

Kurzstudie

**Power to Heat im Spannungsfeld von
Wirtschaftlichkeit, technischen
Entwicklungen und regulatorischem
Umfeld**

-

**Erfahrungen und Erkenntnisse des BMBF-geförderten Projekts
Innovationsforum „Power-to-Heat“**



Institution

Brandenburgische Technische Universität Cottbus-Senftenberg

Lehrstuhl Energiewirtschaft

Prof. Dr. Felix Müsgens

Postfach 10 13 44

03013 Cottbus

Autoren:

Felix Müsgens

Stefan Wald

Inhaltliche Verantwortung:

Das Projekt Innovationsforum Power-to-Heat wurde durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung im Rahmen der Initiative „Unternehmen Region“ gefördert. Die Verantwortung für die Inhalte dieser Veröffentlichung liegt jedoch allein bei den Autoren

Inhalt

1	Einleitung.....	5
2	Innovationen in Produkten und Vermarktungsmöglichkeiten	5
3	Marktfähigkeit von P2H-Anlagen in unterschiedlichen Vermarktungsstrategien	8
3.1	Erlöse am Regelenergiemarkt	8
3.2	Erlöse durch verminderte Bezugskosten anderer Energieträger	15
3.3	Vermarktung als zuschaltbare Last	19
4	Ausgestaltung des regulatorischen Rahmens als Level-Playing-Field	21
5	Fazit.....	24
6	Anhang: Kurzinformationen zum Projekt Innovationsforum Power-to-Heat.....	25

Abbildungsverzeichnis

<i>Abbildung 1: Technische Möglichkeiten zur Wärmeerzeugung aus Elektrizität (Quelle: Kleimaier VDE).....</i>	<i>6</i>
<i>Abbildung 2: Regelleistungsformen in Deutschland (Quelle: Sitzmann ewi ER&S gGmbH).....</i>	<i>9</i>
<i>Abbildung 3: Ausschreibungskonditionen der verschiedenen Regelenenergieformen (Quelle: Sitzmann ewi ER&S gGmbH).....</i>	<i>10</i>
<i>Abbildung 4: Entwicklung der Menge der ausgeschriebenen Regelleistung im Zeitverlauf (Quelle: Bachmann Fernheizwerk Neukölln AG).....</i>	<i>11</i>
<i>Abbildung 5: Menge der abgerufenen Regelleistung im Zeitverlauf (Quelle: Bachmann Fernheizwerk Neukölln AG).....</i>	<i>11</i>
<i>Abbildung 6: Anzahl der Anbieter von Regelenenergie im Zeitverlauf (Quelle: Bachmann Fernheizwerk Neukölln AG).....</i>	<i>12</i>
<i>Abbildung 7: Entwicklung der mittleren Leistungspreise für Sekundärregelleistung und Minutenreserve im Zeitverlauf (Quelle: Sitzmann ewi ER&S gGmbH).....</i>	<i>12</i>
<i>Abbildung 8: Leistungspreis- vs. Arbeitspreisentwicklung im Zeitverlauf (Quelle: Bachmann Fernheizwerk Neukölln AG).....</i>	<i>13</i>
<i>Abbildung 9: Berechnungsbeispiel für die Vermarktung einer P2H-Anlage in der Sekundärregelleistung (Bachmann Fernheizwerk Neukölln AG).....</i>	<i>14</i>
<i>Abbildung 10: Push- und Pullfaktoren für die künftige Entwicklung der Nachfrage nach Regelleistung (Quelle: Bade r2b energy consulting GmbH).....</i>	<i>15</i>
<i>Abbildung 11: Strompreise für verschiedene Kundengruppen (Quelle: Lenck Agora Energiewende).....</i>	<i>16</i>
<i>Abbildung 12: Steuern und Abgaben verschiedener Energieträger für die Wärmeerzeugung (Quelle: Lenck Agora Energiewende).....</i>	<i>17</i>
<i>Abbildung 13: Preisbestandteile des Strombezugs von P2H-Anlagen (Quelle: Bachmann Fernheizwerk Neukölln AG).....</i>	<i>18</i>
<i>Abbildung 14: Jahresstunden für den Einsatz von P2H (Quelle: Bachmann Fernheizwerk Neukölln AG).....</i>	<i>19</i>
<i>Abbildung 15: Ausbau von erneuerbaren Energien und Abregelung von Strommengen (Quelle: Hinrichsen BTB Berlin).....</i>	<i>20</i>
<i>Abbildung 16: Mögliche Zielstellungen für den künftigen regulatorischen Rahmen nach den Vorstellungen der Agora Energiewende (Quelle: Lenck Agora Energiewende).....</i>	<i>22</i>
<i>Abbildung 17: Implizite Abgaben auf emittiertes CO₂ verschiedener Energieträger für die Wärmeerzeugung (Quelle: Lenck Agora Energiewende).....</i>	<i>23</i>

1 Einleitung

In dieser Kurzstudie werden zentrale Ergebnisse des Innovationsforums Power-to-Heat (P2H) zusammengestellt. Das BMBF-geförderte Projekt wurde vom Fachgebiet Energiewirtschaft der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus-Senftenberg in Zusammenarbeit mit der Unternehmensberatung HLP Dimler und Karcher aus Berlin/Potsdam durchgeführt. Im Zentrum des Projekts standen die Schaffung von Netzwerken und die Diskussion von Innovationen im Themenfeld Power-to-Heat¹.

Die in dieser Kurzstudie diskutierten Ergebnisse und gezeigten Beispiele sind größtenteils innerhalb der Fachforen entstanden. Während des Projektverlaufs kristallisierten sich drei zentrale Themenfelder heraus:

- Innovationen in Produkten und Vermarktungsmöglichkeiten
- Marktfähigkeit von P2H-Anlagen in unterschiedlichen Vermarktungsstrategien
- Ausgestaltung des regulatorischen Rahmens als faires Level-Playing-Field

Die vorliegende Kurzstudie konzentriert sich auf diese Schwerpunkte. Zunächst werden technologische Weiterentwicklungen diskutiert. Anschließend untersucht sie die Marktfähigkeit der Technologie, identifiziert mögliche Geschäftsmodelle und analysiert potentielle Hemmnisse. Abschließend wird eine Weiterentwicklung des regulatorischen Rahmens diskutiert. Im Folgenden werden die einzelnen Aspekte genauer beleuchtet.

2 Innovationen in Produkten und Vermarktungsmöglichkeiten

Der Begriff power-to-heat (P2H) wird unterschiedlich definiert. Manche Autoren beschränken den Begriff auf die (großtechnische) Einbindung eines Elektrodenheizkessels oder eines anderen Widerstandserhitzers zur Produktion von Wärme, oftmals kombiniert mit anderen Wärmeerzeugern wie KWK-Anlagen oder fossil befeuerten Heizkesseln. Wir fassen den Begriff jedoch weiter und folgen damit auch der der wörtlichen Übersetzung des englischen Begriffs.

¹ Ausführlichere Informationen zum Projekt finden sich im Anhang. Ebenfalls im Anhang finden sich Informationen, wie auf Materialien einzelner Vorträge zugegriffen werden kann.

Begriffsdefinition:

Power-to-heat (P2H) wird definiert als die Umwandlung von elektrischer Energie in Nutzwärme.

Die Bandbreite der Technologieformen in Haushalt und Industrie ist in Abbildung 1 aufgeführt. Die wichtigsten Technologien hierbei sind verschiedene Formen der Widerstandsbeheizung/des Elektrodenheizkessels und der Wärmepumpe. Innerhalb der Industrie existieren noch weitere Verfahren, die Anwendung finden. Diese sind jedoch weniger verbreitet.

