

## Photovoltaik

### Flexible Module aus emailiertem Baustahl:

Emailierter Baustahl ist dünn und flexibel aber dennoch robust. Als Trägermaterial für effiziente Dünnschichtmodule verbindet er die Vorteile von elektrisch isolierendem aber starrem Glas mit denen einer flexiblen Metallfolie.  
© ZSW



### Kontakte

#### Fraunhofer ISE

Dr. Andreas Bett  
(PV-Konzentrator-Technologie, Si-Material)  
Tel.: 0761/4588-5178  
andreas.bett@ise.fraunhofer.de

Dr. Olivier Stalter  
(Netzgekoppelte Wechselrichter und Speichersysteme)  
Tel.: 0761/4588-5467  
olivier.stalter@ise.fraunhofer.de

Prof. Dr. Stefan Glunz  
(Grundlagen und Konzepte für höchsteffiziente Silizium-Solarzellen)  
Tel.: 0761/4588-5260  
stefan.glunz@ise.fraunhofer.de

Dr.-Ing. Ralf Preu  
(Si-PV Produktionstechnologie)  
Tel.: 0761/4588-5260  
ralf.preu@ise.fraunhofer.de

Dr. Uli Würfel  
(Farbstoff-Solarzellen, organische und neuartige Solarzellen)  
Tel.: 0761/203-4796  
uli.wuerfel@ise.fraunhofer.de

#### Fraunhofer IWES

Dr. Philipp Strauß  
(Systemtechnik)  
Tel.: 0561/7294-144  
philipp.strauss@iwes.fraunhofer.de

### HZB

Prof. Dr. Bernd Rech  
Tel.: 030/8062-41331  
bernd.rech@helmholtz-berlin.de

Prof. Dr. Rutger Schlatmann  
Competence Centre Thin-Film- and Nanotechnology for Photovoltaics Berlin  
Tel.: 030/8062-15680  
rutger.schlatmann@helmholtz-berlin.de

Das Sonnenlicht, das auf eine Solarzelle fällt, wird zunächst in der photoaktiven Schicht absorbiert und erzeugt dort Paare von positiven und negativen Ladungsträgern. Durch die spezielle Architektur der Solarzellen werden diese Ladungsträger dann getrennt und über die Kontakte in den äußeren Stromkreis abgeführt. Typischerweise besteht die photoaktive Schicht aus einem Halbleitermaterial.

Der Beitrag der Photovoltaik (PV) zur Stromerzeugung steigt rasant an. Weltweit waren Ende 2015 ca. 230 Gigawatt an PV-Modulen installiert, davon ca. 40 Gigawatt in Deutschland. Im Jahr 2015 deckte die PV über 7,5% des deutschen Nettostromverbrauchs (Datenquelle: Fakten zu PV, Fraunhofer ISE, Stand April 2016). Langfristig wird die Photovoltaik weltweit eine tragende Säule für ein nachhaltiges Energieversorgungssystem bilden. Vorteile und Bedeutung der PV im Energiesystem:

- + Photovoltaik ist risikolos und emissionsfrei in der Erzeugung, das Sonnenlicht ist eine unerschöpfliche Energiequelle.
- + PV ermöglicht nachhaltige Energieversorgung bei derzeit 8–12 €/Cent/kWh in Deutschland und zeigt hohes Potenzial für weiter sinkende Stromgestehungskosten.

- + PV hat in Deutschland und weltweit hohe Ausbaupotenziale.
- + PV hat von allen Stromerzeugungstechnologien die höchste Akzeptanz in der Bevölkerung.
- + Modularität der PV-Technik ermöglicht Anlagen nach den jeweiligen Bedürfnissen vor Ort und stufenlose Erweiterung nach Bedarf.
- + Deutschland nimmt weiterhin eine internationale Spitzenstellung als hochqualitativer Forschungs- und Entwicklungsstandort ein.

### Potenziale

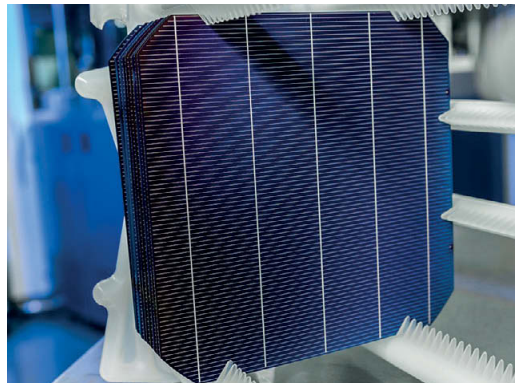
Die Preise für PV-Module sind in den letzten 25 Jahren um ca. 95% gesunken. In Deutschland lässt sich der PV-Strom mit kleinen Aufdachanlagen bereits für unter 12 €/Cent/kWh erzeugen und liegt damit deutlich unter dem Bezugsstrompreis für private Haushalte. Der angestrebte Umbau des Energiesystems in Deutschland erfordert eine Photovoltaikinstallation bis in den dreistelligen GW-Bereich und ein jährliches Austauschvolumen von über 5 GW.

Weltweit kopieren zahlreiche Länder die erfolgreiche deutsche Markteinführung, und an vielen netzfernen Einsatzorten ersetzt der PV-Strom den Strom aus Dieselgeneratoren schon aus ökonomischen Gründen.

### Forschungs- und Entwicklungsbedarf

Voraussetzung für eine großmaßstäbliche Aktivierung des langjährigen Marktwachstums ist eine gute Integration in das Energiesystem in Verbindung mit weiteren Kostensenkungen. Eine nachhaltig angelegte Forschung unterstützt dabei sowohl Untersuchungen zu den Grundlagen der Materialien und Prozesse als auch Weiterentwicklungen in den konkreten Komponenten (Zellen, Module, Wechselrichter) und Systemen. Zentrale Ziele sind die Steigerung der Wirkungsgrade und

der Modullebensdauer, eine Reduzierung des Materialeinsatzes und hochproduktive Herstellungsverfahren. Da eine abschließende Bewertung der unterschiedlichen Technologieansätze im Hinblick auf langfristige Entwicklungen derzeit noch nicht möglich und der technologische Wettbewerb ein wesentlicher Treiber der Kostenreduktion ist, muss die breitgefächerte Förderung verschiedener Technologien beibehalten werden:



**Links: TOPCon Weltrekord-solarzelle 25,3%:**  
Das spezielle Merkmal dieser Solarzelle ist ein ganzflächiger passivierter Rückseitenkontakt aus einer dünnen Tunneloxidschicht und einer hochdotierten Siliziumschicht.  
© Fraunhofer ISE

**Rechts: PERC-Solarzelle mit 21,2%**  
Bei der mit industriellen Prozessen hergestellten PERC-Solarzelle (Passivated Emitter and Rear Cell) wird der Siliziumwafer auf der Rückseite durch dielektrische Schichten passiviert. © ISFH

## Grundlagenforschung

Zur Kostensenkung sind auch vollkommen neue physikalische Ansätze zu verfolgen. Exemplarisch dafür sind:

- Entwicklung von Stapelsolarzellen zur günstigeren Ausnutzung des spektral breit verteilten Sonnenlichts
- Entwicklung neuer Bauelementstrukturen von Solarzellen
- Solarzellen mit hochstrukturierten Absorbern und Nanostrukturen in der Fläche
- Entwicklung des Photonenmanagements
- Neue Materialsysteme und Halbleitertechnologien

## Kristalline Siliziumsolarzellen

Die Silizium-Wafer-Technologie besteht in der Prozessierung von monokristallinen oder multikristallinen Scheiben mit einer Dicke von unter 200  $\mu\text{m}$ . Die kristalline Siliziumtechnologie dominiert weiterhin den deutschen und weltweiten Photovoltaik-Markt aufgrund der großen Fortschritte bei der Steigerung des Solarzellenwirkungsgrades so wie bei der Kostenreduktion in der Herstellung der Siliziumwafer, Solarzellen und Module sowie der über viele Jahre bewiesenen Zuverlässigkeit.

