

2 Grundlagen Power-to-Heat

Im Grundlagenkapitel werden zunächst wichtige Begriffe definiert und das Grundprinzip von P2H sowie Kritik, Systemflüsse und Anwendungsmöglichkeiten vorgestellt.

2.1 Definition und Kritik

Wie bereits der Name P2H verrät, versteht man unter dem Begriff ganz übergreifend die Umwandlung von elektrischer Energie in Wärme. In der öffentlichen Fachdiskussion gibt es keine genaue und allgemein verwendete Definition des Terminus P2H. In den meisten Literaturangaben überwiegt allerdings die Meinung, dass man von P2H spricht, wenn Stromüberschüsse aus EE für die Erzeugung von Wärme herangezogen werden.⁸

P2H wird dabei häufig kritisiert, weil die sehr hochwertige Energieform Strom, bestehend aus reiner Exergie, in sämtliche anderen Energieformen umgewandelt werden kann. Niedertemperaturwärme ($<100^{\circ}\text{C}$) hingegen hat abhängig vom Temperaturniveau einen deutlich niedrigeren Exergiegehalt und kann nur mit zusätzlichem energetischen Aufwand in höherwertige Energieformen wie Strom umgewandelt werden. Die Nutzung von Strom zur Wärmeerzeugung ist deshalb aus energetischer Sichtweise nur dann eine interessante Variante, wenn für die Energie im Stromsektor keine Verwendungsmöglichkeit besteht.⁹

2.2 Intelligentes Lastmanagement

Damit die Systemstabilität und Sicherheit im Stromnetz gewährleistet werden kann, müssen sich Stromangebot und Nachfrage ständig im

⁸ Vgl. Krzikalla et al., 2013, S.36f.

⁹ Vgl. Groscurth und Bode, 2013, S.11

Gleichgewicht befinden. Bisher wurde dieses Gleichgewicht durch die Anpassung der konventionellen Kraftwerkserzeugung an die Stromnachfrage gewährleistet.¹⁰ Eine weitere Möglichkeit, die gegenwärtig noch kaum Anwendung findet, zukünftig aber von hoher Bedeutung sein könnte, ist die Anpassung der Stromnachfrage an das volatile Stromangebot, was als intelligentes Lastmanagement oder Demand Response bezeichnet wird.¹¹

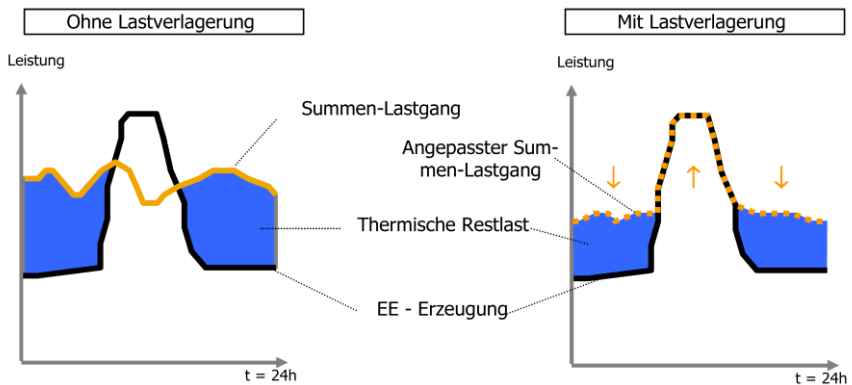


Abbildung 1: Intelligentes Lastmanagement (Quelle: Clausen, 2012, S.100).

Durch den vom Bundesumweltministerium (BMU) geplanten Ausbau EE wird ein stark volatiles Energieversorgungssystem mit zeitweisen Stromüberschüssen entstehen, in welchem die IEE durch die Anpassung der Nachfragelast an das Angebot maßgeblich unterstützt werden kann (Abbildung 1).¹² Grundsätzlich kann auch die Technologie P2H als Lastmanagementmöglichkeit kategorisiert werden, weil zusätzliche Stromverbraucher aus dem Wärmesektor geschaffen werden bzw. bereits bestehen (z.B.: elektrische Speicherheizungen oder Warmwasserboiler) und der Einsatz der P2H-Anlagen vom Angebot der Stromseite abhängt.

