl bei der Suche nach Problemen in der Skalierbarkeit als auch bei der Fragestellung nach effizienter *on-node*-Nutzung unterstützen. Die Teilnehmer konnten die Werkzeuge an Fallbeispielen oder ihren eigenen Codes ausprobieren und Probleme direkt mit den Spezialisten diskutieren.

Das japanische Zentrum JAMSTEC, in der HPC-Community durch den *Earth Simulator* bekannt, und das DKRZ kooperieren seit Mai 2016 im Bereich der HPC-Unterstützung für die Klima- und Erdsystemforschung. Vom 22. bis 24. März 2017 trafen sich beteiligte Wissenschaftler zu einem Workshop am DKRZ, um sich u.a. über die Energieeffizienz ihrer HPC-Systeme auszutauschen. Am DKRZ werden die wichtigsten Kenngrößen mithilfe eines Monitoring-Systems erfasst. Die am JAMSTEC eingesetzte NEC-Architektur liefert eigenständig Informationen über die Leistung der Anwendungen und gestattet eine differenzierte Betrachtung des Energieverbrauchs.

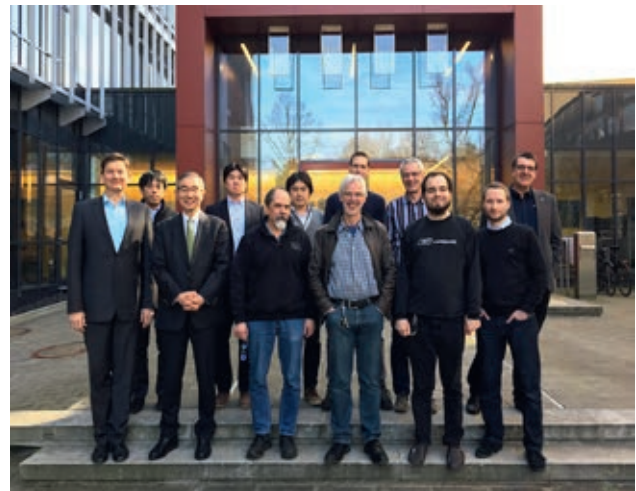


Abb. 1: Teilnehmer des gemeinsamen Workshops von JAMSTEC und DKRZ im März 2017.



Zusammen mit der Universität Hamburg und dem Projekt ESiWACE fand in diesem Rahmen am 22. und 23. März 2017 auch der Workshop „*Understanding I/O Performance Behavior*“ mit vierzig internationalen Teilnehmern statt. Wichtige Themenschwerpunkte waren zukünftige Speicherarchitekturen, Monitoring-Werkzeuge zur Analyse der System- und Anwendungsleistung sowie Benchmarks zur Richtungsvorgabe künftiger Entwicklungen.

Am 9. und 10. Oktober 2017 lud die Nutzervertretung gemeinsam mit dem DKRZ zum Nutzerworkshop nach Hamburg ein. Neben spannenden Vorträgen zu aktuellen Forschungsthemen und fünf parallelen Arbeitsgruppen gab es für die über hundert Teilnehmer die Möglichkeit, sich auszutauschen sowie sich in einer Posterausstellung über 46 Projekte zu informieren. Alle Informationen zum Workshop sind im DKRZ-Nutzerportal abrufbar. Im Anschluss bot das DKRZ drei Schulungen zu den Themen „*Paralleles Debugging und Profiling*“, „*Datenanalyse*“ und zur „*Erzeugung von CMIP-konformen Daten*“ an.

### Datenmanagement

Im Mai 2016 organisierte das DKRZ gemeinsam mit der Deutschen Initiative für Netzwerkinformation sowie dem Helmholtz-Open-Science-Büro einen zweitägigen Workshop der deutschen Sektion der *Research Data Alliance* (RDA). Die 50 Teilnehmer widmeten sich in Vorträgen, Diskussionsrunden und praktische Übungen Themen wie Datenrepositorien, *Persistent Identifiers*, Daten- und Metadatenworkflows, um zukünftige Herausforderungen im Umgang mit Forschungsdaten zu meistern.

Auch im Rahmen der Aktivitäten des IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) fanden zahlreiche Arbeitstreffen und Workshops unter Beteiligung des DKRZ statt. Beim TGICA-25-Treffen des IPCC im Juli 2017 wurde DKRZ als *IPCC-Data Distribution Centre* (DDC) benannt. Und während des ersten Datenworkshops für den sechsten IPCC-Bericht, der im September 2017 am DKRZ stattfand, wurde die *DDC Support Group* gegründet.



Abb. 2: RDA-Workshop im Mai 2016.

### Visualisierung

Im Herbst 2016 bot die DKRZ-Visualisierungsgruppe drei Workshops für je 25 Teilnehmer an. Am 12. und 13. September vermittelte der Hands-On-Workshop zu ParaView unter anderem mit aktuellen Daten aus dem HD(CP)<sup>2</sup>-Projekt sowohl Grundlagen als auch erweiterte Funktionen der 3D-Visualisierungssoftware. Vom 11. bis 13. Oktober lag der Workshop-Fokus auf der interaktiven 2D-Visualisierung von Klimadaten mit der am NCAR entwickelten skriptbasierten Visualisierungssoftware NCL. Neben den DKRZ-Visualisierern stand den Teilnehmern



## Workshops

mit Mary Haley vom NCAR eine der Hauptentwicklerinnen dieser Software beratend zur Seite. Ein weiterer Workshop am 14. Oktober wurde vom DKRZ gemeinsam mit Partnern der Universität in Calgary (Kanada) organisiert. Gemeinsam mit John Clyne, ebenfalls vom NCAR, wird daran gearbeitet, extrem große ICON-Daten mit Hilfe angepasster *Wavelets* zu zerlegen und zu komprimieren. Zukünftig soll es dank der in der NCAR-Software VAPOR verwendeten *Level-of-Detail*-Technik möglich sein, solche Daten auch direkt auf den unstrukturierten Gittern interaktiv zu visualisieren.

Das DKRZ übernahm 2017 die Organisation des *SciVis-Contests*, der jährlich im Rahmen der IEEE Vis-Konferenz – der weltweit wichtigsten Visualisierungskonferenz – stattfindet. Dafür stellte das DKRZ hochauflösende ICON-Daten aus dem HD(CP)<sup>2</sup>-Projekt bereit, entwickelte gemeinsam mit Wissenschaftlern des MPI-M die Aufgabenstellungen und beteiligten sich an der Begutachtung der Einreichungen. Die Gewinner, Informatiker an der ETH Zürich, wurden auf der IEEE-VisWeek im Oktober 2017 in Phoenix, USA gekürt.



Abb. 3: Teilnehmer des vom DKRZ organisierten IS-ENES2-Workshops zu Daten- und Processing-Workflows in Lissabon, September 2016.

Am 27. und 28. März 2017 bot die Visualisierungsgruppe einen Hands-On-Workshop zur interaktiven 3D-Visualisierung von Klimadaten mit der Software Avizo an. Anhand von interaktiven Übungen und Kurzvorträgen erhielten die zwölf Teilnehmer eine vielseitige Einführung in die 3D-Visualisierung von Erdsystemdaten und hatten abschließend Gelegenheit, ihre eigenen Forschungsdaten einzulesen und mit Avizo zu visualisieren.

## Projekt-Workshops

Im Rahmen der beiden Projekte ESiWACE und IS-ENES2 organisierte das DKRZ vom 6. bis 7. April 2016 den 4. ENES-HPC-Workshop in Toulouse. Die über 60 Teilnehmer tauschten sich über folgende Themen aus: Das europäische HPC-Ökosystem, innovative Entwicklungen und heutige, hochauflösende Modelle, neue Paradigmen

für Programmiersprachen, Standards und die kommende Modellgeneration.

Ein weiterer IS-ENES2-Workshop zu Daten- und Processing-Workflows folgte vom 27. bis 29. September 2016 in Lissabon mit Unterstützung der Projekte IS-ENES2 und ESiWACE unter der gemeinsamen Organisation von DKRZ, MPI-M und dem britischen *Met Office*. Rund fünfzig Wissenschaftler aus siebzehn Instituten und neun Ländern diskutierten neueste Entwicklungen und Erfahrungen mit Workflow-Lösungen für die Vorbereitung und Durchführung von Modellexperimenten sowie für die Verwaltung und Verteilung von Ergebnisdaten. Ein besonderer Fokus der Vorträge lag in der Diskussion über Anforderungen durch das anstehende Modellvergleichsprojekt CMIP6. Außerdem konnten die Teilnehmer im Rahmen zweier Tutorien praktische Erfahrung mit den *Workflow-Tools* „*Cylc*“ und „*Autosubmit*“ sammeln.

Am 3. und 4. Mai 2017 vermittelten DKRZ-Mitarbeiter im Rahmen des *HD(CP)<sup>2</sup> - Post-Processing and Visualization Workshops*, wie die enormen Datenmengen der *HD(CP)<sup>2</sup>*-Simulationen prozessiert und mit ParaView visualisiert werden können. Die zwanzig Teilnehmer erhielten eine Einführung und vertiefende Anleitungen zur Darstellung der Orographie, der Nutzung von Kartenprojektionen und der Handhabung verschiedener Gitter. Der zweite Tag widmete sich den Werkzeugen *cdo* und Python für die Nachbearbeitung von *HD(CP)<sup>2</sup>*-Daten. Ein weiterführender Workshop dazu fand vom 18. bis zum 20. September 2017 am DKRZ statt. Der erste Tag knüpfte inhaltlich an den Mai-Workshop 2017 an und behandelte den aktuellen Status von Simulationen, Datenverarbeitungstools sowie Konzepten zur Datenarchivierung.

Die 22 Teilnehmer erhielten eine Übersicht zu aktuellen *Post-Processing-* und *Evaluierungstools* und konnten dem DKRZ Rückmeldung zur Anwendung der von ihnen genutzten Werkzeuge geben. Darüber hinaus wurden „*Jupyter-/IPython-Notebooks*“ als neues Tool vorgestellt. Die anderen beiden Tage dienten der Diskussion bisheriger Projektergebnisse.

Das DKRZ engagiert sich als Partner in zahlreichen Projekten und deren Projektworkshops: Im Januar 2016 startete jeweils mit Beteiligung des DKRZ an der Hafencity Universität in Hamburg das Projekt PalMod, im März 2016 das Projekt „*Advanced Computation and I/O Methods for Earth-System Simulations (AIMES)*“, im Juli 2016 das Projekt CMIP6, im Januar 2017 das Projekt „*PeCoH - Performance Conscious HPC*“ und im April 2017 das Projekt HAPPI-DE. Beim ENVRIplus-Workshop „*Closing the gap: The need for tools to identify, track and cite environmental research data*“ im Oktober 2017 und beim Abschlussworkshop des Projekts ReKliEs-De im Dezember 2017 in Wiesbaden war das DKRZ ebenfalls vertreten.

### Weblinks:

#### **Program Analysis and Tools-Workshop:**

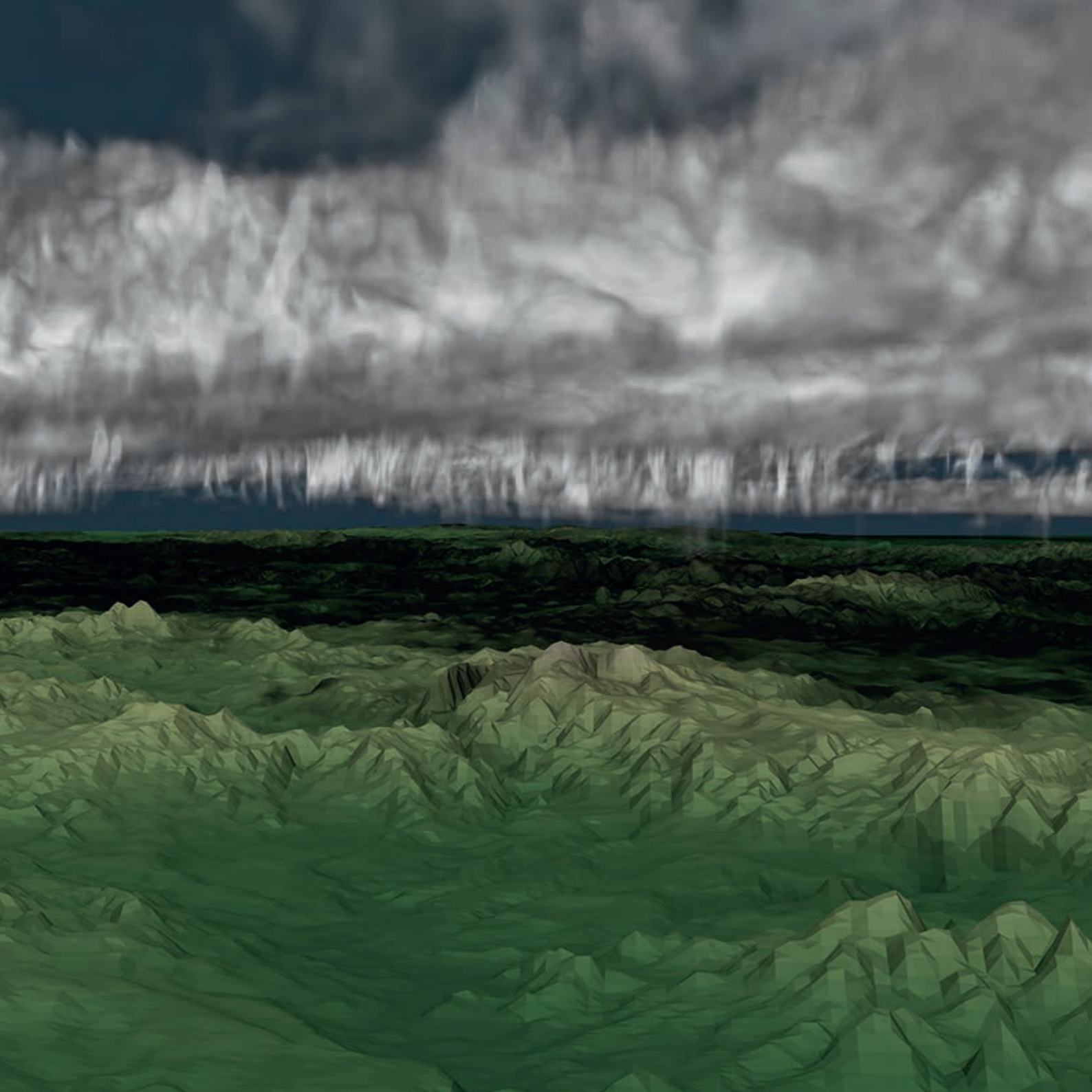
[www.dkrz.de/p/analysis-tools-workshop2016/](http://www.dkrz.de/p/analysis-tools-workshop2016/)

#### **Workshop zur JAMSTEC-DKRZ-Kooperation:**

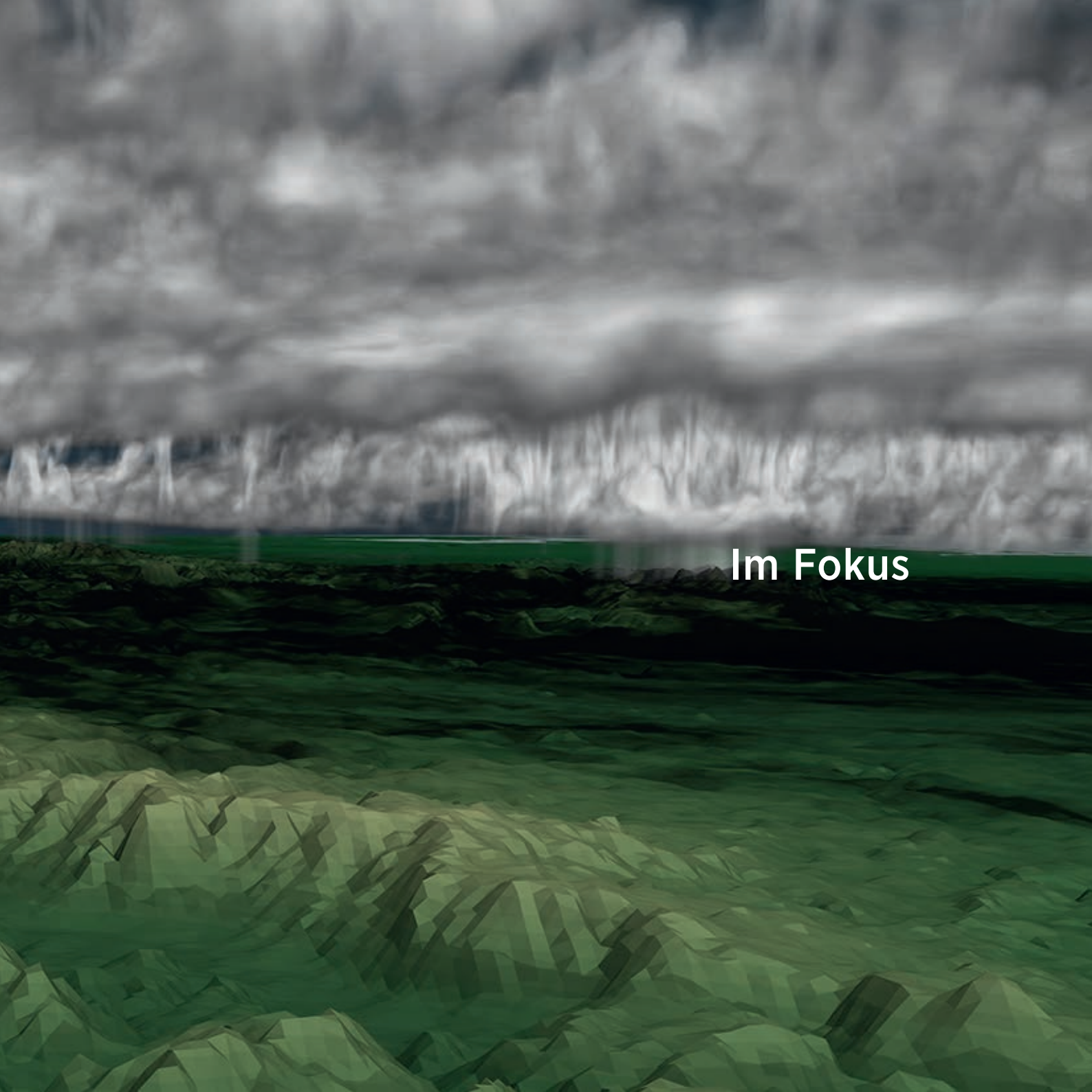
[www.dkrz.de/up/news-and-events/workshops-and-trainings/jamstec-dkrz-ws17](http://www.dkrz.de/up/news-and-events/workshops-and-trainings/jamstec-dkrz-ws17)

#### **Nutzerworkshop 2017:**

[www.dkrz.de/p/ws2017/](http://www.dkrz.de/p/ws2017/)







Im Fokus

# HD(CP)<sup>2</sup>: Simulation von Wolken und Niederschlag in Wetter- und Klimamodellen

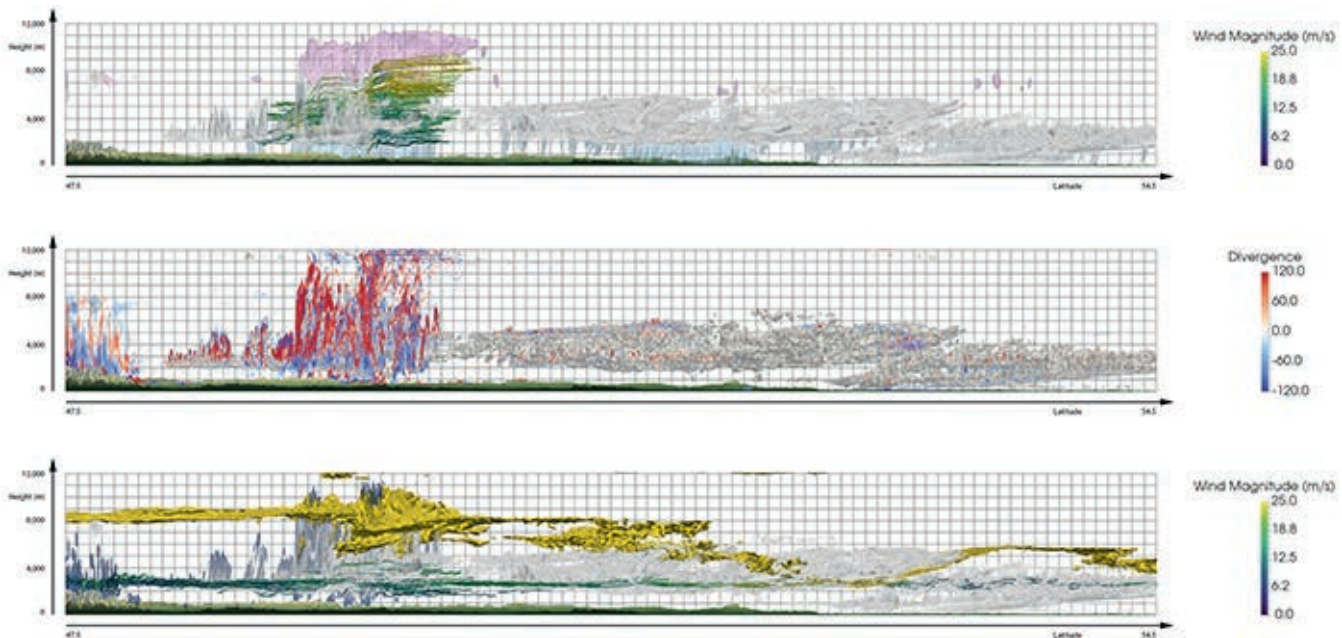


Abb. 1: Die Abbildung zeigt besonders eindrucksvoll zwei unterschiedliche Regenbänder und sowie vertikale Windbewegungen und atmosphärische Instabilitäten über den Alpen.

