



DKRZ

DEUTSCHES
KLIMARECHENZENTRUM

2018
2019



Editorial

Liebe Leserinnen und Leser,

wir freuen uns, Ihnen unser Jahrbuch 2018/2019 zu präsentieren, in dem wir interessante Details unserer Arbeiten zusammengestellt haben. Der aktuelle Rechner HLRE-3 befindet sich in der Mitte seines Lebenszyklus, und die Forscherinnen und Forscher nutzen ihn effizient für ihre Arbeiten. Mit sturmauflösenden Klima- und Atmosphärenmodellen stellt das Projekt DYAMOND eine besondere Herausforderung an System und Software. Um künftig die Energieeffizienz beim Hochleistungsrechnen stärker zu berücksichtigen, beteiligt sich das DKRZ am Projekt ESCAPE-2. Hier werden innovative Prozessortechnologien auf ihre Nutzbarkeit hin analysiert. Mit unseren regionalen Partnern sind wir in das neue Exzellenzcluster Climate, Climatic Change, and Society (CLICCS) der Universität Hamburg eingebunden, in dem wir insbesondere zur Softwareentwicklung und zum Datenmanagement beitragen. Im Winter 2019/2020 fiel die Entscheidung für das Nachfolgesystem HLRE-4: Atos/Bull wird die Rechenleistung am DKRZ mit dem neuen System um den Faktor 5 verbessern. Dies legt die Basis für weitere spannende Forschungsarbeiten.

Wir wünschen Ihnen viel Freude beim Lesen.



Ihr Thomas Ludwig

4	Im Fokus
6	HAPPI-DE: Deutscher Beitrag zum Bericht über Klimafolgen bei +1,5°C globaler Erwärmung
10	DYAMOND: Sturmauflösende Klima- und Atmosphärenmodelle
16	Ergebnisse
18	EUDAT-CDI: Nachhaltige Dienste für das Forschungsdatenmanagement
20	Interaktive Visualisierung von IPCC-Szenarienrechnungen über das Web
22	Schulprojekt Klimawandel – Fortsetzung ungeklärt
24	ENVRI ^{plus} und DKRZ
25	Laufende Projekte
26	ESIWACE: Ein europäisches Exzellenzzentrum für Wetter- und Klimamodellierung
28	CMIP6-Aktivitäten am DKRZ
32	SeaDataCloud: Vom Meer in die Wolke
34	IS-ENES3: Infrastruktur für europäische Klimaprojektionen
36	PalMod: Simulation eines vollständigen Eiszeitzyklus
38	ESCAPE-2: Skalierbare Algorithmen für Erdsystemmodelle
40	Neue Projekte
42	AtMoDat: Standardisierung von Atmosphärenmodelldaten
43	Die „European Open Science Cloud“
44	CLICCS: Exzellenzcluster <i>Climate, Climatic Change, and Society</i>
46	Vorschau
48	Nächste Supercomputergeneration am DKRZ: Vertragsabschluss für HLRE-4
50	AIM: Unterstützung der datengetriebenen Wissenschaft mit Methoden der Künstlichen Intelligenz
52	MONSOON-2.0: Eine deutsch-chinesische Kooperation
53	Veranstaltungen, Workshops
54	Veranstaltungen
57	Workshops
59	Panorama
63	Zahlen, Daten, Fakten
66	Chronik 2018
68	Chronik 2019
70	Das DKRZ und seine Partner
71	Impressum



A dramatic landscape photograph capturing a sunset or sunrise. The sky is filled with large, dark, textured clouds, some catching the low light of the sun, creating a mix of deep blues, greys, and warm, golden-brown tones. Below the horizon, a calm body of water reflects the sky's colors. In the foreground, a dark, silhouetted shoreline with sparse vegetation is visible. The overall mood is serene and atmospheric.

Im Fokus

HAPPI-DE: Deutscher Beitrag zum Bericht über Klimafolgen bei +1,5°C globaler Erwärmung

Temperaturziel im Pariser Abkommen

Klimaschutzziele werden heutzutage auf Basis der mittleren globalen Oberflächentemperatur formuliert. Lange wurde die Ansicht verfolgt, die mittlere globale Erwärmung dürfe gegenüber dem vorindustriellen Niveau 2°C nicht überschreiten, um gefährliche Folgen eines anthropogenen Klimawandels zu vermeiden. Dieser Ansatz wurde durch vom UNFCCC (*United Nations Framework Convention on Climate Change*) beauftragte Expertinnen und Experten begutachtet mit dem Resultat, dass das 2°C-Ziel nicht als „sicheres“ Niveau globaler Erwärmung bewertet werden kann, und dass eine Begrenzung der Erwärmung auf 1,5°C eine Reihe von Vorteilen hätte. Beide Temperaturziele wurden im Dezember 2015 in dem völkerrechtlich verbindlichen Pariser Abkommen festgeschrieben.

Die Grundlage an wissenschaftlichen Publikationen zu diesem Thema war 2015 allerdings noch sehr begrenzt. Für die wissenschaftliche Basis zu Folgen einer globalen Erwärmung von 1,5°C veranlasste der Weltklimarat (*Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC*) die Erstellung eines Sonderberichtes über 1,5°C Erderwärmung (SR1.5), der auch eine Gegenüberstellung zu Konsequenzen einer Erwärmung von 2°C enthalten sollte.

HAPPI: Konzept und erzeugte Daten-grundlage

Die 2016 ins Leben gerufene internationale Initiative „*Half a degree Additional warming, Prognosis and Projected Impacts (HAPPI)*“ lieferte u.a. die für den SR1.5-Bericht nötige Daten- und Wissensgrundlage. Die HAPPI-Initiative fokussierte insbesondere auf 1,5°C und 2°C globale Erwärmung und auf Wetterextreme.

Im Rahmen von HAPPI förderte das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) das Projekt HAPPI-DE, welches den deutschen Beitrag zur Erstellung des SR1.5 lieferte und an dem das DKRZ maßgeblich beteiligt war.

Für HAPPI wurde der internationale Modellvergleich HAPPI-MIP (*Model Intercomparison Project*) durchgeführt, um eine solide Datenbasis für die nötigen Analysen zu schaffen. In HAPPI-MIP wurde eine globale Klimaerwärmung um 1,5°C bzw. 2°C gegenüber vorindustriellen Bedingungen für alle teilnehmenden Modelle durch die Festsetzung der atmosphärischen Konditionen, Meerestemperaturen und Meereisausdehnung kalibriert. Dadurch konnten die Ergebnisse verschiedener Klimamodelle direkt miteinander verglichen werden. Mit umfangreichen Ensemblerechnungen von mindestens 100 Simulationen pro Modell und

Szenario mit jeweils leicht veränderten Anfangsbedingungen konnten selten auftretende Extremereignisse auf multi-dekadischen Zeitskalen analysiert werden. An HAPPI-MIP beteiligten sich weltweit fünf Modellierungsgruppen – der deutsche HAPPI-DE-Beitrag wurde am DKRZ in Kooperation mit dem Max-Planck-Institut für Meteorologie (MPI-M) durchgeführt.

Zusätzlich hat das *Climate Service Center Germany (GERICS)* am DKRZ für HAPPI-DE regionalisierte Klimasimulationen mit dem Modell REMO durchgeführt, um Auswirkungen globaler Klimaänderungen bei 1,5°C und 2°C für Europa detaillierter zu untersuchen.

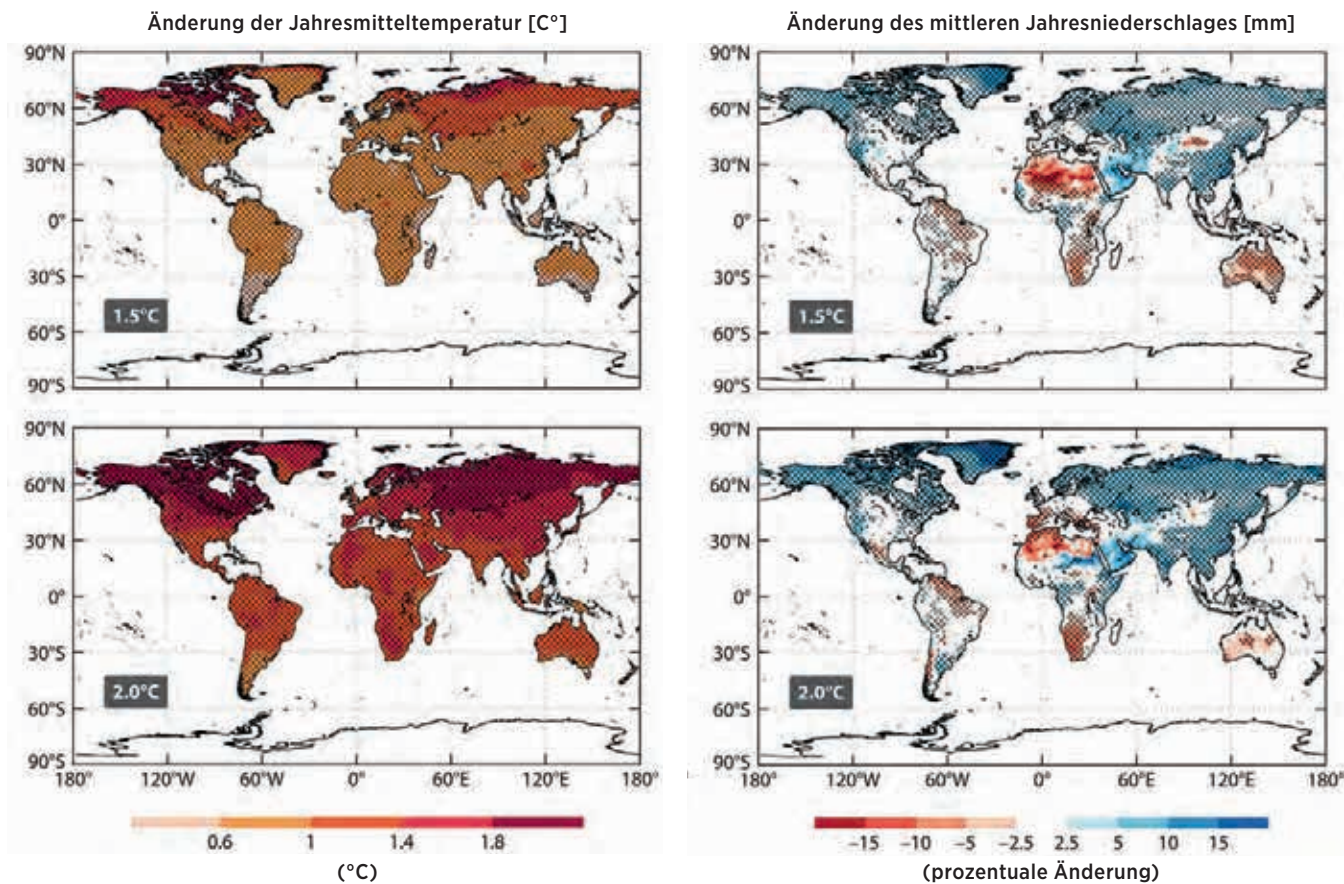


Abb. 1: Global gemittelte Änderungen der Oberflächentemperatur (links) und des Niederschlages (rechts) in einem um 1,5°C (oben) und 2°C (unten) wärmeren Klima. Die Schraffur zeigt signifikante Änderungen an. Die Ergebnisse wurden gemäß dem HAPPI-Protokoll ermittelt. (Quelle: Schleussner et al. 2018)

HAPPI-Ergebnisse

Wesentliche, auch regionale Veränderungen in den HAPPI-Simulationen stimmen weitgehend mit Resultaten anderer Multimodellprojektionen wie den im Hinblick auf den letzten Weltklimastatusbericht durchgeführten CMIP5-Simulationen überein. Dies trifft vor allem für Unterschiede in den Änderungen von Temperaturextremen zwischen einem um 1,5°C und 2°C wärmeren Klima zu. Bei den Differenzen der Niederschlagsextreme zwischen beiden Temperaturzielen werden mit dem HAPPI-Ansatz im Vergleich zu CMIP5 statistisch verlässlichere Ergebnisse ermittelt. Ähnliches gilt für die am DKRZ gerechneten regionalisierten Klimasimulationen für Europa.

Durch die generelle Übereinstimmung mit CMIP5 können mit Hilfe der HAPPI-Ergebnisse auch Aussagen über klimatische sowie die Wasser- und Landwirtschaft betreffende Veränderungen für 1,5°C und 2°C globale Erwärmung für den SR1.5 verallgemeinert werden (Abb. 1).

SR1.5-Sonderbericht und HAPPI

Der SR1.5 konzentriert sich auf die Klimafolgen einer um 1,5 Grad wärmeren Welt sowie die Unterschiede, die sich im Vergleich zu 2°C Erwärmung ergeben. Insbesondere trifft der SR1.5 statistische Aussagen zu Änderungen in Extremereignissen sowie zu regionalen Klimaänderungen, die durch die HAPPI-DE-Ergebnisse entscheidend konsolidiert wurden.

Seit dem 3. Sachstandsbericht enthalten die IPCC-Berichte sogenannte „Gründe zur Besorgnis“ (*Reasons for Concern, RFC*), die zahlreiche Klimafolgen in Schlüsselkategorien zusammenfassen und die Basis für die Risikobewertung durch Entscheidungsträger bilden.

Die gezielte Analyse bezüglich der in HAPPI betrachteten Erwärmungsniveaus führte zu neuen Bewertungen bezüglich der Klimarisiken zwischen 1,5°C und 2°C (Abb. 2). Insbesondere ist die Grenze für „hohe Risiken“ für vier der fünf RFCs um mindestens 0,5°C gesenkt worden. Die

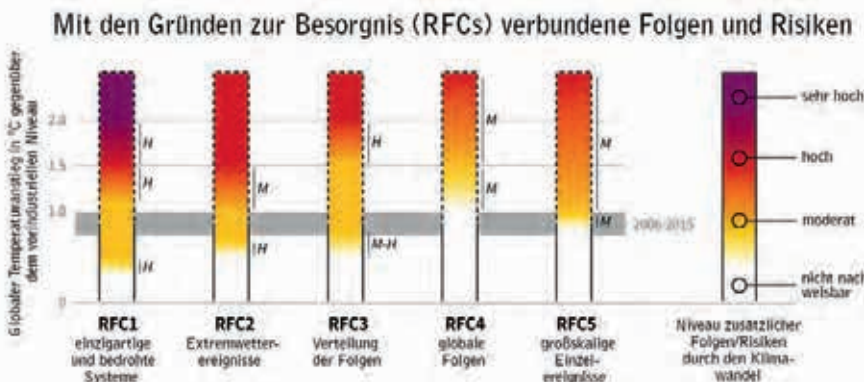


Abb. 2: Die „Gründe zur Besorgnis“ zeigen die Folgen des Klimawandels für Bevölkerung, Wirtschaft und Ökosysteme in Abhängigkeit von der Temperaturänderung. Lila (sehr hoch) zeigt sehr hohe Risiken schwerwiegender Folgen bzw. Risiken an sowie die Existenz signifikanter Unumkehrbarkeit oder das Fortbestehen klimabedingter Gefährdungen, kombiniert mit begrenzter Anpassungsfähigkeit. Rot (hoch) weist auf schwerwiegende und weitverbreitete Folgen bzw. Risiken hin. Gelb (moderat) zeigt an, dass Folgen bzw. Risiken mit mindestens mittlerem Vertrauen sowohl nachweisbar sind als auch dem Klimawandel zugeschrieben werden können. Weiß steht dafür, dass keine Folgen nachweisbar sind und dem Klimawandel zugeordnet werden können. Mit H (für hoch) und M (für moderat) ist angegeben, wie hoch die Sicherheit der einzelnen Übergänge ist. (Quelle: IPCC-Sonderbericht über 1,5°C Globale Erwärmung, 2018)

Analysen des HAPPI- und HAPPI-DE-Projektes haben dabei besonders zu der Bewertungsbasis für RFC 2, Extremwetter, und RFC3, regionale Verteilung, beigetragen.

HAPPI und HAPPI-DE am DKRZ: Datenproduktion und Archivierung für die Nachnutzung

Für HAPPI-DE wurden Daten basierend auf globalen Modellsimulationen für HAPPI erstellt und bereitgestellt, alle von HAPPI-MIP erzeugten globalen Daten archiviert, sowie die Analyse von regionalen Klimasimulationen und -folgen basierend auf den globalen HAPPI-Daten vorangetrieben.

Im Detail wurden am DKRZ Modellsimulationen mit dem Klimamodell ECHAM6.3 des MPI-M durchgeführt. Das HAPPI-MIP-Experimentprotokoll schrieb jeweils 100 Simulationen zur Abschätzung des heutigen Klimas (2006-2015) und eines 1,5°C bzw. 2°C wärmeren Klimas (2106-2115) relativ zur vorindustriellen Referenzperiode (1861-1880) sowie fünf Simulationen des Zeitraumes 1959-2015 vor. Alle Modellierungsgruppen führten diese fünf Simulationen durch, die auch die Eingangsdaten für die in den sektoralen Analysen erforderliche Bias-Korrektur bilden.

Zusätzlich wurden am DKRZ die Regionalisierungen der ECHAM6.3- und der norwegischen HAPPI-Klimasimulationen mit dem regionalen Klimamodell REMO von GERICS durchgeführt.

Zum Abschluss von HAPPI und HAPPI-DE wurden die von

HAPPI-MIP erzeugten globalen Modelldaten am DKRZ für die langfristige Nachnutzung im *World Data Center for Climate (WDCC)* archiviert und publiziert, d.h. mit einer DOI-Nummer (*Digital Object Identifiers*) versehen. Insgesamt wurden bis August 2019 mehr als 40 Terabyte HAPPI-Daten in etwa 165.000 Datensätzen gespeichert.

Dazu mussten zuerst alle in HAPPI-MIP erzeugten Daten vom NERSC (*National Energy Research Scientific Computing Center vom Lawrence Livermore National Laboratory, USA*) in das DKRZ-Speichersystem transferiert werden, da die für den SR1.5 aufbereiteten HAPPI-MIP-Daten zunächst zentral beim NERSC gesammelt wurden. Am DKRZ wurden die Daten auf die notwendigen Daten- und Qualitätsstandards des WDCC geprüft, um eine langfristige Nachnutzbarkeit auch über die in der Datenproduktion und -auswertung involvierten wissenschaftlichen Partnern hinaus zu gewährleisten. Zusammen mit den beteiligten Modellierungsgruppen wurden die zur vollständigen Archivierung notwendigen Metadaten erstellt, bevor sie zusammen mit den Daten im WDCC im Bandarchiv des DKRZ gespeichert wurden.

Weblinks: SR1.5: www.ipcc.ch/sr15/
HAPPI-Modellvergleichsprojekt:
www.happimip.org/

Publikationen:
Mitchell, D., et al. (2017): Half a degree additional warming, prognosis and projected impacts (HAPPI): background and experimental design, doi.org/10.5194/gmd-10-571-2017

DYAMOND: Sturmauflösende Klima- und Atmosphärenmodelle

Mit dem Ziel eines ersten internationalen Vergleichs globaler sturmauflösender Klima- und Atmosphärenmodelle startete im Oktober 2017 die Initiative DYAMOND (*DYnamics of the Atmospheric general circulation Modeled On Non-hydrostatic Domains*). Während klassische Klimamodelle seit Jahrzehnten im Rahmen des *Coupled Model Intercomparison Project* (CMIP) miteinander verglichen werden, fehlte ein solcher Vergleich bisher für die neue Generation sturmauflösender Modelle. Diese Lücke schließt die Initiative DYAMOND. Inzwischen läuft die zweite Phase des Modellvergleiches an, und 11 Teams haben ihre Teilnahme angekündigt.

DYAMOND zielt darauf ab, kleinskalige Prozesse und ihren Einfluss auf die großskalige Atmosphärenzirkulation besser zu verstehen und die Dynamik konvektiver Stürme und ihre Kopplung an die großräumige Atmosphärenzirkulation zu untersuchen. In DYAMOND wird schon jetzt die nächste Generation der Klimamodelle angewandt. Dadurch ergeben sich technische Herausforderungen, die am DKRZ genutzt werden, um Engpässe beim Durchsatz während der Simulation zu identifizieren, zu beheben und optimierte Arbeitsabläufe für den Umgang mit der massiven Datenflut aus globalen sturmauflösenden Modellen zu entwickeln. Da es sich hier um die Modelle der Zukunft handelt, werden die Simulationen genutzt, um die technischen Anforderungen für die Verwendung der Modelle für dekadische

Vorhersagen und gekoppelte Systeme herauszuarbeiten, insbesondere im Hinblick auf zukünftige (Pre-) Exascale-Rechnergenerationen.

Globale sturmauflösende Modelle

Vor rund 20 Jahre wurden erstmals Experimente mit einem globalen hydrostatischen Atmosphärenmodell auf dem japanischen Supercomputer *Earth Simulator* durchgeführt. Heutzutage entwickeln Forschungsteams, darunter auch das MPI-M, eine neue Generation globaler sturmauflösender Klimamodelle, welche die wichtigsten Prozesse des vertikalen atmosphärischen Wärmetransports auflösen und somit die Dynamik konvektiver Stürme und ihre Kopplung an die großräumige Atmosphärenzirkulation vollständig beschreiben.

Traditionelle Klimamodelle mit Gitterpunktabständen von ca. 100 km hingegen können solche hochdynamischen Prozesse nicht auflösen und müssen sie daher parametrisieren. Daraus entstehende Unsicherheiten können durch die Entwicklung und Verwendung globaler sturmauflösender Modelle verringert werden.

