

*Beginn der Sitzung: 7. Juni 2024 um 10:00 Uhr*

## **Teilnehmende**

Prof. Dr. Arne Biastoch, GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel  
Dr. Frauke Feser, Helmholtz-Zentrum Hereon (Vorsitz)  
Dr. Bernadette Fritzscht, AWI Bremerhaven (Vorsitzende des DKRZ-Usergroup-Komitees)  
Dr. Helge Goessling, AWI Bremerhaven  
Dr. Patrick Jöckel, Deutsches Zentrum für Luft und Raumfahrt  
Dr. Constanze Leemhuis, DLR-PT (BMBF)  
Dr. Patrick Ludwig, Institut für Meteorologie und Klimaforschung, Karlsruher Institut für Technologie  
Prof. Dr. Thomas Ludwig, DKRZ  
Dr. Armin Mathes, DLR PT (BMBF)  
Prof. Dr. Juan Pedro Mellado González, Meteorologisches Institut, Universität Hamburg  
Prof. Dr. Johannes Quaas, Institut für Meteorologie, Universität Leipzig  
Dr. Mathis Rosenhauer, DKRZ (Protokoll)  
Hannes Thiemann, DKRZ  
Prof. Dr. Uwe Ulbrich, Institut für Meteorologie, Freie Universität Berlin  
Dr. Sebastian Wagner, Helmholtz-Zentrum Hereon  
Prof. Dr. Sönke Zaehle, MPI für Biogeochemie

## **1. Annahme der Tagesordnung**

Die Tagesordnung wird angenommen.

## **2. Organisatorisches**

### **a) Annahme des Protokolls der 46. Sitzung**

Das Protokoll wird angenommen.

### **b) Ort und Termin der nächsten Sitzung**

Die nächste Sitzung wird am 26.11.2024 in Hamburg stattfinden.

## **3. Bericht DKRZ**

### **a) Nutzung HLRE-4 (M. Rosenhauer)**

Die Auslastung des Systems hat sich in den vergangenen Quartalen kontinuierlich gesteigert. Für das Jahr 2024 wurde bisher eine durchschnittliche Auslastung von 83% erreicht. Gleichzeitig sind weniger

als 2% des Systems nicht verfügbar. Trotzdem bleibt die Ersatzteilversorgung angespannt. Insbesondere ausgefallene GPUs sind schwer zu ersetzen.

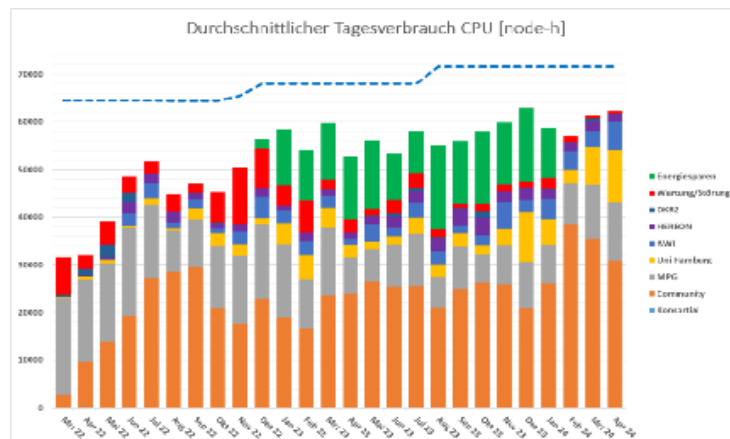


Abbildung 1: Durchschnittliche Auslastung der CPU-Rechenknoten von Levante

Community-Projekte, sowie AWI und HEREON konnten den Rechner etwas über ihrem Anteil an CPU-Knoten nutzen. MPG und Uni-Hamburg blieben hinter ihrem nominellen Anteil zurück.

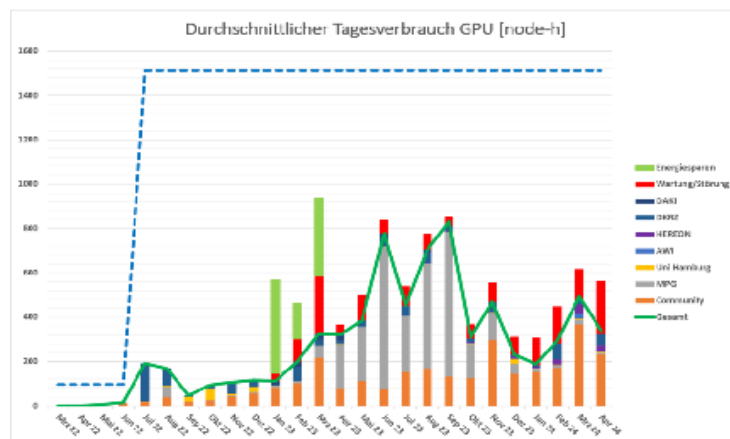


Abbildung 2: Durchschnittliche Auslastung der GPU-Knoten von Levante

Die Auslastung der GPU-Knoten blieb auch in den vergangenen zwei Quartalen gering. Längere große Läufe mit ICON sind in den letzten Quartalen ausgeblieben.

Der „fair share“-Mechanismus des Batch-Systems wurde für die GPU-Partition aktiviert. Aufgrund der geringen Auslastung hat er jedoch keine großen Auswirkungen. Weiterhin haben alle Projekte unabhängig von ihrer zugeteilten Rechenzeit die Möglichkeit die GPU-Partition zu nutzen.

In Q4 2024 werden Umbauten am System vorgenommen, um Instabilitäten in der Infiniband-Kommunikation zu beheben. Die bisher erforderliche provisorische Lösung des Problems kann dann aufgehoben werden.

## Overview

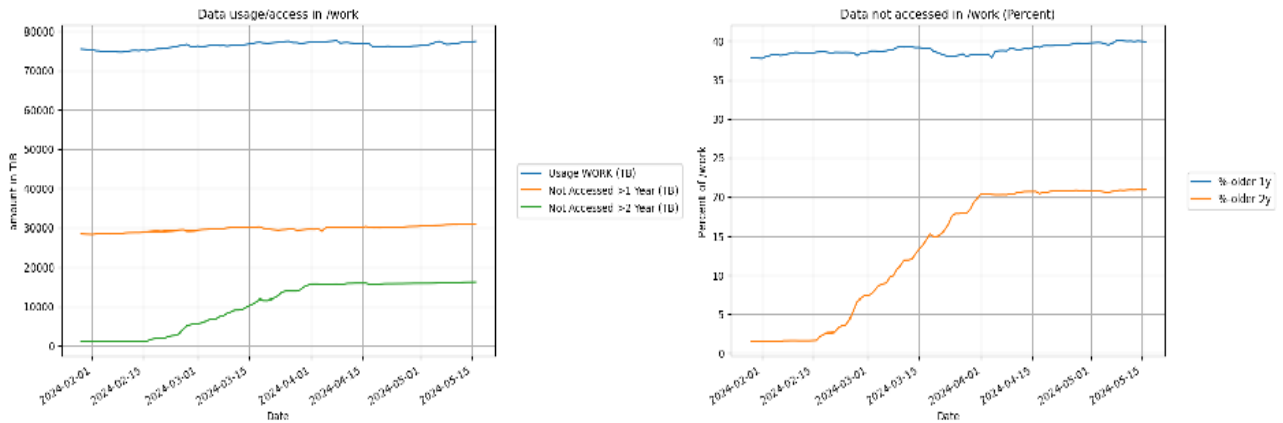


Abbildung 3: Daten auf /work, auf die länger als ein bzw. zwei Jahre nicht zugegriffen wurde

Die Nutzung des Disk-Systems zeigt weiterhin einen leichten Zuwachs. Für einen Zeitraum von Februar 2024 bis Mitte Mai 2024 hat das DKRZ die letzte Zugriffszeit auf die Dateien im /work-Bereich ausgewertet. Dabei hat sich gezeigt, dass auf etwa 20% der Daten seit über zwei Jahren nicht mehr zugegriffen wurde.