Das Projekt HD(CP)<sup>2</sup>, kurz für *High Definition Clouds and Precipitation for Advancing Climate Prediction*, verfolgt zwei Ziele:

1. Die Verbesserung von Klimasimulationen durch bessere Repräsentation von Wolkenbildung und Niederschlagsentwicklung in hochauflösenden Klimamodellen.
2. Die Quantifizierung und Reduzierung der Modellunsicherheit durch eine Abschätzung des Einflusses der durch die vereinfachte Behandlung dieser Prozesse verursachten Modellfehler.

Dazu wurde, basierend auf dem Code des globalen ICON-Modells (*ICOsahedral Non-hydrostatic general circulation model*), ein hochaufgelöstes regionales



Simulationsmodell entwickelt, das darauf abzielt, Wolken- und Niederschlagsprozesse auf Gittern mit bis zu 10.000 x 10.000 x 400 Gitterelementen und einem Gitterpunktabstand von 100 m zu berechnen. Ein Gebiet dieser Größe (1.000 km x 1.000 km) überspannt beispielsweise Deutschland.

Das Projekt befindet sich aktuell in der zweiten Förderphase. Der Schwerpunkt der ersten Förderphase zwischen 2012 und 2014 lag in der Entwicklung des ICON-LEMs (LEM = *Large Eddy Model*) sowie der Infrastrukturkomponenten, die es überhaupt erst ermöglichen, derart hochaufgelöste Modellsimulationen durchzuführen und die Datenmengen anschließend auszuwerten. In der zweiten Projektphase (2016–2019) sollen die in der ersten Phase berechneten Modelldaten zur Untersuchung von folgenden sechs wissenschaftlichen Kernthemen genutzt werden:

1. Wolkenprozesse durch Aerosole
2. Grenzschichtwolken
3. Zirruswolken
4. Landoberflächeneffekte auf Wolken und Niederschlag
5. Wolken und konvektive Organisation
6. Position von Stürmen im sich wandelnden Klima

Unter effizientem Einsatz der in der ersten Phase entwickelten Softwaretools wird damit angestrebt, einige der wissenschaftlichen Unsicherheiten in Bezug auf die Mechanismen, die bei der Wolkenbildung eine Rolle spielen, zu reduzieren. Zur Validierung der Modellergebnisse werden Beobachtungsdaten verwendet, die

ebenfalls im Rahmen des HD(CP)<sup>2</sup>-Projektes in verschiedenen Messexperimenten gewonnen wurden.

### Was bedeutet es, Wetter- und Klimamodelle in hoher Auflösung zu betreiben?

Eine zentrale technische Motivation des HD(CP)<sup>2</sup>-Projektes ist es, die Leistungsfähigkeit der Erdsystemmodellierung in Deutschland unter Beweis zu stellen und dahingehend zu verbessern, dass aktuelle Hochleistungsrechnersysteme optimal ausgenutzt werden können.

Bei der Berechnung hochauflösender Simulationen werden sehr große Datenmengen erzeugt. Dies führt zu ebenfalls großen technischen Herausforderungen, da sich die Zeit verlängert, die das Modell braucht, um die berechneten Daten auf Festplatten zu speichern. Andererseits stellt die Größe der erzeugten Datenmenge auch deren Nachbearbeitung und Analyse vor bisher unerreichte technische Herausforderungen.

In dieser Hinsicht haben sich die in der ersten Projektphase entwickelten Online-Diagnosewerkzeuge als nützlich erwiesen; sie erlauben es, bereits während des laufenden Modellexperiments aussagekräftige Analyseergebnisse aus den Daten zu extrahieren. So können die laufenden Experimente effektiv überwacht und die Zeit zum Erreichen eines Ergebnisses dadurch verringert werden, dass nur der Teil der berechneten Daten, der für vorher festgelegte Fragestellungen relevant ist, gespeichert und ausgewertet wird.

## Im Fokus

Ein weiteres Ziel der Entwicklungsarbeiten in der zweiten Projektphase ist es, die Gesamtzeit zu minimieren, die für die Produktion wissenschaftlicher Resultate benötigt wird (*time-to-solution*). Dies beinhaltet die Zeit für die Modellberechnungen, die Ein- und Ausgabe der Modelldaten sowie die Nachbearbeitung der Simulationsergebnisse.

Hierzu wurde das ICON-LEM-Modell um folgende drei Funktionalitäten erweitert und so zu einem leistungsfähigen *Softwaretool* für hochauflösende Wetter- und Klimasimulationen für HD(CP)<sup>2</sup> entwickelt (Abb. 2):

1. Parallele Ein-/Ausgabe mittels der CDI-PIO-Bibliothek
2. Online-Diagnostik über das *MESSEY-Interface*
3. *Online-Feature-Tracking*

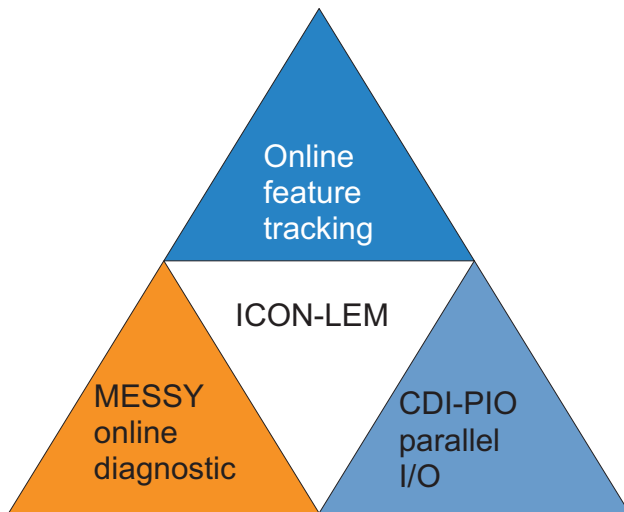


Abb. 2: Softwarekonzept mit den drei Erweiterungen des ICON-LEM-Modells

Neben den Software-Komponenten für diese drei Funktionalitäten ist ein auf die jeweiligen Fragestellungen hin optimierter Workflow notwendig, um die Experimente effizient durchführen zu können.

## Beiträge des DKRZ und erste Ergebnisse

Das DKRZ leitete bzw. leitet in beiden Förderphasen das Teilprojekt M, welches Arbeiten zur Optimierung des Codes, die Weiterentwicklung der Modellierungsinfrastruktur sowie die Durchführung der Experimente, die für die gesamte HD(CP)<sup>2</sup>-Community von Interesse sind, umfasst.

Der für die Umsetzung der Projektziele erforderliche Experimente-Durchsatz stellt sehr große Anforderungen an Hard- und Software. Deshalb wurden in der zweiten Projektphase nennenswerte Personal- und Modellierungsressourcen für die Optimierung der Ein- und Ausgabe von Modelldaten sowie für die Entwicklung von Diagnose- und *Workflow-Tools* zur Verfügung gestellt.

### 1. Optimierung des Codes

Aktuelle Supercomputer sind massiv parallele Rechnersysteme, die oft aus hunderttausenden Prozessorkernen mit verteiltem Speicher bestehen und über ein Hochgeschwindigkeitsnetzwerk miteinander verbunden sind. Um die Leistung solcher Supercomputer möglichst voll auszuschöpfen, muss die vom Simulationsmodell zu leistende Arbeit einschließlich der dazugehörigen

Daten auf eine möglichst hohe Anzahl von Prozessorkernen gleich verteilt werden. Im ICON-Modell geschieht dies durch Zerlegung und Verteilung des Rechengebietes auf die Prozessorkerne. Während der Berechnung ist es notwendig, zwischen den Prozessoren Daten über die Ränder der Teilgebiete auszutauschen. Dies muss möglichst schnell erfolgen, damit die Prozessorkerne schnell weiterarbeiten können. Trotz Hochleistungsnetzwerk ist das notwendige Kommunikationsvolumen bei hochaufgelösten Simulationen, wie bei HD(CP)<sup>2</sup>, ein Engpass – umso stärker, je mehr Prozessorkerne eingesetzt werden – bezüglich der Zeit, die für die Berechnungen benötigt wird.

Daher haben die Optimierungsarbeiten zwei Schwerpunkte, die eng miteinander verknüpft sind: Einerseits sind optimale Kommunikationsmuster zu finden, welche die Zeit für den Datenaustausch zwischen den Prozessorkernen minimieren. Dabei liegt der Fokus nicht nur auf den Berechnungsalgorithmen des ICON-LEM-Modells, sondern auch auf der für die Online-Diagnostik- und *Online-Feature-Tracking-Module* erforderlichen Kommunikation der Daten (Abb. 2). Andererseits muss eine parallele Ein- und Ausgabe implementiert werden. Dies geschieht hier durch Ausbau und Anbindung der CDI-PIO-Bibliothek an das ICON-LEM-Modell (Abb. 2).

Mittels CDI-PIO wird das „*I/O-Forwarding*“-Konzept realisiert. Dies erlaubt durch Benutzung von dedizierten I/O-MPI-Prozessen (MPI: *Message Passing Interface*) eine asynchrone Ausgabe der Simulationsergebnisse und ermöglicht damit eine reale Zeitersparnis.

Die Bibliothek CDI-PIO selbst arbeitet parallel auf Ba-

sis von Gebietszerlegung; allerdings ist die Anzahl der Teilgebiete in CDI-PIO nicht gleich der Anzahl der Teilgebiete im Modell. Als Folge ist hier eine Kommunikation zwischen den MPI-Prozessen erforderlich, um die Daten von den rechnenden MPI-Prozessen zu den entsprechenden I/O-MPI-Prozessen zu transferieren. Das Schreiben der Resultate in Dateien auf das parallele Dateisystem am DKRZ wird beschleunigt, wenn die Anzahl der Lese- und Schreibprozesse erhöht bzw. an das jeweilige Experiment angepasst wird.

## 2. Entwicklung der Infrastruktur für das HD(CP)<sup>2</sup>-Modell (Workflow)

Die Hauptaufgabe – neben der effizienten Durchführung der Experimente – ist es, den einzelnen Wissenschaftlergruppen effizienten Zugang zu den Modellergebnissen zu gewähren. Da die Ergebnisse eines Modelltages etwa 40 Terabyte Simulationsdaten umfassen, ist es für die meisten Forscher nicht möglich, die gesamten Ausgabedaten lokal am eigenen Institut oder gar auf dem eigenen Computer zu speichern oder auszuwerten. Das DKRZ unterstützt diese über ganz Deutschland verteilten Forschergruppen darin, passgenau die Daten zu erhalten, die sie zur Beantwortung ihrer Frage benötigen. Darüber hinaus werden ihnen innovative Werkzeuge zur Verfügung gestellt, die ihnen einen Überblick über vorhandene Daten liefern und die Auswertearbeit erleichtern. Eine weitere Aufgabe der Gruppe ist es, für eine nachhaltige Speicherung der Daten und Gewährleistung ihrer späteren Nutzbarkeit durch Sammlung von Metadaten und sogenannten *Provenance*-Daten zu sorgen.

### 3. Beispiel für Ergebnisse eines HD(CP)<sup>2</sup>-Experiments über Deutschland

Auf dem Supercomputer Mistral wurden mehrere Simulationen über Deutschland mit dem ICON-LEM-Modell durchgeführt, für die drei "genestete" Rechengitter mit 150 vertikalen Schichten benutzt wurden.

In Abbildung 1 ist ein Vertikalschnitts quer durch das Modellgebiet (Nord-Süd-Schnitt) zu sehen. Gezeigt wird die Windstärke (farbig) in m/s und die Wolken bzw. die Menge des Flüssigwassers in den Wolken (grau).

Die Auflösung der horizontalen Gitter ist wie folgt:

Name	Auflösung (m)	Anzahl der Zellen	Gesamte Anzahl der Zellen (über 150 vertikale Schichten)
Domäne 1 (DOM01)	650	2.323.968	348.595.200
Domäne 2 (DOM02)	312	7.616.120	1.142.418.000
Domäne 3 (DOM03)	156	22.282.304	3.342.345.600

Die folgende Tabelle gibt einen Überblick, wie rechenintensiv solche hochaufgelösten Simulationen sind:

Anzahl von	
Simulierten Tagen	26
Variablen, die in Dateien ausgegeben werden	169
Wetterstationen	36
Datenvolumen	Modellausgabe: 1,5 Petabyte + Meteogramm : 1 Terabyte
Rechenzeit in Knotenstunden	3,25 Mio. Knotenstunden auf "Mistral"

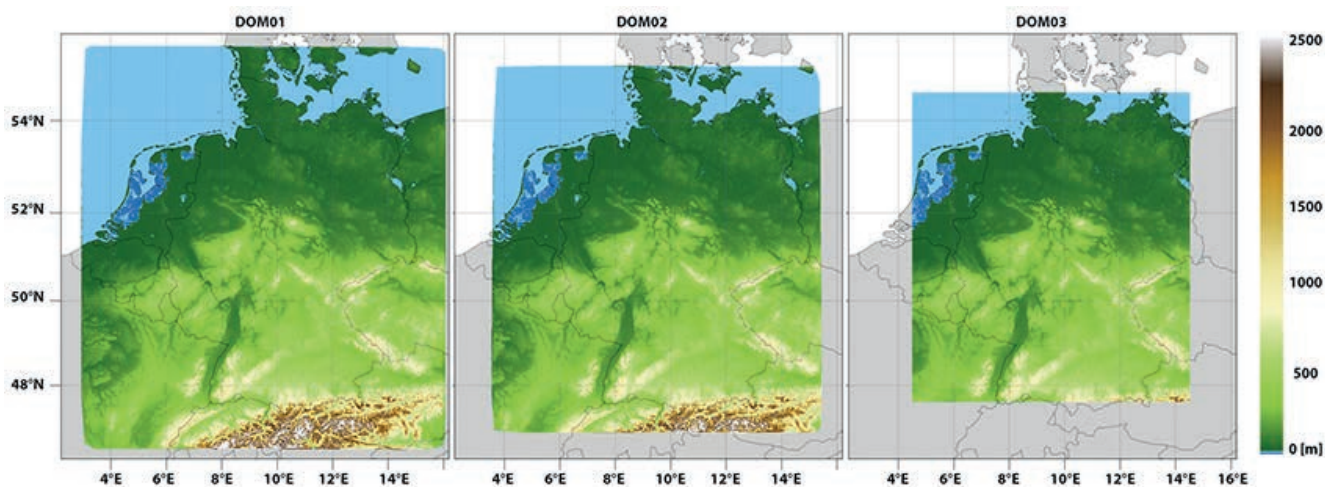


Abb 3: Die farbige dargestellte Modelltopographie zeigt die in unterschiedlichen Auflösungen simulierten Modellgebiete DOM01, DOM02 und DOM03.

## Ausblick

Im letzten Zeitabschnitt des HD(CP)<sup>2</sup>-Projekts soll der Fokus der Modellexperimente nicht nur auf der Simulation von Wolken und Niederschlag über Deutschland liegen, sondern auch auf zwei weitere Regionen ausgeweitet werden: ein Modellgebiet liegt über dem tropischen Atlantik und umschließt Barbados, der zweite Bereich liegt über dem Nordatlantik.

Beide Regionen zeichnen sich durch einen geringeren Einfluss der Landtopographie auf die Atmosphäre aus und befinden sich in unterschiedlichen Klimaregimen. Durch diese Experimente erhofft man sich Aussagen über die Qualität der Physik, die im ICON-Modell implementiert ist.

