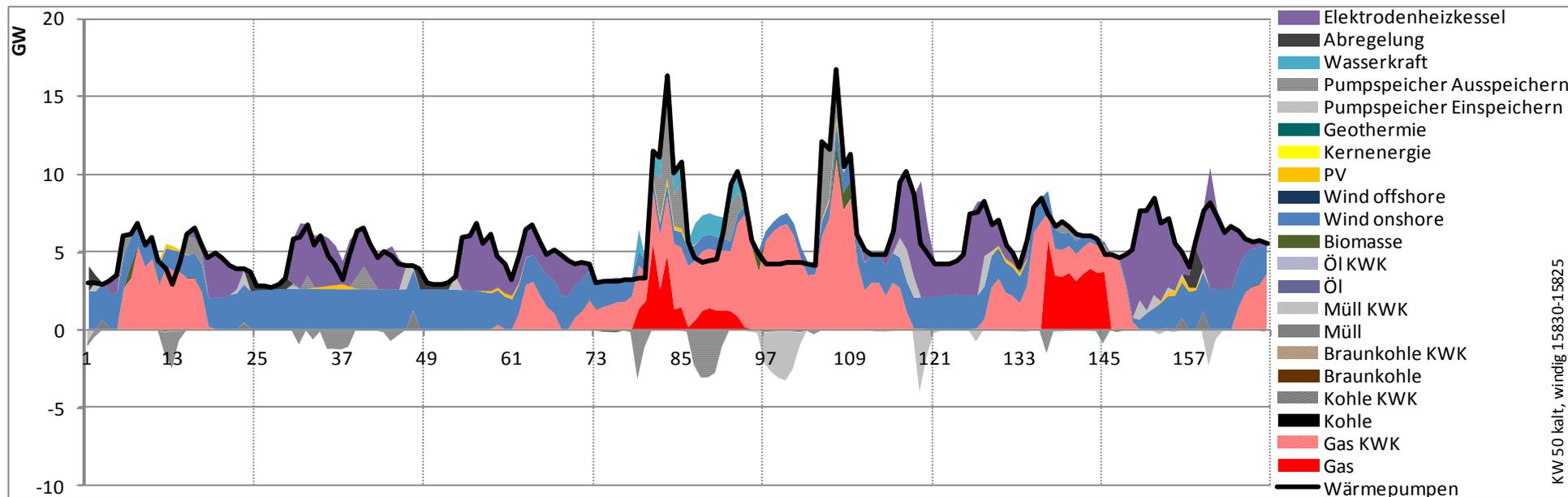


Analyse des potentiellen Beitrags von Power-to-Heat zur Dekarbonisierung und Flexibilisierung des deutschen Energiesystems

Dialogplattform Power to Heat

Goslar, 14.06.2016

Gerda Schubert, Tobias Boßmann, Julia Michaelis,
Michael Haendel, Martin Wietschel