Erste Simulationen legen nahe, dass durch die bessere Darstellung der Wechselwirkungen zwischen den verschiedenen Skalen Vorhersagen für Extremwetter auf lokalen und globalen Skalen verbessert werden. So



Abb. 1: Die Simulation mit dem globalen gekoppelten ICON-Atmosphären-Ozeanmodell veranschaulicht die Fähigkeit des Modells, mesoskalige Phänomene wie den hier dargestellten tropischen Wirbelsturm vor der Küste Nordamerikas zu simulieren. Die Oberfläche des Ozeans zeigt den Salzgehalt. Am oberen Bildrand sind konzentrische Ringe um das Auge des Sturms zu erkennen, welche auf eine Verdünnung des Meerwassers durch starken Niederschlag zurückzuführen sind. In der Atmosphäre ist Wolkenwasser weiß sowie Wolkeneis türkis dargestellt.

können auch lange unbeantwortete Fragen höchster Zukunftsrelevanz, z.B. wie sich der tropische Regengürtel und andere Wettermuster bei Erwärmung verändern könnten, beantwortet werden.

Die Geschichte von DYAMOND

Die Idee zu DYAMOND entstand im Oktober 2017 während eines Workshops in Japan und wurde als gemeinsame Initiative vom MPI-M und der *University of Tokyo* vorangetrieben. Im Rahmen des vom DKRZ koordinierten *Centre of Excellence in Simulation of Weather and Climate in Europe (ESiWACE)* beteiligte sich das DKRZ als Projektpartner an DYAMOND und übernahm die Speicherung und Bereitstellung der Eingabe- und Simulationsdaten und unterstützte die nachgelagerte Datenanalyse.

DYAMOND-Experimente

In der ersten Phase wurden 40 Tage im August und September 2016 simuliert. In der zweiten Phase wird nun eine analoge Phase im Januar und Februar 2020 hinzugefügt. Beide Projektphasen beinhalten globale Simulationen bei einer Auflösung von ca. 5 km.

Phase 1 des DYAMOND-Projektes

Für die erste Phase wurden 40 Simulationstage im August/September 2016 so gewählt, dass sie sich mit der vom MPI-M koordinierten Messkampagne NARVAL2 überschneiden. So konnten die Modellergebnisse durch Beobachtungsdaten evaluiert und eine Verbindung zu früheren großflächigen sturmauflösenden



Abb. 2: Teilnehmerinnen und Teilnehmer des 2. DYAMOND-ESIWACE-Hackathons, der im Juni 2019 in Mainz stattfand.

den Simulationen über dem Nordatlantik hergestellt werden. Der Simulationszeitraum fällt in den Nordhemisphärensommer und somit mit dem Monsun und der Saison für tropische Zyklone auf der Nordhalbkugel zusammen.

Acht der neun Modelle berechneten die Simulationen mit einem sturmauflösenden Gitterpunkt Abstand von 5 km oder weniger. Die höchste bislang im Projekt erreichte Modellauflösung ist 2,5 km global (Modelle ARPEGE-NH & ICON), was rund 84 Millionen Datenpunkten in jeder Modellschicht entspricht. Viele Modelle wurden erstmals unter solch realistischen Bedingungen und über einen so einen langen Zeitraum getestet. Die DYAMOND-Läufe mit 2,5 km-Auflösung zeigen, dass bereits heutige Supercomputer ultrahochoflösende Simulationen berechnen können. Wird ein Viertel der Mistral-Rechnerknoten genutzt, dauert die Berechnung der 40 Modelltage mit dem ICON-Modell bei 2,5 km Auflösung etwa eine Woche. Die Ergebnisdaten aus der ersten Phase belaufen sich auf insgesamt ca. 1 Petabyte, wobei

der Speicherplatzbedarf pro Modell variiert – von etwa 21 Terabyte für das *Unified Model* (UM) bis zu 147 Terabyte für GEOS.

Hackathons

Neue Workflows für die Analyse und den Umgang mit den riesigen erzeugten Datenmengen wurden nicht nur von den einzelnen Modellierungsgruppen, sondern von internationalen Teams während zweier kompakter Programmiersessions – sogenannter „Hackathons“ (zusammengesetzt aus „Hack“ und „Marathon“) – entwickelt. Der erste DYAMOND-Hackathon fand im August 2018 in Hamburg statt. Aufgrund des Erfolgs folgte im Juni 2019 in Mainz ein zweiter Hackathon mit 50 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern verschiedener Disziplinen sowie Programmiererinnen und Programmierern aus 31 verschiedenen Instituten und neun Ländern. Abgerundet wurde die Veranstaltung durch Vorträge und Breakout-Sessions.

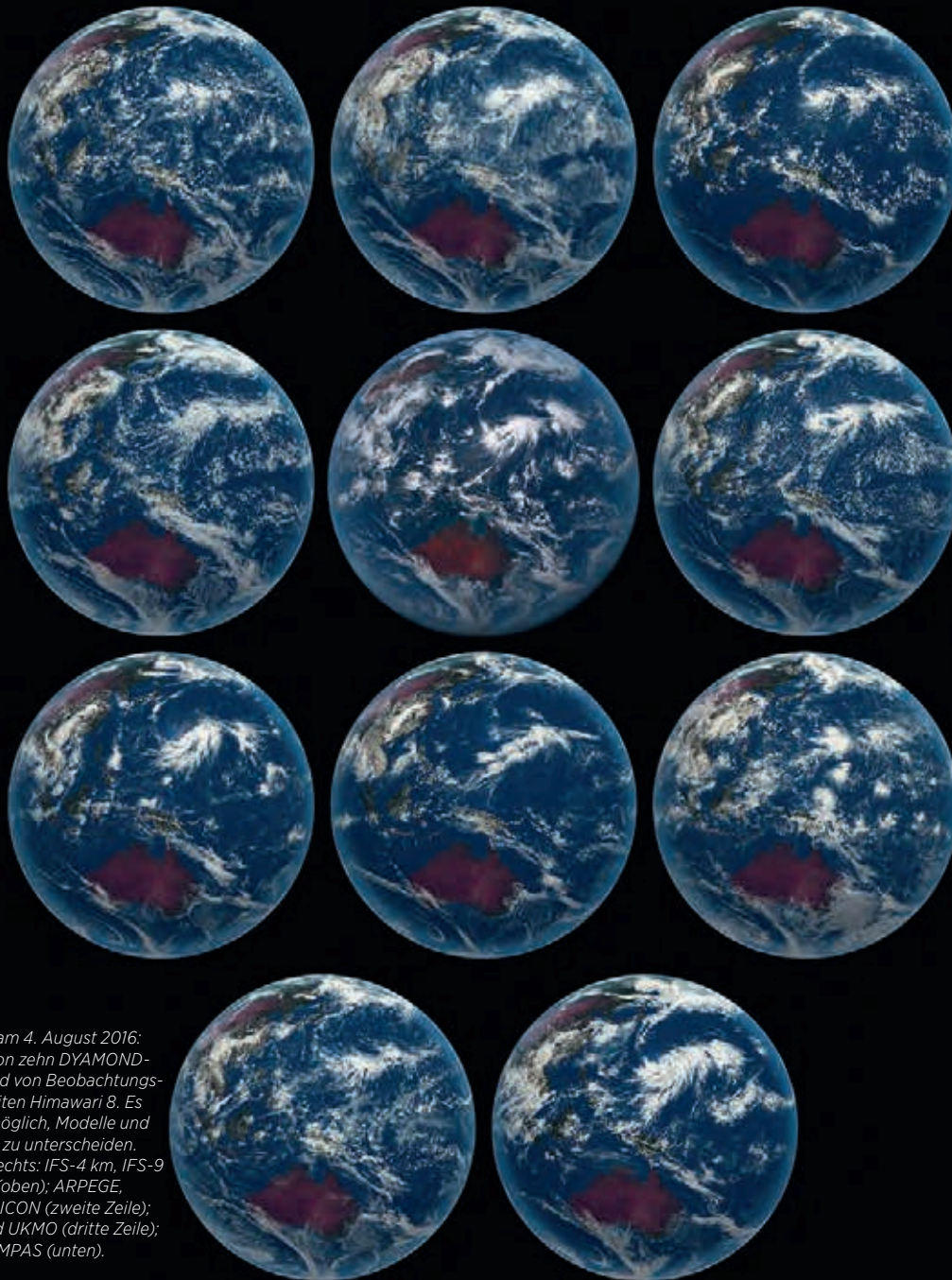


Abb. 3: Wolken am 4. August 2016:
Visualisierung von zehn DYAMOND-
Simulationen und von Beobachtungs-
daten des Satelliten Himawari 8. Es
ist kaum noch möglich, Modelle und
Beobachtungen zu unterscheiden.
Von links nach rechts: IFS-4 km, IFS-9
km und NICAM (oben); ARPEGE,
Himawari 8 und ICON (zweite Zeile);
FV3, GEOS5 und UKMO (dritte Zeile);
sowie SAM und MPAS (unten).

Im Fokus

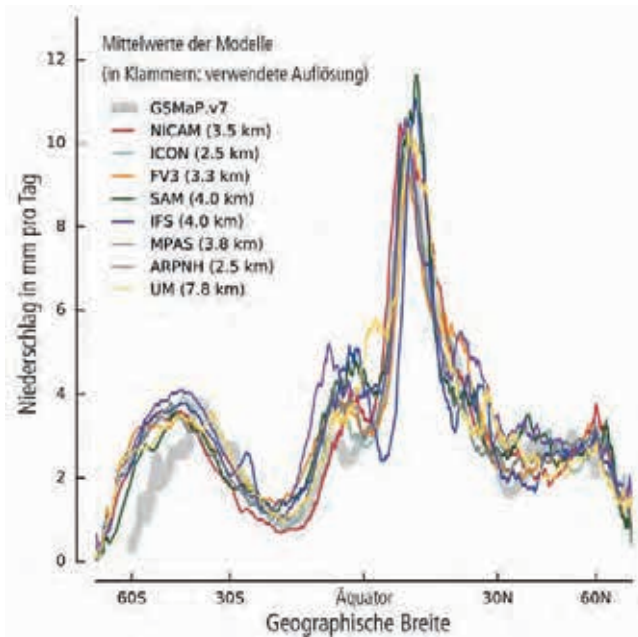


Abb. 4: Mittlere Niederschlagsmenge pro Breitengrad für jedes der Modelle (Mittel über die letzten 30 Simulationstage). Der global gemittelte Niederschlag für jedes Modell ist in der Legende angegeben. Als Referenzwert dienen Beobachtungsdaten des mittleren Niederschlags, die im Rahmen des GSMaP-Projektes (GSMaP ist kurz für: Global Satellite Mapping of Precipitation von JAXA in Japan) erhoben wurden. Die größer gewählte GSMaP-Linienbreite dient zur Unterscheidung von den Modellen und ist kein Maß für Unsicherheit. (Quelle: Stevens et al., 2019)

Ergebnisse aus Phase 1

In Abbildung 3 lassen sich die Darstellungen der zehn hochauflösenden Simulationen kaum von dem Satellitenbild unterscheiden. Erst bei genauerem Hinsehen zeigen sich Unterschiede, deren Ursachen nun untersucht werden. Die hohe Auflösung der Modelle

erlaubt einen direkten Vergleich der Modellergebnisse mit Satellitendaten, die eine vergleichbare Auflösung aufweisen. Viele Modelle berechneten neben den eigentlichen Simulationen auch Läufe in niedrigeren Auflösungen, mit anderen Parametereinstellungen oder Anfangs- oder Randbedingungen, so dass damit ein Ensemble zur Verfügung steht. Dieses lässt Rückschlüsse auf Effekte von verschiedenen Auflösungen und Parametrisierungen zu. Die verwendeten Modelle gaben sowohl die grundlegenden Aspekte der Atmosphärenzirkulation, wie die langwellige Ausstrahlung und den globalen Niederschlag, als auch die Entstehung sowie die Statistik über die Intensivierung tropischer Zyklone gut wieder. Der Tagesgang des Niederschlags ist konsistent in allen Modellen und auch mit den Beobachtungsdaten. Ob Abweichungen zwischen den Beobachtungs- und den Modelldaten auf Mängel im Modell oder in der Datengewinnung hindeuten, ist noch nicht abschließend geklärt (Stevens et al., 2019).

Phase 2 des DYAMOND-Projektes

In der zweiten Phase soll der 40-tägige Zeitraum vom 20. Januar bis 1. März 2020 simuliert werden, der mit der Tropen-Messkampagne EUREC4A sowie mit der Arktisexpedition MOSAiC zusammenfällt (Nordhemisphärenwinter). Somit wird auch hier ein Vergleich der neuesten Modelle mit den ambitioniertesten Messkampagnen unserer Zeit stattfinden. In Phase 2 werden die Experimente mit reinen Atmosphärenmodellen durch solche mit gekoppelten Ozean-Atmosphärenmodellen ergänzt.

Dadurch wird es möglich, die Madden-Julian-Oszillation der Modelle zu vergleichen und den Einfluss der Atmosphäre-Ozean-Kopplung auf sturm- und ozeanwirbelauflösenden Skalen auf die Konvektion und die allgemeine Atmosphärenzirkulation zu untersuchen.

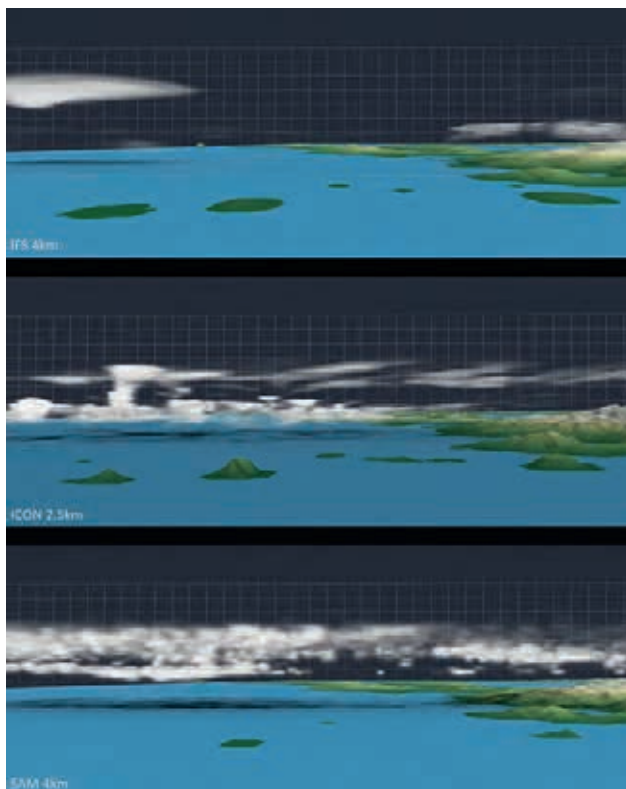


Abb. 5: Simulation der japanischen Region um den Mount Fuji (rechts im Bild) mit den Modellen IFS (oben), ICON (Mitte) und SAM (unten). Der direkte Vergleich zeigt, wie unterschiedlich die Modelle teilweise sind, nicht nur in der Auflösung. Im ICON-Modell wird mit einer Auflösung von 2,5 km die Orographie wesentlich realistischer nachgebildet als in den beiden anderen Modellen mit 4 km-Auflösung. Zudem sind die Wolken in den Modellen ICON und SAM vertikal auch besser strukturiert als im IFS-Modell.

Ausblick

Die globalen sturmauflösenden Modelle sollen in den nächsten Jahren einen Durchsatz von einem simulierten Jahr pro Tag erreichen. Damit werden sie sowohl für die tägliche Wettervorhersage als auch für Klimaprognosen nutzbar. An der technischen Umsetzung dieser Ziele arbeitet das DKRZ im Rahmen des EU-Projektes ESIWACE2.

Weblinks:

Projektwebseite:

www.esiwace.eu/services/dyiamond/

Publikationen:

Stevens et al. (2019): DYAMOND - the DYNamics of the Atmospheric general circulation Modeled On Non-hydrostatic Domains.

doi.org/10.1186/s40645-019-0304-z

Satoh et al. (2019): Global Cloud-Resolving Models.

doi.org/10.1007/s40641-019-00131-0

Journal of the Meteorological Society of Japan, Sonderausgabe zu DYAMOND: jmsj.metsoc.jp/special_issues_editions/DYAMOND.html





Ergebnisse

EUDAT-CDI: Nachhaltige Dienste für das Forschungsdatenmanagement



Primäres Ziel des über 3 Jahre bis Februar 2018 geförderten Horizon2020-Projektes EUDAT2020 war die Stärkung der EUDAT-CDI, der *Collaborative Data Infrastructure*, deren Grundlagen bereits im Vorgängerprojekt EUDAT erarbeitet wurden. Hinter der CDI steht die gemeinsame Vision, Forschungsdaten nahtlos über nationale Grenzen hinweg und in einem interdisziplinären Kontext zu archivieren und zu teilen.

Unter dem Dach der CDI kooperieren über 25 europäische Institutionen, darunter Partnereinrichtungen aus dem

European Network for Earth System modelling (ENES), weiteren Forschungsorganisationen sowie Rechen- bzw. Datenzentren. Mit einer den gesamten Lebenszyklus von Forschungsdaten umfassenden Service-Suite ist CDI eine verlässliche Säule im Bereich des Forschungsdatenmanagements. Im Hinblick auf die FAIR-Prinzipien profitiert das DKRZ durch die Zusammenarbeit mit den CDI-Beteiligten insbesondere im Bereich der Auffindbarkeit und eindeutigen Identifizierbarkeit von Forschungsdaten.



Abb. 1: EUDAT-Partnereinrichtungen der Collaborative Data Infrastructure (CDI).

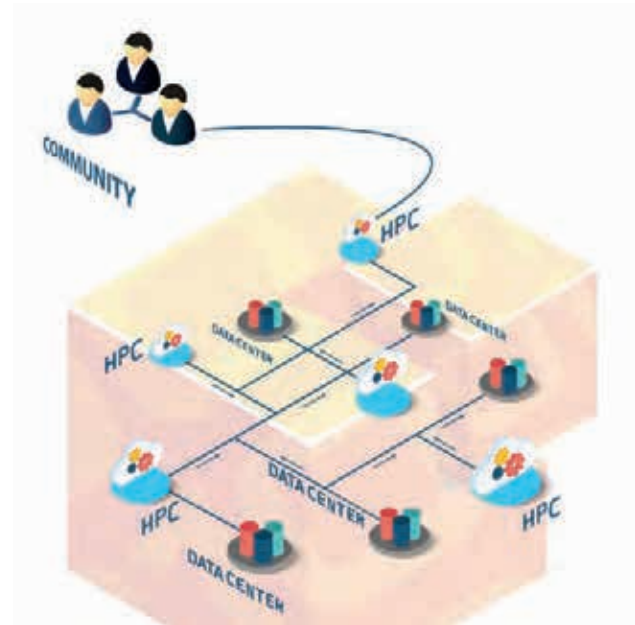


Abb. 2: Vernetzung der EUDAT-Rechen- sowie -Datenzentren mit deren Nutzerinnen und Nutzern.

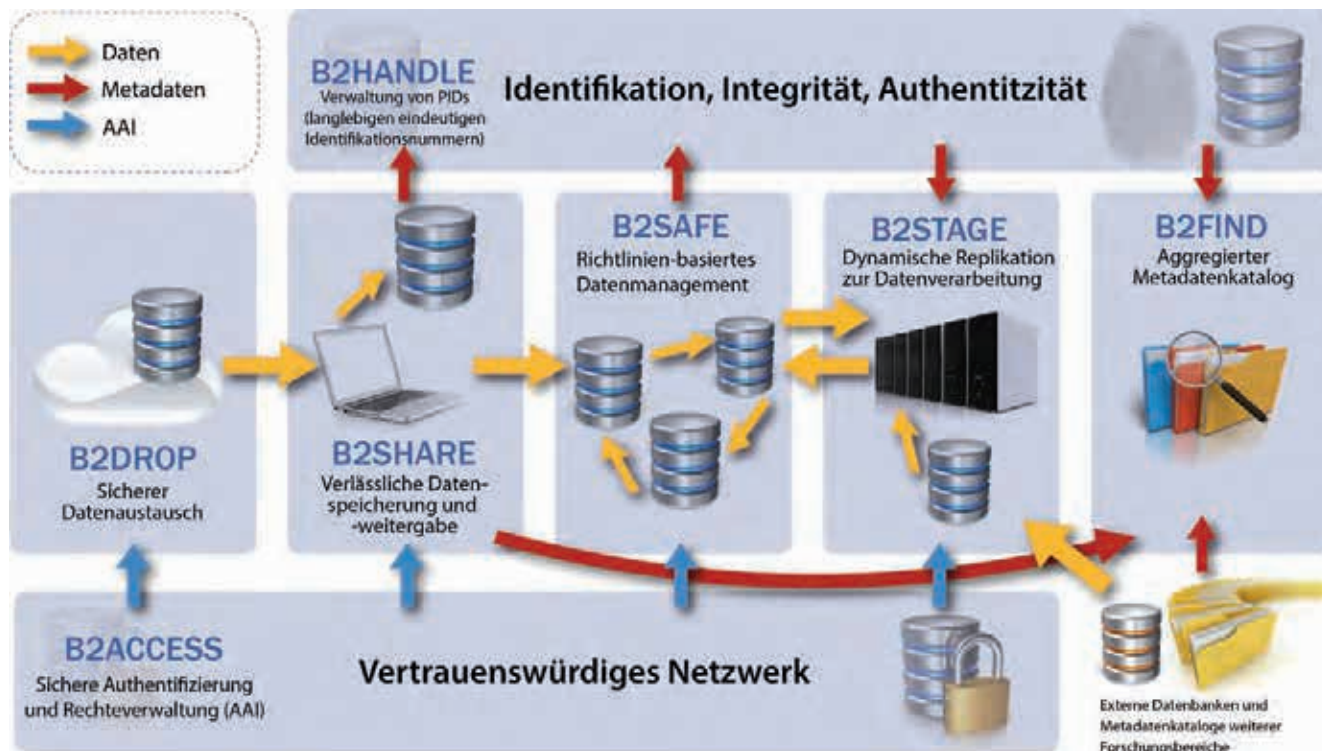


Abb.3: Übersicht der innerhalb von EUDAT entwickelten Datendienste.