¹⁰ Vgl. Fussi et al., 2011, S.1

¹¹ Vgl. Wiechmann, 2008, S.33

¹² Vgl. Clausen, 2012, S.100 und Krzikalla et al., 2013, S.15ff.

2.3 Funktionsprinzip

In Abbildung 2 ist das Funktionsprinzip der Technologie in einer vereinfachten Übersichtsgrafik dargestellt. Zudem kann aus der Grafik die verwendete Methodik zur Beantwortung der Forschungsfragen abgelesen werden.

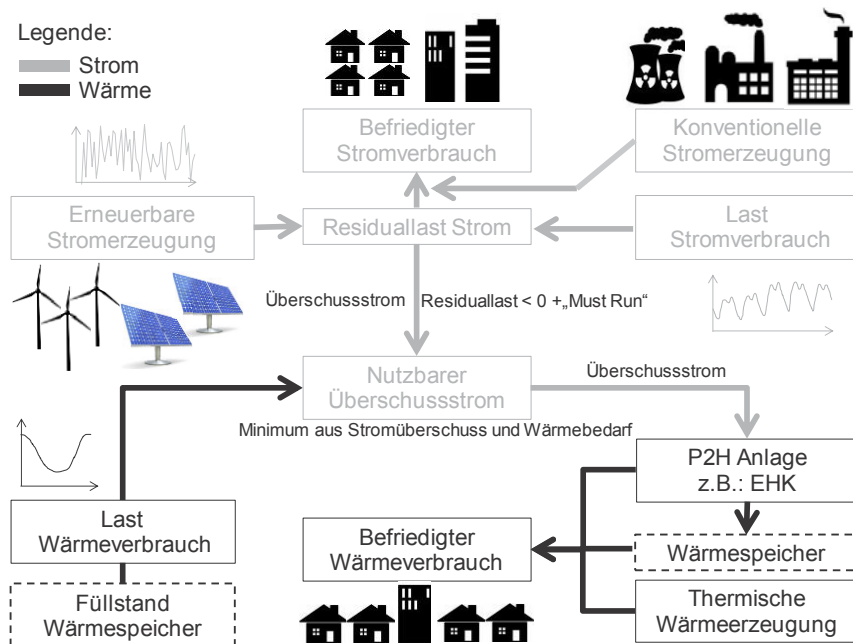


Abbildung 2: Übersichtsgrafik Funktionsprinzip P2H (Quelle: Eigene Darstellung).

Während graue Pfeile die Energieform Strom darstellen, kennzeichnen schwarze Pfeile jene von Wärme. Im oberen Teil der Grafik sind erneuerbare und konventionelle Stromerzeugungstechnologien sowie der Stromverbrauch dargestellt. Unter Residuallast wird die Differenz zwischen dem deutschlandweiten Stromverbrauch und der Summeneinspeisung EE, also der restlichen Last, die von konventionellen Kraftwerken gedeckt werden muss, verstanden. Eine negative Residuallast bedeutet, dass die

Erzeugung EE höher ist als der Stromverbrauch und somit Überschüsse im Stromnetz vorhanden sind. Im unteren Teil wird die Deckung des Wärmeverbrauchs über thermische Wärmeerzeugungsanlagen und P2H illustriert.

