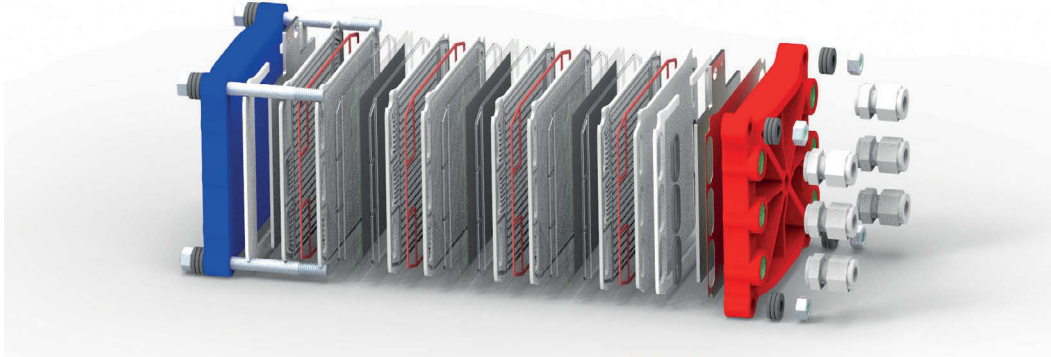


Brennstoffzellen



PEMFC-Brennstoffzellen
aus dem ZSW
© ZSW

Brennstoffzellen wandeln einen Brennstoff zusammen mit (Luft-)Sauerstoff in Strom und Wärme um. Sie können je nach Brennstoffzellentyp entweder mit Wasserstoff oder mit kohlenwasserstoffhaltigen Brennstoffen wie Methanol, Erdgas, Benzin oder Diesel betrieben werden.

Brennstoffzellen können die Effizienz des Energiesystems deutlich steigern und zu den Emissionsreduktionszielen beitragen. Sie bieten emissionsfreie, individuelle und öffentliche Mobilität mit ähnlichen Möglichkeiten wie konventionelle Antriebe.

- + Brennstoffzellen erreichen bei besonders niedrigen Schadstoffemissionen besonders hohe elektrische Wirkungsgrade und einen hohen Gesamtnutzungsgrad bei gleichzeitiger Wärmenutzung.
- + Sie sind sowohl für die dezentrale Strom-Wärme-Versorgung als auch für den Antrieb von Elektrofahrzeugen geeignet. Hier sind erhebliche Brennstoffeinsparungen und Leistungserhöhungen möglich.
- + Schon der Brennstoffzellenbetrieb auf Basis fossiler Energiequellen bringt eine erhebliche CO₂-Einsparung und damit eine Entlastung des Klimasystems. In Verbindung mit erneuerbaren Brennstoffen ist eine CO₂-neutrale Stromerzeugung möglich.

Potenziale

- Bis 2050 wird die Mobilität mit Brennstoffzellen einen signifikanten Anteil erreicht haben und spürbar zur Reduktion der Verkehrsemissionen beitragen.
- Bereits jetzt halten Brennstoffzellen Einzug in die Hausenergieversorgung. Durch ihren hohen Gesamtwirkungsgrad dank Kraft-Wärme-Kopplung werden sie vor allem im Gebäudebestand dazu beitragen, die Emissionen zu senken. Allein in Japan wurden mehr als 120.000 Hausenergiesysteme verkauft, womit dort die Schwelle zur Kommerzialisierung schon geschafft wurde.
- Die Direkt-Methanol-Brennstoffzelle (DMFC) hat für kleine Stromversorgungen bereits die Schwelle zur Kommerzialisierung überschritten. Weit mehr als 33.000 Systeme haben als netzunabhängige Stromversorgung z. B. für Wohnmobile und Yachten den Einzug in den Alltag gefunden.
- Aus den Feldversuchen resultieren viele Erkenntnisse über den Alltagsbetrieb, die in die Entwicklung der Produkte der nächsten Generation einfließen. Hinzu kommt die Entwicklung kostengünstiger Lösungen, sowohl bei den Kernkomponenten (Membran, Katalysatoren, Bipolarplatten) als auch bei den peripheren Komponenten (Pumpen, Ventile, Sensoren).

Kontakte

DLR

Prof. Dr. K. Andreas Friedrich
Tel.: 0711/6862-278
andreas.friedrich@dlr.de

Fraunhofer ISE

Dr. Christopher Hebling
(Wasserstofftechnologien,
Wasserstoffinfrastruktur)
Tel.: 0761/4588-5195
christopher.hebling@ise.fraunhofer.de

Dipl.-Ing. Ulf Groos
(Brennstoffzellensysteme)
Tel.: 0761/4588-5202
ulf.groos@ise.fraunhofer.de

IZES

Dr. Bodo Groß
Tel.: 0681/844 972-51
gross@izes.de

Jülich

Prof. Dr. Detlef Stolten
Tel.: 02461/61-3076
d.stolten@fz-juelich.de

KIT

Prof. Dr. Ellen Ivers-Tiffée
(elektrochem. Charakterisierung
u. Modellierung)
Tel.: 0721/608-47490
ellen.ivers-tiffée@kit.edu

