
FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR SOLARE ENERGIESYSTEME ISE

Überblick



Karin Schneider

Fraunhofer-Institut für Solare
Energiesysteme ISE

Freiburg, Juni 2017

www.ise.fraunhofer.de

Die Fraunhofer-Gesellschaft

Forschen für die Praxis

- Anwendungsorientierte Forschung zum unmittelbaren Nutzen für die Wirtschaft und zum Vorteil für die Gesellschaft
- 69 Institute und Forschungseinrichtungen
- Rund 24 500 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter
- Forschungsvolumen: mehr als 2,1 Milliarden Euro, davon rund 1,9 Milliarden Euro im Leistungsbereich Vertragsforschung
 - Über 70 Prozent dieses Leistungsbereichs erwirtschaftet Fraunhofer mit Aufträgen aus der Industrie und öffentlich finanzierten Forschungsprojekten
 - Knapp 30 Prozent werden von Bund und Ländern als Grundfinanzierung beigesteuert
- Internationale Niederlassungen: Kontakt zu den wichtigsten Wissenschafts- und Wirtschaftsräumen

Die Fraunhofer-Gesellschaft

Joseph von Fraunhofer (1787 – 1826)



© Deutsches Museum

Forscher

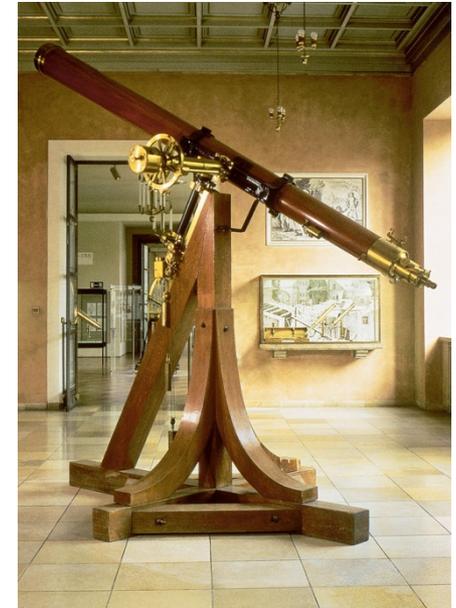
- Entdeckung der »Fraunhofer-Linien« im Sonnenspektrum

Erfinder

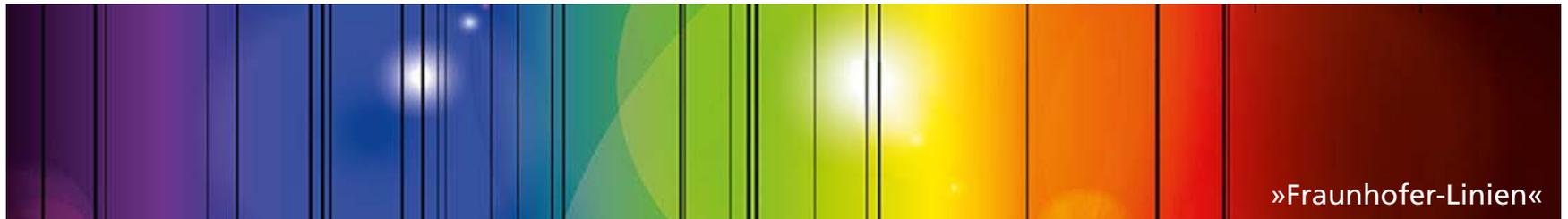
- Neue Bearbeitungsverfahren für Linsen

Unternehmer

- Leiter und Teilhaber einer Glashütte

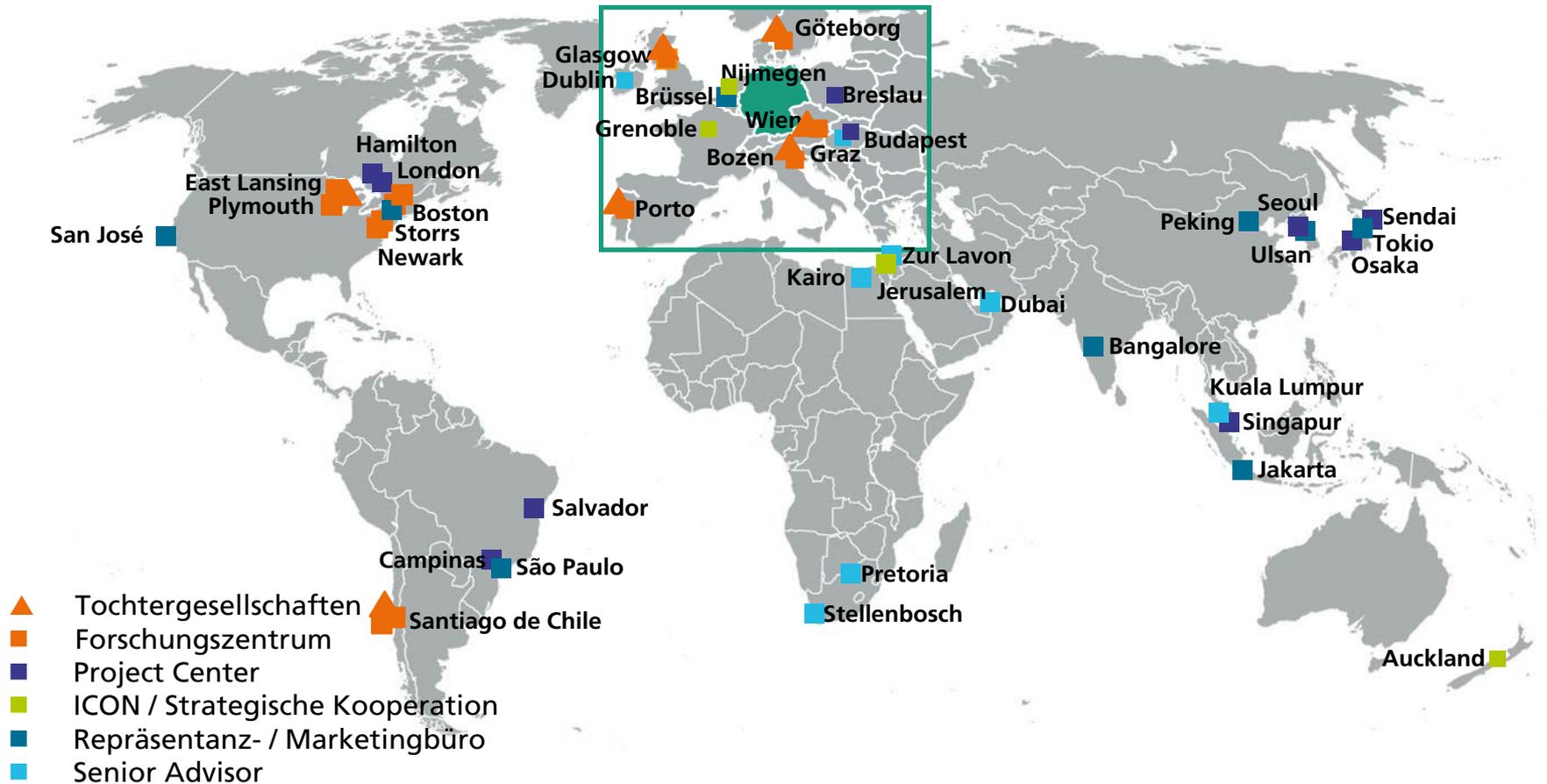


© Fraunhofer-Gesellschaft



Die Fraunhofer Gesellschaft

Weltweit vernetzt



Our Centers in USA and Chile

Fraunhofer Center for Sustainable Energy CSE (USA)



Main office in Boston/Mass.; Labs in Revere, MA and Albuquerque, NM, USA

Fraunhofer Center for Solar Energy Technologies CSET (Chile)

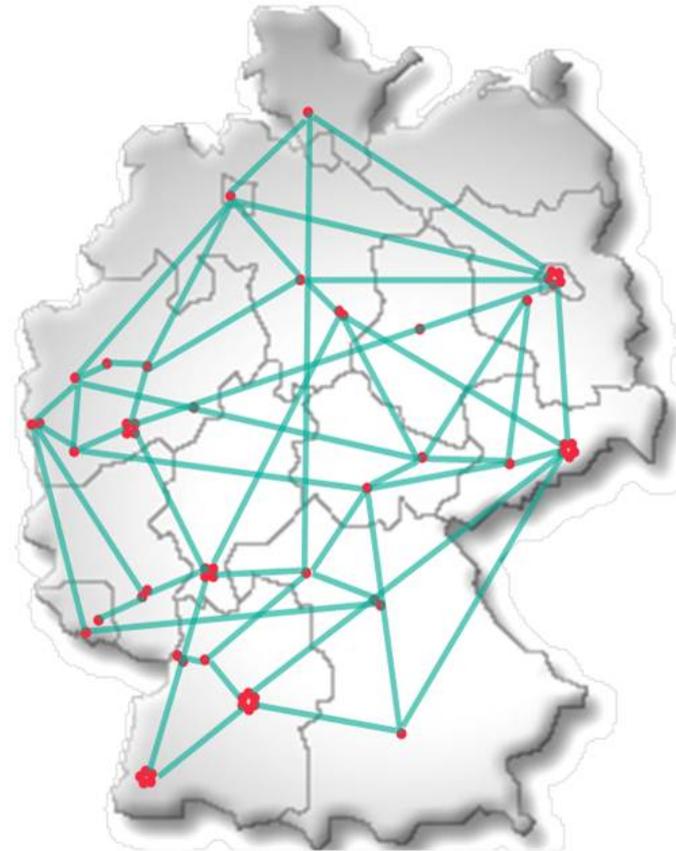


Office in technology transfer center of Pontificia Universidad Católica de Chile in Santiago de Chile

