



Energieforschung im DLR



Inhalt

Energieforschung im DLR

Überblick	4
Gasturbine	6
Solarenergie	8
Windenergie	10
Materialforschung	11
Dezentrale Kraftwerke	12
Energiespeicher	14
Energiesystemanalyse	16
Energieforschungsinstitute im DLR	18



Energieforschung für unsere Zukunft

Die umfassende Verfügbarkeit von Energie ermöglicht vielen Menschen heute einen verhältnismäßig großen Wohlstand. Als Energiequellen nutzen wir jedoch überwiegend erschöpfliche Ressourcen wie Öl, Kohle und Gas und belasten die Atmosphäre mit klimaschädlichem Kohlendioxid (CO₂). Um die Bevölkerung und die Wirtschaft langfristig mit Energie zu versorgen, brauchen wir ein nachhaltiges Energiesystem.

Die deutsche Bundesregierung hat ehrgeizige energiepolitische Ziele festgelegt: In weniger als 40 Jahren sollen die Treibhausgasemissionen gegenüber 1990 um mindestens 80 Prozent und der Primärenergieverbrauch um 50 Prozent gesenkt werden. Zugleich sollen die Sicherheit und die Wirtschaftlichkeit der Versorgung gewährleistet werden. Wir stehen also am Anfang eines historisch einmaligen Transformationsprozesses, bei dem wir die Bereitstellung von Strom, Wärme und Kraft für alle Energieanwendungen in Industrie, Haushalten und im Verkehr zukunftsfähig machen müssen.

Forschung kann und muss hierzu entscheidende Beiträge leisten, sowohl bei den technischen Fortschritten als auch

bei der Konzeption und Umsetzung des gesamten Prozesses. Das aktuelle Energieforschungsprogramm weist in die richtige Richtung: Es sieht vor, Energietechniken mit großer Intensität und in großer Breite weiterzuentwickeln. Außerdem soll das komplexe System „Energieversorgung“ kontinuierlich beobachtet und überdacht werden, um robuste Lösungen für die Zukunft zu erarbeiten.

Die Energieforschung des DLR ist im Bereich der Technik wie auch in der Modellierung des Gesamtsystems erfolgreich aktiv. Ein hoher Anteil an Mitteln aus der Industrie und öffentlichen Forschungsprogrammen belegt das hohe Niveau und die Produktivität der DLR-Energieforschung. Hier zahlen sich auch vielfältige Synergien mit der Luftfahrt-, Raumfahrt- und Verkehrsforschung aus.

Ich lade Sie ein, sich auf den folgenden Seiten einen Überblick über unsere Forschung zu verschaffen. DLR – das ist auch beste Energieforschung für unsere Zukunft!



Prof. Dr.-Ing. Ulrich Wagner,
DLR-Vorstand für Energie und Verkehr

DLR-Solarforschung: Wissenschaftler überprüfen die Qualität von Spiegeln und anderen Komponenten solarthermischer Kraftwerke und setzen Standards





Batterieforschung: höhere
Energiedichte durch Lithium-
Schwefel- und Lithium-Luft-
Batterien

Die Energieforschung des DLR – Lösungen für die Praxis

Seit Mitte der 1970er-Jahre ist das DLR in der Energieforschung aktiv und leistet relevante Beiträge zu einem nachhaltigen Energiesystem. Die Themen werden von multidisziplinären Teams bearbeitet, die auf einzigartige Test- und Versuchsanlagen und umfassende Rechenkapazitäten einer Großforschungseinrichtung zugreifen können. In vielen unserer Themen haben wir uns eine national und teilweise auch international führende Rolle erarbeitet.

Themen

Die DLR-Energieforschung befasst sich mit innovativen Techniken zur Stromerzeugung, mit der Entwicklung von Energiespeichern und mit der Modellierung des Energiesystems. In dieser Broschüre erhalten Sie einen Einblick in die Vielfalt dieser Forschungsgebiete.

Die Verbrennungs- und Gasturbinentechnik arbeitet an der Verbesserung von Gasturbinen hinsichtlich ihres Wirkungsgrades, ihrer Schadstoffarmut und Flexibilität. Neben klassischen Gasturbinen für Kraftwerke im Leistungsbereich mehrerer hundert Megawatt werden auch Mikrogasturbinen mit Leistungen von wenigen Kilowatt untersucht und optimiert.

Die Solarforschung optimiert vor allem Sonnenwärmekraftwerke, die konzentrierte Sonnenstrahlung nutzen, um über einen Dampfkraftprozess und mit Hilfe von thermischen Speichern grundlastfähigen Strom zu erzeugen. Das DLR entwickelt hier bekannte Konzepte weiter und realisiert neue Ansätze. Ziel ist, die Technologie zu verbessern, die Kosten zu senken und damit den Markteintritt zu beschleunigen. Zum Forschungsportfolio des DLR gehört inzwischen auch die Windkraftforschung. Hier kann das DLR seine umfassenden Kompetenzen aus der Luftfahrt hervorragend zu einer günstigeren Auslegung von Windkraftanlagen einsetzen.

Die Materialforschung im DLR leistet als Querschnittsbereich wesentliche Beiträge für die Energiethemen. Sie spielt eine wichtige Rolle bei der Entwicklung von leichteren Rotorblättern für Windkraftanlagen, hitzebeständigen Brennkammern, leichteren Turbinenschaufeln und robusteren Strahlungsempfängern für Solarturmkraftwerke.

Energiespeicher werden im Energiesystem der Zukunft eine tragende Rolle einnehmen. DLR-Energieforscher arbeiten an thermischen, chemischen und elektrochemischen Speichern. Bei den elektrochemischen Speichern forscht das DLR in enger Abstimmung mit anderen Zentren der Helmholtz-Gemeinschaft an der übernächsten Generation von Batterien und an neuartigen Anwendungen von Brennstoffzellen.

Die Energiesystemanalyse des DLR bewertet die unterschiedlichen Energietechnologien und untersucht in verschiedenen Szenarien, wie der Energiemix der Zukunft aussehen kann. Für die Politik und auch für die Forschung bietet die Systemanalyse wichtige Entscheidungsgrundlagen.

Daten und Fakten

In der DLR-Energieforschung arbeiten circa 500 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter verschiedenster Disziplinen an den Standorten Köln, Stuttgart, Braunschweig, Göttingen, Jülich und Almería. Aus seiner Grundfinanzierung vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie und den Sitzländern setzte das DLR 2011 Mittel in Höhe von circa 21 Mio. € für die Energieforschung ein. Die aus öffentlichen Förderprogrammen und von der Industrie eingeworbenen Drittmittel lagen 2011 bei 47 Mio. €. Mit seinen hohen Drittmitteleinnahmen von fast 70 Prozent steht das DLR seit Jahren an der Spitze der Energieforschungseinrichtungen in der Helmholtz-Gemeinschaft.

Von den Grundlagen zur Anwendung

Die programmatische Steuerung dient dazu, die DLR-Energieforschung thematisch zu fokussieren. So wird sichergestellt, dass die erforderlichen Kapazitäten für die erfolgreiche Bearbeitung eines Themas vorhanden sind. Während manche Arbeiten eher grundlagennah sind, sind andere als industrienahe einzustufen. Es ist ein bewährtes Prinzip im DLR, die gesamte Breite von grundlegenden Mechanismen bis hin zu industriellen Anwendungen abzudecken. Damit und in Verbindung mit den Kompetenzen in den Bereichen Luftfahrt, Raumfahrt und Verkehr bieten wir ein einzigartiges Spektrum an Fähigkeiten, das sich gut im Wettbewerb behaupten kann und das unseren Industriepartnern Wettbewerbsvorteile sichert.

Kooperationen

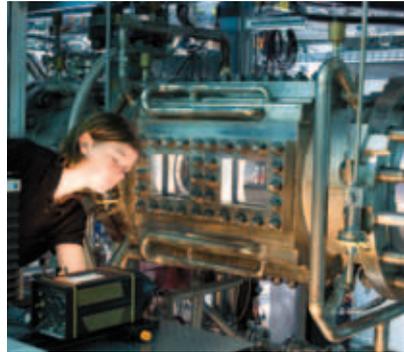
Die DLR-Energieforschung ist in zahlreiche nationale und internationale Netzwerke eingebunden. Wir kooperieren zielorientiert mit diversen Hochschulen und gewinnen hierüber auch kompetenten wissenschaftlichen Nachwuchs. In der Regel unterrichten Instituts- sowie Abteilungsleiter des DLR auch an Hochschulen. Eine intensive und vielfältige Zusammenarbeit mit der Industrie sichert der Energieforschung sowohl den Bezug zu aktuellen Fragestellungen als auch relevante Forschungsaufträge. Die DLR-Energieforschung kooperiert zudem mit anderen nationalen Forschungseinrichtungen wie auch mit ausgewählten internationalen Partnern aus Wissenschaft und Industrie.

