

Energiespeicherung in der Industrie für flexible Sektorkopplung



ZAE
Dr. Matthias Rzepka
matthias.rzepka@zae-bayern.de

DBFZ
Dr. Volker Lenz
volker.lenz@dbfz.de

FZ Jülich
Dr. Uwe Bau
u.bau@fz-juelich.de
Fritz Röben
f.roeben@fz-juelich.de

Fraunhofer IEE
Anna Kallert
anna.kallert@iee.fraunhofer.de

GFZ
Dr. Felina Schütz
fschuetz@gfz-potsdam.de

KIT
Prof. Dr. Thomas Wetzel
thomas.wetzel@kit.edu

Aufgrund der globalen CO₂-Emissionen (hauptsächlich verursacht durch energetische Nutzung von fossilen Quellen) steigt der CO₂-Gehalt in der Atmosphäre seit vielen Jahrzehnten stetig an – mit weitreichenden Folgen für das Weltklima. Soll das 2-Kelvin-Ziel nicht überschritten werden, müssen sämtliche CO₂-Emissionen drastisch reduziert werden. Deutschland hat hier im Zuge der Energiewende schon erste Erfolge erreicht, trägt aber trotzdem mit etwa 750 Millionen Tonnen CO₂ jährlich [1-3] zu fast 2% des weltweiten Ausstoßes bei.

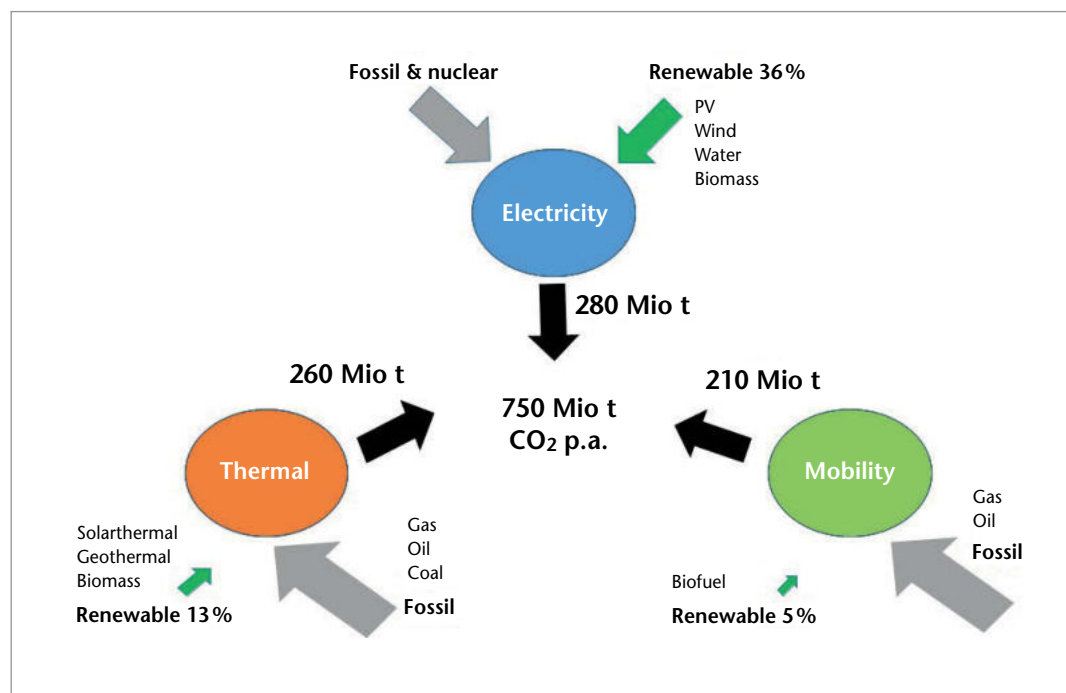
Dabei teilen sich diese Emissionen aktuell zu etwa gleichen Teilen auf die drei wesentlichen Verbrauchssektoren auf (► *Abbildung 1*): 280 Mill. t im Sektor Strom, 260 Mill. t im Sektor Wärme und 210 Mill. t im Sektor Verkehr (jeweils pro Jahr).