Fraunhofer ISE

Mitgliedschaft in Fraunhofer-Allianzen

- Fraunhofer-Allianz Energie
Federführendes Mitglied
und Geschäftsstelle
- Fraunhofer-Allianz Batterien
- Fraunhofer-Allianz Bau
- Fraunhofer-Allianz Nanotechnologie
- Fraunhofer-Allianz Photokatalyse
- Fraunhofer-Allianz Space
- Fraunhofer-Allianz SysWasser



Fraunhofer ISE

Forschen für die Energiewende

Institutsleiter (kommissarisch):

Prof. Dr. Hans-Martin Henning
Dr. Andreas Bett

Mitarbeiter: 1163

Budget (2016): 81,1 Mio. EUR
(vorläufig)

Gegründet: 1981



Fraunhofer ISE

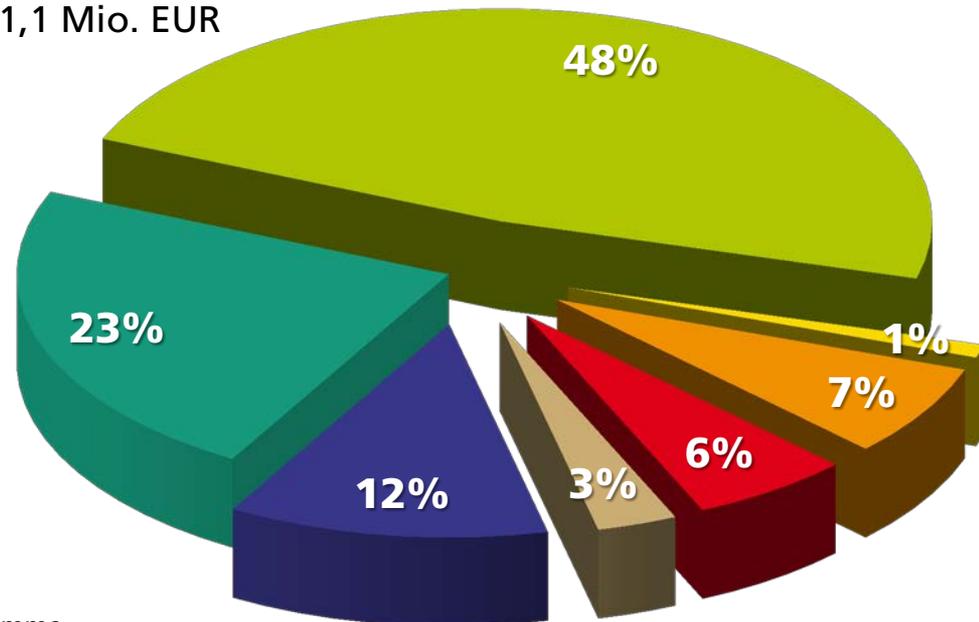
Ertragsstruktur Betriebshaushalt 2016 (vorläufig)

Betriebshaushalt:	72,9 Mio. EUR
<u>Investitionshaushalt**:</u>	<u>8,2 Mio. EUR</u>
Gesamt:	81,1 Mio. EUR

- Industrie
- Bund
- Land BaWü/NRW
- EU
- Sonstige
- FhG-Sonderprogramme
- Regelgrundfinanzierung*

* Davon 90% Bund und 10% Land BaWü

** Ohne Bauinvestitionen und Konjunkturprogramme

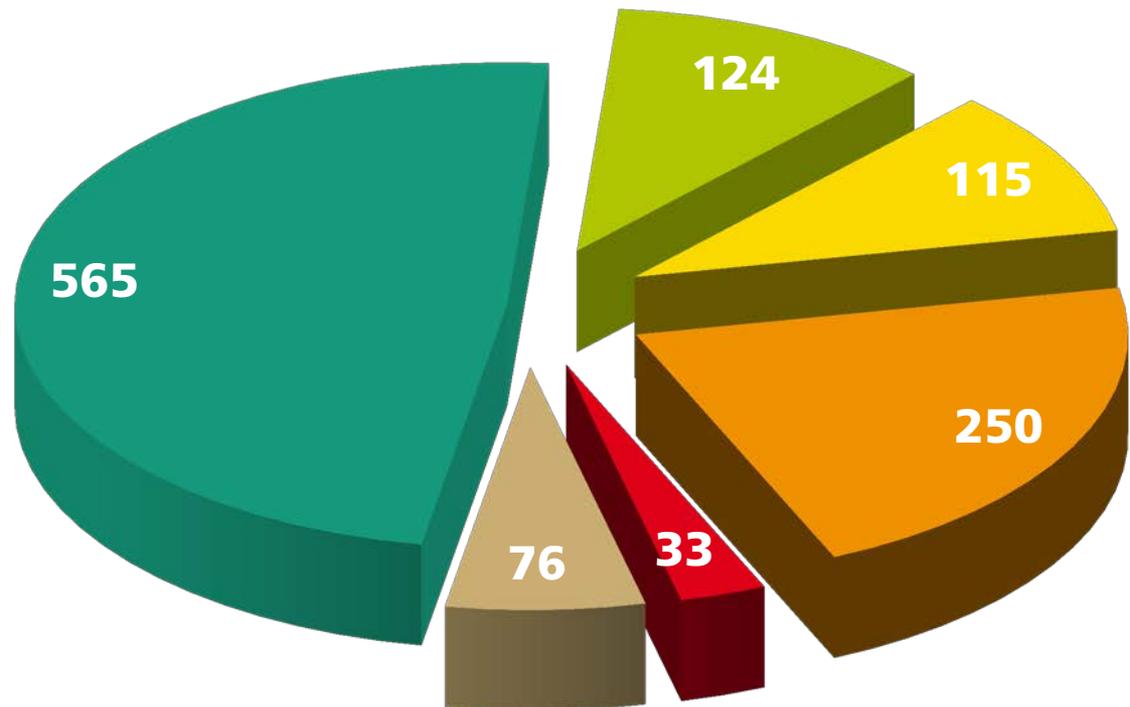


Stand: Januar 2017

Fraunhofer ISE

Mitarbeitende – Personalstruktur 2016

- TVöD + Azubis
- Doktoranden
- Dipl., MA., BA.
- HiWi
- Praktikanten
- Sonstige



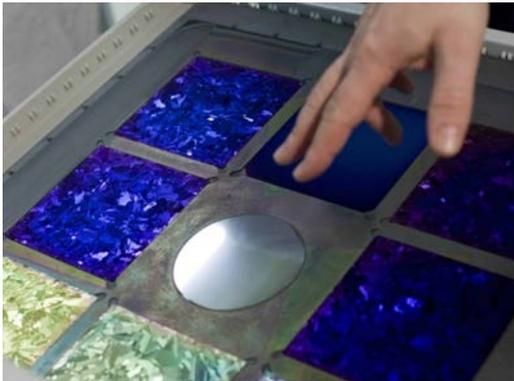
Gesamtzahl: 1163

Stand: 31.12.2016

Fraunhofer ISE

Außenstandorte

- Fraunhofer Labor- und Servicecenter Gelsenkirchen LSC, Nordrhein-Westfalen
- Fraunhofer Technologiezentrum Halbleitermaterialien THM, Freiberg, Sachsen
- Fraunhofer Center für Silizium Photovoltaik CSP, Halle/Saale



