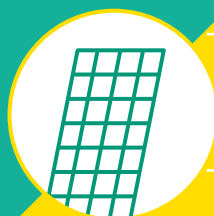
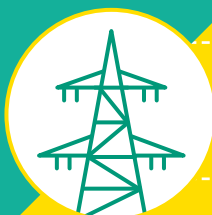
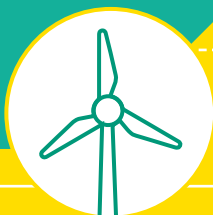


DIE DEUTSCHE ENERGIEWENDE



13 THESEN

Wie die deutsche
Energiewende
gelingen kann.

Die folgenden Thesen stützen sich auf
Ergebnisse wissenschaftlicher Studien aus
dem Themenfeld der Energiesystemanalyse.
Dabei bilden drei Szenariostudien die
Grundlage für die Ableitung der Thesen:

Suffizienz- strategie	PtG/PtL import	Strom + H ₂ import/national
Fraunhofer ISE	Fraunhofer IEE	Fraunhofer ISI/ Fraunhofer IEG
Modell: Remod	Modell: Scope	Modell: Enertile
Stärke: Abbildung von Sektorenkopplung	Stärke: Erneuerbaren- Potenziale	Stärke: Europäische Vernetzung
Schwerpunkt: Rolle der Suffizienz	Schwerpunkt: Rolle des Wärmesektors	Schwerpunkt: Elektrifizierung in den Nach - fragesektoren

*PtG/PtL = Power to Gas / Power to Liquid

Alle drei Szenariostudien wurden mit harmonisierten Inputdaten und in enger Abstimmung der Parameter und Rahmenbedingungen von einem Team von Wissenschaftlern an vier CINES-Kerninstituten durchgeführt. Die Kalkulation der gemeinsamen CINES-Szenarien stellt die Basis für die Entwicklung der gemeinsamen Modellplattform »EFEU – Energy Future for EUrope« als übergeordnete Zielsetzung der Clusterarbeit.

Im Fokus dieser Thesen steht der Energiesektor: Dieser muss nahezu treibhausgasneutral werden, um eine 95%ige Reduktion der Treibhausgasemissionen bis 2050 (gegenüber 1990) erreichen zu können. Nur ein Reduktionsziel von mindestens 95% ist mit dem 2 °C (1.5 °C)-Ziel des Übereinkommen von Paris 2015 vereinbar.

Das Thesenpapier verfolgt das Ziel, die wesentlichen und aus unserer Sicht robusten Erkenntnisse und Notwendigkeiten für eine erfolgreiche Umsetzung der Energiewende zu formulieren. Dabei fokussieren die Thesen auf technische und systemische Aspekte der Energiewende.

DIE 13 THESEN IM ÜBERBLICK

THESE 01 Erneuerbare Energien werden zur wichtigsten Energiequelle für den Strom-, Wärme- und Transportsektor.	THESE 08 In der Wärmeversorgung müssen grundlegende Infrastrukturentscheidungen mit regionalem und lokalem Bezug getroffen werden.
THESE 02 Zusätzliche Potenziale können in Form von Biomasse, Solarthermie und Geothermie erschlossen werden.	THESE 09 Die Sektorenkopplung nimmt eine bedeutende Rolle für die Erreichung der Klimaschutzziele ein.
THESE 03 Effiziente Energienutzung deckt den Endenergiebedarf.	THESE 10 Eine harmonisierte europäische Entwicklung hat Vorteile hinsichtlich einer Nutzung der besten Standorte.
THESE 04 Der Strombedarf für Wärme (Gebäude, Industrie), Mobilität und als Ausgangsstoff für chemische Prozesse wird langfristig steigen.	THESE 11 Die elektrolytische Herstellung von Wasserstoff aus erneuerbarem Strom nimmt für die Erreichung der Klimaziele eine bedeutende Stellung ein.
THESE 05 Volatiler Strom bestimmt das System.	THESE 12 Die Abscheidung von CO ₂ aus der Luft wird eine zentrale Technologie zur Erreichung der Klimaschutzziele sein.
THESE 06 Die Absicherung seltener kalter Dunkelflauten kann zu geringen Kosten mit zusätzlichen Kraftwerksleistungen erfolgen.	THESE 13 Forschung und Entwicklung sind das Rückgrat der Energiewende.
THESE 07 Die Digitalisierung hat eine hohe Relevanz für die Transformation des Energiesystems.	