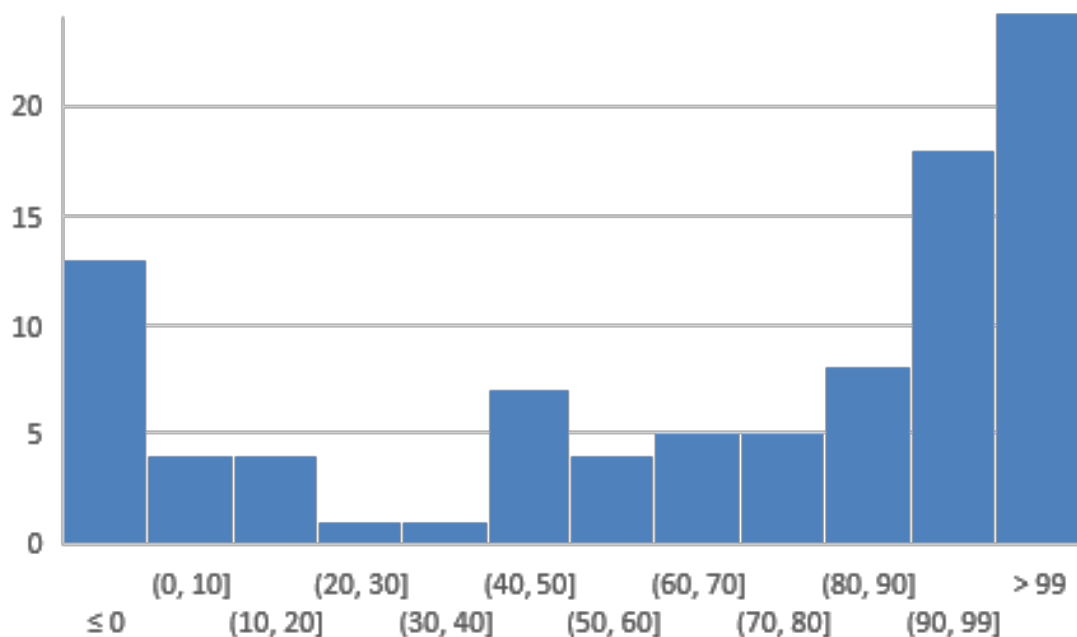


Abbildung 4: Bewilligter aber nicht genutzter Speicherplatz auf Bändern [%]

Trotz Verbesserungen bei der Stabilität des Bandarchivs bleibt die tatsächliche Nutzung noch weit hinter dem beantragten und bewilligten Speicherplatz zurück. Bei einem großen Anteil der Projekte blieb im letzten Jahr mehr als 80% des bewilligten Speichers ungenutzt, da die Nutzer offenbar immer noch nicht mit der Servicequalität des HSM zufrieden sind und die Daten lieber auf Platte lassen. Da zur Zeit hinsichtlich des Plattenplatzes kein Engpass besteht, sollte geprüft werden, ob und inwieweit den Nutzern der Zugriff auf archivierte Daten erleichtert werden kann, indem Band-Dateien nach Möglichkeit für eine Periode in Kopie auf Platte vorgehalten werden.

## **b) Perspektiven (T. Ludwig)**

Im Rahmen der Vorbereitung für die Beschaffung von HLRE-5 werden im Juni und Juli 2024 einige nationale und internationale Hersteller von HPC-Systemen besucht. Die Rundreise wird auch genutzt, um sich mit anderen Rechenzentren auszutauschen und deren Rechnerinstallationen zu besichtigen. Im Anschluss wird ein Kurzbericht für die Gesellschafter des DKRZ erstellt.

Die Gestaltung der Ausschreibung wird im Vorfeld mit den diversen Nutzergruppen weiter diskutiert. Dabei geht es in erster Linie um die Aufteilung CPU/GPU. Weitere Themen werden das Speichersystem und die elektrische Leistungsaufnahme sein.

Es wird geprüft, inwieweit die Neubeschaffung des Bandarchivs vorgezogen werden kann.

Der WLA wird in den kommenden Wochen ein Strategiepapier entwerfen, welches die Positionierung des DKRZ und seines Angebots an die Klima-Community genauer definiert. Die Weiterentwicklung des Systems sollte nach Meinung des WLA berücksichtigen, dass größere Modellrechnungen teilweise auf Systemen im In- und Ausland durchgeführt werden, deren Rechenkapazitäten die des DKRZ deutlich überschreiten. Die besondere Positionierung des DKRZ mit der Verbindung von Datenzugriff und Rechenkapazität sollte dabei als Zukunftsperspektive besonders deutlich gemacht werden.

## **4. Vorstellung ESCIMo-Projekt 853 (P. Jöckel)**

Die Vortragsfolien befinden sich im Anhang.

In der Diskussion wurde insbesondere die Ressourcennutzung des Projekts im vergangenen Jahr thematisiert.

Von der bewilligten Rechenzeit wurde nur ein kleiner Teil genutzt, da kein zusätzlicher Plattenplatz bewilligt wurde und folglich keine neuen Simulationen möglich waren. Die alten Daten konnten noch nicht gelöscht werden, da sie noch nicht archiviert wurden. Es wird angestrebt in den nächsten Wochen 150 – 200 TiB an Bestandsdaten zu archivieren.

Die weitere Laufzeit des Projekts ist schwierig abzuschätzen. Eine Herausforderung besteht darin, dass Protokolle, die neue Szenarien fordern, oft nicht zu dem Zeitpunkt kommen, an dem auch ein Projektantrag beim DKRZ gestellt werden kann. Die Arbeiten im Projekt werden aus der Grundfinanzierung des DLR gefördert. Ein reines Datenprojekt könnte die Aktivitäten nicht abdecken, da weiterhin Simulationen gemacht werden sollen.

## **5. Bericht aus der DKRZ-User-Group (B. Fritsch)**

Die User-Group begrüßt, dass die Ursache für die „Endpoint timeout failure“ gefunden wurde und sind auf die Lösung gespannt. Die User-Group bittet, dass Änderungen in den Rahmenbedingungen zu Konsortialprojekten, insbesondere zu maximalen Laufzeiten, besser kommuniziert werden.