Trotz der enormen Fortschritte dieser Technologie gibt es noch sehr große Kostenreduktionspotenziale, die nur durch Forschungs- und Entwicklungsanstrengungen erschlossen werden können:

- Höhere Wirkungsgrade, zum Beispiel durch:
  - neuartige Zellstrukturen mit geringeren optischen und elektrischen Verlusten
  - extrem dünne Beschichtungen zur Verbesserung der Oberflächeneigenschaften
  - Verbesserung der Siliziummaterialeigenschaften
  - Photonenmanagement
  - Stapelsolarzellen auf Basis von Standard-Silizium-Solarzellen in Kombination mit anderen Halbleitern, um ein höheres Wirkungsgradpotenzial zu ermöglichen

- Einsparung und Substitution von kostentreibenden Materialien, insbesondere
  - kostenreduzierte Herstellung von Solar-Silizium (Solar-Grade-Si) und sägefrie Wafertechnologien
  - Prozessierung dünnerer Silizium-Wafer (120  $\mu\text{m}$ ) bis hin zu ultradünnen Wafern (< 80  $\mu\text{m}$ )
  - Ersatz von Silber als Leitermaterial
- Entwicklung kostengünstiger hochproduktiver Techniken (thermische, nass- und plasmachemische, hochgenaue laser- und druckbasierte Verfahren)

## Dünnschichtsolarmodule

Dünnschichtmodule haben inhärente Vorteile, weil ihre Herstellung weniger Energie und Material benötigt. Bestimmte Dünnschichttechnologien können auch schwache Lichtverhältnisse gut nutzen und bringen bei hohen Temperaturen gute Leistung.

Ein großes Potenzial für Kostensenkungen haben die Dünnschichttechnologien aus den Absorbermaterialien CIS-/CIGS und CdTe, kristallinem Silizium sowie neuen Materialien wie Perowskiten. Durch die Effizienzrekorde im Labor zeigt die CIGS-Technologie ihr großes Wirkungsgradpotenzial und gilt deshalb auch als eine der Dünnschichttechniken mit dem größten wirtschaftlichen Potenzial.

Weitere Kostensenkungen können erreicht werden durch:

- Skalierungseffekte
- optimierte, effizientere Produktionstechnologien
- Verringerung des Materialeinsatzes
- Umsetzung der hohen Laborwirkungsgrade in die Modulproduktion
- direkte Gebäudeintegration
- alternative Substrate (Polyimid- und Stahlfolien) für die Rolle-zu-Rolle-Prozessierung
- Entwicklung und Optimierung neuer Materialien wie Kesterit- und Perowskit-Solarzellen

## ISFH

Prof. Dr. Rolf Brendel  
Tel.: 05151/999-100  
rolf.brendel@isfh.de

Prof. Dr. Jan Schmidt  
Tel.: 05151/999-425  
j.schmidt@isfh.de

Dr. Karsten Bothe  
Tel.: 05151/999-425  
k.bothe@isfh.de

Dr. Raphael Niepelt  
Tel.: 05151/999-403  
niepelt@isfh.de

## Jülich

Prof. Dr. Uwe Rau  
Tel.: 02461/61-3791  
u.rau@fz-juelich.de

## KIT

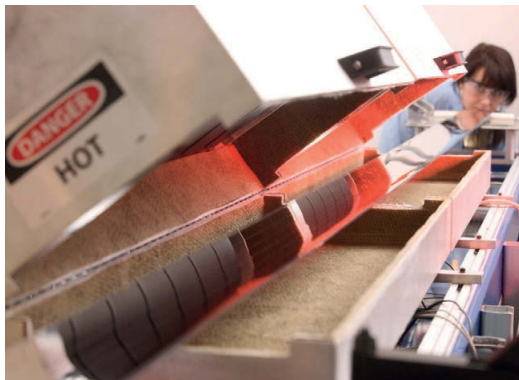
Dr. Alexander Colsmann  
(OPV und Perowskit PV)  
Tel.: 0721/608-48587  
alexander.colsmann@kit.edu

Prof. Dr. Uli Lemmer  
Tel.: 0721/608-42530  
ulrich.lemmer@kit.edu

Dr. Ulrich Paetzold  
(Perowskit PV)  
Tel.: 0721/608-26357  
ulrich.paetzold@kit.edu

Prof. Dr. Bryce S. Richards  
Tel.: 0721/608-26562  
bryce.richards@kit.edu

**Gedruckte Solarmodulzellen:**  
Einfache Prozesse bei niedrigen Temperaturen bieten ein hohes Kostenreduktionspotenzial.  
© ZAE/EnCN/Kurt Fuchs



## ZAE Bayern

Prof. Dr. Christoph Brabec  
Tel.: 09131/9398-100  
christoph.brabec@zae-bayern.de

Prof. Dr. Vladimir Dyakonov  
Tel.: 0931/70564-0  
vladimir.dyakonov@zae-bayern.de

PD Dr. Hans-Joachim Egelhaaf  
(gedruckte Solarmodule)  
Tel.: 0911/56854-9350  
hans-joachim.egelhaaf@zae-bayern.de

Dr. Christian Camus  
(PV-Systeme)  
Tel.: 09131/9398-152  
christian.camus@zae-bayern.de

## ZSW

Prof. Dr. Michael Powalla  
Tel.: 0711/7870-263  
michael.powalla@zsw-bw.de

## Organische und gedruckte Solarzellen

Solarzellen auf der Basis von Halbleitern gemischt in Lösung können mit Hilfe von Drucktechniken auf flexiblen Substraten großflächig hergestellt werden. Aktuelle Entwicklungen mit einer deutlichen Steigerung der Wirkungsgrade und Lebensdauern zeigen auf, dass gedruckte Solarmodule auch jenseits von Nischenanwendungen großes Potenzial aufweisen. Darüber hinaus lassen sie sich sehr einfach in Produkte und Gebäude integrieren.

Für die weitere Entwicklung organischer Solarzellen werden folgende Bereiche bearbeitet:

- Evaluierung neuer aus der Flüssigphase prozessierbarer Halbleitersysteme mit verbesserter Anpassung an das Solarspektrum und optimierten Ladungstransporteigenschaften
- Weiterentwicklung selektiver Schichten zwischen Elektrode und Absorber
- Verbesserung bestehender kostengünstiger Zellkonzepte und organischer Tandemsolarzellen
- Angepasste Produktionstechnologien wie zum Beispiel Rolle-zu-Rolle-Prozessierung
- Verbindungstechnologie
- Verkapselung insbesondere flexibler Solarzellen
- Verbesserung der Stabilität und Lebensdauer
- Lichtmanagement

## Konzentratorsolarzellen

Bei der PV-Konzentrator-Technologie wird das Sonnenlicht mittels einer Optik gesammelt und auf eine sehr kleine Solarzellenfläche gebündelt. So wird im PV-System teures Halbleitermaterial eingespart und es können die effizientesten Solarzellen (industriell gefertigte Mehrfachsolarzellen auf Basis von III-V-Halbleitern mit über 42% Wirkungsgrad) eingesetzt und die inhärenten Vorteile hoher Ladungsträgergenerationsraten genutzt werden.

Die PV-Konzentrator-Technologie eignet sich besonders für Kraftwerke an Standorten mit viel direkter Sonneneinstrahlung.

Zur Kostensenkung werden folgende Forschungsschwerpunkte bearbeitet:

- Solarzellenstrukturen für höchste Leistungsdichten (bis 2000 Sonnen)
- kostengünstige industrielle Fertigungstechnologien der Solarzellen und der konzentrierenden Optik
- Anpassung von Konzentrationsoptik und Solarzelle, innovativer Modulbau
- höhere Wirkungsgrade der Solarzellen
- Erforschung neuer Materialien

## Modultechnologie

Nach der elektrischen Verschaltung der Einzelzellen sorgt die Einkapselung dafür, dass Solarmodule auch unter extremen Klimabedingungen langfristig betrieben werden können und ermöglicht die sichere Montage.