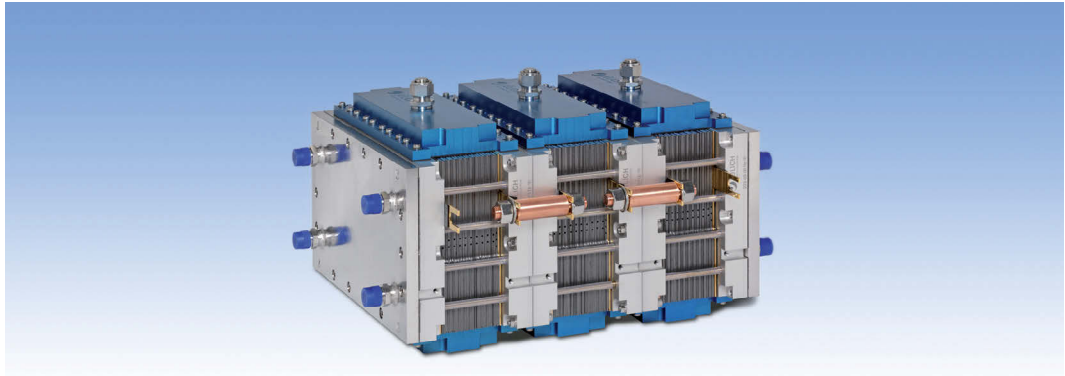
Dr. André Weber
Tel.: 0721/608-47572
andre.weber@kit.edu

Forschungs- und Entwicklungsbedarf für Brennstoffzellen

Zur Begleitung der Markteinführung von Brennstoffzellen und der Entwicklung der nächsten Produktgeneration sind weitere, umfangreiche Forschungs- und Entwicklungsanstrengungen erforderlich.

- kompakte Niedertemperatur-Brennstoffzellen (Polymer Elektrolyte Fuel Cells = PEMFC)
- Solid Oxide Fuel Cells (SOFC) und Molten Carbonate Fuel Cells (MCFC) für unterschiedliche Brennstoffe
- Direkt-Kohlenstoff-Brennstoffzelle, die reines CO₂ als Verbrennungsprodukt liefert
- „reversible“ Brennstoffzellen/Elektrolyseur-Systeme
- biologische Brennstoffzellen, insbesondere mikrobielle Brennstoffzellen
- Kostenreduktion durch neue Werkstoffe, Katalysatoren und Membranen sowie durch neue serientauglicher Fertigungsprozesse

**Hochtemperatur-Polymer-
elektrolyt-Brennstoffzelle,**
die bei einer Betriebstemperatur
von bis zu 180 °C Strom für
die On-Bord-Nutzung in
Flugzeugen, Lkw, Schiffen
und Bahnen erzeugt.
© Jülich



Wuppertal Institut

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

ZAE Bayern

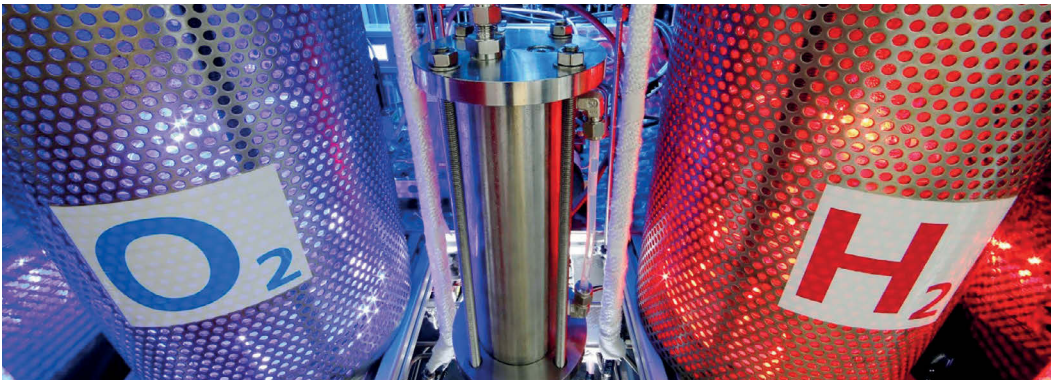
Dr. Matthias Rzepka
Tel.: 089/329442-31
matthias.rzepka@zae-bayern.de

ZSW

Dr. Ludwig Jörissen
Tel.: 0731/9530-605
ludwig.joerissen@zsw-bw.de

- leistungsfähigere und genauere, technisch-mathematische Modelle, die skalenergreifend sind und durch Beschreibung thermodynamischer, elektrochemischer sowie Massentransport-Phänomene (Stoff- und Wärmetransport, Stromübergänge sowie Zweiphasenströmungen) zur Designoptimierung auf Zell- und Stack-Ebene und zur Prädiktion von Leistungsfähigkeit und Dauerhaltbarkeit dienen
- Steigerung von Zuverlässigkeit, Leistungsfähigkeit und Wirkungsgrad der Systeme
- Verlängerung der Lebensdauer von Brennstoffzellen durch Aufklärung der Degradationsmechanismen und Alterungseffekte mittels verbesserter Zeitraffertests (AST: Accelerated Stress Tests) in Abhängigkeit neuer Materialien, Betriebsstrategien und Kontrollsysteme
- innovativen Diagnose- und Untersuchungsmethoden mit Reparaturstrategien für Brennstoffzellen
- neue, korrosionsbeständige Katalysatoren und Elektrodenstrukturen für die PEFC und reformat-
- verträgliche Katalysatoren und Elektrodenstrukturen für die HT-PEFC
- Fertigungstechnologien für PEFC-Komponenten und Stacks
- kostengünstige Reformierungstechniken (z. B. von Erdgas, Methanol, Diesel)
- Brennstoffzellen-Systemtechnik; insbesondere Stromrichtertechnik, Fernzustandsdiagnose und Fehlerprognose sowie optimierte Netzintegration
- Regelungsstrategien für Brennstoffzellen in Hybridsystemen
- Pilotanlagen mit Mittel- und Hochtemperatur-Brennstoffzellen (MCFC, SOFC) in Kraft-Wärme-Kopplung zur Erforschung des technischen Verhaltens dieser Systeme
- innovative Systeme wie z. B. Hybridkraftwerke mit Kopplung von Mikrogasturbine und Brennstoffzelle
- multifunktionale Brennstoffzellensysteme zur Brandbekämpfung und Wassergewinnung für die zivile Luftfahrt

