



DKRZ

DEUTSCHES
KLIMARECHENZENTRUM

2022
2023



Editorial

Liebe Leser:innen,

wir freuen uns, Ihnen unser Jahrbuch 2022/2023 zu präsentieren, in dem wir interessante Details unserer Arbeiten zusammengestellt haben.

Mit dieser Ausgabe haben wir die Struktur verändert. Sie finden zunächst zwei spannende Beiträge zu aktuellen Nutzerprojekten. Die Darstellung der Aktivitäten am DKRZ erfolgt nun themenorientiert, jeder Abschnitt fasst wesentliche Aspekte der verschiedenen Förderprojekte aus dem Themengebiet zusammen.

Das wichtigste Ereignis zu Beginn der Berichtsphase ist die endgültige Inbetriebnahme des neuen Hochleistungsrechnersystems Levante im März 2022, das mit Politik und Wissenschaft im September 2022 feierlich eingeweiht wurde. Doch „nach dem Spiel ist vor dem Spiel“ – kurz darauf haben wir bereits den Antrag für die Finanzierung des Nachfolgesystems HLRE-5 erstellt, und im Hintergrund laufen bereits die Aktivitäten zur Markterkundung.

Im Jahr 2023 gründeten wir eine neue Abteilung „Datenanalyse“. Sie fasst Dienste im Bereich der Datenhandhabung und der Datenanalyse, insbesondere auch mit Methoden des maschinellen Lernens zusammen.

Die Zahl der Mitarbeitenden ist weiter auf mittlerweile über 115 angewachsen. Die Möglichkeit, aus dem Homeoffice zu arbeiten, wird hier gerne angenommen – zum Glück! Das Gesamtteam würde in den aktuellen Räumlichkeiten auch nicht genug Platz finden. Wir waren sehr erfreut, dass fast alle Mitarbeitenden im Herbst 2023 zu einer Klausurtagung zusammengekommen sind. Dort wurden nicht nur strategische Themen rund ums DKRZ gemeinsam diskutiert, sondern das Treffen bot für viele aus dem DKRZ-Team eine Gelegenheit, sich erstmals auch abseits von Videokonferenzen persönlich kennenzulernen und auszutauschen.

Wir hoffen, dass die folgenden Beiträge des Jahrbuches Ihr Interesse finden und wünschen Ihnen viel Freude beim Lesen!

Ihr Thomas Ludwig

A handwritten signature in black ink, reading "Thomas Ludwig". The signature is stylized with a large, flowing 'L' and a prominent 'T'.

4	Nutzerprojekte
6	Klimasimulationen mit Kilometer-Auflösung
10	Extremwetterereignisse im Klimawandel
14	DKRZ-Projekte
16	Das ICON-Modellsystem auf dem Weg zum Exascale-Computing
20	Research Software Engineering: Wie das DKRZ die Erdsystemmodellierung unterstützt
24	GreenHPC: Wie Klimasimulationen am DKRZ energieeffizienter werden
29	Forschungsdatenmanagement: Gemeinsam mit unseren Partner:innen und Nutzer:innen
32	Die richtige Infrastruktur gewährleistet Qualität im Forschungsdatenmanagement
36	Forschungsdatenmanagement unterstützt Erfolg und Sichtbarkeit von Projekten
40	KI im Dienste der Klimaforschung: Anwendungen und Herausforderungen
45	Analyseplattform Freva: Einfacherer Zugang zu Daten und Analysen
48	DKRZ 2022-23
50	Das Team: Mitarbeiterentwicklung am DKRZ
52	DKRZ erweitert Datenspeicherkapazität mit neuen Magnetbandbibliotheken
54	Ressourcenverteilung und Wissenschaftsberatung: Einblick in die Arbeit des DKRZ-WLA
56	Vorschau
58	Neue Dienste
59	Neue Projekte
61	DKRZ bereitet HLRE-5 vor: Investition in die Zukunft der Klimaforschung
62	Veranstaltungen, Workshops,
72	Chronik 2022
74	Chronik 2023
76	Das DKRZ und seine Partner
78	Impressum





Nutzer-
projekte

Klimasimulationen mit Kilometer-Auflösung

Die Zukunft der Klimamodellierung hat schon begonnen: Am Max-Planck-Institut für Meteorologie (MPI-M) ist es zum ersten Mal weltweit gelungen, eine Simulation mit einem vollständig gekoppelten globalen Atmosphären-Ozean-Modell mit horizontalen Auflösungen von etwa 1 km auf Levante durchzuführen.

Warum Klimasimulationen im Kilometermaßstab spannend sind

Typische Klimamodelle, auf deren Ergebnissen wichtige Aussagen der Sachstandsberichte des Weltklimarates IPCC beruhen, simulieren heute das Klima auf Gittern mit einer horizontalen Auflösung von etwa 100 Kilometern für Atmosphäre, Ozean und Land. Auf diesen räumlichen Skalen können viele Prozesse, die für Wetter und Klima eine entscheidende Rolle spielen, nicht direkt anhand der physikalischen Gleichungen der Modelle dargestellt werden. Die Effekte dieser Prozesse in jeder Gitterzelle werden daher mit Annahmen – sogenannten Parametrisierungen – dargestellt. Dabei wird bei der Modellierung der mittlere Effekt dieser kleinräumigen Prozesse näherungsweise für die gesamte Gitterzelle verwendet. Die dadurch entstandenen Ungenauigkeiten sind mitverantwortlich für viele Unsicherheiten, mit denen Klimaprognosen noch behaftet sind. Beispiele für solche kleinräumigen Prozesse sind Wirbel in den Ozeanen, hochreichende Quellwolken in den Tropen, feine Strukturen und vor allem Risse

im Meereis. Genauso können aber auch kleinräumige geographische Strukturen, etwa die Morphologie (Topographie, Bathymetrie, Land-Meer-Verteilung, Inseln und Seen) und Beschaffenheit (Bewuchs und Bebauung) der Erdoberfläche nicht adäquat berücksichtigt werden.

Prozesse auf der Kilometer-Skala sind in vielerlei Hinsicht spannend. Da bei einer direkten Simulation mehr Prozesse auf Basis physikalischer Beschreibungen statt auf Parametrisierungen berechnet werden, tragen die durch diese Parametrisierungen bedingten Unsicherheiten nicht mehr zu den Unsicherheiten der Klimaprojektionen bei. Beispielsweise können Wolken und Niederschlag und somit auch Starkregenereignisse in der Zukunft direkt simuliert, statt mit einem statistischen Modell angenähert werden. Die Klimaforscher:innen simulieren quasi das Wetter, welches das Klima der Vergangenheit oder der Zukunft formt. Die genannten Beispiele zeigen auch, dass Prozesse auf Kilometer-Skala für den Menschen greifbarer und nicht zuletzt relevanter werden. Kleinräumige Ozeanströmungen können Fischvorkommen und somit ganze Wirtschaftszweige entlang von Küstengebieten beeinflussen. Schneedicke und Niederschlagsmengen in den Alpentälern sind nicht nur größte Faktoren für Lawinen- und Erdrutschgefahr, sondern beeinflussen auch die Flüsse sowie die Trinkwasserversorgung von der Nordsee bis an die Adria.

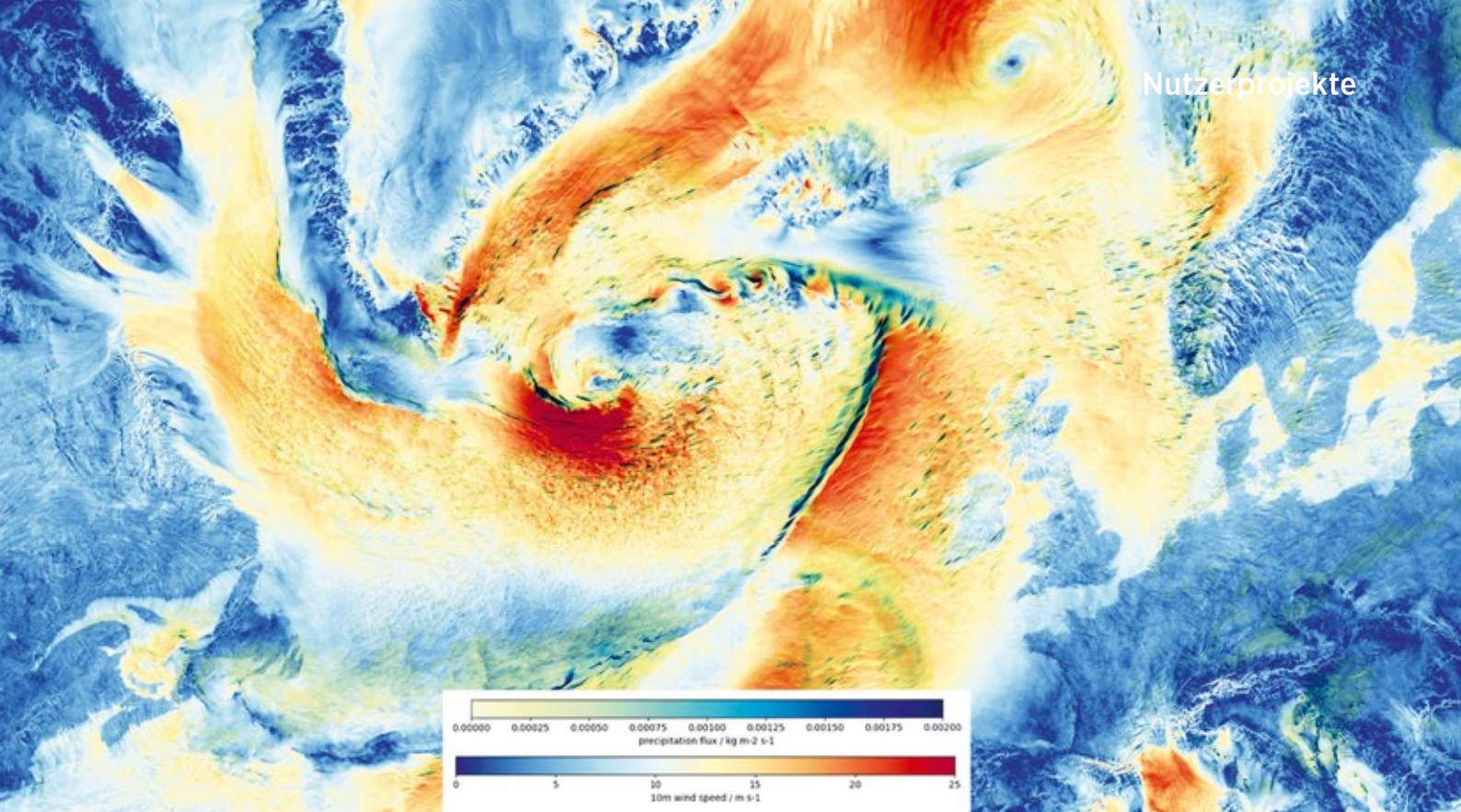


Abb.1: Visualisierung der 10m-Windgeschwindigkeit in blau/gelb/rot und des Niederschlags (grün) auf Basis einer mit dem gekoppelten ICON-Modell bei einer Auflösung von 1 km simulierten Wettersituation. Das dargestellte Windfeld ist durch zwei große Sturmsysteme geprägt, deren Zentren zu dem gewählten Zeitpunkt nordöstlich und südwestlich von Island zu sehen sind.

Fortschritte in der Leistungsfähigkeit und Architektur von Supercomputern ermöglichen mittlerweile die Darstellung der relevanten Prozesse in Atmosphäre und Ozean auf wenigen Kilometern. Während einzelne Ozean- oder Atmosphärenmodelle bereits Simulationen mit horizontalen Auflösungen von etwa 1 km durchführen konnten, so ist es am MPI-M zum ersten Mal weltweit gelungen, eine Simulation mit einem vollständig gekoppelten globalen Atmosphären-Ozean-Modell bzw. Erdsystemmodell durchzuführen.

Einige (große) Zahlen

Erste erfolgreiche Läufe nutzen 900 Rechenknoten und damit etwa ein Drittel der gesamten CPU-Rechenkapazität des DKRZ-Rechners Levante. Pro einem Tag Rechnernutzung werden drei simulierte Tage berechnet.

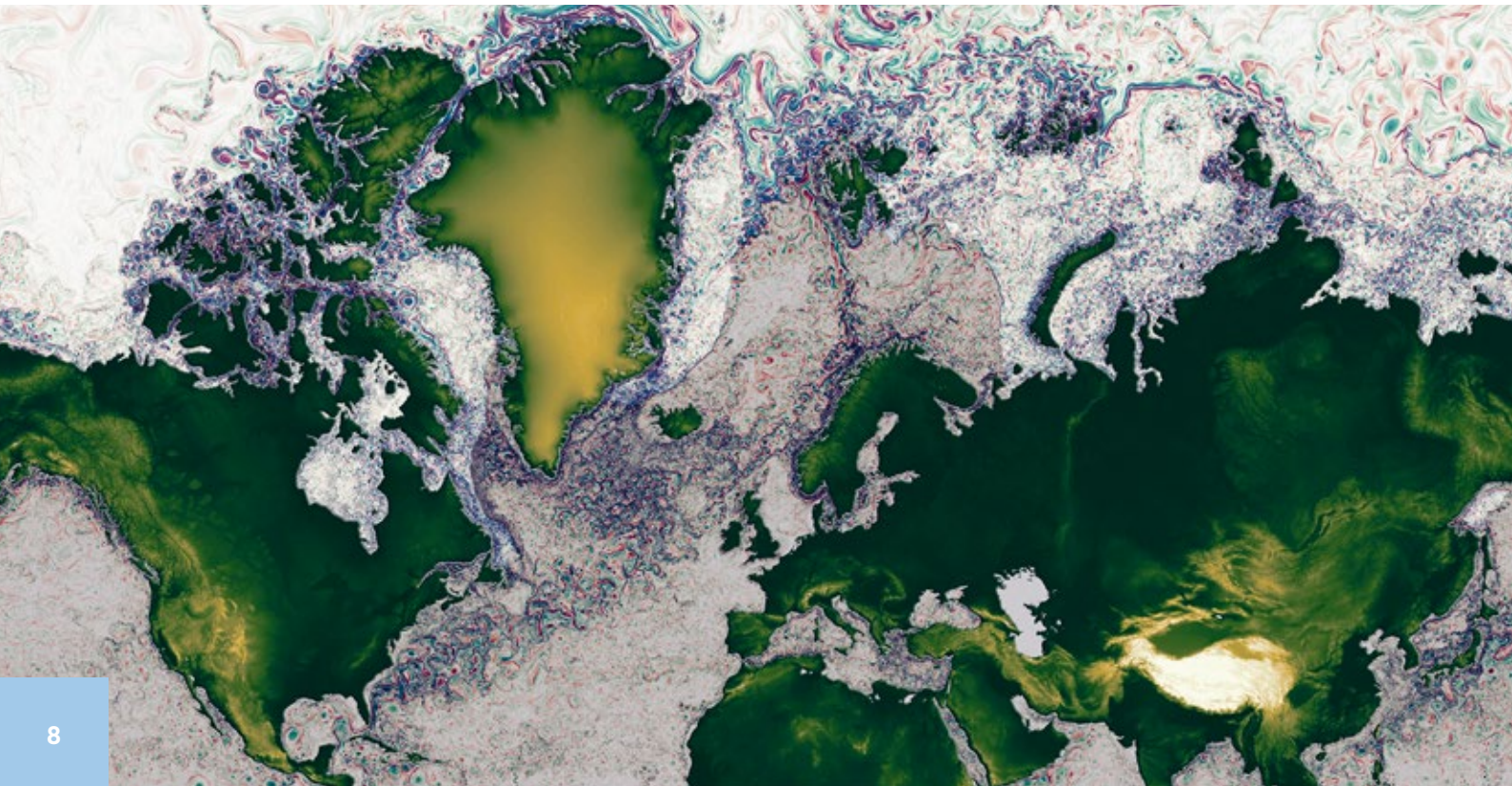
Nutzerprojekte

Die Simulationen in Zahlen:

- Atmosphäre: 340.000.000 Gitterpunkte in der Horizontalen, 90 vertikale Ebenen, Zeitschritt von 10 Sekunden
- Ozean: 230.000.000 Gitterpunkte, 128 vertikale Ebenen, Zeitschritt von 45 Sekunden
- Land: 115.000.000 Gitterpunkte, 5 vertikale Ebenen, Zeitschritt von 10 Sekunden
- 200 Terabyte gespeicherte Daten für eine simulierte Woche

Diese enormen Simulationen sind momentan in Deutschland nur auf dem Supercomputer Levante des DKRZ möglich. Es gibt zwar Computer mit einer höheren Rechenleistung, wie zum Beispiel JUWELS-Booster am Rechenzentrum in Jülich, die aber nicht den erforderlichen Arbeitsspeicher haben, um Konfigurationen dieses Ausmaßes zu bearbeiten.

Abb.2: Die Visualisierung zeigt die Wirbelstärke (Vorticity) im Ozean in unterschiedlichen Helligkeiten für den eisbedeckten und den eisfreien Ozean. Zusätzlich ist auf den Landflächen eine Falschfarbendarstellung der ICON-Modelltopographie in das Bild eingefügt worden. Die einzelnen Bildteile stammen aus einem neuartigen interaktiven Visualisierungswerkzeug, das am MPI für Meteorologie für den interaktiven Zugang zu den extrem hochaufgelösten und umfangreichen Modelldaten entwickelt wird.



Visualisierung und Prozessieren

Häufig sprechen Wissenschaftler:innen von einer neuen Generation der Klimamodellierung und beziehen dies auf die hohe Auflösung und die dadurch darstellbaren physikalischen Prozesse. Eine etwas versteckte Herausforderung besteht jedoch zusätzlich darin, eine neue Generation von Klimawissenschaftler:innen auszubilden, welche die resultierenden Datenmengen prozessieren und visualisieren können. Klimamodelle mit diesen feinen Auflösungen produzieren enorme Datenmengen. Dies erfordert ein Überdenken und Anpassen des Speicherns und Weiterverarbeitens der Daten, da bisherige Arbeitsweisen nicht skalieren und damit nicht mehr praktikabel sind. Daten dieses Umfangs können beispielsweise nicht mehr so einfach zwischen Rechenzentren transferiert werden. Aus diesem Grund bieten Rechenzentren Methoden und Ressourcen an, mit denen Daten direkt vor Ort ausgewertet werden können. Weitere Anpassungen der Arbeitsweisen werden notwendig sein, um Modelle auf Kilometer-Skalen in der Klimaforschung zu etablieren. Neue Datenformate, das Streamen der Simulationsdaten zu weiterverarbeitenden Programmen, innovatives Komprimieren mit der Nutzung von AI-Methoden, interaktives Arbeiten und das Erstellen von Visualisierungen innerhalb des Modells schon während der Simulation werden momentan getestet. Eine Schlüsselkomponente bildet hierbei die Möglichkeit, nur auf Teile eines großen Datensatzes zugreifen zu können und gezielt nur die benötigten Daten zur Visualisierung und Weiterverarbeitung in den Speicher zu laden. Ziel ist es, einen datenzentrierten Workflow zu entwickeln, welcher Informationen sichtbar, zugänglich und interoperabel macht.

Ausblick

Diese neue, hochaufgelöste und physikalischere Generation von Klimamodellen wird einige bisher ungelöste Fragen zu Prozessen auf der Kilometer-Skala angehen. Gekoppelt mit einer innovativen Datenverarbeitung wird dieser Weg zu neuen Fragestellungen und Erkenntnissen in der Klimaforschung führen.

Die aktuellen Entwicklungen sind Teil des BMBF-geförderten Projekts **WarmWorld**, wie auch der EU-geförderten Projekte **nextGEMS**, **EERIE** und **DestinE** und tragen über letzteres auch zu der Idee bei, einen digitalen Zwilling des Erdsystems zu entwickeln.

Weblink:

www.dkrz.de/de/klimasimulationen-mit-km-aufloesung/

Autor:

Daniel Klocke, Max-Planck-Institut für Meteorologie

Extremwetterereignisse im Klimawandel



Wie wäre die sommerliche Hitzewelle in Deutschland 2019 verlaufen, wenn sie in einem kühleren Klima ohne menschlichen Einfluss stattgefunden hätte? Wäre der Dauerregen des vergangenen Jahreswechsels in Norddeutschland ohne Klimawandel weniger ergiebig ausgefallen? Wie würden sich diese und andere Extremwetterlagen in einer global 4°C wärmeren Welt entfalten? Das Alfred-Wegener-Institut (AWI) und das Karlsruher Institut für Technologie (KIT) simulieren am DKRZ im Rahmen des Projekts **SCENIC**, wie sich beobachtete Extremwetterereignisse mit dem Klimawandel ändern.

Bis vor etwa 20 Jahren scheute man sich in der Klimaforschung davor, einzelne Extremwetterereignisse wie Hitzewellen, Dürren oder Starkregen mit dem Klimawandel in Zusammenhang zu bringen. Erst 2003 machte Myles Allen darauf aufmerksam, dass der statistische Zusammenhang zwischen Wetter und Klima es ermöglicht, den Einfluss des Klimawandels auf konkrete Extremwetterereignisse zu beziffern⁽¹⁾. Seither untersucht die Attributionsforschung, wie sich die Wahrscheinlichkeit und Intensität konkreter Extremereignisse durch den Klimawandel verändert hat. Dazu werden umfangreiche Simulationen von Klimamodellen ausgewertet, einerseits im heutigen Klima, und andererseits im vorindustriellen Klima. Im Grunde wird gezählt, wie oft die Intensität eines beobachteten Ereignisses in den Klimasimulationen in der betroffenen Region erreicht oder überschritten wird, und wie sich diese Häufigkeit mit dem Klimazustand ändert. Diese probabilistische Methode wird seit einigen Jahren regelmäßig durch die „*World*

Weather Attribution“-Gruppe auf aktuelle Extremereignisse angewandt⁽²⁾.