Neben internen wissenschaftlichen Begutachtungen stellt sich die DLR-Energieforschung in einem fünfjährigen Zyklus einer Evaluierung im Rahmen der Helmholtz-Gemeinschaft. Hierüber wird die mittelfristige Ausrichtung überprüft und es erfolgt eine strategische Abstimmung zwischen den Mitgliedszentren der Helmholtz-Gemeinschaft.

Weniger CO₂ – effiziente und flexible Gasturbinen

Thermische Kraftwerke können bedarfsgerecht Strom bereitstellen und sind daher in der Lage, zeitliche Schwankungen von Wind- und Solarenergie auszugleichen. Weiterhin bieten Kraftwerksneubauten oder -modernisierungen heute die Chance, weltweit Altanlagen durch moderne hocheffiziente Kraftwerke zu ersetzen.

In den vergangenen Jahren wurden große Fortschritte in der Effizienz und in der Senkung der Schadstoffemissionen erzielt. So wurden die Wirkungsgrade der Stromerzeugung durch kombinierte Gas- und Dampfturbinenkraftwerke von weniger als 40 auf über 60 Prozent gesteigert und gleichzeitig die Stickoxid-Emissionen (NO_x) deutlich reduziert. Energieforscher arbeiten daran, den Wirkungsgrad weiter anzuheben, unter anderem durch verbesserte Verbrennungstechniken. Jeder Prozentpunkt, um den der Wirkungsgrad der deutschen Kraftwerke steigt, entspricht der Stromproduktion eines großen konventionellen Kraftwerks und deckt den Bedarf von 500.000 Menschen.



Eine gläserne Brennkammer bietet Einblick in die Verbrennung einer Gasturbine

Bessere Verbrennung – mit ruhiger Flamme

Forscher am DLR-Institut für Verbrennungstechnik in Stuttgart entwickeln neue Brennkammersysteme, unter anderem auf Basis der sogenannten FLOX®-Technologie. Dieses Verfahren bietet eine besonders homogene und ruhige Flamme, was die Entstehung von Schadstoffen stark reduziert und gleichzeitig zu einer Entlastung des Brennkammermaterials führt. Zudem kann die Brennkammer mit unterschiedlichen Brennstoffen betrieben werden, sodass zukünftige Gasturbinen mit dieser Technik auch eine schwankende Erdgasqualität und Brennstoffe auf Basis von Biomasse besser nutzen können. Neue Brenn-

kammern für Gasturbinen können im Hochdruck-Prüfstand in Stuttgart unter realen Bedingungen getestet werden.

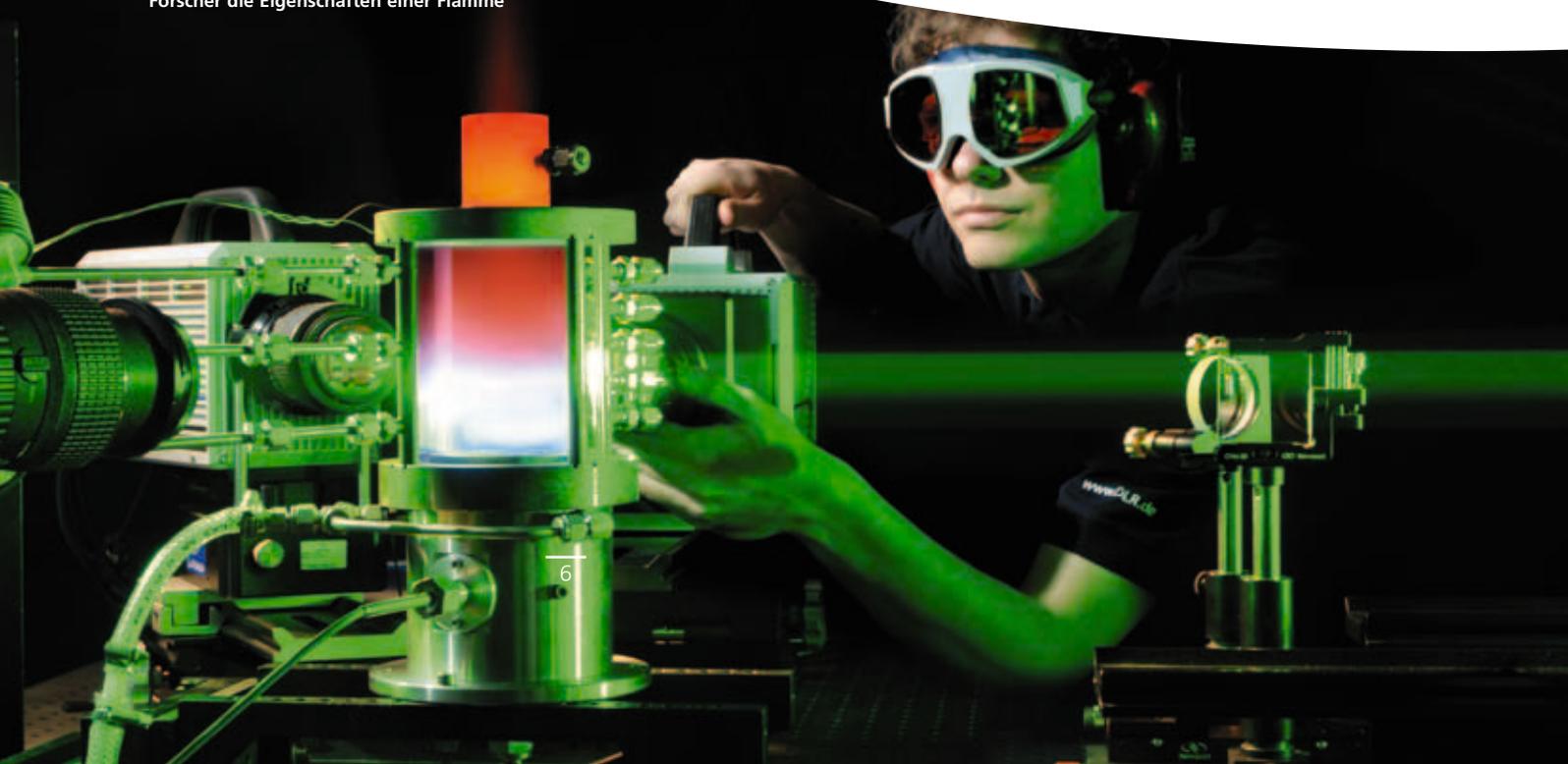
Alternative Brennstoffe

Für die Energieversorgung und vor allem für eine umweltfreundliche individuelle Mobilität spielen alternative Brennstoffe und sogenannte Designer-Brennstoffe eine zunehmend wichtige Rolle. DLR-Forscher arbeiten an der Herstellung dieser Brennstoffe aus erneuerbaren Energien. Auch durch die Vergasung von Biomasse und Kohle gewinnen sie Brennstoffe. Diese zeichnen sich durch einen hohen Anteil an Wasserstoff und Kohlenmonoxid aus und haben im Vergleich zu Erdgas andere Verbrennungseigenschaften.

Berührungslose Messung für eine schadstoffarme Verbrennung

Wer Verbrennungsprozesse effizienter und schadstoffärmer machen möchte, muss wissen, was in der Flamme geschieht und wie man sie steuern kann. Mit Hilfe von Lasermessverfahren können DLR-Wissenschaftler Eigenschaften und Vorgänge in einer Flamme berührungsfrei messen. Im Gegensatz zu Sondenmessungen stören Lasermessverfahren weder das Strömungsfeld noch beeinflussen sie die empfindlichen chemischen Reaktionen. So lassen sich Daten mit hoher zeitlicher und räumlicher Auflösung gewinnen; bis zu 10.000 Messungen pro Sekunde sind möglich. Gemessen

Mit Lasermesstechnik bestimmen DLR-Forscher die Eigenschaften einer Flamme



werden die Wechselwirkung zwischen Strömungsfeld und den chemischen Reaktionen sowie die Temperaturen der Brennkammerwände und in der Flamme. Außerdem kann die Konzentration wichtiger, an der Reaktion beteiligter Stoffe gemessen werden.