Fraunhofer LSC



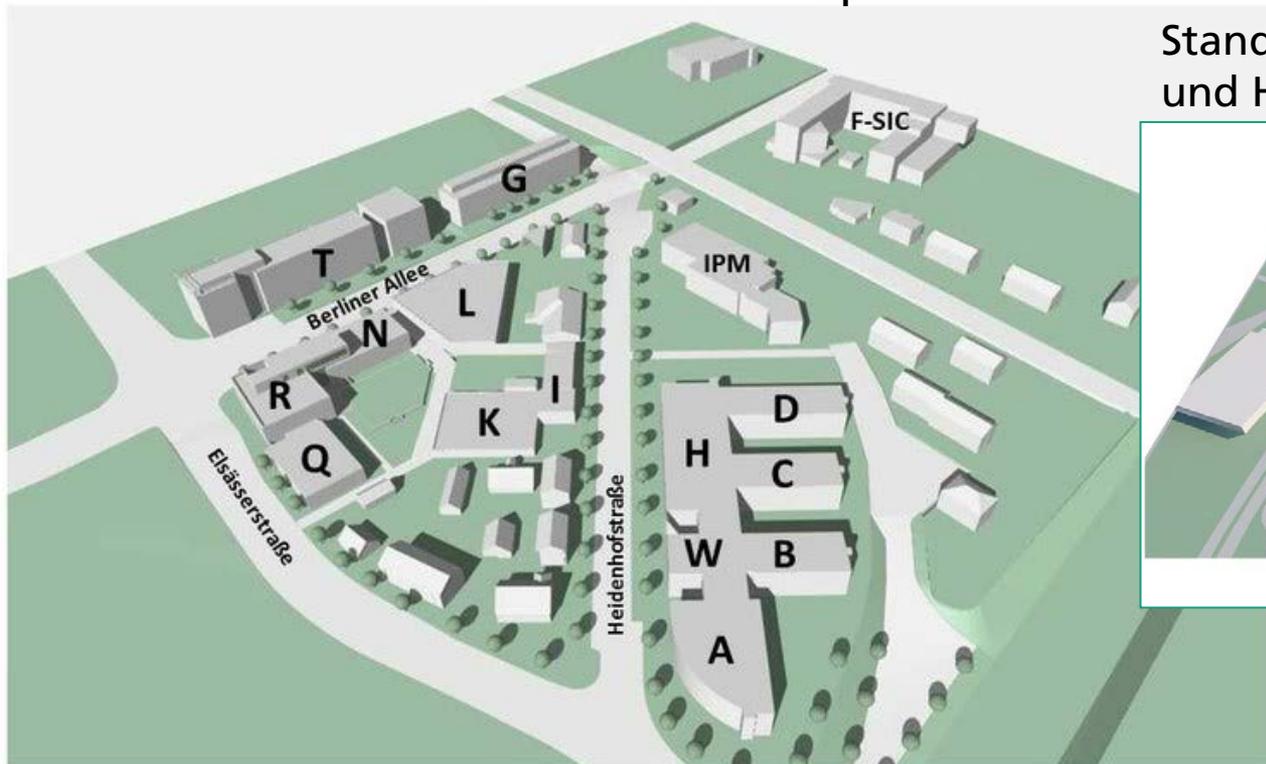
Fraunhofer THM



Fraunhofer CSP

Fraunhofer ISE Lageplan

Standorte ISE Campus



Standorte ISE Auerstraße und Hans-Bunte-Straße



Fraunhofer ISE

Forschungsschwerpunkte

Energieeffizienz

Energieverteilung

Energiegewinnung

Energiespeicherung

Fraunhofer ISE

Unsere Geschäftsfelder



PHOTOVOLTAIK

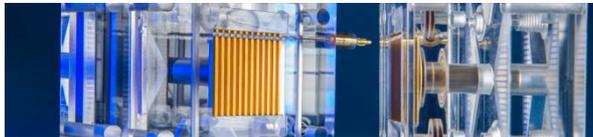
Silicium-Photovoltaik
III-V- und Konzentrator-Photovoltaik
Neuartige Photovoltaik-Technologien
Photovoltaische Module und Kraftwerke



SOLARTHERMIE



GEBÄUDEENERGIETECHNIK



WASSERSTOFFTECHNOLOGIEN



ENERGIESYSTEMTECHNIK

Geschäftsfeld Photovoltaik

Themen

Die Photovoltaik ist ein zentraler Baustein für die Transformation unseres Energiesystems.

- Silicium-Photovoltaik
- III-V- und Konzentrator-Photovoltaik
- Neuartige Photovoltaik-Technologien
- Photovoltaische Module und Kraftwerke



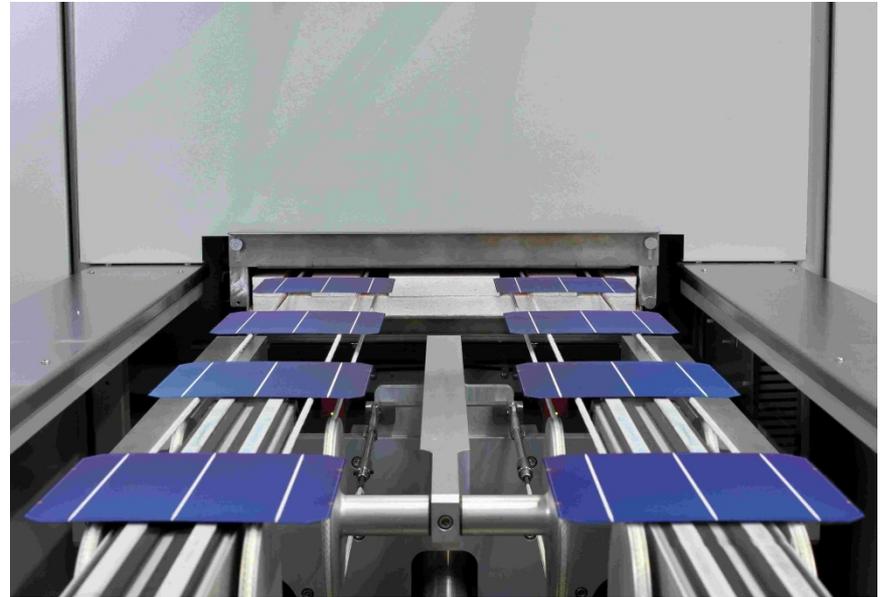
Geschäftsfeld Photovoltaik

Silicium-Photovoltaik

Rund 90 % der hergestellten Solarzellen basieren auf kristallinem Silicium.

Unsere FuE-Angebote zielen darauf ab, gemeinsam mit der Industrie neue, innovative Technologien zur Marktreife zu führen und so Wirkungsgrad, Preis-/Leistungsverhältnis und Langzeitstabilität weiter zu verbessern.

Wir bilden dazu die gesamte Wertschöpfungskette der kristallinen Silicium-Photovoltaik ab.



Silicium-Photovoltaik

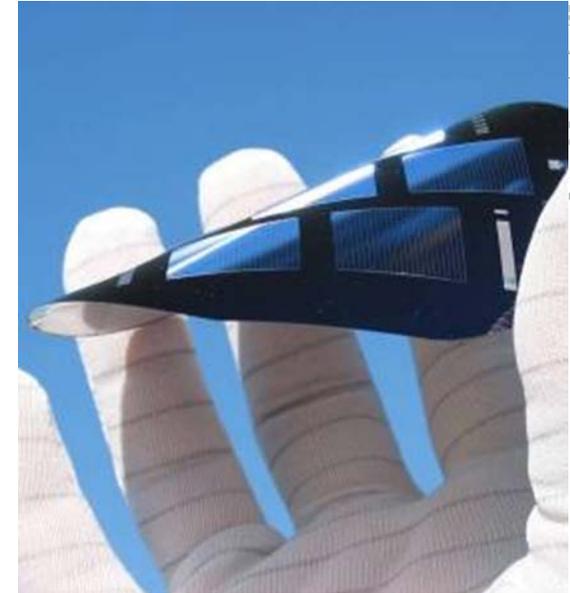
Vom Si-Rohstoff bis zu Hochleistungssolarzellen



Blockkristallisation von mc-Si
(250 kg)



Experimentelle Wafersäge
(MWSS)



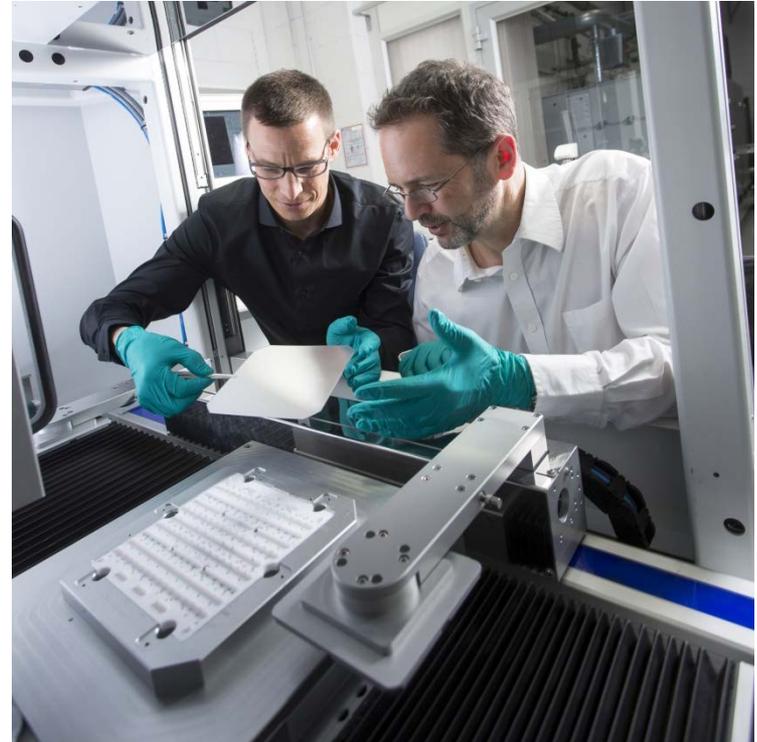
Solarzelle mit LFC-Rückseite
Hocheffizient (20,2%)
Ultradünn (37 μm)
Flexibel

Fotos © Fraunhofer ISE

Fraunhofer ISE

Joseph-von-Fraunhofer-Preis 2016

- durch Entwicklung des LFC-Prozesses ebneten die Fraunhofer-Forscher den Weg für die Massenproduktion von rückseitenpassivierten Solarzelle mit lokalen Kontakten
- effizientere Solarzellen können so kostengünstig hergestellt werden
- der Lizenznehmer Hanwha Q Cells hat seit 2012 mehr als 20 Millionen Zellen mit Hilfe der LFC-Technologie hergestellt
- die FolMet-Entwicklung, d.h. Aluminiumfolie als Rückelektrode, ermöglicht weitere Verbesserungen



Ralf Preu und Jan Nekarda wurden mit dem Joseph-von-Fraunhofer-Preis 2016 geehrt. ©Dirk Mahler/Fraunhofer

Silicium-Photovoltaik

Rekordzellen mit TOPCon-Technologie

Material	Fläche	V_{oc} [mV]	J_{sc} [mA/cm ²]	FF [%]	η [%]
<i>n</i> -Typ Mono	4 cm ² (da)	725	42.5	83.3	25.7*
<i>n</i> -Typ Multi	4 cm ² (ap)	673	40.8	79.7	21.9*

