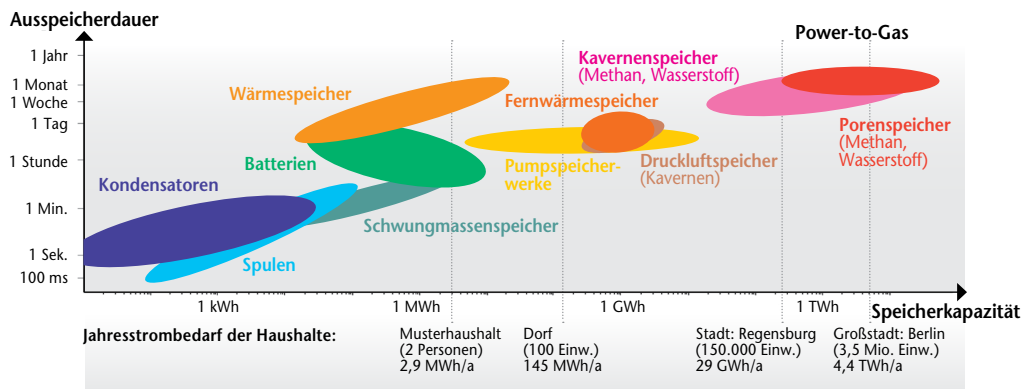


# Energiespeicher



Übersicht verschiedener Speichertechnologien nach Speicherdauer und Kapazität. (Grafik nach Sterner und Thema; FENES, OTH Regensburg, 2014)

Energiespeichern kommt im zukünftigen Energiesystem eine Schlüsselrolle zu, da sie eine räumliche und zeitliche Anpassung von Energiebereitstellung und Energiebedarf ermöglichen:

- + Die schwankende Verfügbarkeit von Strom aus Photovoltaik und Windenergie wird durch Speicher ausgeglichen, so dass die Versorgung sichergestellt wird und erneuerbare Energien in das Gesamtsystem zur Strom- und Wärmeversorgung integriert werden können.
- + Die Energieeffizienz des Gesamtsystems wird gesteigert, wenn bislang ungenutzte Abwärme mit thermischen Speichern nutzbar gemacht wird.
- + Aktuell nicht gebrauchte Leistung muss nicht ungenutzt abgeregelt werden, stattdessen kann die akkumulierte Energie zu einem späteren Zeitpunkt verwendet werden.
- + Industrie- und Kraftwerksprozesse können mit thermischen und elektrischen Speichern flexibilisiert werden, sodass sie besser systemdienlich betrieben werden können.

Übersicht verschiedener Speichertechnologien nach Kapazität, Leistung, Wirkungsgrad und Speicherdauer. Die Daten sind als Orientierungswerte zu verstehen, da bei vielen Energiespeichern die aktuellen Randbedingungen einen entscheidenden Einfluss haben.

Speicher-Technologie	Kapazität kWh/t	Leistung MW	Wirkungsgrad	Speicherdauer
<b>Mechanisch</b>				
Pumpspeicherwerke	1	1 bis 500	80%	Tag bis Monat
Druckluftspeicher	2 kWh/m <sup>3</sup>	10 bis 300	40 bis 70%	Stunde bis ½ Tag
<b>Elektrochemisch</b>				
Bleisäurebatterien	40		85%	Tag bis Monat
Li-Ionen-Batterien	~ 160	0,002 bis einige 10	bis 95 % auf Systemebene	¼ Stunde bis Tag(e)
Na-Ionen-Batterien	20 bis 30	0,002 bis einige 100 kW	80 bis 90%	
NaS-Batterien	110	0,05 bis ??	85%	Tag
Redox-Flow-Batterien	25	00,1 bis 10	75%	Tag bis Monat
<b>Thermisch</b>				
Sensible Niedertemperaturspeicher (Wasserspeicher)	10 bis 50 (für ° T = 10 bis 50K)	0,001 bis 10	50 bis 90%	Tag bis Jahr
Sensible Hochtemperaturspeicher (Flüssigsalz, Feststoff)	50 bis 150 (für ° T = 200 ... 500K)	5 bis 300	bis 95%	Stunde bis Tag
Latent-Wärmespeicher (Hochtemperatur)	50 bis 75	0,3 bis 6	90 bis 95%	Stunde bis Woche
Thermochemische Speicher	120 bis 250	0,01 bis 1	100% (Wärmepumpeneffekt)	Stunde bis Monate
<b>Chemisch</b>				
Wasserstoff/Methan	10.000 bis 33.300 (!)	0,001 bis 100	25* bis 65%	Tag bis Jahr