Simulationsrechnungen für bessere Brennkammern

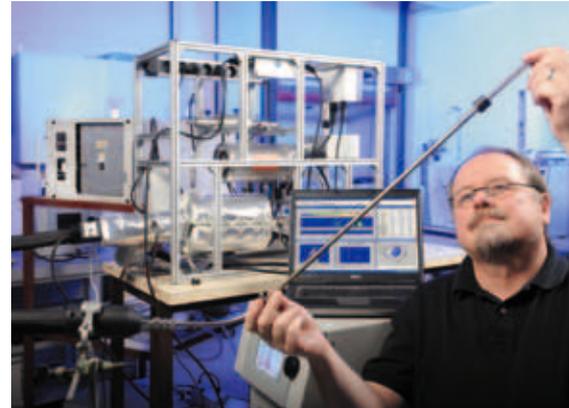
Um zukünftige Brenner- und Brennkammerkonzepte ohne teure Versuchsreihen schon im Computer testen zu können, entwickelt das DLR-Institut für Verbrennungstechnik leistungsstarke numerische Berechnungsverfahren. Simuliert werden dabei die Schadstoffbildung (insbesondere Stickoxide) in Brennkammern sowie Lärm und Schwingungen von Flammen. Wichtige Vorhersagen können die Forscher am Computer auch für die Wärmebelastung der Brennkammerwände oder die Fremd- und Selbstzündung von Brennstoff-Luft-Gemischen treffen.

Neue Anforderungen für große Kraftwerksturbinen

Das zukünftige Stromnetz stellt neue Anforderungen an die fossilen Kraftwerke: Sie müssen nicht nur im Grundlastbetrieb, sondern auch im Teillastbetrieb ressourcenschonend und effizient Strom erzeugen. Am DLR-Institut für Antriebstechnik in Köln arbeiten Wissenschaftler in enger Kooperation mit Industriepartnern an der Verbesserung der Kraftwerksturbi-

nen. Unter realistischen Bedingungen für Druck und Temperatur werden in verschiedenen Leistungsklassen Brennkammern untersucht. Ziel der Anlagenbauer und Forscher sind leistungsstärkere, umweltfreundlichere und flexiblere Kraftwerke.

Zu diesem Zweck untersuchen die Forscher, wie Axial- und Radialverdichter sowohl im Grund- als auch im Teillastbereich optimal ausgelegt sein müssen. Zudem simulieren sie das aerodynamische Verhalten der immer größeren Turbinenschaufeln, um gefährliche Schwingungsanregungen – das sogenannte „Schaufel-flattern“ – zuverlässig zu vermeiden. Ziel der Forschungsarbeiten sind auch effizientere Kraftwerke durch die Verminderung des Kühlluftbedarfs der Turbinen bei weiter steigender Heißgas-Temperatur. Dazu werden die im DLR für Industrieanwendungen konzipierten Strömungs-berechnungsverfahren weiterentwickelt und anhand von aufwendigen Experimenten überprüft.



Alternative Brennstoffe: bessere Verbrennungseigenschaften und weniger Emissionen



DLR-Forscher entwickeln flexiblere und leistungsstärkere Kraftwerksturbinen



Turmkraftwerk in Almería:
mehr Effizienz bei der solar-
thermischen Stromerzeugung
durch höhere Temperaturen

Gebündelte Sonnenstrahlen – Solarforschung im DLR

Die Sonne liefert Energie im Überfluss, sie hat das Potenzial, den Bedarf der gesamten Bevölkerung der Erde zu decken – zehntausendfach. Die Herausforderung besteht darin, diese klimaneutrale Energie effizient und kostengünstig nutzbar zu machen. Sonnenwärmekraftwerke, an denen das DLR seit über 30 Jahren forscht, können einen wesentlichen Beitrag zu dieser Nutzung und damit zur Energieversorgung der Zukunft leisten.

Strom rund um die Uhr

Sonnenwärmekraftwerke konzentrieren direktes Sonnenlicht, um technisch nutzbare hohe Temperaturen zu erzeugen. So können sie in sonnenreichen Regionen in großen Mengen umweltfreundlichen Strom aus erneuerbaren Quellen liefern. Und diese Technik hat einen weiteren wichtigen Vorteil: Energie kann hier in Form von Wärme zu relativ geringen Kosten gespeichert werden. Mit thermischen Speichern, zum Beispiel großen Salzspeichern, können diese Kraftwerke daher auch in den Abend- und Nachtstunden zuverlässig Strom liefern.

Das DLR-Institut für Solarforschung gehört zu den weltweit führenden Instituten auf dem Gebiet der Solarkraftwerke. Das Forschungsspektrum des Instituts reicht von der Labor- und Grundlagenforschung bis zu Betriebstests von kompletten Solarkraftwerken. Ziel der Forschungsarbeiten ist es, die eingesetzten Bau- und Prozessmaterialien zu verbessern sowie die Architektur und den Betrieb der Anlagen zu optimieren. Damit leisten DLR-Wissenschaftler wichtige Forschungs- und Entwicklungsarbeit, um die Innovationszyklen zu beschleunigen und die Kosten der Stromerzeugung zu senken.

Bessere Spiegel und Absorberrohre

Sehr anwendungsorientiert arbeitet in Köln das Testlabor QUARZ (Test- und Qualifizierungszentrum für konzentrierende Solartechnik). DLR-Forscher untersuchen hier an eigens entwickelten Prüfständen die Qualität von industriell gefertigten Spiegeln und Absorberrohren. Als ein auf diesem Gebiet weltweit führendes Forschungszentrum arbeitet das DLR derzeit bei der Festlegung von internationalen Standards für die Qualitätsprüfung von Komponenten und deren Messverfahren mit.

Zur Grundlagenforschung nutzen die Wissenschaftler des DLR-Instituts für Solarforschung den „Sonnenofen“ in Köln, der Sonnenstrahlen mit einem 60 Quadratmeter großen Spiegelfeld konzentriert. Hier wurden unter anderem erste Tests für die Herstellung von Wasserstoff direkt aus Sonnenenergie durchgeführt. Das DLR-Solarturmkraftwerk in Jülich dient als Großforschungsanlage für Experimente zur solaren Hochtemperaturtechnik.

In Südspanien haben DLR-Forscher Zugang zu den Forschungsanlagen der Plataforma Solar de Almería (PSA). Während die Anlagen in Deutschland zur schnellen Technologieentwicklung vom Labormaßstab bis zum industriellen Prototyp dienen, können in Almería Langzeitexperimente unter realen Bedingungen durchgeführt werden. DLR-Wissenschaftler in Köln und Stuttgart forschen an besseren Wärmeträgerfluiden für Parabolrinnen-Systeme, an Receivertechnologien und berechnen zukünftige Solarturmsysteme.

Höhere Temperaturen für mehr Effizienz

DLR-Wissenschaftler forschen auch an Solarkraftwerken mit höheren Prozess-



Spiegel im Test: Qualitätsuntersuchungen auf der Plataforma Solar in Almería (Südspanien)



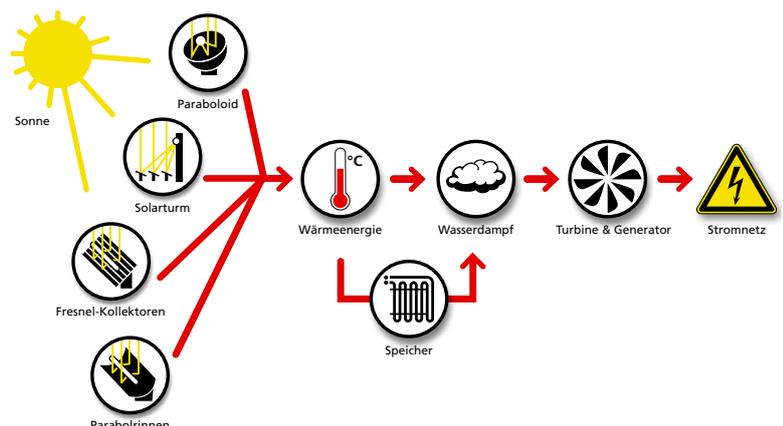
DLR-Solarturm in Jülich: Forschungskraftwerk zur Weiterentwicklung der Hochtemperaturprozessstechnik

temperaturen. Solche Kraftwerke haben einen höheren Kreislaufwirkungsgrad und benötigen daher weniger Kollektoren pro erzeugter Kilowattstunde, wodurch die Stromgestehungskosten sinken. Ein wichtiger Innovationsansatz bei Parabolrinnen-Kraftwerken ist die solare Direktverdampfung. Hier wird der Wasserdampf, der die Turbine antreibt, direkt im Absorberrohr erzeugt. Dadurch entfällt die Beschränkung auf 400 Grad Celsius, die für den üblichen Wärmeträger (Thermoöl) gilt. Für noch höhere Prozesstemperaturen werden im DLR auch neue Wärmeträgermedien wie Salzschnmelzen, Partikel und Gase erforscht.

