

# Systemanalytische Perspektive – Meilensteine einer No-Regret-Strategie



ZSW  
 Maike Schmidt  
 maike.schmidt@zsw-bw.de

DLR  
 Dr. Thomas Pregger  
 thomas.pregger@dlr.de

Fraunhofer IWES  
 Prof. Dr. Clemens Hoffmann  
 clemens.hoffmann@  
 iwes.fraunhofer.de

Fraunhofer ISE  
 Thomas Schlegl  
 thomas.schlegl@ise.fraunhofer.de

ZAE Bayern  
 Dr. Matthias Rzepka  
 rzepka@muc.zae-bayern.de

## Ziele der Energiewende

Die mit dem Stromeinspeisegesetz 1991 bzw. dem Erneuerbare-Energien-Gesetz im Jahr 2000 im Stromsektor begonnene Transformation des Energiesystems ist die Grundlage für das Erreichen der Klimaschutzziele – Reduktion der Treibhausgasemissionen bis 2020 um 40% und bis 2050 um 80-95% gegenüber 1990. Das im September 2010 von der Bundesregierung vorgelegte Energiekonzept zeigt die entsprechenden Umsetzungsstellungen auf [1]. Hierin wird den erneuerbaren Energien künftig die Funktion des Rückgrats des deutschen Energieversorgungssystems zuerkannt. Bis zum Jahr 2050 sollen sie 60% des Energiebedarfs in Deutschland decken. Ihr Anteil im Stromsektor soll dabei mindestens 80% betragen.

Diese Zielsetzungen blieben auch durch die Energiewendebeschlüsse der Bundesregierung im Sommer 2011 unberührt [2]. Das Oberziel des Klimaschutzes wurde lediglich durch ein zweites Oberziel – den Vollzug des endgültigen Ausstiegs aus der Nutzung der Kernenergie bis zum 31. Dezember 2022 – ergänzt.

Damit ist das kurzfristig 2020 zu erreichende Klimaschutzziel ambitionierter geworden, da der als CO<sub>2</sub>-frei geltende Strom aus Kernreaktoren zusätzlich zu ersetzen ist. Dies kann insbesondere über eine Fortführung des dynamischen Ausbaus der erneuerbaren Energien

erreicht werden, die im Jahr 2012 bereits 23,5% des deutschen Stromverbrauchs deckten, wodurch rund 100 Mio. t CO<sub>2</sub> vermieden werden konnten [3].

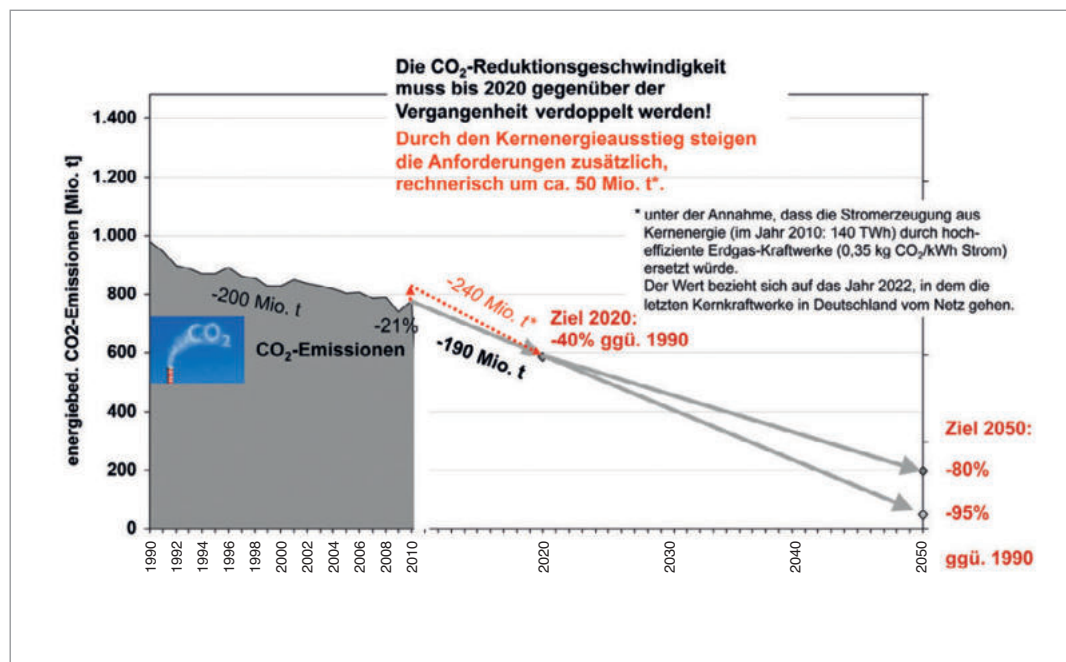
Auch im Wärme- und im Verkehrssektor steigt der Anteil der erneuerbaren Energien, wenngleich deutlich langsamer als im Strombereich. Insgesamt hatte der Einsatz der erneuerbaren Energien im Jahr 2012 eine emissionsreduzierende Wirkung von knapp 147 Mio. t CO<sub>2</sub>. Hieran gilt es auch in Zukunft anzuknüpfen, denn ohne die erneuerbaren Energien wären im Jahr 2012 ebenso viele energiebedingte CO<sub>2</sub>-Emissionen entstanden wie 20 Jahre zuvor im Jahr 1992 [4].

