
Alumni-Treffen: Informatiker/Mathematiker 2025 der J.W. Goethe Universität

23. Mai. 2025 / DWD Offenbach – 16.00 Uhr – Konferenzbereich Blau

Teilnehmende

Ehemalige, Professor:innen, Wissenschaftler:innen, Studierende



Agenda

Begrüßung (Dr. Michael Bechtold/Leander Jamin)

DWD Wetter und Klima aus einer Hand (Leander Jamin)

KI-Einsatzgebiete in der Wettervorhersage (Dr. Stefanie Hollborn)

Rechenzentrum im Technologiewandel (Manuel Reiter)

Verabschiedung (Dr. Michael Bechtold)





Der DWD – Wetter und Klima aus einer Hand

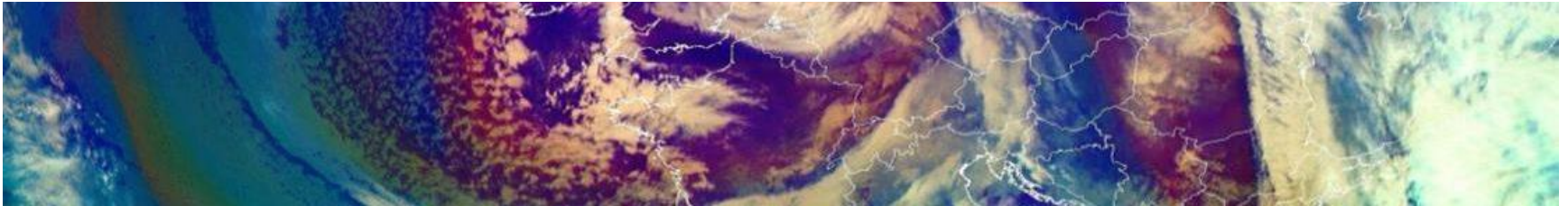
Der DWD im Kurzportrait

- 1952 gegründet
- Obere Bundesbehörde des Bundesministeriums für Verkehr (BMV)
- Sitz der Zentrale in Offenbach am Main
- 6 Niederlassungen in Hamburg, Potsdam, Leipzig, Essen, Stuttgart und München
- Rund 2.150 Beschäftigte
- Wissenschaftlich-technischer Dienstleister mit Forschungsauftrag
- Vertretung Deutschlands in internationalen meteorologischen und klimatologischen Organisationen



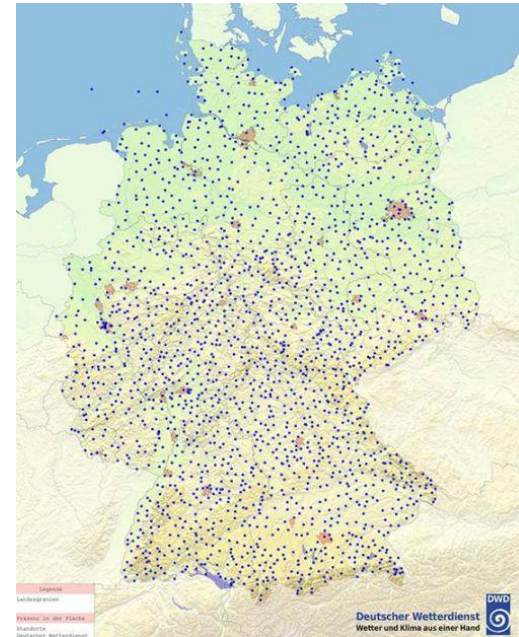
Kernaufgaben des DWD

- Wettervorhersage und -beobachtung
- Wetter- und Unwetterwarnungen
- Überwachung und Erforschung des Klimas in Deutschland
- Bewertung von Klimaveränderungen
- Vorhersagen und Projektionen des Klimas
- Frühwarnungen, Lage- und Vorsorgeinformationen über Naturgefahren
- Beratung zu Klimaanpassungen
- Überwachung der Radioaktivität in Luft und Niederschlag
- Vertretung Deutschlands in internationalen Organisationen
- Betrieb der erforderlichen Mess- und Beobachtungssysteme



Die regionale Präsenz zur Erfassung aller wetter- und klimarelevanten Daten

- 181 hauptamtliche Wettermessstellen
- 48 Stationen mit Radioaktivitätsmessung
- 1.726 ehrenamtlich betreute Messstationen
- 1.070 phänologische Beobachtungsstellen
- 18 Wetterradarstandorte in Deutschland
- 2 Meteorologische Observatorien
- 10 Radiosondenstationen (rund 7.000 Aufstiege pro Jahr)
- 2 hauptamtliche Bordwetterwarten
- 150 automatische Bordwetterstationen
- 448 Stationen der Freiwilligen Wetterbeobachtung auf See auf Schiffen aller Art



Datengewinnung für Wetter- und Klimavorhersage, Warnmanagement und Klimaüberwachung

- Haupt- und nebenamtliche Mess- und Beobachtungsstellen mit oft mehr als 100-jährigen Zeitreihen
- Radiosonden
- Satelliten
- Niederschlagsradar
- Flugzeuge
- Bojen
- Schiffe
- Partnermessnetze/Crowdsourcing



Ein Super-Computer-Paar für die Wetter- und Klimavorhersage

- Gewonnene Daten gelangen zu unserem Hochleistungsrechner: empfangen, verarbeiten, speichern
- Zwei Rechnersysteme SX-Aurora TSUBASA des Herstellers NEC
- Spitzenleistung von 9.5 und 12.3 PetaFLOP/s wird erreicht durch über 8.100 Vektorprozessoren
- Eine innovative Warmwasser-Kühlung und die Nutzung der Abwärme des Großrechners macht das Rechenzentrum „grüner“



Foto: Manuel Reiter, DWD

Die Arbeitsergebnisse eines Jahres (Auswahl)

- 90.000 Wettervorhersagen sowie 200.000 Wetter- und Unwetterwarnungen
- Rund 330.000 Aufrufe im Katastrophenschutzportal FeWIS
- 550.000 Vorhersagen und Warnungen für Luftfahrt
- 25.000 telefonische Beratungen für Luftfahrt
- 240.000 Berichte, Warnungen, Beratungen für Seeschifffahrt / Küstenschutz
- Rund 1,4 Milliarden Push-Meldungen über die DWD-WarnWetter-App



Wichtige Kunden und Partner

- Landverkehr
- Luftverkehr
- Seeschifffahrt
- Bundeswehr
- Energiewirtschaft
- Land- und Fortwirtschaft
- Katastrophenvorsorge
- Wissenschaft und Forschung
- Wasserwirtschaft
- Gesundheitswesen
- Bevölkerung und Medien
- Politik und Verwaltung
- Weltorganisation für Meteorologie



www.naturgefahrenportal.de

Eckdaten Haushalt (Etat geplant 2024)

- Gesamt-Etat (Ausgaben): 382 Millionen Euro, davon knapp 148 Millionen Euro Beiträge für internationale Organisationen wie EUMETSAT
- Verfügbarer Etat: rund 235 Millionen Euro
- Investitionen: knapp 49,5 Millionen Euro
- Personalausgaben: rund 123,3 Millionen Euro
- Einnahmen (fließen direkt in den Bundeshaushalt): 20,3 Millionen Euro, davon knapp 16,8 Millionen Euro Gebühren Flugwetterdienst
- Steuermittelbedarf: knapp 362 Millionen Euro (Etat abzüglich Einnahmen)



Agenda

Begrüßung (Dr. Michael Bechtold/Leander Jamin)

DWD Wetter und Klima aus einer Hand (Leander Jamin)

KI-Einsatzgebiete in der Wettervorhersage (Dr. Stefanie Hollborn)

Rechenzentrum im Technologiewandel (Manuel Reiter)

Verabschiedung (Dr. Michael Bechtold)



Sekundenschnell von Messungen zu Vorhersagen

KI in der Wettersvorhersage

Stefanie Hollborn

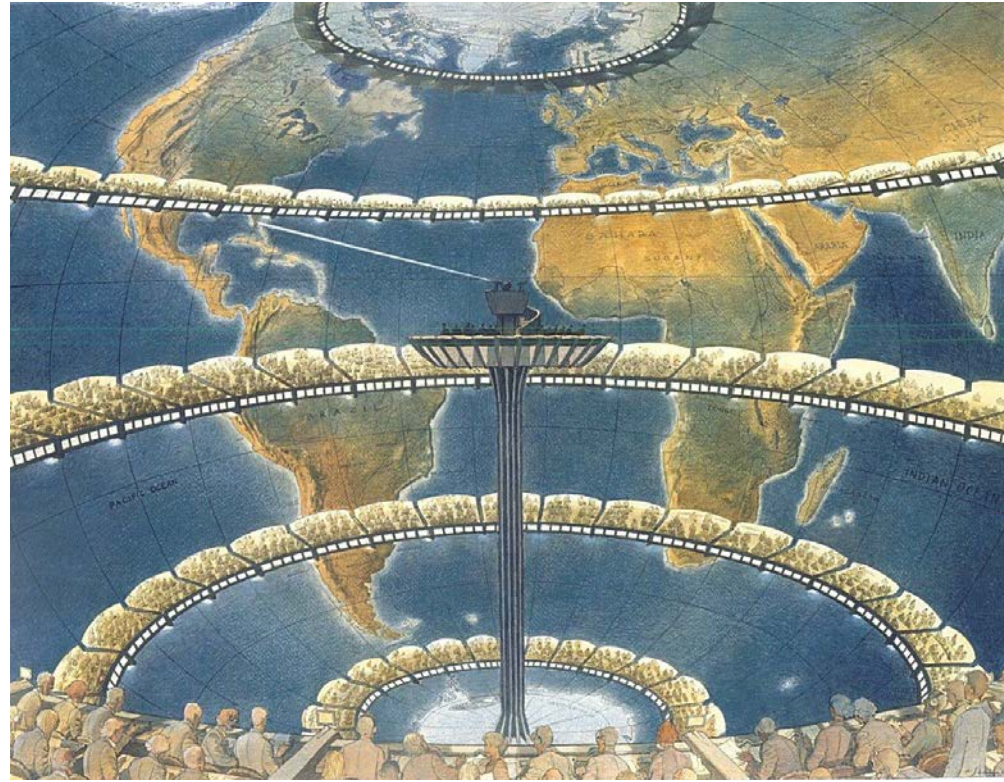
FE12 – Beobachtungsmodellierung und Verifikation

FE1 – Meteorologische Analyse und Modellierung



KI für die Wettervorhersage

Wettervorhersage im Computerzeitalter

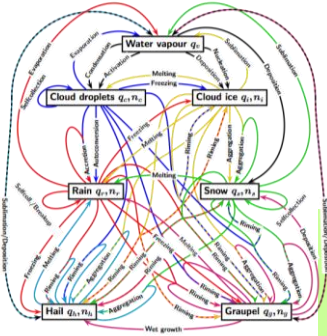
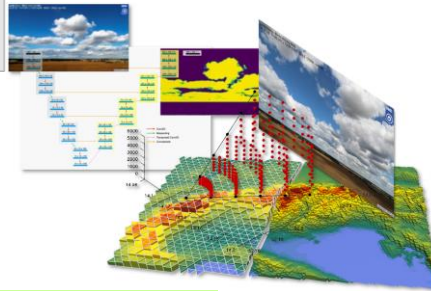
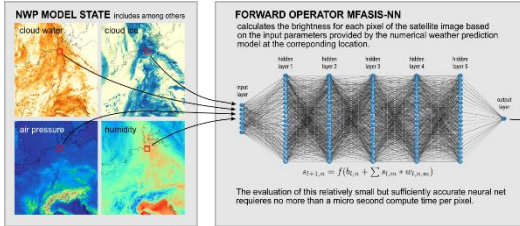


Lewis Fry Richardson (1881-1953)
Weather Prediction by Numerical Process:
A fantastic forecast factory

<https://maths.ucd.ie/~plynch/Dream/ForecastFactory/SchuitenHD3.jpg>



Wettervorhersage im KI-Zeitalter



2020
iCamCloudOps Project entwickelt erste KI-Operatoren in der NWV

2020
KI-Emulator für Wolken-Mikrophysik am DWD

2016
MFASIS: Schneller Strahlungstransfer für Satellitenbilder

2021
ECMWF Strategie: zwei KI-Anwendungen bis 2025

2023
Start AIFS Entwicklung am ECMWF

2023
Start AICON Entwicklung am DWD

2022
erste volle NWP Emulatoren (Pangu, FourCastNet, GraphCast)

