

Hybride Wärmeerzeuger als Beitrag zur Systemintegration erneuerbarer Energien

Wolfram Münch, Malte Robra, Lukas Volkmann, Philipp Riegebauer und Dieter Oesterwind

Aufgrund der Vorrang einspeisung von Windstrom entstehen schon heute zeitweise beträchtliche Mengen an „grünen Ausfallmengen“. Neben einer Flexibilisierung des konventionellen Kraftwerksparks, dem Netzausbau und der Speicherung könnte auch das Demand Side Management durch hybride Anwendungstechniken Abhilfe schaffen und wesentlich zur Integration erneuerbarer Energien beitragen. Das hohe Lösungspotenzial lässt sich am Beispiel der Anwendungstechniken zur Wärmeerzeugung im Bereich Haushalte und Gewerbe, Handel und Dienstleistungen sowie der Industrie veranschaulichen.

„Windmühlen taugen nicht für preiswerte öffentliche Stromversorgung. [...] Für preiswerte Raumheizung dagegen, so haben renommierte Maschinenbau-Unternehmen herausgefunden, taugen sie dagegen sehr gut: Die von wechselnden Winden getriebenen Mühlen produzieren billig Strom mit schwankender Spannung und geben ihn mit einer Art Tauchsieder in den heimischen Wasserspeicher ab.“ - So der Wortlaut eines Artikels im Spiegel aus dem Jahre 1980 [1]. Die Integration volatiler Strommengen aus erneuerbaren Quellen ist auch über 30 Jahre später noch eine Herausforderung.

In Zeiten hoher Einspeisung erneuerbarer Energien (EE) und geringer Netzlast kann die Summe des Stromangebotes aus erneuerbarer und konventioneller Energie die Netzlast übersteigen. Reichen die systemtechnischen Integrationsoptionen nicht aus, um die Netzsicherheit zu gewährleisten, wird die Vorrang einspeisung von EE zu diesen Zeiten ausgesetzt, so dass „grüne Ausfallmengen“ entstehen. Das Aussetzen der Vorrang einspeisung von EE wird als Ein-

speisemanagement bezeichnet. Abb. 1 zeigt exemplarisch die durch Anwendung des Einspeisemanagements entstehende Ausfallarbeit, welche durch hybride Anwendungstechniken nutzbar ist. Besteht ein Potenzial für die erweiterte Einspeisung von EE, wird dieses im Folgenden als „Stromüberschuss“ bezeichnet. Die hybride Auslegung von Wärmeerzeugern bietet Lösungsansätze für die EE-Integration im Bereich des Demand Side Managements (DSM) [2].

Ausgangslage und Prognosen

Im Jahr 2010 konnten 127 GWh bei einer vom Einspeisemanagement betroffenen Leistung von 3,4 GW nicht in das Stromnetz integriert werden. Ca. 98 % dieser Ausfallmengen sind auf den Einsatz des Einspeisemanagements im Bereich der Windenergie zurückzuführen [3]. Die Problematik auftretender Ausfallmengen verschärft sich durch die Ausweitung der EE an der Stromerzeugung in Deutschland. Zudem ist auch mit einer erhöhten Einspeisung von Strom aus Photovoltaikanlagen zu rechnen.

Die Tabelle zeigt die auf das Basisszenario 2010A der Bundesnetzagentur bezogene prognostizierte Zunahme der Ausfallarbeit. Hierbei wird ein exponentieller Anstieg der Ausfallarbeit ohne Berücksichtigung möglicher Weiterentwicklungen systemtechnischer Integrationsoptionen für EE prognostiziert. Für die vom Einspeisemanagement betroffene Leistung wurde ein linearer Anstieg angenommen. Die Volllastausfallstunden ergeben sich durch die Division von Ausfallarbeit und betroffener Leistung. [2, 3, 4, 5].