Ein Potential für P2H besteht ausgehend von der Stromangebotsseite nur, wenn überschüssiger Strom im Netz vorhanden ist, was unter folgenden Umständen auftreten kann:¹³

- Residuallast < 0 + Must-Run-Leistung:

Übersteigt die Einspeisung EE den Stromverbrauch und können keine Exporte in andere Staaten durchgeführt werden, treten jedenfalls Energieüberschüsse in der Höhe der negativen Residuallast auf. Unter „Must-Run-Leistung“ versteht man die Leistung von thermischen Kraftwerken, die zur Erhaltung der Netzstabilität und Sicherheit unabdingbar ist.¹⁴ Derzeit besteht die technische Mindesteinspeisung aus der erforderlichen Fähigkeit zum Redispatch, regionaler Spannungs- und Frequenzhaltung über Wirkleistungs- und Blindleistungsregelung, Bereitstellung von Kurzschlussleistung, Fähigkeit zur Durchführung von Schwarzstarts sowie der Einhaltung und Regelung der Systembilanz. Diese Systemdienstleistungen werden gegenwärtig von konventionellen Kraftwerken erbracht und betragen nach Schätzungen je nach Situation etwa 8 bis 25 GW.¹⁵ Das bedeutet, dass derzeit auch im Falle einer 100%igen Deckung des Stromverbrauchs durch EE dennoch konventionelle Kraftwerke am Netz bleiben müssten, um die Systemsicherheit zu gewährleisten. Eine zusätzliche Erhöhung der „Must-Run-Kapazität“ entsteht durch sehr regelträge Grundlastkraftwerke, die nicht ausreichend schnell auf stark volatile Residuallastgradienten reagieren können. Mayer et al haben untersucht, wie sich die Auslastung verschiedener thermischer Kraftwerkstypen in

¹³ Vgl. Krzikalla et al., 2013, S.36f.

¹⁴ Vgl. Plattform Erneuerbare Energien, 2012, S.20

¹⁵ Vgl. Plattform Erneuerbare Energien, 2012, S.20

Deutschland bei Auftreten von negativen Börsenpreisen in den Jahren 2012 und 2013 verändert hat. Es stellte sich heraus, dass Atomkraftwerke mit einer Auslastung von 49-96%, Braunkohlekraftwerke mit 42-73% und Steinkohlekraftwerke mit 10-28% weiterbetrieben wurden, was auf sehr träge Laständerungsgradienten eines großen Anteils des konventionellen Kraftwerksparks hinweist.¹⁶

- Regionale Netzenspässe bei Residuallast > 0 + Must-Run-Leistung: Trotz positiver bundesweiter Residuallast kann es auftreten, dass der Strom aufgrund zu schwacher Übertragungsnetze aus den regionalen Erzeugungszentren nicht mehr abtransportiert werden kann. Derartige Situationen treten in Deutschland bereits heute auf, weil die Umstände einer hohen Einspeisung EE und gleichzeitig niedriger Verbraucherlast sowie der Betrieb von unflexiblen Kraftwerken und Must-Run-Kapazitäten zu Netzenspässen führen, welche das Abregeln volatiler Erzeugungseinheiten wie WKA erfordern.¹⁷ Nach Krzikalla et al. werden in Schleswig-Holstein, wo eine besonders hohe Dichte an WKA besteht, bereits bis zu 25% des erzeugbaren Stroms abgeregelt.¹⁸ Die Bundesnetzagentur gibt an, dass die gesamte in Deutschland abgeregelter Windkrafterzeugung im Jahr 2010 rund 127 GWh und im Jahr 2011 bereits 421 GWh betrug und sich somit innerhalb eines Jahres verdreifacht hat.¹⁹

Überschüssige Energie aus dem Stromnetz kann für P2H natürlich nur dann genutzt werden, wenn gleichzeitig auch Wärmebedarf besteht oder freie Kapazitäten in einem Wärmespeicher vorhanden sind. Für P2H direkt und ohne Speicher nutzbar ist das Minimum aus Stromüberschuss und zeitgleichen Wärmebedarf.²⁰ Die Deckung des Wärmebedarfs erfolgt dann abhängig von der Höhe der nutzbaren Stromüberschüsse und der

¹⁶ Vgl. Mayer et al., 2013, S.6f.

¹⁷ Vgl. Götz et al., 2013a, S.1f.

¹⁸ Vgl. Krzikalla et al., 2013, S.36f.