Weblinks:

Projektwebseite: eudat.eu

EUDAT CDI: www.eudat.eu/eudat-collaborative-data-infrastructure-cdi/

EUDAT CDI-Dienste: eudat.eu/eudat-cdi/using/

B2FIND: b2find.eudat.eu/

Interaktive Visualisierung von IPCC-Szenarienrechnungen über das Web

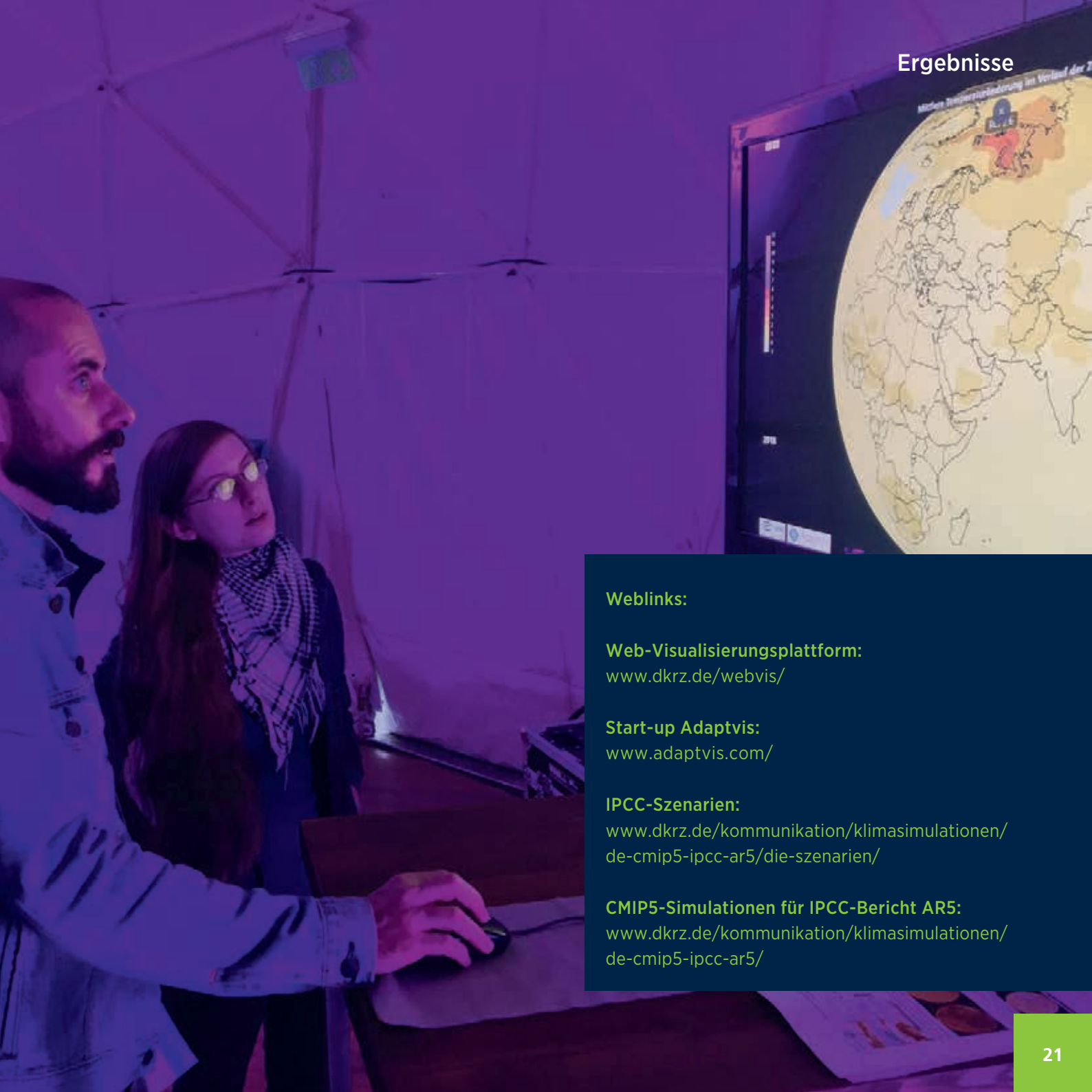
Das DKRZ hat eine neue interaktive Web-Visualisierungsplattform für Klimasimulationen online gestellt. Schülerinnen und Schüler, Studierende und andere interessierte Bürgerinnen und Bürger erhalten damit die Möglichkeit, im Webbrowser Resultate von aktuellen Klimaprojektionen auf einem dreh- und zoombaren virtuellen Globus selbst interaktiv zu visualisieren. Mögliche zukünftige Änderungen der wichtigsten Klimaparameter, Temperatur und Niederschlag, können für verschiedene Szenarien und/oder Jahreszeiten sowohl vergleichend als auch im zeitlichen Verlauf visualisiert werden. Dabei kann der Fokus z.B. auf eine bestimmte Region, wie etwa die Arktis oder Mitteleuropa, gelegt oder die ganze Erdkugel betrachtet werden.

Die Web-Visualisierungsplattform basiert auf Software des Start-Ups Adaptvis, und wurde im Rahmen des vom Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur von August 2018 bis Juli 2019 geförderten mFUND-Verbundprojekts „WebEnVisWetter“ gemeinsam von Adaptvis und DKRZ als prototypische Beispielanwendung für deren Basissoftware entwickelt. Da die verwendete 3D-Technologie auf WebGL basiert, wird auf der Client-Seite ein PC mit aktueller Hard- und Software (Browser: Firefox, Chrome oder Opera) vorausgesetzt. Es ist zurzeit leider nicht möglich, Webvis im Browser auf mobilen Endgeräten zu nutzen.

Aktuell stehen auf der Web-Visualisierungsplattform die mittleren und saisonalen Temperatur- und die prozentualen Niederschlagsänderungen für drei unterschiedliche Zukunftsszenarien zur Auswahl. Diese Daten basieren auf den Simulationen, die das DKRZ gemeinsam mit dem MPI-M mit dessen Erdsystemmodell MPI-ESM für den fünften Weltklimastatusbericht (IPCC-Bericht AR5) durchgeführt hat. Welche Klimaänderungen in den kommenden Jahrzehnten wirklich zu erwarten sind, hängt sehr stark von dem Verlauf der zukünftigen Treibhausgas-Emissionen ab. Die RCP-Szenarien (RCP2.6: 2-Grad-Ziel, RCP4.5: moderater Klimaschutz, RCP8.5: Business-as-usual) wurden entwickelt, um die Bandbreite möglicher zukünftiger Entwicklungen und daraus resultierender Klimaänderungen auszuleuchten.

Die Webvisualisierungsplattform wurde u.a. im September 2019 auf dem Hamburger Rathausmarkt im Wissenschaftszelt der Hamburger Klimawoche auf ihre Praxistauglichkeit getestet. Hier konnten Besucherinnen und Besucher den Verlauf möglicher zukünftiger Klimaänderungen interaktiv auf einem großen Flachbildschirm visualisieren.

Abb. 1 (rechts): Während der Hamburger Klimawoche 2019 probierten Besucherinnen und Besucher die neue interaktive Web-Visualisierungsplattform für Klimasimulationen aus.



Weblinks:

Web-Visualisierungsplattform:

www.dkrz.de/webvis/

Start-up Adaptvis:

www.adaptvis.com/

IPCC-Szenarien:

www.dkrz.de/kommunikation/klimasimulationen/de-cmip5-ipcc-ar5/die-szenarien/

CMIP5-Simulationen für IPCC-Bericht AR5:

www.dkrz.de/kommunikation/klimasimulationen/de-cmip5-ipcc-ar5/

Schulprojekt Klimawandel – Fortsetzung ungeklärt

Das Schulprojekt Klimawandel startete 2005 als Kooperation zwischen Hamburger Klimaforschungsinstituten und zwölf Schulen in Hamburg und Schleswig-Holstein. Im Verlauf des am DKRZ angesiedelten Projekts konnten sich Schülerinnen und Schüler mit wissenschaftlichen Methoden vertraut machen und eigenständig vielfältige Themen zum Klimawandel und seinen Folgen erarbeiten.

Ein besonderes Angebot war dabei die Arbeit mit aufbereiteten Klimadaten, die von aktuellen Simulationen mit komplexen Erdsystemmodellen stammen. Diese haben die Schülerinnen und Schüler in Form von Klimakarten

selbst visualisiert und für die Bearbeitung der von ihnen gewählten Themen genutzt. Die Datenauswahl umfasst Modelldaten aus globalen und regionalen Simulationen des Klimawandels sowie zum *Climate Engineering*. Darüber hinaus wurde innerhalb des Schulprojekts das interaktive einfache Klimamodell MSCM (*Monash Simple Climate Model*), das zum Verständnis einzelner Prozesse im Klimasystem und zur Darstellung künftiger Klimaprojektionen herangezogen werden kann, für den Unterricht aufbereitet, durch didaktische Materialien ergänzt und an den Schulen im Unterricht eingesetzt.



Abb. 1: Prominente Gäste bei der Abschlussveranstaltung zum Schulprojekt – v.r.n.l.: Moderatorin Mareike Schauß (Universität Hamburg), Rainer Köker (stellvertretend für Schulsenator Thies Rabe), Dieter Kasang (Projektleitung), Prof. Thomas Ludwig (Geschäftsführer des DKRZ), Prof. Mojib Latif (GEOMAR Kiel), Prof. Sandra Sprenger (Universität Hamburg), Angelika Knies (Schulleiterin der Anne-Frank-Schule Bargtheide), Reiner Sievers (Oberstufenkoordinator der Stadtteilschule Bergstedt und Projektpionier) und (stehend) Hans Luthardt (Projektleitung).

Hervorragende Schülerarbeiten, die im Schulprojekt entstanden, wurden auf dem Hamburger Bildungsserver veröffentlicht. Zweimal jährlich fanden in Räumen der Universität Workshops statt, auf denen einzelne Schülerinnen und Schüler ihre Arbeiten vor über 200 Mitschülerinnen und Mitschülern vorstellten und Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler Vorträge hielten.

Das Schulprojekt wurde während der Hamburger Nacht des Wissens, auf dem Deutschen Geographenkongress in Tübingen und auch auf den *Open-Educational-Resources-Festivals* in Hamburg und Berlin präsentiert und bekam 2011 den 2. Preis des deutschlandweiten Wettbewerbs ‚Schule trifft Wissenschaft‘ der Robert-Bosch-Stiftung.

Angeregt durch Sandra Sprenger von der Universität Hamburg erprobten Lehramtsstudierende sowie Referendarinnen und Referendare die im Projekt entwickelten Methoden und konnten so Hinweise für Verbesserungen geben. Eine Doktorandin von Prof. Sprenger promoviert über das Projekt. In Seminaren am Landesinstitut für Lehrerbildung in Hamburg wurden zudem Lehrkräfte mit wissenschaftsorientierter Arbeit zum Klimawandel vertraut gemacht.

Leider konnte für die aus Altersgründen ausscheidende Projektleitung keine Nachfolge finanziert werden, so dass am 14. Juni 2019 die Abschlussveranstaltung des Projekts stattfand. Während des Vortragsprogrammes als auch während der anschließenden Gespräche waren sich alle Veranstaltungsteilnehmerinnen und -teilnehmer einig, dass eine Fortführung eines derartig erfolgreichen Projektes mehr als wünschenswert ist und diskutierten verschiedene Ideen, um dies zu ermöglichen.



Abb. 2: Abschlussveranstaltung zum Schulprojekt – Prof. Mojib Latif vom GEOMAR in Kiel erinnerte in seinem Vortrag über „Klimaforschung und Gesellschaft“ daran, dass schon der Bericht des Club of Rome von 1972 verdeutlichte, dass die Menschen die Erde übernutzten und die Grenzen des Wachstums erreicht seien.

Weblinks:

Projektwebseite: www.klimaprojekt.de/

Abschlussveranstaltung: www.dkrz.de/kommunikation/aktuelles/abschluss_SPK/

Monash Simple Climate Model:
mscm.dkrz.de/

Hamburger Bildungsserver:
bildungsserver.hamburg.de

ENVRI^{plus} und DKRZ



Environmental Research
Infrastructures Providing Shared
Solutions for Science and Society

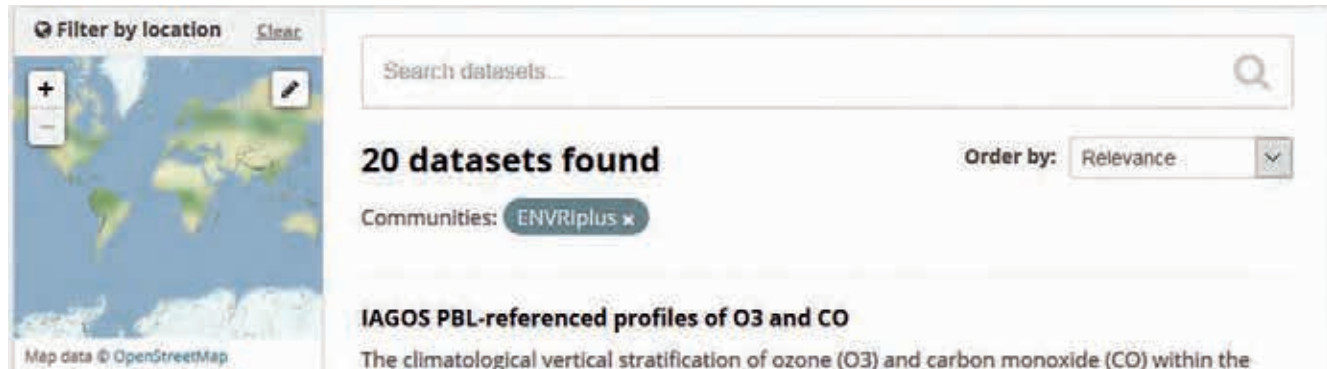


Abb. 1: Nutzeransicht des ENVRI^{plus}-Katalog-Prototyps.

Das Projekt ENVRI^{plus} hatte zum Ziel, den Austausch von Daten und dazugehörigen Beschreibungen (Metadaten) zwischen unterschiedlichen naturwissenschaftlichen Disziplinen zu erleichtern.

Das DKRZ entwickelte hierfür gemeinsam mit der Europäischen Umweltagentur (EEA) einen Prototyp zur Beschreibung der Datenherkunft. Sogenannte *Provenance Templates* (Herkunftsvorlagen), die fallspezifisch angepasst und erweitert werden können, erlauben eine Standardisierung der Herkunftsinformationen für unterschiedliche Fachrichtungen. Für das Projekt wurden Fallbeispiele aus der ENES-Forschungsdateninfrastruktur und anderen Forschungsinfrastrukturen für das Projekt spezifiziert und dokumentiert.

Das DKRZ betreibt den Metadatenkatalog B2FIND, mit dem Forschungsdaten auch disziplinübergreifend gesucht werden können. Für B2FIND wurde in ENVRI^{plus}


ein Prototyp entwickelt, der Datenprodukte der einzelnen Forschungsinfrastrukturen in einem gemeinsamen zentralen Katalog verfügbar macht. Der Prototyp ist auf einem B2FIND-Test-Server implementiert und öffentlich zugänglich. Sein Einsatz hat allerdings gezeigt, dass die technologische Entwicklung nur ein Aspekt auf dem Weg zur *Open Science* ist. Es bleibt die zentrale Frage, wie man unterschiedliche Standards und Formate sowohl innerhalb einzelner Forschungsbereiche als auch disziplinübergreifend zusammenführt.

Weblinks:

Projektwebseite: www.envriplus.eu/

Metadatenkatalog B2FIND: b2find.eudat.eu/

Prototyp: [eudat7-ingest.dkrz.de/
dataset?groups=envriplus](http://eudat7-ingest.dkrz.de/dataset?groups=envriplus)

A silhouette of an industrial construction site at sunset. The scene is dominated by dark shapes against a warm, orange and yellow sky. Several large cranes are visible, some with their jibs extended upwards. In the background, several wind turbines are silhouetted against the horizon. A plume of smoke or steam rises from a central structure. The foreground is a dark, textured surface, likely water, reflecting the ambient light. The overall mood is one of active industrial development during the 'golden hour' of the day.

Laufende Projekte

ESiWACE: Ein europäisches Exzellenzzentrum für Wetter- und Klimamodellierung

In den nächsten Jahren werden Exascale-Computersysteme erwartet, die eine Trillion Rechenoperationen in der Sekunde ausführen. Die Anpassung der existierenden Software an diese Systeme stellt die Forschungsgemeinschaft vor große Herausforderungen, für deren Lösung die EU sogenannte *Centres of Excellence* fördert. Das vom DKRZ koordinierte *Centre of Excellence in Simulation of Weather and Climate in Europe (ESiWACE)*, dessen 2. Phase seit Januar 2019 läuft, soll führende europäische Wetter- und Klimamodelle für den Einsatz auf Exascale-Rechnern vorbereiten.

Bei Computern finden kaum noch Leistungssteigerungen bei einzelnen Prozessorkernen statt, so dass Superrechner einerseits immer mehr Kerne und andererseits

zunehmend auch Spezialhardware wie Grafikkarten enthalten. Diese benötigen spezifische Programmierkonstrukte, deren Vielfalt die Modellentwicklerinnen und -entwickler vor neue Herausforderungen bei der Portierung auf neue Rechner stellt. In Zusammenarbeit mit dem Projekt ESCAPE-2 (siehe Beitrag auf Seite 36) fördert ESiWACE die Entwicklung von *Domain Specific Languages (DSL)*, die dazu beitragen können, zukünftige Exascale-Systeme effizient nutzen zu können. Solche fachspezifischen Programmiersprachen sollen es den Klimaforscherinnen und -forschern erlauben, ihre Konzepte knapp und klar auszudrücken, während die Umsetzung in effiziente Programmieranweisungen für die verschiedenen Hardwaretypen vom *DSL-Compiler* übernommen wird.

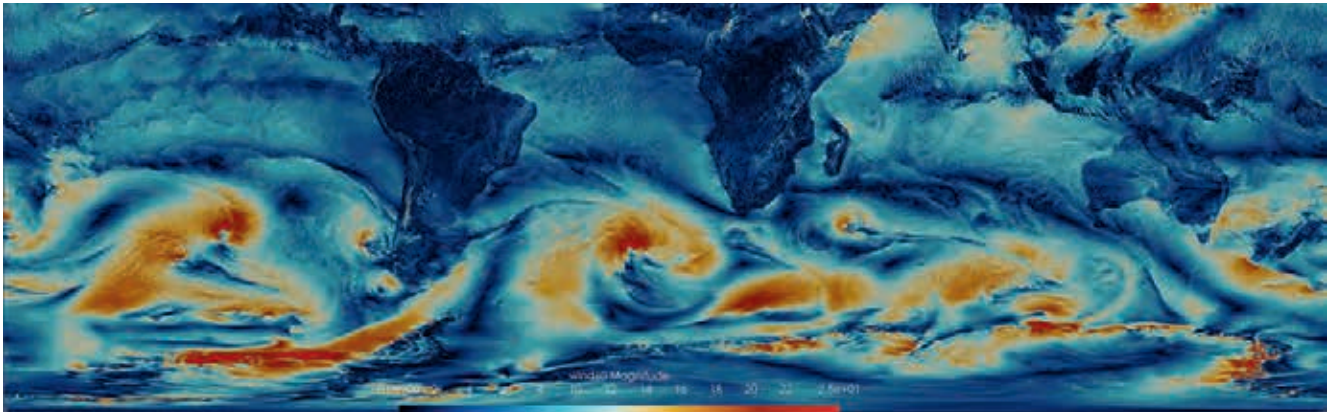


Abb. 1: Globale Wettersimulation mit dem ICON-NWP-Modell und einer 2,5 km-feinen Auflösung (84 Millionen Zellen pro Schicht): Die Simulation wurde im vom DKRZ koordinierten europäischen Centre of Excellence ESiWACE durchgeführt. Das Modell wurde im Rahmen des BMBF-Projektes HD(CP)² hinsichtlich einer extrem hohen Skalierbarkeit optimiert.