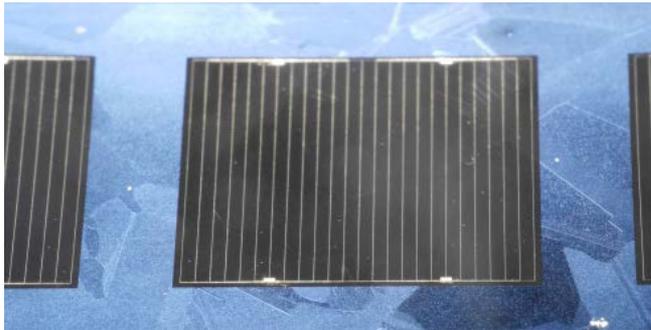


Foto der *n*-Typ HP multikristallinen Solarzelle ©Fraunhofer ISE

→ Rekordwirkungsgrad von **25.7%*** für beidseitig kontaktierte monokristalline Siliciumsolarzelle

Richter, A. Solar Energy Materials and Solar Cells (2017)
<http://dx.doi.org/10.1016/j.solmat.2017.05.042>

→ Rekordwirkungsgrad von **21.9%*** für multikristalline Silicium Solarzelle

J. Benick, Journal of Photovoltaics (2017), pending publication

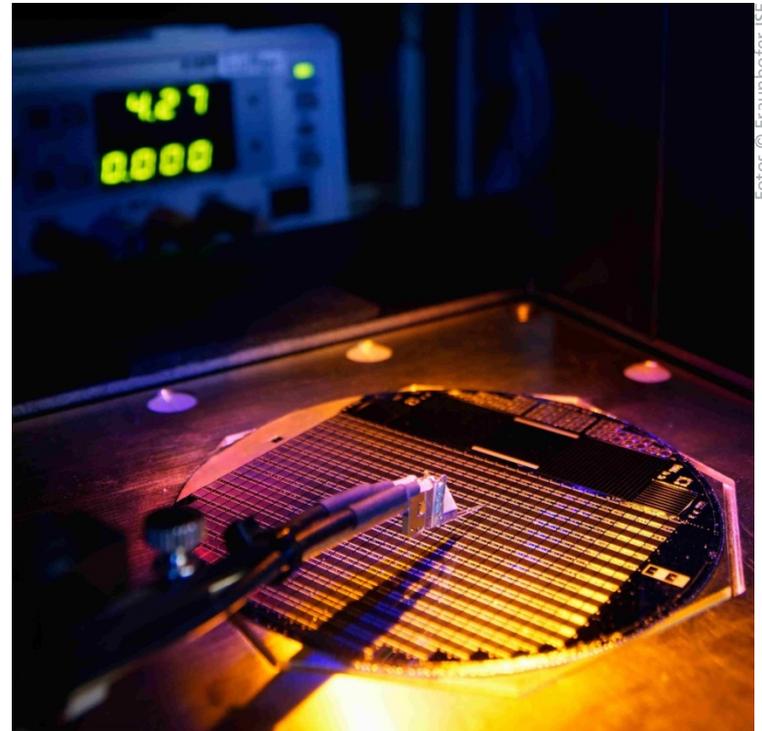
* bestätigt von Fraunhofer ISE Callab

Geschäftsfeld Photovoltaik

III-V- und Konzentrator-Photovoltaik

Wir entwickeln hocheffiziente Solarzellen auf Basis der III-V-Halbleiter sowie Technologien für die konzentrierende Photovoltaik.

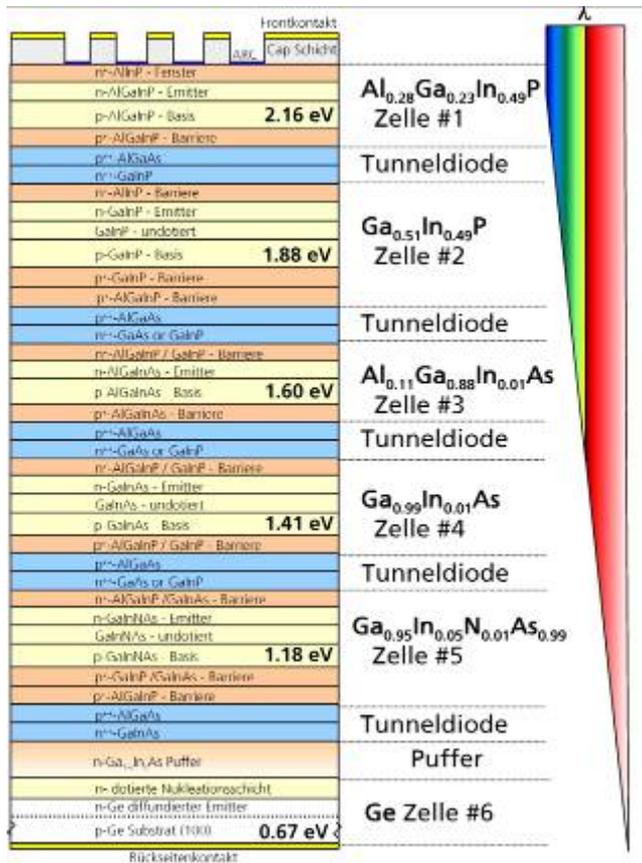
- III-V Epitaxie und Solarzellen
- Konzentrator-Bauelemente
- Konzentrator-Optik
- Hochkonzentrierende Systeme (HCPV)
- Niedrigkonzentrierende Systeme (LCPV)
- Silicium-Konzentratorzellen
- Power-by-Light



Fotos © Fraunhofer ISE

III-V Hocheffizienzsolarmzellen

Materialentwicklung



- III-V Mehrfachsolarmzellen ermöglichen höchste Wirkungsgrade
- Heutiger Standard: Dreifachsolarmzellen auf Germanium-Substraten
- **Zukünftige Entwicklungen:**
 - III-V Solarmzellen mit mehr als drei Teilzellen für noch höhere Wirkungsgrade
 - III-V Mehrfachsolarmzellen auf Silicium-Substraten zur Kostenreduktion
- **Erforderlich:** III-V Halbleitermaterialien mit höchster Materialqualität

Schichtstruktur einer III-V Sechsfachsolarmzelle

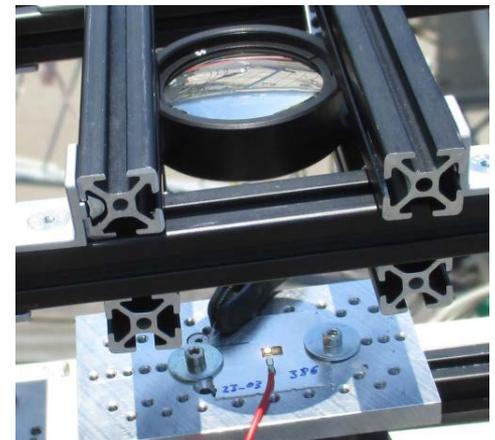
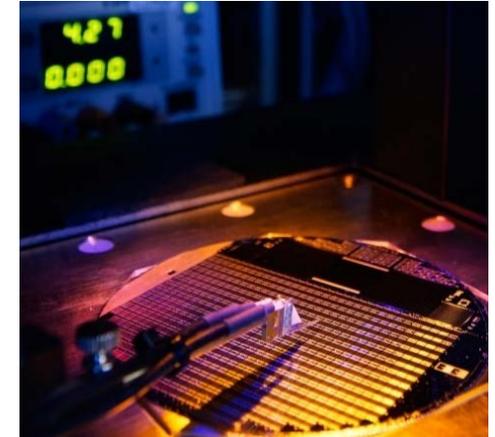
III-V Hocheffizienzsolarmodule und Mini-Modul Weltrekorde am Fraunhofer ISE

Weltrekordsolarzelle mit 46 % @ C=508 Sonnen

- Vierfachsolarzelle auf Basis von III-V-Halbleitern
- Einsatz der Wafer-Bonding Technologie
- Kooperation mit Partnern: Soitec, CEA-Leti

Weltrekord CPV Mini-Modul erzielt 43,4 %

- basiert auf derartigen Mehrfachsolarzellen kombiniert mit einer hocheffizienten Optik



Siliziumbasierte Mehrfachsolarzelle

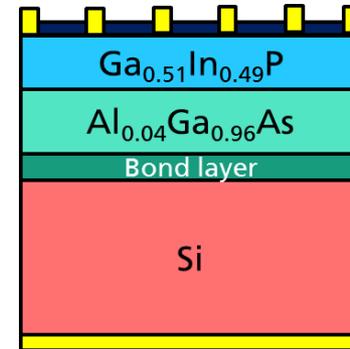
III-V Verbindungshalbleiter auf Silicium

Aufgabe

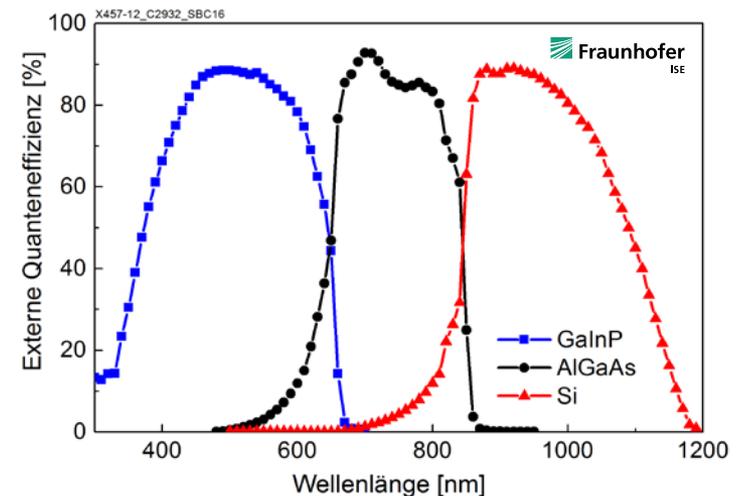
- Direktes Wachstum oder Übertragen von 1-10 μm dünnen GaAs, InP und GaSb Schichten auf Silicium

Ergebnis

- Direktes III-V Wachstum führt noch zu Versetzungsdichten von 10^7 cm^{-2}
- Direktes Wafer-Bonden von GaAs, InP mit sehr hoher Materialqualität demonstriert
- Erste GaInP/AlGaAs//Si Solarzellen mit Wirkungsgrad $> 31 \%$ bestätigt



Struktur und externe QE einer Mehrfachsolarzelle mit Si Unterzelle und einem Rekordwirkungsgrad von **31,3 %**.