2024
Start AI-VAR Entwicklung am DWD

2024
EUMETNET E-AI

2025
Start des DWD KI-Zentrums

2025
AICON: KI Wettervorhersage am DWD operationell

FOURCASTNET: A GLOBAL DATA-DRIVEN HIGH-RESOLUTION WEATHER MODEL USING ADAPTIVE FOURIER NEURAL NETWORKS

Pangu-Weather: A 3D High-Resolution System for Fast and Accurate Global Weather Forecast

GraphCast: Learning skillful medium-range global weather forecasting

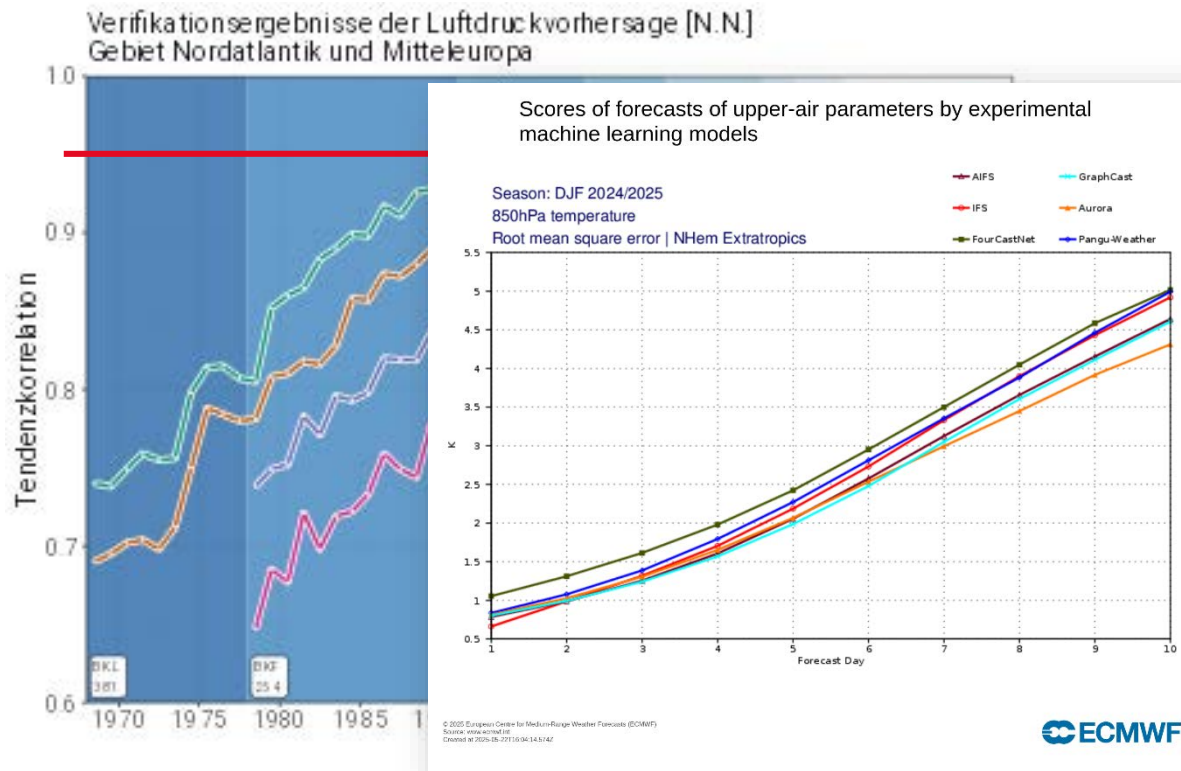
nature

DeepMind AI accurately forecasts weather – on a desktop computer

The machine-learning model takes less than a minute to predict future weather worldwide more precisely than other approaches.



Verbesserung der Vorhersagequalität

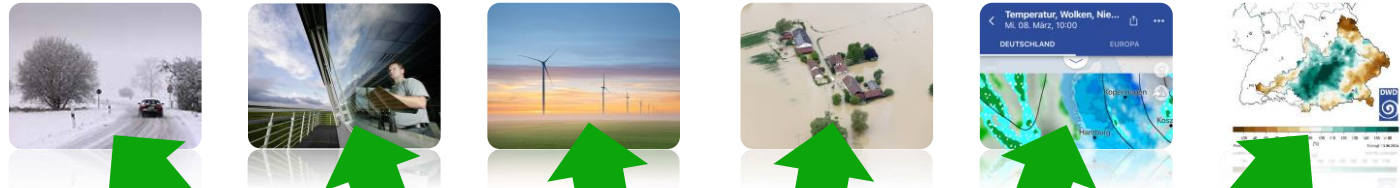


Eine Vier-Tages-Vorhersage ist heute so verlässlich wie eine Zwei-Tages-Vorhersage vor 20 Jahren und eine Ein-Tages-Vorhersage vor 35 Jahren.



KI für die Wettervorhersage

Ebenen der KI Entwicklung



Maßgeschneiderte KI-Services für Kunden

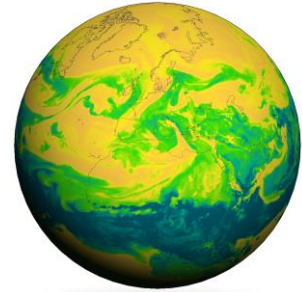
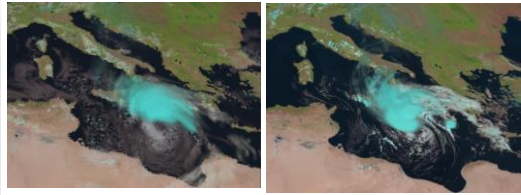
Mehrwert schaffen durch KI

**KI in der
Wettervorhersage**

*Sekundenschnell
von Messungen zu Vorhersagen*

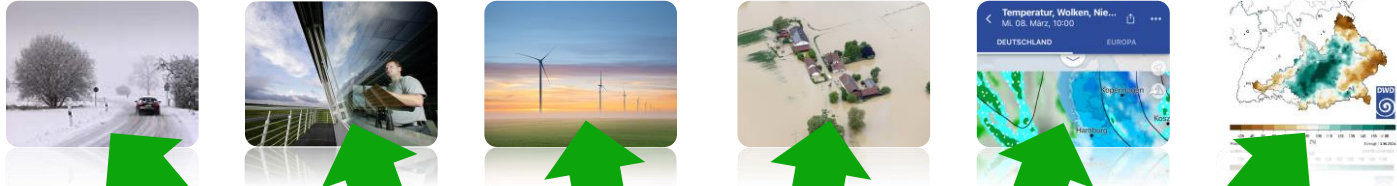
Datenbasis

Modelldaten und Beobachtungen



KI für die Wettervorhersage

Ebenen der KI Entwicklung



Maßgeschneiderte KI-Services für Kunden

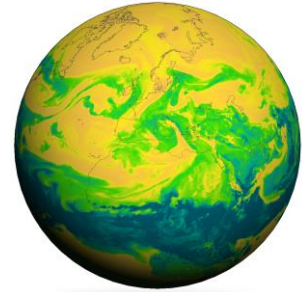
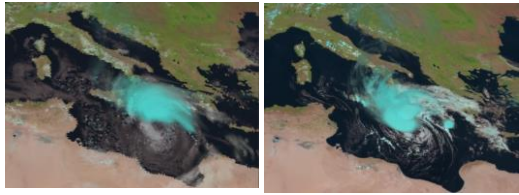
Mehrwert schaffen durch KI