Hybride Wärmeerzeuger als Beitrag zur EE-Systemintegration

Es gibt verschiedene Ansätze, um die fluktuierende Erzeugung von Strom aus EE in das Stromnetz zu integrieren und einen stabilen Netzbetrieb zu gewährleisten. Hybride Wärmeerzeuger können im Bereich des DSM eine tragende Rolle übernehmen. Unter hybriden Wärmeerzeugern versteht man Anwendungstechniken, welche die Option bieten, flexibel fossil oder elektrisch erzeugte Wärmeenergie bereitzustellen. So könnten beispielsweise im Bereich der Haushalte sowie im Gewerbe, Handel und Dienstleistungsbereich (GHD) die Warmwasserspeicher sowie Pufferspeicher von Heizungsanlagen mit einem Heizstab ausgestattet werden, um bedarfsgerecht - d. h. zu Zeiten von Stromüberschüssen - die Netzlast zu erhöhen und somit Stromangebot und -nachfrage anzugleichen. Auch in der Industrie könnten vergleichbare Anwendungstechniken hybrid ausgelegt werden. Hochspannungselektrodenkessel oder Tauchsieder können für die Erzeugung von elektrischem Prozessdampf eingesetzt werden und somit fossil befeuerte Kraftwerke ergänzen.

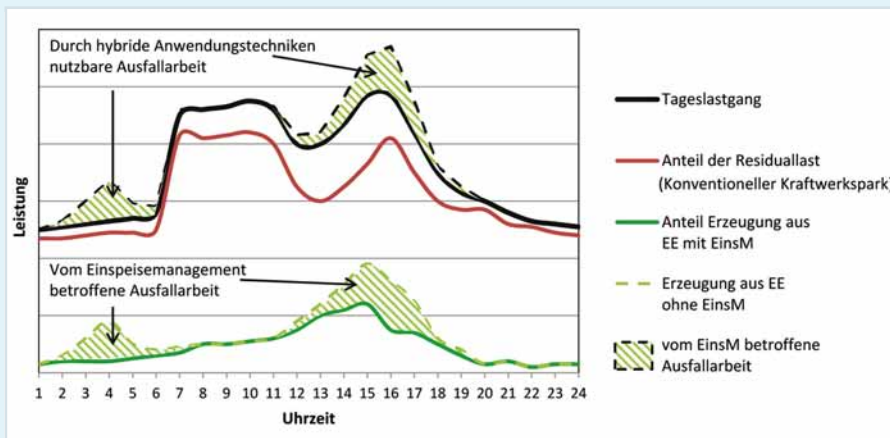


Abb. 1 Qualitativer Verlauf eines Tageslastgangs mit Einspeisemanagement

Die direkte Nutzung von Stromüberschüssen kann helfen, die Notwendigkeit der Speicherung von elektrischer Energie zu verringern sowie die Ausfallmengen von EE zu reduzieren. Darüber hinaus wird in Zeiten der Nutzung von Stromüberschüssen in hybriden Anwendungstechniken der Bedarf an fossilen Brennstoffen – vorwiegend von Erdgas – reduziert. Stellt man die Einsparung von Erdgas der Erzeugung von Gas durch Methanisierung gegenüber, ist zu erwarten, dass hybride Anwendungstechniken Gas auf effizientere Weise bereitstellen. Das liegt vor allem an der verlustbehafteten Methanisierung des durch Strom erzeugten Wasserstoffs. Das eingesparte Erdgas kann anderweitig, z. B. für die flexible Stromerzeugung in Gaskraftwerken zu Zeiten geringer Einspeisung von Strom aus EE, genutzt werden. Betrachtet man den Gesamtwirkungsgrad der Bereitstellung von Gas mit anschließender Rückverstromung, liegt dieser bei Verwendung von eingespartem Erdgas durch den Einsatz hybrider Anwendungstechniken höher als bei der Erzeugung von Gas aus Strom. [6]