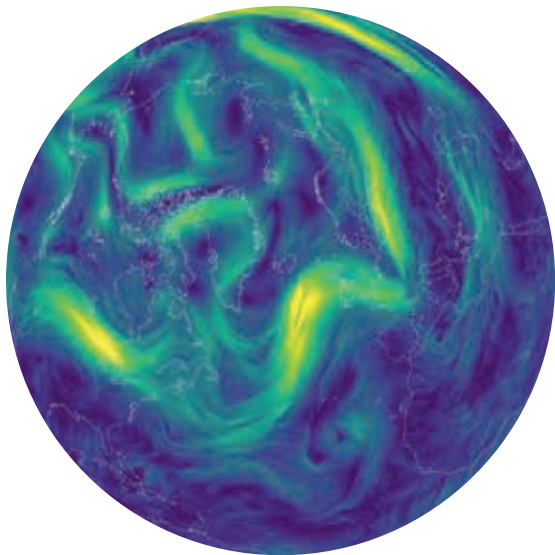


Abb. 2: Die Darstellung der Windgeschwindigkeit in etwa 10 km Höhe basiert auf einer gekoppelten DYAMOND-Simulation mit einer globalen Auflösung von 5 km. In gelb sind die hohen Windgeschwindigkeiten des Jetstreams dargestellt; dunklere Farben zeigen niedrigere Windgeschwindigkeiten an.

Eine weitere Herausforderung besteht darin, dass die Entwicklung der Speichermedien nicht mit der immer größeren Datenflut aus den Modellen Schritt hält. Hier leistet das DKRZ wichtige Pionierarbeit in der In-Situ-Visualisierung von Modelldaten. Dabei werden die Daten während der laufenden Berechnung direkt aus dem Speicher des Modells an die Visualisierungssoftware weitergegeben und erreichen erst als fertige Grafiken die Festplatte. Hierdurch lässt sich der Bedarf an Festplattenplatz und -zugriffen drastisch reduzieren und eine wesentlich bessere Überwachung und Auswertung von Simulationen ermöglichen.

Die neuen Entwicklungen werden durch die gemeinsame Arbeit am DYAMOND-Modellvergleich angetrieben, der von ESIWACE logistische Unterstützung erhält, und zu dem das MPI-M und das DKRZ gemeinsam beitragen.

Auch Gruppen außerhalb von ESIWACE können von den Dienstleistungen des Projektes profitieren; so hat sich z.B. das Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung die Unterstützung des HPC-Herstellers Bull/ATOS und des niederländischen *eScience Center (NLeSC)* bei der Portierung ihres neuentwickelten Klimamodells FESOM2 auf Grafikprozessoren (GPUs) gesichert. Diese Dienste werden jährlich nach einer wissenschaftlichen Begutachtung vergeben.

In Deutschland arbeitet das DKRZ für ESIWACE2 eng mit dem MPI-M an der Weiterentwicklung des ICON-Modells und der *Climate Data Operators (CDO)* zusammen. Auf europäischer Ebene sind weitere 18 Partnerinstitutionen im Projekt eingebunden. Über das *European Network for Earth System Modelling (ENES)* und den Projektpartner *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts* (Europäisches Zentrum für mittelfristige Wettervorhersage, kurz: ECMWF) ist ESIWACE eng mit der computergestützten Wetter- und Klimaforschung in Europa vernetzt. Einen guten Überblick über die Motivation hinter ESIWACE und die Erfolge der ersten Projektphase bietet ein kürzlich fertig gestelltes Video auf der Projektwebseite.

Weblinks:

Projektwebseite: www.esiwace.eu/

ESIWACE-Video: youtu.be/wAnb2rajsFs/

CMIP6-Aktivitäten am DKRZ



Für die Politik sind die Weltklimaberichte des IPCC ein wichtiges Hilfsmittel, da sie den jeweils aktuellen Wissensstand zu Klimasystem und Klimawandel dokumentieren. Im Jahr 2021 erscheint der erste von drei Teilen des nunmehr sechsten Sachstandsberichtes (IPCC AR6), der die naturwissenschaftlichen Grundlagen behandelt. Aussagen zu möglichen zukünftigen Klimaänderungen basieren dabei weitgehend auf Ergebnissen von Klimasimulationen, die das *World Climate Research Programme (WCRP)* im Rahmen des *Coupled Model Intercomparison Project (CMIP)* im Hinblick auf den Bericht organisiert. Zahlreiche internationale Forschergruppen tragen mit eigenen Modellen und Simulationen zu dem Modellvergleich bei.

Das BMBF fördert seit 2016 den deutschen Beitrag zum aktuellen Modellvergleich CMIP6 (*CMIP6 Landscape*, 2019) – von der Vorbereitung der Klimasimulationen bis zur Publikation der Ergebnisse.

Im Lauf der letzten zwei Jahre wurden am DKRZ viele CMIP6-Experimente durchgeführt, standardisiert und ihre Ergebnisse am ESGF-Datenknoten (*Earth System Grid Federation*) des DKRZ publiziert. Alleine 2019 erforderten diese Simulationen 1,2 Millionen Knotenstunden Rechenzeit. Dabei profitierten besonders die Erdsystemmodelle MPI-ESM1.2 des MPI-M (Mauritsen et al., 2019) und AWI-CM-1-1 des Alfred-Wegener-Instituts (Semmler et al., 2019) von der Web-unterstützten Post-processing-Infrastruktur (Abbildung 1), die ebenfalls im Rahmen der CMIP6-Aktivitäten weiterentwickelt wurden. Der CMIP6-Datenpool am DKRZ umfasste Ende April 2020 ungefähr 1,1 Petabyte an qualitätsgeprüften, primär publizierten und 2,1 Petabyte an replizierten Klimamodelldaten.

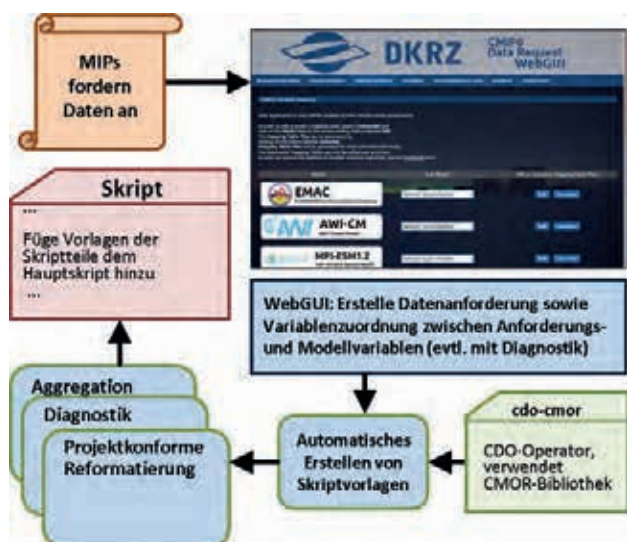


Abb. 1: Arbeitsschritte im Produktionsprozess von Klimamodelldaten für CMIP6. Blaue und grüne Schattierungen zeigen Werkzeuge, die am DKRZ entwickelt werden.

Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler analysieren diese Daten mit Werkzeugen wie dem ESMValTool (*Earth System Model Evaluation Tool*; Righi et al., 2020), das etablierte Diagnostiken der Modelldaten beinhaltet und mit dem die Modelle hinsichtlich ihrer Darstellung wichtiger Klimagrößen und Prozesse überprüft werden. Ergebnisse des ESMValTools werden auf einer DKRZ-Webseite zur Verfügung gestellt.

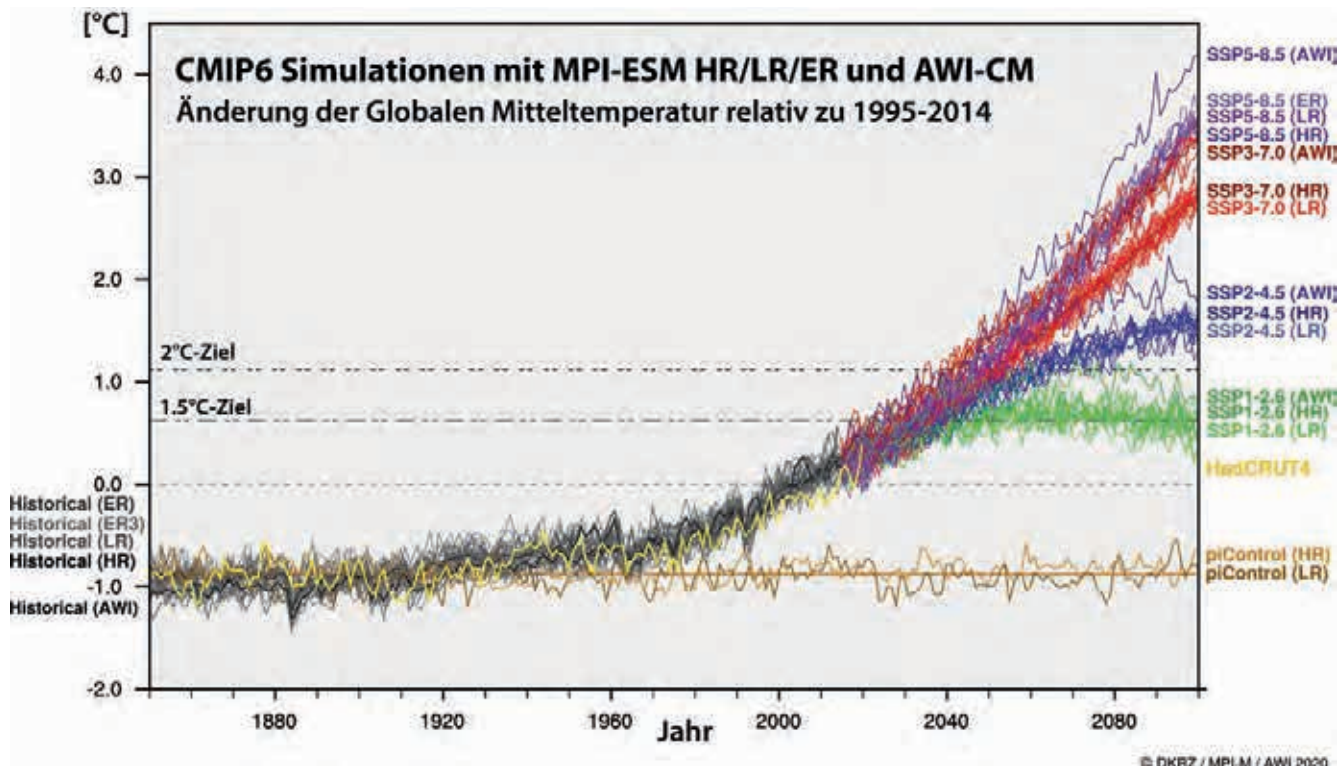
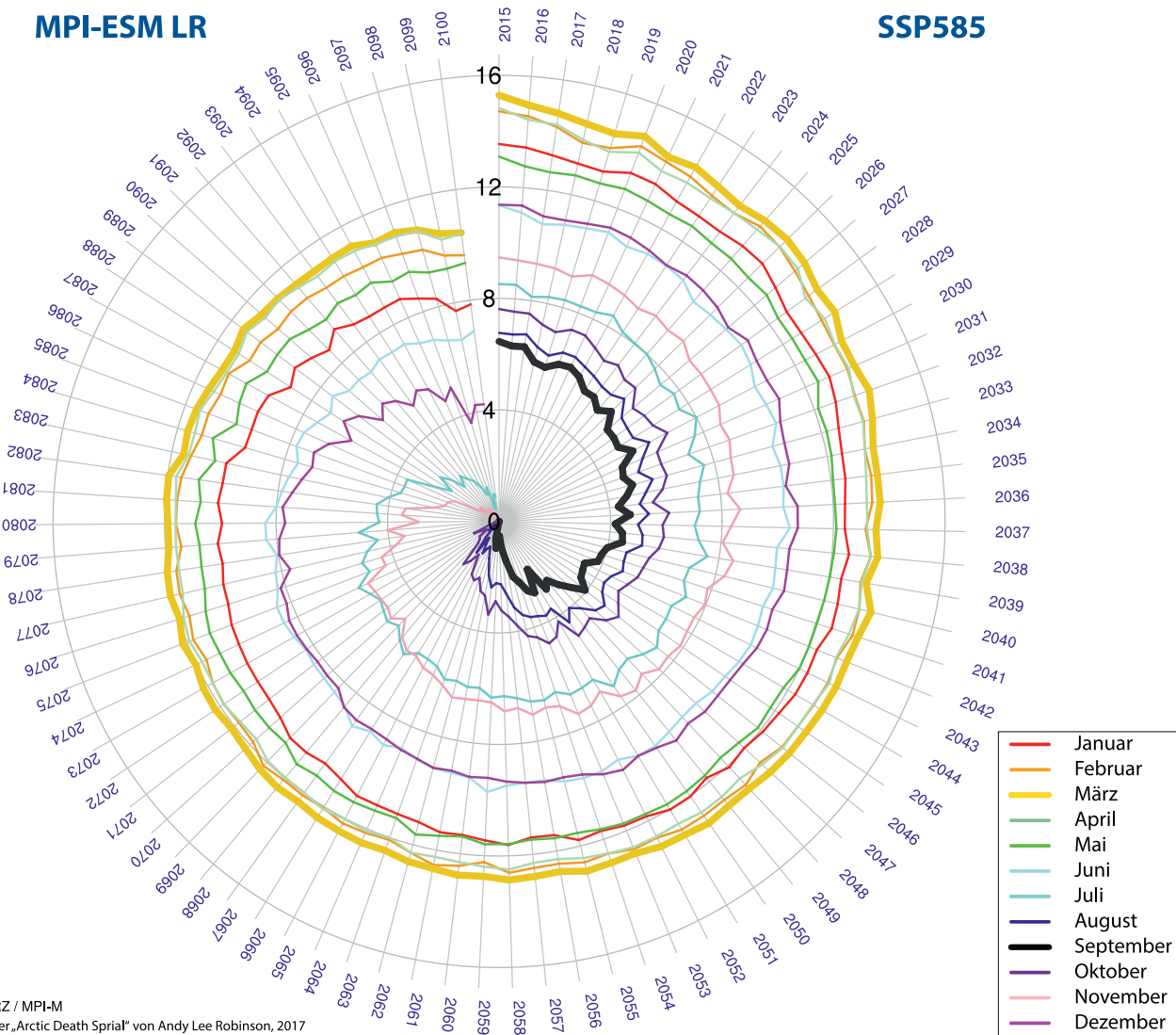


Abb. 2: Anomalien der global gemittelten Oberflächentemperatur gegenüber der Referenzperiode 1995-2014 (gestrichelte Nulllinie) für die Simulationen des historischen Zeitraums 1850-2014 und der SSP-Zukunftsszenarien, die im Rahmen von CMIP6 auf dem HLRE3-System am DKRZ berechnet wurden. Zusätzlich ist in braun der vorindustrielle Kontrolllauf piControl dargestellt. Die Berechnungen mit den Modellen MPI-ESM1-2-LR, MPI-ESM1-2-HR, MPI-ESM1-2-ER, und AWI-CM-1-1 sind farblich unterschiedlich gekennzeichnet; zusätzlich ist die auf Beobachtungen basierende Temperaturentwicklung HadCRUT4 in gelb darübergerlegt.

Simulierte jahreszeitliche Ausdehnung des arktischen Meereises [Millionen km²]

MPI-ESM LR

SSP585



© DKRZ / MPI-M
Nach der „Arctic Death Spiral“ von Andy Lee Robinson, 2017

Abb. 3: Durch den spiralenförmigen Verlauf zeigt die Visualisierung die Abnahme der mittleren monatlichen Ausdehnung des arktischen Meereises für das pessimistische CMIP6-Szenario SSP585 auf Basis der Simulationen mit MPI-ESM LR. Ab etwa 2060 wäre das arktische Meereis im September, dem Monat mit der geringsten Meereisausdehnung auf der Nordhalbkugel, nahezu verschwunden. Nur wenige Jahre später, etwa 2075, wären hier auch August und Oktober eisfrei.

Am DKRZ wurden Ensemble-Simulationen mit MPI-ESM1.2 für verschiedene Zukunftsszenarien durchgeführt, die gemeinsam mit den Ergebnissen der AWI-CM-1-1-Simulationen beispielhaft anhand der simulierten Entwicklung der global gemittelten bodennahen Temperatur in Abbildung 2 dargestellt sind. In der zweiten Hälfte des 21. Jahrhunderts unterscheiden sich die Temperaturkurven für die Szenarien deutlich voneinander; so wird für das Jahr 2100 ein Anstieg zwischen etwa einem und vier Grad (im Vergleich zur Referenzperiode 1995-2014) projiziert.

Der Teil der CMIP6-Daten, die im IPCC AR6 verwendet werden, wird für die langfristige Nachnutzung ins IPCC-AR6-Referenzdatenarchiv des *IPCC Data Distribution Centre (DDC)* am DKRZ überführt (Stockhouse et al., 2019). Darüber hinaus werden Datenrichtlinien für das IPCC weiterentwickelt mit dem Ziel, die Transparenz, Nachvollziehbarkeit und Nachnutzbarkeit von IPCC-Ergebnissen zu verbessern.

Weblinks:

Deutscher CMIP6-Beitrag: www.dkrz.de/c6de/

Postprocessing-Infrastruktur:
c6dreq.dkrz.de/

Ergebnisse des ESMValTools:
cmip-esmvaltool.dkrz.de/

Literatur:

Eyring et al. (2016): Overview of the CMIP6 experimental design and organization.
doi.org/10.5194/gmd-9-1937-2016

The CMIP6 landscape (2019):
doi.org/10.1038/s41558-019-0599-1

Righi et al. (2020): ESMValTool v2.0 – Technical overview, doi.org/10.5194/gmd-2019-226

Bock et al. (2020): Quantifying progress across different CMIP phases with the ESMValTool. *J. Geophys. Res. Atmos.*, submitted.

Mauritsen et al. (2019): Developments in the MPI-M Earth System Model version 1.2 and its response to increasing CO₂, doi.org/10.1029/2018MS001400

Stockhouse et al. (2019): Data Distribution Centre Support for the IPCC Sixth Assessment, doi.org/10.5334/dsj-2019-020

Semmler et al. (2019): Simulations for CMIP6 with the AWI climate model AWI-CM-1.1, www.essoar.org/doi/10.1002/essoar.10501538.1

SeaDataCloud: Vom Meer in die Wolke



Das Meer spielt eine herausragende Rolle für unser Klima. Sein Zustand ist nicht nur für das Klimageschehen wichtig, sondern auch für die Biodiversität, den Fischfang, für *Off-Shore*-Windkraftanlagen, die Schifffahrt und vieles mehr. Daher werden in europäischen Gewässern regelmäßig wichtige Größen wie z.B. Salzgehalt und Temperatur gemessen: mit autonom schwimmenden Bojen, die alle zehn Tage auftauchen und ihre Messdaten an spezielle Satelliten funken („*Argo Floats*“), mit Messboxen, die an Fähren angebracht sind („*Ferry Boxes*“) oder während spezieller Messfahrten mit Forschungsschiffen.

Die gemessenen Daten werden von den verschiedenen Forschungsinstituten und nationalen ozeanographischen Datenzentren aufbereitet und lokal gespeichert; sie können dort von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern angefragt werden. Seit 2019 werden diese Daten zusätzlich in einem zentralen Speicher zusammengeführt, sodass diese schnell und unkompliziert heruntergeladen werden können. Außerdem werden diese Daten nun automatisch qualitätskontrolliert, um auszuschließen, dass zum Beispiel defekte Sensoren die Ergebnisse verfälschen. Das ist ein Ergebnis des EU-geförderten Projektes *SeaDataCloud*, das seit Ende 2016 läuft und in das das DKRZ seine technische Expertise im Bereich Dateninfrastruktur und -prozessierung einbringt.

Im Laufe des Jahres 2020 werden diese Messreihen, zusammen mit weiteren relevanten ozeanographischen Daten, auch online mit einer sogenannten Virtuellen Forschungsumgebung (*Virtual Research Environment, VRE*) analysiert werden können. Im Vergleich zu den lokalen Laptops der Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler können die Server der teilnehmenden Rechenzentren größere Datenmengen einfacher und schneller verarbeiten. Diese VRE wird gemeinsam von einer Gruppe von Forschungsinstituten entwickelt, darunter das DKRZ, das Alfred-Wegener-Institut in Bremerhaven, das französische Forschungsinstitut für die Nutzung der Meere (*Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer, IFREMER*) in Brest, das griechische Forschungs- und Technologie-Netzwerk GRNET in Athen und die Universität Lüttich (Belgien). Bei der Entwicklung der VRE werden verschiedene Technologien für die server- und cloudbasierte Prozessierung getestet und angewendet, sowie verschiedene Wege der Portierung von Analyseprogrammen für web- und container-basierte Umgebungen erprobt.



