

Gemeinsam  
die Zukunft  
bauen

H L R I S  
Höchstleistungsrechenzentrum Stuttgart



# 2025/26

## Jahresbericht



# 2025/26

## Jahresbericht

Das Höchstleistungsrechenzentrum Stuttgart (HLRS) wurde 1996 als erstes Bundeshöchstleistungsrechenzentrum Deutschlands gegründet. Als Einrichtung der Universität Stuttgart und Mitglied des Gauss Centre for Supercomputing stellt das HLRS seine Rechenkapazitäten Nutzer:innen aus Wissenschaft und Industrie zur Verfügung. Das HLRS betreibt modernste Höchstleistungsrechen-systeme und -technologien, bietet erstklassige Weiterbildung in den Bereichen Programmierung und Simulation und forscht an wegweisenden Fragestellungen und Technologien rund um die Zukunft des Höchstleistungsrechnens (high-performance computing, HPC). Die HLRS-Expertise umfasst unter anderem die Bereiche parallele Programmierung, numerische Methoden für HPC, Visualisierung, Grid und Cloud Computing, Datenanalytik sowie künstliche Intelligenz. Die Nutzer:innen unserer Systeme forschen auf unterschiedlichen Forschungsgebieten mit dem Schwerpunkt auf Ingenieurwissenschaften und angewandter Wissenschaft.

Im Jahr 2025 hat das HLRS das Dach des bestehenden Gebäudes mit Solarmodulen ausgestattet. Auch die Fassade des Neubaus HLRS III wird mit Photovoltaikanlagen ausgestattet.

# Grüßwort

## Director's Welcome



Prof. Dr.-Ing. Michael M. Resch, Director, HLRS

Wenn ich auf das vergangene Jahr am Höchstleistungsrechenzentrum Stuttgart zurückblicke, bleibt mir ein Tag besonders im Gedächtnis. Mitte Dezember 2025: ungewöhnlich mild, heller Sonnenschein, ein wolkenloser Himmel. Für unsere Gäste bot dieses Wetter eine spektakuläre Kulisse für die feierliche Grundsteinlegung für HLRS III – das Gebäude, in dem bald unsere nächste Generation von Höchstleistungsrechnern stehen wird. Doch an diesem Tag ging es um mehr als Beton und Technik. Es ging um eine Vision, die im Laufe des Jahres greifbar geworden ist. In diesem Bericht zeigen wir Ihnen, welche Schritte wir 2025 gegangen sind und wie sie unsere Arbeit im kommenden Jahrzehnt prägen werden.

Looking back at another successful year at the High-Performance Computing Center Stuttgart, one day in particular stands out as a highlight. It was mid-December 2025, and in a season that is typically cold and gray, the temperature outside was pleasant and the sun shone brightly in a cloudless sky. For the many friends and honored guests of HLRS who had gathered, the conditions were a spectacular backdrop for celebrating the cornerstone laying for HLRS III, a building that will soon house HLRS's next-generation high-performance computing (HPC) systems. The ceremony was in many ways not just about a building, but rather a transformative vision that in the past 12 months has become much more concrete, both figuratively and

Ein wichtiger Meilenstein war die Vorstellung der Details von Herder, unserem kommenden Supercomputer. Wenn wir ihn 2027 im HLRS III in Betrieb nehmen, wird er unsere Rechenleistung deutlich steigern und neue Chancen für Forschung und Industrie eröffnen. Damit wir diese voll ausschöpfen können, haben wir im Jahr 2025 unsere Nutzer:innen intensiv dabei unterstützt, ihre Codes auf GPUs zu portieren. So werden sie in der Lage sein, Herders Fähigkeiten vollumfassend zu nutzen, sobald der Supercomputer verfügbar ist.

Eine weitere Neuigkeit im Jahr 2025 war der Beginn der Koordination von HammerHAI – einem bedeutenden Projekt, das von der EuroHPC Joint Undertaking (JU) als Deutschlands erste AI Factory ausgewählt wurde. Gemeinsam mit unseren Partnern haben wir ein Serviceangebot entwickelt, das Innovationen mit künstlicher Intelligenz beschleunigt. Gleichzeitig knüpfen wir Kontakte zu Unternehmen, Start-ups und Forschungseinrichtungen in Baden-Württemberg und bauen bestehende Beziehungen weiterhin aus. Inzwischen steht auch fest: Ein neuer, KI-optimierter HammerHAI-Supercomputer wird 2026 am HLRS installiert. Die Erwartungen daran sind hoch – in der Forschung ebenso wie in der Industrie – vor allem vonseiten Start-ups sowie KMUs.

Das Aufkommen GPU-beschleunigter Systeme für Simulationen und künstliche Intelligenz, beispielsweise bei HammerHAI und in Zukunft bei Herder, hat das Höchstleistungsrechnen in den letzten Jahren grundlegend verändert. Doch die Entwicklung geht weiter: Quantencomputing, neuromorphes Computing und weitere neue Technologien versprechen zusätzliche Leistung und mehr Energieeffizienz. Um diese Technologien früh zu prüfen, haben wir eine Future Computing Group gegründet, die eng mit Entwicklern zusammenarbeitet und neue Ansätze im Hinblick auf die Anforderungen unserer Nutzer:innen testet. So stellen wir sicher, dass das HLRS auch künftig Zugang zu den leistungsfähigsten Werkzeugen bietet.

Technik allein reicht allerdings für Fortschritte im Höchstleistungsrechnen nicht aus – sie entstehen nur

literally. In this annual report, we invite you to learn about some important steps that HLRS took in 2025 that will define its future for the coming decade.

In late 2025, for example, we announced the details of Herder, our next supercomputer. When it is installed in HLRS III in 2027 it will offer a significant leap in computational performance, opening exciting new possibilities for research and technology. To prepare for its arrival, one of our most important tasks this year has been to support users of our current Hunter system to port their codes to GPUs. This will make it possible to take advantage of Herder's formidable capabilities when it arrives.

Another key activity this year involved serving as coordinator of HammerHAI, an important project selected by the EuroHPC Joint Undertaking (JU) as Germany's first AI Factory. We worked closely with our consortium partners throughout 2025 to design a service portfolio that will accelerate AI-powered innovation, and to connect with AI-focused stakeholders and initiatives from across Baden-Württemberg. In addition, the JU has now announced the results of the procurement for a new, AI-optimized HammerHAI supercomputer, which will be installed at HLRS later in 2026. Already we are seeing great anticipation for these developments from across the German research, industrial, SME, and start-up communities, and we look forward to seeing how they will use these powerful, sovereign AI capabilities.

The rise of GPU-accelerated systems for simulation and artificial intelligence exemplified in Herder and HammerHAI has changed HPC dramatically in recent years. But what will come next? Quantum computing, neuromorphic computing, and other emerging emerging technologies hold enormous potential to improve the performance and energy efficiency of simulation applications. To prepare, HLRS this year founded a Future Computing Group, which will collaborate with developers of such technologies to test and evaluate their capabilities, particularly in light of our users' computing requirements. Regardless of what the future holds, this

mittels Zusammenarbeit. Unter dem Motto „Gemeinsam die Zukunft bauen“ zeigen wir in diesem Jahresbericht, wie wichtig Partnerschaften für unsere Arbeit sind – in Baden-Württemberg, Deutschland, Europa und weltweit. Besonders freue ich mich über ein Interview mit Steve Conway, einem anerkannten Analysten der HPC-Branche und langjährigen Freund des HLRS. Als Begleiter der HPC-Entwicklung seit vielen Jahren und Trendspotter in der Industrie ist seine Einschätzung eindeutig: Der Ausbau der europäischen HPC-Infrastruktur gehört zu den spannendsten Entwicklungen seiner Karriere. Ich bin stolz darauf, dass das HLRS viel dazu beiträgt – etwa dank seiner führenden Rolle in EuroCC, CASTIEL und anderen europäischen Projekten.

Ob es darum geht, die Auswirkungen des Klimawandels zu mindern, Krankheiten zu bekämpfen oder die globale Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Industrie zu stärken – Simulations- und datenwissenschaftliche Methoden bieten unverzichtbare Werkzeuge zur Bewältigung großer Herausforderungen. Ein herausragendes Beispiel hierfür ist die Arbeit von Everllence, einem aus mehr als 75 Industriekunden des HLRS. Als Hersteller von großen Industriemaschinen wie Motoren für Supertanker und Anlagen für Raffinerien möchte Everllence einen wesentlichen Beitrag zur globalen Dekarbonisierung leisten. Mithilfe von Rechenressourcen des HLRS möchte das Unternehmen den Übergang zu alternativen Kraftstoffen ermöglichen und die Speicherung von Kohlenstoffdioxid in die Praxis umsetzen. Auch in der Wissenschaft sehen wir beeindruckende Fortschritte: Forschende kombinieren maschinelles Lernen mit Simulation, unter anderem um den menschlichen Körper besser zu verstehen. Andere Projekte zeigen großes Potenzial, den Betrieb von Satelliten in niedrigen Umlaufbahnen zu verbessern oder liefern neue Einblicke in Turbulenzen.

Auch Nachhaltigkeit bleibt für uns weiterhin ein zentrales Thema. Im Zuge des Neubaus HLRS III entsteht derzeit eine Anlage, die die Abwärme des kommenden Rechners Herder nutzen wird. Sie wird den Campus Vaihingen der Universität Stuttgart mit Wärme versorgen und so zur Dekarbonisierung beitragen. Zudem haben

effort places us in an optimal position to continue providing access to the most advanced computing tools and resources.

Success in high-performance computing is not simply a matter of technology, though. As the motto of this annual report suggests – “Building the Future, Together” – great things are only really possible through cooperation. At HLRS, the impulse to collaborate with others at the state, national, European, and international levels has for decades been deeply embedded in everything we do. In this annual report we describe why such partnerships are so important, and the kinds of impacts they can have. I am also delighted that we were able to include an interview with Steve Conway, a widely respected HPC industry analyst and longtime friend of HLRS. Providing insights into issues that are currently shaping the evolving HPC landscape, Steve also speaks to the importance of cooperation in Europe’s impressive expansion of HPC capabilities, remarking that this achievement is the most exciting development that he has witnessed in his long and accomplished career. I am proud of HLRS’s contributions to these efforts through its ongoing leadership within EuroCC, CASTIEL, and other European projects.

Whether it be managing the effects of climate change, finding new strategies for fighting disease, or developing the high-tech products that will enable Germany to remain competitive globally, simulation and data science methods offer absolutely essential tools for addressing major challenges. One outstanding example is the work of Everllence, one of HLRS’s more than 75 industrial HPC users. A manufacturer of large-scale industrial machinery like engines for supertankers and facilities for gas and oil refineries, Everllence aims to make major contributions to global decarbonization efforts by enabling the transition to alternative fuels, and making carbon capture and storage practical. Elsewhere in this annual report we also highlight interesting scientific accomplishments that benefited from access to HLRS’s computing systems. These include exciting new approaches that combine machine learning and simulation to gain insights into human physiology and

wir unsere dritte EMAS-Zertifizierung erfolgreich abgeschlossen. Aufgrund unserer langjährigen Erfahrung mit umweltschonendem Rechenzentrumsbetrieb wenden sich immer häufiger andere Einrichtungen für fachliche Beratung an uns.

Bei der Grundsteinlegung bezeichnete der baden-württembergische Finanzminister Danyal Bayaz das HLRS III als „ein Zeichen auf Hoffnung, dass das Beste noch vor uns liegt und wir nicht satt und zufrieden in der Ecke sitzen, sondern immer wieder den Anspruch und die Ambition haben, uns technologisch neu zu erfinden.“ Dieser Gedanke begleitet mich. Wir leben in einer Zeit des Umbruchs. Vieles verändert sich schneller, als wir es gewohnt sind. Umso wichtiger ist es, dass wir die Chancen neuer Technologien nutzen. Höchstleistungsrechnen kann uns dabei helfen, komplexe Probleme zu verstehen und Lösungen zu entwickeln.

Damit schließt sich der Kreis zu unserem Motto: Gemeinsam die Zukunft bauen. Das HLRS lebt von seinen Partnern, seinen Nutzer:innen und vor allem von seinen Mitarbeitenden. Ihnen allen danke ich herzlich für Ihr Engagement und Ihre Unterstützung. Lassen Sie uns diesen Weg gemeinsam weitergehen.

Mit freundlichen Grüßen



Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. Prof. E.h. Michael M. Resch  
Direktor des HLRS

knowledge that will make the operation of satellites in very low earth orbits more economically sustainable, as well as a large-scale simulation that offered the first full-resolution dataset for studying turbulence as it moves from low to high Reynolds numbers.

At HLRS, too, an important part of our vision for the future is to maximize our sustainability. As part of the HLRS III project, construction has begun on our waste heat management facility, which will supply heat produced by Herder to the University of Stuttgart’s Vaihingen campus, supporting its decarbonization efforts. We also successfully completed our third EMAS certification, and as this annual report explains, are increasingly becoming a resource for other institutions in search of advice on how to operate more sustainably.

In his public remarks at the HLRS III cornerstone ceremony, Baden-Württemberg Minister of Finance Dr. Danyal Bayaz called the event a “sign of hope that the best is still ahead of us, that we don’t sit satisfied in a corner, but continually create the conditions to reinvent ourselves technologically.” At a time when the world we thought we knew seems to be shifting under our feet, this optimism about the potential of high-performance computing to help us navigate these difficult times is something that motivates all of us in the HPC community.

Which brings me back to our theme: Building the Future, Together. It is clear to me every day that HLRS would not be what it is without our large and engaged community of funders, partners, and system users, as well as our skillful and dedicated staff. Thank you all for your ongoing support and commitment in our efforts. Let’s keep doing great things together.

With best regards,

Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. Prof. E.h. Michael M. Resch  
Director, HLRS

2	Grußwort
<b>8</b>	<b>Highlights</b>
9	Feierliche Grundsteinlegung für Neubau des HLRS
12	HammerHAI AI Factory startet erfolgreich
15	HLRS verkündet Details zum kommenden Supercomputer „Herder“
17	Future-Computing-Gruppe wird neue Technologien evaluieren
20	Everllence beschleunigt mit Supercomputern die Dekarbonisierung im industriellen Maßstab
23	Supercomputing trifft auf Kunst
24	Workshops zur Code-Portierung erleichtern den Wechsel zu GPUs
25	Gute Beratung dank Green-IT-Kompetenz
27	Nachhaltigkeits-Highlights 2025
<b>28</b>	<b>Gemeinsam die Zukunft bauen</b>
29	Zusammenarbeit als Schlüssel für Fortschritt im Supercomputing
34	Internationale Partner
36	Stärke dank Zusammenarbeit: Ein Interview mit Steve Conway
<b>40</b>	<b>Neuigkeiten</b>
<b>48</b>	<b>User-Forschung</b>
49	Wie Simulationen den Satellitenbetrieb im niedrigen Erdorbit verbessern könnten
51	Großsimulation liefert neue Einblicke in Turbulenz
54	Evolutionäre Molekulardynamik liefert Einblicke in die Ansammlung von Cholesterin
57	Ausgewählte Publikationen unserer Nutzer:innen im Jahr 2025
<b>64</b>	<b>HLRS in Zahlen</b>
<b>66</b>	<b>Über uns</b>
67	In unserem Rechenraum
69	Unsere Nutzer:innen
70	Geförderte Forschungsprojekte am HLRS
74	HPC Fort- und Weiterbildung
76	Workshops und Konferenzen
77	Organigramm
78	Organisation



# Highlights



Abbildung des HLRS III.

## Feierliche Grundsteinlegung für Neubau des HLRS

**Das Gebäude HLRS III ist die Grundlage für die Zukunft des HPC in Stuttgart. Es wird erhebliche Fortschritte in Rechenleistung und Energieeffizienz ermöglichen.**

Im März 2025 begann der Bau einer bedeutenden Erweiterung des HLRS. Das neue Rechenzentrum mit dem Namen HLRS III wird zwei neue Großrechner beherbergen: den nächsten Flaggship-Supercomputer des HLRS namens Herder (siehe Seite 15) und einen KI-optimierten Supercomputer, der in Verbindung mit der KI-Fabrik HammerHAI installiert wird (siehe Seite 12). Das HLRS III soll 2027 eröffnet werden und wird so gebaut, dass es den hohen technischen Anforderungen zukünftiger Höchstleistungsrechner (HPC) gerecht wird und gleichzeitig so energieeffizient wie möglich ist. Mit der neuen Anlage wird Stuttgart weiterhin eine führende Rolle im europäischen Höchstleistungsrechnen spielen.

Bis zum 15. Dezember 2025 wurden das Fundament und Teile des Untergeschosses des HLRS III bereits fertiggestellt. Sie waren eine inspirierende Kulisse für eine feierliche Zeremonie zur Grundsteinlegung. Zu den Rednern der Veranstaltung gehörte unter anderem der baden-württembergische Finanzminister Danyal Bayaz, der erklärte: „Wir bauen ein hochmodernes Gebäude, fördern Innovationen und Spitzenforschung im Land und investieren so in unsere Zukunft. Hier entsteht Platz für eine neue Rechnergeneration. Das neue HLRS III in Stuttgart wird Spitzenklasse in Europa und ein europaweit bedeutendes Cluster für Höchstleistungsrechnen und künstliche Intelligenz.“



Eine neben dem HLRS III gelegene Abwärmenutzungszentrale wird die von den Supercomputern des HLRS erzeugte Abwärme auffangen und an das Fernwärmenetz der Universität Stuttgart abgeben.

Das HLRS III wird die bestehenden Gebäude des HLRS um zusätzliche 7.000 Quadratmeter Fläche erweitern. Der aus verstärktem Recyclingbeton, Stahl und Holz errichtete Neubau wird einen hochmodernen Rechneraum mit einer redundanten Stromversorgung, einer äußerst energieeffizienten Kühlung und einer Gebäudestruktur enthalten, die auch das noch höhere Gewicht künftiger Supercomputer tragen kann.

„Mit dem Bau des HLRS III beginnt eine neue Etappe in der Geschichte unseres Zentrums. Der Neubau unterstreicht unsere wichtige Rolle für die Förderung von Forschung und Innovation in Deutschland und Europa“, sagte Prof. Dr. Michael Resch, Direktor des HLRS. „Wir benötigen das neue Gebäude als zentrale zukunftsfähige Infrastruktur für unsere Nutzer:innen aus Wissenschaft und Industrie. Gleichzeitig können wir damit unsere Systeme so nachhaltig wie möglich betreiben und die von ihnen erzeugte Abwärme optimal nutzen.“



Der „Canyon“ bietet Einblicke in den HLRS III-Rechnerraum und ermöglicht gleichzeitig eine passive Kühlung in den wärmeren Monaten.

### Energieeffizienz und Abwärmenutzung

Die gesteigerte Rechenleistung von Herder und weiteren künftigen HPC-Systemen wird mehr Energie benötigen als dem HLRS bisher zur Verfügung steht. Aus diesem Grund ist Nachhaltigkeit ein wesentliches Element des Gebäudekonzepts des HLRS III. Die gesamte von Supercomputern aufgenommene elektrische Energie wird in Wärme umgewandelt. Diese muss abgeführt werden, um eine Überhitzung der Systeme zu verhindern. Um diese wertvolle Ressource sinnvoll zu nutzen, entsteht neben dem HLRS III eine neue Abwärmenutzungszentrale. Sie nimmt die komplette Abwärme der Supercomputer des neuen Rechenzentrums auf, hebt sie auf ein höheres Temperaturniveau und speist sie in das Fernwärmenetz des Vaihinger Campus der Universität Stuttgart ein. Dafür werden hocheffiziente industrielle Großwärmepumpen eingesetzt, die mit einem klimaneutralen Kältemittel arbeiten. So kann im Winter bis zu ein Drittel des Heizbedarfs des Campus und im Sommer der gesamte Prozesswärmebedarf gedeckt werden.

Prof. Peter Middendorf, Rektor der Universität Stuttgart, unterstrich die Bedeutung des HLRS III für die gesamte Universität: „Der visionäre Neubau des HLRS III ist ein Meilenstein für die digitale Zukunft an der Universität Stuttgart und darüber hinaus. Das Gebäude zeigt, wie wir Spitzentechnologie und Nachhaltigkeit miteinander verbinden. Der dort angesiedelte Supercomputer Herder wird nicht nur wissenschaftliche Höchstleistungen ermöglichen, sondern durch die geplante Nutzung seiner Abwärme aktiv zur Dekarbonisierung unseres Campus beitragen.“

Bei voller Auslastung kann die Abwärmenutzung des HLRS III die CO<sub>2</sub>-Emissionen des Campus um fast 50 Prozent reduzieren. An den Fassaden und auf den Dächern der beiden Gebäude installierte Photovoltaikmodule zur Stromerzeugung ergänzen und unterstreichen ihren nachhaltigen Charakter.

Der Rechneraum des HLRS III wird zwar von den öffentlichen Bereichen des Gebäudes abgetrennt sein, der sogenannte „Canyon“ wird aber Aussichtsplattformen für Gäste mit Blick in den Rechneraum bieten. Die Belüftung im Dach des Canyons ermöglicht eine passive Kühlung des Gebäudes während der Sommermonate.



Das HLRS III ist Teil der Green-IT-Strategie des Landes Baden-Württemberg. Das HLRS erhielt 2025 den Umweltmanagement-Preis für den besonders energieeffizienten und nachhaltigen Betrieb seiner Rechner (siehe Seite 27). Im Jahr 2024 gewann das Zentrum außerdem den Datacenter Strategy Award in der Kategorie „Transformation“. Dieser würdigte die nachhaltige Planung des HLRS III.

### Förderung und Planung

Die Gesamtkosten für den Bau des HLRS III, einschließlich der Abwärmezentrale und der für die Versorgung des Fernwärmenetzes des Campus erforderlichen unterirdischen Rohrleitungen, belaufen sich auf 178,6 Millionen Euro. 138,5 Millionen Euro wurden vom Land Baden-Württemberg bereitgestellt, die restlichen 40,1 Millionen Euro stammen vom Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt.

Das HLRS III wurde vom Architekturbüro Benthem Crowel International in Diemen, Niederlande, entworfen. Die Bauplanung wurde von Birk Heilmeyer und Frenzel Architekten aus Stuttgart koordiniert. Das Universitätsbauamt Stuttgart und Hohenheim ist für das Projekt und die zukünftige Instandhaltung des Gebäudes verantwortlich.



Der baden-württembergische Finanzminister Danyal Bayaz legte eine Zeitkapsel in den Grundstein des HLRS, der anschließend mit einem Kran auf die Baustelle abgesenkt wurde. Weitere Redner bei der Veranstaltung waren (v. l. n. r.): Prof. Michael Resch (Direktor, HLRS), Prof. Peter Middendorf (Rektor, Universität Stuttgart) und Andreas Hölting (Direktor, Landesbetrieb Vermögen und Bau Baden-Württemberg).

# HammerHAI AI Factory startet erfolgreich

Das HLRS und seine Partner im HammerHAI-Konsortium haben ein Service-Portfolio aufgebaut, Partnerschaften geknüpft und die Beschaffung eines neuen KI-optimierten Supercomputers abgeschlossen. Damit wurde eine Grundlage geschaffen, die Deutschlands KI-Fähigkeiten in Industrie und Forschung erheblich verbessern wird.

Im Dezember 2024 kündigte die EuroHPC Joint Undertaking (JU) die Gründung von HammerHAI, Deutschlands erster AI Factory, an. Unter der Koordination des Höchstleistungsrechenzentrums Stuttgart war HammerHAI eine der ersten sieben AI Factories in diesem wegweisenden Vorhaben zum Aufbau einer öffentlichen, koordinierten und groß angelegten europäischen KI-Infrastruktur. Im Jahr 2025 wuchs die Initiative auf 19 KI-Fabriken in ganz Europa an – ein Netzwerk, das großes Potenzial zur Förderung der digitalen Souveränität Europas birgt.

HammerHAI wurde im April 2025 offiziell ins Leben gerufen und stellt Recheninfrastruktur, fachliche Unterstützung und Schulungen bereit, um die Entwicklung von Anwendungen, Geschäftsmodellen und Forschungsvorhaben auf Basis künstlicher Intelligenz zu fördern. Die AI Factory unterstützt insbesondere KMU und Start-ups in den Bereichen Ingenieurwesen, Fertigung, Automobilindustrie und Mobilität sowie die Wissenschaft. Die AI Factories werden in Übereinstimmung mit dem EU AI Act betrieben und bieten eine sichere, zuverlässige Plattform für die europäische Industrie und Forschung.

Im Laufe des Jahres 2025 arbeitete das HLRS mit seinen Partnern im HammerHAI-Konsortium – dem Leibniz-Rechenzentrum, dem Karlsruher Institut für Technologie, der Gesellschaft für wissenschaftliche Datenverarbeitung mbH Göttingen und SICOS BW – zusammen, um den transformativen Prozess der Einführung der AI Factory in Gang zu setzen. Dazu gehörte der Aufbau eines Service-Portfolios, das auf die Bedürfnisse der

zukünftigen Nutzergemeinschaft zugeschnitten ist, sowie die Festlegung von Betriebsabläufen, die es ermöglichen, die Anforderungen der Nutzer:innen effizient zu erfüllen. Parallel dazu wurde die Beschaffung eines neuen HammerHAI-Supercomputers abgeschlossen, der am HLRS installiert werden soll. Darüber hinaus führte HammerHAI umfangreiche Outreach-Maßnahmen durch, um mit potenziellen Nutzenden und Partnern in Kontakt zu treten und ein Netzwerk aufzubauen, das die Inbetriebnahme des neuen Systems unmittelbar nach dessen Ankunft vorantreiben wird.

## Ein KI-optimierter Supercomputer wird in Stuttgart installiert

Das Herzstück von HammerHAI wird ein neuer KI-optimierter Supercomputer der EuroHPC Joint Undertaking sein. Bis Ende 2025 war das Beschaffungsverfahren abgeschlossen. Im März 2026 veröffentlichte die EuroHPC Joint Undertaking Einzelheiten zum neuen System. Der Rechner wird am HLRS untergebracht.

Der Beschaffungsausschuss wählte HPE – einen langjährigen Technologiepartner des HLRS und Hersteller seiner Systeme Hawk, Hunter und des kommenden Herder – für den Bau des HammerHAI-Supercomputers aus. Das System basiert auf der flüssigkeitsgekühlten NVIDIA GB200 NVL-4-Architektur, die NVIDIA Grace-CPU's mit NVIDIA Blackwell-GPU's kombiniert. Es wird außerdem maßgeschneiderte NVIDIA L4 Tensor Core-GPU's und RTX A1000-Knoten mit großem Speicher umfassen sowie eine Partition, die auf KI-optimierten Inferenz-Engines und Hardware-Beschleunigern des niederländischen Unternehmens Axelera AI basiert. Der

HammerHAI-Supercomputer wird eine 10-Petabyte-VAST-Data-DASE-Speicherarchitektur enthalten und bietet eine einheitliche Datenplattform für KI- und HPC-Workloads sowie ein Hochgeschwindigkeitsnetzwerk mit 800 Gbit/s. Die HPE Morpheus Enterprise-Software wird als einheitliche KI-Steuerungsebene eingesetzt und ermöglicht automatisierte Bereitstellung, Monitoring und Workload-Lebenszyklusmanagement.

Dank dieser Konfiguration wird der HammerHAI-Supercomputer eine KI-Leistung von bis zu 15 Exaflops bieten. Das System kann dadurch mittelgroße bis große KI-Workloads im Bereich des maschinellen Lernens und der künstlichen Intelligenz bewältigen, unter anderem Inferenz und Training großer Modelle. Es wird einen in der KI-Community vertrauten, cloud-nativen Software-Stack enthalten, wodurch die Migration oder Skalierung von Anwendungen aus lokalen Systemen oder kommerziellen Cloud-Umgebungen vereinfacht wird.

Die Auslieferung des HammerHAI-Supercomputers ist für das zweite Quartal 2026 geplant, und die Inbetriebnahme ist für die zweite Hälfte des Jahres vorgesehen.

## Services beschleunigen die Einführung von KI-Fähigkeiten

Parallel zur Beschaffung hat HammerHAI ein Service-Portfolio entwickelt, das auf die Unterstützung von Forschung und Industrie abzielt. Das Team bietet Ressourcen an, die von Partnern innerhalb des HammerHAI-Konsortiums entwickelt und bereitgestellt werden, darunter eine Auswahl an Software, die am KI Servicezentrum für sensible und kritische Infrastrukturen (KISSKI) entwickelt wurde und datenschutzkonforme Alternativen zu kommerziellen Offshore-Tools bietet. Dazu gehören ein datenschutzorientierter Chatbot (ChatAI), Anwendungen zur Bilderzeugung (ImageAI) sowie zur Sprachtranskription und -übersetzung (VoiceAI). Das KIT stellte den Zugang zu edge.ml

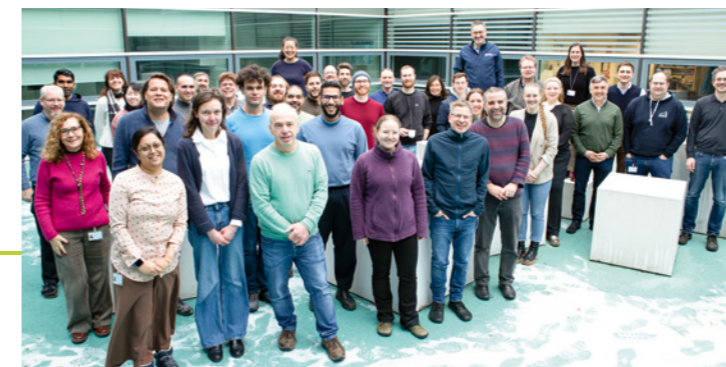
bereit, einem Tool zur Bereitstellung und Überwachung von Machine-Learning-Modellen auf Edge-Geräten. HammerHAI wird zudem Zugang zu vermittelten Diensten bieten, die von Partnern der AI Factory unterhalten werden, wie beispielsweise eine Einrichtung zur Erkennung von Digital-Twin-Objekten und zur Bewegungserkennung am Standort der ARENA2036, einem Labor für Automobilforschung.

Darüber hinaus begann HammerHAI mit dem Angebot von Dienstleistungen zum Kompetenzaufbau und zur Vernetzung. Diese zielen darauf ab, die Eintrittsbarrieren für Unternehmen zu senken, die neue KI-Produkte und -Dienstleistungen entwickeln möchten. Dazu gehörten Workshops, die Unternehmen dabei helfen, das Potenzial ihrer Datensätze zu erkennen, Roadmaps für die Implementierung KI-fähiger Anwendungen und Arbeitsabläufe zu entwickeln, die Anforderungen und Auswirkungen des EU AI Acts zu verstehen sowie die ethischen, rechtlichen, organisatorischen und technischen Risiken zu mindern, die mit KI-Projekten in Organisationen verbunden sind.