\*) inklusive Rückverstromung

## Kontakte

## DLR

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

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

## Fraunhofer IEE

Matthias Puchta  
(Batteriesysteme, Simulation,  
Hardware-in-the-Loop)  
Tel.: 0561/7294-367  
matthias.puchta@iee.fraunhofer.de

## Fraunhofer ISE

Dr.-Ing. Matthias Vetter  
(Batteriesysteme)  
Tel.: 0761/4588-5600  
matthias.vetter@ise.fraunhofer.de

Dr. Daniel Biro  
(Batteriezelltechnologie)  
Tel.: 0761/4588-5246  
daniel.biro@ise.fraunhofer.de

## ISFH

Michael Knoop  
(Elektrische Energiesysteme)  
Tel.: 05151/999-505  
knoop@isfh.de

Matthias Littwin  
(Elektrische Energiesysteme)  
Tel.: 05151/999-505  
littwin@isfh.de

## IZES

Dr. Bodo Groß  
(Arbeitsfeld Technische Innovationen)  
Tel.: 0681/844-972-51  
gross@izes.de

## Jülich

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

Prof. Dr. Olivier Guillon  
(Werkstoffe)  
Tel.: 02461/61-5181  
o.guillon@fz-juelich.de

## KIT

Prof. Dr. Maximilian Fichtner  
(Materialien)  
Tel.: 0721/608-25340  
maximilian.fichtner@kit.edu

Prof. Dr. Ellen Ivers-Tiffée  
(elektrochemische Charakterisierung  
und Modellierung)  
Tel.: 0721/608-47490  
ellen.ivers-tiffee@kit.edu

Prof. Dr. Marc Kamlah  
(Mechanik elektrochem. Energiespeicherung)  
Tel.: 0721/608-25860  
marc.kamlah@kit.edu

## ZAE Bayern

Dr. Gudrun Reichenauer  
Tel.: 0931/70564-328  
gudrun.reichenauer@zae-bayern.de

Petra Dotzauer  
Tel.: 089/329442-42  
petra.dotzauer@zae-bayern.de

## ZSW

Dr. Harry Döring  
(Systeme und Sicherheit)  
Tel.: 0731/9530-506  
harry.doering@zsw-bw.de

Dr. Margret Wohlfahrt-Mehrens  
(Materialforschung, Elektroden und  
Zelldesign)  
Tel.: 0731/9530-612  
margret.wohlfahrt-mehrens@zsw-bw.de

Dr. Wolfgang Braunwarth  
(Industrielle Produktionsforschung)  
Tel.: 0731/9530-344  
wolfgang.braunwarth@zsw-bw.de

## Elektrische Energiespeicher

Galvanische Zellen (Batterien) speichern chemische Energie, die über Redox-Reaktionen in elektrische Energie gewandelt werden kann. Für wiederaufladbare Zellen müssen die Reaktionen reversibel, d. h. umkehrbar sein.

- + Stromspeicher tragen zur Versorgungssicherheit bei, da sie eine unterbrechungsfreie Stromversorgung, Notstrom und einen vom Stromnetz unabhängigen Schwarzstart ermöglichen.
- + Elektrochemische Energiespeicher sind aufgrund ihres hohen Energiewirkungsgrades und ihrer schnellen Reaktionszeiten optimal zur Pufferung von fluktuierenden Stromquellen wie Photovoltaik oder Windenergie geeignet.

- + Stromspeicher ermöglichen Mobilität auf Basis elektrischer Energie. Eine elektrifizierte Fahrzeugflotte könnte künftig auch als großer dezentraler Stromspeicher fungieren.
- + Stromspeicher bieten Regelleistung und Regelenergie (primär im Verteilnetz).
- + Außerdem gestatten sie netzferne Anwendungen mit Erneuerbaren in Inselnetzen.

## Potenziale

Der Batteriemarkt wächst derzeit um ca. 8% pro Jahr und wird 2019 einen Wert von 120 Mrd. Euro erreicht haben.