Diese Methode stößt jedoch an Grenzen, wenn es um besonders extreme Ereignisse geht, die in den bisherigen Simulationen kaum vorkommen. Auch stellt sich die Frage, warum sich die Wahrscheinlichkeit eines Ereignisses ändert: Liegt es einfach an den treibhausgasbedingt erhöhten Temperaturen und wie sich diese thermodynamisch direkt auf andere Parameter auswirken, oder spielen komplexere Änderungen der Windsysteme eine Rolle? Werden zum Beispiel blockierende Wetterlagen häufiger und/oder langlebiger, oder ist vielleicht das Gegenteil der Fall? Tatsächlich sind solche Änderungen der atmosphärischen Dynamik mit großer Unsicherheit behaftet und unterscheiden sich meist von Modell zu Modell⁽³⁾. Diese Probleme umgehen ereignisbasierte Storylines⁽⁴⁾, indem sie fragen: Wie wäre ein beobachtetes Extremereignis abgelaufen, wenn sich die gleichen Windmuster in einem anderen Klimazustand ereignet hätten?

Dieser Ansatz wird im Rahmen des Helmholtz-Innovationspool-Projekts **SCENIC** (kurz für: *Storyline Scenarios of Extreme Weather, Climate, and Environmental Events along with their Impacts in a Warmer World, 2022–2024*) verfolgt, welches auf Vorarbeiten im Rahmen der Helmholtz-Klimainitiative⁽⁵⁾ aufbaut. Dabei werden zunächst die großräumigen Winde in globalen Klimamodellsimulationen mithilfe von ERA5-Reanalyse-daten vorgeschrieben. Mehrere solche Simulationen mit

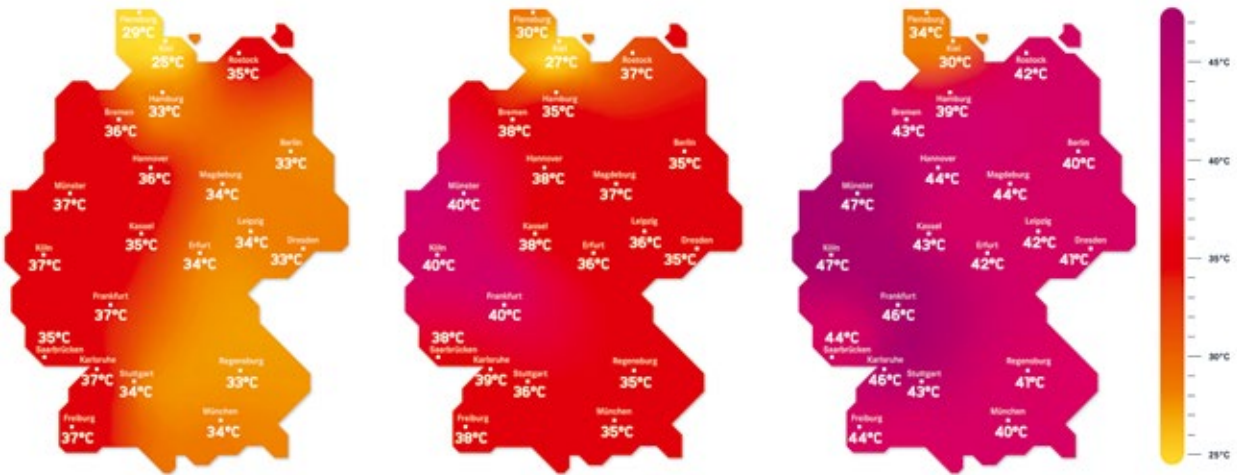


Abb. 1: Tageshöchsttemperatur am 25. Juli 2019 in Deutschland im heutigen Klima (Mitte), sowie im vorindustriellen (links) und global 4°C wärmeren Klima gemäß AWI-CMI-Storyline-Simulationen korrigiert mit Beobachtungsdaten. Abbildung aus Sánchez-Benítez et al. 2022⁽⁶⁾.

jeweils unterschiedlichem Hintergrundklima sind am DKRZ durchgeführt worden (Abb. 2).

Bereits die globalen Storyline-Simulationen haben interessante Analysen ermöglicht. Diese zeigten, dass die Hitzewelle im Juli 2019 in Deutschland gemäß AWI-Klimamodell durch den Klimawandel bereits um 3°C intensiver ausgefallen ist; statt mancherorts 40°C wären ohne Klimawandel moderatere 37°C erreicht worden (Abb. 1). In einem global 4°C wärmeren Klima wären sogar bis zu 47°C erreicht worden. Der verstärkten Erwärmung um 10°C im Vergleich zu 4°C im globalen Mittel liegt der bekannte Land-See-Kontrast der Erwärmung zugrunde. Der Unterschied fällt hier jedoch besonders stark aus, da die Verdunstungskühlung aufgrund austrocknender Böden zum Erliegen kommt⁽⁶⁾. Die Verwendung eines gekoppelten Modells (AWI-CM-1) macht es möglich, den Einfluss des Klimawandels auf Extreme auch im Ozean zu untersuchen.

So ließ sich feststellen, dass sich die marine Hitzewelle im Nordpazifik im Sommer 2019 weitgehend im Einklang mit der regionalen Hintergrund-Erwärmung intensiviert, wobei jedoch die betroffene Fläche zunimmt (Abb. 3). Dabei wurde ein komplexes Zusammenspiel zwischen der ozeanischen Mischungsschicht, der Wolkenbedeckung und der Zufuhr unterschiedlich erwärmter Luftmassen je nach Windrichtung herausgearbeitet⁽⁷⁾.

Ein weiterer zentraler Aspekt von **SCENIC** ist das Erzeugen verfeinerter Daten durch dynamisches Downscaling der globalen Storylines (Auflösung ca. 100 km) mit Regionalmodellen. Dazu werden primär regionale ICON-Konfigurationen für Europa (ca. 12 km) und Deutschland (ca. 3 km) (Abb. 4), aber auch noch feinere Konfigurationen des WRF-Modelles (ca. 1 km) für kleinere Gebiete sowie KI-Methoden⁽⁸⁾ verwendet. Das Ziel ist, präzisere Daten zu erhalten, bei denen der auf der

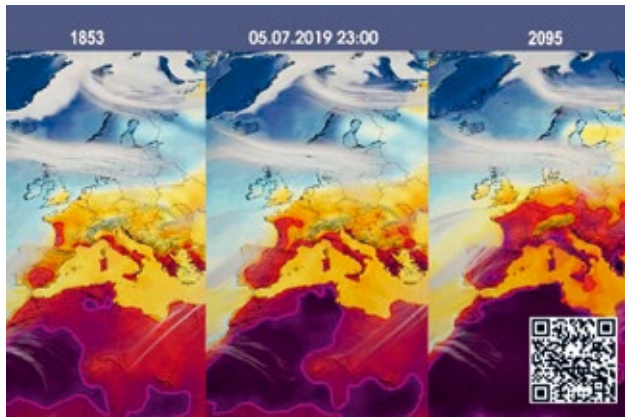


Abb. 2: Die Hitzewelle im Juli 2019 in einer 4°C wärmeren Welt. Die Visualisierung zeigt in den drei Bildern den gleichen simulierten Wetterablauf: links für das vorindustrielle Klima, in der Mitte für das heutige Klima sowie rechts für eine 4 Grad wärmere Welt. Der Wind in etwa 10 km Höhe wird als weiße Streifen dargestellt, die tägliche maximale Oberflächentemperatur anhand der Farben und die Meereiskonzentration als weiße Schattierung in und um Europa. Das dazugehörige Video ist auf YouTube verfügbar: <https://www.youtube.com/watch?v=Rzr5kWRytZY>

regionalen Skala wichtige Einfluss von Orographie, Landnutzung, Bodenbeschaffenheit, Küstengeometrie etc. sowie kleinskaligere Ereignisse zum Beispiel im Zusammenhang mit Starkregen besser dargestellt werden. Dabei haben sich Starkregenereignisse wie jenes, das 2021 zu den Zerstörungen im Ahrtal geführt hat, weiterhin als schwierig zu reproduzieren erwiesen. Dennoch sind durch den Einsatz der Regionalmodelle wichtige Verbesserungen gelungen. Zum Beispiel geben die regionalen Storylines die im Globalmodell unterschätzten Tageshöchsttemperaturen im Verlauf von Hitzewellen realistischer wieder (Abb. 4). Auch die ICON-basierten Storylines zeigen eine Erwärmung in der Spitze der Hitzewelle vom Juli 2019 von über 8°C zwischen vorindustriellem und global 4°C wärmerem Klima (Abb. 4)⁽⁹⁾.

Die globalen und insbesondere die regionalen Storyline-Daten werden von weiteren Helmholtz-Projektpartnern

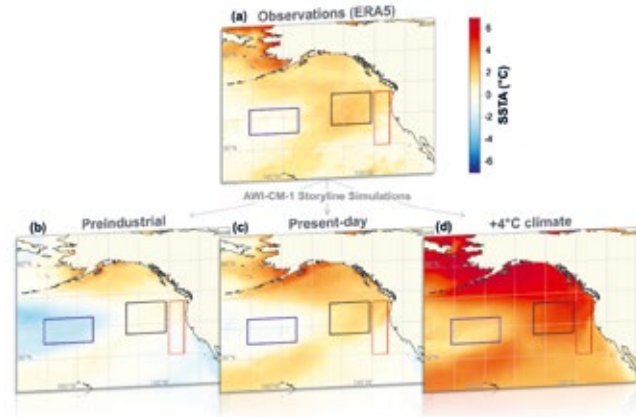


Abb. 3: Anomalien der Meeresoberflächentemperatur im Nordpazifik im Sommer (JJA) 2019 im Vergleich zur Referenzperiode 1984–2014, in der ERA5 Reanalyse (oben) und in verschiedenen Klimazuständen gemäß AWI-CM-1 Storyline-Simulationen (unten). Abbildung aus Athanase et al. 2024⁽⁷⁾.

verwendet, um verschiedene Landoberflächenmodelle anzutreiben und somit noch detaillierte Impact-Storylines zu erzeugen. Dabei stehen landwirtschaftliche ebenso wie hydrologische Aspekte im Vordergrund.

Referenzen:

- (1) Allen, M. (2003). Liability for climate change. *Nature* 421, 891–892 (2003). <https://doi.org/10.1038/421891a>
- (2) <https://www.worldweatherattribution.org>
- (3) Shepherd, T. G. (2014). Atmospheric circulation as a source of uncertainty in climate change projections. *Nature Geoscience*, 7(10), 703–708.
- (4) Shepherd, T. G. et al. (2018). Storylines: an alternative approach to representing uncertainty in physical aspects of climate change. *Climatic change*, 151, 555–571.
- (5) <https://www.helmholtz-klima.de>
- (6) Sánchez-Benítez et al. (2022). The July 2019 European heat wave in a warmer climate: storyline scenarios with a coupled model using spectral nudging. *Journal of Climate*, 35(8), 2373–2390.
- (7) Athanase, M. et al. (2024). Projected amplification of summer marine heatwaves in a warming Northeast Pacific Ocean. *Communications Earth & Environment*, 5(1), 53.
- (8) Glawion, L. et al. (2023). spateGAN: Spatio-temporal downscaling of rainfall fields using a cGAN approach. *Earth and Space Science*, 10, e2023EA002906. doi: 10.1029/2023EA002906
- (9) Klimiuk, T. et al. (in Vorbereitung). A Regional Perspective of Storyline Simulations of the Recent European Summer Heatwaves.

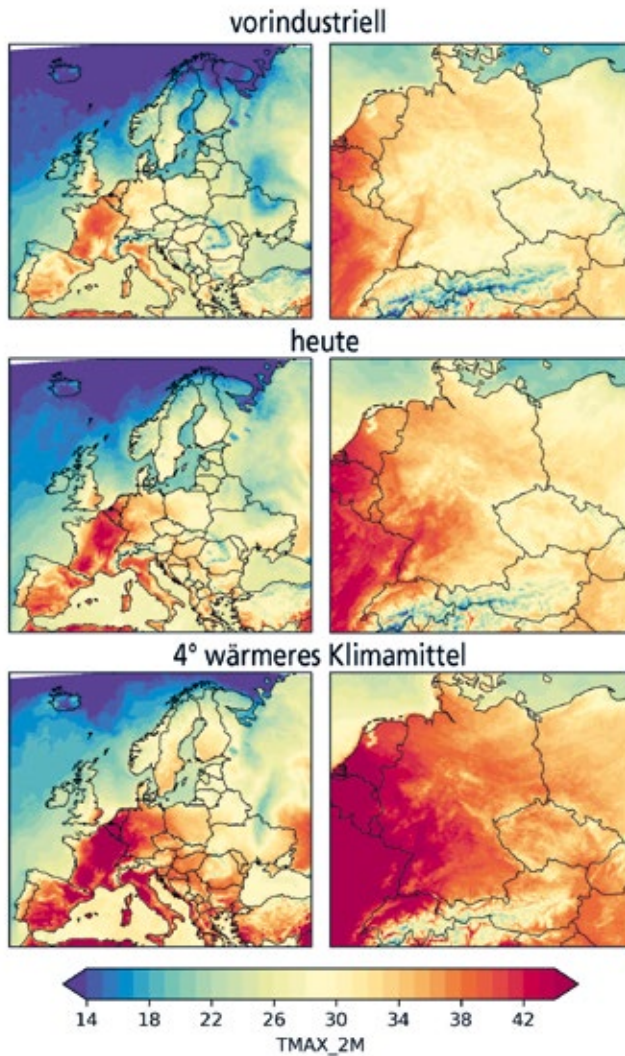
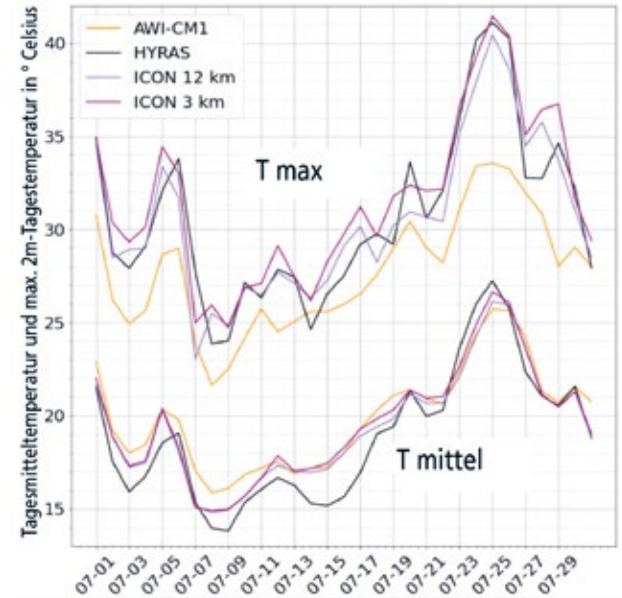


Abb. 4, links: Tagesmaximum der bodennahen Lufttemperatur am 25. Juli 2019 gemäß ICON-12 km (Europa) und ICON-3 km (Deutschland), rechts: Verlauf der Tagesmittel- und Tageshöchst-Temperatur in Deutschland im Juli 2019 gemäß der drei Modellkonfigurationen und Beobachtungen (HYRAS). Abbildung aus Klimiuk et al. in Vorbereitung⁽⁹⁾.



Weblink:

www.dkrz.de/de/Extremwetterereignisse-im-Klimawandel

Hauptautor:

Helge Goessling, Alfred-Wegener-Institut für Polar und Meeresforschung (vollständige Liste der Beitragenden des SCENIC-Teams im Impressum)



DKRZ-Projekte





Abb. 1: Die blaue Marmor: Originales NASA-Foto der Erde, aufgenommen von der Crew der Raumsonde Apollo 17 auf dem Weg zum Mond (links) und sein ICON-Modell-Äquivalent (rechts).

Das ICON-Modellsystem auf dem Weg zum Exascale-Computing

Die aktuell leistungsfähigsten Computer der Welt, sogenannte Exascale-Rechner, ermöglichen es, das Erdsystem so detailliert wie nie zuvor zu modellieren. Wichtige kleinräumige Prozesse wie Wolkenbildung und Niederschlag werden bei einer Auflösung im Kilometerbereich direkt anhand physikalischer Gleichungen berechnet, statt ihre Wirkung auf Basis von Parametrisierungen abschätzen zu müssen. So können Unsicherheiten in Klimaprojektionen signifikant reduziert werden. Die massive Parallelität und große Heterogenität von Exascale-Rechnern stellt jedoch besondere Herausforderungen an die effiziente Berechnung von Erdsystemmodellen, welchen sich das DKRZ gemeinsam mit seinen Nutzer:innen in vielen Projekten widmet. Das Klima- und Wettermodell ICON spielt dabei eine Vorreiterrolle: Es ist zurzeit weltweit eines der wenigen Modelle, mit denen hochauflösende Simulationen auf den größten Supercomputern möglich sind.

WarmWorld: Sturmauflösende Simulationen mit dem ICON-Modell

Im Projekt **WarmWorld** sollen Fortschritte in der Informationstechnologie genutzt werden, um mit dem Erdsystemmodell ICON Klimaprojektionen auf der Kilometerskala zu berechnen und zu analysieren. Parallel



Software-Entwicklung für Exascale

zur Entwicklung einer sturm- und wirbelauflösenden Modellkonfiguration sollen innovative Arbeitsabläufe entwickelt werden, welche die Simulationen leichter für Anwender:innen nutzbar machen. **WarmWorld** ist in vier Arbeitspakete unterteilt: *Better*, *Faster*, *Easier* und *Smarter*.

Für eine bessere Darstellung der Klimaphysik im Erdsystem konzentriert sich *Better* vor allem darauf, die Wolkenphysik, turbulente Vermischung und Landoberflächenprozesse zu optimieren. Daneben fokussiert *Better* auf eine robuste Risikobewertung, indem Unsicherheiten quantifiziert werden.

In *Faster* wird eine erste Version des vollständig gekoppelten ICON-Systems (Land, Ozean, Atmosphäre) als freie und quelloffene Software-Implementierung veröffentlicht. Dazu wird eine skalierbare Entwicklung etabliert, so dass Entwickler:innen in ggf. unterschiedlichen Programmiersprachen und/oder mit verschiedenen Parallelisierungsansätzen zusammenarbeiten können. Darüber hinaus soll die in *Better* entwickelte Modellversion so optimiert werden, dass auf der Kilometerskala ein Durchsatz von mehr als 0,5 simulierten Jahren pro Tag erreicht wird.

Der einfache und schnelle Zugriff auf die besonders umfangreichen Ergebnisdaten hochauflösender globaler Klimaprojektionen sowie die Synthese von Modelldaten mit Beobachtungen stehen im Mittelpunkt von *Easier*. Es werden Schlüsselkomponenten eines Klimainformationssystems sowie entsprechende Arbeitsabläufe bereitgestellt, die für globale Auflösungen von 2,5 km oder weniger optimiert sind. Durch den

vereinheitlichten effizienten Zugriff auf ICON- und IFS-Simulationsdaten sowie auf Beobachtungsdaten wie die von ACTRIS sowie ESA/EUMETSAT/Copernicus wird eine intuitive Forschungsumgebung geschaffen, die Innovationen fördert.

Im vierten Paket *Smarter* werden ab 2024 in Zusammenarbeit mit Expert:innen der angewandten Mathematik und der Informatik Methoden des maschinellen Lernens innerhalb oder parallel zum Modell ICON erprobt.

DestinE: Auf dem Weg zu einem digitalen Zwilling der Erde

Ziel der EU-Initiative **DestinE** (kurz für *Destination Earth*) ist es, ein präzises digitales Abbild der Erde zu schaffen. Dieses soll u.a. Extremereignisse prognostizieren und dazu dienen, Maßnahmen zur Bewältigung klimabezogener Herausforderungen zu testen und anzupassen. Dafür sollen Daten aus aktuellen oder historischen Beobachtungen, physikalischbasierte hochaufgelöste Erdsystemmodelle und datengetriebene KI-Modelle eingesetzt werden. DestinE konzentriert sich auf Phänomene mit großen Auswirkungen wie Klimawandel und Extremereignisse auf globaler und lokaler Ebene, um Problemen durch Umweltzerstörung und Naturgefahren besser begegnen zu können.

Zunächst werden zwei sogenannte digitale Zwillinge (*Digital Twins*, *DT*) entwickelt: *DT Extreme* für Extremwetterereignisse und *DT Climate* für die Anpassung an den Klimawandel. Sie simulieren das Erdsystem auf zeitlichen und räumlichen Skalen, die für politische

Entscheidungen relevant sind. Hier unterstützt das DKRZ die Anpassung der Modelle ICON und IFS-NEMO/FESOM. Beide gehören zu den führenden europäischen Wetter- und Klimamodellen und wurden ausgiebig auf den größten heterogenen Rechnerarchitekturen in Europa und den USA getestet.

Die Weiterentwicklung des DT Climate auf Basis von ICON konzentriert sich auf die Bewältigung technologischer Barrieren für Simulation und Datenverarbeitung auf Exascale-Rechnern bei Erhöhung der Modellauflösung und -komplexität. Mithilfe des DT Climate sollen qualitativ hochwertige Klimainformationen vor allem zur Unterstützung der Durchführung von „Was-wäre-wenn“-Szenarien produziert werden. Das System soll weltweit konsistente Informationen über lokales Klima, Wetter und deren Auswirkungen mit globalen Auflösungen von 5 bis 10 km und einer zeitlichen Auflösung zwischen stündlich und monatlich bereitstellen.

IFCES2: ICON-Optimierung für heterogene Exascale-Systeme

Ziel des Vorhabens **IFCES2** (kurz für: *Optimization of simulation algorithms for exascale systems for the computation of the Earth system model ICON*) ist die Entwicklung neuer Methoden, um die parallele Ausführung innerhalb des Erdsystemmodells ICON auf heterogenen Exascale-Systemen zu optimieren. Bisher existierende Konzepte, die auf einer räumlichen Zerlegung des Rechengebiets basieren, sollen durch funktionelle Nebenläufigkeit (*Functional Concurrency*) erweitert und der dabei entstehende zusätzliche

Datenaustausch in einem Co-Design-Ansatz optimiert werden. Darüber hinaus wird für die Modellkomponenten eine gleichmäßige Lastverteilung sichergestellt, indem die räumliche Zerlegung während der Laufzeit durch eine dynamische Lastbalancierung optimiert wird. Diese technologischen Weiterentwicklungen werden mit zwei wissenschaftlichen Anwendungen getestet: der Bildung von Wolken und Niederschlag in der Atmosphäre und der Biogeochemie des Ozeans. Beide Prozesse sind höchst dynamisch und erfordern daher eine fortwährende Anpassung der Rechenressourcen.



