

DLR-Stellungnahme zum 9. Energieforschungsprogramm

<i>Herausgeber</i>	<i>Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR)</i>
<i>Anschrift</i>	<i>Linder Höhe</i>
	<i>51147 Köln</i>
<i>Telefon</i>	<i>030-67055-8200</i>
<i>E-Mail</i>	<i>meike.jipp@dlr.de</i>
<i>Inhaltlich verantwortlich</i>	<i>Bereichsvorstand Energie und Verkehr</i>
	<i>Prof. Dr. Meike Jipp</i>

Rückblick auf das 8. Energieforschungsprogramm

Das 8. Energieforschungsprogramm hat eine missionsorientierte Innovationspolitik etabliert und dient als wichtiges Instrument zur Gestaltung eines wirtschaftlichen, resilienten und klimaneutralen Energiesystems. Das Forschungsprogramm hat Akteure aus Politik, Forschung und Industrie zusammengeführt, die Zusammenarbeit über Technologie- und Sektorengrenzen hinweg gestärkt und Entwicklungen unterstützt, die einzelne Akteure allein nicht umsetzen könnten. Durch die Förderung von Reallaboren und großskaligen Testfeldern können Technologien im industriellen Maßstab erprobt, Daten zu Machbarkeit und Wirtschaftlichkeit gewonnen und die Lücke zwischen Forschung und Anwendung geschlossen werden. Die Förderung der Skalierung kann zudem die Etablierung strategisch wichtiger Energietechnologien beschleunigen. Mit Sprintzielen konnten wichtige Akzente gesetzt werden, um besonders relevante Technologien gezielt zu beschleunigen und ihren zeitnahen Transfer in die Praxis voranzutreiben, damit drängende Herausforderungen zeitnah gelöst werden können. Die mit dem 8. Energieforschungsprogramm angestoßenen positiven Entwicklungen sollten daher konsequent fortgeführt und gezielt um neue Akzente ergänzt werden.

Fokus für das 9. Energieforschungsprogramm

Vor dem Hintergrund der angespannten weltpolitischen und wirtschaftlichen Lage müssen die Themen Resilienz sowie die Stärkung des Wirtschaftsstandorts Deutschland eine zentrale Rolle in allen Missionen einnehmen. Als missionsübergreifende Anforderungen an das neue Energieforschungsprogramm sollten diese Themen daher fest in die einzelnen Missionen als Querschnittsthemen verankern werden und nicht losgelöst von den anderen Missionen als eigene separate Missionen stehen.

① **Resilienz**

Die **sichere Energieversorgung** von **Industrie, Gesellschaft** und **kritischen Infrastrukturen** erfordert sowohl ein widerstandsfähiges Energiesystem als auch eine hohe **technologische Souveränität** und eine **geringe Abhängigkeit** von Importen kritischer Rohstoffe und Komponenten. Dafür muss die Forschung Lösungen entwickeln, die im Hinblick auf volatile Stromerzeugung, Extremwetterereignisse, Cyberangriffe sowie geopolitische und wirtschaftliche Engpässe die Versorgungssicherheit stärken. Die Resilienzmaßnahmen gilt es hinsichtlich der Effektivität und des Schadenvermeidungspotenzials zu bewerten und gegenüber den entstehenden Mehrkosten abzuwägen.

② **Stärkung des Wirtschaftsstandorts Deutschland**

Der zunehmende internationale **Wettbewerb** und der wachsende **Kostendruck** auf die Industrie erfordern eine wirtschaftliche Bereitstellung, Speicherung und Verteilung von Energie in Form von Strom, Wärme und chemischen Energieträgern. Zugleich muss der **schnelle Transfer** von Innovationen aus der Forschung in die industrielle Anwendung ermöglicht werden. Dafür muss sich die Energieforschung eng an den **Bedarfen der Industrie** orientieren und industriennahe Lösungen zügig in die Wertschöpfung überführen. Darüber hinaus muss die Energieforschung auch den Grundstein für künftige Industrielösungen legen, die dabei auftretenden Herausforderungen frühzeitig antizipieren und die Integrationskette in die Industrie konsequent gestalten.

Mission Energiesystem

Die Mission Energiesystem zielt darauf ab, die Versorgungssicherheit sowohl im Normalbetrieb als auch bei äußeren Störungen sicherzustellen und hierbei ökonomisch, sozial und ökologisch nachhaltige Lösungen voranzutreiben. Das Energiesystem integriert hierbei die Subsysteme Wärme, Strom, Gas/Wasserstoff und synthetische Kraftstoffe und berücksichtigt auch das Zusammenspiel verschiedener Verbrauchergruppen und Daten.