## Aufbau von Netzwerken in der KI-Community

Das HammerHAI Team hat im Jahr 2025 Networking-Aktivitäten umgesetzt, um die AI Factory in der deutschen Industrie bekannt zu machen und erste Kontakte zu potenziellen Partnern und Anwendern zu knüpfen. Das ganze Jahr über war HammerHAI auf führenden Branchenkonferenzen und -messen wie dem European Big Data Value Forum 2025, der Automotive Testing Expo 2025, den EuroHPC User Days, der ISC High Performance, der SC25 und dem 4. Smart Data Innovation Day stark vertreten.

Das HLRS und HammerHAI haben sich zudem aktiv in die deutsche KI-Landschaft integriert und Partnerschaften mit anderen KI-orientierten Organisationen aufgebaut, um Fachwissen zu erweitern und die



HammerHAI wird vom HLRS koordiniert. Weitere Projektpartner sind das Leibniz-Rechenzentrum, das Karlsruher Institut für Technologie, die Gesellschaft für wissenschaftliche Datenverarbeitung mbH Göttingen und SICOS BW.

Wirkung zu verstärken. So ist das HLRS beispielsweise dem KI-Bundesverband beigetreten, der bundesweit größten Netzwerk- und Interessensgemeinschaft für KI. HammerHAI hat sich der baden-württembergischen „AI Ländbox“ angeschlossen und wird seinen Supercomputer im Bündnis mit ARENA2036, der Cyber Valley GmbH und weiteren Akteuren zur Verfügung stellen, die eine gemeinsame Infrastruktur zur Beschleunigung von KI-Innovationen im gesamten Bundesland entwickeln wollen. Die AI Factory beteiligt sich zudem am Manufacturing and Robotics Data Lab, einer Initiative, die Daten sicher bündeln und für das Training von Grundmodellen zur Automatisierung der Fertigung bereitstellen wird. Schließlich ist das HLRS der European Connected and Autonomous Vehicle Alliance (ECAVA) beigetreten, einer EU-weiten Initiative, die Akteure aus der gesamten Automobilindustrie vereint, um digitale Innovationen zu fördern. Diese und weitere Aktivitäten werden sicherstellen, dass HammerHAI zu einer zentralen Ressource für KI-Kompetenzen in ganz Deutschland wird.

#### Partnerschaft mit der UK AI Factory Antenna

Als Erweiterung des Netzwerks der europäischen AI Factories kündigte die EuroHPC Joint Undertaking im

Oktober 2025 die Einrichtung von 13 AI Factory Antennas an. Diese neue Kategorie von Kompetenzzentren für künstliche Intelligenz wird die Aktivitäten der AI Factories europaweit ergänzen.

Zu den erfolgreichen Vorschlägen gehörte die UK AI Factory Antenna (UKAIFA) unter der Leitung des EPCC, eines nationalen Höchstleistungsrechenzentrums des Vereinigten Königreichs mit Sitz an der Universität Edinburgh. Die Zusammenarbeit zwischen der UKAIFA und HammerHAI wird als Brücke zwischen dem Vereinigten Königreich und dem europäischen AI-Factory-Netzwerk dienen. Die Partner werden zudem bei einer Vielzahl von Initiativen zusammenarbeiten, um die Einführung künstlicher Intelligenz in KMU, Start-ups, der Industrie und im öffentlichen Sektor zu beschleunigen. Mittels der AI-Antenna-Vereinbarung wird HammerHAI der UKAIFA-Nutzergemeinschaft Zugang zum neuen HammerHAI-Supercomputer gewähren und gemeinsam mit dem EPCC daran arbeiten, einen sicheren, föderierten Datenaustausch sowie plattformübergreifende Kompatibilität zu ermöglichen.

Weitere Informationen:  
Erfahren Sie mehr unter [www.hammerhai.eu](http://www.hammerhai.eu).



#### EU-Kommissarin für Digitales Henna Virkkunen gibt Ausblick auf KI-Strategie

Am 7. Juli 2025 empfing das HLRS Henna Virkkunen, Exekutiv-Vizepräsidentin der Europäischen Kommission für technologische Souveränität, Sicherheit und Demokratie. Der Besuch fand während ihrer Tour durch Europas neue AI Factories statt. Zu dieser Initiative sagte Virkkunen: „KI-Fabriken wie HammerHAI werden für die Förderung eines deutschen und europäischen Ökosystems für generative KI von entscheidender Bedeutung sein. Sie werden einen wichtigen Beitrag zur Entwicklung der europäischen Wettbewerbsfähigkeit im Bereich KI und zur Stärkung der digitalen Souveränität Europas leisten.“ Während ihres Besuchs gab Virkkunen zudem einen Ausblick auf die Pläne der Europäischen Union, das AI-Factory-Modell auszuweiten und künftige EU Gigafactories für künstliche Intelligenz zu schaffen. AI Gigafactories werden extrem große Rechenkapazitäten bieten, die mit den weltweit größten KI-optimierten Supercomputern vergleichbar sind. So sollen sie die Entwicklung, das Training und den Einsatz von KI-Modellen und -Anwendungen der nächsten Generation ermöglichen.

## HLRS verkündet Details zum kommenden Supercomputer „Herder“

Der nächste Flaggschiff-Supercomputer des HLRS basiert auf Technologien der nächsten Generation von HPE und AMD und wird mehr als siebenmal schneller sein als das derzeitige System. Er bietet verbesserte Funktionen für Simulation, künstliche Intelligenz und konvergentes Rechnen.

Im Dezember 2025 gab das HLRS die Architektur seines nächsten Supercomputers bekannt. Das gemeinsam mit den Technologiepartnern HPE und AMD entwickelte neue System – genannt „Herder“ – wird sowohl eine erhebliche Leistungssteigerung als auch eine optimierte Architektur für die modernsten Rechenanwendungen von heute bieten. Wenn Herder 2027 in Betrieb geht, wird er der deutschen und europäischen Forschung und Industrie leistungsstarke neue Möglichkeiten für wissenschaftliche Entdeckungen und Innovationen eröffnen.

Prof. Michael Resch, Direktor des HLRS, begrüßte die Ankündigung mit den Worten: „Unsere Nutzer aus Industrie und Wissenschaft werden Herder sowohl für Höchstleistungssimulationen als auch für künstliche Intelligenz nutzen können. Die Kombination dieser Fähigkeiten in einem einzigen System wird auch einige der derzeit spannendsten Ansätze für rechner-

gestützte Forschung unterstützen, die numerische Simulation und KI innovativ miteinander verbinden. Auf Herder können unsere Nutzer Simulationsergebnisse schneller und genauer berechnen. Gleichzeitig stellen wir ihnen mit Herder lokale, souveräne Kapazitäten für generative KI bereit. Wir sind gespannt auf die damit ermöglichten Ergebnisse.“

#### Die Grundlage: die HPE Cray Supercomputing GX5000

Herder wird auf dem HPE Cray Supercomputing GX5000 System basieren. Die GX5000 wurde im November 2025 von HPE vorgestellt und dafür entwickelt, groß angelegte numerische Simulationen zu unterstützen, die für die traditionellen Nutzergemeinschaften des HLRS unverzichtbar sind, ebenso wie datenwissenschaftliche Methoden für Modelltraining und generative KI. Die Kombination dieser Fähigkeiten in einem einzigen System wird zudem die Entwicklung neuer Formen konvergenter Computing-Workflows ermöglichen, die beide Ansätze nahtlos miteinander verbinden.



Rendering des HPE Cray Supercomputing GX5000. Die Direktflüssigkeitskühlungstechnologie von HPE sorgt für effiziente und sichere Betriebsbedingungen für die leistungsstarken Prozessoren von AMD. Bild mit Genehmigung von HPE.

Herder wird die HPE Supercomputing Management Software enthalten, die die für HPC/AI-Workflows erforderlichen containerisierten Methoden unterstützt. Der neue Supercomputer wird außerdem mit den Lustre-basierten HPE Cray Supercomputing Storage Systemen E2000 verknüpft, um Engpässe bei der Verwaltung großer Datensätze zu beseitigen und die Gesamtleistung des Systems zu verbessern. HPE Slingshot 400-Switches werden Daten mit hoher Geschwindigkeit und geringer Latenz durch das System übertragen.



Vertreter der Universität Stuttgart und von HPE unterzeichneten den Vertrag für Herder in Barcelona. (v. l. n. r.): Antonio Neri (Präsident und CEO, HPE), Anna Steiger (Kanzlerin, Universität Stuttgart), Prof. Dr. Michael Resch (Direktor, HLRS) und Marc Fischer (Geschäftsführer und Vice President Global Sales Germany, HPE).

Wenn er Ende 2027 in Betrieb geht, wird Herder den aktuellen Flaggschiff-Supercomputer des HLRS namens Hunter ersetzen. Nach seiner Inbetriebnahme wird Herder zu den weltweit fortschrittlichsten Höchstleistungsrechnern gehören: Die GX5000 ist dieselbe Plattform, die auch in den kommenden Supercomputern Discovery, Mission und Vision in den Vereinigten Staaten und im Blue Lion am Leibniz-Rechenzentrum zum Einsatz kommt.

### Schnellere GPUs und leistungsstärkere CPUs von AMD

Herder wird mit Prozessoren der nächsten Generation von AMD ausgestattet sein, darunter die AMD Instinct™ MI430X GPU und die AMD EPYC™ „Venice“ CPU. Jede MI430X unterstützt 432 GB HBM4-Speicher sowie 19,6 TB/s Speicherbandbreite und bietet damit leistungsstarke Funktionen für datenintensive Vorgänge sowohl im HPC- als auch im KI-Bereich. Die Venice CPU ist der weltweit erste Prozessor, der die 2-Nanometer-Fertigungsmethoden von Taiwan Semiconductor Manufacturing Company (TSMC) nutzt, wodurch mehr Transistoren auf jedem Computerchip untergebracht werden können als bisher möglich. Dank der dichteren Anordnung lassen sich Informationen schneller im System übertragen.

Die im Vergleich zu aktuellen Technologien erhöhte Speicher- und Kommunikationsdichte dieser Prozessoren wird die Leistung auf ein neues Niveau heben. Das HLRS geht aktuell davon aus, dass Herder eine Spitzenleistung erzielen wird, die mehr als siebenmal so hoch ist wie die von Hunter.

### Energieeffizienz und Nachhaltigkeit

Wegen des großen Leistungssprungs wird Herder wesentlich mehr Strom verbrauchen als Hunter. Energieeffizienz und Nachhaltigkeit spielen daher bei der Planung eine zentrale Rolle. Das System wird in einem neuen Gebäude (HLRS III) untergebracht, das derzeit am HLRS errichtet wird und unter Berücksichtigung von Nachhaltigkeitsaspekten konzipiert wurde (siehe Seite 9.)

Die HPE Cray Supercomputing GX5000 enthält außerdem mehrere Technologien zur Maximierung der Energieeffizienz. Sie nutzt zu 100 % direkte Flüssigkeitskühlung – eine Funktion, die effizient Hitze aus dem System entfernt und für den zuverlässigen Betrieb der dichten AMD MI430X- und Venice-Prozessoren entscheidend ist. In Zusammenarbeit mit HPE plant das HLRS außerdem die Implementierung des dynamischen Energiemanagementansatzes Powersched auf dem neuen System. Das HLRS erhielt im November 2025 einen Umweltmanagementpreis (siehe Seite 27) für seine Zusammenarbeit mit HPE bei der Entwicklung und Erprobung dieses Ansatzes, der die Verteilung der Energie auf die einzelnen Knoten eines Supercomputers automatisch auf der Grundlage der darauf ausgeführten Anwendungen reguliert.

Herder wird für Forschungszwecke in einer Vielzahl von Disziplinen eingesetzt werden, darunter Computerwissenschaft, Ingenieurwesen, Physik, Chemie, Klimawissenschaft und Biomedizin. Er wird zu Fortschritten in der Grundlagenforschung beitragen, der Industrie die Entwicklung besserer Produkte ermöglichen und den öffentlichen Sektor bei der Bewältigung globaler Herausforderungen unterstützen.

## Future-Computing-Gruppe wird neue Technologien evaluieren

Ein neues Team des HLRS untersucht mittels Kooperationen das Potenzial von Quantencomputern, neuromorphen und weiteren neuartigen Rechnerarchitekturen zur Beschleunigung der Arbeitsabläufe seiner Nutzer:innen.

Fortschritte im Hardware-Design in den vergangenen Jahrzehnten haben Geschwindigkeits- und Effizienzsteigerungen bei den führenden Supercomputern ermöglicht, dank derer im Jahr 2022 das Exascale-Level erreicht wurde. Historisch gesehen folgte diese Entwicklung dem Moore'schen Gesetz. Dieses sagte in den 1970er Jahren voraus, dass sich die Anzahl der Transistoren auf einem Mikrochip etwa alle zwei Jahre verdoppeln würde, was zu einer stetigen Steigerung der Rechenleistung und Effizienz führen würde. Die aktuellen Fortschritte wurden mit Grafikprozessoren (GPUs) als Beschleunigern erzielt, die in den meisten der schnellsten Supercomputer der aktuellen Top500-Liste zu finden sind.

In den kommenden Jahren rechnen Experten jedoch damit, dass die stetigen Leistungssteigerungen nach dem Moore'schen Gesetz stagnieren werden. Die Her-

stellung von Mikrochips kann mittlerweile in einer erstaunlichen Größe von nur 2 Nanometern erfolgen, was bedeutet, dass die Miniaturisierung sich ihren physikalischen Grenzen nähert. Und obwohl es möglich wäre, schnellere GPUs zu bauen, wäre dies nur bei höheren Preisen wirtschaftlich rentabel. Demzufolge würden Höchstleistungsrechner (HPC) zunehmend unerschwinglich.

Infolgedessen treibt die HPC-Community ihre Innovationen weiter voran. Parallel zum Einzug der GPUs haben große und kleine Hardware-Unternehmen vielversprechende neue Paradigmen entwickelt, die sich entweder grundlegend von denen traditioneller CPU-basierter und GPU-beschleunigter Systeme unterscheiden oder auf etablierten Architekturen aufbauen und diese innovativ weiterentwickeln. Obwohl viele dieser Ansätze noch nicht ausgereift sind, bergen



Unter der Leitung von Johannes Gebert (zweiter von links) vereint die Future-Computing-Gruppe ein Dutzend Spezialisten für HPC-Hardware und -Software aus verschiedenen Abteilungen des HLRS.

sie das Potenzial, zumindest bestimmte Rechenherausforderungen schneller und mit deutlich weniger Energieaufwand zu lösen als selbst die besten Supercomputer von heute.

Mit Blick auf die Zukunft müssen HPC-Zentren wie das Höchstleistungsrechenzentrum Stuttgart (HLRS) entscheiden, welche dieser neuen Technologien wann eingeführt werden sollen. Denn die Investition in eine neue Technologie ist nicht nur eine finanzielle Entscheidung, sondern kann ein Zentrum auf einen bestimmten technologischen Kurs festlegen, der seine Relevanz im Zuge der weiteren Entwicklung des HPC bestimmt.

Kürzlich hat das HLRS die „Future-Computing-Gruppe“ ins Leben gerufen, um das Potenzial neuer Technologien für Höchstleistungsrechner zu untersuchen und zu prüfen, welche davon den wissenschaftlichen und industriellen Anwender:innen des HLRS gerecht werden. In enger Zusammenarbeit mit Technologieunternehmen wird die Gruppe HPC-Fachwissen bereitstellen, um die industrielle Forschung im Bereich der Computerhardware der nächsten Generation zu unterstützen.

Dr. Johannes Gebert, Leiter der Future-Computing-Gruppe, erklärt: „Wir sind offen für die Zusammenarbeit mit Unternehmen und die Bewertung ihrer Computerparadigmen. Wir müssen verstehen, ob die Hardware die Herausforderungen unserer Anwender lösen kann.“



Dazu müssen wir viele Fragen beantworten. Ist die neue Hardware für bestimmte Algorithmen und Softwarepakete relevant? Überwiegen die Vorteile im Vergleich zu etablierteren Technologien und Unternehmen?“ Da Computerarchitekturen zunehmend heterogen werden, bewertet die Future-Computing-Gruppe, welche Technologiekombination den Anforderungen des HLRS am besten entspricht.

#### Im Wettlauf um optimierte HPC-Technologien mithalten

Das HLRS plant, seinen nächsten Supercomputer, Herder, im Jahr 2027 zu installieren. Wie andere hochmoderne Supercomputer wird auch Herder GPU-Beschleuniger einsetzen. Was nach Herder kommt, ist jedoch noch offen. Das wird in vielerlei Hinsicht davon abhängen, wie sich die Hardware für Höchstleistungsrechner und die Anforderungen der Nutzer:innen in den kommenden Jahren entwickeln.

In der Supercomputing-Community wird Quantencomputing als eine mögliche Ergänzung des Portfolios betrachtet. Bereits heute sind bescheidene Quantensysteme, die auf einer Vielzahl von Architekturen basieren, in Betrieb. Im Zuge der weiteren Forschung ist damit zu rechnen, dass sich mehr als eine einzige Architektur zuverlässig, vielseitig und in der täglichen Praxis einfach verwenden lässt. Eine weitere aufkommende Technologie ist das neuromorphe Computing, dessen Architektur vom menschlichen Gehirn inspiriert ist. Dieser Ansatz verspricht Berechnungen mit ähnlichen Geschwindigkeiten wie die schnellsten heutigen Systeme bei einem Bruchteil des Energieverbrauchs. Die

Dr. Kateryna Bondar (dritte von links) und Mitglieder des Openchip-Teams arbeiten mit dem HLRS zusammen, um die Kompatibilität ihrer RISC-V-Chip-Architektur in typischen groß angelegten HPC-Workflows zu bewerten.

praktische Umsetzung des neuroinspirierten Computing in HPC-Umgebungen ist jedoch noch Zukunftsmusik. In der Zwischenzeit werden weitere interessante Technologien mit dem Ziel entwickelt, Leistungs- und Effizienzsteigerungen mit traditionelleren Architekturen zu erzielen.

In den kommenden Jahren wird die Future-Computing-Gruppe des HLRS die Reife solcher Architekturen bewerten, die Leistung von Algorithmen auf diesen Technologien untersuchen und Software entwickeln. Daraus resultierende wissenschaftliche Veröffentlichungen der Gruppe sollen wissenschaftliche und industrielle Kreise dabei unterstützen, von der Hardware der Zukunft zu profitieren.

#### Kooperation zu neuem Mikrochip-Konzept für HPC

Im November 2025 begann die Future-Computing-Gruppe die erste von mehreren geplanten Partnerschaften zur Technologiebewertung. Das HLRS arbeitet nun mit Openchip zusammen, einem internationalen Unternehmen mit Sitz in Barcelona, das Hochleistungs-Beschleunigerchips, Plattformen und Software-Stacks für fortschrittliche Rechenanwendungen auf Basis des globalen RISC-V-Architekturstandards entwickelt. Mit einem Ansatz zur Beschleunigung, der die Vektorverarbeitung neuartig nutzt, versprechen die System-on-a-Chip-Lösungen von Openchip eine „in Europa entwickelte“ für Höchstleistungsrechner optimierte Technologie, die nachhaltiger und effizienter ist, ohne dass Codes komplex auf GPUs portiert werden müssen. Openchip ist ein Projekt von gemeinsamem europäischem Interesse (IPCEI) und hat sich zum Ziel gesetzt, die digitale Souveränität Europas insgesamt voranzutreiben.

„Selbst die beste Technologie ist nutzlos, wenn niemand sie kaufen oder verwenden möchte. Daher ist es entscheidend, dass unser Produkt wettbewerbsfähig ist und die Bedürfnisse der Nutzer:innen wirklich erfüllt“, sagt Ivan Rodero, Chief Innovation Officer bei Openchip. „Wir arbeiten mit dem HLRS und anderen Zentren zusammen, um besser zu verstehen, welche Anforder-

ungen HPC-Einrichtungen an die Hardware stellen. Durch die Untersuchung eines breiten Spektrums von Anwendungen wollen wir deren Anforderungen klären und sicherstellen, dass Anwendungen auf RISC-V effizient laufen können. Die Future-Computing-Gruppe des HLRS erleichtert diese Zusammenarbeit erheblich und lässt uns echte Innovationen vorantreiben – etwas, das nicht immer einfach ist.“

Die Zusammenarbeit mit Openchip ist nur ein erster Schritt für die Future-Computing-Gruppe. Gebert geht davon aus, dass in den kommenden Monaten mehrere weitere Kooperationen mit Technologie-Startups starten werden.

#### Workshops zu künftigen Computertechnologien

Die Future-Computing-Gruppe hat sich zum Ziel gesetzt, die Community rund um neue HPC-Technologien mithilfe von Wissenstransfer zu unterstützen. Im Januar 2026 organisierte sie eine „Birds of a Feather“-Sitzung auf der SCAsia, dem größten Treffen der asiatischen High-Performance-Computing-Community. Am 16. und 17. März 2026 veranstaltete das HLRS außerdem den Future Computing Workshop in Stuttgart, bei dem Hardware-Anbieter, Entwickler:innen von Forschungssoftware und domänenspezifische Forschende den aktuellen Stand der Höchstleistungsrechnerarchitekturen und das Potenzial neuer Computing-Paradigmen diskutieren.

Laut Gebert spielt das HLRS eine wichtige Rolle bei der Überbrückung der Kluft zwischen Technologieunternehmen und den Wissenschaftler:innen, deren Forschung von ihren Produkten der nächsten Generation profitieren wird: „Das HLRS verfügt über viel Erfahrung in der Unterstützung der computergestützten Forschung. Wir wissen, dass Forschende klare Vorstellungen davon haben, welche Herausforderungen sie mit Zugang zu viel schnelleren HPC-Systemen lösen könnten. Ziel der Future-Computing-Gruppe ist es, die Infrastruktur zu identifizieren, die die Entwicklung von Algorithmen, Software und heterogenen Computing-Workflows optimal unterstützt, um wissenschaftliches Rechnen voranzutreiben.“

## Everllence beschleunigt mit Supercomputern die Dekarbonisierung im industriellen Maßstab

Der Zugriff auf die Systeme des HLRS verschafft den Ingenieur:innen von Everllence Rechenleistung auf Abruf. Zugleich konnten sie ihre Simulationsabläufe vereinheitlichen.

Großmaschinen verursachen weltweit einen erheblichen Teil der CO<sub>2</sub>-Emissionen – Motoren in Kraftwerken oder Containerschiffen sowie in der Zementproduktion. Soll der Übergang zu einer klimaverträglichen Wirtschaft gelingen, muss die Industrie ihre Abhängigkeit von fossilen Brennstoffen deutlich verringern. Gerade Hersteller solcher Anlagen haben hier eine Schlüsselrolle: Sie verfügen über das Know-how und die Ressourcen, um Technologien mit geringeren Emissionen zu entwickeln.

Everllence gehört zu den wichtigen Akteuren in diesem Feld. Das Maschinenbauunternehmen mit Sitz in Deutschland betreibt heute mehr als 140 Standorte weltweit. Bis vor Kurzem firmierte es als MAN Energy Solutions und geht auf die traditionsreiche MAN zurück – ein Unternehmen, das sowohl den ersten Dieselmotor als auch das erste dieselbetriebene Kraftwerk entwickelte. Inzwischen richtet Everllence seinen Fokus neu aus: weg von fossilen Brennstoffen, hin zu Lösun-

gen für die industrielle Dekarbonisierung. Dazu zählen Motoren für alternative Kraftstoffe, effizientere Turbomaschinen, industrielle Wärmepumpen sowie Anlagen zur Abscheidung und Speicherung von Kohlenstoffdioxid.

„Wir wollen gemeinsam mit unseren Kunden den Weg zu Netto-Null-Emissionen ebnen“, sagt Dieter Schwab, Head of Business IT bei Everllence. „Wir entwickeln Technologien, die transformativ sein könnten. Unser Anspruch ist es, mit unserem Produktportfolio den Kurs für nachhaltige Veränderungen zu setzen.“

Simulationen auf Höchstleistungsrechnern sind dafür unverzichtbar. Seit vier Jahren bindet Everllence die Supercomputer des HLRS in seine Produktentwicklung ein. Über die Partner HWW und T-Systems greifen Ingenieurteams weltweit auf diese Ressourcen zu. So entwickeln sie neue Technologien und Lösungen schneller und präziser.



Der Everllence B&W ME-GI Dual-Fuel-Zweitaktmotor kann mit Schiffskraftstoff, Flüssigerdgas, Biomethan und synthetisches Erdgas betrieben werden.

### Simulation für komplexe, maßgeschneiderte Produkte

Everllence ist ein führender Anbieter von Antriebs-, Dekarbonisierungs- und Effizienzlösungen für die Schifffahrt, die Energiewirtschaft und die Industrie. Die Anlagen sind groß und technisch hochkomplex – ohne Simulation lassen sie sich nicht entwickeln. Ein Beispiel: Beim Entwurf eines neuen Schiffsmotors müssen Ingenieur:innen Strömungen beim Gießen von Stahlteilen berechnen oder Verbrennungsprozesse für Kraftstoffe wie Ammoniak oder Methanol vorhersagen. Wer in diesem wettbewerbsintensiven Markt bestehen will, braucht dafür Höchstleistungsrechner (HPC). Sogenannte Supercomputer verkürzen die Entwicklungszeit und erhöhen gleichzeitig die Genauigkeit – beides ist entscheidend, um strenge Spezifikationen zu erfüllen.

Everllence liefert meist keine Serienprodukte, sondern maßgeschneiderte Anlagen. Oft entstehen Einzelstücke oder kleine Serien, die exakt auf die Anforderun-

gen der Kunden abgestimmt sind. Entsprechend früh setzt das Unternehmen Simulationen ein – bereits in der Angebotsphase. Ingenieurteams prüfen so die technische Machbarkeit und entwickeln tragfähige Lösungen, ohne teure Prototypen bauen zu müssen.

Neuere Projekte zeigen, wie stark die zusätzliche Rechenleistung wirkt: So konnten Teams erstmals akustische Simulationen mit gekoppelter Fluid-Struktur-Interaktion durchführen – ein Schritt, der mit früheren internen Systemen nicht möglich war. Auch die Zusammenarbeit über Standorte hinweg hat sich verbessert, nicht zuletzt dank einer gemeinsamen webbasierten Plattform.

Kürzlich wurden beispielsweise Rechenressourcen des HLRS für akustische Simulationen mit Fluid-Struktur-Interaktion eingesetzt, die auf früheren firmeninternen Systemen rechnerisch nicht möglich gewesen wären. Darüber hinaus hat die gemeinsame webbasierte Platt-

form die Zusammenarbeit mit anderen Offshore-Simulationsstandorten erheblich erleichtert.

### Rechenleistung ohne Engpässe

Früher bremsten begrenzte interne Kapazitäten die Simulationsteams aus. Rechenzeit war knapp und begehrt. Große Simulationen ließen sich oft gar nicht auf den eigenen Systemen ausführen. Projekte verzögerten sich wegen langer Wartezeiten, oder das Unternehmen musste externe Ressourcen einkaufen. Die Überwindung dieser Einschränkungen ist von großer Bedeutung, da die Fähigkeit, schnell und effizient zu simulieren, für die Wettbewerbsfähigkeit bei Projektangeboten und in der Produktentwicklung unverzichtbar ist.

Gleichzeitig ergibt sich aus der Nachfrage nach HPC-Hardware wie GPUs und Datenspeichergeräten für Unternehmen wie Everllence ein Problem in der Lieferkette. Da Hardwarehersteller die Anforderungen von großen Rechenzentren und HPC-Einrichtungen nur schwer abdecken können, ist es für Unternehmen außerhalb der IT-Branche schwierig, eigene Hardware zu beschaffen. „Die Preise schwanken stark und auf Komponenten wartet man mitunter ein Jahr“, sagt Schwab. „Diese Abhängigkeit wollen wir vermeiden und für uns ist es wenig sinnvoll, in sie zu investieren.“

Der Zugang zu HPC-Ressourcen am HLRS löste beide Probleme: Simulationsteams bei Everllence können nun bei Bedarf auf leistungsstarke, hochmoderne Rechensysteme für große Simulationen zugreifen. Für Dr. Martin Kaiser, Product Owner für Simulation Process Integration und HPC am Standort Oberhausen, liegt der Vorteil auf der Hand: „Wir müssen unsere Simulationen manchmal auf Tausende Rechenkern skalieren. Einen eigenen Supercomputer zu betreiben, wäre dafür

zu aufwendig. Über das HLRS erhalten wir genau die Leistung, die wir brauchen – und zwar dann, wenn wir sie brauchen.“

Der zentrale Zugriff auf eine leistungsfähige Plattform hat noch einen weiteren Effekt: Everllence konnte seine Simulationsprozesse vereinheitlichen. Laut Kaiser arbeiteten verschiedene Standorte früher mit unterschiedlichen, teils veralteten Lösungen. Heute nutzen sie unternehmensweit gemeinsame Werkzeuge und standardisierte Abläufe. Das erleichtert die Zusammenarbeit und steigert die Effizienz.

### Schnelle Reaktion auf volatile Märkte

Die Technologien von Everllence haben großes Potenzial zur Unterstützung der Dekarbonisierung, doch das Marktumfeld bleibt volatil. Politische Entscheidungen, neue Vorschriften oder geopolitische Konflikte beeinflussen die Nachfrage unmittelbar – etwa nach Wärmepumpen, Schiffsmotoren oder Lösungen für die Kraftstoffindustrie. Gerade deshalb ist der flexible Zugriff auf Rechenleistung entscheidend, denn er erlaubt es dem Unternehmen, schnell auf Veränderungen zu reagieren und Projekte anzupassen.

Trotz aller Unsicherheiten sieht Schwab enorme Chancen: „Über Elektroautos wird viel gesprochen. Aber selbst eine vollständige Umstellung des Pkw-Verkehrs hätte einen geringeren Effekt, als wenn wir beispielsweise die Zementindustrie oder die Fernwärme klimaneutral machen. Hier liegen die großen Hebel.“ Um dieses Potenzial zu erschließen, müssen Forschung und Entwicklung weiter voranschreiten – etwa bei der Abscheidung und Speicherung von CO<sub>2</sub> im industriellen Maßstab. Höchstleistungsrechner wie die Systeme des HLRS bleiben dafür ein zentrales Werkzeug.

## Supercomputing trifft auf Kunst

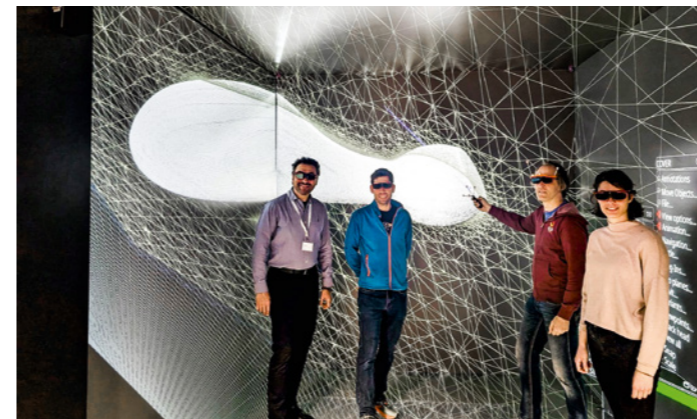
Als Partner des EU-Programms S+T+ARTS EC(H)O unterstützte das HLRS vier Künstlerstipendien und wird theGATE Festival für Kunst, Wissenschaft und Technologie ausrichten.

