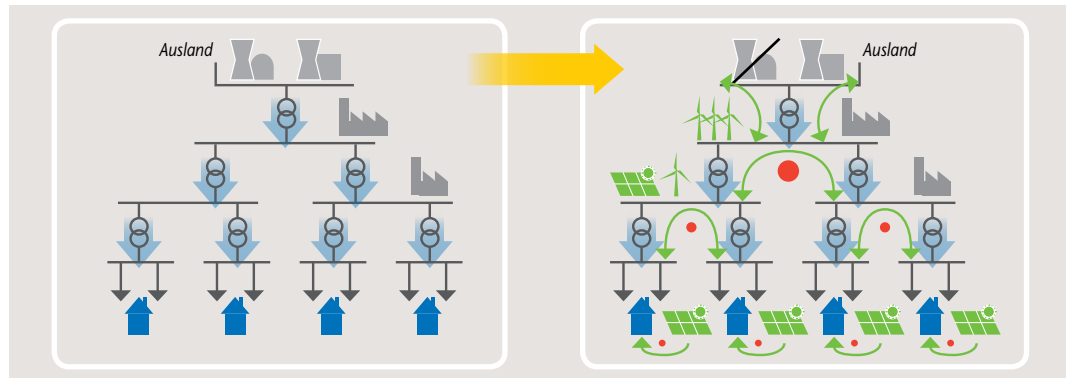


## Stromnetze

**Transformation der Stromnetze:**  
links: unidirektionales  
hierarchisches Versorgungssystem  
rechts: zelluläres System mit  
intelligenten Netzbetriebsmitteln  
auf allen Ebenen  
(● = Speicher)



### Kontakte

#### DLR

Dr. Karsten von Maydell  
Tel.: 0441/99906-210  
karsten.maydell@dlr.de

Dr. Thomas Vogt  
Tel.: 0441/99906-103  
t.vogt@dlr.de

#### Fraunhofer IEE

Prof. Dr. Kurt Rohrig  
(Europäische Szenarien und  
Netzbauplanung)  
Tel.: 0561/7294-330  
kurt.rohrig@iee.fraunhofer.de

Dr. Philipp Strauß  
(Netzplanung, Netzbetrieb,  
Netzregelung, Netzdynamik)  
Tel.: 0561/7294-144  
philipp.strauss@iee.fraunhofer.de

#### Fraunhofer ISE

Dr.-Ing. Niklas Hartmann  
(Kraftwerkeinsatzplanung  
und Betriebsstrategien)  
Tel.: 0761/4588-5730  
niklas.hartmann@ise.fraunhofer.de

#### IZES

Eva Hauser  
Tel.: 0681/844 972-45  
hauser@izes.de

#### KIT

Prof. Dr. Veit Hagenmeyer  
Tel.: 0721/608-29200  
veit.hagenmeyer@kit.edu

Prof. Dr. Thomas Leibfried  
Tel.: 0721/608-42912  
thomas.leibfried@kit.edu

#### Wuppertal Institut

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

Stromnetze entwickeln sich zur wichtigsten Säule zum Austausch von Energie. Sie verbinden Erzeugungs-, Speicher- und Verbrauchsinfrastrukturen auf allen Netzebenen miteinander. Hochspannungsnetze transportieren Energie mit hoher Leistung und verlustarm über weite Distanzen und eignen sich daher besonders für den überregionalen Energieaustausch. Verteilungsnetze stellen die Verbindungen zu den urbanen und industriellen Verbrauchern her und machen ca. 98 Prozent des gesamten deutschen Stromnetzes aus.

Stromnetze waren ursprünglich so konzipiert, dass die in wenigen zentralen Kraftwerken erzeugte Leistung dem sich ständig ändernden Bedarf der Verbraucher nachgeführt wurde. Eine stetig anwachsende Anzahl dezentraler Erzeuger in den Verteilnetzen führt jedoch dazu, dass die Betriebsführung zur Netzstabilisierung komplexer wird und die Mindestanforderungen (z. B. erweiterte Regelungsmöglichkeiten, Kommunikationstechnik) an dezentrale Erzeuger steigen, um einen sicheren Systembetrieb der Stromnetze gewährleisten zu können.