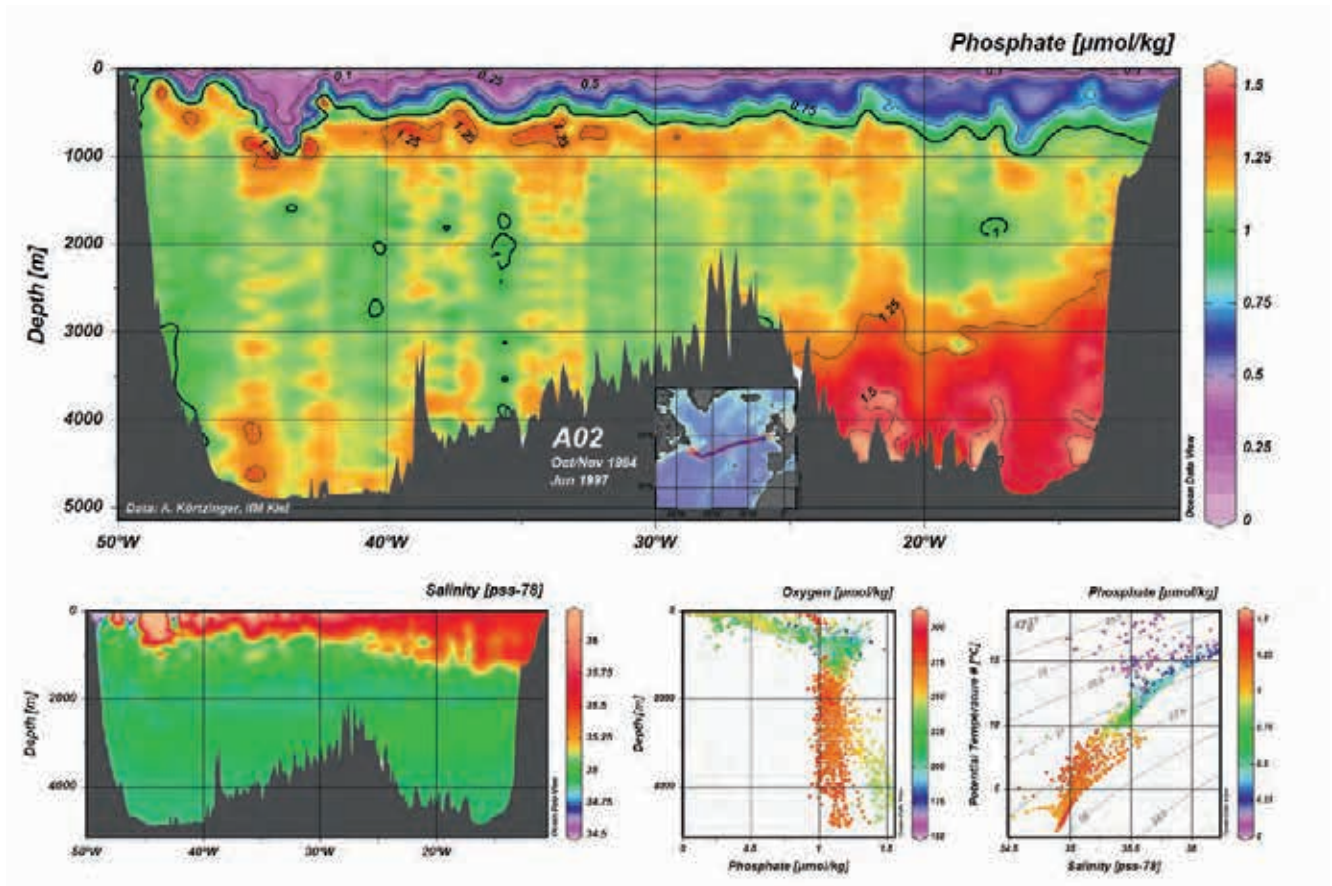


Abb. 1: Beispielvisualisierung mit dem ODV-Programm - Vertikale Verteilung von Phosphaten (unten: Salzgehalt) in einem Querschnitt des Nordatlantik von West nach Osten. In der Mitte ist der atlantische Rücken zu sehen, der den Atlantik in eine phosphathaltigere Osthälfte und eine weniger phosphathaltige Westhälfte teilt (Quelle: Schlitzer, 2000).

Weblinks:

Projektwebseite:

www.seadatanet.org/About-us/SeaDataCloud/

Argo Floats:

argo.ucsd.edu/about

Ferry Boxes:

eurogoos.eu/ferrybox-task-team/

IS-ENES3: Infrastruktur für europäische Klimaprojektionen



Die dritte Projektphase von IS-ENES für die verteilte e-Infrastruktur des Europäischen Netzwerkes für Erdsystem-Modellierung (ENES) begann Anfang 2019 und wird von der EU im Rahmen von Horizon2020 für vier Jahre gefördert. 22 europäische Forschungsorganisationen werden dabei gemeinsame Dienste nachhaltig etablieren und Modellkomponenten, Modellierungswerkzeuge sowie Dateninfrastruktur entwickeln und teilen.

Das DKRZ koordiniert in IS-ENES3 die Aktivitäten rund um die Bereitstellung von Datendiensten als Teil der ENES-Klimadateninfrastruktur (ENES CDI). So werden Klimamodelldaten über gemeinsame Schnittstellen und Portale innerhalb der internationalen *Earth System Grid Federation (ESGF)* bereitgestellt und verteilt. Die

DKRZ-Dienste sind einheitlich in die ESGF-Portale der ENES CDI am *Institut Pierre Simon Laplace (IPSL)*/ Frankreich, am *Science and Technology Facilities Council (STFC)*/ England, sowie in internationale ESGF-Portale wie am *Lawrence Livermore National Laboratory/USA* integriert.

Eine weitere zentrale Aufgabe des DKRZ bei IS-ENES3 ist die Vorbereitung einer nachhaltigen ENES-e-Infrastruktur. Über die Aufstellung und Charakterisierung der wesentlichen ENES CDI-Dienste erfolgt schrittweise die notwendige internationale Abstimmung, um die ENES CDI als eine europäische Forschungsinfrastruktur zu etablieren und weiter zu gestalten.

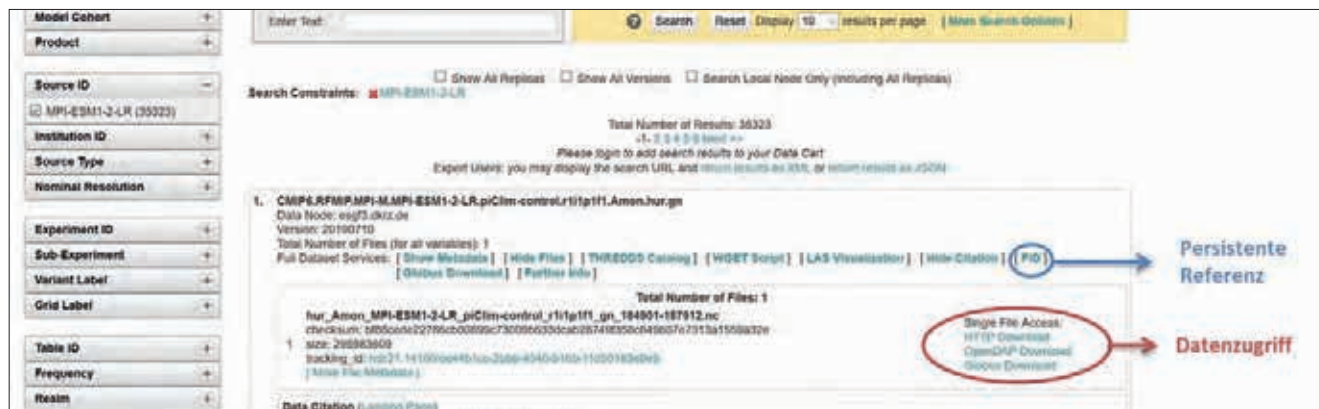


Abb. 1: Die Abbildung zeigt das ESGF-Datenportal am DKRZ mit den einheitlichen Datensuch- und Datenzugriffs-Diensten (im Bild rot gekennzeichnet). Dienste, die zentral am DKRZ entwickelt und zur Verfügung gestellt werden, sind die Bereitstellung von persistenten Datenreferenzen und von Datenzitat (im Bild blau gekennzeichnet).

Der Abstimmungsprozess basiert auf drei Säulen:

01

Im Hinblick auf die zukünftigen Organisationsstrukturen wird die Bereitstellung bestehender Dienste geprüft. Wichtig dabei ist die Bewährung in der Praxis. Schwierig dagegen sind die verschiedenen Rechtssysteme in den Partnerländern. Der administrative Aufwand zur Etablierung ist sehr unterschiedlich für die einzelnen Organisationsformen und reicht von der Zustimmung des Instituts bis zur Unterzeichnung eines Vertrags durch Regierungsvertreter.

02

Der Status der ENES-Dienste wird nach einheitlichen Kriterien klassifiziert, die die Identifikation der Nutzergruppen und deren Verwendung des Dienstes, Spezifikation der Nutzerunterstützung und Beschreibung von Kosten enthalten. Der operationelle Dienste-Status wird klassifiziert in: (1) "24/7", (2) "24/7 at best effort" und (3) "best effort". Die Dienste-Entwicklung berücksichtigt sowohl Erfahrungen aus Pilot-Implementierungen als auch Anforderungen aus der Wissenschaft.

03

Auch für die Nachhaltigkeit der ENES-e-Infrastruktur müssen die Anforderungen aus dem Wissenschaftsbereich identifiziert werden. Mithilfe von Interviews und Workshops wird recherchiert, ob vorhandene ENES-Dienste genutzt werden und wo Lücken im Dienste-Angebot existieren.

Informationen dieser drei Säulen werden in einem Nachhaltigkeitskonzept für die ENES-e-Infrastruktur mit einer Umsetzungsempfehlung zusammengeführt. Während eines abschließenden Workshops soll dieses abgestimmt werden, bevor es in der zweiten Projekt-hälfte umgesetzt wird.

Der gesamte Prozess ist zeitaufwändig, aber für eine breite Akzeptanz ist es erforderlich, die Randbedingungen der Infrastrukturbetreibenden und die Anforderungen der Nutzerinnen und Nutzer zu berücksichtigen.

Weblinks:

Projektwebseite: is.enes.org/

ENES-Portal: portal.enes.org/

PalMod: Simulation eines vollständigen Eiszeitzyklus



**PAL
MOD**

GERMAN
CLIMATE
MODELING
INITIATIVE

Im PalMod-Projekt wollen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler erstmals eine durchgängige Simulation des gesamten letzten Eiszeitzyklus, also etwa der letzten 100.000 Jahre, mit umfassenden Erdsystemmodellen (ESMs) durchführen. Dabei soll ein besseres Verständnis langsamer Rückkopplungen im Erdsystem erzielt werden. Mit den neuen Erkenntnissen über die Dynamik des Erdsystems sollen zudem Projektionen des zukünftigen Klimas für die nächsten Jahrtausende erstellt werden.

Der letzte Eiszeitzyklus ist ideal geeignet, das Verhalten von ESMs auf sich verändernde Randbedingungen, wie etwa den Variationen der Orbitalparameter, zu testen. Ebenso kann untersucht werden, wie gut Modelle die Klimavariabilität auf Zeitskalen von bis zu mehreren Jahrtausenden wiedergeben können. Dazu werden die Wechselwirkungen zwischen Klimawandel, Eisbedeckung, Meeresspiegel und biogeochemischem Kreislauf identifiziert und begrenzt, die alle maßgeblich die Sensitivität des Klimasystems bestimmen.

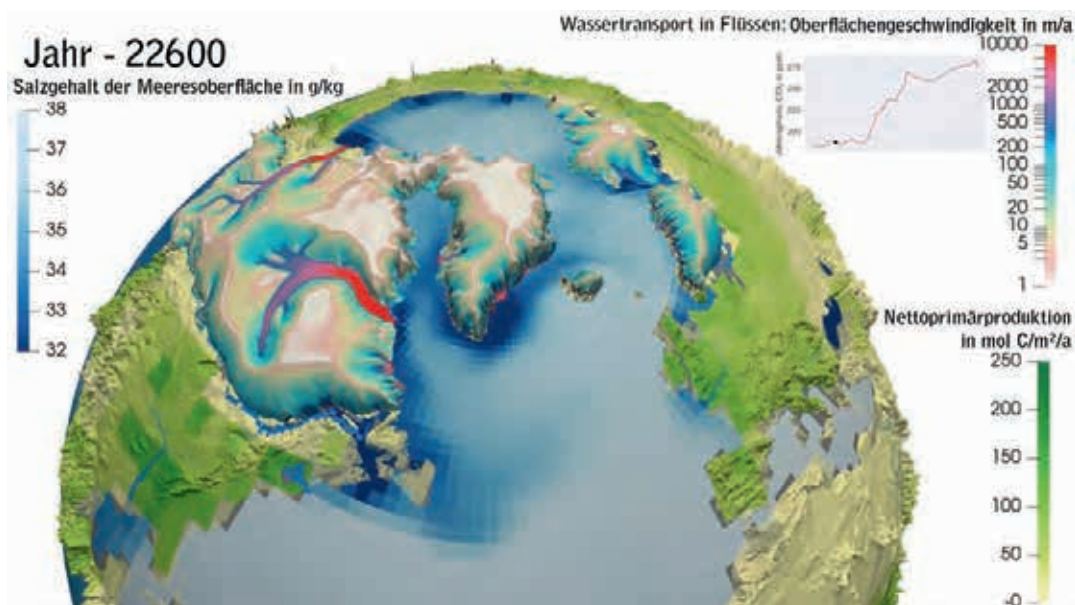


Abb. 1: PalMod-Simulation eines Heinrich-Ereignisses mit dem gekoppelten Eisschild-feste-Erde-Klimamodell: Ein Eisstrom (rot) transportiert Eis aus der Hudson-Bucht in die Labrador-See. Beim Schmelzen entstandenes Süßwasser führt zu einer Absenkung des Oberflächensalzgehaltes (dunkelblau im Ozean). (Grafik: Florian Ziemen, DKRZ. Siehe auch Ziemen et al. 2019)

PalMod hat eine geplante Gesamtlaufzeit von 10 Jahren, allerdings mit kürzeren Finanzierungszyklen. Die erste Phase wurde 2019 erfolgreich abgeschlossen und konnte nahtlos in eine bis 2022 finanzierte zweite Phase übergehen. Ein wichtiger Aspekt in der ersten Phase war die Weiterentwicklung gekoppelter Klimamodelle durch die Ergänzung um Eisschildmodelle, um etwa die Phase des Rückzugs der Eisschilde im Verlauf des letzten Eiszeitzyklus (Abbildung 1) untersuchen zu können. In der zweiten Phase werden Klimaforscherinnen und -forscher das Verhalten des Erdsystems unter verschiedenen klimatischen Randbedingungen während des letzten Eiszeitzyklus untersuchen.

Ein wesentlicher Aspekt der anvisierten Eiszeitzyklus-Simulationen ist die prinzipielle Möglichkeit, diese innerhalb der Projektlaufzeit abzuschließen. Dafür ist es notwendig, dass die gekoppelten Modelle einen Durchsatz von mindestens 400 Simulationsjahren pro Rechnertag

(*simulated years per day*, kurz: *SYPD*) erzielen. Werden jedoch Klimamodelle in relativ grober Auflösung verwendet – wie es in PalMod der Fall ist – können moderne Hochleistungsrechner aufgrund der geringen Skalierbarkeit der Modelle nicht effizient genutzt werden. Das DKRZ hat daher gemeinsam mit Kolleginnen und Kollegen des MPI-Ms und des GEOMAR – Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung den Grad der Parallelisierung innerhalb des Atmosphärenmodells ECHAM6 durch eine asynchrone Ausführung der rechenzeitintensiven Strahlung erhöht. Dieser Ansatz ermöglicht für die T31-Auflösung (etwa 400 km Gitterpunktabstand) eine Steigerung der SYPD um bis zu 70% (Abbildung 2). Die Auswirkungen dieser zeitlich parallelen, aber leicht versetzten Berechnungen auf das Gesamtsystem wurden gegenüber der bisherigen Modellversion und gegenüber Beobachtungsdaten untersucht. Es stellte sich heraus, dass die ursprüngliche Genauigkeit erhalten bleibt, falls die zeitliche Kopplung von zwei Stunden auf eine Stunde reduziert wird. Dieser Ansatz wird in der zweiten Phase auf die gekoppelten Modelle MPI-ESM1 und AWI-ESM übertragen und erweitert.

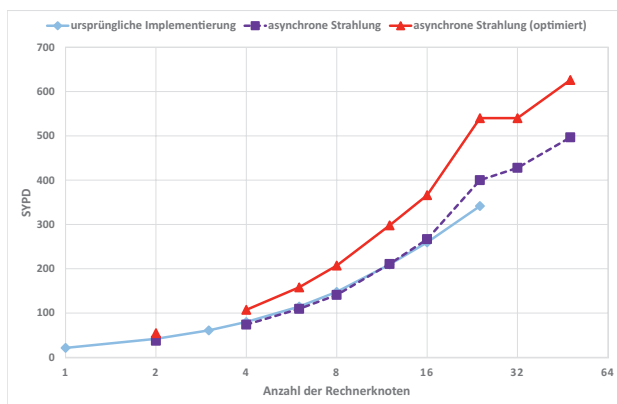


Abb. 2: Vergleich der Skalierung des ECHAM6-Modells (Auflösung T31) bei Nutzung der asynchronen Strahlung gegenüber der ursprünglichen Version.

Weblink:

Projektwebseite: www.palmod.de/

Literatur:

Ziemen et al. (2019): Heinrich events show two-stage climate response in transient glacial simulations, doi.org/10.5194/cp-15-153-2019

ESCAPE-2: Skalierbare Algorithmen für Erdsystemmodelle

Der Leistungszuwachs neuerer Supercomputer basiert auf dem Zuwachs parallel arbeitender Prozessorkerne, die gemeinsam an einer Aufgabe arbeiten können. Algorithmen, die diesen Anstieg in der Parallelität effizient ausnutzen, nennt man „skalierbar“ – und darum geht es in diesem Projekt: ESCAPE-2 steht für *Energy-efficient Scalable Algorithms for weather and climate Prediction at Exascale*. Unter Leitung des ECMWF kooperieren zwölf europäische Partner, um im Hinblick auf kommende Rechnergenerationen besonders hoch skalierende Berechnungsmethoden für europäische Wetter- und Klimamodelle zu entwickeln.



Abb. 1: Logo des High-Performance Weather and Climate Benchmarks (HPCW), der im Rahmen von ESCAPE-2 entwickelt wird und später durch das Projekt ESIWACE gepflegt werden soll.

Wesentliche Aspekte sind:

- Entwicklung maßgeschneiderter numerischer Methoden, die Genauigkeit, Zuverlässigkeit und Leistung optimal in Einklang bringen.
- Entwicklung generischer Programmieransätze, welche die Produktivität und Performance-Portabilität sicherstellen, damit zukünftige Rechnergenerationen effizient genutzt werden können.
- Bewertung der erzielten Leistung auf Supercomputern mit unterschiedlichen Prozessortechnologien.

Performance-Portabilität wird bei zunehmender Heterogenität der Rechnerlandschaft an Bedeutung zunehmen. Gleichzeitig werden moderne Supercomputer immer komplexer und erschweren die Konzentration auf die eigentlichen wissenschaftlichen Ziele. Daher engagiert sich das DKRZ auf dem Gebiet generischer Programmieransätze, welche algorithmische und technische Aspekte weitgehend entkoppeln und damit die Portabilität unterstützen.

In ESCAPE-2 arbeiten DKRZ und MPI-M eng daran zusammen, solche Programmieransätze nutzerfreundlicher zu gestalten. Dies wird etwa über den Einsatz einer *Domain-Specific-Language* (DSL) erreicht, die an das Anwendungsgebiet angepasst ist und besonders kompakte Formulierungen relevanter Algorithmen ermöglicht. Die stark eingeschränkte Komplexität dieser

```

REAL(wp), INTENT(in)  :: psi_c(:,:,:) ! dim: (nprma,nlev,nbiks_c)
REAL(wp), INTENT(inout) :: grad_norm_psi_e(:,:,:) ! dim: (nprma,nlev,nbika_e)
INTEGER :: ri_start, ri_end, j
INTEGER :: i_startbik, i_endbik
INTEGER, DIMENSION(:,:,:) :: P

lidx => ptr_patch%edgesa
ibik => ptr_patch%edgesb
i_startbik = ptr_patch%edgesa
i_endbik = ptr_patch%edgesb

!SOMP PARALLEL
!SOMP DO PRIVATE(jb,i_startbik,i_endbik)
DO jb = i_startbik, i_endbik
CALL get_indices_e(ptr_patch%edgesa, i_startbik, i_endbik, ri_start, ri_end)
grad_norm_psi_e(je,jk,jb) = &
& ( psi_c(lidx(je,jb,2),jk,ibik(je,jb,2)) - &
& psi_c(lidx(je,jb,1),jk,ibik(je,jb,1)) ) &
& * ptr_patch%edges%inv_dual_edge_length(je,jb)

ENDDO
END DO
END DO
!SOMP END DO NOWAIT
!SOMP END PARALLEL

```

```

Field stencil(edges, cells);
Field alpha(edges), beta(cells);
compute_on(edges) {
    alpha = nreduce(cells, stencil*beta);
}

```

Abb. 2: Kompakte DSL-Programmierungen, wie im Beispiel für eine Berechnung auf dem ICON-Gitter (weißer Kasten im Vordergrund), sollen zukünftig aufwendige mit FORTRAN programmierte Codes (im Hintergrund) ersetzen.

Formulierungen ermöglicht perspektivisch eine automatische, an die Zielhardware angepasste Optimierung, so dass dieser Aspekt nicht mehr in der wissenschaftlichen Modellentwicklung berücksichtigt werden muss. DKRZ und MPI-M arbeiten an der Nutzbarkeit und Nutzerfreundlichkeit der DSL für das ICON-Modell, während sich MeteoSwiss auf das Back-End, also die Anpassung auf die Zielhardware, konzentriert.

In der Programmierung soll der DSL-Ansatz die wissenschaftlichen Aspekte von den Hardware-spezifischen Aspekten trennen und damit gewährleisten, dass der Modellcode nur einmal geschrieben werden muss und automatisch effizient auf unterschiedlichen Plattformen (z.B. Prozessor- oder GPU-basiert) eingesetzt werden kann. Außerdem soll der neu zu schreibende DSL-Code leicht in die bisherige Modell-Implementierung

integriert werden können, da nicht das ganze Modell neu geschrieben werden kann.