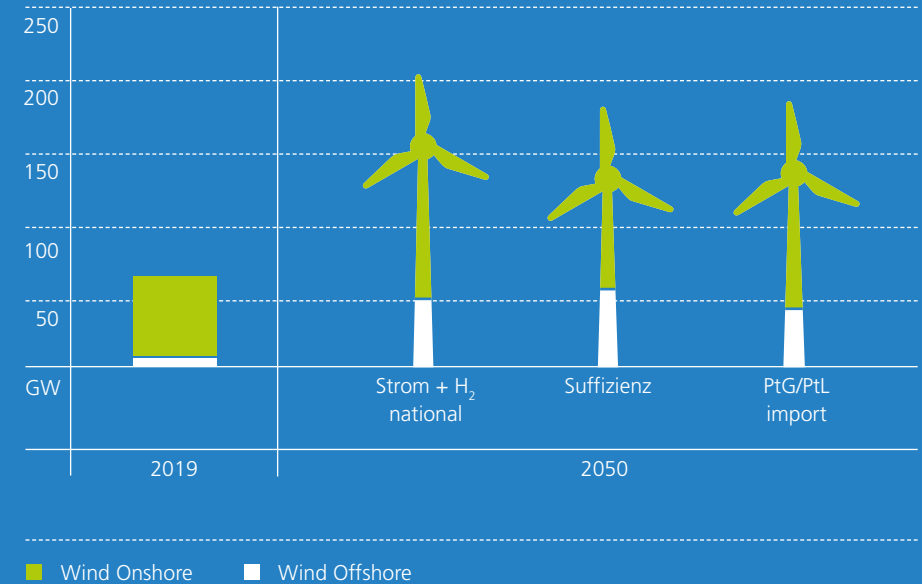
THESE

01

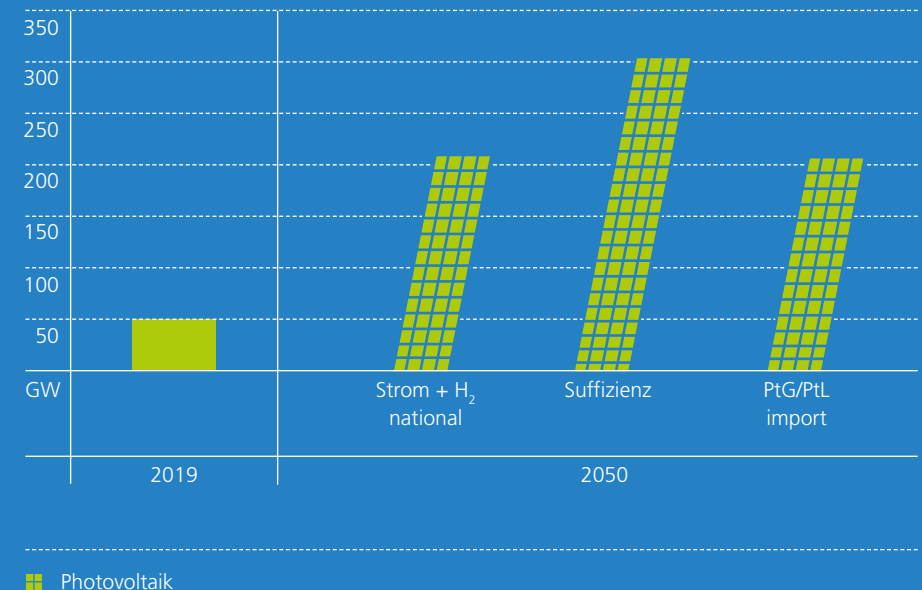
Erneuerbare Energien werden zur wichtigsten Energiequelle für den Strom-, Wärme- und Transportsektor.

- Die Stromerzeugung wird überwiegend basierend auf Wind und Photovoltaik erfolgen. Grund hierfür sind hohe Potenziale mit vergleichsweise geringen Stromgestehungskosten.
- Die installierte Leistung der Windenergie wird bis 2050 voraussichtlich auf 150–200 GW ansteigen.
- Im Hinblick auf Photovoltaikanlagen erwarten wir installierte Kapazitäten in der Größenordnung von 200–300 GW.
- Das bedeutet, dass mittelfristig ein Bruttozubau von jährlich 7,5–10 GW Wind- und Photovoltaikkapazitäten nötig sein wird. Mit dem derzeit deutlich geringeren Ausbau lassen sich die Klimaziele nicht erreichen.

WINDENERGIE



PHOTOVOLTAIK



Zusätzliche Potenziale können in Form von Biomasse, Solarthermie und Geothermie erschlossen werden.

- Biomasse ist – in nachhaltig verfügbaren Mengen – auf ca. 300 TWh begrenzt. Sie sollte nur in Bereichen eingesetzt werden, bei denen Alternativen zur Emissionsreduktion nicht verfügbar oder sehr kostenintensiv sind. Beispiele hierfür sind Anwendungen in Industrie und Flugverkehr.
- Dieses Potenzial entspricht in etwa der Summe der heute bereits in Deutschland genutzten Biomasse (inkl. dem Anbau von energetisch genutzter Biomasse).
- Solarthermie und Geothermie tragen entsprechend regionaler Gegebenheiten zur Bereitstellung von Niedertemperaturwärme bei – insbesondere ist ein Ausbau von Solarthermie in Zusammenhang mit Wärmenetzen möglich.