Erzeugung und Verbrauch müssen jederzeit in Balance sein. Frequenz und Spannung sind in engen Grenzen konstant zu halten, um Schäden an Verbrauchern zu vermeiden. Für die Stabilität der Stromnetze sorgen sogenannte Systemdienstleistungen wie Regelenergie zur Frequenzhaltung, Blindleistung zur Spannungshaltung, Versorgungswiederaufbau, Netzbetriebsführung.

Die Stromproduktion aus Wind und Sonne steigt signifikant und fluktuiert mit dem Wetter. Der Ausbau der Stromnetze in Deutschland und Europa trägt zum Ausgleich der Schwankungen bei und ermöglicht die Integration von dezentralen, volatilen Erzeugern. Dezentrale Erzeuger und Speicher mit Regelungsmöglichkeiten (autark oder auf Abruf) haben das Potenzial, die Kapazität des Stromnetzes optimal auszuschöpfen. Der Einsatz von nicht fluktuierenden erneuerbaren Energieerzeugern muss konsequent dann erfolgen (können), wenn ihre Vorteile (Speicherbarkeit von Brennstoff und teilweise

Kompensation volatiler Wind- und Solarkraft in der Strom- und Wärmeerzeugung) für das Energiesystem am größten sind.

Als Schnittstelle zwischen Stromerzeugung und Stromverbrauch besitzen Stromnetze ein zentrales Koordinierungspotenzial für das Stromversorgungssystem, das jedoch durch die organisatorische Trennung von Stromtransport und Stromerzeugung bzw. -handel (Unbundling) eingeschränkt wird. Die intelligente Vernetzung steuerbarer Erzeuger und Verbraucher sowie zunehmend auch Speicher durch moderne Informations- und Kommunikationstechnologien schafft die notwendige Flexibilität im System.

### Potenziale

Der im Rahmen der Energiewende notwendige Aus- und Umbau der Stromübertragungs- und -verteilnetze in den nächsten Dekaden bietet die Möglichkeit, Stromnetze stärker in den Fokus der Forschung zu rücken und dabei ihre systemische Bedeutung stärker anzuerkennen.

Das BMWi skizziert auf der Grundlage von Studien in dem Impulspapier „Strom 2030“ langfristige Trends für den Stromsektor, aus denen sich sowohl energiepolitische Aufgaben als auch Forschungsaufgaben für die kommenden Jahre ableiten lassen.

### Forschungs- und Entwicklungsbedarf für Stromnetze

- Vermaschte Hochspannungs-Gleichstromsysteme
- Interaktion der Übertragungs- und Verteilungsebenen
- fortgeschrittene Prognoseverfahren zur verbesserten Steuerung von Verteilnetzen
- Informations- und Kommunikationssysteme inkl. Schnittstellendefinition für den Netzbetrieb (u. a. Online- und Prognoseverfahren für die Netzeinsatzplanung sowie bidirektionale Energiemanagement- und -handelssysteme für den Dialog zwischen Energieerzeugern, Verteilern und Verbrauchern)
- Stromnetze als „Internet der Energie“ (Transport von Energie UND Informationen)
- intelligente und flexible Netzbetriebsmittel
- Steuer- und Regelstrategien für intelligente Komponenten, Konzepte und Wirkungen von smart grids
- Regelung stromrichterdominierter Netze
- Standardisierung der Schnittstellen und Charakterisierung der Technologien für die Planung und Wartung flexibel erweiterbarer Systeme
- Energiemanagement und Managementzentralen für die Wartungsoptimierung vieler verteilter Einzelanlagen
- neue Netzmanagementsysteme und Netzregelungsverfahren für die technische, ökonomische und ökologische Optimierung (für alle Techniken und Netzebenen einschließlich der Niederspannungsebene)
- Netzwiederaufbau unter Berücksichtigung erneuerbarer Energie
- Management von Teilnetzbildung im Störbetrieb
- Betriebssicherheit von kritischen Infrastrukturen
- Systemdienstleistungen von Erneuerbare-Energie-Anlagen und Lasten
- Werkzeuge für die Netzplanung und den Netzbetrieb
- Analyse des solaren Strahlungsfeldes für eine optimierte Netzplanung und Netzbetriebsführung
- Simulation von Netzen, Erzeugern, Verbrauchern und Speichern
- Speichertechnologien, die sich robust in die Netzinfrastruktur einbetten
- Bewertungsverfahren für die Planung und den Einsatz verschiedener Speichertechnologien im gesamten Stromnetz
- Bereitstellung hoher Leistungen, z. B. durch Schwungräder, Super-Caps und supraleitende Spulen
- zukunftsfähige Anpassung der Netzbepreisung (Netznutzung durch Stromeinspeiser und -nutzer) unter Beachtung von Gerechtigkeits- und Verteilungsaspekten