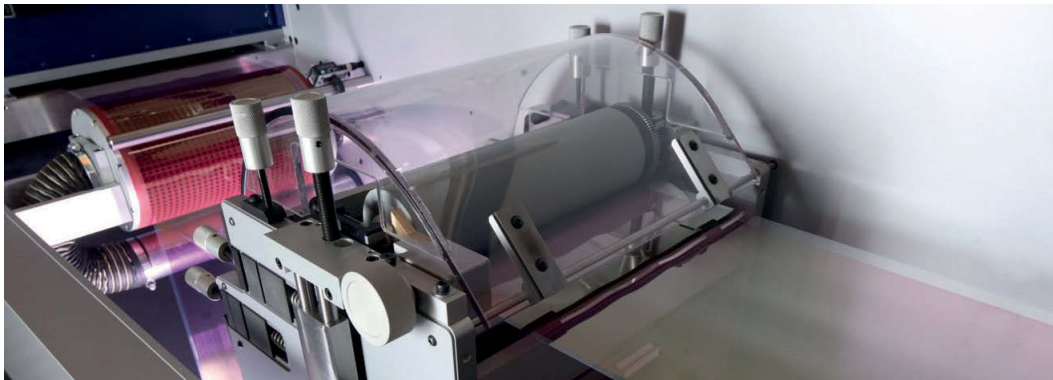
Forschungs- und Entwicklungsfragen sind unter anderem:

- Modultechnologien mit deutlich reduzierten Material- und Systemkosten
- Entwicklung von Hochleistungsmodulen mit hohem Flächenertrag
- verlustarme elektrische Verschaltungsmethoden und optisch effiziente Einkapselung
- deutlich gesteigerte technische Lebensdauern der Module für neue PV-Technologien
- Modultechnologien für spezielle Anwendungen, insbesondere für die Gebäudeintegration

## Gebrauchsdauer und Modulprüfung

Die erwartete Langzeitstabilität der Photovoltaik-Module muss für unterschiedlichste Klimabedingungen in geeigneten Alterungstests untersucht werden:

- Analyse und Modellierung von Alterungsmechanismen und deren Wechselwirkung
- Korrelation von natürlicher Alterung, beschleunigter Alterung und Prozessmodellen für die Degradation
- Verbesserung von Prüfverfahren und Weiterentwicklung für neue PV-Technologien
- Modellrechnung zur Alterung und Erstellung kinetischer Modelle zur Schadensbildung bei PV-Modulen



*Rolle-zu-Rolle Druck von organischen Solarmodulen: Einfache Prozesse bei niedrigen Temperaturen bieten ein hohes Kostenreduktionspotenzial.  
© ZAE/EnCN/Kurt Fuchs*

### Photovoltaische Kraftwerke und Systemtechnik

Photovoltaische Kraftwerke sind in Deutschland mittlerweile leistungsfähige und zuverlässige Stromlieferanten. Sie werden sowohl in Deutschland als auch weltweit eine tragende Rolle im zukünftigen Energiemix spielen.

Breite Forschungs- und Entwicklungsanstrengungen sind erforderlich:

- präzise Leistungs- und Ertragsprognosen von PV-Kraftwerken
- Steigerung der Performance Ratio (Verhältnis zwischen maximal möglichem und tatsächlich erreichten Ertrag) insbesondere für neue PV-Technologien
- Verstetigung der Stromproduktion im Tagesverlauf durch Erzeugungs-, Speicher- und Lastmanagement im Verteilnetz
- Technologieentwicklung zur Senkung der Systemkosten bei Material, Montage, Wechselrichter und allgemeine Elektroinstallation.
- Wartung und Zustandsdiagnose von Solarkraftwerken

### PV-Wechselrichter und Smart-Grid

Neben der Einspeisung von PV-Energie ins Netz können PV-Wechselrichter auch lokale Energiespeichersysteme steuern und zudem zur Spannungsstabilisierung im Stromnetz und zur Erhöhung der Übertragungskapazität beitragen. Darüber hinaus sollen PV- und Batterie-wechselrichter zunehmend netzbildend agieren, um die konventionellen Kraftwerke zu unterstützen und diese auch langfristig zu ersetzen.

Forschungs- und Entwicklungsfragen sind unter anderem:

- angepasste Wechselrichterlösungen zur Optimierung der Lastflüsse zwischen fluktuierenden und regelbaren Erzeugern, zeitabhängigen Verbrauchern und Speichern
- Entwicklung von kostengünstigen multifunktionalen „intelligenten“ Photovoltaik-Wechselrichtern, um lokal und regional die Lastflüsse zwischen fluktuierenden Erzeugern, zeitabhängigen Verbrauchern, Speichern und schnell regelbaren Stromerzeugern zu optimieren
- weitere Kostensenkung von Wechselrichtern sowie Steigerung der Zuverlässigkeit und Lebensdauer auf das Niveau von PV-Modulen
- Entwicklung von Algorithmen und Simulationen zur Steigerung der Eigenverbrauchsquote beim Zusammenspiel von PV-Anlage, Batteriespeicher und Wärmepumpe sowie für deren netzdienlichen Betrieb
- Neben klassischen Freiflächen- und Aufdachsystemen bieten gebäudeintegrierte Anlagen zukünftig ein hohes Flächenpotenzial. Um dieses Potenzial effektiv zu nutzen, bedarf es multifunktionaler Fassadenelemente sowie neuer Ansätze zur Verschaltung der Module zur Gebäudeintegration.

### Lebenszyklusanalyse und Recycling

Mit wachsenden Produktionskapazitäten für Solarzellen spielen Fragen des Recyclings, der technischen Lebensdauer und der Energierückzahlzeiten eine wichtige Rolle und sind zunehmend Gegenstand von Forschungs- und Entwicklungsprojekten:

- Reduktion von Material- und Energieeintrag bei der Herstellung
- Wiederverwertbarkeit der photovoltaischen Elemente und Materialien

## Solarthermische Kraftwerke und Hochtemperatur-Solarthermie (Strom und Prozesswärme)

**Solarturm des DLR in Jülich**  
Über 2000 bewegliche Spiegel (Heliostate) lenken einfallende Sonnenstrahlen auf den Solarturm, wo die konzentrierten Strahlen von einem Receiver aufgenommen und in Wärme umgewandelt werden. Angesaugte Umgebungsluft erhitzt sich auf bis zu 700 °C und erzeugt so Wasserdampf, der eine Turbine antreibt, die dann über einen Generator Strom produziert.  
© DLR



### Kontakte

#### DLR

Prof. Dr. Robert Pitz-Paal  
Tel.: 02203/601-2744  
robert.pitz-paal@dlr.de

Prof. Dr. Bernhard Hoffschmidt  
Tel.: 02203/601-3200  
bernhard.hoffschmidt@dlr.de

#### Fraunhofer ISE

Dr. Werner Platzer  
(Solarthermie)  
Tel.: 0761/4588-5983  
werner.platzer@ise.fraunhofer.de

Dr. Thomas Fluri  
(Solarthermische Kraftwerke)  
Tel.: 0761/4588-5994  
thomas.fluri@ise.fraunhofer.de

Dr. Thomas Schlegl  
(Energiesystemanalyse)  
Tel.: 0761/4588-5473  
thomas.schlegl@ise.fraunhofer.de

#### KIT

Prof. Dr. Robert Stieglitz  
Tel.: 0721/608-22550  
robert.stieglitz@kit.edu

Prof. Dr. Thomas Wetzel  
Tel.: 0721/608-23462  
thomas.wetzel@kit.edu

#### Wuppertal Institut

Dr. Peter Viebahn  
Tel.: 0202/2492-306  
peter.viebahn@wupperinst.org

In solarthermischen Kraftwerken (engl. CSP = Concentrating Solar Power) wird mittels konzentrierender Kollektorsysteme eine so hohe Temperatur in einem Wärmeträgerfluid erzeugt, dass damit der Einsatz von fossilen Brennstoffen in einem konventionellen Kraftwerk ganz oder teilweise ersetzt werden kann. Die Technologie kann auch zur Bereitstellung von industrieller Prozesswärme, zur Kraft-Wärme-Kopplung und zur Entsalzung verwendet werden.