Erneuerbarer Wasserstoff



Elektrolyseur
© DLR

In einer nachhaltigen Energiewirtschaft wird Wasserstoff eine wesentliche Rolle im Verkehr und auch bei der Speicherung regenerativer Energien spielen. Dafür ist die Entwicklung effizienter Verfahren zur großtechnischen Erzeugung von Wasserstoff Voraussetzung. Mittelfristig ist die Wasserstoffbereitstellung mit Hilfe von Strom aus erneuerbaren Energien die sinnvollste Variante. Langfristig können auch solar-thermochemische Prozesse, wie etwa die solar beheizte Reformierung von Erd- oder Biogas oder die Spaltung von Wasser in Kreisprozessen auf Grund ihrer hohen Effizienz interessante Alternativen sein.

Erneuerbarer Wasserstoff bietet eine Reihe von Vorteilen:

- + Er ist flexibel nutzbar im Verkehr, in chemischen Prozessen, zur Elektrizitätserzeugung und für Wärmegewinnung.
- + Die Verwendung von Wasserstoff ist „sauber“, da er rückstandsfrei zu Wasser verbrennt.
- + Er ermöglicht Unabhängigkeit von fossilen Rohstoffquellen.
- + Wasserstoff dient als Basis für die Erzeugung synthetischer Kraftstoffe.
- + Die hochdynamische Wasserstoffproduktion hat einen guten Wirkungsgrad.
- + Wasserstoff kann zentral großskalig gespeichert werden (z. B. in Salzkavernen) und ist dann mittels Pipelines verteilbar.
- + Wasserstoff kann auch dezentral (z. B. über Tankstellen) zur Verfügung gestellt werden.

Die folgenden potenziell CO₂-freien Verfahren zur Wasserstoffproduktion befinden sich in unterschiedlichem Forschungs-, Entwicklungs- und Anwendungsstadium:

• Alkalische Elektrolyse

AEL ist schon für die Erzeugung von Wasserstoff als chemischer Rohstoff industriell im Megawatt-Maßstab verfügbar (Betriebstemperatur ca. 80 °C).

• Polymer-Elektrolyt-Membran-Elektrolyse

PEM basiert auf einer protonenleitenden Polymerelektrolytmembran als Elektrolyt. Sie ist im MW-Maßstab bereits für Demonstrationszwecke verfügbar (Betriebstemperatur bei ca. 60–80 °C) und wird aktuell weiterentwickelt.

• Hochtemperatur-Wasserdampfelektrolyse

SOEC basiert auf einem Sauerstoffionenleiter als Elektrolyt. Die Technologie befindet sich noch im Forschungsstadium und kann erst im unteren Kilowattbereich als Versuchsanlage betrieben werden (Betriebstemperatur ca. 800–1000 °C).

• Solar thermochemische Kreisprozesse

Wasser kann auch thermochemisch über sogenannte Kreisprozesse gespalten werden. Die notwendige Wärme von 800 bis 1500 °C wird über konzentrierende Solarsysteme erzeugt. Die Technologien befinden sich in einem technischen Erprobungsmaßstab von bis zu 750 kW thermisch.

• Photo-elektrochemische Wasserspaltung

Die direkte photoelektrochemische (PEC) Umwandlung von Wasser zu Wasserstoff und Sauerstoff mit modifizierten Halbleitermaterialien ermöglicht die Integration von Lichtabsorption und Elektrokatalyse in einem Bauelement. Die besten Wirkungsgrade variieren zurzeit zwischen 5–15 % für kostengünstige Metalloxide bzw. komplex aufgebaute III-V-Halbleiterelektroden. Derzeitige F&E-Arbeiten streben ein Verständnis der grundlegenden Mechanismen bei der lichtinduzierten Wasserspaltung an und entwickeln neue, im Kontakt mit einem wässrigen Elektrolyten chemisch stabile Halbleiterschichten und Katalysatoren, sowie Konzepte für skalierbare Systemlösungen.