Haushalte und Gewerbe	Industrie und Prozesswärme
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Widerstands-Heizsysteme <ul style="list-style-type: none"> – Heizstäbe – Strömungserhitzer – Flächenheizsysteme – Infrarotstrahler ▪ Elektrodenheizkessel (Gewerbe) ▪ Elektrische Wärmepumpe ▪ Bivalente (hybride) Wärmesysteme 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Prozesse und Verfahren <ul style="list-style-type: none"> – Konduktive Widerstandserwärmung – Induktive Erwärmung – Hochfrequenzerwärmung – Magnetische Gleichstrom-Erwärmung – Elektrische Infraroterwärmung ▪ Elektrodenkessel (ggf. mit KWK) ▪ Elektrische Wärmepumpen

Abbildung 1: Technische Möglichkeiten zur Wärmeerzeugung aus Elektrizität (Quelle: Kleimaier VDE)

Bei der Widerstandsheizung fließt Strom durch ein widerstandsbehaftetes Leitermaterial und erhitzt dieses dabei. Die wohl bekannteste Form dieser Art der Wärmeerzeugung ist der Tauchsieder. Die Umwandlung von Strom in Wärme erfolgt dabei nahezu verlustfrei. Die Methode der Widerstandsbeheizung ist nach übereinstimmender Aussage der am Projekt beteiligten Experten technisch ausgereift. Innovationspotentiale bestehen hauptsächlich bei der Einbindung in ein Gesamtsystem zur Wärmeerzeugung und bei der bedarfsgerechten Steuerung, z. B. um Preissignalen zu folgen oder zur Netzstabilisierung beizutragen. In diesem Zusammenhang ist auch die Möglichkeit zur (automatisierten) Fernsteuerung zu untersuchen. Im Projekt diskutiert wurden darüber hinaus Potentiale für Kostendegression als Folge einer steigenden Marktpenetration. Bei anderen P2H-Technologien gibt es aber auch technische

Innovationen. So wurde z. B. in einem der im Projekt durchgeführten Fachforen eine Heizfolie vorgestellt, die einfach in bestehende Wohngebäude integriert werden kann und deutlich effizienter arbeitet als ein Nachtspeicherofen. Sollte diese Beheizungsform auch systemdienlich eingesetzt werden können, könnte sie z. B. mit einem Stromspeicher kombiniert werden.

Eine Wärmepumpe nutzt vorhandene Wärme aus dem Boden, dem Wasser oder der Luft und entzieht dabei der Umgebung Wärme über die Kompression und Entspannung eines geeigneten Mediums (ähnlich wie ein Kühlschrank, der an der Rückseite Wärme abgibt). Da dabei aus einer MWh Strom mehr als drei MWh Wärme gewonnen werden können, ist die Wärmepumpe eine besonders energieeffiziente Technologie. Jedoch ist sie in ihrer Fahrweise weniger flexibel, da sie insbesondere bei einer hohen Auslastung wirtschaftlich ist, und eignet sich darüber hinaus eher für niedrigere Temperaturen. Auch in diesem Bereich sind jedoch Innovationen in Arbeit. Beispielsweise wurde in einem Fachforum eine neuartige Groß-Wärmepumpe von der Firma ecop vorgestellt, mit der es technisch möglich ist, verschiedene Temperaturniveaus bis zu 150 °C zu erzeugen, die aber gleichzeitig hohe Wirkungsgrade erreicht. Möglich ist dies durch technische Entwicklungen und ein speziell entwickeltes Arbeitsmedium.

Herausforderungen bestehen wie beschrieben bei der systemdienlichen Integration von P2H-Anlagen für kleinere Verbraucher. Zum einen haben Kleinverbraucher in der Regel keine Möglichkeiten und keinen Anreiz, Strom systemdienlich zu verbrauchen, da sie weder über die technischen Möglichkeiten verfügen noch Stromtarife haben, die zeitlich variieren. Eine Möglichkeit der technischen Einbindung entwickelt derzeit das Institut für Wärme- und Öltechnik. Hierbei wird in einem Einfamilienhaus mit PV-Anlage und Ölheizung (mit Pufferspeicher) eine zusätzliche P2H-Einheit in das bestehende Heizsystem installiert. Um die Heizung systemdienlich einsetzen zu können, wird eine Kommunikationseinheit entwickelt, die den Fernzugriff für das Anbieten von Regelenergie erlaubt. Möglich wäre mit einer solchen Einrichtung beispielsweise die Nutzung von regional überschüssigem Strom, die Steuerung der Nutzung des Stroms der PV-Anlage und die Nutzung von zeitvariablen Stromtarifen. In einem Feldtest soll der Ansatz auf seine Praxistauglichkeit hin untersucht werden. Zusätzlich wird untersucht, wie sich die Anlage im Praxisfall mit variablen Tarifen verhält, wie sie versuchsweise bereits von ersten Stadtwerken angeboten werden.

Die optimale Ausgestaltung solcher Tarife wird derzeit beispielsweise in einem Modellprojekt mit dem Namen CheapFlex (Stadtwerke Wolfhagen) getestet. Ziel ist es dabei, die Kernfunktionen eines intelligenten Netzes möglichst kostengünstig umzusetzen. Dabei wird eine für den Verbraucher und Erzeuger möglichst einfache Preisstruktur entwickelt, um Anreize zu einem systemdienlichen Verhalten auf Verbraucherseite zu beanreizen.

3 Marktfähigkeit von P2H-Anlagen in unterschiedlichen Vermarktungsstrategien

Grundsätzlich stehen für P2H-Anlagen mehrere Erlösquellen zur Verfügung. Die wichtigsten dabei sind:

- Erlöse am Regelenergiemarkt
- Erlöse durch die Einsparung von Brennstoffkosten
- Sonderformen der Vermarktung

Die wirtschaftliche Attraktivität der drei Vermarktungsmöglichkeiten wird im Folgenden genauer untersucht.

3.1 Erlöse am Regelenergiemarkt

Für die meisten Betreiber, die bereits eine P2H-Anlage installiert haben, ist die Vermarktung über den Regelenergiemarkt in den vergangenen Jahren die lukrativste Vermarktungsmöglichkeit gewesen. Regelenergie dient dazu, unvorhergesehene Abweichungen in Stromerzeugung oder Stromabnahme auszugleichen und Netzinstabilitäten zu vermeiden. P2H-Anlagen können negative Regelenergie anbieten, was bedeutet, dass sie zusätzlichen Strom aufnehmen können (und damit z. B. in einer Kraft-Wärme-Kopplungsanlage fossile Wärmeproduktion ersetzen), wenn die Netzfrequenz 50 Hertz übersteigt. Regelenergie muss in von der Bundesnetzagentur festgelegten Fristigkeiten bereitgestellt werden, wobei P2H-Anlagen i. d. R. in der Sekundärreserve vermarktet werden. Zunehmend ist darüber hinaus auch die Bereitstellung von Primärregelleistung durch P2H im Gespräch. Die Anbieter von Regelenergie werden für die Vorhaltung der Anlage entschädigt, da die Nutzung der Anlage für den Angebotszeitraum vom Netzbetreiber gesteuert wird und somit dem Anlagenbetreiber nicht - oder nur eingeschränkt - zur Verfügung steht. Dafür

erhalten die Anbieter einen Leistungspreis. Zusätzlich erhalten sie einen Arbeitspreis, wenn die Anlage tatsächlich auch zur Frequenzstabilisierung eingesetzt wird. Die Details zu den Regelungen der relevanten Regellenergiearten finden sich in Abbildung 2 und Abbildung 3.

Regelleistungsart	Primärregelleistung	Sekundärregelleistung	Minutenreserve
Aktivierungszeit	< 30 sec	< 5 min	< 15 min
Abrufzeit	max. 15min	30sec < t < 15min	15min < t < mehrere h
Abruf/Steuerung	vollautomatisch	vollautomatisch	manuell durch ÜNB
Zeitverfügbarkeit	100%	95%	100%
Arbeitsverfügbarkeit	-	100%	100%
Verfügbare Regelleistung	± 2% Nennleistung, min. ± 2 MW	-	-



Abbildung 2: Regelleistungsformen in Deutschland (Quelle: Sitzmann ewi ER&S gGmbH)

Regelleistungsart	Primärregelleistung	Sekundärregelleistung	Minutenreserve
Ausschreibungszeitraum	wöchentlich	wöchentlich	werktäglich
Ausschreibungstag	Dienstag	Mittwoch	
Produktzeitscheiben	keine	Zwei (HT/NT)	Sechs (je 4h)
Angebotsabgabefrist	15 Uhr	15 Uhr	10 Uhr (Vortag)
Zuschlagserteilung	16 Uhr	16 Uhr	Ca. 11 Uhr (Vortag)
Zuschlagskriterium	Leistungspreis	Leistungspreis	Leistungspreis
Abrufkriterium	Solidaritätsprinzip	Arbeitspreis	Arbeitspreis
Mindestgröße	1 MW	5 MW	5 MW
Angebotsinkrement	1 MW	1 MW	1 MW
Richtung	allgemein	positiv u. negativ	positiv u. negativ

Abbildung 3: Ausschreibungskonditionen der verschiedenen Regelleistungsformen (Quelle: Sitzmann ewi ER&S gGmbH)

Trotz der vermehrten Einspeisung der fluktuierenden Energieformen Windenergie und Sonnenenergie ist die Menge der ausgeschriebenen und abgerufenen Regelleistung in den letzten Jahren rückläufig. Gründe hierfür sind z. B. eine bessere überregionale und internationale Zusammenarbeit der Netzbetreiber sowie verbesserte Prognosen zu Energieeinspeisung und Energieverbrauch.