**KI in der
Wettervorhersage**

*Sekundenschnell
von Messungen zu Vorhersagen*

Datenbasis

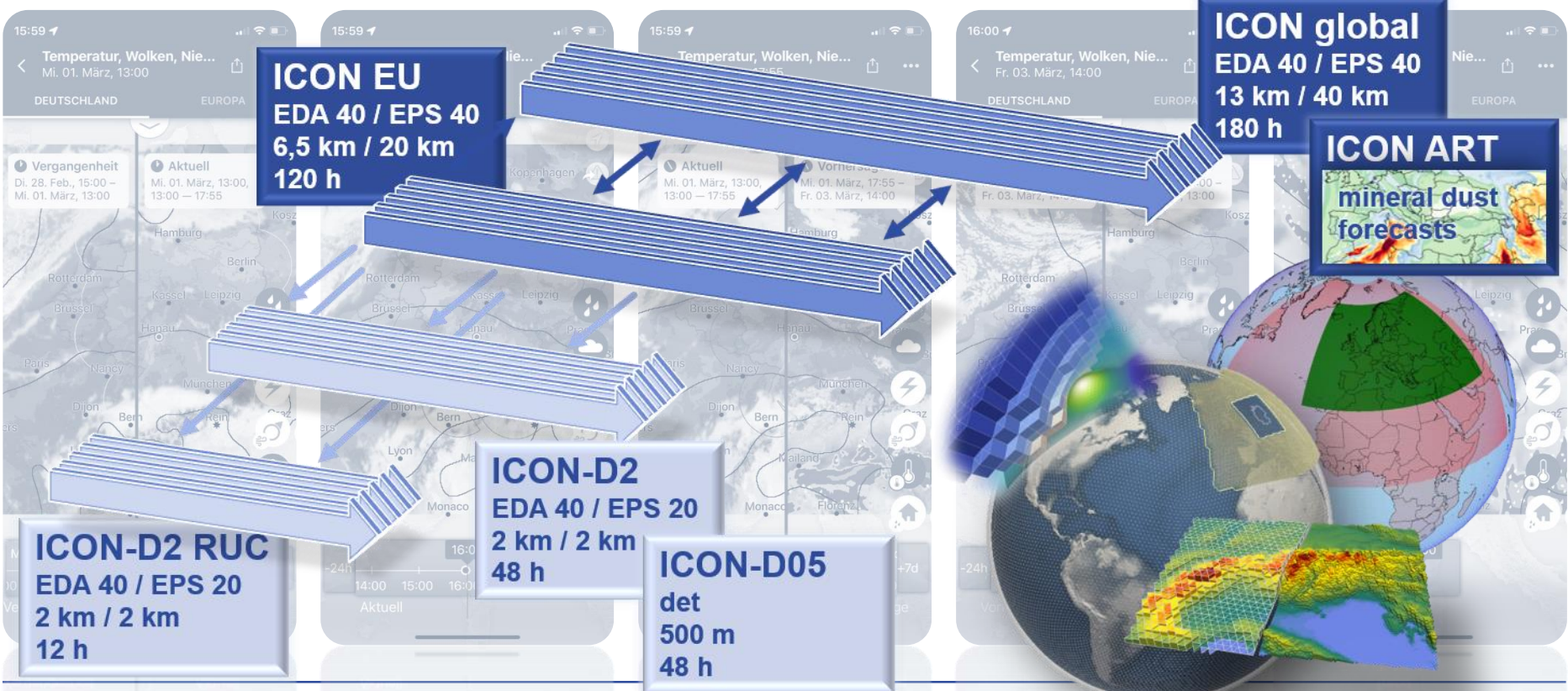
Modelldaten und Beobachtungen

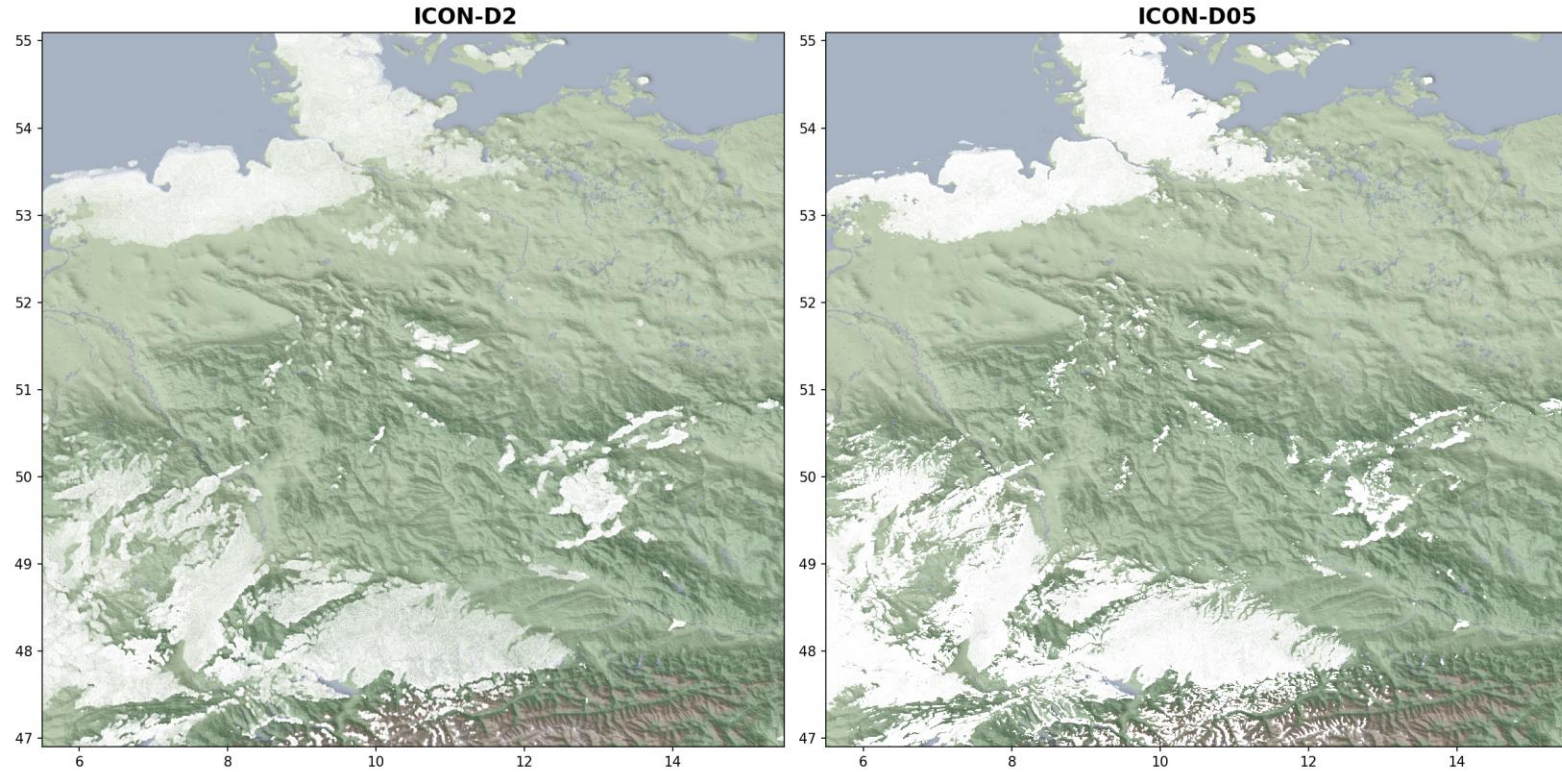


NWV Modellkette

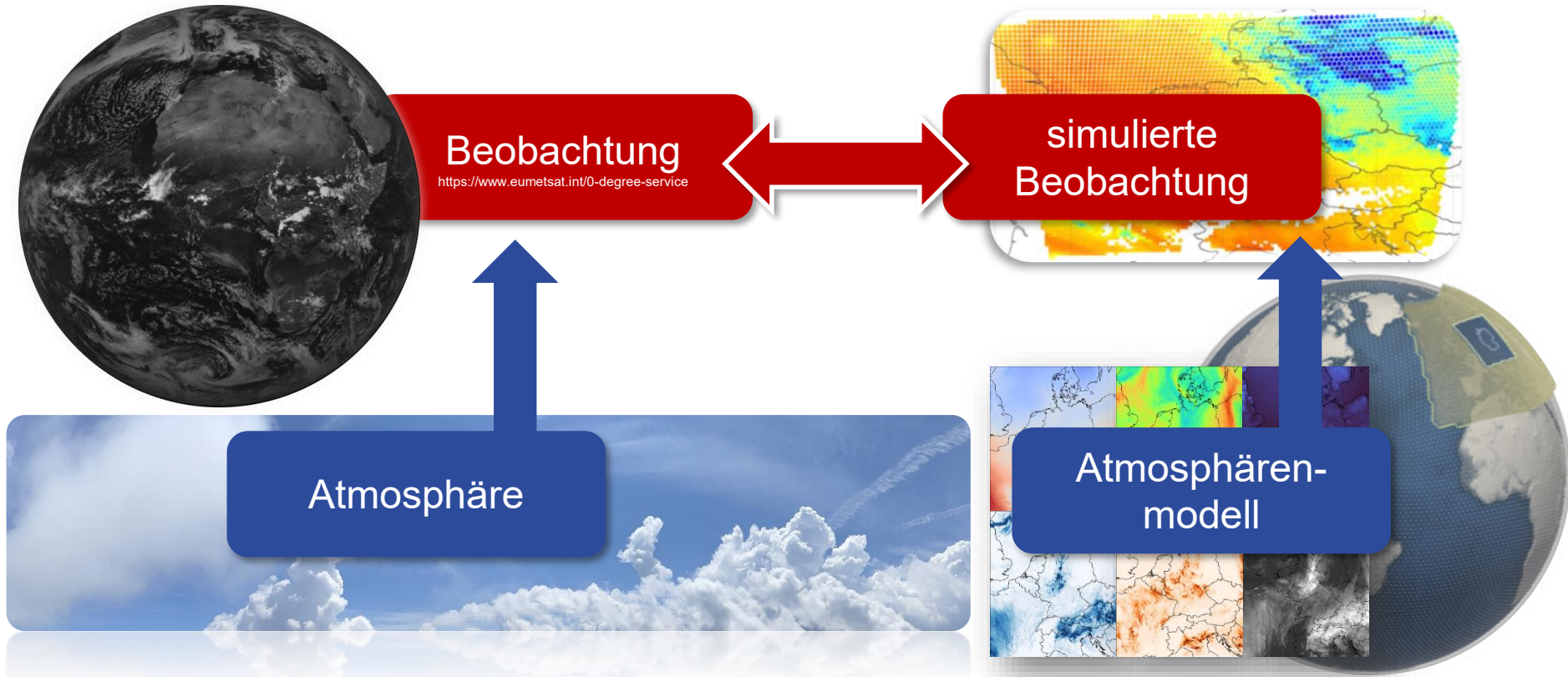


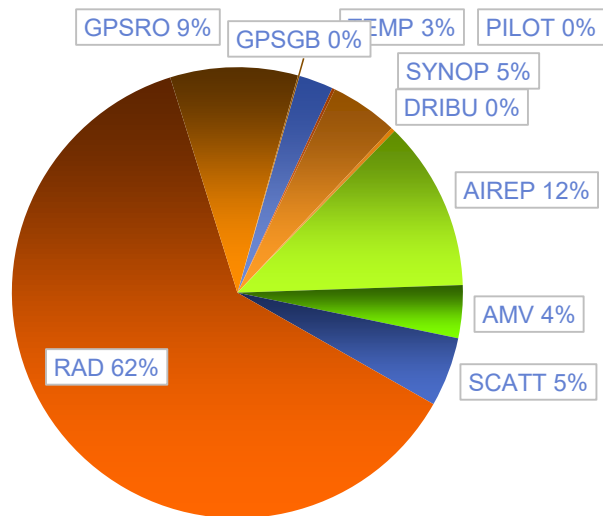
NWV Modellkette





Messdaten und NWV-Modell

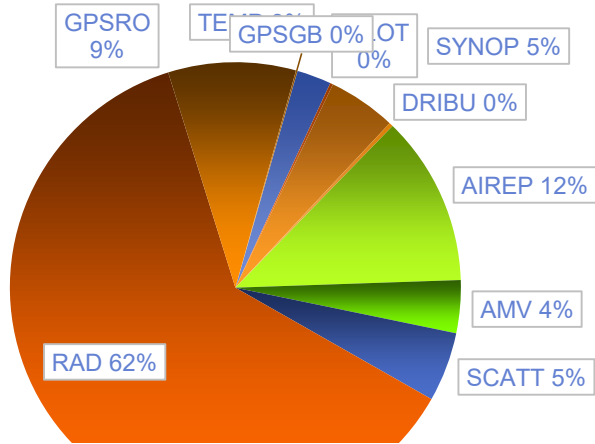




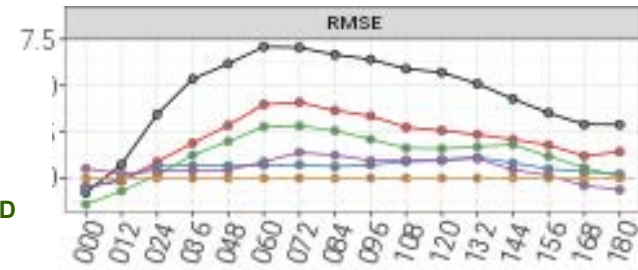
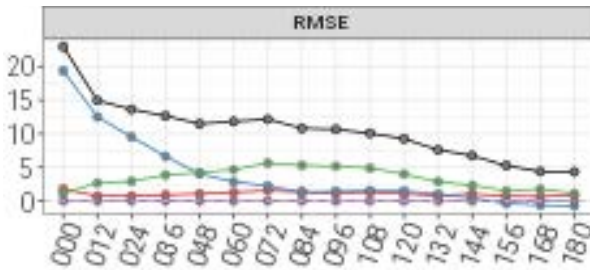
ICON global

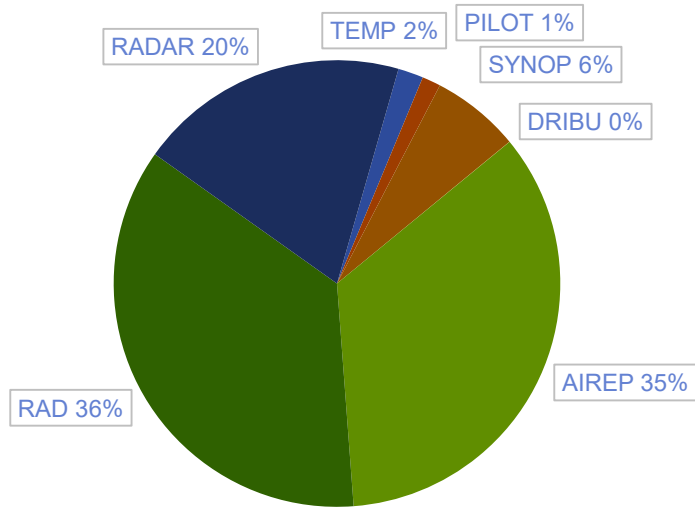
- **operational monitoring:** ~ 170 M data per day
of which ~ **96 % satellite data**
- **used data:** ~ 6 M data per day,
of which ~ **60 % satellite data**





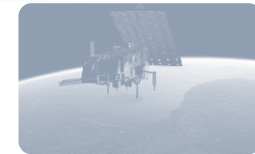
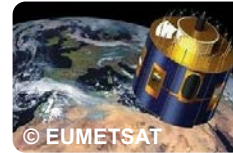
Verifikation gegen TEMP GEOP 500hP global. Vorhersagezeit vs RMSE Reduktion relative zur Referenz [%]

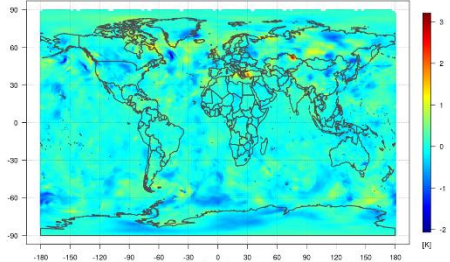
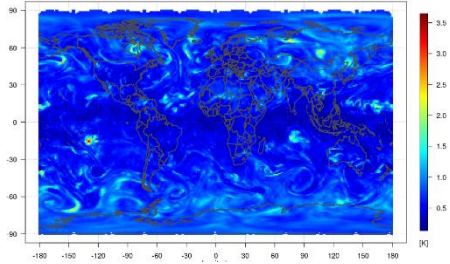
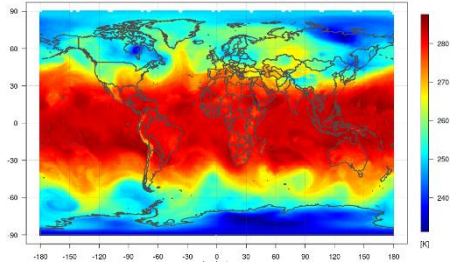




ICON-D2

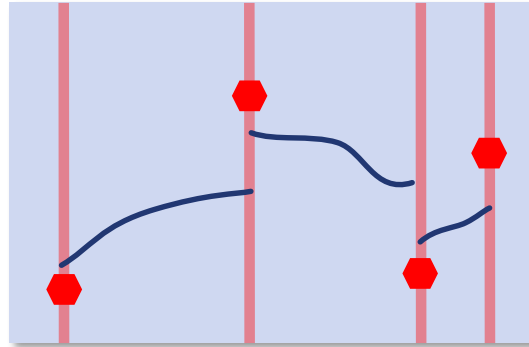
- **operational monitoring:** ~ 10 M data per day (depends on weather)
- **used data:** ~ 2 M data per day



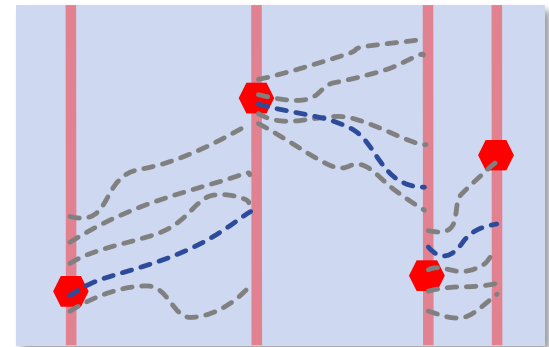


Beobachtungen und Vorhersagen haben systematische und zufällige Fehler.