• (Photo)-bioelektrochemische Wasserspaltung

Alternativ zur abiotischen elektrochemischen Wasserspaltung gibt es die Möglichkeit einer biologisch basierten (photo)-bioelektrochemischen Wasserstoffproduktion. Hierbei dienen wasserstoffproduzierende Enzyme

Kontakte

DLR

Dr. Alexander Dyck
Tel.: 0441/99906-310
alexander.dyck@dlr.de

Prof. Dr. K. Andreas Friedrich
Tel.: 0711/6862-278
andreas.friedrich@dlr.de

Prof. Dr. Christian Sattler
Tel.: 02203/601-2868
christian.sattler@dlr.de

Fraunhofer IEE

Jochen Bard
Tel.: 0561/7294-346
jochen.bard@iee.fraunhofer.de

Fraunhofer ISE

Dr. Tom Smolinka
(Wasserstoffherzeugung durch
Elektrolyse, Entwicklung von
PEM-Elektrolysesystemen)
Tel.: 0761/4588-5212
tom.smolinka@ise.fraunhofer.de

HZB

Prof. Dr. Roel van de Krol
(Solare Brennstoffe)
Tel.: 030/8062-43035
roel.vandekrol@
helmholtz-berlin.de

Prof. Dr. Sebastian Fiechter
Tel.: 030/8062-42927
fiechter@helmholtz-berlin.de

Jülich

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

Prof. Dr. Rüdiger-A. Eichel
(Grundlagen Elektrochemie)
Tel.: 02461/61-4644
r.eichel@fz-juelich.de

KIT

Dr. Thomas Jordan
(Wasserstoffsicherheit)
Tel.: 0721/608-26105
thomas.jordan@kit.edu

Wuppertal Institut

Frank Merten
(Systemanalyse)
Tel.: 0202/2492-126
frank.merten@wupperinst.org

UFZ

Prof. Dr. Bruno Bühler
Tel.: 0341/235-4687
bruno.buehler@ufz.de

Prof. Dr. Andreas Schmid
Tel.: 0341/235-1246
andreas.schmid@ufz.de

Dr. Jörg Toepel
Tel.: 0341/235-48 22 82
joerg.toepel@ufz.de

ZAE Bayern

Dr. Matthias Rzepka
Tel.: 089/329442-31
matthias.rzepka@zae-bayern.de

Maximilian Möckl
Tel.: 089/329442-77
maximilian.moeckl@zae-bayern.de

ZSW

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

Prof. Dr. Werner Tillmetz
Tel.: 0731/9530-607
werner.tillmetz@zsw-bw.de

und Mikroorganismen als Bioelektrokatalysatoren. Von besonderem Interesse sind dabei mikrobielle Elektrolyseure, welche rein durch elektrischen Strom angetrieben werden, sowie auf Photoelektroden basierende Elektrolyseure. Während erste auf elektroaktiven Mikroorganismen basieren, basieren letztere auf biologischen Komponenten, welche die Photosynthese von Pflanzen bzw. von Algen nachahmen.

- **Bio-artifizielle Photosynthese**

Diese Art der Wasserstoffproduktion wird durch Sonnenenergie angetrieben. Hierbei werden wasserstoffproduzierende Enzyme an die natürliche Photosynthese von Mikroalgen gekoppelt. Diese Technologie befindet sich in einem frühen Forschungs- und Entwicklungsstadium. Ziel ist unter anderem auch die Entwicklung von wasserspaltenden/wasserstoffproduzierenden Katalysatoren zu ermöglichen, deren Komponenten die Photosynthese von Pflanzen bzw. von Algen nachahmen. Der Schwerpunkt liegt jedoch auf der Entwicklung zellbasierter Systeme.

Forschungs- und Entwicklungsbedarf für erneuerbaren Wasserstoff

- Kostengünstige Materialien, Materialkombination und Ersatzstoffe für Katalysatoren, Membranen, Stromübertragungs- und Gasverteilungs-Schichten, Rahmen- und Dichtungsstrukturen für alkalische, PEM- und Hochtemperaturelektrolyseure
- Entwicklung kostengünstiger, langzeitstabiler Elektrodensysteme mit innovativen Elektrodenstrukturen und Elektrodenzusammensetzungen
- Entwicklung von sicheren, effizienten Hochdruck-Elektrolyseverfahren
- Entwicklung kostengünstiger, großserientauglicher Produktionstechnologien
- Entwicklung solarchemischer Verfahren zur Reformierung von Methan mit Hilfe konzentrierender Solarsysteme
- Realisierung der direkten Wasserspaltung mit Hilfe thermochemischer Kreisprozesse, um solaren Wasserstoff herzustellen
- Entwicklung von Betriebs- und Sicherheitsüberwachungssystemen für den vollautomatischen Wasserstoffherstellungsbetrieb; Verbesserung der Zuverlässigkeit der Anlagen
- Grundlagen der Erzeugung von Wasserstoff aus biogenen Ressourcen:
 - effiziente Kopplung von Hydrogenasen an die Photosysteme
 - Etablierung von geeigneten mikrobiellen Wirtssystemen
 - Kontinuierliche biologische Produktionssysteme

Schnittstellentechnologien zu einer zukünftigen Wasserstoffwirtschaft

- Optimierung der systemtechnischen Einbindung und Betriebsführung; Reduktion der Systemkomplexität
- Reduktion des Eigenenergiebedarfs
- Verbesserte Nutzung von Stoff- und Energieströmen; Kopplung mit regenerativen Energien
- System- und regelungstechnische Einbindung in Energiespeichersysteme (Netz – Elektrolysesystem – Speicher – ggf. Rückverstromung – Nutzen von Abwärmern)
- Optimierung der Betriebsführung zur schnellen Bereitstellung von Regelenergie und zum Umgang mit fluktuierendem (Überschuss-)Stromangebot (z. B. dynamisches Abfahren realer Wind- und PV-Profile, intermittierender Betrieb, Umsetzen rascher Leistungssprünge)

Photosynthese zur Wasserspaltung

- Entwicklung von edelmetallfreien Katalysatoren, die ungiftig, kostengünstig und leicht verfügbar sind
- Erforschung der kinetischen Prozesse bei der Wasserspaltung in künstlichen und natürlichen Systemen
- Entwicklung stabiler Photoabsorber und Photokatalysatoren auf molekularer und anorganischer Basis.