¹⁹ Vgl. Paar et al., 2013, S.108

²⁰ Vgl. Götz et al., 2013a, S.9

Leistung der P2H-Anlage entweder allein mit dem Elektroheizer oder in Kombination mit einem konventionellen thermischen Wärmeerzeuger. Dadurch wird das Stromnetz entlastet und es kommt bei Anwendung in Fernwärmenetzen zu einer Substitution von fossiler Heizwärme bzw. des eingesetzten Primärenergieträgers, wodurch wiederum CO₂ eingespart wird. Es handelt sich beim Einsatz von P2H in Fernwärmenetzen also um ein bivalentes System, das nur ergänzend zu einem bestehenden Hauptsystem, wie etwa einer Gasturbine in einem Heizkraftwerk, eingesetzt werden kann.²¹ Durch vorhandene Wärmespeicher kann die Flexibilität des Systems wesentlich erhöht werden, weil die nutzbaren Energiemengen je nach Füllstand sogar höher als der zeitgleiche Wärmeverbrauch sein können.

2.4 Einsatzmöglichkeiten

Dieses Kapitel dient der grundlegenden Schilderung verschiedener Einsatzmöglichkeiten der Technologie P2H, welche in Tabelle 1 veranschaulicht sind. Grundsätzlich ist zwischen zwei unterschiedliche Optionen zu unterscheiden, nämlich eine direkte Umwandlung über einen elektrischen Heizstab (Wirkungsgrad ~100%) oder über eine elektrische Wärmepumpe, die abhängig von der Leistungszahl aus einem Teil Strom etwa vier Teile Wärme erzeugt.²² Bei beiden Varianten kann zwischen einer Anwendung für großtechnische Zwecke (z.B.: Industrie oder Fernwärmenetze) und im Haushalts- bzw. GHD-Bereich (Gewerbe, Handel und Dienstleistungen) differenziert werden. Technologien wie die Stromspeicherheizung, elektrischer Warmwasserbereitung oder Wärmepumpen werden rein elektrisch betrieben, weshalb es durch die Anwendung von P2H im Gegensatz zu auf Brennstoffen basierenden Systemen wie der Fernwärme- oder Dampferzeugung zu keiner Substitution von Primärenergieträgern wie Öl oder Gas kommt.

²¹ Vgl. Gäbler und Lechner, 2013, S.4

²² Vgl. Groscurth und Bode, 2013, S.11

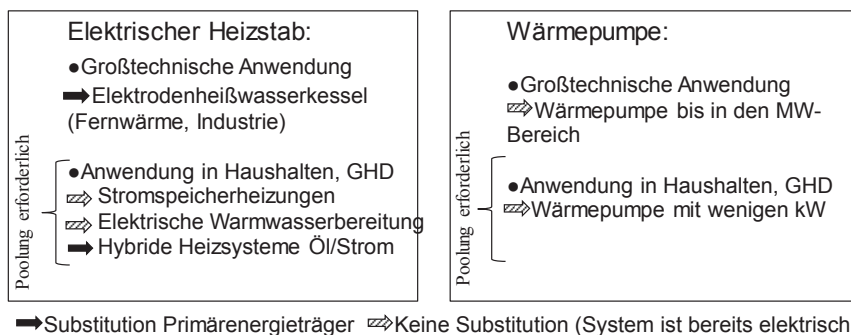


Tabelle 1: Einsatzmöglichkeiten von P2H (Quelle: Eigene Darstellung)

Eine erforderliche Maßnahme zur Nutzung des Potentials von kleinen Verbrauchern (Elektrospeicherheizungen, elektrische Warmwasserboiler, hybride Heizsysteme mit Öl/Strom und Heizpatronen in Pufferspeichern, Wärmepumpen) ist die zentrale Poolung bzw. Steuerung durch informationstechnologisch gestützte Einrichtungen, wie beispielsweise eine Tonfrequenzrundsteueranlage. Netze, die nach diesem Prinzip betrieben werden, werden in Fachkreisen auch als Smart Grids bezeichnet.²³ Eine besondere Herausforderung in der Poolung vieler kleiner Verbraucher liegt in der Gewährleistung einer ausreichenden Prognosegüte des Wärmeverbrauchs des Gesamtpools, welcher über den zeitlichen Verlauf und die Höhe der bei Zuschaltung entstehenden Last entscheidet. Hohe Abweichungen zwischen prognostizierten und wirklich vorhandenen Wärmeverbrauch würden in entsprechenden Prognoseabweichungen des zeitlichen Lastverlaufs und somit in hohen Ausgleichenergiezahlungen resultieren.²⁴

²³ Vgl. Brauner et al, 2006, S.51 f.