Das EU-geförderte Programm S+T+ARTS unterstützt Innovationen an der Schnittstelle von Wissenschaft, Technologie und Kunst. Künstler:innen erhalten so Zugang zu neuen Werkzeugen und können kreative Möglichkeiten erweitern. Wissenschaftler:innen gewinnen im Austausch neue Perspektiven für die Herausforderungen der modernen Welt. Im Laufe des Jahres 2025 koordinierte die Initiative das Künstleraufenthaltsprogramm S+T+ARTS EC(H)O. Das Programm unterstützte zehn Kooperationen zwischen Kunst und Wissenschaft, deren Schwerpunkt auf der Förderung ökologisch bewusster und menschenverträglicher digitaler Technologien lag.

Das HLRS ist Teil des S+T+ARTS-Netzwerks und arbeitet mit dem Media Solution Center Baden-Württemberg sowie renommierten europäischen Kunstorganisationen wie Ars Electronica, Sónar und den Salzburger Festspielen zusammen. Während S+T+ARTS EC(H)O kamen vier Künstler:innen für längere Zeit ans HLRS. In einem Projekt namens *VR Terroir* entwickelte Bernat Cuni einen Algorithmus, der einen humanoiden Avatar

in der Virtual-Reality-Umgebung des HLRS generiert und visualisiert. Während der Avatar durch eine datenreiche Umgebung läuft, sammelt er visuelle Spuren seiner Erfahrungen. In *Looping* simulierte und visualisierte Oliver Kruse gemeinsam mit dem Forscher Thomas Obst vom HLRS den helikopterähnlichen Flug eines vergrößerten Ahornsamens. Das Experiment liefert neue Erkenntnisse über das Fliegen und ist damit auch für die Luftfahrttechnik relevant. Zudem schafft es eine Grundlage für Forschungsarbeiten, die in die Konstruktion einer fliegenden Skulptur einfließen könnten. Im Projekt *HPC Data Symphonies* entwickelte Dr. Kirell Benzi ein Visualisierungstool, das in Echtzeit Einblicke in die Nutzung des Höchstleistungsrechners des HLRS liefert. Schließlich besteht Merve Sahins *Merging Visions* aus einem digitalen Zwilling des Salzburger Festspielhauses, das in einen Berghang gebaut ist. Mithilfe von 3D-Visualisierungen lassen sich die Wechselwirkungen zwischen der soziokulturellen Geschichte und den ökologischen Dimensionen des Ortes erleben.

Die Ergebnisse dieser Projekte – sowie weiterer Arbeiten, die Wissenschaft, Technologie und Kunst miteinander verbinden – werden am HLRS vom 18. bis 22. Mai 2026 beim theGATE Festival präsentiert. Diese internationale Veranstaltung umfasst eine Kunstausstellung, eine Konferenz für Fachleute aus dem Bereich Wissenschaft/Kultur und einen Workshop für Künstler:innen, die sich für Möglichkeiten zur Integration computergestützter Technologien in ihre Arbeit interessieren.



Der Künstler Oliver Kruse (links) hat gemeinsam mit der Visualisierungsabteilung des HLRS untersucht, wie ein Ahornsamen durch die Luft fliegt und wie dies in einer fliegenden Skulptur nachgebildet werden könnte.

# Workshops zur Code-Portierung erleichtern den Wechsel zu GPUs

Die Nutzer:innen der HLRS-Systeme arbeiteten eng mit den Mitarbeitern des HLRS User Support sowie Vertretern von HPE und AMD zusammen, um ihre Simulationssoftware für Hunter anzupassen.

In der HPC-Branche hat der Bedarf an schnelleren und energieeffizienteren Supercomputern einen Wandel von rein CPU-basierten hin zu GPU-beschleunigten Architekturen vorangetrieben. Die meisten der schnellsten Rechner weltweit nutzen inzwischen GPUs – auch der aktuelle HLRS-Supercomputer Hunter. Für viele langjährige HLRS-Nutzer:innen bringt dieser Wandel jedoch Herausforderungen mit sich. Zahlreiche Simulationscodes wurden ursprünglich für CPUs entwickelt und laufen nicht ohne Weiteres auf GPUs. Diese Codes umzubauen ist aufwendig – vor allem für Forschende und Ingenieur:innen, die nicht täglich programmieren.

Um den Umstieg zu erleichtern, veranstaltete das User Support Team des HLRS im Jahr 2025 drei einwöchige Workshops zur Code-Portierung. Die Workshops führten in die GPU-Portierung und das Offloading auf AMD-Prozessoren ein und boten viel Zeit für praktische Arbeit. Schon vor Beginn konnten die Teilnehmenden

ihre Codes mit HLRS-Mitarbeitenden besprechen und konkrete Ziele festlegen. Während der Workshops arbeiteten sie eng mit HLRS-Expert:innen sowie Fachleuten von AMD und HPE zusammen. Diese unterstützten mit ihrem Wissen über die Hunter-Architektur und passende Programmieretechniken.

Zu den Teilnehmenden gehörte auch Timo Seitz vom Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt. Er nutzt den Code TASC3D, um Turbulenzen in Raketenbrennkammern zu simulieren. Im Workshop analysierte er seinen Code gezielt, um besonders rechenintensive Teile zu finden. Diese lassen sich auf GPUs auslagern und so beschleunigen. „Die Workshops waren hilfreich, weil immer ein Experte direkt verfügbar war“, sagt Seitz. „Sie konnten den Code prüfen und konkrete Vorschläge machen – etwa wie sich schwierige Routinen auslagern lassen oder wie man Compiler-Probleme löst. Wenn jemand nicht weiterkam, standen andere Kollegen bereit, um zu helfen. Nach einer Woche haben wir deutliche Fortschritte erreicht.“ Seitz hat TASC3D inzwischen erfolgreich auf Hunter übertragen. Allerdings muss er die numerische Methode noch weiter anpassen, damit der Code effizient läuft. Auch im Jahr 2026 bleibt das Ziel des HLRS klar: Nutzer:innen bei der GPU-Portierung unterstützen und die Rechenleistung ihrer Anwendungen weiter steigern.

Jeder Workshop dauerte eine ganze Woche, sodass Systemnutzer:innen gezielt an bestimmten Funktionen der Codes arbeiten konnten.



# Gute Beratung dank Green-IT-Kompetenz

Seit der Verabschiedung des deutschen Energieeffizienzgesetzes stehen Betreiber von IT-Infrastrukturen unter steigendem Druck, Energie bewusster zu nutzen. Auf Grundlage seiner langjährigen Erfahrung berät das HLRS Unternehmen dabei, wie sie dies umsetzen können.



Dr. Norbert Conrad (Mitte), Umweltmanagementbeauftragter des HLRS, nahm die Auszeichnung im Namen des Zentrums in Berlin entgegen.

Laut einer Studie des Fraunhofer IZM aus dem Jahr 2023 wird der zunehmende Einsatz von Informationstechnologien in allen Branchen in den kommenden zehn Jahren zu einem weiteren Anstieg des Energieverbrauchs in Deutschland führen. Angesichts der Risiken im Zusammenhang mit Energieknappheit und der Rolle der CO<sub>2</sub>-Emissionen als Treiber des Klimawandels hat die Bundesregierung 2023 das Energieeffizienzgesetz (EnEfG) verabschiedet. Diese Reihe von Vorschriften zielt darauf ab, den Energieverbrauch im privaten und öffentlichen Bereich strategisch zu senken. Das EnEfG verpflichtet beispielsweise Betreiber von IT-Infrastrukturen, den Energieverbrauch zu erfassen, Energie- und Umweltmanagementsysteme einzuführen sowie Abwärme nach Möglichkeit zu nutzen.

Für viele Organisationen, die der Energieeffizienz im IT-Betrieb bislang keine Priorität eingeräumt hatten, war die Erfüllung der Anforderungen des EnEfG eine

Herausforderung. Für das HLRS waren diese jedoch nichts Neues. Seit fast 15 Jahren arbeitet das Zentrum kontinuierlich daran, sowohl die Energieeffizienz im Supercomputing als auch die Nachhaltigkeit in seiner gesamten Organisation zu verbessern. Im Jahr 2019 wurde es als erstes Höchstleistungsrechenzentrum nach dem Eco-Management and Audit Scheme (EMAS) zertifiziert, dem weltweit anspruchsvollsten Rahmenwerk für Energie- und Umweltmanagement in Organisationen. Seitdem hat das HLRS seine EMAS-Zertifizierung kontinuierlich aufrechterhalten, eine Leistung, die weitere Anstrengungen zur Verbesserung der Energieeffizienz erfordert. Dementsprechend erfüllte das Zentrum die Anforderungen bereits bei Inkrafttreten des EnEfG.

Diese Führungsrolle als energieeffizienter Rechenzentrumsbetrieb hat das HLRS zu einer wertvollen Ressource für andere Organisationen gemacht, die ihre

Energieeffizienz verbessern möchten. So beriet Dr. Norbert Conrad, Leiter des HLRS-Nachhaltigkeitsteams, beispielsweise 2025 das Leibniz-Rechenzentrum bei dessen erfolgreicher EMAS-Zertifizierung und diskutierte mit einem privaten Cloud-Dienstleister dessen effiziente Energiemanagementmaßnahmen. Kürzlich nahm er an einer Veranstaltung des baden-württembergischen Ministeriums für Wissenschaft, Forschung und Kunst teil, um mit Kunst- und Kulturinstitutionen über das Thema Green IT zu sprechen. Dank seiner Teilnahme an Konferenzen wie der Bundesfachkonferenz Abwärme und in einem Beirat für Energiemanagement und Abwärmenutzung an der Universität Stuttgart hat er die Nachhaltigkeitsansätze des HLRS aktiv gefördert.

„Ich sage immer: ‚Tue Gutes und sprich darüber‘“, erklärt Dr. Conrad. „Wenn ich die Zeit dafür finde, halte ich gerne Vorträge, und wenn ich einen kleinen Beitrag zur Verbesserung der Nachhaltigkeit in anderen Organisationen leisten kann, tue ich das.“

#### Nachhaltigkeitskompetenz am HLRS hat weitreichende Auswirkungen

Als Bundeshöchstleistungsrechenzentrum ist es Teil der Mission des HLRS, Wissen zu erweitern und zum Nutzen der Gesellschaft weiterzugeben. Nachhaltigkeit ist dabei seit Langem ein zentraler Bestandteil der Strategie des Zentrums. Mehrere Mitarbeitende aus dem Nachhaltigkeitsteam haben das HLRS inzwischen verlassen. Sie bringen ihr dort erworbenes Fachwissen nun ein, um andere Rechenzentren beim Aufbau und der Verbesserung ihres Umweltmanagements zu unterstützen.

Eine ehemalige Mitarbeiterin ist Valeriia Lesnova, die im Projekt DEGREE die Optimierung der Nutzung freier Kühlung für den Supercomputer des Zentrums erforschte. Heute ist Lesnova Projektmanagerin für den Rechenzentrumsbetrieb bei Umwelttechnik BW, der Landesagentur für Umwelttechnik und Ressourceneffizienz Baden-Württemberg. Von ihrem zentralen Knotenpunkt innerhalb der digitalen Gemeinschaft Baden-Württembergs hat sie Unternehmen mit dem

HLRS vernetzt, um sie zu beraten und das Bewusstsein für die Kompetenz des Zentrums zu schärfen.

Darüber hinaus leitet die ehemalige HLRS-Mitarbeiterin Dr. Brigitte Lorenz seit 2021 das Green Office der Universität Stuttgart. Aufbauend auf den am HLRS gesammelten Erfahrungen hat sie kürzlich die Zertifizierung des Rechenzentrums der Universität (Technische Informations- und Kommunikationsdienste, TIK) nach der Norm ISO 50001 für energieeffizienten Betrieb begleitet. Außerdem arbeitet sie an der ISO 50001-Zertifizierung für die gesamte Universität Stuttgart und möchte in Zukunft sowohl für das TIK als auch für die Universität eine EMAS-Zertifizierung beantragen.

Als eines der drei Bundeshöchstleistungsrechenzentren wird der Betrieb einer hochmodernen Infrastruktur für Simulationen und KI weiterhin einen großen Stromverbrauch voraussetzen. Die Erfolge des HLRS im Bereich Energieeffizienz und Nachhaltigkeit im Supercomputing zeigen jedoch, dass es sich seit Langem für einen verantwortungsvollen Umgang mit diesen Ressourcen einsetzt. Durch den Austausch von Best Practices mit anderen Organisationen hilft das Zentrum IT-Infrastrukturbetreibern deutschlandweit dabei, dieses Ziel ebenfalls zu erreichen – zum Nutzen der Wissenschaft, der Wirtschaft, des öffentlichen Sektors und der Gesellschaft insgesamt.



Im Jahr 2025 hat das HLRS erfolgreich ein umfassendes Umweltmanagement-Audit absolviert, was zur Rezertifizierung nach dem EMAS-System führte. Das HLRS war das erste Höchstleistungsrechenzentrum, das die EMAS-Zertifizierung erhielt. Es hält diese seit 2019 ununterbrochen.

## Nachhaltigkeits-Highlights 2025

### HLRS gewinnt Umweltmanagementpreis 2025

Das HLRS wurde mit dem Umweltmanagementpreis 2025 in der Kategorie „Beste Maßnahme zur Verbesserung der Energieeffizienz“ ausgezeichnet. Der Preis wurde während der Konferenz „30 Jahre EMAS – ein nachhaltiger Erfolg“ in Berlin verliehen und würdigt den Einsatz der innovativen Energiemanagementlösung Powersched, die das HLRS in Zusammenarbeit mit Hewlett Packard Enterprise (HPE) entwickelt hat. Powersched wurde im Jahr 2024 auf dem Supercomputer Hawk des HLRS implementiert und verteilt die verfügbare Leistung gezielt auf die Rechenknoten des Supercomputers. Wie viel Energie jeder Knoten erhält, hängt davon ab, welche Anwendung zu einem bestimmten Zeitpunkt darauf ausgeführt wird. Das System überwacht und reguliert kontinuierlich die Leistungsverteilung, um jederzeit ein optimales Gleichgewicht aufrechtzuerhalten und sich an Änderungen im Energie- und Lastbudget des HLRS anzupassen. Mit Powersched konnte das HLRS den Stromverbrauch von Hawk um etwa 20 Prozent senken, ohne die Rechenleistung zu beeinträchtigen. Der Umweltmanagementpreis wird vom Bundesministerium für Umwelt, Klimaschutz, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMUV) gemeinsam mit dem österreichischen Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Klimaschutz, Umwelt, Regionen und Gewässer (BMLUK) organisiert.

### EMAS-Rezertifizierung nach erfolgreichem Audit

Im Jahr 2019 wurde das HLRS als erstes Höchstleistungsrechenzentrum nach dem Eco-Management and Audit Scheme (EMAS) der Europäischen Union zertifiziert, dem weltweit anspruchsvollsten Rahmenwerk für die Umwelleistung von Organisationen. EMAS verlangt eine kontinuierliche Verbesserung der Umwelleistung sowie alle drei Jahre ein umfassendes Audit. Im Jahr 2025 hat das HLRS sein zweites großes Erneuerungsaudit erfolgreich abgeschlossen und ist nun zum dritten Mal nach EMAS zertifiziert worden. Diese Leistung spiegelt das kontinuierliche Engagement des HLRS


wider, auf vielfältige Weise auf Nachhaltigkeit hinzuwirken, darunter die Maximierung der Energieeffizienz beim Betrieb seiner Supercomputer, die bevorzugte Verwendung nachhaltiger Produkte, die Förderung der Biodiversität auf dem umliegenden Campus und die Pflege einer Kultur des Umweltbewusstseins und der nachhaltigen Entscheidungsfindung unter allen HLRS-Mitarbeitenden. Ein zentraler Bestandteil von EMAS ist die Umwelterklärung, die über die Umwelleistung des HLRS berichtet und umfassende Informationen über seine Aktivitäten, Ziele und Ergebnisse in Bezug auf Umwelt und Nachhaltigkeit liefert.

### Hunter unter den Top 3 % der energieeffizientesten Supercomputer weltweit

Eines der mit Spannung erwarteten Ereignisse der jährlichen ISC High Performance Konferenz ist die Bekanntgabe der aktuellen TOP500- und Green500-Listen. Die zweimal jährlich veröffentlichten Listen bewerten die weltweit leistungsstärksten Supercomputer hinsichtlich ihrer Höchstgeschwindigkeit bzw. Energieeffizienz. Bei seinem Einzug in die Green500-Liste im Juni 2025 belegte der Supercomputer Hunter des HLRS den 12. Platz. Die Green500-Liste bewertet alle Top500-Systeme anhand ihrer HPL-Benchmark-Leistung pro Watt Energieverbrauch. Hunter erreichte eine Energieeffizienz von 64.653 Gigaflops pro Watt.

### Baubeginn für Abwärmenutzungszentrale

Parallel zum Baubeginn von HLRS III erfolgte der erste Spatenstich für die Installation neuer Anlagen zur Abwärmenutzung des künftigen Supercomputers Herder. Von September 2025 an wurde die Nobelstraße in beide Richtungen gesperrt, um einen Tunnel unter der Fahrbahn zu verlegen, der das HLRS III mit dem Fernwärmenetz der Universität Stuttgart verbindet. Dieser Ansatz wird den Heiz- und Prozesswärmebedarf der Universität senken und damit einen wesentlichen Beitrag zu ihren Dekarbonisierungsbemühungen leisten.



Internationale wissenschaftliche Zusammenarbeit fördert den Austausch wertvollen Fachwissens. In Partnerschaft mit dem National Center for High-Performance Computing in Taipeh, Taiwan, entwickelt das HLRS einen digitalen Zwilling des hier abgebildeten Yangmingshan-Nationalparks. Diese Erfahrung könnte zu besseren Simulationsmethoden für die Vorhersage und Bewältigung von Waldbränden und Erdbeben führen – auch in Deutschland.

# Gemeinsam die Zukunft bauen

## Zusammenarbeit als Schlüssel für Fortschritt im Supercomputing

**Dank solider Partnerschaften mit anderen Zentren auf Landes-, nationaler, europäischer und internationaler Ebene kann das HLRS seinen Nutzer:innen bessere Ressourcen, Services und Fachwissen anbieten.**

Spitzenforschung lebt von Zusammenarbeit. Besonders an den Grenzen der Forschung ist die Kollaboration zwischen Expert:innen mit sich ergänzenden Kompetenzen entscheidend, um neue Forschungsfragen zu identifizieren.

Dies gilt auch für das Höchstleistungsrechnen (HPC), ein multidisziplinäres Forschungsgebiet, das einerseits Spitzentechnologien und andererseits modernste Anwendungen miteinander vereint. Aufgrund der stetig wachsenden Nachfrage nach Simulationen und KI in Forschung und Technik entwickelt sich auch das Höchstleistungsrechnen rasant weiter. Dazu tragen spezialisiertes Fachwissen im Hardware-Design, im System- und Anlagenbetrieb sowie in der Softwareprogrammierung bei. Für HPC-Zentren wie das Höchstleistungsrechenzentrum Stuttgart (HLRS) ist der enge Austausch zwischen Entwickler:innen, Systemexpert:innen und Nutzer:innen zentral. Nur so können sie ihre Rechner und Dienste an die Bedürfnisse der Forschung anpassen. Auch die Zusammenarbeit mit anderen HPC-Zentren weltweit spielt eine wichtige Rolle. Sie hilft dabei, neue Technologien schneller zu erproben und ihre Möglichkeiten voll auszuschöpfen.

Der Gedanke der Zusammenarbeit ist seit jeher fest in der DNA des HLRS verankert. Als Bundeshöchstleistungsrechenzentrum und Mitglied des Gauss Centre for

Supercomputing arbeitet es eng mit dem Jülich Supercomputing Centre und dem Leibniz-Rechenzentrum zusammen, um deutschen und europäischen Forschenden den Zugang zu Spitzentechnologien zu ermöglichen. Das HLRS ist zudem an Dutzenden von kooperativen Supercomputing-Forschungsprojekten beteiligt und hat Solution Centers mitaufgebaut, in denen Akteure strategischer Branchen Lösungen für gemeinsame Herausforderungen entwickeln. Darüber hinaus arbeitet das HLRS eng mit anderen europäischen HPC-Zentren und internationalen Partnern aus der globalen Supercomputing-Community zusammen. Diese Beziehungen ermöglichen den Austausch neuer Ideen zur Verbesserung von Leistung, Effizienz und Benutzerfreundlichkeit. Mit den Schwerpunkten Infrastruktur, Aus- und Weiterbildung sowie Forschung fördern diese Aktivitäten Innovationen.

„Letztendlich arbeitet das HLRS mit anderen HPC-Zentren zusammen, um das bestmögliche Portfolio an Ressourcen und Dienstleistungen anbieten zu können – lokal, national und europaweit“, sagt Prof. Michael Resch, Direktor des HLRS. „Von Systemen über Support und Schulungen bis hin zur Forschung stellen unsere Kooperationsaktivitäten sicher, dass HPC-Nutzer:innen in Europa von dem gebündelten Wissen profitieren und dass das HLRS die tragfähigsten Ideen aus der gesamten internationalen HPC-Community umsetzt.“



Seit 2020 koordiniert das HLRS die Projekte EuroCC und CASTIEL, die durch die Einrichtung und Vernetzung nationaler Kompetenzzentren den Aufbau einheitlicherer HPC-Kapazitäten in ganz Europa gefördert haben.

### Koordinierung der Infrastruktur: ein integrierter Ansatz für HPC in Baden-Württemberg

Mit mehreren großen Universitäten und einer vielfältigen Hochschullandschaft in technischen Disziplinen ist die Wissenschaft im Land Baden-Württemberg seit Langem auf den Zugang zu HPC-Ressourcen angewiesen. Einrichtungen arbeiten landesweit innerhalb der Arbeitsgemeinschaft der wissenschaftlichen Leiter von Rechenzentren in Baden-Württemberg (ALWR) zusammen, um die Nutzung, Zugänglichkeit und Wirkung digitaler Ressourcen und Fachkenntnisse zu optimieren. Die Bemühungen begannen bereits Anfang der 1990er Jahre. Einen großen Schub erhielt das Projekt jedoch 2008 mit der Initiative bwGRID. Ihr Ziel war es, eine landesweite, vernetzte Recheninfrastruktur aufzubauen. Das HLRS beschaffte dafür Hardware mit Mitteln des Bundes. Das Land Baden-Württemberg finanzierte Personal und die weitere Entwicklung.

Um 2013 entstand aus dieser Initiative bwHPC. Dahinter steht das erste landesweite Konzept in Deutschland, das Hoch- und Höchstleistungsrechner sowie Fachwissen koordiniert. bwHPC verfolgt einen mehrstufigen Ansatz. Die beteiligten Rechenzentren übernehmen unterschiedliche Aufgaben – je nach Leistung und Größe ihrer Systeme. So ergänzen sie sich, statt um Fördermittel zu konkurrieren. Darüber hinaus finden

Studierende und Forschende in Baden-Württemberg dadurch leichter die passenden Rechner für ihre Arbeit. Sie können je nach Bedarf Allzwecksysteme nutzen oder sehr große Supercomputer am HLRS. Mit den Jahren ist bwHPC weitergewachsen, sodass es mittlerweile eine gemeinsame Plattform für den Datenaustausch, mehrere Kompetenzzentren und Weiterbildungsangebote umfasst.

Derzeit koordiniert bwHPC den Zugang zu fünf Clustern, die allgemeine Rechenkapazitäten für Studierende und Forschende aus bestimmten wissenschaftlichen Anwendergruppen bereitstellen. Für Anwender:innen, die für rechenintensive Aufgaben Zugang zu hochparallelen Höchstleistungsrechnern benötigen, betreibt das Karlsruher Institut für Technologie (KIT) HoreKA, ein Tier-2-System innerhalb von bwHPC. Der Supercomputer Hunter des HLRS dient derzeit als Tier-0/1-HPC-System innerhalb des bwHPC-Konsortiums, das als Ressource für die anspruchsvollsten Anwendungen genutzt wird. Diese Aufstellung der Rechenkapazitäten bietet einen einheitlichen Rahmen, innerhalb dessen Nutzer:innen ihr Wissen und ihre Codes von kleinen Clustern bis hin zu Hoch- und Höchstleistungsrechnern skalieren können, wenn ihre Forschungs- und Rechenanforderungen wachsen.

Diese Organisation verbindet Wissenschaftler:innen in Baden-Württemberg zudem mit den nationalen und internationalen Communities. Das Scientific Computing Center des KIT ist Teil des Verbunds für Nationales Hochleistungsrechnen (NHR), während das HLRS die Forschung in Baden-Württemberg mit den Rechenressourcen des Gauss Centre for Supercomputing verbindet. Dies ermöglicht einen ständigen Wissensaustausch über die neuesten HPC-Technologien und -Methoden im gesamten bwHPC-Netzwerk. Dieser Ansatz erstreckt sich auch auf die Kompetenzentwicklung für HPC-Nutzer:innen, da das Schulungsprogramm des HLRS über das gesamte bwHPC-Netz zugänglich ist und regionale, nationale sowie internationale Programme zur beruflichen Weiterbildung miteinander verknüpft.

### Kompetenzentwicklung und Wissensaustausch: Aufbau von europaweitem Fachwissen

Seit 2018 verfolgt die EuroHPC Joint Undertaking (JU) eine gemeinsame Strategie, die Europas Wettbewerbsfähigkeit bei Simulation, künstlicher Intelligenz und Quantencomputing stärken soll. Die EuroHPC JU setzt auf Zusammenarbeit statt Konkurrenz zwischen den Mitgliedstaaten. So hat sie den Aufbau leistungsfähiger Rechensysteme in vielen EU-Ländern begleitet. Außerdem hat sie ein Netzwerk von AI Factories und AI Factory Antennas aufgebaut und unterstützt ein breites Portfolio an Schulungsinitiativen zur Förderung der HPC-Kompetenzentwicklung. Diese Maßnahmen stär-

ken die Kompetenzen im Höchstleistungsrechnen und in der KI. Gleichzeitig verringern sie die Abhängigkeit von außereuropäischen, privaten Anbietern.

Die beiden vom HLRS koordinierten Projekte EuroCC und CASTIEL zahlen stark auf diese Ziele ein. Seit 2020 haben die Programme ein Netzwerk aus nationalen Kompetenzzentren (NCCs) und Exzellenzzentren in 33 europäischen Ländern aufgebaut. Dank des kontinuierlichen Wissensaustauschs wächst die HPC-Expertise europaweit. Jedes NCC dient heute als zentrale Anlaufstelle für Wissenschaft und Industrie, wo Nutzende Unterstützung und Zugang zu Rechenkapazitäten erhalten. Das Netzwerk sorgt so dafür, dass HPC-Angebote in Europa unabhängig vom Standort zugänglich sind.

„Die Bewerbung um die Koordination von EuroCC und CASTIEL war für uns eine strategische Entscheidung“, sagt Dr. Bastian Koller, Geschäftsführer des HLRS und Leiter der EuroCC- und CASTIEL-Initiativen. „Uns war immer klar, dass andere europäische HPC-Zentren größere Supercomputer betreiben würden. Das schnellste System in Europa zu haben, war nie unser Kernziel. Stattdessen wollten wir als Koordinator dieser Projekte für die EuroHPC JU die enorme Wissensbasis und Expertise in Europa bündeln. Davon profitieren wir auch in Deutschland, weil wir viel von anderen Zentren lernen können. Zugleich zeigen die vielen Erfolgsgeschichten in den NCCs, dass diese Zusammenarbeit europaweit Wirkung entfaltet.“



Das HLRS arbeitet seit 2004 mit dem Cyberscience Center der Tohoku-Universität in Sendai, Japan, zusammen. Im Rahmen einer halbjährlichen Konferenz stehen Forschungsarbeiten im Mittelpunkt, die auf die Optimierung der Simulationsleistung abzielen.



Ein anhand von Drohnenaufnahmen erstellter digitaler Zwilling des Yangmingshan-Nationalparks ermöglicht es, dessen beeindruckende Landschaft mittels Virtual Reality in Stuttgart zu erkunden. Im weiteren Verlauf des Projekts werden die Forschenden Methoden des maschinellen Lernens in das Modell integrieren, um Merkmale in Vegetation, Landschaft und Geologie zu identifizieren, die zur Vorhersage von Waldbrand- oder Erdbehrisiken beitragen könnten. Die Ergebnisse werden dem HLRS dabei helfen, künftige digitale Zwillinge zu entwickeln, die für das Management ähnlicher Umweltgefahren in Deutschland genutzt werden könnten.

Das HLRS hat zudem das HPC in Europe Portal ([hpc-portal.eu](http://hpc-portal.eu)) mitaufgebaut. Die Plattform ging 2025 online und dient als zentrale Anlaufstelle für Nutzer:innen aus Wissenschaft und Industrie. Dort finden sie HPC-Dienstleister, Schulungsangebote und weitere Ressourcen. Außerdem bringt das HLRS seine Erfahrung in der Fort- und Weiterbildung in Projekte wie EVITA und HPC SPECTRA ein. Diese Programme erleichtern den Zugang zu aktuellen Lehrangeboten für HPC-Anwender:innen in ganz Europa.

#### Gemeinsame Forschung: Anbindung an die globale HPC-Community

Trotz verschiedener politischer, wirtschaftlicher und sozialer Bedingungen stehen HPC-Zentren weltweit vor ähnlichen Herausforderungen. Leistungsoptimierung, Energieeffizienz, Personalschulung und die Notwendigkeit, Rechenkapazitäten in praktische Anwendungen für die Gesellschaft zu übersetzen, sind beispielsweise Themen, mit denen sich HPC-Zentren überall auseinandersetzen müssen. Obwohl HPC-For-

schung oft aus lokalen Anforderungen entsteht, liefert sie häufig Ideen für ähnliche Ansätze in anderen Regionen. Internationale Zusammenarbeit hilft, solche Ansätze schneller zu verbreiten. Gleichzeitig stärken internationale Kontakte auch das Miteinander. Sie schaffen informelle Verbindungen, fördern das Verständnis zwischen Kulturen und unterstützen Zusammenarbeit über Grenzen hinweg.

Das HLRS arbeitet seit vielen Jahren eng mit führenden Forschungs- und Hochschuleinrichtungen weltweit zusammen. Aktuell bestehen 13 formelle Partnerschaften mit HPC-Zentren und Universitäten in Europa, Asien und Amerika. Hinzu kommen zahlreiche informelle Kooperationen (siehe Karte, Seite 34 – 35). Im Mittelpunkt stehen gemeinsame Themen rund um das Höchstleistungsrechnen. Daraus sind gemeinsame Forschungsprojekte, Austauschprogramme für Mitarbeitende, Workshops, Bildungsangebote und Kooperationen mit der Industrie entstanden.