Kühlung



Solaranlage der IHK Freiburg
© Fraunhofer ISE

Rund 16% des Stroms werden in Deutschland für Kälteprozesse angewendet. Dies erfolgt vor allem in Stunden ohnehin hoher Netzbelastung, gleichzeitig werden große Mengen an Solarwärme im Sommer als Überschuss nicht genutzt. Mithilfe solarthermischer Kälteerzeugung kann man diese Überschusswärme sinnvoll in Kälte wandeln und die Netze entlasten. Ein noch wesentlich größeres Potenzial hat solare Kühlung in sonnenreichen Zonen, in denen zugleich Kühlung und Klimatisierung einen hohen Anteil des Energieverbrauchs bedingen.

Wärme kann mit Sorptionstechniken zum Antrieb thermodynamischer Kreisprozesse genutzt werden, die Heizwärme oder aber Kälte bereitstellen (Absorptionswärmepumpen, Absorptionskältemaschinen).

Man unterscheidet dabei

- adsorptive Systeme (mit Feststoffen als Sorbens)
- absorptive Systeme (mit Flüssigkeiten als Sorbens)
- + Sorptionstechnologien sind klimafreundlich, da sie ohne Fluorkohlenwasserstoffe (FCKW) arbeiten.
- + Diese Kühlsysteme können in einem zweiten Betriebsmodus in den meisten Fällen auch als Heizung eingesetzt werden.

- + Sorptive Systeme bieten auch Möglichkeiten, thermische Energie effektiv und vielseitig einsetzbar zu speichern.
- + Typische Temperaturen für den Antrieb einstufiger Systeme liegen bei 60 °C bis 120 °C. Sie eignen sich damit ideal für den Betrieb mit solarer oder geothermischer Wärme, Fernwärme, Abwärme aus Blockheizkraftwerken oder Brennstoffzellen.
- + Mittlerweile ist die Kombination von Solaranlagen auch mit zwei- und dreistufigen Kälteverfahren in ersten Projekten realisiert. Diese Technik ist vor allem in sonnenreichen Zonen einsetzbar.

Potenziale

Die technische Umsetzbarkeit solarbetriebener Kühlsysteme wurde in den letzten Jahren erfolgreich in vielen Projekten bestätigt. Bereits heute gibt es Marktsegmente, in denen diese Systeme ökonomisch sinnvoll eingesetzt werden können. Aus Untersuchungen ergeben sich eine große Anzahl von Verbesserungsansätzen, mit deren Umsetzung die Erschließung weiterer Einsatzmärkte möglich wäre.

Kontakte

DLR

Dr. Alexander Dyck
Tel.: 0441/99906-310
alexander.dyck@dlr.de

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

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

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

Fraunhofer ISE

Dr.-Ing. Constanze Bongs
(Gebäudesystemtechnik)
Tel.: 0761/4588-5487
constanze.bongs@ise.fraunhofer.de

ZAE Bayern

Manuel Riepl
Tel.: 089/329442-43
manuel.riepl@zae-bayern.de

Stephan Weismann
Tel.: 0931/70564-338
stephan.weismann@zae-bayern.de

Forschungs- und Entwicklungsbedarf für Kühlung

- Materialforschung für Sorbentien
- Weiterentwicklung thermisch angetriebener Kälteanlagen kleiner Leistung (kompakte, effiziente Wärmetauscher, interne Wärmerückgewinnung)
- Entwicklung von elektrisch/thermischen Hybrid-Systemen
- Weiterentwicklung kleiner und mittlerer Absorptionskälteanlagen für die Verbindung mit Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen zur lokalen Klimakälteversorgung, um über eine Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung eine ganzjährige Nutzung der Abwärme aus Blockheiz-Kraftwerken zu erreichen
- Erforschung von Phase Change Material-Speichern (PCM) im Bereich 5–15 °C zur Leistungspufferung in Klimakälteanlagen
- systemtechnische Forschung im Bereich Anlagenkonzepte, Auslegung, Regelung, Wartung, Betriebsführung

Wärmepumpen

Wärmepumpen-Teststand
© ISFH



Kontakte

DLR

Dr. Alexander Dyck
Tel.: 0441/99906-310
alexander.dyck@dlr.de

Fraunhofer IEE

Dr. Dietrich Schmidt
(Gesamtsystembetrachtungen
Gebäude und Quartiere)
Tel.: 0561/804-1871
dietrich.schmidt@iee.fraunhofer.de

Dr. Michael Krause
(Systemintegration und
Betriebsstrategien)
Tel.: 0561/804-1875
michael.krause@iee.fraunhofer.de

Fraunhofer ISE

Dr.-Ing. Marek Miara
(Wärmepumpen)
Tel.: 0761/4588-5529
marek.miara@ise.fraunhofer.de

