

EMPFEHLUNGSPAPIER „NACHHALTIGKEIT“

des Prisma-Forums zur Energie- und Ressourceneffizienz in der Forschung an Großgeräten

Präambel:

Eine nachhaltige Ausrichtung der Forschung bietet die Chance, Deutschland als Innovationstreiber zu profilieren. Gerade bei der Forschung an und der Weiterentwicklung von Großforschungsanlagen der außeruniversitären Forschungseinrichtungen entstehen – befördert durch die einzigartige Kombination von Forschungsinfrastrukturen mit universitärer Forschung und Industrie – innovative Hightech-Entwicklungen und neue Lösungen. Damit kann Deutschland neue Wissenschaftsfelder und Märkte erschließen. Gleichzeitig spielt die Umsetzung von Nachhaltigkeitszielen eine zunehmend wichtige Rolle beim Betrieb von Großforschungsanlagen und komplexen Infrastrukturen. Diese Transformation braucht ein abgestimmtes Vorgehen aller Akteure. In einem vom Prisma-Forum initiierten Prozess wurden Empfehlungen erarbeitet, wie von Konzipierung über Bau und Inbetriebnahme bis hin zur Nutzung und Weiterentwicklung höchste Standards an Energie- und Ressourceneffizienz berücksichtigt und in der Ausbildung verankert werden können. Daher sollten Details dieser Empfehlungen in einem fortlaufenden Prozess auf den neuesten Stand gebracht werden. Ziel ist es, gleichsam das hohe Innovationspotenzial und eine weltweit wettbewerbsfähige Performanz zu bewahren. Diese Empfehlungen fokussieren sich auf sechs Bereiche und es fließen Vorarbeiten, wie z. B. das Verbundprojekt „Leitfaden Nachhaltigkeitsmanagement in außeruniversitären Forschungsorganisationen (LeNa)“, mit ein:

1) Nachhaltige Organisation des Forschungsprozesses etablieren

Exzellente wissenschaftliche Forschung muss sich an nachhaltigen Prinzipien orientieren:

- **Nachhaltigkeitskriterien verankern & Anreize setzen:** Das Mitdenken von Auswirkungen der eigenen Arbeit sollte fester Bestandteil wissenschaftlicher Projekte werden. Ein Leitfragenkatalog kann bei der Planung und Organisation hin zu einem nachhaltigen Forschungsprozess unterstützen. Bei der Erarbeitung des Fragenkatalogs wird der Arbeitsaufwand für die Beantwortung mit Blick auf den entstehenden Bürokratieaufwand berücksichtigt. Entsprechendes Engagement der Forschenden sollte in den Forschungseinrichtungen anerkannt und gewürdigt werden, um die Attraktivität auch für den wissenschaftlichen Nachwuchs zu erhöhen.
- **Geräte effizienter nutzen:** Eine bessere Koordination und Vernetzung ermöglichen es, teure Infrastruktur gemeinsam zu nutzen, Remote-Zugänge auszubauen und gezielt – wo immer möglich – in Reparaturen und Modernisierungen statt in Neuanschaffungen zu investieren. Für die effiziente Nachnutzung von Geräten sollten regionale und überregionale Austauschplattformen aufgebaut werden. Aus öffentlichen Mitteln finanzierte Software sollte sich an Open-Source-Standards orientieren.

2) Regulierungsrahmen anpassen

Um das Erreichen von Nachhaltigkeitszielen in der Forschung zu erleichtern, sollten gesetzliche und administrative Strukturen förderlich gestaltet werden:

- **Nachhaltigkeitsberichterstattung optimieren:** Priorisieren von Richtlinien und benötigten Zertifizierungen fördert Transparenz und Effizienz. Für Monitoring und Bilanzierung sind einheitliche, schlanke und effiziente Metriken und Zielvorgaben für Forschungsinfrastrukturen nötig. Frühzeitiger Austausch mit Gesetzgebern ermöglicht es, Bürokratieaufbau zu vermeiden und durch innovative Lösungen zu ersetzen. Die Wettbewerbsfähigkeit um die besten Talente und wissenschaftlich-technologische Durchbrüche darf durch die Regulierungen nicht geschwächt, sondern sollte gestärkt werden.
- **Ressourcen- und energiesparender Aufbau und Betrieb von Großforschungseinrichtungen gewährleisten:** Neubauten und Sanierungen werden bereits in der Planungsphase konsequent unter Nachhaltigkeitsgesichtspunkten mit entsprechenden Standards betrachtet. Für Forschungsinfrastrukturen müssen Lebenszyklusanalysen durchgeführt werden. Forschungsorganisationen und Hochschulen sollten gezielt Mittel für Nachhaltigkeitsprojekte definieren. An geeigneten Stellen können Finanzierungswerkzeuge wie „Intracting“ eingesetzt werden.