Der Anteil der erneuerbaren Energien am Endenergieverbrauch in diesen drei Sektoren ist jedoch sehr unterschiedlich. Im Stromsektor ist durch den vergleichsweise starken Zubau an Windenergieanlagen (On- und Offshore) sowie an PV-Installationen der Anteil an Erneuerbaren mittlerweile auf fast 40% gestiegen. In den übrigen Sektoren ist sowohl das bislang erreichte Niveau an erneuerbaren Energien als auch die Zubaudynamik deutlich kleiner.

Um das ehrgeizige und dringend nötige CO₂-Reduktionsziel (80-95% bis 2050 lt. Energieszenario der Bundesregierung [4]) zu erreichen, muss jedoch in allen drei Sektoren der Erneuerbaren-Anteil gleichermaßen erhöht werden. Neben dem intrasektoriellen Zubau (z.B. Solarthermie, Geothermie im Wärmesektor) wird dabei die Kopplung der Sektoren eine immer bedeutendere Rolle einnehmen. Sollte das Zubautempo an erneuerbaren Stromerzeugern weiter hoch sein, wird die Nutzung von CO₂-frei erzeugter Elektrizität in den Sektoren Wärme und Verkehr eine zentrale Rolle im zukünftigen Energiesystem einnehmen.

Wesentliches Merkmal von Wind- und Sonnenstrom ist die wetterbedingte, bedarfsunabhängig fluktuierende Erzeugung, so dass mit steigendem Anteil auch die Notwendigkeit von Flexibilitäten zur Anpassung von Erzeugung und Bedarf steigen wird. Hier bietet die Sektorkopplung auch die Chance, Speicheroptionen in den nachgelagerten Sektoren zu nutzen (► *Abbildung 2*). Insbesondere die direkte anwendungsnahe Wärmespeicherung bietet hier gegenüber anderen Flexibilitätsoptionen Vorteile bzgl. Effizienz und Kosten.

Abbildung 1
Vergleich der Verbrauchssektoren Wärme, Strom und Verkehr:
jeweilige Erneuerbaren-Anteile und CO₂-Emissionen