Solarkraftwerke

Sonnenwärmekraftwerke bündeln mit Spiegeln die Strahlen der Sonne und wandeln sie in Wärmeenergie um, man spricht deshalb auch von konzentrierenden Solarkraftwerken (Concentrating Solar Power – CSP). Durch die Konzentration werden Temperaturen von 400 bis 1.200 Grad Celsius erreicht. Diese Wärmeenergie lässt sich wie in einem konventionellen thermischen Kraftwerk oder mit einem Stirling-Motor zur Stromerzeugung nutzen.

Je nach Kraftwerksart wird die Sonnenstrahlung mit vier unterschiedlichen Spiegelformen gebündelt: Bei Parabolrinnen-Kraftwerken sind es rinnenförmige Spiegel, die die Strahlen auf ein Rohr im Brennpunkt bündeln. Teilt man die großen gekrümmten Spiegel in lange flache Streifen auf, so erhält man Fresnel-Kollektoren, die die Strahlen ebenfalls auf ein Rohr bündeln. Bei Turmkraftwerken lenken viele flache Spiegel die Strahlen auf die Spitze eines Turms und bei Dish-Anlagen ist es schließlich ein zusammenhängender paraboloidförmiger Spiegel, der die Sonnenstrahlen auf einen Punkt konzentriert.



Synergien für die Windenergieforschung



Kompetenzen aus der Luft- und Raumfahrt für bessere Windenergieanlagen

Mehr Leistung – weniger Lärm

Mit fast acht Prozent trägt die Windenergie heute schon spürbar zur Stromerzeugung in Deutschland bei. Entsprechend den energiepolitischen Zielen der Bundesregierung soll sie bis zum Jahre 2030 bereits 30 Prozent des Bruttostromverbrauchs decken.

Um diese Ziele zu erreichen, ist neben einer Ausweitung der Flächen für Windparks auch eine weitere Senkung der Stromgestehungskosten erforderlich. Dies kann beispielsweise durch eine Leistungssteigerung der Windenergieanlagen, durch eine Erhöhung ihrer Zuverlässigkeit, durch effizientere Produktionsverfahren oder durch Möglichkeiten der Regelung erreicht werden. Offshore-Windräder sollen in Zukunft eine Leistung von bis zu 20 Megawatt erreichen. Dafür müssen die Anlagen, ihre Bauweisen und die verwendeten Materialien erheblich weiterentwickelt werden. Insbesondere an Land sollen sich Windkraftanlagen zudem leiser drehen als bisher.

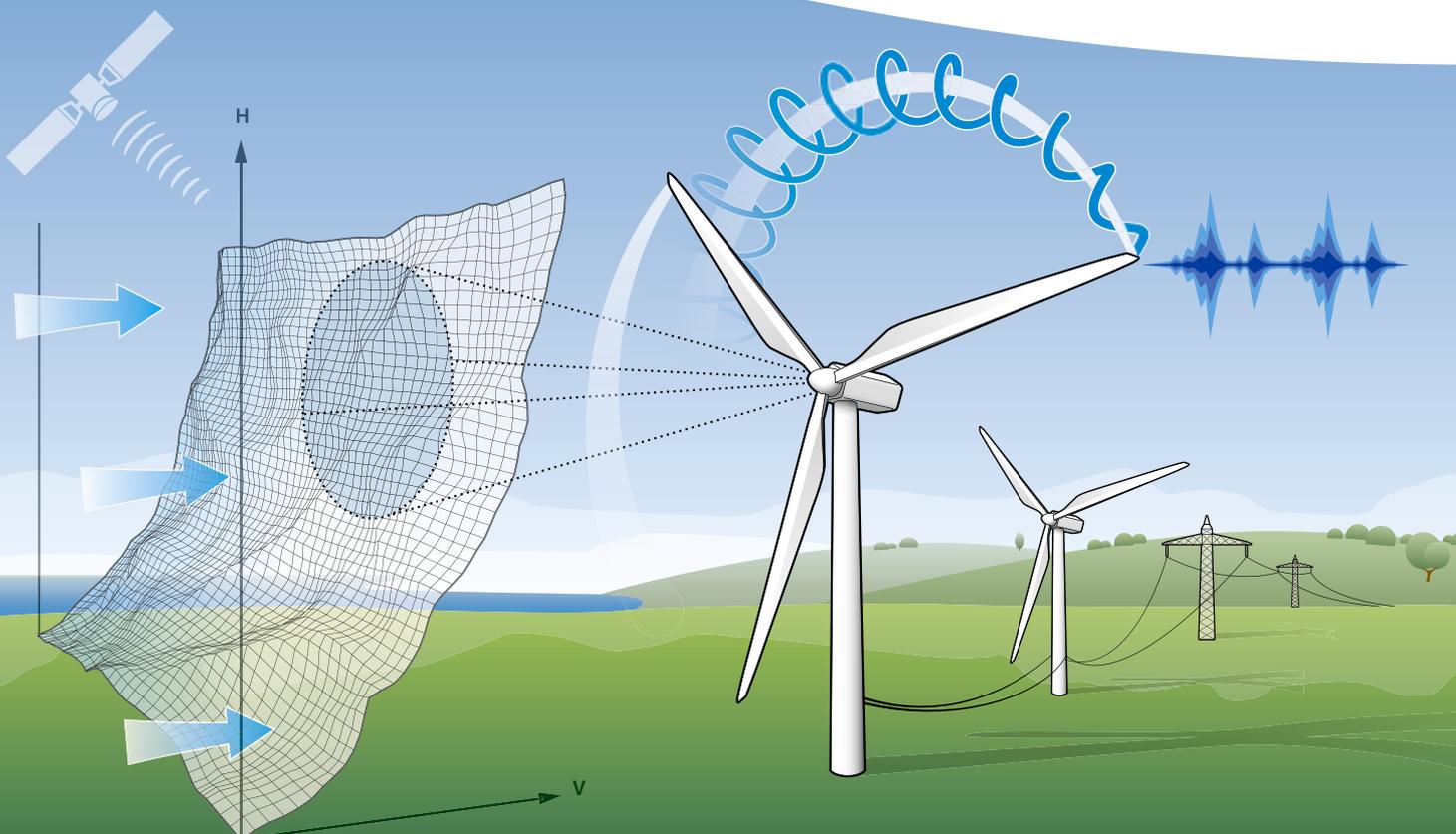
Mit den Kompetenzen und Technologien aus der Luft- und Raumfahrt kann das DLR wichtige Beiträge zur Windenergienutzung leisten. Für eine aerodynamische, aeroelastische und strukturmechanische Optimierung von Windenergieanlagen arbei-

ten DLR-Forscher sowohl mit numerischen Simulationen als auch mit Experimenten in europaweit einzigartigen Windkanälen. Für die Modellierung des Gesamtsystems Windkraftanlage hat das DLR maßgebliche Kompetenzen. Intelligente Materialien und Strukturen aus dem Forschungsbereich der Adaptronik sollen in Zukunft steuerbare Rotorblätter ermöglichen, die zum Beispiel bei stärkeren Windböen nicht gedrosselt werden müssen. Mit Lidar-Systemen, also optischen Abtastsystemen, können Windströmungen und ihre Wechselwirkung mit ganzen Windparks erfasst werden. Satellitenbilder helfen zudem bei der Windvorhersage am Standort der Windenergieanlage und ermöglichen eine optimale Steuerung der Anlagen sowie eine Vorhersage der Stromeinspeisung in das Stromnetz.

Leichter und größer: Windräder der Zukunft

Würde ein Windrad in der heutigen Bauweise bis zu einer Leistung von 20 Megawatt vergrößert, wäre ein Rotorblatt 125 Meter lang mit einem Gewicht von mehr als 100 Tonnen. Die bislang verbauten Glasfaser-Materialien sind für diese Dimensionen zu schwer. Kohlefaserverstärkte Strukturen (CFK) können ein Rotorblatt fünfmal fester und steifer machen. DLR-Forscher arbeiten daher an der Integration und automatisierten Produktion dieser CFK-Bauteile, damit Rotorblätter in Zukunft ohne Preissteigerungen deutlich leichter und stabiler werden.

Präzise Windvorhersagen ermöglichen eine bessere Anlagensteuerung



Neue Möglichkeiten mit neuen Werkstoffen

Fast alle Arbeiten in der Energieforschung haben Bezüge zu Materialfragen, seien es robuste und langzeitbeständige Kraftwerksbauteile oder hoch hitzebeständige Brennkammerwände. Das DLR-Institut für Werkstoff-Forschung trägt mit seinen Aktivitäten zur Entwicklung und Erforschung von Hochleistungswerkstoffen in verschiedenen Bereichen dazu bei, innovative Komponenten und Systeme der Energietechnik zu ermöglichen.