Solarthermische Kraftwerke sind zum Ausgleich der fluktuierenden Erneuerbaren wie Wind und PV geeignet, da sie in Kombination mit thermischen Energiespeichern (z. B. Speichertanks mit heißem geschmolzenem Salz) den Betrieb der Anlage auch bei Wolkendurchgängen oder nach Sonnenuntergang fortsetzen können. Zusätzlich kann ein Dampfkessel für fossilen Brennstoff, Müll oder Biomasse dafür eingesetzt werden, die sonnenarmen Zeiten zu überbrücken.

- + Solarthermische Kraftwerke können bedarfsgerecht Strom produzieren, weil sie kostengünstig thermische Energiespeicher integrieren oder fossile und biogene Brennstoffe zufeuern können.
- + Sie können dies heute deutlich preiswerter als Batterien. Außerdem erzeugen sie kostengünstige Hochtemperaturprozesswärme.
- + Solarthermische Kraftwerke haben eine Energierücklaufzeit von wenigen Monaten.
- + Solarthermische Kraftwerke treiben rotierende Generatoren an und erhöhen damit die Netzstabilität.
- + Mit konzentrierenden Kollektoren kann außerdem kostengünstige Hochtemperaturprozesswärme erzeugt werden.

### Potenziale

2016 sind weltweit mehr als 5 GW an solarthermischen Kraftwerken in Betrieb. Bis 2020 wird eine Kapazität von mehr als 8,5 GW am Netz sein. Insbesondere in Südafrika, und in der MENA Region erfolgt zurzeit das größte Wachstum. Chile, Indien und China planen ebenfalls einen erheblichen Ausbau. Die IEA erwartet bis 2050 einen Beitrag von bis zu 8% des Strombedarfs vor allem im Sonnengürtel der Erde.

Werden solche Anlagen mit PV-Systemen kombiniert, um elektrische Lastkurven zu decken, können an guten Standorten schon heute Kosten von unter 10 €/ct/kWh erzielt werden.

Die weitere Integration solarthermischer Systeme in das europäische Verbundnetz erhöht die Stabilität der Netze auch in Deutschland und erlaubt mittelfristig sehr große Mengen an volatilen Wind- und PV-Strom stabil zu integrieren.

Ebenfalls besteht ein großes Potenzial für die Deckung des industriellen Prozesswärmebedarfs. Deutsche Unternehmen sind in der Projektentwicklung, bei Auslegung und bei der Lieferung von Komponenten im internationalen Wettbewerb gut aufgestellt.



## Forschungs- und Entwicklungsbedarf

Bei solarthermischen Kraftwerken unterscheidet man diese Typen:

- Parabolrinnensysteme
- Solarturmsysteme
- Fresnelkollektorsysteme

Für alle drei solarthermischen Kraftwerkstypen besteht folgender F&E-Bedarf mit dem übergeordneten Ziel der Kostensenkung:

- Erhöhung der Kollektor-Austrittstemperaturen zur Erhöhung des Kraftwerkswirkungsgrades.
- Automatisierung des Anlagenbetriebs
- Entwicklung kostengünstiger thermischer Speicher
- Gewichtsreduktion durch Struktur- und Materialoptimierung von Kollektoren und Konzentratoren
- Kostenoptimierte Verbesserung des optischen und thermischen Wirkungsgrades
- Entwicklung neuer Hybridkraftwerke und Optimierung von Betriebsführung
- Entwicklung beschleunigter Alterungsverfahren für Aussagen über die Lebensdauer der Systeme
- Optimierung der Fertigungs- und Montagelogistik
- Entwicklung von Standardisierungs- und Zertifizierungsmethoden für Komponenten und Systeme
- Erhöhung der Wüstentauglichkeit und Minimierung des Wasserverbrauchs
- Optimierung von PV-CSP Hybridsystemen

### Parabolrinnen- und Fresneltechnologie

- Weiterentwicklung der Direktverdampfungs-Technologie
- Entwicklung alternativer Wärmefluidе wie Silikonöle und Salzschnmelzen
- Selektive Solarabsorberschichten für hohe Temperaturen um 500 °C
- Entwicklung neuer optischer Konzentratorkonzepte

### Solarturm-Technologie

- Technologieentwicklung zur Einkopplung der Solarwärme in Gasturbinen zur Erschließung des Hochtemperaturpotenzials
- Entwicklung kostengünstiger bzw. hochreflektierender Spiegel, sowie Heliostate und Heliostatfeldsteuerungssysteme
- Neue Wärmträgerfluide mit erweitertem Temperatureinsatzbereich von 100–1000 °C (Salzmischungen, keramische Partikel, Metallschnmelzen)

### F&E für Hochtemperatur-Prozesswärme

Der Prozesswärmebedarf (80 bis 250 °C) verläuft in einigen Branchen parallel zum Strahlungsangebot. So könnten im Sommer nennenswerte Anteile des erhöhten Kühlbedarfs für Lebensmittel solar gedeckt werden. Insbesondere in Verbindung mit Wärmespeichern kann solare Prozesswärme auch für industrielle Prozesse bereitgestellt werden.

- Entwicklung integrierter Solaranlagentechnologien in mehreren Leistungsklassen und Demonstration in Pilotanlagen
- Entwicklung hocheffizienter und kostengünstiger Kollektoren, darunter auch konzentrierender Systeme für industrielle und gewerbliche Prozesswärme (auch in Verbindung mit KWK) sowie Meerwasserentsalzung
- Identifizierung erfolgsversprechender Anwendungen durch Vorstudien (Screening) in Zusammenarbeit mit Forschungseinrichtungen und Branchenverbänden (z. B. Getränkeindustrie)
- Monitoring des Anlagenbetriebs und Zusammenfassung der Ergebnisse in Branchenenergiekonzepten
- Weiterentwicklung und Optimierung von Systemkomponenten und von Regelungs- bzw. Betriebsautomatisierungssystemen
- Aufbau und Betrieb und Monitoring von Pilotanlagen
- Entwicklung und Kostenoptimierung von Komponenten (z. B. Absorber und Speicher) für die jeweiligen Anwendungstemperaturen
- Entwicklung angepasster Finanzierungs- und Geschäftsmodelle zur Förderung der Markteinführung bzw. Marktdurchdringung

## Niedertemperatur-Solarthermie (Wärme)

Röhrenkollektor  
© Fraunhofer ISE



### Kontakte

#### DLR

Prof. Dr. Robert Pitz-Paal  
Tel.: 02203/601-2744  
robert.pitz-paal@dlr.de

Prof. Dr. Bernhard Hoffschmidt  
Tel.: 02203/601-3200  
bernhard.hoffschmidt@dlr.de

Klaus Hennecke  
Tel.: 02203/601-3213  
klaus.hennecke@dlr.de

#### Fraunhofer ISE

Dr.-Ing. Wolfgang Kramer  
(Thermische Solaranlagen)  
Tel.: 0761/4588-5096  
wolfgang.kramer@ise.fraunhofer.de

Dr. Korbinian Kramer  
(Prüfung und Zertifizierung,  
TestLab Solar Thermal Systems)  
Tel.: 0761/4588-5139  
korbinian.kramer@ise.fraunhofer.de

#### ISFH

Dr. Federico Giovannetti  
Tel.: 05151/999-501  
f.giovannetti@isfh.de

Carsten Lampe  
Tel.: 05151/999522  
c.lampe@isfh.de

#### ZAE Bayern

Manfred Reuß  
Tel.: 089/329442-30  
manfred.reuss@zae-bayern.de

Rund 40% des Endenergieverbrauchs werden heute zur Beheizung von Gebäuden aufgewendet. Mittel- bis langfristiges Ziel ist es, im Neubau eine weitgehend vollständige Wärmeversorgung (Heizen und Brauchwasser) auf Basis von Solarwärme (aktiv und passiv) zu erreichen und im Gebäudebestand einen nennenswerten Anteil abzudecken. Ein weiteres Anwendungsgebiet mit wachsender Bedeutung ist die Bereitstellung von Prozesswärme auf höherem Temperaturniveau.

- + einfache und effiziente Wärmeerzeugung im Niedertemperaturbereich
- + niedrige Wartungs- und Betriebskosten
- + Verfügbarkeit und hohe flächenspezifische Erträge der Solarenergie
- + hohe Lebensdauer im Vergleich zu anderen Wärmeerzeugern

+ Niedertemperatur-Solarthermie ist mit allen anderen, konventionellen und erneuerbaren Wärmeerzeugern kompatibel und hat dabei systemstabilisierende Wirkung.