Daneben ist das DKRZ gemeinsam mit der Firma BULL/Atos federführend bei der Erstellung einer Benchmark-Suite mit einer für Erdsystemmodelle repräsentativen Performance-Charakteristik. Diese HPCW-Benchmarks (Abbildung 1) sollen eine realistischere Bewertung der Eignung großer HPC-Systeme für Wetter- und Klimaanwendungen erlauben als aktuelle generische Benchmarks.

Weblink:

Projektwebseite: www.hpc-escape2.eu/



Neue Projekte

A scenic view of a frozen body of water under a dramatic, cloudy sky. The water is partially covered in ice, and a large ship is visible on the left. The sky is filled with dark, heavy clouds, and the overall color palette is dominated by blues and greys.

AtMoDat: Standardisierung von Atmosphärenmodelldaten



Der Austausch und die Nutzbarkeit von Forschungsdaten sind heute innerhalb der jeweiligen Fachdisziplin, aber auch für Datennutzerinnen - und -nutzer aus anderen Forschungsbereichen unverzichtbar. Aktuell fehlen in vielen Disziplinen übergreifende qualitätssichernde Prozesse und abgestimmte Kriterien für die Datenkuration, also die Aufbewahrung, Beschreibung und Pflege von Daten.

In der Wetter- und Klimaforschung wurden Datenqualitäts- und Datenkurationsstandards in Hinblick auf große, international koordinierte Modellvergleichsstudien wie das *Coupled Model Intercomparison Project (CMIP)* eingeführt. In dem vom BMBF geförderten Projekt AtMoDat soll dieser CMIP-Standard systematisch an die Bedürfnisse weiterer Bereiche, wie der Stadtklimaforschung oder kleinerer Modellvergleichsprojekte, angepasst und dort etabliert werden. Darüber hinaus soll eine DOI-Kennzeichnung von Daten um einen „Datenreifeindikator“ erweitert werden, der bewertet, wie gut diese Daten standardisiert und wie ausführlich zugrundeliegende Arbeitsschritte beschrieben sind.

Zu den national und international stark vernetzten AtMoDat-Partnern gehören neben dem DKRZ die Universitäten Hamburg und Leipzig sowie die Technische Informationsbibliothek (TIB).

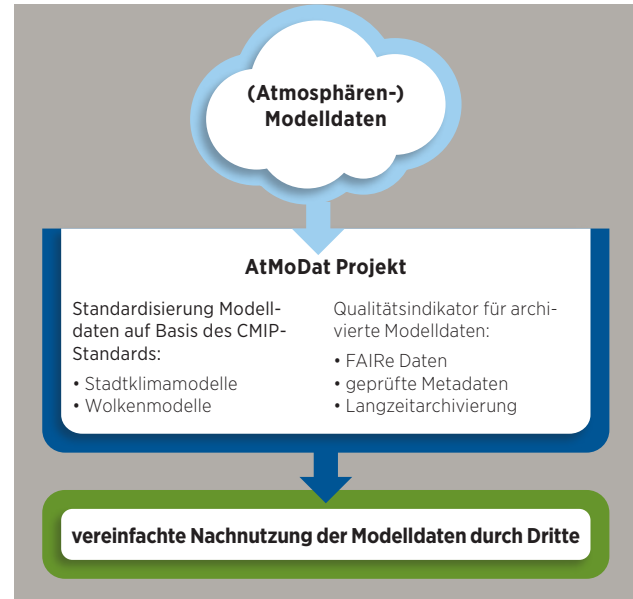


Abb 1: Die beiden Kernanliegen des AtMoDat Projektes sind die Anpassung des CMIP-Standards für einige Teildisziplinen der Atmosphärenforschung sowie die Entwicklung eines Datenreifeindikators für veröffentlichte Modell- daten. Beides hat zum Ziel, die Nutzbarkeit von Atmosphärenmodell- daten zu erhöhen, indem mit Qualitätsinformationen verknüpfte standardisierte Daten bereitgestellt werden.

Weblinks:

Projektwebseite: www.atmodat.de/

GitHub: www.github.com/AtMoDat/

Die „European Open Science Cloud“

Mit der *European Open Science Cloud (EOSC)* entsteht eine europäische Cloud-Umgebung für die Wissenschaft, in der Forschungsdaten aus unterschiedlichen Disziplinen gespeichert, geteilt, analysiert und weiterverwendet werden können. Vor dem Hintergrund der FAIR-Prinzipien und des *Open-Science*-Gedankens, der freien Zugang zu Forschungsdaten und -prozessen vorsieht, birgt die Entwicklung der EOSC zahlreiche Herausforderungen politischer, administrativer und technischer Natur. Für die Ausgestaltung der EOSC für deren wissenschaftliche Nutzung werden entsprechend Beiträge unterschiedlichster Interessengruppen berücksichtigt.

In verschiedenen Förderprojekten wie EOSC-hub, EOS-pillar oder EOSC-Nordic trägt das DKRZ als thematischer Dienst-Anbieter zur Entwicklung der EOSC bei. Hierbei steuert das DKRZ vor allem seine Datenmanagement-Expertise bei, die weite Bereiche des Lebenszyklus von Forschungsdaten abdeckt. Wichtige Schwerpunkte sind das Metadatenmanagement, die Datenanalyse und der Aufbau von virtuellen Forschungsumgebungen vor dem Hintergrund der Verwendung großer Datensätze und der interdisziplinären Nachnutzung in der Klimaforschung. Durch sein EOSC-Engagement profitiert das DKRZ bei der Weiterentwicklung seines Dienstleistungsportfolios und seiner internationalen Vernetzung.



Weblinks:

Projektwebseite: eosc-portal.eu/

Förderprojekte:

www.eosc-hub.eu/

www.eosc-pillar.eu/

www.eosc-nordic.eu/

CLICCS: Exzellenzcluster Climate, Climatic Change, and Society

Im Januar 2019 startete der von der Deutschen Forschungsgemeinschaft im Rahmen der Exzellenzstrategie Deutschlands geförderte Exzellenzcluster *Climate, Climatic Change, and Society (CLICCS)* an der Universität Hamburg. Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler der Universität, des MPI-M, des Helmholtz-Zentrums Geesthacht (HZG), des DKRZ und von acht weiteren Partnerinstitutionen sollen über einen Zeitraum von 7 Jahren an der übergreifenden Fragestellung forschen: "Welche Klimazukünfte sind möglich – und welche sind plausibel?". Hierfür soll ein besseres Verständnis der Rückkopplungen zwischen Klima und Gesellschaft erzielt werden, also wie sich das Klima ändert, wie die Klimaänderung die Gesellschaft beeinflusst, und wie deren Reaktionen schließlich auf das Klima zurückwirken.

Zu diesem Zweck wurden drei ineinandergreifende Forschungsbereiche eingerichtet:

A - Klimasensitivität und Variabilität im Klimasystem

B - Klimabezogene Dynamiken sozialer Systeme

C - Nachhaltige Anpassungsszenarien

Die drei Forschungsbereiche werden durch das übergreifende Projekt „*High-Performance Computing and Data-Intensive Science*“ (*HPC-DIS*) unterstützt, welches das DKRZ gemeinsam mit dem regionalen Rechenzentrum

der Universität Hamburg (RRZ) leitet. Ziel von HPC-DIS ist es, im Rahmen von CLICCS innovative Methoden

- der Softwareentwicklung für Klimamodelle, insbesondere für ICON,
- der Visualisierung komplexer und umfangreicher Simulationsdaten,
- sowie des Datenmanagements für Simulationen und Beobachtungsdaten zu entwickeln, zu testen und weiter zu verfeinern.

Das DKRZ engagiert sich insbesondere im Datenmanagement und in der Softwareentwicklung, während das RRZ für die Forschung im Bereich Visualisierung zuständig ist, die durch die vom DKRZ angebotenen anwendungsbezogenen Dienste im Bereich Visualisierung ergänzt wird. Über ein gemeinsames "interdisziplinäres Labor" wird die Zusammenarbeit von Expertinnen und Experten aus den Klimawissenschaften und aus relevanten Teilgebieten der Informatik gefördert. Im Bereich Softwareentwicklung sollen Projekte an der Schnittstelle von Klimaforschung und Informatik initiiert werden, damit Klimamodelle den vollen Nutzen aus Fortschritten in Hochleistungscomputertechnologien ziehen können. Der Bereich Datenmanagement unterstützt die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler bereits in der Planungsphase ihrer Forschung beim nachhaltigen



Universität Hamburg

DER FORSCHUNG | DER LEHRE | DER BILDUNG

EXZELLENZCLUSTER
CLIMATE, CLIMATIC CHANGE,
AND SOCIETY (CLICCS)

Umgang mit ihren Forschungsdaten, durch Beratung zur optimalen Nutzung der begrenzten Ressourcen, über Veröffentlichung der Metadaten/Daten, bis hin zu

Langzeitarchivierung zur potentiellen Wiederverwertung der Daten in CLICCS oder Folgeprojekten.

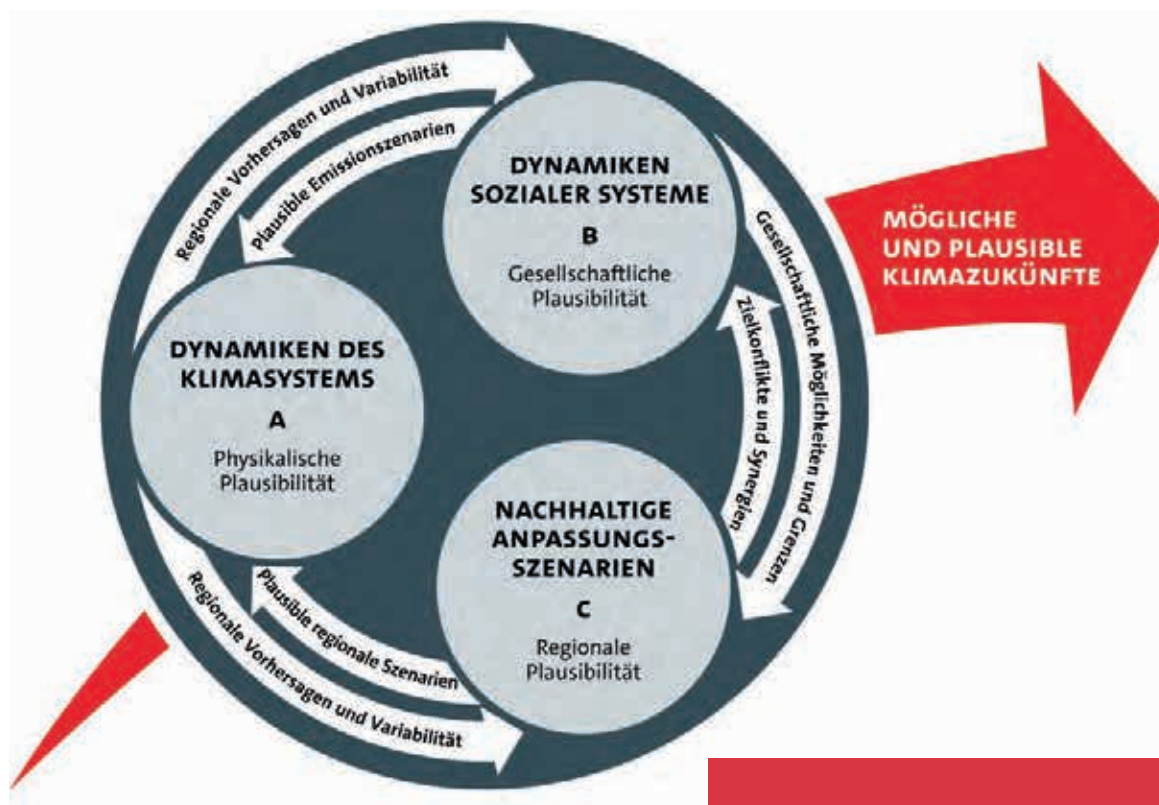


Abb. 1: Schematische Darstellung der CLICCS-Forschungsbereiche und ihrer Interaktionen. (Quelle: Uni Hamburg/ CEN)

Weblinks:

Projektwebseite: www.cliccs.uni-hamburg.de/



A photograph of a grassy field next to a body of water. The field is green and appears to be a pasture. The water is on the left side of the image. The word "Vorschau" is overlaid in white text in the center of the image.

Vorschau

Nächste Supercomputergeneration am DKRZ: Vertragsabschluss für HLRE-4

Ende Februar 2020 erteilte das DKRZ der Firma Bull/Atos den Zuschlag im Ausschreibungsverfahren für das Nachfolgesystem des aktuellen Hochleistungsrechners. Damit wird Bull/Atos zum zweiten Mal in Folge den Supercomputer des DKRZ bereitstellen. Im neuen „Hochleistungsrechnersystem für die Erdsystemforschung 4“ (HLRE-4) wird die BullSequana-XH2000-Technologie eingesetzt, die ebenfalls am ECMWF verwendet wird. HLRE-4 wird mit einer Leistung von ca. 16 PetaFLOPs das Fünffache der aktuellen Rechenleistung bieten, und die Speicherkapazität des Festplattensystems wird mit 120 Petabyte mehr als verdoppelt. Der Supercomputer wird wie der aktuelle HLRE-3 aus etwa 3.000 Rechnerknoten bestehen, wobei aber die einzelnen Knoten deutlich mehr Prozessorkerne enthalten. Zum Einsatz kommen erstmals Prozessoren der Firma AMD, die jeweils über 64 Kerne verfügen.

Der zunehmende Stromverbrauch bei neuen Hochleistungsrechnern stellt eine zunehmende technische Herausforderung dar.

Parallel zur Erweiterung der Rechenkapazität findet auch eine Erweiterung der Speicherkapazität im Bandarchiv statt. Das neue Hierarchische Speichersystem erlaubt die Speicherung von bis zu 1 Exabyte an Daten. Mit dem neuen Hochleistungsrechner werden jährlich etwa 120 Petabyte an neuen Daten

produziert, die am DKRZ analysiert und gespeichert werden.

Anfang 2021 beginnt der Umbau der Rechnerräume, damit Phase I des neuen Supercomputers, die das Vierfache der Rechenleistung des aktuellen HLRE-3 bietet, Mitte 2021 aufgestellt und in Betrieb genommen werden kann. Parallel dazu wird im Rahmen einer bereits 2020 beginnenden Kooperation evaluiert, wie aufwändig, erfolgversprechend und zukunftsicher Code-Portierungen auf zukünftige Hardware, zum Beispiel Grafikprozessoren (GPU), sind. Die Ergebnisse dieser Voruntersuchungen werden auch in die Entscheidung einfließen, ob die zweite Phase (im Gegensatz zur rein Prozessor-basierten Phase 1) teilweise oder vollständig mit Beschleunigerhardware, wie zum Beispiel mit GPUs, ausgestattet sein wird.

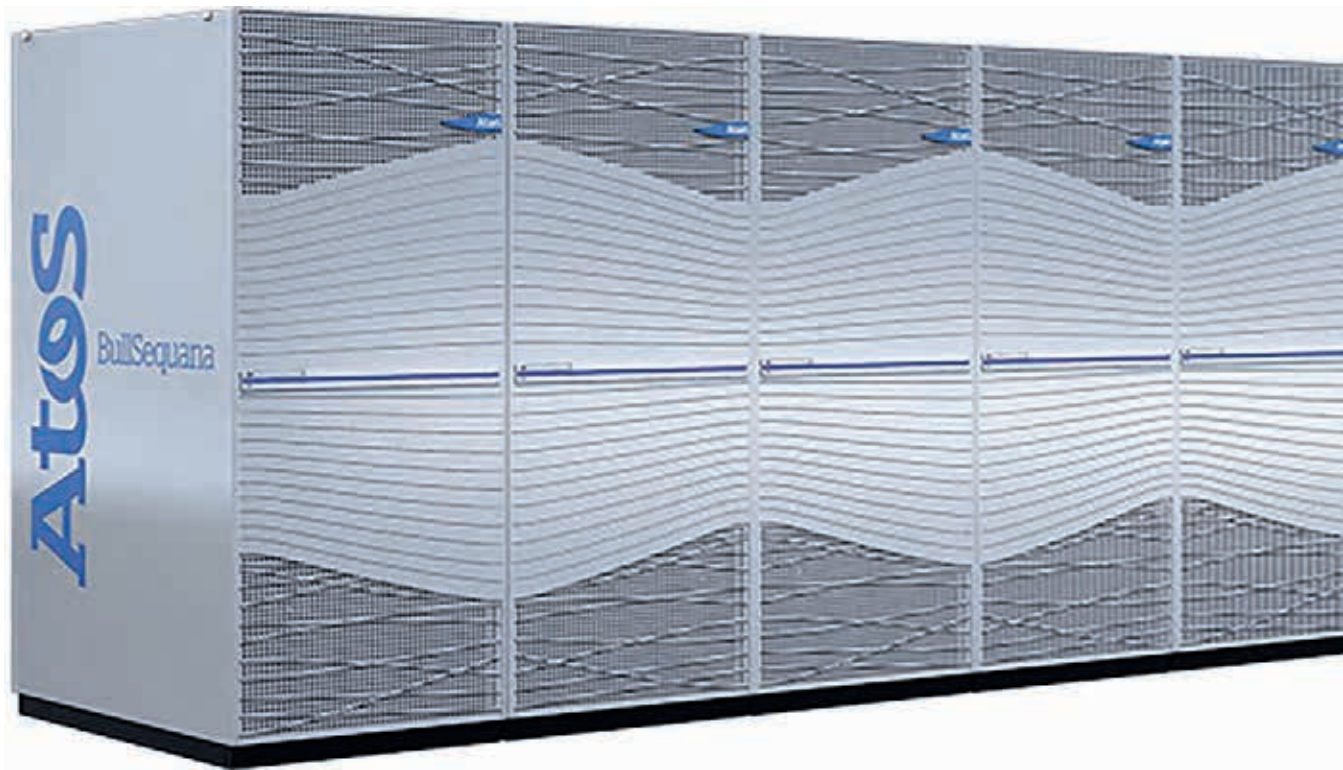


Abb. 1: Der neue HLRE-4-Supercomputer – Symbolbild des BULL/Atos-Hochleistungsrechnersystems des Typs XH2000 (Quelle: Atos).



Abb. 2: Einschub mit drei Rechnerknoten des neuen HLRE-4 (Quelle: Atos).

AIM: Unterstützung der datengetriebenen Wissenschaft mit Methoden der Künstlichen Intelligenz

HELMHOLTZ AI | ARTIFICIAL INTELLIGENCE COOPERATION UNIT

Die technischen Innovationen der letzten Jahre aus dem Bereich der Künstlichen Intelligenz und des Maschinellen Lernens werden auch von DKRZ-Nutzerinnen und -Nutzern zunehmend als Werkzeug und Chance wahrgenommen, um Herausforderungen in der Modellierung und bei der Auswertung von Daten besser oder effizienter zu bewältigen. Im Rahmen der Helmholtz-Plattform „Helmholtz AI“ entsteht unter der

Leitung des HZG die Lokaleinheit AIM, kurz für *Artificial Intelligence innovates Earth System Analytics and Modeling*. AIM hat als Ziel, die Anwendung der Künstlichen Intelligenz und des Maschinellen Lernens bei der Modellierung und Analyse erdsystemwissenschaftlicher Fragestellungen zu erforschen und erfolgreiche Methoden in die Praxis zu überführen.

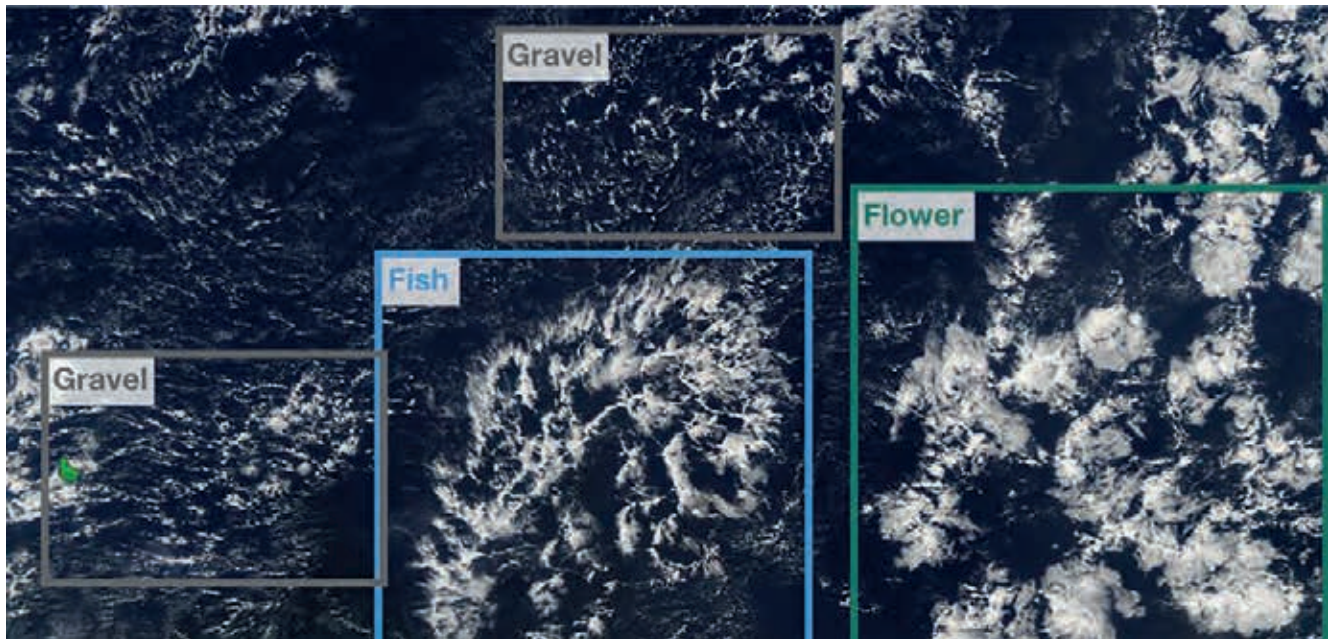


Abb. 1: Beispiel einer Klassifizierung von Wolkenmustern nach Erscheinungsbild „Kies, Fisch und Blumen“ („Gravel, Fish and Flower“). (Quelle: NASA Worldview.)