Mehr Effizienz in der konventionellen Stromerzeugung

Für eine neue Generation effizienter Kraftwerke mit deutlich verringertem Schadstoffausstoß sind neuartige Materialien mit besserer Temperaturbeständigkeit, Korrosionsstabilität und Thermoschockresistenz erforderlich. Diesen Anforderungen wird der im DLR entwickelte langfaserverstärkte oxidkeramische Verbundwerkstoff WHIPOX® gerecht. In Zusammenarbeit mit Industrie und weiteren Forschungspartnern fertigen Materialforscher Bauteile aus WHIPOX® und erstellen numerische Modelle für das Werkstoffverhalten.

Werkstoffe, die 1.000 Grad Celsius und mehr aushalten

Wenn in einem Turmkraftwerk hunderte von Spiegeln die Strahlen der Sonne auf einen Punkt, den Strahlungsempfänger,

lenken, entstehen dort Temperaturen von über 1.000 Grad Celsius und es treten starke Temperaturwechsel auf. Forscher im DLR-Institut für Werkstoff-Forschung identifizieren daher, wann und wie die Materialien Schaden nehmen können, führen Alterungstests im Zeitraffer durch und sagen so die Lebensdauer der Strahlungsempfänger voraus.

Ein weiterer Forschungsschwerpunkt ist die Herstellung von Wasserstoff aus Wasser mit Hilfe von Sonnenenergie. Dabei ist es bereits gelungen, Wasserstoff in einem mit Eisenmischoxid beschichteten Keramikreaktor mit konzentrierter Sonnenstrahlung herzustellen. Derzeit entwickeln Werkstoff-Forscher gemeinsam mit Solarforschern eine verbesserte Funktionskeramik für eine höhere Wasserstoffausbeute und längere Lebensdauer.

Strom aus Abwärme

Thermoelektrische Materialien können einen Wärmestrom direkt in elektrische Leistung wandeln. Ein Teil der Abwärme in Autos sowie Wärmeströme in Heizungen und Industrieanlagen können so genutzt werden. DLR-Forscher entwickeln Werkstoffe und Herstellungsverfahren für höhere Einsatztemperaturen

der Materialien, um den Anwendungsbereich zu erweitern und den Wirkungsgrad der Energiewandlung zu erhöhen. Wissenschaftler des Instituts stellen die thermoelektrischen Materialien vom Grundmaterial, einem hochreinen Pulver, bis zu kompletten Thermogenerator-Modulen her.

Aerogele – ultraleichte Superisolatoren

Aerogele sind ultraleichte Festkörper, die durch ihre nanoporöse Struktur hervorragende Isolationseigenschaften haben. Durch einfache chemische Veränderungen können aus den meist spröden Materialien weiche, flexible Werkstoffe entstehen. DLR-Forscher haben durch die Zugabe von Aerogelen in eine Zementmischung einen Leichtbeton mit hervorragenden Dämmeigenschaften entwickelt. Weiterhin vermischen sie verschiedenartige Aerogele sowie Aerogele mit Kunststoffen oder Metallen und entwickeln so superisolierende Verbundwerkstoffe, die in der Raumfahrt zur Isolierung von Raumfahrzeugen und Satelliten eingesetzt werden.

Strom aus Wärme: Modul eines thermoelektrischen Generators

Dezentrale Kraftwerke – Energie, wo sie gebraucht wird

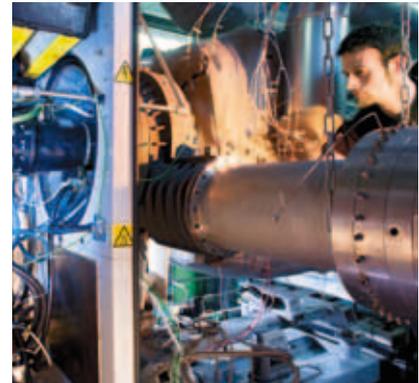
Zur Reduktion von klimawirksamen Emissionen und für eine bessere Ausnutzung von Brennstoffen werden zusätzliche dezentrale Kraftwerke in der Nähe der Verbraucher benötigt. Gemeinsam mit unterschiedlichen Projektpartnern erforschen die DLR-Institute für Verbrennungstechnik und Technische Thermodynamik zukunftsweisende und nachhaltige Technologien zur Energiebereitstellung mittels mikrogasturbinen-basierter Blockheizkraftwerke und Brennstoffzellen.

Strom und Wärme direkt beim Verbraucher

Dezentrale Kraftwerke ermöglichen es, auch die bei der Stromerzeugung anfallende Wärme zu nutzen. Durch die gekoppelte Strom- und Wärmebereitstellung (Kraft-Wärme-Kopplung – KWK) wird der eingesetzte Brennstoff effizient und damit umweltfreundlich genutzt, was die Wirtschaftlichkeit und die Umweltverträglichkeit erhöht. Im Vergleich zur getrennten Erzeugung von Strom und Wärme sind die CO₂-Emissionen von KWK-Systemen um bis zu 70 Prozent geringer. Für Ein- und Mehrfamilienhäuser eignen sich sogenannte Mini-

Blockheizkraftwerke. Alternativ zu den bisher eingesetzten Gasmotoren kann eine Mikrogasturbine mit unterschiedlichen Brennstoffen betrieben werden und stößt dabei weniger Schadstoffe aus. Ein weiterer Vorteil der Mikrogasturbine liegt in den längeren Wartungsintervallen und niedrigeren Wartungskosten. Forschungs- und Entwicklungsbedarf besteht noch beim elektrischen Wirkungsgrad, der geringer ist als beim Gasmotor. DLR-Forscher arbeiten hierfür an der Optimierung der Bauteile, an der Minimierung der Druck- und Wärmeverluste sowie am Einsatz von keramischen Materialien.

Das Institut für Verbrennungstechnik erforscht im Bereich der gasturbinen-basierten Blockheizkraftwerke auch neue Anlagenkomponenten und -konzepte für gasförmige und flüssige Brennstoffe. Dabei bestimmen die Forscher die verbrennungstechnischen Eigenschaften von konventionellen und alternativen Brennstoffen. Ebenfalls werden neuartige, schadstoffarme und brennstoffflexible Brennkammersysteme für Mikrogasturbinen entwickelt. Zur Charakterisierung und Optimierung der entwickelten Komponenten sowie der Anlagenkonzepte betreibt das Institut einen Mikrogasturbinenprüfstand mit optisch zugänglicher Brennkammer.



Hybridkraftwerk mit hohem Wirkungsgrad durch die Kopplung einer Gasturbine mit einem Hochtemperaturbrennstoffzellensystem

Effizient und zuverlässig – auch in der Luft: Brennstoffzellen

Brennstoffzellen können zur stationären Stromversorgung (meist in Kraft-Wärme-Kopplung) oder zum Antrieb von Fahrzeugen eingesetzt werden. Der elektrische Wirkungsgrad von Brennstoffzellen liegt mit bis zu 60 Prozent weit über dem anderer Techniken. Das DLR-Institut für Technische Thermodynamik arbeitet an der Weiterentwicklung sowohl von Hochtemperatur-Brennstoffzellen, die Erdgas direkt verwenden können, als auch von Niedertemperatur-Brennstoffzellen, sogenannten Polymer-Elektrolyt-Brennstoffzellen, die Wasserstoff und Methanol als Brenngas verwenden. Die

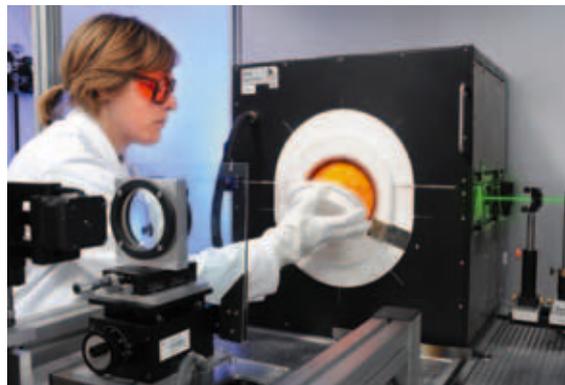
Neue Werkstoffe und Konzepte in der Brennstoffzellenforschung

Wissenschaftler erforschen neue Werkstoffe sowie Zellkonzepte und arbeiten an industrienahen Fertigungstechniken, die in eine zuverlässige und hochskalierbare Fertigung münden. Herausforderung bei der Brennstoffzellenentwicklung ist es, die Alterungsvorgänge zu verlangsamen und damit die Einsatzdauer zu verlängern. Mit Messungen zu orts aufgelösten Stromdichteverteilungen können die Wissenschaftler die Degradationsprozesse beobachten und so mittelfristig die Brennstoffzelle verbessern.