Sonnenkollektoren wandeln die auftreffende Sonnenstrahlung in Wärme um. Sie kann mit unterschiedlichen Technologien in verschiedenen Temperaturbereichen genutzt werden:

- Solarthermische Flach- oder Vakuumröhrenkollektoren erwärmen Brauch- und Trinkwasser für Haushalt und Raumheizung.
- Flach- und Vakuumkollektoren sowie konzentrierende Solarkollektoren (Parabolrinnen- und lineare Fresnelssysteme) stellen Prozesswärme auf höherem Temperaturniveau bereit für industrielle Anwendungen, für die Unterstützung von Wärmenetzen und zur Gebäudeklimatisierung.

### F&E für die Niedertemperatur-Solarthermie

- Entwicklung effizienter Kollektoren und Anlagenkonzepte für die Gebäudeheizung zur Erhöhung der Betriebssicherheit und Senkung der Kosten im System
- Konzepte zur Reduzierung des Installationsaufwandes
- Entwicklung von Photovoltaik/Solarthermie-Hybridkollektoren, insbesondere im Kontext einer optimierten Systemintegration
- Entwicklung verbesserter und kostengünstiger Langzeitspeicher
- Entwicklung von modellbasierten vernetzten Regelungssystemen und Fernüberwachungsverfahren zur Ertragsoptimierung
- Konzepte für die Integration von Solarkollektoren in die Gebäudehülle bzw. Entwicklung von solaraktiven Gebäudehüllen
- Weiterentwicklung und Erprobung von Systemkonzepten zur solarer Deckung über 50%, mit den

- Schwerpunkten Vereinfachung der Systemtechnik und Kostensenkung
- Nachweis der Wirksamkeit von Niedertemperatur-Solarthermie in Bezug auf Endenergieeinsparung in breit angelegten Felduntersuchungen
- Entwicklung effizienter und kostengünstiger Kollektoren zur Wärmeerzeugung auf höherem Temperaturniveau
- Demonstration von „neuen“ Anwendungsfeldern mit Evaluierung des Anlagenbetriebs: Mehrfamilienhäuser, Solare Wärmenetze (gesamte Bandbreite: kalte Nahwärme, Low-Ex, 100 °C Netze), Prozesswärme
- Neue Materialien für kostengünstige Systeme und intelligente Gebäudeintegration
- Weiterentwicklung der Systemtechnik von Solarluftkollektoren



## Windenergie



**Windenergieanlagen**  
Onshore (Quelle: Fraunhofer IWES)  
und Offshore (Quelle: DOTI)

Windenergieanlagen wandeln die kinetische Energie der bewegten Luftmassen in elektrische Energie. Moderne Windkraftanlagen nutzen das Auftriebskonzept und entziehen dem Luftstrom einen Teil der Leistung. Bei der Windenergienutzung gehört Deutschland seit langem zu den Spitzenländern und steht nach China und den USA auf dem dritten Platz. Weltweit waren Ende 2015 Anlagen mit einer Gesamtleistung von ca. 430 GW installiert, davon über 43 GW in Deutschland (Quelle: WWEA).

Die Nutzung der Windenergie ist zu einem bedeutenden Wirtschaftsfaktor geworden: In Deutschland trug die Windenergie im Jahr 2015 einen Anteil von rund 14 % zur Bruttostromerzeugung bei. Allein mit der Windenergienutzung an Land könnten bis zu 65 % des deutschen Strombedarfs gedeckt werden. Hier liegen die Stromgestehungskosten je nach Windstärke und Anlagengröße bei 5–11 Cent/kWh (Quelle: windmonitor.de) und können somit bereits heute an sehr guten Standorten mit denen konventioneller Kraftwerke konkurrieren. Rund 390 TWh ließen sich mit einer Gesamtleistung von knapp 200 GW verteilt auf je 2 % der Fläche aller deutschen Bundesländer jährlich erzeugen (Quelle:

BWE/Fraunhofer IWES). Bestehende Standorte lassen sich durch Repowering ertragreicher nutzen. Darunter versteht man den Ersatz älterer Anlagen mit geringer Leistung durch moderne Multimegawattanlagen. Für die Windenergienutzung auf See hat die Bundesregierung eine Leistung von 15 GW bis zum Jahr 2030 als Ziel formuliert. Davon sind bisher rund 3,5 GW realisiert. Die Offshore-Windenergie ist besonders attraktiv, weil mit einer Anlage gleicher Leistung mehr als doppelt so hohe Erträge wie im Binnenland erzielt werden können. Die technologischen und logistischen Anforderungen sind aber auch deutlich höher und die Kosten für die Stromerzeugung aus Offshore-Windenergie sind derzeit mit 11–18 Cent/kWh (Quelle: windmonitor.de) noch etwa doppelt so hoch wie an Land.

Die wesentlichen Vorteile von Windenergie sind:

- + niedrige Stromerzeugungskosten
- + weltweit einsetzbar
- + sehr gut regelbar (Systemdienstleistungen)

Eines der wichtigsten Ziele der Forschung und Entwicklung ist eine weitere Kostenreduktion. Branchenexperten erwarten weitere 25–30 % bis 2030 (Quelle: IEA).

### Forschungs- und Entwicklungsbedarf

#### Weiterentwicklung der Anlagentechnik

- Gewichtsreduktion durch neue Materialien, Verbundwerkstoffe und neue Bauweisen
- Elastizität, Strukturmechanik und Flattern
- Geräuschreduktion
- innovative Regelungsverfahren
- Generatoren und Leistungselektronik
- neue Anlagenkonzepte
- adaptive Rotoren
- automatisierte Produktionsverfahren
- computerbasierte Designprozesse
- Simulation und Optimierungsverfahren

#### Wind-Klimatologie und Umgebungsbedingungen

- Verbesserte Windpotenzialbestimmung
- Zielgenaue Standortfindung in komplexem Gelände
- Genauere Bestimmung der Schallausbreitung und -einwirkung
- Standortspezifische Anlagenauslegung
- Wind- und Wellencharakteristik für Offshore-Anwendungen

#### Systemtechnische Einbindung

- Regelung und Betriebsführung von Windparks
- Fehlerfrüherkennung, zuverlässigkeits- und zustandsorientierte Instandhaltung
- Informations- und Kommunikationssysteme
- Netzwechselwirkungen und Systemdienstleistungen
- Verbesserte Windleistungsprognosen

### Kontakte

#### DLR

Dr. Jan Teßmer  
Tel.: 0531/295-3217  
jan.tessmer@dlr.de

Dr. Sarina Keller  
Tel.: 02203/601-4848  
sarina.keller@dlr.de

#### Fraunhofer IWES

Dr. Antje Wagenknecht  
(Windparkplanung und -betrieb,  
Antriebs- und Systemtechnik,  
Strukturkomponenten)  
Tel.: 0471/14290-205  
antje.wagenknecht@  
iwes.fraunhofer.de

Prof. Dr. Kurt Rohrig  
(Energiewirtschaft und  
Netzbetrieb)  
Tel.: 0561/7294-330  
kurt.rohrig@iwes.fraunhofer.de

Martin Shan  
(Regelungstechnik)  
Tel.: 0561/7294-364  
martin.shan@iwes.fraunhofer.de

#### KIT

Prof. Dr. Stefan Emeis  
Tel.: 08821/183-240  
stefan.emeis@kit.edu



## Bioenergie (Strom, Wärme, Kraftstoffe)

Abbildung nach  
„Smart Bioenergy“:  
(Hrsg.: Prof. Dr. Daniela Thrän –  
DBFZ/UFZ)



### Kontakte

#### DBFZ

Prof. Dr. Michael Nelles  
Tel.: 0341/2434-113  
michael.nelles@dbfz.de

Romann Glowacki  
Tel.: 0341/2434-464  
romann.glowacki@dbfz.de

#### DLR

Dr. Marina Braun-Unkloff  
Tel.: 0711/6862-508  
marina.braun-unkloff@dlr.de

Dr. Andreas Huber  
Tel. 0711/6862-734  
Andreas.Huber@dlr.de

Dr. Antje Seitz  
Tel.: 0711/6862-484  
antje.seitz@dlr.de

#### GFZ

Dr. Hilke Würdemann  
Tel.: 0331/288-1516  
wuerdemann@gfz-potsdam.de

#### Fraunhofer ISE

Dr.-Ing. Achim Schaadt  
Tel.: 0761/4588-5428  
achim.schaadt@ise.fraunhofer.de

#### Fraunhofer IWES

Dr. Bernd Krautkremer  
Tel.: 0561/7294-420  
bernd.krautkremer@iwes.fraunhofer.de

#### IZES

Bernhard Wern  
(Stoffstrommanagement)  
Tel.: 0681/9762-174  
wern@izes.de

Dr. Bodo Groß  
Tel.: 0681/9762-851  
gross@izes.de

Die energetische Nutzung von Biomasse ist ein wichtiger Baustein der Energiewende. Im Jahr 2015 hatte Biomasse einen Anteil von 8% am deutschen Primärenergieverbrauch (Quelle: BMWi 2016). Dieser Anteil entspricht 64% aller erneuerbaren Energien (EE).