Eine der engsten und ältesten internationalen Kooperationen des HLRS besteht mit dem Fachbereich Informatik der Tohoku-Universität in Sendai, Japan. Die Partnerschaft begann im Jahr 2004, da sowohl Tohoku als auch das HLRS Vektorrechner von NEC betrieben. Zu dieser Zeit galten Vektorarchitekturen für manche bereits als überholt – jedoch nicht für das HLRS und die Tohoku-Universität – da solche Systeme ihren Nutzer:innen weiterhin sehr gute und stabile Leistung lieferten. Seitdem treffen sich Forschende beider Einrichtungen zweimal im Jahr zum „Workshop on Sustained Simulation Performance“. Die Technik hat sich zwar seither deutlich weiterentwickelt, der regelmäßige Austausch hilft allerdings weiterhin, die Leistung moderner HPC-Systeme besser zu verstehen und zu steigern. Eine jährlich erscheinende Buchreihe hält die Ergebnisse dieser Treffen für die HPC-Community fest.

Aus einer Kooperation, die 1999 begann, hat sich kürzlich auch eine Zusammenarbeit mit dem National Center for High-Performance Computing (NCHC) in Taipei entwickelt. Im Jahr 2025 reiste Dr. Uwe Wössner, Leiter der Visualisierungsabteilung des HLRS, gemeinsam mit Forschenden des NCHC in den Yangmingshan-Nationalpark nördlich von Taipei – ein von vulkanischer Aktivität geprägtes Gebiet. Mit einer Drohne führte das Team 3D-Scans unter Einsatz von Multispektral-Bildsensoren und Photogrammetrie durch. Aus den Daten erstellten sie einen digitalen Zwilling des Parks, die sich in der CAVE-Virtual-Reality-Umgebung des HLRS untersuchen lässt. Die Forschenden können darin verschiedene Pflanzenarten unterscheiden. Künftig soll ein Lernalgorithmus Vegetation und Landschaftsmerkmale automatisch erkennen. Im weiteren Verlauf des Projekts wollen die Forschenden auch geologische und weitere Daten einbinden. So kann die Parkverwaltung die Risiken wie Waldbrände, Erdbeben oder Erdbeben besser einschätzen. Für das HLRS sind die dabei gewonnenen Erfahrungen auch für künftige Projekte mit digitalen Zwillingen in Deutschland wertvoll.

#### Gemeinsam globale Herausforderungen angehen

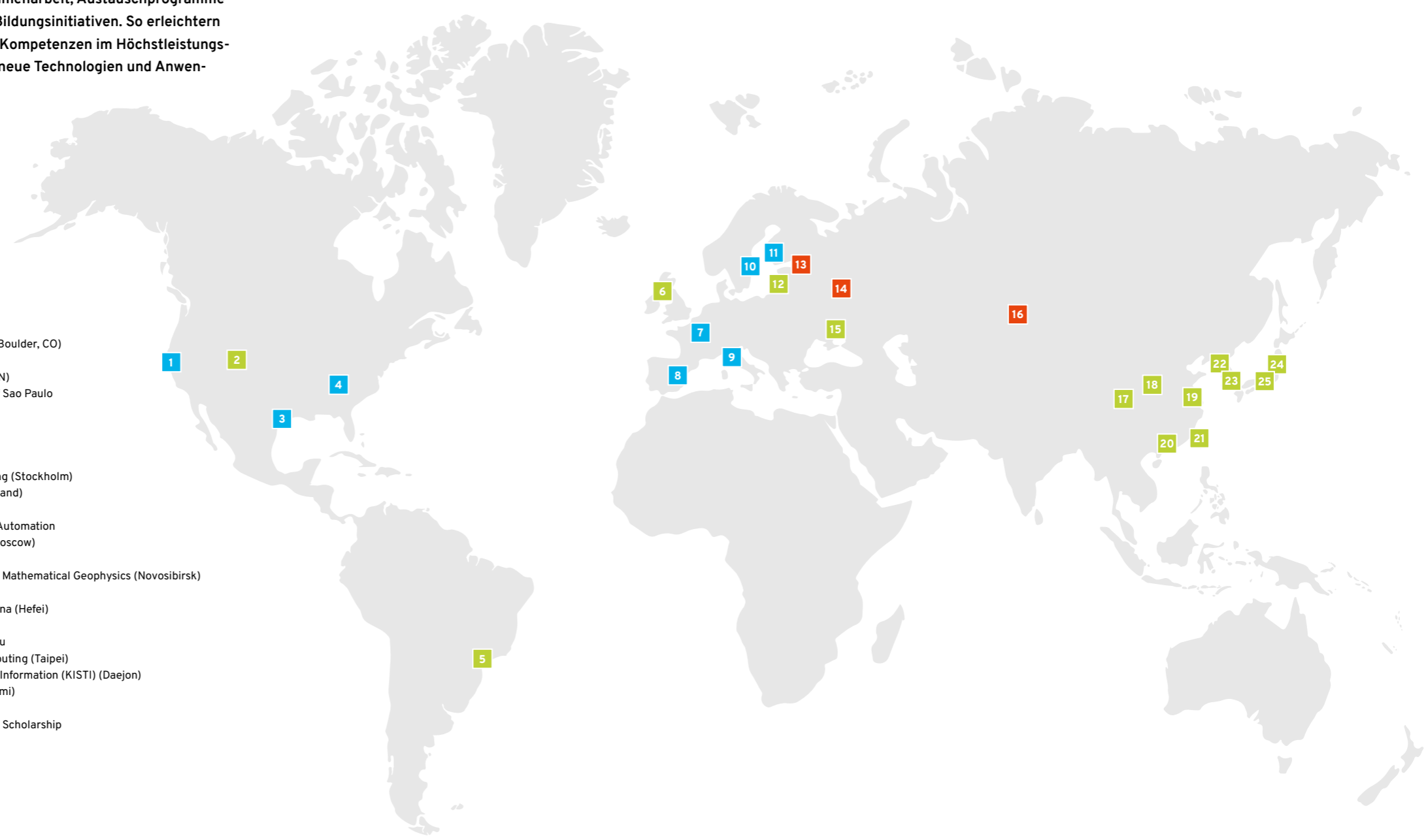
Obwohl Höchstleistungsrechnen bei der Lösung komplexer Probleme in Forschung, Industrie und Gesellschaft helfen kann, wird Rechenleistung allein niemals ausreichen. Neue Technologien wie Exascale-Computing, künstliche Intelligenz und Quantencomputing verändern das Feld derzeit grundlegend. In einer so turbulenten Zeit bleiben Zusammenarbeit, gemeinsames Forsuchen und der Austausch von Wissen umso wichtiger. Der enge Kontakt zur internationalen HPC-Community hilft dem HLRS, neue Technologien sinnvoll einzusetzen. So können ihre Vorteile möglichst vielen zugutekommen, nachhaltig genutzt werden und die Nutzer:innen des Zentrums bestmöglich von ihnen profitieren.

# Internationale Partner

Das HLRS kollaboriert mit diversen wissenschaftlichen Einrichtungen und Höchstleistungsrechenzentren weltweit. Diese Partnerschaften fördern die wissenschaftliche Zusammenarbeit, Austauschprogramme für Mitarbeitende und gemeinsame Bildungsinitiativen. So erleichtern sie den Wissenstransfer, stärken die Kompetenzen im Höchstleistungsrechnen und bieten die Möglichkeit, neue Technologien und Anwendungen zu erproben.

- 1 Lawrence Berkeley National Laboratory
- 2 National Center for Atmospheric Research (Boulder, CO)
- 3 University of Houston
- 4 Oak Ridge National Laboratory (Knoxville, TN)
- 5 Institute for Advanced Studies, University of Sao Paulo
- 6 EPCC, University of Edinburgh
- 7 GENCI (Paris)
- 8 Barcelona Supercomputing Center
- 9 CINECA (Bologna)
- 10 PDC Center for High Performance Computing (Stockholm)
- 11 CSC – IT Center for Science Ltd. (Espoo, Finland)
- 12 Talinn Institute of Technology
- 13 St. Petersburg Institute for Informatics and Automation
- 14 Keldysh Institute of Applied Mathematics (Moscow)
- 15 Donetsk National Technical University
- 16 Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics (Novosibirsk)
- 17 Wuhan University
- 18 University of Science and Technology of China (Hefei)
- 19 Shanghai Supercomputing Center
- 20 National Supercomputing Center Guangzhou
- 21 National Center for High Performance Computing (Taipei)
- 22 Korean Institute of Science and Technology Information (KISTI) (Daejeon)
- 23 Kumoh National Institute of Technology (Gumi)
- 24 Tohoku University (Sendai)
- 25 Seijo University Research Center for Textual Scholarship

- Formelle Partnerschaften
- Informelle Partnerschaften
- Inaktive Partnerschaften





## Stärke dank Zusammenarbeit: Ein Interview mit Steve Conway

Steve Conway ist ein Mann der ersten Stunde des Höchstleistungsrechnens (HPC) und der künstlichen Intelligenz (KI). Als Marktanalyst bei IDC, Hyperion Research und Intersect360 Research berät er seit 40 Jahren führende Unternehmen der internationalen HPC-Landschaft, veröffentlicht Trendberichte und gibt Empfehlungen zu den Chancen von HPC und KI.

Conway pflegt seit Langem Beziehungen zum HLRS und nutzt dessen Fachwissen für seine Prognosen zur Zukunft des HPC. Kürzlich war er in Stuttgart, wo wir mit ihm über das Wachstum der HPC-Landschaft in Europa, das komplementäre Potenzial von wissenschaftlichen und industriellen Anwendungen von HPC, die Entwicklung der künstlichen Intelligenz und die aktuellen Herausforderungen für Europa auf dem Weg zur digitalen Souveränität sprachen.

*Wie sind Sie zum ersten Mal mit dem HLRS in Kontakt gekommen und wie hat sich Ihre Beziehung zu dem Zentrum im Laufe der Jahre entwickelt?*

In meinen Anfängen als Marktforscher habe ich schnell gelernt, dass das HLRS eines von nur drei oder vier HPC-Zentren weltweit war, das ernsthaft und erfolgreich mit Unternehmen zusammenarbeitete, und ich wollte mehr darüber erfahren. Als ich 1999 für das Marktanalyseunternehmen IDC arbeitete, bat uns die US-Regierung, eine Fokusgruppe zu gründen, die nicht an einen bestimmten Hardware-Anbieter gebunden war. Wir wollten internationale Nutzer einbeziehen und mussten geeignete Orte für Konferenzen finden. Alle paar Jahre trafen wir uns in Stuttgart. Im Jahr 2010 beauftragte uns die Europäische Kommission mit der Ausarbeitung einer ersten europaweiten HPC-Strategie, deren Vorbereitung ich leitete. Der Direktor des HLRS, Michael Resch, war einer von sechs Gutachtern des Berichts. Die Kommission veröffentlichte das europäische HPC-Strategiepapier im Jahr 2012 und bat uns 2014, die Fortschritte zu messen, woraufhin wir eine weitere umfangreiche Studie durchführten. Auch hier war das HLRS wieder eine sehr wichtige Quelle und ist dies seitdem auch geblieben.

*Im November 2025 veröffentlichten Sie einen Artikel in HPCWire, in dem Sie den Aufstieg des europäischen Hoch- und Höchstleistungsrechnens als die spannendste Entwicklung bezeichneten, die Sie in Ihrer Karriere erlebt haben. Warum sehen Sie das so?*

Die Politik hat schon seit Langem den Stellenwert von HPC für die Forschung erkannt. An einem gewissen Punkt wurde auch die Bedeutung für die industrielle Forschung relevanter. Jedoch fehlte damals noch die Erkenntnis, dass Hoch- und Höchstleistungsrechner entscheidend für die wirtschaftliche Wettbewerbsfähigkeit und das BIP-Wachstum sind. Nachdem wir an der zweiten Studie für die EU gearbeitet hatten, las ich den Vorschlag, der schließlich dem Europäischen Parlament zur Finanzierung vorgelegt wurde. Bemerkenswert fand ich, dass darin kaum von Wissenschaft und nur wenig von Industrie die Rede war, dafür aber viel von wirtschaftlicher Wettbewerbsfähigkeit. Das fand ich wirklich klug. Zum ersten Mal sprachen sie die Sprache der Fördergeber, was einen riesigen Unterschied machte.

*Sie haben auch über den Einfluss von PRACE und der EuroHPC Joint Undertaking (JU) bei der Umsetzung dieser paneuropäischen HPC-Strategie geschrieben.*

PRACE begann als Zusammenarbeit zwischen vier Ländern. Schon sehr früh arbeitete das Konsortium an etwas, von dem niemand ahnen konnte, dass es sich als so wirkungsvoll erweisen würde: Die Projektpartner kategorisierten europäische HPC-Zentren nach ihren Supercomputing-Fähigkeiten. Es gab nationale Tier-0-Zentren – wie das HLRS – und andere Zentren wurden als Tier 1 und Tier 2 eingestuft. Dies ermöglichte es, auf europäischer Ebene zu denken. Dieses Schema hat sich durchgesetzt und wurde sogar in anderen Ländern wie Australien übernommen.

Unsere Studie über die europäischen HPC-Fortschritte aus dem Jahr 2014 hat ergeben, dass Europa mehrere Exascale-Computer anschaffen muss, wenn der Konti-

nent wettbewerbsfähig bleiben möchte. Damals war dies jedoch noch nicht möglich. Wir empfahlen, den Beitrag der Europäischen Kommission zum Kauf eines großen Supercomputers von 20 auf 50 Prozent zu erhöhen und die Regeln zu ändern, um den Mitgliedstaaten eine wirtschaftliche Zusammenarbeit zu ermöglichen. Plötzlich wurden der EuroHPC Joint Undertaking (JU) die erforderlichen Mittel eingeräumt. Diese Entscheidung ermöglichte es mehreren Mitgliedstaaten, eng zusammenzuarbeiten und als Team Supercomputer zu beschaffen. Dies war für Europa äußerst wichtig, da traditionell nur sechs Länder im Besitz von Supercomputern waren, was zu einer Kluft zwischen reichen und weniger reichen Ländern geführt hatte. Die von der JU umgesetzten Änderungen trugen wesentlich dazu bei, das seit Jahren bestehende Problem zwischen Arm und Reich, Nord und Süd, Ost und West zu lösen, das den europäischen Höchstleistungsrechnermarkt seit Jahren plagte.

*Wie Sie wissen, koordiniert das HLRS die Projekte EuroCC und CASTIEL, in denen ein europaweites Netzwerk nationaler Kompetenzzentren für HPC und KI aufgebaut wurde. Die Projekte fördern die Zusammenarbeit und Best Practices in allen NCCs. Wie beurteilen Sie die Auswirkungen dieser Initiativen?*

Nach der Auswahl der nationalen Kompetenzzentren wurde klar, dass die Kompetenzen an den verschiedenen Standorten sehr unterschiedlich waren. Indem Länder aus ganz Europa zur Koordinierung und zum Austausch von Expertise zusammengeführt wurden, haben EuroCC und CASTIEL einen Beitrag zum Abbau dieser Unterschiede geleistet. Außerdem wird Englisch zwar von vielen als *Lingua franca* für Höchstleistungsrechnen angesehen, aber in einigen Ländern ist dies möglicherweise nicht der Fall. Die Fähigkeit, auf das Fachwissen anderer Regionen in den Bereichen HPC und KI zurückzugreifen und dieses Wissen gleichzeitig in den eigenen kulturellen Kontext zu übertragen, ist zu einem wichtigen Bestandteil für die Weiterentwicklung der europäischen HPC-Strategie geworden.



„Industrielle Probleme sind oft genauso anspruchsvoll wie wissenschaftliche Probleme [...]. Das HLRS ist eines der wenigen Zentren – nicht nur in Europa, sondern weltweit – das diese Dinge wirklich versteht.“

*Mehr als zehn Jahre nach der Veröffentlichung Ihres Strategiepapiers für Europa aus dem Jahr 2012 wurden viele der von Ihnen identifizierten Bedürfnisse inzwischen auf die eine oder andere Weise angegangen. Wo besteht noch Handlungsbedarf?*

Wenn man über eine europäische Strategie nachdenkt, kommt man unweigerlich auf das Thema Souveränität zu sprechen. HPC gilt zunehmend als strategische Ressource, weshalb eine starke Abhängigkeit von ausländischen Quellen angesichts unsicherer politischer Rahmenbedingungen problematisch ist. Doch was heißt Souveränität eigentlich? Für Europa bedeutete dies, eine eigene Lieferkette aufzubauen – ein Prozess, der bereits in vollem Gange ist. Einige Teile fehlen jedoch noch. Ein vollständig souveräner, durch Handelsbarrieren abgeschotteter Markt setzt voraus, dass in jeder Produktkategorie mindestens zwei wettbewerbsfähige Anbieter existieren, damit Wettbewerb und Innovation entstehen können. Derzeit gibt es in Europa nur einen einzigen großen Anbieter für HPC-Systeme. Auch Prozessorinitiativen, bei denen Europa noch am Anfang steht, sind sehr wichtig.

In der Praxis ist vollständige Souveränität nicht erreichbar. Beispielsweise kann niemand einen Prozessor bauen, ohne auf nicht-einheimische Fähigkeiten zurückzugreifen, wie die Fertigung in Taiwan, die Lieferung von Materialien wie Lithium oder fortschrittliche Lithografie aus den Niederlanden. In diesem Sinne kann das Ziel nicht vollständige Unabhängigkeit sein, sondern vielmehr das vollständige Vertrauen, dass Ihre lokalen und nicht-lokalen Quellen so sicher und unterbrechungsfrei wie möglich sind. Pragmatismus ist für Souveränität sehr wichtig.

*Sie haben vorhin über HPC für die Industrie als einen Bereich gesprochen, in dem das HLRS sehr aktiv ist. Wie hat sich die Zusammenarbeit zwischen Wissenschaft und Industrie im Laufe Ihrer Karriere verändert?*

Seit etwa 2003, als ich von der National Science Foundation (NSF) geförderte Studien für den Council on Competitiveness in Washington leitete, hat HPC für die Industrie mein Interesse geweckt. Die meisten Kunden der NSF sind kleine bis mittelgroße Universitäten. Als wir ihre HPC-Nutzer befragten, erfuhren wir von erfolgreichen Programmen für den Zugang der Industrie zu HPC. Die Zufriedenheitswerte sowohl für die Unternehmen als auch für die HPC-Zentren, die sie bedienten, lagen bei mehr als 90 Prozent. Das war jedoch nicht das, was die NSF hören wollte. Ihre Systeme waren alle zu stark ausgelastet, wobei die Nachfrage aus der akademischen Welt oft das Zwei- bis Dreifache ihrer vorhandenen Kapazität betrug. Dass sie mehr Energie in die Vermarktung der HPC-Nutzung vonseiten der Industrie stecken sollten, war das Letzte, was sie hören wollten. Ich habe daraus jedoch eine wichtige Lektion gelernt.

Als wir von 2016 bis 2017 eine weitere Studie für die NSF durchführten, wies ich darauf hin, dass viele Universitäten aufgrund des Drucks ihrer lokalen Wirtschaftsförderungseinrichtungen und Regierungen versuchten, die Industrie anzulocken. Und sie scheiterten kläglich, weil sie nicht wussten, wie sie das anstellen sollten. Daher empfehlen wir ihnen eine Studie zur Erfassung von Best Practices für HPC in der Industrie. Wir teilten ihnen mit, dass wir in dem Bereich erfahrene HPC-Zentren kennen – darunter auch das HLRS – und ein Wissensaustausch sehr hilfreich sein könnte. Bei

der Arbeit an diesem Bericht half uns das HLRS mit seinen Beiträgen sehr.

*Welche Vorteile haben Sie beobachtet, wenn akademische HPC-Zentren mit der Industrie zusammenarbeiten?*

Als wir mit der Studie begannen, wussten wir bereits, dass Unternehmen mithilfe von HPC in kürzerer Zeit Spitzenprodukte entwickeln können. Doch wie sieht es mit den Vorteilen für HPC-Zentren aus? Wir erhielten sehr einheitliche Antworten. In erster Linie könnten Zentren in Zusammenarbeit mit Unternehmen neue Wege für die Wissenschaft erschließen. Zweitens arbeiteten Wissenschaftler:innen gerne an realen Problemen und nicht nur an theoretischen. Dank Anwendungen aus der Industrie könnten HPC-Zentren Wissenschaftler:innen und HPC-Mitarbeiter:innen gewinnen und halten.

Diese Ergebnisse haben uns überrascht, da in Regierungskreisen oft die Meinung vorherrschte, dass die Öffnung des Zugangs für Unternehmen eine „Gnadenhandlung“ sei. Sie dachten, dass wertvolle Ressourcen für die Lösung trivialer Probleme verschwendet würden. Es stellte sich heraus, dass industrielle Probleme oft genauso anspruchsvoll sind wie wissenschaftliche Probleme, und dass sogar Wissenschaftler:innen diese Ansicht teilten. Das HLRS leistete einen wichtigen Beitrag zu dieser Studie, da es eines der wenigen Zentren – nicht nur in Europa, sondern weltweit – ist, das diese Dinge wirklich versteht.

*Die europäische Initiative der „AI Factories“, zu der auch HammerHAI gehört, unterstützt vor allem die Industrie, KMU und Start-ups. Welche Rolle spielen diese Ihrer Meinung nach?*

KI befindet sich noch in einer sehr explorativen Phase. Derzeit ist die wichtigste Frage, wo die Grenzen zwischen forschungsgetriebener KI und Unternehmens-KI liegen. Bei genauerer Betrachtung läuft Spitzen-KI auf HPC-Technologie und nutzt alles von der HPC-Infrastruktur bis hin zu Message Passing Interface (MPI), einem klassischen Standard für parallele Programmierung. Organisationen, die sich mit zukunftsweisender

KI beschäftigen, haben viele Mitarbeiter mit HPC-Hintergrund eingestellt, um ihre Programme auszuführen, sodass eine enge und dauerhafte Verbindung besteht. In typischen Unternehmen konzentriert man sich jedoch fast ausschließlich auf die Steigerung der individuellen Produktivität und selten auf die Beschleunigung neuer Unternehmensinitiativen. Diese Unternehmen werden sich an fortschrittliche KI-Organisationen wie das HLRS und HammerHAI wenden, um neue Ideen für Unternehmensinitiativen zu erhalten.

Ein weiterer interessanter Aspekt der Spitzenforschung im Bereich KI ist, dass verschiedene Technologien gut integriert werden. Für Unternehmen wie soziale Netzwerke ist das nicht so wichtig, da sie reine KI einsetzen. Doch wissenschaftlichen und industriellen Forschungsgemeinschaften, die HPC genutzt haben, werden Partner wie das HLRS dabei helfen, Technologien wie KI und Quantencomputing auf neuartige Weise zu kombinieren.

*Welche weiteren Themen könnten Ihrer Meinung nach die Entwicklung von HPC in den kommenden Jahren beeinflussen?*

Das letzte Puzzleteil ist für mich die Entwicklung in den Vereinigten Staaten. Derzeit haben wir eine Regierung, die Fakten und wissenschaftliche Forschung aktiv bekämpft. Dies äußert sich in erheblichen Personal- und Mittelkürzungen für wissenschaftliche Einrichtungen, die traditionell HPC und KI gefördert haben, darunter auch die Behörde, die HPC zur Überwachung der amerikanischen Atomwaffen einsetzt. Wenn dies unvermindert so weitergeht, könnte sich der Fortschritt in den Vereinigten Staaten im Vergleich zu Europa, China und Japan verlangsamen. Das könnte vieles verändern, unter anderem die Investitionsanreize in Europa.

Ich bin der Meinung, dass das Land oder die Region gewinnen wird, die die besten und klügsten Köpfe aus der ganzen Welt anziehen kann. Plötzlich kommen keine Scharen von internationalen Studenten mehr, die für ein Graduiertenstudium in die USA gereist wären. Für Europa wäre es sehr interessant, diese mit einer eigenen Initiative anzuziehen.

In Zusammenarbeit mit MACK One hat die Abteilung für Visualisierung des HLRS an der Entwicklung eines digitalen Zwillings des Europa-Parks mitgewirkt. Im Rahmen des AuralReality-Projekts werden zudem neue Wege zur Entwicklung und Umsetzung von immersivem Raumklang für Unterhaltungs-umgebungen wie Freizeitparks, immersive Ausstellungen, Escape Rooms und Veranstaltungsorte erforscht.



# Neuigkeiten



Michael Resch (Direktor, HLRS), Petra Olschowski (frühere Ministerin für Wissenschaft, Forschung und Kunst des Landes Baden-Württemberg), Winfried Kretschmann (früherer Ministerpräsident des Landes Baden-Württemberg), Cem Özdemir (ehemals Bundesminister für Forschung und Bildung), Peter Middendorf (Rektor, Universität Stuttgart (v.l.n.r.))

## Wichtige Säulen des deutschen und europäischen KI-Ökosystems

Bei einem Besuch in Stuttgart im März 2025 betonten der frühere baden-württembergische Ministerpräsident Winfried Kretschmann, der damalige Bundesforschungsminister Cem Özdemir und die vorherige baden-württembergische Wissenschaftsministerin Petra Olschowski die Bedeutung des HLRS und der KI-Fabrik HammerHAI. Der Besuch war Teil einer Tour von Minister Özdemir zu führenden Forschungszentren in Baden-Württemberg. Ministerpräsident Winfried Kretschmann kommentierte die neue KI-Fabrik wie folgt: „Baden-Württemberg ist im Bereich Supercomputing und KI vorne dabei und international konkurrenzfähig. Das HLRS spielt dabei eine Schlüsselrolle. Der neue Höchstleistungsrechner Hunter und die europäische KI-Fabrik HammerHAI sind wegweisende Meilensteine für unseren Hochtechnologiestandort, unsere Wirtschaft und unsere technologische Souveränität... Als zentraler Treiber des Wissenstransfers in die Wirtschaft leistet das HLRS einen entscheidenden Beitrag.“ Minister Cem Özdemir fügte hinzu: „Das HLRS und die hier mit vielen weiteren Partnern entstehende AI Factory sind wichtige Säulen des deutschen und europäischen KI-Ökosystems. Sie zeigen: Wir haben die notwendigen Voraussetzungen, um mit einer KI ‚made in Europe‘ auch weltweit mithalten zu können.“ Präsentationen während des Besuchs unterstrichen die Bemühungen des HLRS, die Einführung von KI in der Industrie zu beschleunigen, die ökologische Nachhaltigkeit zu verbessern und das Ingenieurwesen sowie die Stadtplanung mithilfe digitaler Zwillinge zu unterstützen.

## Veranstaltungsreihe zu KI auf HPC-Systemen für KMU

In Zusammenarbeit mit der baden-württembergischen Netzwerk- und Wissenstransferplattform bwcon und dem KI-Unternehmen Seedbox.ai startete das HLRS eine fünfteilige Webserie zum Thema künstliche Intelligenz auf Höchstleistungsrechnern. In der Reihe diskutierten KI-Experten des HLRS und Vertreter von diversen Unternehmen aus Baden-Württemberg die Chancen, die HPC und KI kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) bieten. Anhand erfolgreicher Anwendungsbeispiele zeigte die Serie, wie KI das Ingenieurwesen, die Fertigung und andere Branchen verändert. Die Vorträge konzentrierten sich auf das HLRS und seine Fähigkeiten in den Bereichen HPC, KI und hybrider Workflows, Anwendungen großer Sprachmodelle in Geschäftsumgebungen, KI für ein effizienteres Energiemanagement, KI-gesteuerte Fertigung und Automatisierung sowie KI in der Präzisionstechnik. Die Abschlussveranstaltung findet in Verbindung mit der Einweihung eines neuen, KI-optimierten Supercomputers des EuroHPC Joint Undertaking statt, der am HLRS als Teil der HammerHAI AI Factory installiert wird.

## HLRS wird Mitglied des KI Bundesverbands

Der KI Bundesverband ist das bundesweit größte Netzwerk für Unternehmen, die im Bereich der künstlichen Intelligenz tätig sind. Er bietet eine Plattform für den Informationsaustausch, Networking und Bewusstseinsförderung gegenüber deutschen Innovationen auf dem Gebiet der künstlichen Intelligenz. Er hilft KI-fokussierten Unternehmen bei der Bewältigung ihrer wichtigsten Herausforderungen und fungiert als Sprachrohr der KI-Community auf nationaler politischer Ebene. Der KI Bundesverband ist in Regionalverbänden organisiert und unterhält Arbeitsgruppen, die sich unter anderem mit Themen wie Datenwirtschaft, Datenschutz, Ethik, Industrie 4.0, Mobilität und Gesundheit beschäftigen. Um sich stärker in die deutsche KI-Community zu integrieren, ist das HLRS dem KI Bundesverband im Jahr 2025 beigetreten. „Hier können wir unsere langjährige Erfahrung in der Bereitstellung von Computing-Ressourcen sowie Unterstützungsleistungen für die Industrie und Wissenschaft einbringen“, sagte Dr. Bastian Koller, Geschäftsführer des HLRS. „Gleichzeitig können wir dank der Interaktionen unser Wissen und unser Portfolio kontinuierlich erweitern.“ Als eines der drei Bundeshöchstleistungsrechenzentren bietet das HLRS modernste Infrastruktur und Fachkompetenz in künstlicher Intelligenz. Darüber hinaus koordiniert das HLRS HammerHAI, die erste deutsche AI Factory.



Dr. Bastian Koller, Geschäftsführer des HLRS, und Prof. Mark Parsons, Direktor des EPCC, unterzeichneten auf der SC25 in St. Louis eine Absichtserklärung.

## HLRS und EPCC besiegeln strategische Partnerschaft

Während der SC25-Konferenz in St. Louis, Missouri, unterzeichneten Dr. Bastian Koller, Geschäftsführer des HLRS, und Prof. Mark Parsons, Direktor des EPCC der Universität Edinburgh, eine formelle Absichtserklärung, die eine engere Zusammenarbeit ermöglichen soll. Aufbauend auf ihren komplementären Stärken und Fachkenntnissen werden die Zentren an Themen arbeiten, die die Zukunft des Höchstleistungsrechnens prägen. Dazu gehören numerische Algorithmen und neue Computertechnologien für technische Anwendungen, Energieeffizienz im Supercomputing, Quantencomputing, Technologietransfer und die Bereitstellung von KI-Services innerhalb der europäischen AI Factories. Das HLRS und das EPCC wurden in ihren Ländern jeweils als erste nationale Höchstleistungsrechenzentren gegründet. Sie blicken zudem auf eine lange Geschichte erfolgreicher Zusammenarbeit zurück, deren Schwerpunkt auf der Verbesserung des Zugangs zu und der Nutzung von HPC-Technologien in der Industrie, insbesondere in KMUs sowie Start-ups im Rahmen der Fortissimo-Projektreihe liegt. Vor kurzem gab die EuroHPC Joint Undertaking die Gründung der UK AI Factory Antenna am EPCC bekannt. Das EPCC arbeitet mit der vom HLRS koordinierten AI Factory HammerHAI zusammen, um der Forschung und Industrie hochleistungsfähige KI-Kapazitäten zur Verfügung zu stellen.