Aktuell steigen durch den Ausstieg aus der Kernenergie im Stromsektor die CO<sub>2</sub>-Emissionen wieder an. Es genügt jedoch nicht, diesen Trend nur aufzuhalten. Um das Reduktionsziel von –40% bis 2020 zu erreichen, ist die Emissionsminderungsgeschwindigkeit mindestens zu verdoppeln. Diese Entwicklungsdynamik gilt es auch über 2020 hinaus zu verstetigen, um das Erreichen der Langfristziele sicherzustellen.

## Stand der Stromwende

Im Stromsektor haben die erneuerbaren Energien die erste Phase der Systemtransformation bereits durch-

Abbildung 1  
 Klimaschutz als Treiber  
 der Energiewende



schritten, in der es vorrangig darum geht, durch eine entsprechende Ausbaudynamik den Markteinstieg zu erreichen. Aktuell befindet sich die erneuerbare Stromerzeugung bereits in der zweiten Phase, der beginnenden Marktdurchdringung. In dieser Phase entstehen Wechselwirkungen mit dem etablierten System, die es zu beobachten und, falls erforderlich, zu lenken gilt, um nicht vom langfristigen Zielpfad abzuweichen und um das Entstehen von Lock-in-Effekten zu vermeiden, die sich nur mit hohen Wechselkosten korrigieren lassen würden.

Im Jahr 2012 deckten die erneuerbaren Energien bereits 23,5% des deutschlandweiten Stromverbrauchs, dabei stammten 12,7% aus den fluktuierenden Quellen Wind und Solarstrahlung. Durch eine hohe Durchdringung in einzelnen Regionen – dies trifft insbesondere auf die Windenergienutzung im Norden Deutschlands zu – kommt es immer häufiger zu Netzengpassituationen und der erneuerbare Strom wird abgeregelt, obgleich jenseits des Netzengpasses Nachfrage für diesen Strom bestanden hätte.

Zudem ist – bedingt durch das im EEG verankerte Vermarktungsgebot über den Spotmarkt der EEX – ein signifikanter Einfluss der erneuerbaren Stromerzeugung auf den Börsenstrompreis erkennbar. Die Fluktuation der erneuerbaren Erzeugung stellt zunehmende Flexibilitätsanforderungen an den Kraftwerkspark, da beispielsweise durch hohe Gleichzeitigkeit sehr steile Lastgradienten entstehen. Dies wird weiter zunehmen, da Wind- und Solarenergie sowohl potenzialseitig als auch aus Kostengründen zukünftig die Hauptenergieträger sein müssen.

### Verknüpfung Strom–Wärme–Verkehr

Effiziente Lösungen zur Integration bzw. sinnvollen Nutzung dieser fluktuierenden Stromerzeugung, insbesondere wenn sie aufgrund von Netzrestriktionen oder fehlender Nachfrage zum Zeitpunkt der Erzeugung nicht im Stromsektor genutzt werden kann, bietet die intelligente Verknüpfung mit den verbleibenden Anwendungssektoren Wärme und Verkehr.

Eine klassische Kopplung des Strom- und Wärmesektors besteht bereits im Rahmen der verschiedenen Anwendung der Kraft-Wärme-Kopplung, die häufig bereits auf der Nutzung von erneuerbaren Energien, in diesem Fall den unterschiedlichen Formen der Biomasse, basiert.