GEOTHERMIE



SOLARTHERMIE



GROSSWÄRMEPUMPE



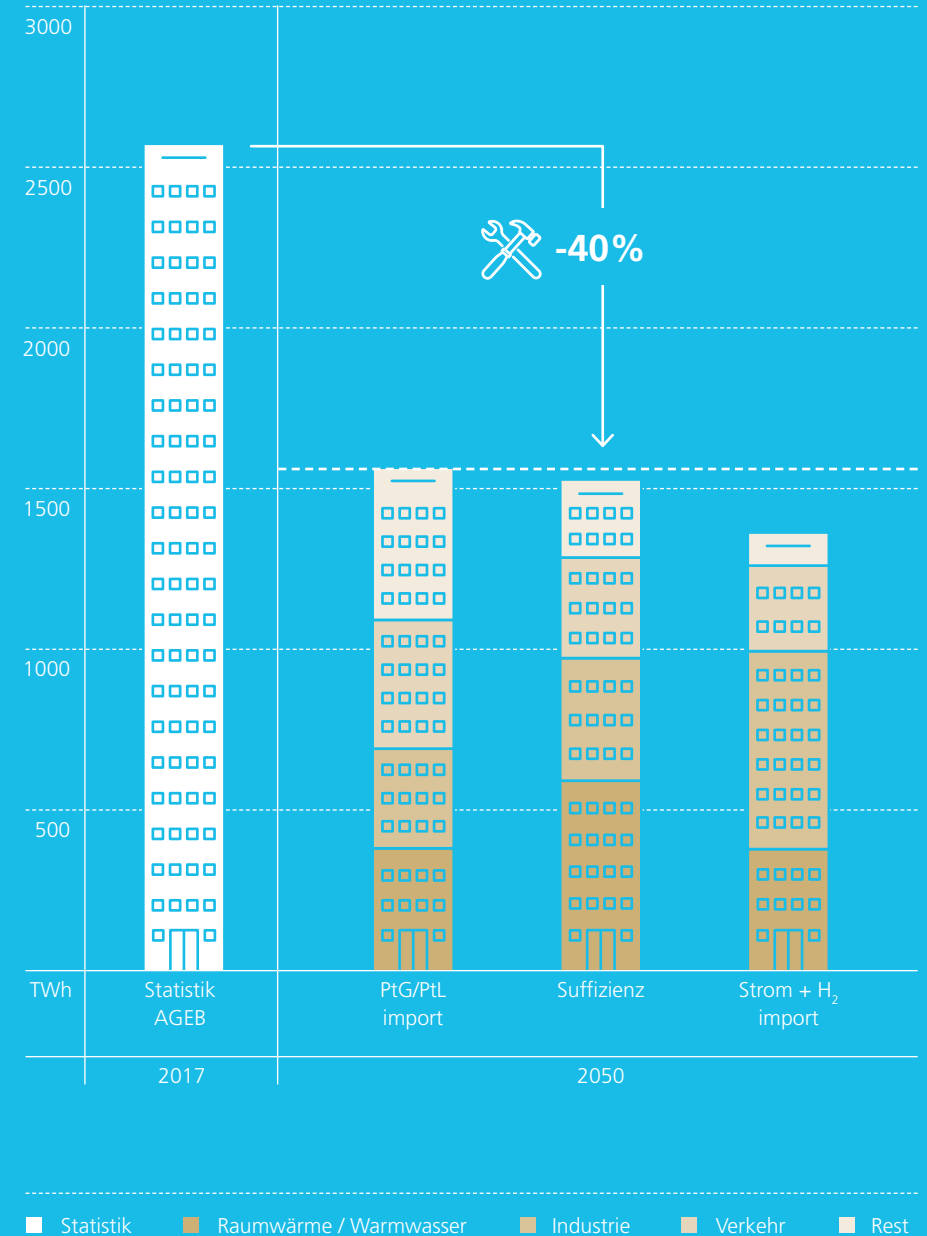
THESE

03

Effiziente Energienutzung deckt den Endenergiebedarf.

- Eine effiziente Energienutzung und Verbrauchsreduktion, letztere insbesondere im Gebäudesektor durch energetische Sanierung, führen zu einer substantziellen Absenkung des Endenergiebedarfs auf bis zu 60% des aktuellen Niveaus.
- Als Prämisse gilt hier »Efficiency First«, also die Steigerung der Energieeffizienz vor der Bereitstellung von Energie, wann immer volkswirtschaftlich günstiger.

ENERGIEVERBRAUCH



THESE

04

Der Strombedarf für Wärme (Gebäude, Industrie), Mobilität und als Ausgangsstoff für chemische Prozesse wird langfristig steigen.

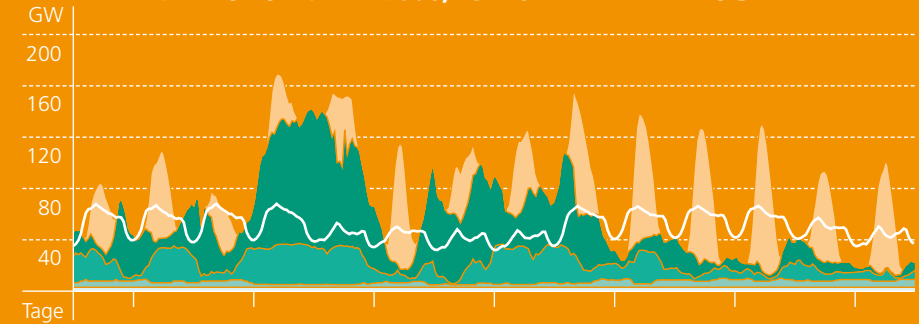
- Der zusätzliche Strombedarf aufgrund der Sektorenkopplung wird entweder direkt oder indirekt mit Hilfe synthetischer chemischer Energieträger erfolgen.
- Langfristig wird dadurch ein Anstieg der nationalen Stromnachfrage auf die Größenordnung von 900–1.100 TWh erwartet. Dies ist abhängig vom Niveau der Elektrifizierung, des Imports chemischer Energieträger und der Energieeffizienz.



Volatiler Strom bestimmt das Energiesystem.

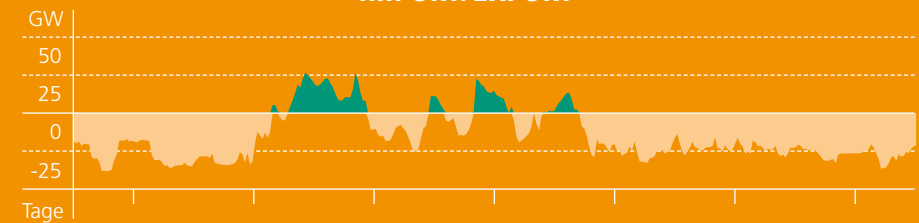
- Die heutige Rolle flexibler thermischer Kraftwerke wird überwiegend durch flexible Verbraucher (beispielsweise Elektromobilität) übernommen.
- Die erneuerbare Stromerzeugung gleicht sich über unterschiedliche saisonale, geografische und technologische Faktoren teilweise selbst aus. So können beispielsweise Wetterabhängigkeiten über mehrere Länder ausgleichend wirken. Auch Wind- und Photovoltaikstrom können sich ergänzen.
- Durch diese Ausgleichseffekte in Verbindung mit Lastflexibilität (beispielsweise Elektromobilität), kann der erneuerbare Strom fast ganzjährig direkt und effizient genutzt werden.

ERZEUGUNG UND STROMBEDARF IN DEUTSCHLAND 2050,
METEOROL. JAHR 2006, 15./16. KALENDERWOCHE



Wind Onshore Wind Offshore Laufwasser Biomasse u.a.
Last Photovoltaik

IMPORT/EXPORT



Netto-Export Netto-Import

RESIDUALLAST



Residuallast Residuallast - Import + Export

THESE

06

Die Absicherung seltener kalter Dunkelflauten kann zu geringen Kosten mit zusätzlichen Kraftwerksleistungen erfolgen.

- Eine Kapazität an regelbarer Stromerzeugung (KWK, Gasturbinen, Brennstoffzellen) von 50–70 GW wird benötigt.
- Dadurch kann die Versorgungssicherheit zu nur geringfügigen Mehrkosten von unter 5% der Kosten des Stromsektors sichergestellt werden.
- Hierfür sind jedoch Anreize nötig, um entsprechende Kraftwerke bei niedriger Auslastung wirtschaftlich betreiben zu können.