## 6. Community-Simulationen

Das Ziel von Community-Simulationen wäre die Mehrfachnutzung der Simulationsergebnisse wie z.B. von Einschwingsimulationen zu fördern. Für diese Klasse von Simulationen könnte eine Priorisierung der Rechenaufträge angeboten werden, falls eine sofortige öffentliche Nutzung der Ergebnisse möglich wäre. Der WLA würde diese Möglichkeit proaktiv identifizierten Antragstellern anbieten. Eine Beantragung durch die Projekte selbst könnte auch ermöglicht werden.

## 7. Sonstiges

Uwe Ulbrich scheidet aus dem WLA aus. Frauke Feser als Vorsitzende des WLA dankt ihm für seine langjährige Tätigkeit im WLA.

Die Amtszeit der Vorsitzenden des WLA endet zur nächsten Sitzung. Als neuer Vorsitzender wurde Johannes Quaas gewählt, stellvertretender Vorsitzender wird Sönke Zaehle.

## 8. Rechenzeitanträge (intern)

Im nichtöffentlichen Teil der Sitzung wurde unter anderem über die Rechenzeitanträge für Community- und Konsortial-Projekte beraten.

Es wurden Ressourcen für Neu- und Folgeprojekte über den Zeitraum vom 01.07.2024 bis 30.06.2025, sowie zusätzliche Ressourcen über den Zeitraum vom 01.07.2024 bis 31.12.2024 bewilligt. Im einzelnen sind dies:

|                          | Beantragt | Bewilligt |
|--------------------------|-----------|-----------|
| Levante CPU [Node hours] | 7.114.793 | 4.148.542 |
| Levante GPU [Node hours] | 105.001   | 105.001   |
| Levante storage [TiB]    | 15.485    | 14.126    |
| Archive project [TiB]    | 23.946    | 13.293    |
| Archive long term [TiB]  | 5.251     | 2.901     |

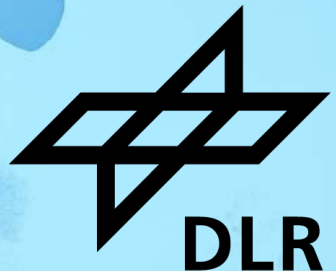
*Ende der Sitzung: 16:00*

# Project 853 ESCiMo

(Earth System Chemistry integrated Modelling)

Patrick Jöckel (DLR)

DKRZ-WLA Sitzung, 07.06.2024



# Goals

# National (German) contribution to the IGAC/SPARCAPARC Chemistry-Climate Model Initiative (CCMI)



- WMO/UNEP ozone assessment (mostly stratospheric)
- IPCC climate assessment
- TOAR (tropospheric ozone assessment report)

reference and sensitivity simulations  
(hindcast ~1960 — today & projections ~2100) for

- model inter-comparison
- model evaluation (with observations)
- further model development and benchmarking
- providing reference/boundary data for (regional) air-quality assessments

<https://igacproject.org/activities/CCMI>  
<https://blogs.reading.ac.uk/ccmi/>

# Scientific goals



- **improve our understanding of chemistry – climate feedback**
- **stratospheric ozone depletion** (e.g. role of VSLs, solar activity, ...)
- reduce uncertainties in **stratospheric ozone recovery** projections (e.g., tropical versus NH/SH polar ozone)
- understand the processes determining **stratospheric water vapour**
- assess dynamical and chemical **coupling between stratosphere and troposphere** (ozone fluxes, Brewer-Dobson-Circulation, actinic fluxes, ...)
- understand **trends in methane lifetime**
- assess impact of climate change on **air quality** (and vice versa)
- **ozone-smog**
- **tropospheric aerosol**
- prepare **adaptive responses** to atmospheric composition change and assess potential **mitigation** strategies

**IGAC/SPARC Chemistry-Climate Model Initiative**



futureearth



**SPARC**  
Stratosphere-troposphere  
Processes and their Role in Climate



# Role of 853 for the MESSy Consortium



- <https://messy-interface.org>
- 28 institutional members that signed the MoU
- ~ 250 registered users
- DKRZ project 853 (ESCiMo) is the **central/fundamental project** providing
  - an **“internationally benchmarked”** EMAC version for all other related projects
    - achieved by providing the **German national contribution** to the **CCMI** (Chemistry-Climate Model Initiative)
  - for the MESSy users
    - access to input data (/pool: /work/pd1279/)
    - access to GitLab for further model development
  - currently with EMAC (ECHAM/MESSy), transition to ICON/MESSy is w.i.p.

```

segment_loop DO i=1, nseg
    repr%pdecomp%start(i,jr) = start(i,repr%order_mem2out(jr))
    repr%pdecomp%cnt(i,jr)   = cnt(i,repr%order_mem2out(jr))
    cs1 = cs1 + repr%pdecomp%cnt(i,jr)
    repr%pdecomp%ml(i,jr)    = ml(i,repr%order_mem2out(jr))
    repr%pdecomp%mu(i,jr)    = mu(i,repr%order_mem2out(jr))
    IF (repr%pdecomp%cnt(i,jr) /= 0) &
        cs2 = cs2 + ( repr%pdecomp%mu(i,jr) - repr%pdecomp%ml(i,jr) + 1)
END DO segment_loop
IF (cs1 /= cs2) THEN
    WRITE(*,*) 'ERROR: (REPRESENTATION ', TRIM(repr%name) &
        ', RANK ', jr, '): ', cs1, ' /= ', cs2
    status = 2024 ! REPRESENTATION SEGMENTATION MISMATCH
    RETURN
END IF
END DO rank_loop

```

# Setup

```

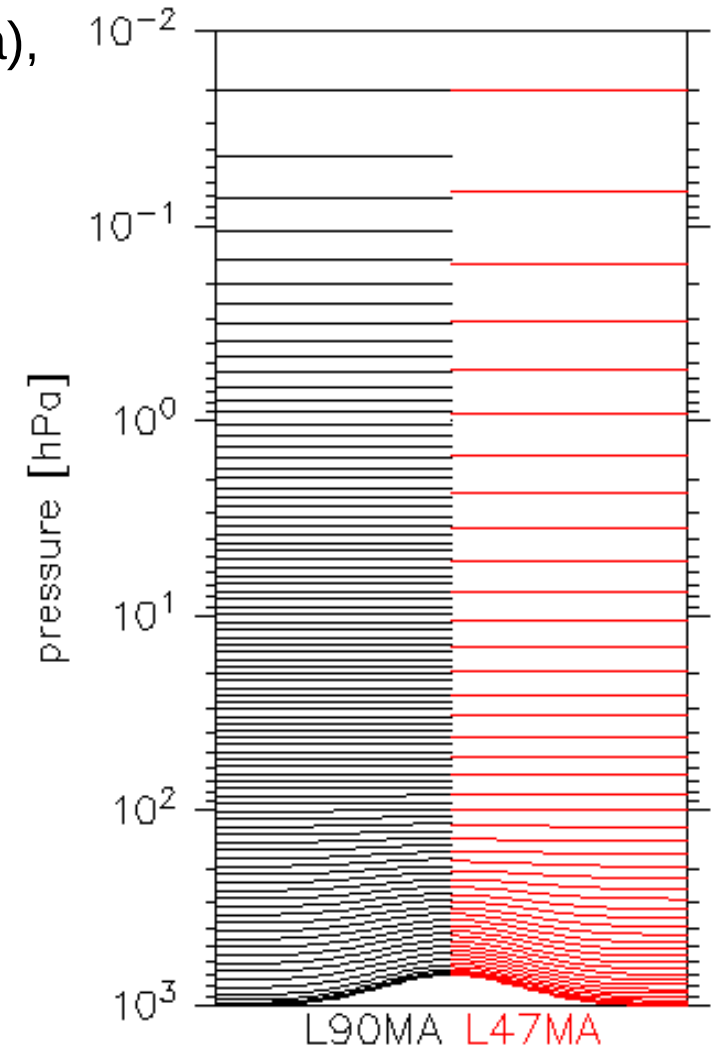
! CHECK MEMORY SIZE
IF (zlchk) THEN
    cs3 = 0
    !
    DO i=1, nseg
        cs3 = cs3 + PRODUCT(repr%ldimlen)
    END DO