Theoretisch substituierbare Potenziale

Das Integrationspotenzial hybrider Wärmeerzeuger in Deutschland bestimmt sich über den Anteil von fossil erzeugter Wärmeenergie am Endenergiemarkt. In Abb. 2 verdeutlicht der grau markierte Bereich, welche Anteile des Endenergieverbrauchs keinen zusätzlichen Beitrag für die EE-Integration durch die hybride Erzeugung von Wärme leisten können. Hierzu gehören derzeit bestehende strombetriebene Anwendungen im Industriesektor und im Bereich Haushalte und GHD sowie im Verkehrssektor. Für die Integration von Ausfallmengen wird dem Verkehrssektor im Bereich der Elektromobilität als Speicher- und Regelungstechnologie bereits in verschiedenen Studien eine große Bedeutung zugesprochen [7]. Im Bereich der hybriden Wärmeerzeugung bestehen diese Potenziale jedoch nicht. Die blau markierten Bereiche in Abb. 3 zeigen die Anteile des Endenergieverbrauchs, die in hybriden Wärmeerzeugern theoretisch genutzt werden können.

Im Folgenden werden diese als das theoretisch substituierbare Potenzial (TSP) bezeichnet. Das TSP beziffert die Menge fossil

erzeugter Endenergie, die theoretisch in hybrid betriebenen Wärmeerzeugern genutzt werden kann. Mit rund 1 234 TWh/a liegt das TSP weit über der für das Jahr 2020 prognostizierten Ausfallarbeit (ca. 28 TWh). Die in Abb. 3 dargestellte Zusammensetzung des TSP verdeutlicht, dass schon allein die industrielle Prozesswärme einen hohen Anteil an fossil erzeugter Wärmeenergie benötigt. Jedoch bilden die Raumwärme und Warmwasserbereitstellung im Bereich Haushalte und GHD in Summe den dominie-

zung des TSP verdeutlicht, dass schon allein die industrielle Prozesswärme einen hohen Anteil an fossil erzeugter Wärmeenergie benötigt. Jedoch bilden die Raumwärme und Warmwasserbereitstellung im Bereich Haushalte und GHD in Summe den dominie-

Tab.: Referenzprognose [2]

	Einheit	2010	2015	2020
Ausfallarbeit	GWh	127	1 861	27 710
Betroffene Leistung	GW	3,4	12,4	21,4
Volllastausfallstunden	h	37	150	1 295

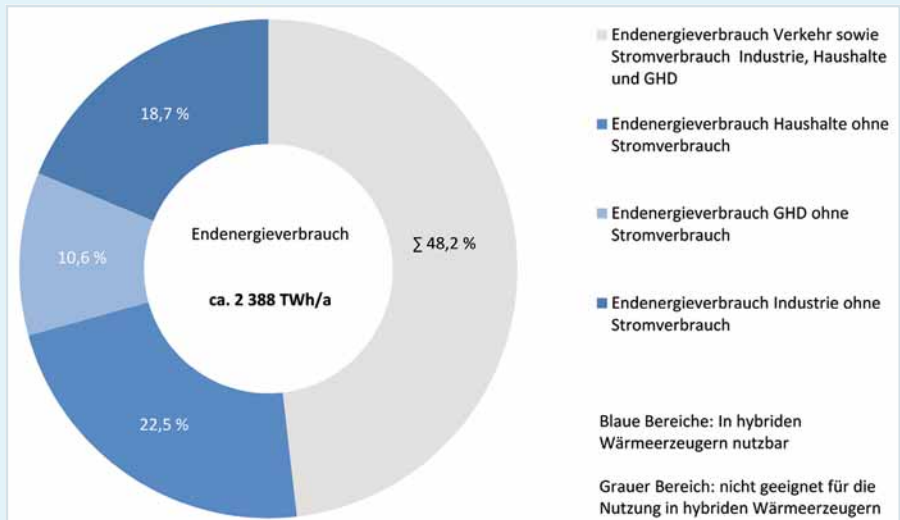


Abb. 2 Aufteilung des Endenergieverbrauchs [8]