²⁴ Vgl. Eller, 2012, S.15

2.4.1 Elektroheizer für Fernwärmenetze und Industrie

Nach Götz et al und Krzikalla et al birgt die großtechnische Anwendung von P2H in Fernwärmenetzen über Elektrodenheißwasserkessel (EHK) ein großes Potential, weil die installierte Leistung in Fernwärmenetzen sehr hoch, die Technik kostengünstig, einfach umsetzbar und hinsichtlich Regelbarkeit sehr flexibel ist.²⁵ Eine weitere Anwendungsmöglichkeit von EHK besteht in der Industrie, wo je nach Bedarf wahlweise Heißwasser oder Dampf erzeugt werden kann. Ein großer Vorteil in der Industrie ist ein verglichen mit Fernwärmenetzen zeitlich deutlich gleichmäßiger Verlauf des Energiebedarfs.²⁶ Zur Vermittlung eines Gesamtbildes über P2H wird im restlichen Teil von Kapitel 2.4 der Fokus auf jene Technologien, die nicht zentraler Gegenstand dieser Masterarbeit sind, gelegt.

2.4.2 Elektrische Speicherheizungen

Ein nennenswertes Potential bilden die in Gebäuden bereits zahlreich vorhandenen elektrischen Speicherheizungen, dessen Gesamtleistung von unterschiedlichen Quellen auf einen Betrag von ca. 10-30 GW geschätzt wird.²⁷ Eine Neuinstallation von elektrischen Speicherheizungen ist vor mehreren Jahren in Deutschland verboten worden, weil der erforderliche Primärenergieeinsatz wesentlich höher als bei anderen Heizungstechniken ist. Mittlerweile wird von renommierten energiewirtschaftlichen Instituten und einigen Unternehmen, wie beispielsweise der RWE, eine Aufhebung dieses Verbots gefordert, weil sich durch Wandel des Stromsektors hin zu einem System mit hohen Anteilen EE neue attraktive Anwendungsmöglichkeiten für die Speicherheizungen ergeben und somit eine reine Bewertung nach dem aktuell gültigen Primärenergieverbrauch auf lange Sichtweise nicht korrekt ist.²⁸

²⁵ Vgl. Götz et al., 2013a, S.1f. und Krzikalla et al., 2013, S.36ff.

²⁶ Vgl. Gobmaier et al., 2012. S.59

²⁷ Vgl. Bernhard und Fieger, 2011, S.3 und Merten, 2013, S.5

²⁸ Vgl. Merten, 2013, S.1ff.