VERTEILUNG DER ENERGIETRÄGER IN 2050 (SCHEMATISCH)



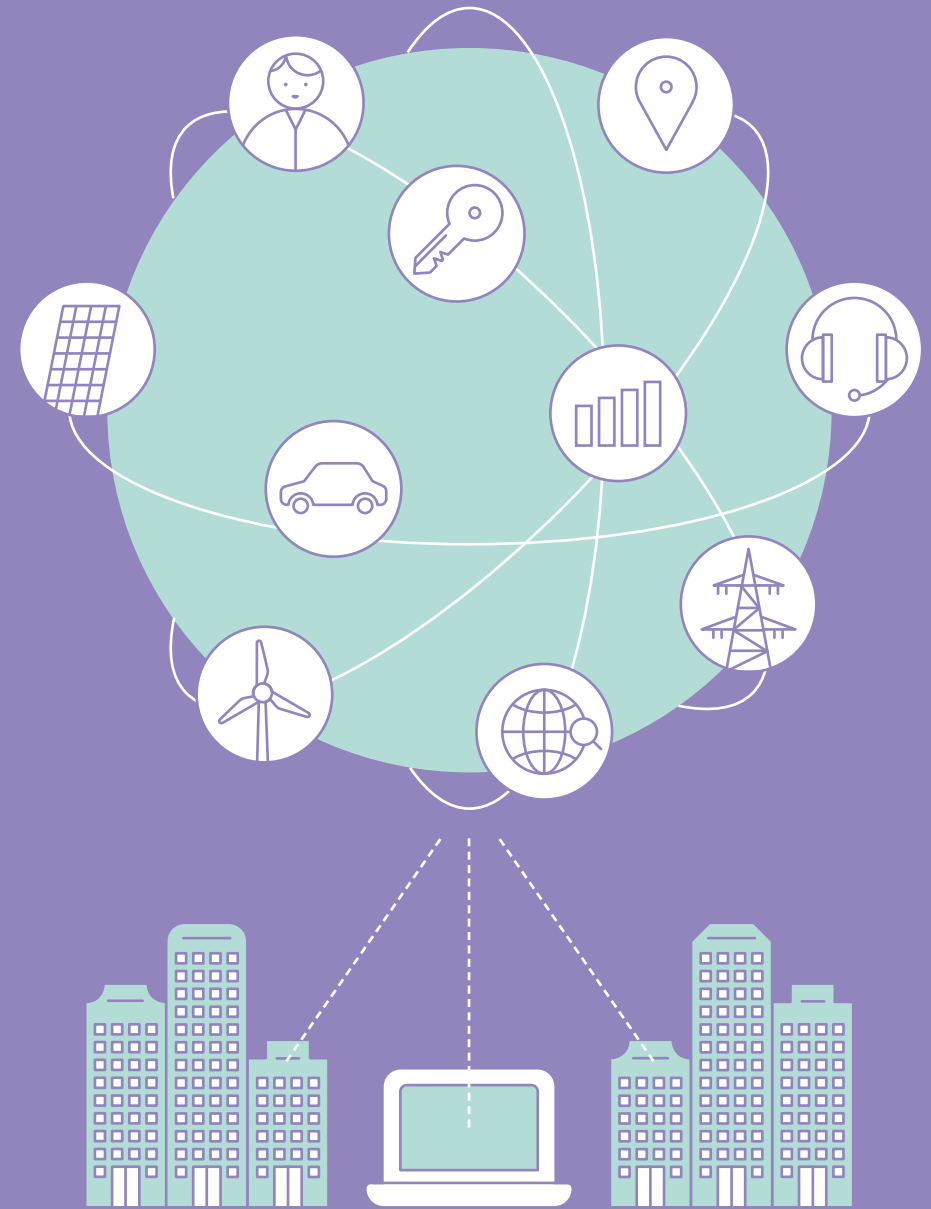
THESE

07

Die Digitalisierung hat eine hohe Relevanz für die Transformation des Energiesystems.

- Der steigende Grad an Dezentralität sowie die Koordination volatiler Stromerzeugung und steuerbarer Verbräuche erfordert digitale Strukturen.
- Die Nutzung sektorübergreifender Flexibilitäten durch digitale Mechanismen verbessert die Systemeffizienz.
- Eine zunehmende Anzahl an Akteuren und Sensoren im Energiesystem (Erzeuger, Speicher, Verbraucher) erfordert eine strukturierte Interaktion mittels durchgängiger Datenmodelle und Datenübertragungsmechanismen.
- Die zusätzliche Nutzung von dezentralen Flexibilitätspotenzialen kann durch volatilen Strom in Kombination mit der Digitalisierung erfolgen.