## F&amp;E für Batteriezellen, Batteriesystemtechnik und Sicherheit

Die Anforderungen an künftige Batterien sind je nach Anwendung und Einsatzprofil enorm: z. B. arbeiten Autobatterien bei Umgebungstemperaturen von minus 30 °C bis plus 60 °C mit einer Lebensdauer von mehr als 10 Jahren, bei hoher Zyklenfestigkeit, schnellladefähig und unter allen Bedingungen absolut sicher.

- Auswahl und Kombination der Materialien für Kathoden, Anoden und Elektrolyte bestimmen die Eigenschaften der Zellen wie Energie- und Leistungsdichte, Kosten, Lebensdauer sowie Sicherheit.
- Bis 2020 sind Systemkosten für die Serienproduktion von weniger als 150 €/kWh auf Batteriepackebene realistisch. Um dieses Ziel zu erreichen, bedarf es neben kostengünstigen Materialien einer verbesserten Batteriesystemtechnik mit optimiertem Modul- und Systemdesign, Batteriemagementsystemen mit optimierten Algorithmen zur Ladezustands- und Alarungsbestimmung sowie optimierter Lade- und Betriebsführungsstrategien, Wärmemanagement und Sicherheitsüberwachung für alle denkbaren Betriebszustände und Fehlerfälle.
- Entwicklung von Prüfstandards und -einrichtungen, mit denen Batterien von der Zelle bis zum kompletten Batteriesystem hinsichtlich Sicherheit und Betriebsverhalten überprüft werden können.
- Für die Durchsetzung am Markt spielt auch die Recyclingfähigkeit der Systeme eine Rolle.
- Herausforderung für die Forschung ist die Übertragung der bisherigen Lithium-Technologie für Handys und Laptops auf großskalige industrielle Batteriesysteme (einige 10 kWh für Batteriefahrzeuge bis einige 10 MWh für Batteriespeicherwerke). Ziel ist die Erhöhung der Energiedichte durch neue Elektrodenmaterialien. Dabei können Metall-Luft-Systeme (Zn, Li, Metall), Metall-Schwefel-Zellen oder multivalente Systeme wie Mg, Al, Zn eine Steigerung der Energiedichte um Faktor 2–5 im Vergleich zu heutigen Lithium-Ionen-Zellen ermöglichen (> 240 Wh/kg).
- Die absehbare Ressourcenproblematik bei einigen Batteriekomponenten macht die Erforschung und Entwicklung auch von Alternativsystemen auf der Basis nachhaltiger Materialien erforderlich (z. B. Na-, Mg-, Zn- und Al-Batterien).

- Festkörper-Batterien, bei denen eine Lithium-Ionen-leitende Keramik den flüssigen, organischen Elektrolyten ersetzt. Die Batterien enthalten damit keine brennbaren organischen Stoffe mehr haben eine höhere chemische Stabilität. Bei geeignetem Design erwartet man auch höhere Energiedichten als bei heutigen Lithium-Ionen-Batterien.
- Entwicklung von intelligenten Ladestationen für Elektroautos und Ertüchtigung der Fahrzeugbatterien für die Rückspeisung von Strom ins Netz
- Sicherheit von elektrischen Speichersystemen unter verschiedenen Betriebsbedingungen sowie bei Fehlbedienung und in Unfallsituationen

## F&amp;E für Superkondensatoren

- Für Superkondensatoren werden sowohl neue Systeme auf der Basis von NanoMaterialien entwickelt als auch Bauelemente für spezielle Anwendungen. Für reine Doppelschichtkondensatoren werden vor allem amorphe Kohlenstoffmaterialien eingesetzt. Dieser Materialtyp eignet sich aufgrund der exzellenten Einstellbarkeit wesentlicher Kenngrößen, wie Porosität, Porengröße, Oberfläche und Leitfähigkeit, über mehrere Zehnerpotenzen und der hohen chemischen Reinheit hervorragend als Modellmaterial.
- Synthese und Untersuchung neuer Hybridmaterialien für Superkondensatoren, die auf mikroskopischer Ebene sowohl Batterie- als auch Kondensatoreigenschaften zeigen.

## F&amp;E für Redox-Flow-Batterien

Redox-Flow-Batterien sind elektrochemische Energiewandler mit flüssigen, pumpfähigen aktiven Speichermedien. Leistung und Energiespeicherkapazität sind dadurch unabhängig voneinander skalierbar. Anwendung finden sie als hocheffiziente Speicher vor allem im stationären Bereich zum Lastausgleich bei schwankenden Energiequellen wie Wind und Sonne.

