



DKRZ

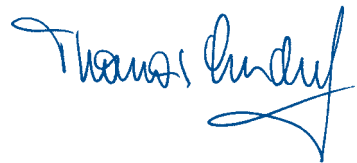
DEUTSCHES
KLIMARECHENZENTRUM

2020
2021



Liebe Leser:innen,

wir freuen uns, Ihnen unser Jahrbuch 2020/2021 zu präsentieren, in dem wir interessante Details unserer Arbeiten zusammengestellt haben. Die beiden Jahre waren geprägt durch die Corona-Pandemie: Nahezu alle Mitarbeiter:innen arbeiteten im Homeoffice, und Besprechungen, Workshops, Konferenzen fanden virtuell statt. Trotzdem war das DKRZ in vielen Bereichen ausgesprochen erfolgreich, wie Sie dem Jahrbuch entnehmen können. Wir haben laufende Projekte abschließen können und zahlreiche neue begonnen. Gleichzeitig haben wir in den beiden Jahren das Team des DKRZ deutlich vergrößert – nicht alle Mitglieder hatten aber bisher eine Chance, sich im wirklichen Leben persönlich zu treffen. Durch unsere neuen Homeoffice-Vereinbarungen werden wir auch nach der Pandemie neue Varianten der Zusammenarbeit ermöglichen und ausbauen. Im Jahr 2021 begannen die Installationen des neuen Rechners Levante zusammen mit dem hierarchischen Speicherverwaltungssystem. Wir bereiten damit den Weg zur Bearbeitung spannender neuer Forschungsfragen. Gleichzeitig blicken wir mit Freude auf die zurückliegenden Jahre und insbesondere die Anfänge des DKRZ: Prof. Klaus Hasselmann, der maßgeblich an seiner Gründung beteiligt war, erhielt 2021 zusammen mit Syukuro Manabe und Giorgio Parisi den Nobelpreis für Physik. Ich möchte Sie einladen, auf den folgenden Seiten als erstes die spannende Darstellung von Hasselmanns wissenschaftlichen Beiträgen nachzulesen, die vom Nobel-Komitee ausgezeichnet wurden. Wir hoffen, dass Sie auch an den folgenden Beiträgen des Jahrbuches Interesse finden werden und wünschen Ihnen viel Freude beim Lesen.



Ihr Thomas Ludwig

4	Im Fokus
6	Zum Physiknobelpreis für Klaus Hasselmann – Rückblick auf die Entwicklung des DKRZ
14	HLRE-4: Das neue Arbeitspferd für die Klimaforschung in Deutschland
18	Ergebnisse
20	CMIP6: Simulationen für die weltweite Klimaforschungsgemeinschaft
24	ESCAPE-2: Skalierbare Erdsystemmodelle
26	Laufende Projekte
28	ESiWACE: Neue Generationen von Klimamodellen und Supercomputern
30	Exzellenzcluster CLICCS: Klimasystem, Klimawandel und Gesellschaft
32	AtMoDat: Standardisierung von Atmosphärenmodelldaten
34	PalMod: Simulation eines vollständigen Eiszeitzyklus
36	IS-ENES3: Etablierung einer nachhaltigen europäischen Klimadateninfrastruktur
39	EOSC: Ab in die (europäische) Wolke
40	Neue Projekte
42	Helmholtz AI: Maschinelles Lernen für die Erdsystemwissenschaften
44	RegIKlim & ClimXtreme: Zukünftiger Klimawandel in Deutschland
46	preWarmWorld: Anpassung des ICON-Modells an Exascale-Rechner
48	NextGEMS: Die nächste Generation von Erdsystemmodellen
50	Vorschau
52	CLINT: Kombinierte Intelligenz Mensch und Maschine untersuchen das Klima
53	Das natESM-Support-Team: Gemeinsam zur nationalen Modellierungsstrategie
54	NFDI4Earth nimmt Arbeit auf
55	M-VRE: Virtuelles Labor für MOSAiC-Daten
56	Veranstaltungen, Workshops
58	Veranstaltungen
61	Workshops
65	Panorama
69	Zahlen, Daten, Fakten
74	Chronik 2020
76	Chronik 2021
78	Das DKRZ und seine Partner
79	Impressum



Im Fokus

Zum Physiknobelpreis für Klaus Hasselmann – Rückblick auf die Entwicklung des DKRZ

Für seine Beiträge zur physikalischen Modellierung des Erdklimas, der Quantifizierung der natürlichen Klimavariabilität und die zuverlässige Vorhersage der globalen Erwärmung hat Prof. Klaus Hasselmann gemeinsam mit Syukuro Manabe (USA, gebürtig aus Japan) und Giorgio Parisi (Italien) den Nobelpreis für Physik 2021 erhalten. Hasselmann, Gründungsdirektor des Max-Planck-Instituts für Meteorologie (MPI-M) in Hamburg, war 1987 maßgeblich an der Gründung des DKRZ beteiligt und leitete es als wissenschaftlicher Geschäftsführer bis zu seiner Emeritierung 1999.

Klimavariabilität durch das Rauschen des Wetters

Die Würdigung exzellenter Forschung durch das Nobel-Komitee erfolgt oft wesentlich später als die Arbeit selbst, da deren Relevanz für die Menschheit vielfach erst in der Rückschau deutlich wird. Ein Großteil der wissenschaftlichen Leistungen Hasselmanns, die vom Nobel-Komitee ausgezeichnet wurden, sind theoretischer Art und haben bereits in den 1970er Jahren Grundlagen dafür gelegt, dass heute Klimaentwicklungen über längere Zeiträume realitätsnah simuliert werden können. Eine der großen Schwierigkeiten der Klimamodellierung lag bis dahin in den unterschiedlichen Zeitskalen von Wetter- und Klimaprozessen, die von den Modellen repräsentiert werden müssen. Hasselmann entwi-

ckelte eine mathematische Beschreibung des schnell ablaufenden hochvariablen Wettergeschehens als statistischem Rauschen, welches auf das langsam veränderliche Klima einwirkt und es zum Schwingen bringt, d.h. die natürliche Klimavariabilität anregt. Mit einem stochastischen Klimamodell konnte er zeigen, dass kein zusätzlicher externer Antrieb (wie etwa Schwankungen der Sonnenaktivität) notwendig ist, um Klimavariabilität auf längeren Zeitskalen zu erklären [1].

Entwicklung eines physikalischen Klimamodells

Für konkretere Aussagen über zukünftige Klimaentwicklungen mussten die konzeptionellen Modelle zu komplexen, dynamischen quasi-realistischen Modellen weiterentwickelt werden. Seit Anfang der 1980er Jahre betrieben das MPI-M und das Meteorologische Institut der Universität Hamburg (MI) ein gemeinsames kleines Rechenzentrum, zuletzt mit dem Supercomputer Control Data CDC Cyber-205. Auf diesem setzten das MI sein 3D-Atmosphärenmodell und das MPI-M sein Ozeanmodell (*Large Scale Geostrophic ocean model*, kurz: LSG-Modell) für ihre Simulationen ein. Mit dem Ziel, gemeinsam ein globales gekoppeltes Klimamodell zu entwickeln, überzeugte Hasselmann das MI-Team, dessen Modell durch das qualitativ noch bessere globale Wettervorhersagemodell des Europäischen Zentrums für

Abb. 1: Klaus Hasselmann erhielt am 7. Dezember 2021 den Nobelpreis für Physik (gemeinsam mit Syukuro Manabe und Giorgio Parisi). Das gesamte DKRZ-Team gratulierte seinem Gründungsdirektor zu dieser Auszeichnung.

mittelfristige Wettervorhersage (ECMWF) zu ersetzen und anhand der in Hamburg entwickelten Parametrisierungen für Klimazeitskalen zu adaptieren (ECHAM-Modell). Für Klimasimulationen mit einem voll gekoppelten 3D-Atmosphären-Ozean-Modell war der Hauptspeicher der Cyber-205 jedoch zu klein und die Rechenleistung zu gering.

Um deutschen Klimaforscher:innen das für gekoppelte 3D-Simulationen dringend benötigte Rechnersystem an die Hand zu geben, wurde die Idee für ein Deutsches Klimarechenzentrum geboren. 1987 wurde das DKRZ auf Betreiben von Hasselmann als nationale fachspezifische Forschungsinfrastruktur gegründet, und bereits 1988 nahm es einen international konkurrenzfähigen Supercomputer, die CRAY-2S, in Betrieb.

Gemeinsam mit dem MI wurde nun ein physikalisches Klimamodell, also ein gekoppeltes 3D-Zirkulationsmodell von Atmosphäre und Ozean, entwickelt und mit ersten Simulationen erprobt. Etwa 1990 folgten die ersten Szenarienrechnungen, die aufzeigten, wie sich die bodennahe Lufttemperatur bei verschiedenen Anstiegen der Treibhausgaskonzentration ändern könnte und welche weiteren Klimaänderungen damit verbunden wären [2].

Nachweis des menschlichen Einflusses

Gleichzeitig konnten so die notwendigen Modelldaten für die von Hasselmann bereits 1979 beschriebene Vorgehensweise zur Verbesserung des Signal-zu-Rausch-Verhältnisses beobachteter Atmosphärendaten berechnet [3] und schließlich auch der menschliche „Fingerabdruck“ [4] im beobachteten Temperaturan-



stieg statistisch nachgewiesen werden [5]. Hasselmann hatte damit als Erster wissenschaftlich nachgewiesen, dass der bis dahin beobachtete Klimawandel zum großen Teil menschengemacht ist.

DKRZ: Rechenleistung für Klimasimulationen und erste Dienste

Das von Hasselmann und dem Physiker Wolfgang Sell geleitete DKRZ bot bereits Anfang der 1990er Jahre erste über die üblichen Rechenzentrumsleistungen hinausgehende fachspezifische Dienste an. Die 1991 neu eingerichtete Abteilung „Modellbetreuung“ leistete Unterstützung in der Anwendung verschiedener Modellcodes und im Umgang mit Klimadaten. Ein weiterer neuer Service entstand im Bereich Visualisierung, so dass die Wissenschaftler:innen ihre simulierten zeitlich-räumlichen Modelldaten in Form animierter Visualisierungen darstellen und aufzeichnen konnten. Das war nicht nur für den wissenschaftlichen Erkenntnisgewinn hilfreich, sondern auch für die Kommunikation mit der Fachwelt und der Öffentlichkeit, wie etwa durch die Nutzung in TV-Beiträgen.

Im Hinblick auf die UN-Konferenz für Umwelt und Entwicklung 1992 („Rio-Konferenz“) entwickelten Dr. Joachim Biercamp und Michael Böttinger vom DKRZ gemeinsam mit Hasselmann ein Konzept für einen Film, der die neuesten mit einem gekoppelten 3D-Atmosphäre-Ozeanmodell durchgeführten Szenarienrechnungen vorstellt. Erstaunlicherweise ist dieser fast 30 Jahre alte Film immer noch hochaktuell [6].

Abb. 2: 1988 wurde eine CRAY-2S im neu gegründeten DKRZ installiert – seinerzeit einer der schnellsten Supercomputer weltweit.

Mit dem steigenden Datenaufkommen durch Szenarienrechnungen und viele weitere Simulationen wuchs nicht nur der Bedarf an Rechenleistung; auch die berechneten Klimadaten sollten langfristig verfügbar gemacht werden. 1991 führte das DKRZ ein Magnetband-basiertes hierarchisches Speichersystem (HSM) ein, um Simulationsdaten zu archivieren und dabei leicht zugänglich zu halten. Im Hinblick auf das Suchen bzw. Finden von Daten anhand von Metadaten wurde am DKRZ die relationale Klimadatenbank CERA entwickelt, in die seit 1993 Datensätze einfließen, die von der Klima- und Klimafolgenforschungsgemeinschaft besonders häufig benötigt werden. Diese Datenbank bildet die Basis für das zertifizierte *World Data Center for Climate (WDCC)*. Um den weiter steigenden Bedarf an Rechenleistung zu befriedigen, wurde 1994 die Cray-2S durch den etwa 10-mal leistungsfähigeren Cray C916-Supercomputer ersetzt.

Im Vorfeld der UN-Klimakonferenz in Berlin 1995 produzierte das DKRZ einen weiteren Film [7], der noch im selben Jahr mit dem Deutschen Wirtschaftsfilmpreis ausgezeichnet wurde. Der Film erklärt die Grundlagen des Klimasystems und zeigt Beispiele seiner Modellierung anhand von Simulationen von Atmosphäre, Ozean, Meereis, Biosphäre, chemischen Prozessen bis hin zu Vulkanausbrüchen. Die Nützlichkeit von Klimamodellen für die Gesellschaft wird am Beispiel des El-Niño-Phänomens demonstriert. Dieses bringt weltweite Klima-anomalien mit sich, die jedoch mit gekoppelten Modellen vorhersagbar werden. Weiterhin werden neue Szenarienrechnungen, die nun auch die Wirkung von Aerosolen berücksichtigen, erläutert, bevor schließlich die Anwendung der Fingerabdruckmethode zum

Nachweis des menschlichen Anteils am bereits beobachteten Klimawandel demonstriert wird.

Weitere Entwicklungen in der Klimamodellierung und am DKRZ

Die Klimamodelle wurden in den 1990er Jahren in Auflösung und Komplexität weiter verbessert. Der dadurch steigende Bedarf an Rechenleistung konnte seitens der

Hersteller großteils nur durch ein höheres Maß an Parallelisierung gedeckt werden. Es wurden Systeme mit steigender (aber moderater) Anzahl von Prozessoren, die einen gemeinsamen Hauptspeicher nutzen, entwickelt – wie etwa die neue Cray C916 am DKRZ. Zusätzlich zu diesem neuen Arbeitspferd beschaffte das DKRZ 1994 auch ein erstes massiv-paralleles Rechnersystem, eine Cray T3D mit zunächst 32 Prozessoren (später 64). Auf diesem System mit verteiltem Hauptspeicher und ei-

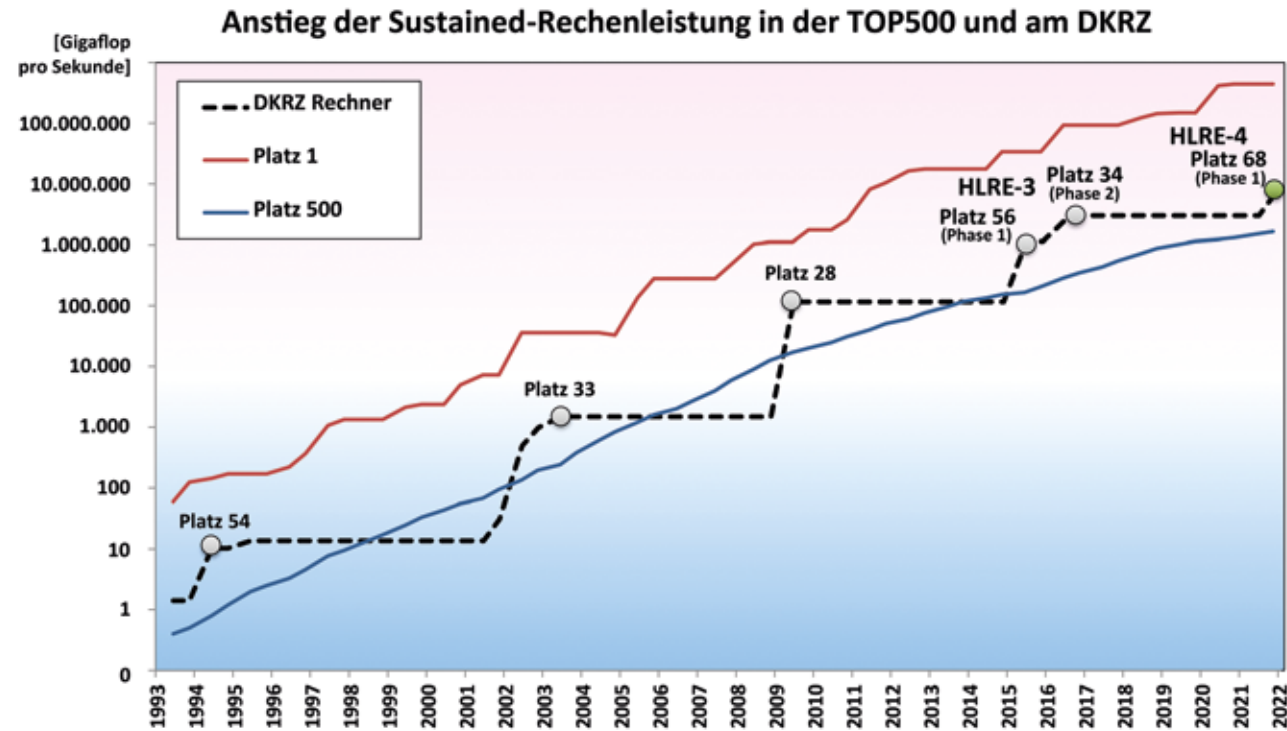


Abb. 3: Entwicklung der Rechenleistung der am DKRZ installierten Supercomputer im Vergleich zur TOP500. Die Stufen der gestrichelten Linie zeigen die Intervalle, in denen der Klimawissenschaft neue Rechnersysteme zur Verfügung gestellt werden konnten (1994: Cray-C916 mit 16 Prozessoren, 2002/2003: NEC SX-6 mit 192 Prozessoren, 2009: IBM Power 575 mit 8448 Power6 Prozessorkernen, 2015/2016: Atos bullx DLC b720 mit rund 100.000 Prozessorkernen, 2022: Atos BullSequana XH2000 mit rund 360.000 Prozessorkernen)

nem leistungsfähigen Netzwerk, welches den schnellen Datenaustausch zwischen den einzelnen Rechnerknoten ermöglicht, sammelten Forscher:innen erste Erfahrungen mit verteilt laufenden Klimamodellen. Schnell zeigte sich, dass sich die Modelle nur mit erheblichem Programmieraufwand an die Architektur anpassen lassen würden, und dass notwendige Programmänderungen die Lesbarkeit und damit die Weiterentwicklung durch Klimawissenschaftler:innen erschweren würden.

Heutzutage, wo die Modelle längst entsprechend umgeschrieben bzw. neu entwickelt wurden und massiv-parallele Supercomputer Standard sind, tritt übrigens ein ähnliches Problem erneut auf, wenn z.B. Grafikprozessoren (GPUs) anstelle klassischer CPUs für Simulationen eingesetzt werden sollen.

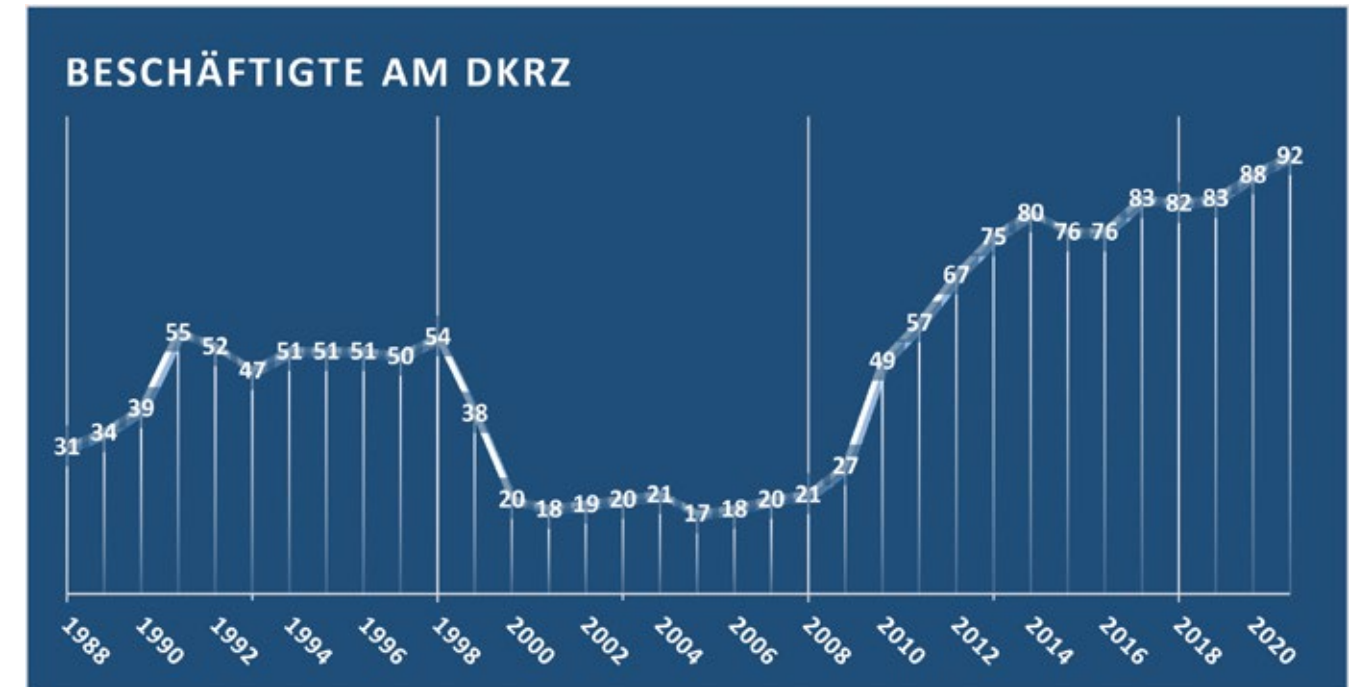


Abb. 4: Entwicklung der Anzahl der Mitarbeiter:innen am DKRZ.

Entwicklung der Rechenleistung, Datenarchivierung und der Beschäftigten am DKRZ

Die gestrichelte Kurve in Abbildung 3 zeigt den Verlauf der am DKRZ installierten Rechenleistung für die letzten 30 Jahre. Zum Vergleich ist jeweils die Leistung des schnellsten (rote Linie) und des letztplatzierten Systems (blaue Linie) der TOP500-Liste dargestellt. Die Kurven folgen einer exponentiellen Entwicklung, daher wurde hier eine logarithmische Y-Achse gewählt. Insgesamt ist die Rechenleistung am DKRZ in diesem Zeitraum etwa um den Faktor 5 Millionen gestiegen!

Um der Klimaforschung die zunehmende Rechenleistung immer komplexerer Supercomputer zu erschließen, müssen die Modell-Codes für jede Rechnergeneration angepasst und optimiert oder sogar teilweise neu geschrieben werden. Zusätzlich zu den Klimaforschenden werden also immer mehr Spezialist:innen für Hochleistungsrechnen (HPC) benötigt, die diese im Informatikbereich unterstützen. Gleiches gilt für das Datenmanagement: Die Ergebnisdaten der Simulationen nehmen ebenfalls sehr schnell an Umfang und Komplexität zu. Gleichzeitig wachsen die Anforderungen, sie immer besser zu dokumentieren und für die Nachnutzungen, etwa durch die Klimafolgenforschung, verfügbar zu machen. Die Beiträge des DKRZ dazu sind vielfältig. Z.B. unterstützt das DKRZ das *IPCC Data Distribution Center (DDC)* seit seiner Gründung, ist Mitbegründer der *Earth System Grid Federation (ESGF)* und ist an der Infrastrukturentwicklung für internationale Modellvergleichsprojekte wie z.B. CMIP beteiligt.