Projektwebseiten:

WarmWorld, Förderkennzeichen 01LK2203A und 01LK2204C: <https://warmworld.de/>

DestinE, Förderkennzeichen ECMWF/DESTINE/2022/DE_340: <https://destination-earth.eu/>

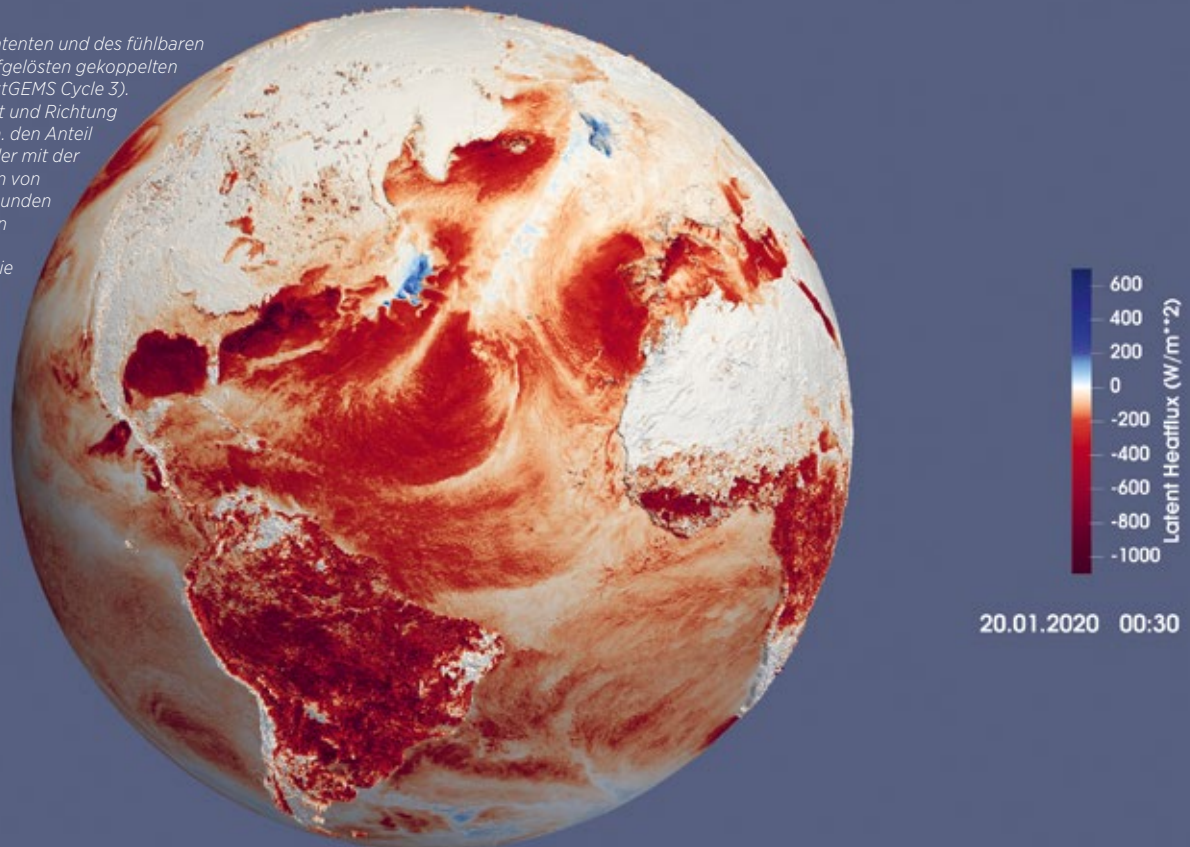
IFCES2, Förderkennzeichen 16ME0690:
www.dkrz.de/en/projects-and-partners/projects-1/if-ces-2

Research Software Engineering: Wie das DKRZ die Erdsystemmodellierung unterstützt

Die Erdsystemforschung ist auf Supercomputer angewiesen; Klimasimulationen ermöglichen beispielsweise, den Klimawandel besser zu verstehen und Anpassungsszenarien zu entwickeln und zu bewerten. In diesem Zusammenhang werden aktuell große Hoffnungen auf globale, gekoppelte sturmauflösende Erdsystemmodelle (SR-ESM) gesetzt, die für mehrdekadische (30-jährige) Klimaprojektionen eingesetzt

werden sollen. Im Gegensatz zu den üblichen größeren Globalmodellen ermöglichen SR-ESMs die Berechnung wichtiger kleinräumiger Prozesse und liefern mehr regionale Details. Ein kritischer Meilenstein für ihre Nutzung ist der Zugang zu Exascale-Rechnern, allerdings stellen zunächst die Modellentwicklung und insbesondere auch die Softwareentwicklung sehr große Herausforderungen an die Wissenschaftsteams, da

Abb.1: Momentaufnahme des latenten und des fühlbaren Wärmeflusses in einer hoch aufgelösten gekoppelten Klimasimulation mit ICON (NextGEMS Cycle 3). Die Farben zeigen die Intensität und Richtung des latenten Wärmeflusses, d.h. den Anteil des gesamten Wärmeflusses, der mit der Verdunstung oder Transpiration von Wasser an der Oberfläche verbunden ist. Negative Werte des latenten Wärmeflusses (rot) zeigen eine Wärmeabgabe vom Ozean in die Atmosphäre, während positive Werte (blau) eine Wärmeaufnahme des Ozeans anzeigen. Der fühlbare bzw. sensible Wärmefluss wird durch eine Höhenkartierung dargestellt.



diese Systeme meist auf komplexen Hardware-Architekturen basieren. Ebenso werden bei hochaufgelösten Klimasimulationen große Mengen an Daten produziert, die häufig nicht mehr mit gewöhnlichen Werkzeugen zu analysieren sind.

Während Wissenschaftler:innen nach wie vor die Modellkomponenten individuell entwickeln und optimieren, werden technisch-orientierte Fragen rund um HPC, Softwareentwicklung und Datenauswertung nun kollektiv angegangen. Hierzu beteiligt sich das DKRZ an mehreren nationalen sowie internationalen Projekten, in denen Softwareentwickler:innen (sogenannte *Research Software Engineers*, *RSEs*) technische Unterstützung bieten. Dabei werden zunehmend Methoden der Softwaretechnik im Bereich der Wissenschaft angewendet, so dass der entwickelte Code und die berechneten Daten eine hohe Qualität und Weiternutzbarkeit haben.

natESM: Entwicklung einer einheitlichen Modellierungsstrategie

Die Initiative **natESM** (kurz für: nationale ErdSystem-Modellierungsstrategie) unter Leitung des DKRZ unterstützt eine grundlegende Weiterentwicklung der Erdsystemmodellierung in Deutschland. Durch den Zusammenschluss von Forschungseinrichtungen, Behörden und Universitäten will **natESM** weltweit renommierte, flexibel einsetzbare Erdsystemmodelle schaffen. Das Projekt sieht einen multiskaligen und nahtlosen Modellierungsansatz vor, der auf verschiedene Anwendungen zugeschnitten ist, darunter Forschung, operationelle Nutzung, Schulung und Ausbildung.



Abb. 2: Der Sprint-Prozess startet mit einem schnellen Software-Test auf Eignung und Versuchsaufbau. Ist dieser Test durchlaufen, kann eine vollständige Sprint-Bewerbung eingereicht werden. Diese wird nach technischen und wissenschaftlichen Kriterien untersucht – und nach erfolgreicher Prüfung, beginnt der Sprint in enger Zusammenarbeit mit unseren RSEs. Fortlaufend wird der Fortschritt des Sprints aufgenommen und abschließend für die Forschungsgemeinschaft dokumentiert.

Entwicklung von Forschungssoftware

Ein zentrales Ziel von **natESM** ist die Entwicklung einer langfristigen, über die Projektlaufzeit hinausreichenden Strategie. Über die Projektförderung wird mit sogenannten technischen Sprints sichergestellt, dass Modelle und Software an der Spitze des technologischen Fortschritts bleiben. Hierbei werden insbesondere Schritte zur Weiterentwicklung oder Kopplung von Erdsystemmodellen angegangen. Diese auf die individuellen Bedürfnisse der Forschenden ausgerichtete und bis zu sechs Monate andauernde Unterstützung durch **natESM**-Supportteams am DKRZ sollen kurzfristige Innovationen sowie die langfristige Entwicklung einer nachhaltigen ErdsystemModellierungsgemeinschaft fördern.

ESiWACE3: Ein europäisches Exzellenzzentrum für Wetter- und Klimasimulation

Der erste europäische Exascale-Supercomputer wird ab 2024 am Forschungszentrum Jülich installiert; erste, etwas leistungsschwächere Vorläufer gibt es bereits seit 2020. Parallel zur Entwicklung der Exascale-Rechner fördert die EU seit 2016 sogenannte Exzellenzzentren, die solche HPC-Systeme für zentrale Anwendungen nutzbar machen sollen. Das Exzellenzzentrum **ESiWACE** (*Center of Excellence in the Simulation of Weather and Climate in Europe*) hat in seinen ersten beiden Förderphasen unter Leitung des DKRZ zentrale sturmauflösende Erdsystemmodelle wie ICON und IFS mitentwickelt. Diese Arbeiten werden in Projekten wie **WarmWorld** und **nextGEMS** weitergeführt. In der aktuellen dritten Phase widmet sich **ESiWACE** hauptsächlich dem Transfer des gewonnenen Wissens zur effizienten Nutzung von Höchstleistungsrechnern für die europä-

ische Wetter- und Klimamodellierung. Hierzu beteiligt sich das DKRZ am Angebot von Coding Sprints zur Verbesserung bzw. Anpassung von Erdsystemmodellen auf aktuellen und kommenden EuroHPC-Systemen und die Ausrichtung von Sommerschulen für ESM-Entwickler:innen und -Nutzer:innen.

NextGEMS: Entwicklung von sturmauflösenden Erdsystemmodellen

Das von der EU geförderte Projekt **nextGEMS** (kurz für: *next Generation Earth Modelling Systems*) greift auf das Fachwissen von vierzehn europäischen Nationen zurück, um sturmauflösende Versionen der beiden Erdsystemmodelle ICON und IFS-FESOM zu entwickeln. Durch die besonders hohe Auflösung der Simulationen ist es möglich, zu verstehen und zu quantifizieren, wie sich Klima und Wetter – einschließlich von Extremereignissen – in Zukunft weiterentwickeln könnten.

Das Projekt hat zwei Phasen: Entwicklung und Anwendung. Zunächst wird ein neuer Modelltyp erstellt, der danach eingesetzt wird, um Probleme zu lösen. Derzeit ist der Übergang von der Entwicklung zur Simulation in Vorbereitung. In der Entwicklungsphase wurden die Parametrisierungen der Modelle verbessert. Das MPI-M hat mit Unterstützung des DKRZ außerdem den neuen parallelen Output-Server *hiopy* entwickelt, mit dem die Ergebnisse z.B. auf einem HEALPix-Gitter im Zarr-Format ausgegeben werden können. Die parallele Ausgabe der Daten in Segmenten und in unterschiedlichen Gitterauflösungen ermöglicht später deren effiziente und interaktive Analyse, was mit dem bisherigen

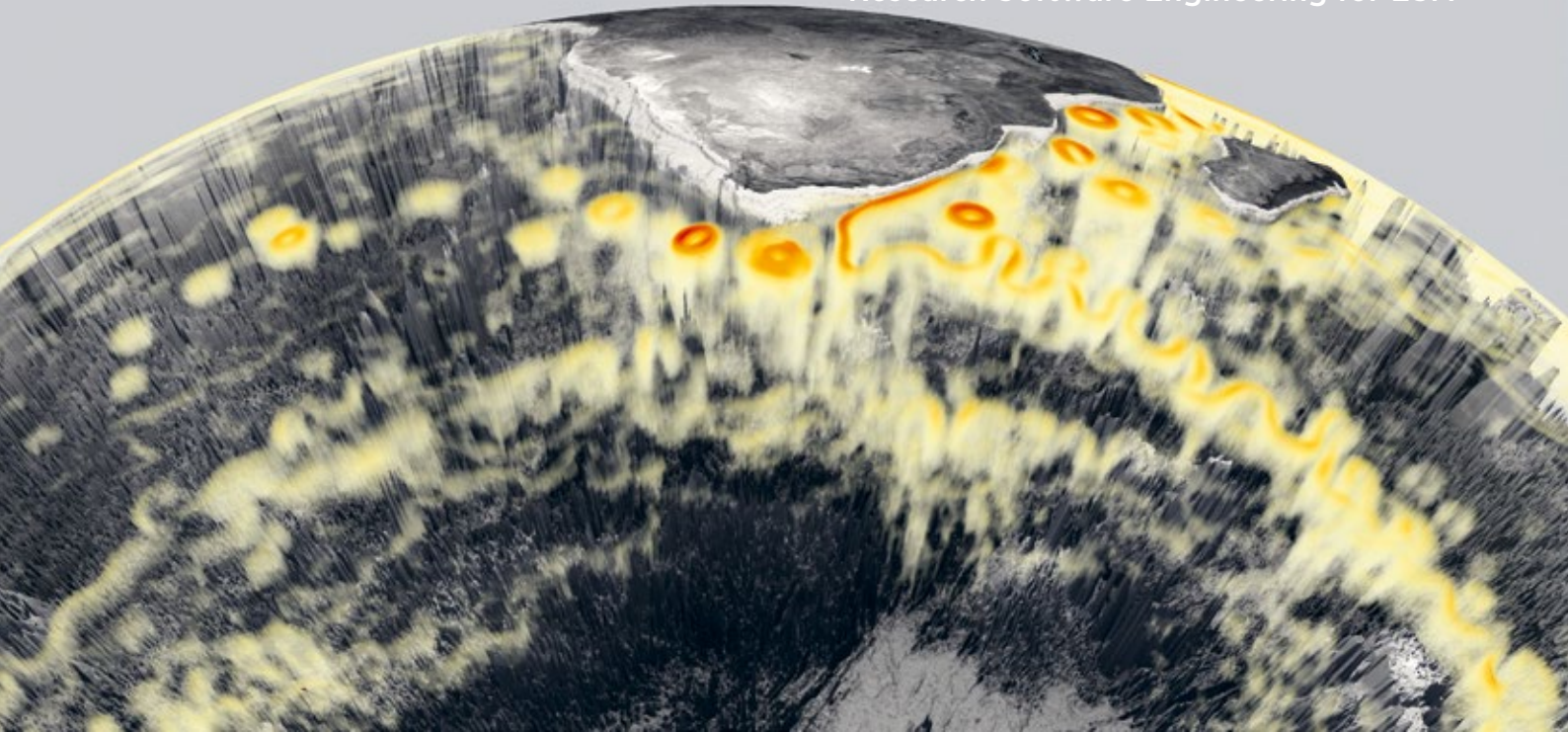


Abb. 3: 3D-Visualisierung der Strömungsgeschwindigkeit im Ozean mit Blick auf die Agulhas-Region an der Südspitze Afrikas, wo ringförmige Wirbel entstehen. Die Darstellung beruht auf einer gekoppelten globalen Simulation mit ICON mit einer Auflösung von 5 km für Ozean und Atmosphäre, die vom MPI-M im Rahmen von NextGEMS durchgeführt wurde.

Output auf dem Original-Gitter des Modells für sehr hohe Modellauflösungen nicht möglich ist. Gleichzeitig erproben jeweils ca. 100 Wissenschaftler:innen im Rahmen regelmäßiger Projekt-Hackathons neue Methoden der Analyse und des parallelen Zugriffs auf die Daten über „Kataloge“, die als Wegweiser fungieren.

Projektwebseiten:

natESM, Förderkennzeichen 01LK2107A:

<https://www.nat-esm.de/>

ESiWACE3, Förderkennzeichen GA 101093054 /

16HPC090K: <https://www.esiwace.eu/>

nextGEMS, Förderkennzeichen GA 101003470:

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



GreenHPC: Wie Klimasimulationen am DKRZ energieeffizienter werden

Ohne das Hochleistungsrechnen wären die rechenintensiven Simulationen in der Klimamodellierung nicht möglich. Der Betrieb eines HPC-Systems und der Rechenzentrumsinfrastruktur benötigt eine Menge Energie. Am DKRZ verteilt sich der Bedarf bis zu drei Viertel auf den Supercomputer Levante und das angeschlossene parallele Plattensystem. Etwa 15% werden für die Magnetbandbibliothek und kleinere Systeme gebraucht, und weitere 10% für die allgemeine Infrastruktur wie Kühlung oder eine USV (kurz für: Unterbrechungsfreie Stromversorgung).

Damit erreicht das DKRZ einen PUE-Wert (*Power Usage Effectiveness*) von unter 1,1 und gilt damit bereits als sehr energieeffizient. Beim HPC-System Levante selbst führen schon geringe Energieeinsparungen an den einzelnen Rechnerknoten (Servern) zu einer signifikanten Verringerung des Energiebedarfs, weil das Gesamtsystem ja aus fast 3000 einzelnen Knoten besteht. Da hier noch Einsparungen möglich sind, beteiligt sich das DKRZ u.a. an der Förderrichtlinie „GreenHPC“ – mit dem Ziel einer Verbesserung der Energieeffizienz im HPC in der Forschung und in kommerziellen Rechenzentren, um die Innovationskraft am Standort Deutschland zu stärken.

EECliPs: Energieeffiziente Klimasimulationen auf heterogenen Supercomputern

Ziel des Vorhabens **EECliPs** (kurz für: *Energy Efficient Climate Projections*) ist es, die Energieeffizienz von Klimasimulationen durch eine angepasste Auswahl der für Teilaufgaben genutzten HPC-Hardware deutlich zu steigern. Hierfür werden die unterschiedlichen Komponenten des Erdsystemmodells ICON untersucht. Im Mittelpunkt steht dabei die Frage, mit welcher HPC-Architektur (z.B. CPUs, GPUs oder Vektorrechner) man Simulationen am energieeffizientesten durchführen kann, ohne deren Ergebnisse zu beeinflussen?

Dabei wird eine optimale Lastverteilung von ICON unter Gesichtspunkten des Energieverbrauchs angestrebt, die bisher für die Bandbreite der eingesetzten heterogenen Hardware nicht untersucht wurde. Es wird evaluiert, inwieweit einzelne Komponenten parallel auf unterschiedlicher Hardware ausgeführt werden können, um in der Summe am wenigsten Energie zu verbrauchen. Mit den optimierten Komponenten des ICON-Modells soll ein *Proof-of-Concept*-System definiert und installiert werden, das den Trend zu spezialisierten Architekturen ausnutzt. Wesentliche Bewertungsmaßstäbe für eine energieeffiziente Klimasimulation sind sowohl die Minimierung der Laufzeit (*time-to-solution*) als auch die der eingesetzten Energie

(*energy-to-solution*). Ebenso wird jedoch auch berücksichtigt, inwieweit sich hochspezialisierte Hardware ressourcenschonend in die Gesamtinfrastruktur eines Rechenzentrums eingliedern lässt und ob eine Anpassung des eingesetzten Klimamodells in vertretbarem Maße erfolgen kann. Diese Punkte können dann direkt bei der Beschaffung von kommenden HPC-Generationen am DKRZ einfließen und so eine nachhaltige Rechenzentrumsinfrastruktur mitgestalten.

EE-HPC: Energieeffiziente Simulationen

Zukünftige Systeme sollen natürlich mit größtmöglicher Energieeffizienz arbeiten, aber auch im laufenden Betrieb unseres aktuellen HPC-Systems Levante wird fortlaufend an Verbesserungen geforscht. So wird unter anderem im Projekt **EE-HPC** (kurz für: *Energy Efficient-HPC*) eine automatisierte Reduzierung der Stromaufnahme bei gleichzeitiger Maximierung des Durchsatzes angestrebt. Ziel ist es, Systemparameter, die einen Einfluss auf den Energieverbrauch haben, optimal auf die jeweils laufenden Programme einzustellen. Mit einem innovativen Monitoring-System sollen Energieverbrauch und Rechenleistung während einer Simulation aufgezeichnet werden, um deren Optimierung steuern und überwachen zu können. Über eine Benutzungsschnittstelle soll den Anwender:innen dargestellt werden, wie sich verschiedene Systemparameter auf die Energieeffizienz ihrer Simulationen auswirken. Die eigentliche Anpassung wird automatisiert durchgeführt. Dieser gesamtheitliche Ansatz gewährleistet eine flexible und breite Nutzung für unterschiedlichste Anwendungen.