#### ZAE

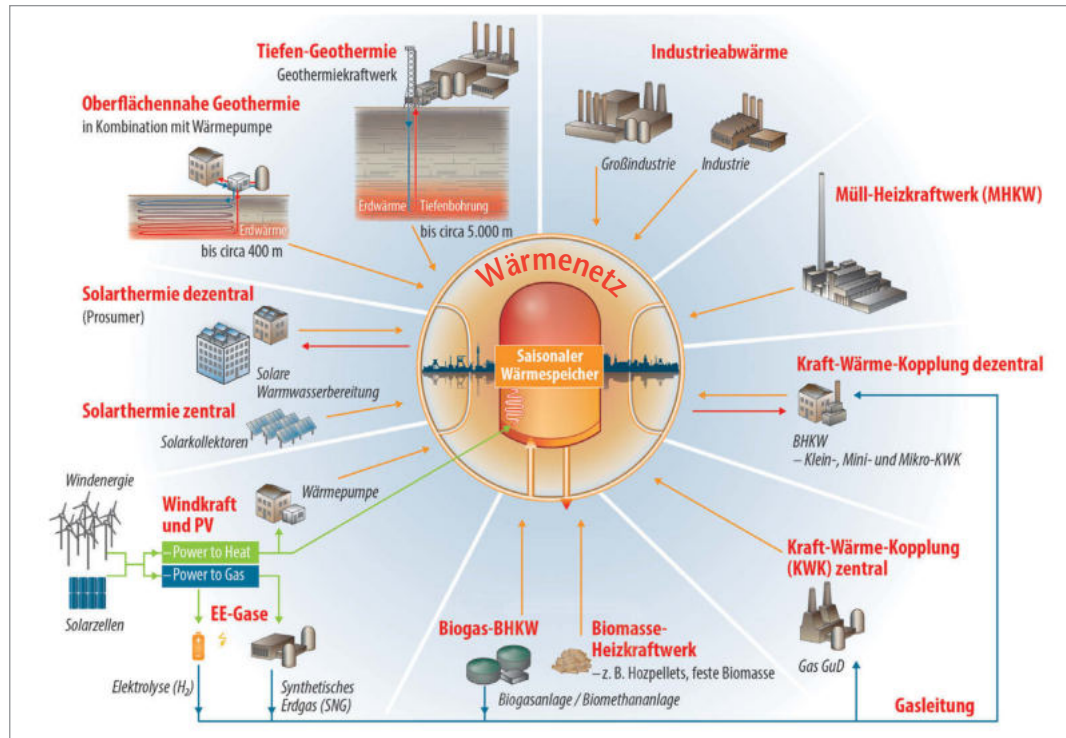
Christoph Stegner  
Tel.: 09131/9398-401  
christoph.stegner@zae-bayern.de