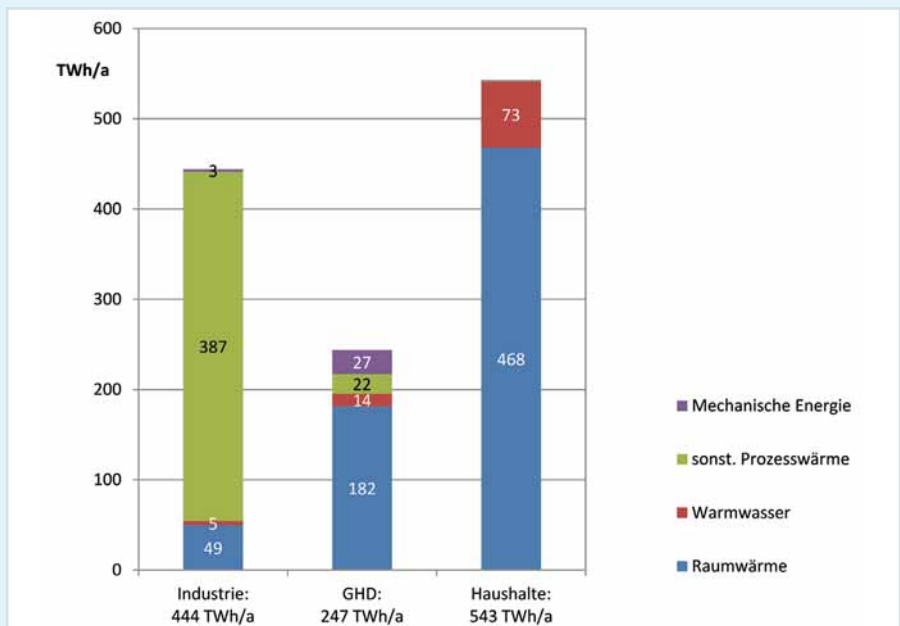


Abb. 3 Zusammensetzung des theoretisch substituierbaren Potenzials der Sektoren Industrie, Haushalte und GHD [8]

renden Anteil des TSP. Im Folgenden werden diese Bereiche aufgrund der ähnlichen Beheizungsstruktur gemeinsam betrachtet. Bei einer Aufteilung nach Sektoren entfallen auf den Industriesektor 36 % sowie auf Haushalte und GHD 64 % des TSP.

Untersucht man die in Abb. 4 dargestellte Aufteilung des Endenergieverbrauchs ohne Stromanwendungen in der Industrie (444 TWh/a), so stehen allein in der energieintensiven Industrie rund 320 TWh/a als TSP zur Verfügung.

Wie in Abb. 5 verdeutlicht wird, bilden im Bereich Haushalte und GHD die Anteile von Raumheizung und Warmwasserbedarf mit rund 740 TWh/a (94 %) geeignete Potenziale für die Integration von Strom aus EE.

Es besteht somit ein hohes Integrationspotenzial für Strom aus erneuerbaren Quellen im Bereich der hybriden Wärmeerzeugung. Für die Ermittlung der Anteile des TSP, die in der Praxis für die Einbindung EE zur Verfügung stehen, muss untersucht werden, welche Anwendungstechniken in den betrachteten Sektoren hybrid ausgelegt werden können. Dadurch ist es möglich, die technischen Potenziale im Industriesektor und im Bereich Haushalte und GHD zu bestimmen.

Hybride Auslegung von Wärmeerzeugern in der Industrie

Als geeignete Anwendungstechniken für die hybride Auslegung in der Industrie

dienen Elektrodenkessel, Tauchsieder und Schmelzöfen nach dem Induktionsprinzip. Insbesondere in der Papierherstellung und Grundstoffchemie kann eine derartige Auslegung von Dampferzeugern einen Beitrag für die Einbindung von EE leisten. Bei einem Gas- und Dampf (GuD)-Kraftwerk, zum Beispiel, kann dies durch die parallele Installation eines Elektrodenkessels erfolgen. Unter der Voraussetzung, dass ein Potenzial für die Einspeisung weiterer Kraftwerksleistung aus EE besteht, wird das GuD-Kraftwerk heruntergefahren und der Elektrodenkessel übernimmt die Dampferzeugung. Diese Regelungsmöglichkeit reduziert die fossile Stromerzeugung und erweitert das Abnahmepotenzial von Strom aus EE.