Dipl.-Ing. Ivan Malenković
(TestLab Heat Pumps and Chillers)
Tel.: 0761/4588-5533
ivan.malenkovic@ise.fraunhofer.de

ISFH

Fabian Hüsing
(Thermische Energiesysteme)
Tel.: 05151/999-645
huesing@isfh.de

ZAE

Andreas Krönauer
Tel.: 089/329442-13
andreas.kroenauer@zae-bayern.de

In einer Wärmepumpe (WP) wird in einem thermodynamischen Kreisprozess mit einem geeigneten Kältemittel Wärmeenergie bei niedrigen Temperaturen (z. B. aus dem Erdreich, der Luft oder aus dem Grundwasser) aufgenommen. Zur Steigerung der Temperatur wird der Dampf des Kältemittels verdichtet, so dass die Wärmeenergie anschließend auf hohem Temperaturniveau (z. B. für Raumheizung) abgegeben werden kann. Die Besonderheit der Wärmepumpentechnologie besteht darin, dass zur Bereitstellung von Wärme (und Kälte) auch Umweltenergie genutzt wird. Dies kann sowohl Energie aus dem Erdreich, dem Grundwasser sowie der Luft sein als auch aus Abwärme oder Abwasser. Der restliche Energiebedarf wird meistens als elektrische Energie zugeführt. Je mehr Umweltenergie und weniger Elektroenergie eine WP benötigt, desto effizienter arbeitet sie. Dies bringt sowohl wirtschaftliche als auch ökologische Vorteile mit sich.

In einem zunehmend regenerativen, elektrischen Energiesystem gewinnen WP an Bedeutung, da sie die effizienteste Technologie zur Wandlung elektrischer Energie in Wärme sind.

WP können außerdem als Koppler zwischen den Sektoren Strom und Wärme eine wichtige Rolle einnehmen: Der zunehmend fluktuierenden Einspeisung durch Windkraft und Photovoltaik muss auch mit einer Flexibilisierung der Nachfrageseite begegnet werden. Aufgrund der vorhandenen Speicherkapazitäten können WP-Anlagen hierzu beitragen. Damit eröffnet sich die Möglichkeit, den zunehmend regenerativ erzeugten

Strom effizient für Wärmeanwendungen in Gebäuden zu nutzen.

Im Jahr 2014 lag der Marktanteil der WP im Segment Neubau bei 32%. Mehrere Studien prognostizieren eine dominante Rolle der WP für die Bereitstellung von Wärme (und Kälte) sowohl in Wohn- als auch in Nichtwohngebäuden im Wärmerzeugermarkt der Zukunft. Das wirtschaftliche Potenzial ist stark von den Strompreisen abhängig. Für die Zukunft sind Preismodelle notwendig, die die WP-Technologie nicht benachteiligen. Problematisch ist, dass zunehmend außenluftgekoppelte WP mit geringer Effizienz und Nachteilen in der Netzdienlichkeit installiert werden, wohingegen der Absatz hocheffizienter erdreichgekoppelter WP stark rückläufig ist (30% im Jahr 2015). Hier sollten geeignete Konzepte erarbeitet werden, um diesem Trend entgegenzuwirken.

- + WP sind gut einsetzbar in regenerativen Energienetzen für Siedlungen und Quartiere.
- + Außerdem sind sie kombinierbar mit Photovoltaik, Solarthermie und Niedertemperatur-Abwärmequellen.
- + Gegenüber fossil betriebenen Heizgeräten hat die WP-Technologie (bei einem hinreichenden Anteil regenerativ erzeugten Stroms) sowohl primärenergetische als auch ökologische Vorteile.
- + In Kombination mit Batteriespeichern bieten WP die Möglichkeit selbst erzeugten PV-Strom zu verbrauchen.
- + WP können ausgleichende Regelenergie bei einem zentral geregelten Demand Side Management (DSM) bereitstellen.

Forschungs- und Entwicklungsbedarf für Wärmepumpen (WP)

Integration der WP in das Energiesystem

- Ein zukünftiges Problem für das gesamte Energiesystem kann die sog. Thermosensibilität werden (wenn immer mehr Strom zur Wärmebereitstellung genutzt wird, steigt der Strombedarf bei sinkenden Temperaturen). Diesbezüglich besteht weiterer Forschungsbedarf, um für die Transformation des Stromsystems ein passendes „Überschussmanagement“ zu entwickeln.
- Die gewünschte Flexibilisierung der WP-Laufzeit kann eine Verschlechterung der Effizienz der WP und/oder zusätzliche Investitionen zur Folge haben. Um damit verbundene Mehrkosten zu kompensieren, müssen entsprechende Geschäftsmodelle entwickelt werden.
- durch hohe Modulationsfähigkeit und die Fähigkeit zu schnellen und stabilen Lastwechseln um ein schwankendes (PV-)Stromangebot besser zu nutzen
- durch verlustarme Prozessführung im dynamischen Betrieb (geringe Zeitkonstanten, reduzierte Mindeststillstandzeiten, weiter Temperatur- und Durchflussbereich)
- durch selbstlernende bzw. selbstoptimierende Prozessführung (z. B. zur Selbstkorrektur von Fehleinstellungen durch den Nutzer und Installateur)
- für die Anwendung als dezentrale Trinkwarmwasserbereiter in Wohnungsstationen
- für die Integration in Versorgungssituationen mit stark veränderlichen Temperatur-Spreizungen auf der Quellenseite (z. B. saisonale Wärmespeicherung)
- für verringerte Schallemissionen speziell bei den Außenluft-WP