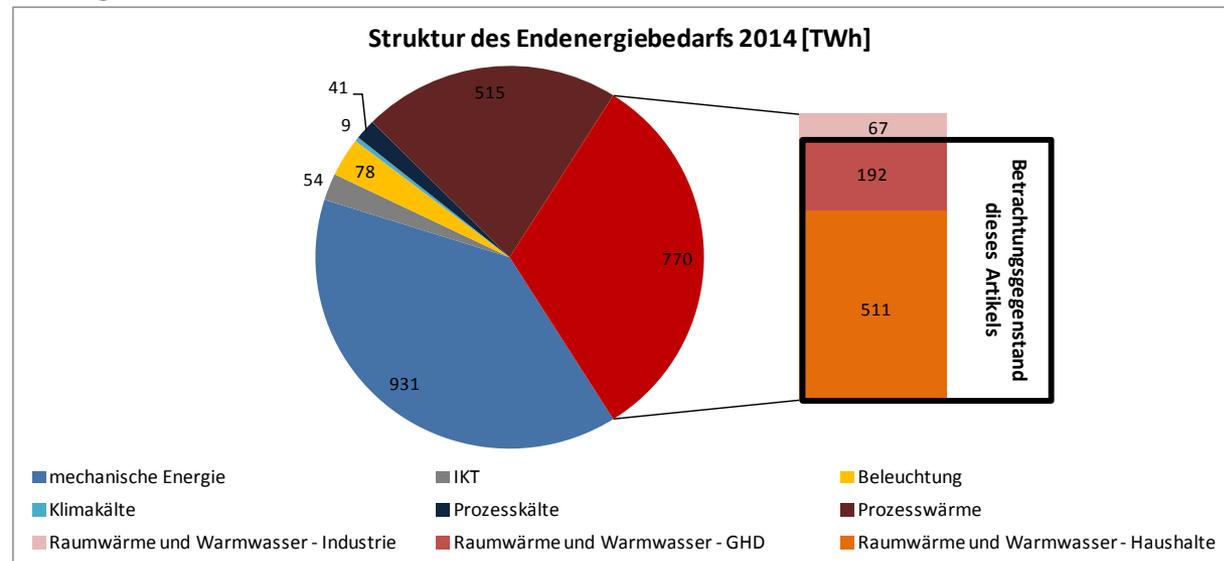


KW 50 kalt, windig_15830-15825

Einleitung

Motivation

- Transformation des Energiesystems mit dem Ziel der nahezu vollständigen Dekarbonisierung des Stromsektors
 - Reduktion des Energieverbrauchs
 - substantieller Ausbau der erneuerbaren Energien (EE)
- Sektorkopplungsoptionen (SKO) führen in Zukunft auch in anderen Sektoren zu erheblichen Emissionsminderungen
- Flexible SKO können zur Deckung des verstärkten Flexibilitätsbedarfs des Stromsektors beitragen
- Elektrifizierung des Wärmesektors (Power-to-Heat) ist eine bedeutende SKO



Einleitung

Gliederung

- ✓ Motivation
- Definition Sektorkopplungsoptionen
- Definition Power-to-Heat
- Methode: Ermittlung von Primärenergieeinsatz und CO₂-Emissionen
- Betrachtete Szenarien
- Ergebnisse
- Fazit

Definition stromseitige Sektorkopplungsoptionen (SKO)

- SKOs sind Anwendungen, die den Stromsektor mit anderen Nachfragesektoren verbinden
- innovativ, Prozess- oder Produktinnovationen
- Ziele:
 1. Beitrag zur Transformation des Energiesystems durch Substitution fossiler Brennstoffe durch „grünen Strom“
 2. Bereitstellung zusätzlicher Flexibilität zur besseren Integration fluktuierender EE ins System

		Anwendungssektoren		
		Haushalte GHD	Verkehr	Industrie
Stromumwandlung	Power-to-Heat	<ul style="list-style-type: none"> • Wärmepumpe • Elektrowärme (Elektrokessel) 		<ul style="list-style-type: none"> • Elektrische Schmelzöfen (u.a. Stahl, NE-Metalle, Glas)* • Wärmepumpe (u.a. Nahrungsmittel, Textilindustrie) • Elektrowärme* (u.a. Nahrungsmittel, Chemie, Zellstoffherstellung, Textilindustrie)
	Power-to-Liquid		<ul style="list-style-type: none"> • Verbrennungsmotor • Brennstoffzelle 	
	Power-to-Gas	<ul style="list-style-type: none"> • Brennstoffzelle 	<ul style="list-style-type: none"> • Brennstoffzelle • Verbrennungsmotor 	<ul style="list-style-type: none"> • Elektrolyse (u.a. Wasserstoff) • Brennstoffzelle
	Power-to-Move ¹		<ul style="list-style-type: none"> • Elektrofahrzeuge (Batterie) • Oberleitungs-LKWs • Leitungsgebundene Elektrifizierung*: Bahn, Busse 	
	Direkt			<ul style="list-style-type: none"> • Elektrifizierung Betriebsmittel Gasnetz • Plasmaverfahren (u.a. Acetylen)