### Weblinks:

Projektwebseite: [www.hdcp2.eu/](http://www.hdcp2.eu/)



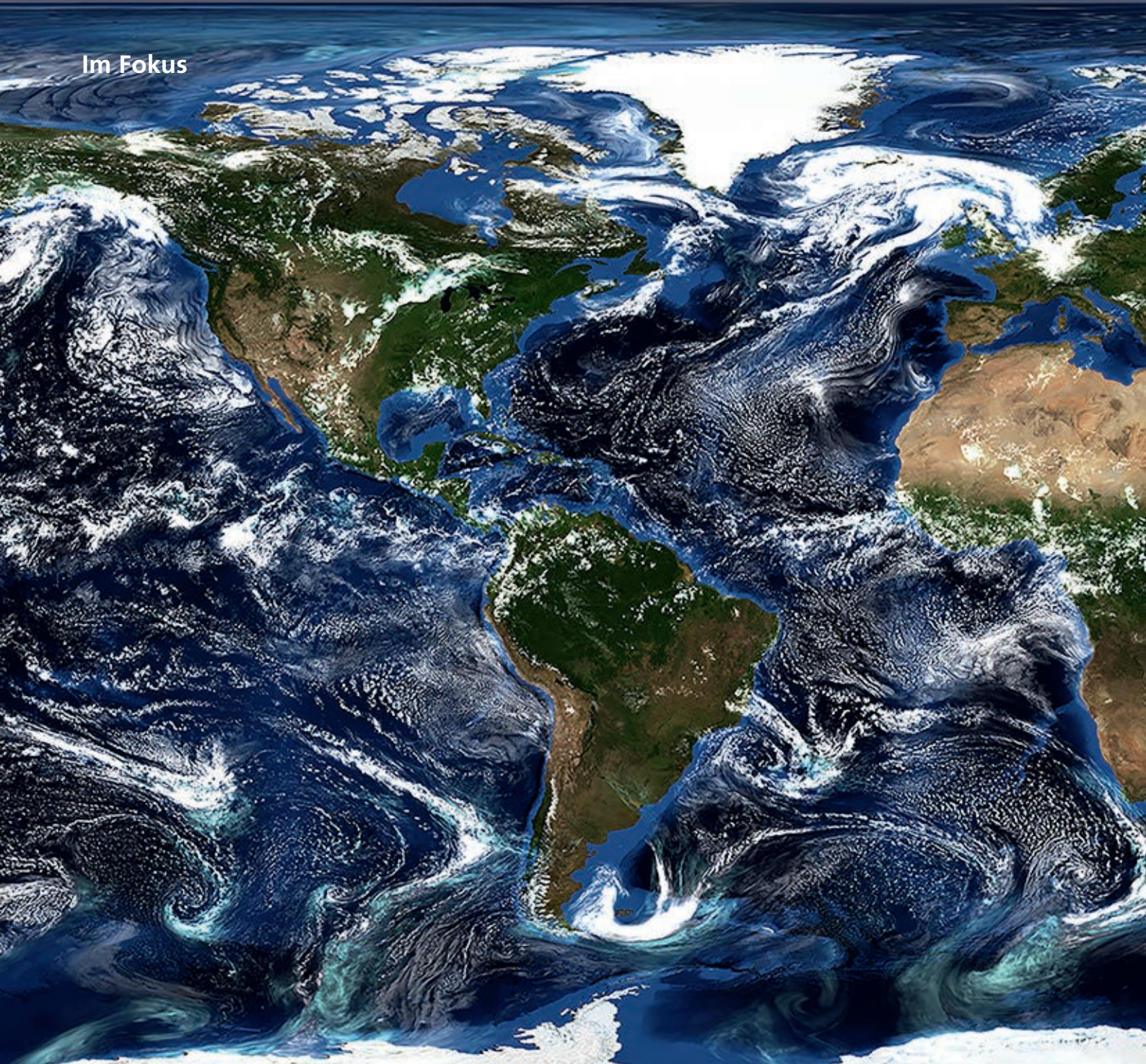


Abb. 1: Globale mit 2,5 km aufgelöste Wettersimulation mit dem ICON-Modell.



# ESiWACE: Das europäische Exzellenzzentrum für künftige Exascale-Vorhersagen

## Wetter- und Klimamodellierung

Wetter- und Klimamodelle sind komplexe Computerprogramme, die die auf unserer Erde ablaufenden Strömungsprozesse in Atmosphäre und Ozean näherungsweise berechnen. So müssen sie neben den eigentlichen Strömungsvorgängen auch alle weiteren relevanten Prozesse wie etwa Strahlung, Wolkenbildung, Niederschlag, Verdunstung, Wasser-, Schnee- und Eistransport möglichst akkurat wiedergeben. Mit gekoppelten Modellen des ganzen Klimasystems lassen sich darüber hinaus vielfältige Wechselwirkungen in die Berechnungen miteinbeziehen. Für Simulationen mit solchen Modellen werden extrem leistungsfähige Supercomputer benötigt. Diese bestehen aus einer Vielzahl zusammengeschalteter Rechnerknoten, welche über ein sehr schnelles Netzwerk Daten austauschen können. So verfügt der aktuelle Hochleistungsrechner des DKRZ „Mistral“ (Abb. 2) über insgesamt 3.300 Rechnerknoten – das sind eigenständige Computer mit jeweils 2 Intel-Prozessoren und je 12 bzw. 18 Prozessorkernen sowie 64 oder 128 Gigabyte Hauptspeicher. Mistral liefert eine theoretische Gesamtrechenleistung von mehr als 3,6 PetaFLOPS, d.h. 3,6 Billionen Rechenoperationen pro Sekunde, und belegt damit Platz 55 der TOP500-Liste der schnellsten Rechner der Welt (Stand: Juni 2018). Wettervorhersage- und Klimamodelle benötigen aber nicht nur große

Rechenkapazitäten, sondern auch sehr viel Speicherplatz. Hierfür verfügt Mistral über ein 54 Petabyte großes paralleles Dateisystem. Darüber hinaus betreibt das DKRZ ein Datenarchiv mit einer Gesamtkapazität von bis zu 500 Petabyte.

## Wetter- und Klimamodellierung auf künftigen Exascale-Supercomputern

Durch enge Zusammenarbeit der Disziplinen Hochleistungsrechnen und Wetter- bzw. Klimamodellierung konnten bereits verschiedenste hochaufgelöste Simulationen erfolgreich durchgeführt werden. Beispiele finden sich in wolkenauflösenden Wettersimulationen für Deutschland im Rahmen des Projekts HD(CP)<sup>2</sup>, der Simulation von glazial-interglazialen Zyklen wie im Projekt PalMod, oder der Untersuchung des Zusammenspiels von Wolken und Zirkulation mit Hilfe von Messdaten und Simulation im Projekt Narval II.

Die aktuell verwendeten Modelle haben jedoch einige Nachteile. So können verschiedene Klimamodelle signifikant unterschiedliche Prognosen liefern. Ein Grund hierfür liegt in der jeweils verwendeten komplexen Parametrisierung, die dabei zur Beschreibung bestimmter physikalischer Prozesse notwendig ist. Ein alternativer Ansatz, der diese explizit berechnet, würde



Abb.2: Supercomputer Mistral am DKRZ

wiederum eine extrem hohe räumliche Auflösung der Erdatmosphäre erfordern. Dies ist mit derzeitigen Supercomputern nicht zu bewältigen.

Nun steht jedoch eine neue Ära von Supercomputern in den Startlöchern: Man geht davon aus, dass der Klimaforschung in rund 5 Jahren Exascale-Computer mit einer Rechenleistung von  $10^{18}$  Rechenoperationen pro Sekunde zur Verfügung stehen werden und gegenüber heute einen Zuwachs der Rechenleistung um den Faktor 100 bis 1.000 ermöglicht wird. Am 11. Januar 2018 gab die EU bekannt, Investitionen in Höhe von 1 Milliarde Euro für die Entwicklung europäischer Pre-Exascale- und Exascale-Systeme zu tätigen.

Um solche Exascale-Systeme effizient nutzen zu können, wird die Programmierung der Modelle jedoch erheblich aufwändiger: Datenmigration zwischen den verschiedenen Prozessoren muss weitestgehend vermieden werden, da dies sowohl energie- als auch rechenzeittechnisch extreme Leistungseinbußen zur Folge hat. Eine weitere große Herausforderung speziell für die

Wetter- und Klimawissenschaft ist die Annahme, dass der Speicher pro Rechnerknoten voraussichtlich noch begrenzter sein wird. Auf Grund der extrem hohen Zahl an Prozessoren, die sich im Millionenbereich bewegen wird, wächst die Wahrscheinlichkeit zufällig ausfallender Prozessoren während der Simulation. Wetter- und Klimamodelle bzw. das Supercomputer-Betriebssystem werden in der Lage sein müssen, auf solche Ausfälle umgehend zu reagieren. Dies sind nur einige der zu erwartenden Herausforderungen, die es künftig zu bewältigen gilt, und auf die bestehende Wetter- und Klimamodelle vorbereitet werden müssen.

## ESIWACE

Im vom DKRZ koordinierten Projekt *European Centre of Excellence in Simulation of Weather and Climate in Europe*, kurz: ESIWACE, bereitet ein Konsortium die bestehenden Klima- und Wettermodelle auf das Exascale-Zeitalter vor. Basierend auf zwei etablierten europäischen Netzwerken zur Klima- und Wetterforschung – dem

*European Network for Earth System Modelling* (ENES) und dem *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts* (Europäisches Zentrum für mittelfristige Wettervorhersage, kurz: ECMWF) – werden hierbei die bestehenden Infrastrukturen auf europäischer Ebene synergetisch genutzt, um momentane Softwarelösungen für Klimaprojektionen und Wettervorhersagen hinsichtlich Effizienz und Produktivität zu verbessern und somit hochaufgelöste globale Simulationen zu ermöglichen. Dafür werden unter anderem optimierte Workflowlösungen für die komplexen Abläufe inklusive Datenaufbereitung, Simulation, Datenauswertung etc., innovative Software für optimale Speicherzugriffe und standardisierte System- und Anwendungssoftware-Stacks für die Modelle entwickelt.

Sechzehn Partner aus sieben Ländern sind an dem Vorhaben beteiligt:

- Deutsches Klimarechenzentrum, Deutschland
- *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts*, Großbritannien
- *Centre National de la Recherche Scientifique*, Frankreich
- Max-Planck-Institut für Meteorologie, Deutschland
- *Centre Européen de Recherche et de Formation Avancée en Calcul Scientifique*, Frankreich
- *Barcelona Supercomputing Center*, Spanien
- *Science and Technology Facilities Council*, Großbritannien
- *Met Office*, Großbritannien
- *University of Reading*, Großbritannien
- *Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut*, Schweden
- *National University of Ireland Galway*, Irland
- *Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici*, Italien
- Deutscher Wetterdienst, Deutschland
- *Seagate Systems UK Limited*, Großbritannien
- *Bull SAS*, Frankreich
- *Arm*, Großbritannien

## Hochauflösende globale Wetter- und Klimamodelle

Im Gegensatz zu den mit einem Gitterpunktsabstand von etwa 100 m wolkenauflösenden regionalen HD(CP)<sup>2</sup>-Simulationen stehen in ESIWACE global hochaufgelöste Modelle im Fokus, die Wetter bzw. Klima auf der gesamten Erde mit einer Auflösung von einem bzw. wenigen Kilometern berechnen. Der bisher unerreichte Detailreichtum der globalen Simulationen, die auch tropische Wirbelstürme auflösen können, erlaubt neue Rückschlüsse zur Verbesserung und Entwicklung neuer Klimamodelle. Ein Hauptfokus der Klimamodellentwicklung liegt in der Untersuchung und Quantifizierung von Unsicherheiten in der Qualität bestehender Modelle. Hochaufgelöste globale Simulationen können dazu beitragen, Unsicherheiten, unter anderem hinsichtlich der Einflüsse von Konvektion und Wolken, für das jetzige und zukünftige Klima abzuschätzen. Das DKRZ arbeitet hierbei zusammen mit dem Max-Planck-Institut für Meteorologie und dem Deutschen Wetterdienst an der Vorbereitung einer globalen Simulation, die auf dem *ICOSahedral Non-hydrostatic*-Modell ICON basiert. ICON unterteilt die Erdkugel in von einem Ikosaeder ausgehende, sukzessiv verfeinerte

## Im Fokus

Dreiecksgitter. Jedes Dreieck ist vertikal unterteilt in 50 bis 200 Schichten, um die Atmosphäre hinreichend aufzulösen.

Für eine effiziente Nutzung der Supercomputerressourcen verteilt ICON das Dreiecksgitter samt vertikaler Schichten gleichmäßig auf die verfügbaren Prozessoren. Da die Ausgabe relevanter Daten viel Zeit in Anspruch nimmt, wird diese Aufgabe in ICON von dezidierten Prozessoren übernommen. Es gibt verschiedene Ansätze, um die atmosphärischen Bewegungsgleichungen zu lösen. ICON verwendet ein sogenanntes explizites Zeitschrittverfahren, um vordefinierte Zeitintervalle zu untersuchen. Explizite Verfahren zeichnen sich dadurch aus, dass sie ohne die Lösung von linearen Gleichungssystemen auskommen und folglich vergleichsweise wenige Rechenoperationen pro Zeitschritt benötigen. Um die Stabilität der Simulation zu gewährleisten, sind hierbei jedoch deutlich kleinere Zeitschritte als bei sogenannten impliziten Verfahren notwendig.

In ESiWACE wird die Rechenleistung des ICON-Globalmodells auf bestehenden Supercomputern untersucht. Hierfür wurde ein Leistungsbenchmark erstellt, welcher, ausgehend von einem vereinfachten Aqua-Planet-Experiment, zur Leistungsuntersuchung der einzelnen Modellteile von ICON herangezogen werden kann. Der Benchmark wurde bereits auf zwei Plattformen eingesetzt: auf Mistral (Broadwell-Partition) und auf der Knightslanding (KNL)-Partition des Supercomputers Marconi am Rechenzentrum Cineca in Italien. Abbildung 3 zeigt die mögliche Vorhersagedauer in Tagen pro Rechentag unter Verwendung verschiedener Rechenknotenzahlen auf beiden Supercomputern für zwei globale räumliche Auflösungen: R2B5 mit ca. 79 km und R2B9 mit ca. 5 km.

Weiterhin wurde in Zusammenarbeit mit Meteorologen des Max-Planck-Instituts für Meteorologie und des Deutschen Wetterdienstes ein globales Wettersimulationsmodell entwickelt und hinsichtlich Rechenleistung untersucht. Bisherige Ergebnisse deuten darauf

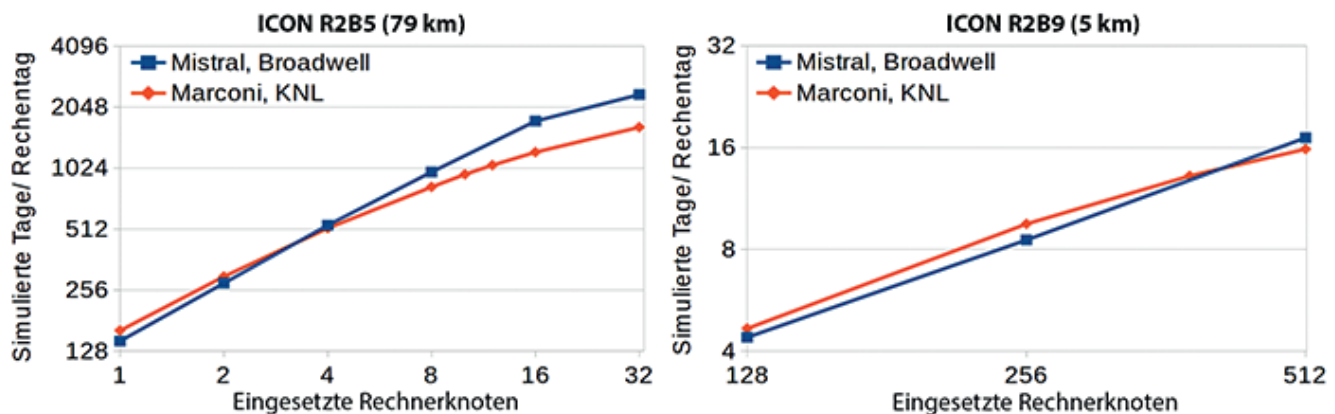


Abb. 3: Die Anzahl simulierter Tage pro Rechentag in Abhängigkeit von der Anzahl von Prozessoren (Rechnerknoten) verdeutlicht den Rechenaufwand und das Skalierungsverhalten des globalen ICON-Atmosphärenmodells für zwei unterschiedliche Auflösungen: R2B5 (ca. 79 km, links) und R2B9 (ca. 5 km, rechts).



hin, dass globale Vorhersagen mit 5 km Auflösung bei einer Rate von 45 Vorhersagetagen pro Rechen-tag auf Mistral machbar sind. Entscheidend für diese Vorhersagerate sind insbesondere die größtmögliche Zeitschrittweite und die Art und Frequenz der Datenausgabe. Eine dreiwöchige, 5 km-global-aufgelöste Wettersimulation wurde im Sommer 2016 auf 515 Rechenknoten von Mistral durchgeführt, weitere Arbeiten konzentrieren sich auf 2,5 km aufgelöste Simulationen (Abb. 1).

## Ausblick: DYAMOND

Auf Grund der großen Relevanz globaler Modelle in der Forschung und der Chancen, die Exascale-Rechner bieten, erstellen und untersuchen derzeit viele internationale Gruppen derartige Modelle. In der vom Max-Planck-Institut für Meteorologie gestarteten und von ESIWACE unterstützten Initiative *Dynamics of the atmospheric general circulation modeled on non-hydrostatic domains* (DYAMOND) sollen im Laufe des Jahres 2018 verschiedene internationale Modelle untereinander hinsichtlich Rechenleistung und Vorhersagequalität für globale Vorhersagen getestet werden. Gruppen aus Deutschland, Japan und den USA sind bereits involviert.

### Weblinks:


**Projektwebseite:** [www.esiwace.eu](http://www.esiwace.eu)

**Narval II:** [www.mpimet.mpg.de/kommunikation/aktuelles/im-fokus/narval-ii/](http://www.mpimet.mpg.de/kommunikation/aktuelles/im-fokus/narval-ii/)

[www.dkrz.de/projekte-und-partner/projekte/esiwace/](http://www.dkrz.de/projekte-und-partner/projekte/esiwace/)







**Ergebnisse**

# WASCAL: Eine deutsch-westafrikanische Forschungsinitiative

Das WASCAL-Kompetenzzentrum (CoC) in Ouagadougou, Burkina Faso, ist ein Klima-Dienstleistungszentrum für westafrikanische Partnerländer. Heute arbeiten dort etwa 30 Mitarbeiter im Bereich der drei WASCAL-Hauptsäulen Forschungsprogramm, Management von Beobachtungsdaten und Graduiertenprogramm, und leisten diesbezügliche Unterstützung für die Partner. Das burkinische „Ministerium für Weiterführende und Höhere Bildung und Forschung“ stellt Personal ab, unterstützt WASCAL bei der Mittelbeschaffung und stellt ein Grundstück für einen Neubau für das wissenschaftliche und akademische Exzellenzzentrum von WASCAL bereit. Im Gegenzug darf die Universität von Ouagadougou dessen Auditorium nutzen und dort das Master-Programm „Klimawandel und Informatik“ durchführen.

Im März 2017 fand im Kompetenzzentrum ein Trainingsworkshop zu Hydro-Klima und Fernerkundung statt. DKRZ-Mitarbeiter schulten etwa fünfzig afrikanische Nachwuchsforscher zur geplanten Rechner- und Dateninfrastruktur, wie sie für die Erzeugung, Speicherung, Pflege und Verteilung von Klimamodelldaten erforderlich ist. DKRZ-Mitarbeiter definierten gemeinsam mit WASCAL-Regionalklimamodellierern und dem künftigen Rechenzentrumsleiter die technischen Spezifikationen der geplanten Klimarechen- und Datenplattform sowie die für den zukünftigen Betrieb der HPC-Komponenten benötigten Dienstleistungen. Darüber hinaus wird der künftige CoC-Systemadministrator bei einem Besuch am

DKRZ in den Bereichen Rechnerbetrieb und -organisation geschult.