```

# EMAC Setup



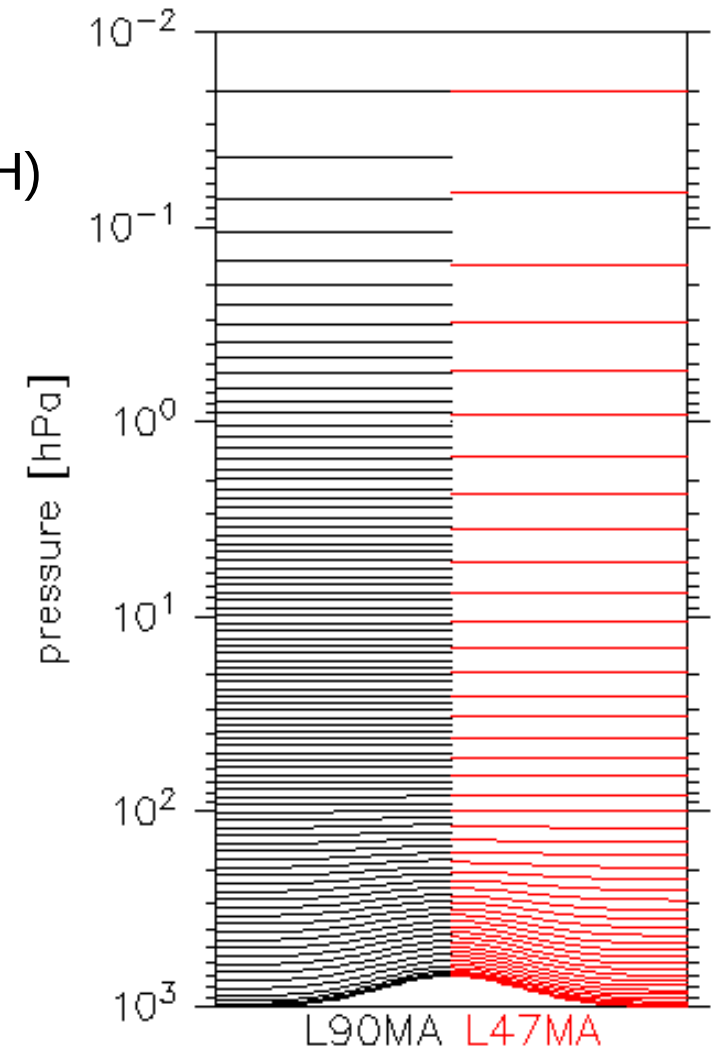
- T42L90MA T42L47MA (~ 2.8° x 2.8°, 90 / 47 levels up to 0.01 hPa), 12 min time step length
- 1950 ... 1960 ... 1979 ... 2011 ... 2099
- SD: nudging (up to 10 or 100 hPa) towards ECMWF operational analysis or ERA (interim, 5) data
- stratospheric and tropospheric chemistry (including NMHC chemistry: C4 + Isoprene)
- 160 species in 359 reactions (gas phase & PSC)
- 90 species in 140 reactions (aqueous phase)
- 50 diagnostic species
- Newtonian relaxation at lowest layer:
  - GHG: N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>,
  - CFC: CFCl<sub>3</sub>, CF<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>, CH<sub>3</sub>CCl<sub>3</sub>, CCl<sub>4</sub>
  - HCFC: CH<sub>3</sub>Cl, CH<sub>3</sub>Br, ...
  - Halons: CF<sub>2</sub>ClBr, CF<sub>3</sub>Br, ...
  - special: SF<sub>6</sub>, H<sub>2</sub>



# EMAC Setup



- VSLS emissions:  $\text{CHCl}_2\text{Br}$ ,  $\text{CHClBr}_2$ ,  $\text{CH}_2\text{ClBr}$ ,  $\text{CH}_2\text{Br}_2$ ,  $\text{CHBr}_3$
- Br release from sea-salt (on-line)
- on-line air-sea gas exchange of isoprene, DMS, methanol ( $\text{CH}_3\text{OH}$ )
- (background) volcanic  $\text{SO}_2$  → eruptive volc. with EVER
- terrestrial DMS
- $\text{NH}_3$
- biogenic emissions (GEIA) → on-line with MEGAN
- on-line calculation of NO from soil and lightning
- on-line calculation of isoprene from plants → on-line with MEGAN
- biomass burning emissions from GFED (v3.1), GFAS, ...
- tropospheric background aerosol prescribed
- stratospheric ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) background aerosol prescribed



- Reference → **Ref**, Sensitivity → **Sen**
- Phase:
  - **A**: CCMVal-1
  - **B**: CCMVal-2
  - **C**: CCMI
  - **D**: CCMI-2 (2022)
- Mode of operation: **SD** → specified dynamics
- Setups: base, scenario, fODS, fSST, **oce**, ...
- Experiment/ensemble member number: 1,2,3,...

**RD1SD-base-01, RD1-base-02, SD1-fODS-01, ...**

# Time series

## WMO/UNEP Scientific Assessments of Ozone Depletion Tropospheric Ozone Assessment Report(s)



2013 – 2014 – 2015 – 2016 – 2017 – 2018 – 2019 – 2020 – 2021 – 2022 – 2023 – 2024

CCMI (RC-...)

| <u>2013</u>   | <u>2014-2015</u> |
|---------------|------------------|
| RC1-base-01   | RC1-base-07      |
| RC1-aero-03   | RC1-base-07a     |
| RC2-base-01   | RC1-base-08      |
| RC1SD-base-01 | RC1-base-08a     |
|               | RC1-aero-06      |
|               | RC1-aero-07      |
|               | RC1-aecl-01      |
|               | RC1-aecl-02      |
|               | RC1SD-base-07    |
|               | RC1SD-base-08    |
|               | RC1SD-base-09    |
|               | RC1SD-base-10    |
|               | RC1SD-base-10a   |
|               | RC2-base-04      |
|               | RC2-base-05      |
|               | RC2-oce-01       |

# DKRZ Im Fokus

([https://www.dkrz.de/en/projects-and-partners/projects/focus/escimo?set\\_language=en](https://www.dkrz.de/en/projects-and-partners/projects/focus/escimo?set_language=en))