* Über bestehende Anwendungen hinausgehende Substitution von fossil basierten Verfahren/Antriebssystemen

¹ Direkte Umwandlung von Strom in kinetische Energie / Fortbewegung

Definition Power-to-Heat

strombasierte Wärmeanwendungen

- Anwendungen, bei denen Strom für die Bereitstellung von Wärme genutzt wird
 - Raum- sowie
 - Prozesswärme (incl. Warmwasser)
- Typische innovative Anwendungen
 - dezentrale Wärmepumpen
 - Großwärmepumpen in Fernwärme und Industriewärmenetzen
 - Elektro- und Elektrodenkessel
- Power-to-Heat-Technologien unterscheiden sich in Anlagenkonfigurationen und Betriebsweisen
 - Bi- oder multivalenter Betrieb
 - Monovalenter Betrieb, rein strombasierten Einsatz

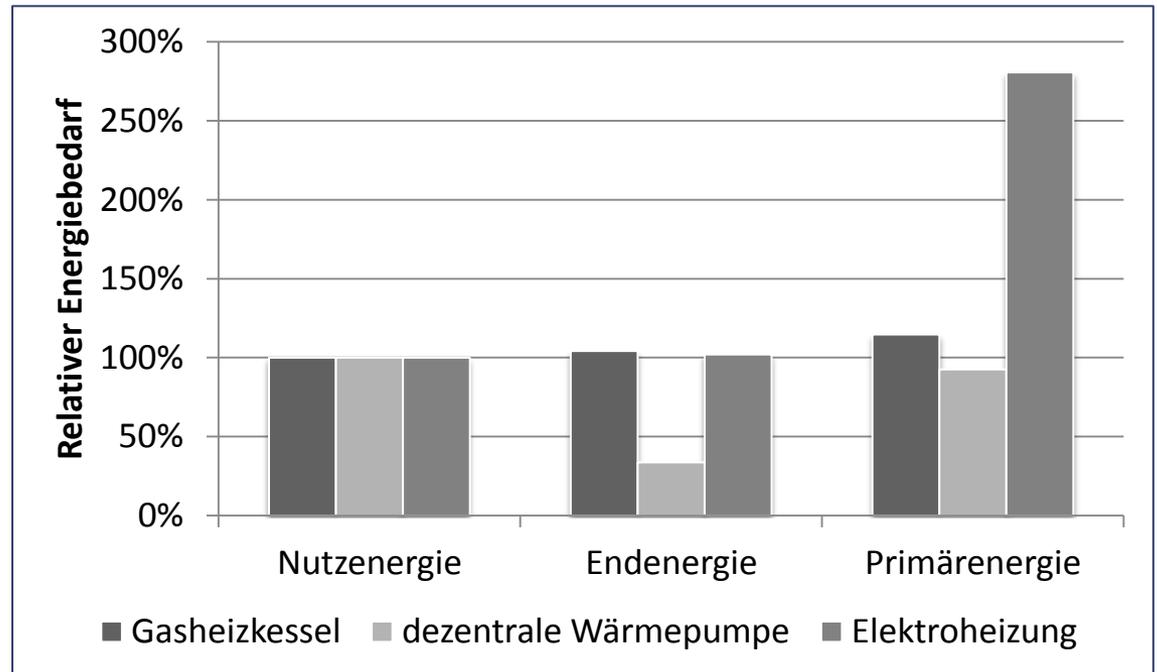
Definition Power-to-Heat

Anlagenkonfiguration/Betriebsweise

- Bi- oder multivalenter Betrieb
 - Strom kommt als komplementärer Ersatzenergieträger zum Einsatz, welcher gelegentlich den konventionellen Energieträger substituiert
 - Infrastruktur für die Verwendung von mind. zwei Energieträgern ist vorhanden (z.B. Gasbrennwertkessel in Verbindung mit Elektroheizstab)
 - Stromnachfrage sehr flexibel steuerbar
- Monovalenter Betrieb
 - Rein strombasierten Betrieb
 - Energiedienstleistung wird ausschließlich mittels Strom bereitgestellt (z.B. Ersatz von Gasbrennwertkessel durch Wärmepumpe)
 - Flexibilität der Stromnachfrage von Verfügbarkeit, Größe und Steuerung des Wärmespeichers abhängig