Erste Beispiele für die Anwendbarkeit der neuen Verfahren sind etwa das Ersetzen von Modellparametrisierungen oder die Klassifizierung von Wolkenformationen (Abbildung 1). Parametrisierungen werden etwa verwendet, um kleinräumige Prozesse abzubilden, die mit einem im Verhältnis dazu grobmaschigen Modellgitter nicht erfasst werden können. Die hierfür eingesetzten Berechnungsverfahren könnten sich durch gelernte Modelle in ihrer Berechnung beschleunigen lassen oder zu qualitativ besseren Ergebnissen führen. Die Klassifizierung von Wolkenformationen in Modell- und Beobachtungsdaten beispielsweise, die bisher durch Fachleute erfolgt, ließe sich mit Mitteln des Maschinellen Lernens auch auf die heute entstehenden sehr umfangreichen Datenmengen anwenden, und könnte dann für Qualitätsbeurteilungen und Aussagen über langfristige atmosphärische Änderungen herangezogen werden.

AIM besteht aus einer Nachwuchsforschungsgruppe am HZG und einer Support-Gruppe am DKRZ. Das am DKRZ angesiedelte Team wird Nutzerinnen und Nutzer der Helmholtz-Gemeinschaft dabei unterstützen, die neuen Verfahren erfolgreich auf erdsystemwissenschaftliche Problemstellungen anzuwenden. Das Team soll systematisch eigene Expertise an der Schnittstelle zwischen wissenschaftlichen Fragestellungen und praxisnaher Umsetzung aufbauen, mithilfe einer Wissensbasis pflegen und schließlich einer breiten Nutzergemeinschaft zur Verfügung stellen. Weitere Dienste des Teams umfassen eine individuelle und forschungsprojektbezogene Beratung, technische Unterstützung bei Anbindung von Daten- und Computing-Ressourcen sowie flexibel anpassbare Weiterbildungsmaßnahmen.



Abb. 2: Teilnehmerinnen und Teilnehmer des Workshops zur Anwendung von Methoden des Maschinellen Lernens in den Erdsystemwissenschaften, der am 3. und 4. Februar 2020 am DKRZ stattfand.

Weblinks:

Projektwebseite: helmholtz.ai/

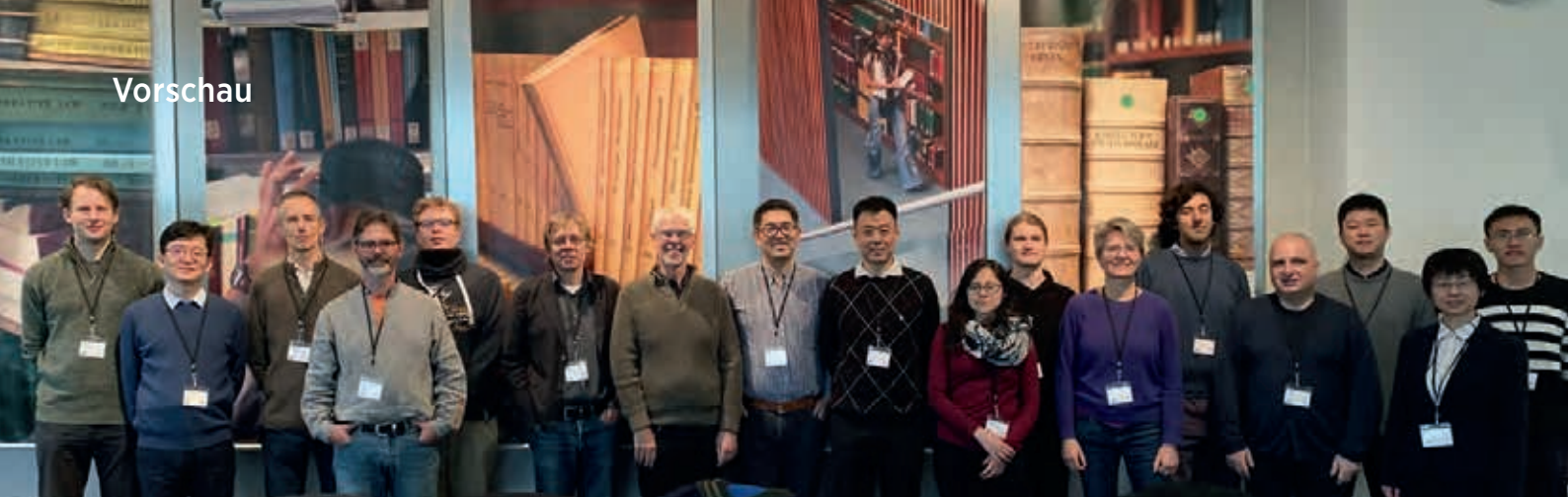


Abb. 1: Teilnehmerinnen und Teilnehmer beim Kick-Off-Treffen des Projektes MONSOON-2.0 am 24. und 25. November 2019 in Hamburg.

MONSOON-2.0: Eine deutsch-chinesische Kooperation

Der Monsun und seine jahreszeitlichen Variationen prägen das Klima Südasiens. Die Rolle kleinräumiger Prozesse dabei soll in dem deutsch-chinesischen Projekt MONSOON-2.0 untersucht werden. Hierfür sind Zeitscheibenexperimente, also Simulationen begrenzter Zeiträume, mit globalen sturmauflösenden Klimamodellen für Monsun-Ereignisse im heutigen sowie für ein projiziertes zukünftiges Klima geplant.

Das auf 3 Jahre ausgelegte Projekt entstand auf Initiative des BMBF sowie des chinesischen Forschungsministeriums MOST. Auf deutscher Seite sind das MPI-M, das DKRZ und das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) beteiligt; auf chinesischer Seite wird das Projekt von der *Chinese Academy of Meteorological Sciences (CMA-CAMS)* betreut.

Das DKRZ wird daran mitwirken, das ICON-Klimamodell in einer sturmauflösenden Auflösung von 2 km auf chinesische Supercomputer zu portieren. Hierfür steht mit TaihuLight einer der aktuell leistungsstärksten Rechner der Welt zur Verfügung. Der Rechner am *Nationalen Supercomputing Center* in Wuxi, China, (NSCC-Wuxi) basiert auf einer speziellen *Multicore*-Architektur. Eine weitere Zielarchitektur ist der neue Chinesische Erdsimulator *Earthlab*, der 2021 in Betrieb gehen soll.

Weblinks:

Chinese Academy of Meteorological Sciences:
www.camscma.cn/En/abouts.html/

Veranstaltungen, Workshops





Abb. 1: Präsentation auf der Supercomputing Conference (SC'18) in Dallas, USA.

Veranstaltungen rund um und mit dem DKRZ

Das DKRZ informiert auf vielfältigen Wegen die Öffentlichkeit, Politik und Medien über seine Arbeit und die Ergebnisse der rechnergestützten Klimaforschung. So war das DKRZ auf internationalen Fachkonferenzen wie der *ISC High Performance (ISC'18 und ISC'19)*, die im Juni 2018 und 2019 in Frankfurt stattfand, sowie der *Supercomputing Conference SC'18* in Dallas/USA mit einem Messestand vertreten und beteiligte sich mit Präsentationen, Workshops, Vorträgen, Moderationen und Postern am Konferenzprogramm. 2019 präsentierte das DKRZ mit seinem Mitaussteller – dem europäischen Exzellenzzentrum ESIWACE – hochaufgelöste Klimasimulationen auf seinem Touch-Tisch. Auf beiden ISC-Konferenzen nahm jeweils ein von der Gruppe “Wissenschaftliches Rechnen” am DKRZ betreutes Team der Universität Hamburg erfolgreich an der *Student Cluster Competition*, einem Programmierwettbewerb für Studierende, teil.

In beiden Jahren beteiligte sich das DKRZ-Team ebenfalls mit zahlreichen Aktivitäten an einer der weltweit größten geowissenschaftlichen Konferenzen, der *European Geoscience Union (EGU)* in Wien/Österreich mit über 15.000 Teilnehmenden. Dieses Treffen bietet eine perfekte Gelegenheit, um u.a. auch Projekte am DKRZ wie ESIWACE, CMIP6, IS-ENES, EOSC-hub sowie Forschungsdateninfrastrukturen wie NFDI4Earth und das *Data Distribution Centre (DDC)* vorzustellen oder Möglichkeiten zur Visualisierung am DKRZ live zu demonstrieren.

Die Visualisierungsgruppe des DKRZ präsentierte ihre Ergebnisse als Aussteller auf der IEEE VIS 2018 in Berlin, die als weltweit größte wissenschaftliche Visualisierungskonferenz im Oktober 2018 erstmals in Deutschland stattfand. Mit einem interaktiven 4k-Touch-Tisch wurde die Detailgenauigkeit der neuesten

hochauflösenden Klimamodelle anhand vieler Visualisierungen gezeigt.

Als Koordinator präsentierte das DKRZ das Projekt ESiWACE während der ICT im Dezember 2018 in Wien. Die ICT 2018: *Imagine Digital – Connect Europe* dient als Plattform, auf der sich Institutionen und Projekte den knapp 5.000 Teilnehmenden präsentieren und Kontakte für weitere Antragstellungen im Umfeld des EU-Förderrahmens Horizon2020 knüpfen können.

Ebenfalls in Berlin diskutierten im Februar/März 2019 mehr als 200 Spezialistinnen und Spezialisten auf der Konferenz *Understanding Clouds and Precipitation (UCP)* ihre neuesten Forschungsarbeiten. Viele davon entstanden im HD(CP)²-Projekt, in dem die Entstehung von Wolken und Niederschlag mit hochauflösenden regionalen Simulationen und Messungen untersucht wurde. Weitere Beiträge beschäftigten sich mit den ultrahochauflösenden globalen Modellierungen des Projektes DYAMOND.

Die *International Data Week (IDW 2018)* brachte im November 2018 Datenexpertinnen und Datenexperten, die Politik, die Industrie sowie Forscherinnen und Forscher aus allen Disziplinen und Nationen in Gaborone, Botswana, zusammen. Der Fokus lag auf dem Thema *Open Data* und deren Nutzen für die Gesellschaft. Im Anschluss fand der *WDS Repositories' Day* statt. Auf beiden Veranstaltungen präsentierte Martina Stockhause für das WDC und das IPCC *Data Distribution Centre (DDC)* aktuelle Schwerpunkte am DKRZ.

Interessierte Menschen erhalten bei zahlreichen öf-

fentlichen Veranstaltungen die Möglichkeit, ihr Wissen zum Thema Klima, Klimawandel und Nachhaltigkeit zu erweitern. Im Juni 2019 fand anlässlich des 100-jährigen Jubiläums der Universität Hamburg der Sommer des Wissens statt. Das DKRZ war gemeinsam mit CEN, CLICCS sowie dem MPI-M im Themenzelt „Zukunftswerkstatt“ vertreten, um Klimaforschung zu präsentieren.



Abb. 2: Wissenschaftszelt beim Sommer der Wissens 2019 anlässlich des 100-jährigen Bestehens der Universität Hamburg auf dem Rathausmarkt.

Als einer von 200 Partnern engagierte sich das DKRZ in beiden Jahren bei der Hamburger Klimawoche. Im September 2018 eröffnete Schirmherr Fürst Albert II von Monaco diese persönlich. In einem Klimaforschungszelt – 2018 auf dem Lattenplatz und 2019 zentral auf dem Rathausmarkt – präsentierten das DKRZ und das Helmholtz-Zentrum Geesthacht (HZG) Ergebnisse der Hamburger Klimaforschung, beispielsweise am Klimaglobus oder an den HZG-Exponaten zu Wassermesswerten und -drift in der Nordsee. Während der *Researchers Night* sprach Michael Böttinger 2019 vor 200 Zuschauern über das Thema „Blick in die Zukunft?“



Abb. 3: Der Klimaglobus des DKRZ war im Sommer 2018 zu Gast im Planetarium Hamburg.

Wie Klimamodelle funktionieren“. Außerdem wurde dort auch eine 360°-Visualisierung des tropischen Wirbelsturms Haiyan auf Basis einer Simulation des HZG gezeigt. Im Rahmen des Bildungsprogramms der Klimawoche besuchten in beiden Jahren je zwei Schulklassen das DKRZ.

Um junge Menschen für die Klimaforschung, -modellierung und das Parallelrechnen zu begeistern, ist die Teilnahme am Girl's und Boy's Day ein fester Bestandteil des Jahresprogrammes am DKRZ. Auf dem Programm standen 2018 und 2019 neben Vorträgen und einer Rechnerraumführung auch Mitmachaktionen.

Auch bei der Bildungswoche „Wetter.Wasser.Waterkant“, Hamburgs größter Bildungsveranstaltung zu Klima, Ökologie und Nachhaltigkeit, erhielten Schülerinnen und Schüler mit ihren Lehrkräften die Gelegenheit, bei einer Exkursion das DKRZ zu besuchen.

Im Juni 2018 eröffnete Prof. Mojib Latif eine Sonderveranstaltung im Planetarium Hamburg, bei der der Klimaglobus des DKRZ und die Ausstellung „meermenschen“ des Fotografen Wolfgang Köhler zu Gast waren. Letztere zeigte Portraitaufnahmen von Menschen, deren Heimat oder berufliches Umfeld mit dem Meer zu tun haben – darunter den DKRZ-Visualisierer Michael Böttinger.



Abb. 4: Portrait vom DKRZ-Visualisierer Michael Böttinger für die Ausstellung „meermenschen“ (Quelle: Wolfgang Köhler)

Mit Workshops und Schulungen erfolgreich Wissen vermitteln

Das DKRZ führt regelmäßig Workshops und Schulungen durch, um seinen Nutzerinnen und Nutzern bewährte Arbeitspraktiken zu vermitteln. Die Veranstaltungen dienen natürlich auch dem Erfahrungsaustausch, Diskussionen und persönlichem Kennenlernen.

Hochleistungsrechnen und Modellentwicklung

Im September 2018 war das DKRZ mit Vorträgen zu den Projekten CMIP6 und HD(CP)² beim 3. ENES-Workshop zum Thema „Workflows in den Klimawissenschaften“ in Brüssel/Belgien vertreten. Zentrale Themen waren Neuentwicklungen von Werkzeugen zur Prozessunterstützung sowie Erfahrungen mit der Migration bestehender Arbeitsabläufe.

In regelmäßigen Abständen – so auch im Februar 2019 am DKRZ – trifft sich das ICON-Entwicklerteam, zu dem neben dem DKRZ das MPI-M, der Deutsche Wetterdienst, das Karlsruher Institut für Technologie, die ETH-Zürich, das *Swiss National Supercomputing Centre* und *MeteoSwiss* gehören. Entwicklerteams dieser Institute arbeiteten beim Treffen an Infrastruktur- bzw. computerspezifischen Fragen zum ICON-Modellcode, die gemeinsam wesentlich schneller und effizienter gelöst werden können.



Abb. 1: Im Februar 2019 traf sich das ICON-Entwicklerteam am DKRZ, um gemeinsam an Infrastruktur- bzw. computerspezifischen Fragen zum ICON-Modellcode zu arbeiten

Datenmanagement

Unter dem Motto *Data Management in Environmental & Earth Science Infrastructures* brachte das DKRZ seine Expertise auf der *International Summer School* der Wissenschaftsinfrastrukturen ENVRIplus und Lifewatch im Juli 2018 im italienischen Lecce ein.

Im Dezember 2018 war das DKRZ Gastgeber für das Plenumstreffen der NFDI4Earth-Gemeinschaft, bei dem diskutiert wurde, wie der uneingeschränkte Zugriff auf

Workshops

Erdsystemdaten, wissenschaftliche Datenverwaltung und Datenanalysedienste realisiert werden kann.

Um grundlegende Prinzipien für den Umgang mit den Daten, die im Zusammenhang mit dem sechsten IPCC-Sachstandsbericht verwendet werden, ging es bei einem Treffen des *IPCC Data Distribution Centre* im Juni 2019 am Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) in Oberpfaffenhofen, in dessen Rahmen das DLR gemeinsam mit dem DKRZ-Datenmanagement-Team eine Schulung zu Daten- und Softwareentwicklung durchführte.

Visualisierung

Auf der EGU 2018 in Wien/Österreich organisierte das DKRZ sowohl eine Visualisierungssession als auch einen fachspezifischen Workshop zur Visualisierung in der Erdsystemforschung.



Abb. 2: Teilnehmerinnen und Teilnehmer des Hands-on-Workshops zur 3D-Visualisierung von Klimasimulationen mit der Software ParaView, der im Dezember 2019 in der Außenstelle des DKRZ in der Fuhlehtwiete stattfand.

Im September 2018 und Dezember 2019 führte das DKRZ Hands-on-Workshops zur 3D-Visualisierung von

Klimasimulationen mit ParaView durch. Neben Grundlagen zur Datenexploration wurden auch fortgeschrittene Techniken wie *Volume Rendering* mit *OSPRay*, *Raytracing* oder die Visualisierung von Strömungsgeschwindigkeiten mit 3D-Vektorpfeilen vermittelt.

Im Oktober 2018 widmete sich ein Workshop der 3D-Visualisierung atmosphärischer Ensemble-Simulationen mit der neuen *Open-Source-Software* Met.3D, die gemeinsam mit dem Entwickler, Marc Rautenhaus von der Universität Hamburg, vorgestellt wurde.

Im Juli 2019 führte das DKRZ eine interaktive Schulung zur am NCAR entwickelten 2D-Visualisierungssoftware NCL durch.

Gemeinsam mit Marc Rautenhaus lud das DKRZ auf der internationalen Visualisierungskonferenz IEEE Vis2019 in Vancouver zu einer Session *Visualization in Meteorology & Climate Sciences: Recent Research & Open Challenges* ein. In mehreren Kurzvorträgen wurden verschiedene Anwendungen sowie Lösungsansätze vorgestellt und diskutiert.

Interdisziplinäre Workshops

Im September 2019 traf sich am DKRZ die OSPAR-Kommission, die sich dem Schutz der Nordsee und des Nordostatlantiks widmet, mit Meeresmodelliererinnen und -modellierern der *Intersessional Correspondence Group for Eutrophication Modeling (ICG-EMO)*. Die beiden Gruppen diskutierten, wie marine Ökosystemmodelle verwendet werden können, um ökologisch relevante Bewertungsbereiche im Nordatlantik zu definieren.



Panorama



Abb. 1: Prof. Thomas Ludwig erläutert Bundesaußenminister Heiko Maas den Hochleistungsrechner Mistral (Foto: UHH/Ohme).

Heiko Maas informiert sich zur Hamburger Klimaforschung

Bundesaußenminister Heiko Maas stattete am 21. Mai 2019 den Klimaforschenden der Universität Hamburg, des MPI-M und des DKRZ eine Visite ab. In Hamburg, wo Klimaforschung als bedeutender Schwerpunkt der Universität Hamburg und als Exzellenzcluster CLICCS gefördert wird, informierte sich Heiko Maas über den derzeitigen Stand der Forschung. An der Diskussion beteiligten sich sowohl hochrangige Klimawissenschaftlerinnen und -wissenschaftler als auch drei junge Doktorandinnen und Doktoranden der zu CLICCS gehörenden Graduiertenschule. Heiko Maas betonte, dass die Expertise der Wissenschaft essentiell ist, um auf internationaler politischer Ebene von der Existenz des Klimawandels zu überzeugen.

Im Anschluss an die Diskussion ließ sich Heiko Maas von Prof. Thomas Ludwig, DKRZ-Geschäftsführer, den Supercomputer Mistral am DKRZ zeigen. Seit 2015 nutzen Klimawissenschaftler und -wissenschaftlerinnen diesen Hochleistungsrechner für unterschiedlichste Studien des Klimasystems. Das globale Klima der Vergangenheit, die heutige Situation und mögliche zukünftige Entwicklungen werden ebenso untersucht wie kurzfristige oder kleinräumige Phänomene, die nur mit hoch aufgelösten Modellen abgebildet werden können. Weiterhin wird das System genutzt, um etwa über Ensemble-Simulationen die Unsicherheiten in Klimaprojektionen zu reduzieren.