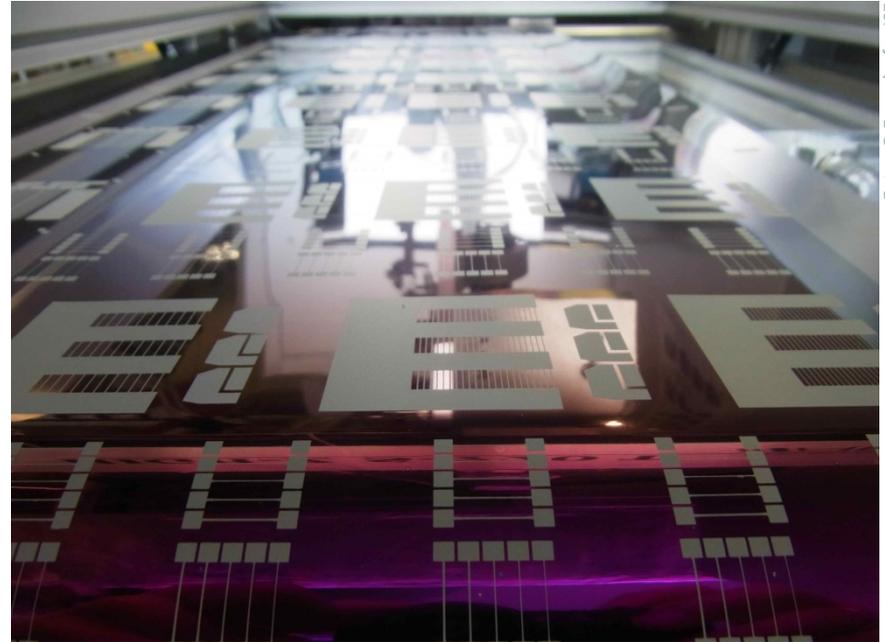


Geschäftsfeld Photovoltaik

Neuartige Photovoltaik-Technologien

Materialverfügbarkeit, Kosten und Wirkungsgradoptimierung stehen im Fokus unserer Entwicklung von Solarzellen und photonischen Strukturen. Zudem erforschen wir mit Hilfe von leichten, semitransparenten und flexiblen Bauteilen neue Anwendungen.

- Farbstoff- und Perowskitsolarzellen
- Organische Solarzellen
- Photonenmanagement
- Tandemsolarzellen auf kristallinem Silicium



Fotos © Fraunhofer ISE

Geschäftsfeld Photovoltaik

Photovoltaische Module und Kraftwerke

Wir unterstützen unsere Kunden bei der Entwicklung und Qualifizierung von PV-Materialien, Modulen und Systemen.

Unser Schwerpunkt liegt auf der Effizienz, Zuverlässigkeit und Kostensenkung von PV-Technologien.

www.ise-module.de



Fotos © Fraunhofer ISE

Modultechnologie

- innovative Verbindungs- und Einkapselungstechnologie
- Moduleffizienz
- produktionsnahe Qualitätssicherung
- Materialerprobung im Modul und in der Produktion
- Annäherung an industrielle Fertigung durch große Stückzahlen/Formate



PV Modul-Technologiecenter (MTC)

Fotos © Fraunhofer ISE

Gebrauchsdaueranalyse für Module und Materialien

- Freibewitterung von 60 kommerziellen und Experimentalmodulen in u. a.:
 - alpinem Klima (Zugspitze)
 - Tropen (Indonesien)
 - Wüste (Israel)
 - Meeresklima (Gran Canaria)
- Ziel: Verifizierung beschleunigter Gebrauchsdauerprüfung



Freibewitterung auf dem Schneeferner Haus



Fotos © Fraunhofer ISE

Qualitätssicherung PV-Module und Kraftwerke

Fraunhofer ISE Qualitätszirkel

- **Ertragsgutachten**
Exakte Prognose des Ertrags für PV-Kraftwerke weltweit
- **Modulcharakterisierung**
Hochpräzise Leistungsmessung und Modulklassifizierung
- **Anlagenprüfung**
Umfangreiche Vor-Ort-Analyse des gesamten PV-Kraftwerks
- **Qualitätsmonitoring**
Ertragsanalyse und Ermittlung der Performance Ratio



Geschäftsfeld Solarthermie

Themen

Bei der Umstellung der Energiesysteme im Wärmebereich ist die Solarwärme neben der Energieeffizienz ein zentraler Baustein.

- Materialforschung und Optik
- Thermische Kollektoren und Komponenten
- Thermische Anlagentechnik
- Thermische Speicher für Kraftwerke und Industrie
- Wasseraufbereitung



Fotos © Industrial Solar

Thermische Anlagentechnik

Demonstrationsvorhaben Gutleutmatten Freiburg

Versorgungskonzept Wohngebiet

- 40 000 m² Wohnfläche,
2200 MWh Wärmebedarf,
~ KfW 55; Mehrfamilienhäuser
- Wärmeversorgung Kombination
BHKW-Nahwärme und Solarthermie
- Dezentrale Speicher
- Abschaltung des Verteilnetzes
im Sommer
- Projektbeteiligte: badenova;
Fraunhofer ISE, Solites GmbH



Thermische Anlagentechnik

Solare Prozesswärme

- Forschungsthemen
 - Mitteltemperaturkollektoren
 - Integration von Solarwärme
 - Optimierung von Systemkonzepten
 - Branchenkonzepte (Wäschereien)
 - Mobile Messtechnik
- Kompetenzen
 - Konzentratoroptik und Tracking
 - Dynamische Systemsimulation
 - Anlagenmonitoring
 - Auslegungsverfahren



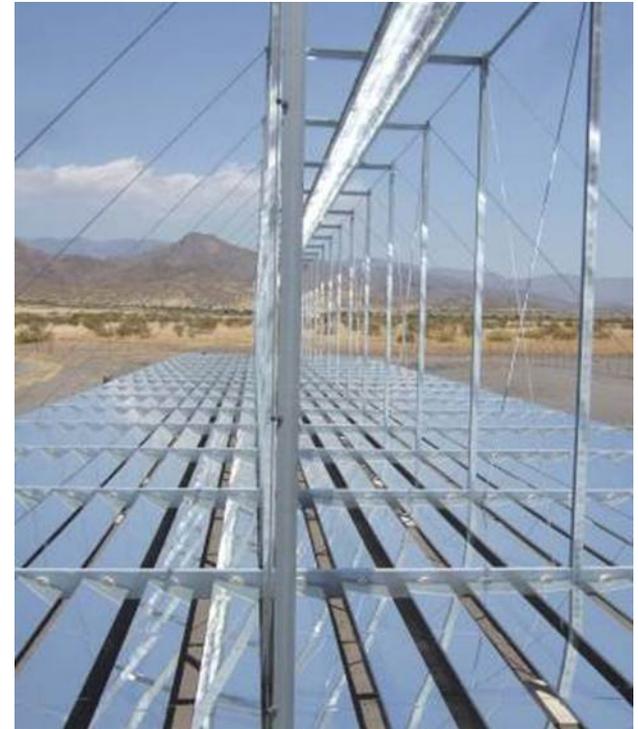
Fotos © Fraunhofer ISE



Thermische Anlagentechnik

Solarthermische Kraftwerke

- Forschungsthemen
 - Linearer Fresnelkollektor
 - Direktverdampfung/Salzsammelze
 - Heliostaten und Solarfelder
 - Hochtemperaturspeicher
- Kompetenzen
 - Absorber- und Spiegelentwicklung
 - Kollektoroptimierung
 - Simulation und Betriebsoptimierung
 - Experimentelle Qualifizierung
 - Technologie- und Übersichtsstudien



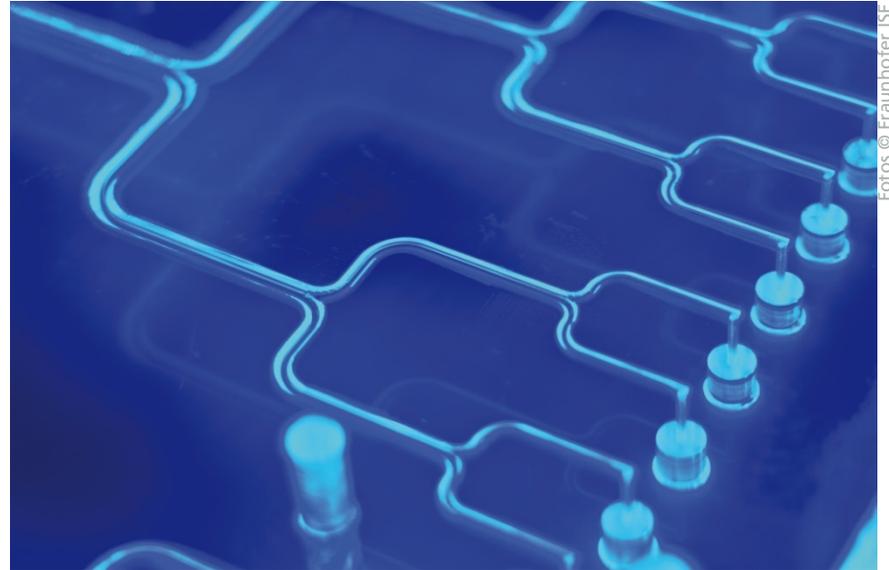
Fotos © Fraunhofer ISE

Geschäftsfeld Gebäudeenergie-technik

Themen

Energieeffiziente Gebäude und Anlagentechnik sind Schlüsselemente eines nachhaltigen Energiesystems.