- Optimierung der eingesetzten elektrochemischen aktiven Materialien
- Optimierung des Elektrolyten
- Optimierte Stack- und Anlagendesigns für die zweistellige kW-Klasse und Multi-Stack-Ansätze insbesondere für größere Anlagen
- Optimierte Betriebsführungsstrategien z. B. zur Erhöhung des Systemwirkungsgrades sowie zur Erhöhung des nutzbaren SOC-Bereichs

## Thermische Energiespeicher



**Mobile Sorptionsspeicher** können Wärme speichern und transportieren, sodass Bereitstellung und Nutzung örtlich entkoppelt sind. Das Bild zeigt den Wechsel der Speicher-Container beim Wärmeabnehmer.  
© ZAE Bayern

Thermische Speichersysteme sind Schlüsselkomponenten für eine effektive Nutzung der zeitlich variabel verfügbaren Sonnenenergie für solarthermische Kraftwerke, Wärmerückgewinnungsprozesse, solare Nahwärmeprojekte, Gebäudeklimaanlagen und Brauchwassersysteme.

- + Bei solarthermischen Kraftwerken können durch Wärmespeicher die Verfügbarkeit erhöht und Stromgestehungskosten deutlich gesenkt werden. Fossile Kraftwerke können mittels Wärmespeichern flexibilisiert werden.
- + Bei industriellen Prozessen kann durch thermische Speichersysteme das Lastmanagement optimiert werden, so dass der spezifische Energieverbrauch gesenkt und die Energienutzungseffizienz gesteigert wird. Speichergestützte Power-to-Heat-Konzepte werden zunehmend eine wichtige Rolle in der Bereitstellung von Prozesswärme auch im höheren Temperaturbereich spielen.
- + Große Wärmespeicher erlauben die Pufferung von Überangeboten im Netz durch „Power to Heat“.
- + Wärmespeicher sind für den Ausbau von Kraft-Wärme-Kälte-Kopplungsanlagen wesentlich, da

sie deren Strom- und Wärme- und Kälteerzeugung entkoppeln und somit die Integration der KWK-Anlagen in das Energiesystem vereinfachen.

- + Mit großen saisonalen Wärmespeichern kann in Deutschland etwa die Hälfte des Gesamtwärmebedarfs von größeren Gebäudeeinheiten solar gedeckt werden.
- + Teilsaisonale Speicher für Ein- und Mehrfamilienhäuser ermöglichen die Erhöhung des solarthermischen Deckungsanteils an der Wärmebereitstellung auf über 50% bis zu 100%. Hierzu sind kurzfristig die Wasserspeicher und mittelfristig PCM- und thermochemische Speicher weiter zu entwickeln. Kältespeicher spielen auch zur energieeffizienten Kühlung von Gebäuden eine wesentliche Rolle, da die Kälteerzeugung in Zeiten geringer Netzauslastung oder bei günstigeren Außentemperaturen erfolgen kann.
- + Auch die ohnehin vorhandene thermische Masse von Gebäuden kann durch gezielte Aktivierung technisch unaufwändig und kostengünstig als thermischer Speicher genutzt werden.

### F&E für Wärmespeicher

Künftige Wärmespeichertechnologien brauchen höhere Leistungsdichten und niedrigere Investitionskosten. Es besteht Forschungs- und Entwicklungsbedarf in Bezug auf Speichermedien, Speichertechnologien und Systemintegration:

- Entwicklung neuer Materialien mit höherer Funktionalität zur Kostenreduzierung (z. B. neue Phasenwechsel- und Sorptionsmaterialien mit geringen Speicherverlusten und höheren Energiedichten)
- Entwicklung spezifischer thermochemischer Systeme für hohe Speicherdichten und die Realisierung einer Wärmetransformation
- verbesserte und neue Speichermedien im Bereich hoher Temperaturen für solarthermische Kraftwerke und die bessere Nutzung industrieller Prozesswärme
- Gezielte Entwicklung von Simulationsmethoden für maßgeschneiderte Materialien, effiziente Speicher- und Prozessauslegung sowie Ermittlung von Umweltwirkungen