DKRZ im NCL Advisory Panel vertreten

Das DKRZ-Visualisierungsteam kooperiert seit längerem mit dem Forschungsinstitut *National Center for Atmospheric Research (NCAR)* in Boulder/USA, an welchem die Visualisierungssoftware *NCAR Command Language (NCL)* entwickelt wurde. Am 2. und 3. August 2018 gründeten 12 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler in Boulder ein zwölfköpfiges *NCL Advisory Panel*, um über die zukünftige Strategie für die Visualisierungssoftware NCL zu beraten. Während des ersten Treffens wurde die DKRZ-Visualisiererin Karin Meier-Fleischer als einziges nicht-US-amerikanisches Mitglied ins Gremium aufgenommen. Das Treffen thematisierte, dass heutige Klimamodelle stetig ansteigende Datenmengen auf immer feiner aufgelösten Rechengittern produzieren, welche die Visualisierung mit NCL mittlerweile an ihre Grenzen bringen. Um diesen steigenden Anforderungen Rechnung zu tragen, soll die Weiterentwicklung von Python-basierten Lösungen wie etwa der Grafik-Bibliothek PyNGL vorangetrieben werden. In Kooperation zwischen NCAR und DKRZ werden für den langfristigen Übergang von NCL zu PyNGL ein Übergangsfaden und ein Nutzerhandbuch entwickelt sowie entsprechende Workshops vorbereitet.

DKRZ unterzeichnet COPDESS-Selbstverpflichtung für Datenpublikationen

Im Juni 2018 unterzeichnete Prof. Thomas Ludwig für das DKRZ die Selbstverpflichtungserklärung von COPDESS (kurz für: *Coalition on Publishing Data in the*

Panorama

Earth and Space Sciences), einem Verbund von Verlagen und Datenzentren für die Publikation von Erdsystem- und Weltraumforschungsdaten.

Die COPDESS-Partner setzen sich seit ihrer Gründung im Oktober 2014 dafür ein, dass bei wissenschaftlichen Veröffentlichungen die Zitierung verwendeter Datensätze und Software genauso selbstverständlich und verbindlich wird wie für zitierte Fachliteratur. Als zentrale Richtlinien bei der Umsetzung der Datenpublikation gelten einerseits die gemeinsame Erklärung zur Datenzitierung (*Joint Declaration of Data Citation Principles*) der *Data Citation Synthesis Group* und andererseits auch die von der Amerikanischen Geophysikalischen Vereinigung AGU (*American Geophysical Union*) koordinierten FAIR-Datengrundsätze. FAIR steht dabei für *findable, accessible, interoperable, and reusable*. So ist für die Zitierung der Daten eine langfristige eindeutige Referenzierung der Daten erforderlich. Dies ist mithilfe von sogenannten DOI-Nummern (*Digital Object Identifiers*) möglich, die das DKRZ im Rahmen seiner Datenpublikationsdienste seit ca. 10 Jahren registriert. Die Richtlinien spezifizieren auch die Bereiche Datenzugang und Datenverifizierung.

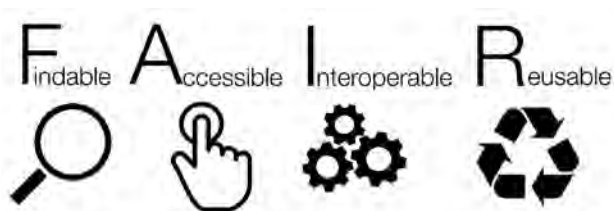


Abb. 2: Die FAIR-Datengrundsätze stehen für *findable, accessible, interoperable, and reusable*. (Quelle: By SangyaPundir - Own work, CC BY-SA 4.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=53414062>)



Weltklimadatenzentrum vom CoreTrustSeal zertifiziert

Das Weltklimadatenzentrum (WDCC), das vom DKRZ betrieben wird, ist Anfang 2019 vom *CoreTrustSeal* (CTS) zertifiziert worden, so dass seine Qualität, Stabilität und Breite der Datendienste international anerkannt sind. Die neue Zertifizierungsorganisation CTS, mit Sitz in Japan und den Niederlanden, wurde vom *World Data System* (WDS) des *International Science Council* (ISC) und dem *Data Seal of Approval* (DSA) gegründet. Das gemeinsame CTS-Siegel ersetzt die bisherigen Zertifizierungen der beiden Organisationen.

Neben rein technischen Aspekten wie der Datenhaltung und -bearbeitung bewertet das CTS auch strukturelle Merkmale wie die Personalausstattung und -qualifikation sowie die Gestaltung von Kontroll- und Managementstrukturen, wie etwa der Wissenschaftliche Lenkungsausschuss des DKRZ und der DKRZ-Nutzergruppe. Darüber hinaus werden Sicherheitsaspekte mit Blick auf interne und externe Risiken betrachtet, sowie der Nutzerservice in Bereichen wie Beratung und Unterstützung. In regelmäßigen Abständen werden Überprüfungen der Merkmale durchgeführt. Mit der Verleihung des CTS verlängert sich auch der Status des WDCC als Weltklimadatenzentrum. Für die Anerkennung im WDS ist die CTS-Zertifizierung eine Voraussetzung.

A photograph of a sunset over a body of water. The sky is a deep orange-red, and the water reflects this color. In the foreground, several dark wooden posts are visible, standing in the water. The text "Zahlen, Daten, Fakten" is overlaid in the center of the image.

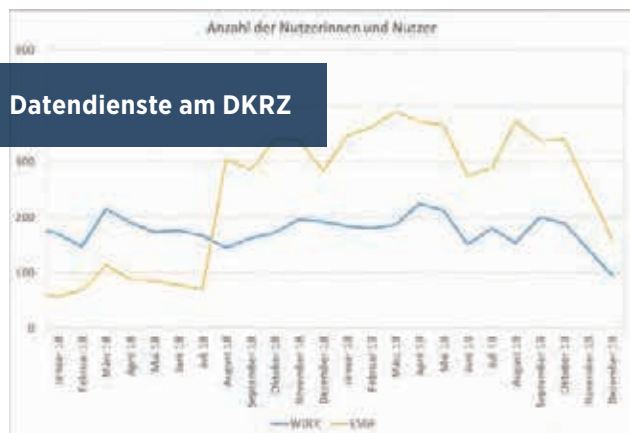
Zahlen, Daten, Fakten

DKRZ Supercomputer Mistral im weltweiten Vergleich



Die TOP500-Liste der leistungsstärksten Supercomputer der Welt wird zweimal jährlich veröffentlicht: im Juni auf der Konferenz International Supercomputing (ISC) in Deutschland und im November auf der Supercomputing Conference (SC) in den USA. Der DKRZ Supercomputer Mistral erreichte darauf im Juni 2018 Platz 55, im November 2018 Platz 62, im Juni 2019 Platz 73 und im November 2019 auch nach vier Jahren Betrieb einen respektablen 80. Platz und war damit innerhalb Deutschlands das siebtstärkste HPC-System. Betrachtet man die Speicherkapazität der Datenzentren, so liegt Mistral im November 2019 auf Platz 4 weltweit. Weitere Informationen: www.top500.org/ und www.vi4io.org/hpsl/start/

Datendienste am DKRZ



Mit dem zertifizierten Langzeitarchiv World Data Center for Climate (WDC) und als ESGF-Gründungsmitglied verfügt das DKRZ über zwei Dienste, um Daten für die gesamte Wissenschaftsgemeinschaft zur Verfügung zu stellen. Die Abbildung zeigt die breite Nutzung dieser Dienste. Während beim WDC die Zahl der unterschiedlichen Nutzerinnen und Nutzer pro Monat bei knapp 200 liegt, ist beim ESGF ab August 2018 ein starker Anstieg auf im Schnitt über 300 erkennbar. Dies korreliert mit der Veröffentlichung der ersten CMIP6-Daten und einem damit verbundenen verstärkten Zugriff auf die im ESGF veröffentlichten CMIP5-Daten.

Das Grand Ensemble des Max-Planck-Instituts für Meteorologie (MPI-GE) ist seit April 2019 in der internationalen Dateninfrastruktur der Earth System Grid Federation (ESGF) verfügbar



Das MPI-GE ist das größte existierende Klimaänderungs-Ensemble mit einem einzelnen, aktuellen Erdsystemmodell (MPI-ESM 1.1) und besteht aus fünf CMIP5-Experimenten mit jeweils 100 Realisierungen. Diese wurden auf den Hochleistungsrechnern des DKRZ und des CSCS in der Schweiz gerechnet. Seit 2015 dienen die Daten schon als die Basis einer Vielzahl bedeutender wissenschaftlicher Publikationen. Das MPI-GE-Datenvolumen, das über die ESGF-Services des DKRZ bereitgestellt wird, beläuft sich auf mehr als 50 Terabyte, welches in ca. 19.000 Dateien auf dem Lustre-Dateisystem des DKRZ gespeichert ist. Weitere Informationen: www.dkrz.de/p/mipi-ge/



Steigerung der Energieeffizienz durch Abwärmenutzung

Das DKRZ betreibt eines der effizientesten Rechenzentren weltweit. Die Energieeffizienz konnte erneut gesteigert werden, da die vom Hochleistungsrechner Mistral erzeugte Wärme seit November 2019 zur Beheizung der Nachbargebäude genutzt wird. Im Jahresdurchschnitt kann etwa 25% der Rechnerwärme ressourcenschonend weiterverwendet werden. Die dadurch jährlich eingesparte Heizenergie entspricht dem Energieverbrauch von etwa 500 Haushalten oder knapp 2.000 Tonnen Kohlendioxid.



Besuchergruppen

2018 und 2019 nahmen jeweils knapp 70 Gruppen mit insgesamt 1.600 Besucherinnen und Besuchern pro Jahr die Möglichkeit wahr, sich direkt vor Ort am DKRZ über die Mission des DKRZ, Klimasimulationen und den Klimawandel zu informieren. Einen Großteil der Gruppen bildeten sowohl Schulklassen als auch Studierende. Daneben besuchten auch Seniorengruppen, Volkshochschulen und Bildungsurlauber, Betriebsausflügler und Vertreterinnen und Vertreter wie beispielsweise des Auswärtigen Amtes, der Forstministerien oder des Bundesamtes für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle das DKRZ.



Publikationen vom DKRZ

Das im Juni 2018 erschienene DKRZ-Jahrbuch 2016-17 dokumentierte sowohl laufende, neue und abgeschlossene Projekte am DKRZ als auch den Vollausbau des DKRZ-Supercomputers Mistral. Weiter veröffentlichte das DKRZ 2019 drei Ausgaben der englischsprachigen „Data Management Stories“: im Januar Nummer 4 zum Projekt ReKLiEs, im März Nummer 5 zum Projekt WASCAL und im August Nummer 6 zum Projekt HAPPY-DE. Die doppelseitigen Flyer bieten Informationen zu Datenmanagementdiensten für die jeweiligen Projekte. In seinen DKRZ-Mitteilungen informiert das DKRZ außerdem regelmäßig über aktuelle Ereignisse und Veranstaltungen. 2018 wurden drei, 2019 vier Ausgaben publiziert und an die mittlerweile fast 200 Abonentinnen und Abonenten per E-Mail versandt.



Personalia

Das DKRZ nahm am 1. Januar 1988 seinen Betrieb auf; entsprechend hatte es 2018 sein 30-jähriges Firmenjubiläum. Von Anfang an dabei waren unter anderem Cornelia Schoska, Abteilungsleiterin der Verwaltung, sowie unser Buchhalter Gerd Cierullies. Vielen Dank an dieser Stelle für ihre langjährige erfolgreiche Arbeit!

2018



Januar 2018

Bereitstellung der neuen Online-Dienste *gitlab*, *monitoring*, *modvis* und *jupyterhub* für DKRZ-Nutzerinnen und Nutzer



9. Januar 2018

Auftaktveranstaltung des Projekts EOOSC-hub in Amsterdam, Niederlande

20. Februar 2018
DKRZ stellt sich auf Hamburger Unitag vor



Februar 2018

Inbetriebnahme einer neuen Magnetbandbibliothek am DKRZ für das Projekt MiKlip

26. und 27. Februar 2018
DKRZ nimmt an der Deutschen IPCC-Jahrestagung in Nauen teil



19. bis 23. März 2018

DKRZ organisiert Workshops und Vorträge im Rahmen der Kooperation mit JAMSTEC in Japan



8. bis 13. April 2018

DKRZ auf der Jahrestagung der *European Geosciences Union (EGU)* in Wien, Österreich



26. April 2018

Gemeinsamer *Girls' Day* von MPI-M und DKRZ

11. und 12. Mai 2018
Vorstellung des Schulprojekts beim *Open-Educational-Resources-Camp*



22. und 23. Mai 2018

Workshop für Studierende des Studiengangs *Computational Sciences in Engineering* der TU Braunschweig



1. bis 30. Juni 2018

Zuarbeit für die Ausstellung „Meermenschen“ im Planetarium Hamburg



Juni bis August 2018

Klimaglobus zu Besuch im Hamburger Planetarium

Juni 2018
DKRZ unterzeichnet COPDESS-Selbstverpflichtung für Datenpublikationen

4. bis 8. Juni 2018
DKRZ auf der Visualisierungskonferenz *EuroVis* in Brno, Tschechische Republik

3. bis 8. Juni 2018
DKRZ auf der Konferenz *European Seminar on Computing (ESCO)* in Pilsen, Tschechische Republik



Juli 2018

DKRZ-Jahrbuch 2016-17 erschienen

2. bis 4. Juli 2018
DKRZ beteiligt sich an der Konferenz *PASC (Proceedings of the Platform for Advanced Scientific Computing)* in Basel, Schweiz



24. bis 28. Juni 2018
DKRZ auf der *Internationalen Supercomputing Conference (ISC'18)* in Frankfurt/Main



9. bis 13. Juli 2018
Internationale Sommerschule in Lecce, Italien: DKRZ präsentiert Datenmanagement

20. und 21. August 2018
DKRZ & MPI-M organisieren 1. DYAMOND-ESIWACE-Hackathon in Hamburg



10. und 11. September 2018
Visualisierungsworkshop zu ParaView am DKRZ



19. bis 21. September 2018
DKRZ beim Bildungsprogramm für die Veranstaltung Wetter. Wasser. Waterkant

20. September 2018
DKRZ beteiligt sich beim Schülerforum Klimawandel



24. bis 28. September 2018
DKRZ als Akteur bei der 10. Hamburger Klimawoche



1. Oktober 2018
Start des Projektes ESCAPE-2



9. Oktober 2018
Workshop zur Visualisierungssoftware Met.3D am DKRZ



17. Oktober 2018
Vertreterinnen und Vertreter des Shanghai Supercomputer Centers besuchen das DKRZ

19. Oktober 2018
Vortrag von Jorji Nonaka, RIKEN, Japan, über *Large Data Visualization: From a Research Field to a Research Tool*



21. bis 26. Oktober 2018
DKRZ auf der IEEE VIS-Konferenz in Berlin

29. Oktober bis 1. November 2018
DKRZ beteiligt sich an der IEEE-Konferenz für eScience in Amsterdam, Niederlande



5. bis 8. November 2018
DKRZ auf *International Data Week* und *World Data System Repositories' Day*



11. bis 16. November 2018
DKRZ beteiligt sich an *Supercomputing Conference (SC'18)* in Dallas, USA



4. bis 6. Dezember 2018
DKRZ auf der 1. Internationalen ITC-Konferenz zu *Networking Science & Practice* in Wien, Österreich



19. Dezember 2018
Plenumstreffen der nationalen Forschungsdateninfrastruktur für Erdsystemforschung (*NFDI4Earth*) am DKRZ

2019



1. Januar 2019
Start der Projekte ESIWACE2, IS-ENES 3 und ERA5



Januar 2019
Data Management Stories Nr. 4 zum Projekt ReKlies-Derscheint



11. bis 14. Februar 2019
ICON-Entwicklertreffen am DKRZ

20. und 21. März 2019
DKRZ nimmt an der Deutschen IPCC-Jahrestagung in Nauen teil



25. Februar bis 1. März 2019
DKRZ auf dem internationalen Workshop *Understanding Clouds and Precipitation (UCP 2019)* in Berlin

11. bis 13. März 2019
Auftrittstreffen und Jahresversammlung zu ESIWACE2 in Hamburg



28. März 2019
Girls' and Boys' Day am DKRZ



März
Weltklimadatenzentrum WDCC am DKRZ vom CoreTrustSeal zertifiziert



März 2019
Data Management Stories Nr. 5 zum Projekt WASCAL erscheint



25. April 2019
DKRZ besucht *Institute for Basic Science (IBS)* in Korea



29. April 2019
Vertreterinnen und Vertreter von Chinas Agenda 21 besuchen das DKRZ



7. bis 12. April 2019
DKRZ beteiligt sich an der Jahrestagung der *European Geosciences Union (EGU)* in Wien, Österreich



21. Mai 2019
Besuch von Bundesaußenminister Heiko Maas am DKRZ anlässlich des Projektstarts von CliCCS



6. und 7. Juni 2019
Workshop zur Daten- und Softwareentwicklung für 6. IPCC-Bericht in Oberpfaffenhofen



12. bis 14. Juni 2019
DKRZ auf der Konferenz *PASC (Proceedings of the Platform for Advanced Scientific Computing)* an der ETH Zürich, Schweiz



14. Juni 2019
Abschlussveranstaltung zum Schulprojekt „Klimawandel“ am DKRZ



17. und 18. Juni 2019
Auftrittstreffen zum Projekt AtMoDat am DKRZ



16. bis 20. Juni 2019
DKRZ präsentiert sich auf der *Internationalen Supercomputing Conference (ISC'19)* in Frankfurt/Main



19. bis 21. Juni 2019
DKRZ organisiert 2. DYAMOND-ESIWACE-Hackathon in Mainz



20. bis 23. Juni 2019
DKRZ präsentiert sich beim Sommer des Wissens auf dem Hamburger Rathausmarkt



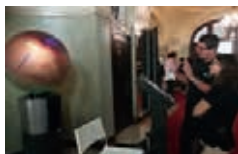
1. Juli 2019

Hannes Thiemann übernimmt die Leitung der Abteilung Datenmanagement am DKRZ



3. bis 5. Juli 2019

Workshop zur Visualisierungssoftware NCL am DKRZ



23. bis 24. Juli 2019

DKRZ beim Climate Summit des European Institute of Technology (EIT) in Hamburg



August 2019

Data Management Stories Nr. 6 zum Projekt HAPPI-DE erscheint

16. bis 20. September 2019

DKRZ engagiert sich beim Bildungsprogramm Wetter.Wasser.Waterkant



27. bis 29. September 2019

DKRZ präsentiert sich bei der 11. Klimawoche auf dem Hamburger Rathausmarkt



20. bis 25. Oktober 2019

DKRZ organisiert *Visualization Spotlight* auf IEEE-Visualisierungskonferenz in Vancouver, Kanada



Oktober 2019

DKRZ veröffentlicht Imagefilm zum Projekt ESIWACE



25. und 26. November 2019

Auftakttreffen des deutsch-chinesischen Projekts Monsoon 2.0 in Hamburg



17. bis 22. November 2019

DKRZ nimmt an *Supercomputing Conference (SC'19)* in Denver, USA teil



3. und 4. Dezember 2019

Workshop zur Visualisierungssoftware ParaView am DKRZ

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:



Das DKRZ ist wichtiger Partner von vielen Institutionen und integriert in nationale, europäische und internationale Kooperationen.



Centrum für Erdsystemforschung und Nachhaltigkeit an der Universität Hamburg



EXZELLENZCLUSTER
CLIMATE, CLIMATIC CHANGE,
AND SOCIETY (CLICCS)



Impressum

Herausgeber

Deutsches Klimarechenzentrum GmbH
Bundesstraße 45a
20146 Hamburg
www.dkrz.de
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, Ivonne Anders, Jörg Behrens, Joachim Biercamp, Hendryk Bockelmann, Michael Böttinger, Merret Buurman, Carsten Ehbrecht, Claudia Frauen, Kerstin Fieg, Ulf Garternicht, Daniel Heydebreck, Dieter Kasang, Stephan Kindermann, Andrea Lammert, Michael Lautenschlager, Thomas Ludwig, Claudia Martens, Jana Meyer, Maria Moreno de Castro, Karsten Peters, Niklas Röber, Martin Schupfner, Dela Spickermann, Hannes Thiemann, Frank Toussaint, Fabian Wachsmann, Tobias Weigel, Florian Ziemer

Gestaltung

Gerrit Horwege, Jeran und Horwege Design GbR
www.j-h-design.de

Druck

dieUmweltDruckerei GmbH Hannover
www.dieumweltdruckerei.de/

Bildnachweis

Schleussner et al., 2018 (<https://doi.org/10.1146/annurev-environ-102017-025835>, S. 7), IPCC-Sonderbericht über 1,5°C Globale Erwärmung, 2018 (S. 8), Stevens et al., 2019 (CC-BY 4.0, <https://doi.org/10.1186/s40645-019-0304-z>, S. 14), Karin Meier-Fleischer HYPERLINK „http://www.seadatanet.org/content/download/3495/file/SDC_WP4_D4.6_Posterv3_web.pdf“ www.seadatanet.org/content/download/3495/file/SDC_WP4_D4.6_Posterv3_web.pdf (Delphin, S. 32), Schlitzer, 2000: Electronic Atlas of WOCE Hydrographic and Tracer Data Now Available, Eos Trans. AGU, 81(5), 45, 2000. (S. 31), NASA Worldview (S. 50), Uni Hamburg/ CEN (S. 45), UHH/Ohme (S. 60, 68), Wolfgang Köhler (meermenschen, www.wolfgangkoehler.com, S. 56, 66), Atos (S. 49), By SangyaPundir - Own work (CC BY-SA 4.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=53414062>), DKRZ (alle weiteren Fotos und Grafiken)

Klimaneutral gedruckt auf FSC-zertifiziertem Papier