### Ausgleichsfunktion

- + Durch gute Speicherbarkeit und wetterunabhängige Verfügbarkeit kann Bioenergie künftig in einem erneuerbaren Energiesystem dazu beitragen, Restbedarfe bei Strom, Wärme und Mobilität abzudecken, die nach Einsatz der fluktuierenden erneuerbaren Energien und der Effizienztechnologien noch verbleiben.
- + Durch die Kombination von Bioenergie und anderen Erneuerbaren sind alternative regionale Versorgungssysteme realisierbar.

### Querschnittsthema

Bioenergie bietet zeitlich und räumlich flexible Lösungen für Strom, Wärme und Kälte sowie für Mobilität. Daher muss sie mit allen anderen Komponenten im Energiesystem intelligent verknüpft werden.

- **Strom:** Feste Biomasse wird in (Heiz-)Kraftwerken verstromt; flüssige und gasförmige Biomasse kann mit Gasturbinen oder Motoren umgewandelt werden. Zukünftig werden die Anlagen flexibel betrieben, um zur Systemstabilisierung beizutragen. Neue Netzdienstleistungen wie Regelernergie und Residuallastdeckung entstehen. Nicht alle Kraftwerke können diese Aufgaben in gleicher Effizienz bewältigen.
- **Mobilität:** Biogene Treib- und Brennstoffe können fossile Kraftstoffe im Idealfall CO<sub>2</sub>-neutral ersetzen sowie mobile und stationäre Brennstoffzellen versorgen. Für Biokraftstoffe ist die Bandbreite geeigneter Ressourcen, technischer Ansätze und Endprodukte sehr groß. Heutige Biokraftstoffe werden in der Regel aus öl-, zucker- oder stärkehaltigen Rohstoffen gewonnen. Die Herstellung künftiger Biokraftstoffe

wird auch Abfälle, land- und forstwirtschaftliche Nebenprodukte sowie verstärkt Lignocellulose nutzen. Zudem gibt es vielversprechende Optionen, Biomethan als Erdgassubstitut mit guten Umwelteffekten im Verkehr zu nutzen.

- **Wärme / Kälte:** Durch Verbrennung ist Biomasse direkt in Wärme umwandelbar: als feste oder flüssige Biomasse im Heizkessel, als Biogas oder Biomethan in Gasthermen. Außerdem fällt bei der Umwandlung von Bioenergieträgern in Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen neben Strom immer Wärme an, die ressourceneffizient zum Heizen oder – mit Hilfe von thermisch betriebenen Kälteanlagen – zum Kühlen genutzt wird. In den Sommermonaten, wenn der Bedarf an Wärmeleistung sinkt, dafür aber mehr Kühlung bzw. Klimatisierung benötigt wird, bietet sich das Konzept der Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung (KWKK) an. Insbesondere in Dampfprozessen kann Biomasse auch Prozessenergie bereitstellen.

### Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung (KWKK)

Durch Kogeneration von Strom und Wärme/Kälte wird der Energiegehalt von Biomasse hocheffizient genutzt. KWKK-Anlagen für holzartige Biomasse sowie für Biogas und Biomethan sind in einem großen Leistungsbereich verfügbar und vielfältig einsetzbar. Verwendet werden u. a. Stirling-Motoren, Dampfmaschinen, Gasmotoren, (Mikro-)Gasturbinen, Holzvergaser mit Gasmotor oder Mikrogasturbine, ORC-Anlagen (Organic Rankine Cycle Technik) und Dampfturbinen.

### Effiziente Technologien

Ausgangspunkt für die Weiterentwicklung der Bioenergie sind energieeffiziente, emissionsarme Konversionstechnologien. Eingesetzt werden biologisch-chemische, thermo-chemische und physikalisch-chemische Umwandlungsprinzipien. Zentrale Herausforderung ist die Flexibilisierung dieser Komponenten zu „smartem“ Bereitstellungskonzepten: Dabei geht es einerseits um ein integriertes Energiesystem, in dem die Bioenergie



zielgerichtet andere fluktuierende erneuerbare Energiequellen im optimierten Zusammenspiel ergänzt und andererseits um die gekoppelte stofflich-energetische Nutzung der Biomasse im Rahmen der Bioökonomie (s. u.).

## Integrierte stofflich-energetische Nutzung

In der Bioökonomie wird die Ressource Biomasse durch die Kopplung von stofflicher und energetischer Nutzung sowie Kaskadennutzung höchsteffizient eingesetzt. Es entstehen neue und verlängerte Nutzungspfade und Wertschöpfungsketten. In Bioraffinerien wird die Prozessenergie klimaneutral aus einem Teil der einge-

setzten Biomasse bereitgestellt oder als Energieträger ausgekoppelt. Die eingesetzten Rohstoffe werden vollständig genutzt und Nährstoffe können in geschlossenen Kreisläufen geführt werden.

## Nachhaltige Rohstoffbasis

Die Verfügbarkeit von Biomasse ist limitiert. Im Ausbau von Koppel- und Kaskadennutzung, dem Schließen von Stoffkreisläufen sowie der Nutzung biogener Reststoffe liegen aber noch erhebliche Ausbau- und Optimierungspotenziale. Um diese Potenziale zu heben, sind Lebenszyklusanalysen zur Nachhaltigkeitsbewertung ein wesentliches Element.

## Forschungs- und Entwicklungsbedarf

Bioenergie soll technisch und ökonomisch effizienter sowie ökologisch verträglicher werden. Die Forschung zielt auf die optimale energetische Biomassenutzung.

### F&E zur Einbindung von Bioenergie in das Energiesystem

Bioenergie muss ganzheitlich, systembezogen und im Zusammenspiel mit den anderen erneuerbaren Energieformen weiterentwickelt werden.

- Systemanalyse der bedarfsgerechten Bioenergiebereitstellung und Ableitung von Steuerungselementen
- Untersuchung der Bedeutung einer bedarfsgerechten Bioenergiebereitstellung im Rahmen der Sektorkopplung
- Markt- und Optimierungsmodelle zur Einbindung von Bioenergie ins Energiesystem, insbesondere jenseits des EEG: integrierte (inter-)kommunale Energiekonzepte zur Mobilisierung und Nutzung biogener Reststoffe
- Netzdienstleistungen von Bioenergieanlagen
- ökologische Aspekte und Nachhaltigkeitskriterien der Biomasseproduktion und stofflich-energetischen Nutzung
- räumliche, strukturelle und politische Rahmenbedingungen der Bioenergieproduktion
- Monitoringsysteme und Minimierung von Nutzungskonkurrenzen
- Verbesserung der lokalen Effekte und sozialen Akzeptanz von Biomassebereitstellung und Bioenergienutzung

### F&E zur Bereitstellung von Strom, Wärme und Kälte

Die dezentrale und kosteneffiziente Bereitstellung von Strom, Wärme und Kälte im industriellen und privaten Sektor soll weiter optimiert werden.