DIGITALE ENERGIEWELT



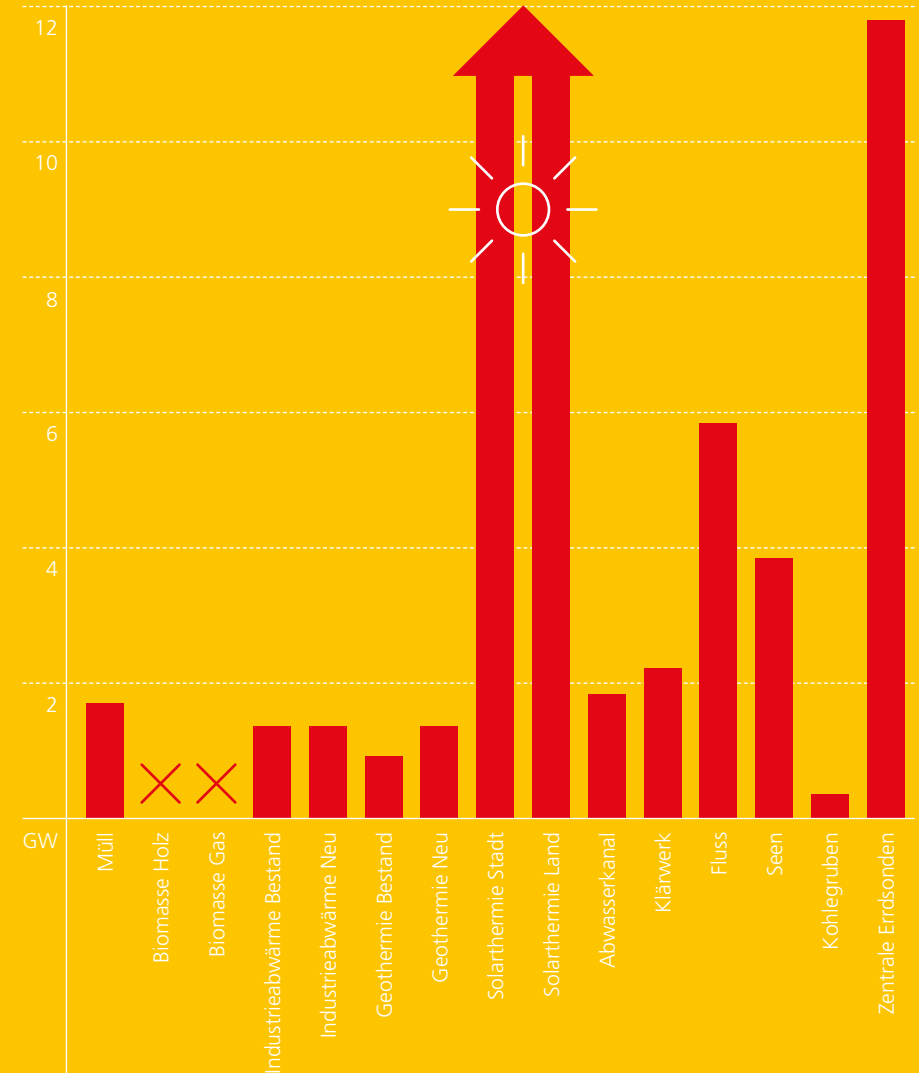
THESE

08

In der Wärmeversorgung müssen grundlegende Infrastruktur-entscheidungen mit regionalem und lokalem Bezug getroffen werden.

- Wärmepumpen – sowie Wärmenetze in verdichteten Räumen – sind die bevorzugten Optionen, um eine effiziente und erneuerbare Wärmeversorgung zu realisieren.
- Planungssicherheit ist ein zentraler Faktor für Investitionen, da langlebige Infrastrukturen (Wärme-, Gas- und Stromnetze) im Wettbewerb stehen. Nur so lassen sich langfristig Unsicherheiten und Finanzierungskosten reduzieren.
- Insbesondere Wärmenetze weisen lokal spezifische Ausbau- und Erneuerbarenpotenziale auf. Lokale Akteure müssen unterstützt werden, um für ihre spezifischen Rahmenbedingungen die optimale Lösung zu identifizieren.

FERNWÄRMEERZEUGUNG

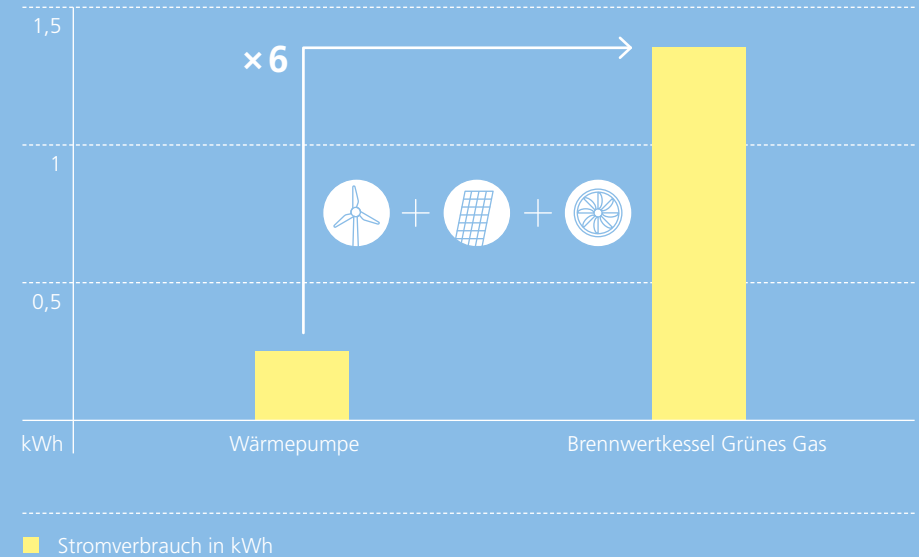


■ 2050 Ambitioniert

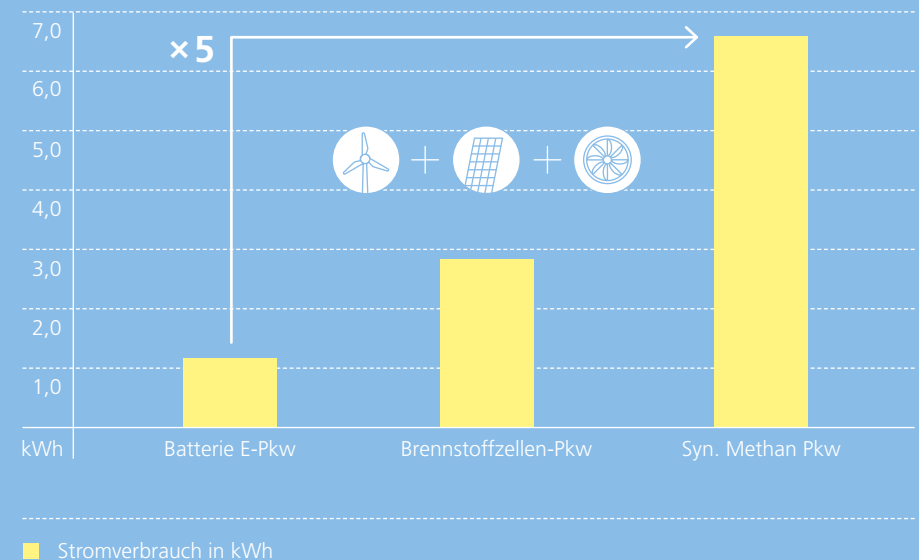
Die Sektorenkopplung nimmt eine bedeutende Rolle für die Erreichung der Klimaschutzziele ein.