- Zyklenbeständigkeit und Leistungsbereitstellung bei den gewünschten Temperaturniveaus sind zu verbessern.
- Entwicklung verbesserter und hoch effizienter Techniken zur Wärmeein- und -auskopplung für die Realisierung des übergeordneten Ziels einer wirtschaftlichen Speichertechnik
- Demonstration von Hochtemperaturspeichern für die industrielle Prozesstechnik und die Kraftwerkstechnik als notwendiger Schritt zur kommerziellen Nutzung in diesem Bereich
- Standardisierung von Komponenten und Systemen kann zur Kostensenkung beitragen. Die korrekte Berücksichtigung von Speichern in Standards und Normen (z. B. Gebäude Richtlinien) ist für eine breitere Nutzung von Speichern notwendig.
- Die Integration von thermischen Speichern muss unter Berücksichtigung der Prozessanforderungen bewertet und optimiert werden, damit sie die Effizienz von Energiesystemen steigern.

### Kontakte

#### DLR

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

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

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

#### Fraunhofer ISE

Stefan Gschwander  
(Wärme- und Kältespeicher)  
Tel.: 0761/4588-5494  
stefan.gschwander@ise.fraunhofer.de

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

#### ISFH

Carsten Lampe  
Tel.: 05151/999-522  
c.lampe@isfh.de

Daniel Eggert  
Tel.: 05151/999-522  
d.eggert@isfh.de

#### KIT

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

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

#### UFZ

Dr. Thomas Nagel  
(Simulationsmethoden)  
Tel.: 0341/235-1061  
thomas.nagel@ufz.de

#### ZAE Bayern

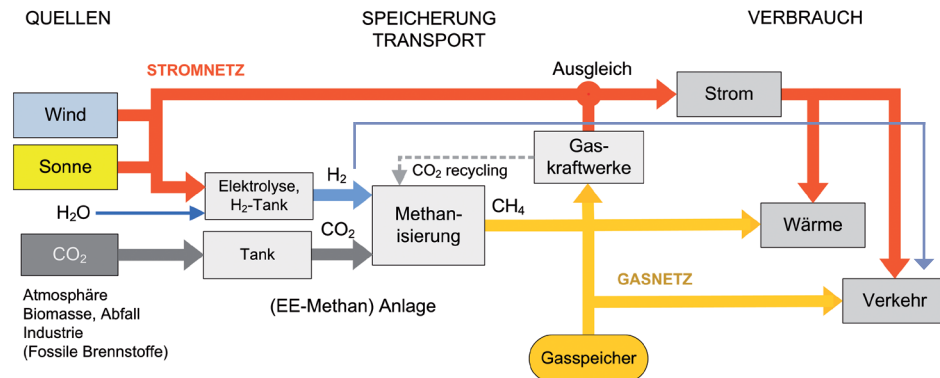
Dr. Stefan Hiebler  
(Latentwärmespeicher)  
Tel.: 089/329442-35  
stefan.hiebler@zae-bayern.de

Eberhard Lävemann  
(Thermochemische Speicher)  
Tel.: 089/329442-18  
eberhard.laevemann@zae-bayern.de

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

## Chemische Energieträger

**Power-to-Gas**  
Das Konzept ermöglicht die Speicherung und Nutzung großer Mengen Strom aus erneuerbaren Energien. Die stoffliche Speicherung und Verteilung über das Erdgasnetz erlaubt eine bedarfsgerechte Nutzung zur Strom- und Wärmeerzeugung, in der Mobilität sowie in der chemischen Industrie.  
Grafik © Fraunhofer IEE und ZSW



### Kontakte

#### DBFZ

Dr.-Ing. Jan Liebetrau  
Tel.: 0341/2434-716  
jan.liebetrau@dbfz.de

#### DLR

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

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

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

#### Fraunhofer IEE

Dr. Ramona Schröer  
(Technologieentwicklung,  
Systemintegration)  
Tel.: 0561/7294-1744  
ramona.schroerer@  
iee.fraunhofer.de

#### Fraunhofer ISE

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

Dr. Tom Smolinka  
(Wasserstofferzeugung 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

#### IZES

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

Energie kann „stofflich“ gespeichert werden, indem Ökostrom mittels Elektrolyse in Wasserstoff umgewandelt wird. Bei Bedarf können unter Zugabe von Kohlendioxid Methan oder längererkettige Kohlenwasserstoffe erzeugt werden. Zur Speicherung können Wasserstoff und Methan ins Erdgasnetz eingespeist werden. Für flüssige Kohlenwasserstoffe stehen große Tanklager zur Verfügung. Mit dem Power-to-Gas- bzw. Power-to-Liquids-Konzept können so riesige Energiemengen über beliebige Zeiträume in einer vorhandenen Infrastruktur gespeichert werden. Dieser Lösungsansatz bietet auch die Möglichkeit, das Stromnetz mit anderen Märkten intelligent und bidirektional zu verknüpfen.