Auch in einem weiteren Bereich der Nutzung erneuerbarer Energien im Wärmesektor besteht die Verknüpfung zum Stromsektor. Denn die zur Nutzung von Umweltwärme und oberflächennaher Geothermie eingesetzten Wärmepumpen werden ausschließlich elektrisch betrieben.

### Wärmewende noch am Anfang

Insgesamt war der Anteil der erneuerbaren Energien im Wärmesektor im Jahr 2012 mit rund 12% jedoch deutlich geringer als im Stromsektor [3]. Zudem ist im Bereich der erneuerbaren Wärmebereitstellung die Wachstumsdynamik deutlich geringer als im Stromsektor. Das im Energiekonzept der Bundesregierung formulierte Ziel bis 2050 einen klimaneutralen Gebäudebestand erreichen zu wollen, verlangt auch im Wärmesektor nach neuen Lösungen. Klimaneutral bedeutet dabei, dass der Energiebedarf eines Gebäudes im Zuge von Sanierungen soweit wie möglich reduziert wird und der verbleibende Bedarf weitestgehend bzw. vollständig aus erneuerbaren Energien zu decken ist [1]. Da neben den genannten Optionen Biomasse und Geothermie bzw. Umweltwärme als weitere Technologie der erneuerbaren Wärmebereitstellung lediglich noch die Solarthermie zur Verfügung steht, scheint es hier sehr sinnvoll, durch eine Verknüpfung mit der erneuerbaren Stromerzeugung und einer Hybridisierung der Wärmesysteme das Anwendungsspektrum von erneuerbaren Energien im Wärmesektor zu erweitern.

### Lösung Nachtspeicherheizung?

Wie *Abbildung 2* (S. 20) deutlich zeigt, treten Stromüberschüsse aus erneuerbaren Energien in einer nennenswerten Größenordnung erst langfristig bei entsprechenden Anteilen der Erneuerbaren an der Stromerzeugung (ab ca. 60%) auf. Bis 2020 bedarf es daher nicht zwangsläufig einer Nutzung von Stromüberschüssen. Dennoch kann auch im Zeitraum bis 2020 eine Verknüpfung mit dem Wärmesystem sinnvoll sein, um die Flexibilitätsanforderungen zur Stabilisierung des Stromsystems erfüllen zu können.

Hier gilt es jedoch genau zu prüfen, welche Anwendungen auch mit Blick auf das Erreichen des Langfristziels sinnvoll sind. So wird beispielsweise unter dem Deckmantel der Integration von erneuerbarem Überschussstrom der Nachtspeicherheizung zu einer Renaissance verholten [5]. Dies ist jedoch keine Option auf dem Weg zu einem nachhaltigen und zukunftsfähigen Energiesystem, da Nachtspeicherheizungen die erforderlichen Anforderungen an den effizienten und sparsamen Einsatz von Energie nicht erfüllen. Hinzu kommt, dass die Nachtspeicherheizung als alleiniges Heizsystem keine Flexibilität sondern eine dauerhaft hohe Nachfrage nach Strom darstellt. Somit erhöhen Nachtspeichersysteme schlechtestenfalls die Gesamtlast und letztlich auch den CO<sub>2</sub>-Ausstoß des Gesamtsystems. Die ungleiche regionale Verteilung der Nachtspeicherheizungen, die vornehmlich im Süden Deutschlands zu finden