Die Anzahl der DKRZ-Beschäftigten in Abbildung 4 illustriert die unterschiedlichen Phasen der DKRZ-Geschichte. Nach einem anfänglichen Personalausbau wurde das DKRZ nach etwa 10 Jahren restrukturiert; lokale IT-Dienste wurden von der Universität Hamburg und dem MPI-M selbst übernommen. Im Jahr 2000 wurde die DKRZ-Abteilung Modellbetreuung mit etwa 10 Stellen aus dem DKRZ ausgegliedert und als eigenständige, vom BMBF finanzierte Gruppe „Modelle & Daten“ am MPI-M angesiedelt. Das verbleibende Kern-DKRZ fokussierte sich auf den HPC-Betrieb, ergänzt durch wenige, spezialisierte Dienste. Erst ab 2009 mit der Berufung von Thomas Ludwig als Informatik-Professor und neuem Geschäftsführer des DKRZ wurde das Personal aufgestockt, um den steigenden Bedarf an HPC-spezifischen Diensten personell zu unterfüttern. 2010 kehrte die Gruppe „Modelle & Daten“ als neue Abteilung Datenmanagement ins DKRZ zurück.

Der weitere starke Zuwachs des DKRZ-Teams seit 2010 resultiert auch aus Drittmittelprojekten. Das DKRZ beteiligt sich an zahlreichen nationalen und europäischen Infrastrukturprojekten sowie den Infrastrukturteilen klimawissenschaftlicher Projekte, um die Arbeitsumgebung für die Klimaforschenden zu verbessern, der gestiegenen System- und Programmkomplexität entgegenzuwirken, die Anwendbarkeit neuer Methoden in der Klimaforschung zu erkunden (z.B. Maschinelles Lernen), die Speicherung, das Auffinden, die Publikation und den Austausch von Daten angesichts des großen Zuwachses zu erleichtern und der deutschen Klimaforschung damit schließlich eine optimale national und international vernetzte Forschungsinfrastruktur bereitzustellen. So trägt z.B. das seit 7 Jahren vom

DKRZ koordinierte EU-finanzierte *Center of Excellence ESiWACE* dazu bei, den technischen und wissenschaftlichen Herausforderungen besonders hoch aufgelöster Wetter- und Klimamodelle zu begegnen und diese auf die kommende Generation von Supercomputern im Exascale-Bereich vorzubereiten. Entsprechend seiner Beiträge ist das DKRZ seit 2020 offiziell als Partner in die weitere Entwicklung des neuen Klimamodells ICON eingebunden.

Literatur:

[1] Hasselmann, K. (1976). Stochastic climate models - 1. Theory. *Tellus*, 28, 473-485. <https://doi.org/10.3402/tellusa.v28i6.11316>

[2] Cubasch, U., Hasselmann, K., Höck, H., Maier-Reimer, E., Mikolajewicz, U., Santer, B.D., & Sausen, R. (1992). Time-dependent greenhouse warming computations with a coupled ocean-atmosphere model. *Climate Dynamics*, 8, 55-69. <https://doi.org/10.1007/BF00209163>

[3] Hasselmann, K. (1979). On the signal-to-noise problem in atmospheric response studies. In D. B. Shaw (Ed.), *Meteorology over the tropical oceans* (pp. 251-259). Bracknell: Royal Meteorological Society. https://pure.mpg.de/rest/items/item_3030122_2/component/file_3030123/content

[4] Hasselmann, K. (1993). Optimal Fingerprints for the Detection of Time-dependent Climate Change, *Journal of Climate*, 6(10), 1957-1971. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(1993\)006%3C1957:OFFTDO%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(1993)006%3C1957:OFFTDO%3E2.0.CO;2)

[5] Hegerl, G. C., von Storch, H., Hasselmann, K., Santer, B. D., Cubasch, U., & Jones, P. D. (1996). Detecting Greenhouse-Gas-Induced Climate Change with an Optimal Fingerprint Method, *Journal of Climate*, 9(10), 2281-2306. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(1996\)009%3C2281:DGGICC%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(1996)009%3C2281:DGGICC%3E2.0.CO;2)

[6] Film: Das Klima der nächsten 100 Jahre (1992), https://youtu.be/6c39h0_Q_14

[7] Film: Klimasimulationen – Vorhersage des Globalen Wandels (1995), <https://youtu.be/A0pntHHIGBU>

HLRE-4: Das neue Arbeitspferd für die Klimaforschung in Deutschland



Abb. 5: Das vierte Hochleistungsrechnersystem für die Erdsystemforschung (HLRE-4) „Levante“

Die Beschaffung und Inbetriebnahme des neuen, vierten Hochleistungsrechnersystems für die Erdsystemforschung (HLRE-4) „Levante“ und damit die Ablösung seines Vorgängersystems „Mistral“ repräsentieren für das DKRZ zweifellos einen der wichtigsten Meilensteine der letzten Jahre. Nach einer EU-weiten Ausschreibung und der nachfolgenden Auswertung der Angebote wurde im November 2020 ein Kaufvertrag mit der Firma Atos für den neuen Supercomputer geschlossen, der im Vollausbau etwa eine Verfünffachung der Rechenleistung am DKRZ verglichen mit dem alten Supercomputer Mistral erreichen soll. Die Anlieferung und die Installation der Hardware erfolgten im zweiten Halbjahr 2021.

Wachwechsel

Das Vorgängersystem Mistral (HLRE-3), ebenfalls ein Supercomputer von Atos, wurde 2015 in Betrieb genommen und hat dazu beigetragen, den international exzellenten Ruf der deutschen Klimaforschung zu festigen und weiter auszubauen. So wurde beispielsweise der überwiegende Teil der deutschen CMIP6-Simulationen, die im Hinblick auf den neuen, sechsten Weltklimastatusbericht durchgeführt wurden, auf Mistral gerechnet. Nach einer etwa dreimonatigen Übergangsphase, in der beide Systeme parallel betrieben werden, um Anwendungen und Daten auf das neue System zu übertragen, wird Mistral in den verdienten Ruhezustand geschickt.

Der mehrmonatige Parallelbetrieb beider Supercomputer stellt angesichts der vorhandenen technischen und Gebäude-Infrastruktur, des Strom-, Kühlungs- und

Platzbedarfs sowie des Gewichtes der Systeme und Komponenten eine besondere planerische Herausforderung dar. So wird etwa der größte Teil der Dachfläche und zulässigen Dachlast des DKRZ-Gebäudes durch Wärmetauscher eingenommen, die das alte System kühlen. Die zusätzlich erforderlichen Wärmetauscher der besonders energieeffizienten Hochtemperaturflüssigkeitskühlung des neuen Rechners mussten daher in Form zweier neuartiger, platzsparender Rückkühlaggregate auf dem Dach des benachbarten Universitätsgebäudes installiert werden. Jedes dieser etwa 5 Tonnen schweren Aggregate liefert dank adiabatischer Vorkühlung an heißen Tagen eine Kühlleistung von bis zu 1.600 kW. In der kalten Jahreszeit wird ein großer Teil der Abwärme des Rechnersystems in die Heizungsanlage des Nachbargebäudes der Universität eingespeist.



Abb. 6: Installation der Rückkühlwerke für Levante auf dem Dach des Nachbargebäudes.

Das Rechnersystem

Levante basiert auf der BullSequana XH2000-Technologie der Firma Atos. Die CPU-Partition umfasst 2.832 Rechnerknoten mit jeweils zwei Prozessoren, die zusammen eine Spitzenrechenleistung von 14 PetaFLOPS liefern. Das sind 14 Billionen mathematische Operationen pro Sekunde. Das System ist mit der dritten Generation von Prozessoren des Typs AMD EPYC ausgestattet, die jeweils über 64 Prozessorkerne verfügen, so dass die Rechnungen auf insgesamt mehr als 360.000 Prozessorkerne verteilt werden können. Der gesamte Hauptspeicher des Systems umfasst mehr als 800 Terabyte; das entspricht dem Hauptspeicher von etwa 100.000 Laptops. Um unterschiedliche Anforderungsklassen abzudecken, verfügen die Einzelsysteme, aus denen der Supercomputer zusammengesetzt ist, über Hauptspeichergrößen zwischen 256 und 1.024 Gigabyte.

Zusätzlich zu den klassischen Prozessoren erhält Levante im Sommer eine Partition mit 60 GPU-Beschleunigerknoten, die gemeinsam eine Spitzenrechenleistung von 2,8 PetaFLOPS haben. Jeder GPU-Knoten ist mit zwei AMD-EPYC-Prozessoren sowie vier NVIDIA-A100-Grafikprozessoren ausgestattet, wobei 56 dieser Knoten über GPUs mit 80 Gigabyte, und vier Knoten über GPUs mit 40 Gigabyte Grafikspeicher verfügen. Diese zunehmend heterogene Hardware-Architektur stellt die wissenschaftliche Software-Entwicklung vor sehr große Herausforderungen. Das DKRZ wird seine Nutzer:innen darin unterstützen, ihre Arbeitsmethoden (z.B. die Portierung von Programmcodes oder den Einsatz Maschinellen Lernens) so anzupassen, dass sie diese Entwicklung im Bereich des Hochleistungsrechnens nutzen können.

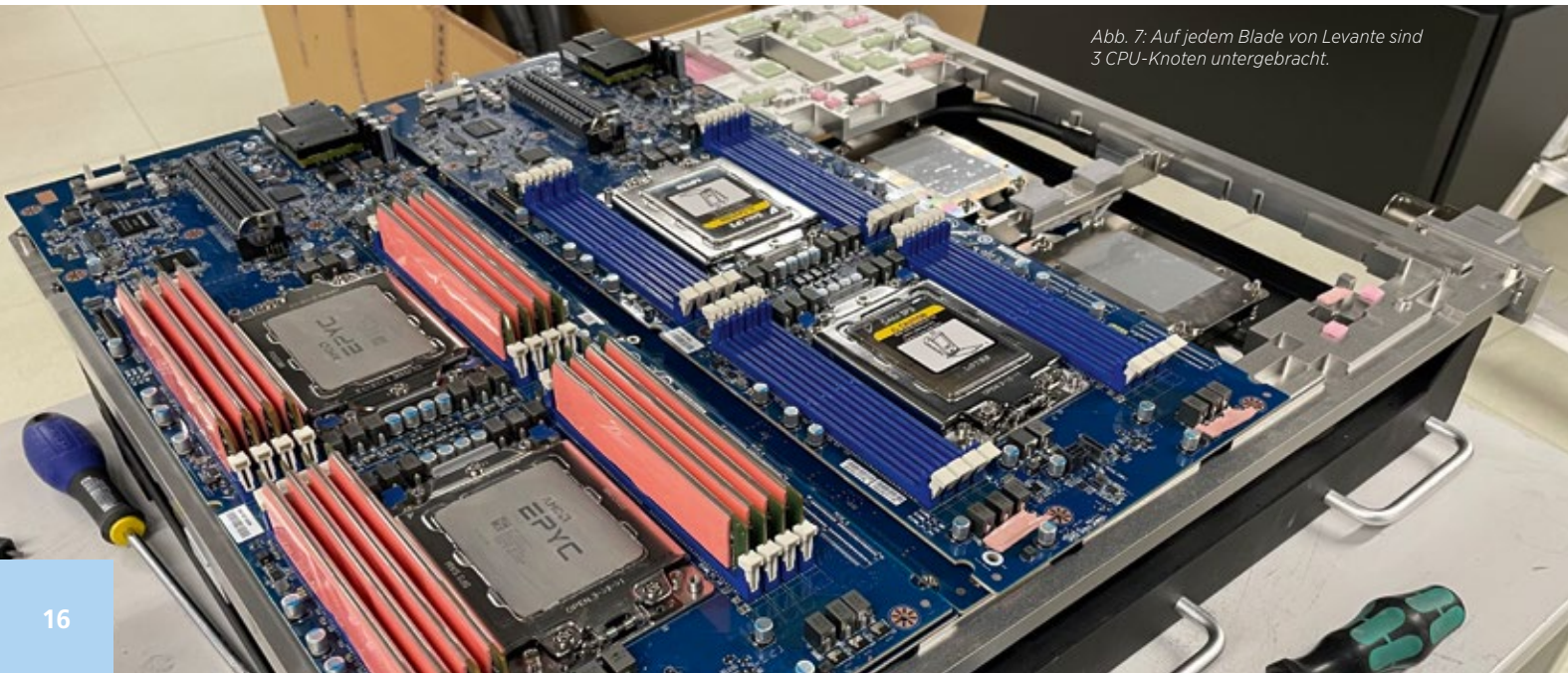


Abb. 7: Auf jedem Blade von Levante sind 3 CPU-Knoten untergebracht.



Abb. 8: Levante - rechts im Bild das Festplattensystem der Firma DDN.

Zur Datenübertragung zwischen den Rechnerknoten und den Speicherkomponenten nutzt Levante NVIDIA-Mellanox-InfiniBand-HDR-200G-Technologie, mit der eine Datenübertragungsrate von bis zu 200 GBit/s erzielt werden kann.

Für die Speicherung der berechneten Simulationsergebnisse ist Levante mit einem etwa 130 Petabyte großen Speichersystem der Firma DDN ausgerüstet. Damit steht nun mehr als das Doppelte des bisherigen Speicherplatzes zur Verfügung. Im Vergleich zu einem herkömmlichen Laptop mit 1 Terabyte Festplattenplatz

erreicht der Supercomputer etwa das 130.000-fache von dessen Speicherkapazität.

Archivsystem

Um den durch die höhere Rechenleistung zu erwartenden Anstieg in der Menge neu produzierter Forschungsdaten bewältigen zu können, wurde ergänzend zum neuen Supercomputer auch das Hierarchische Datenmanagementsystem erneuert. Die neue Speicherverwaltungslösung namens StrongLink der Firma StrongBox Data Solutions verwaltet die bereits vorhandenen 9 Bandbibliotheken mit insgesamt 79.000 Stellplätzen und 90 LTO-Bandlaufwerken. Das neue, von Cristie Data konzipierte HSM ermöglicht es, jährlich bis zu 120 Petabyte neu generierte Daten zu speichern.

Finanzierung

Die Bereitstellung der Mittel erfolgt auf der Basis des im November 2017 geschlossenen Finanzierungsabkommens zwischen der Helmholtz-Gemeinschaft, der Max-Planck-Gesellschaft und der Freien und Hansestadt Hamburg. Insgesamt steht für das Projekt HLRE-4 ein Betrag von 45 Millionen Euro bereit.

Webseite:
www.dkrz.de/de/levante-start/



Ergebnisse

CMIP6: Simulationen für die weltweite Klimaforschungsgemeinschaft

Die Weltklimaberichte des IPCC (Zwischenstaatlicher Ausschuss für Klimaänderungen), die den jeweils aktuellen Wissensstand zu Klimasystem und Klimawandel dokumentieren, sind ein wichtiges Werkzeug für Politik und Verwaltung. 2021 erschien der erste von drei Teilen des sechsten Sachstandsberichtes (IPCC AR6); die weiteren Teile folgen 2022. Aussagen über zukünftige Klimaänderungen im ersten Teil basieren weitgehend auf Ergebnissen von Klimasimulationen, die von zahlreichen internationalen Forschungsgruppen bzw. ihren Modellen innerhalb des Klimamodellvergleichsprojekts CMIP6 (*Coupled Model Intercomparison Project Phase 6*) berechnet wurden. Ziel von CMIP ist es, vergangene und aktuelle Klimaentwicklungen durch den Vergleich unterschiedlicher Modelle besser zu verstehen, sowie statistisch abgesicherte Projektionen plausibler zukünftiger Entwicklungen zu erstellen. Um die Ergebnisse unterschiedlicher Modelle vergleichen zu können, erarbeitet CMIP unter anderem Standards für Simulationen, Datenformate und Auswertalgorithmen, so dass Klimaforschende ihre Erkenntnisse unmittelbar untereinander teilen, vergleichen und bewerten können.

DICAD: Der deutsche CMIP6-Beitrag

Der deutsche Beitrag zu CMIP6 wurde von 2016 bis 2020 über das BMBF-geförderte Projekt DICAD (Bereitstellung des nationalen Beitrags zur Datenbasis des

IPCC AR6 und Unterstützung der CMIP6-Aktivitäten in Deutschland) koordiniert und unterstützt. Das DKRZ war an der Durchführung der CMIP6-Simulationen sowie der Speicherung, Bearbeitung und Bereitstellung der Ergebnisdaten für die Wissenschaft beteiligt. Die Simulationen für den deutschen CMIP6-Beitrag wurden größtenteils auf dem Hochleistungsrechner Mistral am DKRZ durchgeführt und über den ESGF-Datenknoten am DKRZ publiziert. Im Hinblick auf weitere Datennachnutzungen unterstützt das DKRZ Datenveröffentlichungen auch über das Ende der Projektförderung hinaus. Dank einer Kooperation zwischen der Universität Hamburg, dem Max-Planck-Institut für Meteorologie und dem DKRZ konnten so die bereits zuvor veröffentlichten CMIP6-Simulationen durch ein neues Ensemble aus 130 historischen und Szenarienexperimenten (insgesamt knapp 13.000 Modelljahre) ergänzt werden. So sollen sowohl die in CMIP6 gegenüber CMIP5 verbesserten Antriebsdaten als auch das verbesserte Modell MPI-ESM1.2 für laufende Grand-Ensemble-Studien erschlossen werden.

Simulierte Klimaänderungen

Die zuvor veröffentlichten ersten CMIP6-Szenarienrechnungen basieren auf zwei unterschiedlich aufgelösten Konfigurationen des am MPI-M entwickelten Erdsystemmodells MPI-ESM1.2 sowie dem am AWI entwickelten Klimamodell AWI-CM-1-1. Mit diesen

Modellen wurden Projektionen für die neuen SSP-Klimaszenarien (*Shared Socioeconomic Pathways*) berechnet, welche unterschiedliche sozioökonomische Entwicklungen repräsentieren.

Die Simulationen ergaben, dass im günstigsten Fall (SSP126) die zum Ende des Jahrhunderts erreichte mittlere globale Erwärmung gegenüber dem vorindustriellen Mittel unterhalb von zwei Grad bleiben könnte. Für das pessimistische Szenario SSP585 wird dagegen für das Ende des Jahrhunderts eine im Vergleich zu „heute“ (1995-2014) kräftige Erwärmung von 3,5 bis 4 Grad projiziert. Um die Kommunikation der CMIP6-Simulationsergebnisse zu unterstützen, hat das DKRZ ausführliche Informationen zu den Modellen und Szenarien sowie zahlreiche Visualisierungen

möglicher zukünftiger Entwicklungen der wichtigsten Klimaparameter auf seiner Webseite veröffentlicht.

Die räumliche Änderung der Mitteltemperatur für das pessimistische Szenario SSP585 illustriert regionale Unterschiede in den Temperaturänderungen (Abb.9). Bei fortschreitender Erwärmung wird ein deutlicher Kontrast zwischen der Erwärmung über dem Ozean und über Landflächen erkennbar. Da der Ozean viel Wärme aufnehmen kann und dadurch dämpfend wirkt, erwärmt sich die Luft darüber langsamer bzw. weniger stark als über der Landoberfläche. Die größte Erwärmung tritt allerdings in der Arktis auf, wo sich die Bedeckung des Ozeans mit Meereis und die Schneebedeckung von Landoberflächen verringern.

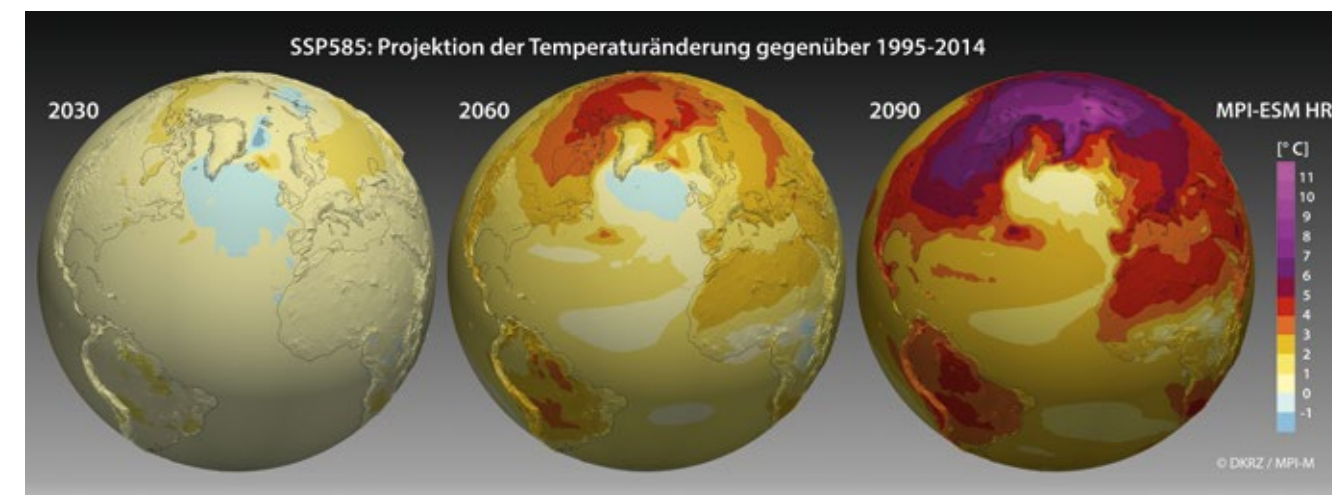


Abb. 9: Mit dem Modell MPI-ESM HR simulierte Änderung der 2m-Temperatur für das eher pessimistische Szenario SSP585. Die drei Erden zeigen das Erwärmungsmuster (Jahresmittel) für die Jahre 2030, 2060 und 2090 jeweils verglichen mit der „heutigen“ Situation (1995-2014).

Datenzugriff und Datenverteilung

Das DKRZ unterstützt die Arbeit des IPCC durch die weltweite Verteilung der deutschen Modelldaten-Beiträge zu CMIP6. Der CMIP-Datenpool am DKRZ stellt mit aktuell knapp 4 Petabyte die größte online verfügbare, qualitätsgeprüfte CMIP6-Datensammlung in Europa bereit und wird als Teil der DKRZ-Dateninfrastruktur betrieben. Mit diesem Service werden Forschende bei der Sammlung, dem Zugriff und der Verarbeitung großer Mengen von Klimadaten unterstützt. Der ebenfalls am DKRZ betriebene Zitierdienst für

CMIP6 gewährleistet zudem, dass alle CMIP6-Daten in Veröffentlichungen zitierbar sind. Die im IPCC AR6 referenzierten CMIP6-Daten werden für die langfristige Nachnutzung, etwa für die Klimafolgenforschung, in das IPCC-AR6-Referenzdatenarchiv des IPCC *Data Distribution Centre* am DKRZ überführt. Über den ESGF-Datenknoten und ein ESGF-Datenportal am DKRZ sind die Daten in die internationale ESGF-Datenföderation zur Verteilung von Klimamodelldaten eingebunden. Im internationalen Vergleich wird der CMIP6-ESGF-Knoten des DKRZ weltweit am häufigsten für Downloads von Daten genutzt (Abb. 10).