Chemische Energieträger bieten eine Reihe von Vorteilen:

- + Sie erlauben eine saisonale und abgesehen von Umwandlungsverlusten nahezu verlustfreie Speicherung von Energie.
- + Bei ihrer Herstellung wird überschüssiger Wind- und Sonnenstrom sinnvoll genutzt und speicherbar gemacht.

- + Sie können nachhaltige, CO<sub>2</sub>-neutrale Mobilität ermöglichen.
- + Sie verringern den Bedarf für den Ausbau des Stromnetzes.
- + Sie leisten einen Beitrag zur Netzstabilität und Bereitstellung von Regelleistung.
- + Ihre Speicherform ist unaufwändig, da das ohnehin vorhandene Erdgasnetz bzw. vorhandene Tanklager mit sehr großen Speicherkapazitäten genutzt werden können (210 TWh für Methan, 250 TWh für flüssige Kohlenwasserstoffe).
- + Die bestehenden Gastransport- und -verteilnetze sind mit einer Gesamtlänge von 510.000 km gut geeignet, sämtliche Energiesektoren bedarfsgerecht und flächendeckend zu versorgen.
- + Durch die bestehende Anbindung an das trans-europäische Transportsystem können große Energiemengen mit dem europäischen Ausland ausgetauscht werden.

### F&E für chemische Speicher allgemein

- experimentelle und theoretische Untersuchung der Dynamik chemischer Speichersysteme
- Verbesserung der Wirkungsgrade bei der Umwandlung
- Wirtschaftlichkeitsanalysen
- Kopplung mit bestehenden EE-Anlagen



## Erneuerbarer Wasserstoff

- + Durch Wasserelektrolyse kann z. B. aktuell nicht nutzbarer Wind- und Sonnenstrom chemisch als Wasserstoff gespeichert werden. Dieser kann dann zur netzunterstützenden Rückverstromung und/oder als Kraftstoff eingesetzt werden.
- + Großmaßstäblich wird die elektrische Pufferung z. B. von Strom aus Off-Shore-Windkraftparks über die Elektrolyse und Wasserstoffspeicherung in Kavernen mit einer Verstromung in Gasturbinen ermöglicht.
- + Wasserstoff kann großmaßstäblich auch in konzentrierenden Solaranlagen über thermochemische Prozesse effizient hergestellt werden.

### F&E-Bedarf für Wasserstoff

- Senkung der Investitions- und Betriebskosten
- Bereitstellung großtechnischer Lösungen zur Wasserelektrolyse, thermochemischen Wasserstoffproduktion und geologischen Speicherung (Salzkavernen) sowie für Transport und Verteilung (Pipeline)
- Verbesserung der Betankungstechnologien und Aufbau eines flächendeckenden Tankstellennetzes
- Hinführung von Brennstoffzellenantrieben zu einem serienreifen Produkt für diverse mobile Anwendungen auf Straße, Schiene, zu Wasser und in der Luft

## Methan und höhere Kohlenwasserstoffe

Methan ist als Hauptbestandteil von Erdgas einer der wichtigsten Energieträger für die Strom- und Wärmebereitstellung und Rohstoff für zahlreiche chemische Produkte.

- + Wasserstoff ( $H_2$ ) kann mit Kohlendioxid ( $CO_2$ ) in synthetisches Methan ( $CH_4$ ) umgewandelt werden, das dann fast unbegrenzt ins Erdgasnetz eingespeist werden kann.
- + Außerdem kann Wasserstoff auch in Methanol ( $CH_3OH$ ) oder andere flüssige Energieträger umgewandelt werden, die sehr leicht handhabbar sind und dann für Mobilität, den Chemiesektor und für KWK-Anwendungen zur Verfügung stehen.
- + Methan hat eine höhere Energiedichte als Wasserstoff.