*Abb. 1: Die NetApp vom KIT/IMK-IFU mit etwa 60 Terabyte gespeicherten WRF-Ergebnisdaten aus hochaufgelösten Regionalklimasimulationen für Westafrika.*

Seit 2011 führten Nachwuchswissenschaftler aus Westafrika gemeinsam mit Partnern der Universität Augsburg und dem IMK-IFU (Institut für Meteorologie und Klimaforschung, Institut für Atmosphärische Umweltforschung, Campus Alpin, Garmisch-Partenkirchen) am DKRZ mit dem Regionalmodell WRF Klimasimulationen für Westafrika in bisher einmalig hoher räumlicher und zeitlicher Auflösung durch. Um den resultierenden Datensatz, Klimaprojektionen über mehrere Dekaden des 21. Jahrhunderts, langfristig verfügbar zu machen, sollte er im am DKRZ betriebenen *ICSU World Data Centre Climate*, WDCC, langzeitarchiviert werden. Dazu mussten 60



Terabyte Daten zunächst von Garmisch-Partenkirchen zum DKRZ übertragen werden. Aus Zeitgründen wurden die Daten allerdings nicht über das Internet, sondern gleich mit auf einem NetApp-Festplattensystem (Abb. 1) per Auto nach Hamburg transportiert. Das NetApp-System wurde dort direkt an das HPC-System angeschlossen (Abb. 2), um die Daten schließlich zu kopieren, zu archivieren und zu publizieren. Für die Zukunft ist eine entsprechende Langzeitarchivierung und Publikation weiterer WASCAL-Simulationen mit den Modellen CCLM und RegCM geplant.



Abb. 2: Die NetApp wurde über einen zentralen Netzwerk-Switch an das HPC-System am DKRZ angeschlossen.



Abb. 3: Abtrennung der NetApp nach dem erfolgreich durchgeführten Daten-Transfer (Frank Neidl, links, Dominikus Heinzeller, rechts, beide vom IMK-IFU, Thomas Kaule, DKRZ, im Hintergrund)

## Weblinks:

### Projekt-Webseite:

[www.wascal.org/about-wascal/welcome-to-wascal/](http://www.wascal.org/about-wascal/welcome-to-wascal/)

### Forschungsministerium von Burkina Faso, Ministère de l'Enseignement supérieur de la Recherche scientifique et de l'Innovation, MESRSI:

[www.mesrsi.gov.bf/](http://www.mesrsi.gov.bf/)

### Datenportale:

[wascal-dataportal.org/wascal\\_searchportal2/](http://wascal-dataportal.org/wascal_searchportal2/)

[wascal-dataportal.org/geonetwork/apps/search/](http://wascal-dataportal.org/geonetwork/apps/search/)

### Graduierten-Programm:

[www.wascal.org/graduate-programmes/graduate-studies-programme/](http://www.wascal.org/graduate-programmes/graduate-studies-programme/)

### Wascal-Daten im WDCC:

[cera-www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/project?acronym=WASCAL](http://cera-www.dkrz.de/WDCC/ui/cersearch/project?acronym=WASCAL)

# ReKliEs-De: Regionale Klimaprojektionen – Ensemble für Deutschland

Im vom BMBF geförderten Projekt ReKliEs-De, kurz für „Regionale Klimaprojektionen – Ensemble für Deutschland“, untersuchten Wissenschaftler vom DKRZ und sechs weiteren Partnerinstituten mögliche zukünftige regionale Klimaänderungen für Deutschland. Die Einzugsgebiete der nach Deutschland entwässernden Flüsse wurden dabei ebenfalls berücksichtigt.

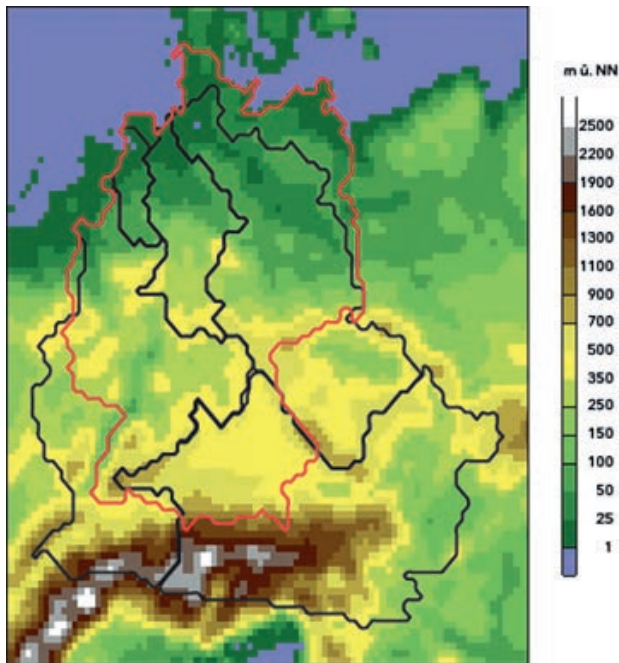


Abb. 1: ReKliEs-De-Untersuchungsgebiet mit der Orographie in einer Auflösung von 12 km: Deutschland (roter Umriss) und die Einzugsgebiete von Donau, Rhein, Elbe, Weser und Ems (schwarz).

Das Regionalmodell-Ensemble basiert auf Simulationen mit fünf verschiedenen Regionalmodellen, die mit Ergebnisdaten von neun mit unterschiedlichen Modellen berechneten globalen Klimaprojektionen angetrieben wurden. Das ermöglichte den Vergleich der Ergebnisse von verschiedenen Global- und Regionalmodell-Kombinationen und somit die Abschätzung der Zuverlässigkeit des verwendeten Verfahrens. Die Analyse umfasst nicht nur die Projektionen von Temperatur und Niederschlag bis zum Ende des Jahrhunderts, sondern auch daraus abgeleitete Klimaindizes, wie etwa die Anzahl der Hitzetage (>30°C) oder die Niederschlagsmengen an Starkniederschlagstagen (>20mm/Tag). Es wurde jeweils ein Klimaschutzszenario (RCP2.6) mit einem Weiter-wie-bisher-Szenario (RCP8.5) verglichen.

Die mittlere Jahrestemperatur zeigt für das Szenario RCP8.5 einen Anstieg um vier Grad, für RCP2.6 nur um ein Grad. In beiden Fällen würden die Länge der Hitzeperioden aufeinanderfolgender Sommer- (>25°C) und Hitzetage zunehmen. Winterliche Kälteperioden nahmen dagegen nach Anzahl und Länge ab.

Der Sommerniederschlag variiert je nach Modell. Die Mehrzahl der Modelle simuliert eine Abnahme, andere sagen eine Zunahme vorher. Der Winterniederschlag dagegen steigt in fast allen Simulationen merklich an – für RCP8.5 um bis zu 40% im Vergleich zum Zeitraum Ende des 20. Jahrhunderts. Dabei nimmt der Niederschlag im

Verlauf von Starkregenereignissen prozentual stärker zu als die mittlere Niederschlagsmenge.

Der Vergleich verschiedener Kombinationen von Global- und Regionalmodellen zeigt, dass die Änderung der mittleren Jahrestemperatur überwiegend dem verwendeten Globalmodell folgt. Anders ist es beim Niederschlag und einigen anderen Temperaturkennzahlen, wie z.B. der täglichen Temperaturspanne. Hier hat das jeweils verwendete Regionalmodell einen deutlichen Einfluss.

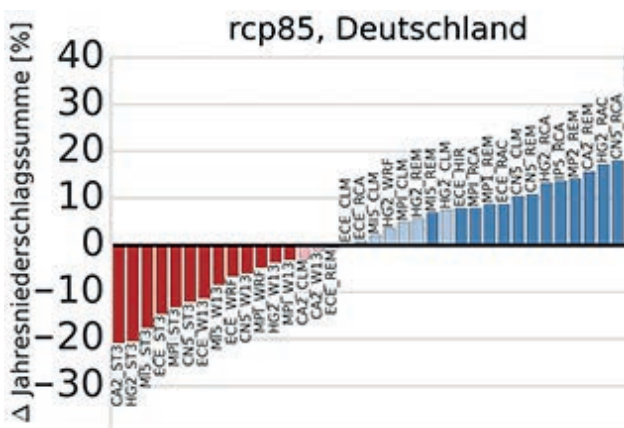


Abb. 2: Änderung (2070/2099 gegenüber 1971/2000) der Jahresniederschlagssumme in Deutschland (RCP8.5) bei verschiedenen Modellkonstellationen.

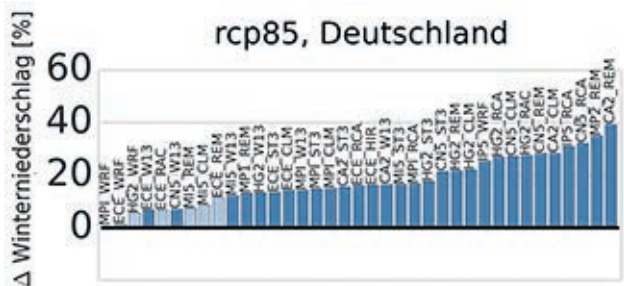


Abb. 3: Simulierte Änderung der Winterniederschlagssumme in Deutschland für RCP8.5 (2070/2099 gegenüber 1971/2000) bei verschiedenen Modellkonstellationen.

Die beiden unterschiedlichen Regionalmodelltypen wurden ebenfalls untersucht: die physikalisch dynamischen Regionalmodelle (RCM) wie CCLM, Remo und WRF, sowie die mehr empirisch ausgerichteten Modelle des *Statistical Downscaling* (ESD: WETTREG, STARS). Beide Modellgruppen prognostizierten zumeist ähnliche Werte der Temperaturkennzahlen, außer bei den Jahresniederschlägen. Hier zeigten die ESD eine Abnahme, die RCM überwiegend eine Zunahme.

Besonderer Wert wurde in ReKliEs-De auf eine gute Nutzbarkeit der Ergebnisse durch nicht-wissenschaftliche Anwender gelegt. Dazu wurde ein interaktiver Nutzer-Workshop veranstaltet. Neben einem Nutzerhandbuch mit Interpretations- und Anwendungshinweisen entstand ein reichhaltiger Katalog mit visualisierten Ergebnissen für das Projektgebiet.

Das DKRZ stellt das ReKliEs-De-Datenarchiv auch nach Projektende im Rahmen seines Langzeitdatenarchivs WDCC (*World Data Center Climate*) zur Verfügung. Bei Abschluss des Projektes verständigten sich die Projektpartner aufgrund des guten Erfolges darauf, ein Anschlussprojekt zu planen.

**Weblinks:**

**Projekt-Webseite:** [reklies.hlnug.de/](http://reklies.hlnug.de/)

**Webseite für den Datenzugriff am DKRZ:**  
[reklies.wdc-climate.de/](http://reklies.wdc-climate.de/)

# IS-ENES2: Eine stabile Infrastruktur für europäische Klimaprojektionen



In der zweiten Phase des Infrastrukturprojektes für das Europäische Netzwerk für Erdsystemmodellierung, kurz IS-ENES2, wurden von April 2013 bis März 2017 die europaweiten Klimamodellierungsaktivitäten durch wissenschaftlichen Austausch, Weiterentwicklung und Verteilung von Software sowie durch Verknüpfung mit modernsten Computer- und Speicherressourcen unterstützt. Dabei ging es neben globalen Klimaprojektionen auch um regionale Berechnungen und Daten.

Die vier Projektziele waren die Stärkung und Integration der europäischen Erdsystem-Modellierung, die Verbes-

serung der Modelle, Unterstützung der Durchführung von Klimasimulationen auf Höchstleistungsrechnern sowie die Erleichterung des Zugangs zu globalen und regionalen Klimamodelldaten. Dabei griff IS-ENES2 auf das Fachwissen von etwa 230 Klimamodellierern, Informatikern und Klimafolgenforschern aus 23 Institutionen zurück.

Eine der Herausforderungen in der Klimaforschung besteht darin, Modelle mit Blick auf künftige Rechnerarchitekturen zu entwickeln. Das erfordert eine enge Kooperation zwischen Klimaforschern und HPC-Herstellern. Das DKRZ stärkte diese Zusammenarbeit



Abb.1: Die globale Verteilung der wichtigsten ESGF-Datenknoten



etwa durch die Organisation von HPC-Workshops und Entwicklung von Computerbenchmarks, die auf realen Klimamodellen basieren. Das DKRZ hat zudem konkrete Modelloptimierungen durchgeführt; so verbesserte die Implementierung der parallelen Datenausgabe auf Basis der CDI-PIO-Bibliothek deutlich die Parallelität und Skalierbarkeit des ECHAM6-Modells.

Weitere Beiträge des DKRZ lagen in der Bereitstellung der CMIP5- und CORDEX-Modelldaten sowie der Nutzerunterstützung. International werden Klimamodelldaten über die etwa 30 Datenknoten der *Earth System Grid Federation* (ESGF) via Internet verteilt. Das ESGF ist eine global verteilte *Peer-to-peer*-Datenbank, an deren Entwicklung das DKRZ maßgeblich beteiligt ist. Den speichernden Datenknoten sind beim Internetzugang Indexknoten vorgeschaltet, die Verzeichnisse aller insgesamt verfügbaren Daten – etwa 5 Petabyte – enthalten und diese den inzwischen rund 25.000 registrierten Nutzern zum Download bereitstellen. Im Projektverlauf unterstützte das DKRZ auch vielfach Datenproduzenten bei der Installation neuer Knoten im In- und Ausland.

Internationale Datennutzer wurden durch die Weiterführung des ENES-Internet-Portals, Dokumentationen und den vom DKRZ unterhaltenen *ESGF-First-Level-Support* unterstützt. Jährlich wurden über zwei Millionen Dateien mit einem Gesamtumfang von insgesamt 800 Terabyte über die von IS-ENES2 betreuten Datenknoten abgerufen. Dazu gingen mehrere hundert Anfragen zu Datendownload und -nutzung, Variablendefinitionen und -anwendung sowie Datenstruktur ein, die meist noch am selben Tag beantwortet wurden.

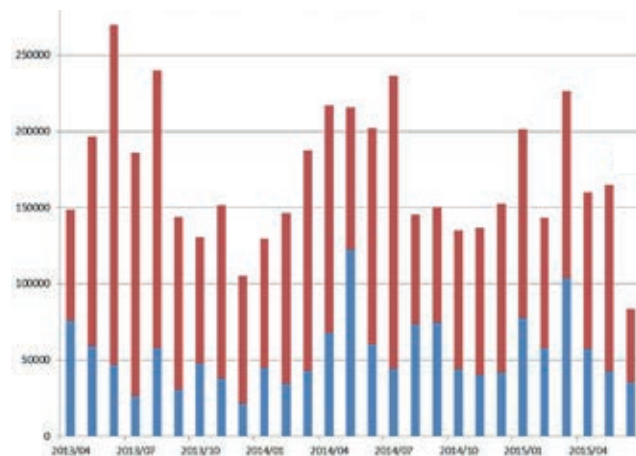


Abb.2: Zahl der monatlichen ESGF-Downloads über europäische Datenknoten im Zeitraum 04/2013 bis 06/2015 (blau: Zugriffe aus der EU, rot: Zugriffe von außerhalb der EU).

Fazit von IS-ENES2: Auch in Zukunft wird eine qualifizierte Unterstützung der Nutzer von Klimamodelldaten und eine Vernetzung europäischer Forschungs- und Modellierungsaktivitäten zum Austausch sowohl wissenschaftlicher als auch technischer Erfahrungen unabdingbar sein.

### Weblinks:

#### IS-ENES2-Projektseite:

[portal.enes.org/ISENES2/project/](http://portal.enes.org/ISENES2/project/)

**ENES-Portal:** [portal.enes.org/](http://portal.enes.org/)

#### IS-ENES2-Abschlussbericht:

[portal.enes.org/ISENES2/documents/contractual-documents/is-enes2-final-report/](http://portal.enes.org/ISENES2/documents/contractual-documents/is-enes2-final-report/)



Abb. 1: Der Endausbau des dritten Hochleistungsrechnersystems für die Erdsystemforschung „Mistral“ wurde am 28. Juni 2016 von Atos/Bull ans DKRZ übergeben und stand den Nutzern ab dem 4. Juli zur Verfügung.

## Mistral: Endausbau des Hochleistungsrechners

Am 28. Juni 2016 übergab die Firma Atos/Bull die zweite Ausbaustufe des Supercomputers Mistral an das DKRZ. Damit steht der Klimaforschung in Deutschland nunmehr das dritte „Hochleistungsrechnersystem für die Erdsystemforschung“ (HLRE-3) mit einer Spitzenrechenleistung von rund 3,6 Billionen Rechenoperationen pro Sekunde zur Verfügung. Im Juni stieg der Endausbau von Mistral auf Platz 33 der TOP500-Liste der leistungsfähigsten Supercomputer der Welt ein, und war damit gleichzeitig der fünftstärkste Supercomputer in Deutschland und das leistungsfähigste Bull-System weltweit.

Die Rechenleistung liefern rund 3.300 Rechnerknoten von Atos/Bull des Typs bullx DLC 720 mit mehr als insgesamt 100.000 Prozessorkernen auf Basis von Intel-Prozessoren der Typen Xeon E5-2680v3 12C mit einer Taktfrequenz von 2,5 Gigahertz (Haswell) sowie E5-2695V4 18C mit einer Taktfrequenz von 2,1 Gigahertz (Broadwell).

Um die besonders datenintensiven Anforderungen der Klimamodellierer zu erfüllen, unterscheidet sich Mistral von den meisten anderen Hochleistungsrechnern

insbesondere durch ein besonders großes und leistungsfähiges paralleles Festplattensystem. Dieses hat eine Speicherkapazität von 54 Petabyte und schafft es beim Vergleich der größten Festplattensysteme nach der [vi4io.org](http://vi4io.org)-Liste 2016 sogar auf Platz 2, 2017 immerhin noch auf Platz 5 weltweit. Die Spitzentransferrate des Lustre-basierten Dateisystems beträgt 450 Gigabyte/s; das entspricht dem Datenvolumen von etwa 100 Spielfilmen pro Sekunde!

Das Gesamtsystem ist auf etwa 80 meist tonnenschwere, telefonzellengroße Schränke verteilt, die untereinander mit Bündeln von Glasfaserleitungen und Hochleistungsnetzwerkkomponenten verbunden sind.

### Zusammenarbeit bei der Durchführung von Klimasimulationen

Seit Installationsbeginn arbeiten Experten vom DKRZ mit denen des *Parallel Programming Teams* der Firma Bull an der Optimierung von Klimamodell-Codes, um deren Skalierbarkeit und die verwendeten Softwarealgorithmen zu verbessern.

Ziel der Kooperation ist es, das ICON-Modell auf die nächste Generation von Exascale-HPC-Systemen vorzubereiten; dies sind massiv-parallele Supercomputer mit verteiltem Speicher, die aus tausenden über ein schnelles Netzwerk miteinander verbundenen Rechnerknoten bestehen. Jeder Knoten verfügt über mehrere Prozessoren und einen gemeinsamen Hauptspeicher.

Die Hauptspeicher-Module jedes Knotens sind hinsichtlich der Kapazität und Zugriffszeiten auf gespeicherte Daten

hierarchisch organisiert. An der Spitze der Hierarchie befinden sich, vergleichbar mit L1 / L2-Caches, kleinere Speicher-Module mit kürzeren Zugriffszeiten. In den tieferen Ebenen nimmt die Kapazität der Speicher-Module zu, während der Zugriff auf die Daten langsamer wird. Am unteren Ende dieser Hierarchie ist das Dateisystem angehängt, das aus mehreren tausend Festplatten besteht. Der Datenpfad von den Prozessorkernen zu den Festplatten ist der langsamste.