3) Nachhaltigkeit in Ausbildung integrieren

Langfristige Veränderungen erfordern eine systematische Verankerung nachhaltiger Konzepte in der wissenschaftlichen Ausbildung:

- **Curricula erweitern:** Aspekte wie „Design for Sustainability“ und Energieeffizienz sowie Kreislaufwirtschaft sollten fester Bestandteil der natur- und ingenieurwissenschaftlichen Ausbildung werden. Auch im Bereich Softwareentwicklung sollten Studieninhalte ergänzt werden. Dies birgt die Chance, zukunftsweisende Kompetenzen zu erwerben und zusätzliche Karrierewege zu erschließen.
- **Kompetenzbildung Wiederverwendung stärken:** Neben innovationsorientierter nachhaltiger Beschaffung sollte auf Instandhaltung und Wiederverwendung von Forschungsequipment gesetzt werden. Dazu ist eine gezielte Personalentwicklung nötig, um Kompetenzen in Sachen Wartung und nachhaltiges Management von Geräten aufzubauen bzw. zu halten.

4) Effiziente Technologien entwickeln

Die Weiterentwicklung von Großgeräten wie z. B. Beschleunigern muss gezielt auf höhere Energieeffizienz ausgerichtet werden:

- **Forschung zur Effizienzsteigerung fördern:** Innovative Entwicklungen zur Effizienzsteigerung sollten gezielt unterstützt und z. B. in der ErUM-Projektförderung förderfähig gemacht werden.
- **Ganzheitliche Energiekonzepte etablieren:** Transparente Erfassung und Optimierung des Energie- und Ressourcenverbrauchs tragen entscheidend zur Nachhaltigkeit von Großgeräten bei. Gefundene Lösungen sollten konsequent umgesetzt und auf weitere Einsatzbereiche übertragen werden.

5) Nachhaltiges Computing vorantreiben

Gerade der Ausbau der IT-Infrastrukturen und der Umgang mit Daten sind Schlüsselfaktoren nachhaltiger Forschung:

- **Transparenz erhöhen:** Die Ressourcen- und Energieeffizienz der verschiedenen Dimensionen von IT-Infrastrukturen und digitalen Geräten sollte transparent dargestellt werden. Hierfür ist ein entsprechendes Monitoring von Schlüsselkennzahlen essenziell. Auch hierbei wird auf einen möglichst geringen bürokratischen Aufwand geachtet. Gesamtkosten können mit Hilfe einer Lebenszyklusanalyse optimiert werden.
- **Effizienz steigern:** Durch gezielte Erforschung von Algorithmen und Verfahren zur Datenextraktion können Datenanalyse und -speicherung energieeffizienter und nachhaltig gestaltet und die zu speichernden Datenmengen reduziert werden.
- **Lernen ermöglichen:** Die im Computing-Bereich entwickelten Methoden und Kompetenzen sollten auf andere daten- und rechenintensive Bereiche übertragen werden. Der in Projekten eingebundene wissenschaftliche Nachwuchs soll Doppelexpertise in Methoden- und Domainwissen erwerben.

6) Transfer aus der Nachhaltigkeitsforschung stärken

Die Forschung an Großgeräten liefert wertvolle Erkenntnisse und Antworten auf zentrale Nachhaltigkeitsfragen. Ihre Bedeutung sollte stärker hervorgehoben werden:

- **Innovationen transferieren:** Innovative Tools und Ideen müssen schneller aus der Grundlagenforschung in die Industrie und Gesellschaft übertragen und in gemeinsamer Entwicklung mit der Industrie vorangetrieben werden. So können sie dort zum Gelingen der essentiellen digitalen und grünen Transformationen beitragen.
- **Erfolge kommunizieren:** Nachhaltige Forschungsansätze, neueste Erkenntnisse und erworbene Kompetenzen sollten klarer sichtbar gemacht werden, um eine Vorreiterrolle zu etablieren.
- **Chancen der Transdisziplinarität nutzen:** Transdisziplinarität bei passenden Forschungsprojekten mit Großgeräten kann den Transfer in gesellschaftliche Transformationsprozesse stärken. Die partizipative Gestaltung passgenauer Großgerät-Governancestrukturen oder auch die gemeinsame Interpretation der Ergebnisse bzw. die Ableitung von handlungsleitenden Erkenntnissen aus den Ergebnissen kann die Bedeutung und Nützlichkeit der Forschung an Großgeräten fördern.