Die Entwicklung der ausgeschriebenen Menge an Regelleistung ist in Abbildung 4 zu sehen. Alle Regelleistungsformen - mit Ausnahme der Primärregelleistung – weisen einen im Zeitraum von 2012 bis 2015 eine deutlich fallende Tendenz auf. Darunter sind auch die für die Vermarktung von P2H wichtigen Formen der negativen Sekundärregelleistung (SLR-) und der negativen Minutenreserve (MRL-)

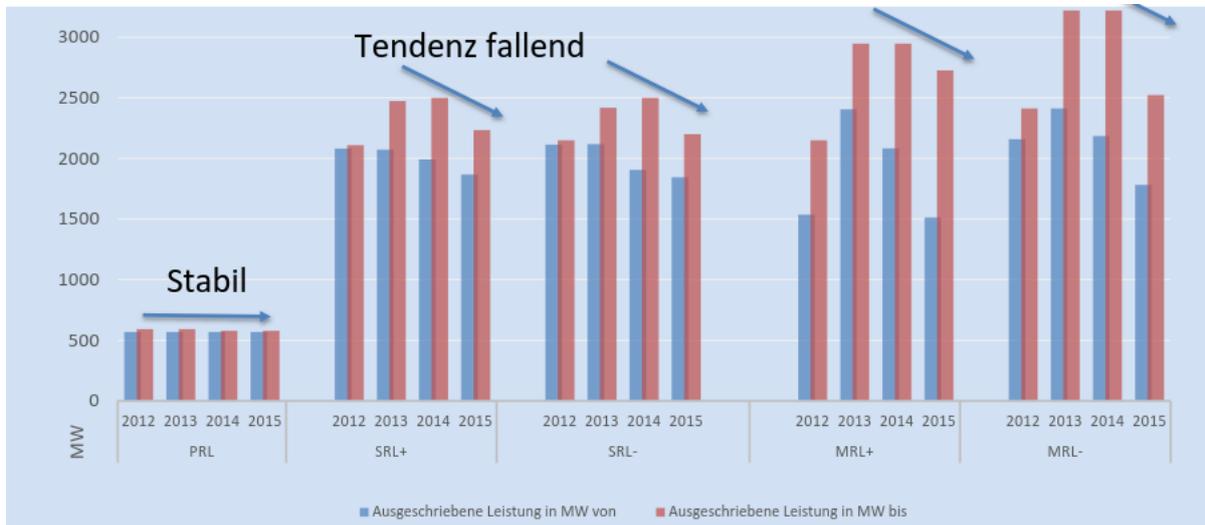


Abbildung : Quelle: BUNDESNETZAGENTUR | BUNDESKARTELLAMT

Abbildung 4: Entwicklung der Menge der ausgeschriebenen Regelleistung im Zeitverlauf (Quelle: Bachmann Fernheizwerk Neukölln AG)

Eine ähnliche Tendenz lässt sich auch bei der Menge der letztlich abgerufenen Regelleistung beobachten (Abbildung 5). Auch hier zeigt sich im Zeitraum von 2013 bis 2015 eine fallende Tendenz.

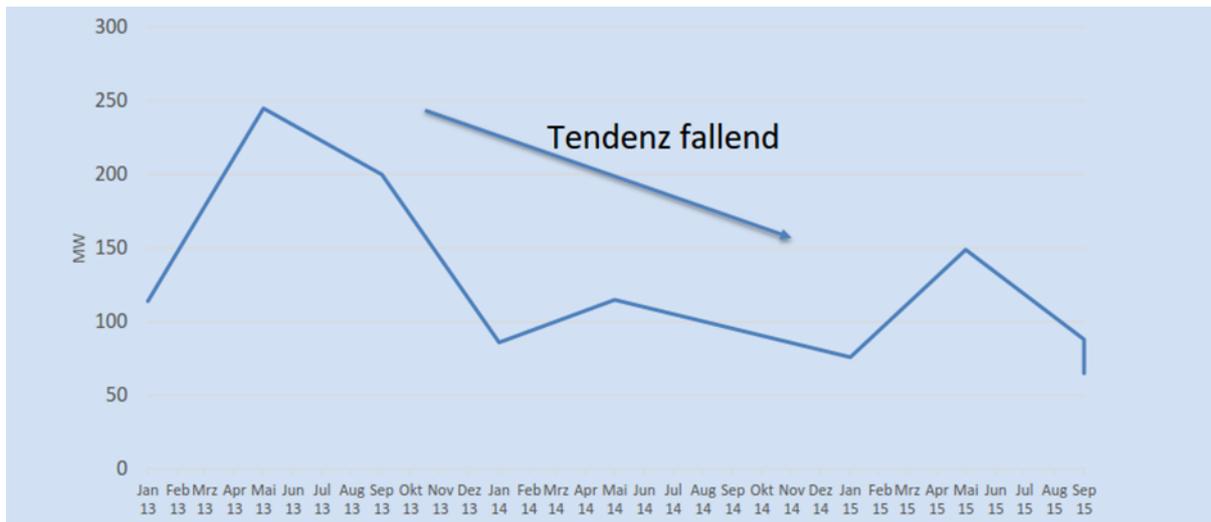


Abbildung : Quelle: BUNDESNETZAGENTUR | BUNDESKARTELLAMT

Abbildung 5: Menge der abgerufenen Regelleistung im Zeitverlauf (Quelle: Bachmann Fernheizwerk Neukölln AG)

Der Rückgang der ausgeschriebenen und abgerufenen Menge an Regelenergie trifft auf eine steigende Anzahl von Anbietern, die auf diesen Märkten aktiv sind (Abbildung 6). In allen drei

Marktsegmenten hat sich die Anzahl der Anbieter im Beobachtungszeitraum von 2014 bis 2016 deutlich erhöht.

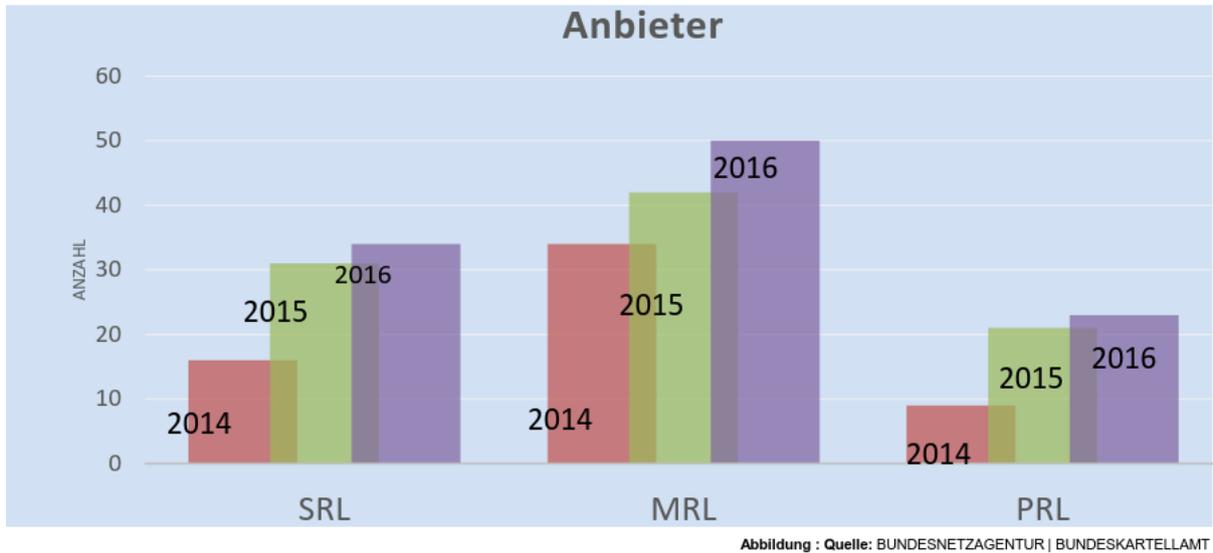


Abbildung 6: Anzahl der Anbieter von Regelenergie im Zeitverlauf (Quelle: Bachmann Fernheizwerk Neukölln AG)

Die bisher angesprochenen Entwicklungen haben auch Einfluss auf die Regelenergiepreise. Wie in Abbildung 7 zu sehen ist, sind die Leistungspreise sowohl im Markt für Sekundärregelleistung als auch im Markt für die Minutenreserve in den Jahren 2013 bis 2016 stark zurückgegangen.