Gewinner der Golden Spike Awards 2025 (v.l.n.r.): Spencer Starr, Andreas Stegmeir und Karen Palacio-Rodriguez

## Golden Spike Awards 2025

Während des 28. jährlichen Results and Review Workshop erfuhren Teilnehmende erneut mehr über die vielfältigen Forschungsarbeiten, die auf den Supercomputern des HLRS berechnet werden sowie über Ansätze zur Maximierung der Leistung von Forschungssoftware. 21 Vorträge und eine Poster-Session umfassten ein breites Spektrum wissenschaftlicher Disziplinen. Einige Präsentationen handelten von den Fortschritten bei der Übertragung von Software auf den GPU-beschleunigten Supercomputer Hunter des HLRS. Die Teilnehmenden tauschten während der Veranstaltung Erkenntnisse über die gewonnenen Erfahrungen und Herausforderungen bei dieser Umstellung aus. Zum Abschluss der Tagung gab Prof. Thomas Ludwig, Direktor des Deutschen Klimarechenzentrums und Vorsitzender des Lenkungsausschusses des HLRS, die Gewinner:innen der Golden Spike Awards 2025 bekannt. Die Auszeichnung würdigt herausragende Leistungen in der computergestützten Forschung und der Nutzung von HPC am HLRS. Die diesjährigen Gewinner:innen des Golden Spike Award waren Spencer Starr (Universität Stuttgart) für „Combining the discontinuous Galerkin solver FLEXI with deep reinforcement learning“, Dr. Karen Palacio-Rodriguez (Max-Planck-Institut für Biophysik) für „Atomistic molecular dynamics simulations of the human nuclear pore complex“ und Dr. Andreas Stegmeir (Max-Planck-Institut für Plasmaphysik) für „Plasma turbulence simulations in the periphery of magnetic confinement fusion reactors“.

## MPI-Forum am HLRS zur Vorbereitung von MPI 5.0

Im März 2025 trafen sich am HLRS Mitglieder der globalen Community, die für die Weiterentwicklung der Message Passing Interface (MPI) verantwortlich sind. Sie verfolgten das Ziel, die Vorbereitungen für MPI 5.0 abzuschließen – der nächsten Version dieses weit verbreiteten Modells für die Programmierung von HPC-Anwendungen. MPI ermöglicht es, ein komplexes Problem in viele kleinere Teile zu zerlegen und diese über eine große Anzahl von Prozessoren zu parallelisieren. Der neue Standard führt erstmals eine Application Binary Interface (ABI) ein, die die Interoperabilität von MPI-Bibliotheken verschiedener MPI-Anbieter und auf verschiedenen HPC-Plattformen ermöglicht. Darüber hinaus verbessert MPI 5.0 die Portabilität und Leistung von MPI-basierten Anwendungen in containerisierten Umgebungen – ein wichtiger Faktor bei der Kombination von HPC und künstlicher Intelligenz. Die in der Sitzung finalisierten Empfehlungen wurden im Juni ratifiziert, sodass MPI 5.0 offiziell verabschiedet wurde. Das HLRS ist ein langjähriges Mitglied des MPI-Forums und hat bereits bei der Entwicklung des 1996 veröffentlichten MPI 2.0 Standards mitgewirkt.



Mitglieder des MPI-Forums haben sich im Rühle-Saal des HLRS getroffen, um den neuen Standard für parallele Programmierung vorzubereiten.

### HiDALGO2-Clustering-Event

HiDALGO2 ist ein Kompetenzzentrum der EuroHPC Joint Undertaking, das untersucht, wie HPC und KI dazu beitragen können, ökologische und gesellschaftliche Herausforderungen zu bewältigen. Dies umfasst unter anderem die Auswirkungen des Klimawandels und die Notwendigkeit, den Energiebedarf Europas zu decken. Konkret zielt die Forschung innerhalb des HiDALGO2-Konsortiums darauf ab, HPC- und KI-Infrastrukturen, Methoden der numerischen Strömungsmechanik und Unsicherheitsanalysen so zu verbessern, dass sich leistungsfähigere Rechen-systeme für Modellierung, Simulation, Datenanalyse und Visualisierung nutzen lassen. Das HLRS ist Partner des Projekts und veranstaltete am 4. November eine Konferenz, auf der Forschende ihre Arbeit vor Branchenexperten, politischen Entscheidungsträgern und Vertretern kleiner und mittlerer Unternehmen vorstellten. Unter dem Motto „HPC- und Big-Data-Technologien zur Bewältigung globaler Herausforderungen“ befassten sich die Vorträge mit Forschungsarbeiten zu Luftverschmutzung in Städten, Energieeffizienz in Gebäuden und Städten, Vorhersage von Waldbränden, Prognosen zu erneuerbaren Energien sowie Modellen der Wasserverschmutzung und des Materialtransports.



Zwei Tage lang trafen sich ukrainische und deutsche Wissenschaftler am HLRS, um über aktuelle Forschungsergebnisse zu diskutieren.

### Konferenz feiert 52 Jahre wissenschaftliche Partnerschaft mit der Ukraine

Seit 1973 pflegen die Universität Stuttgart und die Nationale Technische Universität Donezk (DonNTU) eine enge Beziehung. Im September 2025 nahm diese Partnerschaft mit dem Start von StuttWay4Ukraine weiter Fahrt auf. Das vom DAAD finanzierte Projekt zielt darauf, den Wiederaufbau des ukrainischen Hochschulwesens nach dem Ende des Krieges mit Russland zu unterstützen. Im November 2025 veranstaltete das HLRS eine zweitägige Konferenz zur Feier dieser 52-jährigen deutsch-ukrainischen Wissenschaftspartnerschaft. Wissenschaftler:innen stellten ihre aktuellen Forschungsergebnisse sowohl vor Ort als auch per Online-Stream aus der Ukraine vor. Ein Schwerpunkt der Präsentationen lag auf den Anwendungen künstlicher Intelligenz für Simulationen und Datenanalysen. In mehreren Vorträgen wurde auch die Relevanz wissenschaftlicher Forschung im Kontext des Krieges aufgezeigt, wobei Themen wie mathematische Modellierung im Energiemanagement, KI für die Bedrohungsbewertung und Risikoanalyse, Szenarienplanung für die Ukraine nach dem Konflikt und Strategien zur Verbesserung der IT-Sicherheit behandelt wurden. Andere Präsentationen konzentrierten sich auf Umweltschutz, Bildung und Linguistik. Auf der Konferenz hob die Prorektorin der DonNTU, Prof. Iryna Shvets, die Bedeutung der Partnerschaft insbesondere in Kriegszeiten hervor: „Wenn Universitäten sich gegenseitig unterstützen, wenn Kollegen über Grenzen hinweg zusammenarbeiten, bekommen wir die Kraft, Hoffnung und Energie, weiterzumachen.“

### PRACE HPC Excellence Award für Simulationen von Schwarzen Löchern

Prof. Dr. Luciano Rezzolla, Inhaber des Lehrstuhls für Theoretische Astrophysik an der Goethe-Universität und Senior Fellow am Frankfurt Institute for Advanced Studies, erhielt im Februar 2025 bei einer Zeremonie in Brüssel den PRACE HPC Excellence Award. Der Preis würdigt seinen Einsatz von Höchstleistungsrechnen (HPC) zur Simulation von kompakten astrophysikalischen Objekten wie Neutronensternen und Schwarzen Löchern. Als Mitglied der internationalen Event-Horizon-Telescope (EHT)-Kollaboration trug die Arbeit seines Teams dazu bei, dass 2019 das weltweit erste Bild eines Schwarzen Lochs (in der Galaxie M87) und 2022 das erste Bild des Schwarzen Lochs im Zentrum unserer Galaxie (Sgr A) erzeugt wurde. Da Schwarze Löcher mit bloßem Auge nicht zu erkennen sind, wurde die Aufnahme von M87 vonseiten des EHT-Teams weithin als große Leistung anerkannt und von der Zeitschrift *Science* zum Durchbruch des Jahres 2019 gekürt. Rezzolla und sein Team sind seit langem Nutzer:innen der HPC-Ressourcen am HLRS. „Diese Simulationen der Plasmaphysik von Schwarzen Löchern sind ohne Höchstleistungsrechner nicht möglich“, sagte Rezzolla. „Ich bin stolz darauf, den PRACE HPC Excellence Award erhalten zu haben und bin dankbar für die Nutzung der Maschinen am HLRS, um dieses Ergebnis zu erzielen.“



Prof. Luciano Rezzolla erforscht schwarze Löcher mithilfe der Rechen-systeme des HLRS.

### FFplus stößt auf große Resonanz von KMU und Start-ups

Das vom HLRS koordinierte EU-geförderte Projekt FFplus bietet KMU und Start-ups finanzielle Unterstützung für Testprojekte, die untersuchen, wie HPC und KI die Entwicklung von neuen Produkten und Dienstleistungen verbessern können. FFplus basiert auf einem Kaskadenfinanzierungsmodell und unterstützt zwei Arten von Teilprojekten: Geschäftsexperimente, bei denen HPC oder KI zur Lösung geschäftlicher Herausforderungen eingesetzt werden, und Innovationsstudien, bei denen neue Technologien unter Verwendung künstlicher Intelligenz entwickelt werden, darunter optimierte Grundlagensmodelle und Anwendungen generativer KI. Im Jahr 2025 unterstützte FFplus die Einführung von 16 Geschäftsexperimenten und 18 Innovationsstudien, die zusammen das breite Spektrum der Branchen hervorheben, die von HPC- und KI-Fähigkeiten profitieren können. Nach der ersten Runde der Ausschreibungen von FFplus werden in ausgewählten Experimenten Anwendungen von HPC und KI für Landwirtschaft, Medizin, erneuerbare Energien, Fahrzeugtechnik, Fertigung und Geschäftsprozesse getestet, während sich Innovationsstudien unter anderem mit dem Einsatz von KI in der Geografie, Software-Entwicklung, im Journalismus, Bankwesen und in der öffentlichen Verwaltung befassen. Eine zweite Ausschreibung für Geschäftsexperimente im Jahr 2025 erhielt mehr als 310 zulässige Einreichungen, was die enorme Nachfrage der Industrie nach HPC- und KI-Fähigkeiten widerspiegelt. Nach einer Prüfung wurden 21 dieser Teilprojekte Anfang 2026 für eine Förderung ausgewählt. Die zweite Ausschreibung für Innovationsstudien fand im Februar 2026 statt und erhielt 250 Einreichungen. Unter [www.ffplus-project.eu](http://www.ffplus-project.eu) können Sie mehr über FFplus sowie über die geförderten Teilprojekte erfahren.



Die SAS25-Konferenz brachte Computerwissenschaftler, Philosophen und Sozialwissenschaftler zusammen. Zu den Vortragenden gehörte Ben Recht, Experte für maschinelles Lernen an der University of California, Berkeley.

### SAS25-Konferenz zu Unsicherheiten in der Simulation

HPC-Simulationen und maschinelles Lernen können Erkenntnisse und Vorhersagen liefern, die auf keine andere Weise zugänglich sind. Gleichzeitig besteht jedoch fast immer eine messbare Lücke zwischen den Berechnungsergebnissen und der Realität. Aus dieser Perspektive kann Unsicherheit als integraler Bestandteil des Simulierens betrachtet werden. Auch andere Disziplinen wie Wirtschaft, Politik, Philosophie und Wissenschaft haben eine lange Tradition, sich auf unterschiedliche Weise mit Unsicherheit auseinanderzusetzen. Im Juli 2025 wurde während einer dreitägigen Konferenz am HLRS auf dieses multidisziplinäre Fachwissen zurückgegriffen und untersucht, wie der Dialog zwischen Wissenschaftlern aus den Geistes-, Sozial- und Computerwissenschaften neues Licht auf das Konzept der Unsicherheit werfen könnte. Diese Konferenz war Teil der Reihe „The Science and Art of Simulation“ (SAS25), die seit 2017 jährlich am HLRS stattfindet. Die Referent:innen betrachteten das Konzept aus verschiedenen Blickwinkeln, darunter die Herausforderungen der Quantifizierung von Unsicherheit in Wahrscheinlichkeitsmodellen, wie Unsicherheit produktiv sein kann und wie sich mit ihr im Kontext politischer Entscheidungsprozesse umgehen lässt. Die Konferenzbeiträge werden in einem Konferenzband zusammengefasst.



### In Erinnerung an Prof. Egon Krause

Im Oktober trauerte das HLRS um Prof. Egon Krause, ehemaligen Lehrstuhlinhaber für Strömungsmechanik und Direktor des Instituts für Aerodynamik an der RWTH Aachen. Prof. Krause war nicht nur ein herausragender Wissenschaftler für Luft- und Raumfahrttechnik, sondern auch einer der Gründerväter des HLRS. Er erkannte früh die Bedeutung des Höchstleistungsrechnens für die internationale Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Wissenschaft. Prof. Krause war erster Vorsitzender des Lenkungsausschusses des HLRS und stand dem HLRS-Team mit Rat und Tat zur Seite. Prof. Krause erkannte auch als Erster den Bedarf an Zusammenarbeit innerhalb der deutschen HPC-Gemeinschaft. Er lud daher die Vorsitzenden der Lenkungsausschüsse des Jülich Supercomputing Centre, des Leibniz Rechenzentrums und des HLRS zu regelmäßigen Treffen ein. Diese Bemühungen legten den Grundstein für das spätere Gauss Centre for Supercomputing. 1973 gehörte Prof. Krause zu den wenigen Wissenschaftler:innen, die Kontakte zu sowjetischen Wissenschaftlerinnen knüpften. Damit initiierte er einen langfristigen Austausch von Menschen und Ideen und trug zur Entspannung im Kalten Krieg bei. Das HLRS wird Prof. Egon Krause gedenken, in seine wissenschaftlichen Fußstapfen treten und seine unermüdlichen Bemühungen zur Förderung der nächsten Generation junger Wissenschaftler:innen fortsetzen.



Prof. Kiyoko Myojo und HLRS-Direktor Prof. Michael Resch unterzeichneten in Tokyo die neue Kooperationsvereinbarung.

### HLRS und Seijo-Universität kooperieren bei Literaturforschung

In einer Initiative zur Erforschung neuer Anwendungsmöglichkeiten von Höchstleistungsrechnen in den Geisteswissenschaften unterzeichnete das HLRS eine Kooperationsvereinbarung mit dem Research Center for Textual Scholarship an der Seijo-Universität in Japan. Mit Schwerpunkt auf dem Einsatz von HPC in den Bereichen Digital Humanities und Literaturforschung wird die Vereinbarung den Austausch von Mitarbeitenden, gemeinsame Forschungsprojekte sowie Kooperationen in Bildung und Industrie fördern. Prof. Michael Resch unterzeichnete die Vereinbarung im Namen des HLRS zusammen mit Prof. Kiyoko Myojo, Professorin an der Seijo-Universität. Das Research Center for Textual Scholarship konzentriert sich auf Methoden für die wissenschaftliche Redaktion. Unter Verwendung moderner Informationstechnologien und digitaler Bibliotheken von Primärtexten entwickelt das Institut neue Ansätze zur Rekonstruktion der Entstehungsprozesse literarischer Texte. Solche digitalen Werkzeuge ermöglichen überdies internationale Textforschung. Das Zentrum hat sich zum Ziel gesetzt, Brücken zwischen japanischer und westlicher Literaturwissenschaft zu schlagen. Prof. Myojo untersucht beispielsweise, wie digitale Methoden dazu beitragen können, eine genauere wissenschaftliche Ausgabe von Franz Kafkas Roman *Der Prozess* zu erstellen.



# User- Forschung

## Wie Simulationen den Satellitenbetrieb im niedrigen Erdorbit verbessern könnten

Mithilfe von Molekulardynamiksimulationen trainierten Forschende ein Modell für maschinelles Lernen. Daraus entstand eine Software, die vorhersagt, wie Gaspartikel in der oberen Atmosphäre auf Satelliten einwirken – und die sich perspektivisch praktisch einsetzen lässt.

Seit einem Jahrzehnt boomt das Weltraumgeschäft. Die Zahl der neuen Satelliten, die für Telekommunikation, Navigation und Beobachtung in die Erdumlaufbahn gebracht wurden, ist stark angestiegen. Da sich dieser Trend fortsetzt, werden viele Satelliten in sehr niedrigen Erdumlaufbahnen (VLEO, Very Low Earth Orbit), einem lose definierten Bereich zwischen 200 und 450 km über der Erdoberfläche, eingesetzt werden. Der Betrieb von Satelliten in VLEO hat viele Vorteile, unter anderem geringere Startkosten und die Möglichkeit, die Erde in höherer Auflösung zu beobachten. Dank dieses Ansatzes lässt sich auch der Weltraummüll reduzieren, der Raumfahrzeuge in höheren Umlaufbahnen gefährdet. Da Spuren der Erdatmosphäre in VLEO die Satelliten auf natürliche Weise verlangsamen, treten sie nach Beendigung ihrer Mission wieder in die Atmosphäre ein, wo sie verglühen.

Dieser atmosphärische Widerstand wird hauptsächlich von atomarem Sauerstoff verursacht. Die Partikel treffen kontinuierlich auf Satelliten in VLEO, beeinflussen deren Flugbahnen, verursachen Oberflächenerosion und begrenzen letztendlich deren Betriebsdauer. Um diese Interaktionen besser zu verstehen, untersucht das Forschungszentrum ATLAS (Advancing Technologies for Low-Altitude Satellites) der Universität Stuttgart die Wechselwirkungen zwischen verdünnten Hochenergieflüssen und Raumfahrzeugoberflächen. Mit den gewonnenen Erkenntnissen wollen die Forschenden Konzepte zur Nutzung der Restatmosphäre entwickeln und neue Konstruktions- und Betriebsstrategien erarbeiten, die Strukturen, Lebensdauer und Wirtschaftlichkeit von VLEO-Satelliten verbessern sollen.

In einem Teilprojekt von ATLAS haben Miklas Schütte vom Institut für Raumfahrtssysteme der Universität Stuttgart und Stephen Hocker vom Institut für Funktionelle Materie und Quantentechnologien eine Methode entwickelt, mit der sich die Wechselwirkungen zwischen Gasparkeln und Satellitenoberflächen in sehr niedrigen Erdumlaufbahnen besser vorhersagen lassen. „Für uns bei ATLAS geht es nicht nur darum, wie wir die Aerodynamik optimieren können, um den Widerstand zu minimieren, sondern auch darum, wie wir die auf Satelliten wirkenden Kräfte nutzen können, um ihre Ausrichtung und Umlaufbahn zu steuern“, erklärte Schütte. In einem kürzlich in der Fachzeitschrift *Physics of Fluids* veröffentlichten Artikel zeigt das Team mit einem neuen Rechenmodell, wie Gaspartikel von Oberflächen reflektiert werden, indem diese Wechselwirkungen im kleinsten Maßstab berücksichtigt werden.

### Ein maschinelles Lernmodell wird mit HPC-generierten Daten trainiert

In der Nähe der Erde wird die Aerodynamik von Automobilen oder Flugzeugen in der Regel mittels numerischer Strömungsmechanik (Computational Fluid Dynamics, CFD) simuliert, die Gase als kontinuierliche Strömungen behandelt. Da die Atmosphäre in VLEO-Höhen jedoch fast dem Vakuum des Weltraums gleicht, ist sie sehr dünn. Das bedeutet, dass einzelne Gaspartikel in größerem Abstand voneinander liegen und die CFD-Prinzipien nicht gelten.

Forschende verwenden üblicherweise eine Methode namens Direct Simulation Monte Carlo (DSMC), um den Luftwiderstand von Satelliten in der oberen Atmosphä-

re vorherzusagen. Aktuelle DSMC-Implementierungen basieren jedoch immer noch auf stark vereinfachten Modellen für Gas-Oberflächen-Wechselwirkungen. In den meisten Fällen gehen die Modelle davon aus, dass Reflexionen entweder rein spiegelartig oder rein diffus sind, wobei die Partikel in viele Richtungen streuen. Experimentelle Studien zeigen hingegen immer wieder, dass die tatsächlichen Verteilungen der reflektierten Partikel erheblich von diesen idealisierten Annahmen abweichen.

Eine wesentlich präzisere Methode zur Simulation von Partikel-Oberflächen-Wechselwirkungen ist die Molekulardynamik (MD). Basierend auf mathematischen Modellen, die grundlegende physikalische Prinzipien genau wiedergeben, simuliert MD, wie Moleküle auf der Ebene einzelner Atome über sehr kurze Zeiträume miteinander interagieren. Um diese Auflösung zu erreichen, sind Molekulardynamik-Simulationen sehr rechenintensiv und können nur mit Hoch- oder Höchstleistungsrechnern (HPC) wie denen des HLRS durchgeführt werden.

In einer idealen Welt könnte man MD-Simulationen verwenden, um jede mögliche Wechselwirkung zwischen einem Gaspartikel und einer Oberfläche zu katalogisieren, aber selbst mit den schnellsten Supercomputern von heute wäre dies nicht praktikabel. Darüber hinaus wäre es in dieser Größenordnung unmöglich, einen gesamten Satelliten mit vielen Oberflächen und Winkeln zu modellieren, der sich mit 8.000 Metern pro Sekunde durch den Weltraum bewegt.

Stattdessen nutzte das ATLAS-Team Molekulardynamik, um einen datengesteuerten, generativen Ansatz des maschinellen Lernens zu unterstützen. Zur Erstellung ihres Datensatzes simulierten sie mit dem Supercomputer Hawk des HLRS 225.000 Partikel-Oberflächen-Kollisionen in VLEO. Der Datensatz deckt bei Weitem nicht alle möglichen Wechselwirkungen ab, bietet jedoch ein breites Spektrum potenzieller Winkel und Geschwindigkeiten, die für einen Satelliten in sehr niedrigen Erdumlaufbahnen typisch wären.

Basierend auf den Ergebnissen trainierte das Team einen Algorithmus für maschinelles Lernen. Das resultierende Modell kann automatisch Partikelreflexionen für jede andere Situation innerhalb des Spektrums des VLEO-Regimes vorhersagen, unter anderem Partikel-Oberflächen-Wechselwirkungen, die nicht speziell von den MD-Simulationen abgedeckt wurden. Als die Forschenden die Genauigkeit des resultierenden Modells überprüften, stellten sie fest, dass ihre Ergebnisse sehr nah an die aus den Trainings- und Validierungsdaten herankommen. Daraus lässt sich schlussfolgern, dass das Modell viel effektiver für zuverlässige Vorhersagen ist als bisherige Ansätze.

Schütte entwickelte dieses Modell zu einem Partikelstreuungskern weiter, den er dann in die DSMC-Simulationemethode der Plasmasimulationssoftware (PICLas) integrierte. „Mittels der Integration eines Streukerns in DSMC-Methoden lassen sich diese präzisen Simulationen von Partikelreflexionen auf mikroskopischer Ebene auf die makroskopische oder mesoskopische Skala übertragen, die für die tatsächliche Simulation eines Satelliten erforderlich ist“, erklärte Schütte.

#### Verbessertes Satellitendesign dank Simulation

Laut Schütte haben diese Erfolge neue Fragen aufgeworfen, die das ATLAS-Projekt genauer untersuchen möchte. Eine weitere Vision ist die Entwicklung von Antriebssystemen, die Sauerstoffmoleküle in VLEO-Umgebungen sammeln und als Treibstoff verwenden, um den Auswirkungen des Luftwiderstands entgegenzuwirken. Das verbesserte Modell der physikalischen Wechselwirkungen zwischen Partikeln und Oberflächen ist ein wichtiges Werkzeug für die Entwicklung dieses Konzepts. „Was derzeit noch Theorie ist, könnte in der Realität ein echter Game-Changer werden, der die Kosten drastisch senken und die Lebensdauer von VLEO-Satelliten verlängern würde“, sagte Schütte.

#### Weiterführender Artikel:

Schütte M, Hocker S, Lipp H, et al. 2025. A machine learning framework for scattering kernel derivation using molecular dynamics data in very low Earth orbit. *Phys Fluids*. 37: 093609.

## Großsimulation liefert neue Einblicke in Turbulenz

Mit dem Supercomputer Hawk des HLRS erzeugten Wissenschaftler der Universität Stuttgart erstmals hochauflösende Simulationsdaten, die den Übergang von niedrigen zu hohen Reynoldszahlen in turbulenten Grenzschichten beschreiben.

Wissenschaftler des Instituts für Aerodynamik und Gasdynamik (IAG) der Universität Stuttgart haben einen neuartigen Datensatz erstellt, der die Entwicklung von Turbulenzmodellen verbessern wird. Mithilfe des Supercomputers Hawk am Höchstleistungsrechenzentrum Stuttgart führten die Forscher im Labor von Dr. Christoph Wenzel eine groß angelegte direkte numerische Simulation einer sich räumlich entwickelnden turbulenten Grenzschicht durch. Die Simulation, bei der mehr als 100 Millionen CPU-Stunden auf Hawk verbraucht wurden, erfasst den Beginn eines kanonischen, voll entwickelten turbulenten Zustands in einer einzigen Rechendomäne. Die Studie entdeckte zudem einen bisher einen in dieser Klarheit unbeschriebenen charakteristischen Punkt, ab dem die äußere Region der turbulenten Grenzschicht beginnt, ihre selbstähnliche Struktur beizubehalten. Die Ergebnisse werden im *Journal of Fluid Mechanics* veröffentlicht.

„Unser Team hat sich zum Ziel gesetzt, unerforschte Parameterregime in turbulenten Grenzschichten zu verstehen“, sagt Jason Appelbaum, Doktorand im Wenzel-Labor und Leiter dieser Forschungsarbeit. „Mittels einer groß angelegten Simulation, die die Entwicklung der Turbulenz vom Anfang bis zum voll entwickelten Zustand vollständig auflöst, haben wir erstmals einen hochauflösenden, verlässlichen Datensatz geschaffen. Damit können wir untersuchen, wie Effekte bei hohen Reynoldszahlen entstehen.“

#### Warum die Untersuchung moderater Reynoldszahlen schwierig ist

Während eines Fluges verursachen Turbulenzen sehr

hohe Scherspannungen an der Oberfläche des Flugzeugs. Der daraus resultierende Luftwiderstand kann die Flugleistung und die Treibstoffeffizienz verringern. Um diesen Effekt vorherzusagen, stützen sich Luft- und Raumfahrtingenieur:innen auf Berechnungsmodelle der turbulenten Grenzschicht – dem millimeterdünnen Bereich, in dem die Oberfläche des Flugzeugs mit der frei strömenden Luft interagiert.

Für industrielle Anwendungen müssen die Turbulenzmodelle die Physik nicht bis ins kleinste Detail nachbilden; sie müssen nur für den praktischen Einsatz geeignet sein und mit geringen Rechenressourcen reibungslos funktionieren können. Bevor Ingenieur:innen solche vereinfachten Modelle verwenden können, ist jedoch Forschung mit Hoch- und Höchstleistungsrechnern notwendig, um die Daten zu liefern, auf denen diese Modelle basieren. Aus diesem Grund setzt das Wenzel-Labor seit Langem die direkt numerische Simulationssoftware NS3D auf den Supercomputern des HLRS ein. Mit dieser von dem Labor über Generationen entwickelten Software lassen sich grundlegende physikalische Eigenschaften von turbulenten Grenzschichten mit extrem hoher Auflösung untersuchen.

Forschende auf dem Gebiet der numerischen Strömungsmechanik (CFD) verwenden sogenannte Reynoldszahlen, um den Entwicklungszustand einer turbulenten Grenzschicht zu charakterisieren. Die Reynoldszahl ist das Verhältnis von Trägheitskräften zu viskosen Kräften in einer Flüssigkeitsströmung, das den lokalen Bereich der turbulenten Wirbelgrößen bestimmt. Bei niedrigen Reynoldszahlen, die zu Beginn der Bewe-

gung einer Oberfläche durch Luft auftreten, werden nichtlineare konvektive Instabilitäten, die für Turbulenzen verantwortlich sind, schnell durch viskose Kräfte auf kleinen Skalen gedämpft. Mit zunehmenden Reynoldszahlen wird die turbulente Grenzschicht dicker. Große, kohärente Strukturen entstehen und schaffen ein komplexeres turbulentes System. Diese Strukturen lassen sich nicht einfach aus den Trends bei niedrigen Reynoldszahlen ableiten, sondern besitzen eigene Eigenschaften.

In der Vergangenheit haben CFD-Simulationen umfangreiche Datensätze zum Verständnis der Turbulenz bei niedrigen Reynoldszahlen geliefert. Das liegt daran, dass die Größe des Rechengebiets und die Anzahl der benötigten Simulations-Zeitschritte in diesem Stadium noch relativ gering sind. Demzufolge sind diese Simulationen aus heutiger Sicht verhältnismäßig erschwinglich. Auch Laborexperimente liefern wertvolle Daten für die Turbulenzforschung. In ihrer Studie konzentrierten sich die Forschenden auf hohe Reynoldszahlen, da dies aus physikalischen Gründen notwendig war. Sensoren lassen sich nur bis zu einer gewissen Grenze verkleinern, und grundlegende Größen wie die Scherspannung sind im Labor nur schwer mit hoher Genauigkeit messbar.

Infolgedessen haben Wissenschaftler:innen eine Fülle von Simulationsdaten für niedrige Reynoldszahlen und zuverlässige experimentelle Daten für hohe Reynoldszahlen zusammengetragen. Was jedoch fehlte, war ein klares Bild davon, was dazwischen passiert. Im mittleren Bereich sind sowohl die Simulation als auch die experimentellen Methoden nur von begrenztem Nutzen. Appelbaum und seine Mitarbeitenden im Wenzel-Labor haben sich vorgenommen, dieses Problem direkt anzugehen.