Methode (1) – Ermittlung von CO₂-Emissionen und Primärenergieeinsatz

- Bestimmung von **Primär-, End- und Nutzenergie** im Vergleich zur Referenztechnologie
- Nutzenergie zu Endenergie über **Wirkungsgrad**
 - Gasheizkessel 96%,
 - Elektroheizstab 98%
 - Wärmepumpe 315%
- Endenergie zu Primärenergie über **Bereitstellungskette/ Primärenergiefaktor**
 - Gas (1,1)
 - Strom (2,8)



Methode (2) – Ermittlung von CO₂-Emissionen und Primärenergieeinsatz

1. Bestimmung des spezifischen Primärenergieeinsatzes und der CO₂-Emissionen für die **Referenztechnologien**
2. Modellbasierte Analyse des **stündlichen Einsatzes** der Power-to-Heat-Technologien basierend auf stündlichen Spotmarkt-Strompreisen
3. Analyse des **Primärenergieeinsatz**, die bei der Stromerzeugung anfallen,
 - a) basierend auf dem durchschnittlichen Primärenergiebedarf der gesamten Stromerzeugung einer Stunde (*Durchschnittswerte*)
 - b) Basierend auf dem Primärenergieeinsatz des preissetzenden Kraftwerks (*Grenzwerte*)
4. Analyse der **CO₂-Emissionen**, die bei der Stromerzeugung anfallen,
 - a) basierend auf durchschnittlichen CO₂-Emissionen der gesamten Stromerzeugung einer Stunde (*Durchschnittswerte*)
 - b) Basierend auf den CO₂-Emissionen des preissetzenden Kraftwerks (*Grenzwerte*)
5. Abschätzung der **Gesamteinsparungen**

Methode (3) – Ermittlung von CO₂-Emissionen und Primärenergieeinsatz

- Unterscheidung zwischen bedarfs- und preisgesteuerter Fahrweise
 - **Bedarfsgesteuerte Fahrweise:** stündlicher Einsatz anhand temperaturabhängiger Standardlastprofile
 - **Preisgesteuerte Fahrweise:** Optimierung des stündlichen Lastverlaufs mit dem Ziel der *Minimierung der Strombezugskosten* unter Berücksichtigung eines Korridors möglicher Lastverschiebungen
- Dezentralen Wärmepumpen: bedarfsgesteuerte Fahrweise, zusätzliche Analyse des preisgesteuerten Betriebs
- Bivalente Technologien in Fernwärmenetzen nur preisgesteuert

Szenarien übergeordneter Szenariorahmen

- Basierend auf der Studie „**Klimaschutzszenario 2050 – 2. Endbericht**“
Aktuelle-Maßnahmen-Szenario (AMS)
 - Beinhaltet energie- und klimapolitischen Maßnahmen, die bis zum Oktober 2012 ergriffen wurden
 - Aktuelle Treibhausgasminderungsziele der Bundesregierung werden nicht erreicht
- Berücksichtigung von *Elektrofahrzeugen* und *Wärmepumpen*, keine Berücksichtigung von **Power-to-Heat-Optionen in Fernwärmenetzen**

	2014	2030	2050
Eingangsdaten			
Nettostromverbrauch (zzgl. Netzverluste)	547	559	621
Erdgaspreis [€ ₂₀₁₄ /MWh _{th}]	24	36	53
Steinkohlepreis [€ ₂₀₁₄ /MWh _{th}]	9	13	17
CO ₂ -Preis [€ ₂₀₁₄ /MWh _{th}]	6	32	53
Simulationsergebnisse			
EE-Anteil an Stromerzeugung	26 %	54 %	57 %
Durchschnittl. Spotmarktpreis [€ ₂₀₁₄ /MWh _{el}]	33	57	97
Durchschnittl. CO ₂ -Emissionen [g CO ₂ /kWh _{el}]	569	392	309