2.4.3 Elektrische Warmwasserbereitung

Elektrische Warmwasserboiler stellen ebenso wie die Speicherheizungen ein relativ einfach zu erschließendes Potential, mit dem Vorteil eines saisonal gleichmäßigen Bedarfs, dar. Der durchschnittliche jährliche Energieverbrauch durch Warmwasserbereitung beträgt laut Angaben von Statistik Austria 1.000-1.300 kWh pro Person.²⁹ Laut einer Publikation der Austrian Energy Agency erfolgt die Warmwasserbereitung in Deutschland in etwa 4 Millionen Haushalten rein elektrisch mit Warmwasserboilern und in 7,2 Millionen Haushalten mit Durchlauferhitzern.³⁰ Bei einem durchschnittlichen Energieverbrauch von 1.150 kWh pro Jahr und Person und einer durchschnittlichen Leistung von ca. 2 kW je Boiler entspräche nur der Anteil der Warmwasserboiler bereits einer Energiemenge von 4,6 TWh und einer Summenleistung von 8 Gigawatt. Diese Leistung könnte täglich für wenige Stunden (ca. 2-8 Stunden in Abhängigkeit des Ladezustandes der Boiler) für Lastmanagementzwecke eingesetzt werden.³¹ Elektrische Warmwasserboiler werden heute üblicherweise zentral über sogenannte Tonfrequenzrundsteueranlagen oder über simple Zeitschaltuhren gesteuert. Insbesondere in städtischen Gebieten werden Boiler häufig über Tonfrequenzrundsteueranlagen (z.B.: in der Stadt Innsbruck mit ca. 100.000 Einwohnern befinden sich etwa 30.000 zentral und sehr flexibel steuerbare Boiler) angesteuert und können somit binnen weniger Sekunden völlig flexibel aktiviert werden. Die Abschaltung der Boiler erfolgt automatisch ab Erreichen einer beim Boiler individuell eingestellten Maximaltemperatur. Bei elektrisch betriebenen Boilern mit Zeitschaltuhr müssten die entsprechenden informationstechnologisch gestützten

²⁹ Vgl. URL: http://www.statistik.at/web_de/statistiken/energie_und_umwelt/energie/energieeinsatz_der_haushalte/index.html [04.01.2014].

³⁰ Vgl. Austrian Energy Agency, 1998, S.8

³¹ Vgl. Eller, 2012, S.14f.

Kommunikationseinrichtungen für eine zentrale Ansteuerung erst geschaffen werden.³²

2.4.4 Hybride Heizsysteme

Ein weiteres Konzept ist durch den Einsatz von hybriden Heizsystemen mit Öl/Gas und Strom gegeben. Hierbei werden bei Kleinverbrauchern vorhandene Warmwasserspeicher (in der Regel Pufferspeicher) mit einem elektrischen Heizeinsatz ausgestattet und wie in den vorherigen Punkten beschrieben zentral durch entsprechende informationstechnologische Einrichtungen, die vom Energieversorger errichtet und finanziert werden müssten, gesteuert. Die Kosten beim Verbraucher würden jenen der Anschaffung und Installation einer Heizpatrone entsprechen. Abhängig von der Anzahl an Einsatzstunden pro Jahr und der Differenz zwischen den Wärmegestehungskosten des primären Heizsystems und der Heizpatrone entstehen unterschiedliche Amortisationszeiten für das hybride Heizsystem. Weil der Strombezug über Elektroheizer derzeit mit hohen Anteilen von Steuern und Abgaben (Stromsteuer, EEG-Umlage, KWK-Zuschlag, Netzentgelte, etc.) behaftet ist, kann diese Variante nur dann wirtschaftlich attraktiv sein, wenn eine entsprechende Befreiung von diesen Abgaben im Falle der Nutzung von Stromüberschüssen erlassen wird.³³ In Anbetracht der Tatsache, dass der Strombezug bei allen genannten P2H-Einsatzmöglichkeiten eine Systemdienstleistung zur Entlastung der Netze darstellt, wäre eine zukünftige Befreiung dieser Entgelte eine effektive Maßnahme zur Unterstützung der IEE.³⁴

2.5 Energieflüsse bei Elektroheizern in Fernwärmenetzen

Abbildung 3 zeigt eine stark vereinfachende Schemaskizze, welche die Einsatzweise eines EHK bei Stromüberschüssen illustriert. Im linken Dia-

³² Vgl. Eller, 2012, S.2ff.

³³ Vgl. Bernhard und Fieger, 2011, S.1ff.

³⁴ Vgl. Krzikalla et al., 2013, S.37

Integration erneuerbarer Energien mit Power-to-Heat in
Deutschland

Potentiale zur Nutzung von Stromüberschüssen in
Fernwärmenetzen

Eller, D.

2015, XXI, 236 S. 98 Abb., Softcover

ISBN: 978-3-658-10560-0