Der wesentliche Engpass solcher Architekturen ist der Datentransfer von den Prozessorkernen durch die verschiedenen Ebenen der Speicherhierarchie der Rechnerknoten und über diese hinweg bis hin zum Dateisystem. Die Minimierung dieser Datenübertragung ist der Schlüssel, um die Hardwareressourcen eines Exascale-Computersystems effizient zu nutzen. Dies ist auch der Schwerpunkt der Arbeiten in dieser Kooperation.

Zwischen Anwendungsprogrammen und Hardware existieren viele Software-Schichten, die die Datenpfade auf unterschiedliche Weise nutzen. In der Kooperation wird nun ein Ansatz verfolgt, der auf einem „Co-Design“ der Software auf Anwendungs- und Systemebene basiert, insbesondere in Bezug auf I/O (Abb. 2). Wo immer es möglich ist, soll Datenübertragung vermieden und die Effizienz des verbleibenden Datenverkehrs verbessert werden. Die Rolle des Bull *Parallel Programming Teams* besteht darin, Optimierungen und Know-How-Transfer auf Systemebene durchzuführen sowie die Bereitstellung des Zugriffs auf zukünftige Compute- und Dateisysteme, soweit verfügbar, zu Testzwecken zu ermöglichen.

## Ergebnisse

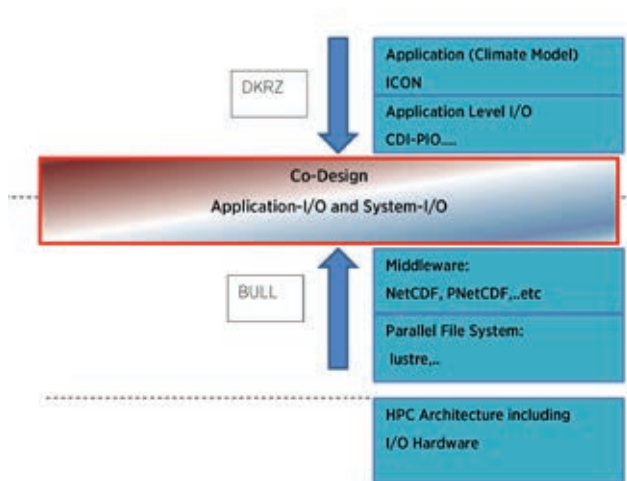


Abb. 2: Schematische Darstellung einer Co-Design-Softwarearchitektur

ICON ist ein hybrid-paralleles (MPI/OpenMP) Erdsystem-Modell, das sowohl für Klimasimulationen als auch für Wettervorhersagen eingesetzt wird. Die Parallelisierung der verwendeten Algorithmen basiert auf Gebietszerlegung. Das Rechengebiet wird in mehrere kleinere Partitionen aufgeteilt, welche dann auf die Prozessoren verteilt werden. Dabei müssen Daten über die Ränder der Teilgebiete ausgetauscht werden. Die Durchführung von hoch aufgelösten Simulationen, wie bei den Projekten HD(CP)<sup>2</sup> oder ESIWACE, erfordert die Nutzung von mehreren tausenden Prozessoren – mit der Folge, dass der nötige Kommunikationsaufwand groß ist im Vergleich zum reinen Berechnungsanteil. Die Skalierbarkeit der numerischen Verfahren hängt sehr davon ab, wie effizient diese Kommunikation implementiert ist.

Im Rahmen der Arbeiten wird die am DKRZ entwickelte Kommunikationsbibliothek YAXT (*Yet Another*

*Exchange Tool*) in ICON eingebaut. YAXT basiert auf MPI (*Message Passing Interface*) und stellt optimierte Kommunikationsverfahren zur Verfügung, die den Datentransfer innerhalb des Hauptspeichers minimieren. Zudem wird die Kommunikation mithilfe von YAXT auf MPI-Ebene von der Anwendung abstrahiert, so dass die Optimierungen seitens Bull auf Systemebene portabel sind. Somit kann sichergestellt werden, dass die erzielte Leistungssteigerung auch auf zukünftigen HPC-Systemen erhalten bleibt.

Eine Klima- bzw. Wettersimulation besteht jedoch aus Berechnungsphasen, gefolgt von der Ausgabe großer Datenmengen auf das Dateisystem. Um einen E/A-Engpass zu verringern, werden aktuelle Lösungen und Workflows sowohl auf Applikations- als auch auf Systemebene analysiert und Softwarelösungen für Klimamodelle entwickelt. Außerdem werden neue Technologien wie z.B. „*Burst-Buffer*“ evaluiert.

## Energieeffizienz am DKRZ

Dank der eingesetzten Warmwasser-Technologie zur Kühlung von Prozessoren und Hauptspeicher ist Mistral sehr energieeffizient: Gegenüber dem Vorgängersystem konnte der jährliche Energieverbrauch trotz deutlicher Steigerung von Rechenleistung und Speicherkapazität um mehr als 1 GWh gesenkt werden. Wesentliche Einsparungen erzielte die eingesetzte direkte Hochtemperatur-Flüssigkeitskühlung, mit der 85% der Wärmeenergie abgeführt wird, die die Rechnerknoten freisetzen. Zur Kühlung werden lediglich 2% zusätzliche Energie benötigt, da diese Systeme ganzjährig freie Kühlung und keine zusätzlichen Kältemaschinen nutzen. In älteren



Anlagen werden typischerweise deutlich mehr als 20% benötigt. Der PUE-Wert (*Power Utilization Efficiency*), der die Energieeffizienz eines Rechenzentrums angibt, lag 2017 für Mistral im Jahresmittel unter 1,19. Das bedeutet, dass weniger als 19% Energie zusätzlich benötigt werden, um die Kühlung der Rechner und die Energieversorgung sicher zu stellen. Durch den Einsatz einer unterbrechungsfreien Stromversorgung (USV), die einen Wirkungsgrad von 98,5% hat, sparte das DKRZ weitere Energie ein. Bei den meisten heute eingesetzten Anlagen liegt dieser Wert lediglich unter 95%. Um die Energieeffizienz noch weiter zu steigern, wird zukünftig bis zu 30% der Abwärme des Rechenzentrums zum Beheizen von Laboren im Nachbargebäude genutzt.

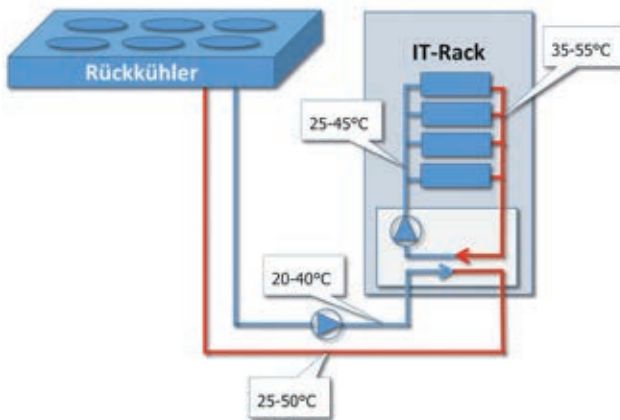


Abb. 3: Bei der direkten Hochtemperatur-Kühlung wird ein Glykol-Wassergemisch verwendet, um die Wärme direkt von den Rechenknoten abzuführen. Die Kühlflüssigkeit wird anschließend auf das Dach des DKRZ-Gebäudes gepumpt und gibt dort die Wärme an die Außenluft ab. Diese Art der Kühlung ist wegen der hohen Wärmekapazität von Wasser um etwa das 10-fache effizienter als eine herkömmliche Luftkühlung. Dadurch kann bei der neuesten Generation von Hochleistungsrechnern der Einsatz von energieintensiven Kältemaschinen stark reduziert werden.

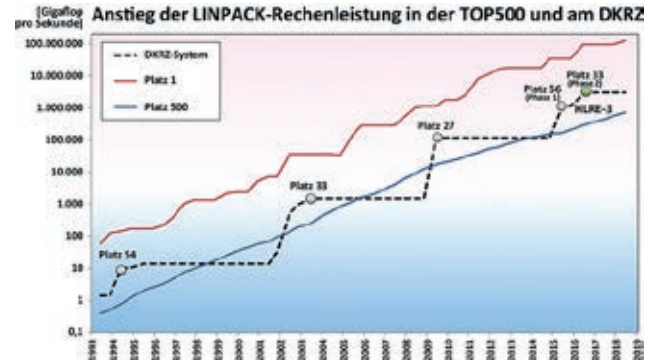


Abb. 4: Seit 1993 ist die Rechenleistung in der TOP500 und am DKRZ etwa um das 1.000.000-fache gestiegen. Das Hochleistungsrechnersystem für die Erdsystemforschung „Mistral“ stieg auf der Juni 2016-Liste der TOP500 auf Platz 33 ein.

## Weblinks:

### DKRZ-Mediathek mit weiteren Fotos von Mistral:

[www.dkrz.de/about/media/galerie/Media-DKRZ/hlr-3](http://www.dkrz.de/about/media/galerie/Media-DKRZ/hlr-3)

### DKRZ-Webseite mit News zur Energieeffizienz:

[www.dkrz.de/kommunikation/aktuelles/energieeffizienz-des-rechnersystems-mistral](http://www.dkrz.de/kommunikation/aktuelles/energieeffizienz-des-rechnersystems-mistral)

TOP500-Liste: [www.top500.org/](http://www.top500.org/)

### Liste der größten Festplattensysteme:

[www.vi4io.org/hpsl/start](http://www.vi4io.org/hpsl/start)







**Laufende Projekte**

# BigStorage: Konvergenz von HPC- und Cloud-Technologien für Big Data

Der Umgang mit sehr großen Datenmengen gewinnt sowohl im Hochleistungsrechnen als auch in Cloud-Umgebungen zunehmend an Bedeutung. Dieser Aspekt ist aber bisher kaum in der universitären Ausbildung enthalten, so dass es heute einen großen Bedarf an geeigneten Experten, sogenannten Datenwissenschaftlern, gibt.

Im Rahmen des durch die EU geförderten *European Training Networks (ETN) „Storage-based convergence between HPC and cloud to handle Big Data“*, kurz BigStorage, sollen Datenwissenschaftler ausgebildet sowie neue Techniken zur effizienten Datenanalyse entwickelt werden. Im Projekt werden insgesamt 15 Stellen, verteilt auf zehn internationale Partner aus Forschung und Wirtschaft, gefördert. Das DKRZ ist mit einem Datenwissenschaftler am Projekt beteiligt.

## DKRZ-Beiträge für BigStorage

Das DKRZ leitet eine Arbeitsgruppe, die typische Anforderungen der Klimawissenschaften herausgearbeitet hat und anderen Projektpartnern zur Verfügung stellt. Außerdem wurden Benchmarks definiert, um das Ein-/Ausgabe-Verhalten von Klimaanwendungen zu simulieren. Die Anforderungen und Benchmarks gestatten es mit vergleichsweise geringem Aufwand, neue Ansätze, beispielsweise aus den Cloud- und Big-Data-Umfeldern,

auf ihre Anwendbarkeit und ihren Nutzen in den Klimawissenschaften zu untersuchen.

Um die Kosten steigender Datenmengen zu minimieren, arbeitet das DKRZ auch an neuen Ansätzen, die es erlauben, Daten energie- und somit kosteneffizient zu komprimieren. Die anfallenden Daten sind ein wichtiger Faktor; so verdoppelt sich beispielsweise momentan die weltweit produzierte Datenmenge ungefähr alle zwei Jahre. Durch die Kompression verringert sich das zu übertragende und zu speichernde Datenvolumen, so dass die Übertragung schneller erfolgt und weniger Speicherhardware angeschafft und unterhalten werden muss.

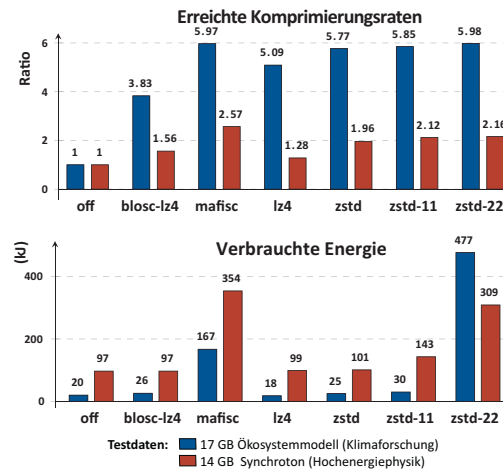


Abb. 1.: Vorläufige Ergebnisse unterschiedlicher Kompressionsalgorithmen: Ziel ist die Maximierung der Kompressionsrate bei gleichzeitiger Minimierung des Energieverbrauchs der Kompression.



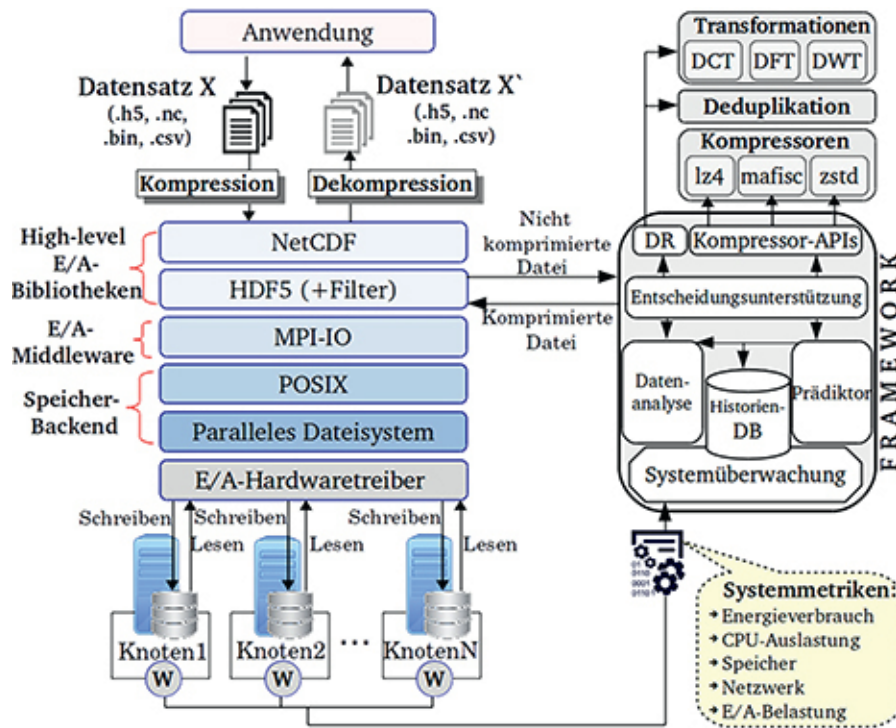


Abb. 2: Architekturentwurf für Framework zur energieeffizienten Datenreduktion: Das Framework wird für Anwender transparent über einen HDF5-Filter integriert und zeichnet Systemmetriken auf, die die selbstständige Auswahl passender Datenreduktionstechniken erlauben.

Zu diesem Zweck soll im Rahmen des Projektes ein Framework entworfen und implementiert werden, das basierend auf einer Vielzahl von Faktoren entscheidet, welche Datenreduktionstechniken auf einen gegebenen Datensatz angewendet werden sollen. Dafür wird auf die bereits etablierte *Scientific Compression Library* (SCIL) zurückgegriffen, wobei das Ziel eine möglichst energieeffiziente Minimierung der Datenmenge ist. Erste Messungen haben ergeben, dass die Kompressionsrate, Laufzeit, Prozessorbelastung und der Energieverbrauch von Kompressionsalgorithmen je nach Datenstruktur

deutlich variieren kann. Es ist daher wichtig, eine intelligente Vorauswahl zu treffen, um größtmöglichen Nutzen aus der Datenreduktion zu ziehen.

#### Weblinks:

Projektwebseite: [bigstorage-project.eu/](http://bigstorage-project.eu/)

# EUDAT: Auf dem Weg zur European Open Science Cloud



Aufbauend auf einer über 15 europäische Länder verteilten Partnerschaft unterstützt EUDAT Wissenschaftler aus den unterschiedlichsten Disziplinen durch eine Vielzahl generischer Dienste im Bereich Forschungsdatenmanagement. Zu den wissenschaftlichen Disziplinen gehören u.a. die Linguistik, die Biodiversitätsforschung und die Klimaforschung, für die das DKRZ zusammen mit dem MPI für Meteorologie und CERFACS als weiteren Partnern aus dem ENES-Konsortium die Anforderungen und Erfahrungen dieses Forschungsfeldes einbringt.

Das Projekt EUDAT2020 (*European Data Infrastructure*) wird seit März 2015 im Rahmen des europäischen Forschungsprogramms H2020 gefördert. Ziel der 35 europäischen Partner in diesem bis Anfang 2018 laufenden Projekt ist es, die bereits bestehende EUDAT-Infrastruktur weiter zu verbessern und zu verstetigen.

Die sogenannten „B2-Dienste“ von EUDAT (Abb. 1) decken die Bereiche Datenarchivierung, Datenaustausch, Datentransfer (insbesondere von und zu HPC-Ressourcen), die Suche nach Forschungsdaten, die Authentifizierung und Autorisierung sowie die eindeutige Referenzierbarkeit von Datenobjekten ab. Das DKRZ beteiligt sich insbesondere an dem Dienst B2FIND, einem Portal zur disziplinübergreifenden Suche nach Forschungsdaten sowie dem Dienst B2HANDLE, welcher persistente Referenzen auf Datenobjekte ermöglicht.

Das sichtbare Zeichen für die Nachhaltigkeit der von EUDAT angebotenen Dienste und Lösungen ist die Unterzeichnung eines richtungsweisenden Abkommens im Oktober 2016, welches die paneuropäische EUDAT-CDI (*Collaborative Data Infrastructure*) für mindestens



Abb. 1: B2-Datenmanagement-Dienste von EUDAT.