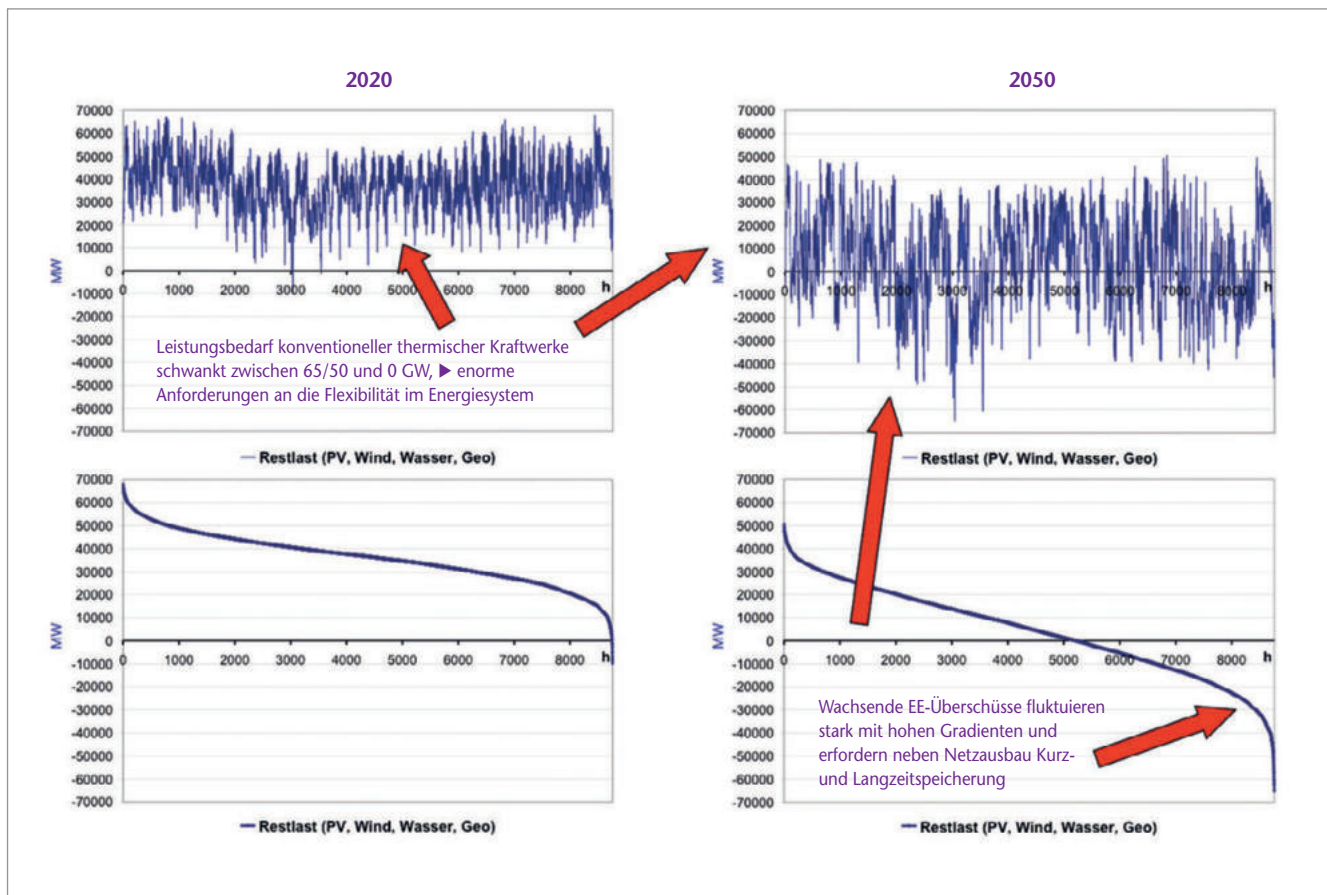


Abbildung 2

**Zukünftiger Residuallastverlauf in Deutschland**  
(Simulation für die Jahre 2020 und 2050 auf Basis der realen Windverhältnisse des Jahres 2006).

sind, kann diesen negativen Effekt verstärken. Starke Windstromerzeugung im Norden Deutschlands, die theoretisch mit dem Einsatz von Nachtspeicherheizungen komplementär sein könnte, würde bei der gegenwärtigen Netzsituation den Verbraucher im Süden nicht erreichen, da die Transportkapazitäten schlicht nicht vorhanden wären. Auch für Demand-Response-Maßnahmen und somit eine Flexibilisierung der Nachfrage zu Zeiten der Höchstlast stehen Nachtspeicherheizungen derzeit nicht zur Verfügung, da sie zum Zeitpunkt der Höchstlast – in der Regel in den frühen Abendstunden, zwischen 17:00 und 21:00 Uhr – gar keinen Strom aus dem Netz beziehen [6]. Somit können sie auch nicht durch Abschalten zur Lastreduzierung und damit zur Systemstabilisierung eingesetzt werden. Nachtspeicherheizungen stellen demnach keine erstrebenswerte Verknüpfung des Strom- und Wärmesystems im Sinne eines optimierten Gesamtsystems dar.