Entwicklung primärenergetisch optimierter Wärmeversorgungskonzepte für Quartiere auf Basis von WP:

- Entwicklung netzdienlicher Betriebsstrategien (zentral und dezentral) von WP eines Quartiers: Anpassung an das regionale Dargebot von Wind- und Solarstrom durch Lastverschiebung und Minimierung von Spitzenlasten mittels Speichertechnologien (Strom und Wärme) unter Berücksichtigung unterschiedlicher Wärmequellen der WP
- Umsetzung von WP-Quartieren in Demonstrationsvorhaben und wissenschaftliche Begleitung/Optimierung, Entwicklung allgemeingültiger Planungshilfen für WP-Quartiere (Bestand und Neubau)
- Untersuchung von regenerativ versorgten Niedertemperaturwärmenetzen mit dezentralen (Klein-)WP

Optimierung von WP:

- für einen hocheffizienten Winterbetrieb, d. h. einen hohen Temperaturhub bei niedrigen Quellentemperaturen
- für hohe Senkentemperaturen (für Prozesswärme, Wärmespeicherung bei Stromüberschuss im Netz (Power-to-Heat), zentrale Trinkwarmwasserbereitung, Wärmenetze)

Systemtechnische Forschung zur Integration von WP in das Gebäudewärmesystem:

- optimierte Pufferspeicherbeladung für Heizung und/oder Warmwasser
- Kopplung mit Sonnenwärme auf der Quellenseite zur Ermöglichung kleinerer Erdreichwärmequellen und zur Verhinderung von Langzeitauskühlung
- Kopplung mit Sonnenwärme auf der Senkenseite zur Steigerung der Systemeffizienz
- Kopplung mit lokal erzeugtem Sonnenstrom und Batteriespeichern
- Entwicklung ganzheitlicher Systemregelalgorithmen unter Einbindung der Vorhersage von Bedarfs- und Angebotsprofil für die Kopplung mit Sonnenstrom und -wärme
- Definition an notwendigen Schnittstellen und Schnittstellenparametern
- Monitoring von Wärmepumpen im System zur Validierung von Regelungsstrategien und zur Identifizierung von Optimierungsbedarf
- neue Anwendungen wie dezentrale kompakte Kleinst-WP für Wohnungsstationen oder Solar-WP-Module für Fassaden mit hybriden Strom-Wärme-kollektoren

Wandlung von Wärme in Strom

*Organic Rankine Cycle
Demonstrationsanlage
in Lahendong (Indonesien)
© GFZ Potsdam*



Kontakte

GFZ

Stefan Kranz
Tel.: 0331/288-1565
stefan.kranz@gfz-potsdam.de

KIT

Dr. Wolfgang Hering
Tel.: 0721/608-22556
wolfgang.hering@kit.edu

Dr. Alexandru Onea
Tel.: 0721/608-22949
alexandru.onea@kit.edu

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

Wuppertal Institut

Dietmar Schüwer
(Systemanalyse)
Tel.: 0202/2492-288
dietmar.schuewer@wupperinst.org

A) Niedertemperatur

Niedertemperatur-Stromerzeugungsanlagen bestehen aus drei Teilsystemen:

- Thermalwasserkreislauf
- Verstromungsprozess im Kraftwerkskreislauf
- Kühlung

Die effiziente und verlässliche Realisierung einer Anlage entsprechend der gegebenen Randbedingungen der Quelle und der Senke erfordert die technische Charakteristik der einzelnen Teilsysteme sowie eine optimale Abstimmung der Teilsysteme aufeinander.

Für den Niedertemperatur-Kraftwerksprozess kommen meist Organic Rankine Cycle (ORC)-Anlagen zum Einsatz. Diese nutzen ein Arbeitsmittel mit niedrigem Siedepunkt in einem geschlossenen Dampfprozess. ORC-Anlagen kommen in Deutschland seit vielen Jahren vorrangig in der Nutzung von Motor- und Industrie-Abwärme (Temperatur der Wärmequelle 200 bis 500 °C) zum Einsatz und stellen in diesem Anwendungsbereich eine etablierte Technik dar. Forschungsbedarf besteht hingegen bei Temperaturen der Wärmequelle unter 200 °C. Diese Technologie bekommt in dem zukünftigen gekoppelten Strom-Wärme-Energiesystem eine besondere Bedeutung.

F&E-Bedarf für Niedertemperatur

- effizienter Teillastbetrieb von ORC-Anlagen
- optimierte Kopplung der drei Kreisläufe (Thermalwasser, Verstromung, Kühlung)
- Verlässlichkeit der Systemkomponenten mit Anpassung an verschiedene Standorte

ORC ermöglicht:

- + Nutzbarkeit von Energie aus niedrigexergetischen Quellen
- + kontinuierliche Nutzung von geothermischen Quellen mit Stromgewinnung in Zeiten von geringem Bedarf an Wärmebereitstellung
- + Nutzung von abgetrenntem Heißwasser aus Heißwasser-Dampflagerstätten
- + Verstromung in einem geschlossenen System

Potenziale

- Potenzial für die Stromgewinnung aus Abfallwärme oder aus geothermischen Quellen (nach IPCC-Report: weltweit ca. 70 GW bis 2050).
- ORC hat Marktpotenzial für die heimische Industrie.