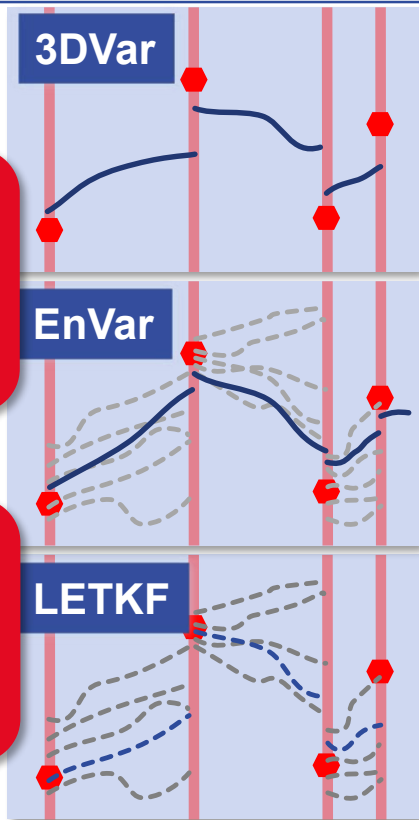
Variationelle DA



Ensembleverfahren



Verschiedene Vorhersagen (Ensemble) liefern Informationen über die Vorhersagegenauigkeit (Ensemblespread).



Benötigt
adjungierten
Operator!
Algorithmisch
komplex

Benötigt
Ensemble!
Strenge
(unrealistische)
Annahmen.

Variationelle Methoden

$$x^a = \arg \min \left(\|x - x^b\|_{state}^2 + \|H(x) - y\|_{obs}^2 \right)$$

Lineare EnVar Version

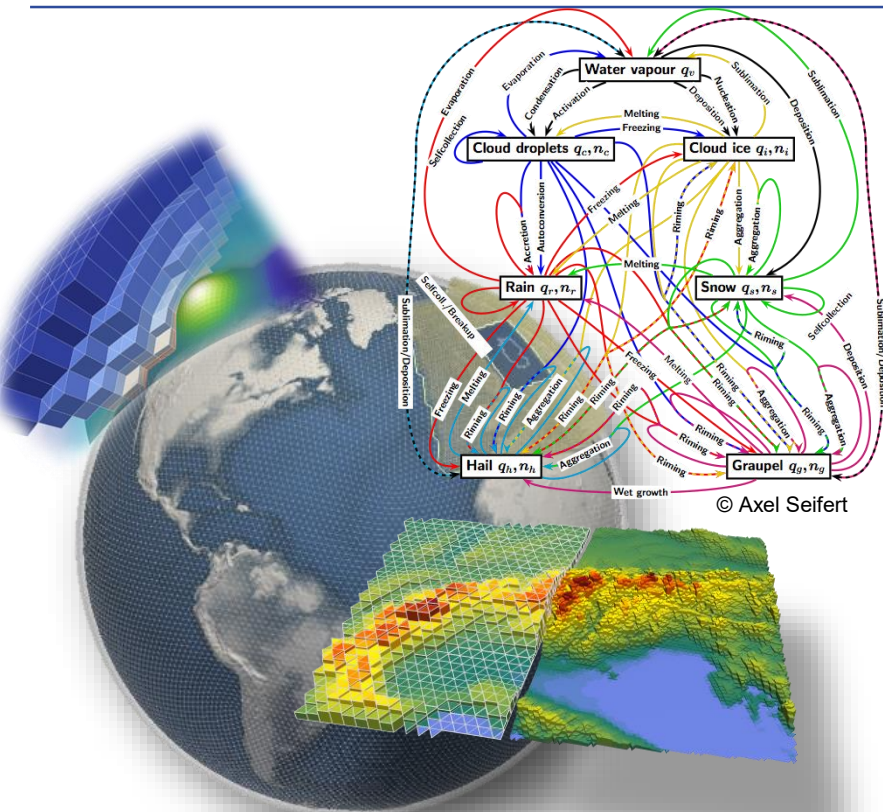
$$x^a = x^b + BH^T \left(HBH^T + R \right)^{-1} \left(y - H(x^b) \right)$$

Kalman Filter

$$\bar{x}^a = \bar{x}^b + B^b H^T \left(HB^b H^T + R \right)^{-1} \left(y - H(\bar{x}^b) \right)$$

$$X^a = X^b S \quad \text{ensemble covariance update}$$

$$B^a = (I - KH)B^b \quad \text{with Kalman matrix } K$$

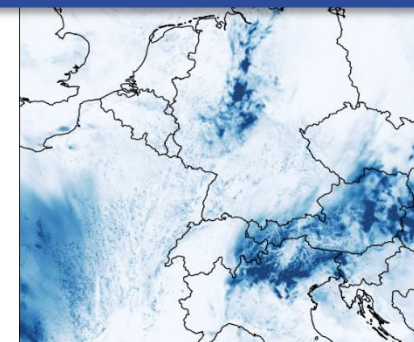


Die Darstellung von Wolken im NWV Modell wird mit Hilfe von KI Methoden verbessert durch

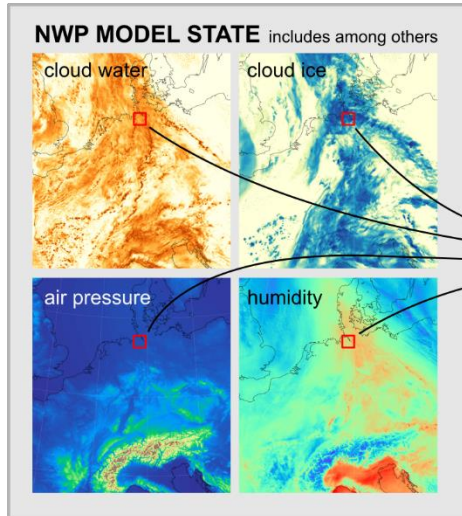
- Allsky Datenassimilation und
- an VIS-Beobachtungen optimierten Parametrisierungen.



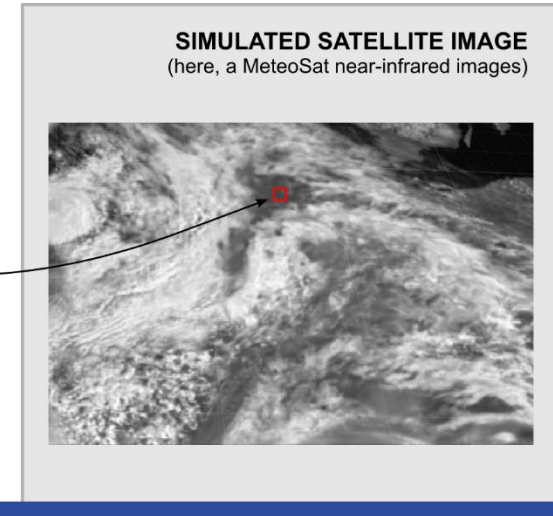
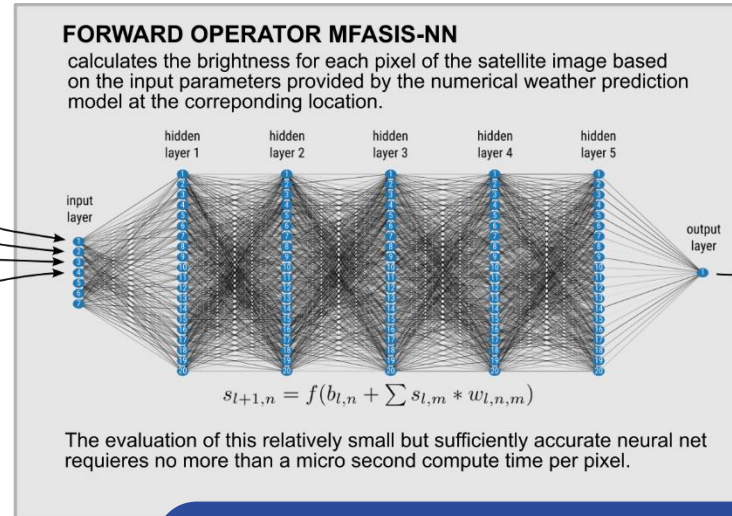
grid scale cloud ice



subgrid scale or diagnostic cloud ice

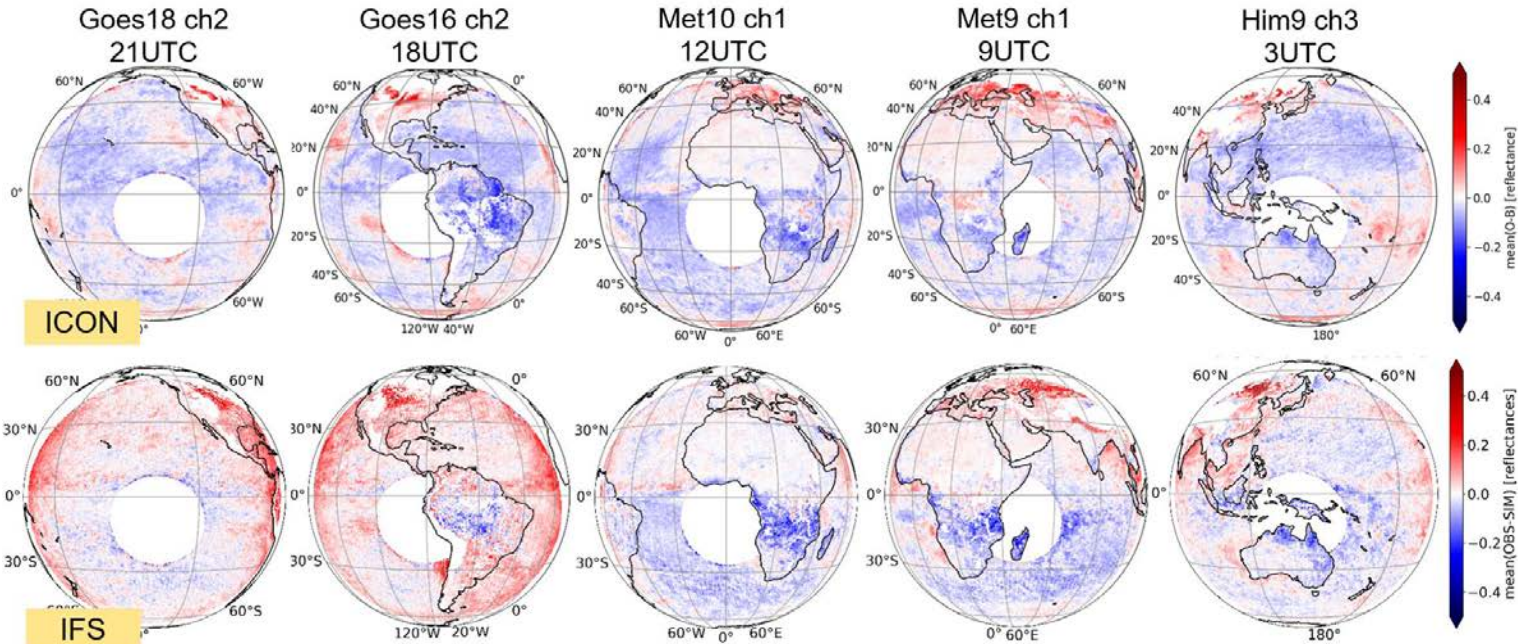


© Leonhard Scheck



MFASIS-NN ersetzt mit einem sehr schnellen neuronalen Netzwerk die zeitaufwändigen Strahlungstransferrechnungen, um die Helligkeit von Pixeln aus Modellvariablen zu bestimmen.