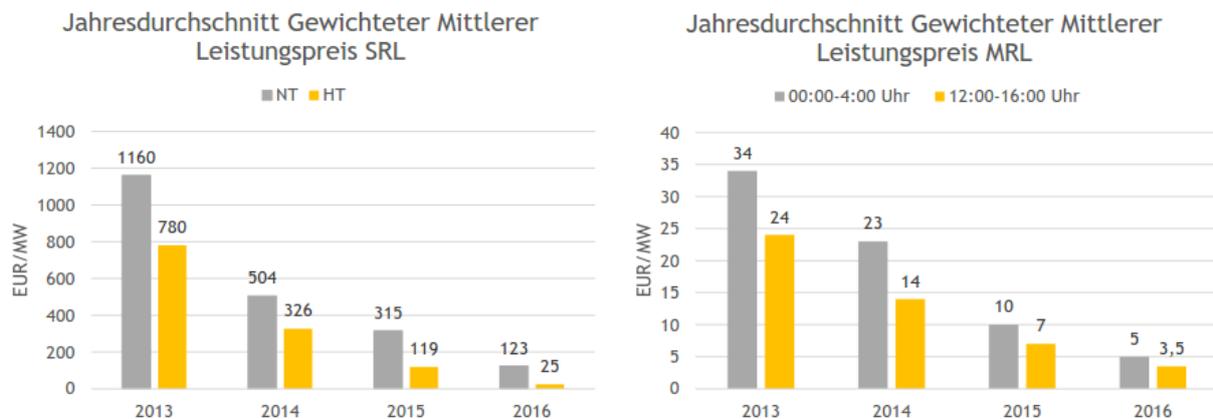


Abbildung 7: Entwicklung der mittleren Leistungspreise für Sekundärregelleistung und Minutenreserve im Zeitverlauf (Quelle: Sitzmann ewi ER&S gGmbH)

Zum Teil kann der Rückgang der Leistungspreise durch eine Erhöhung der Arbeitspreise aufgefangen werden. Wie in Abbildung 8 zu sehen ist, ist die Entwicklung von Arbeits- und Leistungspreisverlauf in den letzten Jahren gegensätzlich verlaufen.

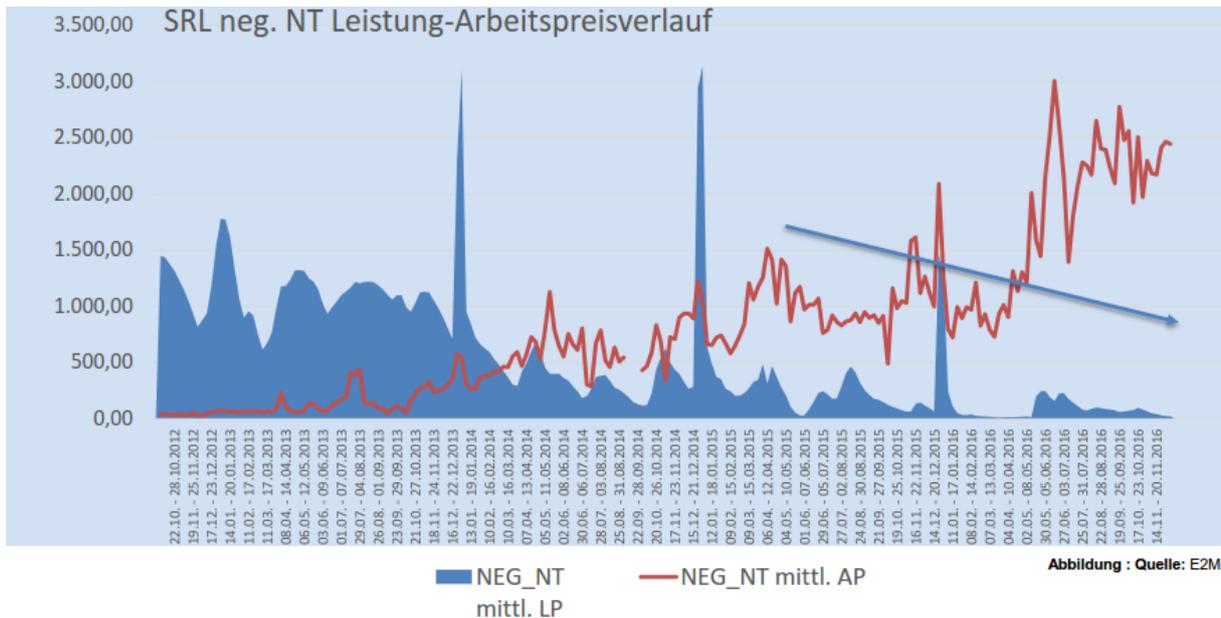


Abbildung 8: Leistungspreis- vs. Arbeitspreisentwicklung im Zeitverlauf (Quelle: Bachmann Fernheizwerk Neukölln AG)

Sowohl die sinkenden ausgeschriebenen Mengen als auch die gefallenen Leistungspreise in den relevanten Regelenergiesegmente haben zu einer verschlechterten wirtschaftlichen Situation der P2H-Anlagen in Deutschland geführt. In Abbildung 9 ist ein Beispiel für die Wirtschaftlichkeit einer P2H-Anlage bei einer reinen Vermarktung über den Regelleistungsmarkt dargestellt. Zu sehen ist auch hier, dass die Summe der wöchentlichen Einnahmen seit 2013 stark gefallen ist. Konnten 2013 noch Einnahmen von 1.848 €/MW pro Woche erzielt werden, so sank dieser Wert bis in 2016 auf 102 €/MW ab.

Betrachtet man die jährlichen Einnahmen, lassen sich beim derzeitigen Stand Leistungspreiseerlöse von ca. 10.250 €/KW an Einnahmen generieren. Hinzu kommen in einer im Innovationsforum präsentierten Beispielrechnung der Fernheizwerk Neukölln AG ca. 5.000 €/MW an Arbeitspreiseinnahmen. Damit ergeben sich jährliche Gesamteinnahmen von ca. 15.250 €/MW. Geht man von einer notwendigen Investitionssumme von 75.000 –

200.000 €/MW aus, ergibt sich folglich eine niedrige Wirtschaftlichkeit (bzw. hohe Amortisationszeiten).