### F&E-Bedarf für Methan und höhere Kohlenwasserstoffe

- Systemsimulation zur Bestimmung der wirtschaftlichen Größen von Methanisierungsanlagen und anderer chemischer Speichersysteme
- Optimierung der Prozesssteuerung für Methanisierung
- Integration in bestehende Infrastrukturen
- Untersuchungen zur Optimierung und zum dynamischen Betrieb von Katalysatoren, Reaktoren und Prozessketten zur Umwandlung von Wasserstoff in Methan und höhere Kohlenwasserstoffe

- + Erneuerbarer Wasserstoff kann fossilen Wasserstoff in heutigen Raffinerien und anderen Industrien ersetzen.
- + Erneuerbarer Wasserstoff kann direkt zum Antrieb von Brennstoffzellenfahrzeugen genutzt werden und verursacht keine  $CO_2$ - oder verbrennungsbedingten Partikelemissionen.
- + Die derzeitige Brennstoffzellen-Fahrzeuggeneration hat eine ähnliche Reichweite wie Benziner.
- + Die Wasserelektrolyse benötigt keine aufwändige Verfahrenstechnik und produziert keinerlei unerwünschte Nebenprodukte.
- + Erneuerbarer Wasserstoff kann zu einem gewissen Teil (2-5 Vol.%) direkt ins Gasnetz eingespeist werden.

- Ertüchtigung von Gasturbinen für den Betrieb mit Wasserstoff
- Prozesse für die Erzeugung diverser Folgeprodukte für die Versorgung mit flüssigen Kraftstoffen und Chemikalien (Power-to-X)
- Reversible Elektrolyse-/Brennstoffzellen-Technologien zur Senkung des Investitionsbedarfs
- Speicherung von Wasserstoff über reversible Prozesse mit flüssigen organischer Hydriden (LOHC)
- Kopplung biologischer, chemischer und elektrochemischer Verfahren für die Erzeugung von höherwertigen Kohlenwasserstoffen

- + Erneuerbares Methan kann als Antrieb von Erdgasautos mit bestehender Technologie genutzt werden. Das Erdgas-Tankstellennetz (ca. 900) ist gut ausgebaut. Erdgasfahrzeuge haben eine vergleichbare Reichweite wie Benziner und Diesel. Methan verursacht nahezu keine verbrennungsbedingten Partikelemissionen.
- + Regeneratives Methan und regenerative flüssige Kohlenwasserstoffe können in einem postfossilen Zeitalter wichtige Mobilitätssektoren sicherstellen (Flug- und Schwerlastverkehr).
- + Durch biologische oder katalytische Methanisierung von Wasserstoff kann die strombasierte Erzeugung von Methan und höheren Kohlenwasserstoffen an bestehende Biomethananlagen gekoppelt und zum in situ Upgrading von Biogas genutzt werden.

### Jülich

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

### KIT

Prof. Dr.-Ing. Roland Dittmeyer  
(Strombasierte chemische Energie-  
träger, PtL)  
Tel.: 0721/608-23114  
roland.dittmeyer@kit.edu

Prof. Dr.-Ing. Thomas Kolb  
(Gastechnologie, PtG,  
biogene Energiespeicher, BtX)  
Tel.: 0721/608-24382  
thomas.kolb@kit.edu

Prof. Dr.-Ing. Peter Pfeifer  
(Dezentrale Synthese chemischer  
Energieträger, LOHC)  
Tel.: 0721/608-24767  
peter.pfeifer@kit.edu

### UFZ

PD Dr. Falk Harnisch  
(Elektrobiotechnologie)  
Tel.: 0341/235-1337  
falk.harnisch@ufz.de

Dr. Sabine Kleinstüber  
(Biologische Methanisierung)  
Tel.: 0341/235-1325  
sabine.kleinstueber@ufz.de

### Wuppertal Institut

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

### 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

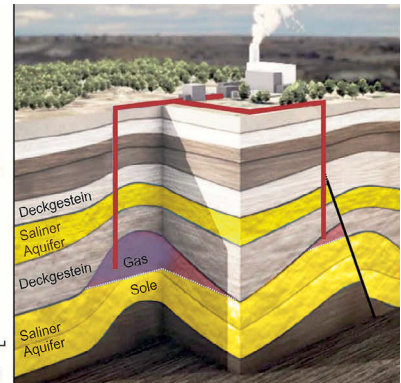
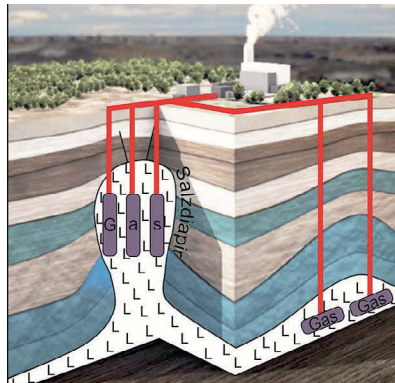
### ZSW