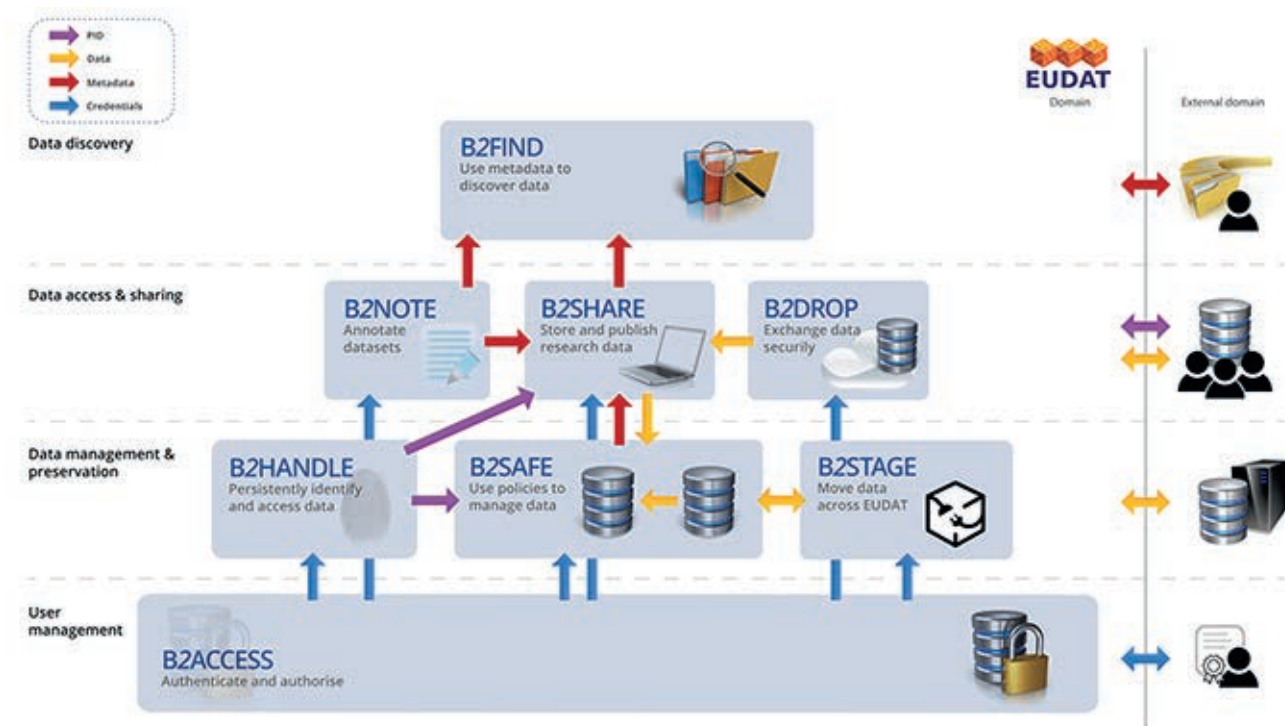


Abb. 2: Die Elemente der EUDAT-B2-Suite vereinfachen das Management wissenschaftlicher Daten. Das DKRZ beteiligte sich insbesondere an der Entwicklung der Dienste B2FIND und B2HANDLE.

weitere 10 Jahre über das EUDAT-Projekt hinaus garantiert. Damit stehen mittlerweile über 20 Partner gemeinsam dafür ein, europaweite Forschungsdatendienste zu entwickeln, zu implementieren und zu unterhalten und die Harmonisierung der Managementpraktiken für Forschungsdaten in den Zentren zu fördern. Die Schaffung des EUDAT-CDI kommt zur richtigen Zeit angesichts der bevorstehenden Realisierung der „European Open Science Cloud“, welche darauf abzielt, offene und nahtlose Dienste für die Speicherung, Verwaltung,

Analyse und Wiederverwendung von Forschungsdaten über Grenzen und wissenschaftliche Disziplinen hinweg anzubieten.

## Weblinks:

Projektwebseite: [www.eudat.eu/](http://www.eudat.eu/)

# PRIMAVERA: Fortschritt in der hochauflösenden Modellierung und der europäischen Klimarisikobewertung

Modellbasierte Klimastudien zeigen, dass eine Verfeinerung der räumlichen horizontalen Auflösung in Erdsystemmodellen auf maximal 50 km in der Atmosphäre und 25 km im Ozean für eine realistischere Darstellung vieler Schlüsselphänomene sorgt; so wird etwa die Simulation von ENSO, tropischer und außertropischer Zyklone oder des Golfstroms verbessert. Bisher wurden hochauflösende Simulationen wegen ihres hohen Rechenaufwandes nur vereinzelt durchgeführt. Das europäische Projekt PRIMAVERA, kurz für *PRocess-based climate sIMulation: AdVances in high-resolution modelling and European climate Risk Assessment*, untersucht erstmals systematisch anhand eines Multi-Modell-Ansatzes den Einfluss hoher räumlicher Auflösung auf die Güte von Klimasimulationen. Dafür bündelt das PRIMAVERA-Konsortium Kompetenzen in Klimamodellierung und Hochleistungsrechnen aus 19 führenden europäischen Einrichtungen, darunter das DKRZ. Das „Horizon2020“-Programm der EU fördert das Projekt von November 2015 bis Oktober 2019.

Konkret setzt sich PRIMAVERA folgende Ziele:

- Entwicklung und Evaluierung gekoppelter hochauflösender globaler Modelle
- Definition eines Standardprotokolls für eine koordinierte Reihe von Experimenten für das *High Resolution Model Intercomparison Project* (High-ResMIP), eines der 21 CMIP6-Projekte des Weltklimaforschungsprogramms, sowie Durchführung der Simulationen. Die Ergebnisse stehen dem Weltklimarat (IPCC) und nationalen Klimadiensten zur Verfügung
- Erstellung von neuen, robusteren Projektionen des europäischen Klimas bis zum Jahr 2050 auf Grundlage verbesserter globaler Modelle und Fortschritte im Prozessverständnis
- Erforschung der aktuellen wissenschaftlichen und technologischen Grenzen in der globalen Klimamodellierung und Erarbeitung von Leitlinien für die Entwicklung zukünftiger globaler Erdsystemmodelle

Das DKRZ unterstützt die Projektpartner Max-Planck-Institut für Meteorologie und Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung darin, den DKRZ-Hochleistungsrechner Mistral effizient zu nutzen und die Programmcodes der Erdsystemmodelle MPI-ESM1.2 und AWI-CM zu optimieren. Bisherige Arbeiten zielten



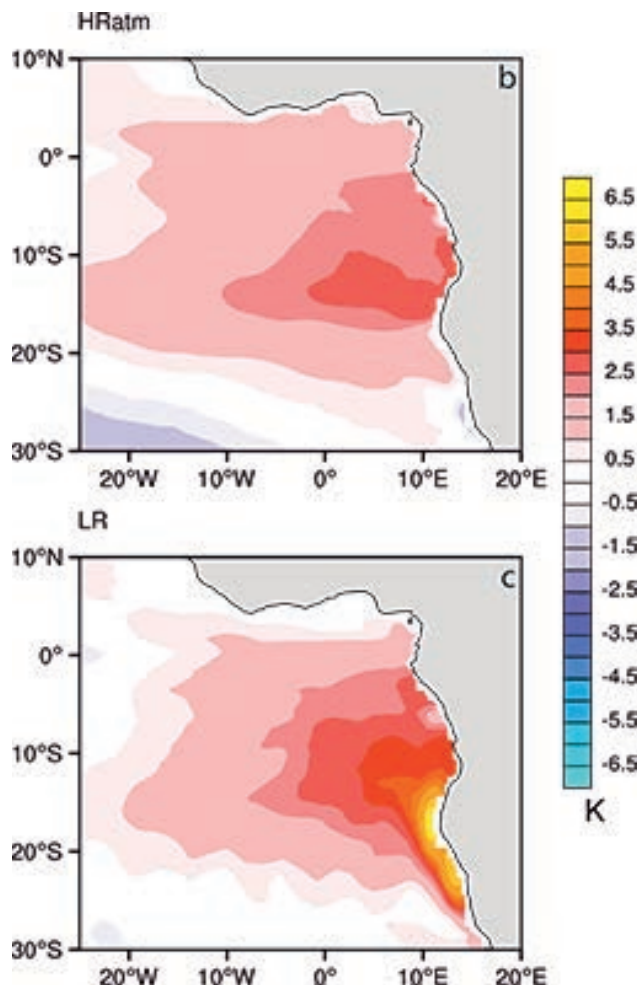


Abb. 1: Im MPI-ESM1-Modell wird der SST-Fehler vor der afrikanischen Küste im tropischen Südatlantik durch die Erhöhung der horizontale Auflösung im Atmosphärenmodell von 1.8° (LR, unten) auf 0.5° (HRatm, oben) deutlich reduziert (Milinski et al., 2016).

überwiegend auf eine Verbesserung der Laufzeiten von ECHAM6 (Atmosphärenmodell in MPI-ESM1.2 und AWI-CM) und MPIOM (Ozeanmodell in MPI-ESM1.2) ab.

In ECHAM6 ermöglichte die Verallgemeinerung des Halo-Austauschverfahrens für die Berechnung der horizontalen Advektion mit Hilfe der YAXT-Kommunikationsbibliothek höhere Parallelität und verbesserten Durchsatz. Diese Optimierung erlaubt es, im Extremskalierungsfall doppelt so viele Prozessorkerne wie bisher und bei geringerer Skalierung eine flexiblere Gebietszerlegung zu verwenden. Die Implementierung der parallelen Datenausgabe für MPIOM auf Basis der CDI-PIO-Bibliothek wurde begonnen, um bisherige Probleme hochfrequenter Ausgabe bei Verwendung des seriellen Ansatzes zu überwinden.

### Weblinks:

#### Projektwebseite:

[www.primavera-h2020.eu/](http://www.primavera-h2020.eu/)

#### HighResMIP - High Resolution Model Intercomparison Project for CMIP6:

[www.wcrp-climate.org/modelling-wgcm-mip-catalogue/cmip6-endorsed-mips-article/1068-modelling-cmip6-highresmip](http://www.wcrp-climate.org/modelling-wgcm-mip-catalogue/cmip6-endorsed-mips-article/1068-modelling-cmip6-highresmip)

### Publikationen:

#### Milinski, S. et al. 2016:

High atmospheric horizontal resolution eliminates the wind-driven coastal warm bias in the southeastern tropical Atlantic. *Geophysical Research Letters*, 43, 10,455-10,462, doi:10.1002/2016GL070530

# PalMod: Simulation eines vollständigen Eiszeitzyklus



Mit Hilfe von Erdsystemmodellen sollen im Projekt PalMod die wichtigsten Prozesse des Klimas und dessen Variabilität innerhalb des letzten Eiszeitzyklus untersucht werden. Verschiedene Anforderungen bei der Modellentwicklung machen hier eine interdisziplinäre Zusammenarbeit erforderlich:

- Sehr lange Simulationszeiträume
- Hohe Anzahl der zu simulierenden physikalischen Prozesse und Parameter (z.B. Staub)
- Stark gestiegene Anzahl und Komplexität aktueller Prozessoren

Wissenschaftler des DKRZ arbeiten gemeinsam mit Klimaforschern, Mathematikern und Informatikern an der Umsetzung neuer Verfahren, welche die Erdsystemmodelle soweit beschleunigen, dass die Berechnung eines ganzen Eiszeitzyklus (100.000 Jahre) möglich wird.

Bisher wurde meist der klassische Ansatz der Gebietszerlegung genutzt: Mit steigender Anzahl von Prozessoren wird das verwendete Rechengitter in immer mehr Teilgebiete aufgeteilt, auf denen parallel gerechnet wird. Die Teilgebiete können jedoch nicht beliebig verkleinert werden; daher werden verschiedene Ansätze zur weiteren Beschleunigung der Modelle verfolgt:

## Komponentenbasierte Parallelität

In nahezu allen Erdsystemmodellen werden Atmosphäre und Ozean parallel berechnet. Dieser Ansatz wird nun um Komponenten erweitert, die bisher sequenziell berechnet wurden. So soll etwa die rechenintensive Berechnung der Strahlung zukünftig parallel zur Dynamik der Atmosphäre erfolgen, so dass die Laufzeit dieser Modellkomponente weiter reduziert werden kann.

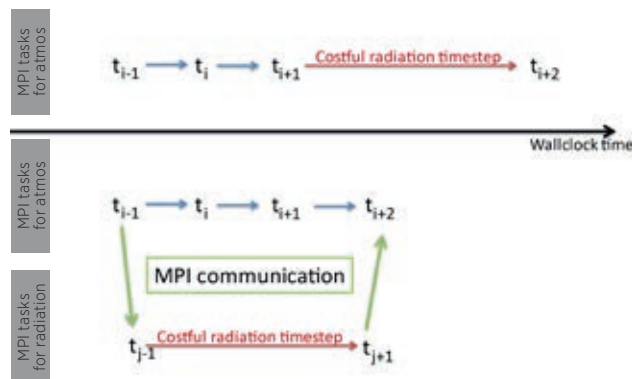


Abb. 1: Schematische Darstellung der parallelen Berechnung rechenintensiver Zeitschritte durch zusätzliche MPI-Prozesse.

## Reduzierte Genauigkeit

Eine weitere Möglichkeit, Prozessoren effizienter zu nutzen, besteht in dem Ansatz, Fließkommaoperationen –

soweit numerisch sinnvoll – nur in einfacher statt doppelter Genauigkeit durchzuführen. Werden arithmetische Operationen nicht skalar, sondern als vektorisierte SIMD-Instruktion (*single-instruction-multiple-data*) ausgeführt, können davon theoretisch doppelt so viele berechnet werden. Noch ist unklar, welchen Einfluss diese Modifikation auf die Simulationsergebnisse hat, da die Modelle auf die Verwendung doppelter Genauigkeit abgestimmt sind.

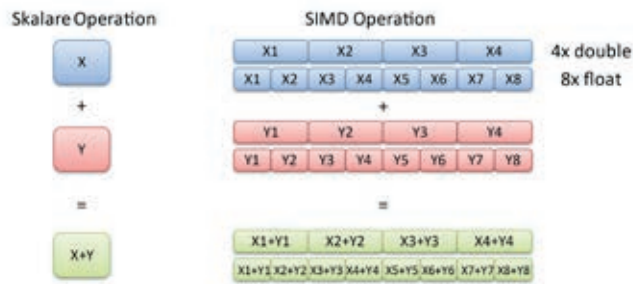


Abb. 2: Durch die Reduktion von doppelter (double) auf einfache Genauigkeit (float) kann die Anzahl paralleler Operationen verdoppelt werden.

## Parallelisierung in der Zeit

Der wohl radikalste Ansatz besteht in der Parallelisierung der Zeit. Was zunächst befremdlich wirkt, ist in der numerischen Mathematik schon seit mehr als 50 Jahren bekannt. Im Kontext des *parallel-in-time*-Algorithmus werden einzelne Zeitscheiben wiederholt parallel berechnet, um am Ende eine konsistente zeitliche Entwicklung zu erhalten. Hierzu werden abwechselnd Realisierungen des Modells von unterschiedlicher Genauigkeit gerechnet, z.B. grobe und feine räumliche Auflösungen.

Das Projekt PalMod ist für 10 Jahre geplant. In der ersten Phase von 2015 bis 2019 werden die notwendigen Komponenten innerhalb der Erdsystemmodelle bereitgestellt und erprobt. Hierzu werden zunächst nur kürzere Zeiträume, z.B. vom Ende der letzten Eiszeit bis in die folgende Warmzeit (etwa 13.000 Jahre), simuliert. In der zweiten Phase soll dann mit angepassten Erdsystemmodellen ein kompletter glazialer Zyklus simuliert werden.

Weblinks:

Projektwebseite: [www.palmod.de](http://www.palmod.de)

# Schulprojekt Klimawandel: Klimaforschung für Schüler

Mit den Zielen, Schüler für das Klimathema zu sensibilisieren sowie sie an universitäres Arbeiten heranzuführen und Berührungspunkte abzubauen, werden zwölf Schulen in Hamburg und Schleswig-Holstein im Rahmen des am DKRZ angesiedelten „Schulprojekts Klimawandel“ bei Unterrichtsthemen rund um den Klimawandel betreut. Ein besonderes Angebot an die Schulen sind dabei aufbereitete Klimadaten, die von Simulationen mit komplexen Erdsystemmodellen stammen.

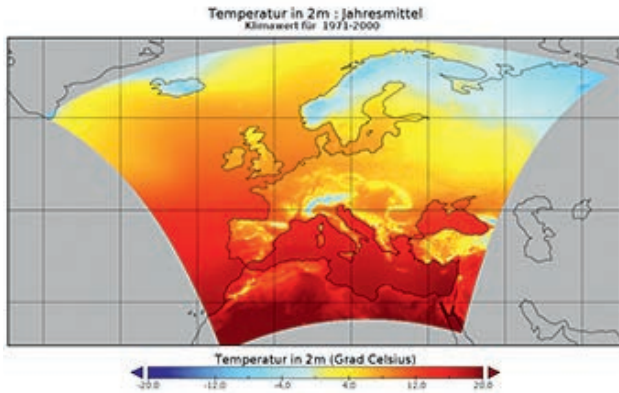


Abb. 1: Visualisierte Klimadaten

Diese können die Schüler in Form von Klimakarten selbst visualisieren und danach für die Bearbeitung des von ihnen gewählten Themas nutzen. Das stetig erweiterte Angebot enthält nun auch Daten zu Australien, zum *Climate Engineering* sowie hochaufgelöste Daten zu Norddeutschland. Ein weiterer Baustein ist

das innerhalb des Schulprojekts für den Unterricht aufbereitete einfache Klimamodell MSCM (*Monash Simple Climate Model*); hier wurden beispielsweise neue didaktische Materialien zu den Szenarien des Klimawandels entwickelt. Während zahlreicher Besuche führte das Projektteam Schüler und Lehrer in die Nutzung sowie Anwendung der Daten und das MSCM ein.

Die zweimal jährlich in Universitätshörsälen stattfindenden Projektworkshops boten den teilnehmenden Schülern ein Forum, wo sie Vorträge von Wissenschaftlern hören sowie ihre Arbeiten dann selbst einem Publikum von über 200 Mitschülern vorstellen können. Die Themen reichten von den veränderten Lebensbedingungen der Scholle in der Nordsee über den Einfluss des Klimawandels auf Vulkanausbrüche auf Island bis zu den tauenden Permafrostböden in Alaska.



Abb. 2: Eine Schülergruppe beim Vortrag ihrer Projektarbeit im September 2017





Abb. 3: Schülerforum im September 2017

Das Schulprojekt Klimawandel wurde auf mehreren öffentlichen Veranstaltungen präsentiert. Während der Nacht des Wissens 2017 wandelten die Besucher spielerisch mit dem Klimamodell die Erde in einen exotischen Planeten aus dem Film „Krieg der Sterne“ um. Im Oktober 2017 wurde die Arbeit mit dem MSCM-Modell-Lehrenden aus Universität und Schule auf dem Deutschen Geographenkongress in Tübingen erläutert und stieß dort auf ein starkes Interesse. Vertreter des Schulprojekts Klimawandel stellten Lehrmaterialien und –methoden auch auf den OER (*Open Educational Resources*)-Festivals in Hamburg und Berlin vor.

Außerdem erprobten 2016/17, angeregt durch Sandra Sprenger, Professorin der Geographiedidaktik an der Universität Hamburg, Lehramtsstudenten und Referendare mehrfach die im Projekt entwickelten Methoden, woraus wertvolle Hinweise auf Verbesserungsmöglich-

keiten resultierten. In einem Seminar am Landesinstitut für Lehrerbildung in Hamburg wurden auch Lehrkräfte, die nicht in dem Klimaprojekt mitarbeiten, mit den Möglichkeiten wissenschaftsorientierter Arbeit zum Klimawandel vertraut gemacht.

Neben dem DKRZ fördern die Stiftungen der Sparkasse Holstein, die Stiftung für Verantwortung sowie Institute der Hamburger Klimaforschung das Projekt. Aktuell wird nach Möglichkeiten gesucht, den Aktivitäten eine längerfristige Finanzierung zu sichern.