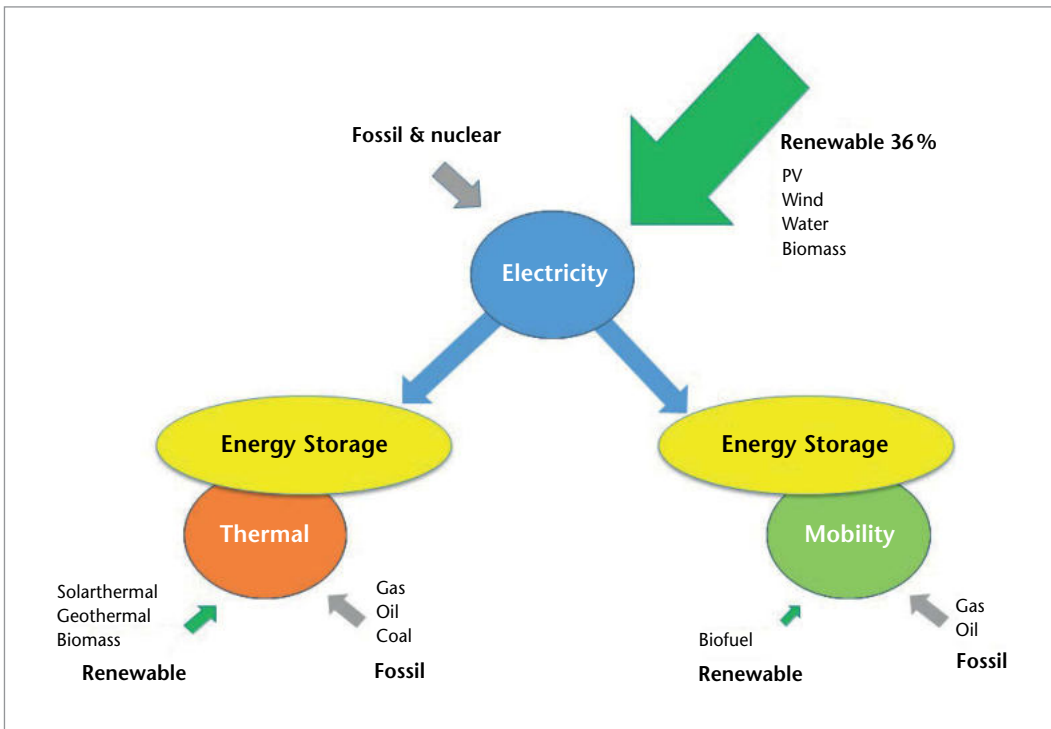


Abbildung 2
Sektorkopplung bietet Speicheroptionen in nachgelagerten Sektoren

Wärmespeicher im Niedertemperaturbereich zur Bereitstellung von Raumwärme sind Stand der Technik und werden schon lange zur kurzfristigen Lastverschiebung bis hin zu saisonaler Wärmespeicherung eingesetzt. In Zukunft wird jedoch der Bereich der industriellen Prozesswärme eine immer größere Rolle spielen. Aktuell entfällt etwa die Hälfte des Endenergiebedarfs in Deutschland auf den

Wärmebereich (► *Abbildung 3*), 29% auf den Verkehr und 20% auf den Elektrizitätssektor [1].

Innerhalb des Wärmesektors dominiert momentan noch der Anteil an Raumwärme. Dies wird sich in Zukunft jedoch deutlich ändern. Die angestrebten CO₂-Reduktionsziele bis zum Jahr 2050 lassen sich nur durch enorme Energieeinsparungen und Effizi-