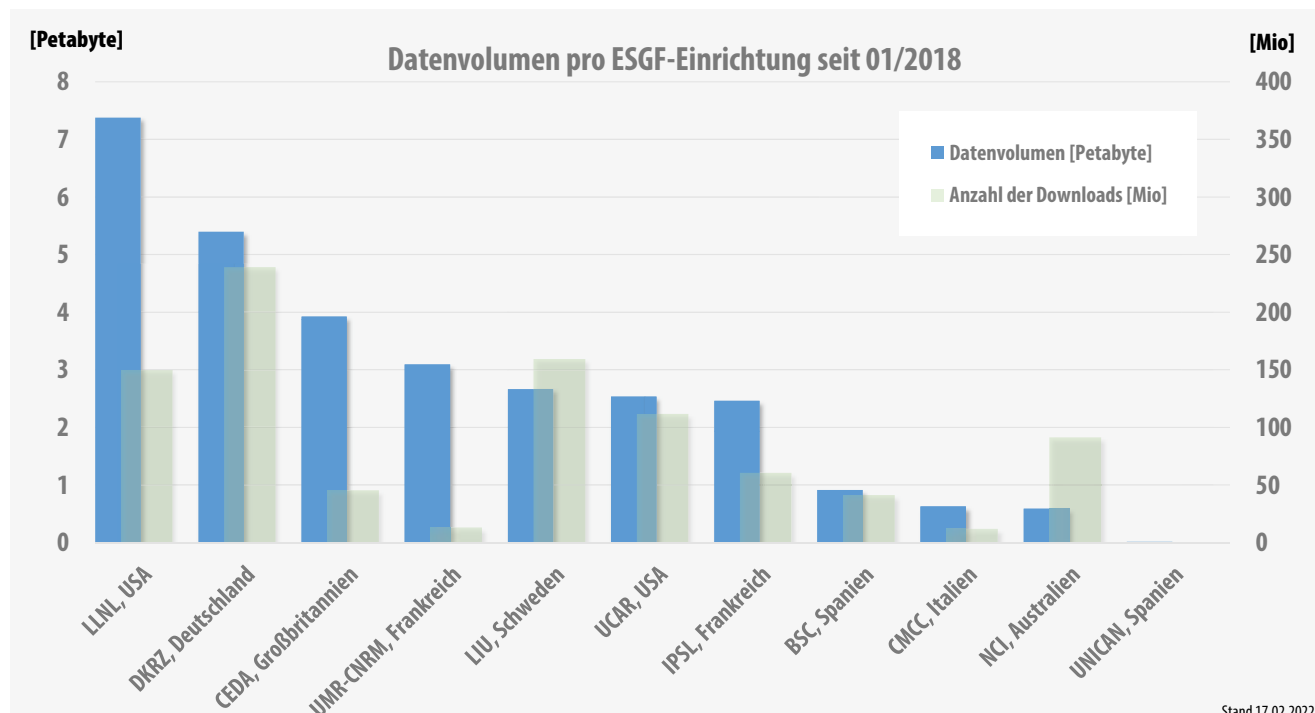


Abb. 10: Die Download-Nutzung des CMIP6-Datenknotens am DKRZ im internationalen Vergleich. Der DKRZ-ESGF-Knoten wurde hinsichtlich der Anzahl der Downloads (ca. 240 Mio.) weltweit am stärksten (grüne Balken), und hinsichtlich des abgerufenen Datenvolumens von mehr als 5 Petabyte (blaue Balken) am zweitstärksten genutzt.

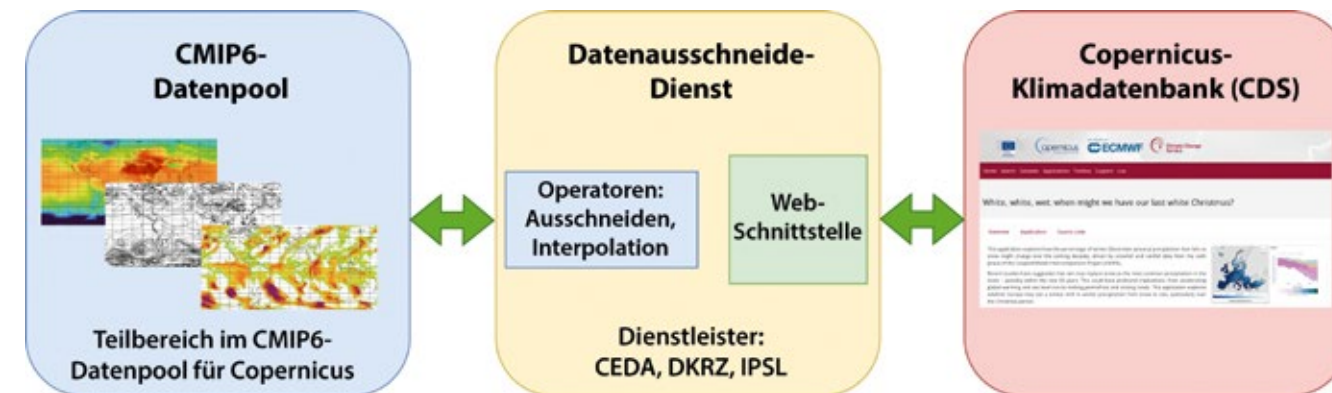


Abb. 11: Einbindung des CMIP6-Datenpools in das europäische Copernicus-Projekt.

CMIP6-Datenpool und Copernicus-Datenbank

Einen weiteren Zugang zu qualitätsgeprüften Teilen des CMIP6-Datenpools am DKRZ bietet der *Copernicus Climate Data Store (CDS)*; siehe Abb. 3). Das EU-geförderte Erdbeobachtungsprogramm Copernicus ermöglicht freien Zugang zu aktuellen Beobachtungsdaten und Simulationsdaten. Die CMIP-CDS-Anbindung wird in enger Kooperation zwischen dem *Institut Pierre-Simon Laplace (IPSL)* in Frankreich, dem *Science and Technology Facilities Council (STFC-UKRI)* in England und dem DKRZ operationell betrieben, um die erforderliche Ausfallsicherheit und Zuverlässigkeit des Dienstes sicherzustellen. Die CDS-Anbindung erlaubt neben dem Download auch die Ausführung einfacher Operationen wie raumzeitliche Ausschnitte oder Interpolation auf andere Gitter.

Projektseite DICAD:
www.dkrz.de/c6de/

Überblick zum CMIP6-Projekt:
www.dkrz.de/de/cmip6-ueberblick/

CMIP6-Klimasimulationen:
www.dkrz.de/de/cmip6/

Copernicus Data Store (CDS):
<https://cds.climate.copernicus.eu/>

Literatur:
Eyring et al. (2016). *GMD*, 9, 1937-1958,
<https://doi.org/10.5194/gmd-9-1937-2016>

ESCAPE-2: Skalierbare Erdsystemmodelle



„Skalierbare“ Algorithmen können effizient auf einer hohen Zahl parallel arbeitender Prozessoren oder Prozessorkernen ausgeführt werden. Im Projekt ESCAPE-2 (*Energy-efficient SCalable Algorithms for weather and climate Prediction at Exascale Phase 2*) entwickelten zwölf europäische Partner, darunter das MPI-M und das DKRZ, gemeinsam hoch skalierende Berechnungsmethoden für europäische Wetter- und Klimamodelle.

Das DKRZ beteiligte sich in ESCAPE-2 an der Entwicklung generischer Programmieransätze, um die Produktivität bzw. Performance-Portabilität für zukünftige Rechnergenerationen sicherzustellen. Dafür wurden algorithmische und technische Aspekte der Modell-Codes weitgehend entkoppelt, indem algorithmische Programmteile zunächst in einer kompakten, hierfür entwickelten Klimamodell-spezifischen *Domain-Specific-Language (DSL)* ausgedrückt werden. Der DSL-Code wird in einem weiteren Schritt in optimierten Code mit spezifischen Programmiererweiterungen für bestimmte

Hardware-Technologien (wie etwa GPUs) übersetzt. So muss der Modellcode nur einmal geschrieben werden, kann aber automatisch und effizient auf unterschiedlichen Plattformen (z.B. Prozessor- oder GPU-basiert) eingesetzt werden.

DKRZ und MPI-M haben für das ICON-Modell die Nutzerschnittstelle – das DSL-Frontend – entwickelt. Meteo-Swiss übernahm das *Back-End*, also die Anpassung auf die Zielhardware. Gemeinsam wurde als *Toolchain* eine Kette von Werkzeugen erstellt (Abb. 12), die DSL-Code für die Zielhardware kompiliert: Diese prüft zunächst den ICON-spezifischen DSL-Code und übersetzt ihn in eine Modell- und Hardware-unabhängige formale Zwischensprache (*HIR High Level Intermediate Representation*). Danach übersetzt das Zielhardware-spezifische Back-End den HIR-Code in einen entsprechend optimierten Code, z.B. in C++ mit CUDA-Erweiterungen (oder in generischen C++-Code).



Abb.12: Vereinfachte Darstellung der entwickelten DSL-Toolchain

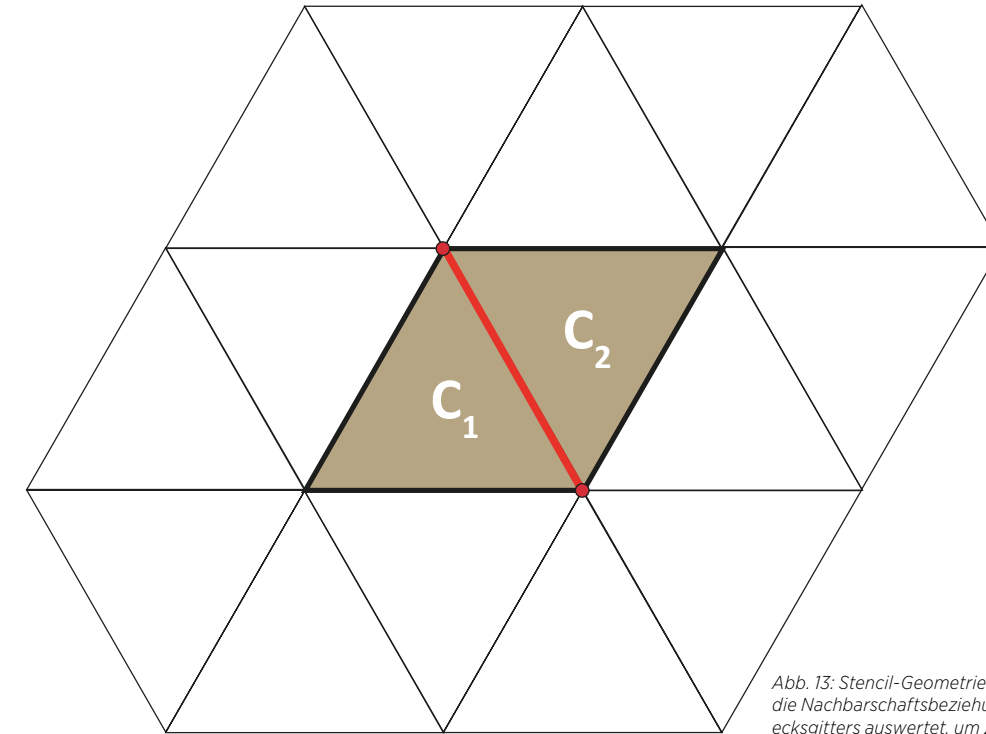


Abb. 13: Stencil-Geometrie eines domänenspezifischen Operators, der die Nachbarschaftsbeziehung zwischen Gitterzellen des ICON-O-Dreiecksgitters auswertet, um z.B. Transporte berechnen zu können.

Die Korrektheit der erzeugten Codes wurde anhand ausgewählter Teile der Modelle ICON und NEMO auf verschiedenen Rechnern evaluiert. Erste Leistungsmessungen zeigten für die erzeugten CUDA-Codes einen Vorteil von ca. 20% verglichen mit einer OpenACC-Implementierung. Im aktuellen Projekt PreWarmWold wird evaluiert, welche Möglichkeiten der DSL-Ansatz für eine erweiterte Leistungsportabilität bietet.

Daneben erstellte das DKRZ gemeinsam mit der Firma Atos federführend eine Benchmark-Suite mit einer für Erdsystemmodelle repräsentativen Performance-Charakteristik. Dieser *High-Performance-Climate-and-Weather-Benchmark (HPCW)* enthält mehrere Modelle sowie charakteristische Algorithmen, um HPC-Systeme

mit Klima- und Wetter-Simulationen zu testen. Dabei können Applikationen wie NEMO, ICON oder IFS sowie neue Entwicklungen wie etwa IFS-FVM verwendet werden.

HPCW ist ein offenes Framework, das leicht um Modelle oder Modellkomponenten erweitert werden oder auf neue HPC-Systeme angepasst werden kann. Innerhalb des EU-Projektes ESIWACE wird HPCW aktualisiert und weiterentwickelt.

Projektwebseite:
www.hpc-escape2.eu/



Laufende Projekte

ESiWACE: Neue Generationen von Klimamodellen und Supercomputern

In den nächsten Jahren werden die ersten Exascale-Supercomputer mit einer Leistung von mehr als einer Trillion (10^{18}) Rechenoperationen pro Sekunde erwartet. Die Anpassung existierender Software auf solche Systeme stellt eine große Herausforderung dar, für deren Lösung EU-geförderte „Centres of Excellence“ gegründet wurden. Das vom DKRZ koordinierte *European Centre of Excellence in Simulation of Weather and Climate in Europe* (ESiWACE) arbeitet an der Verbesserung globaler Wetter- und Klimamodelle durch Erhöhung der räumlichen Auflösung bei Nutzung modernster und größter Supercomputer (Abb. X).

In der zweiten ESiWACE-Phase werden einige der in der EU gebräuchlichsten Modelle so optimiert, dass sie bei möglichst hoher räumlicher Auflösung einen Simulationsdurchsatz von mindestens einem simulierten Jahr pro Tag (SYPD) erreichen.

- Für die deutsche Klimaforschung entwickeln dafür das Max-Planck-Institut für Meteorologie, der Deutsche Wetterdienst (DWD), das Karlsruher Institut für Technologie und das DKRZ das auf einem ikosaedrischen Gitter basierende ICON-Modell. Während der DWD das Modell für die operationelle Wettervorhersage nutzt, wird es, zum Teil gekoppelt mit dem am MPI-M entwickelten ICON-Ozeanmodell, auch für Klimasimulationen eingesetzt. Im Rahmen von ESiWACE arbeitet das

- DKRZ an der Optimierung von ICON. Bei einer Gitterauflösung von 10 km für Ozean und Atmosphäre erreichen aktuelle Simulationen einen Durchsatz von 0,7 SYPD.
- IFS ist das operationelle Wettervorhersagemodell des Europäischen Zentrums für mittelfristige Wettervorhersage und besteht aus dem spektralen Atmosphärenmodell IFS, das mit dem Ozeanmodell NEMO gekoppelt ist. Bei einer Auflösung von 4 km in der Atmosphäre und 25 km im Ozean erreicht der Durchsatz aktuell 0,95 SYPD.
- EC-Earth ist eine *Open-Source*-Version von IFS/NEMO für Klimasimulationen. Das Modell wird u.a. vom Barcelona Supercomputing Zentrum (BSC) und vom Schwedischen Meteorologischen und Hydrologischen Institut entwickelt. Bei einer horizontalen Auflösung von ca. 10 km wird aktuell ein Durchsatz von 1,2 SYPD erreicht.
- In dem vom Institut Pierre Simon Laplace entwickelten neuen Erdsystemmodell IPSL-CM wird das französische Atmosphärenmodell DYNAMICO-LMDZ, das ein ikosaedrisches Gitter verwendet, mit dem Ozeanmodell NEMO gekoppelt. Bei einer Auflösung der Atmosphäre von 12 km erreicht der Durchsatz aktuell 1,1 SYPD.

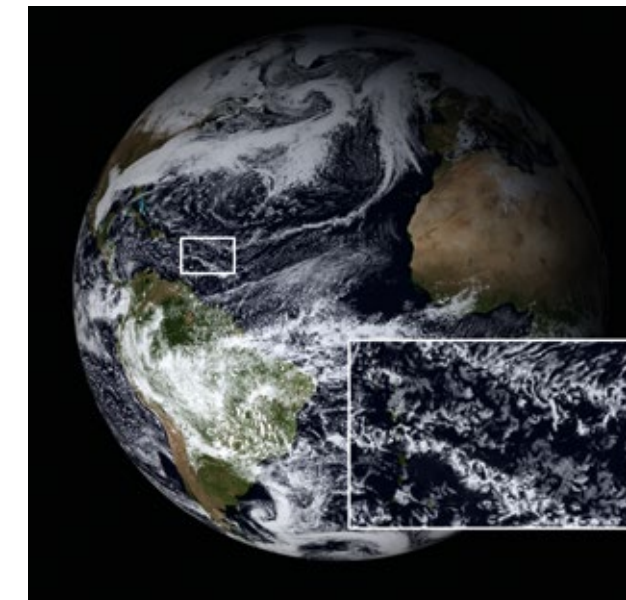
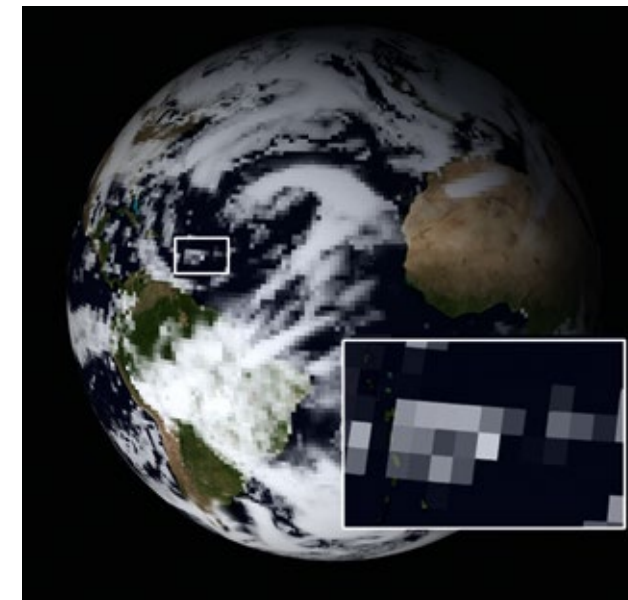


Abb. 14: Wolken an einem Februartag in Simulationen mit der bei CMIP6-Simulationen verbreiteten Auflösung von ca. 80 km (links) und in der mit Hilfe von ESiWACE ermöglichten Auflösung von 2,5 km (rechts). Das CMIP6-Modell erfasst zwar großräumige Wolkenformation in der Karibik, die rechte Simulation stellt aber zusätzlich auch die Details der Wolkenstrukturen und damit das Verhalten verschiedener Wolkentypen dar. Mit der wesentlich detailreicheren Darstellung der atmosphärischen Zirkulation werden drastisch verbesserte Klimavorhersagen erwartet, sobald hinreichend lange Zeiträume simuliert werden können. Die Wettersituationen beider Simulationen unterscheiden sich, da die Modelle mit unterschiedlichen Startdaten initialisiert wurden.

In anderen Arbeitspaketen des noch bis Ende 2022 laufenden Projekts wurden zahlreiche Software-Pakete und Dienstleistungen für die Wetter- und Klimaforschung entwickelt. So bietet ESiWACE spezifische *Open-Source*-Softwarepakete für Rechen- und Speicher Aspekte an, stellt auf Peer-Review-Basis kostenlose Unterstützung bei der Optimierung von Klimamodellen und deren Anpassung für GPUs bereit und führt Schulungen durch – alles mit dem Ziel, die europäische Wetter- und Klimaforschungsgemeinschaft bestmöglich auf dem Weg zum Exascale-Computing zu unterstützen.

Projektwebseite:
www.esiwace.eu/

Exzellenzcluster CLICCS: Klimasystem, Klimawandel und Gesellschaft

Der Exzellenzcluster *Climate, Climatic Change, and Society* (CLICCS) an der Universität Hamburg erforscht seit 2019 den Klimawandel in einer einzigartigen Breite: Wie ändert sich das Klima und mit ihm die Gesellschaft, die wiederum auf das Klima zurückwirkt? Die übergeordnete Frage dabei lautet: Welche Klimazukünfte sind möglich – und welche sind plausibel?

Das DKRZ ist bereits wichtiger Infrastrukturpartner für den naturwissenschaftlichen Teil der CLICCS-Aktivitäten. Darüber hinaus engagiert sich das DKRZ im CLICCS-Querschnittsprojekt *High Performance Computing and Data Intensive Science (HPC-DIS)*, das durch Informatik-bezogene Forschung aktuelle technische Herausforderungen wie steigende Komplexität und Umfang von Klimamodellen, -daten sowie HPC-Systemen bewältigen soll.

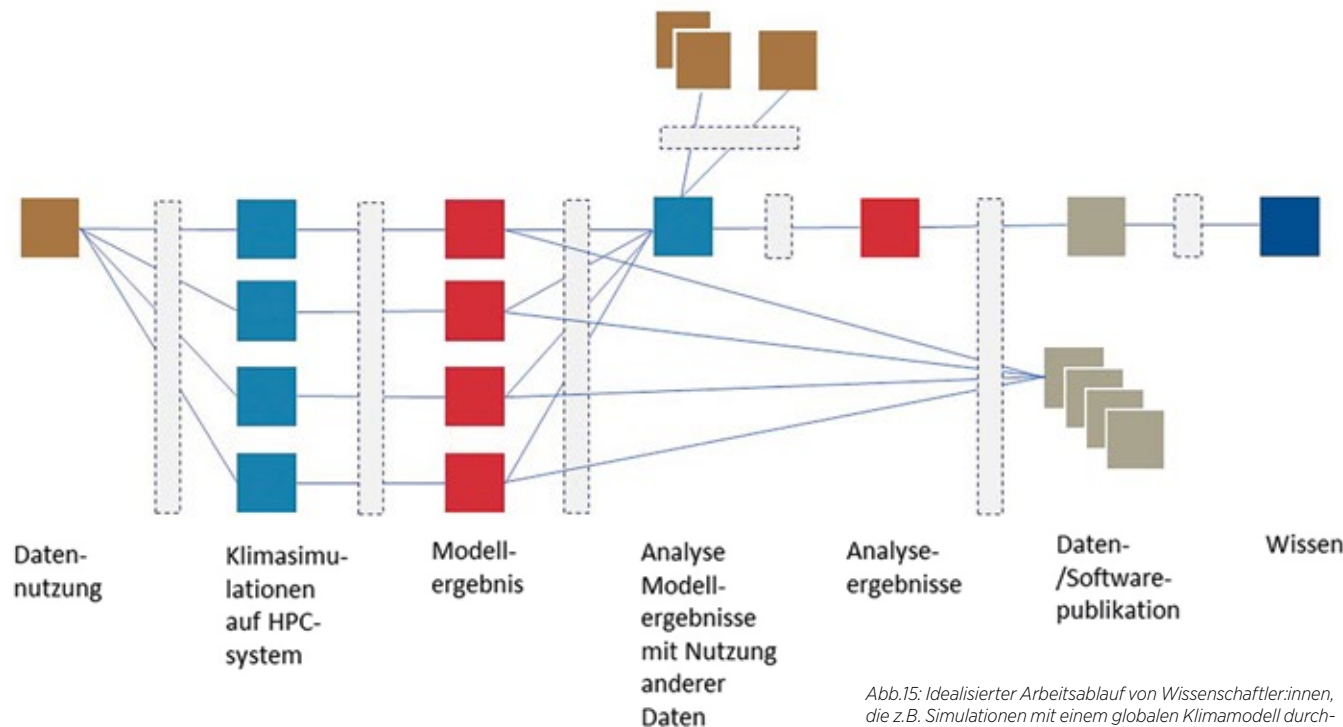


Abb.15: Idealisierter Arbeitsablauf von Wissenschaftler:innen, die z.B. Simulationen mit einem globalen Klimamodell durchführen, um eine Forschungsfrage zu beantworten.