- Anlagenkonzepte für die netz- und versorgungsstabilisierende Integration von Bioenergieanlagen in bestehende und zukünftige Infrastrukturen
- Prozessregelung für die bedarfsgerechte Anlagenflexibilisierung
- Entwicklung weitgehend emissionsfreier Kesseltechnik
- Einbindung von ORC-Anlagen, Turbinen und Vergasersystemen sowie (Mikro)-Kraft-Wärme-Kälte Kopplungsanlagen
- Optimierung von schadstoffarmen, last- und brennstoff-flexiblen Kraft-Wärme-Kälte Kopplungsanlagen
- Erhöhung der Lebensdauer insbesondere der hochbelasteten Heißgaskomponenten in Bezug auf erhöhte Anzahl der Startvorgänge und Lastwechsel
- Reduktion der Herstellungskosten insbesondere der hochbelasteten Heißgaskomponenten
- Gasreinigungsverfahren zum Synthesegaseinsatz in Brennstoffzellen
- Tools zur Planung und Wirtschaftlichkeitsbeurteilung von Nahwärmenetzen mit Speichern auf Basis von Biomasse
- Untersuchung der Möglichkeiten, Solarthermie in Nahwärmenetzen zur Substitution von Biomasse zu verwenden

### F&E zur Bereitstellung von Kraftstoff

Biokraftstoffe stellen eine wichtige Alternative zu fossilen Kraftstoffen dar. Ihr CO<sub>2</sub>-Minderungspotenzial muss weiter ausgeschöpft und Nutzungskonkurrenzen müssen reduziert werden.

- hocheffiziente Kraftstoffbereitstellung in neuen Bioraffinerien
- bevorzugte Nutzung von Biomasse zweiter und auch dritter Generation
- Nutzung von (überschüssiger) Windenergie und C-Quellen

## Jülich

Dr. Andreas Müller  
(Pflanzenwissenschaften)  
Tel.: 02461/61-3528  
a.mueller@fz-juelich.de

Dr. Michael Müller  
Tel.: 02461/61-6812  
mic.mueller@fz-juelich.de

Prof. Dr.-Ing. Detlef Stolten  
(Elektrochemische  
Verfahrenstechnik)  
Tel.: 02461/61-3076  
d.stolten@fz-juelich.de

## KIT

Prof. Dr. Nicolaus Dahmen  
Tel.: 0721/608-22596  
nicolaus.dahmen@kit.edu

Prof. Dr. Georg Müller  
(Vorbehandlung und Extraktion)  
Tel.: 0721/608-24669  
georg.mueller@kit.edu

Prof. Dr.-Ing. Dieter Stapf  
(Biogene Energieträger)  
Tel.: 0721/608-29270  
dieter.stapf@kit.edu

## UFZ

Prof. Dr. Daniela Thraen  
Tel.: 0341/235-1267  
daniela.thraen@ufz.de

Dr. Sabine Kleinsteuber  
Tel.: 0341/235-1325  
sabine.kleinsteuber@ufz.de

## Wuppertal

Karin Arnold  
Tel.: 0202/2492-286  
karin.arnold@wupperinst.org

## ZAE Bayern

Prof. Dr.-Ing. Hartmut Spliethoff  
Tel.: 089/329442-0  
hartmut.spliethoff@zae-bayern.de

## ZSW

Dr. Michael Specht  
Tel.: 0711/7870-218  
michael.specht@zsw-bw.de



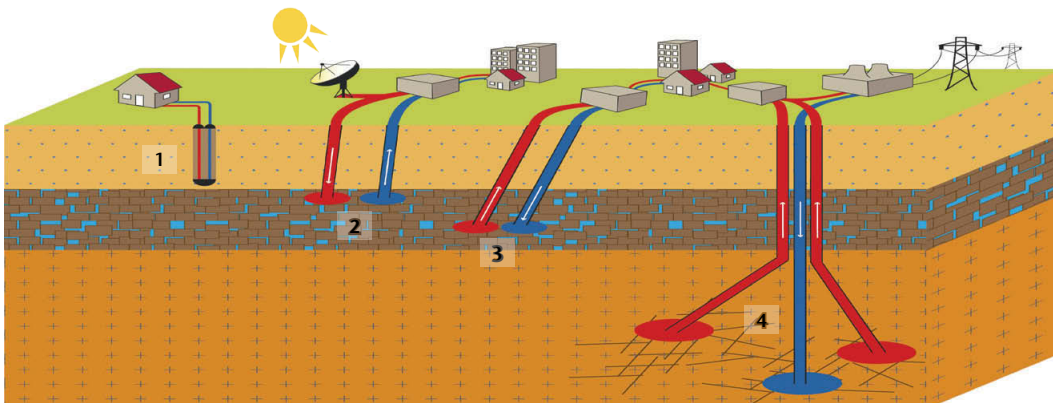
- fermentative Herstellung von Energieträgern
- Verfahren auf Basis von pflanzlichen Ölen und Reststoffen aus Industrie, Haushalten, Agrarproduktion, Forstwirtschaft und Algen
- Maximierung des Kohlenstoff-Nutzungsgrades bei der Kraftstofferzeugung
- Neue Gastrenn-, Gasreinigungs- und Gaskonditionierungsverfahren
- Entwicklung schadstoffresistenter Katalysatoren zur Gaskonditionierung und Kraftstoffsynthese
- Weiterentwicklung und Optimierungsansätze der Bioraffineriekonzepte
- Ökologische Bedeutung einer verstärkten Bereitstellung von Biotreibstoffen der ersten Generation als Kopplungsprodukte der Proteinherstellung

### **F&E zur integrierten stofflichen und energetischen Nutzung**

Biomasse dient als Ausgangsstoff unzähliger Wertschöpfungsketten. Die Forschung verfolgt eine gekoppelte, kaskadierende Nutzung. Auch bei einer energetischen Vornutzung können stofflich nutzbare Produkte anfallen.

- Energieträger / Prozessenergie aus Nebenprodukten stofflicher Prozesse
- Entwicklung neuer Koppel- und Kaskadennutzungspfade
- Prozesse zur Abtrennung von Nährstoffen und zum Schließen von Stoffkreisläufen
- Integration neuer Wertschöpfungsketten in bestehende Bioenergieprozesse

## Geothermie (Strom, Wärme und Kälte)



### Optionen zur Nutzung der Erdwärme:

1. Geschlossener Wärmeentzug für oberflächennahe Systeme
  2. Saisonale Speicherung von z. B. solar erzeugter Wärme in porösen, tiefen Grundwasserschichten
  3. und 4. Bereitstellung von Wärme und/oder Strom:
  3. Dublette zum Anschluss tiefer Heißwasser führender Schichten
  4. Triplette mit Zugang zu stimulierten Reservoiren
- © GFZ

- + Geothermie ist eine erneuerbare und umweltfreundliche Energiequelle.
- + Mit Geothermie kann sowohl Strom als auch Wärme oder Kälte bereitgestellt werden.
- + Tiefe Geothermie fluktuiert nicht und oberflächennahe Geothermie nur wenig. Somit kann Geothermie die Schwankungen anderer erneuerbarer Energien ausgleichen.

## Tiefe Geothermie

Tiefe Geothermie bezeichnet Bohrungen in 2–5 Kilometern Tiefe zur Versorgung größerer Wärmenetze und zur Bereitstellung von elektrischem Strom.

### Potenziale

Enhanced Geothermal Systems (EGS) werden in Mitteleuropa als Option mit dem größten Potenzial gesehen.

Darunter versteht man tiefe geothermische Systeme, bei denen produktivitätssteigernde Maßnahmen im Reservoir durchgeführt werden, um eine wirtschaftliche Nutzung zu erreichen. Die enormen geothermischen Potenziale können mit sicherer Erkundung und Erschließung der Wärmequellen sowie hoher Effizienz der Übertageanlagen geschöpft werden.