Evaluation des NWV Modell



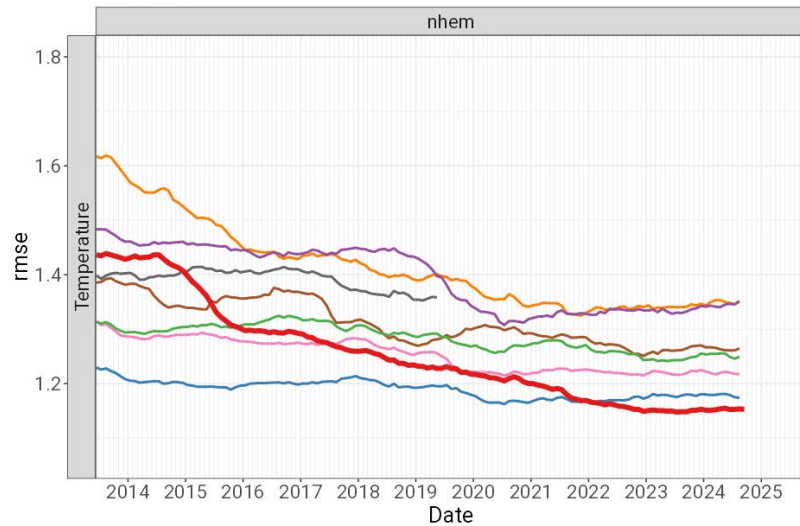
© Christina Stumpf

Eine systematische Evaluation an Beobachtungen deckt Modellierungsfehler und Defizite in der Beobachtungsmodellierung auf.

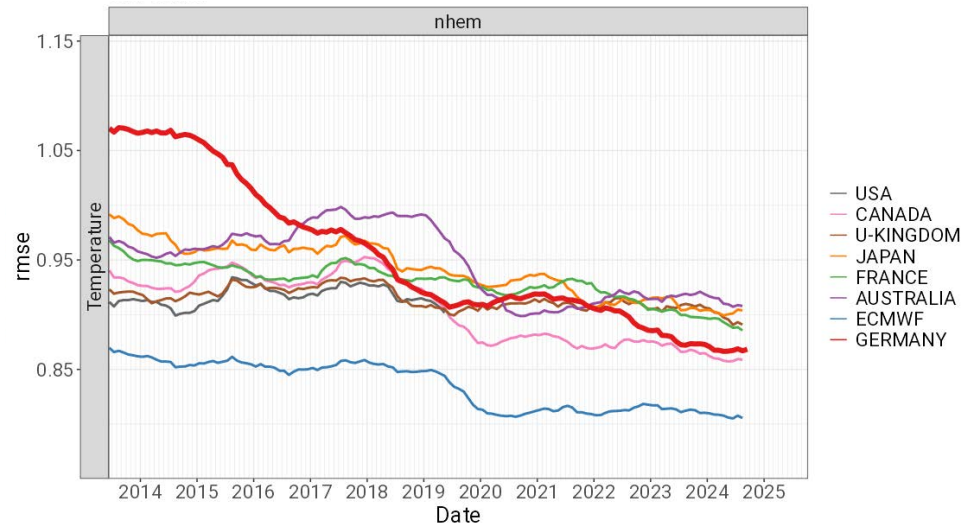


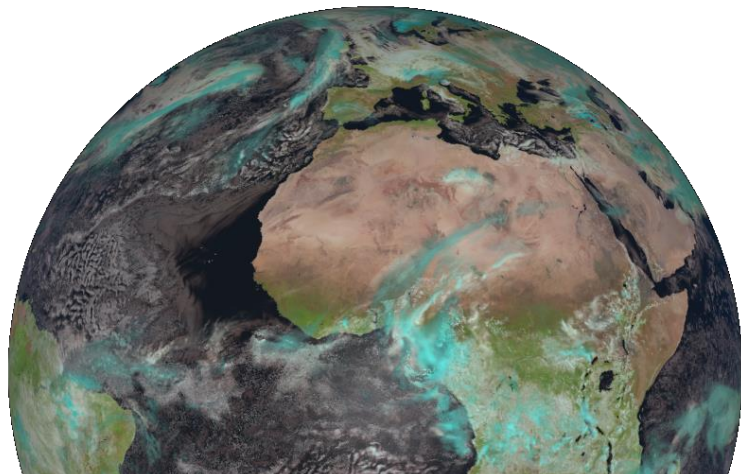
Verifikation der 24h-Vorhersagen gegen Radiosondenmessungen und Vergleich mit anderen Zentren

Höhe: 850 hPa (ca. 1,5 km)



Höhe: 500 hPa (ca. 5,5 km)





Globale Reanalyse **ICON-DREAM**

- Dual-resolution Reanalysis for Emulation, Applications and Monitoring
- 13 km horizontale Auflösung
6.5 km Auflösung über Europa
- 3-stündige Datenassimilation
- 20 Ensemble Member
- stündliche Ausgabe
- derzeit 15 Jahre produziert

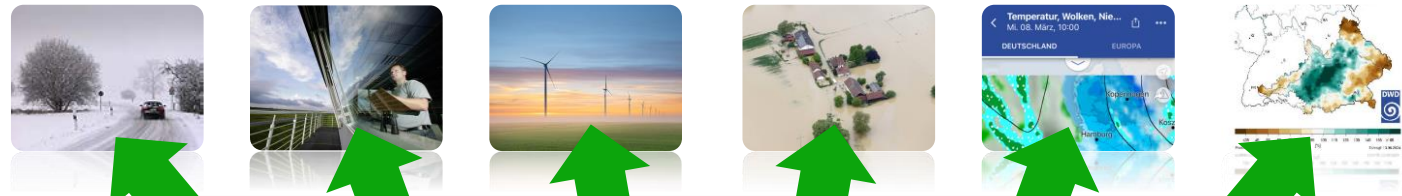
Der DWD erstellt hochwertige und umfangreiche Datensätze,
die die Erdatmosphäre der letzten Jahrzehnte detailliert beschreiben.
Diese Datensätze dienen als Grundlage für das Training von KI-Verfahren.

ICON-DREAM

Beobachtung

KI für Wetter- und Klimaservices

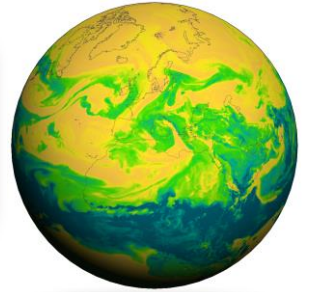
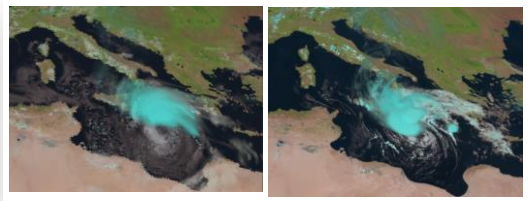
Ebenen der KI Entwicklung



Maßgeschneiderte KI-Services für Kunden
Mehrwert schaffen durch KI

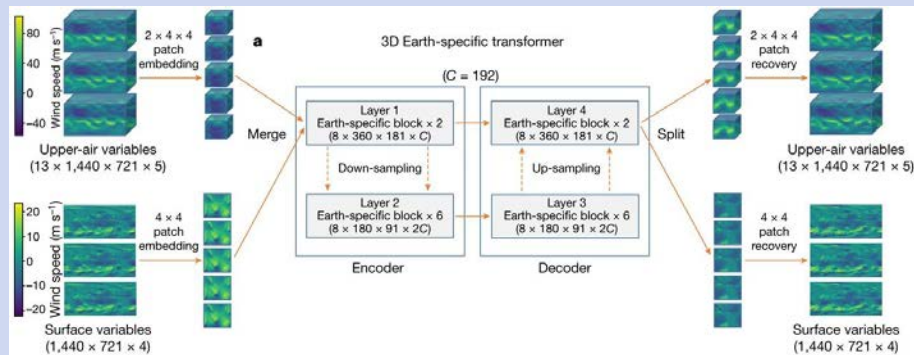
**KI in der
Wettervorhersage**
*Sekundenschnell
von Messungen zu Vorhersagen*

Datenbasis
Modelldaten und Beobachtungen



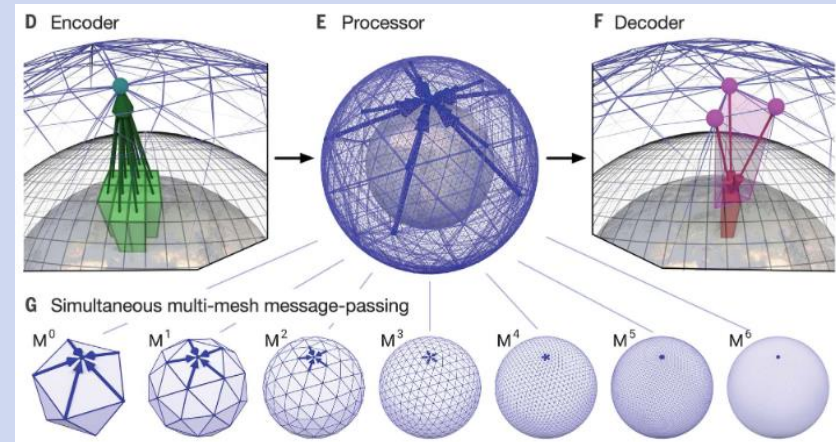
Zwei vorherrschende Architekturen:

Transformer

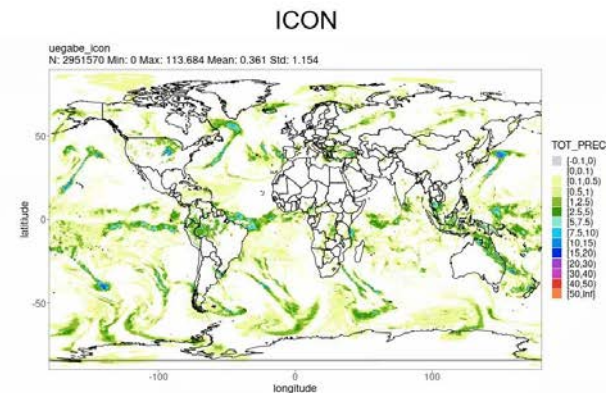
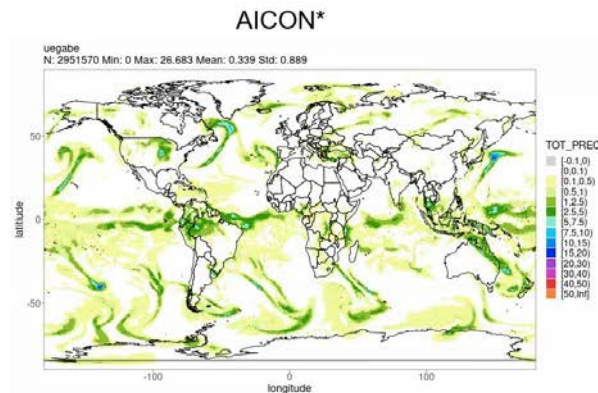
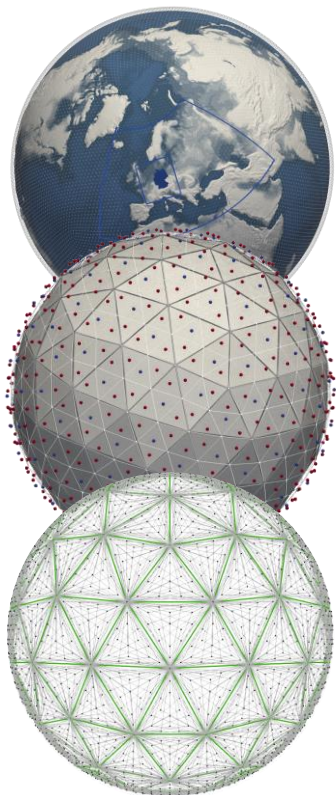


Huawei Pangu (<https://doi.org/10.1038/s41586-023-06185-3>)