Dazu gehört z.B. die wissenschaftliche Software-Entwicklung für massiv-parallele heterogene Hardware-Architekturen zukünftiger Exascale-Computer. Viele neue HPC-Systeme nutzen Grafikprozessoren (GPUs) als sogenannte Beschleuniger. Gemeinsam mit dem Hersteller Atos untersucht das DKRZ die Nutzbarkeit solcher GPU-Systeme für Klimamodelle. Dazu werden verschiedene Programmieransätze evaluiert und auf Teile der Modelle ICON und FESOM angewendet. Leider gibt es noch keinen Ansatz, der alle Anforderungen erfüllt, so dass immer eine Abwägung zwischen Performance, Portabilität und Wartbarkeit notwendig ist.

Die aktuellen Entwicklungen bei der Erdsystemmodellierung verlangen nach effizienteren und reproduzierbaren Arbeitsabläufen, um das stetig wachsende Datenvolumen und die steigende Komplexität bei Simulationen, Datenmanagement sowie Analyse und Visualisierung angesichts der zunehmend komplexen HPC-Umgebung zu bewältigen.

Am Beispiel der DKRZ-Nutzer:innen wurden deren Zielstellungen und idealisierte Arbeitsabläufe analysiert, um daraus Gemeinsamkeiten abzuleiten und generische *Workflow*-Module zu definieren, die auch auf andere Disziplinen übertragbar sind.

Im Bereich Visualisierung leistet das DKRZ Unterstützung auf mehreren Ebenen – von der reinen Anwendung

der Software-Tools über die Entwicklung spezifischer Visualisierungen bis hin zur Durchführung umfangreicherer Visualisierungsprojekte. Steigende Mengen und Vielschichtigkeit der Daten erfordern darüber hinaus technologisch sowie methodisch neue Ansätze zur visuellen Datenanalyse. Ensemble-Simulationen erlauben es durch die zusätzliche Ensemble-Dimension, Aussagen über die Robustheit analysierter Muster zu treffen und diese als Zusatzinformation mit darzustellen. Das DKRZ hat sich z.B. hierzu an einer Forschungsarbeit zur visuellen Analyse „unsicherer Skalarfelder“ auf Basis des „MPI für Meteorologie Grand-Ensemble“ (Klimaänderungsszenarien mit jeweils 100 Realisationen) beteiligt, um Klimawandel-bedingte Änderungen der Nordatlantischen Oszillation mit Wahrscheinlichkeitsaussagen visualisieren zu können.

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

AtMoDat: Standardisierung von Atmosphärenmodellldaten



Atmosphärenmodellierung ist ein wesentlicher Pfeiler der Klimaforschung. Resultierende Simulationsdaten werden aber nicht nur in der Wissenschaft, sondern auch von Behörden, Firmen und dem Gesundheitswesen genutzt. Um die Daten hierfür nachnutzbar zu machen, müssen sie und ihre zugehörigen Metadaten so aufbereitet und veröffentlicht werden, dass sie gut auffindbar (*Findable*), zugänglich (*Accessible*), mit unterschiedlichen Computersystemen kompatibel (*Interoperabel*) und wiederverwendbar (*Reusable*) sind. Kurz: Sie müssen den sogenannten FAIR-Prinzipien folgen und idealerweise fachspezifischen Standards genügen. Dies ist erforderlich, weil sich Daten verschiedener Disziplinen

etwa hinsichtlich der Dateiformate, Datenstrukturen und anderer Anforderungen unterscheiden. Für die FAIRe Veröffentlichung von Daten aus dem internationalen Klimamodell-Vergleichsprojekt CMIP wurde ein Standard entwickelt, der an die Besonderheiten grob gegitterter regionaler und globaler Klimamodellldaten angepasst ist, und der einen automatisierten Vergleich verschiedenster CMIP-Modellldaten ermöglicht.

Für fein aufgelöste Atmosphärenmodellldaten fehlte bisher ein eigener Standard. Das Projekt AtMoDat (Atmosphären-Modellldaten: Datenqualität, Kurationskriterien und DOI-Branding) soll, aufbauend auf dem

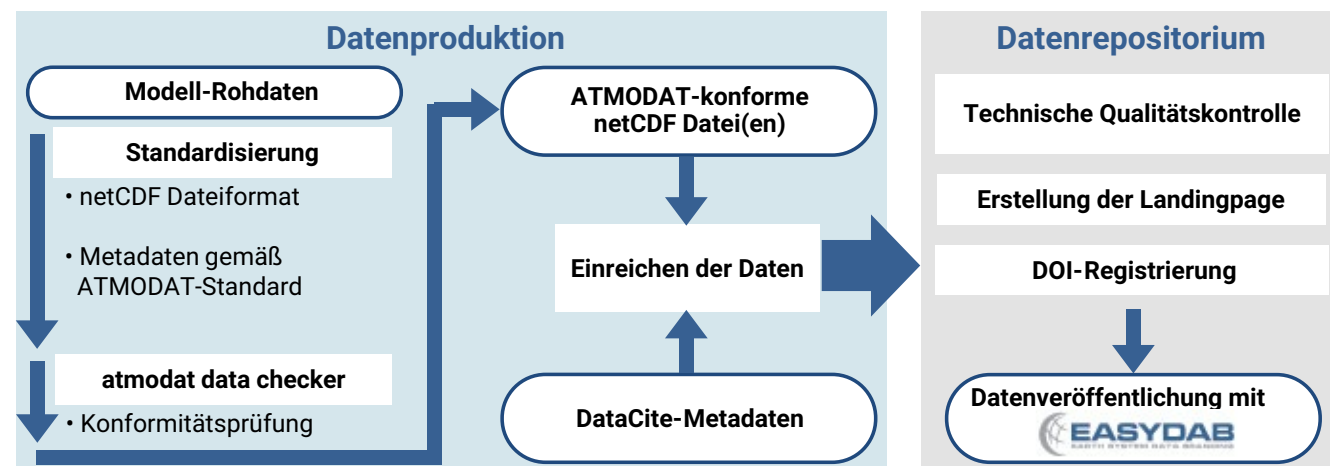


Abb. 16: Schematische Darstellung einer Veröffentlichung von Daten nach dem ATMODAT-Standard.



CMIP-Standard und den damit gemachten Erfahrungen, einen neuen Standard für diese Daten entwickeln und diesen für eine dauerhafte und breite Nutzung einführen.

Dieser neu entwickelte ATMODAT-Standard ist eine Qualitätsrichtlinie für die FAIRe Veröffentlichung von Atmosphärenmodellldaten und enthält konkrete Vorgaben für die Metadaten. Voraussetzung dafür sind die Publikation der Daten im netCDF-Dateiformat in einem Archiv, offene Lizenzen und DataCite-DOIs, d.h. persistente Identifikatoren für Forschungsdaten.

Der ATMODAT-Standard richtet sich an Archive (Bereich: Datenkuration), aber auch an die Wissenschaft (Bereich: Datenproduktion) und enthält Checklisten zur Überprüfung des Standards. Zur Erleichterung dieses Prüfprozesses wurde das Python-Programmpaket *atmodat data checker* entwickelt und mit freien Lizenzen auf *GitHub* veröffentlicht.

Für eine vereinfachte Suche disziplinspezifisch standardisierter und geprüfter Datenveröffentlichungen entwickelte das AtMoDat-Projekt das geschützte *Earth System Data Branding (EASYDAB)*, mit welchem Veröffentlichungen in EASYDAB-Vertragsrepositorien hervorgehoben werden können.

In dem von Juni 2019 bis Mai 2022 durch das BMBF geförderten Projekt AtMoDat beteiligen sich neben dem DKRZ die Technische Informationsbibliothek Hannover und die meteorologischen Institute der Universitäten Hamburg und Leipzig. Das DKRZ unterstützt die Universität Hamburg bei der Standardisierung von Stadtklimamodellldaten. ATMODAT-konforme Daten aus einer Aerosol-Wolken-Sensitivitätssimulation der Universität Leipzig befinden sich in Veröffentlichung im vom DKRZ betriebenen *World Data Center for Climate*.

Projektwebseite: www.atmodat.de/

EASYDAB: www.easydab.de/

atmodat data checker:
https://github.com/AtMoDat/atmodat_data_checker/

PalMod: Simulation eines vollständigen Eiszeitzyklus



Welche Faktoren innerhalb eines mehr als 100.000 Jahre währenden Eiszeitzyklus beeinflussen das Klima und seine Variabilität, und welche Rolle spielen dabei die Wechselwirkungen zwischen Atmosphäre, Ozean, Eis und biogeochemischem Kreislauf? Das Projekt PalMod soll diese Fragen anhand von Simulationen mit komplexen Erdsystemmodellen (ESM) beantworten.

In der zweiten von drei Phasen des über 10 Jahre laufenden BMBF-Projektes wurden die eingesetzten Modelle weiter verfeinert und um neue Komponenten wie etwa Eisberge ergänzt. Die vollständig gekoppelten ESMs sollen in der dritten Projektphase eine durchgängige Simulation des gesamten letzten Glazialzyklus ermöglichen.

Eine Verbesserung des Durchsatzes gekoppelter Modelle – im Sinne von *simulated years per day (SYPD)* – konnte erreicht werden, indem verschiedene Komponenten nebenläufig simuliert werden (z.B. Heidari et al., 2021), was die Berechnungszeit verkürzt und aktuelle HPC-Systeme effizienter nutzt (Abb. 17). Gemeinsam mit dem Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung konnten so z.B. die Trajektorien von mehr als 10.000 Eisbergen in AWI-ESM integriert werden, ohne dessen Laufzeit merklich zu erhöhen. Auch die Simulation biogeochemischer Prozesse in den Ozeanmodellen MPIOM und FESOM ist nun für Dutzende biologische und chemische Größen ohne große zeitliche Einbußen möglich.

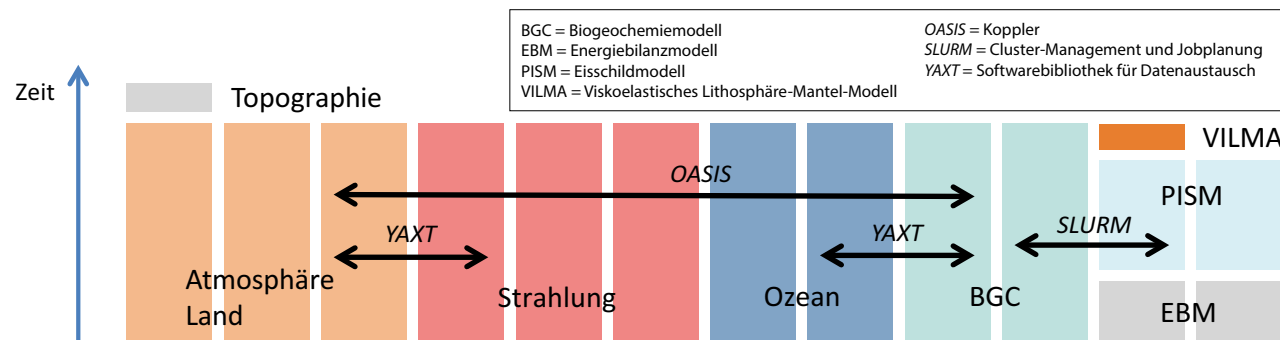


Abb. 17: Schematische Darstellung der nebenläufigen Ausführung von Komponenten in MPI-ESM. Neben der Online-Kopplung per OASIS und YAXT wird zwischen einigen Modellkomponenten auch eine Offline-Kopplung ausgeführt.

Fortlaufender FDM-Support im Projekt >>>

Unterstützung und Dokumentation der Datenflüsse im Projekt durch den DMP

Aufbau von Datenworkflows, z.B. durch die Einrichtung eines Datenpools und Anleitungen zur konsistenten Datenhandhabung

Kommunikation mit Arbeitspaketen (APs)

Abstimmung projektweit vereinheitlichter Datenworkflows

Regulierung des Datenvolumens durch konsolidierte Ausgabelisten für Modellvariablen

Zusammenstellung Synthese

Herstellung von Interoperabilität zwischen Beobachtungs-(Proxy-) und Modelldaten durch die Entwicklung und Anwendung gemeinsamer (Meta-)Datenstandards

ESGF-Datenveröffentlichung

Datenarchivierung / teilung

2-Stufen-Strategie zur Datenaufbewahrung

- allgemeine Projektergebnisse
- wesentliche Projektergebnisse zur langfristigen Nachnutzung entlang FAIR Leitlinien

Abb. 18: Übersicht des Forschungsdatenmanagements (FDM) für PalMod2-Daten.

Zum Forschungsdatenmanagement (FDM) in PalMod gehört die Erstellung und Pflege eines Datenmanagementplans (DMP), der für die Daten die Zuständigkeiten und Abhängigkeiten dokumentiert (Abb. 18). Der fortlaufend aktualisierte DMP dient über die Projektlaufzeit hinaus als Referenz zu den Daten. Für PalMod2 übernahm das DKRZ das FDM mit dem Ziel, die Daten zunächst projektweit zur Verfügung zu stellen, um diese etwa mit Daten aus Eisbohrkernen abgleichen zu können. Weiter gehört zum FDM auch die Planung und Anwendung von Leitlinien zur Produktion, Archivierung und dem Austausch von Daten mit internen wie externen Partnern.

Für die Vergleichbarkeit müssen die Ergebnisdaten der verwendeten Modelle (AWI-ESM, MPI-ESM, CESM, ClimberX, etc.) standardisiert werden. Das FDM-Team am DKRZ entwickelte dazu die passenden Workflows. Dazu wurden Standardisierungstabellen erstellt, auf deren Grundlage die Modelldaten mit dem am DKRZ entwickelten Standardisierungstool CDO-CMOR prozessiert wurden. Für den einfachen Datenzugang in PalMod betreibt das DKRZ einen dezidierten Datenpool, anhand dessen auch prototypische Standardisierungs-

und Datenpublikationsworkflows entwickelt werden können. Hierbei ist die Publikation relevanter PalMod-Daten über die globale ESGF-Infrastruktur sowie die Langzeitarchivierung am DKRZ vorgesehen, um weltweit Nachnutzungen der Daten zu ermöglichen.

Für PalMod werden auch Paläo-Proxydaten gesammelt und zu Kollektionen zusammengefasst, die die Grundlage für Vergleiche zwischen Beobachtungs- und Modelldaten bilden und deshalb ebenfalls im FDM berücksichtigt werden.

Projektwebseite: www.palmod.de/

Literatur:

Heidari et al. (2021). Concurrent calculation of radiative transfer in the atmospheric simulation in ECHAM-6.3.05p2, *Geosci. Model Dev.* 14, <https://doi.org/10.5194/gmd-14-7439-2021>

IS-ENES3: Etablierung einer nachhaltigen europäischen Klimadateninfrastruktur

Das DKRZ beteiligt sich seit 2009 an der von der EU geförderten, langfristigen Etablierung der ENES-Research-Infrastruktur (ENES-RI). Im Projekt IS-ENES3 koordiniert das DKRZ die europaweit verteilt bereitgestellten ENES-RI-Datendienste und bereitet nachhaltige Organisationsformen nach Förderende 2022 vor.

Die ENES-RI-Datendienste konzentrieren sich auf die weltweite Datenverteilung international abgestimmter Modellvergleichsexperimente (z.B. CMIP und CORDEX) über die Infrastruktur ESGF sowie die Weiterentwicklung entsprechender Datenstandards.

Weitere neue Dienste ermöglichen es Forschenden, datennahe Rechenressourcen für die Analyse umfangreicher Daten zu nutzen, wie z.B. über den DKRZ-Dienst *jupyter-hub*. So wurden die durch das DICAD-Projekt am DKRZ etablierten CMIP-Daten als größte europäische online verfügbare CMIP6-Datensammlung in die ENES-Dateninfrastruktur eingebunden (Abb. 19).

Bei der Datenbereitstellung über die Klimadaten-Infrastruktur ENES-CDI unterstützt das DKRZ die FAIR- Prinzipien und vergibt persistente Identifikatoren und DOIs. Durch die Aufnahme der Daten in das vom DKRZ unterstützte *IPCC Data Distribution Centre* ist

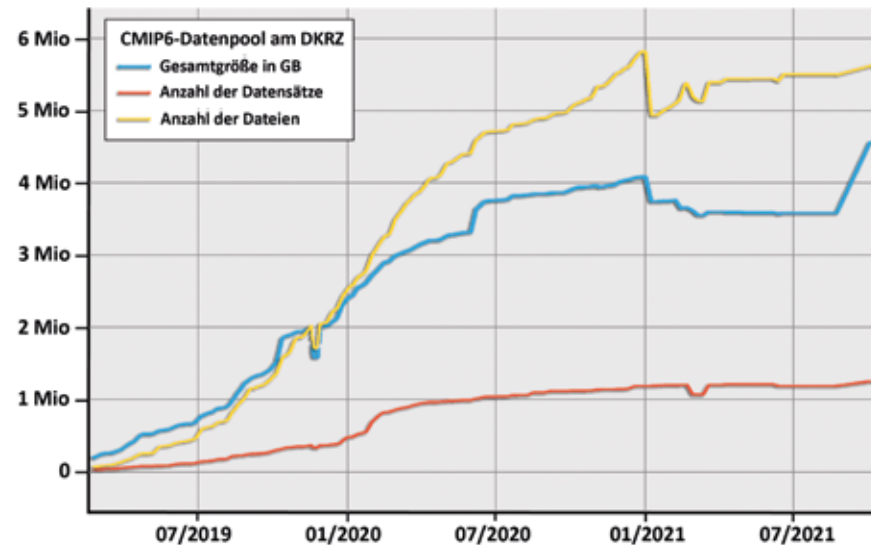


Abb. 19: Entwicklung des nationalen DKRZ-CMIP-Datenpools, der in die ENES-RI eingebunden ist.

Das Europäische Netzwerk für Erdsystemmodellierung (ENES)

► Unterstützung für die Klimamodellierungsgemeinschaft

Die ENES-Forschungsinfrastruktur (ENES-RI)

Infrastruktur-Unterstützung für ENES

► Dienstleistungen und Netzwerk

ENES-Klimadaten-Infrastruktur (ENES-CDI)

► Dienstleistungen und Fachwissen für die Nutzung von Klimamodelldaten

Modelle, Werkzeuge und HPC

► Unterstützung bei der Entwicklung, der Berechnung, der Optimierung und der Bewertung von Klimamodellen

Abb. 20: Die ENES-Forschungsinfrastruktur.

außerdem der langfristige Zugriff auf wichtige Datenkollektionen gewährleistet.

ENES-RI als verlässliche Infrastruktur für die europäische Klimamodellierungsgemeinschaft langfristig zu betreiben, ist eine wesentliche Herausforderung. Die ENES-RI beinhaltet neben der Klimadaten-Infrastruktur ENES-CDI auch die Infrastruktur für Klimamodelle, deren Ausführung bzw. Optimierung, Werkzeuge und HPC (Abb. 20).

ENES-RI soll in drei Phasen langfristig etabliert werden: Vorstudien (*Scoping*), Design und Implementierung (Abb. 21).

Zentraler Teil der Vorstudien war eine Bestandsaufnahme der bestehenden ENES-RI-Dienste (techni-

ches *Scoping*) und ihre Kategorisierung in drei Klassen entsprechend ihrer Abhängigkeit von Drittmitteln.

In Diskussionen mit den Projektpartnern, die diese Dienste aktuell anbieten, zeigte sich, dass ohne zusätzliche Förderung keiner der ENES-RI-Dienste dauerhaft betrieben werden kann. Einige etablierte Dienste (Typ A) zeigen eine geringere Abhängigkeit von Drittmittelförderung, so dass sie für einige Jahre im aktuellen Status weiter betrieben werden könnten; für die Mehrheit der Dienste ist der Fortbestand ohne Drittmittelförderung jedoch nicht (Typ C) oder nur unzureichend (Typ B) gesichert.

Die wissenschaftlichen Vorstudien untersuchten den Bedarf der Nutzergemeinschaft nach einer ENES-RI und ergaben, dass dieser eindeutig insbesondere im

Bereich Datenmanagement und -analyse von großen, koordinierten Modellierungsaktivitäten wie CMIP und CORDEX besteht. Nach Abschluss der Vorstudien soll nun in der Design-Phase eine stabile Struktur für die Nachhaltigkeit der ENES-RI spezifiziert werden, so dass diese der europäischen Klimamodellierungsgemeinschaft auch nach Ende der aktuellen EU-Förderprojekte weiter angeboten werden kann.

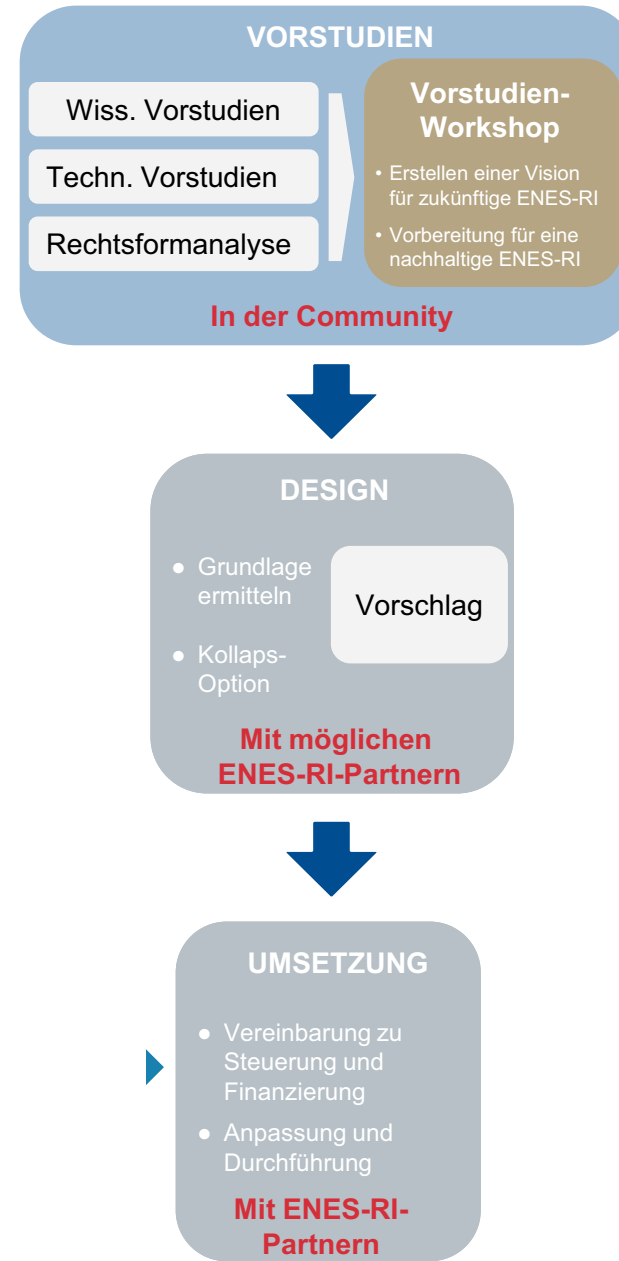


Abb. 21: Die drei Phasen des Nachhaltigkeitsprozesses in IS-ENES3.