Szenarien

Technologieszenarien Power-to-Heat

- Optimistische Abschätzungen zur Marktpenetration von Power-to-Heat-Technologien, Fokus auf
 - dezentralen Wärmepumpen
 - Elektroheizstäbe in Fernwärmenetzen
 - Großwärmepumpen in Fernwärmenetzen

	2030	2050
Gesamter Raumwärme- und Warmwasserbedarf HH und GHD	564 TWh	325 TWh
Deckung des Raumwärme- und Warmwasserbedarfs durch dezentrale Wärmepumpen	53 TWh	150 TWh
Deckung des Wärmebedarfs in Fernwärmenetzen durch E-Heizer	5 TWh	17 TWh
Deckung des Wärmebedarfs in Fernwärmenetzen durch Großwärmepumpen	75 TWh	117 TWh

Ergebnisse

Minderung Primärenergieeinsatz

	Bereitstellung von Raumwärme und Warmwasser in den Sektoren GHD und Haushalte im Referenzfall	Teilweise bereits im AMS-Szenario erzielte Minderung durch den Einsatz dezentraler Wärmepumpen	zusätzliche Minderung durch Elektroheizstäbe in Wärmenetzen	zusätzliche Minderung durch Großwärmepumpen in Wärmenetzen
2030				
Primärenergieeinsatz bei aussch. Verwendung der Referenztechnologien	546 TWh	Gas- und Ölheizung: 58,3 TWh (11%)	Gasheizkessel: 6,0 TWh (1%)	Gasheizkessel: 86,1 TWh (16%)
Minderung (Durchschnittswerte)		38,4 TWh (-66%)	5,7 TWh (-95%)	60,1 TWh (-70%)
Minderung (Grenzwerte)		22,5 TWh (-39%)	1,7 TWh (-28%)	36,1 TWh (-42%)
2050				
Primärenergieeinsatz bei aussch. Verwendung der Referenztechnologien	325 TWh	Gas- und Ölheizung: 165,4 TWh (51%)	Gasheizkessel: 19,6 TWh (6%)	Gasheizkessel: 134,3 TWh (41%)
Minderung (Durchschnittswerte)		116,0 TWh (-70%)	19,6 TWh (-100%)	100,9 TWh (-75%)
Minderung (Grenzwerte)		64,3 TWh (-39%)	18,9 TWh (-96%)	62,9 TWh (-47%)

- Der Primärenergieeinsatz kann durch Power-to-Heat deutlich verringert werden
- Flexibilität führt zu hohen relativen Einsparungen

Ergebnisse

Minderung CO₂-Emissionen

	Bereitstellung von Raumwärme und Warmwasser in den Sektoren GHD und Haushalte im Referenzfall	Teilweise bereits im AMS-Szenario erzielte Minderung durch den Einsatz dezentraler Wärmepumpen	zusätzliche Minderung durch Elektroheizstäbe in Wärmenetzen	zusätzliche Minderung durch Großwärmepumpen in Wärmenetzen
2030				
CO₂-Ausstoß bei aussch. Verwendung der Referenztechnologien	280 Mio t CO₂	Gas- und Ölheizung: 11,1 Mio t CO ₂ (4%)	Gasheizkessel: 1,1 Mio t CO ₂ (0,4%)	Gasheizkessel: 15,8 Mio t CO ₂ (6%)
Minderung (Durchschnittswerte)		4,5 Mio t CO ₂ (-41%)	1,1 Mio t CO ₂ (-100%)	6,9 Mio t CO ₂ (-44%)
Minderung (Grenzwerte)		1,5 Mio t CO ₂ (-14%)	0,2 Mio t CO ₂ (-18%)	1,6 Mio t CO ₂ (-10%)
2050				
CO₂-Ausstoß bei aussch. Verwendung der Referenztechnologien	145 Mio t CO₂	Gas- und Ölheizung: 31,6 Mio t CO ₂ (22%)	Gasheizkessel: 3,6 Mio t CO ₂ (2%)	Gasheizkessel: 24,6 Mio t CO ₂ (17%)
Minderung (Durchschnittswerte)		16,4 Mio t CO ₂ (-52%)	3,6 Mio t CO ₂ (-100%)	14,1 Mio t CO ₂ (-57%)
Minderung (Grenzwerte)		7,9 Mio t CO ₂ (-25%)	3,6 Mio t CO ₂ (-100%)	7,5 Mio t CO ₂ (-30%)