- Gebäudehülle
- Wärme- und Kälteversorgung
- Betriebsführung und Gesamtenergiekonzepte
- Thermische Speicher für Gebäude
- Materialien und Komponenten für Wärmetransformation



Fotos © Fraunhofer ISE

Gebäudehülle

Fassaden und Fenster

- Gebäudeintegration von Photovoltaik und Solarthermie
- Innovative Sonnenschutzsysteme
- Multifunktionale Fassadensysteme
- Beschichtungsverfahren für Gläser und andere Werkstoffe zur Optimierung optischer und energetischer Eigenschaften
- Beratung von Planern und Architekten
- Test- und Prüflabor für Fassadenkomponenten



Fotos © Fraunhofer ISE

Fassadenintegrierter Solarkollektor mit visuellem Außenkontakt

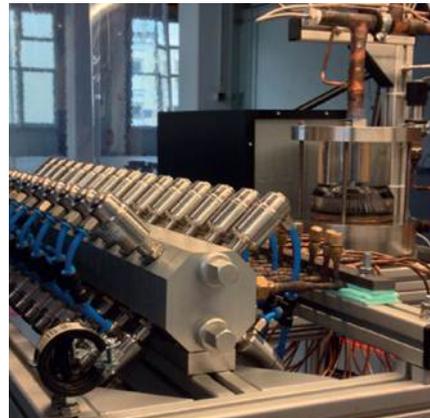
Wärme- und Kälteversorgung

Elektrische und thermische Wärmepumpen

- Entwicklung von neuen Sorptionsmaterialien und -beschichtungen
- Komponententwicklung (Verdampfer, Absorber, kältemittelreduzierte Systeme)
- Felduntersuchungen von Wärmepumpenanlagen (mehr als 250 WP-Anlagen)
- Analyse und Optimierung von Wärmepumpensystemen
- Prüf- und Entwicklungszentrum für Wärmetransformation (Wärmepumpen, Kältetechnik)



Fotos © Fraunhofer ISE



Betriebsführung und Gesamtenergiekonzepte

Intelligente Betriebsführung und Qualitätssicherung

- Energie-Monitoring von Gebäuden
- Entwicklung leistungsfähiger Tools zur Visualisierung und Überwachung des Gebäudebetriebs
- Werkzeuge und Konzepte für die Qualitätssicherung der Regelung und Betriebsführung von Gebäuden
- Beratung und Erstellung von energie- und kostenoptimierten Betriebsführungskonzepten

Implementierung innovativer Betriebsführungskonzepte:



Kreispolizeibehörde Mettmann



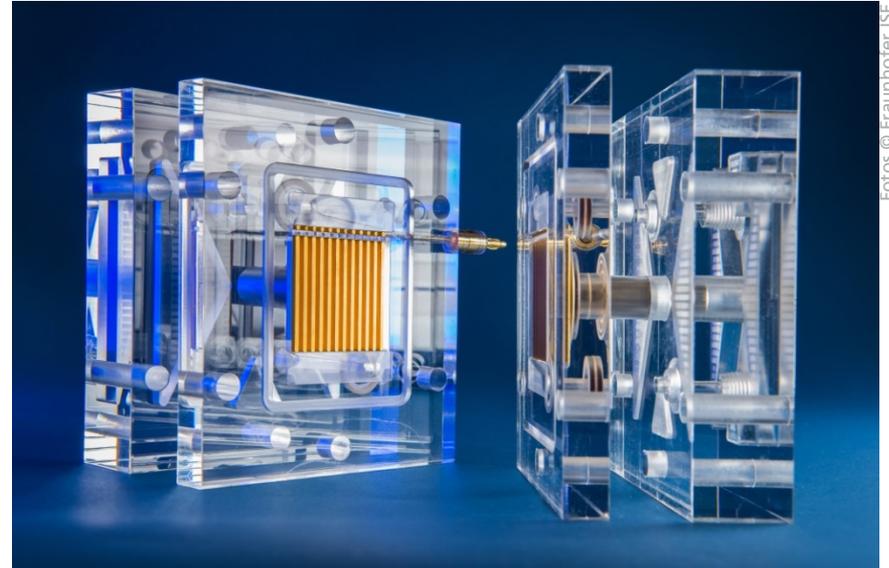
Flughafen Mailand/Malpensa

Geschäftsfeld Wasserstofftechnologien

Themen

Mit dem Ausbau der erneuerbaren Energien steigt die Nachfrage nach einer bedarfsgerechten Regelung von Angebot und Nachfrage im Netz.

- Thermochemische Prozesse
- Wasserstoffherzeugung durch Elektrolyse
- Brennstoffzellensysteme



Fotos © Fraunhofer ISE

Wasserstoffherzeugung durch Elektrolyse

Solare Wasserstoff-Tankstelle des Fraunhofer ISE

- Forschungsplattform und öffentliche Tankstelle zugleich
- Eigene netzgekoppelte 16 kWp PV-Anlage (Ausbau geplant)
- Eigene H₂-Erzeugung durch PEM-Elektrolyse (0,5 kg/h, 7 kg/d)
- 700 bar Schnellbetankung nach SAE J2601 sowie 350 bar Slow Fill
- Vollbetankung eines PKW in max. 3 Minuten
- Öffentlich zugänglich nach Einweisung und Ausgabe Tankkarte



www.h2move.de

Fotos © Fraunhofer ISE

Geschäftsfeld Energiesystemtechnik

Themen

Die Energiesystemtechnik, die sich mit der Optimierung des Zusammenspiels von Erzeugern und Verbrauchern befasst, gehört zu den wichtigsten Arbeitsfeldern der Energiewende.

- Leistungselektronik
- IKT für Energiesysteme
- Systemintegration – Strom, Wärme, Gas
- Batteriesysteme für stationäre und mobile Anwendungen
- Energiesystemanalyse



Fotos © Rolf Disch SolarArchitektur

Leistungselektronik

Das Megawattlabor: Leistungen im Überblick

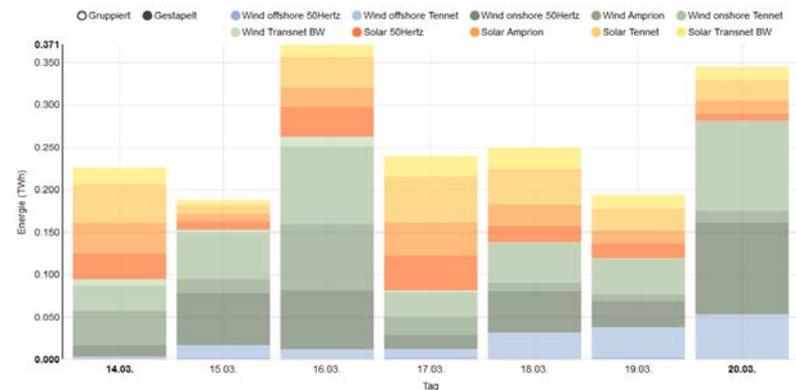
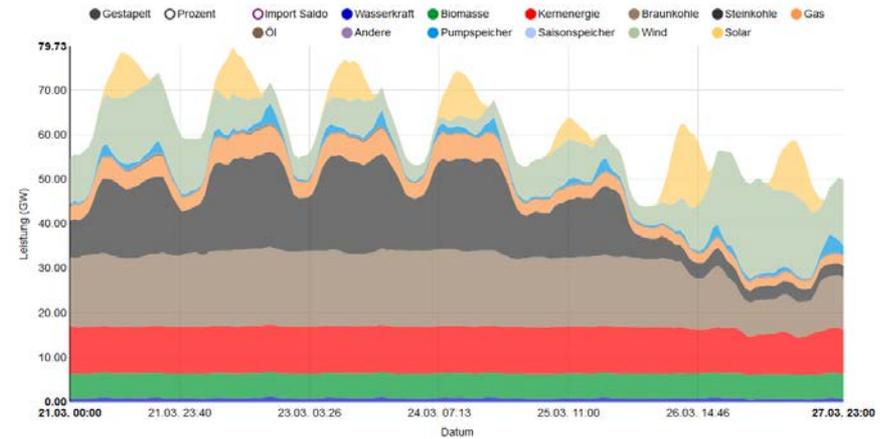
- Charakterisierung der elektr. Eigenschaften von Erzeugungseinheiten; z.B. PV-Wechselrichter, Batteriespeicher, Verbrennungskraftmaschinen, ...
- Leistungsbereich bis 1,25 MVA (stationär) bzw. 4,5 MVA (mobil)
- Tests der Netzkonformität nach nationalen und internationalen Normen
- Messungen von Umwandlungswirkungsgrad und MPPT-Effizienz
- Performance-Bewertung von Zentralwechselrichtern im Betrieb
- Modellierung und Simulation von Stromerzeugungseinheiten und Kraftwerken