Best-Practice-Beispiele

Die laufenden Aktivitäten zur nachhaltigen Ausrichtung der naturwissenschaftlichen Grundlagenforschung an Forschungsinfrastrukturen spiegeln in ihrer Vielseitigkeit die gesamte Bandbreite der Forschung an und des Betriebs von Großforschungsanlagen. Dabei stehen die Entwicklung neuer Technologien und die Erforschung nachhaltigerer Methoden der Datenauswertung und -speicherung zur Reduktion klimaschädlicher Emissionen im Vordergrund – gleichzeitig aber auch die Berücksichtigung von Nachhaltigkeitskriterien bei Bau und Betrieb der Infrastrukturen.

Die folgenden Beispiele illustrieren aktuelle Maßnahmen und bisherige Erfolge zur nachhaltigen Ausrichtung der Forschung in Deutschland:



- **Energieeffizientes Computing – Green IT Cube Rechenzentrum der GSI:** Das Helmholtzzentrum für Schwerionenforschung (GSI) betreibt mit dem Green IT Cube eines der weltweit energieeffizientesten Rechenzentren. Durch ein direkt bei GSI entwickeltes innovatives Luft-Wasser-Kühlsystem liegt der Energieaufwand für Kühlung bei < 7 % des Stromverbrauchs – im Vergleich zu 30 bis 100 % bei herkömmlichen Rechenzentren. Die kompakte Bauweise spart zudem Platz und Baumaterial, während die Abwärme zur Beheizung von Bürogebäuden genutzt wird. Der Green IT Cube bietet höchste Rechenleistung, setzt Maßstäbe in ökologischer und ökonomischer Nachhaltigkeit und wurde mit dem Umweltzeichen Blauer Engel der Bundesregierung 2024 zertifiziert.
- **Nachhaltigkeit in Ausbildung integrieren – Scientific Repair Café (SRC) der TU Berlin:** Das Café wurde im Jahr 2020 eröffnet als Ort für Studierende, an dem diese lernen, Geräte zu reparieren – beispielsweise Elektronik für die Steuerung von Experimenten. Der Gedanke des Reparierens und Wiederverwendens statt Neukaufens wird so konsequent umgesetzt. Gleichzeitig erwerben die Studierenden technische Kompetenzen, die für ihr Studium relevant sind. Das SRC-Modul ist als Wahlmöglichkeit in Studien-Curricula integriert; die Studierenden können damit sechs Leistungspunkte erwerben. Darüber hinaus existiert eine Online-Plattform für Laborgeräte. Über diese können Forschungsgruppen niedrigschwellig und zeiteffizient Geräte, beispielsweise Laser oder Vakuumkammern, tauschen und direkt für ihre Experimente einsetzen.
- **Ressourcenschonender Betrieb von Großforschungseinrichtungen – Photovoltaikanlagen der ESO in Chile:** Die Europäische Südsternwarte (ESO) setzt konsequent auf erneuerbare Energien, um ihren Betrieb nachhaltiger zu gestalten. Seit Juli 2022 ermöglicht eine Photovoltaikanlage tagsüber den autarken Betrieb der Teleskope auf La Silla und dem Cerro Paranal. Ergänzend dazu besteht ein Energieliefervertrag mit einer lokalen Solaranlage und dem Netzbetrieb für die Nachtstunden. Diese Maßnahmen reduzieren nicht nur die Abhängigkeit von fossilen Energieträgern, sondern stärken auch die Kosteneffizienz. Perspektivisch wird die ESO auch am Hauptsitz in Garching verstärkt auf nachhaltige Energieformen wie Wasserkraft und Geothermie setzen.
- **Energieeffizienz steigern – neue Beschleunigertechnologie an der TU Darmstadt:** Am S-DALINAC-Beschleuniger der TU Darmstadt wurde erfolgreich ein skalierbarer Multi-Turn Energy Recovery Linac (ERL) demonstriert. Diese innovative Technologie ermöglicht eine Energierückgewinnungseffizienz von bis zu 87 % und stellt damit einen bedeutenden Schritt in Richtung nachhaltiger Nutzung von Energie im Betrieb von Hochenergie-Beschleunigern dar. Die Ergebnisse dieses langjährigen Projekts sind in hochrangigen Publikationen wie Nature Physics veröffentlicht. Darüber hinaus wird die Energierückgewinnungstechnologie auch an anderen Standorten wie dem MESA-Beschleuniger der Universität Mainz und dem Testfeld KITTEN am KIT weiterentwickelt.