Graph Neural Networks



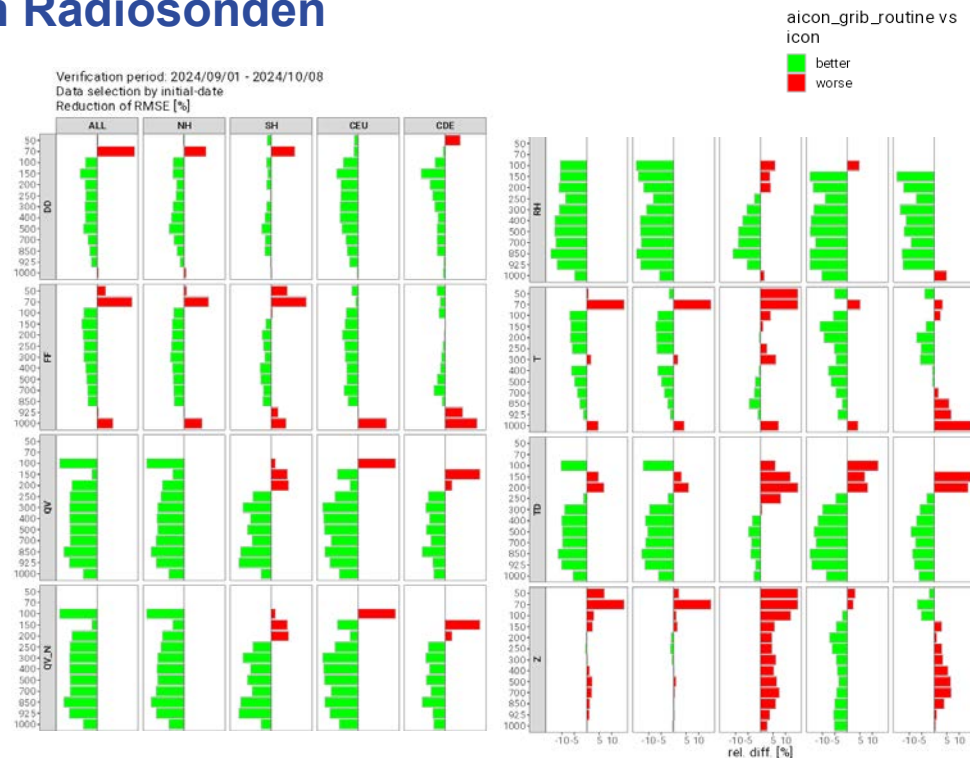
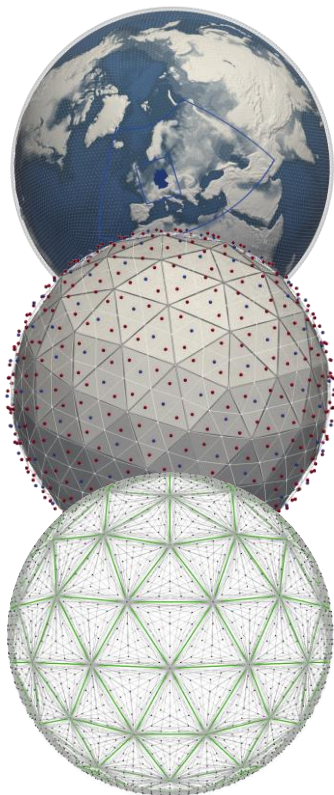
Google GraphCast (<https://doi.org/10.1126/science.adi2336>)



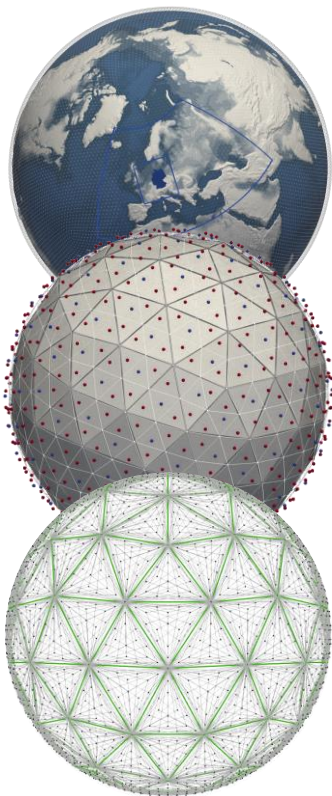
AICON ist der KI-basierte Emulator für das ICON-Modell
trainiert auf ICON-DREAM Reanalysen

- Graph Neural Network (GNN)
- geplant: volle horizontale Auflösung
- Variablen: Temperatur, Wind, Feuchte, Druck auf 13 Modellleveln, Boden- und Oberflächenvariablen, div. Forcings, Gesamtniederschlag (diagnostisch)

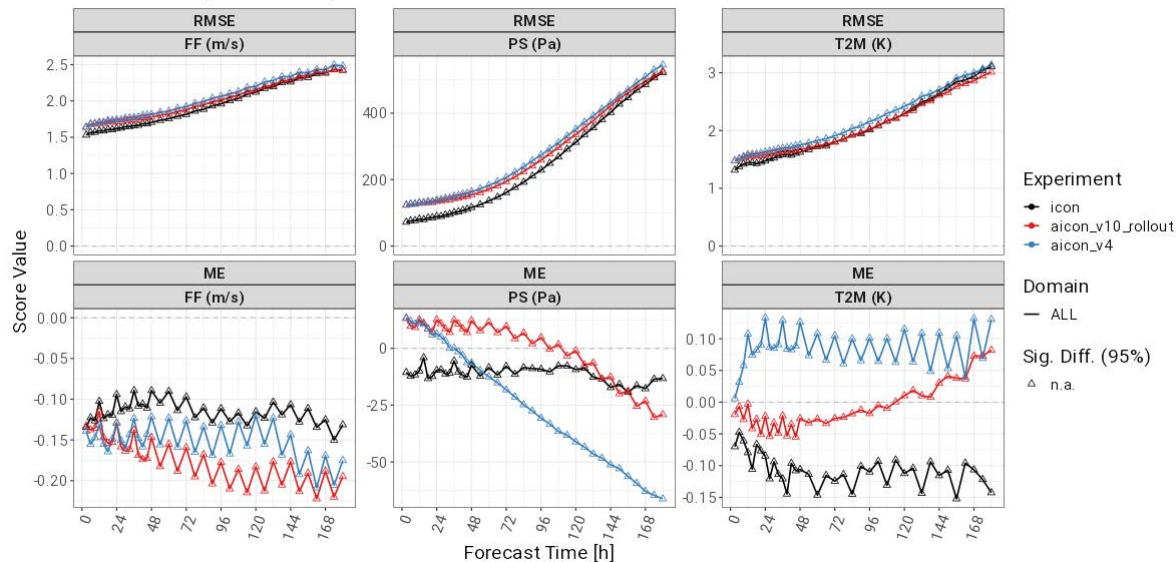
Verifikation gegen Radiosonden



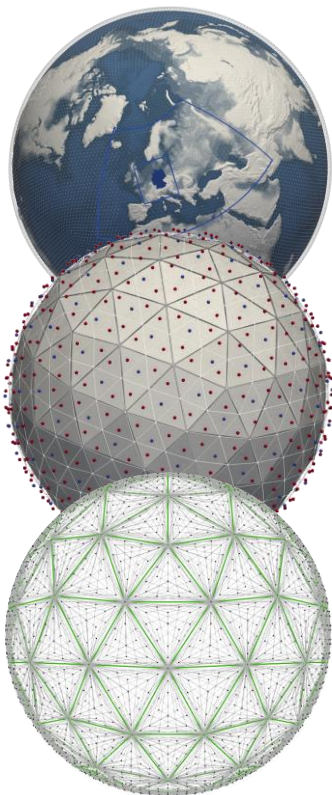
Verifikation gegen Bodenstationen



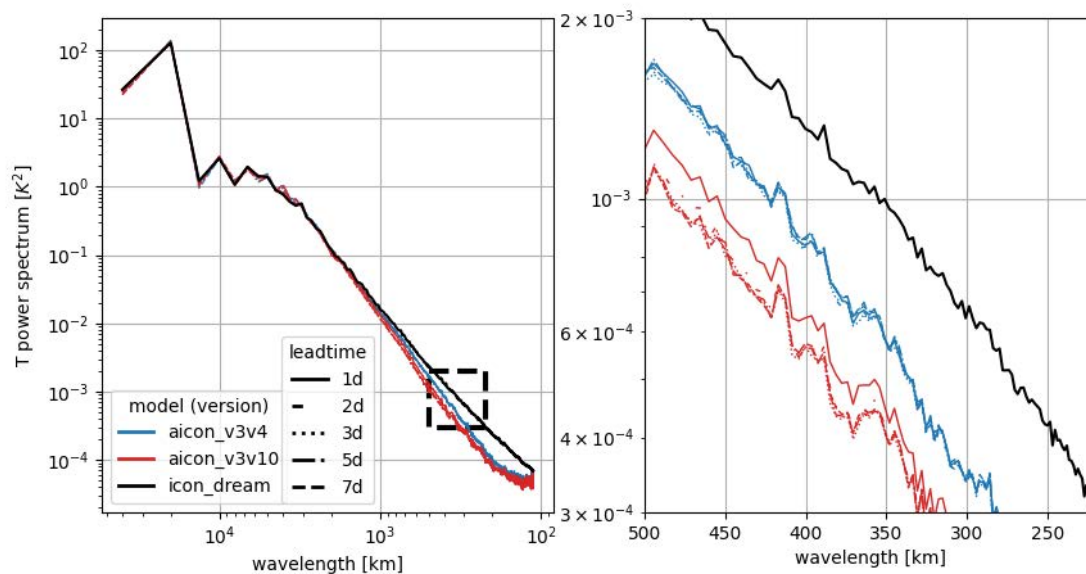
2024/09/01-03UTC - 2024/10/08-00UTC
INI: ALL UTC, DOM: ALL, STAT: ALL



Vergleich von Energiespektren



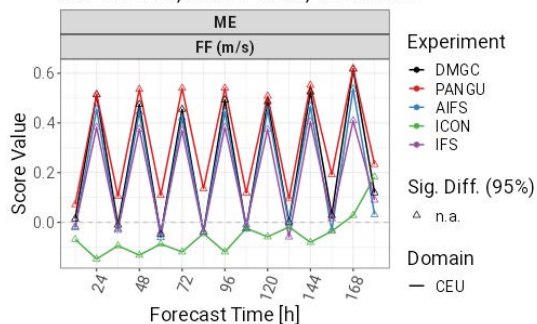
T ml 91 ~500hPa - AICON_R03B05 v3v4 vs. v3v10 - Sep 24



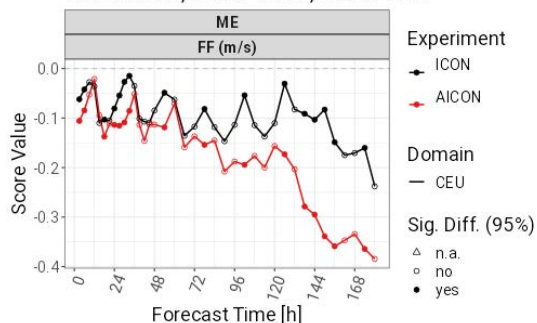
KI für Wetter- und Klimaservices

Wie gut sind KI Wettermodelle?

2025/02/01-00UTC - 2025/02/28-12UTC
INI: 00 UTC, DOM: CEU, STAT: ALL



2024/09/01-03UTC - 2024/10/09-06UTC
INI: 00 UTC, DOM: CEU, STAT: ALL

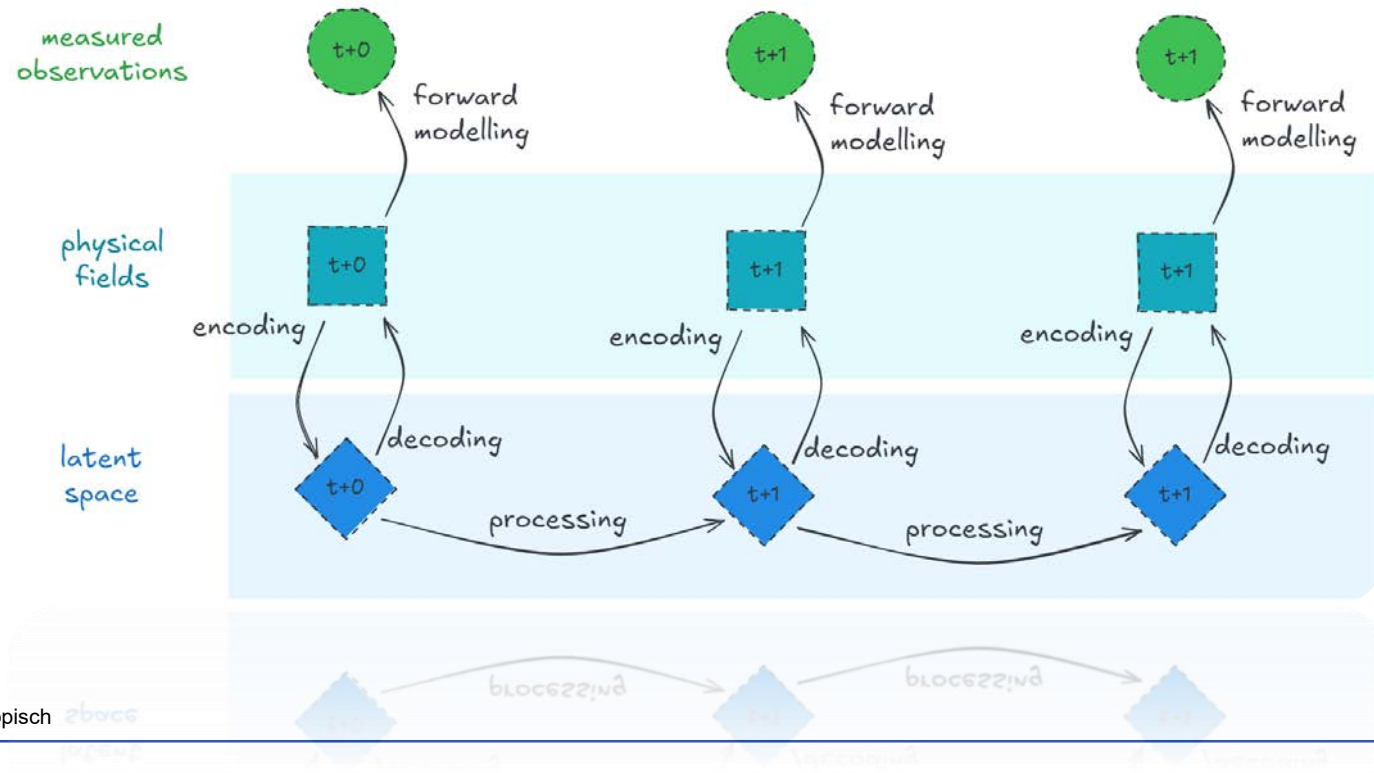


KI-Modelle haben einen systematischen Vorteil vor klassischen Modellen.