SRL neg. Leistungspreise				
	2013	2014	2015	2.016
NT €/MWh	58.597	29.384	17.463	4.013
HT €/MWh	37.523	18.686	5.091	1.224
Summe	1.848 €/MW	924 €/MW	433 €/MW	102 €/MW
(2016 Annahmewert, Dezember fehlt)				
Kalkulation Leistung :				Kalkulation Arbeit:
105 €/MW Woche		5.250 €/a		100 MWh*50 €/MWh
	=	10.250	€/MW*a	5.000 €/a

Abbildung 9: Berechnungsbeispiel für die Vermarktung einer P2H-Anlage in der Sekundärregelleistung (Bachmann Fernheizwerk Neukölln AG)

Im Rahmen des Innovationsforums wurden auch zukünftige Entwicklungen auf den Regelleistungsmärkten diskutiert. Hierbei ergab sich eine Reihe wichtiger Faktoren, die die weitere Preis- und Mengenentwicklung beeinflussen werden. Diese sind in Abbildung 10 dargestellt. Positiv (im Sinne der Wirtschaftlichkeit von P2H) auswirken wird sich voraussichtlich die Zunahme regenerativer, dargebotsabhängiger Stromerzeugung (Erhöhung der Nachfrage nach Regelleistung) und das Ausscheiden konventioneller Kraftwerke aus dem Markt, was das Angebot an Regelleistung verringert. Demgegenüber steht eine ganze Reihe von Faktoren, die eher für eine gegenteilige Entwicklung sprechen. So wird die Prognosegenauigkeit für das Einspeiseverhalten von Wind- und PV-Anlagen und der Stromnachfrage weiter verbessert werden. Zudem werden in Zukunft weitere Wettbewerber am Markt für Regelleistung auftreten (z. B. Windenergieanlagen), die den Wettbewerbsdruck weiter steigern dürften. Geplant ist auch, die europaweite Zusammenarbeit bei der Ausschreibung und dem Abruf von Regelleistung weiter zu verbessern. Und die Stromnachfrager (insbesondere größere Abnehmer) werden künftig zu einer Erhöhung ihrer Nachfrageelastizität beanreizt werden.

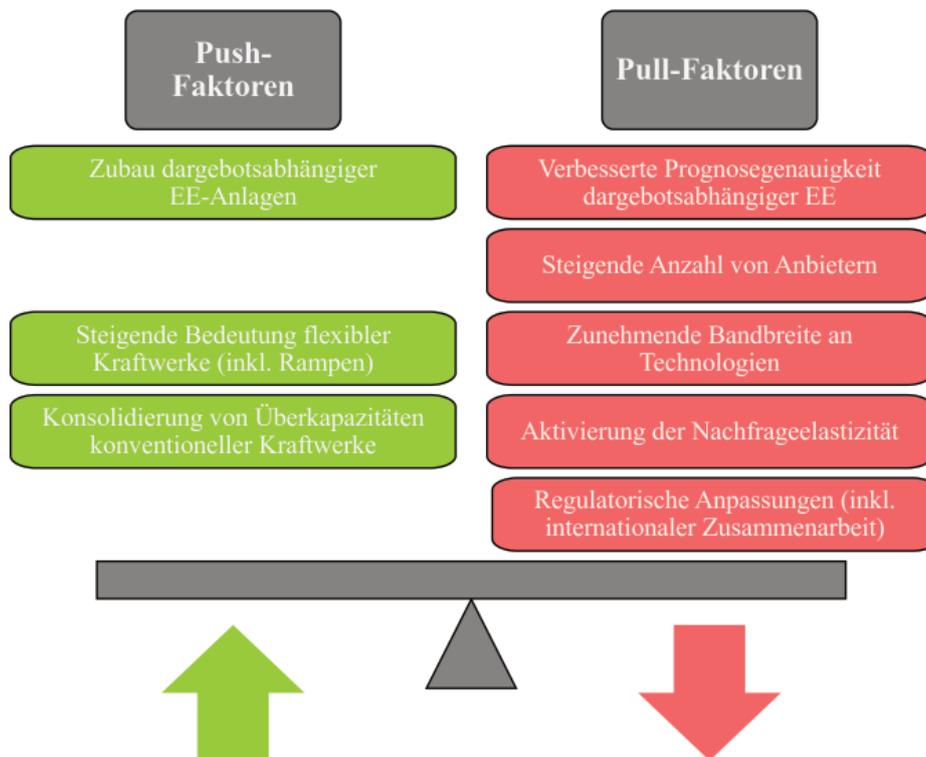


Abbildung 10: Push- und Pullfaktoren für die künftige Entwicklung der Nachfrage nach Regelleistung (Quelle: Bade r2b energy consulting GmbH)

3.2 Erlöse durch verminderte Bezugskosten anderer Energieträger

Der Strompreis ist in Deutschland nicht identisch für alle Nutzergruppen, sondern variiert zwischen Nutzergruppen deutlich. In Abbildung 11 ist zu erkennen, dass Großabnehmer und Gewerbekunden in der Regel einen signifikant niedrigeren Preis bezahlen als Haushaltskunden. Dies ist teilweise auf die größere Abnahmemenge zurückzuführen, teilweise aber auch auf die unterschiedlichen Abgaben, die gezahlt werden müssen (s. u.). Ein Sonderfall im Haushaltskundenbereich stellt die Nutzung von eigenerzeugtem Solarstrom dar, der nur teilweise mit Abgaben belegt wird (nicht in der Abbildung gezeigt).

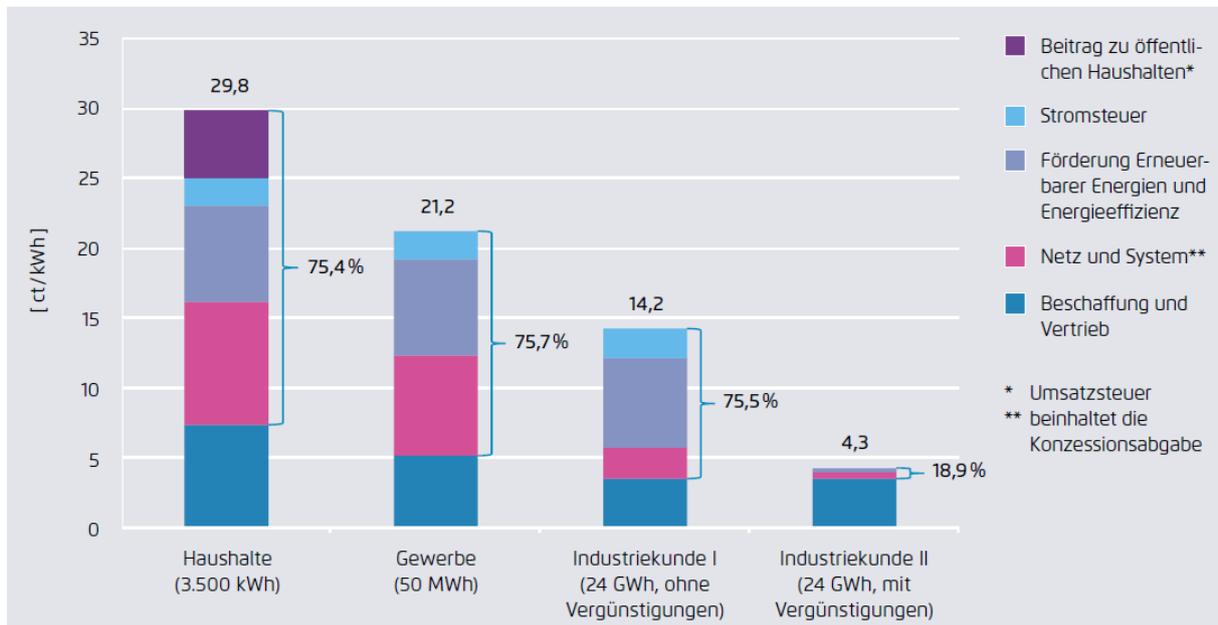


Abbildung 11: Strompreise für verschiedene Kundengruppen (Quelle: Lenck Agora Energiewende)

Wichtig für den Einsatz von P2H ist aber nicht nur die absolute Höhe der Kosten, sondern auch die Relation zu anderen Energieträgern, die für den Einsatz zur Wärmeerzeugung in Frage kommen. Auch hierbei spielt die Belastung durch Steuern und Abgaben eine entscheidende Rolle. Die Agora Energiewende (Abbildung 12) kommt zu dem Ergebnis, dass die Belastung von Strom höher sei als die anderer Energieträger. Das sei teilweise in hohen Kosten für die Bereitstellung der Netzinfrastruktur begründet, aber auch in einem hohen Steueranteil (z. B. im Vergleich zu Erdgas) und den hohen Kosten der Energiewende, die ausschließlich vom Energieträger Strom getragen werden müssen (EEG-Umlage).