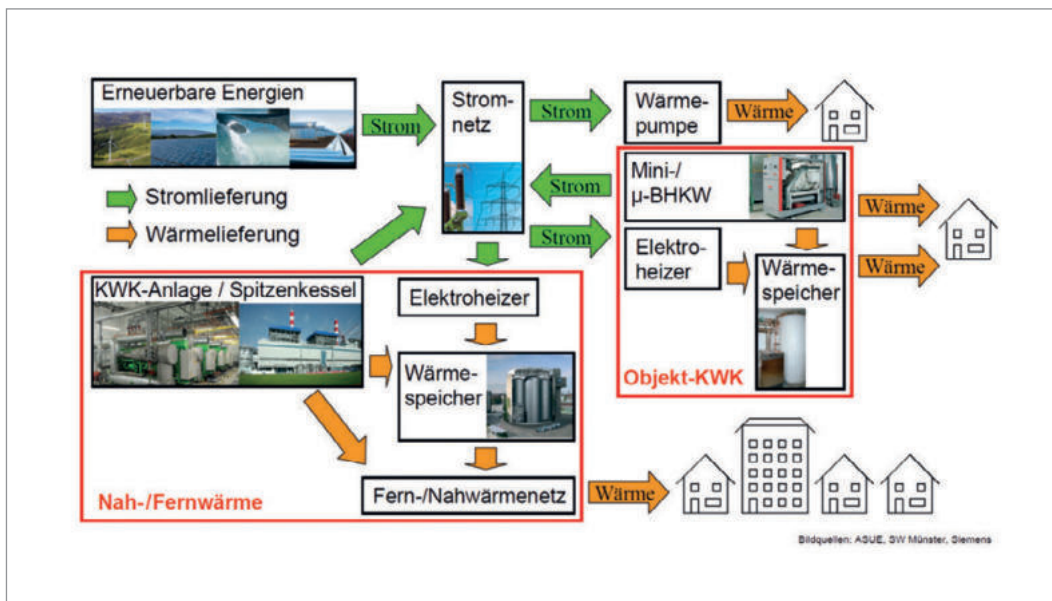
### Sektorenverknüpfung zur Optimierung des Gesamtsystems

Wie die Verknüpfung des Strom- und Wärmesektors im Sinne einer No-Regret-Strategie im Transformationsprozess des Energiesystems sinnvoll umgesetzt werden kann, zeigt [Abbildung 3](#).

Auch bei einem solchen System gilt es verschiedene Aspekte zu beachten:

Auch bei einem solchen System gilt es verschiedene Aspekte zu beachten:

- Wird **erneuerbarer Strom als Primärenergie im Wärmesektor** eingesetzt, erhöht dies den regenerativen Anteil und bei der in [Abbildung 3](#) gezeigten Umsetzung auch die Effizienz im Wärmesektor. Dies gilt auch für den Einsatz von mit erneuerbarem Strom betriebenen Wärmepumpen, sofern sie im Neubau oder entsprechend energetisch sanierten Bestandsgebäuden eingesetzt werden. Zu beachten sind jedoch auch hier die Wechselwirkungen mit dem Stromsektor mit Blick auf das Erreichen des Klimaschutzziels.
- Zusätzliche Stromlasten im Wärmesektor erfordern im Bedarfsfall eine Deckung über **regelbare Kapazitäten**. Daher müssen zusätzliche Lasten über Wärmespeicher ausreichend flexibilisiert sein und auch ohne erneuerbare Stromüberschüsse gedeckt werden können.
- Der **KWK-Betrieb** muss zukünftig an den Strombedarf angepasst werden. Um dies zu erreichen,



sind ggf. Anreize für Erzeugungsmanagement und die Installation von Wärmespeichern erforderlich. Jedoch sind bei der Anpassung der Betriebsweise insbesondere die Auswirkungen auf die CO<sub>2</sub>-Emissionen zu beachten. Solange die Flexibilitätsanforderungen des Systems dies noch nicht verlangen, sollte mit Blick auf das Klimaschutzziel die wärmebedarfsorientierte Fahrweise zunächst fortgesetzt werden.

- Werden erneuerbare Stromüberschüsse im Wärmesektor genutzt und gehen somit dem System nicht verloren, erhöht dies die Effizienz des Gesamtsystems. Auch diesbezüglich muss über **Anreize** nachgedacht werden, sofern der Markt selbst keine entsprechenden oder die falschen Signale setzt.
- Insgesamt betrachtet erhöht der verstärkte Einsatz von **Fern- und Nahwärmeversorgungssystemen** die Effizienz des Gesamtsystems und bietet ein hohes Flexibilisierungspotenzial zu geringen Kosten.
- Jedoch dürfen diese flexiblen Lasten nicht den **Rückbau unflexibler konventioneller Kraftwerke** verzögern, was den Systemkonflikt verschärfen würde, statt ihn zu mildern.
- Zudem ist dafür Sorge zu tragen, dass **Last- und Erzeugungsmanagement** nicht zu einer zu starken Synchronisierung führen, da eine zu hohe Gleichzeitigkeit zu regionalen oder lokalen Netzüberlastungen führen würde.