### Ein scharfer Knick

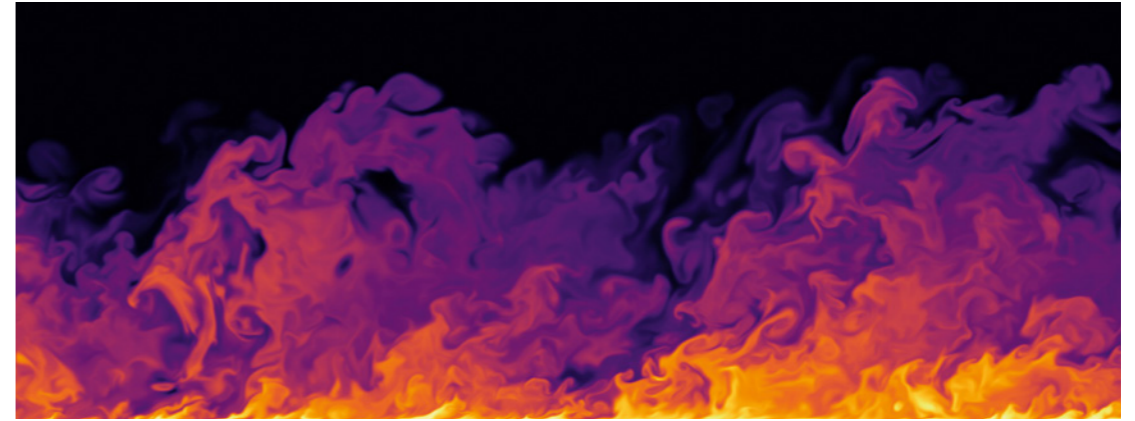
Die Ergebnisse von Appelbaums Simulation auf dem dem Supercomputer Hawk des HLRS geben die gesamte Entwicklung einer turbulenten Grenzschicht von niedrigen bis zu hohen Reynoldszahlen wieder. Obwohl die „reale“ Situation, die die Simulation darstellte, verschwindend klein erscheinen mag – sie bewegt sich für

etwa 20 Millisekunden mit doppelter Schallgeschwindigkeit – erforderte die Kampagne eine große Rechenleistung. Das Team nutzte 1.024 Rechenknoten (mehr als 130.000 Kerne) auf Hawk. Das entsprach einem Viertel der gesamten Maschine. Hunderte von kurzen Durchläufen dauerten jeweils vier bis fünf Stunden. Insgesamt benötigte die Simulation mehr als 30 Tage Computerlaufzeit.

„Die meisten Forschungsgruppen würden nicht das Risiko eingehen, so viel Rechenzeit für ein Problem wie dieses aufzuwenden, und sich stattdessen anderen interessanten Forschungsproblemen zuwenden, die nicht so teuer sind“, so Appelbaum. „Wir setzten alles auf eine Karte, um eine seit Langem bestehende Forschungslücke zu untersuchen.“

Doch die Investition hat sich gelohnt. In ihrer groß angelegten Simulation konzentrierten sich die Forschenden unter anderem auf den Reibungskoeffizienten, einen Wert, der das Verhältnis zwischen der Schubspannung an einer festen Oberfläche in einem sich bewegenden Fluid und dem freien Impuls der Strömung darstellt. Er ist ein Schlüsselparameter, der die Form des mittleren Geschwindigkeitsprofils beschreibt und für die Bestimmung des viskosen Widerstands entscheidend ist.

Appelbaum nutzte die Ergebnisse der Simulation, um zu zeigen, wie die zuvor getrennten Datensätze für niedrige und hohe Reynoldszahlen zusammenpassen. Während frühere Forschungsarbeiten nur mittels Interpolation abschätzen konnten, wie sich die Datensätze überschneiden könnten, zeigen die Ergebnisse des IAG-Teams einen überraschend scharfen Knick. Insbesondere wurde eine Änderung der Skalierung der Oberflächenreibung festgestellt, die mit der Entstehung eines voll entwickelten Zustands in den äußeren 90 Prozent der Grenzschicht verbunden ist. Dieser selbstähnliche Zustand ist ein Meilenstein in der Entwicklung der turbulenten Grenzschicht. Er signalisiert, dass sich das Skalierungsverhalten auf vorhersehbare Weise fortsetzt, wenn sich die Schicht zu industriell relevanten Reynoldszahlen entwickelt.



Ab einem bestimmten Punkt in der Entwicklung einer turbulenten Strömung – beispielsweise wenn Luft im Flug über einen Flügel strömt – behält der äußere Bereich der turbulenten Grenzschicht (in dem die Farbe Blau vorherrscht) eine beständige, selbstähnliche physikalische Struktur bei.

„Um Selbstähnlichkeit zu verstehen, hilft es, sich das Seitenverhältnis eines Fotos vorzustellen“, erklärt Appelbaum. „Für ein rechteckiges Bild mit einem Seitenverhältnis von 1:2 spielt es keine Rolle, ob das Bild so groß ist wie meine Hand oder ob ich es auf die Größe eines Busses skalieren. Die Beziehungen zwischen den Elementen auf dem Foto ähneln sich, egal wie groß es ist. Unsere Arbeit bestätigt, dass die äußere Region der turbulenten Grenzschicht die gleiche Art von Selbstähnlichkeit annimmt, sobald das System eine bestimmte Reynoldszahl erreicht.“

### Höhere Leistung bietet Chancen für Forschung und Technik

Dank dieses neuen Datensatzes können Forschende im Bereich der numerischen Strömungsmechanik turbulente Grenzschichten bei moderaten Reynoldszahlen untersuchen. Der nächste Schritt des Wenzel-Labors wird darin bestehen, die Physik hinter dem identifizierten Knickpunkt zu ergründen. Appelbaum sagt, dass das Team bereits Ideen dazu hat und plant, in Kürze eine weitere Publikation zu veröffentlichen.

Während anderer Forschungsarbeiten hat das Wenzel-Labor den NS3D-Code auf GPUs auf dem neuesten Supercomputer des HLRS, Hunter, portiert. Mithilfe des User Supports am HLRS und des Computerprozessor-

herstellers AMD hat das Team bereits sichergestellt, dass der Code auf dem neuen, GPU-beschleunigten System physikalisch präzise und leistungsfähig bleibt. In den kommenden Monaten wird NS3D so optimiert, dass er die Leistung von Hunter voll ausschöpfen kann. „Wir werden in der Lage sein, größere Gebiete mit noch höheren Turbulenzzuständen zu simulieren“, sagte Appelbaum. „Mehr Rechenleistung wird Studien ermöglichen, bei denen wir mehrere Simulationen durchführen, um das Skalierungsverhalten von zwei oder mehr Parametern gleichzeitig zu untersuchen.“

In der Zwischenzeit wird der Datensatz des Teams bei moderaten Reynoldszahlen zu einem Datenpool über turbulente Strömungen an Wänden beitragen. In Zukunft könnte er die Entwicklung umfangreicherer, genauerer Turbulenzmodelle unterstützen. Dies wird Ingenieur:innen Chancen zur Optimierung von Flugzeugkonstruktionen für ein breiteres Spektrum von Betriebsbedingungen und zur Verbesserung anderer Maschinen wie Ventilatoren oder Autos eröffnen, deren Effizienz von der Beherrschung der Effekte in turbulenten Grenzschichten abhängt.

### Weiterführender Artikel:

Appelbaum J, Gibis T, Pirozzoli S, Wenzel C. 2025. **The onset of outer-layer self-similarity in turbulent boundary layers.** J Fluid Mech. 1015: A37.

# Evolutionäre Molekulardynamik liefert Einblicke in die Ansammlung von Cholesterin

Eine neue Berechnungsmethode kombiniert maschinelles Lernen mit physikalisch fundierten Simulationen, um eine Erklärung für die Anziehungskraft von Cholesterin und Proteinen in Zellmembranen zu liefern.

Im 19. Jahrhundert entwickelte Charles Darwin seine Evolutionstheorie, die erklärte, wie sich Arten im Laufe der Zeit verändern. Seitdem hat das Konzept der Evolution viele andere Anwendungsbereiche gefunden – darunter auch als Inspiration für sogenannte „genetische Algorithmen“ in der rechnergestützten Forschung. In aktuellen Projekten beispielsweise haben Prof. Herre Jelger Risselada und Kollegen an der Technischen Universität Dortmund und der Universität Leiden ein Softwarepaket getestet und verbessert, das sie als evolutionäre Molekulardynamik (Evo-MD) bezeichnen. Diese unter Verwendung von Rechenkapazitäten am Höchstleistungsrechenzentrum Stuttgart (HLRS) und anderen Zentren entwickelte Methode liefert Einblicke in molekulare Wechselwirkungen, die künftig Strategien für neue Medikamente aufzeigen könnten.

In einem kürzlich in der Fachzeitschrift *Nature Communications* veröffentlichten Artikel erläutern die Forschenden, wie die evolutionäre Molekulardynamik wichtige biophysikalische Prozesse an der Plasmamembran in Säugetierzellen erklären kann. Der Artikel stellt auch eine seit Langem vertretene Hypothese darüber in Frage, wie sich Cholesterin in der Nähe von Plasmamembranproteinen ansammelt. Darüber hinaus zeigt er einen ungewöhnlichen Mechanismus auf, der dieses Phänomen besser erklären könnte.

## Das Problem der Cholesterin-Anziehung

Cholesterin ist ein wichtiger Bestandteil der Plasmamembranen von Säugetieren und spielt in der Interak-

tion mit Proteinen eine wichtige Rolle bei Prozessen, die biochemische Signale in und aus den Zellen übertragen. Es gibt Hinweise darauf, dass eine abnormale Anreicherung von Cholesterin auch eine Rolle bei neurologischen Erkrankungen und Krebs spielen kann. Ein besseres Verständnis der Wechselwirkungen zwischen Cholesterin und Proteinen in der Plasmamembran könnte daher zu neuen Strategien für die Entwicklung von Medikamenten verhelfen.

Seit 2009 deuten Daten darauf hin, dass Membranproteine Cholesterin am Aminosäuremotiv CRAC (Cholesterol Recognition/Interaction Amino Acid Consensus) und dessen Umkehrung CARC anziehen. Diese Beobachtung legt nahe, dass eine genetische Sequenz und die daraus resultierende 3D-Proteinstruktur gut zu Cholesterinmolekülen passen, diese anziehen und an Ort und Stelle halten. So interessant diese Hypothese auch ist, wurden diese Motive jedoch nur vage definiert. Forschende konnten bislang nicht schlüssig nachweisen, dass Cholesterin an solchen Stellen an Proteine binden kann.

„Das Konzept, dass Cholesterinmoleküle an CRAC- und CARC-Motive binden, basiert auf der Vorstellung, dass es eine spezifische Anziehungskraft zwischen Liganden und Proteinen gibt“, erklärte Prof. Risselada. „Mithilfe von Röntgenkristallographie kann man beobachten, wie Cholesterin an andere Stoffe bindet. Eine Aufklärung der Struktur der CRAC-/CARC-Bindung war jedoch bisher nicht möglich. Als wir mit unserer For-

schung begannen, wollten wir beweisen, dass Evo-MD durch die Wiederherstellung eines bekannten Motivs funktioniert. Überraschenderweise zeigte sich, dass das Motiv nicht für die Anziehung von Cholesterin verantwortlich war. Stattdessen führte es zu einer besseren Hypothese, warum dies geschieht.“

## Simulation der Evolution mit maschinellem Lernen und Molekulardynamik

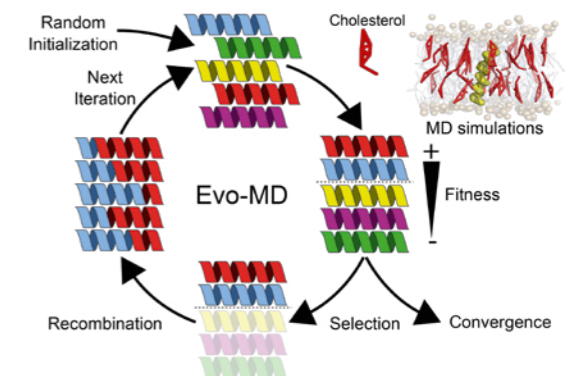
Risselada und der Postdoktorand Dr. Jeroen Methorst wollten die Natur der Cholesterinansammlung mittels Evo-MD besser verstehen. Konkret untersuchten sie thermodynamische Kräfte, die bestimmen, wie stark ein Cholesterinmolekül von einem Signalprotein angezogen wird, das die Plasmamembran durchspannt.

In einem Computeralgorithmus generierte Evo-MD zunächst eine große Menge zufälliger Aminosäuresequenzen – die genetischen Bausteine von Proteinen. Anschließend bewertete Evo-MD jede Sequenz daraufhin, inwieweit sie Cholesterin anziehen kann, und wies ihr einen Fitness-Score zu. Diejenigen, die am ehesten mit Cholesterin interagierten, erhielten einen höheren Score. Die Sequenzen, bei denen dies weniger wahrscheinlich war, wurden mit einem niedrigeren Score bewertet.

Nach Abschluss einer Runde wiederholte sich der gesamte Prozess, wobei in der zweiten Runde die besten Sequenzen aus der vorherigen Runde als Ausgangspunkt für die nächste Runde dienten. Der Algorithmus wählte erneut Sequenzen mit hoher Fitness aus und kombinierte sie anders, um eine neue Population aufzubauen. Dieser als „genetischer Algorithmus“ bezeichnete Prozess ahmt die Weitergabe von genetischem Material von Eltern an Kinder nach, führt jedoch gleichzeitig zufällige Veränderungen in den Aminosäuresequenzen ein, die eine bloße Kopie der genetischen Informationen zwischen den Generationen verhindern. Um den Fitness-Score für jede Aminosäuresequenz zu generieren, verwendeten die Forschenden Molekulardynamik (MD). Diese rechenintensive Methode nutzt physikalische Prinzipien, um Wechselwirkungen zwischen Molekülen bis auf die atomare Ebene hin zu

simulieren. Unter Anwendung von MD-Simulationen untersuchte das Team um Risselada, inwieweit Cholesterin und Transmembranmotive interagieren können. Konkret betrachteten sie Kraftfelder und quantifizierten dabei die Energie innerhalb des Systems, die sich aus der Anordnung von Molekülen und Atomen im Raum ergibt.

Ähnlich wie bei einer Spezies, die sich erfolgreich an ihre Umgebung anpasst, führt die wiederholte Durchführung dieses Zyklus die Evolution zum Ziel einer optimalen Fitnesslösung. Dank der Kombination aus Zufallsstichproben und einem datengesteuerten Ansatz des Reinforcement Learning maximiert Evo-MD die Anziehung zwischen Proteinen und Cholesterin deutlich schneller und effizienter, als wenn jede mögliche Kombination von Aminosäuresequenzen einzeln getestet würde. (Im untersuchten Beispiel wären dafür  $20^{10}$  Varianten zu prüfen gewesen!) Zugleich bindet der Algorithmus Molekulardynamik-Simulationen ein. So beruhen die Vorhersagen zu den Wechselwirkungen zwischen Cholesterin und Proteinen auf etablierten biophysikalischen Prinzipien und bleiben wissenschaftlich fundiert.



In der evolutionären Molekulardynamik werden Molekulardynamiksimulationen verwendet, um die Fähigkeit zufälliger Aminosäuresequenzen zur Anziehung von Cholesterin zu bewerten. Wie in der Evolution werden Sequenzen mit den höchsten Werten iterativ rekombiniert, bis eine optimale Anziehungskraft erreicht ist.

### Eine Erklärung für die Cholesterinansammlung

Die Forschenden fanden heraus, dass Evo-MD nach der Simulation von etwa 128 einzelnen Aminosäuresequenzen über 40 Iterationen zu einem optimalen Fitnesswert konvergiert, bei dem die besten Sequenzen eine stabile Wechselwirkung zwischen Protein- und Cholesterinmolekülen ermöglichen. „Das Interessante an einem datengesteuerten Ansatz ist, dass er eine Lösung findet, die am besten zu den verfügbaren Daten passt“, erklärte Risselada. „Doch dann stellt sich die Frage: Warum ist das die Lösung?“

Überraschenderweise stellten die Forscher bei der Untersuchung der optimalen Protein-Cholesterin-Wechselwirkungen fest, dass CRAC-/CARC-Motive allein kein Cholesterin anziehen können, da sie Aminosäuresequenzen enthalten, die es aktiv abstoßen. Stattdessen deuten die Ergebnisse darauf hin, dass in den CRAC-/CARC-umgebenden Proteinstrukturen ein feines Gleichgewicht zwischen denen besteht, die Cholesterin anziehen, und denen, die es abstoßen. Dadurch entsteht ein komplexeres Zusammenspiel thermodynamischer Kräfte, das das Lipid an Ort und Stelle hält. Aus dieser Perspektive bindet sich Cholesterin also nicht an CRAC-/CARC-Motive, sondern benachbarte Strukturen im Protein erleichtern die Cholesterinakkumulation. Experimente mit Kernspinresonanz-Scans und zellulären Nachweisverfahren bestätigten, dass diese Erklärung wahrscheinlicher ist, und lieferten weitere Details zu den genau beteiligten Aminosäureresten.

„Normalerweise verbinden sich Moleküle, weil ihre Formen zusammenpassen. In diesem Fall ist jedoch klar, dass der Mechanismus nicht normal ist“, sagte Risselada. „Diese Reaktion hier lässt sich als membranvermittelter Effekt einstufen, der einige Zusammensetzungsmerkmale festlegt, aber auch viel Flexibilität ermöglicht. Das Protein induziert einen hochenergetischen Zustand in der Membran, der eine effektive Cholesterinanziehung bewirkt.“

### Supercomputing für tieferegehende Forschung

Evo-MD muss viele verschiedene Aminosäuresequenzen gleichzeitig berechnen. Nur so lässt sich die

gesamte Bandbreite möglicher Lösungen erfassen. Daher müssen viele Simulationen parallel ausgeführt werden, wobei bis zu Tausende von Rechenkernen zum Einsatz kommen. Aus diesem Grund war eine effiziente Durchführung des Forschungsprojekts nur mit dem Supercomputer Hawk des HLRS und anderen Großrechnern möglich. Die Forschenden erhielten auf mehreren Computern konsistente Ergebnisse, was ihr Vertrauen in die Zuverlässigkeit ihrer Methode stärkte.

Im Laufe dieses Projekts verbesserte das Team den Evo-MD-Algorithmus, um die Rechenkapazitäten effizienter zu nutzen. Zunächst mussten alle Simulationen einer Generation von Aminosäuresequenzen abgeschlossen sein, bevor die nächste Generation beginnen konnte. In dieser Zeit standen jedoch viele Rechenkern im Leerlauf, weil sie auf den Abschluss anderer Berechnungen warteten. Heute verwendet das System einen komplexeren Arbeitsablauf, bei dem sich die Generationen nicht streng chronologisch entwickeln, sondern zwischen Pools potenzieller Aminosäuresequenzen hin- und herspringen. Diese Vorgehensweise verbessert die Lastverteilung und die parallelen Rechenkapazitäten des HPC lassen sich besser nutzen.

Aktuell wendet das Team von Risselada Evo-MD auf weitere Fragestellungen an, unter anderem die Verwendung evolutionärer Schemata zur Untersuchung der Wechselwirkungen zwischen kleinen Molekülen, die viel komplexere Systeme bilden.

„Viele Forschungsgruppen, die maschinelles Lernen einsetzen, sind sehr pragmatisch und konzentrieren sich auf strukturbasierte Optimierung für pharmazeutische Anwendungen“, erklärte Risselada. „Evo-MD ermöglicht es uns, sehr dynamische Eigenschaften zu messen und einzigartige Grundlagenforschung zu betreiben.“

#### Weiterführender Artikel

Methorst J, Verwei N, Hoffmann, et al. 2025. **Physics-based evolution of transmembrane helices reveals mechanisms of cholesterol attraction.** Nat Commun. 16: 9275.

## Ausgewählte Publikationen unserer Nutzer:innen im Jahr 2025

Ajmani A, Kirchof L, Rouhi A, Mehring C. 2025. **Assessing the effect of air ventilation on the dispersion of exhaled aerosol particles in a lecture hall: simulation strategy and streamlined workflow.** Fluids. 10(5): 132.

Albanesi S, Gamba R, Bernuzzi S, et al. 2025. **Effective-one-body modeling for generic compact binaries with arbitrary orbits.** Phys Rev D. 112: L121503.

Albanesi S, Rashti A, Zappa F, et al. 2025. **Scattering and dynamical capture of two black holes: synergies between numerical and analytical methods.** Phys Rev D. 111(2): 024069.

Andreolli A, Hutchins N, Frohnapfel B, Gatti D. 2025. **Temporal decay of secondary motions in turbulent channel flows.** J Fluid Mech. 1007: A19.

Ansorge C, Wurps H. 2025. **Wind veer and speed in turbulent Ekman flow part I: scaling analysis and velocity profile model.** Boundary-Layer Meteorology. 191: 44.

Appelbaum J, Gibis T, Pirozzoli S, Wenzel C. 2025. **The onset of outer-layer self-similarity in turbulent boundary layers.** J Fluid Mech. 1015: A37.

Barone A, Djukanovic D, von Hippel G, et al. 2025. **Isoscalar octet axial form factor of the nucleon from lattice QCD.** Phys Rev D. 112: 014503.

Barone A, Djukanovic D, von Hippel G, et al. 2025. **The isoscalar non-singlet axial form factor of the nucleon from lattice QCD.** In: Proceedings of the 41<sup>st</sup> International Symposium on Lattice Field Theory (LATTICE2024).

Beckers MF, Schollenberger M, Lutz T, Krämer E. 2025. **Numerical investigation of energy harvesting wingtip-mounted propellers.** J Aircraft. ePub Aug 31.

Bergström H, Liu SJ, Bandaru V, et al. 2025. **Introduction of a 3D global non-linear full-f particle-in-cell model for runaway electrons in JOREK.** Plasma Phys Control Fusion. 67(3): 035004.

Berizzi N, Gatti D, Soldati G, et al. 2025. **Aerodynamic performance of a transonic arfoil with spanwise forcing.** J Fluid Mech. 1010: A18.

Bernuzzi S, Fontbuté J, Albanesi S, Zenginoglu A. 2025. **Perturbative hyperboloidal extraction of gravitational waves in 3 + 1 numerical relativity.** Phys Rev D. 112: 084036.

Bocchini A, Gerstmann U, Schmidt WG. 2025. **Microscopic origin of gray tracks in KTiOPO<sub>4</sub>.** Phys Rev B. 111: 104103.

Bocchini A, Kollmann S, Gerstmann U, et al. 2025. **Phosphonic acid adsorption on  $\alpha$ -Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub> surfaces.** Surface Sci. 760: 122776.

Bocchini A, Rüsing M, Bollmers L, et al. 2025. **Mg dopants in lithium niobite (LiNbO<sub>3</sub>, LN): defect models and impact on domain inversion.** Phys Rev Mater. 9: 074402.

Borsányi S, Capitani S, Fodor Z, et al. 2025. **Taste breaking in the minimally doubled Karsten-Wilczek action and its tree-level improvement.** Phys Rev D. 111: 074510.

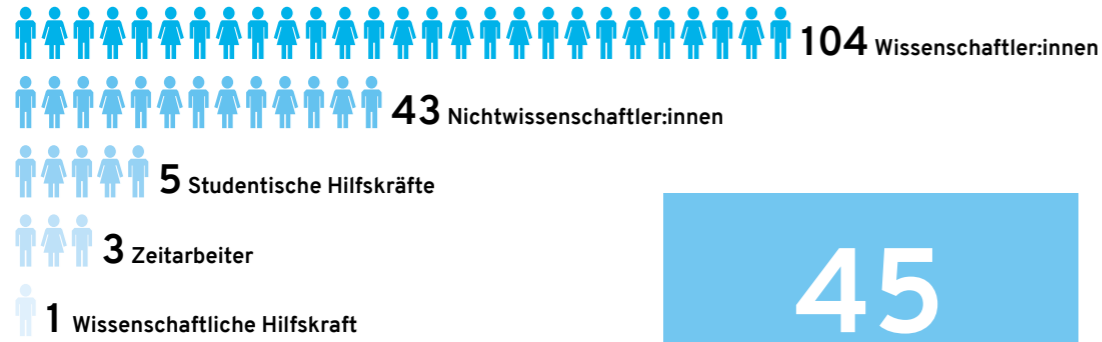
- Borsányi S, Fodor Z, Guenther JN, et al. 2025. **Lattice QCD constraints on the critical point from an improved precision equation of state.** Phys Rev D. 112: L111505.
- Conigli A, von Hippel G, Kuberski S, et al. 2025. **The hadronic contribution to the running of  $\alpha$  and the electroweak mixing angle.** In: Proceedings of the 41<sup>st</sup> International Symposium on Lattice Field Theory (LATTICE2024).
- Cook W, Daszuta B, Fields J, et al. 2025. **GR-Athena++: general-relativistic magnetohydrodynamics simulations of neutron star spacetimes.** Astrophys J. 277(1): 3.
- Dahale R, Cho I, Moriyama K, et al. 2025. **Origin of the ring ellipticity in the black hole images of M87\*.** Astron Astrophys. 699: A279.
- Deng X, Müller-Plathe F. 2025. **Underwater adhesion of oil droplets to surfaces grafted with hydrophilic polymer brushes: many-body dissipative-particle simulations.** Langmuir. 41(22): 14287-14299.
- Diederich J, Paszuk A, Ruiz Alvarado IA, et al. 2025. **Ultrafast electron dynamics at the water-modified InP(100) surface.** Adv Mater Interfaces. 12(16): e00463.
- Djukanovic D, von Hippel G, Kuberski S, et al. 2025. **The hadronic vacuum polarization contribution of the muon  $g-2$  at long distances.** J High Energy Phys. 2025: 98.
- Ecker C, Gorda T, Kurkela A, Rezzolla L. 2025. **Constraining the equation of state in neutron-star cores via the long ringdown signal.** Nat Communications. 16: 1320.
- Folson D, Blanco C, Lisanti M, et al. 2025. **Dark matter velocity distributions for direct detection: astrophysical uncertainties are smaller than they appear.** Phys Rev Lett. 135: 211004.
- Fontbuté J, Bernuzzi S, Rettegno P, et al. 2025. **Gravitational scattering of two neutron stars.** Phys Rev D. 112: L121501.
- Fraas S, Tismer A, Riedelbauch S. 2025. **Comparison of different strategies to include structural mechanics in the optimization process of an axial turbine's runner blade.** Int J Turbomach Propuls Power. 10(4): 38.
- Gajo F, Heintz A, Keßler M. 2025. **A comparison of numerical and experimental data from wake decay in hovering rotors.** CEAS Aeronaut J. ePub Dec 11.
- Garmirian F, Pfeiffer M. 2025. **Implementation of asymptotic preserving discrete velocity methods into the simulation code PICLas.** Comput Phys Commun. 314: 109648.
- Gieg H, Schienchi F, Ujevic M, Dietrich T. 2025. **Role of muons in binary neutron star mergers: first simulations.** Phys Rev D. 112: 023036.
- Glaser T, Nolte GF, Bohamud T, et al. 2025. **Through stronger hindrance to higher reactivity: influence of the alkyl chains on the activation energy of ether cleavage on silicon.** Angew Chemie Int Ed. 65(1): e19990.
- Goddi C, Carlos DF, Crew GB, et al. 2025. **First polarization study of the M87 jet and active galactic nuclei at submillimeter wavelengths with ALMA.** Astron Astrophys. 699: A265.
- Göbel S, Peters JA, Glaser T, et al. 2025. **Adsorption of methanol on Si(001) revisited: alternative reaction pathways at increased surface temperature.** J Phys Chem C. 129(4): 10911-10916.
- Gutiérrez EM, Bhattacharya M, Radice D, et al. 2025. **Cocoon shock breakout emission from binary neutron star mergers.** Phys Rev D. 111(6): 063031.
- Heinzelmann P, Baum S, Riedmüller KR, et al. 2025. **A comprehensive benchmark dataset for sheet metal forming: advancing machine learning and surrogate modelling in process simulations.** MATEC Web Conf. 408: 01090.
- Heinzelmann P, Baum S, Riedmüller KR, et al. 2025. **A data-driven surrogate model for predicting springback in deep drawing processes.** J Phys Conf Ser. 3104: 012060.
- Höfler K, Görler T, Happel T, et al. 2025. **Milestone in predicting core plasma turbulence: successful multi-channel validation of the gyrokinetic code GENE.** Nat Commun. 16: 2558.
- Huez G, Bernuzzi S, Breschi M, Gamba R. 2025. **Gravitational waves from eccentric binary neutron star mergers: systematic biases and inadequacy of quasicircular templates.** Phys Rev D. 112: 084054.
- Imbrogno M, Meringolo C, Cruz-Osorio A, et al. 2025. **Turbulence and magnetic reconnection in multispecies plasmas.** Astrophys J Lett. 990: L33.
- Imuetinyan H, Saric D, Bazile JP, et al. 2025. **Equilibrium Thermophysical Properties of CO<sub>2</sub> + Cyclohexanol + Toluene Mixtures at  $T = 293.15-353.15$  K and  $p = 0.1-30$  MPa.** J Chem Eng Data. 70(4): 1638-1651.
- Jiang JL, Ng HHY, Chabanov M, Rezzolla L. 2025. **Long-term impact of the magnetic-field strength on the evolution and electromagnetic emission by neutron-star merger remnants.** Phys Rev D. 111: 103043.
- Klinner J, Munoz Lopez EJ, Hergt A, Willert CE. 2025. **The unsteady shock-boundary layer interaction in a compressor cascade—part I: measurements with time-resolved particle image velocimetry.** J Turbomach. 147(9): 091001.
- Klose BF, Morsbach C, Bergmann M, et al. 2025. **The unsteady shock-boundary layer interaction in a compressor cascade—part II: high-fidelity simulation.** J Turbomach. 147(9): 091002.
- Knodel MM, Nägel A, Wittum G. 2025. **Solving nonlinear virus replication PDE models with hierarchical grid distribution based GMG.** In Sequeira A, Silvestre A, Valtchev SS, Janela J, eds. Numerical Mathematics and Advanced Applications ENUMATH 2023, Vol 2. Springer Nature.
- Koehn H, Wouters T, Pang PTH, et al. 2025. **Efficient Bayesian analysis of kilonovae and gamma ray burst afterglows with FIESTA.** Astron Astrophys. 704: A55.
- Koppitz B, Saxena T, Bernhardt F, et al. 2025. **Second harmonic generation contrasts of ferroelectric domain structures and composition in lithium niobate-tantalate mixed crystals.** J Appl Phys. 138(3): 034101.
- Kostelecky J, Ansoorge C. 2025. **Surface roughness in stratified turbulent Ekman flow.** Boundary-Layer Meteorol. 191: 5.
- Kurz M, Kaushik R, Blind M, et al. 2025. **Invariant control strategies for active flow control using graph neural networks.** Computers Fluids. 303: 106854.
- Legeza Ö, Menczer A, Ganyecz A, et al. 2025. **Orbital optimization of large active spaces via AI-Accelerators.** J Chem Theory Comput. 21(13): 6545-6558.
- Lin YC, Matsumoto R, Ghorbani-Asl M, et al. 2025. **Na intercalation in bilayer graphene: formation of a close-packed trilayer.** ACS Nano. 19(47): 40612-40619.
- Liu Q, Sun H, Lin YC, et al. 2025. **Defect migration and phase transformations in two-dimensional iron chloride inside bilayer graphene.** ACS Nano. 19(4): 4845-4854.