Energiesystemanalyse

Energy-Charts

- Stündlich aktualisierte Grafiken zur Stromerzeugung
- 15-Minuten Werte der erzeugten Leistung und des Verbrauchs
- Tages-, Wochen-, Monats- und Jahresenergien
- Installierte Kraftwerksleistung
- Import und Export von Strom für Deutschland und Europa
- Börsenstrompreise
- Daten zum Außenhandel mit Strom



Regenerative Energien Modell »REMod«

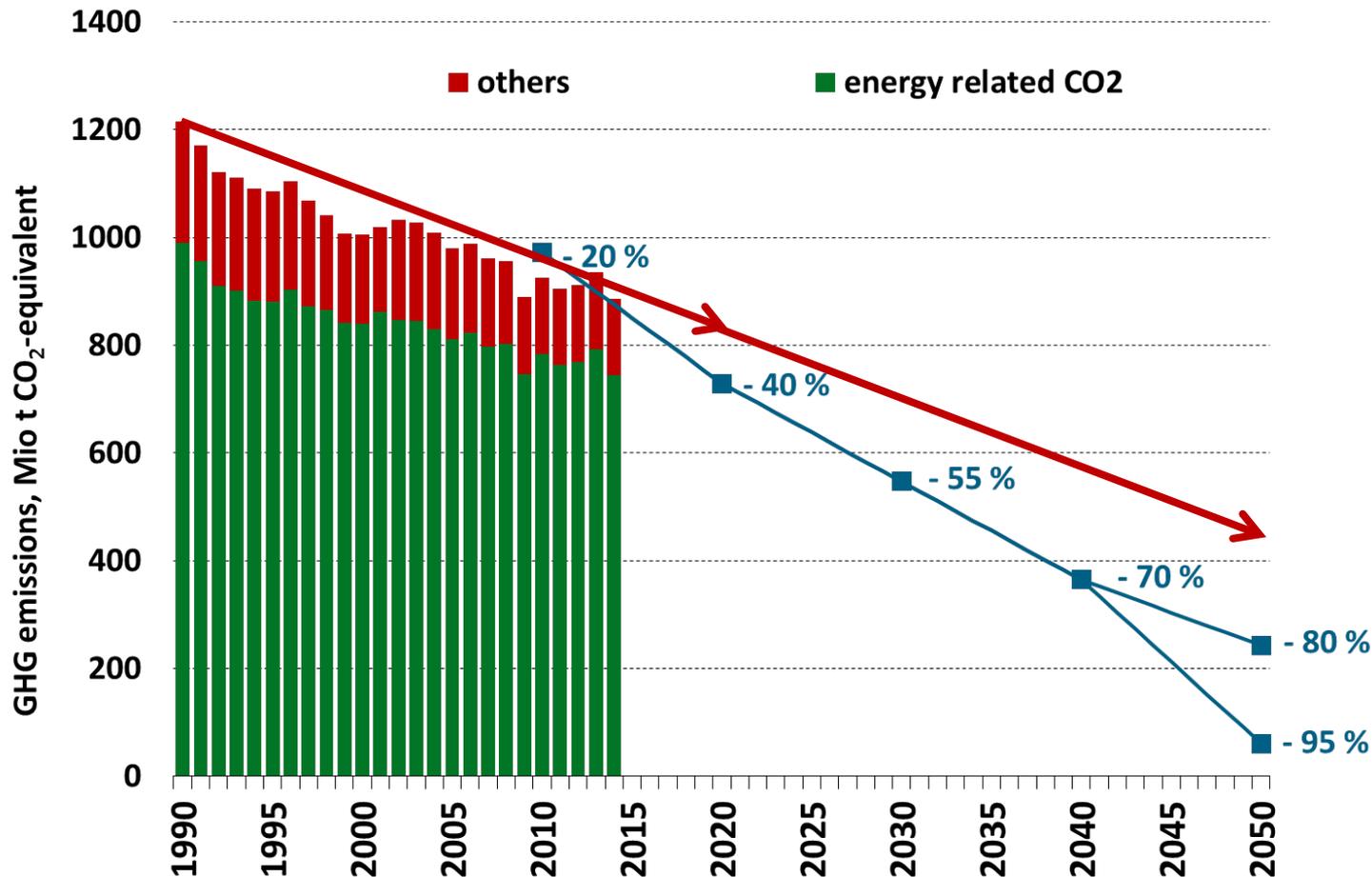
Minimierung der Transformationskosten →

Erstes streng Modellbasiertes Werkzeug zur Simulation und Optimierung der Entwicklungspfade nationaler Energiesysteme unter Einbeziehung aller Verbrauchssektoren und Energieträger und von deren Wechselwirkungen