Projektwebseite: <https://is.enes.org/>

CMIP-Datenpool am DKRZ:
<https://cmip-data-pool.dkrz.de/>

FAIR-Prinzipien für Forschungsdaten:
www.go-fair.org/fair-principles/

EOSC: Ab in die (europäische) Wolke

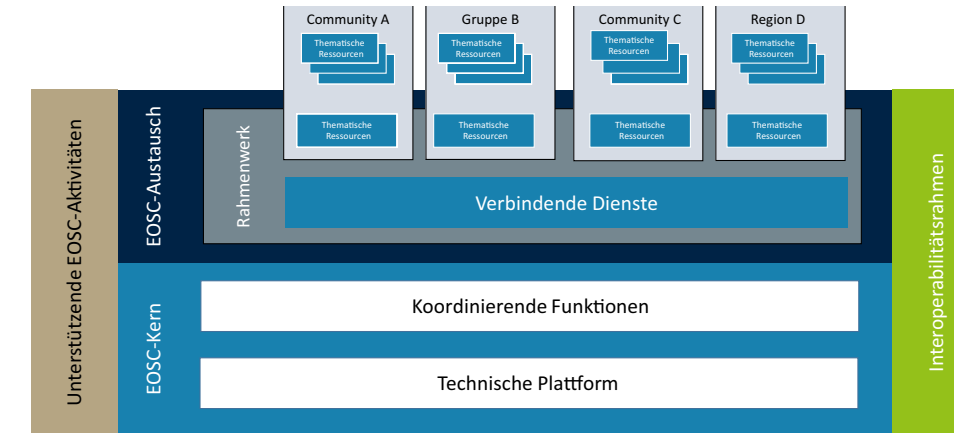


Abb. 22: Aufbau der European Open Science Cloud (EOSC).

Forschungsdaten sind sehr variabel, heterogen und mitunter enorm groß. Mit der *European Open Science Cloud (EOSC)* entsteht eine an den FAIR- und *Open-Science*-Prinzipien ausgerichtete europaweite Plattform, in der Forschende disziplinübergreifend Daten speichern, teilen und wiederverwenden können. In der EOSC treffen damit unterschiedlichste Wissenschaftsgebiete, Forschungsinfrastrukturen und Anwendungsfälle aufeinander. Die Heterogenität ist zugleich Herausforderung und Chance, da gängige Prozesse durch Blickwinkel anderer Disziplinen hinterfragt werden. Ein gemeinsames Ziel ist eine Beschreibung der Datensätze, so dass sie interdisziplinär verwendet werden können.

Das DKRZ bringt seine langjährige Expertise in der Verwaltung und Langzeitarchivierung größter Datenmengen, der konkreten Ausgestaltung der FAIR-Prinzipien

sowie dem Metadatenmanagement in den Aufbau der EOSC ein. Gleichzeitig bietet die Zusammenarbeit dem DKRZ die Chance, eigene Datendienste wie das *World Data Centre for Climate* weiter zu verbessern oder mit europäischen Angeboten zu verknüpfen. Seit 2021 gehört das DKRZ formell zu den über 200 aktiven und passiven Mitgliedern der *EOSC Association*.

Projektwebseite: <https://eosc-portal.eu/>

Förderprojekte:

www.eosc-hub.eu/
www.eosc-pillar.eu/
www.eosc-nordic.eu/

Laufende Projekte





Neue Projekte

Helmholtz AI: Maschinelles Lernen für die Erdsystemwissenschaften

Mit der Plattform "Helmholtz AI (*Artificial Intelligence*)" bietet das DKRZ seit Anfang 2020 allen Forschenden der Helmholtz-Gemeinschaft technische Unterstützung und methodische Beratung zur Anwendung von Methoden des maschinellen Lernens (ML) auf Fragestellungen der Erdsystemwissenschaften.

Das Leistungsangebot des Teams am DKRZ reicht von der Untersuchung der grundsätzlichen Umsetzbarkeit und Methodik von ML-Verfahren für vorgegebene Fragestellungen über technische Optimierung und Migration auf HPC-Systemen bis zur vollständigen Implementierung komplexer ML-Workflows. So wurden bereits Support-Projekte für alle im Helmholtz-Forschungsbereich „Erde & Umwelt“ vertretenen Zentren bearbeitet, teilweise auch in Kooperation mit Helmholtz-AI-Gruppen aus anderen Fachgebieten.

Die Anfragen und die sich daraus ergebenden Projekte sind sehr vielfältig, sowohl an technischen Methoden sowie genutzten Modell- und Beobachtungsdaten, als auch in Bezug auf Entwicklungsstand und Zielsetzung. Von zentraler Bedeutung ist jeweils die Entwicklung und schrittweise Verbesserung eines ML-Softwaremodells sowie die Auswahl und Verarbeitung der zu verwendenden Daten. Je nach Datenumfang und Modellkomplexität sind Schritte zur Beschleunigung der Berechnungen oder zur Verringerung des Speicherbedarfs notwendig, welche sich durch parallele Ausführung auf

mehreren GPUs, verbessertes Zuschneiden der Daten oder optimierte Ladeverfahren umsetzen lassen. Die wissenschaftlichen Fragestellungen reichen dabei von der Modellierung von Grundwasserpegeln oder Schadstoffausbreitung bis zur Erkennung von Monsterwellen oder Treibgut.

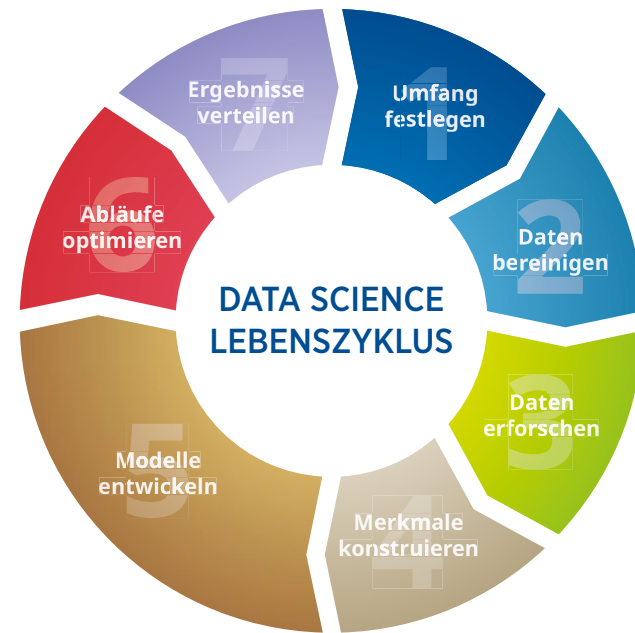


Abb.23: Ablaufschema von Support-Projekten.

Ein bedeutendes Support-Projekt ist die Zusammenarbeit des DKRZ-Teams mit dem GeoForschungsZentrum

Sentinel-2 31.08.2019



Agrarflächen 2019

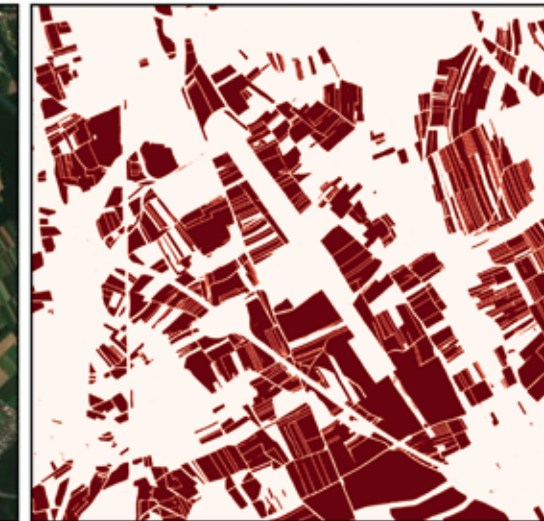


Abb. 24: Bei der zweiten „AI4Sentinel2 challenge“ erreichten Frauke Albrecht und Caroline Arnold vom Helmholtz-AI-Unterstützungsteam den dritten Platz. Bei dem Online-Wettbewerb sollten ML-Methoden entwickelt werden, um die räumliche Auflösung von Sentinel-2-Satellitenbildern künstlich zu verbessern.

Potsdam zu GNSS-R (*Global Navigation Satellite System – Reflectometry*). Anhand von Signalen globaler Satellitennavigationssysteme wie etwa GPS oder Galileo, die an der Erdoberfläche reflektiert und dann von speziellen Satelliten der NASA (CyGNSS) erfasst werden, kann mit ML-Verfahren etwa auf die Windgeschwindigkeit über Ozeanen geschlossen werden. Die Kooperation hat in der Folge zu einem erfolgreichen Projektantrag des GFZ beigetragen, in welchem die Methodik weiter ausgebaut und auf weitere Variablen angewandt werden soll.

In einer anderen Kooperation mit dem KIT wurde erkundet, inwieweit ML-Verfahren Berechnungen eines komplexen Atmosphärenchemiemodells nachbilden können. Zunächst sollten die Berechnungen bei vergleichbarer Ergebnisqualität schneller durchgeführt

werden. Weitere Arbeiten hinsichtlich der Stabilität der Lösungen, Verbesserung der Modellqualität und Kopplung mit Simulationsmodellen wie ICON-ART sind geplant. Auf Grundlage der hier eingesetzten Methoden und Abläufe soll künftig untersucht werden, ob weitere Modellparametrisierungen entsprechend nachgebildet und verbessert werden können.

Projektwebseite: <https://helmholtz.ai/>

ML-Challenge: www.dkrz.de/de/ml-challenge/



Abb. 25: Hochwasser in Altenahr-Altenburg am 15. Juli 2021.



RegiKlim & ClimXtreme: Zukünftiger Klimawandel in Deutschland

Die verheerenden Überschwemmungen im Ahrtal im Juli 2021 führen uns vor Augen, wie verletzlich unsere Gesellschaft gegenüber Extremwetterereignissen ist. Eine wachsende Besorgnis über zunehmend häufig auftretende bzw. extreme Wetterereignisse in einem sich erwärmenden Klima erfordert Lösungsstrategien zu deren Bewältigung. Um diese entwickeln zu können, ist ein möglichst umfassendes Verständnis von Extremwetterereignissen notwendig. Das DKRZ beteiligt sich hierzu an zwei Projekten: ClimXtreme untersucht wetter- und klimabezogene Extremereignisse in Deutschland. Im multidisziplinär konzipierten Forschungsprojekt RegiKlim entwickeln Expert:innen aus Klimamodellierung, Stadtplanung und Politik Stra-

tegien für deutsche Kommunen zur Anpassung an den Klimawandel.

RegiKlim: Der Klimawandel ist real – wie kann unsere Gemeinde damit umgehen?

RegiKlim bündelt verschiedene interdisziplinäre Fachkenntnisse. Klimasimulationen mit einer räumlichen Auflösung von etwa 3 km sollen dabei noch nie dagewesene Einblicke in den regionalen Klimawandel des mitteleuropäischen Raums geben. Bei der Berechnung der Klimamodelle in insgesamt mehr als 500.000 Knotenstunden werden fast 500 Terabyte an Daten erzeugt, die sowohl von Klimawissenschaftler:innen als

auch von Stadtplaner:innen und politischen Entscheidungsträger:innen analysiert werden. Um den unterschiedlichen Anforderungen gerecht zu werden, entwickelt das DKRZ die ursprünglich von der Freien Universität Berlin aufgesetzte Software *freva* weiter, die einfach über eine Webseite genutzt werden kann. Damit können verschiedene Gemeinden diese umfangreichen Klimamodelldaten auf Besonderheiten untersuchen, um Strategien zum Umgang mit dem Klimawandel entwickeln zu können. So analysieren zum Beispiel Architekt:innen mithilfe der *freva*-Software Klimamodelldaten, wie Auswirkungen städtischer Hitzeinseln abgeschwächt werden können. Solche Erkenntnisse sind wertvoll für zukünftige Flächennutzungsplanung in durch den Klimawandel gefährdeten Gebieten.

ClimXtreme: Wie funktionieren Wetter- und Klimaextreme?

In ClimXtreme wollen mehr als 140 Forschende aus 35 Einrichtungen zwei Hauptfragen beantworten: „Hat der Klimawandel in der Vergangenheit mehr Extremereignisse verursacht?“ und „Wird der zukünftige Klimawandel das Auftreten von Extremen verändern?“. Das Projekt untersucht mögliche Entwicklungen verschiedener meteorologischer Variablen und deren Auswirkungen auf Mitteleuropa. Das DKRZ stellt die notwendige Daten- und Software-Infrastruktur bereit und übernimmt eine weitere wichtige Rolle: Es betreibt einen eigenen ClimXtreme-Server, auf dem die *freva*-Software (Abb. 26) läuft. Dadurch erhalten die Forschenden Zugang zu 7 Petabyte an Modell- und Beobachtungsdaten. Darüber hinaus stehen dem Projekt für die Modellierung 400.000 Knotenstunden und 1 Petabyte Speicherplatz

auf dem Supercomputer des DKRZ zur Verfügung.

Beide Projekte verdeutlichen beispielhaft, wie die Rechenkapazitäten des DKRZ zur Vorbereitung und zum Schutz lokaler Gemeinschaften in Deutschland beitragen können.

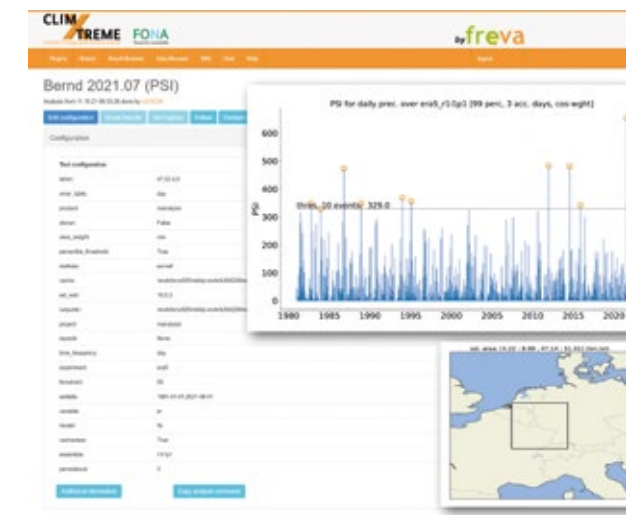


Abb. 26: Sturmtief „Bernd“ als Beispiel für die Berechnung des PSI (Precipitation Severity Index) mit der *freva*-Software. Die Ergebnissseite (Hintergrundbild) zeigt u.a. die Konfiguration des durchgeführten Experimentes, eine zeitliche Darstellung der schwersten Niederschlagsereignisse im analysierten Zeitraum (rechts oben, hier Januar 1981 bis August 2021) sowie eine räumliche Darstellung des analysierten Gebiets (rechts unten) für das Ahrweiler-Hochwasser vom Juli 2021.

Projektwebseite RegiKlim:
www.regiklim.de/

Projektwebseite ClimXtreme:
<https://climxtreme.net/>

preWarmWorld: Anpassung des ICON-Modells an Exascale-Rechner

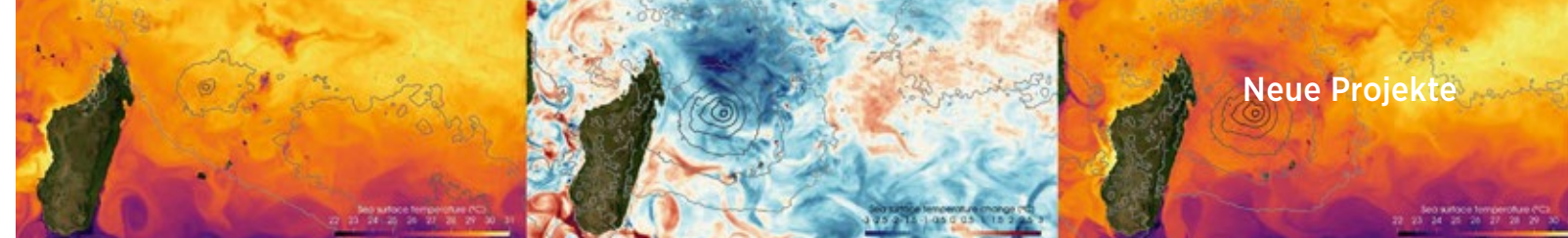


Abb. 27: Auswirkungen eines Zyklons östlich von Madagaskar auf die Meeresoberflächentemperatur in einer Simulation mit dem gekoppelten ICON-Atmosphären-Ozean-Modell in einer Auflösung von 5 km. Die Farben zeigen die Temperatur und Isolinien den Luftdruck vor (links) und während (rechts) des Zyklons. Das mittlere Bild zeigt die Temperaturdifferenz zwischen den beiden Zuständen (und den Luftdruck während des Zyklons). Die Temperaturanomalie wird von der Abkühlung durch den Zyklon an dessen nördlicher Flanke dominiert. Alle drei Bilder zeigen auch deutliche Effekte von Ozeanwirbeln, die dank der hohen Modellauflösung simuliert werden können.

Globale sturmauflösende Erdsystemmodelle (SR-ESMs) mit Auflösungen von wenigen Kilometern ermöglichen erstmals globale Simulationen kleinskaliger Prozesse, wie etwa der Bildung von Gewitterzellen. Kommende Exascale-Hochleistungsrechner werden die Leistungsfähigkeit haben, um solche Simulationen auch für längere Zeiträume durchzuführen. Dabei stellen die meist heterogenen Hardware-Architekturen die wissenschaftliche Software-Entwicklung vor sehr große Herausforderungen.

In Klimamodellen wie ICON mit sehr umfangreichem Programmcode, der über mehrere Jahrzehnte entwickelt wurde, müssen große Teile umgeschrieben werden (*rewrite/refactoring*). Wichtigste Kriterien dabei sind, dass ein einziger Programmcode performant auf verschiedenen Hardware-Architekturen laufen muss und eine Vielzahl von Entwicklerteams unterschiedlicher Einrichtungen gleichzeitig am Code arbeiten können. Diese Schritte sollen im Projekt WarmWorld (siehe Infobox) realisiert werden und schließlich erlauben, multi-dekadische Simulationen mit SR-ESMs durchzuführen. Zu dessen Vorbereitung startete im Oktober 2021 das vom BMBF geförderte Projekt preWarmWorld.

Die Aufgaben von preWarmWorld umfassen dabei:

- Entwicklung eines exemplarischen ICON-Software-Designs (Blaupause) basierend auf wissenschaftlichen Anforderungen mit Fokus auf Modularisierung, Schnittstellen und Verantwortlichkeiten;
- Design eines Prototyps der Blaupause mit Code-Überarbeitungen, die eine unabhängige Entwicklung der verschiedenen Modellkomponenten ermöglichen;
- Übertragbarkeit des Codes ohne Leistungseinbußen und wartbare Implementierung einer physikalischen Haupt- und einer Infrastruktur-Komponente;
- Regelmäßige Aktualisierung der Software-Blaupause aufgrund der bei der Implementierung gewonnenen Erfahrungen sowie Anpassungen an aktuelle Entwicklungen;
- Vorschlag für eine Software-Entwicklungsmanagement-Strategie nach dem Muster erfolgreicher *Open-Source*-Projekte.

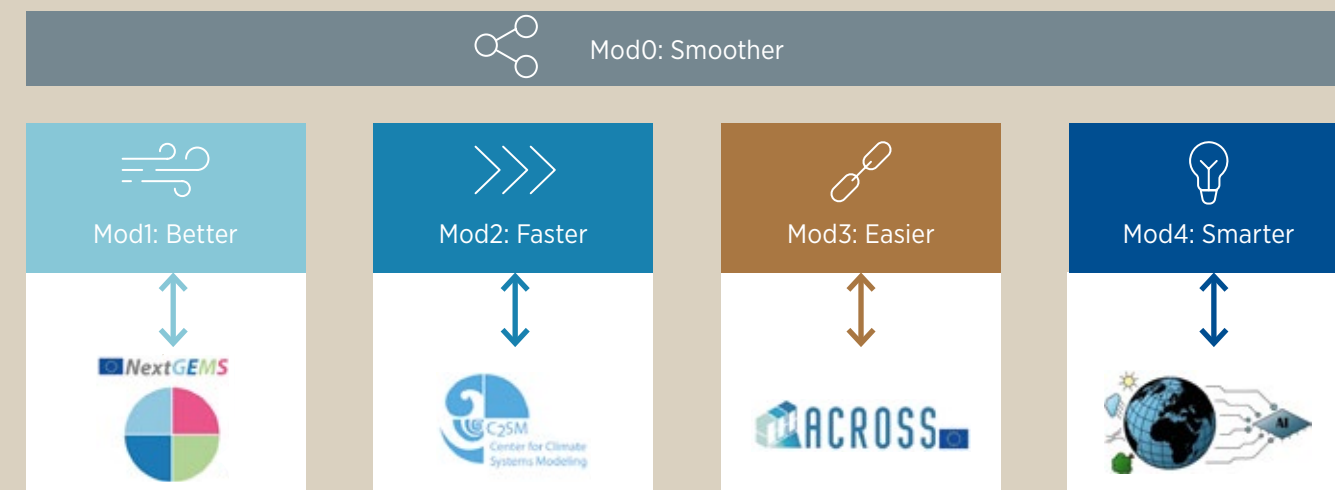
Projektwebseite:
<https://warmworld.de/prewarmworld/>

Infobox

Wie der Name preWarmWorld bereits andeutet, werden in dem Projekt – über einen Zeitraum von zwei Jahren und in Zusammenarbeit mit Partnern am Max-Planck-Institut für Meteorologie und am Jülich Supercomputing Centre – vorbereitende Arbeiten für WarmWorld geleistet. Wesentlich ist dabei die Erstellung einer Blaupause für ein überarbeitetes ICON-Modell, welches später fünf zentrale Ziele von WarmWorld realisiert.