- Lütge S, Krebs M, Risselada HJ. 2025. **Toward the evolutionary optimisation of small molecules within coarse-grained simulations: training molecules to hide behind lipid head groups.** *J Phys Chem B.* 129(9): 2482-2492.
- Mace EJ, Vrabec J. 2025. **Thermodynamic properties of ammonia–water mixtures in the vapor–liquid, critical, and Widom regions.** *J Chem Phys.* 163: 184305.
- Mastrikov YA, Gryaznov D, Chesnokov A, et al. 2025. **Oxygen defect formation and migration in Sr<sub>2</sub>FeO<sub>4-δ</sub>: Insights from first principles DFT calculations with the PBE+*U* functional.** *Phys Rev Materials.* 9: 105801.
- Mehlich K, Chagas T, Davies FH, et al. 2025. **Kirkendall voids in monolayer Mo<sub>x</sub>Ta<sub>y</sub>S<sub>2</sub> alloys on Au(111).** *J Phys Chem Lett.* ePub Dec 26.
- Methorst J, Verwei N, Hoffmann C, et al. 2025. **Physics-based evolution of transmembrane helices reveals mechanisms of cholesterol attraction.** *Nat Commun.* 16: 9275.
- Meringolo C, Camilloni F, Rezzolla L. 2025. **Electromagnetic energy extraction from Kerr black holes: ab initio calculations.** *Astrophys J Lett.* 922(1): L8.
- Mohamed AGA, Lörch D, Euchner H, et al. 2025. **CO<sub>2</sub> reduction on liquid GaInSn-metal: dynamics of the electrode-electrolyte interface.** *ChemCatChem.* 17(7): e202401740.
- Mohanty B, Pradhan L, Satpati B, et al. 2025. **Structural and compositional optimization of bimetallic NiCo alloy nanoparticles for promotion of alkaline hydrogen evolution reaction.** *J Power Sources.* 625: 235641.
- Molignini P. 2025. **Beyond-mean-field phases of rotating dipolar condensates in the strongly-correlated regime.** *J Phys Condens Matter.* 37(44): 445401.
- Molignini P. 2025. **Stability of quasicrystalline ultracold fermions to dipolar interactions.** *Phys Rev Research.* 7: L032026.
- Molignini P, Chakrabarti B. 2025. **Stability of dipolar bosons in a quasiperiodic potential.** *Phys Rev Research* 7: 023237.
- Mosnier J-P, Kennedy ET, Cubaynes D, et al. 2025. **L-shell photoionisation cross sections in the S<sup>+</sup>, S<sup>2+</sup>, S<sup>3+</sup> isonuclear sequence.** *J Phys B.* 58(7): 075002.
- Mossier P, Jöns S, Chiochetti S, et al. 2025. **Numerical simulation of phase transition with the hyperbolic Godunov-Peshkov-Romenski model.** *J Comput Phys.* 520: 113514.
- Mossier P, Oestringer P, Jöns S, et al. 2026. **Tackling compressible turbulent multi-component flows with dynamic hp-adaptation.** *Computers Fluids.* 306: 106928. (ePub Nov 26, 2025)
- Mudimadugula R, Schianchi F, Neuweiler A, et al. 2025. **Employing deep-learning techniques for the conservative-to-primitive recovery in binary neutron star simulations.** *Euro Phys J A.* 61: 193.
- Munoz Lopez EJ, Hergt A. 2025. **Experimental and numerical investigations of SBLI and flow control on a transonic compressor cascade.** In: Flaszynski P, Babinsky H, Doerffer P, eds. *Towards Effective Flow Control and Mitigation of Shock Effects in Aeronautical Applications.* 297-324. Springer.
- Munoz Lopez EJ, Hergt A, Klinner J, et al. 2025. **The unsteady shock-boundary layer interaction in a compressor cascade—part III: mechanisms of shock oscillation.** *J Turbomach.* 147(9): 091003.
- Musolino C, Rezzolla L, Most ER. 2025. **On the impact of neutrinos on the launching of relativistic jets from “magnetars” produced in neutron star mergers.** *Astrophys J Lett.* 984(2): L61.
- Nathanail A, Mizuno Y, Contopoulos I, et al. 2025. **The impact of resistivity on the variability of black hole accretion flows.** *Astron Astrophys.* 693: A56.
- Neher NS, Faulhaber E, Berger S, et al. 2026. **Robust and efficient pre-processing techniques for particle-based methods including dynamic boundary generation.** *Comput Phys Commun.* 318: 109898.
- Neuhauser J, Metsch JH, Gatti D, Frohnapfel B. 2025. **Solution of the extended Graetz problem for nonuniform heat flux.** *Int J Heat Mass Transfer.* 249: 127198.
- Neuhauser J, Schmidt C, Gatti D, Frohnapfel B. 2025. **Predicting the global drag of turbulent channel flow over roughness strips.** *Int J Heat Fluid Flow.* 115: 109848.
- Neuweiler A, Dietrich T, Brüggemann B. 2025. **Magneto-hydrodynamic simulations of eccentric binary neutron star mergers.** *Phys Rev D.* 112: 023033.
- Ng HHY, Musolino C, Tootle SD, Rezzolla L. 2025. **Accurate muonic interactions in neutron star mergers and impact on heavy-element nucleosynthesis.** *Astrophys J Lett.* 985(2): L36.
- Nitzke I, Guevara-Carrion G, Saric D, et al. 2025. **ms2: a molecular simulation tool for thermodynamic properties, release 5.0.** *Comput Phys Commun.* 310: 109541.
- Onyedikachi A, Kruklinkii D, Ghorbani-Asl M, et al. 2025. **When defects become the crystal: periodic mirror-twin boundary phases in substoichiometric 2D-MoTe<sub>2</sub>.** *Nano Lett.* ePub Dec 23.
- Palmetshofer P, Saha R, Bryce J, et al. 2025. **Droplet impact onto sub-millimeter microstructures fully and barely submerged in a liquid film.** *Phys Fluids.* 38: 082130.
- Pfeiffer F, Krenz M, Sanna S. 2025. **Theoretical investigation and simulated imaging of halogenated tetracenes on coinage metal (111) surfaces.** *J Phys Chem C.* ePub Dec 1.
- Picker J, Ghorbani-Asl M, Schaal M, et al. 2025. **Atomic structure and electronic properties of Janus SeMoS monolayers on Au(111).** *Nano Lett.* 25(8): 3330-3336.
- Pionteck MN, Roeper M, Koppitz B, et al. 2025. **Second-order nonlinear piezo-optic properties of single crystal lithium niobate thin films.** *Phys Rev B.* 111: 064109.
- Polgar B, Homes S, Vrabec J. 2025. **Injection of a cyclopentane jet into a dense nitrogen environment by molecular dynamics.** *Phys Fluids.* 37: 114103.
- Pollinger T, Hurler M, Van Craen A, et al. 2025. **DisCoTec: Distributed higher-dimensional HPC simulations with the sparse grid combination technique.** *J Open Source Software.* 10(106): 7018.
- Ramasamy R, Zhang H, Geiger J, et al. 2025. **A comparison of low-n Mercier unstable Wendelstein stellarators and quasi-interchange modes in tokamaks.** *J Plasma Phys.* 91(4): E119.
- Rashti A, Gamba R, Chandra K, et al. 2025. **Binary black hole waveforms from high-resolution gr-athena++ simulations.** *Phys Rev D.* 111(10): 104078.
- Roy R, Alon OE. 2025. **Assessing small accelerations using a bosonic Josephson junction.** *Phys Rev A.* 111: 043307.
- Roy R, Alon OE. 2025. **Dynamics and transport of Bose-Einstein condensates in bent potentials.** *J Chem Phys.* 163: 224306.
- Ryu R, Sills A, Pakmor R, et al. 2025. **Magnetic field amplification during stellar collisions between low-mass stars.** *Astrophys J Lett.* 980: 2.

- Ryu T, Dessart L. 2025. **Light curves and spectra for stellar collisions between main-sequence stars in galactic nuclei.** *Astron Astrophys.* 698: A255.
- Ryu T, Sari R, de Mink SE, et al. 2025. **Binary mass transfer in 3D: mass transfer rate and morphology.** *Astron Astrophys.* 702: A61.
- Schramm J, Tonner-Zech R. 2025. **Unveiling correlations in metal-organic interface properties: a computational exploration of alternant and non-alternant  $\pi$ -electron systems.** *ChemPlusChem.* 90(6): e202400771.
- Schuchart J, Bouteiller A, Herault T, et al. 2025. **Scalable block-sparse matrix multiplication using template task graphs.** In: *Asynchronous Many-Task Systems and Applications: Proceedings of the Third International Workshop WAMTA.* Diehl P, Cao Q, Herault T, Bosilca G, eds. Springer Nature. Pages 120 – 132.
- Schütte M, Hocker S, Lipp H, et al. 2025. **A machine learning framework for scattering kernel derivation using molecular dynamics data in very low Earth orbit.** *Phys Fluids.* 37: 093609.
- Schwarz A, Kempf D, Keim J, et al. 2025. **Comparison of entropy stable collocation high-order DG methods for compressible turbulent flows.** *Computers Fluids.* 303: 106874.
- Scialabba G, Davidovic M, Attili A, Pitsch H. 2025. **Direct numerical simulation of soot break-through in turbulent non-premixed flames.** *Combustion Flame.* 275: 114093.
- Secchi F, Gatti D, Piomelli U, Frohnafel B. 2025. **A framework for assessing the Reynolds analogy in turbulent forced convection over rough walls.** *J Fluid Mech.* 1006: R3.
- Shamooni A, Cheng R, Zirwes T, et al. 2025. **Super-resolution of turbulent velocity fields in two-way coupled particle-laden flows.** *Phys Fluids.* 37: 093383.
- Shamraienko V, Friedrich R, Subakti S, et al. 2025. **Weak spots in semiconductor nanoplatelets: from isolated defects toward directed nanoscale assemblies.** *Small.* 21(5): 2411112.
- Shao X, Albers M, Meinke M, Schröder W. 2025. **Compressibility effects on drag reduction by spanwise traveling transversal surface waves in turbulent boundary layers.** *Phys Rev Fluids.* 10: 094603.
- Stober JL, Schulte K. 2025. **What governs droplet spreading on a wetted wall?** *Phys Fluids.* 37: 032124.
- Su Y, Saric D, Guevara-Carrion G, et al. 2025. **Diffusion coefficients of aqueous alkali-halide solutions.** *Indust Eng Chem Res.* 64(41): 20045-20061.
- Su Y, Saric D, Guevara-Carrion G, et al. 2025. **Fick and Maxwell-Stefan diffusion of the liquid mixture cyclohexane + toluene + acetone + methanol and its subsystems.** *Chem Eng Sci.* 301: 120662.
- Tang W, Moelzl M, Lehnen M, et al. 2025. **Non-linear MHD modelling of shattered pellet injection in ASDEX Upgrade.** *Nucl Fusion.* 65: 116003.
- Topolski K, Tootle SD, Rezzolla L. 2025. **Black hole-neutron star binaries with high spins and large mass asymmetries: I. Properties of quasiequilibrium sequences.** *Phys Rev D.* 111: 064022.
- Topolski K, Tootle SD, Rezzolla L. 2025. **Black hole-neutron star binaries with high spins and large mass asymmetries: II. Properties of dynamical simulations.** *Phys Rev D.* 111: 064023.
- Tugend L, Homes S, Vrabec J. 2025. **Topologies of nanoscale droplets upon head-on collision from large molecular dynamics simulations.** *Langmuir.* 41(2): 1480-1490.
- Vorspohl J, André L, Rüttgers M, Schröder W. 2025. **Drag correlations for multiphase flows using artificial neural networks.** In: *Proceedings of the 35<sup>th</sup> International Conference on Parallel Computational Fluid Dynamics.*
- Wang Y, Rinn N, Eberheim K, et al. 2025. **The  $\pi$ -trap approach for obtaining crystal structure data of inherently amorphous cluster compounds.** *Nat Commun.* 16: 7903.
- Wegmann T, Niemöller A, Meinke M, Schröder W. 2025. **Parallel Eulerian-Lagrangian coupling method on hierarchical meshes.** *J Comput Phys.* 521: 113509.
- Wengryzn O, Keßler M, Krämer E, et al. 2025. **Tight coupling of helicopter airframe including the influence of the gearbox.** *CEAS Aeronaut J.* ePub Dec 15.
- Wichai K, Deng X, Gorges, et al. 2025. **Structural and adhesive properties of cellulosic mucilage: a molecular-level investigation.** *Biomacromolecules.* 26(8): 5258-5268.
- Wittig H, Blum T, Conigli A, et al. 2025. **Machine-learning techniques as noise reduction strategies in lattice calculations of the muon  $g - 2$ .** In: *Proceedings of the 41<sup>st</sup> International Symposium on Lattice Field Theory (LATTICE2024).*
- Wulfmeier H, Yakhnevych U, Boekhoff C, et al. 2025. **Demonstration of domain wall current in MgO-doped lithium niobate single crystals up to 400 °C.** *Solid State Ionics.* 429: 116949.
- Wurps H, Steinfeld G, Ansorge C. 2025. **Wind veer and speed in turbulent Ekman flow part II: comparison to LES for atmospheric Reynolds numbers.** *Boundary-Layer Meteorology.* 191: 41.
- Yang Z, Meinke M, Krug D, Schröder W. 2025. **Numerical investigation on noise reduction of distributed propellers by phase synchronization.** *Proceedings of the 11<sup>th</sup> Convention of the European Acoustics Association.*
- Ye Q, Tiedje O, Domnick J. 2025. **Influence of droplet charge on spray painting with a high-speed rotary bell.** *J Electrostatics.* 134: 104042.
- Ye Q, Tiedje O, Shen B, Domnick J. 2025. **Impact of viscous droplets on dry and wet substrates for spray painting processes.** *Fluids.* 10(5): 131.
- Zare Pour MA, Shekarabi S, Ruiz Alvarado IA, et al. 2025. **Exploring electronic states and ultrafast electron dynamics in AlInP window layers: the role of surface reconstruction.** *Adv Func Mater.* 35(34): 2423702.
- Ziese F, Dehnen S, Sanna S. 2026. **C atoms versus Si atoms at the bridgehead positions of phenyl-decorated adamantane-type clusters: influence on the nonlinear optical response.** *Phys Chem Chem Phys.* ePub Dec 2, 2025.

# HLRS in Zahlen

## 156 Beschäftigte



**45**  
 Vorträge von  
 Mitarbeitenden  
 des HLRS

## Systemnutzung\*

**402,8** Millionen  
 Gesamtanzahl an produzierten Recheneinheit-Stunden

## Forschung

**357,2** Millionen  
 Recheneinheit-Stunden  
 140 Nutzer-Projekte 125 Nutzer-Publikationen

## Publikationen



43 Veröffentlichungen in Fachzeit-  
 schriften, Büchern und Konferenzen  
 2 Bücher

## Industrie

**45,6** Millionen  
 Recheneinheit-Stunden  
 76 Industriekunden

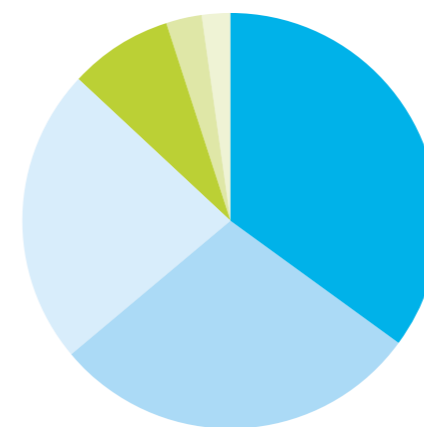
\* Hawk und Hunter waren im Jahr 2025 in Betrieb. Um CPU-basierte und GPU-beschleunigte Systeme vergleichen zu können, verwendet das HLRS ab sofort keine Core-Stunden mehr als Maßinheit für die Erfassung der Systemnutzung, sondern Recheneinheit-Stunden.

## Aus- und Weiterbildung



**2.181**  
 Gäste am HLRS

## Drittmittel



**7.300.000 €**

- EU 35%
- Land 29%
- Bund 23%
- DFG 8%
- Stiftungen 3%
- Industrie 2%

# Über uns



## In unserem Rechenraum

### HPE Cray EX4000 (Hunter)

Hunter ist der im Februar 2025 in Betrieb genommene Flaggschiff-Supercomputer des HLRS. Er basiert auf der gleichen Technologie wie die drei weltweit verifizierten Exascale-Systeme und ermöglicht groß angelegte, hochmoderne Anwendungen für Simulation, künstliche Intelligenz und Datenanalyse, einschließlich hybrider Rechenansätze, die verschiedene Methoden zu leistungsstarken Workflows kombinieren. Sein Herzstück ist die AMD Instinct™ MI300A Accelerated Processing Unit (APU), die CPUs, GPUs und Speicher mit hoher Bandbreite in einem einzigen Paket kombiniert. Mit einer theoretischen Spitzenleistung von 48,1 Petaflops ist Hunter fast doppelt so schnell wie sein Vorgänger Hawk, während der Energiebedarf bei Spitzenleistung um etwa 80 Prozent gesenkt wurde. Bei seinem Einzug in die Green500-Liste im Juni 2025 belegte Hunter Platz 12 unter den schnellsten Supercomputern der Welt. In der TOP500-Liste landete er außerdem auf Platz 53 für die Gesamtspitzenleistung. Hunter ist als Übergangssystem konzipiert, das es den Systemnutzenden ermöglicht, sich auf den kommenden Supercomputer Herder vorzubereiten. Dieser soll im Jahr 2027 eingeweiht werden.

#### Prozessoren:

APUs: 752 AMD Instinct MI300A

CPUs: 512 AMD EPYC 9374F

#### Speichertechnologie:

APU: 512 GB HBM3 (~5.3 TB/s)

CPU: 768 GB DDR5-4800

#### Speicher:

Cray ClusterStor E2000 (25 PB Kapazität auf 2120 Disks)

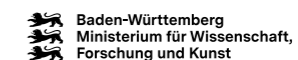
#### Netzwerk:

HPE Slingshot 11 Dragonfly (APU: 4 x 200 Gbps pro Knoten)

#### Spitzenleistung:

48,1 Petaflops

Finanziert wurde Hunter vom baden-württembergischen Ministerium für Wissenschaft, Forschung und Kunst (MWK) sowie vom Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt (BMFTR), vermittelt durch das Gauss Centre for Supercomputing (GCS). Hunter ist Teil der nationalen Supercomputing-Infrastruktur des GCS.



## Hawk KI Erweiterung (HPE Apollo 6500 Gen10 Plus)

Diese Partition wurde ursprünglich 2021 als Teil des früheren Supercomputers Hawk installiert. Obwohl Hawk mit der Installation von Hunter außer Betrieb genommen wurde, bietet die KI-Erweiterung weiterhin NVIDIA-GPUs, die für maschinelles Lernen und KI-Anwendungen geeignet sind.

*CPU Typ:* AMD EPYC  
*GPU Typ:* NVIDIA A100  
*Anzahl GPUs:* 192  
*Performance:* 120 Petaflops KI-Rechenleistung

## NEC Cluster (Vulcan)

Dieser Standard-PC-Cluster wurde 2009 installiert. Seine Konfiguration wurde kontinuierlich angepasst, um den steigenden Anforderungen gerecht zu werden und bedarfsoptimierte Lösungen zu bieten, einschließlich CPU-, GPU- und Vektorrechner-Komponenten. Die aktuelle Konfiguration sieht wie folgt aus.

### Intel Xeon Gold 6248 @ 2.5 GHz (CascadeLake)

*Anzahl Rechenknoten:* 96  
*Hauptspeicher pro Rechenknoten:* 128 GB

### Intel Xeon Gold 6138 @ 2.0 GHz (SkyLake)

*Anzahl Rechenknoten:* 100  
*Hauptspeicher pro Rechenknoten:* 192 GB

### AMD Radeon

*CPU:* Intel Xeon Silver 4112 @ 2.6 GHz (Skylake)  
*Anzahl Rechenknoten:* 6  
*Hauptspeicher pro Rechenknoten:* 96 GB  
*CPU:* 1 × AMD Radeon Pro WX8200  
*CPU Hauptspeicher:* 8 GB

### AMD Genoa

*CPU:* AMD Genoa EPYC 9334 @ 2.7 GHz base, 32 cores  
*Anzahl Rechenknoten:* 156  
*Hauptspeicher pro Rechenknoten:* 768 GB

### NVIDIA A30

*Anzahl Rechenknoten:* 24  
*CPU:* 2 × AMD EPYC 9124 Genoa, 3.0 GHz base, 16 core

*Hauptspeicher pro Rechenknoten:* 768 GB DDR5  
*GPU:* 1 × NVIDIA A30  
*GPU Hauptspeicher:* 24 GB HBM2e

### Large Memory Nodes

*Anzahl Rechenknoten:* 2  
*CPU:* 2 × AMD EPYC 9124 Genoa, 3.0 GHz base, 16 core  
*Hauptspeicher pro Rechenknoten:* 3,072 GB DDR5

### Interconnects

Infiniband EDR / HDR

# Unsere Nutzer:innen

Es folgt eine Zusammenfassung der Nutzung der Supercomputer des HLRS im Kalenderjahr 2025.

## Gauss Centre for Supercomputing (GCS)

### Bewilligte large-scale Projekte

Anzahl neuer large-scale Projekte	9
KI-Knoten-Stunden (Millionen)	205,9

### GCS Projekte – Systemnutzung 2025

Anzahl aktive GCS-Projekte	140
KI-Knoten-Stunden (Millionen)	146,96
CPU-Knoten-Stunden (Millionen)	1,72

### Sonstige wissenschaftliche Nutzung

KI-Knoten-Stunden (Millionen)	3,18
CPU-Knoten-Stunden (Tausend)	412,35

### Gesamte wissenschaftliche Systemnutzung

Recheneinheit-Stunden (Millionen)	357,2
-----------------------------------	-------

## Systemnutzung vonseiten der Industrie

### Industriekunden am HLRS

Anzahl der Industriekunden	76
Aktive Nutzer:innen im Jahr 2025	41
Recheneinheit-Stunden (Millionen)	17,24

### HWW-Nutzung

Recheneinheit-Stunden (Millionen)	28,37
-----------------------------------	-------

### Gesamte Systemnutzung vonseiten der Industrie

Recheneinheit-Stunden (Millionen)	45,61
-----------------------------------	-------

### Gesamte Systemnutzung im Jahr 2025\*

Recheneinheit-Stunden (Millionen)	402,77
Prozentzahl Wissenschaft	88,67%
Prozentzahl Industrie	11,33%

## Systemnutzung nach Forschungsdisziplin (Hunter)

CFD	57,24%
Physik	40,71%
Informatik	1,61%
Mobilität und Klima	0,23%
Reaktive Strömungen	0,15%
Materialsimulation / Materialforschung	0,04%
Chemie	0,02%
Festkörperphysik	0,01%
Sonstiges	< 0,01%
Strukturmechanik	< 0,01%

## Systemnutzung nach Bundesland (Hunter)

Nordrhein-Westfalen	78,72%
Baden-Württemberg	16,40%
Bayern	1,93%
Bundesforschungseinrichtungen	1,28%
Hessen	0,83%
Thüringen	0,66%
Brandenburg	0,15%
Berlin	0,02%
Niedersachsen	< 0,01%
Rheinland-Pfalz	< 0,01%
Sachsen	< 0,01%

\* Hawk und Hunter waren im Jahr 2025 in Betrieb. Um CPU-basierte und GPU-beschleunigte Systeme vergleichen zu können, verwendet das HLRS ab sofort keine Core-Stunden mehr als Maßinheit für die Erfassung der Systemnutzung, sondern Recheneinheit-Stunden.

# Geförderte Forschungsprojekte am HLRS

Zusätzlich zur Bereitstellung von Supercomputing-Ressourcen für Forschende und Ingenieur:innen aus Wissenschaft und Industrie werden eigene Projekte des HLRS in den Bereichen Höchstleistungsrechnen, künstliche Intelligenz, Visualisierung und High-Performance-Datenanalyse gefördert. Diese meist in Zusammenarbeit mit Partnern aus Forschung und Wirtschaft umgesetzten Aktivitäten beschäftigen sich mit den wichtigsten HPC-Themen und tragen dazu bei, Herausforderungen für Deutschland, Europa und die Welt zu bewältigen. Im Folgenden finden Sie eine Liste der geförderten Projekte aus dem Jahr 2025.

Erfahren Sie mehr über unsere aktuellen Projekte unter [www.hlrs.de/de/projekte](http://www.hlrs.de/de/projekte)

## 3xa

**November 2022 – Dezember 2025** BMFTR

Entwickelte skalierbare Methoden für die Simulation von Dreikörperwechselwirkungen in Partikelsystemen unter Einsatz von vektorisierenden Kernen, dynamischen Lastverteilungsansätzen und adaptiven Verfahren für die Partikeldarstellung.

## AuralReality ■

**September 2025 – August 2027** BMW

Entwickelt eine integrierte und europäische Lösung für die Produktion und Implementierung von Spatial Audio für das Location-Based-Entertainment in standortbezogenen Unterhaltungsumgebungen wie Vergnügungsparks oder immersiven Ausstellungen.

## BEGIN HPC+

**April 2024 – April 2027** MWK

Zusätzliche Finanzierung zur Durchführung von EuroCC 2 und CASTIEL 2, für Aktivitäten, die nicht vonseiten der EU oder des BMFTR gefördert werden.

## bwHPC-S5

**Juli 2018 – Januar 2026** MWK

Koordiniert die Unterstützung von HPC-Nutzer:innen in Baden-Württemberg und die Umsetzung von Maßnahmen und Aktivitäten wie Data Intensive Computing und Large Scale Scientific Data Management.

## CASTIEL 2

**Januar 2023 – März 2026** JU

Fördert die Zusammenarbeit zwischen den nationalen Kompetenzzentren von EuroCC 2, EuroCC4SEE und den Exzellenzzentren der EuroHPC Joint Undertaking. Ziel ist der Aufbau von HPC-Fachwissen und die Übernahme führender Codes in ganz Europa.

## CEEC

**Januar 2023 – Dezember 2026** BMFTR, JU

Das Center of Excellence in Exascale CFD verbessert moderne europäische Algorithmen der numerischen Strömungsmechanik, sodass sie effizient auf Exascale-Supercomputern laufen können.

## ChEESE-2P

**Januar 2023 – Dezember 2026** JU, BMFTR

Dieses EuroHPC JU Center of Excellence konzentriert sich auf kritische Anwendungen für die Vorhersage von Georisiken und soll zu einem zentralen Knotenpunkt für HPC-Software innerhalb der Solid Earth Community werden.

## DECICE

**Dezember 2022 – November 2025** EU

Entwickelte ein offenes und portables Cloud-Management-Framework, das die automatische und adaptive Optimierung von Softwareanwendungen für heterogene Rechnerarchitekturen ermöglichte.

## EE-HPC

**September 2022 – November 2025** BMFTR

Testete einen Ansatz zur Verbesserung der Energieeffizienz von HPC-Systemen durch die automatische, jobspezifische Regulierung von Systemparametern und -einstellungen.

## EuroCC 2

**Januar 2023 – März 2026** JU, BMFTR

Koordiniert ein europäisches Netzwerk nationaler Kompetenzzentren (NCC) für Höchstleistungsrechnen (HPC). Das von der EuroHPC Joint Undertaking unterstützte Vorhaben fördert ein gemeinsames Niveau von Kompetenzen im Bereich HPC und verwandten Technologien über die teilnehmenden Länder hinweg.

## EuroCC4SEE

**April 2024 – April 2026** JU, BMFTR

Als Schwesterprojekt von EuroCC 2 verwaltet EuroCC4SEE einen Teilbereich des NCC-Netzwerks für HPC in fünf Ländern Südosteuropas, um ein einheitliches Kompetenzniveau in den teilnehmenden Ländern zu fördern.

## EVITA ■

**April 2025 – März 2029** JU

Eine Zusammenarbeit zwischen führenden Institutionen zum Aufbau eines standardisierten Portfolios aus Schulungsmodulen für Höchstleistungsrechnen und verwandten Technologien.

## EXCELLERAT P2

**Januar 2023 – Dezember 2026** BMFTR, JU

EXCELLERAT P2 entwickelt fortschrittliche Anwendungen für die Technik in den Bereichen Fertigung, Energie, Luft- und Raumfahrt sowie Mobilität und konzentriert sich dabei auf Anwendungsfälle, die die Bedeutung von HPC, HPDA und KI für die europäische Wettbewerbsfähigkeit aufzeigen.

## FFplus

**Mai 2024 – April 2028** JU

FFplus unterstützt europäische kleine und mittlere Unternehmen (KMUs) sowie Start-ups bei der Erprobung neuer HPC- und KI-Anwendungen.

## GreenShift ■

**Oktober 2025 – September 2029** EU

GreenShift etabliert ein wegweisendes, marktorientiertes gemeinsames europäisches Masterprogramm für künstliche Intelligenz und Hochleistungsrechnen für grüne digitale Innovationen im Verkehrswesen.

## HammerHAI ■

**April 2025 – März 2028**

JU, BMFTR, MWK, MSA, MSC

HammerHAI baut eine hochmoderne „AI Factory“ auf, die europäischen Unternehmen und Forschenden sichere, skalierbare und leicht zugängliche KI-Ressourcen und -Unterstützung zur Verfügung stellt und damit die Hürden für den Einsatz von KI-gestützten Lösungen senkt.

■ Neues Projekt ■ Zuschuss bewilligt, Beginn im Jahr 2026

### Abkürzungen Fördergeber:

BMFTR – Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt | BMW – Bundesministerium für Wirtschaft und Energie | CZS – Carl-Zeiss-Stiftung | DAAD – Deutscher Akademischer Austauschdienst | DFG – Deutsche Forschungsgemeinschaft | EU – Europäische Union | JU – EuroHPC Joint Undertaking | MSA – Bayerisches Staatsministerium für Wissenschaft und Kunst | MSC – Niedersächsisches Ministerium für Wissenschaft und Kultur | MWK – Ministerium für Wissenschaft, Forschung und Kunst Baden-Württemberg

## HANAMI

**März 2024 – Februar 2027** JU

HANAMI fördert die Zusammenarbeit zwischen Europa und Japan bei der Entwicklung von Anwendungen für künftige Generationen von Supercomputern in Forschungsbereichen wie Klimaforschung, Biomedizin und Materialwissenschaften.

## HiDALGO2

**Januar 2023 – Dezember 2026** BMFTR, JU

HiDALGO2 befasst sich mit den Auswirkungen des Klimawandels und widmet sich dabei technischen Fragen über die Skalierbarkeit von HPC- und KI-Infrastrukturen. Zudem werden Methoden der numerischen Strömungsmechanik und der Unsicherheitsanalyse eingesetzt.

## HPC SPECTRA

**Januar 2024 – März 2026** JU

HPC SPECTRA fördert die Entwicklung von HPC-Fachwissen in Europa. Das Projektteam baut eine umfangreiche Online-Plattform mit Schulungsangeboten auf, die es Interessierten erleichtert, ihren Bedürfnissen entsprechende Kurse zu finden.