Abb.2: Das EECLIPs-Testcluster

Job Info

8130158 (levante)
exp.mch_bench_r19b08_icon...

user
user

16 4096
compute

Start: 19/12/2023, 13:07:30
Duration: 0:05:25 **running**
Walltime: 0:30:00

8130843 (levante)
test07mon_r41i2p1f1-LR_run...

user
user

8 2048
compute

Start: 19/12/2023, 13:06:20
Duration: 0:06:35 **running**
Walltime: 2:00:00

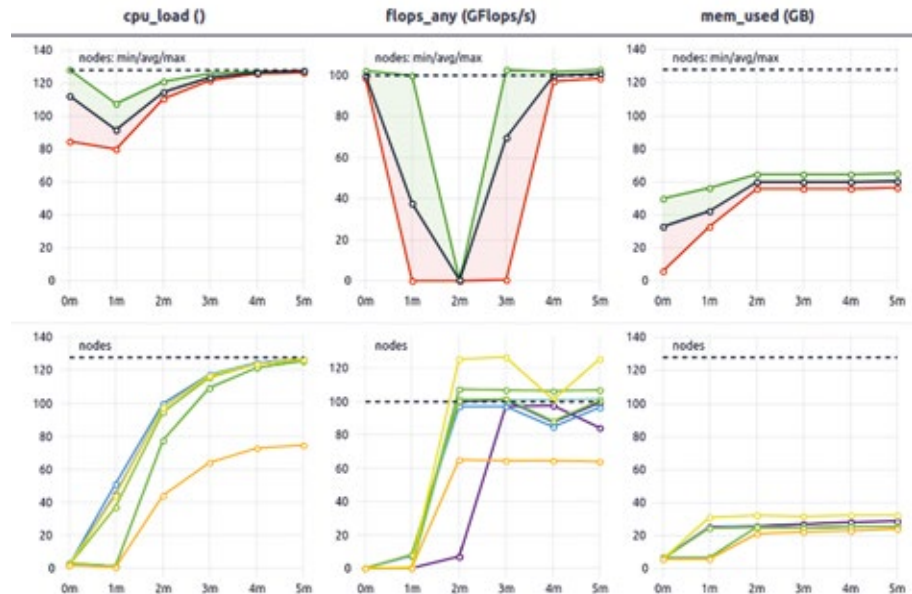


Abb.3: Exemplarische Ansicht des Benutzungsschnittstelle ClusterCockpit, welches im EE-HPC-Projekt weiterentwickelt wird. Für jeden Batchjob im HPC-System werden dem Nutzenden wesentliche Metriken wie Prozessorauslastung, Speicherbandbreite und zukünftig auch Energieverbrauch angezeigt und in Relation zu maximal erreichbaren Werten gesetzt.

Dieser neuartige, softwarebasierte Regelungsmechanismus für Systemparameter kombiniert dabei eine umfassende jobspezifische Mess- und Steuerungsinfrastruktur mit Techniken des maschinellen Lernens, um über die Laufzeitumgebungen Energieparameter steuern zu können. Dabei werden die Rahmenbedingungen vorgegeben; die eigentliche Optimierung der Systemparameter erfolgt dann automatisch und adaptiv. Das Einsparpotential wird sowohl am DKRZ als auch an den Rechenzentren der Projektpartner (Höchstleistungsrechenzentrum Stuttgart, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg) exemplarisch für mehrere Anwendungen demonstriert.

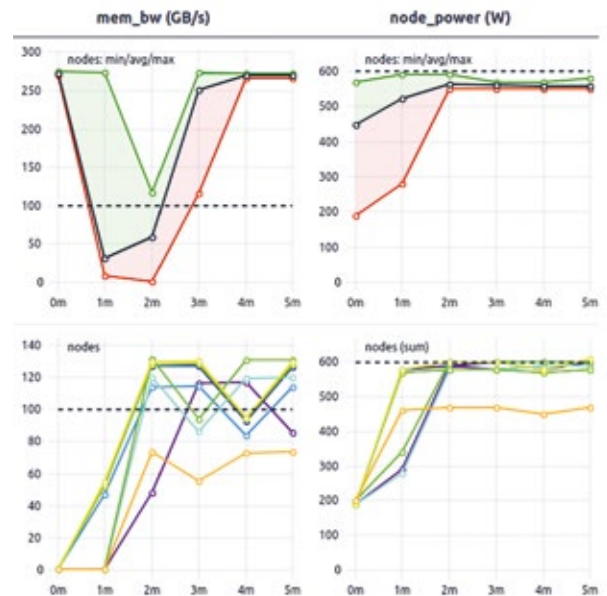




Abb.4: Wärmeleitung über das Dach des DKRZ-Gebäudes zu den Laboren im Nachbargebäude.

Infrastrukturmaßnahmen: Heizen mit Rechnerabwärme

Bei den aufwändigen Klimasimulationen produziert der DKRZ-Hochleistungsrechner viel Abwärme, welche das benachbarte Chemie-Institut der Universität Hamburg seit 2019 zu einem großen Teil für die Beheizung der Chemielabore nutzt. Die gesamte Luft der Laborräume und Hörsäle wird mithilfe von 14 Lüftungsanlagen mehrmals pro Stunde mit Warmluft ersetzt, was eine große Menge Wärmeenergie erfordert. Mit Hilfe eines

Wasser-/Wasser-Wärmetauschers wird die Rechnerabwärme sehr effizient an die Lüftungsanlagen übertragen. Die Abwärme wird genutzt, sobald die Außentemperatur unter 20°C liegt.

Mit Abgabe der Rechnerabwärme wurden in der Chemie seit Inbetriebnahme von Levante in Mitte 2022 über 14.000 Megawattstunden Wärmeenergie eingespart. Zum Vergleich: Ein Einfamilienhaus verbraucht im Durchschnitt 25 Megawattstunden Wärmeenergie im Jahr (Warmwasser und Heizung), d.h. die eingesparte Wärmeenergie wäre ausreichend, fast 600 Einfamilienhäuser ein Jahr lang zu heizen. Zurzeit liegen die Spitzenwerte bei der Übertragung bei bis zu 855 kW.

Projektwebseiten:

EEClIPs, Förderkennzeichen 16ME0599K

EE-HPC, Förderkennzeichen 16ME0586:
<https://eehpc.clustercockpit.org/>



Forschungsdatenmanagement: Gemeinsam mit unseren Partner:innen und Nutzer:innen

Klimasimulationen mit Erdsystemmodellen erfordern besonders leistungsstarke HPC-Systeme – wie die Levante am DKRZ. Aus den Rechnungen resultieren riesige Datensätze, die zunächst für die Auswertung auf Festplattensystemen gespeichert werden. Dabei kommt das Forschungsdatenmanagement (FDM) ins Spiel: Als unsichtbarer Akteur im Hintergrund sichert das FDM die Integrität, Verfügbarkeit und Nachnutzbarkeit der enormen Datenmengen und verbindet wissenschaftliche Erkenntnisse der globalen und regionalen Klimamodellierung mit der darauf aufbauenden Forschung wie etwa im Bereich der Klimaanpassung.

In den letzten Jahren wurden die sogenannten FAIR-Prinzipien (kurz für: *Findable, Accessible, Interoperable und Reusable*) zum zentralen Leitfaden für die Erzeugung und Verfügbarmachung breit nachnutzbarer Forschungsdaten. Diese zunächst allgemein gehaltenen Grundsätze werden nun von den jeweiligen Forschungsdisziplinen sukzessive konkretisiert. Für die Klimaforschung ist das DKRZ dabei maßgeblich involviert.

Die FAIR-Leitlinien werden durch die TRUST-Prinzipien ergänzt, welche die Vertrauenswürdigkeit, Zuverlässigkeit, Unabhängigkeit, Nachhaltigkeit und Transparenz in der Datennutzung hervorheben. Diese Prinzipien unterstützen, dass die Forschungsdaten der DKRZ-Nutzer:innen hohen Standards entsprechen.

Des Weiteren orientieren sich das DKRZ und das hier angesiedelte *World Data Centre for Climate* (WDCC) an den Grundsätzen der *Coalition on Publishing Data in the Earth and Space Sciences* (COPDESS). Diese garantieren, dass bei wissenschaftlichen Veröffentlichungen die Zitierung verwendeter Datensätze und Software genauso selbstverständlich und verbindlich ist, wie für zitierte Fachliteratur, so dass die Daten nicht isoliert existieren, sondern in einem breiteren geowissenschaftlichen Kontext verankert sind.

COPDESS ist ein globaler Verbund von Verlagshäusern, Forschungseinrichtungen und Datenzentren. Seine Richtlinien fördern die Vereinheitlichung und Standardisierung von Datenpraktiken in der Klimaforschung und ermöglichen so eine bessere Vergleichbarkeit und Integration von Ergebnissen.

Datenmanagement unterstützt Forschungsk Kooperationen

Im Rahmen des Engagements in verschiedenen Forschungs- und Infrastrukturprojekten werden ausgewählte Aspekte der FAIR-Prinzipien in technisch-wissenschaftlichen Abläufen der Klimamodellierung verankert.

Im vom BMBF-geförderten Projekt **AtMoDat** arbeitete das DKRZ gemeinsam mit Partnern der meteorologischen Institute der Universität Hamburg und der Universität

Generisches Forschungsdatenmanagement



Abb.1: Die FAIR-Datenprinzipien stehen für Findable, Accessible, Interoperable und Reusable

Leipzig sowie der Technischen Informationsbibliothek (TIB) zusammen. Aufbauend auf Erfahrungen aus dem **CMIP**-Projekt (kurz für: *Coupled Model Intercomparison Project*) wurde eine Empfehlung für die Standardisierung von Daten der Atmosphärenmodellierung erarbeitet. Diese ist nicht nur für grob aufgelöste Daten der Globalmodellierung anwendbar, sondern auch für fein aufgelöste Daten, wie sie von Modellen in der Stadtklimamodellierung erzeugt werden. Ergänzend zur Empfehlung wurde bei **AtMoDat** ein von Nutzer:innen und Repositorien anwendbares *data checker*-Programm entwickelt, das überprüft, ob erzeugte und verfügbar gemachte Daten den AtMoDat-Standards entsprechen und damit für Anwender:innen

leichter nutzbar sind.

Der am schwierigsten zu adressierende Aspekt der FAIR-Prinzipien ist die Daten-Interoperabilität, zu der die korrekte Anwendung von Methoden zur Datenbeschreibung wesentlich beiträgt. In diesem Zusammenhang ist das DKRZ Partner im DFG-geförderten Projekt **BITS** (kurz für: *BluePrints for the Integration of Terminology Services in Earth System Sciences*). Dieses hat sich zum Ziel gesetzt, die einheitliche Verwendung von Terminologien zu fördern und damit die Such- und Auffindbarkeit von Klimadaten auch für Anwender:innen anderer Fachdisziplinen zu erleichtern, so dass interdisziplinäre Forschung unterstützt wird.

Abb.2: Bauklötze sind ein Beispiel dafür, was Standardisierung erreicht und wo sie uns schon in einfachen Dingen im Alltag begegnet.



Projektwebseiten:

AtMoDat:

<https://www.atmodat.de/>
Förderkennzeichen 16QK02A

ClimatEurope-2:

<https://climateurope2.eu/>
Förderkennzeichen GA 101056933

BITS:

<https://projects.tib.eu/bits/home>
Förderkennzeichen TH 2285/1-1



Abb. 1: Fotorealistische Visualisierung von Wolken auf Basis von Daten einer ICON-Simulation mit etwa 1 km räumlicher Auflösung.

Die richtige Infrastruktur gewährleistet Qualität im Forschungsdatenmanagement

Die Aufstellung der disziplinunabhängigen FAIR-Prinzipien hat begünstigt, dass mehr und mehr zentrale Dienste im Bereich des Forschungsdatenmanagements entwickelt und angeboten werden können.

Hierfür ist hier das Projekt **BITS** ein gutes Beispiel, in dem ein zentraler Terminologiedienst aufgebaut wird, über den fachspezifische Bezeichnungen und Maßeinheiten z.B. für die Verwendung in wissenschaftlichen Metadaten festgelegt, dokumentiert und vergleichbar werden. Das DKRZ muss dafür keinen eigenen Dienst anbieten, sondern bringt vielmehr die Anforderungen der Klimamodellierung in die Spezifikation des zentralen Dienstes ein. Stehen dabei zunächst die Widerspruchsfreiheit, Effizienz und Qualitätssicherung im Vordergrund, so werden perspektivisch Impulse für die Bildung von Netzwerken für die Weiterentwicklung von Fachterminologien gegeben. Dieser Dienst könnte langfristig ein wichtiges Werkzeug werden, um das Potential von Forschungsdaten besser auszuschöpfen.

Im Forschungsdatenmanagement entstehen Synergien sowohl durch gemeinsame Entwicklung als auch durch die Zusammenführung von Diensten sowie im Erfahrungsaustausch – geographisch wie auch disziplinär. Gemeinsam mit seinen Gesellschaftern und nationalen und internationalen Partnern arbeitet das DKRZ daran, Methoden und Dienste zu entwickeln, die den neu-

en Anforderungen insbesondere für hochauflösende Erdsystemmodelle gerecht werden.

Ein gutes Beispiel dafür ist das Modul Easier des Projektes **WarmWorld**. Es stellt die Weichen für einen datenzentrierten Modell-Workflow für die zu erwartenden zukünftigen Datenströme in der Klimamodellierung. Die großvolumigen Daten besonders hoch aufgelöster Modelle stellen das DKRZ vor große Herausforderungen, die vielfältige Lösungen erfordern. Eine Herangehensweise dabei ist das Konzept der *FAIR Digital Objects* (FDO). FDOs stellen die konsequente Umsetzung der FAIR-Prinzipien dar, indem sie durch spezifische technische Implementierungen enge und klar definierte Beziehungen zwischen Daten und deren jeweiligen Metadaten herstellen. Wesentlich ist, dass FDOs für Menschen als auch für Maschinen lesbar und verständlich sind. Das gewährleistet einen plattformunabhängigen Austausch von Daten, aber auch die automatisierte Verarbeitung von Daten und entlastet somit die Nutzenden. Im Projekt **ESIWACE3** wird dazu untersucht, inwieweit dieses Konzept zur einfacheren Verarbeitbarkeit hochauflösender Modelldaten beitragen kann.

Gemeinsam mit seinen Gesellschaftern und vielen weiteren Partnern in Deutschland beteiligt sich das DKRZ am **NFDI4Earth**-Konsortium und damit an der

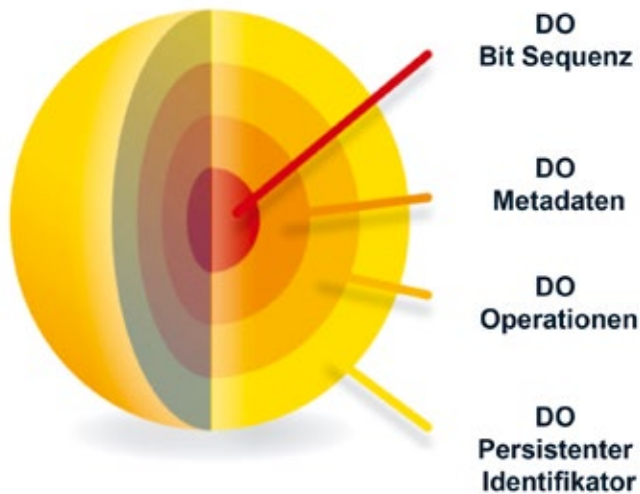


Abb. 2: Schematischer Aufbau eines FAIRen Digitalen Objektes (DO). Auf Objekte wird über eine PID (kurz für: persistent Identifier) zugegriffen und sie können Anfragen für Operationen erhalten. Die Metadaten beschreiben die enthaltenen Daten

übergeordneten Nationalen Forschungsdateninfrastruktur (NFDI). Als eine der führenden Institutionen im wissenschaftlichen Datenmanagement treibt es die Entwicklung einer integrierten Dateninfrastruktur in Deutschland voran. Diese soll langfristig Forschungsdaten verschiedener Unterdisziplinen der Erdsystemwissenschaften zusammenführen, um komplexere Fragestellungen bearbeiten zu können. Auch bringt das DKRZ die spezifischen Anforderungen der Klimamodellierung ein. Der Erfolg hängt davon ab, dass die FAIR-Prinzipien konsequent in allen sich beteiligenden Disziplinen umgesetzt werden.

Die NFDI ist das offizielle deutsche Mitglied in der EOSC (kurz für: *European Open Science Cloud*) – eine Initiative der Europäischen Union, die darauf abzielt, die Zersplitterung der europäischen Forschungslandschaft hinsichtlich Datennutzung zu überwinden und eine gemeinsame Infrastruktur für wissenschaftliche Daten zu schaffen. Für die Klima-wissenschaften beteiligt sich das DKRZ mit mehreren Projekten an der Ausgestaltung der EOSC. Exemplarisch sei hier das Projekt **FAIRCORE4EOSC** genannt. Dieses entwickelt eine Reihe von Schlüsseldiensten, die den Zugang zu Forschungsdaten und weiteren Ressourcen vereinfachen und damit die Umsetzung der FAIR-Prinzipien fördern. Einer dieser Schlüsseldienste ist die Komponente RAiD (kurz für: *Research Activity Identifier*), welche persistente und eindeutige Identifikatoren für Forschungsprojekte bereitstellen wird. In Zukunft könnte dieser Dienst den bislang im Rahmen des im ESGF betriebenen Dienst ES-DOC ergänzen oder ablösen, indem er grundlegende Informationen über Projekte und Aktivitäten bereithält und diese mit



Abb. 3: Teilnehmer:innen des Kick-off-Treffens für das Projekt FAIRCORE4EOSC im Juni 2022 in Amsterdam



Organisationen, Personen, Eingabe- und Ausgabedaten etc. verknüpft. Die EOSC entwickelt sich zudem zu einem Marktplatz von Forschungsdiensten, einschließlich Diensten für die Klimaforschung. Das DKRZ unterstützt beispielsweise seinen Gesellschafter Hereon und weitere Partner im **Aqualnfra**-Projekt dabei, ausgewählte Dienste über die EOSC international für eine breite Nutzung zur Verfügung zu stellen.

Ein innovativer datenzentrierter Ansatz für KI-basierte Datendienste wird u.a. im Projekt **CLINT** verfolgt. Dabei wird das vom DKRZ entwickelte Birdhouse-Framework eingesetzt, um anhand von Web-Diensten KI-basierte Analysen über vom *Open Geospatial Consortium* (OGC) standardisierte Schnittstellen zugänglich zu machen.

Unabhängig vom disziplinären oder geographischen Kontext, in dem Klimaforschungsdienste zur Verfügung gestellt werden, ist es wichtig, sich auf gemeinsame und transparente Regeln für deren Bereitstellung und Nutzung zu einigen. Zusammen mit deutschen und europäischen Partnern entwickelt das DKRZ im Projekt **ClimatEurope2** Standardisierungsverfahren und Empfehlungen für Klimadienste. Dies trägt zur Verbesserung und Qualitätssicherung solcher Dienste bei.

Projektwebseiten:

IS-ENES 3: <https://is.enes.org/>
Förderkennzeichen GA 824084

Projekte der European Open Cloud: EOSC-pillar und -Nordic, -Future, DICE, Blue cloud, FAIRCORE:
<https://eosc.eu/>

NFDI4Earth: <https://www.nfdi4earth.de/>
Förderkennzeichen NFDI 26/1

FAIRCORE4EOSC: <https://faircore4eosc.eu/>
Förderkennzeichen GA 101057264

Aqualnfra: <https://aquainfra.eu/>
Förderkennzeichen GA 101094434

WarmWorld: <https://warmworld.de/>
Förderkennzeichen 01LK2203A/ 01LK2204C

ESiWACE3: <https://www.esiwace.eu/>
Förderkennzeichen GA 101093054 / 16HPC090K

Forschungsdatenmanagement unterstützt Erfolg und Sichtbarkeit von Projekten

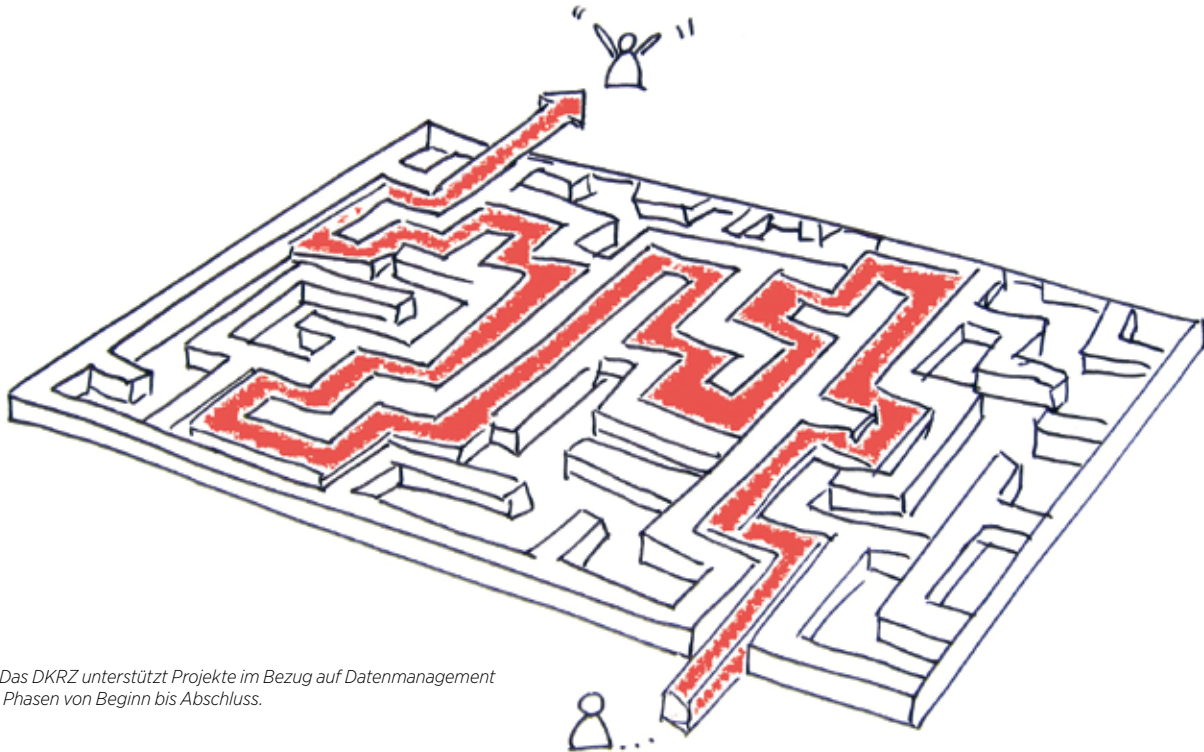


Abb. 1: Das DKRZ unterstützt Projekte im Bezug auf Datenmanagement in allen Phasen von Beginn bis Abschluss.