- *Smoother*: Das ICON-Modell soll auch für andere Projekte genutzt werden

- *Better*: Sturmauflösende Simulationen erlauben neue Erkenntnisse über den menschengemachten Klimawandel (z.B. im EU-Projekt NextGEMS)
- *Faster*: Klimamodellierung auf kommenden Exascale-Systemen wird erprobt (z.B. in Zusammenarbeit mit C2SM in der Schweiz)
- *Easier*: Simulations- und Beobachtungsdaten können verknüpft werden (z.B. im EU-Projekt ACROSS)
- *Smarter*: Ein modular aufgebautes ICON-Modell erlaubt den Einsatz von ML-Methoden



NextGEMS: Die nächste Generation von Erdsystemmodellen

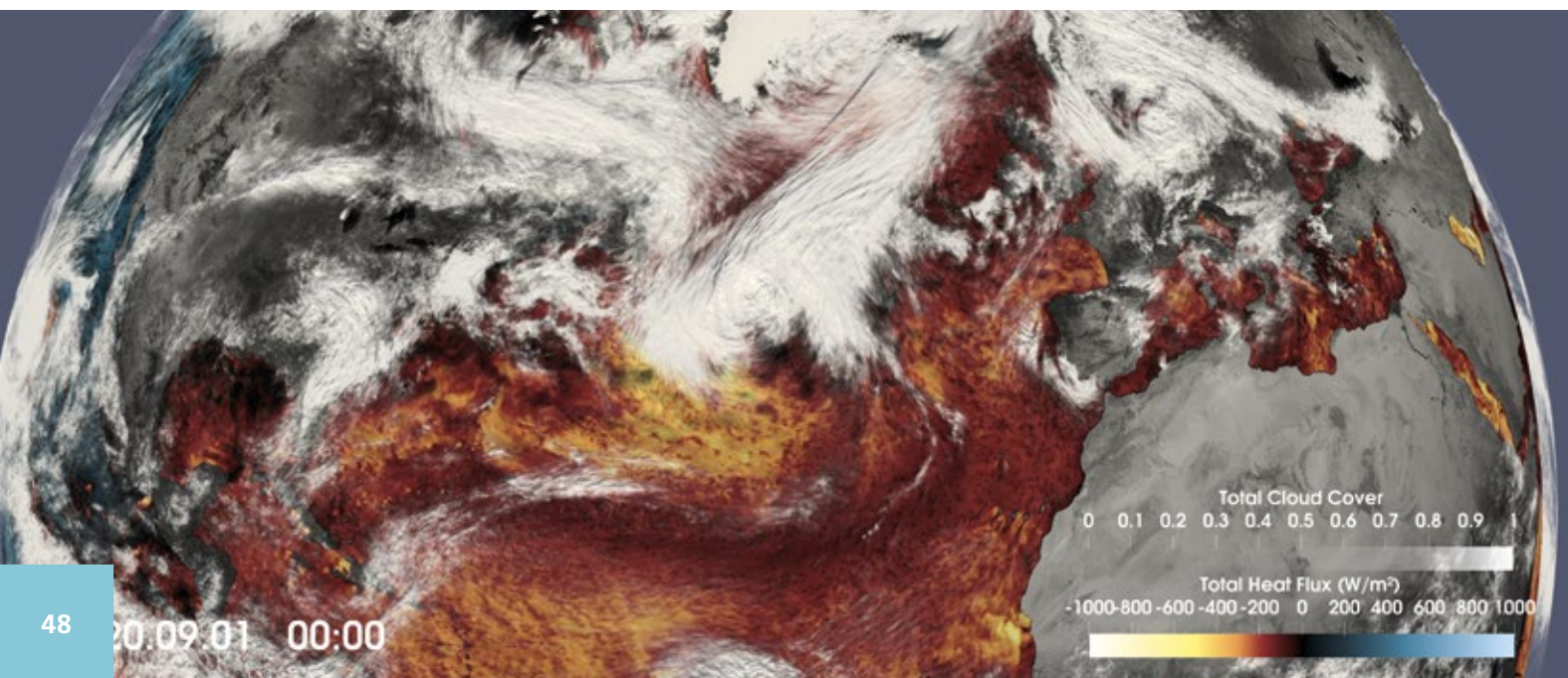


Im September 2021 startete das von der EU geförderte Projekt nextGEMS, in welchem ein Wissenschaftsteam aus 26 Ländern eine neue Generation globaler sturm- auflösender Erdsystemmodelle entwickelt.

Mit der besonders hohen horizontalen Modellauflösung von etwa 3 km ermöglichen solche Erdsystemmodelle gegenüber den bisher eingesetzten, wesentlich grö- ßeren Modellen eine deutlich detailliertere Darstellung physikalischer Prozesse und Wechselwirkungen von At- mosphäre und Ozean, einschließlich des Kohlenstoff-, Nährstoff-, und des atmosphärischen Aerosol-Kreislaufs.

Ziel von NextGEMS ist es, die etablierten Modelle ICON und IFS so weiter zu entwickeln, dass multidekadische (30 Jahre) Projektionen des zukünftigen Klimawandels möglich werden. Aktuelle hochauflösende Simulationen, wie etwa von der DYAMOND-Initiative, simulieren nur kurze Zeiträume von einigen Wochen und beschränken sich meist auf die Atmosphäre. Längere Simulations- zeiträume erfordern deutlich mehr Rechenzeit und ein höheres Speichervolumen, welche das DKRZ für next- GEMS zur Verfügung stellt.

Abb. 28: Visualisierung verschiedener Variablen einer nextGEMS-Simulation mit dem gekoppelten 5km-Atmosphären-Ozean-Modell ICON. Die hellgelben Bereiche zeigen die Übertragung von Wärme vom Ozean in die Atmosphäre, und damit in das Sturmsystem, das sich über dem Nordatlantik entwickelt. Die Wolken sind per Farb- und Transparenzmapping dargestellt; zusätzlich ist die von der Erde ausgehende Wärmestrahlung als Schattierung der Ozeanoberfläche zu sehen.



Durch die detailliertere Darstellung von Klimaprozessen wird nextGEMS dazu beitragen, eine bessere Grundlage zur Risikoabschätzung für Gesellschaft und Ökologie im Kontext der globalen Erwärmung zu legen. Um diesem Anspruch gerecht zu werden, sind nicht nur Wissenschaftler:innen aus dem Bereich der Klimafor- schung, sondern auch externe Expertise wie z.B. aus dem Energiesektor und der Fischereiwissenschaft in nextGEMS involviert.

Ein zentraler Baustein des Projektes sind regelmäßige Hackathons, in denen die NextGEMS-Klimaforscher:innen aktuelle Simulationen gemeinsam analysieren und somit die Modellentwicklung maßgeblich vorantreiben. Der erste dieser Hackathons fand bereits im Oktober 2021 statt.

Das nextGEMS-Ziel, die im Projekt produzierten Daten zur Nachnutzung in Wissenschaft und Wirtschaft be- reitzustellen, stellt das Datenmanagement im Projekt angesichts der riesigen Datenmengen vor noch nie da- gewesene Herausforderungen. Das DKRZ unterstützt die nextGEMS-Wissenschaftler:innen aktiv bei der Archivierung, Veröffentlichung und Bereitstellung dieser Daten. Hierzu werden am DKRZ, in enger Zusammen- arbeit mit den Forschenden, neue Ansätze zur sicheren Langzeitarchivierung sowie effektive, lokale Analyse- möglichkeiten für hochaufgelöste globale Daten ent- wickelt werden müssen, von denen auch zukünftige Projekte mit hochauflösenden Erdsystemmodellen pro- fitieren werden.

Auch bei der Weiterverarbeitung und Auswertung der produzierten Datenmengen unterstützt das DKRZ- Team die nextGEMS-Klimaforscher:innen mit ihrer fachlichen Expertise.

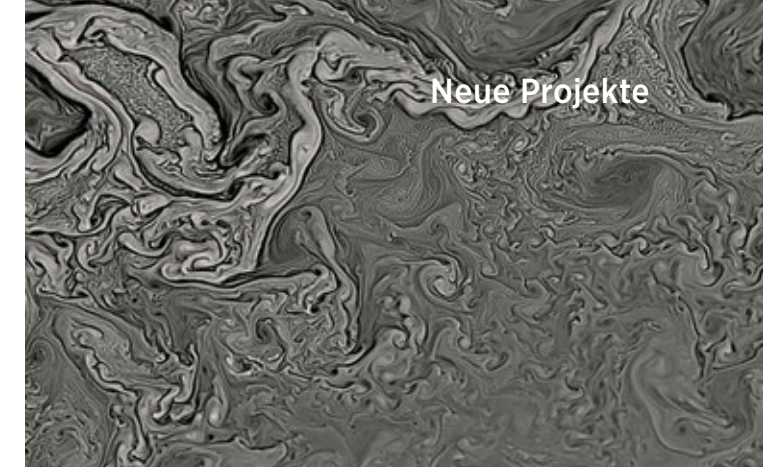


Abb. 29: Chaos in Schwarz und Weiß: Die vielen, unterschiedlich großen Wirbel des Golfstroms können nur mit sehr hohen Auflösungen simuliert werden beispielweise mit dem ICON-Ozeanmodell mit einer Auflösung von 1 km.

Projektwebseite: <https://nextgems-h2020.eu/>

Twitter: @nextgems_eu

nextGEMS-Kalender:
<https://nextgems-h2020.eu/nextgems-art-turns-into-the-nextcalendart-2022/>

Artikel des MPI-M:
<https://bit.ly/3NPbKCs/>

Wissenschaftsblog des ECMWF:
[www.ecmwf.int/en/about/media-centre/science- blog/2021/better-glimpses-future-global-storm- resolving-simulations/](http://www.ecmwf.int/en/about/media-centre/science-blog/2021/better-glimpses-future-global-storm-resolving-simulations/)



Vorschau

CLINT: Kombinierte Intelligenz Mensch und Maschine untersuchen das Klima

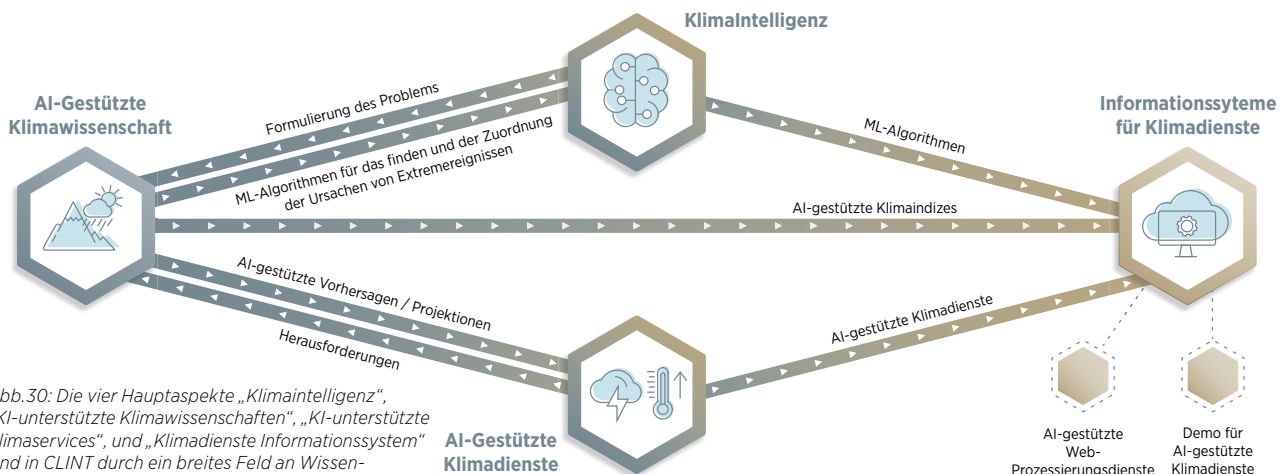


Abb.30: Die vier Hauptaspekte „Klimaintelligenz“, „KI-unterstützte Klimawissenschaften“, „KI-unterstützte Klimaservices“, und „Klimadienste Informationssystem“ sind in CLINT durch ein breites Feld an Wissenschaftler:innen eng miteinander verbunden.

Im Projekt CLINT (*Climate Intelligence*) soll auf der Grundlage von Techniken und Algorithmen des Maschinellen Lernens ein auf Künstliche Intelligenz (KI) basierendes System zur Unterstützung von Klimawissenschaften und Klimadiensten entwickelt werden. Gerade bei der Analyse großer und komplexer Datensätze sind ML-Techniken vorteilhaft, um Extremereignisse wie tropische Wirbelstürme, Hitzewellen, tropische Nächte, Dürren und Überschwemmungen sowie deren Ursachen zu erkennen bzw. zuzuordnen.

Im Rahmen des Projekts (Juli 2021 bis Juni 2025) sollen auch die Auswirkungen von Extremereignissen auf verschiedene sozioökonomische Sektoren unter historischen, prognostizierten und projizierten Klimabedingungen und auf verschiedenen räumlichen Skalen von Europa bis zur

lokalen Ebene quantitativ bestimmt werden, um schließlich innovative KI-gestützte Klimadienste zu entwickeln. Das DKRZ wird mittels KI fehlende Klimainformationen von vergangenen Extremereignissen in Klimadatenätzen ergänzen, um wissenschaftliche Vergleiche zu aktuellen Ereignissen ziehen zu können. Schließlich sollen diese Dienste gemäß aktueller offener Daten- und Softwarestandards auf einer Web-Plattform eingerichtet und in einen Demonstrator überführt werden, damit die Projektergebnisse von öffentlichen und privaten Einrichtungen leichter für die weitere Forschung und Entwicklung von Klimadiensten übernommen werden können.

Projektwebseite:
<https://climateintelligence.eu/>



Abb. 31: Teilnehmer:innen des Kickoff-Workshops der Initiative 2018.



Das natESM-Support-Team: Gemeinsam zur nationalen Modellierungsstrategie

Erdsystemmodelle (ESM) erlauben es, Klimaprozesse und ihre Auswirkungen auf die Gesellschaft besser zu verstehen. Notwendige Fortschritte in der Simulation erfordern umfassendere und höher aufgelöste Modelle, welche auf den aktuell leistungsfähigsten Supercomputern laufen. Hierzu ist meist eine neue, an die Hardware angepasste Programmierung notwendig. Die zunehmend komplexeren Systeme stellen damit immer größere Herausforderungen an die Modell- und Softwareentwicklung. So entstand im Rahmen der nationalen

Projektwebseite:
www.nat-esm.de/

ESM-Strategie die Idee eines „Support-Teams“, das die Modellentwicklung mit seiner HPC-Expertise gezielt unterstützt. Während viele Institute in Deutschland einzelne Modellkomponenten weiterentwickeln, werden technisch orientierte Fragen zur HPC-Softwareentwicklung nun kollektiv angegangen.

Gemeinsam mit dem Jülich Supercomputing Centre und gefördert vom BMBF bietet das DKRZ zunächst für 3 Jahre eine Möglichkeit der gemeinsamen Softwareentwicklung von ESM-Komponenten auf HPC-Systemen an. Damit soll erprobt werden, wie die gemeinsame Entwicklung hochkomplexer Erdsystemmodelle in Deutschland zukünftig organisiert werden kann.

NFDI4Earth nimmt Arbeit auf



Abb. 32: Das offen angelegte Konsortium NFDI4Earth bringt führende nationale Einrichtungen der Erdsystemwissenschaften wie Universitäten, Forschungseinrichtungen, Rechenzentren, Bibliotheken und Archive zusammen. NFDI4Earth wird von der TU Dresden koordiniert; das DKRZ übernimmt eine Co-Sprecherrolle.

Am 2. Juli 2021 beschloss die Gemeinsame Wissenschaftskonferenz von Bund und Ländern die Förderung von NFDI4Earth als eines der Konsortien der Nationalen Forschungsdateninfrastruktur (NFDI). Durch zunehmend digitale Forschungsprozesse wird die Bereitstellung und Wiederverwendbarkeit digitaler Daten immer wichtiger für Wissenschaft und Gesellschaft. NFDI4Earth soll das Forschungsdatenmanagement (FDM) in den Erdsystemwissenschaften in Deutschland stärken. NFDI4Earth startet 2022 mit vier Aufgabenfeldern:

- 2Participate lädt zum Mitmachen ein.
- 2Faciliate ermöglicht den einfachen Zugang zum FDM.
- 2Interoperate entwickelt und konsolidiert technische und infrastrukturelle FDM-Grundlagen.

- 2Coordinate stellt technische Grundlagen bereit und koordiniert das Zusammenspiel der Aufgabenbereiche.

Darüber hinaus vertiefen Interessengruppen einzelne Themen, so etwa die vom DKRZ geleitete Gruppe Machine Learning in den Erdsystemwissenschaften.

Das DKRZ engagiert sich in 2Faciliate und erstellt gemeinsam mit dem Deutschen Wetterdienst in 2Participate eine Pilotanwendung.

Projektwebseite:
www.nfdi4earth.de/

M-VRE: Virtuelles Labor für MOSAiC-Daten

Im Herbst 2019 startete die bisher weltgrößte Arktisexpedition: der Forschungseisbrecher Polarstern ließ sich im Meereis einfrieren und driftete mit diesem ein Jahr lang durch die Arktis. So konnten vielfältige Klimadaten gesammelt werden, die bisher unzugänglich waren. Deren Analyse soll helfen, ozeanographische, biologische und klimatische Prozesse in der Arktis besser zu verstehen und somit auch Klimamodelle zu verbessern.

Um dies zu erleichtern, startete im Sommer 2021 das Projekt M-VRE (Virtual Research Environment for MOSAiC Data) mit dem Ziel, der Wissenschaft und

schließlich auch der Öffentlichkeit eine web-basierte Analyse-Umgebung für diese Messdaten bereitzustellen. Ein Team des Alfred-Wegener-Instituts für Polar- und Meeresforschung entwickelt dafür gemeinsam mit dem DKRZ und dem Institut für Datenwissenschaften am Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt Analyse- und Visualisierungswerkzeuge, die den Zugriff auf diese Arktisdaten sowie ihre Online-Bearbeitung auf Servern des AWI-Rechenzentrums ermöglichen werden. Als Prototyp dafür dient eine im Projekt SeaDataCloud (2016-2020) entwickelte Umgebung, die technisch weiterentwickelt werden soll.

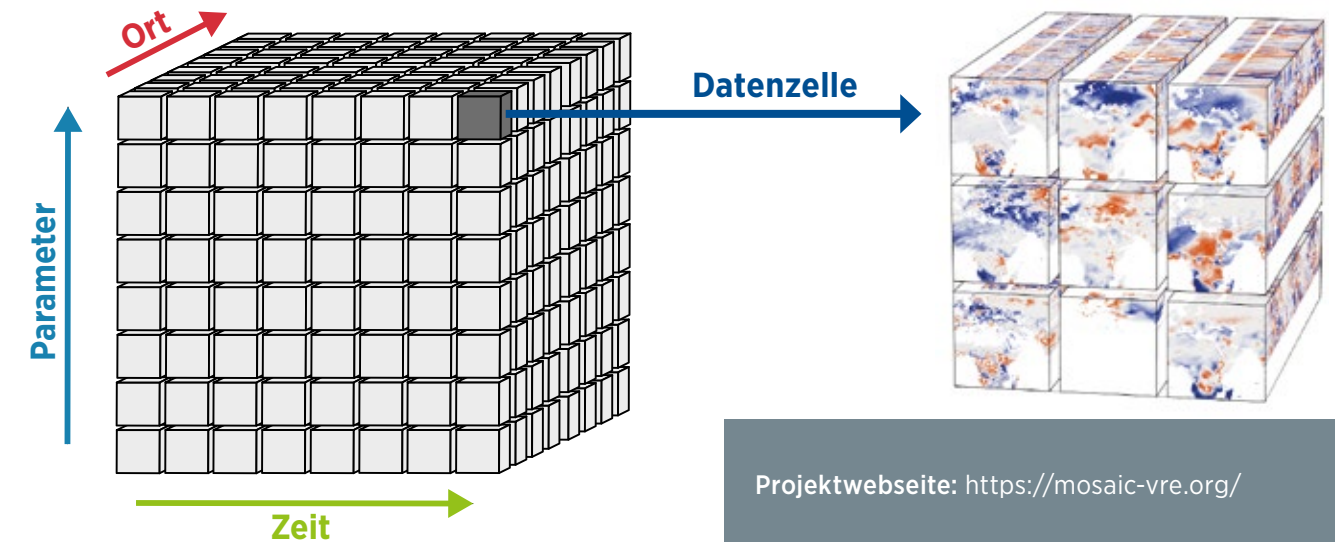


Abb. 33: Die Daten von verschiedenen Orten, Zeitpunkten und gemessenen Parametern werden in einer großen Struktur, dem Data Cube, abgespeichert und erleichtern es so Wissenschaftler:innen, auf die für eine bestimmte Analyse erforderlichen Daten „in einem Rutsch“ zuzugreifen.

Projektwebseite: <https://mosaic-vre.org/>
MOSAiC-Expedition: <https://mosaic-expedition.org/>
SeaDataCloud: www.seadatanet.org/About-us/SeaDataCloud/



**Veranstaltungen,
Workshops**

Veranstaltungen rund um und mit dem DKRZ

Ab März 2020 konnte ein Großteil der geplanten Veranstaltungen aufgrund der Corona-Pandemie nicht in Präsenz stattfinden. Daraufhin stellten Organisator:innen und Vortragende kurzfristig die meisten Veranstaltungen mit großem Engagement und Erfolg auf ein Online-Format um. Was als Reaktion auf die COVID-19-Pandemie entstand, zeigt auf, dass eine umweltfreundlichere Zusammenarbeit durch verstärkte Nutzung der Digitalisierung bei Vermeidung von Reisen möglich ist. Videokonferenzformate und Text-Chats sind gute Alternativen, obwohl auch sie ihre Grenzen haben und persönliche Treffen und Diskussionen zukünftig nicht komplett ersetzen können.



Abb. 34: Aufgrund der Covid-19-Pandemie findet die EGU großteils virtuell statt



Abb. 35: Online-Visualisierungskurs des DKRZ auf der #vEGU 2021.

Im Mai 2020 fand die Europakonferenz der Geowissenschaften (EGU), darunter auch mit zahlreichen Vorträgen vom DKRZ, großteils virtuell statt. Alle Autor:innen luden für ihre ursprünglich geplanten Aktivitäten die Präsentationen auf die EGU-Webseite hoch und diskutierten mit den Online-Teilnehmenden in festen Zeitfenstern in Live-Text-Chat-Sitzungen. Zudem gab es Live-Übertragungen von zehn Symposien und Debatten mit Hauptredner:innen. Über 26.000 Wissenschaftler:innen nahmen an über 700 Sessions mit mehr als 11.000 Präsentationen teil und posteten über 200.000



Abb. 36: Das DKRZ präsentierte sich auf der ISC'21 Digital mit einem virtuellen Infostand.



Abb. 37: Klimasprechstunde auf dem Hamburger Rathausmarkt.

Nachrichten in Live-Text-Chats, um sich über ihre Forschungen und Ideen auszutauschen. Im Jahr darauf fand die EGU als #vEGU21 komplett virtuell statt. Das DKRZ war auch hier mit zahlreichen Vorträgen, PICO-Beiträgen und einem Online-Visualisierungskurs vertreten.

Als größte wissenschaftliche HPC-Konferenz Europas fand die ISC High Performance sowohl im Juni/Juli 2020 als auch im Juni 2021 rein digital statt, um so den

internationalen Austausch für Wissenschaftler:innen in den Bereichen HPC, Netzwerke und Speichertechnologien zu ermöglichen. Während die parallel zur Konferenz stattfindende Ausstellung 2020 ausfallen musste, präsentierte sich 2021 das DKRZ als einer von 82 Ausstellern mit einem virtuellen Infostand. DKRZ-Visualisierungen hochauflöser Klimasimulationen mit Raytracing unter Verwendung von INTEL OSPRay waren auch auf dem Online-Stand der Firma INTEL zu sehen.

Das DKRZ ist ebenfalls vermehrt auf der Konferenzserie PASC (*Platform for Advanced Scientific Computing*) vertreten, die eine internationale und interdisziplinäre Plattform für den Austausch im wissenschaftlichen Rechnen mit Fokus auf Methodik, Werkzeuge, Algorithmen, Anwendungsherausforderungen, neuartige Techniken sowie Anwendungen des Hochleistungsrechnens bietet. Auf der PASC digital engagierte sich das DKRZ-Team im Juli 2021 insbesondere beim Schwerpunkt „Wetter und Klima“: beispielsweise bei der Organisation von Minisymposien, Vorträgen, Poster oder Moderation von Sessions.