Exemplarisch seien an dieser Stelle die technischen Potenziale für die Dampfbereitstellung in der Papierindustrie und dem Bereich der Metallerzeugung erläutert. Die Papierindustrie in Deutschland stellt an rund 165 Produktionsstandorten über 20 Mio. t Papier jährlich her. Mit einem Nutzenergiebedarf von ca. 22 000 GWh/a wird der Großteil der für die Produktion benötigten Energiemenge in Form von Dampf für die Beheizung von Trockenzylindern verwendet. Wird der Dampf vollständig elektrisch in Elektrodenkesseln erzeugt, wird für den Betrieb eine Leistung von 2,6 GW benötigt.

In Metallschmelzbetrieben kann die induktive Flüssigmetallerzeugung für die Einbindung von EE genutzt werden, indem sie den zumeist gasbefeuerten Schmelzöfen

zugeführt wird, sodass diese ihren Erdgasbedarf reduzieren können. Das Verfahren ist besonders gut für den unterbrechungsfreien Betrieb geeignet. Das technische Potenzial der hybriden Auslegung bestimmt sich über den Anteil der Metall-Produktionsmengen, welche unter der Zuhilfenahme fossiler Brennstoffe geschmolzen wurden. Im Bereich der Metallerzeugung, der NE-Metalle sowie der Gießereien beträgt das technische Potenzial der Flüssigmetallerzeugung rund 10 000 GWh/a, bei einer Leistungsaufnahme von 1,6 GW.

Auf den Industriesektor bezogen ergeben sich bei den betrachteten hybriden Anwendungstechniken eine technisch abnehmbare Leistung von 4,2 GW und eine technisch abnehmbare Arbeit von 32 000 GWh/a. Durch die Untersuchung weiterer Produktionsverfahren z. B. im Bereich der Grundstoffchemie oder in Bereichen der nicht-energieintensiven Industrie können noch weitere Potenziale für die hybride Nutzung von Ausfallmengen erschlossen werden [2].

Hybride Auslegung von Wärmeerzeugern im Bereich Haushalte und GHD

Im Bereich Haushalte und GHD wird Wärmeenergie zur Erzeugung von Raumwärme und Warmwasser verwendet. Die benötigten Wärmemengen werden überwiegend durch konventionelle Heizkessel (Heizöl, Gas, etc.) produziert. Bei der Raumwärme ist eine direkte Abgabe an die Wärmebereitstel-

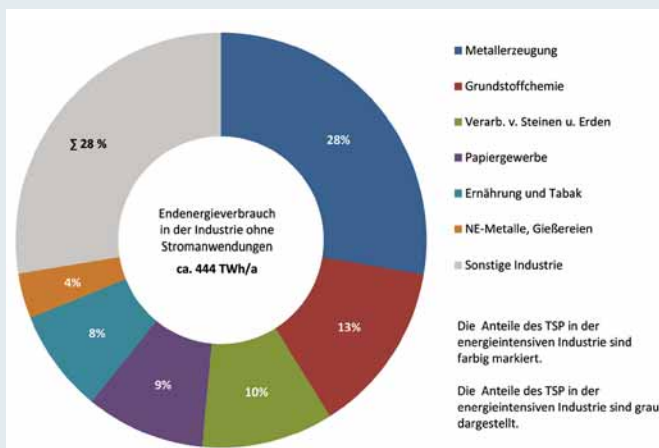


Abb. 4 Aufteilung des theoretisch substituierbaren Potenzials im Industriesektor [8]

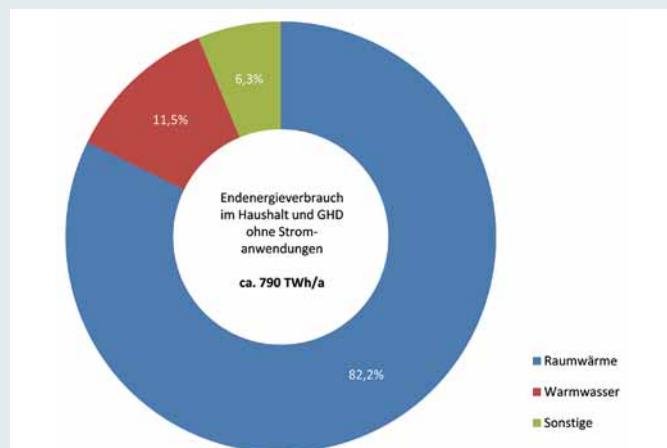


Abb. 5 Aufteilung des theoretisch substituierbaren Potenzials im Bereich Haushalte und GHD ohne Stromanwendungen [8]