### Kontakte

#### Fraunhofer ISE

Dr. Doreen Kalz  
(Kühlung und Klimatisierung von Gebäuden)  
Tel.: 0761/4588-5403  
doreen.kalz@ise.fraunhofer.de

#### GFZ

Prof. Dr. Ernst Huenges  
Tel.: 0331/288-1440  
huenges@gfz-potsdam.de

#### KIT

Prof. Dr. Thomas Kohl  
Tel.: 0721/608-45220  
thomas.kohl@kit.edu

Dr. Dietmar Kuhn  
(Verfahrenstechnik)  
Tel.: 0721/608-23483  
dietmar.kuhn@kit.edu

Prof. Dr. Britta Nestler  
(Materialsimulation)  
Tel.: 0721/608-45310  
britta.nestler@kit.edu

#### UFZ

Prof. Dr. Haibing Shao  
Tel.: 0341/235-1884  
haibing.shao@ufz.de

#### ZAE Bayern

Dr. Jens Kuckelkorn  
Tel.: 089/329442-17  
jens.kuckelkorn@zae-bayern.de

### Forschungs- und Entwicklungsbedarf

Ziel ist es, von der vorwettbewerblichen Demonstration zu einer breiteren Marktdurchdringung zu kommen. Schlüsselthemen dabei sind:

- **Minimierung des Fündigkeitsrisikos**  
Verbesserte Erkundungsmethoden tragen dazu bei, die spezifischen Gesteins- und Reservoireigenschaften genauer vorherzusagen und das Fündigkeitsrisiko zu minimieren.
- **Sicherung einer nachhaltigen Lagerstättenproduktivität**  
Spezifische Kostensenkung sollen durch Verfahren zur künstlichen Erhöhung der Produktivität eines geothermischen Reservoirs nach dem EGS-Konzept erreicht werden.

- **Gewährleistung eines effizienten und nachhaltigen Anlagenbetriebs**  
Die Systemverlässlichkeit einer Gesamtanlage muss betriebsbegleitend getestet und schrittweise hin zu hoher Effizienz weiterentwickelt werden.



## Umweltwärme

### Kontakte

#### Fraunhofer ISE

Dr. Doreen Kalz  
(Kühlung und Klimatisierung  
von Gebäuden)  
Tel.: 0761/4588-5403  
doreen.kalz@ise.fraunhofer.de

#### GFZ

Prof. Dr. Ernst Huenges  
Tel.: 0331/288-1440  
huenges@gfz-potsdam.de

#### ISFH

Fabian Hüsing  
Tel.: 05151/999-645  
huesing@isfh.de

#### UFZ

Dr. Thomas Vienken  
Tel.: 0341/235-1382  
thomas.vienken@ufz.de

Prof. Dr. Haibing Shao  
Tel.: 0341/235-1884  
haibing.shao@ufz.de

#### ZAE Bayern

Dr. Jens Kuckelkorn  
Tel.: 089/329442-17  
jens.kuckelkorn@zae-bayern.de

Oberflächennahe Geothermie kann verschieden genutzt werden: als Wärmequelle in Verbindung mit Wärmepumpen zur Beheizung von Einzelgebäuden und Stadtquartieren oder als Wärmesenke für die Kühlung von Gebäuden. Ein wesentlicher Vorteil ist, dass oberflächennahe Geothermie mit verhältnismäßig geringem Aufwand erschlossen werden kann und flächendeckendes Anwendungspotenzial in Neubau und Bestand besitzt.

### Saisonale Wärme- oder Kältespeicherung

Zur saisonalen Wärmespeicherung wird Wasser aus einem Aquifer entnommen und erwärmt. Anschließend wird das erwärmte Wasser zur Speicherung in dasselbe oder ein räumlich getrenntes Reservoir eingebracht. Wärme zur Beladung kann aus verschiedenen Quellen

stammen; z. B. Abwärme aus Industrie oder Gebäudekühlung, Solarthermie, Power2Heat oder stromgeführte Blockheizkraftwerke. Zur Entladung wird die Pump-richtung umgedreht und die Wärme (z. B. mittels Wärmepumpe) entzogen.

- + Die Nutzung geothermischer Wärmespeicher kann die kostengünstige Erschließung dringend benötigter großer Speicherkapazitäten für erneuerbare Wärmeversorgungskonzepte realisieren.
- + Als Reservoir großer Wärmekapazität kann das Erdreich die Angebotsschwankungen volatiler Erzeuger (z. B. Solarthermie) ausgleichen. Im oberflächennahen Bereich können so bodengestützte Wärmepumpensysteme effizient unterstützt werden.

## Forschungs- und Entwicklungsbedarf

### Oberflächennahe Geothermie

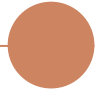
Systeme der oberflächennahen Geothermie mit Erdwärmesonden und Wärmepumpen sollen noch effizienter und umweltsicherer werden. Nötig sind:

- **Nachhaltige Untergrundnutzung**  
Negative Effekte bei Bau und Betrieb müssen durch Anwendung verlässlicher Erkundungs- und Beobachtungsmethoden sowie geeigneter Wärme-managementkonzepte minimiert werden.
- **Systemoptimierung unter- und übertage**  
Höhere Betriebssicherheit und insbesondere höhere Arbeitszahlen werden sowohl durch Verbesserung an den Erdwärmesonden als auch in der Verteilung von Wärme/Kälte in Gebäuden erreicht. Die Kombination regenerativer elektrischer und thermischer Energie mit Wärmepumpen und geothermischen Anlagen ermöglicht effiziente Wärmeversorgungssysteme; erfordert allerdings optimierte Komponenten und Regelungsstrategien

### Aquiferspeicherung von Wärme/Kälte

- **Integration von Wärme- und Kältespeichern**

Das volkswirtschaftlich relevante hohe Speicherpotenzial soll nutzbar gemacht werden. Insbesondere muss aufgrund der sehr langen Be- und Entladungszeiten die Integration in Energieversorgungssysteme verbessert werden.



## Meeresenergie



*Gezeitenströmungskraftwerk „SeaGen“, Leistung 1,2 MW  
Quelle: Fraunhofer IWES*

Der Tidenhub der Gezeiten ermöglicht den Einsatz konventioneller Wasserturbinen zur Stromerzeugung. Zurzeit sind weltweit Anlagen mit insgesamt etwa 523 MW elektrischer Leistung installiert.

Wellenenergie beruht auf der Wechselwirkung zwischen der Meeresoberfläche und dem Wind. Das technische Potenzial in Europa wird auf über 1200 TWh/a geschätzt.

Meeresströmungen werden in Küstennähe vor allem durch die Gezeiten verursacht. Unter geeigneten topologischen Bedingungen kann die Strömungsgeschwindigkeit des Wassers für eine kommerzielle Stromerzeugung genutzt werden. Das weltweite technische Potenzial wird auf etwa 1500 TWh/a geschätzt, knapp 10% davon in Europa.

Die europäische Meeresenergiebranche erwartet bis 2020 die Installation von Anlagen mit einer Gesamtleistung von rund 300 MW, etwa zwei Drittel davon entfallen auf Gezeitenströmungen.

Das Potenzial maritimer Energiequellen für den deutschen Küstenbereich ist vergleichsweise gering. Die Technologien zur Nutzung dieser Energiequellen haben aber auch für Deutschland langfristige Bedeutung: Die deutsche Anlagentechnik ist ein wertvoller Exportfaktor, und die andernorts so bereitgestellte nachhaltige Energie kann als Strom oder synthetischer Energieträger nach Deutschland importiert werden. In Deutschland sind mehrere Universitäten sowie Forschungsinstitute und mittelständische Industrieunternehmen, aber auch Großkonzerne und große Energieversorger im Meeresenergiesektor aktiv.

### Kontakte

*Fraunhofer IWES  
Jochen Bard  
Tel.: 0561/729-346  
jochen.bard@iwes.fraunhofer.de*

### Forschungs- und Entwicklungsbedarf

Im Vergleich zur Windenergie stehen die Meeresenergie-Technologien noch am Anfang. Neben einer Anzahl von Demonstrationsanlagen befinden sich erste kleine Anlagenparks im Bau. Ziel ist es, die erheblichen vorhandenen Potenziale wirtschaftlich nutzbar zu machen. Dazu ist die Skalierung der Anlagenleistungen erforderlich, sowie die Identifizierung und gezielte Förderung der vielversprechendsten Technologien und Anlagenkonzepte, ebenso wie eine vertiefte Vernetzung der Forschung und der Industrie.