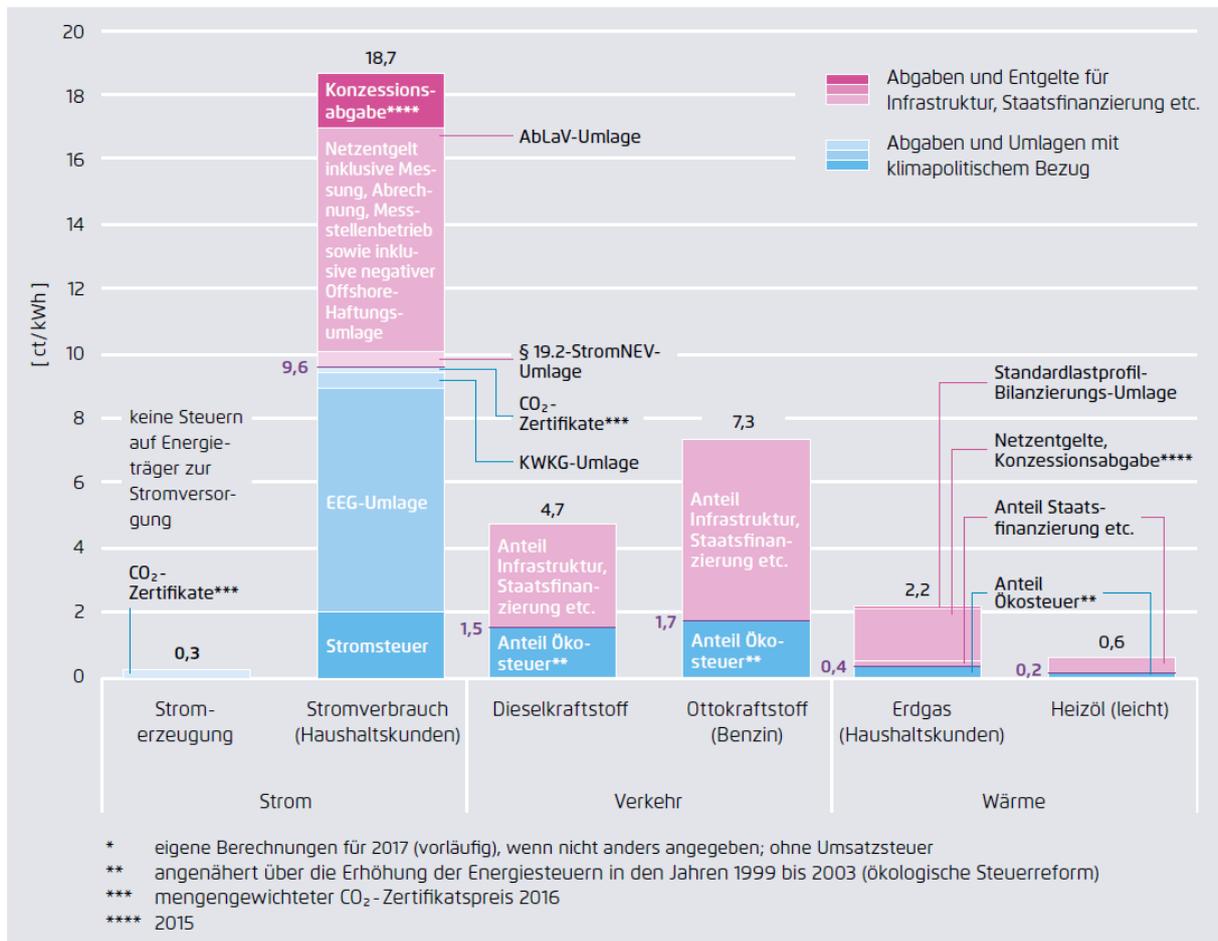


Abbildung 12: Steuern und Abgaben verschiedener Energieträger für die Wärmeerzeugung (Quelle: Lenck Agora Energiewende)

In Abbildung 13 ist die Abgabensituation einer P2H-Anlage in Kombination mit einem KWK-Kraftwerk beispielhaft dargestellt. Für einen Strombezug, der über die Leistung der KWK-Anlage hinausgeht (und somit fremdbezogen werden muss), müssen die vollen Abgaben gezahlt werden. Für Strommengen, die darunter liegen, kann der eigenerzeugte Strom genutzt werden. Hierdurch verringern sich die Abgaben deutlich.

Kostenblöcke	€/MWh	PtH > KWK	PtH = KWK	PtH < KWK
Umlage § 17	0,40 €	✓		
Umlage § 19	3,70 €	✓		
KWK-Umlage	4,45 €	✓		
EEG-Umlage	63,54 €	✓		
Konzessionsabgaben	1,10 €	✓		
Netzentgelte	31,00 €	✓	✓ (EV)	✓ (VNN)
Steuer	20,50 €	✓	✓	✓
Wärmegutschrift	-30,00 €			
		100 €/MWh	15 €/MWh	5 €/MWh

Abbildung 13: Preisbestandteile des Strombezugs von P2H-Anlagen (Quelle: Bachmann Fernheizwerk Neukölln AG)

Analysiert man die Anzahl an Stunden mit Strompreisen, zu denen P2H-Anlagen mit einer KWK-Anlage konkurrenzfähig betrieben werden können (Abbildung 14), fällt auf, dass die Anzahl dieser Stunden bislang so gering einzustufen ist, dass eine Finanzierung allein über diesen Weg nicht möglich ist. Wie sich der Strompreis mittelfristig entwickeln wird, ist unsicher. Einerseits dürfte der weiter steigende Zubau der erneuerbaren Energieformen weiter Druck auf den Marktpreis ausüben. Andererseits wird mittelfristig auch eine ganze Reihe von konventionellen Kraftwerken aus dem Markt ausscheiden. Hinzu kommt, dass Strom künftig sowohl für Heizzwecke als auch im Verkehrssektor (E-Mobilität) eine wichtigere Rolle spielen dürfte. Eine zunehmende Nachfrage könnte mittelfristig zu einem Anstieg des Stromhandelspreises führen.

	PtH << KWK < - 5 €/MWh	PtH ≈ KWK < -15€/MWh	PtH > KWK < -100 €/MWh
2013	24	21	2
2014	21	20	2
2015	63	23	0
2016	32	17	2

Abbildung 14: Jahresstunden für den Einsatz von P2H (Quelle: Bachmann Fernheizwerk Neukölln AG)

3.3 Vermarktung als zuschaltbare Last

Da eine Finanzierung über die bislang genannten Möglichkeiten derzeit wenig rentabel ist, wird nach weiteren Wegen gesucht, den zunehmenden überschüssigen Strom aus erneuerbaren Energieformen sinnvoll zu nutzen. Wie in Abbildung 15 zu erkennen ist, zieht die Zunahme der dargebotsabhängigen Energieerzeugung aus Wind und Photovoltaik eine zunehmende Abregelung von EE-Anlagen nach sich. Damit werden Strommengen nicht genutzt, die aber von den Verbrauchern – zumindest teilweise – finanziert werden müssen. Um diesem Trend entgegenzuwirken, soll P2H nach den Planungen der Bundesregierung zunehmend Anwendung finden.