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

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

## Speicherung im geologischen Untergrund

**Optionen zur  
Untergrundspeicherung**  
Speichergesteine sind charakterisiert durch ihre Hohlräume:  
Links: **Kavernenspeicher** haben große ausgedehnte Hohlräume (10er bis 100er Meterskala.)  
Rechts: **Porenspeicher** besitzen große Volumina fein verteilter Poren (Mikro- bis Zentimeterskala).  
Mitte: Karte zeigt Salzstrukturen für potenzielle Kavernen (blau) sowie Sedimentbecken mit salinaren Aquiferen (gelb)  
© GFZ



### Kontakte

#### DLR

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

#### GFZ

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

Dr. Cornelia Schmidt-Hattenberger  
Tel.: 0331/288-1552  
cornelia.schmidt-hattenberger@gfz-potsdam.de

Daniel Acksel  
Tel.: 0331/288-1078  
acksel@gfz-potsdam.de

#### ISFH

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

#### KIT

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

Dr. Bernhard Schäfer  
Tel.: 0721/608-42944  
bernhard.schaefer@kit.edu

#### UFZ

Prof. Dr. Olaf Kolditz  
Tel.: 0341/235-1281  
olaf.kolditz@ufz.de

#### ZAE

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

Der Untergrund bietet eine Schlüsselrolle zur Speicherung von Energie in der TWh-Skala. Dabei gibt es folgenden Optionen:

- **Lagerung von energierelevanten Stoffen im Untergrund** (z. B. Methan, H<sub>2</sub>):

Die Lagerung von Methan in geologischen Formationen bietet bereits die Möglichkeit der stofflichen Speicherung von Energie, kann aber basierend auf temporären Überschüssen aus Wind- und Solarkraft noch erweitert werden. Die bekannte „Power-to-Gas-to-Power“-Technologie (PGP), die Erzeugung von Wasserstoff aus regenerativen Energien und daraus produziertem Methan, lässt sich durch gekoppelte Untergrundspeicher erweitern. Wesentlicher Punkt ist hier die CO<sub>2</sub>-Kreislaufnutzung.

- **Thermische Energiespeicherung:**

In der warmen Jahreszeit im Untergrund eingespeicherte Überschusswärme kann später in der Heizperiode bei hoher Wärmenachfrage genutzt werden.

- **Adiabatische Druckluftspeicherung:**

Bei der adiabatischen Druckluftspeicherung wird die Verpressung mit Kompressoren unterstützt. Das System hat einen Wärmespeicher für die Kompressionswärme, die bei Entspannung der Druckluft aus der Kaverne wieder genutzt wird. Die erwärmte Druckluft wird mit Hilfe der Turbinen zur Stromerzeugung eingesetzt.

### Forschungs- und Entwicklungsbedarf

- Bereitstellung großtechnischer Lösungen der Untergrundspeicherung für ortsbezogenen Speicherbedarf (z. B. an Power to Gas Standorten)
- Machbarkeit der Untergrundspeicherung von Gasen, die in der Umgebung der Speichergesteine reagieren (z. B. Wasserstoff in Porenspeicher)
- Prozessanalyse und Monitoring der thermodynamischen, physiko-chemischen und mikrobiologischen Vorgänge bei der Speicherung
- Auf Basis der Analyse müssen die drei Komponenten des Gesamtsystems zusammen entwickelt werden:
  1. verfahrenstechnischer (oberirdischer) Teil
  2. Bohrloch (Injektion und Abdichtung)
  3. geologisches Reservoir inklusive seiner Deckgesteine
- Untergrundspeicherung muss unter Berücksichtigung von Umweltverträglichkeitskriterien in das Energiesystem eingepasst werden. Energiespeicher nehmen eine Schlüsselstellung im Rahmen der Energiewende ein.