SEARCH SITE



CONTACT

DOCS

DE

EN

ABOUT US

SYSTEMS

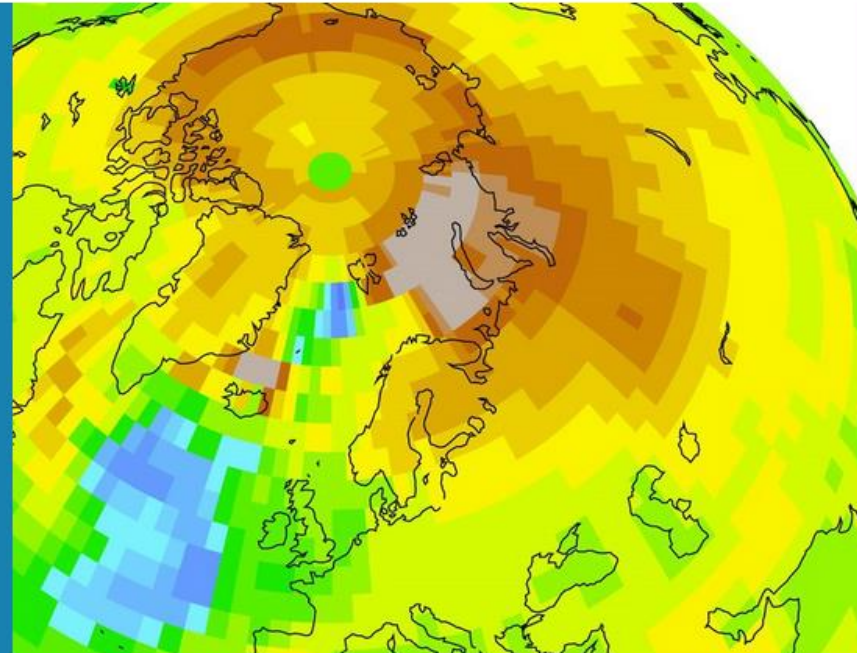
SERVICES

PROJECTS & PARTNERS

COMMUNICATION

## Two petabytes of data for climate research: The consortia project ESCiMo

A profound understanding of the processes contributing to climate change is an important precondition for developing sustainable future strategies. The successfully completed comprehensive global climate simulations with the Chemistry-Climate model EMAC (ECHAM/MESSy Atmospheric Chemistry; Jöckel et al., 2016) provide an important contribution to this understanding. For the period from 1950 until 2100, both the historical evolution of the atmosphere including its chemical processes as well as scenarios of future developments of the global climate were simulated on the supercomputer of the German Climate Computing Center (DKRZ). The climate data resulting from the model simulations comprise more than two petabytes and will soon be made available to the scientific community.



- Jöckel et al. (2016)
- L90MA vs L47MA
- free vs. SD ( $\langle T \rangle$ )
- role of interactive ocean model
- aerosol
- aerosol – cloud coupling
- extensive evaluation with observations

# Time series

## WMO/UNEP Scientific Assessments of Ozone Depletion Tropospheric Ozone Assessment Report(s)



2013 – 2014 – 2015 – 2016 – 2017 – 2018 – 2019 – 2020 – 2021 – 2022 – 2023 – 2024

CCMI (RC-...)

post-CCMI (RC-...) & model improvement

### 2013

RC1-base-01  
RC1-aero-03  
RC2-base-01  
RC1SD-base-01

### 2014-2015

RC1-base-07  
RC1-base-07a  
RC1-base-08  
RC1-base-08a  
RC1-aero-06  
RC1-aero-07  
RC1-aecl-01  
RC1-aecl-02  
RC1SD-base-07  
RC1SD-base-08  
RC1SD-base-09  
RC1SD-base-10  
RC1SD-base-10a  
RC2-base-04  
RC2-base-05  
RC2-occe-01

### 2016

SC2-occe-01 RCP6.0  
SC2-occe-02 RCP8.5  
SC1SD-base-01 RCP8.5  
SC1SD-base-02 RCP6.0  
SC2-fGHG-01

### 2017

SC2-occe-01  
SC2-occe-02  
SC2-fGHG-01  
SC1SD-base-01  
SC1SD-base-02  
SC1SD-H2O-02  
SC1SD-camp-01  
SC1SD-camp-02

### 2018

SC1SD-base-01  
SC1SD-base-02

### 2019

RC2-sCFC11-01  
RC2-sCFC11-02  
RC2-sCFC11-03  
RC2-sCFC11-04

### 2020

SC2-occe-03 (RCP2.6)  
C2-piCtrl  
C2-pi4xO3  
C2-4xCO2piO3  
C2-4xCO2ctrl

# Time series

## WMO/UNEP Scientific Assessments of Ozone Depletion Tropospheric Ozone Assessment Report(s)



2013 – 2014 – 2015 – 2016 – 2017 – 2018 – 2019 – 2020 – 2021 – 2022 – 2023 – 2024

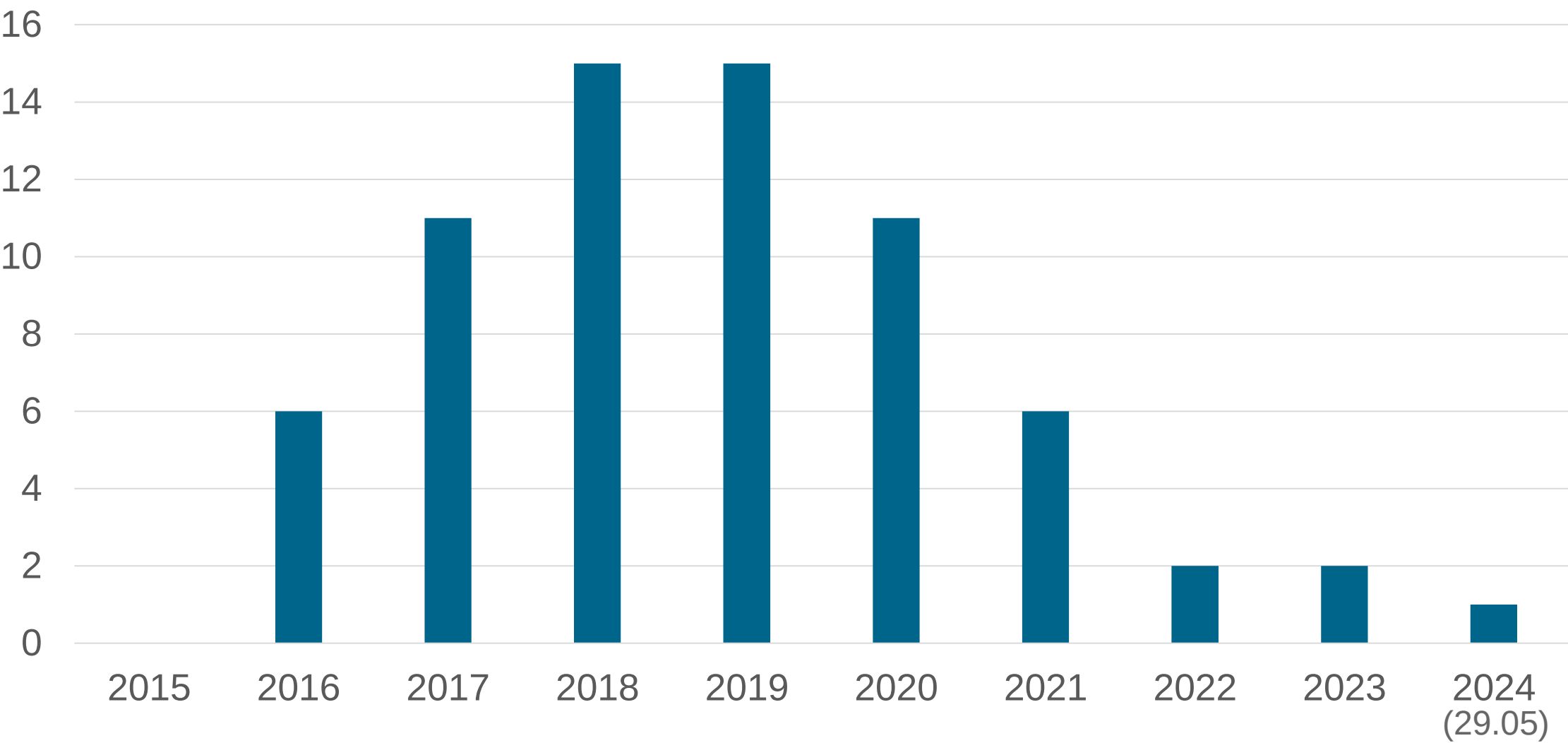
CCMI (RC-...)