## HPCTRAIN ■

**Januar 2026 – Dezember 2030** JU

HPCTRAIN bietet jungen Fachkräften europaweit professionelle Praktika im Bereich HPC innerhalb des HPCTRAIN-Konsortiums, bei EuroHPC-Zentren und anderen europäischen Projekten sowie HPC-Akteuren an.

## InHPC-DE

**November 2017 – Dezember 2026** BMFTR

InHPC-DE treibt das Bündnis der drei Bundeshochleistungsrechenzentren voran, adressiert neue Anforderungen wie Sicherheit und evaluiert das Gaia-X-Ökosystem für HPC.

## Inno4scale

**Juli 2023 – Juni 2025** JU

Unterstützte und förderte die Entwicklung fortschrittlicher Algorithmen und Anwendungen für künftige europäische Exascale-Systeme.

## KI Allianz BW

**August 2023 – März 2026** MWK

Verfolgt das Ziel, eine Datenplattform für den KI-relevanten Datenaustausch zwischen akademischen und industriellen Akteuren zu entwickeln.

## MERIDIONAL

**Oktober 2022 – September 2026** EU

Entwickelt Ansätze zur Bewertung der Leistung und der Belastungen von Windenergieanlagen an Land, auf See und in der Luft.

## NFDI4Cat

**Oktober 2020 – September 2025** DFG

Schuf eine deutsche nationale Forschungsdateninfrastruktur für Katalyse und chemisch-technische Forschung.

## POP3

**November 2024 – Dezember 2026** EU, BMFTR

Das HPC-Exzellenzzentrum für Leistungsoptimierung und Produktivität bietet Dienstleistungen für akademische und industrielle Codes zur Bewertung und Verbesserung ihrer Effizienz auf Großrechner-Systemen.

## SimTech

**Juli 2019 – Juni 2025** DFG

Dieser fachübergreifende Exzellenzcluster an der Universität Stuttgart entwickelte Simulationstechnologien, um eine integrative Systemwissenschaft zu ermöglichen. Das HLRS unterstützte die Entwicklung effizienter Methoden zur Quantifizierung und zum Management von Unsicherheiten.

## Simulierte Welten

**Januar 2011 – August 2028** MWK

Bietet Schüler:innen die Möglichkeit, in Zusammenarbeit mit HLRS-Wissenschaftler:innen Simulationsprojekte zu entwickeln und durchzuführen.

## SiVeGCS

**Januar 2017 – Dezember 2032** BMFTR, MWK

Koordiniert und gewährleistet die Verfügbarkeit der HPC-Ressourcen des Gauss Centre for Supercomputing und befasst sich mit Fragen der Finanzierung, des Betriebs, der Ausbildung und Anwenderunterstützung der drei Bundeshochleistungsrechenzentren.

## SRI DiTeNS

**April 2023 – März 2029** CZS

Erforscht, wie sich mithilfe von urbanen digitalen Zwillingen – basierend auf virtueller Realität – ein diskursiver Transformationsprozess mit den Stakeholdern in der Energieversorgung gestalten lässt.

## S+T+ARTS E(C)HO

**Januar 2024 – Dezember 2026** EU

Dieses Aufenthaltsprogramm für Künstler:innen unterstützt die Zusammenarbeit mit Expert:innen aus Wissenschaft und Technik, wobei der Schwerpunkt auf der Förderung ökologisch bewusster und für den Menschen verträglichen digitalen Technologien liegt.

## StuttWay4Ukraine ■

**Juli 2025 – Juni 2029** DAAD

Unter der Leitung der Universität Stuttgart konzentriert sich dieses Projekt auf die Vertiefung der akademischen Zusammenarbeit zwischen Deutschland und der Ukraine und die Stärkung des ukrainischen Hochschulsystems im Kontext des Wiederaufbaus nach dem Krieg.

## TargetDART

**Oktober 2022 – Dezember 2025** BMFTR

Eraarbeitete einen Task-basierten Ansatz für hochskalierbare Simulationssoftware, der auf heterogenen Exascale-Systemen unvorhersagbare Lastungleichgewichte mittels dynamisch adaptiver und reaktiver Verteilung von Rechenaufgaben zwischen den Rechenknoten ausgleicht.

## TOPIO

**November 2022 – Dezember 2025** BMFTR

Mithilfe eines globalen, hochauflösenden Modells des Erdsystems untersuchte TOPIO die Lese- und Schreibgeschwindigkeiten für große Datenmengen auf Höchstleistungsdateisystemen sowie Ansätze, die die Datenmenge durch Komprimierung reduzieren, ohne dass dabei ein erheblicher Informationsverlust entsteht.

## UKAIFA ■

**Februar 2026 – Januar 2029** JU

In Zusammenarbeit mit dem EPCC der Universität Edinburgh fungiert die KI-Fabrik HammerHAI als Brücke zwischen dem Vereinigten Königreich und dem europäischen KI-Fabrik-Netzwerk und beschleunigt die Einführung künstlicher Intelligenz im Ingenieurwesen, im Automobilssektor und in der Industrie.

## URBANOME

**März 2021 – August 2025** EU

Das Ziel von URBANOME war die Förderung der Gesundheit, des Wohlbefindens und der Lebensqualität in Städten mittels systematischer Einbeziehung von Gesundheitsbelangen in die Stadtpolitik und die Aktivitäten von Stadtbewohner:innen.

## WindHPC

**Oktober 2022 – März 2026** BMFTR

Als erstes Projekt, das Computer in Windparks mit einem HPC-Zentrum verbandete, zielte WindHPC darauf ab, den Energieverbrauch durch die Verbesserung der Effizienz von Simulationscodes, HPC-Workflows und Datenmanagement zu senken.

# HPC Fort- und Weiterbildung (2025)

Im Jahr 2025 bot das HLRS 41 Weiterbildungskurse zu diversen Themen aus dem Hoch- und Höchstleistungsrechnen an. Die Kurse fanden an 164 Tagen online, in Stuttgart und in Zusammenarbeit mit Instituten in Deutschland und anderen Ländern statt. Insgesamt nahmen 1623 Interessierte an den Kursen teil.

Erfahren Sie mehr über bevorstehende Kurse auf unserer Website: [www.hlrs.de/training](http://www.hlrs.de/training)

Datum	Ort	Thema	Veranstalter
13. - 31. Jan	HLRS/online	Hackathon: Porting and Optimization for Hunter <sup>NEU</sup>	HLRS/AMD/HPE
21. - 23. Jan	HLRS/online	Hybrid Programming in HPC - MPI+X	HLRS
3. Feb - 7. März	online/self-paced	HPC Cluster Design, Cost & Sustainability	HLRS (SCA)
17. - 21. Feb	HLRS	Iterative Solvers and Parallelization	HLRS
3. - 7. März	online	Introduction to Computational Fluid Dynamics	HLRS/DLR
10. - 12. März	online	Data analytics for engineering data using machine learning	Fraunhofer-SCAI/HLRS
13. - 16. März	HLRS/online	Modern C++ Software Design (Intermediate)	HLRS
17. - 21. März	ZIH Dresden	Parallel Programming with MPI & OpenMP and Tools	ZIH/HLRS
24. - 28. März	HLRS/online	Fortran for Scientific Computing	HLRS
1. - 4. Apr	ZDV Mainz	Parallelization with MPI and OpenMP	ZDV/HLRS
8. - 9. Apr	online	Bootcamp: N-Ways to GPU Programming *	EuroCC/NVIDIA
5. - 8. Mai	online	AMD Instinct GPU Training <sup>NEU</sup>	HLRS/AMD
9. - 23. Mai	HLRS/online	Hackathon: Porting and Optimization for Hunter <sup>NEU</sup>	HLRS/AMD/HPE
13. - 16. Mai	HLRS/online	Modern C++ Software Design (Advanced)	HLRS
27. - 28. Mai	online	Bootcamp: AI for Science *	EuroCC/NVIDIA
3. - 6. Jun	online	Node-Level Performance Engineering	HLRS/NHR@FAU
3. - 24. Jun	online/self-paced	Natural Language Processing <sup>NEU</sup>	HLRS (SCA)
16. - 17. Jun	online	Efficient Parallel Programming with GASPI	HLRS/Fraunhofer-ITWM
17. - 18. Jun	online	Bootcamp: Multi-GPU Programming *	EuroCC/NVIDIA
23. - 28. Jun	HLRS	The Gray Scott HPC Summer School <sup>NEU</sup>	HLRS/LAPP
30. Jun - 1. Aug	online/self-paced	HPC Cluster Design, Cost & Sustainability	HLRS (SCA)

Datum	Ort	Thema	Veranstalter
1. - 4. Jul	HLRS/online	Modern C++ Software Design (Intermediate)	HLRS
9. - 10. Jul	online	Bootcamp: AI Profiling * <sup>NEU</sup>	EuroCC/NVIDIA
18. Aug - 26. Sep	online	Introduction to SYCL2020 <sup>NEU</sup>	HLRS/Intel
20. - 29. Aug	online	Six-day Course in Parallel Programming with MPI/OpenMP	ETH/HLRS
1. Sep - 10. Okt	online/self-paced	Data Analysis with HPC <sup>NEU</sup>	HLRS (SCA)
8. - 12. Sep	HLRS	Introduction to Computational Fluid Dynamics	HLRS/DLR
10. - 11. Sep	LRZ	Iterative Solvers for Linear Systems	LRZ/HLRS
23. - 26. Sep	HLRS	Julia for High-Performance Computing	HLRS
13. - 17. Okt	HLRS	Parallel Programming Workshop (with TtT)	HLRS
20. Okt - 10. Nov	online/self-paced	Time Series Forecasting <sup>NEU</sup>	HLRS (SCA)
21. - 22. Okt	online	Introduction to OpenMP Offloading with AMD GPUs	HLRS/AMD
23. - 24. Okt	HLRS	Scientific Visualization	HLRS
28. - 31. Okt	HLRS	Multi-GPU Deep Learning	HLRS
3. - 5. Nov	online/self-paced	Parallel Programming with MPI	HLRS (SCA)
3. Nov - 5. Dez	online/self-paced	Data Management	HLRS (SCA)
11. - 20. Nov	online	GPU Programming using CUDA <sup>NEU</sup>	HLRS
20. Nov - 5. Dez	HLRS/online	Hackathon: Porting and Optimization for Hunter <sup>NEU</sup>	HLRS/AMD/HPE
25. - 28. Nov	HLRS/online	Modern C++ Software Design (Advanced)	HLRS
1. - 4. Dez	online	Advanced Parallel Programming with MPI and OpenMP <sup>NEU</sup>	JSC
8. - 12. Dez	HLRS/online	Fortran for Scientific Computing	HLRS

- Paralleles Programmieren
- Simulation und Numerische Strömungsmechanik
- Performance-Optimierung und Debugging
- Daten in HPC, Deep Learning, Machine Learning und KI
- Programmiersprachen für wissenschaftliches Rechnen
- Wissenschaftliche Visualisierung
- HPC-Cluster: Nutzung und Betrieb
- Community- und bereichsspezifische Inhalte
- Hardware-Beschleuniger

\* EuroCC 2 Kurse: Das HLRS ist Mitglied des Gauss Centre for Supercomputing (GCS). SIDE ist das deutsche nationale Kompetenzzentrum (NCC) für High-Performance Computing. Dieser Kurs wird im Rahmen von EuroCC 2 angeboten.

TtT: Train the Trainer Kurse | NEU: Neuer oder stark angepasster Kurs

#### Institute Abbreviations

AMD - Advanced Micro Devices, Inc. | DLR - Deutsches Zentrum für Luft und Raumfahrt | ETH - Scientific IT Services, ETH Zürich | EuroCC - EuroHPC JU nationale Kompetenzzentren | F. ITWM - Fraunhofer-Institut für Techno- und Wirtschaftsmathematik | F. SCAI - Fraunhofer-Institut für Algorithmen und Wissenschaftliches Rechnen | HLRS - Höchstleistungsrechenzentrum Stuttgart | HLRS (SCA) - Supercomputing-Akademie des HLRS | HPE - Hewlett Packard Enterprise | INTEL - Intel Corporation | JSC - Jülich Supercomputing Centre | LAPP - Annecy Particle Physics Laboratory | LRZ - Leibniz-Rechenzentrum | NHR@FAU - Erlangen National High Performance Computing Center | NVIDIA - Nvidia Corporation | ZDV - Zentrum für Datenverarbeitung (Universität Mainz) | ZIH - Zentrum für Informationsdienste und Hochleistungsrechnen (TU Dresden)

# Workshops und Konferenzen (2025)

## 3. – 6. März: MPI Forum

Mitglieder der globalen Organisation, die für die Weiterentwicklung der Message Passing Interface (MPI) verantwortlich sind, bereiteten am HLRS die nächste Version dieses wichtigen Standards für parallele Programmierung vor.

## 27. – 28. Mai: 39<sup>th</sup> Workshop on Sustained Simulation Performance

Bei diesem jährlichen Workshop, der in Zusammenarbeit mit NEC und der Tohoku University organisiert wird, treffen sich internationale Wissenschaftler:innen, Anwendungsentwickler:innen und Hardware-Designer, um Hardware-Architekturen, Programmierstile und Strategien zur Erzielung der höchstmöglichen dauerhaften Anwendungsleistung zu diskutieren.

## 28. – 30. Juli: SAS24 – Uncertainty

Die Veranstaltung der Reihe „Science and Art of Simulation“ der Abteilung für Philosophie der Computerwissenschaften am HLRS regte zu interdisziplinären Überlegungen darüber an, wie man die Diskrepanzen zwischen Rechenmodellen und der Realität erkennen und darauf reagieren kann.

## 7. – 8. Oktober: HPC Quantum AI Conference

Diese internationale Fachtagung wurde in Zusammenarbeit mit der Quantum Effects Messe organisiert. Sie befasste sich mit den Chancen und Herausforderungen an der Schnittstelle von Quantencomputing, Höchstleistungsrechnen und künstlicher Intelligenz.

## 9. – 10. Oktober: 28<sup>th</sup> Results and Review Workshop

Wissenschaftler:innen und Ingenieur:innen, darunter auch Nutzer:innen der HLRS-Recheninfrastruktur, präsentierten und diskutierten Forschungsergebnisse sowie Herausforderungen und bewährte Verfahren bei der Nutzung von HPC-Systemen.

## 21. Oktober: 2<sup>nd</sup> SIDE Forum

Bei dieser vom deutschen nationalen Kompetenzzentrum für HPC (SIDE) organisierten Veranstaltung erfuhren KMUs, Start-ups, Industrieunternehmen und Behörden, wie HPC-Technologien dabei helfen können, Herausforderungen zu meistern, Prozesse zu optimieren und sich auf die Zukunft vorzubereiten.

## 4. November: HIDALGO2 EU Clustering Event

Dieses vom Kompetenzzentrum HIDALGO2 organisierte Treffen stellte innovative Forschungsprojekte vor, die HPC zur Bewältigung sozialer Herausforderungen einsetzen, darunter Luftverschmutzung in Städten, Hochbau, Waldbrände und erneuerbare Energien.

## 6. – 7. November: 16<sup>th</sup> International Parallel Tools Workshop

Dieser jährliche Workshop wird in Zusammenarbeit mit dem ZIH Dresden organisiert. Er ist ein wichtiges Forum, um Trends und Fortschritte bei parallelen Rechenwerkzeugen für Debugging, Leistungsanalyse, Entwicklung von Programmierumgebungen und neuen Architekturen zu diskutieren.

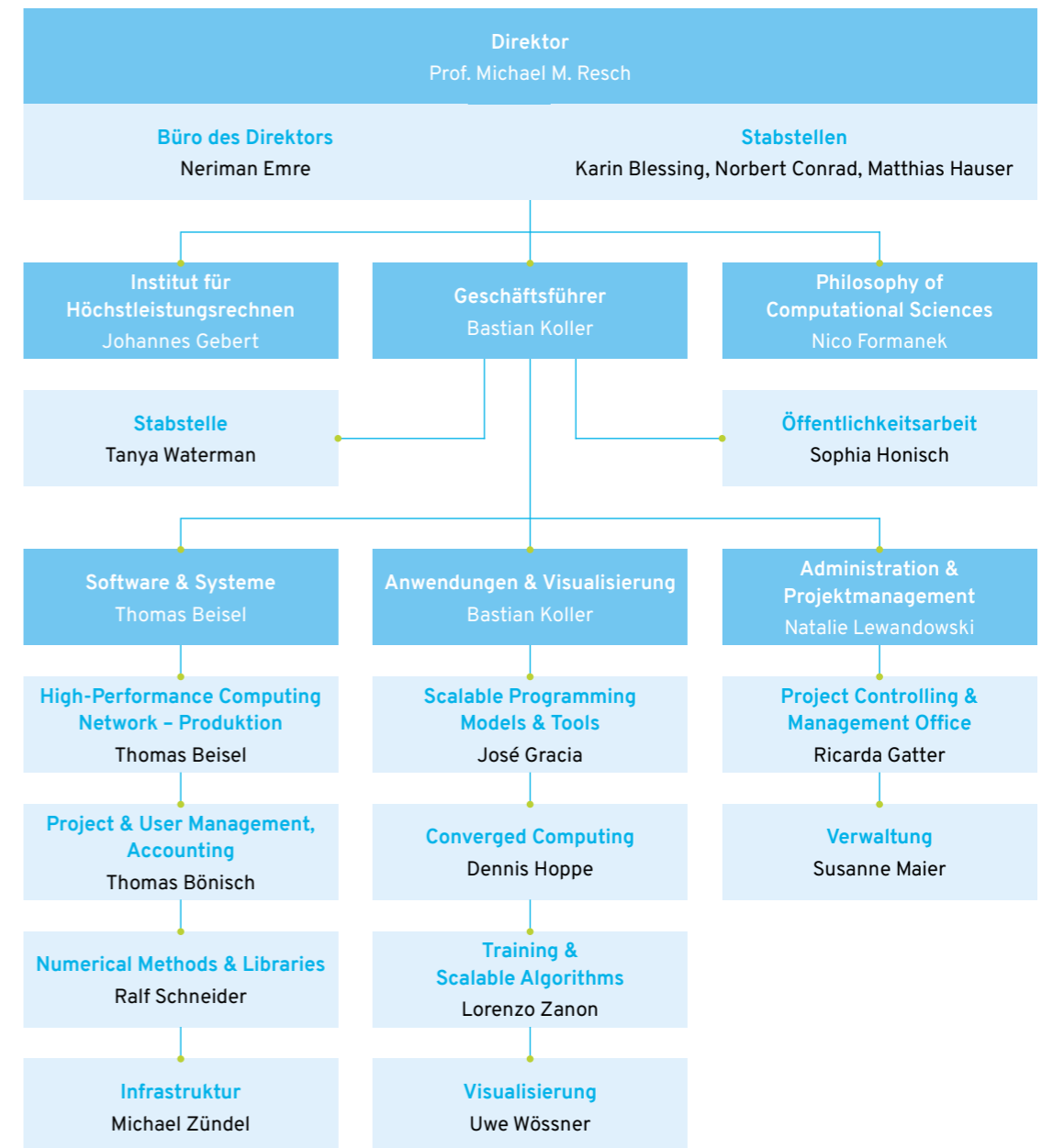
## 18. – 19. November: 52 Jahre Wissenschaftliche Zusammenarbeit

Diese zweitägige Konferenz würdigte die langjährige Partnerschaft zwischen der Universität Stuttgart und der Nationalen Technischen Universität Donezk in der Ukraine. Deutsche und ukrainische Wissenschaftler:innen aus vielen Fachbereichen tauschten sich dort über aktuelle Forschungsergebnisse aus.

## 2. Dezember: 9<sup>th</sup> Industrial HPC User Round Table

Der jährliche iHURT fördert den Dialog zwischen dem HLRS und seiner industriellen Nutzergemeinschaft. Im Mittelpunkt stehen innovative HPC-Anwendungen für Forschung und Entwicklung sowie Herausforderungen, denen sich die Industrie bei der Nutzung von HPC gegenüber sieht.

# Organigramm



# Organisation

## Verwaltung

Leitung: *Susanne Maier*

Die Verwaltung bearbeitet alle administrativen Aufgabengebiete des HLRS. Zu den Verantwortungsbereichen gehören insbesondere die Finanzplanung, Controlling und Buchhaltung, Finanzprojekt- und Projektcontrolling, Rechtsfragen, Personalwesen und -entwicklung, Beschaffung und Inventarisierung sowie Unterstützung beim Veranstaltungsmanagement.

## Converged Computing

Leitung: *Dennis Hoppe*

Evaluieren neuartige Technologien, die einen wesentlichen Impuls für die künftige Nutzung von Hochleistungsrechnern geben könnten. Zu diesen Technologien gehören künstliche Intelligenz, Cloud- und Edge-Computing sowie Quantencomputing. Das Team untersucht beispielsweise die Konvergenz von HPC und KI mit dem Ziel, KI-Methoden im Sinne hybrider HPC/AI-Workflows in klassische Simulationen einzubinden. Dazu gehört auch die Entwicklung von KI-Lösungen unter Verwendung von Spitzentechnologien aus den Bereichen Big Data, maschinelles Lernen und Deep Learning. Das Team erforscht auch Virtualisierungstechnologien wie Container, Orchestrierung und Job Scheduling.

## High-Performance Computing Network – Produktion (HPCN Production)

Leitung: *Thomas Beisel*

Verantwortlich für den Betrieb aller Plattformen in der Rechner-Server-Infrastruktur. Diese Abteilung betreibt auch die für die HPC-Systemfunktion erforderliche Netzwerkinfrastruktur und ist für die Sicherheit in Netzwerken sowie bereitgestellten Plattformen zuständig.

## Infrastruktur

Leitung: *Michael Zündel*

Plant, entwickelt und betreibt die gebäudetechnischen Anlagen und die Infrastruktur des HLRS. Diese Abteilung stellt den zuverlässigen und effizienten Betrieb der

High-Performance Computing-Systeme des HLRS sicher, bietet eine komfortable Arbeitsumgebung für Forschende sowie die Verwaltung des HLRS und unterstützt alle Aspekte des energieeffizienten HPC-Betriebs. Das Team unterstützt auch das Nachhaltigkeitsprogramm des HLRS. Es sammelt und monitort die Energieverbrauchsdaten und bringt kontinuierliche Verbesserungen mittels Energieeffizienzmaßnahmen voran.

## Numerical Methods and Libraries

Leitung: *Dr.-Ing. Ralf Schneider*

Stellt numerische Bibliotheken und Compiler für HLRS-Computing-Plattformen bereit. Die Abteilung verfügt über Erfahrung in der Implementierung von Algorithmen auf verschiedenen Prozessoren und HPC-Umgebungen, einschließlich der Vektorisierung basierend auf der Architektur moderner Computer. Das Team forscht auch an der Simulation von Blutfluss und Knochenfrakturen im menschlichen Körper und ist verantwortlich für Schulungen, die sich auf Programmiersprachen und numerische Methoden konzentrieren, die für HPC wichtig sind.

## Philosophy of Computational Sciences

Leitung: *Nico Formanek*

Untersucht, wie Computersimulation und maschinelles Lernen Wissenschaft und Technikentwicklung verändern und wie Gesellschaft und Politik darauf reagieren: Verändern Computersimulation und maschinelles Lernen unser Verständnis von Wissen? Und wie rechtfertigen wir wissenschaftliche Erkenntnisse? Wie können digitale Methoden helfen, Unsicherheiten über die Zukunft zu überwinden? Und wie gehen wir mit den Unsicherheiten von Simulation und maschinellem Lernen selbst um?

## Project Controlling and Management Office

Leitung: *Dr. Ricarda Gatter*

Das Project Controlling and Management Office (PCMO) ist verantwortlich für das Controlling und die

Qualitätssicherung laufender Forschungsprojekte am HLRS sowie für das Management von großen Drittmittelprojekten, einschließlich Koordinations- und Business Development-Aufgaben. Das PCMO bietet außerdem koordinierende Unterstützung bei der Antragsplanung sowie -erstellung und fungiert als unterstützende Instanz zwischen der HLRS-Geschäftsführung, den Abteilungsleiter:innen und der Verwaltung in projektbezogenen Angelegenheiten.

## Project and User Management, Accounting

Leitung: *Dr.-Ing. Thomas Bönisch*

Verantwortet das Management und das Accounting der Systemnutzung am HLRS. In diesen Bereich fallen auch die Erstellung und die Pflege der Webschnittstellen zum (Bundes-) Projektmanagement und die Informationsbereitstellung für die Nutzer:innen. Außerdem sind in der Abteilung die Aktivitäten des HLRS in Bezug auf das Datenmanagement gebündelt. Dazu gehören der Betrieb des High-Performance Storage Systems und dessen Weiterentwicklung, die Konzeption neuer Ansätze für das Datenmanagement der Anwender:innen und die Aktivitäten im Bereich Forschungsdatenmanagement.

## Öffentlichkeitsarbeit

Leitung: *Sophia Honisch*

Zuständig für alle Bereiche der externen Kommunikation des HLRS, von der Pressearbeit bis zur Betreuung des Webauftritts und der Social-Media-Profile des HLRS. Die PR-Abteilung ist die Hauptanlaufstelle für die Presse und die breitere Öffentlichkeit. Sie kommuniziert über das ganze Spektrum der natur- und ingenieurwissenschaftlichen Disziplinen des HLRS, seine Forschung (Projekte) sowie seine Services und veröffentlicht daraus resultierende Forschungsergebnisse, Erfolge und gewonnene Erkenntnisse.

## Scalable Programming Models and Tools

Leitung: *Dr. José Gracia*

Forscht zu parallelen Programmiermodellen und Werkzeugen zur Entwicklung paralleler Anwendungen in HPC durch. Der Fokus liegt auf transparenten globalen Adressräumen mit Hintergrunddatenübertragungen,

Task-Parallelismus basierend auf verteilten Datenabhängigkeiten, kollektiven I/O-Operationen und parallelem Debugging. Als Service für HLRS-Nutzer:innen wartet die Abteilung auch den Teil des Software-Stacks, der sich auf Programmiermodelle, Debugging- und Performance-Analyse-Tools bezieht.

## Training and Scalable Algorithms

Leitung: *Dr.-Ing. Lorenzo Zanon*

Die Abteilung Training and Scalable Algorithms (TASC) organisiert und veranstaltet die Schulungsaktivitäten am HLRS zu diversen Themen aus den Bereichen Höchstleistungsrechnen, künstliche Intelligenz sowie Modellierung und Simulation. Dazu gehören kompakte, hochintensive Kurse, flexible online Lernmodule und Angebote für die breitere Öffentlichkeit. Das TASC-Team ermöglicht eine exzellente Lernerfahrung, indem es Schulungen zu relevanten Themen mit aktuellen und zielgruppengerechten Inhalten anbietet, die von hochqualifizierten Dozent:innen durchgeführt werden. TASC forscht darüber hinaus an der Entwicklung effizienter Algorithmen für wissenschaftliche Berechnungsanwendungen. Schließlich ist auch die HLRS Einheit für Userprojekt-Koordination Teil von TASC.

## Visualisation

Leitung: *Dr.-Ing. Uwe Wössner*

Unterstützt Ingenieur:innen und Wissenschaftler:innen bei der visuellen Analyse von Daten, die durch Simulation auf Höchstleistungscomputern erzeugt werden. Durch die Bereitstellung von Technologien, die Benutzer:innen in visuelle Darstellungen ihrer Daten eintauchen lassen, ermöglicht die Abteilung Anwender:innen die direkte Interaktion mit ihnen, wodurch die Analysezeit verringert und neue Arten von Entwicklungsprozessen ermöglicht werden. Die Abteilung entwickelt Tools für die Visualisierung in Virtual Reality, Augmented Reality und hat darüber hinaus Softwaresysteme erstellt, um Verarbeitungsschritte, die über mehrere Hardwareplattformen verteilt sind, in eine nahtlos verteilte Simulations- und Visualisierungsumgebung zu integrieren.

© 2026

#### Höchstleistungsrechenzentrum Stuttgart (HLRS)

Universität Stuttgart  
Nobelstraße 19  
70569 Stuttgart, Deutschland

Tel: +49 711 685-87269  
Fax: +49 711 685-87209  
Email: info@hlrs.de  
Web: www.hlrs.de

#### Direktor, HLRS

Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. Dr. h.c. Prof. E.h. Michael M. Resch

#### Leitung, Öffentlichkeitsarbeit

Sophia Honisch

#### Redaktion und Autor

Christopher M. Williams

#### Übersetzung

Sophia Honisch

#### Fotos und Abbildungen

Bildrechte aller nicht gekennzeichneten Bilder: HLRS  
S. 9, 10 Benthem Crouwel Architects & Birk Heilmeyer und  
Frenzel Architekten HPE; S. 16 HPE; S. 18 Openchip;  
S. 21 Foto: Everllence, © Sebastian Vollmert; S. 25 BMUKN /  
Annette Riedl; S. 28 NCHC; S. 30 Slaven Vilus;  
S. 31 Cyberscience Center der Tohoku-Universität;  
S. 34 / 35 iStock.com / Vadym Sukhorukov; S. 42 Spyro  
Nita / EPCC (unten); S. 45 Goethe-Universität Frankfurt;  
S. 47 stock.adobe.com / EpicFade; S. 48 DLR; S. 53 IAG,  
University of Stuttgart; S. 55 Risselada Lab, TU Dortmund

#### Druck

Buch- und Offsetdruckerei H. Heenemann GmbH & Co. KG

#### Design

GROOTHUIS. Gesellschaft der Ideen und Passionen mbH  
für Kommunikation und Medien, Marketing und Gestaltung;  
groothuis.de

#### Institutionelle Zugehörigkeit



Universität Stuttgart



#### Hunter und Hawk werden gefördert von:



Baden-Württemberg  
Ministerium für Wissenschaft,  
Forschung und Kunst



Bundesministerium  
für Forschung, Technologie  
und Raumfahrt

Dieses Magazin wurde klimaneutral auf Papier gedruckt,  
das nach dem FSC® Standard zertifiziert ist.



Folgen Sie uns auf:



LinkedIn



Bluesky

**Höchstleistungsrechenzentrum  
Stuttgart**

[www.hlrs.de](http://www.hlrs.de)

Cover:

Im Jahr 2025 fiel der Startschuss für das HLRS III, den Neubau des Höchstleistungsrechenzentrums Stuttgart. Das HLRS III wird den höheren Anforderungen künftiger Supercomputer-Generationen gerecht werden und ist auf Nachhaltigkeit ausgelegt. Eine Abwärmennutzungszentrale wird die von den Systemen des HLRS erzeugte Wärme auffangen und an das Fernwärmenetz der Universität Stuttgart weiterleiten. Dadurch unterstützt das HLRS III die Dekarbonisierung der Universität.

Das HLRS ist für sein Umweltmanagement nach dem Eco-Management Audit Scheme (EMAS) zertifiziert. Dieses Magazin wurde klimaneutral auf Papier gedruckt, das mit dem FSC® zertifiziert wurde.