Die FAIR-Leitlinien bilden zunächst einen theoretischen Rahmen für das Forschungsdatenmanagement. Sie werden auch in konkreten wissenschaftsunterstützenden Aktivitäten angewandt, bei denen das DKRZ eng mit seinen Nutzenden kooperiert. Die folgenden Projekte zeigen beispielhaft, wie das DKRZ gemeinsam mit seinen Nutzer:innen die FAIR-Prinzipien aktiv umsetzt und so einen wichtigen Beitrag zur Förderung

von Datenintegrität und Transparenz in der Klimaforschung leistet.

Die im Rahmen von **CMIP** (kurz für: *Coupled Model Intercomparison Project*) erzeugten Daten gehören zu den wichtigsten weltweit, um den von Menschen verursachten Klimawandel abzuschätzen. Sie bilden eine globale Grundlage zur Untersuchung möglicher

regionaler Klimafolgen. Das DKRZ beteiligt sich seit vielen Jahren maßgeblich an den CMIP-Projekten, auch durch die Einbettung in die ENES-Research Infrastructure (ENES-RI) des europäischen Netzwerkes für Erdsystemforschung (kurz für: *ENES - European Network for Earth System Modelling*). So ist das DKRZ einer der Partner im Projekt **IS-ENES 3**.

In früheren Jahren unterstützte das DKRZ seine Nutzer:innen insbesondere bei der Datengenerierung. Jetzt gewinnt die Nachnutzung der am DKRZ bereitgehaltenen CMIP-Daten zunehmend an Bedeutung. Das zeigt sich beispielsweise an der Unterstützung des *IPCC Data Distribution Center* (IPCC-DDC) am DKRZ sowie der Veröffentlichung weiterer IPCC-Berichte in den Jahren 2022 und 2023.

Im Exzellenzcluster *Climate, Climate Change and Society* (**CLiCCS**) der Universität Hamburg unterstützt das DKRZ Forschende maßgeblich bei der Umsetzung eines modernen Datenmanagements. Da der Cluster verschiedene Bereiche von der Klimagrundlagenforschung über soziale Dynamiken bis zur Wechselwirkung zwischen Mensch und Umwelt abdeckt, bietet das DKRZ hier insbesondere Dienste für die Dokumentation der Forschungsdaten an, z.B. die Art der Erzeugung und die Lizenz. Außerdem unterstützt das DKRZ die Forschenden bei der Erstellung von Datenmanagementplänen, etwa durch den *Research Data Management Organizer* (RDMO).

Datenmanagementpläne (DMP) werden allgemein für Forschungsprojekte zunehmend wichtiger und sind z.B. mittlerweile für die Projektförderung durch die

Europäische Union verpflichtend. In vielen Projekten, wie z.B. **NextGEMS**, hilft das DKRZ bei der Erstellung und Pflege solcher DMPs.

Sehr hilfreich war der DMP beispielsweise für das Projekt **PalMod**, indem er die Datenflüsse der Partner erfasst, vergleicht und strukturiert zusammenführt.

Dieses vom BMBF in mehreren Phasen über 10 Jahre geförderte Vorhaben zielt darauf ab, die Klimavariabilität von der letzten Zwischeneiszeit bis zur Gegenwart – ein Zeitraum von etwa 100.000 Jahren – mit Modellen nachzuvollziehen und besser zu verstehen. Dazu wurden auch verschiedene Erdsystemmodelle verwendet, um das Klima der nächsten Jahrtausende anhand verschiedener Szenarien zu projizieren. In der finalen Projektphase fokussiert sich das Datenmanagement auf die Standardisierung von Klimasimulationsdaten und die dauerhafte Nutzbarmachung der Daten über das ESGF (*Earth System Grid Federation*) und das Langzeitarchiv WDCC (*World Data Center for Climate*).

Das Projekt **EERIE** (kurz für: *European Eddy-rich Earth System Models*) entwickelt neue Erdsystemmodelle mit einer Auflösung von 10 km für Atmosphäre und Ozean, um die Klimavariabilität und -änderungen im Ozean zu untersuchen. Im Rahmen von **EERIE** übernimmt das DKRZ Kernaufgaben des Datenmanagements, von der Standardisierung bis zur Archivierung der Daten, insbesondere für seine Gesellschafter Max-Planck-Institut für Meteorologie und das Alfred-Wegener-Institut Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung (AWI). Durch Bereitstellung und Veröffentlichung von

EERIE: ICON R2B9/R2B8
Strömungsgeschwindigkeit
an der Oberfläche

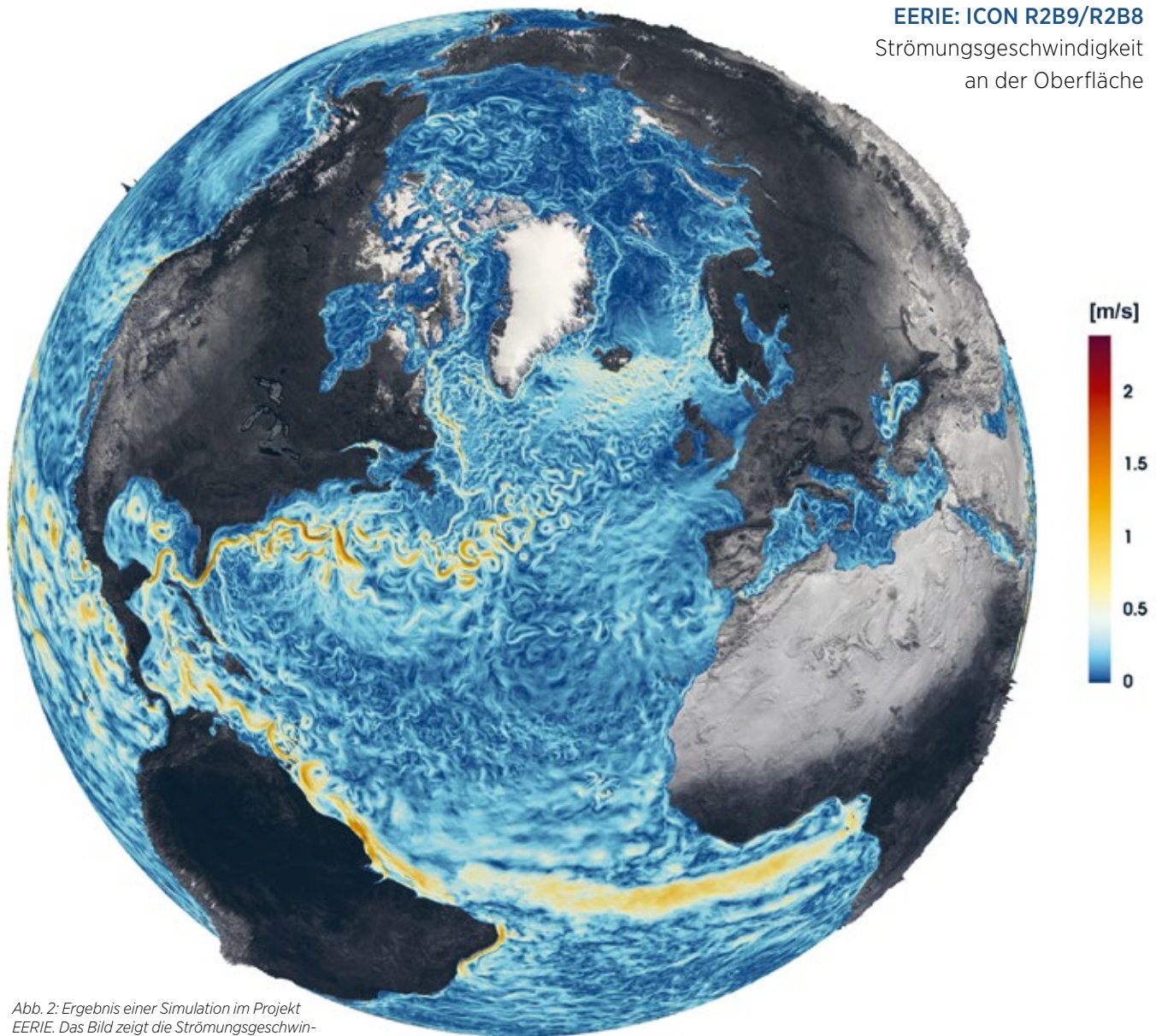


Abb. 2: Ergebnis einer Simulation im Projekt EERIE. Das Bild zeigt die Strömungsgeschwindigkeit an der Meeresoberfläche in m/s. (Simulation: MPI-M; Visualisierung: DKRZ)

qualitätsgesicherten EERIE-Datensätzen in der DKRZ-Cloud und im Archiv trägt das DKRZ zum Gelingen des Projektes bei.

Das DKRZ konzentriert sich beim Datenmanagement auf Simulationsdaten, engagiert sich aber auch im Hinblick auf die Integration anderer Datenquellen. Im Projekt **M-VRE** (kurz für: *MOSAiC - Virtual Research Environment*) unterstützt es beispielsweise gemeinsam mit dem AWI die Nachnutzbarkeit von Messdaten der MOSAiC-Expedition in virtuellen Forschungsumgebungen.

Gemeinsam mit seinen Partner:innen und Nutzer:innen arbeitet das DKRZ an der Weiterentwicklung und Umsetzung der FAIR- und TRUST-Prinzipien. Forschende erhalten damit dauerhaft Unterstützung bei der Veröffentlichung sowie dem Zugriff und der Verarbeitung hochqualitativer Klimadaten. Dies stärkt das Vertrauen der wissenschaftlichen Gemeinschaft, der interessierten Öffentlichkeit und politischer Entscheidungsträger:innen in die Integrität der benutzten Erdsystemmodelle und ihrer Ergebnisse und damit letztlich in die Wissenschaft selbst.

CENTER
FOR EARTH SYSTEM RESEARCH
AND SUSTAINABILITY (CEN)

 **Universität Hamburg**
DER FORSCHUNG | DER LEHRE | DER BILDUNG



Projektwebseiten:

PalMod : <https://www.palmod.de/>
Förderkennzeichen 01LP1925A / 01LP1926A /
01LP2311B

CliCCS: <https://www.cliccs.uni-hamburg.de/>
Förderkennzeichen EXC 2037/1

M-VRE MOSAiC: <https://mosaic-vre.org/>
Förderkennzeichen 03F0888C

UDAG : <https://www.fona.de/de/neue-regionale-klimaprojektionen-fuer-deutschland-start-des-projekts-udag>
Förderkennzeichen 01LP2326E

EERIE: <https://eerie-project.eu/>
Förderkennzeichen GA 101081383

KI im Dienste der Klimaforschung: Anwendungen und Herausforderungen

Der Einsatz künstlicher Intelligenz (KI) revolutioniert viele Forschungsbereiche, so auch die Klimawissenschaften. Die rasante Entwicklung der KI, getrieben durch fortschrittliche Algorithmen und zunehmende Rechenleistung, ermöglicht, komplexe Klimaprozesse mit einer zuvor unerreichten Präzision und Tiefe zu analysieren. Zum einen kann KI Datengrundlagen bestehender Studien neu bewerten und erweitern. Zum anderen können mit maschinellem Lernen (ML) und entsprechender Datenanalyse Muster und Zusammenhänge in umfangreichen Datensätzen erkannt werden, die menschlichen Analytiker:innen verborgen bleiben.

Die wachsende Bedeutung der KI in der Klimaforschung spiegelt sich auch am DKRZ in vielen Projekten und Initiativen wider. Durch Bereitstellung von KI-Frameworks und die Integration von KI in HPC-Systemen wie Levante unterstützt das DKRZ die Forschenden; gleichzeitig werden die Effizienz und Präzision von Klimasimulationen bzw. -analysen verbessert.

Ein weiterer Fokus am DKRZ liegt auf der Kopplung von Erdsystemmodellen mit ML-Methoden, etwa um rechenintensive Berechnungsanteile in Klimamodellen durch schnellere ML-Verfahren auszutauschen.

Helmholtz AI: KI-/ML-Beratung für Erdsystemwissenschaften

Mit der Plattform **Helmholtz AI** bietet das DKRZ Forschenden der Helmholtz-Gemeinschaft technische Unterstützung bei der Anwendung von KI/ML in den Erdsystemwissenschaften. Das Team, das in der neuen Abteilung Datenanalyse angesiedelt ist, bietet hier Beratung zur grundsätzlichen Machbarkeit von ML-Verfahren, Optimierung und Migration auf HPC-Systemen bis hin zur vollständigen Implementierung komplexer ML-Workflows. Die wissenschaftlichen Projekte umfassen unter anderem die Rekonstruktion von Klimavariablen aus spärlichen Proxydaten oder die Erkennung von Meeressäugern und Vögeln in Infrarot-Überwachungsvideos.

Mit Wissenschaftler:innen des Helmholtz-Zentrums Hereon wurde SuperDropNet, ein maschinelles Lernmodell zur Emulation warmer Regenprozesse in der Wolkenmikrophysik entwickelt. Das anhand der Ergebnisse rechenintensiver Tröpfchen-basierter Simulationen trainierte SuperDropNet kann als Ersatz für die Wolkenmikrophysik in Wettervorhersagemodellen eingesetzt werden, etwa um die Berechnungsdauer bei gleicher Qualität zu verkürzen (Abb. 1).

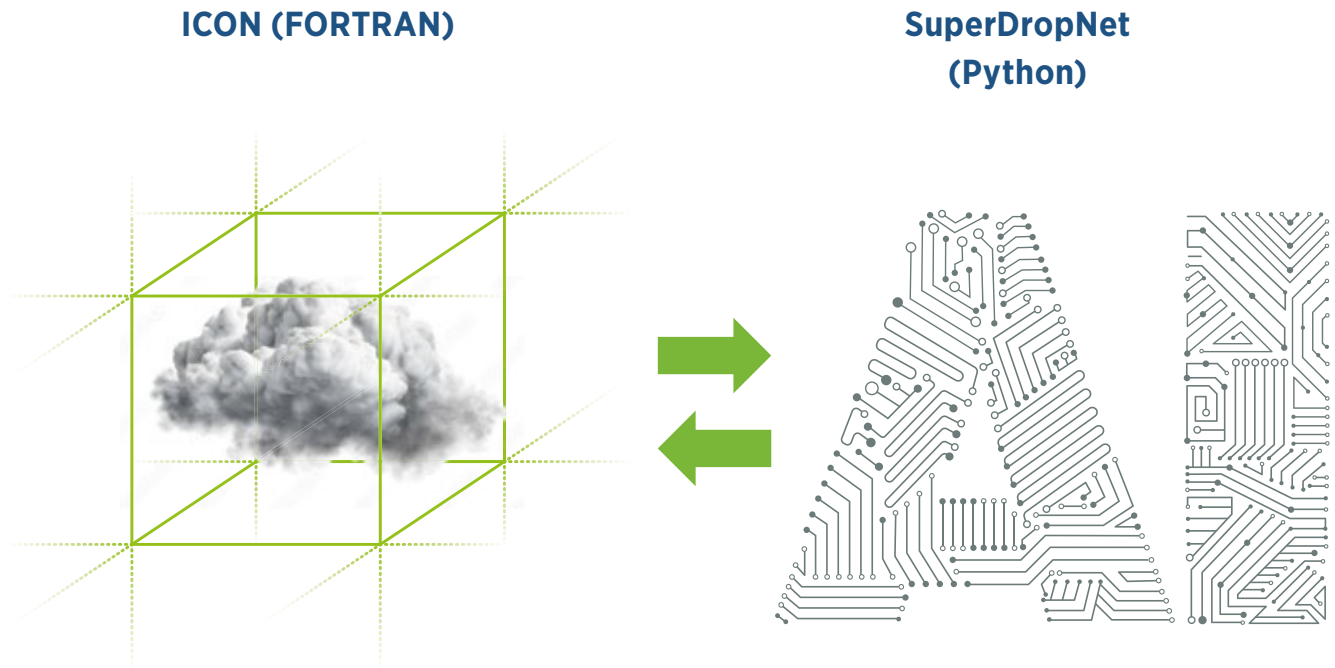


Abb. 1: Das Wetter- und Klimamodell ICON kommuniziert mit dem ML-Modell SuperdropNet, welches die Regenprozesse parametrisiert. Eine Herausforderung ist hier die effiziente Kopplung der FORTRAN-basierten Modellsimulation mit den in Python geschriebenen ML-Modellen. Arnold et al, 2024, <https://doi.org/10.5194/gmd-17-4017-2024>

Bei einer gemeinsamen Studie mit Wissenschaftler:innen des Deutschen GeoForschungsZentrums werden die Zeitpunkte von Erdbeben unter Laborbedingungen mithilfe von ML vorhergesagt. Als Grundlage dienen dabei Schallemissionsaufzeichnungen aus Laborversuchen an Granitproben. Anhand der ML-Methode wurden 47 seismische Merkmale auf ihren Nutzen zur erfolgreichen Vorhersage untersucht. Mit dem Testdatensatz konnten Erbeben im Labor mit einer Genauigkeit von 70 % vorausgesagt werden.

CLINT: KI-basierte Klimadienste

Ein weiterer Fokus liegt auf der räumlichen Vorhersage klimatologisch relevanter Größen, die in der Vergangenheit sehr lückenhaft gemessen wurden und somit in Analysen der Vergangenheit sowie der Bewertung der Zukunft fehlen. In dem EU-Projekt **CLINT** (kurz für: *Climate Intelligence*) konnten mithilfe von KI einzelne Beobachtungen von Klimaextremen auf ganz Europa übertragen werden (Abb. 2).

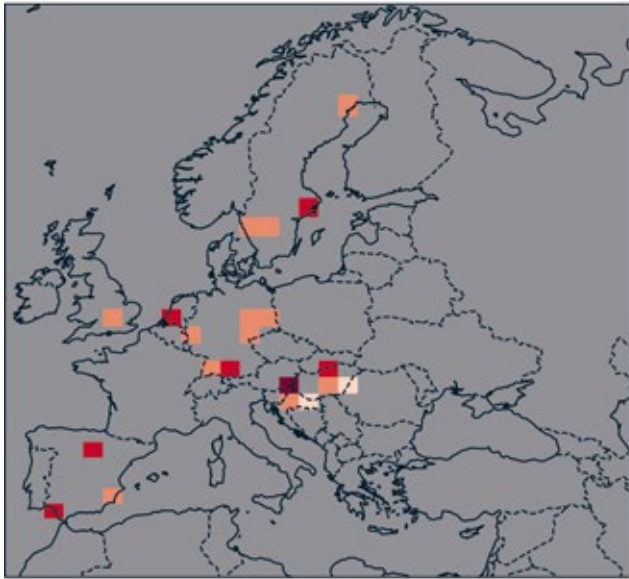
KI in der Erdsystemforschung

Parallel dazu stellt das DKRZ durch die Schaffung eines KI-Frameworks [1] eigene Entwicklungen für andere Forschende bereit: Die KI ist über eine Website für Wissenschaftler:innen frei zugänglich, um trainierte KI-Modelle auf ihre eigenen Daten anzuwenden [2]. Die Berechnungen dafür erfolgen auf dem Supercomputer Levante.

VolClim: KI-Methoden für Ensembles

Kann KI bei gleicher Qualität der Ergebnisse deutlich effizienter sein als klassische rechenintensive Klimamodelle? Das wird im DFG-Projekt **VollImpact/VolClim** untersucht, bei dem generative ML-Modelle große Ensembledatensätze erzeugen. Die statistische Natur der

Original



KI-Rekonstruktion

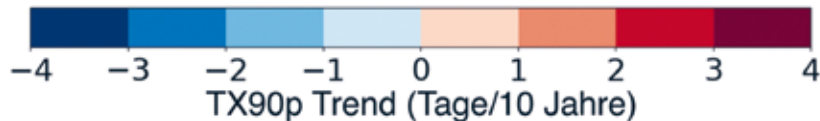
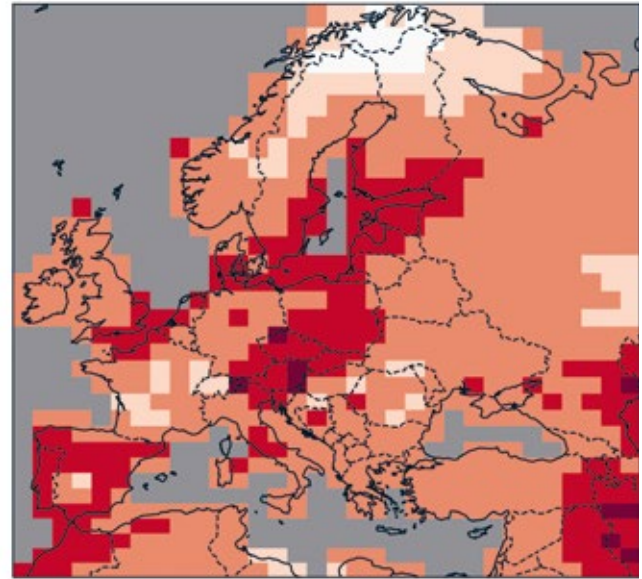


Abb. 2: Räumliche Vorhersage (Einfüllen) des Indexes TX90p (Prozentsatz der Tage, an denen die Höchsttemperatur über dem 90. Perzentil der Höchsttemperatur des entsprechenden Kalendertages für ein gleitendes 5-Tage-Fenster im Basiszeitraum liegt). Plésiat et al. (in Vorbereitung)

KI ermöglicht es, dass auf Knopfdruck eine Vielzahl von Ensemble-Simulationen berechnet werden. Diese Modelle bilden auch die Varianz ab, was besonders wichtig ist, um der Komplexität global zusammenhängender klimatologisch relevanter Variablen gerecht zu werden (Abb. 3). Hiermit können verschiedene Szenarien und Unsicherheiten in den Daten berücksichtigt werden,

so dass klimatische Phänomene wie die kurzfristige Abnahme der globalen Mitteltemperatur nach großen Vulkanausbrüchen umfassender erforscht bzw. modelliert werden können.

