

Die Expertinnen und Experten der Leopoldina schlagen deshalb vor, ab dem Jahr 2020 in den Sektoren Verkehr und Gebäude einen CO₂-Preis von 30 Euro pro Tonne anzusetzen und diesen in den folgenden Jahren jährlich um 10 Euro zu erhöhen. Ab 2023 solle der CO₂-Preis an denjenigen im Emissions Trading System gekoppelt werden, bei einem festgesetzten Mindestpreis von 60 und einer Obergrenze von 130 Euro pro Tonne.

Neben der CO₂-Bepreisung sind im Klimaschutzprogramm der Bundesregierung Förderprogramme geplant, etwa für den Austausch von Ölheizungen gegen neue, klimafreundlichere Heizanlagen oder für die Entwicklung energieeffizienter Technologien. Zudem sollen stei-

gende Einnahmen aus der CO₂-Bepreisung für niedrigere Strompreise sorgen und Bahnfahrten durch eine von 19 auf 7 Prozent reduzierte Mehrwertsteuer günstiger werden. Die Leopoldina betont, eine Fülle an Einzelmaßnahmen reiche nicht aus. Ein systemischer Ansatz sei nötig, um die gesamte Energieversorgung und -nutzung perspektivisch auf nicht-fossile Energieträger umzustellen.

Wie sich das System kosteneffizient und klimagerecht umbauen lässt, um Deutschland bis 2050 treibhausgasneutral zu machen, beleuchtet eine Studie des Forschungszentrums Jülich.⁹⁾ Sie beruht auf ausführlichen Berechnungen mithilfe verschiedener neu entwickelter Computermodelle und zeichnet ein detailreiches Bild eines nahezu klimaneutralen Deutschlands im Jahr 2050. Da sich Deutschland bei den Treibhausgasemissionen bis 2050 bislang nur auf einen Zielkorridor zwischen 80 und 95 Prozent Reduktion festgelegt hat,

haben die Jülicher Energiesystemanalytiker beide Varianten betrachtet. Daraus ergab sich, dass Maßnahmen, die sich für das Erreichen eines 80-Prozent-Ziels als notwendig erweisen, nicht zwingend Bestandteil einer Strategie sind, die zu einer 95-prozentigen Minderung führt. In Einzelfällen können sie sogar kontraproduktiv sein.

„Erfolgreiche Klimapolitik sollte sich auf wissenschaftliche Erkenntnisse stützen“, betont die Leopoldina in ihrem Kommentar und fordert, dass der vom Klimakabinett geplante unabhängige Expertenrat ein deutlich stärkeres Mandat erhält als bislang vorgesehen. Ähnlich der „Wirtschaftsweisen“ soll dann ein Rat der „Klimaweisen“ die Fortschritte bei der Emissionsminderung kontinuierlich evaluieren und der Bundesregierung regelmäßig konkrete Maßnahmen zum Erreichen der Klimaziele empfehlen.

Alexander Pawlak

1) G20 Brown to Green Report 2019, bit.ly/2Oa4XoZ

2) W. J. Ripple et al, BioScience, [biz088](https://doi.org/10.1093/bioscience/biz088), bit.ly/2QhCAY1

3) Mehr unter bit.ly/374QvY9

4) Vollständiger Kommentar unter bit.ly/2qMW0tP

5) Weitere Infos und Kurzstudie auf bit.ly/2CJspnL

Deutsch-amerikanische Fusion

Mit dem Projekt HILOADS fördert die Helmholtz-Gemeinschaft ein Forschungsprojekt zu Stellarator-Plasmen.

Wendelstein 7-X am Max-Planck-Institut für Plasmaphysik (IPP) ist das weltweit größte Fusionsexperiment vom Typ Stellarator.^{#)} Zusammen mit der Universität von Wisconsin-Madison, die selbst mehrere Experimente zu Plasmaphysik und Fusionsforschung betreibt, dem Forschungszentrum Jülich und der Auburn-Universität in Alabama wird das IPP nun mit dem Projekt „Helmholtz International Lab for Optimized Advanced Divertors in Stellarators – HILOADS“ die Leistungsauskopplung aus einem heißen Stellaratorplasma detailliert erforschen und optimieren.