In der Vergangenheit engagierte sich das DKRZ nicht nur auf wissenschaftlichen Konferenzen, sondern regelmäßig auch auf Veranstaltungen für die interessierte Öffentlichkeit. Der Pandemie geschuldet fanden diese ebenfalls nur vereinzelt statt. Im September 2020 nahm das DKRZ mit zwei neuen Online-Formaten an der 12. Hamburger Klimawoche teil: Auf dem Hamburger Rathausmarkt ermöglichte eine „Klimasprechstunde“ Besucher:innen, per Videokonferenz mit Wissenschaftler:innen des DKRZ, vom MPI-M und von GERICS zu diskutieren. Direkt daneben zeigten zwei Monitore neueste Klimasimulationen.

Im Rahmen von Wetter.Wasser.Waterkant, der größten Bildungsveranstaltung im Bereich Klimawandel und Nachhaltigkeit im deutschsprachigen Raum, begrüßte das DKRZ-Team im September 2021 zwei Schulklassen und beantwortete Fragen nach der Funktionsweise von Klimamodellen, und warum für deren Berechnung Supercomputer nötig sind. Eine Führung zum Super-

computer und Datenarchiv rundeten das Programm ab.

Auch außerhalb des DKRZ erreichte das DKRZ-Team 2020 und 2021 am Heinrich-Heine-Gymnasium in Hamburgs Norden rund 200 Oberstufenschüler:innen. Bei der Orientierungseinheit von Students for Future Hamburg sollte ein Vortrag den wissenschaftlichen Nachwuchs für das DKRZ und die in seinem Umfeld stattfindende Klimaforschung begeistern.



Abb. 38: Dr. Florian Ziemann hält bei der Orientierungseinheit von Students for Future Hamburg am Heinrich-Heine-Gymnasium einen Vortrag.

Mit Workshops und Schulungen erfolgreich Wissen vermitteln

Das DKRZ unterstützt seine wissenschaftlichen Nutzer:innen bei der Klimamodellierung, der Datenhandhabung oder der Visualisierung. Workshops sollen dabei helfen, vorhandenes Wissen zu erweitern, gut erwiesene Praktiken weiterzugeben und Raum für Diskussionen und Erfahrungsaustausch zu bieten. Auch diese Schulungen wurden ab Anfang 2020 großteils im Online-Format durchgeführt.

Tech Talks: Neue Online-Vortragsreihe

Am 1. September 2020 startete das DKRZ erfolgreich mit seiner neuen virtuellen Vortragsreihe TechTalks, welche Dienste des DKRZ vorstellt und bisher durchschnittlich 120 Teilnehmer:innen erreicht. Thematisch decken die TechTalks konkrete Aspekte und Best Practices bei der Nutzung der DKRZ-Systeme ab. Weitere Themen waren Rechenzeitanträge oder die Vorstellung der Arbeit ausgewählter DKRZ-Teams, wie beispielsweise der neuen Gruppe Maschinelles Lernen. Zugleich bieten sie ein Forum für entsprechende Fachfragen der DKRZ-Nutzer:innen. Mitschnitte der Vorträge sind auf dem DKRZ-YouTube-Kanal verfügbar.

Projekt-Workshops

Zum Austausch zwischen den Partnern fanden zahlreiche Workshops im Rahmen von Projekten statt. Im Mai 2020 war das DKRZ Gastgeber für den 6. HPC-

Workshop des europäischen Netzwerks für Erdsystemforschung ENES und für das Jahrestreffen des Projektes ESiWACE. Der ursprüngliche straffe Zeitplan der eigentlich in Präsenz geplanten Veranstaltungen wurde für die etwa 180 Teilnehmenden entzerrt, in dem die insgesamt 35 Vorträge auf vier Tage mit je dreistündigen Videokonferenzen verteilt wurden.



Abb. 39: Screenshot der Online-Teilnehmer:innen des 6. ENES HPC Workshops.

Für das Projekt AtMoDat organisierte das DRKZ am 1. Juli 2020 ein 45-minütiges Webinar, in dem der *Data Maturity Indicator* vorgestellt und mit den 70 Teilnehmenden diskutiert wurde, bevor diese Erweiterung bei der DataCite-Metadaten-Arbeitsgruppe eingereicht wurde.



Abb. 40: Teilnehmer:innen des Auftakt-Workshops zu Künstlicher Intelligenz und Maschinellem Lernen.

Ebenfalls im Juli 2020 organisierten die Koordinator:innen des Projekts ClimXtreme einen Online-Workshop zum *ClimXtreme Central Evaluation System (XCES)*, das auf dem DKRZ-Supercomputer Mistral betrieben wird und die Infrastruktur zur Auswertung von Klimadaten für die ClimXtreme-Partner bietet. Der Workshop zielte darauf ab, die 40 Teilnehmenden mit der Infrastruktur vertraut zu machen. Praktische Übungen demonstrierten die grundlegenden XCES-Funktionen vom Datenabruf, Hinzufügen von selbst generierten Daten bis zur anschließenden Analyse mithilfe der dort hinterlegten Plugins.

Im Rahmen der virtuellen *Summer School on Effective HPC for Climate and Weather* des EU-Projektes ESiWACE tauschten sich die 80 Teilnehmer:innen vom 24. bis 28. August 2020 über Themen wie HPC-Hard-

ware, Datenspeicherung, Simulationen, Maschinelles Lernen bis hin zu Datenanalyse und Visualisierung aus. Das DKRZ übernahm eine Präsentation zur Visualisierung extrem großer Datensätze und eine Einführung in die Visualisierungssoftware ParaView.

Vom 30. September bis 1. Oktober 2020 kamen 160 Forschende zum 2. Jahrestreffen des Hamburger Exzellenzclusters CLICCS zusammen, um in virtuellen Vorträgen und Breakout-Sessions erste Ergebnisse der verschiedenen Unterprojekte und neue Herausforderungen zu diskutieren. Das DKRZ ist für die Bereiche Software Engineering und Datenmanagement verantwortlich, unterstützt aber mit seiner Visualisierungsgruppe auch die CLICCS-Aktivitäten zur visuellen Datenanalyse.

Für die beiden Projekte IS-ENES3 und EOSC-Hub organisierte das DKRZ-Team am 8. und 9. März 2021 einen Online-Workshop zur Datenanalytik, an dem bis zu 150 Erdsystem- und Datenwissenschaftler:innen teilnahmen. Das Training stellte die Verarbeitung multidimensionaler CMIP-Daten mit dem neuen Dienst ECAS (*ENES Climate Analytics Service*) vor.

Machine-Learning-Workshop

Die Helmholtz-Gemeinschaft hat die Plattform HAICU für Künstliche Intelligenz und Maschinelles Lernen initiiert. Das Team der lokalen HAICU-Einheit AIM am HZG und DKRZ organisierte als Kick-off am 3. und 4. Februar 2020 einen Workshop zur Anwendung von ML-Methoden in den Erdsystemwissenschaften. Die 50 Teilnehmer:innen aus verschiedenen Gebieten der Erdsystemforschung und Informatik kamen zusammen,

um einen ersten Austausch über Herausforderungen, Methoden und künftige Aktivitäten anzugehen.

Der vom Helmholtz-Zentrum Hereon gemeinsam mit GERICS und dem DKRZ organisierte sowie von Helmholtz AI unterstützte virtuelle Workshop zum Thema *Machine Learning for Earth System Modelling and Analytics* am 3. und 4. Mai 2021 war ein großer Erfolg. Die ca. 200 Teilnehmenden, darunter jeweils ein Drittel aus Helmholtz-Zentren sowie aus internationalen Institutionen, tauschten sich über die Anwendung von ML-Methoden insbesondere jenseits der rechnergestützten Modellierung aus. Diese Ausrichtung wurde gut angenommen. Sowohl die Vortragenden als auch das Publikum repräsentierten ein breites Themenspektrum von Erdbeobachtung und Klimafolgenabschätzung bis hin zu Katastrophenhilfe.

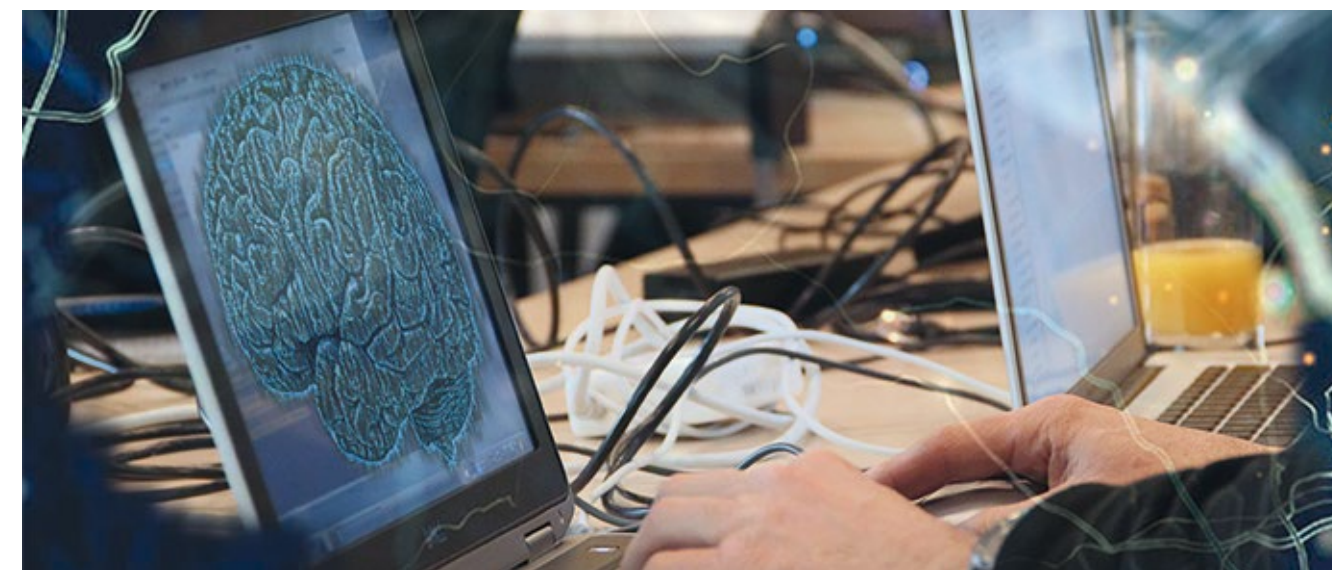


Abb. 41: Virtueller Workshop zum Thema Machine Learning for Earth System Modelling and Analytics.

Workshops

Am 28. Oktober 2021 organisierten ML-Gruppenleiter Dr. Christopher Kadow und Helmholtz-AI-Teamleiter Dr. Tobias Weigel in Kooperation mit den Firmen NVIDIA und NetApp einen internen Online-ML-Workshop, um die 52 eingeladenen Programmierer:innen und Wissenschaftler:innen mit ML-Themen sowie -Projekten in und um das DKRZ vertraut zu machen. Darüber hinaus wurden aktuelle Themen zu ML-Verbindungen (*Pipelines*) und neueste ML-Entwicklungen in den Erdsystemwissenschaften vorgestellt. Der Workshop hat gezeigt, dass ML-Methoden immer häufiger Bestandteil klimawissenschaftlicher Forschung sind und es daher einen großen Bedarf an entsprechenden Schulungsangeboten – insbesondere in Hinblick auf den neuen Supercomputer Levante – gibt. In Zukunft sind daher weitere Workshops für alle Interessierten geplant.

Workshops zu Hochleistungsrechnen und Modellentwicklung

Vom 20. bis 22. Oktober 2020 organisierte das DKRZ gemeinsam mit dem Max-Planck-Institut für Meteorologie das *ICON-Developer-Meeting*, um die weitere Entwicklung des ICON-Modells zu diskutieren. Dabei wurden Strategien vorgestellt, mit denen ICON sowohl in komplexen Erdsystemmodellen auf Klimazeitskalen als auch für innovative Simulationen mit wolken- und sturmauflösenden Modellversionen effizient eingesetzt werden kann. Modellrechnungen dieser Art stellen sehr hohe Anforderungen an Rechenleistung, wie sie nur moderne Peta-/Exascale-Supercomputer bieten.

Visualisierung

Am 28. Januar 2020 führte das DKRZ-Visualisierungsteam einen ParaView-Workshop für Wissenschaftler:innen des Helmholtz-Zentrums Geesthacht durch. Nach einem Überblick und einer Einführung in die Grundlagen von ParaView arbeiteten die 15 Teilnehmenden an der interaktiven Visualisierung ihrer eigenen Datensätze.



Abb. 42: ParaView-Workshop für Wissenschaftler:innen des Helmholtz-Zentrums Geesthacht.

Vom 26. bis 29. Oktober 2021 bot das DKRZ für 20 seiner Nutzer:innen aus unterschiedlichen Geowissenschaftsbereichen erstmalig einen Online-Python-Kurs an. Das Tutorenteam vom DKRZ und der Gruppe Wissenschaftliches Rechnen stellte dabei die Nutzung von Basis-Werkzeugen wie *Unix-Shell*, *Git*, *Conda* oder *Jupyter*, die Grundlagen der Python-Programmierung und Datenanalyse-Werkzeuge wie *Numpy*, *Xarray* und *CDO* vor oder informierte zu komplexeren Anwendungen wie dem Python-basierten Wettermodell *Globagrims* oder Python-basierten Lösungen für die Klimadatenvisualisierung. Aufgrund der überwältigenden Nachfrage und des überwiegend sehr positiven Feedbacks plant das DKRZ, diesen Kurs regelmäßig anzubieten. Der Workshop war innerhalb von Minuten ausgebucht; ein Vielfaches an Interessierten stand noch auf der Warteliste.



Maschinelles Lernen und Künstliche Intelligenz in der Erdsystemforschung

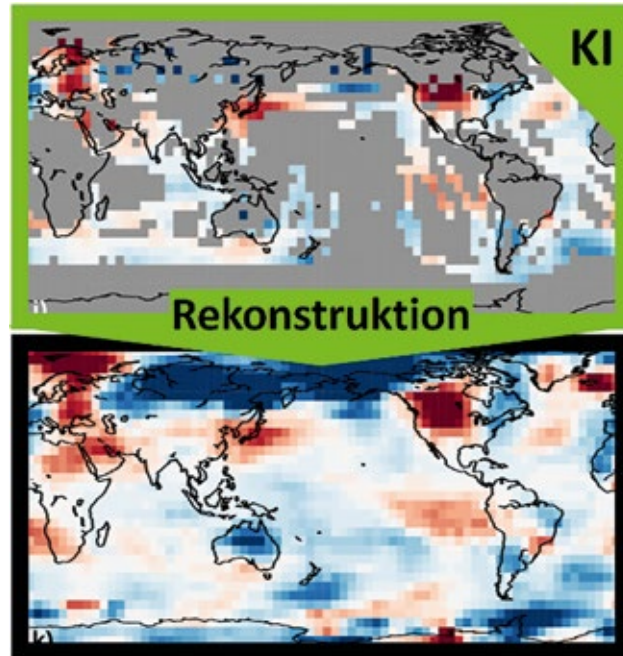


Abb. 43: In Kooperation mit NVIDIA und der Freien Universität Berlin wurde in der neuen KI/ML-Gruppe am DKRZ eine KI-Technologie samt CUDA-beschleunigtem, neuronalen Netz entwickelt, die mittels Training von Klimamodellendaten in der Lage ist, fehlende Werte in Beobachtungsdaten zu rekonstruieren.

Das Maschinelle Lernen als eine der Methoden der Künstlichen Intelligenz wird in der Klimawissenschaft und am DKRZ immer wichtiger. Mit der 2020 gegründeten Forschungsgruppe *Climate Informatics and Technologies* unter Leitung von Dr. Christopher Kadow entstand am DKRZ eine besondere Schnittstelle zwischen Klima- und KI/ML-Forschung. Moderne ML-Methoden sollen für die Klimawissenschaften auf dem Hochleistungsrechner des DKRZ erforscht und

der Erdsystemgemeinschaft zur Verfügung gestellt werden, um zum Beispiel Klimavorhersagen zu verbessern, aber auch fehlende Klimaaufzeichnungen zu rekonstruieren. Für seine Forschungen und Pionierarbeit beim Einsatz von ML-Methoden in der Erdsystemforschung wurde Christopher Kadow im November 2021 mit dem renommierten *Outstanding Early Career Scientist Award* der *European Geoscience Union* im Bereich Informatik der Erdsystem- und Weltraumwissenschaften geehrt, den er während der EGU im Mai 2022 in Empfang nehmen darf.

Bessere Verlinkung zwischen Daten und wissenschaftlichen Publikationen

Es gehört zur guten wissenschaftlichen Praxis, bei wissenschaftlichen Veröffentlichungen in Fachzeitschriften in der Publikationsliste anzugeben, auf welchen Daten die Forschungsergebnisse beruhen. Das DKRZ unterstützt diese Praxis, indem es Datensätze langzeitarchiviert und nach den *DataCite*-Vorgaben mit einem sogenannten DOI, einem *Digital Object Identifier (DOI)*, versieht.

Seit März 2020 hat der Verlag Elsevier auf Anfrage des DKRZ die automatische Abfrage zur Artikelreferenzierung aus den Metadaten mittels seiner Schnittstelle Scholix aktiviert. Scholix ist die Abkürzung für *Scholarly Link Exchange*. Ziel von Scholix ist es, die Verbindungen zwischen wissenschaftlicher Literatur und Forschungsdaten zu verbessern. Dabei greift Scholix aktiv auf die in den Metadaten angegebenen Artikelreferenzen der DKRZ-Archive zu, wertet diese aus und publiziert den Link zu entsprechenden Datensätzen

neben den Artikeln auf der Webseite von Elsevier. Die Verknüpfung von wissenschaftlicher Literatur und Daten führt zu einer höheren Sichtbarkeit, zu besserem Auffinden und Abrufen von Literatur und Daten, was die Wiederverwendung, Reproduzierbarkeit und Transparenz erleichtert.



Abb. 44: Dr. Christopher Kadow erhält für seine Forschungen zum Einsatz von ML-Methoden in der Erdsystemforschung den Outstanding Early Career Scientist Award 2021 der EGU.

Das DKRZ in den Medien

Bei den Themen Klima und Klimawandel ist das DKRZ seit langem ein kompetenter Partner für Medien und interessierte Öffentlichkeit. So sprach im März 2020 Michael Böttinger für den *Scientists-for-Future-Podcast* in der „Folge #2 – Deutsches Klimarechenzen-

trum“ über Klimamodellierung und -wandel, sowie über die Visualisierung von Klimadaten und darüber, wie das DKRZ Klimaforscher:innen in Deutschland bei ihrer Arbeit unterstützt.

Ende 2020 erschien auf dem deutschsprachigen Sender für Wissenschaft und Technologie HYPERRAUM.TV eine fünfteilige Videoreihe über Klimamodellierung. Die Filme entstanden u.a. in Kooperation mit dem DKRZ, CLICCS/CEN der Universität Hamburg, der europäischen Raumfahrtagentur ESA, der US-Behörde NASA oder der Universität Hannover. Die Serie erklärt wesentliche Arbeitsschritte, um das Erdsystem mit numerischen Modellen zu berechnen. In der Episode „Von Zahlen zum Bild“ zeigt der DKRZ-Visualisierer Michael Böttinger, wie Visualisierungen solcher Klimasimulationen entstehen, die Wissenschaftler:innen helfen, die berechneten Vorgänge besser zu verstehen oder zu kommunizieren.

Auf seinem eigenen YouTube-Kanal veröffentlicht das DKRZ in unregelmäßigen Abständen Videos über Klimasimulationen, Visualisierungen und Videomitschnitte seiner neuen Online-Vortragsreihe TechTalks. Im April 2020 wurde beispielsweise ein 180°-VR-Video über das Projekt DYAMOND++ zu sturmauflösenden Klima- und Atmosphärenmodellen veröffentlicht. Der Kurzfilm beschreibt die Entwicklung des Projektes – angefangen von in der Vergangenheit verwendeten Klimamodellen mit niedriger Auflösung bis hin zu regionalen hochaufgelösten Modellen, die eine detaillierte Untersuchung von Wolken und Wolkenbildungsprozessen ermöglichen. Eine im November 2020 online gestellte 3D-Visualisierung von Wolken auf Basis von

Panorama

Simulationen mit dem Klimamodell ICON veranschaulicht die Vision, kleinräumige Prozesse explizit auf globaler Ebene zu simulieren und damit den Bedarf an Parametrisierungen in Klimamodellen zu verringern.



Abb. 45: Der deutschsprachige Sender HYPERRAUM.TV veröffentlicht Ende 2020 u.a. in Kooperation mit dem DKRZ eine Videoreihe zur Klimamodellierung.

Auszeichnung für die beste wissenschaftliche Visualisierung für das DKRZ

Ein gemeinsames Team des DKRZ, des Max-Planck-Instituts für Meteorologie, der Universität Stockholm und der Intel Corporation hat auf der *Supercomputing Conference (SC'21)* den *Best Scientific Visualization & Data Analytics Showcase Award* für ihre Visualisierung „Putting the Ocean into the Center: A coupled ICON Atmosphere/Ocean Simulation in Spilhaus Projection“ gewonnen. Mit der Auszeichnung würdigt die Jury die

beeindruckendsten Videos des Jahres im HPC-Bereich unter den Bewertungskriterien Gesamtqualität, Darstellung der wissenschaftlichen Inhalte und kreative Innovationen im Produktionsprozess.

Klimasimulationen sind eine der datenintensivsten wissenschaftlichen Disziplinen. Das diesjährige Gewinnerteam hat eine sturmauflösende Simulation mit dem global gekoppelten Erdsystemmodell ICON-ESM durchgeführt, das globale Simulationen mit einer Auflösung von 5 km ermöglicht. Für die Visualisierung wurde die Spilhaus-Projektion ausgewählt, die die Ozeane als einen Wasserkörper ohne Ausschnitte, Beschneidungsebenen und mit nur geringen Verzerrungen darstellt. Visualisiert wurden die zeitlich variierenden 3D-Ozean- und Atmosphärendaten wie Luftdruck in Meereshöhe, Windstärke in 10 m Höhe, Strömungsgeschwindigkeit des Wassers an der Meeresoberfläche, Meereisbedeckung, Wolkenwasser und Wolkeneis sowie die Temperatur an der Meeresoberfläche.

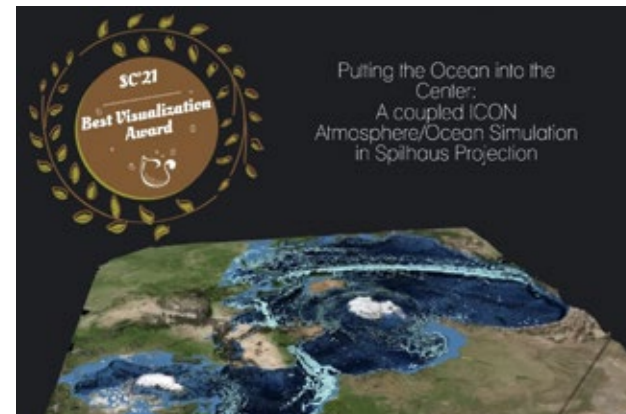


Abb. 46: Die Einreichung „Putting the Ocean into the Center: A coupled ICON-Atmosphäre/Ocean-Simulation in Spilhaus-Projektion“ erhielt auf der SC'21 den Preis als Best Scientific Visualization & Data Analytics Showcase.