#### ZSW

Dr. Jann Binder  
Tel.: 0711/7870-209  
jann.binder@zsw-bw.de

## Wärmenetze

Das Wärmenetz  
als infrastruktureller Baustein einer  
kommunalen Wärmewende  
© Wuppertal Institut, Vislab 2015



### Kontakte

#### DBFZ

Dr.-Ing. Volker Lenz  
Tel.: 0341/2434-450  
volker.lenz@dbfz.de

#### DLR

Prof. Dr. André Thess  
Tel. 0711/6862-358  
andre.thess@dlr.de

Carsten Hoyer-Klick  
Tel. 0711/6862-278  
carsten.hoyer-klick@dlr.de

#### Fraunhofer IEE

Dr. Dietrich Schmidt  
(Quartierslösungen, Nieder-  
temperaturfernwärmesysteme)  
Tel.: 0561/804-1871  
dietrich.schmidt@  
iee.fraunhofer.de

#### ISFH

Prof. Oliver Kastner  
Tel.: 05151/999-525  
kastner@isfh.de

#### IZES

Bernhard Wern  
Tel.: 0681/844 972-74  
wern@izes.de

#### KIT

Prof. Dr.-Ing. Thomas Kolb  
Tel.: 0721/608-42560  
thomas.kolb@kit.edu

#### Wuppertal Institut

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

#### ZAE

Lars Staudacher  
Tel. 089/329442-41  
lars.staudacher@zae-bayern.de

Es gibt vielfältige Ansätze für Wärmenetze, die sich nach Länge der Netze, Wärmeträgermedien, Temperaturniveaus und Betriebsweisen unterscheiden lassen. An einer Wärmequelle wird ein Wärmeträgermedium (z. B. Wasser) auf die gewünschte Temperatur erwärmt und dann über ein Rohrleitungssystem mittels Pumpen verteilt. Beim Nutzer wird das Wärmeträgermedium entweder direkt in die Heizgeräte geleitet oder die Wärme wird über einen Wärmetauscher an das Objekt übergeben. Das abgekühlte Wärmeträgermedium des Verteilnetzes wird dann zurück zum Wärmeerzeuger geleitet, um erneut aufgeheizt zu werden.

Wärme ist zwar die Energieform mit den tendenziell größten Leitungsverlusten, aber die Effizienz der Wärmebereitstellung steigt mit größeren Erzeugereinheiten, insbesondere auch im Bereich der gekoppelten Strom-Wärme-Bereitstellung. Zusätzlich können Wärmenetze die Effizienz von Industrieprozessen durch die Nutzbarmachung von Abwärme in energetischen Nachbarschaften erhöhen. Ein deutlicher Ausbau der erneuerbaren Wärmeversorgung in einer verstärkten Kopplung mit der erneuerbaren Strombereitstellung wird insbesondere in Ballungsgebieten auf der Bündelung der Wärmeerzeugung über Wärmenetze basieren.

Die erfolgreiche Umsetzung der Wärmewende wird also auch von einem intelligenten Einsatz von Wärmenetzlösungen abhängen.

Vorteile von Wärmenetzen sind:

- + Wärmenetze bieten die Chance, verschiedene erneuerbare Wärmeoptionen (Solarthermie, Geothermie, Abwärme, Wärme aus erneuerbarem Überschussstrom und Wärme aus Biomasse) in der effizientesten und effektivsten Weise zu kombinieren und so eine ganzjährig sichere Versorgung mit überschaubaren Kosten zu garantieren.
- + Die größeren Einheiten ermöglichen effizientere und kostengünstigere Großwärmespeicher sowie Wärmeerzeuger und Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen
- + Ausgleich von Bedarfsschwankungen
- + niedrigere spezifische Emissionen durch die bessere Technik in größeren Anlagen
- + Platzeinsparung in den angeschlossenen Einzelobjekten
- + Zusätzliche Flexibilitätsoption für das zukünftige gekoppelte Energiesystem durch Erschließung des Lastausgleichspotenzials von Wärmeverbrauchern

### Potenziale

Gerade in Ballungsgebieten werden Wärmenetze eine zentrale Bedeutung gewinnen, um hohe Anteile an erneuerbarer Wärme über das ganze Jahr verteilt mit hoher Effizienz einsetzen zu können. Das technische und wirtschaftliche Potenzial hängt sehr stark von ökonomischen und rechtlichen Rahmenbedingungen sowie der Entwicklung bei der Gebäudedämmung ab.