In Fusionsanlagen wie Wendelstein 7-X beanspruchen Teilchen, die auf die Gefäßwände prallen, und die hohen Temperaturen die verwendeten Materialien, gerade beim angestrebten Dauerbetrieb. Das Divertorsystem reguliert die Wechselwirkung zwischen



Das Divertorsystem bei Wendelstein 7-X ist aus Graphitkacheln (links) aufgebaut.

Plasma und Gefäßwand und sorgt dafür, dass das Plasma wärmeisoliert eingeschlossen bleibt. Umfangreiche experimentelle und theoretische Untersuchungen sind nötig, um das System für jede Anlage zu optimieren.

Die Stellaratoren Wendelstein 7-X und Helical Symmetric Experiment (HSX) an der Universität von Wisconsin-Madison eignen sich dazu ideal. Sie unterscheiden sich deutlich in ihrer Größe – mit einem Durchmesser

#) Physik Journal Dossier: www.pro-physik.de/dossiers/fusionsforschung

von elf Metern ist Wendelstein 7-X fast fünfmal so groß wie HSX. Zudem gibt es bei HSX durch die quasi-spiralförmige Symmetrie eine ausgezeichnete Symmetrieachse, und das Magnetfeld ist topologisch äquivalent zu demjenigen eines Tokamak-Fusionsexperiments. Die fünf nahezu baugleichen Module, aus denen Wendelstein 7-X

aufgebaut ist, sorgen dagegen für ein Feld mit fünfzähliger Symmetrie.

Für HILOADS steht mit dem Compact Toroidal Hybrid an der Auburn-Universität ein weiterer Stellarator für Tests bereit. Um Materialien für Divertorsysteme zu untersuchen und geeignete Messapparaturen zu entwickeln, kommen zwei lineare Plas-

maanlagen zum Einsatz: PSI-2 am FZ Jülich und MARIA an der Universität von Wisconsin-Madison.

HILOADS startet im Frühjahr und läuft fünf Jahre. Die Kosten von rund sechs Millionen Euro tragen vor allem die Universität von Wisconsin-Madison und die Helmholtz-Gemeinschaft.

Kerstin Sonnabend

Quantencomputer für Nutzer

Am Jülich Supercomputing Centre ging die Nutzer-Infrastruktur für Quantencomputing JUNIQ in Betrieb.

Am 23. Oktober verkündeten Forscher von Google, dass sie gemeinsam mit amerikanischen und deutschen Partnern den Nachweis der Quantenüberlegenheit (Quantum Supremacy) erbracht haben: Der vom Google-AI-Quantum-Team konzipierte Quantencomputer mit 53 Qubits löste demnach ein Problem innerhalb von 200 Sekunden, für das der schnellste Superrechner der Welt ungefähr zehntausend Jahre benötigen würde.¹⁾

Zu den Partnern von Google gehört auch das Forschungszentrum Jülich, das im Rahmen des europäischen Quantum Flagship im Tochterprojekt OpenSuperQ am Bau eines europäischen Quantencomputers beteiligt ist. Ein europäisches Konsortium soll den Prototyp in den nächsten Jahren entwickeln. Betrieben werden soll er

in JUNIQ, dem vereinheitlichten Portal einer Reihe verschiedener Quantencomputer – zugänglich über die Cloud für deutsche und europäische Nutzer. Damit wird JUNIQ Services anbieten, die denen ähneln, die seit langem für die Supercomputer des Forschungszentrums verfügbar sind. Unter Anleitung von Experten werden Forscherinnen und Forscher Quantencomputer nutzen können – von experimentellen Systemen über Prototypen bis hin zu ersten Produktionssystemen – sowie Algorithmen und Anwendungsprogramme für sie entwickeln.