- Die direkte Stromnutzung durch Wärmepumpen oder Elektromobilität ist dabei zu bevorzugen.
- Die indirekte Nutzung erneuerbaren Stroms über Wasserstoff oder synthetische Brennstoffe sehen wir insbesondere in Anwendungen, bei denen eine direkte Stromnutzung schwierig umzusetzen ist.
- Hierzu zählen beispielsweise der Flug-, Schwerlast- und internationale Schifffahrtsverkehr und Industrieanwendungen wie die Herstellung von Stahl oder Chemierohstoffen (unter Verwendung von Kohlenstoff aus CO₂).

RAUMWÄRME: STROMVERBRAUCH JE KWH ERZEUGTE WÄRME



PKW: STROMEINSATZ JE KWH ANTRIEBSENERGIE



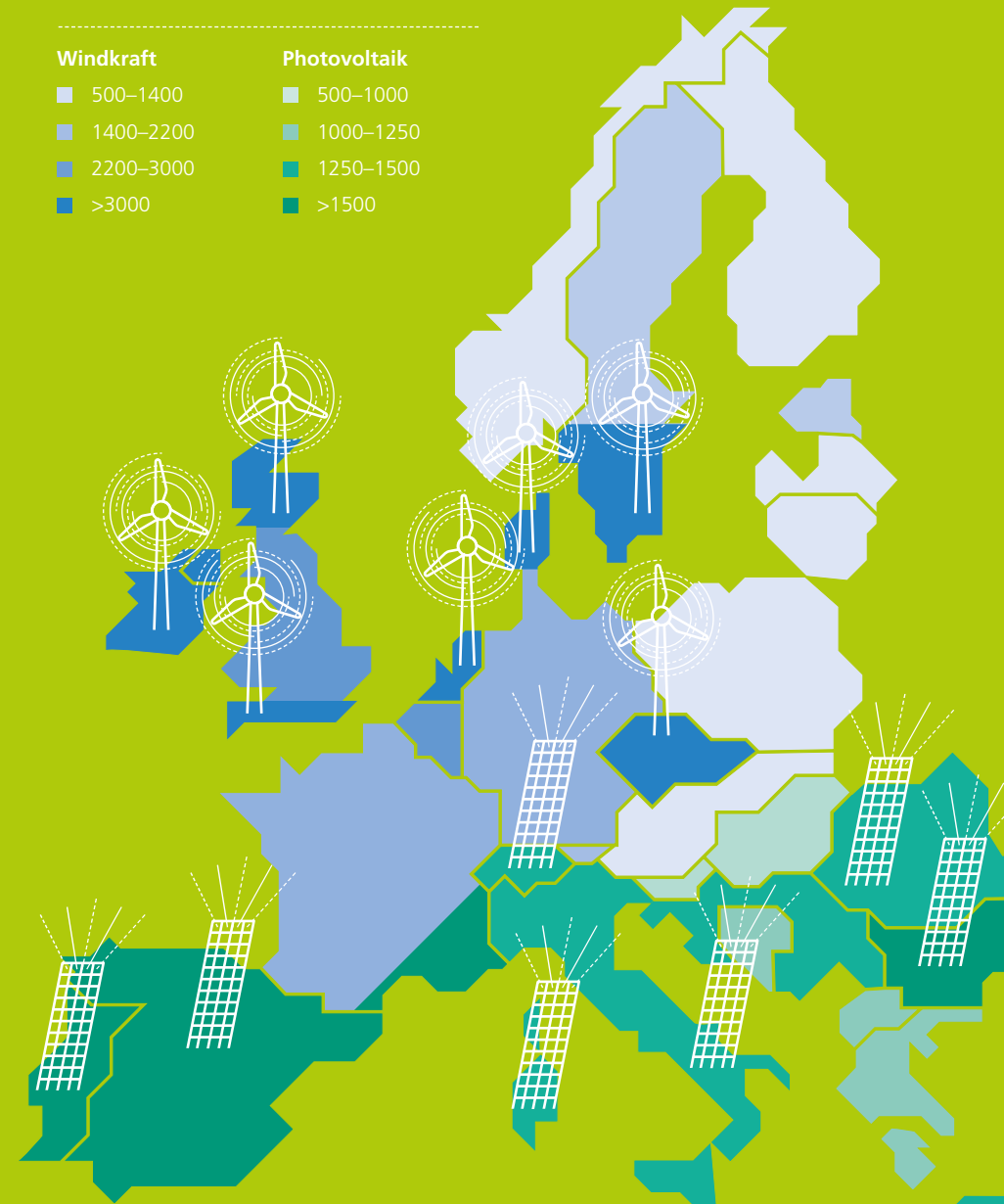
THESE

10

Eine harmonisierte europäische Entwicklung hat Vorteile hinsichtlich einer Nutzung der besten Standorte.

- Insbesondere für die Nutzung für Solar- und Windenergie sowie eines regionalen Ausgleichs einer lokal stark volatilen Stromerzeugung ist eine harmonisierte europäische Entwicklung von Vorteil.
- Damit verbunden ist ein höherer Transportaufwand und ein entsprechender Ausbau der Übertragungsnetze.

VOLLASTSTUNDEN (H/A)



THESE

11

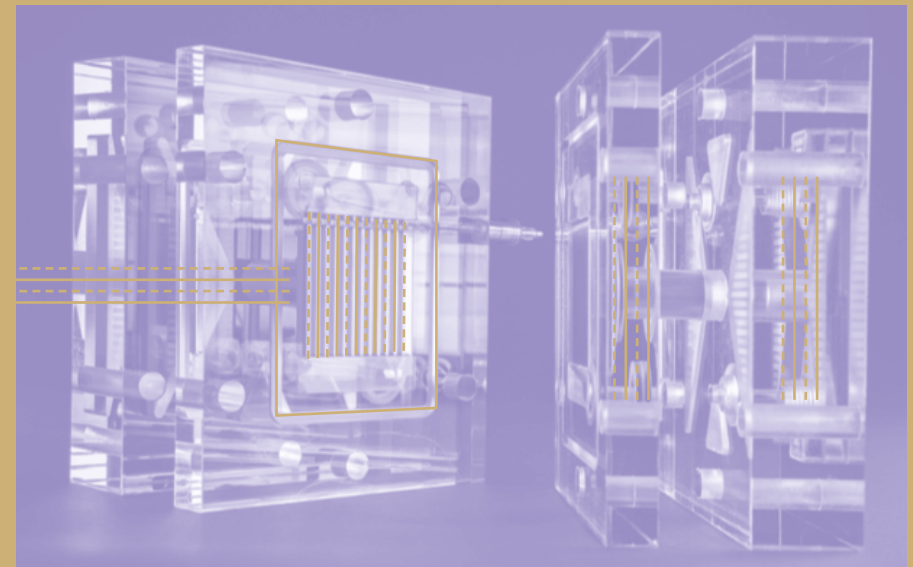
Die elektrolytische Herstellung von Wasserstoff aus erneuerbarem Strom nimmt für die Erreichung der Klimaziele eine bedeutende Stellung ein.