### Weblinks:

**Projektwebseite:** [www.klimaprojekt.de](http://www.klimaprojekt.de)

# CMIP6-Aktivitäten am DKRZ



Für die Politik sind die Weltklimaberichte des IPCC unerlässlich, da sie den jeweiligen aktuellen Wissensstand dokumentieren. Der erste Berichtsteil über die naturwissenschaftlichen Grundlagen des Klimawandels analysiert u.a. die Ergebnisse von Klimasimulationen. Im Hinblick darauf organisiert das *World Climate Research Programme* (WCRP) mit dem *Coupled Model Intercomparison Project* „CMIP“ internationale Modellvergleiche, zu denen Forschergruppen aus vielen Ländern beitragen.

Das BMBF fördert über 4 Jahre die Vorbereitung und Durchführung von Klimasimulationen, die als deutscher Beitrag in den aktuellen Modellvergleich CMIP6 eingebracht werden. Dazu gehören eine Simulation des historischen Klimas von 1850 bis heute sowie die sogenannten DECK-Experimente – ein präindustrielles Kontrollexperiment mit konstanten Randbedingungen, Experimente mit kontinuierlicher und abrupter CO<sub>2</sub>-Änderung sowie ein Nur-Atmosphären-Experiment mit vorgeschriebenem Zustand der Meeresoberfläche (Temperatur und Meereis) (Abb. 1; Eyring et al., 2016).

Von CMIP6 unterstützte MIPs (Abb. 1) definieren zusätzliche Experimente für spezielle Fragestellungen. Am DKRZ wird ein Großteil dieser Experimente mit den Erdsystemmodellen des Max-Planck-Instituts für Meteorologie berechnet. Experimente, die Auswirkungen von Aerosolen und chemisch aktiven Substanzen auf das Klima und die Luftqualität (Collins et al., 2017) untersuchen, werden am DKRZ mit dem Klima-Chemie-Modell EMAC berechnet.

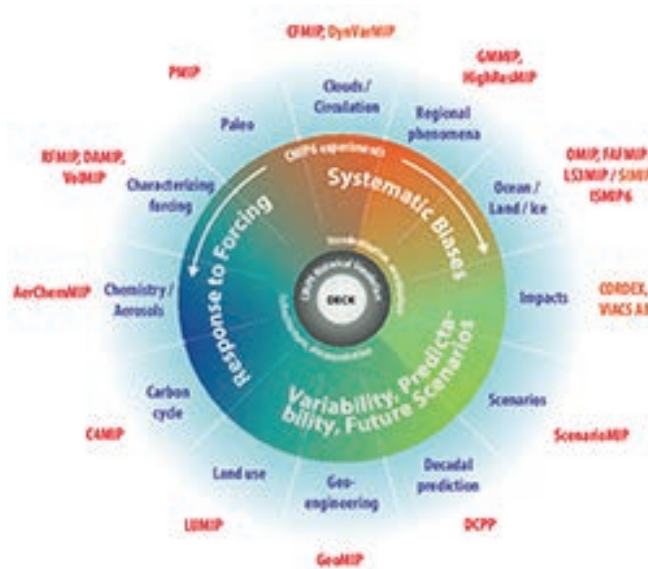


Abb 1: CMIP6 - Design, Experimente und unterstützte MIPs (Model Intercomparison Projects)

Das DKRZ unterstützt gemeinsam mit dem Deutschen Wetterdienst, dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt, der Freien Universität Berlin und der Universität Bonn nationale Gruppen darin, die Modellsimulationen durchzuführen, standardkonforme CMIP6-Daten zu erzeugen (Abb. 2) und die Modellergebnisse am ESGF-Datenknoten des DKRZ zu publizieren. Allein die geplanten DECK- und SzenarioMIP-Experimente werden im Jahr 2018 etwa 1,2 Millionen Knotenstunden benötigen und etwa 3 Petabyte an Daten produzieren, die am DKRZ archiviert werden müssen.

Darüber hinaus werden Werkzeuge für die Qualitätssicherung entwickelt. Ein *Quality Assurance Tool* ermittelt beispielsweise Abweichungen der Metadaten und Dateistruktur vom CMIP6-Standard, welche der Veröffentlichung im ESGF-Datenpool entgegenstehen. Ein weiteres Werkzeug ist das *Earth System Model Evaluation Tool*, das etablierte Diagnostiken der Modellergebnisse beinhaltet und mit dem CMIP-Modelle hinsichtlich ihrer Darstellung wichtiger Klimagrößen und Prozesse überprüft werden. Um eine umfangreiche zeitnahe Untersuchung der CMIP6-Modelldaten zu ermöglichen, werden die Ergebnisse auf der DKRZ-Webseite zur Verfügung gestellt.



Abb. 2: Schematische Darstellung der am DKRZ entwickelten Werkzeuge zur Unterstützung von CMIP6-Teilnehmern bei der standardkonformen Datenaufbereitung.

### Weblinks:

**WCRP-Seite:** [www.wcrp-climate.org/wgcm-cmip/wgcm-cmip6](http://www.wcrp-climate.org/wgcm-cmip/wgcm-cmip6)

**CMIP6 am DKRZ:** [www.dkrz.de/c6de](http://www.dkrz.de/c6de)

**Erzeugung standardkonformer CMIP6-Daten:** <https://c6dreq.dkrz.de>

**Publikation der Modellergebnisse am ESGF-Datenknoten des DKRZ:** [esgf-data.dkrz.de/projects/cmip6-dkrz/](https://esgf-data.dkrz.de/projects/cmip6-dkrz/)

**Quality Assurance Tool (QAtool):** <https://readthedocs.org/projects/qa-dkrz>

**Ergebnisse:** <http://cmip-esmvaltool.dkrz.de>

### Publikationen:

Eyring et al. (2016): Overview of the Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) experimental design and organization. *Geosci. Model Dev.*, 9, 1937–1958, 2016. doi:10.5194/gmd-9-1937-2016

Collins et al. (2017): AerChemMIP: quantifying the effects of chemistry and aerosols in CMIP6. *Geosci. Model Dev.*, 10, 585–607, 2017. doi:10.5194/gmd-10-585-2017







# Neue Projekte

# HAPPI-DE: Klimafolgen bei 0,5 Grad zusätzlicher Erwärmung

Das Pariser Abkommen hat mögliche Klimafolgen eines Temperaturanstieges um 1,5°C bzw. 2°C gegenüber dem vorindustriellen Klima und im Vergleich zur bereits erreichten Erwärmung von 1°C in den Fokus der Öffentlichkeit gerückt. Dazu wird der Weltklimarat einen Sonderbericht SR1.5 erstellen.

schlagen, sowie von Klimazuständen, die 1,5°C bzw. 2°C wärmer sind als das vorindustrielle Klima. Die Simulationen wurden am DKRZ mit dem globalen Atmosphärenmodell ECHAM6.3 durchgeführt und deren Ergebnisse wurden mit REMO für Europa und Afrika regionalisiert. Sie werden unter anderem in den „*Inter-Sectoral Impact Model Integration and Intercomparison Projects*“ verwendet. Weitere Studien mit ECHAM6.3 sind zum Einfluss von El-Niño-Ereignissen geplant. Das DKRZ übernimmt ebenfalls die Langzeitarchivierung der globalen HAPPI-Daten im *World Data Center for Climate* sowie die Vergabe der Daten-DOIs.

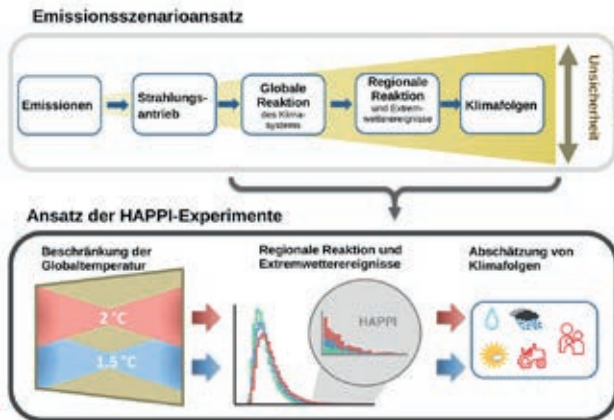


Abb 1: Schematische Darstellung der auf Emissionsszenarien basierenden Abschätzung von Klimafolgen und dem Ansatz des HAPPI-Experiments (aus Mitchell et al., 2017). Anhand großer Ensembles können Veränderungen in Extremwertstatistiken und entsprechende Klimafolgen untersucht werden.

Die HAPPI-Initiative, kurz für „*Half a degree Additional warming, Prognosis and Projected Impacts*“, untersucht den Einfluss einer zusätzlichen Erwärmung um 0,5 Grad auf Extremereignisse (Mitchell et al., 2017). Dazu hat sie die Durchführung großer Ensembles von Klimasimulationen der jüngsten Vergangenheit vorge-

### Weblinks:

[www.happimip.org](http://www.happimip.org)  
[ipcc.ch/report/sr15/](http://ipcc.ch/report/sr15/)  
[www.dkrz.de/projekte-und-partner/projekte/happi](http://www.dkrz.de/projekte-und-partner/projekte/happi)  
[portal.nersc.gov/c20c/data](http://portal.nersc.gov/c20c/data)  
[www.dkrz.de/WDCC/ui/cerasearch?q?query=HAPPI-MIP](http://www.dkrz.de/WDCC/ui/cerasearch?q?query=HAPPI-MIP)

### Publikationen:

Mitchell et. al. (2017): „Half a degree additional warming, prognosis and projected impacts (HAPPI): background and experimental design“, *Geoscientific Model Development*, 10(2), 571-583, <https://doi.org/10.5194/gmd-10-571-2017>

# Mit SeaDataCloud gehen Meeresdaten in die Cloud!



Ozeandaten werden auf verschiedenste Arten erhoben, zum Beispiel durch an Fähren befestigten Boxen oder durch stationäre bzw. bewegliche Bojen, und an über 100 europäischen Meeresinstituten gespeichert.

Um es Klima- und Meeresforschern zu erleichtern, qualitativ hochwertige Ozeandaten zu finden, zu erhalten und zu analysieren, möchte das DKRZ die Daten im Rahmen des EU-Horizon-2020-Projektes „SeaData-Cloud“ zusammen mit über sechzig Partnern in die Cloud bringen. Dazu werden die Daten einer strengen Qualitätskontrolle unterzogen und in mehreren großen Rechenzentren wie dem DKRZ zentral gespeichert, so dass sie zum schnellen Download bereit stehen.

Die Projektpartner wollen außerdem eine virtuelle Forschungsumgebung (*Virtual Research Environment*) entwickeln, in der Wissenschaftler datenbasierte Forschung zukünftig online durchführen können. So sollen Daten mit dem Online-Programm *OceanDataView* des Alfred-Wegener-Instituts direkt in der Cloud bearbeitet und visualisiert werden können, ohne dass ein vorheriger Download der Daten notwendig ist.

Das DKRZ ist an der Entwicklung der Cloud-Lösung, des Daten-Einspeise-Prozesses sowie der virtuellen Forschungsumgebung federführend beteiligt.

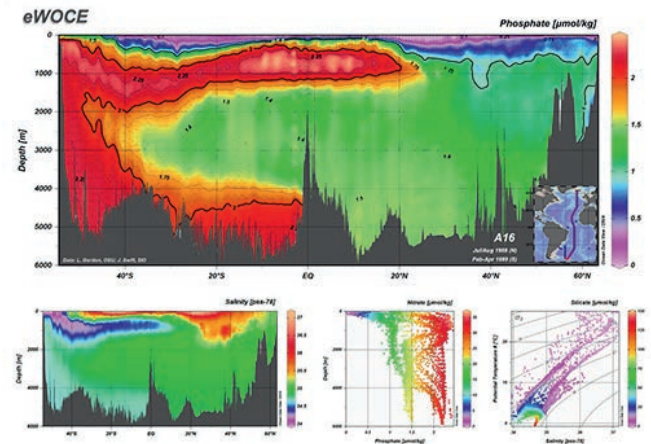


Abb. 1: Visualisierung von Ozeandaten mit Ocean Data View (ODV)

## Weblinks:

### Projektwebseite:

[www.seadatanet.org/](http://www.seadatanet.org/)

[www.dkrz.de/projekte-und-partner/  
projekte/seadatacloud](http://www.dkrz.de/projekte-und-partner/projekte/seadatacloud)

# CP4CDS: Klimaprojektionen für Copernicus

Im EU-Projekt Copernicus wird ein europäischer Informationsdienst für Erdbeobachtungsdaten, d.h. Daten von Satelliten sowie flugzeug-, boden- und seegestützten Beobachtungssystemen, entwickelt. Daten und Dienste von Copernicus sind frei verfügbar und sollen politischen Gremien bei Entscheidungen in Umweltfragen helfen.

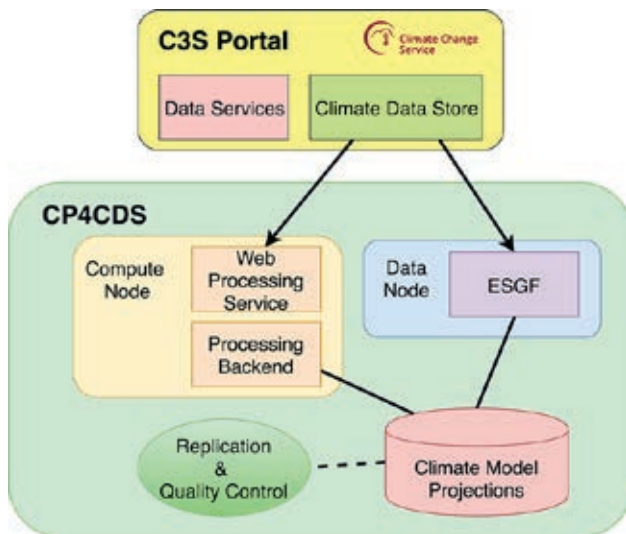


Abb. 1: Klimaprojektionen für den Copernicus-Klimadatenspeicher

Das Teilprojekt C3S-Klima bietet Dienste zum Klimawandel an. Auf Basis von Beobachtungs- sowie Klimasimulationsdaten stellt es Indikatoren wie Temperaturanstieg oder Anstieg des Meeresspiegels und Indizes für erwartete Klimaauswirkungen zur Verfügung. Der

Copernicus-Klimadatenspeicher (CDS) verbindet das C3S-Klimaportal mit externen Daten- und Prozessierungsdiensten. Als ein Teilsystem von ESGF (*Earth System Grid Federation*) stellt CP4CDS Dienste für Klimaprojektionsdaten für den CDS bereit. ESGF-Datenknoten erlauben eine flexible Auswahl qualitätsgeprüfter Klimadaten. Alle Dienste und Daten sind an drei Rechenzentren vorhanden, um einen ausfallsicheren Zugriff zu garantieren.

Das CP4CDS-System wird vom DKRZ gemeinsam mit dem *Centre for Environmental Data Analysis* und dem *Institut Pierre Simon Laplace* entwickelt und betrieben. Das DKRZ leitet hierbei die Entwicklung des Prozessierungsdienstes.

### Weblinks:

**Projektwebseite:**  
[climate.copernicus.eu/](http://climate.copernicus.eu/)

**ESGF-Projektseite:**  
[esgf.llnl.gov/CP4CDS](http://esgf.llnl.gov/CP4CDS)

**Poster auf ESGF:**  
[esgf.llnl.gov/media/2017-F2F/Posters/WPS.pdf](http://esgf.llnl.gov/media/2017-F2F/Posters/WPS.pdf)



A wide-angle photograph of a lush, green forested valley. The foreground shows a steep, rocky slope covered in dense green trees and ferns. The middle ground features a deep valley with rolling hills, all covered in thick forest. The background shows more distant hills under a hazy, overcast sky. The overall scene is a serene and expansive natural landscape.

Dies und Das

### Qualitätssiegel für DKRZ-Langzeitarchiv



Das Langzeitarchiv des DKRZ erhielt im Frühjahr 2016 das Qualitätssiegel *Data Seal of Approval* (DSA). Die Zertifizierung beinhaltet 16 Kriterien, die sowohl das Archiv und seine internen Prozesse, als auch die Beziehungen und die Prozesse zu und mit den Datenproduzenten und -nutzern umfassen. Wie schon die Zertifizierung als *World Data Center for Climate* im Rahmen des *ICSU World Data Systems*, der sich das DKRZ seit 2003 unterzieht, zeigt die DSA-Zertifizierung den hohen Standard der DKRZ-Langzeitarchivierung. Das DKRZ orientiert sich an den FAIR-Grundsätzen (*findable, accessible, interoperable and reusable*) und ermöglicht die langfristige Nachnutzung der Forschungsdaten.

### Interaktiver Programmierkurs am DKRZ



Im Rahmen der *Hamburg Open Online University* unterstützte die Forschungsgruppe „Wissenschaftliches Rechnen“ am DKRZ das Projekt „Interaktiver C-Programmierskurs“. Programmiersprachen erlernen sich am einfachsten, wenn sie parallel zur Theorie praktisch angewendet werden. Für den Kurs wurde eine Plattform für die Programmiersprache C entwickelt, so dass seit Frühjahr 2016 Studierende im Webbrowser kleinere Programme entwickeln und ausführen können. Erste interaktive Lektionen wurden in das Lehrangebot integriert. Weitere Lektionen sind für verschiedene Zielgruppen geplant, um die Konzepte der parallelen

Programmierung mit OpenMP und MPI zu veranschaulichen.

### Der neue YAC-Koppler für Erdsystemmodelle

Seit November 2016 ist die neue Software *Yet Another Coupler* (YAC) frei verfügbar, welche gemeinsam vom DKRZ und Max-Planck-Institut für Meteorologie entwickelt wurde, um Komponenten von Erdsystemmodellen, speziell im ICON-Modell (*ICOsahedral Non-hydrostatic general circulation model*), effizient zu koppeln. Koppler ermöglichen den Datenaustausch zwischen einzelnen Teilmodellen wie Ozean, Atmosphäre und Landoberfläche, welcher für die Darstellung komplexer Prozesse und Rückkopplungen des Klimasystems erforderlich ist. Klimamodelle nutzen unterschiedliche Gitter – neben Rechtecken auch Dreiecke oder andere Polygone – für die Berechnungen. Die neue Software unterstützt mehrere Gitterarten, so auch unstrukturierte Gitter wie das des ICON-Modells. YAC bietet eine flexible Kopplung von physikalischen Feldern, die auf verschiedenen Gittertypen auf der Modellkugel definiert sind. Alle unterstützten Gitter können mit jeder unterstützten Interpolationsmethode kombiniert werden.





## Intelligenter Brandschutz für das DKRZ-Datenarchiv

Das DKRZ hat im März 2017 eine Sauerstoffreduktionsanlage für sein Datenarchiv in Betrieb genommen. Das Datenarchiv wurde mit speziellen Trennwänden luftdicht abgeschlossen, so dass dort der normale Sauerstoffgehalt von 21% durch Einleitung von Stickstoff auf 17% reduziert wird. Diese Reduzierung bewirkt, dass ein Brand gar nicht erst entstehen kann. Der Aufenthalt in Räumen mit 17% Sauerstoffgehalt ist gesundheitlich unbedenklich und entspricht der Luftzusammensetzung auf 2.000 m über dem Meeresspiegel, so dass Wartungsarbeiten weiterhin durchgeführt werden können. Neben dieser Maßnahme sichert das DKRZ seit letztem Jahr die wichtigsten Klimadaten durch eine zweite Kopie im Rechenzentrum Garching.