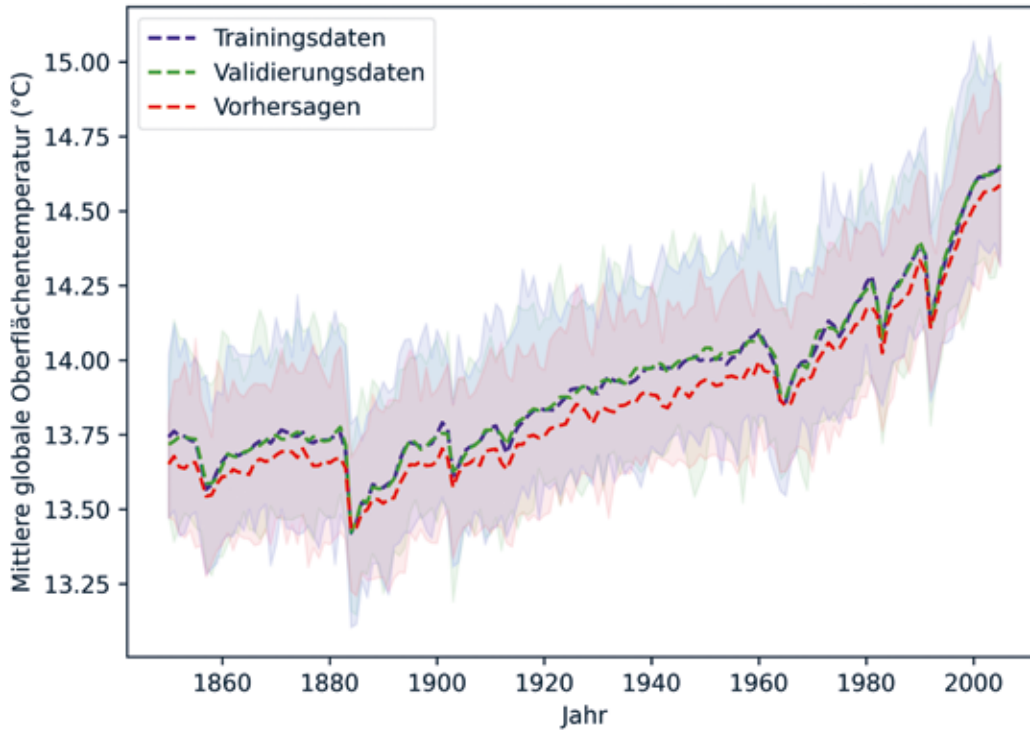


Abb. 3: VolClim: Ensemble-Generierung von globalen Temperaturfeldern aus dem MPI-Grand-Ensemble mit Diffusionsmodellen. Die Bandbreite der Ensembles sind durch semitransparente Farbflächen dargestellt. Meuer et al. (2024).

ExaOcean: Ozeanmodellierung auf ExaScale-Systemen

Besonders hoch aufgelöste Simulationen benötigen extrem viel Rechenzeit. Größere Modellauflösungen sind schneller, haben aber den Nachteil, dass Prozesse, die kleinskaliger sind als die Gitterzellen, nicht explizit dargestellt werden können. Das BMBF-Projekt **ExaOcean** will mithilfe von KI nicht-aufgelöste physikalische Prozesse in „grobe“ Simulationen vorhersagen. Das spart erhebliche Rechenkapazitäten ein und ermöglicht dennoch längere Simulationszeiträume. Das Ziel

ist es, KI-gestützt eine Ozeanauflösung von 600 m zu erreichen, obwohl das numerische Modell ICON-O mit deutlich gröberen Auflösungen berechnet wird.

Projektwebseiten:

Helmholtz Consultants: <https://www.helmholtz.ai/>

CLINT, Förderkennzeichen GA 101003876:
www.climateintelligence.eu

VolClim – Einheit innerhalb von VollImpact,
Förderkennzeichen KA 4823/2-2:
<https://gepris.dfg.de/gepris/projekt/398006378>

ExaOcean, Förderkennzeichen 16ME0681

[1]: <https://github.com/FREVA-CLINT/climatere-constructionAI>

[2]: <https://clint.dkrz.de/>



HELMHOLTZAI | ARTIFICIAL INTELLIGENCE
COOPERATION UNIT

Analyseplattform Freva: Einfacherer Zugang zu Daten und Analysen

Das öffentliche Interesse an der Bewertung und den Auswirkungen des Klimawandels hat in den letzten Jahren stetig zugenommen, und viele Projekte sind entweder aus deutscher Förderung oder aus europäischen Initiativen hervorgegangen. Die Komplexität des Themas erfordert die interdisziplinäre Arbeit großer Projektgruppen, die die Möglichkeiten von HPC-Infrastrukturen wie dem DKRZ in Bezug auf Datenspeicherung und Rechenleistung nutzen.

Der Erfolg dieser Bemühungen hängt jedoch mehr von der Fähigkeit ab, einerseits große Gruppen von Wissenschaftler:innen zu koordinieren und andererseits große Datenmengen zu speichern, darauf zuzugreifen und auszuwerten. Auf den Bereich Erdsystemforschung zugeschnittene *Software-Frameworks* wie Freva (kurz für: *Free Evaluation System Framework*) bieten für HPC-Umgebungen eine effiziente Lösung zur Bereitstellung zentraler Auswertungssysteme für große Forschungsprojekte, Institute oder Universitäten. Hauptsächlich in Python geschrieben, basiert Freva auf vier Hauptideen (Abb.1):

- Zugänglichkeit: Zugang über die Kommandozeile, das Web und ein Python-Modul mit ähnlicher Funktionalität.

- Daten: schnelle und intuitive Datensuche, Integration mehrerer Datensätze.
- Flexibilität: Freva bietet eine gemeinsame Schnittstelle für die Einbindung von Analyseroutinen in das System, unabhängig von der Programmiersprache. Diese Plug-ins können mit Freva interagieren, auf neue Daten zugreifen und diese integrieren, und sie können nahtlos in andere Freva-Instanzen integriert werden (Abb. 2).
- Reproduzierbarkeit. Jede mit Freva durchgeführte Analyse wird in einer zentralen Datenbank gespeichert, die von allen Projektbeteiligten eingesehen, gemeinsam genutzt, geändert und erneut ausgeführt werden kann.

Ursprünglich an der Freien Universität Berlin (FUB) entwickelt, wird Freva von der **CLINT**-Gruppe (kurz für: *Climate and Informatics Technologies*) der neuen DKRZ-Abteilung Datenanalyse gepflegt und weiterentwickelt.

Am DKRZ laufen derzeit drei Freva-Instanzen: für das Projekt **ClimXtreme** [1], für den **RegiKlim**-Kern [2] und für das Projekt **WarmWorld** [3].



Abb. 1: Die vier Säulen von Freva: Zugänglichkeit (über das Web, die Kommandozeile und das Python-Modul), Datenzugang (standardisiert nach CMOR-Standards), Analysewerkzeuge (von Wissenschaftlern programmiert, leicht mit Freva zu verbinden), Reproduzierbarkeit (MariaDB-Server für historische Läufe, SOLR-Server für Datenzugriffspunkte, Dateisystem, in dem die Ergebnisse gespeichert werden).

Darüber hinaus gibt es zwei weitere Instanzen, die an der Freien Universität Berlin und beim Deutschen Wetterdienst (MAVIS) laufen (Abb. 3).

Jede Freva-Instanz ist auf die spezifischen Bedürfnisse des jeweiligen Projekts zugeschnitten und beherbergt die benötigten Plug-ins, Daten und Analysedaten. Insgesamt werden die verschiedenen Freva-Instanzen am DKRZ von etwa 200 Personen genutzt, wobei mehr als 50 Plug-ins in verschiedenen Projekten entwickelt wurden, mehr als 500.000 Analyseläufe und mehr als 10 Millionen Datendateien derzeit über das System zugänglich sind. Obwohl im Allgemeinen nicht für einzelne Projekte zugänglich, können alle DKRZ-

Nutzer:innen den Freva-Datenbrowser unter [3] nutzen, der einen einfachen Zugang zu der Fülle an globalen (z.B. CMIP5, CMIP6) und regionalen (CORDEX) Modelldaten sowie Beobachtungsdaten (z.B. ERA5) bietet, die derzeit am DKRZ gehostet werden.



Abb. 2: Beispiel für das ClimateChangeProfile-Plugin auf der RegKlim Freva-Instanz, wo es verschiedene klimatologische Vergleiche zwischen projiziertem Klima und historischem Zeitraum bis hin zur Gemeindeebene bietet.



Abb. 3: Verschiedene Freva-Instanzen beim DWD (MAVIS, hinten), der FUB und am DKRZ (gems, regiklim und xces)

CLIMXTREME
Climate Change and Extreme Events

FONA
Research for sustainability

RegiKlim
Regionale Informationen zum Klimahandeln

Projektwebseiten:

ClimXtreme:

<https://www.climxtreme.net/>

Förderkennzeichen 01LP1904C und 01LP2325B

RegIKlim-Nukleus:

<https://www.regiklim.de>

Förderkennzeichen 01LR2002C1

FONA:

<https://www.fona.de/de/massnahmen/foerdermassnahmen/climxtreme.php>

<https://www.fona.de/de/massnahmen/foerdermassnahmen/RegIKlim/nukleus.php>

Freva-Instanzen:

[1] <https://www.xces.dkrz.de/>

[2] <https://www-regiklim.dkrz.de/>

[3] <https://gems.dkrz.de/>





DKRZ 2022-23

Das Team: Mitarbeiterentwicklung am DKRZ

Das DKRZ hat auch während der Corona-Pandemie regelmäßig weitere Mitarbeitende gewinnen können, die zur damaligen Zeit überwiegend vom Homeoffice aus ihre Beiträge zu den Projekten und der Bereitstellung von Diensten erbracht hatten.

Die Jahre 2022 und 2023 sind ebenfalls durch ein deutliches Anwachsen des DKRZ-Teams gekennzeichnet: 2022 starteten 15 und 2023 weitere 10 Mitarbeitende. Anfang 2024 ist das Team auf nahezu 110 Personen angewachsen und vergrößert sich fast monatlich weiter.

Die meisten dieser neuen Stellen ergeben sich aus Förderprojekten in den Abteilungen Anwendungen, Datenmanagement und Datenanalyse. Dies belegt gleichzeitig auch den Erfolg des DKRZ bei der Einwerbung externer Mittel. In den beiden größten Abteilungen Anwendungen und Datenmanagement sind jeweils über 30 Beschäftigte angestellt.

Wichtige neue Projekte, deren Stellen erfolgreich besetzt werden konnten, sind z.B. **natESM**, **WarmWorld**, **EEclips**, **EE-HPC**, **AIM**, **FAIRCOER4EOSC**, **ESMO-IPO**, **Clint**. Die gesamte Anzahl der Förderprojekte liegt bei ungefähr 30, und entsprechend hoch ist der Anteil Mitarbeitender auf Projektstellen.

In den Abteilungen Systeme und Verwaltung konnte das Team über neue Haushaltstellen weiter ausgebaut

werden. Da die Mitarbeitenden dieser beiden Abteilungen ihre Dienstleistungen überwiegend intern, also gegenüber den anderen Abteilungen, erbringen, müssen sie dauerhaft am DKRZ angestellt sein.

Bereits vor bzw. während der Pandemie hatte sich am DKRZ die Möglichkeit zur Arbeit im Homeoffice bestens bewährt. Nach dem Ende der Pandemie wurden dazu weitreichende Regelungen eingeführt, die Mitarbeitende ggf. ermöglichen, auch dauerhaft im Homeoffice zu arbeiten. Diese Maßnahme hatte den (erwünschten) Nebeneffekt, dass der gewachsene Stamm an Mitarbeitenden nach der Pandemie nicht wieder vollständig in den Büros untergebracht werden musste. Der wichtigere Aspekt ist aber, mit dieser Flexibilität kompetente und engagierte Mitarbeitende aus ganz Deutschland gewinnen zu können, die sich bei einer Tätigkeit vor Ort in Hamburg aus unterschiedlichen Gründen nicht für das DKRZ entschieden hätten. Diesen erfolgreichen Weg wird das DKRZ fortsetzen.

Das DKRZ veranstaltet regelmäßig Klausurtagungen, wie beispielsweise vom 6. bis 8. September 2023 in Bergedorf. Unser Ziel ist es hier, die Zusammenarbeit zu stärken sowie strategische Entwicklungen gemeinsam zu planen.



Abb. 1: Gruppenfoto des DKRZ-Teams vom 5. September 2023 mit einem Großteil der Mitarbeitenden, die vor der Klausurtagung zusammenkamen.

DKRZ erweitert Datenspeicherkapazität mit neuen Magnetbandbibliotheken



Abb.1: Die zwei neuen Magnetbandbibliotheken vom Typ Spectra Logic Tfinity.

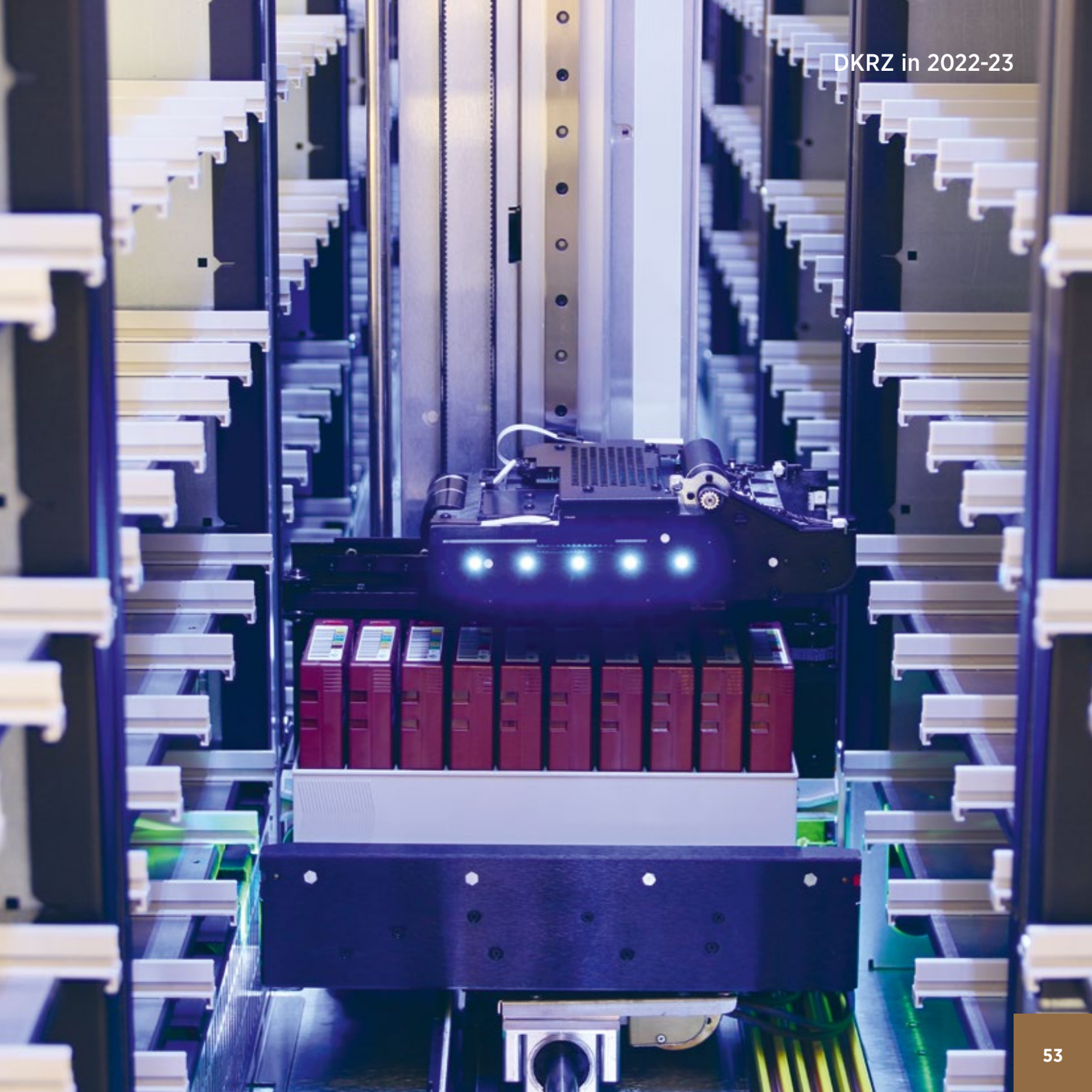
Das DKRZ nahm im Juni 2023 zwei neue Magnetbandbibliotheken vom Typ Spectra Logic Tfinity in Betrieb, die die Firma Cristie Data nach einer europaweiten Ausschreibung lieferte.

In den beiden Bibliotheken können zusammen 300 Petabyte über lange Zeiträume sicher und energieeffizient auf Magnetbandkassetten gespeichert werden. Sie verfügen über insgesamt 22.000 Stellplätze und 38 Laufwerke des Typs LTO-8, die Kassetten der Typen LTO-7 Typ M8 und LTO-8 lesen und beschreiben können. Damit verdoppelt sich die Anzahl der LTO-8 Bandlaufwerke des DKRZ-Archivs. Mit dieser Beschaffung begann die schrittweise Ablösung der etwa 15 Jahre alten Bibliotheken des Typs Oracle StorageTek SL8500.

Das DKRZ-Archiv verfügt nun über insgesamt acht Bibliotheken und 80.000 Stellplätze. Die insgesamt 115 Laufwerke der Typen LTO-5, 6, 7 und 8 erlauben eine kontinuierliche Datenübertragungsrate von 15 Gigabyte/s. Eine weitere Bibliothek für Duplikate steht in der *Max Planck Computing and Data Facility* in Garching. Die Verwaltung aller Daten erfolgt mit dem Speichermanagementsystem „Stronglink“, das aus einer zentralen Metadatenbank und einem 2,5 Petabyte großem Zwischenspeicher (*Cache*) besteht. Die Software bietet zudem die Möglichkeit, die Daten mit umfangreichen Metadaten-Informationen zu versehen, so dass eine komplexere Verwaltung möglich ist.

Das DKRZ-Archiv speichert derzeit 180 Petabyte an Klimamodelldaten aus den letzten 30 Jahren; jährlich kommen über 25 Petabyte neue Daten hinzu.

Abb. 2: Blick ins Innere einer Magnetbandbibliothek des Typs Spectra Logic Tfinity.



Ressourcenverteilung und Wissenschaftsberatung: Einblick in die Arbeit des DKRZ-WLA

Seit seiner Gründung steht dem DKRZ ein wissenschaftlicher Lenkungsausschuss (WLA) zur Seite. Dessen Aufgaben sind laut Satzung wie folgt definiert: „Der WLA berät die Geschäftsführung und die Gesellschafterversammlung in wissenschaftlichen Angelegenheiten, insbesondere auch in Fragen der wissenschaftlichen Zusammenarbeit, des Leistungsangebots und der Nutzung des Rechenzentrums. Er berichtet der Gesellschafterversammlung über seine Bewertung des wissenschaftlichen Nutzens des Rechenzentrums für die deutschen Forschungsgruppen.“

Die Hälfte der HPC-Ressourcen des DKRZ wird anteilig von den vier Gesellschaftereinrichtungen genutzt. Der WLA entscheidet über die Verteilung der anderen Hälfte der Ressourcen, die der gesamten deutschen Erdsystemforschung zur Verfügung steht. Hierbei übernehmen die Mitglieder des WLA die Begutachtung der Rechenzeit- und Speicherbedarfsanträge für wissenschaftliche Projekte.

Der WLA ist ebenso in alle wichtigen Entscheidungen des DKRZ bezüglich der Planung neuer HPC-Systeme einbezogen. In den anstehenden Diskussionen zur Definition einer Systemarchitektur für den Nachfolger von Levante vertritt der WLA die DKRZ-Nutzer:innen jenseits des Kreises der Gesellschafter und bringt deren Interessen ein.

2023 beschlossen die Gesellschafter eine Geschäftsordnung für den WLA, die dessen Verantwortlichkeiten detaillierter regelt. Nach einer personellen Umstrukturierung wurde der WLA auf 10 Mitglieder aufgestockt. Fünf von ihnen stellen die Gesellschafter, wobei rotierend eine Gesellschaftereinrichtung jeweils zwei Vertreter:innen in den WLA entsendet. Damit soll der Arbeitsaufwand für die Begutachtung der Rechenzeitanträge auf mehr Schultern verteilt werden. Neu ist auch die Festlegung einer sechsjährigen Amtszeit, wobei Wiederberufungen möglich sind. Ebenso wurde ein Exekutivausschuss definiert, der in Ausnahmefällen Einzelentscheidungen ohne Einberufung des gesamten Ausschusses treffen darf.

Gemäß dieser neuen Geschäftsordnung formierte sich der WLA bei seiner 46. Sitzung Ende 2023 neu. Den Vorsitz übernimmt weiterhin Dr. Frauke Feser vom Helmholtz-Zentrum Hereon, unterstützt von Prof. Uwe Ulbrich von der FU Berlin als stellvertretendem Vorsitz. Die weiteren Mitglieder im Ausschuss sind: Prof. Dr. Arne Biastoch (GEOMAR Helmholtz Zentrum für Ozeanforschung Kiel), Dr. Helge Goessling (Alfred-Wegener-Institut Helmholtz Zentrum für Meeres- und Polarforschung), Dr. Patrick Ludwig (Karlsruher Institut für Technologie), Prof. Dr. Juan Pedro Mellado González (Universität Hamburg), Prof. Dr. Johannes Quaas (Universität Leipzig), Prof. Dr. Anja Schmidt (Deutsches



Abb. 1: Mitglieder des WLA bei ihrem Treffen am 1. Dezember 2023 im DKRZ. V.l.n.r.: Prof. Dr. Juan Pedro Mellado González, Prof. Dr. Uwe Ulbrich, Prof. Dr. Johannes Quaas, Dr. Frauke Feser, Prof. Dr. Sönke Zaehle, Dr. Sebastian Wagner; im Hintergrund online dazugeschaltet (Uhrzeigersinn): Prof. Dr. Anja Schmidt, Dr. Helge Goessling, Prof. Dr. Arne Biastoch, Dr. Patrick Ludwig.