Das Energiesystem muss in Störungsfällen in der Lage sein, schnell in den Normalbetrieb zurückzukehren. Dafür müssen Systemkonzepte und Systemtechnik erforscht werden, welche einen Teilweiterbetrieb kritischer Infrastrukturen trotz massiver Störungen in Inselnetzen erlauben. Zudem gilt es sicherzustellen, dass die Energieinfrastruktur ausreichend vor physischen Angriffen und Cyberangriffen geschützt ist. Um auf akute Bedrohungslagen reagieren zu können, werden Technologien mit hohem Reifegrad benötigt, die einen schnellen Transfer in die Anwendung ermöglichen. Die Forschung muss dazu beitragen, resilienzsteigernde Maßnahmen wirtschaftlich attraktiv zu gestalten und Geschäftsmodelle entwickeln, die bereits im Normalbetrieb wirtschaftlichen Nutzen stiften.

Teil-Ausfälle und Extremwetterereignisse machen echtzeitfähige Systemanalysen und Prognosen des Energiesystems erforderlich, um ihre Auswirkungen frühzeitig zu bewerten und den Infrastrukturausbau gezielt und effizient zu steuern. Dabei gilt es, Netzengpässe zu antizipieren und Infrastrukturbetreiber frühzeitig über Vulnerabilitäten zu informieren. Aufgrund der fortschreitenden Elektrifizierung und der Erhöhung der Quote an erneuerbaren Energien müssen Vorhersagemodelle in der Lage sein, Unsicherheiten in der Energieverfügbarkeit und in den Lastprofilen abzubilden und Flexibilität zu berücksichtigen.

- **Sprinterziel 1:** Bis 2034 ist eine technische Lösung für die Umsetzung und den Betrieb einer inselnetz- und schwarzstartfähigen Notstromversorgung für kritische urbane Infrastrukturen in einem Smart-KRITIS-Grid auf TRL 6 demonstriert. Dies beinhaltet V2G-fähige ÖPNV-Komponenten (u.a. E-Bus-Depots) und dezentrale Erzeuger mit Speichern (u.a. PV kombiniert mit Batterien auf öffentlichen Flächen und dezentrale H₂-fähige Gas-KWK-Kraftwerke).
- **Sprinterziel 2:** Bis 2030 sind hochaufgelöste dynamische Modelle von gekoppelten Gas- und Strominfrastrukturen auf TRL 6 entwickelt, welche in Szenarioanalysen die Risiken und Verwundbarkeiten des Energiesystems systematisch aufzeigen und kritische Schwachstellen identifizieren. Den Entscheidungsträgern werden Kaskadeneffekte sowie Maßnahmen, die deren Auswirkungen wirksam begrenzen, frühzeitig aufgezeigt.
- **Sprinterziel 3:** Bis 2032 stehen echtzeitfähige, räumlich und zeitlich hochaufgelöste Nowcasting-Technologien auf TRL 6 zur Verfügung, welche kombinierte Wind- und PV-Erzeugungsprognosen inklusive quantifizierter Unsicherheiten ermöglichen und für die zukünftige Direktvermarktung von Aufdach-PV genutzt werden können.
- **Sprinterziel 4:** Bis 2032 sind netzbildende und schwarzstartfähige klimaneutrale Großspeicher auf Basis von Druckluftspeicherkraftwerken auf TRL 5 technologisch validiert und deren Systemintegration demonstriert.

Mission Wärme

Die Mission Wärme zielt darauf ab, eine nachhaltige und robuste Wärme- und Kältebereitstellung für Gebäude und Industrie zu gewährleisten, Effizienzen zu steigern und Flexibilitätspotenziale zu nutzen. Für das kommende Energieforschungsprogramm sollte die Wärmebereitstellung für eine wettbewerbsfähige Industrie stärker in den Fokus gesetzt werden. Damit sich die