post-CCMI (RC-...) & model improvement

CCMI-2 (RD-...) & TOAR-2

| <u>2013</u>   | <u>2014-2015</u> | <u>2016</u>          | <u>2018</u>         | <u>2021</u>    | <u>2023</u>               | <u>2024</u> |
|---------------|------------------|----------------------|---------------------|----------------|---------------------------|-------------|
| RC1-base-01   | RC1-base-07      | SC2-oce-01 RCP6.0    | SC1SD-base-01       | RD1-base-01    |                           |             |
| RC1-aero-03   | RC1-base-07a     | SC2-oce-02 RCP8.5    | SC1SD-base-02       | RD1SD-base-01  |                           |             |
| RC2-base-01   | RC1-base-08      | SC1SD-base-01 RCP8.5 |                     | RD1SD-base-01a |                           |             |
| RC1SD-base-01 | RC1-base-08a     | SC1SD-base-02 RCP6.0 |                     | RD1SD-base-01b |                           |             |
|               | RC1-aero-06      | SC2-fGHG-01          | <u>2019</u>         |                |                           |             |
|               | RC1-aero-07      |                      | RC2-sCFC11-01       |                |                           |             |
|               | RC1-aecl-01      | <u>2017</u>          | RC2-sCFC11-02       |                | <u>2022</u>               |             |
|               | RC1-aecl-02      | SC2-oce-01           | RC2-sCFC11-03       |                | RD2-base-01a,b,c (ssp370) |             |
|               | RC1SD-base-07    | SC2-oce-02           | RC2-sCFC11-04       |                | RD2-base-02a              |             |
|               | RC1SD-base-08    | SC2-fGHG-01          |                     |                | RD1SD-aero-01             |             |
|               | RC1SD-base-09    | SC1SD-base-01        | <u>2020</u>         |                |                           |             |
|               | RC1SD-base-10    | SC1SD-base-02        | SC2-oce-03 (RCP2.6) |                |                           |             |
|               | RC1SD-base-10a   | SC1SD-H2O-02         | C2-piCtrl           |                |                           |             |
|               | RC2-base-04      | SC1SD-camp-01        | C2-pi4xO3           |                |                           |             |
|               | RC2-base-05      | SC1SD-camp-02        | C2-4xCO2piO3        |                |                           |             |
|               | RC2-oce-01       |                      | C2-4xCO2ctrl        |                |                           |             |