- Die CO₂-Emissionen können verringert werden
- Der Anteil Erneuerbarer Energien am Strommarkt hat einen großen Einfluss

Ergebnisse

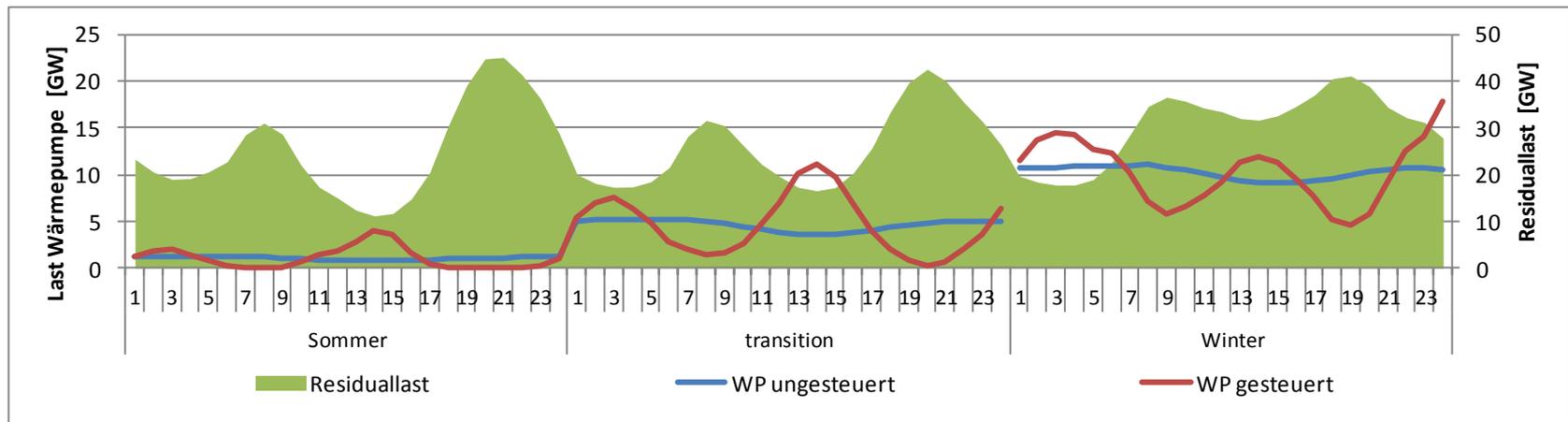
Flexibilisierung dezentrale Wärmepumpen

- Analyse des potentiellen Beitrags von dezentralen Wärmepumpen
 - zur *Glättung der Residuallast*,
 - zur Verminderung der Abregelung von EE-Strom und
 - zur *Reduktion der Spitzenlast*
- Bedarfsgesteuert: Stromnachfrage abhängig von Wärmenachfrage
- Preisgesteuert:
 - Sommer: Lastverlagerung zur Nutzung der PV-Stromerzeugung
 - Winter: Lastverlagerung in die Nachtstunden mit geringer Stromnachfrage
- Zuschaltbare Leistung aus Wärmepumpen:
 - 2030: bis zu 9 GW
 - 2050: bis zu 26 GW
 - → Reduzierung der Abregelung überschüssiger EE-Strommengen um 12-13% (2030: 1,2 TWh, 2050: 3,4 TWh)