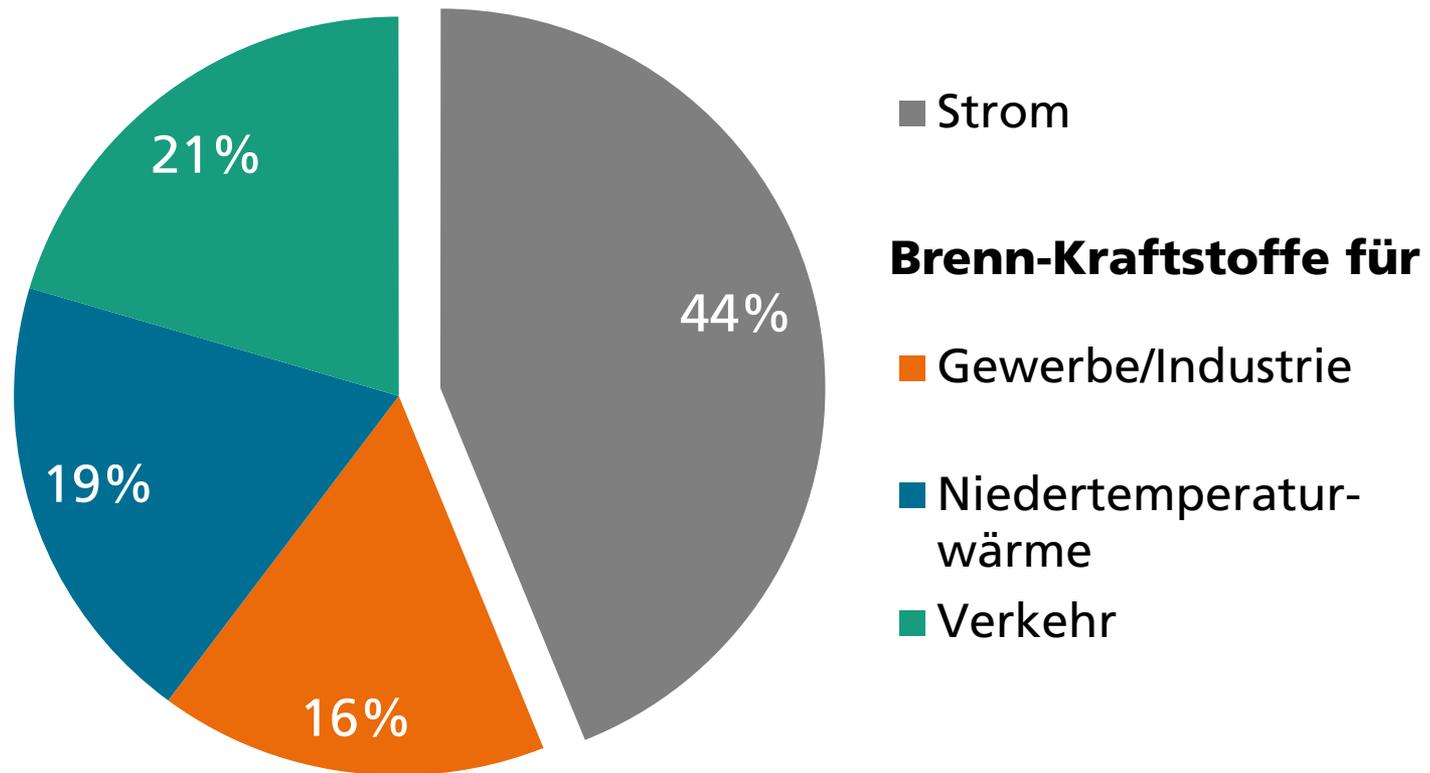


Treibhausgasemissionen Deutschland

Historie und Ziele

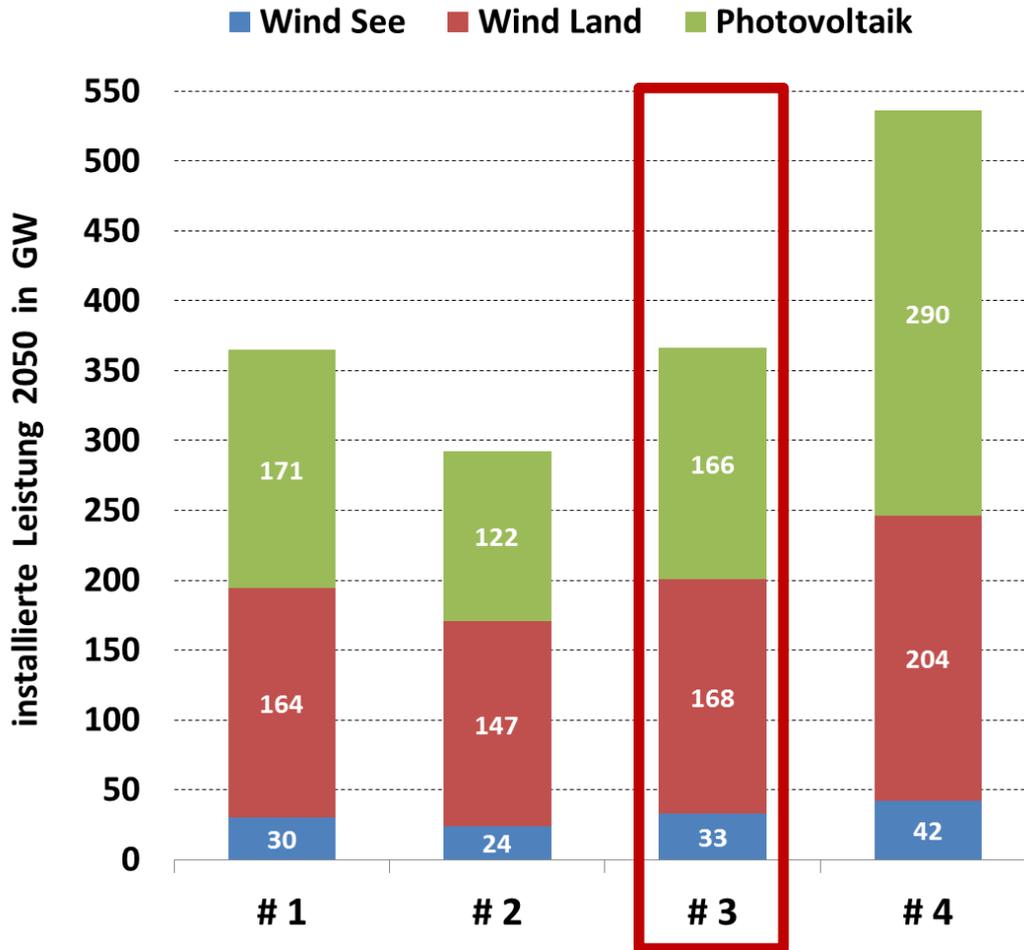


Energiebedingte CO₂-Emissionen – Deutschland 2013



Szenarienergebnisse

Fluktuierende erneuerbare Energien im Jahr 2050



#1 -80 % CO₂, Ausstieg Kohle nicht beschleunigt

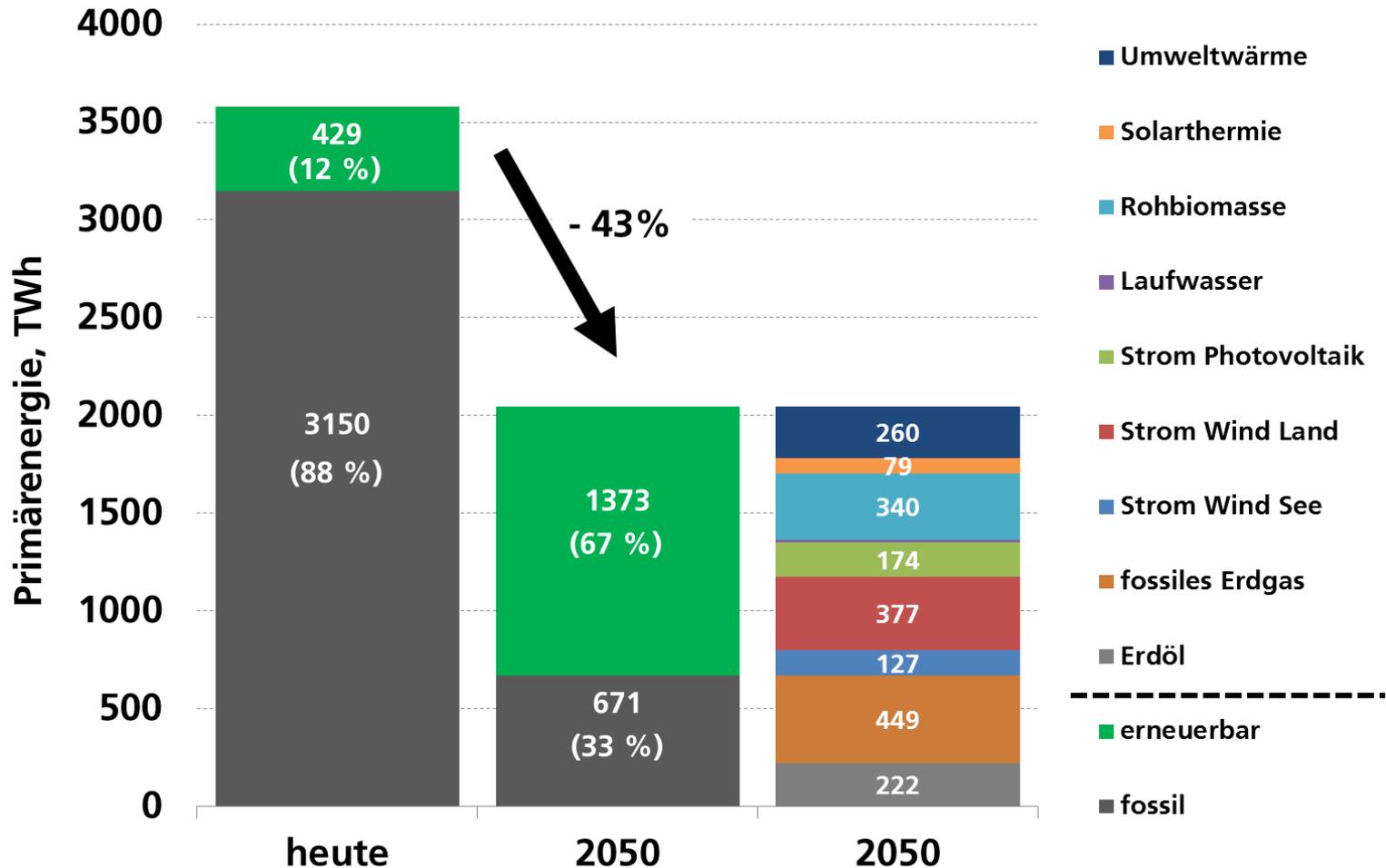
#2 -80 % CO₂, Ausstieg Kohle beschleunigt

#3 -85 % CO₂, Ausstieg Kohle beschleunigt

#4 -90 % CO₂, Ausstieg Kohle beschleunigt

Primärenergie 2050

- 85 % - Szenario

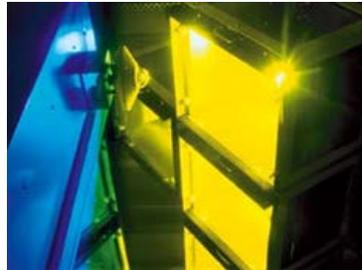


Fazit

- Eine Klimaschutzkompatible Transformation des Energiesystems scheint technisch grundsätzlich machbar
- Erfordernis substanzieller FuE-Arbeiten in vielen Technologie-Feldern
- Fluktuierende Erneuerbare Energien (Sonne, Wind) werden dominant und die Bedeutung von elektrischem Strom nimmt zu
- Transformationskosten stark abhängig von Preisentwicklung fossiler Energie (Weltmarkt) und der Kostenbelastung von CO₂-Emissionen; dabei keine Berücksichtigung externer Kosten des heutigen Energiesystems und positiver volkswirtschaftlicher Effekte (nationale Wertschöpfung, Beschäftigung)
- Wichtige Technologien: Wandler erneuerbarer Energien, Kurzzeitspeicher Strom und Wärme, Leistungselektronik, Wärmepumpen, dynamische thermische Kraftwerke (ggf. direkt mit H₂), CO₂-Abscheidung und Nutzung (gasförmige und flüssige, synthetische Brenn-/Kraftstoffe)

Akkreditierte Test- und Servicezentren

TestLab
Solar Façades



TestLab
Power Electronics

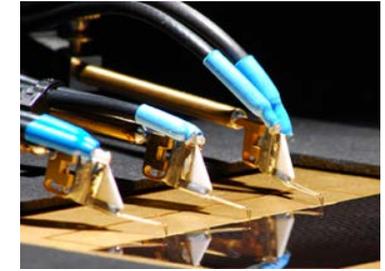


Fotos © Fraunhofer ISE

TestLab
Solar Thermal
Systems



CalLab
PV Cells



TestLab
PV Modules



CalLab
PV Modules



Weitere Servicebereiche

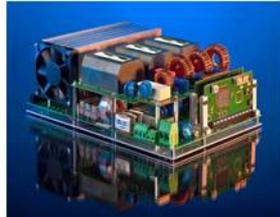
- ServiceLab PV Power Plants
- ServiceLab Smart Energy
- ServiceLab Batteries
- ServiceLab Lighting and DC Appliances
- ServiceLab Heat Pumps and Chillers
- ServiceLab Heat Exchangers
- ServiceLab Phase Change Materials
- ServiceLab Thermochemical and Porous Materials
- ServiceLab Air Handling Units
- ServiceLab Fuel Cells



Fotos © Fraunhofer ISE

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Fotos © Fraunhofer ISE



Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE

Karin Schneider

www.ise.fraunhofer.de

karin.schneider@ise.fraunhofer.de