Aber: Sie sind nur so gut, wie ihre Trainingsdaten!

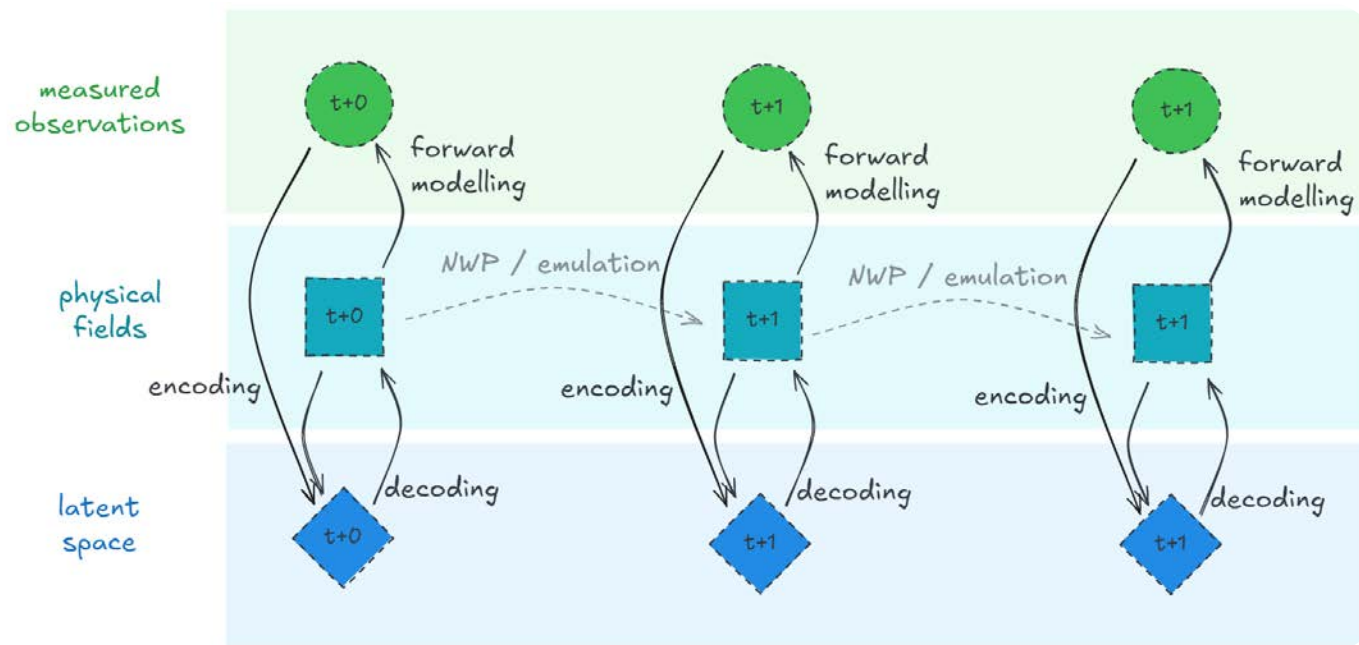
Alle bisher verfügbaren KI Modelle sind auf den Reanalysen des EZMW trainiert und erben typische Fehler des EZMW Modells.

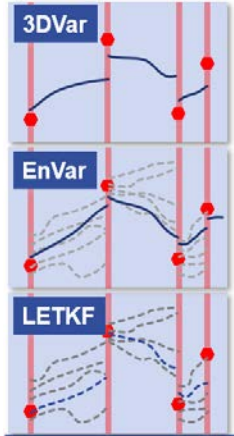




KI für Wetter- und Klimaservices

KI-NWV-Modelle mit Datenassimilation



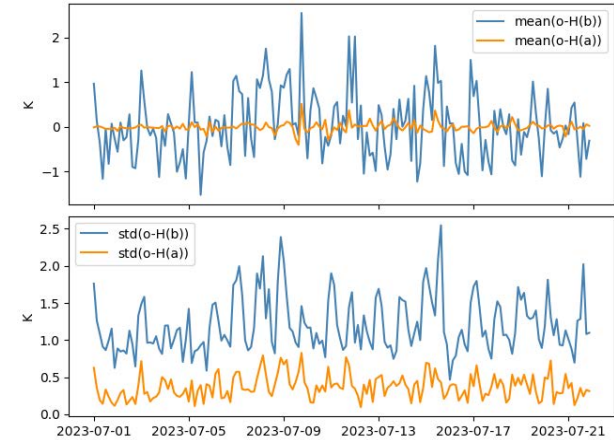
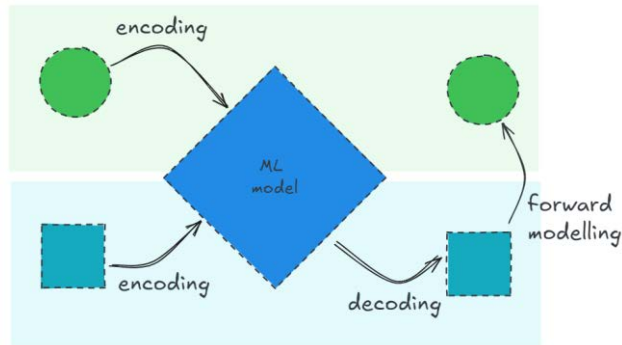


Variationelle Methoden

$$x^a = \arg \min \left(\|x - x^b\|_{state}^2 + \|H(x) - y\|_{obs}^2 \right)$$

measured observations

physical fields



KI-Datenassimilation nutzt die klassische variationelle Kostenfunktion als Loss-Funktion für das KI Training.

KI für Wetter- und Klimaservices

Ebenen der KI Entwicklung



Maßgeschneiderte KI-Services für Kunden

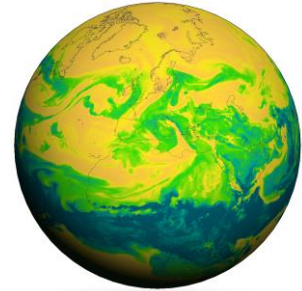
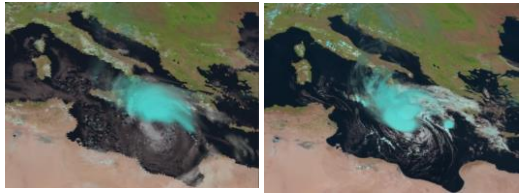
Mehrwert schaffen durch KI

**KI in der
Wettervorhersage**

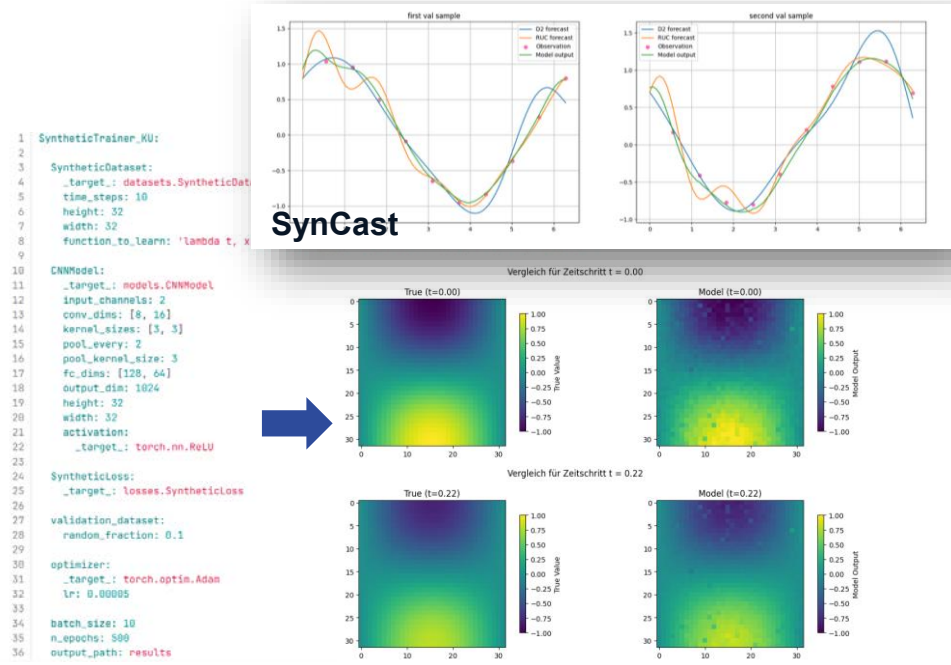
*Sekundenschnell
von Messungen zu Vorhersagen*

Datenbasis

Modelldaten und Beobachtungen



FRAIM: Framework for AI in Meteorology



The screenshot shows the GitHub repository for "DWD KI-Zentrum". It features a search bar, a list of subgroups and projects, and a sidebar with navigation options.

- Subgroups and projects:** A list of items including "AICON Anemol Inference", "AI Fronts", "Kangu", "QPE_FE23", "SynObs_KU1", and "WISKLFE22".
- Infrastructure:** A list of infrastructure-related items including "DaWID_server", "DWD Pytorch Base", "E-AI_Toolbox_Explore", "FRAIM", "FRAIM_v1", and "yac-python".

The DAWID assistant interface displays the name "DAWID" and a response to a user query.

You asked: Hi, wer bist du?

Hallo! Ich bin DAWID, der KI-Assistent des Deutschen Wetterdienstes (DWD). Ich unterstütze Experten in den Bereichen Meteorologie, Klimawissenschaft und Künstliche Intelligenz. Wie kann ich Ihnen helfen?



Sekundenschnell von Messungen zu Vorhersagen

KI in der Wettervorhersage

Stefanie Hollborn

FE12 – Beobachtungsmodellierung und Verifikation

FE1 – Meteorologische Analyse und Modellierung



Agenda

Begrüßung (Dr. Michael Bechtold/Leander Jamin)

DWD Wetter und Klima aus einer Hand (Leander Jamin)

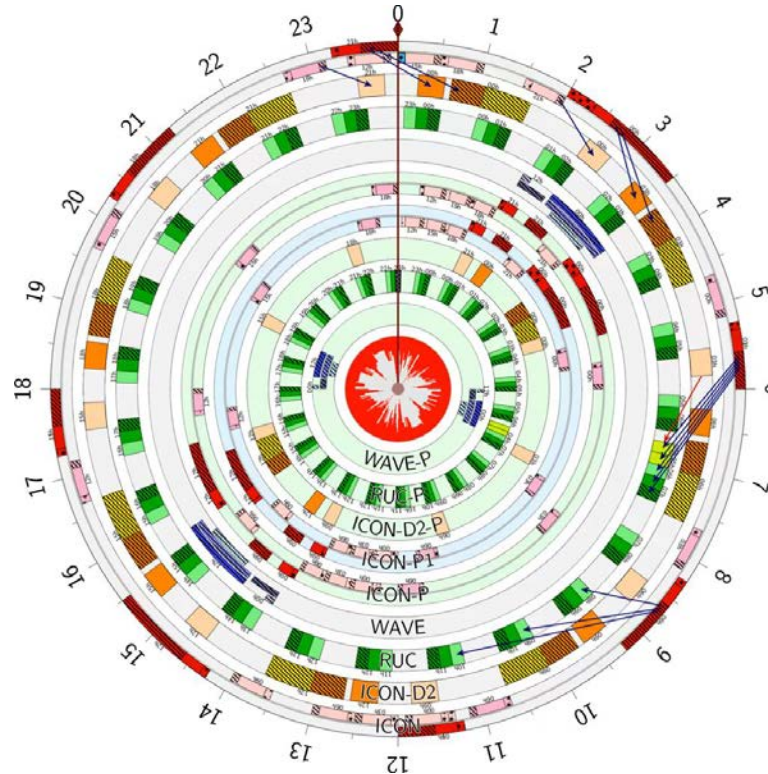
KI-Einsatzgebiete in der Wettervorhersage (Dr. Stefanie Hollborn)