Zentrum für Luft- und Raumfahrt), Dr. Sebastian Wagner (Helmholtz-Zentrum Hereon) und Prof. Dr. Sönke Zaehle (Max-Planck-Institut für Biogeochemie, Jena). Das DKRZ begrüßt die neue personelle Zusammenset-

zung und freut sich auf eine Fortsetzung der konstruktiven Zusammenarbeit.



A scenic landscape photograph of a lake at sunset. In the foreground, a curved wooden pier with a metal railing extends from the bottom left towards the center. The water is calm, reflecting the vibrant orange and yellow colors of the setting sun. In the background, a dark, silhouetted forested hill rises against the sky. The sky is filled with scattered clouds, some of which are illuminated by the low sun, creating a mix of blue, white, and orange tones. The overall mood is peaceful and serene.

Vorschau

Neue Dienste

DKRZ führt neuen Datenkatalog

Mit der Einführung eines neuen Katalog-Dienstes sollen Nutzer:innen einen besseren Überblick über Datenbestände am DKRZ erhalten. Zusätzlich wird der Dienst DKRZ-Projekten ermöglichen, mit geringem Aufwand eigene Datenkataloge in einen gemeinsamen Katalog einzubinden.

Mithilfe von Kernattributen werden die Daten im Katalog leichter auffindbar. So wird die Datenanalyse und Nutzung für viele Anwendungsfälle effizienter.

Der Katalog ist nicht auf DKRZ-interne Datenquellen beschränkt. Externe Daten können ebenfalls integriert werden, um neue Möglichkeiten für die Zusammenarbeit zu erschließen. Eine smarte Software-Schnittstelle soll einen effizienten und nutzerbezogenen Zugang zu verschiedensten Einlesemöglichkeiten der Datenkataloge ermöglichen.

Neues S3-Storage aus bewährter Hardware

Auf Basis von Festplatten des stillgelegten Rechners „Mistral“ plant das DKRZ, seinen Nutzer:innen einen Speicherbereich des offenen Standards S3 zur Verfügung zu stellen. Dieser Standard zur einfachen Speicherung von Datenobjekten ist mittlerweile sehr verbreitet und wird in vielen Projekten verwendet. Dies erleichtert die Zusammenarbeit mit externen Institutionen, weil so keine Einarbeitung in individuelle

Speichersysteme mehr notwendig ist. Mit diesem Speichersystem wird auch dem Bedarf entsprochen, eine weitere Speicherebene zwischen dem performanten HPC-Storage bzw. Lustre-Dateisystem und dem langsameren Bandarchiv anbieten zu können, um zum Beispiel größere, zusammenhängende Datensätze für Konferenzen, Hackathons oder sonstige zeitlich befristete Kooperationen anzubieten.



Abb. 1: Das DKRZ will seinen Nutzer:innen zukünftig einen Speicherbereich des offenen Standards S3 zur Verfügung zu stellen, wofür die Festplatten des stillgelegten Rechners „Mistral“ weiter genutzt werden sollen.

Neue Projekte

Softwareentwicklung für Exascale-Systeme

HANAMI (kurz für: *HPC AlliaNce for Applications and supercoMputing Innovation*) ist eine Partnerschaft von 14 europäischen Forschungsteams, die sowohl in Europa als auch in Japan Spitzenleistungen im HPC-Bereich erbringen. Das Ziel besteht darin, ein nachhaltiges Ökosystem im Bereich HPC und paralleles Rechnen für die Bereiche Klima, Biomedizin und Materialwissenschaften zu entwickeln. Das DKRZ leitet gemeinsam mit dem *Barcelona Supercomputing Center* das Arbeitspaket zur Weiterentwicklung des HPCW-Benchmarks.

DestinE (kurz für: *Destination Earth*) ist eine Leitinitiative der Europäischen Kommission zur Entwicklung eines hochgenauen digitalen globalen Modells der Erde. Die hier notwendige Weiterentwicklung des Wetter- und Klimamodells ICON für aktuelle und zukünftige Exascale-HPC-Systeme stellt die Programmierung vor neue Herausforderungen. Das DKRZ wird ICON gemeinsam mit dem Partner Max-Planck-Institut für Meteorologie für die europäischen Rechner LUMI, MareNostrum5 und das System JUPITER optimieren.

ESMO-IPO: „Putting things together“

Das internationale Projektbüro **ESMO-IPO** des WCRP-Kernprojektes „*Earth System Modeling and Monitoring (ESMO)*“ hat seit 2023 seinen Sitz am DKRZ. In ESMO werden alle Modellierungs-, Datenassimilations- und Beobachtungsaktivitäten innerhalb des Weltklimafor-

schungsprogramms WCRP koordiniert. Unter Leitung der wissenschaftlichen Steuerungsgruppe von ESMO und mit Unterstützung durch das BMBF wird das Projektbüro eng mit dem WCRP und vielen namhaften Akteuren in der Klimaforschung zusammenarbeiten.

Dateninfrastrukturen

Gemeinsam mit der Universität Hamburg beteiligt sich das DKRZ am EU-Projekt **Expect**. Mit dem Klimawandel werden Wetterextreme zunehmen. Um sich darauf vorzubereiten, sind passgenaue Vorhersagen notwendig, die mit den aktuellen Simulationen noch nicht immer möglich sind. Hier setzt das Projekt **Expect** an. Zentral ist dabei die Entwicklung und Koordinierung einer gemeinsam nutzbaren Daten- und Rechnerinfrastruktur verteilt über mehrere HPC-Zentren in Europa. Die Entwicklung neuer KI/ML-Methoden zur Verknüpfung von **EERIE/DestinE** und anderer Daten mit Beobachtungsdaten macht diese Daten besser und vielfältiger nutzbar.

Mit dem Ziel, die Forschung zu fördern und die Klimaresilienz Europas zu stärken, sollen im EU-Projekt **IRISCC** (kurz für: *Integrated Research Infrastructure Services for Climate Change Risks*) wissenschaftliche Dienstleistungen durch eine verbesserte Vernetzung existierender Infrastrukturen von Natur- bis Sozialwissenschaften ermöglicht und angeboten werden. Die am DKRZ vorhandenen Daten und Infrastrukturen sind dabei ein wichtiger Beitrag.



Projektwebseiten:

HANAMI:

www.dkrz.de/de/HANAMI/
Förderkennzeichen GA 101136269

DestinE:

<https://destination-earth.eu/>
Förderkennzeichen ECMWF/DESTINE/2022/
DE_340

ESMO-IPO:

<https://www.wcrp-esmo.org/about/the-esmo-team/the-team>
Förderkennzeichen 01LP2312A

Expect:

Förderkennzeichen: GA 101137656

IRISCC:

<https://www.iriscc.eu/>
Förderkennzeichen: GA 101131261

Abb. 1: Die neu gegründete wissenschaftliche ESMO-Lenkungsgruppe trat im März 2024 zum ersten Mal persönlich zusammen, um neue Wege zu finden, wie Beobachtungen und Modelle gemeinsam in die Forschung zum Klimawandel eingebracht werden können.



DKRZ bereitet HLRE-5 vor: Investition in die Zukunft der Klimaforschung

Anfang 2023 startete am DKRZ die Planung für die kommende, fünfte Generation des Hochleistungsrechnersystems für Erdsystemforschung (HLRE-5). Die Finanzierung mit 45 Millionen Euro erfolgt, wie bei seinem Vorgänger HLRE-4, durch die Helmholtz-Gemeinschaft, die Max-Planck-Gesellschaft sowie die Freie und Hansestadt Hamburg. Diese hatten sich 2017 in einem Abkommen verständigt, gemeinsam die Investitionskosten kommender Systemgenerationen zu übernehmen. Angesichts der geplanten Nutzungsdauer des Anfang 2022 in Betrieb genommenen HLRE-4 von 6-7 Jahren stellte das DKRZ bereits 2023 den Antrag für ein Nachfolgesystem an die drei Geldgeber. Im Jahr 2024 folgen die Planungen zur künftigen Systemarchitektur. In Zusammenarbeit mit den

DKRZ-Nutzer:innen wird entschieden, welche dann verfügbaren Prozessortechnologien für HLRE-5 in Betracht kommen. Hier spielt der potentielle Einsatz von Beschleuniger-Hardware auf Basis von Grafikkarten (GPUs) eine wichtige Rolle. Die datenintensive Klimaforschung verlangt darüber hinaus nach effizienten Lösungen zur Verarbeitung hochvolumiger Datensätze. 2024 erfolgt hierzu eine Marktanalyse, und für 2025 sind die Durchführung der Ausschreibung sowie der Vertragsabschluss mit einer passenden Herstellerfirma geplant. Nach einem Umbau der Rechnerräume für HLRE-5 soll 2027 dessen Aufbau beginnen, damit das neue System ab Ende des Jahres bzw. Anfang 2028 den Wissenschaftler:innen helfen kann, die Forschung weiter voranzubringen.



Veranstaltungen, Workshops



Veranstaltungen rund um und mit dem DKRZ

Einweihung von „Levante“ und prominente Gäste

Ein Meilenstein für das DKRZ war am 22. September 2022 die Einweihung des neuen Supercomputers „Levante“ mit Vertreter:innen aus Politik und Wissenschaft – darunter Wissenschaftssenatorin Katharina Fegebank, BMBF-Staatssekretärin Judith Pirscher sowie die MPG- und HGF-Präsidenten Prof. Martin Stratmann und Prof. Otmar Wiestler. Die Grußworte sowie die Podiumsdiskussionen betonten Hamburgs exzellenten Ruf als Klimaforschungsstandort und verdeutlichten, wie sehr die Forschung auf spezialisierte Serviceeinrichtungen wie das DKRZ angewiesen ist.



Abb. 1: Einweihung des Supercomputers Levante: „Mit dem heutigen Tag zeigen wir: Klimaforschung in Deutschland wird in Hamburg gemacht.“, so Hamburgs Zweite Bürgermeisterin und Wissenschaftssenatorin Katharina Fegebank, die für die Stadt Hamburg die Grußworte sprach.



Abb. 2: Einweihung des Supercomputers Levante: links BMBF-Staatssekretärin Judith Pirscher wird von Rolf Greve, Leiter im Amt für Wissenschaft und Forschung Hamburg begrüßt (im Hintergrund: Prof. Thomas Ludwig, DKRZ-Geschäftsführer.) Rechts: Auditorium der Festveranstaltung, die von dem Medienmeteorologen Frank Böttcher (vorne im Bild) moderiert wurde.

Nach fast zweijähriger, Pandemie-bedingter Präsenzpause empfing das DKRZ ab Frühjahr 2022 wieder Besucher:innen, darunter die Hamburg Ambassadors, die am 3. Mai 2022 bei ihrem Jahrestreffen mit Katharina Fegebank das Centrum für Erdsystemforschung und Nachhaltigkeit (CEN), das MPI-M und das DKRZ besuchten. Am 21. Juni 2022 informierten sich Vertreter:innen der Bayerischen Staatskanzlei über das Exzellenzcluster CLICCS, CEN und das DKRZ. Am 17. August 2022 folgte ein Besuch des klimapolitischen Sprechers Olaf in der Beek und weiterer Abgeordneter der FDP-Fraktion. Am 25. Oktober 2022 empfing das DKRZ Bundesforschungsministerin Bettina Stark-Watzinger auf ihrer Chancentour durch Deutschland.

Der britische König Charles III. ließ seinen Deutschlandbesuch am 31. März 2023 in Hamburg ausklingen. Nobelpreisträger und DKRZ-Mitgründer Prof. Klaus Hasselmann sowie DKRZ-Geschäftsführer Thomas Ludwig begleiteten die königliche Gesellschaft bei einer Hafenrundfahrt. Zum anschließenden Empfang der



Abb. 3: Zum Hamburg-Besuch von König Charles und Camilla am 31. März 2023 lud die britische Botschaft zu einem Empfang ein; unter den etwa 1.000 Gäste waren auch Vertreter:innen des DKRZ-Teams.

Veranstaltungen

Britischen Botschaft waren auch weitere Vertreter:innen des DKRZ-Teams eingeladen.

Fachtagungen und Konferenzen

Das DKRZ präsentierte seine Arbeit auf zahlreichen Fachtagungen und Konferenzen. Während Anfang 2022 noch viele Veranstaltungen vor allem online oder hybrid durchgeführt worden waren, traf man sich ab Mitte des Jahres oft wieder persönlich.

Das DKRZ-Team ist regelmäßig mit Beiträgen auf den jährlichen Generalversammlungen der European Geosciences Union (EGU) in Wien vertreten, so auch vom 23. bis 27. Mai 2022 mit insgesamt 14.000 Teilnehmenden. Vom 23. bis 28. April 2023 präsentierten DKRZ, CEN/CLICCS Hamburgs Expertise im Bereich Klima- und Nachhaltigkeitsforschung auf einem gemeinsamen Ausstellungsstand. Forschende von DKRZ und CEN/**CLICCS** beteiligten sich mit Vorträgen, Moderationen und Postern am Konferenzprogramm.

Auch auf der wichtigsten europäischen HPC-Konferenz, der International Supercomputing Conference (ISC) mit etwa 3.000 Teilnehmenden, nahm das DKRZ vom 29. Mai bis 2. Juni 2022 und vom 21. bis 25. Juni 2023 in Hamburg teil. Dort präsentierte es auf seinem Klimaglobus aktuelle Visualisierungen und bot Besichtigungen von Levante an. Außerdem war das DKRZ-Team mit Beiträgen in Workshops, Diskussionsrunden und der Posterausstellung vertreten.

Am amerikanischen Pendant der ISC, die *Supercomputing Conference* (SC), beteiligte sich das DKRZ vom 13. bis

18. November 2022 in Dallas und vom 12. bis 17. November 2023 in Denver u.a. mit Postern zum Einsatz von Methoden der künstlichen Intelligenz (KI) und Maschinellen Lernens (ML) bei der Klimamodellentwicklung.

Arbeiten aus dem Bereich Hochleistungsrechnen stellt das DKRZ-Team auch regelmäßig auf der Schweizer Konferenz PASC (*Platform for Advanced Scientific Computing*) vor, so beispielsweise vom 27. bis 29. Juni 2022 mit Mini-Symposien und Vorträgen zu den Themen ML und ICON-Entwicklung sowie zu dem Projekt **preWarmWorld**. 2023 folgten vom 26. bis 28. Juni 2023 Vorträge über die Projekte **NatESM** und **WarmWorld**.

Als Gründungsmitglied der EUDAT Collaborative Data Infrastructure, einer der größten europäischen Forschungsdateninfrastrukturen, stellte das DKRZ bei der EUDAT-Konferenz vom 13. bis 15. September 2022 in Athen Nutzungsszenarien für neue Datendienste vor.

Konferenzbeiträge im Bereich Visualisierung leistete das DKRZ am 6. April 2022 mit einer Keynote auf dem „LEipzig Symposium on Visualization In Applications“, vom 16. bis 21. Oktober 2022 auf der Visualisierungskonferenz IEEE VIS in Oklahoma City mit einem Vortrag über In-situ-Visualisierung und Analyse von großen Datensätzen mit ICON, sowie vom 12. bis 16. Juni mit einem Infostand und Vorträgen auf der EuroVis 2023 in Leipzig.

Vom 3. bis 7. Juli 2023 trafen sich die 180 Klimafor-schende und Expert:innen für KI, HPC, Klimaanpassung sowie Risikomanagement aus 26 Ländern in Berlin, um gemeinsam an einem Konzept für eine neue digitale Infrastruktur namens *Earth Virtualization Engines* (EVE)



Abb. 4: DKRZ-Visualisierer Nils-Arne Dreier stellte auf dem 12. IEEE-Symposium on Large Data Analysis and Visualization die In-situ-Visualisierung und Analyse von großen Datensätzen mit dem hochauflösenden Klimamodell ICON vor.

zu arbeiten. Mit dabei: Wissenschaftler:innen vom DKRZ, dem Exzellenzcluster **CLICCS**, dem MPI-M und GERICS.

Vom 12. bis 14. Juni 2023 richtete das DKRZ mit den Forschungszentren Hereon und DESY die Helmholtz AI-Konferenz in Hamburg aus. Das DKRZ beteiligte sich mit einem Vortrag über Datenrekonstruktion mithilfe von ML sowie einem Poster zu MLOps mit Satellitendaten.

Weitere Konferenzen mit Fachbeiträgen des DKRZ waren z.B. Ende September 2022 der Biennial Workshop VI in Genf, vom 9. bis zum 13. Oktober 2023 der 20. ECMWF-HPC-Workshop in Bologna, der Hamburger Extremwetterkongress im September 2022 und am 28. Oktober 2022 die Junge Klimakonferenz LCOY.

Klimaforschung zum Anfassen

Zusätzlich zur Betreuung der zahlreichen Besuchergruppen, die sich vor Ort am DKRZ über Klimasimulationen und HPC informieren, beteiligt sich das DKRZ an zahlreichen Veranstaltungen, die sich speziell an Schulen richten.

So engagiert sich das DKRZ bei den Wetter.Wasser. Waterkant-Bildungswochen in Hamburg, die jeden

September ein vielfältiges Workshop-, Exkursions- und Vortragsprogramm bieten. Im September 2023 erhielten 700 Schüler:innen und Lehrkräfte Schüler:innen außerdem beim Hamburger Schülerkongress und Einblick in aktuelle Klimaforschung, u.a. vom DKRZ zu den Themen "Klima und KI" und zu "Hochleistungsrechnen für Klimamodellierung".

Den Alltag einer Klimaforscherin konnten auch 19 bzw. 16 Schülerinnen am 28. April 2022 beim Online-durchgeführten Girls'Day und am 27. April 2023 vor Ort am DKRZ kennenlernen. Neben einer Einführung zur Klimamodellierung besichtigten sie den Supercomputer, experimentierten mit dem Monash-Klimamodell, schrieben selbst kleine Programmiercodes und testeten verschiedene Strategien des Parallelrechnens aus.

Als kompetenter Partner wurde das DKRZ auch von kulturellen Einrichtungen angefragt: Für das Naturkundemuseum Münster stellte das DKRZ im Sommer 2023 Klima-Animationen für die Ausstellung „Klima – aus jedem Blickwinkel“ zur Verfügung. Im Herbst 2022 stellte der Fotograf Andreas Pohlmann in Bremen Portraits von bekannten Klimawissenschaftler:innen aus, darunter Prof. Klaus Hasselmann, Prof. Mojib Latif oder DKRZ-Visualisierer Michael Böttinger.

In Zusammenarbeit mit dem Kulturaustausch Hamburg-Übersee e.V. und der Galerie KAM unterstützt das DKRZ die Ausstellung "Umwelt im Ökologiediskurs: Sonne – Wasser – Erde – Luft". Die Dauerausstellung im DKRZ-Foyer mit jährlich wechselnden Bildern wurde im August 2022 und September 2023 mit Vernissagen und begleitenden DKRZ-Führungen eröffnet.



Abb. 1: Workshop rund um die ESM-Tools im April 2022: Im Fokus standen dabei die Erweiterung der Werkzeuge um weitere Modelle, sowie deren Portierung auf das neue HPC-System Levante.

Wissenstransfer am DKRZ: Workshops und Schulungen

Das DKRZ unterstützt seine Nutzer:innen durch gezielte Workshops und Schulungen in der Nutzung seiner Ressourcen. Diese bieten die Möglichkeit, Wissen zu erweitern, bewährte Praktiken weiterzugeben und Raum für Diskussionen sowie Erfahrungsaustausch zu schaffen.

Hochleistungsrechnen und Modellentwicklung

Am 20. und 21. April 2022 führte das DKRZ einen Hands-on-Workshop zu den „ESM-Tools“ durch – dies sind Werkzeuge, welche die Modellinfrastruktur vereinheitlichen und einen gemeinsamen Rahmen für das Herunterladen, Kompilieren und Ausführen gekoppelter bzw. eigenständiger Erdsystemmodelle (ESM) schaffen sollen. Mit Unterstützung des DKRZ-Teams passten die 16 Teilnehmenden die Modelle PISM und VILMA für Levante und begannen mit deren Integration in die Tools.

Bei einem DKRZ-Nutzerworkshop tauschten sich am 12. und 13. Oktober 2022 etwa 70 Wissenschaftler:innen über ihre Erfahrungen bei der Nutzung von Levante aus. Dabei wurden Themen wie GPU-Programmierung, Methoden des Maschinellen Lernens (ML) in der Erdsystemforschung, Datenmanagement und zukünftige Modellentwicklung diskutiert, und am Folgetag Code-Analysen, Programmierung von GPUs und Datenmanagement am eigenen Modell bzw. Workflow erprobt.

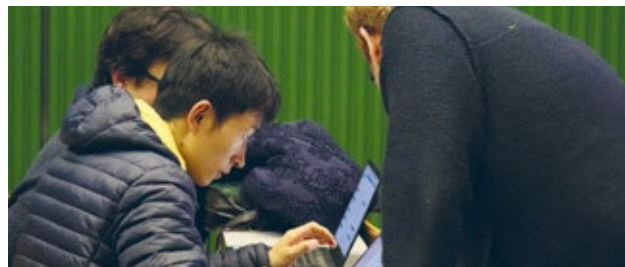


Abb. 2: Der zweite Tag des DKRZ-Nutzerworkshops 2022 stand im Zeichen der Fortbildung und praktischen Arbeiten.

Die 2020 vom DKRZ-Team gestartete Online-Vortragsreihe „Tech Talks“ zu bewährten Verfahrensweisen bei der Nutzung der DKRZ-Systeme wurde ebenfalls fortgeführt. Ralf Müller berichtete im Februar 2022 über die Nutzung der CDOs (*climate data operators*) zur Verarbeitung und Analyse von Klimadaten. Im Juni 2022 stellte das DKRZ gemeinsam mit dem Bull/Atos-Team die wesentlichen Unterschiede zwischen Levante und seinem Vorgänger Mistral in Bezug auf Codekompilierung und Laufzeiteinstellungen dar. Nach der Umstellung der HSM-Software von HPSS auf StrongLink gab Daniel Heydebreck im Juli 2023 einen Überblick zur Nutzung des Bandarchivs am DKRZ. Am Ende jeden Tech Talks ist Zeit für Nachfragen und Diskussion. Mitschnitte der Vorträge stehen auf dem DKRZ-YouTube-Kanal zur Verfügung.