lungskette oder eine Versorgung über einen Pufferspeicher möglich. Bei der Warmwasserversorgung hingegen werden die Wärmemengen in einem Warmwasserspeicher zwischengespeichert. Eine Möglichkeit der hybriden Auslegung besteht in der Integration einer Stromanwendung in Warmwasser- oder Pufferspeichern zur Erzeugung von Wärmeenergie. Elektro-Heizstäbe haben sich zur Wärmeerzeugung in Haushalten und GHD aufgrund geringer Investitionskosten als geeignet herausgestellt. Darüber hinaus arbeiten Heizstäbe bei der Erzeugung von Wärme nahezu verlustfrei, da sie direkt mit dem Arbeitsmedium in Kontakt stehen. Durch geeignete Einlässe erfolgt die Ankopplung des Heizstabs direkt am Warmwasserspeicher. Bei Speichern im Gebäudebestand ist gegebenenfalls zu prüfen, ob eine nachträgliche Erweiterung oder eine Ersatzinvestition wirtschaftlich ist. Durch die Nutzung von Stromüberschüssen kann der Heizkessel entlastet, Primärenergie (z. B. Heizöl oder Gas) eingespart und können CO₂-Emissionen vermieden werden. Die Heizstäbe werden je nach Ausführung mit 230 oder 400 V betrieben und sind in Leistungsklassen zwischen 2-6 kW erhältlich. Auch der Einsatz höherer Leistungsklassen ist möglich. Bei einer direkten Nutzung der Wärmeenergie im Heizungssystem können Heizpatronen eingesetzt werden. Weitere denkbare Integrationsoptionen für EE sind Kleindurchlauferhitzer [9], Wärmepumpen [10] und Stromspeicherheizungen [11].

Unter Berücksichtigung der derzeitigen Beheizungsstruktur Deutschlands lässt sich die technisch abnehmbare Leistung angeben. Bei 16,7 Mio. der insgesamt 38,2 Mio. Heizungen in Deutschland handelt es sich um konventionelle Systeme, die für eine hybride Auslegung geeignet sind [12, 13]. Werden sie durch Anwendungstechniken (z. B. Heizstab oder Heizpatrone) mit einer elektrischen Leistung von jeweils 6 kW hybrid ausgestattet, beträgt die technisch abnehmbare Leistung insgesamt 100,2 GW. Die technisch abnehmbare Arbeit ist abhängig von der Jahresbetriebsstundenzahl der Heizungsanlage, diese selbst wiederum hängt von Parametern wie der Kesselleistung, der Wohn-/Nutzfläche, dem spezifischen Wärmeenergiebedarf, dem Nutzerverhalten, der Witterung, den Wärmeverlusten und anderen Variablen ab. Unter der Annahme, dass

hybrid ausgelegte Heizungsanlagen rund 1 200 h/a Ausfallmengen aufnehmen können, beträgt deren technisch abnehmbare Arbeit 120 200 GWh/a [2].

Trotz möglicher Änderungen des Gebäudebestandes und der Beheizungsstruktur besteht ein Potenzial zur Aufnahme der prognostizierten Ausfalleistung und Ausfallarbeit bis zum Jahr 2020 und darüber hinaus. Für die Aufnahme der vom Einspeisemanagement betroffenen Leistung und Ausfallarbeit aus dem Jahr 2010 reicht eine Umrüstung von ca. 270 000 Wärmerezeugern (ca. 3,4 % des Gesamtbestandes) aus. Um die vom Einspeisemanagement betroffene Leistung und Ausfallarbeit im Jahr 2020 zu integrieren, müssen bereits 3,6 Mio. Heizungsanlagen (ca. 21,4 % des Gesamtbestandes) hybrid ausgelegt werden [2].