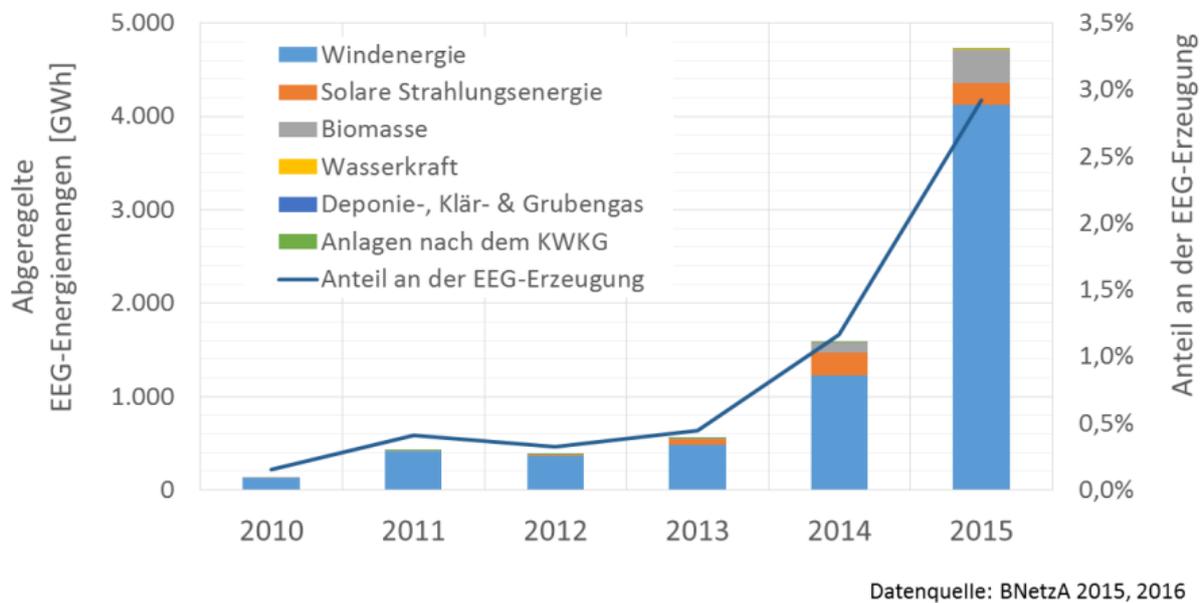


Abbildung 15: Ausbau von erneuerbaren Energien und Abregelung von Strommengen (Quelle: Hinrichsen BTB Berlin)

In Betracht kommt dabei die Vermarktung der Anlage über den Markt für zuschaltbare Lasten (für rechtliche Grundlagen vgl. §13 Absatz 6a EnWG). Dieser neu in das EnWG aufgenommene Paragraph ermöglicht es den Übertragungsnetzbetreibern, mit den Betreibern von KWK-Anlagen Verträge zu schließen, die dafür sorgen, dass die Einspeisung der KWK-Anlage heruntergefahren wird und die zu bereitzustellende Wärme elektrisch erzeugt wird. Dies führt zu einer zweifachen Entlastung der Stromnetze: Zum einen kann die Stromeinspeisung der KWK-Anlage reduziert werden, was eine geringere Stromeinspeisung bedeutet. Zum anderen bezieht die P2H-Anlage zusätzlichen Strom aus dem Netz, um die benötigte Wärme zu erzeugen, die ursprünglich aus der KWK-Anlage bezogen wurde. Zunächst ist vorgesehen, auf diese Weise 2 GW an P2H-Leistung zu kontrahieren (zum Vergleich: in kommunalen Unternehmen waren Ende letzten Jahres ca. 0,32 GW an P2H-Leistung installiert (Quelle: AGFW)).

Inhaltlich sieht der Paragraph folgendes Geschäft zwischen dem Übertragungsnetzbetreiber und einem KWK-Anlagenbetreiber vor: Der KWK-Anlagenbetreiber² installiert zusätzlich eine P2H-Einheit und stellt diese dem Übertragungsnetzbetreiber zur Verfügung. Im Gegenzug erstattet dieser dem Betreiber die Investitionskosten und bezahlt eine angemessene Vergütung für den Betrieb der Anlage. Wie sich die Verträge im Einzelnen ausgestalten lassen, wird sich in Kürze zeigen, wenn die ersten Anlagen in diesem Rechtsrahmen realisiert werden. Klar ist jedoch, dass zum Erreichen des oben genannten Ziels von 2 GW in Deutschland in den nächsten Jahren einige zusätzliche P2H-Anlagen installiert werden müssen.

4 Ausgestaltung des regulatorischen Rahmens als Level-Playing-Field

Die oben angesprochene Regelung für die Nutzung von P2H als zuschaltbare Last in kritischen Netzsituationen wird die Nutzung von P2H voraussichtlich verstärken. Für eine bessere Dekarbonisierung des Energiesektors im Allgemeinen und eine optimale Kopplung der Sektoren Wärme oder Strom im Besonderen wird jedoch ein Level-Playing-Field benötigt, auf dem die unterschiedlichen technischen Optionen in einem fairen Wettbewerb stehen. In diesem Zusammenhang ist zu prüfen, ob die Belastung der zur Verfügung stehenden Energieträger mit Steuern, Abgaben und Umlagen effizient ausgestaltet ist (d. h. die richtigen Anreize setzen).

Historisch gesehen war der Einsatz von Strom zu Heizzwecken in den meisten Anwendungsfällen unvorteilhaft, da bei der Erzeugung von Strom aus konventionellen Energieträger im Kraftwerk ein Teil der im Primärenergieträger enthaltenen Energie (bzw. Exergie) als Abwärme verloren geht. In der Folge war es ökonomisch und ökologisch sinnvoller, den Primärenergieträger direkt zur Wärmeerzeugung einzusetzen, da hierbei deutlich höhere Wirkungsgrade erreicht werden können. Im Zuge der Energiewende verändert sich dies jedoch: zum einen ist regenerativ erzeugter Strom – im Gegensatz zu Primärenergieträgern wie Kohle, Öl und Erdgas – ein weitgehend emissionsfreier Energieträger, der die Dekarbonisierung des Wärmesektors vorantreiben kann. Zum anderen

² Für die KWK-Anlage gelten folgende Voraussetzungen: Sie muss geeignet sein, effizient zur Beseitigung von Netzengpässen im Höchstspannungsnetz beitragen zu können. So muss sich die Anlage im Netzausbaugebiet befinden (vor allem im Norden Deutschlands). Sie muss vor dem 01.01.2017 in Betrieb genommen worden sein und eine installierte Leistung von über 0,5 MW haben.

kommt es durch den zunehmenden Ausbau dargebotsabhängiger Stromerzeugung, auch in Verbindung mit Engpässen im Stromnetz, zunehmend zu Situationen, in denen elektrische Energie zeitweise zu niedrigen Kosten verfügbar ist („Überschussstrom“). Deshalb ist es wichtig, für die Zukunft einen regulatorischen Rahmen zu schaffen, in dem die Energieträger unter zuvor festgelegten Kriterien möglichst störungsfrei um die Erzeugung von Wärme konkurrieren können. Die im Zuge des Innovationsforums diskutierten Möglichkeiten werden im Folgenden dargestellt.

Abbildung 16 zeigt, welche Ziele aus Sicht der Agora Energiewende im Fokus einer solchen Regulierung stehen können. Wesentlich für eine ökonomische Analyse ist das Ziel der volkswirtschaftlichen Effizienz, d. h. die Bereitstellung des gewünschten Gutes zu möglichst geringen Gesamtkosten. Daneben sollen laut Agora Energiewende auch weitere Zielstellungen verfolgt werden, beispielsweise die Sicherstellung der notwendigen Finanzmittel, um das Stromnetz oder die Finanzierung der EEG-Anlagen sicherstellen zu können.

Ziele	Zielkriterien
Finanzierung	(1) Regulierte Netzkosten und Kostenbasis für Umlagen werden gedeckt
	(2) Beitrag zur Finanzierung des öffentlichen Haushaltes
Volkswirtschaftliche Effizienz	(3) Marktwirtschaftliche Effizienz: Minimale volkswirtschaftliche Kosten durch unverzerrte Preise in den Strom-, Wärme- und Mobilitätssektoren
	(4) Klimaökonomische Effizienz: Erreichung der Energieeffizienz- und Klimaschutzziele zu minimalen volkswirtschaftlichen Kosten
Verteilungsgerechtigkeit	(5) Kostentragung wird grundsätzlich dem Verursacherprinzip bzw. dem Vorteilsgedanken gerecht
	(6) Soziale und wettbewerbliche Aspekte: Sicherstellung, dass Verbraucher und industrielle Kunden entsprechend ihrer Leistungsfähigkeit belastet werden
Good Governance	(7) Umsetzbarkeit, Transparenz und Verlässlichkeit sowie Nachhaltigkeit der Maßnahmen

Abbildung 16: Mögliche Zielstellungen für den künftigen regulatorischen Rahmen nach den Vorstellungen der Agora Energiewende (Quelle: Lenck Agora Energiewende)

Agora nennt als weitere mögliche Ziele die Beachtung der Verteilungsgerechtigkeit, sowie die Anwendung von Good-Governance-Kriterien in der Umsetzung der genannten Ziele.