Eine innovative Anwendung, die das DLR maßgeblich entwickelt, ist die Integration von Brennstoffzellensystemen in Passagierflugzeuge. Momentan wird ein multifunktionales Brennstoffzellen-System erprobt. Das System dient einerseits als Hilfsenergieaggregat zur Stromversorgung elektrischer Verbraucher im Flugzeug und zur Wassergewinnung für die Kabine. Andererseits treibt die Brennstoffzelle auch ein elektrisches Bugrad an, das den Schadstoffausstoß am Boden wesentlich reduzieren kann. Der Motorsegler Antares DLR-H2 ist das weltweit erste bemannte Flugzeug, das mit Brennstoffzellenantrieb starten kann. Das Forschungsflugzeug dient als fliegende Testplattform für Brennstoffzellen in der Luftfahrt.

Bester Wirkungsgrad im Hybridkraftwerk

Einen sehr hohen Wirkungsgrad bei der Energieumwandlung verspricht die Koppelung einer Gasturbine mit einem Hochtemperatur-Brennstoffzellensystem zu einem Hybridkraftwerk. Der wesentliche Vorteil hierbei ist, dass neben der Stromproduktion auch die Abwärme zur Stromerzeugung genutzt werden kann. Schon bei Anlagen mit einer Leistung von mehr als zehn Kilowatt sind elektrische Wirkungsgrade von über 60 Prozent und Gesamtnutzungsgrade von über 90 Prozent realisierbar. Dies gelingt, da die Gasturbine vorgewärmte, verdichtete Luft zur Brennstoffzelle führt, in der durch elektrochemische Prozesse Strom bereitgestellt wird. Besonders anspruchsvoll ist es, das Gesamtsystem zu steuern, da sich die Dynamik der beiden Komponenten stark unterscheidet. Mit Hilfe von Computermodellen entwickeln DLR-Forscher dazu Regelungs- und Steuerungsstrategien.



Mit Laserstrahlen können Forscher ins Innere der Brennstoffzelle blicken

Fliegen mit der Brennstoffzelle: Der Motorsegler DLR-Antares H2 ist das erste mit einer Brennstoffzelle startfähige Flugzeug



Speicher – Schlüsselkomponente für ein nachhaltiges Energiesystem

Mit dem zunehmenden Ausbau der fluktuierenden erneuerbaren Energiequellen wird es immer wichtiger, dass Energie bedarfsgerecht beim Verbraucher ankommt. Energiespeicher werden in einer nachhaltigen Energiewirtschaft eine Schlüsselkomponente sein.

Ob in Form von Wärme in einem Naturstein oder als elektrische Energie in der Batterie, Energie lässt sich auf sehr viele verschiedene Arten speichern. DLR-Forscher im Institut für Technische Thermodynamik entwickeln thermische, thermochemische und chemische Energiespeicher, adiabatische Druckluftspeicher und Batterien.

Wie Wärme am besten erhalten bleibt

Am preiswertesten und effizientesten lässt sich Energie in Form von Wärme speichern. Große Flüssigsalzspeicher werden bereits in Sonnenwärmekraftwerken eingesetzt. Auf der Suche nach kostengünstigeren und flexibleren Hochtemperatur-Wärmespeichern entwickeln und nutzen DLR-Wissenschaftler Feststoffmaterialien wie Keramik, Beton oder Naturstein. In Stuttgart können die Forscher an der Hochtemperatur-Wärmespeicher-Versuchsanlage „Hotreg“ die Speichereigenschaften von verschiedenen Materialien mit und ohne Druck bis 850 Grad Celsius testen.

Latentwärmespeicher: Energie auf engstem Raum

Latente Wärme ist „verborgene“ Energie, die ein Stoff beim Phasenwechsel von fest zu flüssig oder von flüssig zu gasförmig aufnimmt, ohne dass sich dabei die Temperatur verändert. Latentwärmespeicher haben den Vorteil, dass sie bei minimaler Temperaturänderung viel Energie in einem geringen Volumen speichern können. DLR-Forscher entwickeln gemeinsam mit Industriepartnern mit Salzgemischen gefüllte Latentwärmespeicher. Bei konstanter Temperatur geht das Salz von einem festen in einen flüssigen Zustand über. Die Energie im System kann durch den Phasenwechsel bei konstanter Temperatur sehr effizient übertragen und aufgenommen werden. Eine erste Pilotanlage, der weltweit größte Hochtemperatur-Latentwärmespeicher, wurde in 2010/2011 in Carboneras/Südspanien erfolgreich getestet.

Thermochemische Speicherung: Reaktionswärme nutzen

Kostengünstige Stoffe wie Calciumhydroxid können unter Zuführung von Wärme in die Produkte Calciumoxid und Wasserdampf getrennt werden. Durch diese Trennung kann die gespeicherte Wärme beliebig lange verlustfrei gespeichert werden, bevor sie in der Rückreaktion wieder freigesetzt wird. Nach diesem Prinzip funktionieren thermochemische Wärmespeicher. Die noch grundlegenden Fragen zur reaktions- und verfahrenstechnischen Umsetzung werden am DLR gemeinsam mit Industriepartnern für Anwendungen in der Prozesstechnik und in der solaren Kraftwerkstechnik gelöst.

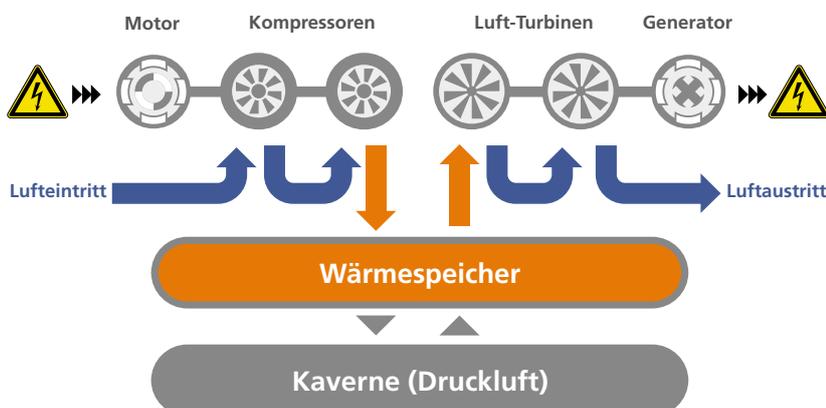
Chemische Speicherung: Wasserstoff speichert erneuerbaren Strom

Wohin mit überschüssigem Strom, wenn der Wind bläst und die Nachfrage gering ist? Mit ihm kann durch Elektrolyse Wasserstoff erzeugt werden. Dieser kann später in einer Gasturbine oder einer Brennstoffzelle wieder zur Erzeugung von Strom oder für andere Zwecke verwendet werden. Wissenschaftler im DLR arbeiten an Methoden, mit denen Wasserstoff effizienter und kostengünstiger hergestellt werden kann. Sie haben eine Beschichtung von Elektrodenblechen für die alkalische Elektrolyse entwickelt, die den elektrischen Energieeinsatz zur Wasserstoffherstellung deutlich reduziert. In der Polymer-Elektrolysetechnik verbessern DLR-Forscher die Dauerhaltbarkeit der Bauteile, um die Vorteile der hohen Wasserstoffausbeute und einer großen Flexibilität der Leistung nutzen zu können. Die Hochtemperaturolektrolyse, an der das DLR ebenfalls arbeitet, befindet sich noch im frühen Entwicklungsstadium.

In den Untergrund: Adiabatische Druckluftspeicher

Gemeinsam mit Industriepartnern arbeiten DLR-Forscher an einem Druckluftspeicher, der in Zukunft das Stromnetz stabilisieren kann: Bei Stromüberschuss wird Luft verdichtet und in unterirdische Salzkavernen geleitet. Wird Strom gebraucht, treibt die Druckluft eine Turbine an. Beim adiabatischen Druckluftspeicher kann die beim Verdichten entstehende Wärme zwischengespeichert werden. Diese Wärme wird genutzt, um die Druck-

Prinzipskizze eines adiabaten Druckluftspeicherkraftwerks



Konzept eines druckfesten Wärmespeichers für adiabate Druckluftspeicherkraftwerke