### Forschungs- und Entwicklungsbedarf für Wärmenetze

- Integration von niederkalorischer Wärme (Solarthermie, industrielle Abwärme und Abwärme aus kommunalen Abwässern) in Wärmenetze
- Konversion fossil versorgter Hochtemperatur-Wärmenetze zu Niedertemperatur-Netzen unter Einbindung erneuerbarer Energien und Abwärme
- Entscheidungshilfen zur Abwägung von Wärme-/Kältenetzen im Vergleich zu Einzelversorgungslösungen
- Auswahlhilfen für die jeweils beste Wärme-/Kältenetzlösung unter Berücksichtigung demografischer Entwicklungen
- Ausbau von Wärmenetzen und deren Wirtschaftlichkeit vs. Reduzierung des Wärmebedarfs durch bessere Isolierung.
- Innovative Wärmenetzkonzepte (z. B. kalte Netze, Low-Ex-Konzepte, Netze mit zeitlich variierendem Temperaturniveau, Flexibilisierbarkeit der Netzinfrastruktur)
- Stärkung von Akzeptanz und Nutzungsbereitschaft für Wärme-/Kältenetze
- einfach zu bedienende Auslegungs- und Simulationswerkzeuge für Wärmenetze
- Entwicklung interaktiver und webbasierter IKT-Werkzeuge zur Planung von Wärmenetzen

**DBFZ**

Kerstin Wurdinger  
Tel.: 0341/2434-427  
kerstin.wurdinger@dbfz.de

**DLR**

Carsten Hoyer-Klick  
Tel.: 0711/6862-728  
carsten.hoyer-klick@dlr.de

Dr. Karsten von Maydell  
Tel.: 0441/99906-210  
karsten.maydell@dlr.de

Prof. Dr. André Thess  
Tel.: 0711/6862-358  
andre.thess@dlr.de

Dr. Thomas Vogt  
Tel.: 0441/99906-101  
t.vogt@dlr.de

**Fraunhofer IEE**

Dr. Reinhard Mackensen  
(Sektorkopplung, Integration EE  
in Regionen)  
Tel.: 0561/7294-245  
reinhard.mackensen@  
iee.fraunhofer.de

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

**Fraunhofer ISE**

Prof. Dr. Christof Wittwer  
(Intersektorale Energiesysteme und  
Netzintegration)  
Tel.: 0761/4588-5115  
christof.wittwer@ise.fraunhofer.de

**ISFH**

Matthias Littwin  
Tel.: 05151/999-505  
littwin@isfh.de

**IZES**

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

**Jülich**

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

**KIT**

Dr.-Ing. Frank Graf  
(Gasinfrastruktur, Erzeugung  
EE-Gase, Sektorkopplung)  
Tel.: 0721/608-42561  
frank.graf@kit.edu