- Um die langfristigen Ziele zu erreichen, ist bereits mittelfristig ein Markthochlauf von Elektrolyseuren nötig.
- Für die direkte Nutzung und weitere Konversion von Wasserstoff in synthetische Energieträger besteht in Deutschland ein Bedarf von 250–800 TWh.
- Die Herstellung von Wasserstoff für die Bereitstellung synthetischer Energieträger wird in erheblichem Umfang außerhalb der EU stattfinden.

WASSERSTOFFTANKSTELLE



ELEKTROLYSEUR



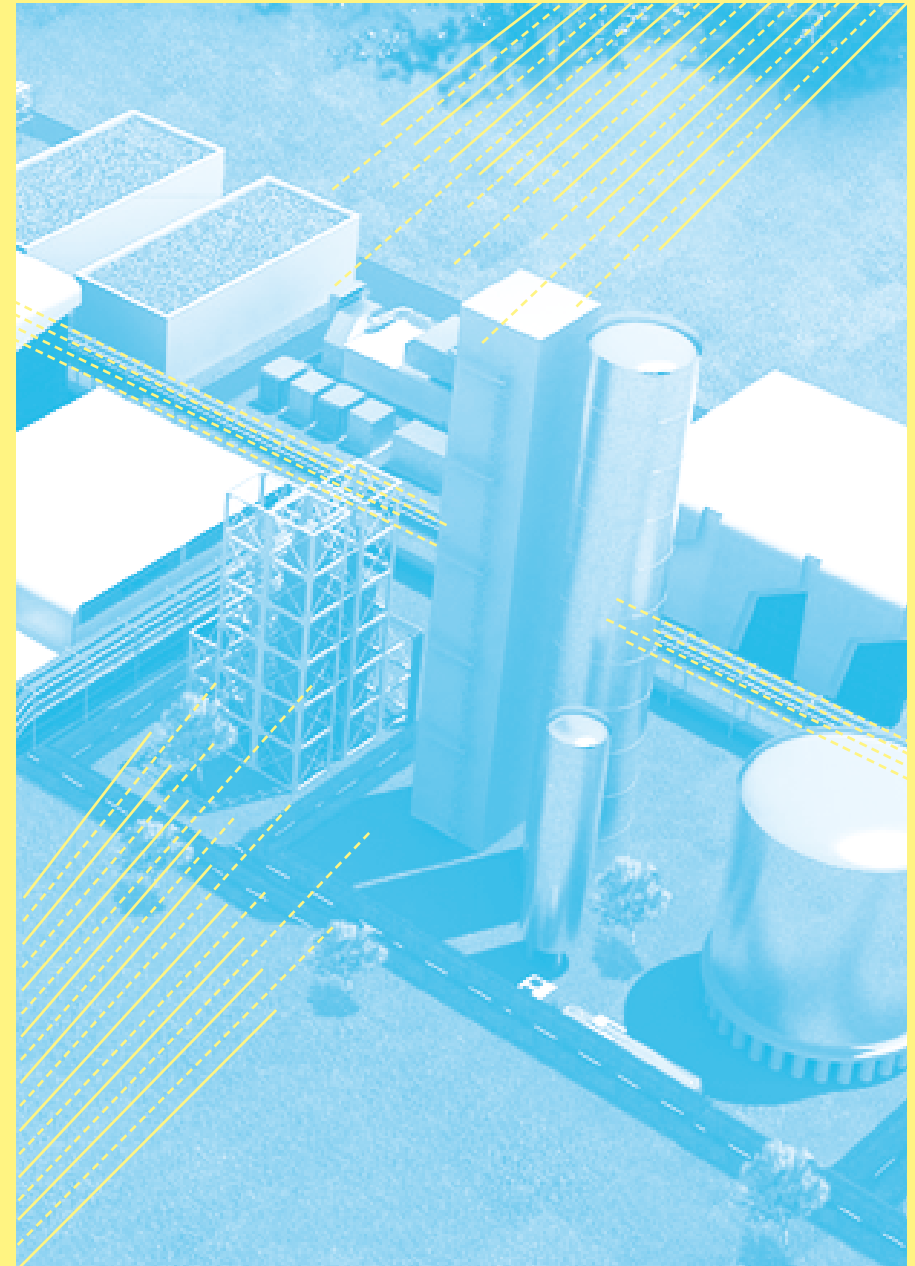
THESE

12

Die Abscheidung von CO₂ aus der Luft wird eine zentrale Technologie zur Erreichung der Klimaschutzziele sein.