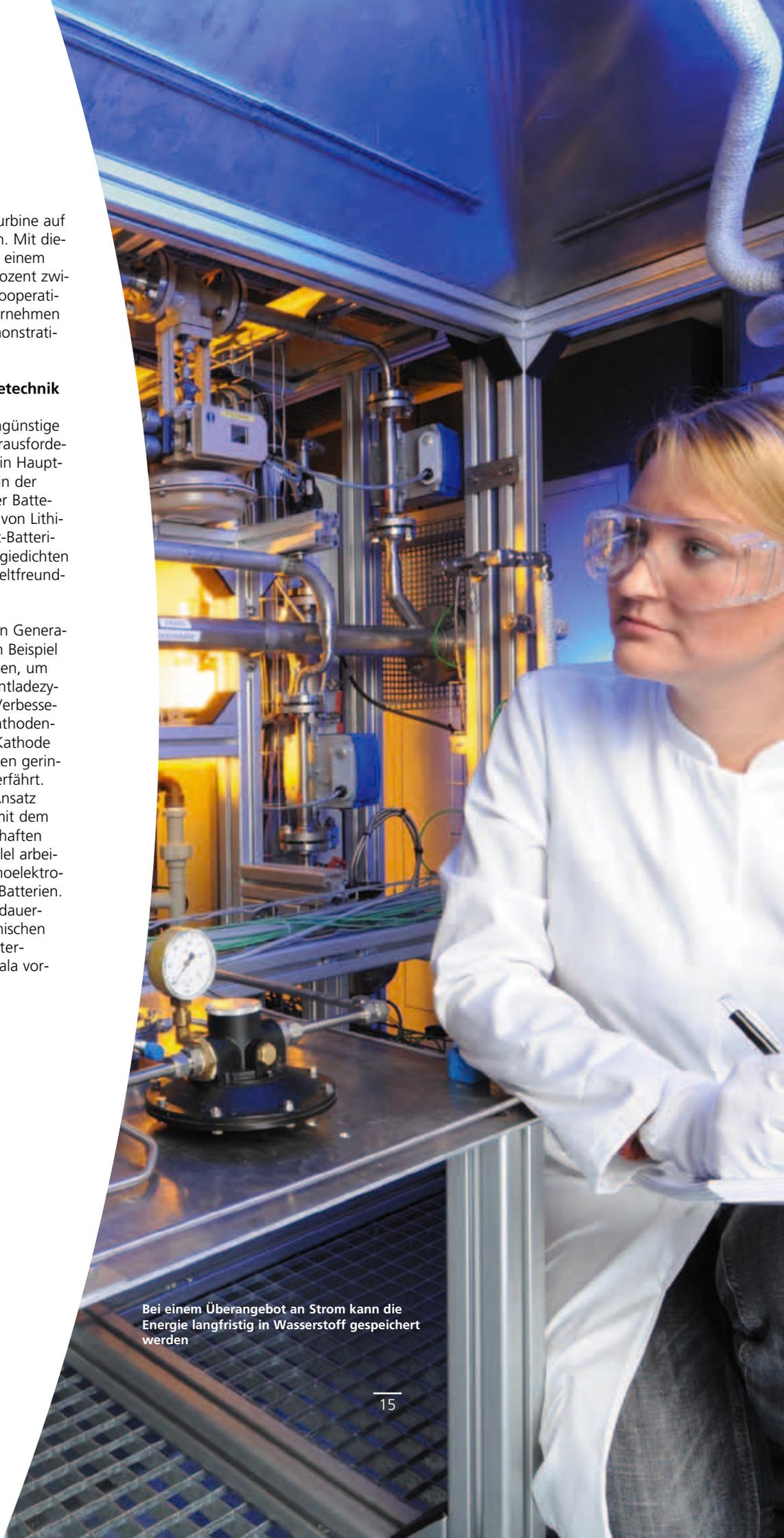
luft vor der Entladung in der Turbine auf hohe Temperaturen zu erhitzen. Mit diesem Verfahren kann Strom mit einem Wirkungsgrad von bis zu 70 Prozent zwischengespeichert werden. In Kooperation mit RWE und anderen Unternehmen ist 2014 der Aufbau einer Demonstrationsanlage geplant.

Elektrische Speicher: Batterietechnik

Umweltverträgliche und kostengünstige Batterien sind eine zentrale Herausforderung für die Elektromobilität. Ein Hauptziel der Arbeiten am DLR liegt in der Entwicklung grundlegend neuer Batterietechnologien, hauptsächlich von Lithium-Schwefel- und Lithium-Luft-Batterien, die wesentlich höhere Energiedichten mit kostengünstigen und umweltfreundlichen Materialien versprechen.

Für diese Batterien der nächsten Generation arbeiten DLR-Forscher zum Beispiel an besseren Elektrodenstrukturen, um sie über möglichst viele Lade-Entladezyklen stabil zu halten. Weitere Verbesserungen werden durch einen Kathodenaufbau erwartet, bei dem die Kathode während der Lade-Entlade-Zyklen geringere strukturelle Änderungen erfährt. Hinzu kommt ein innovativer Ansatz zur Elektrodenkontaktierung, mit dem bereits ausgezeichnete Eigenschaften erreicht werden konnten. Parallel arbeiten die Forscher an einer thermoelektrochemischen Modellierung von Batterien. Dadurch können sie die lebensdauer- und sicherheitsrelevanten chemischen Prozesse auf der Submikrometer-beziehungsweise Nanometerskala vorhersagen.

Bei einem Überangebot an Strom kann die Energie langfristig in Wasserstoff gespeichert werden



Das ganze Bild – Energiesystemanalyse

Das gesamte Energiesystem setzt sich aus vielen Bausteinen zusammen. An jedem dieser Bausteine wird geforscht und weiterentwickelt. Aufgabe der Systemanalyse in der DLR-Energieforschung ist es, daraus ein schlüssiges Gesamtsystem für die Zukunft zu erstellen.

Szenarien und Strategien für die Energiewende

In verschiedenen Szenarien berechnen die Systemanalytiker mögliche Entwicklungen unserer Energieversorgung, wobei bestimmte Ziele oder Voraussetzungen vorgegeben sind. Diese Szenarien, die für Deutschland, für andere Län-

der oder auch global erarbeitet werden, stellen eine wesentliche Entscheidungsgrundlage für Politik, Wirtschaft und Wissenschaft dar. Mit Hilfe der Systemanalyse können Entscheidungsträger die heutigen technischen und ökonomischen Möglichkeiten und die langfristigen Entwicklungsperspektiven des Energiesystems besser einschätzen.

Die wissenschaftlichen Ergebnisse der Systemanalyse werden nur dann wirksam, wenn sie von Wirtschaft und Politik aufgegriffen und umgesetzt werden. Im DLR wird daher im Rahmen der Politikberatung für verschiedene Bundesministerien maßgeblich an der Ausgestaltung von Förderprogrammen und -gesetzen zur effizienten Umsetzung der nationalen Ziele im Bereich der erneuerbaren Energien mitgewirkt.

Nationale Szenarien und Arbeitsmarktstudien

Seit 2004 erstellt das DLR im Auftrag des Bundesumweltministeriums (BMU) Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau der Erneuerbaren Energien in Deutschland. Diese sogenannten Leitstudien untersuchen detailliert die möglichen Transformationspfade des deutschen Energiesystems hin zu hohen Anteilen erneuerbarer Energien. Ein weiterer wichtiger Aspekt der Leitstudien sind auch Berechnungen zu den erforderlichen Investitionen für die Transformation des Energiesystems und die volkswirtschaftlichen Vorteile, die unter anderem durch vermiedene Kraftstoff- und Brennstoffkosten langfristig erwartet werden können. Ebenfalls im Auftrag des BMU erstellt das DLR Studien, die die kurz- und langfristigen Auswirkungen des Ausbaus erneuerbarer Energien auf den Arbeitsmarkt und die Wirtschaft untersuchen. Der Fokus liegt dabei auf der Zahl der Beschäftigten in den unterschiedlichen Sektoren der erneuerbaren Energien.

Forscher der DLR-Energiesystemanalyse entwerfen Möglichkeiten für das Energiesystem der Zukunft



Dynamische Simulation der Stromversorgung

Kraftwerke müssen zu jedem Zeitpunkt des Jahres in der Lage sein, den Bedarf der Stromverbraucher zu decken, auch bei fluktuierender Netzeinspeisung der erneuerbaren Energien. Mit dem im DLR entwickelten Simulationsmodell REMix können die Systemanalytiker das hochkomplexe System simulieren. In dieses Modell fließen zeitlich und räumlich hoch aufgelöste Daten zu den erneuerbaren Stromerzeugungspotenzialen sowie zum Stromverbrauch in Deutschland und Europa ein. Weitere Elemente des Modells sind Stromspeicher, regelbare Kraftwerkskapazitäten und die Möglichkeiten des transeuropäischen Stromtransports als Ausgleichsoptionen. Damit kann das Modell Antworten liefern, welche Entwicklungsmaßnahmen für die Realisierung der Energiewende aus technischer sowie aus volkswirtschaftlicher Sicht erforderlich und am besten geeignet sind.