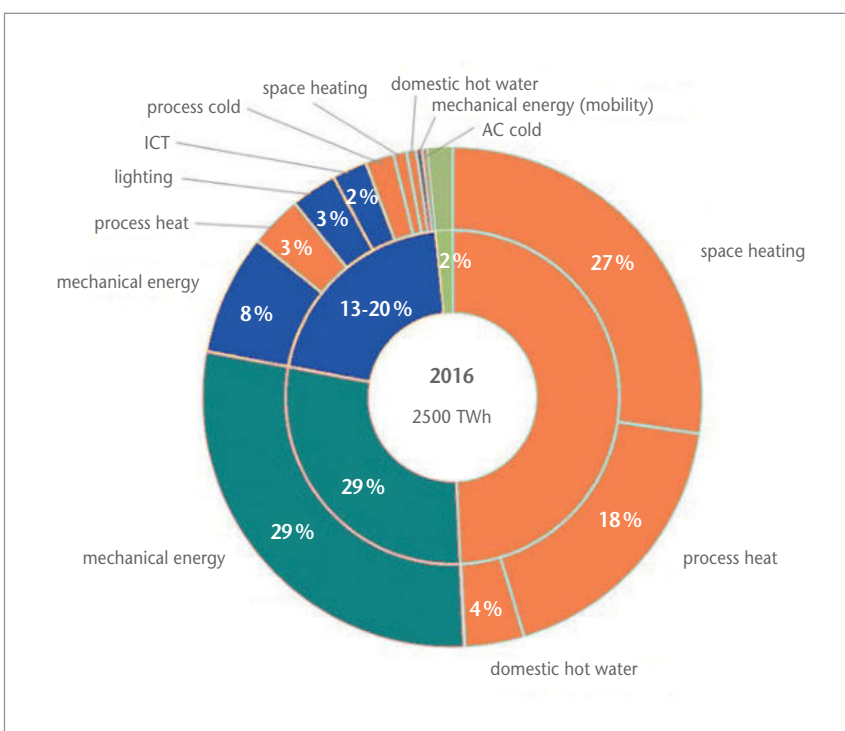


Abbildung 3
Endenergiebedarf in Deutschland nach Sektoren

enzsteigerungen erreichen, insbesondere im Bereich Verkehr (Übergang zur Elektromobilität) und im Bereich der Raumwärme (Verbesserung der Gebäudestandards im Neubau sowie Altbausanierung). Unter der Annahme, dass im industriellen Bereich das Einsparpotenzial eher gering ist, ergibt sich somit eine deutlich wichtigere Rolle der Hochtemperaturwärme für das zukünftige Gesamtenergiesystem Deutschlands.

Schon heute sind im Bereich der Raumwärmebereitstellung und der Mobilität Techniken etabliert, um komplett ohne den Einsatz fossiler Quellen auszukommen. Ziel muss es sein, auch die sehr unterschiedlichen industriellen Prozesse vollständig zu dekarbonisieren. Aufgrund der über alle Branchen hinweg sehr vielfältigen Anwendungsfelder erfordert dies den Einsatz unterschiedlicher Techniken.

Eine vielversprechende Option ist hier, über Power2Gas oder Power2Fuel in bisher fossil befeuerten Anlagen Brennstoffe zu verwenden, die CO₂-frei erzeugt wurden.

Eine weitere Option ist die direkte elektrische Wärmebereitstellung, da hier Umwandlungsverluste weitgehend vermieden werden können. Dies erfordert jedoch die zusätzliche Einbindung von Hochtemperaturwärmespeichern ins System, um den zeitlichen Versatz zwischen Stromangebot und Prozesswärmebedarf zu überbrücken. Das Potenzial für Hochtemperaturwärmespeicherung in der Industrie ist noch weitgehend unbekannt, erste Studien dazu werden aktuell durchgeführt [5].

Im Folgenden werden anhand einiger ausgewählter Beispiele aktuelle Forschungsaktivitäten vorgestellt:

Flüssigmetalle zur Wärmespeicherung

Eine vielversprechende Option zur Wärmespeicherung bei hohen Temperaturen sind Flüssigmetalle. Ziel ist die Realisierung von Anlagen im MWh-Maßstab bei Speichertemperaturen von 600-1100 °C.

Aufbauend auf langjähriger Erfahrung wird im Flüssigmetall-Labor des KIT (► *Abbildung 4*) aktuell integrierte Materialforschung an unterschiedlichen Materialklassen (z. B. Natrium, Zinn und Zinnlegierungen, Blei) durchgeführt.

Aufgrund der herausragenden Wärmetransporteigenschaften von Flüssigmetallen sind insbesondere Systeme zur effizienten Extraktion und Wiedernutzung von Hochtemperaturwärme im Aufbau. Aktuelle Forschungsthemen sind Materialforschung (insbesondere die Optimierung der Strukturmaterialien im Kontakt mit den hochkorrosiven Speichermedien), die Entwicklung von effizienten Speichertanksystemen mit hoher Ladedynamik sowie die Untersuchung von verschiedenen Nutzungsoptionen. Dabei spielt die Integration in bestehende Prozesse sowie die Entwicklung innovativer Heat-2Fuel-Prozesse eine wesentliche Rolle. Für Natrium als Speichermedium wird als weitere Option die direkte Stromwandlung untersucht (AMTEC Alkali Metal Thermal Electric Converter).