deutsche Industrie im internationalen Wettbewerb behaupten kann, sind kostengünstige Bereitstellungen von Prozesswärme, Dampf und Prozesskälte essentiell. Kostensenkungspotenziale können durch Effizienzsteigerungen und durch Nutzung der Flexibilitätspotenziale erschlossen werden sowie durch eine konsequente Optimierung des Zusammenspiels von Strom, (Ab-)Wärme und chemischen Energieträgern in Industrieparks und angrenzenden Quartieren. Für die hocheffiziente Nutzung günstiger erneuerbarer Energien sollte die elektrifizierte Wärmebereitstellung über Hochtemperatur-Wärmepumpen (HTWP) sowie elektrische und induktive Heizer weiter erforscht und in die Industrie überführt werden. Insbesondere durch hybride Lösungen, die elektrische und solarthermische Systeme kombinieren, kann ein kostenoptimiertes Wärmeportfolio für die Industrie geschaffen werden. Die verschiedenen Technologien sind notwendig um das Temperaturspektrum der in der Industrie benötigten Prozesstemperaturen effizient abdecken zu können. Für die robuste und resiliente Wärmebereitstellung sind nicht nur Wärmespeicher unabdingbar, sondern auch hochflexible Technologien zur Wärmebereitstellung, wie zum Beispiel last- und brennstoffflexible Technologien. Diese können in Störfällen greifen und die Resilienz erhöhen, und im Normalbetrieb Lastspitzen glätten und Dunkelflauten überbrücken.

- **Sprinterziel 1:** Bis 2030 sind Konzepte für industrielle Elektroheizer auf Leistungen >5MW skaliert und bei Prozesstemperaturen >900°C auf TRL 6 demonstriert.
- **Sprinterziel 2:** Bis 2034 ist eine Hochtemperatur-Wärmepumpe (HTWP) mit superkritischem CO₂ im industriellen Maßstab (>1MW, >200°C) auf mindestens TRL 6 demonstriert. Durch die Optimierung der HTWP für spezialisierte Industrieprozesse wie Trocknungsprozesse wird eine Kostenreduktion von 20% der Betriebskosten und 15% der Investitionskosten erreicht.
- **Sprinterziel 3:** Bis 2034 steht für die Industrie ein mit thermischen Speichern integriertes Hochtemperatur-Wärmeaufwertungssystem auf TRL 6 zur Verfügung. Dieses ermöglicht die Nutzung industrieller Abwärme und schafft Flexibilitäten durch die Zuschaltung strombasierter Wärmeerzeugung.
- **Sprinterziel 4:** Bis 2034 ist eine brennstoffflexible Gasturbine auf mindestens TRL 6 demonstriert, welche mit beliebiger Mischung aus Erdgas und Wasserstoff betrieben werden kann und eine um mindestens 50% verringerte CO- und NO_x-Emission im Vergleich zu den 2026 geltenden Grenzwerten aufweist.
- **Sprinterziel 5:** Bis 2034 ist die hybride Prozesswärmeversorgung in einem industrierelevanten Wärmeportfolio durch gezielte Kombination mindestens dreier Technologien aus Hochtemperatur-Wärmepumpen, Elektroheizern, solarthermischen Systemen, brennstoffflexiblen Gasturbinen und thermischen Speichern auf TRL 6 demonstriert. Die notwendigen Werkzeuge zur Kostenoptimierung in Bezug auf Planung, Integration und Betrieb sind validiert.

Mission Strom

Die Mission Strom stellt die effiziente und zuverlässige Stromerzeugung, -verteilung und -speicherung in den Vordergrund. Die Verfügbarkeit von Strom ist die Grundlage aller Missionen, und eine kostengünstige Strombereitstellung ist für die Wettbewerbsfähigkeit des Industriestandorts Deutschlands essenziell. In dem folgenden Energieforschungsprogramm sollte die Technologiesouveränität Deutschlands und Europas gestärkt werden. Im Bereich der Stromerzeugung durch Wind sind flächeneffiziente, leise und smarte Windparks in der Lage, kostengünstig Energie dezentral bereitzustellen bei gleichzeitiger gesteigerter gesellschaftlicher Akzeptanz. Im Bereich der Stromverteilung gilt es zu erforschen, wie Anreizmodelle eine netzdienliche

Stromnutzung und den netzdienlichen Einsatz von Speichern ermöglichen können. Dadurch können Infrastrukturausbaukosten gesenkt und Preisspitzen vermieden werden. Im Bereich der Stromspeicher sollte eine europäische Batteriefertigung unterstützt werden. Durch Integration einer digitalen Batterieentwicklungsplattform in die Batteriefertigung können Entwicklungszeiten und -kosten reduziert werden. Um Importabhängigkeiten und Rohstoffrisiken zu vermeiden, sind Batteriematerialien mit reichlich vorkommenden Elementen zu bevorzugen.