### Zielkonformität prüfen

Wie wichtig die Berücksichtigung der genannten Aspekte und die am Gesamtziel orientierte Gestaltung der Rahmenbedingungen sind, zeigen erste Modellrechnungen. Der Wunsch nach einer vollständigen und möglichst kostengünstigen Integration der fluktuierenden erneuerbaren Energien in ein verknüpftes Strom-Wärme-System kann zu deutlich höheren CO<sub>2</sub>-Emissionen des Zielsystems führen. Erste Modellrechnungen ergaben, dass diese bis zu 30% über den Emissionen eines nicht integrierten Basisszenarios und entsprechender Abregelung von erneuerbaren Stromüberschüssen liegen können [7]. Aus diesem Grund sind der Vorbereitung und Begleitung der Marktintegration und der optimalen Kopplungen von (neuen) Infrastrukturen durch weitere Systemanalysen besondere Bedeutung beizumessen.

### Optionen für Lastausgleich

Der zukünftige hohe Lastausgleichsbedarf in der Stromversorgung erfordert die Realisierung und Vernetzung von Ausgleichsoptionen zusätzlich zu einem flexiblen Kraftwerkspark zur Restlastdeckung. Gleichzeitig bedingen im Wärmesystem die Effizienzziele und Zielsetzungen für die erneuerbaren Anteile eine Vernetzung der Energieinfrastrukturen.

Für den Lastausgleich in der Stromversorgung gibt es indes mehrere Optionen. Dazu zählen

- flexible KWK mit Wärmespeicher
- Elektroheizer als zusätzliches Element in KWK-basierten Nahwärmesystemen
- langfristig die elektrolytische Bereitstellung von Wasserstoff und/oder dessen Methanisierung zur

Herstellung eines synthetischen Erdgassubstituts auf der Basis der Nutzung von erneuerbarem Strom

- Backup-Kraftwerke, insb. Gas- und Dampfkraftwerke und Gasturbinen (die langfristig mit erneuerbarem Methan betrieben werden können)

Um diese Optionen systemdienlich und zielkonform in den Transformationsprozess zu integrieren, sind zusätzliche räumlich und zeitlich aufgelöste Analysen erforderlich, die nicht zuletzt die Perspektiven unterschiedlicher Strukturoptionen für den Lastausgleich aufzeigen werden. Hieraus werden sich wichtige Entscheidungshilfen für die erforderliche Gestaltung der Rahmenbedingungen für den weiteren Erfolg der Energiewende ableiten lassen.

## Literaturangaben

- [1] Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie/Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit; Energiekonzept der Bundesregierung, Berlin, September 2010.
- [2] Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie/Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit; Der Weg zur Energie der Zukunft – sicher, bezahlbar und umweltfreundlich – Eckpunkte für ein energiepolitisches Konzept, Berlin, Juni 2011.
- [3] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Erneuerbare Energien in Zahlen – Nationale und internationale Entwicklung, Berlin, Stand Juli 2013.
- [4] Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, Zahlen und Fakten – Energiedaten Nationale und Internationale Entwicklung, Berlin, Stand August 2013.
- [5] Frank Merten, Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH, Renaissance der Nachtspeicherheizung als Beitrag zu Energiewende?, Vortrag anlässlich des Kongresses „Erneuerbare (neu) vernetzt! intelligent – stabil – bezahlbar – bürgernah“; 3. Kongress der Deutschen Umwelthilfe e. V. zum ökologischen und regional akzeptierten Umbau der Stromnetze, Berlin, Heinrich-Böll-Stiftung, 20. Februar. 2013.
- [6] Klobasa, M. et al, Lastmanagement als Beitrag zur Deckung des Spitzenlastbedarfs in Süddeutschland, Endbericht einer Studie von Fraunhofer ISI und der Forschungsgesellschaft für Energiewirtschaft im Auftrag der Agora Energiewende, August 2013, Berlin.
- [7] Felix Uhlmann, Dynamische Simulation des wirtschaftlichen Einsatzes hybrider Wärmebereitstellung auf Basis von Technologieclustern, Bachelorarbeit an der Universität Stuttgart, Institut für Feuerungs- und Kraftwerkstechnik in Zusammenarbeit mit dem Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg, Stuttgart, Oktober 2013 (unveröffentlicht).