Erfolgsmodell: Pythonworkshop für Geowissenschaften

Die Programmiersprache Python ist aus den Geowissenschaften nicht mehr wegzudenken. Das DKRZ entwickelte gemeinsam mit der Gruppe Wissenschaftliches Rechnen der Universität Hamburg einen darauf zugeschnittenen, virtuellen, interaktiven Python-Einsteigerkurs. Aufgrund der großen Nachfrage findet dieser mittlerweile zweimal jährlich statt. Die Anzahl der Plätze wurde von 35 im März 2022 auf 60 Plätze im Oktober 2023 aufgestockt; trotzdem war der Kurs in kürzester Zeit ausgebucht. Die Teilnehmer:innen erhielten eine kurze Einführung in Linux, Infos zu Jupyterhub, zur Anwendung von Notebooks und den Paketen NumPy, Xarray, python-cdo, sowie zur Visualisierung mit Matplotlib und Cartopy. Beim interaktiven

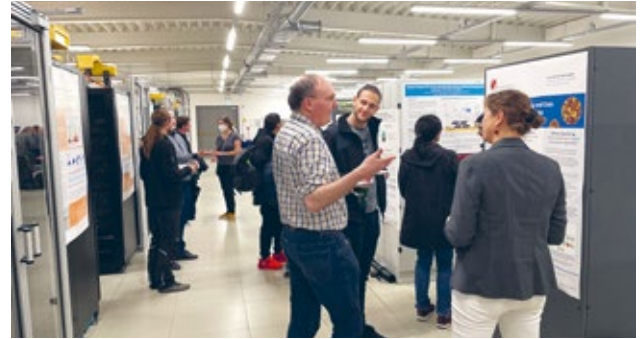


Abb. 3: DKRZ-Nutzerworkshops 2022: zwischen den Rechnerschränken des alten HPC-Systems Mistral präsentierten Nutzer:innen und DKRZ-Mitarbeiter:innen auf 14 Postern ihre Arbeit, aktuelle Ergebnisse oder Projekte und bildeten damit die Grundlage für einen zwanglosen Austausch untereinander.

Workshop-Teil konnten die Teilnehmenden ihr neu erlerntes Wissen anwenden und bekamen bei Fragen direkte Hilfe durch das Schulungsteam.

Workshop zum Maschinellen Lernen

Am 29. und 30. März 2023 bot das DKRZ erstmals einen Hands-On-Workshop zum Maschinellen Lernen (ML) in den Klimawissenschaften für 25 Teilnehmende an. Dieser beinhaltete ein ML-Einführung, Python-Grundlagen, Anwendungsbeispiele aus den Klimawissenschaften und die Demonstration des verbreiteten ML-Frameworks PyTorch. In interaktiven Jupyter Notebooks definierten die Teilnehmenden selbst ein neuronales Netz und trainierten einen Klassifizierungsalgorithmus. Zum Abschluss konnten vorbereitete ML-Techniken auf der GPU-Partition von Levante angewendet werden und damit Lücken in Radarbildern gefüllt werden. Aufgrund der großen Nachfrage und der positiven Kurs-Evaluation sind weitere ML-Workshops in Planung.

Workshops

Projekt-Workshops und gemeinsame Hackathons

Das DKRZ ist in zahlreichen Projekten engagiert. Nachfolgend illustriert eine Auswahl die regelmäßig stattfindenden Treffen zwischen den Partnern, um sich über Projektziele, -fortschritt und -ergebnisse auszutauschen.

Mit dem vom BMBF geförderten Projekt **natESM** soll die HPC-Softwareentwicklung für die hochkomplexen Erdsystemmodelle auf nationaler Ebene gemeinsam vorangetrieben bzw. technisch ermöglicht werden. Die natESM-Gemeinschaft, darunter das DKRZ, traf sich am 30. und 31. März 2023 zu einem Strategietreffen in Berlin, um Ergebnisse der ersten eineinhalb Projektjahre zu reflektieren und die Weiterentwicklung der **natESM**-Strategie zu planen. Im November 2023 organisierte das **natESM**-Supportteam am DKRZ in Zusammenarbeit mit dem DLR, DWD und MPI-M einen technisch orientierten Workshop mit Hands-on-Sessions zur Modularisierung, zur Zusammensetzbarkeit von Modellen und zur praktischen Nutzung von ICON-Daten über die YAC-Python-Schnittstelle.



Abb. 4: Nach pandemiebedingter Pause traf sich die natESM-Gemeinschaft zum ersten Mal am 30. und 31. März 2023 physisch in Berlin und diskutierte die gemeinsame Weiterentwicklung der nationalen Erdsystemmodellierungsstrategie.

Während der zweiten Phase des Projekts **ESiWACE** fand am 7. Oktober 2022 der *“2nd Virtual Workshop on Emerging Technologies for Weather and Climate Modelling”* mit zahlreichen Beiträgen des DKRZ statt. Der Workshop widmete sich der europäischen (Pre-) Exascale-Hardware, Programmiermodellen und ML. Beim Auftakttreffen der dritten **ESiWACE**-Phase vom 30. Januar bis 2. Februar 2023 übergab das DKRZ in Barcelona nach sieben Jahren die Projektkoordination an das Barcelona Supercomputing Center. Das DKRZ begleitet **ESiWACE3** weiterhin als Co-Koordinator und leitet das Arbeitspaket *“Data Challenges”*.



Abb. 5: Vom 6. bis 10. November 2023 fand am Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung mit Unterstützung des DKRZ das erste **EERIE**-Projekttreffen als auch ein Hackathon mit 50 Teilnehmenden statt.

Das Auftakttreffen zum **EERIE**-Projekt vom 6. bis 10. November 2023 in Bremerhaven wurde mit einem Hackathon mit 50 Teilnehmenden kombiniert. Das DKRZ war als Projektpartner vertreten und unterstützte die Veranstaltung aktiv. Beim anschließenden Hackathon wurden gemeinsam erste **EERIE**-Daten auf dem DKRZ-Supercomputer Levante und auf dem System JASMIN des Met Office mit Unterstützung des DKRZ-Teams analysiert.



Abb. 6: Vom 19. bis 29. September 2022 fand der "CSCS GPU-Programmier-Hackathon" – teils virtuell und teils in Präsenz – in Lugano, Schweiz statt (Foto: Matteo Aroldi, CSCS).

Für das Projekt **nextGEMS** fand vom 28. Juni bis 2. Juli 2022 ein Hackathon in Wien statt. Fast 100 Teilnehmende, darunter Vertreter:innen des DKRZ, bearbeiteten dabei die vier sturmbezogenen **nextGEMS**-Forschungsthemen und eine zusätzliche Fragestellung aus dem Bereich der erneuerbaren Energien. **ESIWACE** unterstützte den Hackathon sowohl finanziell als auch mit Rechenzeit und bei der Datenverarbeitung.

Das DKRZ nimmt auch regelmäßig an dem jährlich vom Schweizer Supercomputingzentrum CSCS in Kooperation mit openhackathons.org organisierten "CSCS GPU Hackathon 2022 teil. Vom 19. bis 29. September 2022

portierte dabei ein Team von DKRZ und MPI-M mit Unterstützung von Mentor:innen von CSCS und der Firma NVIDIA weitere Modellteile von ICON auf Grafikprozessoren. So konnte ein Großteil von HAMOCC portiert sowie der Tracertransport im Ozean weiter verbessert werden. Im CSCS-GPU-Hackthon 2023 arbeitete das DKRZ-Team vom 18. bis 22. September an Verbesserungen der GPU-Version des ICON-Ozeanmodells. So wurde die Zeitschleife des Modells dahingehend optimiert, dass der GPU-Code effizienter ausgeführt werden kann. Weiter wurde die Ausgliederung numerischer Code-Teile wie des in ICON verwendeten Gleichungslösers und vertikalen Mixschemas untersucht.

2022



Februar 2022
natESM-Projekt: 4 Anträge für Modellierungsunterstützung bewilligt



Ende Februar 2022
Daten für den Weltklimabericht global verfügbar über IPCC Data Distribution Centre am DKRZ



3. März 2022
Inbetriebnahme der ersten Phase von Levante



21. bis 24. März 2022
Neuaufgabe des Online-Python-Kurses für Geowissenschaftler am DKRZ

März 2022
6.000 neue Magnetbandkassetten des Typs LTO-7-M8 liefern zusätzliche 54 Petabyte Speicher fürs DKRZ-Datenarchiv



7. April 2022
LEVIA-Symposium in Leipzig: Keynote von Michael Böttinger zur Visualisierung von Klimamodelldaten



20. und 21. April 2022
Präsentation und Hands-On-Workshop zu Erdsystemmodellierungswerkzeugen



28. April 2022
Gemeinsamer Online-GirlsDay von MPI-M und DKRZ: Einblicke in die Klimaforschung



3. Mai 2022
Besuch der Hamburg Ambassadors und Hamburgs Wissenschafts-senatorin Katharina Fegebank am CEN, MPI-M und DKRZ

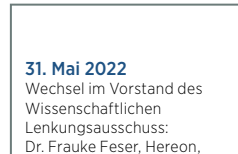
9. bis 11. Mai 2022
DKRZ auf dem 7. ENES-HPC-Workshop von ESIWACE2 online und vor Ort in Barcelona/ Spanien



23. bis 27. Mai 2022
DKRZ-Team hält zahlreiche Vorträge auf der hybrid-durchgeführten EGU in Wien/Österreich



29. Mai bis 2. Juni 2022
DKRZ-Infostand auf der ISC'22: Levante auf Platz 76 der TOP500



31. Mai 2022
Wechsel im Vorstand des Wissenschaftlichen Lenkungsausschuss: Dr. Frauke Feser, Hereon, übernimmt Vorsitz



29. bis 30. Juni 2022
Projektstart: FAIRCORE4EOSC entwickelt neun neue Kernkomponenten für die EOSC-Forschungssoftware-Infrastruktur und damit verbundene Dienste

7. Juni 2022
DKRZ beteiligt sich mit Exkursion und Vortrag am Programm der MINT100 in Hamburg



Juni 2022
DKRZ-Jahrbuch 2020-2021 erschienen



14. Juni 2022
Vernissage zur Ausstellung "Umwelt im Ökologiediskurs: Schöne... neue Welt – unsere Erde aus dem Gleichgewicht" am DKRZ



21. Juni 2022
Delegation der Bayerischen Staatskanzlei besucht CLICCS/CEN und DKRZ



Juni 2022
Buch „From decoding turbulence to unveiling the fingerprint of climate change“ über den Nobelpreisträger und ehemaligen DKRZ-Direktor Prof. Klaus Hasselmann erschienen



27. bis 29. Juni 2022
DKRZ stellt auf PASC22-Konferenz Entwicklungen für das Wetter- und Klimamodell ICON und Einsatz Methoden des maschinellen Lernens in den Erdsystemwissenschaften vor



28. Juni bis 2. Juli 2022
DKRZ beteiligt sich am nextGEMS-Hackathon in Wien/Österreich



1. Juli 2022
DKRZ-Antrag "IPFS Pinning Service for Open Climate Research Data" erfolgreich als eines von fünf NFDI4Earth-Inkubator-Projekten bewilligt



8. Juli bis 27. Oktober 2022
Ausstellung "Klimaneuland" im Haus der Wissenschaft in Bremen mit Portraits von Klimawissenschaftler:innen, darunter Prof. Klaus Hasselmann und DKRZ-Visualisierer Michael Böttinger



1. September 2022
Start des dritten Moduls Faster des Projekts WarmWorld



1. bis 21. September 2022
Stadttradeln: DKRZ-Team goDKRZ22 erreicht mit 6623 km Platz 93 in Hamburg



13. bis 15. September 2022
DKRZ auf der EUDAT-Konferenz 2022 in Athen/Griechenland



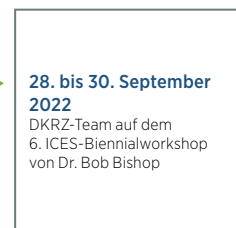
19. bis 29. September
DKRZ nimmt am hybrid durchgeführten "CSCS GPU Hackathon 2022" in Lugano/Schweiz teil



22. September 2022
Feierliche Einweihung des Supercomputers Levante mit hochrangigen Gästen am DKRZ



27. bis 29. September 2022
Kickoff-Treffen zum Projekt Climateurope2 in Lecce/Italien



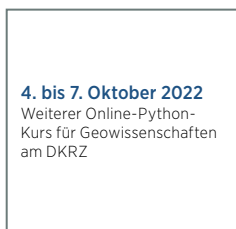
28. bis 30. September 2022
DKRZ-Team auf dem 6. ICES-Biennialworkshop von Dr. Bob Bishop



28. September bis 14. Oktober 2022
DKRZ beteiligt sich mit Vorträgen am Extremwetterkongress und am Bildungsprogramm Wetter. Wasser. Waterkant



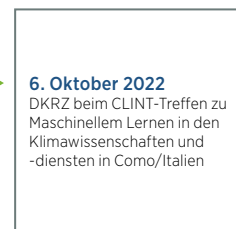
Oktober 2022
DKRZ-Team „EagleEyes“ gewinnt Wettbewerb zum maschinellen Lernen „AI4EO Hyperview“



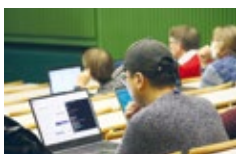
4. bis 7. Oktober 2022
Weiterer Online-Python-Kurs für Geowissenschaften am DKRZ



5. Oktober 2022
Kick-off-Treffen für das Projekt Climateurope2 in Lecce, Italien



6. Oktober 2022
DKRZ beim CLINT-Treffen zur Maschinellen Lernen in den Klimawissenschaften und -diensten in Como/Italien



12. und 13. Oktober 2022
DKRZ-Nutzerworkshop zur Zukunft der Klimaforschung in Hamburg



16. bis 21. Oktober 2022
DKRZ-Team präsentiert In-situ-Visualisierung und Analyse von ICON-Daten auf der IEEE-Vis-Konferenz in Oklahoma City/USA



25. Oktober 2022
Bildungsministerin Stark-Watzinger während ihre Chancentour zu Gast am DKRZ und MPI-M



13. bis 18. November 2022
SC22 in Dallas/USA: Levante erreicht Platz 53 der TOP500-Liste



7. Dezember 2022
50. Jahrestages des Fotos "Blue Marble": MPI-M, DKRZ und Nvidia simulieren diese Aufnahme mit dem Wetter- und Klimamodell ICON in 1km-Auflösung

2023



26. Januar 2023

Inbetriebnahme der zweiten Phase von Levante mit ausschließlich GPU-Prozessoren



30. Januar bis 2. Februar 2023

ESIWACE-Treffen in Barcelona/ Spanien: Das DKRZ übergab nach 7 Jahren die Koordination an das Barcelona Supercomputing Center



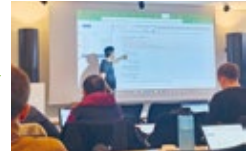
1. März 2023

Die Module "Better" und "Easier" des BMBF-Projekts WarmWorld starten



21. bis 24. März

Python-Anfängerkurs für Geowissenschaftler am DKRZ



29. bis 30. März 2023

1. Workshop zum Maschinellen Lernen in den Klimawissenschaften am DKRZ



30. bis 31. März 2023

Workshop zur Weiterentwicklung der natESM-Strategie in Berlin



31. März 2023

DKRZ-Team unter den Gästen beim Besuch von King Charles in Hamburg



5. April 2023

Komplizen-Podcast: Michael Böttger erzählt, wie Supercomputer das Klima von morgen berechnen



23. bis 28. April 2023

DKRZ gemeinsam mit Exzellenzcluster CLICCS und CEN auf der EGU in Wien/Österreich



27. April 2023

Gemeinsamer GirlsDay von MPI-M und DKRZ zum „Berufsalltag einer Klimaforscherin“



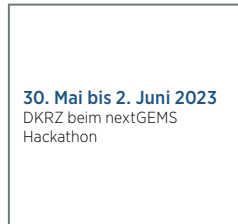
1. Mai 2023

Internationales Projektbüro des Weltklimaforschungsprogramms am DKRZ eingerichtet



21. bis 25. Mai 2023

DKRZ präsentiert sich auf der ISC'23 in Hamburg: Levante auf Platz 60 der TOP500-Liste



30. Mai bis 2. Juni 2023

DKRZ beim nextGEMS Hackathon



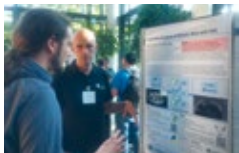
Juni 2023

Erweiterung des DKRZ-Datenarchivs mit zwei Bandbibliotheken vom Typ Spectra Logic Tfinity



12. bis 14. Juni 2023

Helmholtz-AI-Konferenz in Hamburg



12. bis 16. Juni 2023

DKRZ präsentiert sich auf der EuroVis in Leipzig



Juni 2023

ERA5-Daten für 1940-2023 auf Levante verfügbar



26. bis 28. Juni 2023

DKRZ-Team beteiligt sich an der PASC-Konferenz in Davos/Schweiz



3. bis 7. Juli 2023

DKRZ beim Berlin Summit zu einer neuen digitalen Infrastruktur „Earth Virtualization Engines (EVE)“



1. September 2023

Neue DKRZ-Abteilung "Datenanalyse" unter der Leitung von Dr. Christopher Kadow



7. bis 8. September 2023
Klausurtagung des DKRZ-Teams in Bergedorf



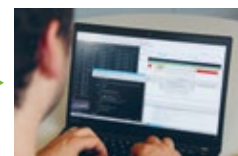
8. bis 28. September 2023
Stadtradeln in Hamburg: Team „DKRZ – Bits and Bikes“ radelt knapp 6.000 km und spart damit fast eine Tonne CO₂ ein



14. September 2023
Vernissage zur Ausstellung „Umwelt im Ökologiediskurs: Sonne – Wasser – Erde – Luft“ am DKRZ



15. September 2023
Carsten Schmitt tritt die Nachfolge von Ulf Garternicht als Leiter der Abteilung Systeme an



18. bis 22. September 2023
Beim GPU-Hackathon in Lugano/Schweiz arbeitet das DKRZ-Team an der GPU-Version des ICON-Ozeanmodells



21. September 2023
6. Hamburger Schülerkongress kk23 mit DKRZ-Vorträgen zum Thema „Klima und KI“ und „Klimamodellierung mit Hochleistungsrechnern“



25. September bis 6. Oktober 2024
Wetter.Wasser.Werkant-Bildungswochen: DKRZ bietet zwei Exkursionen an, eine davon in Zusammenarbeit mit CEN/Universität Hamburg



1. Oktober 2023
Dr. Fanny Adloff wird Direktorin des Internationales ESMO-Projektbüros des Weltklimafor-schungsprogramms am DKRZ



Oktober 2023
Start des GEMS-Systems ermöglicht zentralen Zugang zu vielen im DKRZ gespeicherten Klima- und Umweltdaten



5. und 6. Oktober 2023
DKRZ-Team beim Retreat des Exzellenzclusters CLICCS



9. bis 12. Oktober 2023
5. Neuauflage der beliebten Online-Python-Kurs für Geowissenschaften am DKRZ



9. bis 13. Oktober 2023
DKRZ-Team stellt beim 20. HPC-Workshop des ECMWF in Bologna/Italien Entwicklung von Klimamodellen für die zukünftige Supercomputer-Generationen vor



6. bis 10. November 2023
DKRZ unterstützt 1. EERIE-Treffen sowie anschließenden Hackathon



9. und 10. November 2023
DKRZ beim NCAR-Workshop „Correctness and Reproducibility for Climate and Weather Software“ in Boulder/USA



12. bis 17. November 2023
SC23 in Denver/USA: Levante auf Platz 74 der TOP500-Liste



14. bis 15. November 2023
natESM-Supportteam organisiert gemeinsam mit DKRZ, DLR, DWD und MPI-M Schulungs-workshop

Partner und Verbund des DKRZ

Das DKRZ ist eine gemeinnützige GmbH mit vier Gesellschaftern.



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):

Ivonne Anders, Joachim Biercamp, Hendryk Bockelmann, Etor Lucio Eceiza, Iris Ehlert, Christopher Kadow, Paul Keil, Thomas Ludwig, Maria Rompe, Karsten Peters-von Gehlen, Carsten Schmitt, Hannes Thiemann, Sascha Thöming, Maximilian Witte, Florian Ziemer

Gastbeiträge von: Daniel Klocke (MPI-M); Helge Goessling, Marylou Athanase, Thomas Jung, Antonio Sánchez-Benítez (alle AWI); Benjamin Fersch und Luca Glawion (IMK-IFU); Tatiana Klimiuk, Patrick Ludwig, Joaquim G. Pinto (alle IMKTRO)

Gestaltung

Gerrit Horwege, Studio Nort

Druck

Die UmweltDruckerei GmbH
www.dieUmweltDruckerei.de

Bildnachweis

Sánchez-Benítez et al. 2022 (S. 11), Athanase et al. 2024 (S. 12), Klimiuk et al. in Vorbereitung (S. 13), elif – stock.adobe.com (S. 31), Foto zum GPU-Hackathon 2022: Matteo Aroldi (CSCS) (S. 71, 75), Fotos vom nextGEMS-Hackathon: Yuting Wu, MPI-M, und Tristian Vostry, LT (S. 73), Foto zur Ausstellung „Klimaneuland“: Andreas Pohlmann (S. 73), Foto zur EUDAT-Konferenz 2022: Trust-IT-Services (S. 73), Foto zum ESIWACE-Treffen: Elisenda Fabregat, BSC (S. 74), Foto zum Hamburger Schülerkongress: Initiative NAT – Jann Wilken (S. 75)

DKRZ (alle weiteren Fotos und Grafiken)

Klimaneutral gedruckt auf FSC-zertifiziertem Papier