- **Sprinterziel 1:** Bis 2034 sind flächeneffiziente und smarte Windparks demonstriert, welche durch sensorgesteuerte und automatisierte Betriebsführung den Stromertrag im Vergleich zu 2030 um >10% steigern, ohne die Lebensdauer zu verringern oder die Lärmbelastung zu erhöhen.
- **Sprinterziel 2:** Bis 2030 steht für die Fertigung anwendungsspezifischer Batterien (mit Anforderungen wie Energie- und Leistungsdichte) eine simulative Optimierungs- und Bewertungsplattform zur Verfügung, welche die Entwicklungszeit signifikant (>20%) verkürzt.
- **Sprinterziel 3:** Bis 2032 sind Anreizmodelle für netzdienliche Stromnutzung und Speicherung unter der Nutzung von Flexibilitäten entwickelt und durch Strommarktmodelle bewertet.

Mission Wasserstoff & synthetische Kraftstoffe

Die Mission Wasserstoff begleitet den Hochlauf der Wasserstoffwirtschaft. Dabei gilt es, Kosten für die Wasserstoffherstellung und -lagerung zu senken, Effizienzen bei Herstellung, Rückverstromung und Umwandlung zu erhöhen und Flexibilitäten zu nutzen. Wichtig ist, dass Wasserstoff nicht nur als Stromspeichermedium, sondern auch als chemischer Grundstoff für synthetische Kraftstoffe mitgedacht wird. Die Energiebereitstellung für schwierig zu defossilisierende Sektoren, wie den maritimen Sektor, den Schwerlastverkehr oder auch die Luftfahrt, benötigt Wasserstoff-basierte, regenerative Kraftstoffe, die nahtlos mit bestehenden Systemen kompatibel sind. Durch die Integration der synthetischen Kraftstoffproduktion in das Energieforschungsprogramm eröffnen sich neue Forschungsfelder, mit denen die Flexibilisierungspotenziale im Energiesystem erschlossen werden können. Des Weiteren bestehen Optimierungspotenziale durch die direkte Integration von Elektrolyseuren in die Herstellungsanlage. Um die zu erwartende Nachfrage an nachhaltigen Kraftstoffen zu möglichst günstigen Preisen abdecken zu können, ist eine frühzeitige Integration der synthetischen Kraftstoffe in das Energieforschungsprogramm zu empfehlen.

Des Weiteren sollte in dem kommenden Energieforschungsprogramm sichergestellt sein, dass Abhängigkeiten kritischer Rohstoffe für Wasserstoffherstellung und Nutzung frühzeitig erkannt und verhindert werden. Zudem muss sichergestellt sein, dass Lösungen für Elektrolyseure und Brennstoffzellen nicht durch das PFAS-Verbot gefährdet sind, um den Hochlauf nicht auszu-bremsen. Daher sollte die Vermeidung kritischer Materialien in den Fokus gesetzt werden.

Damit systemisch Flexibilitäten genutzt werden können, muss die Forschung lastflexible Lösungen entwickeln, die einen netzdienlichen Betrieb erlauben. Um saisonale Stromüberschüsse auszunutzen, muss eine effiziente, großskalige Speicherung von Wasserstoff möglich gemacht werden. Hierfür kommen insbesondere Salzkavernenspeicher infrage. Dabei ist es wichtig, mögliche Verunreinigungen der Grundstoffe durch die Lagerung zu erkennen und Lösungen zu entwickeln, welche auch unter nicht optimalen Bedingungen Wasserstoff effizient rückverstromen können.

- **Sprinterziel 1:** Bis 2030 ist die langlebige (Degradation $<2 \mu\text{V/h}$) alkalische Elektrolyse unter Vermeidung von Rohstoffen mit Lieferkettenrisiken (Iridium-frei) oder negativen Umwelteinflüssen (PFAS-frei) in einem $>50 \text{ kW}$ Stack bei $>1 \text{ A/cm}^2$ demonstriert.
- **Sprinterziel 2:** Bis 2034 ist eine lastflexible (15-110% Teillast), hocheffiziente ($<40 \text{ kWh/kg H}_2$) und langlebige (Degradation $<4 \mu\text{V/h}$) Hochtemperaturelektrolyse demonstriert.
- **Sprinterziel 3:** Bis 2030 ist die Herstellung von synthetischen Kraftstoffen mit hoher Kompatibilität im semi-industriellen Maßstab (>2.000 Tonnen pro Jahr) demonstriert, und Pfade für Kostensenkungen durch Anlagen- und Betriebsoptimierung ($>10\%$) sind aufgezeigt.