Beispielhaft soll gezeigt werden, wie die Vermeidung von CO₂ unter abgabentechnischen Gesichtspunkten derzeit gehandhabt wird. In Abbildung 17 ist dargestellt, wie hoch die gesamte Steuerbelastung der zur Wärmeerzeugung verwendeten Energieträger in Bezug auf deren CO₂-Ausstoß ist. Dabei fällt auf, dass pro emittierter Einheit an CO₂ die Abgaben auf Strom deutlich höher ist als bei anderen Energieträgern. Hauptverantwortlich dafür ist die hohe EEG-Umlage. Es findet nach diesem Kriterium eine Überbelastung des Energieträgers Strom im Vergleich zu anderen Energieträgern statt. Dadurch ergeben sich Ineffizienzen.

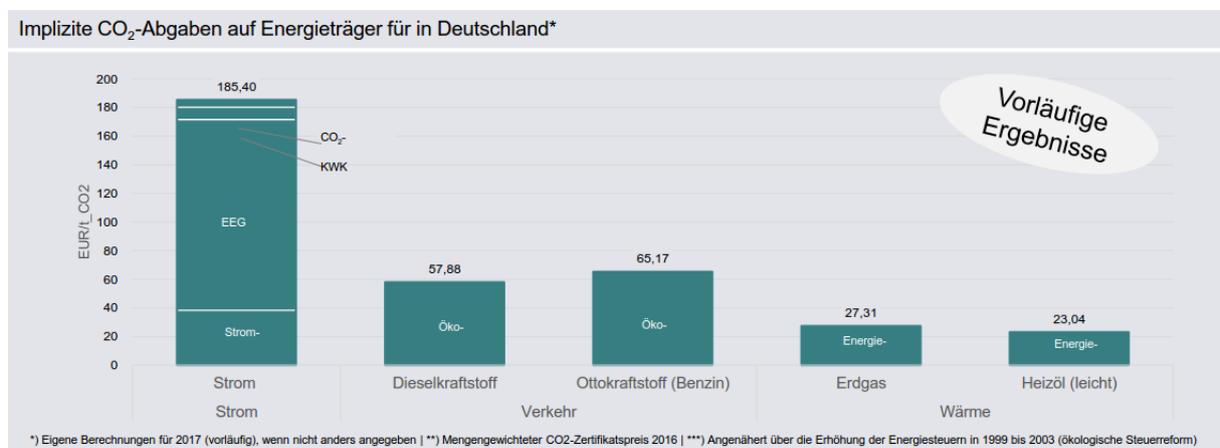


Abbildung 17: Implizite Abgaben auf emittiertes CO₂ verschiedener Energieträger für die Wärmeerzeugung (Quelle: Lenck Agora Energiewende)

Die entsprechenden Ineffizienzen könnten z. B. dadurch verringert werden, dass die EEG-Umlage gleichmäßiger über die Energieträger verteilt wird, um die verschiedenen Energieformen auch gleichmäßiger an der Vermeidung von klimaschädlichen Emissionen zu beteiligen. Zudem besteht die Möglichkeit einer Dynamisierung der EEG-Umlage, was in zwei Vorträgen des vierten Fachforums diskutiert wurde. Die Idee dabei ist, dass in Situationen, in denen viel EE-Strom verfügbar (und der Strompreis damit niedrig) ist, die EEG-Umlage reduziert wird. Damit soll vermieden werden, dass die hohe Belastung mit Abgaben die Nutzung von „Überschussstrom“ erschwert. So würde beispielsweise auch die Abregelung von EE-Anlagen vermindert. Weitere Änderungsmöglichkeiten betreffen die Neugestaltung der Netzentgelte oder die Implementierung von zeitvariablen Tarifen auch für Kleinverbraucher.

5 Fazit

P2H ist eine Möglichkeit, die Flexibilität im Energiesystem zu erhöhen. P2H kann auch zur Dekarbonisierung des Wärmesektors beitragen. Die technische Entwicklung der Anlagen ist weit fortgeschritten, auch wenn in einigen Anwendungsbereichen noch Raum für technische und wirtschaftliche Weiterentwicklungen besteht. In der Vergangenheit ließen sich Anlagen über Einnahmen am Regelenergiemarkt finanzieren. Rückläufige Einnahmen auf diesem Markt erschwerten dies in den letzten Monaten deutlich. Auch über die Einsparung konventioneller Kraftstoffe sind Anlagen derzeit nicht wirtschaftlich zu betreiben. Unter anderem ist dies auf eine relativ hohe Belastung von elektrischer Energie mit Steuern, Abgaben und Umlagen zurückzuführen. Deshalb ist es für eine effiziente Sektorenkopplung und langfristig auch für eine erfolgreiche Dekarbonisierung des Wärmesektors notwendig, das bestehende System an Steuern, Abgaben und Umlagen auf seine Zielstellungen und Anreizwirkungen zu überprüfen und gegebenenfalls anzupassen.

Seit 2017 besteht die Möglichkeit, P2H-Anlagen als zuschaltbare Last fördern zu lassen. Legt man dabei vom Gesetzgeber genannten Ausbauziele zu Grunde, ist in den nächsten Jahren eine signifikante Zunahme der installierten P2H-Anlagenleistung zu erwarten.

6 Anhang: Kurzinformationen zum Projekt Innovationsforum Power-to-Heat

Worum es ging

Das Bundesministerium für Bildung und Forschung unterstützt mit seinem Programm „Innovationsforen“ die Bildung von Netzwerken, die mittelfristig in Wachstumskerne münden sollen. Der Schwerpunkt liegt dabei in den neuen Bundesländern, die Teilnahme weiterer nationaler (und internationaler) Teilnehmer ist jedoch ausdrücklich erwünscht. Im Rahmen des Innovationsforums „Power-to-Heat“ (P2H) soll ein solches Netzwerk entstehen, das die Kooperation von Wissenschaft, Unternehmen und Politik auf dem Themengebiet stärkt. Durch die Vernetzung der unterschiedlichen Perspektiven wird die technische und ökonomische Reife von P2H-Lösungen für verschiedene Anwendungsmöglichkeiten in Richtung Marktfähigkeit vorangetrieben.

Wer wir sind

Geleitet wird das Innovationsforum durch den Lehrstuhl für Energiewirtschaft an der Brandenburgischen Technischen Universität in Cottbus. Das Projekt wird in Kooperation mit der Unternehmensberatung HLP Dimler und Karcher durchgeführt, die sich insbesondere in den Bereichen Netzwerkbildung und Innovationsmanagement einbringt. P2H ist seit längerem ein Forschungsschwerpunkt am Lehrstuhl für Energiewirtschaft. Im Jahr 2016 wurden beispielsweise die Ergebnisse eines zweijährigen Forschungsprojekts zum Thema veröffentlicht, die in das Innovationsforum mit einfließen.

Projektverlauf

Im Zeitraum von Oktober 2016 bis März 2017 fanden Veranstaltungen zu unterschiedlichen P2H-Themenkomplexen statt. Darunter waren vier Fachworkshops zu folgenden Themenbereichen:

- Betriebserfahrungen und Wirtschaftlichkeit von P2H-Anlagen im derzeitigen Marktumfeld in Deutschland und Europa
- Prognosen für die Entwicklung im Strom- und Wärmemarkt der Zukunft und den damit verbundenen Auswirkungen auf P2H
- Das aktuelle regulatorische Umfeld von P2H und mögliche Modifikationen

- Innovative Techniken und Vermarktungsmodelle

Am 31. März 2017 wurde das Innovationsforum mit einer großen Plenumsveranstaltung auf dem Universitätscampus in Cottbus abgeschlossen, die einen größeren Teilnehmerkreis umfasste und thematisch die Erkenntnisse des Projektes zusammenfassend für eine breitere Öffentlichkeit aufbereitete. Wenn Sie Interesse am Projekt und den einzelnen Fachforen haben, finden Sie auf der Projekthomepage (www.innovationsforum-p2h.de) die Materialien der Fachforen und des Abschlussforums. Um Zugang zum passwortgeschützten Bereich zu erlangen, wenden Sie sich bitte an fg-energiewirtschaft@b-tu.de oder nutzen Sie das Kontaktformular auf der Homepage.