Abwärmenutzung für Prozess- und Heizwärme

Ein weiteres Anwendungsbeispiel aus dem industriellen Umfeld ist die Nutzung der Abwärme eines Gießereiofens während dessen Stillstandszeiten zur Bereitstellung von Prozess- und Heizwärme. Hier entwickelt das ZAE Bayern für die Gießerei Heunisch zusammen mit dem Anlagenbauer Küttner einen Hochtemperaturwärmespeicher (► *Abbildung 5*). Dieser wird als druckloser Zweistoffspeicher für Einsatztemperaturen bis 220 °C ausgeführt. Ein kostengünstiges Feststoffspeichermaterial wird von einem flüssigen Wärmeträgerfluid (Thermoöl) durchströmt. Die Wärme kann im Direktkontakt ausgetauscht werden. Nach einer Erprobungsphase im Labor soll das Speichermodul im realen Betrieb getestet werden. Durch die Anlage zum Abwärmerecycling sollen bei der Gießerei Heunisch jährlich etwa 3000 MWh Primärenergie und 600 t CO₂ eingespart werden.

Abbildung 4
Flüssigmetalle
für die Wärmespeicherung
bei hohen
Temperaturen
(Flüssigmetall-Labor
des KIT)





Abbildung 5
Hochtemperaturwärmespeicher für die Abwärmennutzung einer Gießerei (ZAE Bayern)

Energieintensive Industrien zur Produktion von Metallen, Zement oder Chemikalien machen einen Großteil des deutschen Strombedarfs aus. Die Produktionsschritte energieintensiver Industrien beinhalten zudem große Mengen innerer Energie in Form von heißen Materialien, die durch ihre Trägheit als Speicher genutzt werden können. Die Flexibilisierung dieser großen Strombedarfe kann zur Stabilisierung des Stromnetzes beitragen.

In der primären Kupferproduktion werden große Mengen geschmolzener Metalle wie Kupfer- und Eisenverbindungen verarbeitet (► *Abbildung 6*). Insbesondere das Nebenprodukt Schlacke wird in einem elektrischen Schmelzofen behandelt, um ver-

bliebenes Kupfer zurückzugewinnen. Die Schlacke wird mit Hilfe von eingetauchten Anoden durch elektrischen Widerstand erhitzt und auf 1500 K gehalten. Dieser Prozess benötigt auf der einen Seite viel Energie, auf der anderen Seite kann die große Menge geschmolzenen Materials als innerer Wärmespeicher genutzt werden. Die thermische Trägheit des Schmelzofens kann eine zeitlich variable Einbringung des Stroms ausgleichen und so einen flexiblen Betrieb ermöglichen. Das Stromnetz kann dann durch eine Anpassung des Strombedarfs entlastet werden, indem Stromnachfrage an die schwankende Produktion aus erneuerbaren Energien angepasst wird.

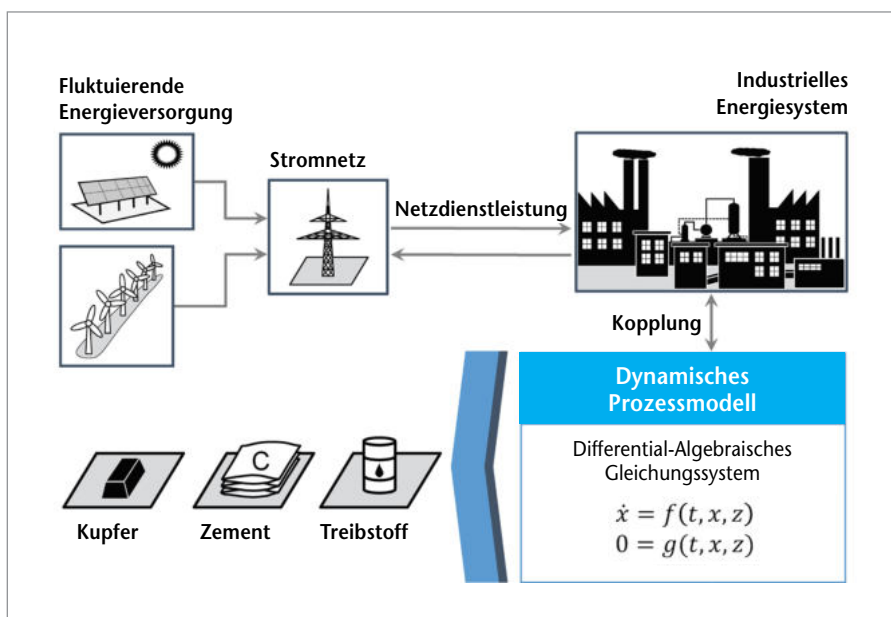


Abbildung 6
Dynamisches Prozessmodell zur Flexibilisierung der Kupferproduktion (Forschungszentrum Jülich)