Stromverbund mit Nordafrika – der Grundgedanke von DESERTEC

Durch einen Verbund von Ländern mit hohem Windaufkommen (zum Beispiel rund um die Nordsee) und Ländern mit hoher Solareinstrahlung (zum Beispiel im Mittelmeerraum) kann ein großer Teil der schwankenden Stromeinspeisung von einzelnen Wind- und Fotovoltaik-Parks in der Summe ausgeglichen werden. Speziell für die nordafrikanischen Länder haben DLR-Wissenschaftler untersucht, wie groß das Potenzial der solarthermischen Kraftwerke ist, wo sich die am besten geeigneten Standorte befinden und entlang welcher Trassen der Strom am günstigsten in die europäischen Verbrauchszentren geführt werden kann. Das von der DESERTEC Foundation und der Deserterc Industrial Initiative verfolgte Konzept beruht auf Studien des DLR. In weiteren Studien haben die Forscher auch berechnet, in welchem Umfang mit Solarenergie Anlagen zur Wasserentsalzung betrieben werden können, um der Trinkwasserverknappung in den südlichen Regionen entgegenzuwirken.



Energieforschungsinstitute im DLR

Gasturbine

Institut für Verbrennungstechnik (Stuttgart), www.DLR.de/vt
Institut für Antriebstechnik (Köln), www.DLR.de/at

Solarforschung

Institut für Solarforschung (Köln, Stuttgart, Jülich, Almería), www.DLR.de/sf

Windenergie

Institut für Aeroelastik (Göttingen), www.DLR.de/ae
Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik (Göttingen, Braunschweig), www.DLR.de/as
Institut für Antriebstechnik (Göttingen), www.DLR.de/at
Institut für Bauweisen- und Konstruktionsforschung (Stuttgart), www.DLR.de/bk
Institut für Faserverbundleichtbau und Adaptronik (Braunschweig), www.DLR.de/fa
Institut für Flugsystemtechnik (Braunschweig), www.DLR.de/ft
Institut für Physik der Atmosphäre (Oberpfaffenhofen), www.DLR.de/ipa

Materialforschung

Institut für Werkstoff-Forschung (Köln), www.DLR.de/wf

Dezentrale Kraftwerke

Institut für Technische Thermodynamik (Stuttgart), www.DLR.de/tt
Institut für Verbrennungstechnik (Stuttgart), www.DLR.de/vt

Energiespeicher

Institut für Technische Thermodynamik (Stuttgart), www.DLR.de/tt
Institut für Verbrennungstechnik (Stuttgart), www.DLR.de/vt

Energiesystemanalyse

Institut für Technische Thermodynamik (Stuttgart), www.DLR.de/tt

Impressum

Herausgeber

**Deutsches Zentrum für
Luft- und Raumfahrt e.V.**

Anschrift

Kommunikation
Linder Höhe
51147 Köln

Redaktion

Dorothee Bürkle
DLR-Kommunikation

Gestaltung

CD Werbeagentur GmbH
Troisdorf

Druck

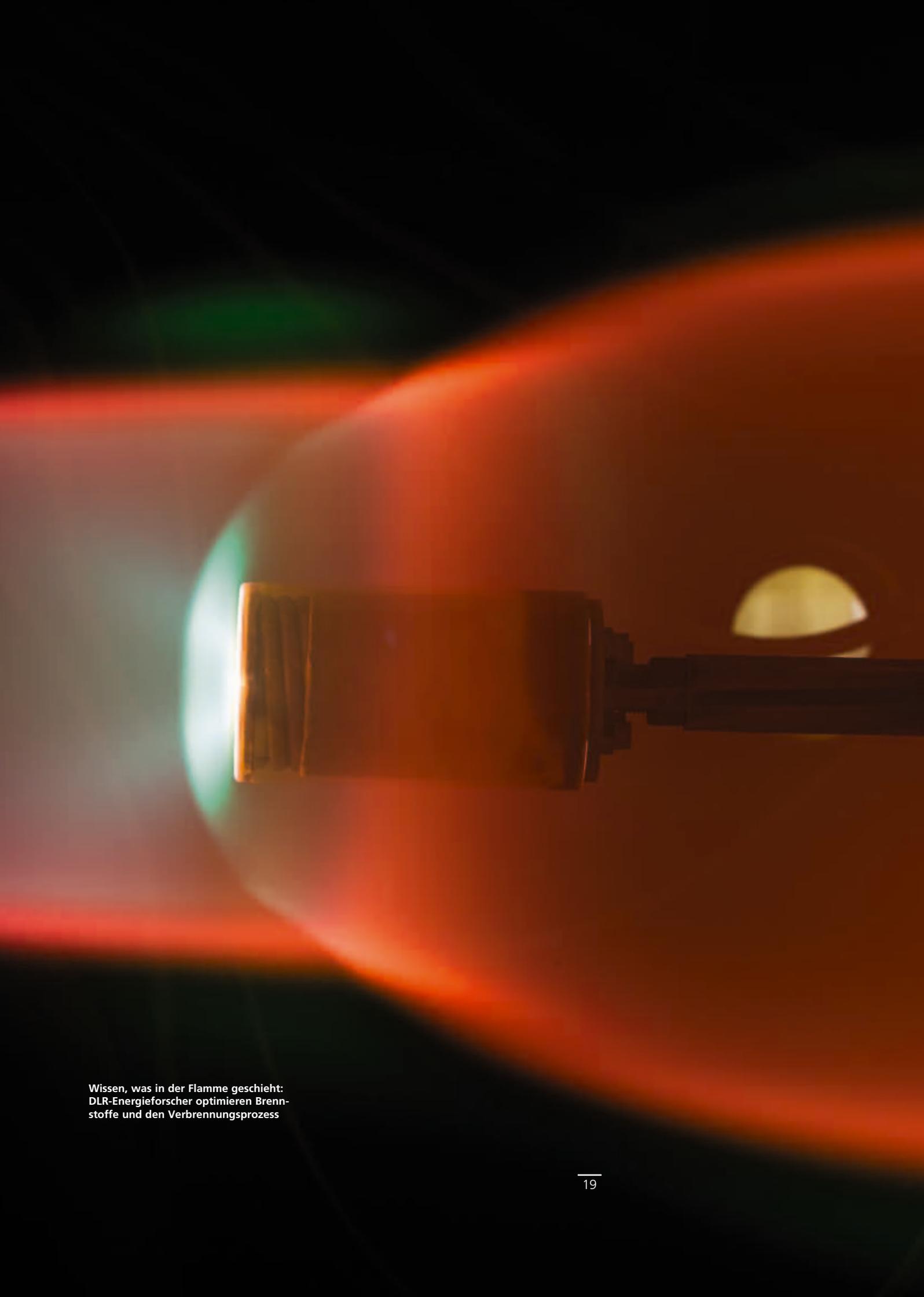
Druckerei Thierbach KG
Mülheim/Ruhr

Drucklegung

Köln, Oktober 2012

Abdruck (auch von Teilen) oder
sonstige Verwendung nur nach
vorheriger Absprache mit dem DLR
gestattet.

www.DLR.de



Wissen, was in der Flamme geschieht:
DLR-Energieforscher optimieren Brennstoffe und den Verbrennungsprozess

Das DLR im Überblick

Das DLR ist das nationale Forschungszentrum der Bundesrepublik Deutschland für Luft- und Raumfahrt. Seine umfangreichen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten in Luftfahrt, Raumfahrt, Energie, Verkehr und Sicherheit sind in nationale und internationale Kooperationen eingebunden. Über die eigene Forschung hinaus ist das DLR als Raumfahrt-Agentur im Auftrag der Bundesregierung für die Planung und Umsetzung der deutschen Raumfahrtaktivitäten zuständig. Zudem fungiert das DLR als Dachorganisation für den national größten Projektträger.

In den 16 Standorten Köln (Sitz des Vorstands), Augsburg, Berlin, Bonn, Braunschweig, Bremen, Göttingen, Hamburg, Jülich, Lampoldshausen, Neustrelitz, Oberpfaffenhofen, Stade, Stuttgart, Trauen und Weilheim beschäftigt das DLR circa 7.000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter. Das DLR unterhält Büros in Brüssel, Paris und Washington D.C.

Die Mission des DLR umfasst die Erforschung von Erde und Sonnensystem und die Forschung für den Erhalt der Umwelt. Dazu zählt die Entwicklung umweltverträglicher Technologien für die Energieversorgung und die Mobilität von morgen sowie für Kommunikation und Sicherheit. Das Forschungsportfolio des DLR reicht von der Grundlagenforschung bis zur Entwicklung von Produkten für morgen. So trägt das im DLR gewonnene wissenschaftliche und technische Know-how zur Stärkung des Industrie- und Technologiestandorts Deutschland bei. Das DLR betreibt Großforschungsanlagen für eigene Projekte sowie als Dienstleistung für Kunden und Partner. Darüber hinaus fördert das DLR den wissenschaftlichen Nachwuchs, betreibt kompetente Politikberatung und ist eine treibende Kraft in den Regionen seiner Standorte.



DLR

**Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt**

Kommunikation

Linder Höhe
51147 Köln

www.DLR.de