Zahlen, Daten, Fakten

Klimaschutzbeitrag vom DKRZ durch Abwärmenutzung

Das DKRZ betreibt eines der effizientesten Hochleistungsrechenzentren weltweit, in dem Klimasimulationen relativ umweltschonend durchgeführt werden können. Durch die 2020 in Betrieb genommene Nutzung der Abwärme des Supercomputers zur Beheizung von Laboren im Nachbargebäude konnte die Energieeffizienz des Rechenzentrums erneut gesteigert werden. Im Verlauf von 2020 konnte so etwa 25% der erzeugten Abwärme in den Laboren genutzt werden. Das entspricht einer Einsparung von knapp 2.000 Tonnen Kohlendioxid. 2021 lag die Einsparung bei 3.500 Megawattstunden – das entspricht dem Verbrauch von 140 Einfamilienhäusern für Heizung und Warmwasser. Eine weitere Erhöhung der Einspeisung auf 4.000 Megawattstunden ist in Planung. Auch die Abwärme des neuen Supercomputers Levante, der ebenfalls mit einer Hochtemperaturwasserkühlung ausgestattet ist, wird zukünftig für die Beheizung der Labore genutzt.

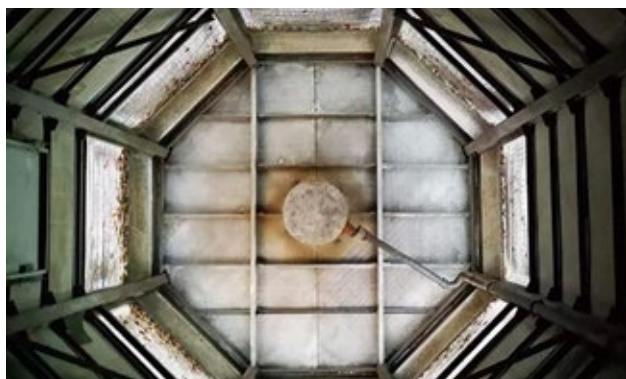


Abb. 47: Nutzung der Abwärme des DKRZ-Supercomputers - Filter des Zugluftsaugturms, die vor den Wärmetauschern platziert sind.

DKRZ macht Datenkollektionen des Reanalyseprojekts ERA5 verfügbar

Da es nicht möglich ist, den Zustand der dreidimensionalen Atmosphäre weltweit kontinuierlich zu messen, werden vorhandene aktuelle und historische Beobachtungsdaten in ein Wettervorhersagemodell „assimiliert“, um so eine kontinuierliche Reanalyse des vergangenen Wettergeschehens zu erstellen. Zur Erleichterung der wissenschaftlichen Arbeit mit diesen häufig genutzten Daten hat das DKRZ die Daten des aktuellen Reanalyseprojektes ERA5 vom Europäischen Zentrum für mittelfristige Wettervorhersage nach Hamburg übertragen. Dieser globale Datensatz hat eine horizontale Auflösung von 31 km bei einer zeitlichen Auflösung von 6 Stunden, und deckt den Zeitraum von 1979 bis heute ab. Aktuell belegen die Daten ca. 690 Terabyte Speicherplatz auf dem Dateisystem des Supercomputers. Voraussichtlich sollen Ende 2022 die ERA5-Reanalysen ab dem Jahr 1950 auf dem DKRZ-Dateisystem zur Verfügung stehen und dann ein Datenvolumen von etwa 1,3 Petabyte umfassen. Die Daten der vorhergehenden Reanalyse-Projekte des ECMWF (ERA40 und ERA Interim) stehen dort ebenfalls weiterhin zur Verfügung.

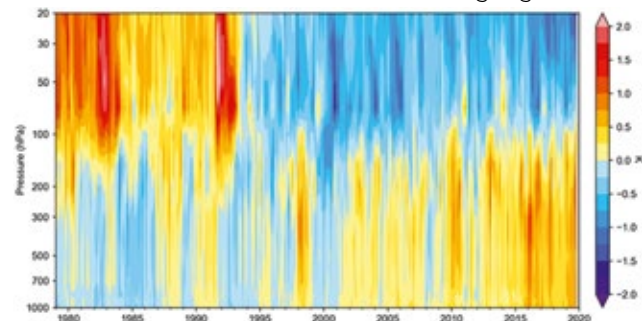


Abb. 48: Beispiel für einen ERA-5-Datensatz: Berechnete Temperaturanomalien in den ERA5-Daten relativ zum Zeitraum 1981-2010 (Quelle: ECMWF).

TOP500: Supercomputer Mistral im weltweiten Vergleich

Zweimal jährlich erscheint die TOP500-Liste der leistungsstärksten Supercomputer der Welt: im Juni auf der *International Supercomputing-Konferenz* in Deutschland und im November auf der *Supercomputing Conference* in den USA. Der DKRZ-Supercomputer Mistral erreichte im Juni 2020 Platz 93 der Liste, im November 2020 Platz 110 und im Juni 2021 Platz 141. Im November 2021 landete Mistral nach über sechs Jahren Betrieb auf dem respektablen 164. Platz, bevor der Rechner 2022 schließlich in den wohlverdienten Ruhestand geschickt und durch das fünffach leistungsfähigere System Levante ersetzt wird. Levante stieg während der Aufbauphase im November 2021 bereits auf Platz 68 der Liste ein, wobei dessen endgültige Spitzenrechenleistung erst im Frühjahr 2022 erreicht wird.

Im weltweiten Vergleich der Speicherkapazität von Hochleistungsrechenzentren lag Mistral mit 52 Petabyte bis November 2021 sogar auf Platz 5.



Abb. 49: Der Supercomputer Mistral stieg 2016 auf der Top500-Liste der leistungsstärksten Supercomputer der Welt auf Platz 38 ein. Nach über sechs Jahren Betrieb landete Mistral im November 2021 immerhin noch auf einem respektablen 164. Platz.

Erweiterung des DKRZ-Datenarchivs

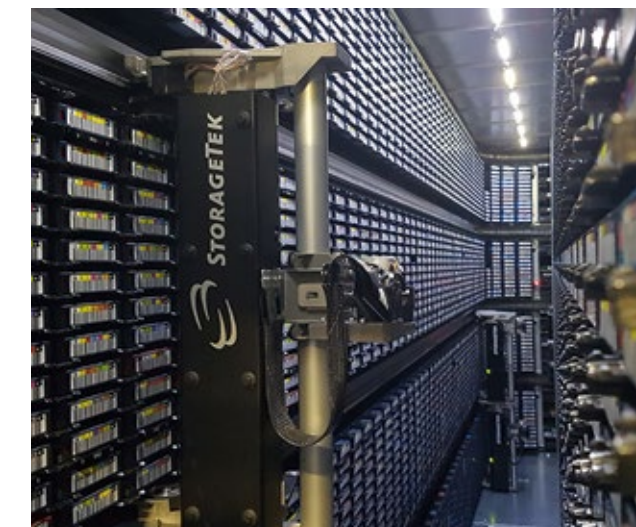


Abb. 50: Magnetbandkassetten im Langzeitdatenarchiv des DKRZ.

In regelmäßigen Abständen erweitert das DKRZ sein Datenarchiv: Im November 2020 erhielten die Bandbibliotheken des Archivs 4.500 neue Magnetbandkassetten des Typs LTO-7 mit einer unkomprimierten Speicherkapazität von je neun Terabyte und damit insgesamt 40,5 Petabyte weiteren Speicherplatz, die nun für die Langzeitarchivierung der Klimamodellergebnisse zur Verfügung stehen. Gleichzeitig haben etwa 2.900 LTO-4-Bänder (mit je 800 Gigabyte Speicherkapazität) ausgedient und wurden aus der Bandbibliothek entnommen. Insgesamt bietet das Datenarchiv am DKRZ Platz für 67.000 Magnetbänder sowie zusätzliche 10.000 Stellplätze in Garching. Ende 2021 sind im Archiv etwa 120 Petabyte Klimamodelldaten – verteilt auf knapp 33 Millionen Dateien – gespeichert.

Klimasimulationen für das Modellvergleichsprojekt CMIP6 und den sechsten Weltklimabericht

Zwischen 2018 und 2021 berechneten Wissenschaftler:innen deutscher Klimaforschungseinrichtungen, darunter auch vom DKRZ, viele CMIP6-Experimente, standardisierten die Ergebnisdaten und publizierten diese über den Datenknoten der *Earth System Grid Federation* am DKRZ.

Für den deutschen Beitrag im Projekt CMIP6-DICAD erforderten diese Simulationen am DKRZ mehr als drei Millionen Knotenstunden Rechenzeit. Insgesamt wurden etwa 10.500 Modelljahre simuliert. Dazu kommen zusätzliche 13.000 Modelljahre, die bis Ende 2021 in weiteren 200.000 Knotenstunden als Beitrag für die CMIP6-Large-Ensemble-Simulationen berechnet wurden.

Der CMIP6-Datenpool am DKRZ umfasste Ende 2021 ungefähr 1,5 Petabyte an qualitätsgeprüften, primär publizierten und 2,5 Petabyte an replizierten Klimamodelldaten, d.h. Kopien der Simulationsergebnisse von Instituten aus anderen Ländern. Der Teil der CMIP6-Daten, die im IPCC AR6 verwendet werden, wird für die langfristige Nachnutzung, etwa für die Klimafolgenforschung, in das *IPCC Data Distribution Centre* am DKRZ überführt.



Abb. 51: Auf einen Blick – alle Daten zum Team goDKRZ beim Stadtradeln in Hamburg.

Team goDKRZ beim Stadtradeln in Hamburg

Die 19 Radler:innen des Teams goDKRZ strampelten knapp 3.000 Kilometer für ein gutes Klima beim Stadtradeln 2021 in Hamburg – das entspricht etwa der Strecke Hamburg-Ankara. Damit erreichte das Team immerhin Platz 195 und sparte fast 450 kg CO₂ ein.

Das „Stadtradeln“ ist eine weltweite Klimaschutz-Kampagne und das größte kommunale Netzwerk von Städten, Gemeinden und Landkreisen zum Schutz des Weltklimas, dem über 2.000 Mitglieder in 26 Ländern Europas angehören. In Hamburg gingen 2021 über 1.200 Teams an den Start und knackten die 2-Millionen-Marke an gefahrenen Kilometern, was über 300 t CO₂ entspricht.

Besucherguppen

Aufgrund der Corona-Pandemie mussten zahlreiche der beliebten Besucherführungen am DKRZ ausfallen. 2020 und 2021 erhielten immerhin jeweils knapp 20 Gruppen mit insgesamt je 350 bis 400 Besucher:innen die Möglichkeit, sich direkt vor Ort am DKRZ oder virtuell per Videokonferenztechnik über die Mission des

DKRZ, Klimasimulationen und den Klimawandel zu informieren. Darunter waren Gruppen aus Deutschland und Norwegen, Schulklassen und Studierende verschiedener Fachrichtungen, Seniorengruppen, Volkshochschulen und Bildungsurlauber:innen.



Abb. 52: Während ihres Besuchs am DKRZ erhalten Besucher:innen eine Führung zum Supercomputer des DKRZ.

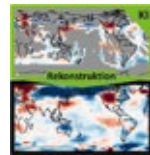


Januar 2020
Installation neuer Paraview-Software auf Mistral wie *Topology Toolkit*, Möglichkeit für 360°-Videos und Raytracing mit Hilfe von Intels' OSPRay

Januar 2020
Energieeffizienz von Mistral: 25% der Abwärme wird in den benachbarten Chemielaboren weiter verwendet – jährliche Ersparnis von knapp 2000 t Kohlendioxid



11. Februar 2020
DKRZ organisiert Datenmanagement-Workshop für das Projekt PalMod2



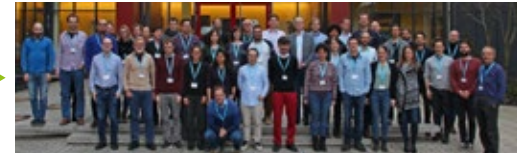
26. Februar 2020
Vortrag des ML-Gruppenleiters Dr. Christopher Kadow im MPI-M-Seminar zum Thema „Climate Informatics – New Driver in Climate Science: Artificial Intelligence“



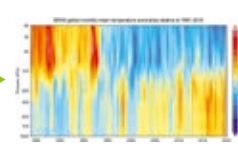
28. Januar 2020
DKRZ führt Paraview-Workshop am Helmholtz-Zentrum Geesthacht (HZG, jetzt Hereon) durch



4. März 2020
DKRZ-Vortrag bei meetup.ai in der Hamburger HafenCity zum Thema „Tackling Climate Change with Machine Learning“



3. und 4. Februar 2020
Workshop zu Methoden des Maschinellen Lernens in den Erdsystemwissenschaften als Kick-off für das Projekt Helmholtz AI



26. März 2020
Datenkollektionen der Projekte ERAS, CMIP und CORDEX für die Klimaforschung am DKRZ verfügbar



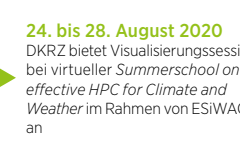
März 2020
Verlag Elsevier aktiviert auf Anfrage des DKRZ die Schnittstelle Scholix für eine automatische Verlinkung zwischen Daten und Publikationen



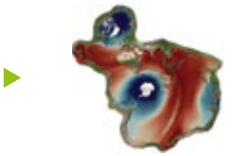
1. August 2020
Führungswechsel: Dr. Hendryk Bockelmann übernimmt Leitung der Abteilung Anwendungen



August 2020
DKRZ-Jahrbuch 2018-2019 erscheint



24. bis 28. August 2020
DKRZ bietet Visualisierungssession bei virtueller Summerschool on effective HPC for Climate and Weather im Rahmen von ESIWACE an



August 2020
Visualisierungsteam am DKRZ stellt für den ICON-netCDF-Reader für Paraview die Darstellung der Spielhaus-Projektion bereit



1. September 2020
DKRZ startet mit Tech Talks neue Online-Vortragsreihe am DKRZ



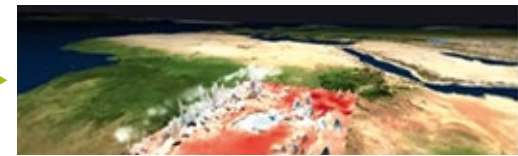
September 2020
DKRZ stellt 30 Terabyte RCEMIP-Daten in DKRZ-Cloud bereit; dieser ist Grundlage für Übersichtsartikel zu Radiative Convective Equilibrium Model Intercomparison Project



20. bis 27. September 2020
Klimasprechstunde mit dem DKRZ auf der Hamburger Klimawoche



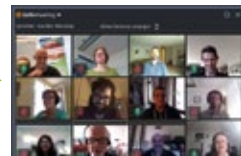
4. April 2020
Scientist4Future-Podcast über Klimamodellierung und -wandel sowie die Visualisierung von Klimadaten am DKRZ erscheint



27. April 2020
DKRZ veröffentlicht 180°-Video über das Projekt DYAMOND++ zu sturmauflösenden Klima- und Atmosphärenmodellen auf YouTube



4. bis 8. Mai 2020
Zahlreiche DKRZ-Beiträge auf der Jahrestagung der European Geosciences Union – coronabedingt findet das Treffen virtuell statt.



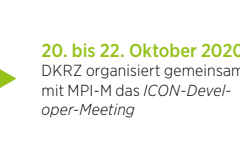
25. bis 29. Mai 2020
DKRZ organisiert virtuellen 6. HPC-Workshop des europäischen Netzwerk für Erdsystemforschung ENES und ESIWACE2-Jahrestreffen



21. bis 30. September 2020
DKRZ-Team portiert Teile des ICON-Modellcodes beim virtuellen GPU-Programmier-Hackathon „Eurohack 2020“



30. September bis 1. Oktober 2020
DKRZ nimmt am virtuellen CLICCS-Jahrestreffen teil



20. bis 22. Oktober 2020
DKRZ organisiert gemeinsam mit MPI-M das ICON-Developer-Meeting



9. bis 19. November 2020
Visualisierungsteam des DKRZ stellt DYAMOND-Film auf der virtuellen Supercomputing Conference SC'20 vor

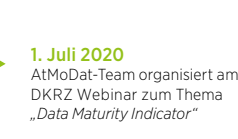
15. Juni 2020
Dr. Frauke Feser übernimmt Stellvertretung im Wissenschaftlichen Lenkungsausschuss und Dr. Catharina Sasse Vorsitz der Gesellschafterversammlung



22. Juni 2020
DKRZ vergibt Fünfjahresvertrag über die Lieferung des Supercomputers HLRE-4 an Atos



22. bis 25. Juni 2020
DKRZ nimmt an virtueller International Supercomputing Conference ISC'20 teil



1. Juli 2020
AtMoDat-Team organisiert am DKRZ Webinar zum Thema „Data Maturity Indicator“



16. Juli 2020
DKRZ organisiert Online-Workshop zum ClimXtreme Central Evaluation System



18. November 2020
Offizielle Vertragsunterzeichnung für den neuen Supercomputer HLRE-4 zwischen Atos und dem DKRZ



24. bis 27. November 2020
Datenarchiv des DKRZ erhält 4.500 neue Magnetbandkassetten und somit 40,5 Petabyte zusätzlichen Speicherplatz



November bis Dezember 2020
Auf HYPERRAUM.TV erscheint in Zusammenarbeit mit dem DKRZ Videoreihe zur Klimamodellierung



Januar 2021
Energieeffizienz: 3.500 Megawattstunden Abwärme von Supercomputer Mistral in Chemielaboren nebenan genutzt

22. Januar 2021
Dr. Beate Geyer, Prof. Hans von Storch und Prof. Thomas Ludwig veröffentlichen Publikation zur Reproduzierbarkeit in der Regionalmodellierung



Januar 2021
Publikation über die Visualisierung von Klimasimulationsdaten von DKRZ-Visualisierern und MPI-M



12. Februar 2021
Offizielle Vertragsunterzeichnung für das neue Exabyte-Datenarchiv zwischen Cristie Data und dem DKRZ



2. Juli 2021
Förderantrag für NFDI4Earth erfolgreich - DKRZ ist einer der Mit Antragsteller



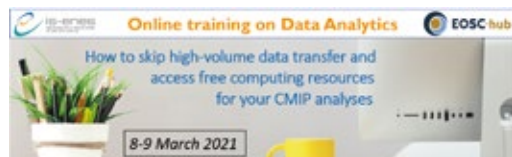
5. bis 9 Juli 2021
Zahlreiche DKRZ-Aktivitäten auf der Online-Konferenz PASC Digital



6. Juli 2021
Erste Hardware-Lieferungen für den neuen Supercomputer HLRE-4 am DKRZ



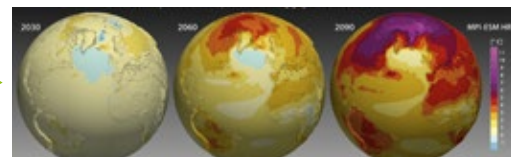
9. August 2021
Veröffentlichung von Teil I des sechsten IPCC-Berichts mit neuen Datendokumentationsvorgaben, die u.a. das DKRZ mitarbeitet hat



8. und 9. März 2021
DKRZ organisiert Online-Training zur Datenanalytik im Rahmen der Projekte IS-ENES3 und EOSC-Hub



19. bis 30. April 2021
Zahlreiche DKRZ-Beiträge auf der virtuellen Jahrestagung der European Geosciences Union #vEGU



April 2021
Veröffentlichung von zahlreichen Informationen und Visualisierungen der CMIP6-Simulationen auf DKRZ-Webseite



1. bis 21. September 2021
Stadtradeln in Hamburg: Team goDKRZ fährt knapp 3.000 km und vermeidet damit fast 450 kg CO₂



26. bis 29. Oktober 2021
Online-Python-Kurs für Erdsystemwissenschaften am DKRZ



28. Oktober 2021
DKRZ organisiert gemeinsam mit NVIDIA und NETAPP einen Machine-Learning-Workshop



3. November 2021
Early Career Scientist Award der European Geosciences Union geht an Dr. Christopher Kadow vom DKRZ



3. und 4. Mai 2021
Hereon, GERICS und DKRZ bieten Workshop zu Maschinellem Lernen für die Erdsystemanalyse und -modellierung an



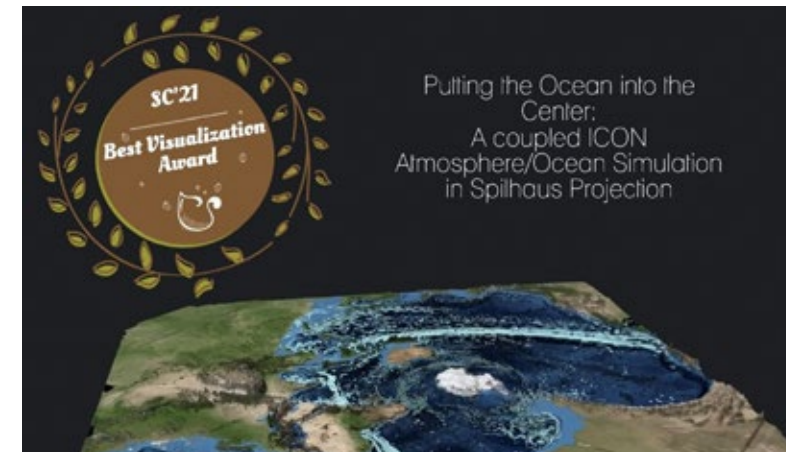
Juni 2021
Nach Relaunch erscheint die DKRZ-Webseite im neuen Design



14. Juni bis 30. September 2021
Onlinewettbewerb „AI4Sentinel challenge“: DKRZ-Team erreicht Platz drei



24. Juni bis 2. Juli 2021
DKRZ mit virtuellem Stand auf der International Supercomputing Conference ISC'21 Digital



18. November 2021
DKRZ erhält Auszeichnung für die beste wissenschaftliche Visualisierung auf der Supercomputing Conference SC'21



7. Dezember 2021
DKRZ-Gründungsdirektor Prof. Klaus Hasselmann erhält Physiknobelpreis 2021 in Berlin

Partner und Verbund des DKRZ

Das DKRZ ist eine gemeinnützige GmbH mit vier Gesellschaftern.



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



Freie und Hansestadt Hamburg vertreten durch die Universität Hamburg



Gefördert von:



HELMHOLTZ



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



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 des DKRZ-Teams insbesondere von (alphabetisch sortiert):

Panagiotis Adamidis, Katharina Berger, Joachim Biercamp, Hendryk Bockelmann, Merret Buurman, Jörg Behrens, Martin Bergemann, Julia Duras, Etor Lucio Eceiza, Claudia Frauen, Swati Gehlot, Angelika Heil, Christopher Kadow, Stephan Kindermann, Andrea Lammert, Ralf Müller, Karsten Peters-von Gehlen, Maria Rompe, Martin Schupfner, Hannes Thiemann, Tobias Weigel, Florian Ziemer

Gestaltung

Gerrit Horwege, Studio Nort

Druck

WIRmachenDRUCK GmbH
www.wir-machen-druck.de

Bildnachweis

Nobel Prize Outreach/Bernhard Ludewig (S. 6, 77), Copernicus/Sentinel via Sentinelhub (S. 43), Martin Seifert: Cnn-drBrbr/Wikipedia auf Deutsch (S. 44), Leonidas Linardakis/MPI-M (S. 49), J. Hoffmann/DKK (S. 53), Önder Cantürk/lup-architekten (S. 70), DKRZ (alle weiteren Fotos und Grafiken)

Klimaneutral gedruckt auf FSC-zertifiziertem Papier