Rechenzentrum im Technologiewandel (Manuel Reiter)

Verabschiedung (Dr. Michael Bechtold)

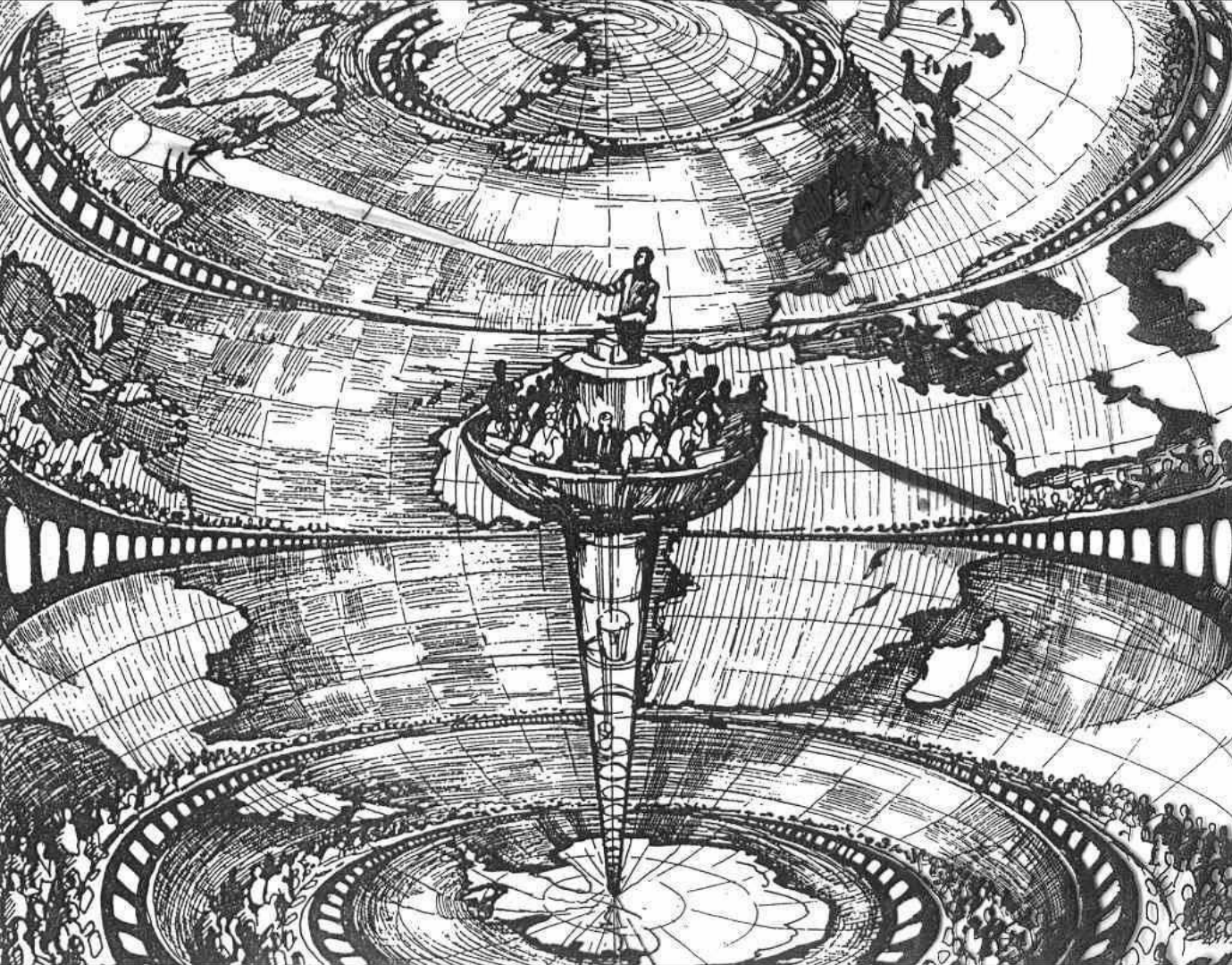


24 Stunden Rechenzentrum



Numerische Wetter- vorhersage (NWV)

Lewis Fry Richardson
1916 / 1922









Hochleistungrechnen seit 1966

1 PetaFLOP/s

1 TeraFLOP/s

1 GigaFLOP/s

1 MegaFLOP/s

CDC-3800

Cyber 76

Cray YMP

Cray T3E

IBM
pSeries

NEC
SX-9

Cray
XC40

NEC
SX-
Aurora

1966

1971

1976

1981

1986

1991

1996

2001

2006

2011

2016

2021


2026



NEC SX-9 (2008-2013)

- Vektor-CPU
 - 102,4 GFLOPS peak / CPU
 - Speicherbandbreite 256 GB/s
- Luftgekühltes System
- Endausbau:
 - 30 Knoten
 - 480 CPUs
 - ~15 TB RAM





Februar 2011

Cray XC30 / XC40 (2013-2019)

- X86-CPU (Xeon E5-2695v4)
 - 2,1 GHz
 - 18 Kerne
- Kaltwasserkühlung ($< 10^{\circ}\text{C}$)
- Endausbau:
 - ~1.300 Knoten
 - > 40.000 Kerne
 - 1,46 PFLOPS
 - 162 TB RAM



NEC SX-Aurora TSUBASA (2019-heute)

- Erneut Vektor-CPU
 - ~3000 GFLOPS peak / CPU
 - Speicherbandbreite ~1500 GB/s
- Warmwasserkühlung
 - Bis zu 35°C Vorlauf
 - Freie Kühlung ~350 Tage/Jahr
 - Anschluss an Gebäudeheizung
- Endausbau:
 - 645 Knoten, 720 TB RAM

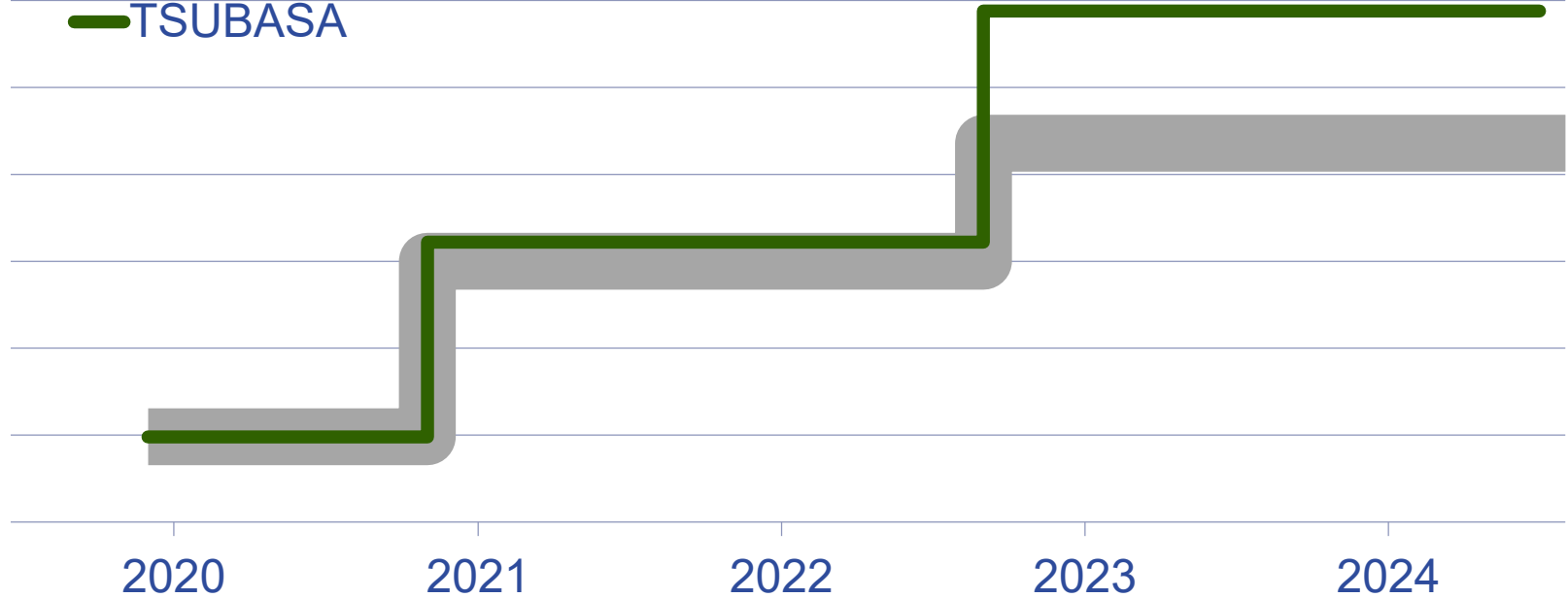


2019: Warum SX-Aurora TSUBASA?

Rechenleistung innerhalb Budget und verfügbarer Energie

■ range of x86-based offers

■ TSUBASA

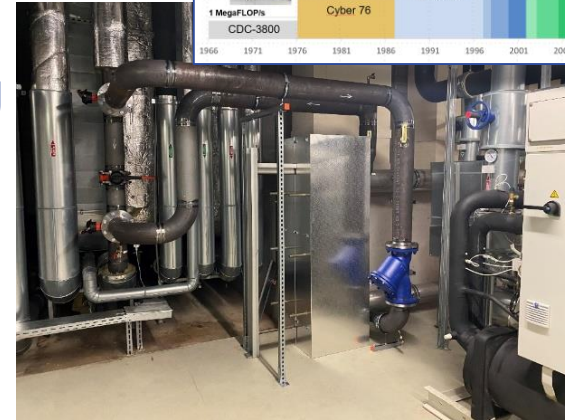
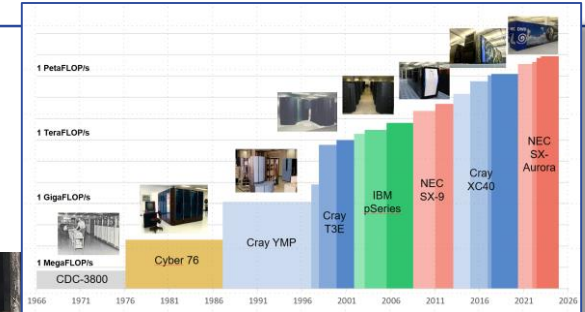


Wasserkühlung: Blick in den Doppelboden



2024/25 Ausbau HPC plus 50%

- Erweiterung des **HPC** in Offenbach und Ludwigshafen um ca. 50% (**Phase 3**)
- **16,6 PFlop/s** für die Klima und Forschung
12,8 PFlop/s für die Wettervorhersage



Durch Wärmerückgewinnung wurde in 2024 eine Einsparung von 764 MWh erreicht (entspricht ca. 114.600 €).



2024/2025: Markterkundung für nächsten HPC

- Schwieriger Markt, Preise stark gestiegen (KI-Hype)
- Indikative Angebote zum Ersatz des aktuellen Systems (gleiche Leistung:
 - CPU- und GPU-basierte Angebote (und Vektor)
 - GPU: Verschiedene Optimierungsstufen (CUDA)
 - Kein Angebot innerhalb Budget (selbst **ohne Leistungssteigerung**)
 - Nur aggressiv optimierte GPU-Lösungen bieten vergleichbare Energieeffizienz wie SX-Aurora

Ende von Moore's Law (mal wieder)?

Agenda

Begrüßung (Dr. Michael Bechtold/Leander Jamin)

DWD Wetter und Klima aus einer Hand (Leander Jamin)

KI-Einsatzgebiete in der Wettervorhersage (Dr. Stefanie Hollborn)

Rechenzentrum im Technologiewandel (Manuel Reiter)

Verabschiedung (Dr. Michael Bechtold)



Ihre Ansprechperson

Herr Eidmann

Referat **Personalplanung und Recruiting**

Frankfurter Straße 135

63067 Offenbach

E-Mail: Daniel.Eidmann@dwd.de

Tel.: +49 (0) 69 / 8062 – 4255

Herr Jamin

Vorstand /GBL Personal und Betriebswirtschaft

Frankfurter Straße 135

63067 Offenbach

E-Mail: Leander.Jamin@dwd.de



Wir sehen uns!

- Besuchen Sie uns auf www.dwd.de
- DWD-Warnwetter App über www.dwd.de/app
- Aktuelle Wetterinformationen auf www.dwd.de/wetter
- Klimainformationen unter www.dwd.de/klima
- Kostenloser Newsletter für Ihre Region auf www.dwd.de/newsletter
- Der DWD in Social Networks



- Der DWD, ein attraktiver Arbeitgeber





Foto: H.R. Henkes/DWD

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