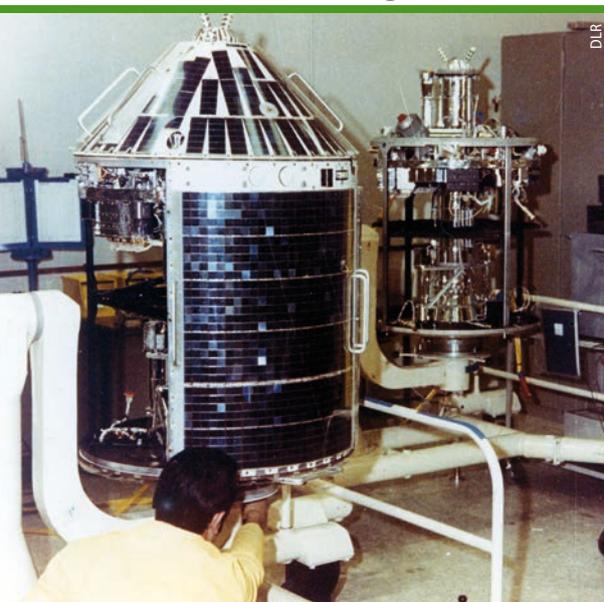
Der Startschuss für JUNIQ fiel am 25. Oktober mit der offiziellen Unterzeichnung eines Nutzungsvertrags für einen Quanten-Annealer des kanadischen Herstellers D-Wave. Dieses

System wird für Nutzer zugänglich sein über Leap, den Quanten-Cloud-Service des Unternehmens. Jülich wird der erste Standort des Cloud-Service in Europa. „Quanten-Annealing ist besonders geeignet für die Lösung von sehr schwierigen Optimierungsproblemen, wie sie in vielen Bereichen vorkommen – das klassische Beispiel dafür ist die kürzeste Route für einen Handelsreisenden, der mehrere Ziele nacheinander anfahren muss“, erläuterte Kristel Michielsen, Leiterin der Gruppe „Quantum Information Processing“ am Jülich Supercomputing Centre (JSC) und Professorin an der RWTH Aachen. „Um eine Lösung zu finden, wird ein intrinsischer Effekt der Quantenphysik genutzt, das so genannte Tunneling.“ Damit können Quanten-Annealer schon jetzt kombinatorische Optimierungen berechnen, die auch für die Industrie von großem Interesse sind. Bis heute haben die Kunden von D-Wave mit dem Quantencomputer mehr als 150 frühe Quantenanwendungen in Bereichen wie der Finanzmodellierung, Flugplanung, quantenchemischen Simulation oder Logistik entwickelt.

„D-Wave Systems ist ein bedeutender Partner für uns. Mit JUNIQ streben wir aber eine Zusammenarbeit mit allen wichtigen Unternehmen an, die an Quantencomputern forschen und die Quantencomputing nutzen wollen“, erklärte der Leiter des JSC, Thomas Lippert. Dazu gehört neben Google auch der französische IT-Dienstleister ATOS.

FZ Jülich / Alexander Pawlak

50 Jahre Forschungssatellit AZUR



Am 8. November 1969 startete der erste deutsche Satellit AZUR in Kooperation des heutigen DLR mit der NASA. Sieben Experimente zielten darauf ab, die kosmische Strahlung, den Sonnenwind und deren Wechselwirkung mit der Magnetosphäre sowie die Polarlichter zu untersuchen. Ausgerichtet war AZUR für eine Lebenszeit von einem Jahr. Doch am 29. Juni 1970 brach die Verbindung aus ungeklärten Gründen ab. Dennoch war dieses erste deutsche Langzeitunternehmen im All als großer Erfolg zu werten: So eröffnete AZUR der Wissenschaft in Deutschland neue Horizonte und schuf neue Wege in der Weltraumforschung. AZUR legte zudem den Grundstein für die bis heute anhaltende Zusammenarbeit zwischen der deutschen und der amerikanischen Weltraumforschung. (DLR)

1) F. Arute et al., Nature 574, 505 (2019)