Ergebnisse

Flexibilisierung dezentrale Wärmepumpen

- Die **größten Lastverlagerungspotentiale** von Wärmepumpen ergeben sich in den **Übergangsjahreszeiten** (Frühling und Herbst)
 - da im Winter die hohe Wärmenachfrage einen kontinuierlichen Betrieb der Wärmepumpe erfordert und
 - im Sommer nur Warmwasser benötigt und die Stromnachfrage der Wärmepumpe gering ist



- Verringerung der Residuallastspitze um bis zu 4% in 2050

Fazit

- Power-to-Heat-Technologien können langfristig **zur Minderung des Primärenergiebedarfs** beitragen, Wärmepumpen tragen aufgrund der zusätzlichen Nutzung von Umweltwärme, Elektroheizkessel aufgrund ihrer Flexibilität zum Klimaschutz bei
- Dezentrale Wärmepumpen reduzieren die CO₂-Emissionen im untersuchten AMS-Szenario um 5% bis 11% bis zum Jahr 2050, SKOs in Fernwärmenetzen reduzieren die CO₂-Emissionen um 2% bis 10% führen
- Ein **hoher EE-Anteil an der Stromerzeugung ist Voraussetzung** für die Minderung von CO₂-Emissionen und Primärenergiebedarf (und u.U. zusätzliche EE-Erzeugung)
- Wärmepumpen können die **Abregelung von EE am Strommarkt reduzieren**, die Flexibilität ist jedoch zeitlich begrenzt
- Die direkte Umwandlung von Strom in Wärme (**Direktheizungen, Elektrokessel**) ist aus Effizienz- und Kostengründen nur **als bivalente Zusatzheizung** sinnvoll, ihr Einsatz kann einen wesentlichen Beitrag **zur Flexibilisierung der Stromnachfrage** leisten
- Rückkopplungseffekte der zusätzlichen Stromnachfragemengen auf den Kraftwerkseinsatz und Kraftwerkszubau müssen untersucht werden

Quellen

- BMWi (2016): Zahlen und Fakten Energiedaten. Nationale und Internationale Entwicklung. Online verfügbar unter <http://bmwi.de/BMWi/Redaktion/Binaer/energie-daten-gesamt,property=blob,bereich=bmwi2012,sprache=de,rwb=true.xls>.
- Boßmann, T. (2015): The contribution of electricity consumers to peak shaving and the integration of renewable energy sources by means of demand response. Dissertation, Karlsruher Institut für Technologie.
- Michaelis, J.; Helms, H.; Noeren, D.; Dallmer-Zerbe, K.; Gnnann, T.; Haendel, M.; Reinhard, C.; Marwitz, S. (2015): [Energie und Umwelt - Elektromobilität in Baden-Württemberg im Jahr 2030. Projektübergreifende Forschung im Schaufenster Elektromobilität Baden-Württemberg](#). Abschlussbericht. Freiburg/Brsg.: Fraunhofer ISE
- Repenning, J., Matthes, F., Blanck, R., Emele, L., Döring, U., Förster, H., Haller, M., Harthan, R., Henneberg, K., Herrmann, K., Jörß, W., Kasten, P., Ludig, S., Loreck, C., Scheffler, M., Schumacher, K., Eichhammer, W., Braungardt, S., Elsland, R., Fleiter, T., Hartwig, J., Kockat, J., Pfluger, B., Schade, W., Schlomann, B., Senfuss, F., Athmann, U., und Ziesing, H.-J. (2015). Klimaschutzszenario 2050: 2. Endbericht. Berlin.
- [Wietschel, Martin](#); [Haendel, Michael](#); [Schubert, Gerda](#); [Köppel, Wolfgang](#); Degünther, Charlotte (2015). Kurz- und mittelfristige Sektorkopplungspotentiale. Kurzstudie
- Im Rahmen der Studie Integration erneuerbarer Energien durch Sektorkopplung, Teilvorhaben 2: Analyse zu technischen Sektorkopplungsoptionen; UFOPLAN 2014 – FZK 3714 41 107 2. Karlsruhe: Fraunhofer ISI.