Prof. Dr. Veit Hagenmeyer  
Tel.: 0721/608-29200  
veit.hagenmeyer@kit.edu

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

**Wuppertal Institut**

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

**ZAE Bayern**

Dr. Andreas Hauer  
Tel.: 089/329442-16  
andreas.hauer@zae-bayern.de

**ZSW**

Maika Schmidt  
Tel.: 0711/7870-232  
maika.schmidt@zsw-bw.de

## Systemintegration und Sektorkopplung



Energiesystem mit Vielzahl von Erzeugern und Verbrauchern © FVEE

Während viele Einzeltechnologien der Energiewende heute schon weitgehend technisch verfügbar sind, werden jetzt erst langsam die großen Herausforderungen bei ihrer Integration in ein zunehmend sektorübergreifendes Gesamtenergiesystem deutlich. Strategien für die nächsten Phasen der Energiewende müssen zunehmend eine ganzheitliche Betrachtung des Energiesystems mit Verknüpfungen der Wärme-, Strom- und Mobilitäts-sektoren in den Blick fassen. Sie betreffen die Versorgung eines einzelnen Gebäudes über Quartiere bis hin zu Regionen. Dafür braucht es Instrumente zur Bewertung der Rolle von Einzeltechnologien im Gesamtenergiesystem Strom-Wärme-Mobilität, wobei technologische, energetische, ökologische und ökonomische Aspekte zu berücksichtigen sind.

Bisher zeigen jedoch viele Ansätze zur Kombination und Systemintegration sowohl ökonomisch als auch energetisch eher niedrige Gesamteffizienzen. Dies ist vor allem auf nicht optimal abgestimmte Systemkomponenten und verbesserungsbedürftige Regelsysteme

zurückzuführen. Um die sich aus der Kombination der verschiedenen erneuerbaren Energieträger ergebenden Vorteile auszuschöpfen, müssen zum einen die Systemkomponenten für die Teilanwendungen optimiert und leicht verschaltbar gestaltet werden.

Bedingt durch die Notwendigkeit von Energiespeicherefunktionen sowie Last- und Erzeugungsmanagement rückt ein Zusammenspiel der Stromnetze mit thermischen Energienetzen und Netzen bzw. Speichern chemischer Energieträger (Gas, Wasserstoff etc.) in den Fokus, auf das die Systemtechnik von Erzeugern und Verbrauchern eingerichtet sein muss.

### Systemintegration bzw. Sektorkopplung bieten wichtigen Nutzen:

- + Minderung von CO<sub>2</sub>-Emissionen
- + Verringerung der Gesamtinvestitionen in erneuerbare Energieerzeuger und Netze
- + Gewährleistung einer hohen Versorgungssicherheit, da die zunehmende Dynamik in den Energienetzen durch Kompensationsmöglichkeiten gedämpft wird

### Forschungs- und Entwicklungsbedarf

Es besteht ein umfassender F&E-Bedarf zur Untersuchung systemtechnischer Fragestellungen der Sektorkopplung:

- Potenziale und Systemansätze für die sinnvolle Kopplung der Sektoren Strom, Wärme, chemische Energieträger und Mobilität
- praxisnahe Methoden für die technische Planung der Systemintegration/Sektorkopplung (u. a. Beschreibung und Darstellung der komplexen Systeme, Systemoptimierung, Variantenbewertung)
- Steuer- und Regelstrategien für intelligente Komponenten der Sektorkopplung
- Entwicklung und Standardisierung intelligenter und flexibler Verbundsystemregler und Netzbetriebsmittel (sowohl Hardware als auch Konzepte)
- Verknüpfung der Energienetze (Strom, Wärme, Gas)

- Power-to-X Anwendungen und Konzepte (vgl. Kap. Energiespeicher und Energiewandler)
- Konvergenzmöglichkeiten von Strom- und Gasnetzen zur Erschließung von Power-to-Gas-Potenzialen
- im Strom-Wärme-Mobilitäts-System praktische Erprobung von Technologien und Betreibermodellen für Sektorkopplung in „Living Labs“

Weiterer F&E-Bedarf besteht für:

- EE-Einspeisezeitreihen mit hoher räumlicher und zeitlicher Auflösung für die Netz- und Systemmodellierung
- Entwicklung von Open-Source-Stromnetzmodellen und Simulation großer Netzwerke
- Geoinformationssystem-basierte Modelle zur Optimierung von städtischen Energieinfrastrukturen
- Bewertung des Systemverhaltens in Abhängigkeit der räumlichen Verteilung von Erneuerbaren und Flexibilitätsoptionen sowie der Netzstruktur