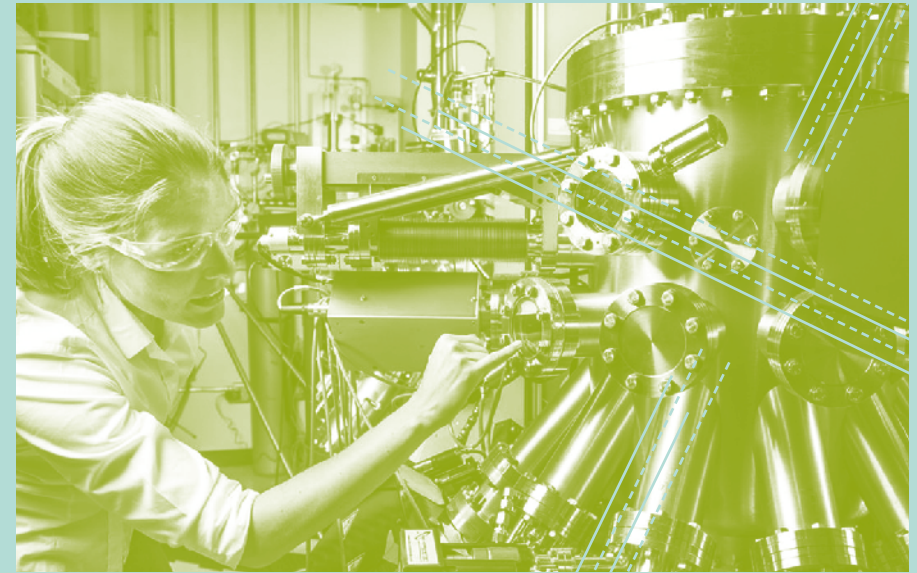
- In einigen Einsatzgebieten sind Kohlenwasserstoffe auch langfristig schwer zu ersetzen. Dies gilt zum Beispiel für den Flug- und Schiffsverkehr und bestimmte Eingangsmaterialien in der chemischen Industrie.
- Um den langfristig verbleibenden Kohlenstoffbedarf Europas zu decken, sind auf dem Kontinent nicht genügend nachhaltige biogene Kohlenstoffquellen vorhanden und erschließbar.
- Die Abscheidung von CO₂ aus der Luft wird somit langfristig eine zentrale Technologie zur Erreichung der Klimaschutzziele in Europa und global sein.

CARBON CAPTURE



Forschung und Entwicklung sind das Rückgrat der Energiewende.

- Für ein kostengünstiges Erreichen der Klimaziele benötigen wir eine kontinuierliche Weiterentwicklung aller relevanten Technologien zur Wandlung, Speicherung, Verteilung, Nutzung und Systemintegration erneuerbarer Energien.
- Zur Vermeidung von Abhängigkeiten und der Stärkung des Exports müssen die technologischen Kompetenzen in allen relevanten Technologiefeldern entwickelt werden.



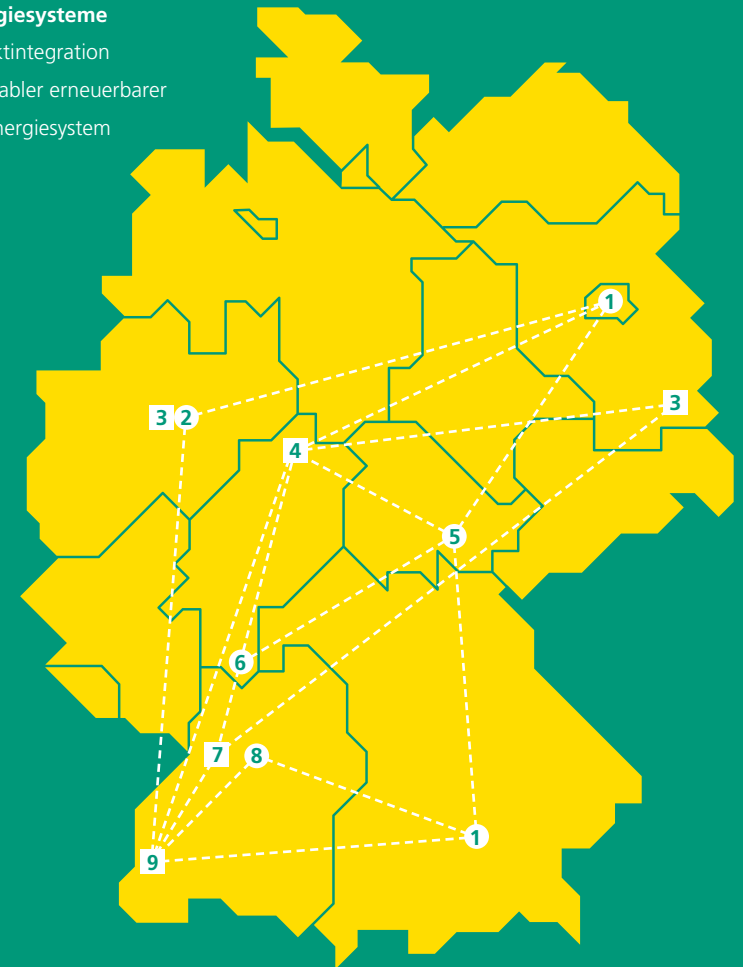
Fraunhofer Cluster of Excellence »Integrierte Energiesysteme«

- Entwicklung gemeinsame Modellplattform »EFEU – Energy Future for EUrope«.
- Evaluation und Demonstration von Weiterentwicklungen zur Digitalisierung des Energiesystems.
- Schlüsselentwicklungen in der Elektrolyse, insbesondere Kostensenkung.
- CINES macht integriertes Arbeiten über Institutsgrenzen und räumliche Entfernungen möglich.

Integrierte Energiesysteme

System- und Marktintegration
hoher Anteile variabler erneuerbarer
Energien in das Energiesystem

- 1 CINES GS
- 2 Umsicht
- 3 IEG
- 4 IEE
- 5 IOSB-AST
- 6 SIT
- 7 ISI
- 8 ICT
- 9 ISE



Kerninstitute

Fraunhofer ISE (Freiburg)
Fraunhofer ISI (Karlsruhe)
Fraunhofer IEE (Kassel)
Fraunhofer IEG (Cottbus, Bochum)

Assoziierte Institute

Fraunhofer Umsicht
Fraunhofer IOSB-AST
Fraunhofer ICT
Fraunhofer SIT

IMPRESSUM

Geschäftsstelle

Fraunhofer Cluster of Excellence
»Integrierte Energiesysteme«
Anna-Louisa-Karsch-Straße 2
10178 Berlin

Kontakt

+49 89 1205 – 1127
cines@zv.fraunhofer.de
fraunhofer.de

Gestaltung

Novamondo GmbH

Fotos

S. 09
oben links: pixabay.com/hameg
oben rechts: Fraunhofer ISE
unten: ehpa.org / EPFL
S. 27
Fraunhofer ISE
S. 29
carbonengineering.com
S. 31
oben: unsplash.com/scienceinhd
unten: Fraunhofer ISE

© 2020 Fraunhofer-Gesellschaft