# 69 peer-reviewed papers



# Outlook

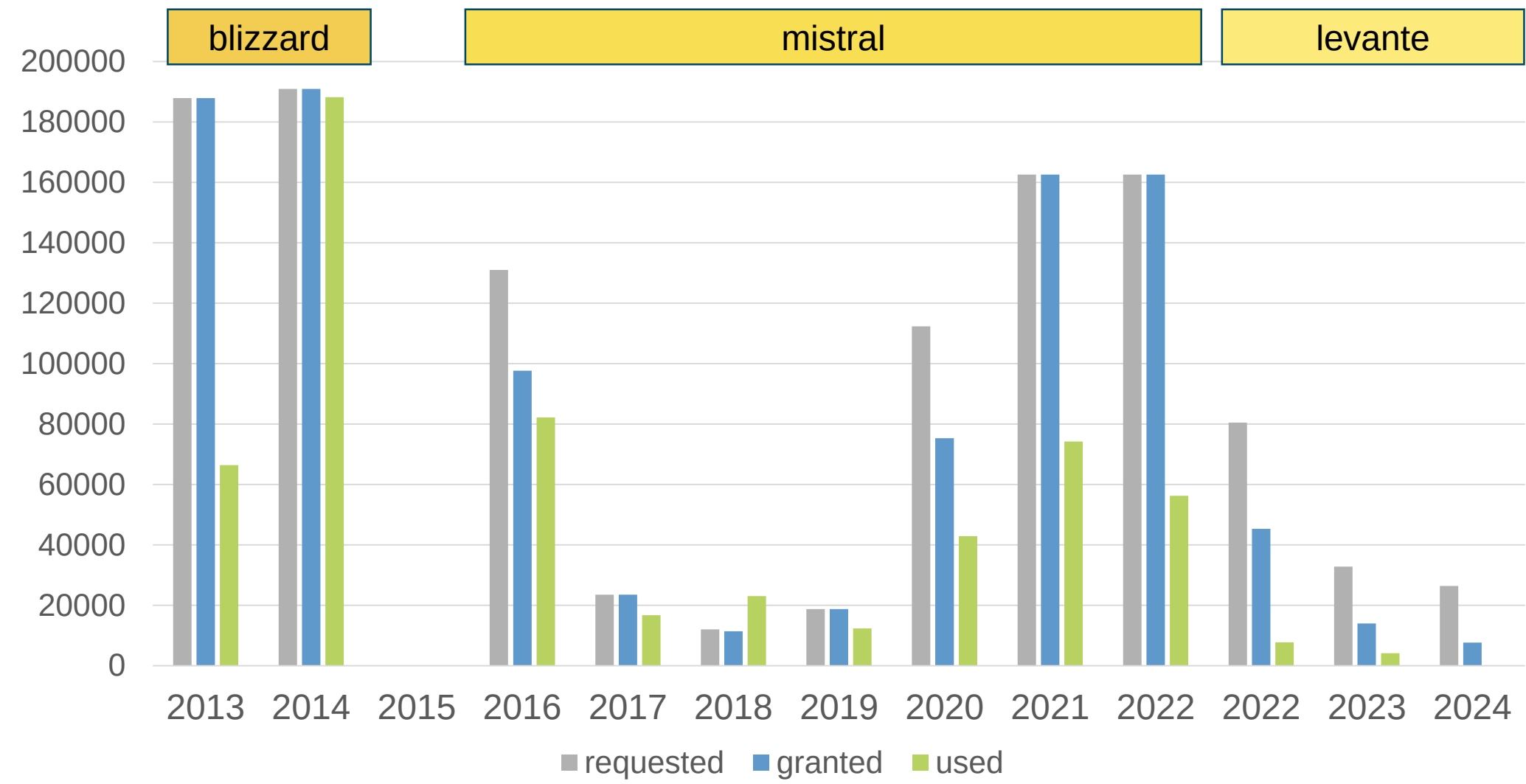
# Nest steps: CCMI-2 & TOAR-2 & beyond



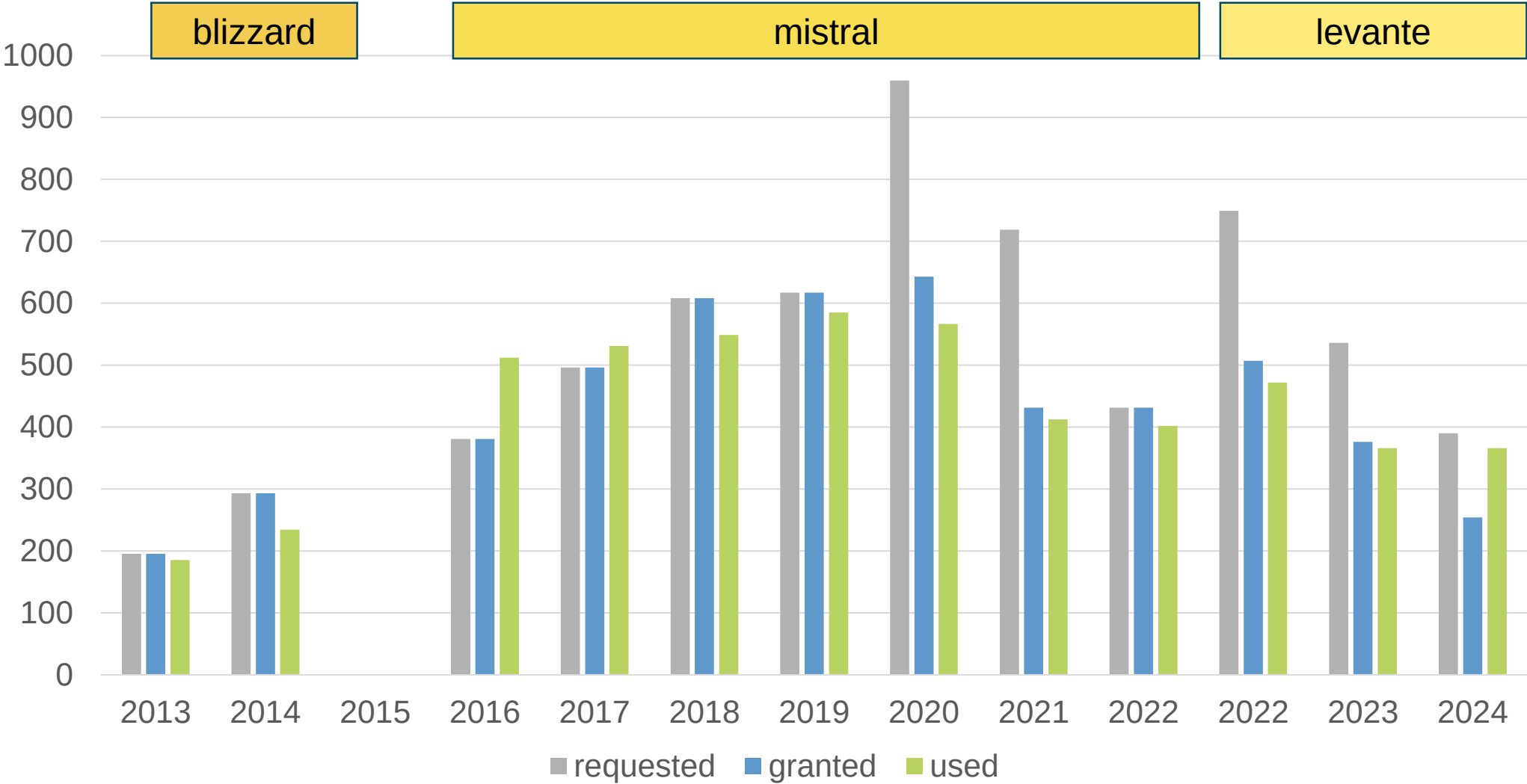
- additional scenario simulations: ssp370, ssp245
- test/evaluation of further model improvements
  - interactive aerosol, on-line emissions, tagging, ...
- [ consolidation of vertical resolution: towards L90MA with coupled ocean (1055) ]
- first steps towards ICON/MESSy CCM evaluation
  
- resources do probably **not justify** anymore a **consortial project**, but **project continues** (and serves as a central MESSy project!)
- more /work- and /arch- than node-h limited