Um diese Potenziale zu heben, werden vom Forschungszentrum Jülich detaillierte dynamische Modelle der Prozesse erstellt. Diese Modelle erlauben den optimalen Betrieb des Schmelzofens für prognostizierte Strompreise und die Einhaltung aller Randbedingungen, die durch den komplexen Kupferherstellungsprozess entstehen.

Insgesamt kann eine intelligente Fahrweise nicht nur netzdienlich sein, sondern auch zu einer großen Kosteneinsparung für den Anwender führen. In einem ähnlich gelagerten Projekt im Bereich der Nahwärmeversorgung konnte das Fraunhofer IEE nachweisen, dass durch optimiertes Lastmanagement in einem konkreten Einsatzfall die Betriebskosten um über 10% vermindert werden können. Intelligente Algorithmen zur Prognose der schwankenden Heizlast der Kundenanlagen und daraufhin optimierte Einsatzplanung einer Kombination aus elektrischer Wärmepumpe und elektrischem Spitzenlastkessel führen hier beispielsweise auch zu einer Erhöhung der Jahresarbeitszahl der zentralen Wärmeerzeugungsanlage um 7%.

Am DBFZ wird untersucht, inwieweit die Flexibilisierung von Biomasse-Heizkraftwerken die dezentrale Sektorkopplung unterstützen kann. Hier ist Wärmespeicherung eine wichtige Option, um KWK-Anlagen unabhängig vom Wärmebedarf betreiben zu können. Neben Dampfumleitung (Verschiebung von Strom zu Wärme mit Speicherung im Wärmenetz oder Wärmespeichern) kann Dampfspeicherung für erhöhte Flexibilität im Stundenbereich genutzt werden. Zusätzlich wird untersucht, inwieweit in zukünftigen Vergaser-Heizkraftwerken das heiße Produktgas unter gleichzeitigem Einsatz von Gas- und Wärmespeichern zwischengespeichert werden kann.

Fazit

Wärmespeicherung in der Industrie wird für flexible Sektorkopplung ein wesentlicher Baustein auf dem Weg zu einer CO₂-freien Energieversorgung sein. Aufbauend auf bestehenden Techniken und laufenden Forschungsarbeiten werden zukünftig für die jeweilige Anwendung angepasste Systeme entwickelt werden.

Referenzen

- [1] Energiedaten: Gesamtausgabe. Stand August: 2018; Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi). <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Artikel/Energie/energiedaten-gesamtausgabe.html>
- [2] Umweltbundesamt; CO₂-Emissionsfaktoren für fossile Brennstoffe; https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1968/publikationen/co2-emissionsfaktoren_fur_fossile_brennstoffe_korrektur.pdf
- [3] Umweltbundesamt; Entwicklung der spezifischen Kohlendioxid-Emissionen des deutschen Strommix in den Jahren 1990-2017 – https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2018-05-04_climate-change_11-2018_strommix-2018_0.pdf
- [4] BMWi und BMU (2010), Energiekonzept für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung
- [5] Seitz, A.; Zunft, S.; Hoyer-Klick, C. (2018): Technologiebericht 3.3b Energiespeicher (thermisch, thermo-chemisch und mechanisch). In: Wuppertal Institut, ISI, IZES (Hrsg.): Technologien für die Energiewende. Teilbericht 2 an das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi). Wuppertal, Karlsruhe, Saarbrücken.