- **Reduzieren, Wiederverwenden, Recyceln – Schwerpunkt Kreislaufwirtschaft am HZDR:** Ein verstärkter Fokus auf die Kreislaufwirtschaft am Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf (HZDR) trägt zu einem systemischen Wandel in der wissenschaftlichen Praxis hin zu mehr Ressourcenschonung und Wiederverwertung bei. Dabei stehen der Dialog und die Entwicklung innovativer Technologien im Mittelpunkt, um mineralische und metallhaltige Rohstoffe effizienter bereitzustellen, nachhaltig zu nutzen und umweltfreundlich zu recyceln. Letzteres spielt eine entscheidende Rolle beim Recycling von Elektroschrott. Parallel dazu schafft die fortschreitende Digitalisierung neue Möglichkeiten, Prozesse effizienter und transparenter und somit ressourcenschonender zu gestalten – etwa durch virtuelle Labore, digitale Zwillinge oder intelligente Steuerungssysteme, wie sie am HZDR entwickelt und genutzt werden.
- **Nachhaltiger Bau von Großforschungseinrichtungen – Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen bei DESY und HZDR:** Mit dem Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB) können bereits in der frühen Planungsphase ökologische, ökonomische und soziokulturelle Aspekte berücksichtigt werden. Dabei geht es nicht nur um Energieeffizienz, sondern auch um die Lebenszykluskosten, die Rückbaubarkeit und die Anpassungsfähigkeit der Infrastruktur. DESY entwickelte z.B. einen Leitfaden, der sich sowohl an die Mitarbeitenden bei DESY wendet als auch an die Firmen, die sich an Planungswettbewerben/Vergabe-Verfahren beteiligen. Der Leitfaden beinhaltet Nachhaltigkeitsvorgaben und berücksichtigt DESY-eigene bzw. geländespezifische Gegebenheiten. Bei HZDR wird dieser Ansatz unterstützt durch den Einsatz digitaler Werkzeuge wie Building Information Modeling (BIM). BIM ermöglicht eine integrierte, datenbasierte Planung aller Gebäudekomponenten und technischen Systeme. So lassen sich nicht nur Materialflüsse und Energieverbräuche frühzeitig simulieren, sondern auch Optimierungspotenziale sichtbar machen.
- **Effiziente Technologien entwickeln – Reduktion der Treibhausgasemissionen des CERN:** Knapp 80 % der Treibhausgasemissionen des CERN werden durch die Verwendung fluorinierter Gase verursacht. Diese Gase haben ein weitaus höheres Treibhauspotenzial als CO₂. Hauptquelle der Emissionen sind kleine Lecks in den Detektoren an den Teilchenbeschleunigern, in denen die Gase sowohl für die Detektion von Elementarteilchen als auch für die Kühlung der Detektoren zum Einsatz kommen. Derzeitige Maßnahmen umfassen vor allem die Entwicklung neuer Technologien zur Rückgewinnung und Wiederverwendung der Gase und zur Abdichtung der Lecks sowie Forschung zur Verwendung alternativer, weniger umweltschädlicher Gase.

Das Prisma-Forum begleitet die Umsetzung und strategische Weiterentwicklung des [BMFTR-Rahmenprogramms Erforschung von Universum und Materie \(ErUM\)](#). Das Forum analysiert zukunftsweisende Forschungsthemen und Trends der naturwissenschaftlichen Grundlagenforschung an Großgeräten. Dem hohen Potenzial der physikalischen Großgeräte für die Entwicklung neuer Innovationen und Hightech-Anwendungen trägt es insbesondere Rechnung. Mitglieder des Prisma-Forums sind hochrangige Expertinnen und Experten von Hochschulen, außeruniversitären Forschungseinrichtungen und Industrie.

29.10.2025