# Resources

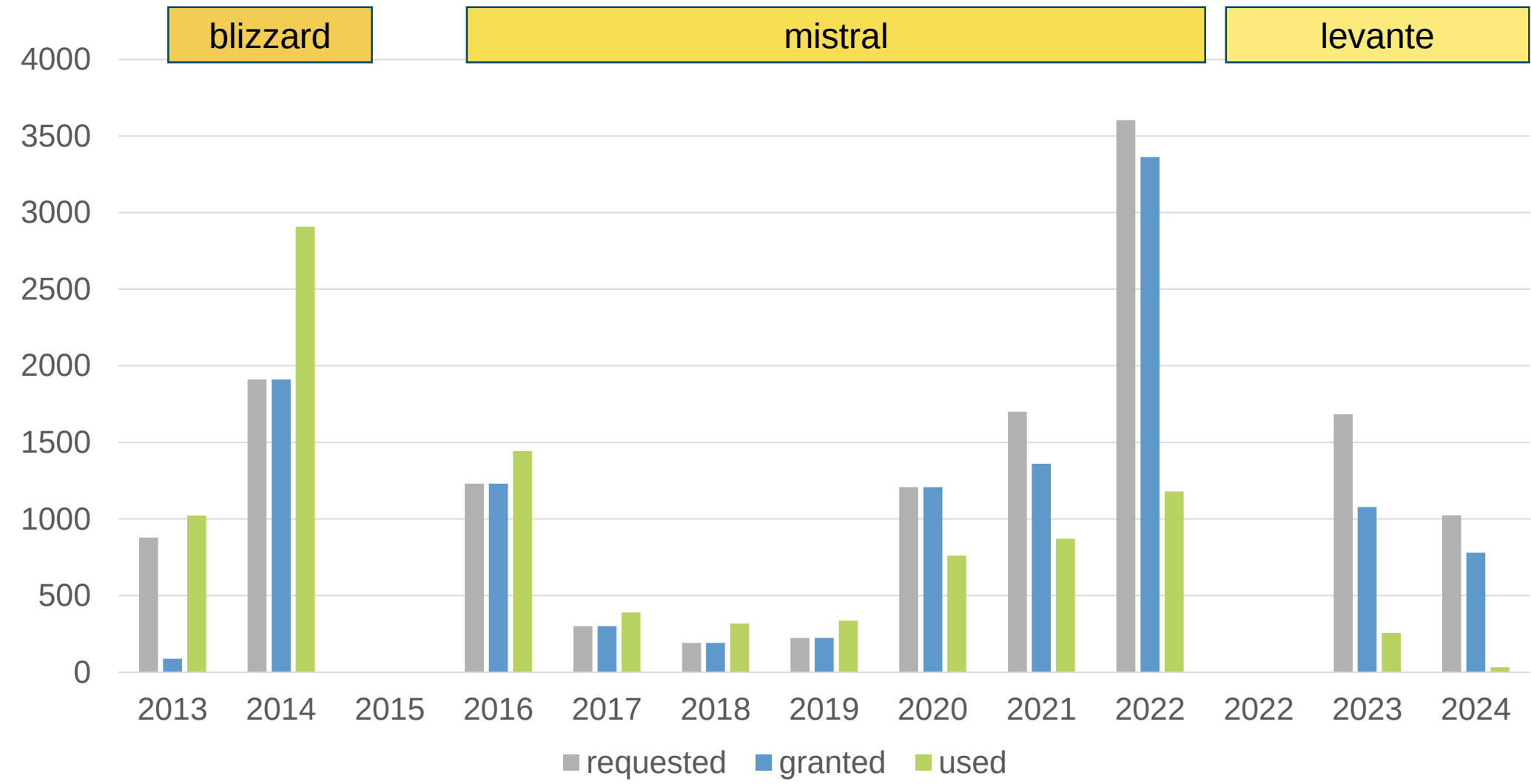
# Resources: node-h



# Resources: /work



# Resources: /arch



# Background information

image source unknown

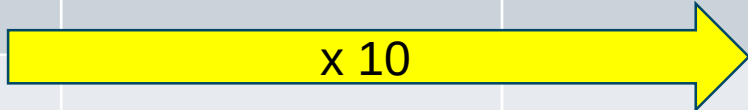
# Number of prognostic variables



|                           | GCM  | CCM                                               | CCM+                                                        | CCM+AQ                                                                                          |
|---------------------------|------|---------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Stratospheric chemistry   | --   | Ozone + CH <sub>4</sub> /H <sub>2</sub> O<br>PSCs | Ozone + CH <sub>4</sub> /H <sub>2</sub> O<br>PSCs<br>+ VSLS | Ozone + CH <sub>4</sub> /H <sub>2</sub> O<br>PSCs<br>+ VSLS<br>+ sulphur cycle                  |
| Tropospheric chemistry    | --   | --                                                | HOx/NOx, C <sub>4</sub> +<br>Isoprene<br>++<br>--           | ... + >C <sub>5</sub> + S<br>... + ~C <sub>4</sub> + S + ...<br>... + ~C <sub>4</sub> + S + ... |
| # of prognostic variables | ~ 10 | ~ 50                                              | ~100 – 500                                                  | 2500                                                                                            |
| # chemical reactions      |      | 0 + 0 + 0                                         | ~ 300 + ~100 + 0                                            | ~ 2000 + ~300 +<br>~300                                                                         |
|                           |      |                                                   | <b>CCMI + CMIP6</b>                                         |                                                                                                 |

memory/core &  
I/O

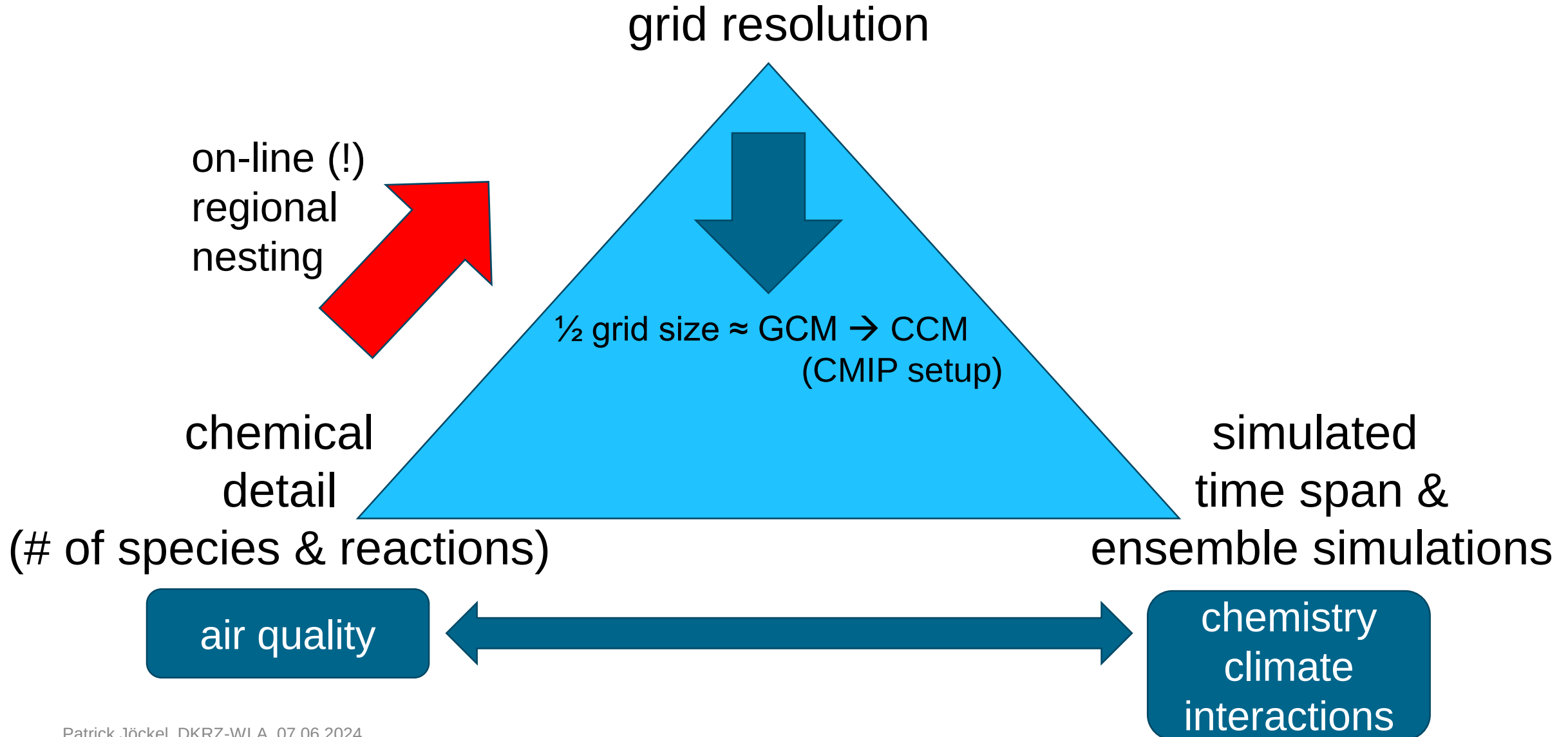
FLOPS



MESSy  
Consortium



# Compromises



Thema: **Project 853 ESCiMo (Earth System Chemistry integrated Modelling)**

Datum: 2024-06-07 (JJJJ-MM-TT)

Autor: Patrick Jöckel

Institut: Institut für Physik der Atmosphäre, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) e.V.

Bildcredits: Alle Bilder „DLR (CC BY-NC-ND 3.0)“, sofern nicht anders angegeben