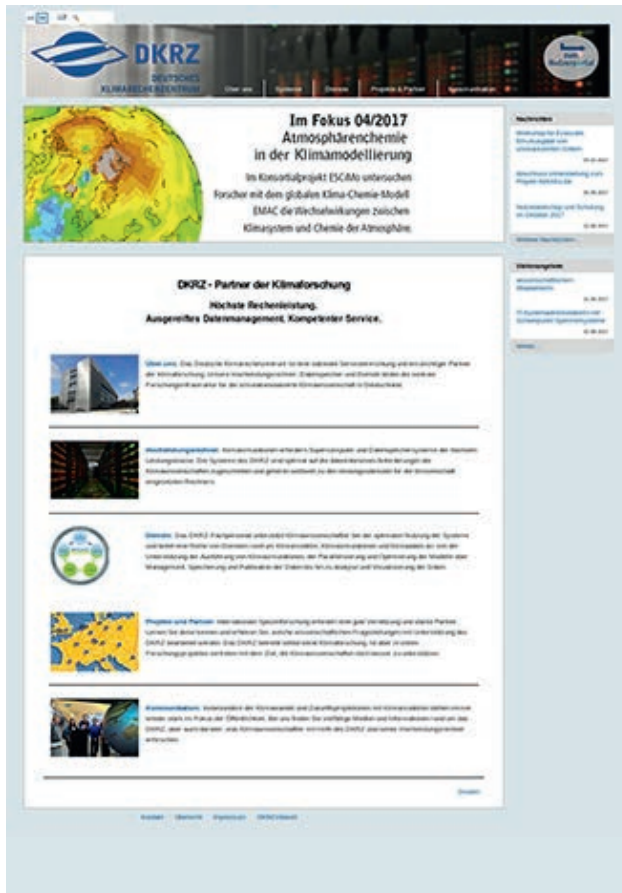
## Universität Hamburg: Besuch der französischen Wissenschaftsministerin

Am 1. September 2017 besuchte die französische Wissenschaftsministerin Frédérique Vidal die Universität Hamburg. Ihr besonderes Interesse galt dabei der Klimaforschung. Zuvor hatten sich Vidal und ihre deutsche Amtskollegin Johanna Wanka in Paris auf eine engere Zusammenarbeit bei zentralen Zukunftsthemen – mit Fokus auf die internationale Klima- und Energieforschung – verständigt. Neben ihrem Besuch bei den Klimawissenschaftlern der Universität Hamburg, des MPI-M und des Helmholtz-Zentrums Geesthacht besichtigte Vidal das DKRZ.



## Relaunch der DKRZ-Webseite

Eine neu strukturierte und teilweise erweiterte Version der DKRZ-Webseite ging im Oktober 2017 online. Seitdem ist die Webseite explizit in einen an die Öffentlichkeit gerichteten, zweisprachigen Teil ([www.dkrz.de/](http://www.dkrz.de/)) und das Nutzerportal ([www.dkrz.de/up/](http://www.dkrz.de/up/)) unterteilt. Beide Teile erscheinen jeweils als visuell eigenständige



Webseiten – mit unabhängiger Navigation und jeweils eigener Startseite. Ein auffälliger Button oben rechts ermöglicht Nutzern einen schnellen Wechsel von der DKRZ-Seite zum Nutzerportal und zurück. Für beide Zielgruppen relevante Informationen sind von beiden Seiten aus über die Suche sowie über dynamische Elemente auffindbar.

## Neue Kassetten fürs DKRZ-Archiv

Im Oktober 2017 erweiterte das DKRZ sein Datenarchiv um weitere 34 Petabyte Speicherplatz, auf denen die Klimaforscher ihre Modellergebnisse archivieren können. Dafür wurden 13.600 neue Magnetbandkassetten des Typs LTO-6 mit einer Kapazität von je 2,5 Terabyte in die Bandbibliotheken eingeführt. Gleichzeitig wurden etwa 10.000 Bänder der alten LTO-4-Generation mit je 800 Gigabyte entnommen. Insgesamt umfasst das HPSS-Archiv am DKRZ knapp mehr als 77.000 Stellplätze und kann damit über 190 Petabyte an Daten aufnehmen. Momentan sind im Archiv über 80 Petabyte Klimamodelldaten verteilt auf etwa 20 Millionen Dateien gespeichert.





## 30-jähriges Jubiläum und neue Außenstelle in der Fuhlentwiete

Die Gründung des DKRZ jährte sich am 11. November 2017 zum dreißigsten Mal. Seit 1987 betrieb das DKRZ sechs Rechnergenerationen, (die siebente ist mit dem HLRE-4 bereits in Planung) und ermöglicht seit dem, dass deutsche Klimaforschung auf Weltniveau betrieben werden kann. Das Datenmanagement und der kompetente Service gewinnen angesichts der heutigen technischen und wissenschaftlichen Herausforderungen zunehmend an Bedeutung. Um diese Dienste – etwa über Drittmittelprojekte – weiter auszubauen und zukünftig ein noch breiteres Dienste-Portfolio anzubieten, hat das DKRZ seit Ende 2017 weitere als „Innovation Lab“ konzipierte Büros in der Fuhlentwiete angemietet.

## Neue ParaView-Plugins von Kitware und DKRZ

Um Nutzern den Umstieg von der kommerziellen Software Avizo, die ab 2019 nicht mehr für Erdsystemforschung zur Verfügung stehen wird, auf ParaView zu erleichtern, hat das DKRZ für diese frei erhältliche 3D-Visualisierungssoftware im Rahmen einer Kooperation mit der Firma Kitware zwei neue Plugins erstellen lassen. Diese sind neben vielen Verbesserungen in der im Dezember 2017 veröffentlichten Version 5.4.1 enthalten. Beide Plugins funktionieren sowohl mit regulären Gittern, wie ECHAM-Daten, kurvilinearen Gittern wie bei MPIOM, als auch mit ICON-Daten. Die neuen Plugins sind hervorragend geeignet, um mehrere Größen gleichzeitig darzustellen.

### Weblinks:

#### DSA-Siegel:

[www.dkrz.de/p/dkrz\\_dsa](http://www.dkrz.de/p/dkrz_dsa)

#### Hamburg Open Online University:

[www.hoou.de/p/](http://www.hoou.de/p/)

#### YAC-Koppler:

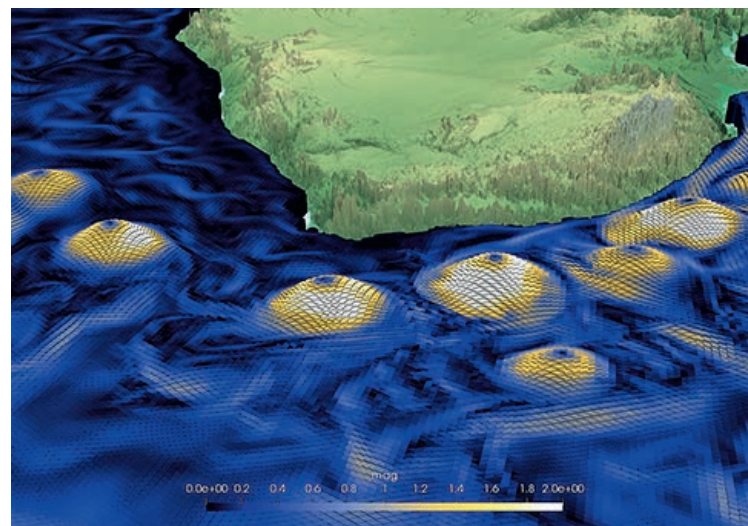
[www.dkrz.de/p/yac/](http://www.dkrz.de/p/yac/)

#### Sauerstoffreduktionsanlage:

[www.dkrz.de/p/sauerstoffreduktion/](http://www.dkrz.de/p/sauerstoffreduktion/)

#### Vidal-Besuch:

[www.dkrz.de/p/besuch\\_vidal/](http://www.dkrz.de/p/besuch_vidal/)



### Mistral – Supercomputer für die Klimaforschung

Seit Sommer 2016 steht der deutschen Klimaforschung mit dem Endausbau Mistrals das dritte „Hochleistungsrechnersystem für die Erdsystemforschung“ nunmehr mit einer Spitzenrechenleistung von rund 3,6 Billionen Rechenoperationen pro Sekunde zur Verfügung. Auf der seit 1993 erscheinenden TOP500-Liste, die halbjährlich die jeweils fünfhundert leistungsstärksten HPC-Systeme weltweit umfasst, belegte der Endausbau Mistrals im Juni 2016 Platz 33, im November 2016 Platz 34, im Juni 2017 Platz 38 und im November 2017 Platz 42. Beim ebenfalls weltweiten Vergleich der Leistungsfähigkeit der Speichersysteme, der erstmals im November 2017 in der sogenannten IO500 vorgestellt wurde, stieg Mistral sogar auf Platz 5 ein.



### Das Weltklimadatenarchiv am DKRZ

Das am DKRZ angesiedelte Langzeitarchiv *World Data Center for Climate* (kurz: WDCC) bietet Wissenschaftlern die Langzeitarchivierung ihrer Ergebnisdaten an und stellt diese über einen Zugang auch anderen Klimaforschern weltweit zur Verfügung. Im Jahr 2017 wurden durchschnittlich mehr als 300 Terabyte pro Monat über das WDCC abgerufen. Zudem meldeten sich 2017 knapp 800 neue Nutzer beim WDCC an – die meisten aus Europa und Asien. Im Februar 2017 erhielt das Webportal des Langzeitarchivs ein neues Design sowie viele neue Funktionalitäten und ist damit deutlich nutzerfreundlicher als die Vorgängerversion. Um im Datenschwung nicht den Überblick zu verlieren, wurden sogenannte *Digital Object Identifier* (DOI; deutsch: Digitaler Objektbezeichner) eingeführt, über die Datensätze analog zu ISBN-Nummern von Büchern eindeutig identifizierbar sind. Das DKRZ hat Ende 2017 seinen 1.000. DataCite-DOI-Identifikator im WDCC für die Daten des Experiments OceanRAIN-M im Projekt „*Ocean Rainfall And Ice-phase precipitation measurement Network*“ vergeben. Insgesamt verzeichnete das WDCC über das Jahr 2017 mehr als 1.500.000 Downloads.

## Nachrichten und Informationen aus dem DKRZ

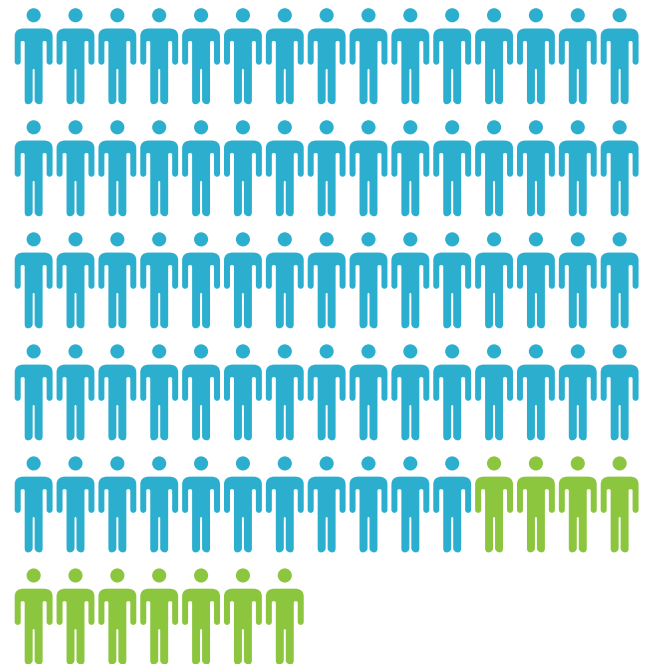
Das DKRZ ist in eine Vielzahl von Projekten und Veranstaltungen eingebunden und dokumentiert seine Aktivitäten in unterschiedlichen Publikationen: Die DKRZ-Jahrbücher erscheinen alle 2 Jahre und zeigen Ergebnisse wichtiger abgeschlossener Projekte sowie Ziele laufender und neu begonnener Projekte. Seit 2016 stellt das DKRZ in den englischsprachigen, doppelseitigen „*Data Management Stories at DKRZ*“ anhand konkreter Projekte seine umfangreichen Aktivitäten und Dienste in diesem Bereich vor. Bisher sind 3 Ausgaben erschienen: zu den Projekten CMIP5, coastDat sowie zum *IPCC Data Distribution Centre*. Die DKRZ-Mitteilungen informieren in unregelmäßigen Abständen über aktuelle Ereignisse am DKRZ. Die mittlerweile 174 Abonnenten erhielten 2016 4, im Folgejahr sogar 5 Ausgaben des Newsletters.

Das DKRZ bietet interessierten Gruppen an, sich vor Ort bei einem Besuch am DKRZ über Klimasimulationen und unsere Hochleistungsrechnersysteme zu informieren. Im Jahr 2016 nutzten über 1.200 Besucher aus 52 Gruppen diese Möglichkeit, im darauffolgenden Jahr sogar 64 Gruppen mit insgesamt etwa 1.500 Besuchern.



## DKRZ – in eigener Sache

Das DKRZ feierte am 11. November 2017 sein 30-jähriges Bestehen seit seiner Gründung 1987. Nicht nur das Dienstleistungsportfolio und die Anzahl der Projekte, in denen sich das DKRZ engagiert, stiegen in den vergangenen Jahren an, auch das DKRZ-Team wuchs von 71 Mitarbeitern Anfang 2016 auf 82 Mitarbeiter Ende 2017.



# Die langfristige Finanzierung der Klimarechner am DKRZ

Anfang 2018 hat das aktuelle Hochleistungsrechner-system für Erdsystemforschung 3 (HLRE-3) Mistral die Hälfte seines vorgesehenen Nutzungszeitraumes von fünf Jahren erreicht. Die Planungen für das Nachfolge-system HLRE-4 starteten daher bereits 2016 mit einem Antrag, der künftige wissenschaftliche Zielsetzungen darstellt. Im Mittelpunkt stehen dabei die direkte numerische Simulation kleinräumiger Prozesse, wie etwa der

Bildung von Wolken oder ozeanischer Wirbel, was ein feineres Rechengitter erfordert; die schnellere und detailliertere Simulation sehr langer Zeiträume, insbesondere von Eiszeiten, wofür komplexere Modelle benötigt werden, die aber schneller rechnen müssen; und eine bessere Berücksichtigung von umfangreichen Beobachtungsdaten auch in Klimamodellen, was aufwändige Methoden der Datenassimilation erfordert, die aus der



Abb. 1: Prof. Dr. Martin Stratmann, Präsident der Max-Planck-Gesellschaft, Olaf Scholz, Erster Bürgermeister der Freien und Hansestadt Hamburg, sowie Prof. Dr. Otmar Wiestler, Präsident der Helmholtz-Gemeinschaft, bei der Unterzeichnung des Abkommens zur langfristigen Finanzierung des Klimarechners am DKRZ am 24.10.2017.



Wettervorhersage stammen. Jedes dieser Ziele erfordert einen weiteren Ausbau von Rechen- und Speicherleistung.

Die Finanzierung des HLRE-4 und weiterer Rechnergenerationen wird direkt von den Gesellschaftern bzw. ihren Institutionen getragen. Die Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren, die Max-Planck-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften e. V. und die Freie und Hansestadt Hamburg vertreten durch die Universität Hamburg fördern HLRE-4 mit einem Investitionsvolumen von 45 Millionen Euro. Im Frühjahr 2018 wird das DKRZ Markterkundungen durchführen, um eine geeignete Rechnerarchitektur zu identifizieren. Ab Herbst 2018 wird das Rechner- und Speichersystem europaweit ausgeschrieben. Der Vertragsschluss ist für Anfang 2019 geplant, um dann nach notwendigen Umbaumaßnahmen im Rechnerraum das System Anfang 2020 installieren zu können. Die Übergabe an die Klimaforschung soll im Sommer 2020 erfolgen.



*Abb. 2: Prof. Dr. Jochem Marotzke, Direktor am Max-Planck-Institut für Meteorologie, erklärt den Gästen eine aktuelle hochaufgelöste Simulation (v.l.n.r.: Olaf Scholz, Wissenschaftssenatorin Katharina Fegebank, Prof. Martin Stratmann, Prof. Jochem Marotzke).*

#### Weblinks:

[www.dkrz.de/p/finanzierungsabkommen](http://www.dkrz.de/p/finanzierungsabkommen)

## Partner und Verbund des DKRZ

Das DKRZ ist eine gemeinnützige GmbH mit vier Gesellschaftern.



MAX-PLANCK-GESELLSCHAFT

Max-Planck-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften e.V.



Hamburg

Freie und Hansestadt Hamburg vertreten durch die Universität Hamburg

 **Helmholtz-Zentrum Geesthacht**  
Zentrum für Material- und Küstenforschung



ALFRED-WEGENER-INSTITUT  
HELMHOLTZ-ZENTRUM FÜR POLAR- UND MEERESFORSCHUNG

Gefördert von:



Als wichtiger Partner ist das DKRZ in nationale, europäische und internationale Kooperationen integriert.



# Impressum

## Herausgeber

Deutsches Klimarechenzentrum GmbH  
Bundesstraße 45a

20146 Hamburg

[www.dkrz.de](http://www.dkrz.de)

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

## Konzept und Koordination

Michael Böttinger, Jana Meyer

Öffentlichkeitsarbeit DKRZ

## Text und Redaktion

Michael Böttinger, Jana Meyer auf Basis von Textbeiträgen der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des DKRZ insbesondere von (alphabetisch sortiert):

Panagiotis Adamidis, Yevhen Alforov, Joachim Biercamp, Hendryk Bockelmann, Michael Böttinger, Merret Buurman, Carsten Ehbrecht, Irina Fast, Kerstin Fieg, Ulf Garternicht, Ksenia Gorges, Ilse Hamann, Reza Heidari, Dieter Kasang, Stephan Kindermann, Michael Kuhn, Stephanie Legutke, Ludwig Lierhammer, Thomas Ludwig, Hans Luthardt, Jana Meyer, Philipp Neumann, Hans Ramthun, Martin Schupfner, Hannes Thiemann, Frank Toussaint, Fabian Wachsmann

## Gestaltung

Gerrit Horwege, Jeran und Horwege Design GbR

[www.j-h-design.de](http://www.j-h-design.de)

## Druck

dieUmweltDruckerei GmbH Hannover

[www.dieumweltdruckerei.de/](http://www.dieumweltdruckerei.de/)

## Bildnachweis

Pauli-Pirat [CC BY-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>)] via Wikimedia (MS Wissenschaft, S. 4), Andreas Laible (Schülerkongress, S. 5), open street map (S. 7), Gottschalk, Bundespresseamt (S. 8), Andreas Steindl (Veranstaltung in Aachen, S. 9), AWI ([http://odv.awi.de/fileadmin/user\\_upload/odv/pics/odv\\_section.jpg](http://odv.awi.de/fileadmin/user_upload/odv/pics/odv_section.jpg), S. 59), Anke Allner, UHH/CEN (S. 63), © studiestoks / Fotolia (S. 66), © HeGraDe / Fotolia (S. 66), © Fenton / Fotolia (S. 66), © jesussanz / Fotolia (S. 66), © makyzz / Fotolia (S. 67), DKRZ (alle weiteren Fotos und Grafiken)

## Klimaneutral gedruckt auf FSC-zertifiziertem Papier