B) Hochtemperatur

Der elektrochemische Wandler AMTEC (Alkali Metal Thermal-to-Electric Converter) ist eine thermoelektrische Zelle die Wärme direkt in Gleichstrom umwandelt. Er kann Temperaturen im Bereich 600 °C–1000 °C verarbeiten und eignet sich somit für Hochtemperatur-Prozesse wie z. B. konzentrierende Solarenergie, Nutzung industrieller Abwärme und als Stromquelle für die Raumfahrt.

F&E-Bedarf für Hochtemperatur

- Materialuntersuchungen (Keramik, Keramik-Metall Verbindungen, Material der Elektroden)
- Vermeidung der thermischen und elektrischen Verluste und
- Limitierung der Degradation der Zelle
- Erhöhung des Wirkungsgrades auch bei Langzeitoperationen
- theoretische Charakterisierung und multi-physics/multi-scale Simulation der fluiddynamischen, elektrothermischen, und thermischen Prozesse

(Mikro-)Gasturbinen (mobil + stationär)

(Mikro-)Gasturbinen (MGT) spielen im zukünftigen Energiesystem insbesondere als dezentrale Kraft-Wärme-(Kälte)-Kopplungsanlagen eine bedeutende Rolle. Aufgrund ihrer Lastflexibilität können Gasturbinen die räumliche und zeitliche fluktuierende erneuerbare Stromerzeugung ausgleichen und somit einen wesentlichen Beitrag zur Integration der steigenden Stromproduktion aus Wind und Photovoltaik leisten.

Ihre Brennstoffflexibilität ermöglicht sowohl den Einsatz von konventionellen Brennstoffen wie Erdgas als auch den Einsatz von regenerativen (z. B. regenerativ erzeugter Wasserstoff, Methan oder flüssige Kohlenwasserstoffe) und biogenen gasförmigen und flüssigen Brennstoffen (z. B. Biogas, Klärgas, Holzgas, Pyrolyseöl) bei äußerst geringen Schadstoffemissionen und gleichzeitig hoher Gesamteffizienz.

In Kombination mit einer Hochtemperaturbrennstoffzelle (MGT/SOFC Hybridkraftwerk) können elektrische

Wirkungsgrade von 60 % (Leistungsbereich < 100 kW) bis 70 % (Leistungsbereich > 1 MW) erreicht werden. Somit zählt das Hybridkraftwerk langfristig zu den Kraftwerkskonzepten mit den höchsten erreichbaren elektrischen Wirkungsgraden.

Innovative Kraftwerksprozesse (zum Beispiel auf Basis des invertierten Brayton Kreisprozesses) ermöglichen Mikrogasturbinen-Blockheizkraftwerk-Systeme mit elektrischen Leistungen kleiner 3 kW zum Einsatz im Einfamilienhaus. Weitere Konzepte wie die Kopplung von Gasturbine und Solarreceiver ermöglichen die tageszeit- und witterungsunabhängige Bereitstellung von elektrischer Energie bei hoher Nutzung der Solarstrahlung.

Zusätzlich eignen sich Mikrogasturbinen aufgrund der Leistungsdichte, Gewicht und Bauraum als „Auxiliary Power Unit“ oder „Range Extender“ im Transportbereich.

Kontakte

DLR

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

Dr. Peter Kutne
(Gasturbinen und KWK-Konzepte)
Tel.: 0711/6862-389
peter.kutne@dlr.de

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

KIT

Prof. Dr.-Ing. Hans-Jörg Bauer
Tel.: 0721/608-43240
hans-joerg.bauer@kit.edu

F&E für dezentrale (Mikro-)Gasturbinen

- weitere Verringerung der Minimallast
- Optimierung des Teillastbetriebs hinsichtlich elektrischer Effizienz und der CO-Emissionen
- Erweiterung der Brennstoffflexibilität hinsichtlich des Betriebs mit reinem Wasserstoff, biogenen Schwachgasen und flüssigen regenerativen Speicherstoffen, sowie schwierigen biogenen Stoffen (z. B. Pyrolyseöl)
- Entwicklung von Brennersystemen für große Heizwertbereiche (z. B. brennstoffflexible Brenner für den Einsatz von Erdgas und biogenen Schwachgasen)
- Entwicklung mehrstufig aufgeladener Prozesse und innovativer Kraftwerkskonzepte, die bei geringem Schadstoffausstoß und hoher Effizienz neue Anwendungsfelder eröffnen:
 - Hybridkraftwerk mit Kopplung von Mikrogasturbine und Brennstoffzelle für höchsten elektrischen Wirkungsgrad
 - invertierter Brayton Kreisprozess für Einfamilienhaushalte
 - solare Gasturbine zur Einbindung von solarer Wärme
- Effizienzsteigerung durch Optimierung der Einzelkomponenten und Einsatz neuer Materialien (keramische Bauteile, Beschichtungen)
- Erhöhung der Lebensdauer insbesondere der hochbelasteten Heißgaskomponenten in Bezug auf erhöhte Anzahl der Startvorgänge und Lastwechsel
- Reduktion der Herstellungskosten insbesondere der hochbelasteten Heißgaskomponenten