Weitere Demand Side Management-Konzepte im Bereich Haushalte und GHD sind das „virtuelle Kraftwerk“. Vattenfall zum Beispiel vernetzt hierzu dezentrale Stromerzeuger (Blockheizkraftwerke) und -verbraucher (Wärmepumpen) zum Zweck der Bereitstellung flexibel einsetzbarer Kraftwerksleistung und Kompensation volatiler Strommengen [14]. Bei dem Konzept „Windheizung“ der Unternehmen RWE, Siemens und Tekmar handelt es sich um eine Weiterentwicklung der klassischen Nachtstromspeicherheizung [15]. Ein weiteres Konzept der RWE in Kooperation mit Vaillant ist das Projekt „HomePower Mikro-KWK-System“. Kernelemente sind ein Blockheizkraftwerk und eine Steuereinheit, die das Energiemanagement für den Kunden übernimmt und zukünftig auch Stromüberschüsse aus EE in Form von Wärme speichert [16]. Die Stadtwerke Flensburg wollen zukünftig mittels Elektroden-Heißwasserkesseln elektrischer Heizwärme erzeugen, wenn Stromüberschüsse aus EE bestehen und diese ins Fernwärmenetz einspeisen [17].

Ergebnisse und Ausblick

In einer ersten Betrachtung reicht die technisch abnehmbare Arbeit sowohl in der Industrie als auch im Bereich Haushalte und GHD aus, um die Ausfallarbeit, die durch den Einsatz des Einspeisemanagements entsteht, bis zum Jahr 2020 und darüber hinaus zu kompensieren. Hybride Anwen-

dungstechniken können jedoch nur in den Zeitspannen, in denen das Einspeisemanagement als Regelungsmaßnahme durchgeführt wird, einen Beitrag für die Integration von EE leisten. Diese Potenziale werden hier als substituierbare Potenziale zu Ausfallzeiten bezeichnet. Die Zusammenhänge zwischen technisch abnehmbaren Potenzialen, den bestimmten Ausfallzeiten aus der Referenzprognose und den substituierbaren Potenzialen zu Ausfallzeiten sind in den Abb. 6 und 7 dargestellt und werden nachfolgend für den Industriesektor und den Bereich Haushalte und GHD erläutert.

Im Industriesektor besteht ganzjährig ein konstanter Wärmebedarf, jedoch übersteigt die prognostizierte vom Einspeisemanagement betroffene Leistung bereits im Jahr 2015 (12,4 GW) die technisch abnehmbare Leistung (4,2 GW) um nahezu 200 %. Zusätzlich können hybride Anwendungstechniken die Leistungen nur zu Ausfallzeiten als Integrationsmaßnahme für EE nutzen, sodass nur ein Anteil der Ausfallmengen in industriellen Prozessen genutzt werden kann. Im Jahr 2015 können in den untersuchten Industriesektoren ca. 34 % (636 GWh von 1 861 GWh) und im Jahr 2020 ca. 20 % (5 490 GWh von 27 710 GWh) der prognostizierten Ausfallmengen abgenommen werden. Bei vertiefender Untersuchung sind vor allem im Bereich der Industrie mit hohem Wärmebedarf weitere hybride Anwendungspotenziale wahrscheinlich.

Im Bereich Haushalte und GHD übersteigt die technisch abnehmbare Leistung die prognostizierte vom Einspeisemanagement betroffene Leistung deutlich. Für die Integration von EE können hybride Anwendungstechniken nur in den vom Einspeisemanagement betroffenen Zeitfenstern Leistung abnehmen. Deshalb sind die substituierbaren Potenziale durch die in der Referenzprognose vom Einspeisemanagement betroffene Leistung und Arbeit begrenzt. Zudem ist das Zeitfenster für die Einbindung der EE durch die Betriebszeit der Kessel und damit von der benötigten Wärmemenge abhängig. Die substituierbare Arbeit zu Ausfallzeiten liegt folglich unterhalb der technisch abnehmbaren Arbeit. Dennoch ist die substituierbare Arbeit zu Ausfallzeiten im Bereich Haushalte und GHD höher als im Industriesektor und kann durch eine hybride Auslegung von Beheizungsanlagen

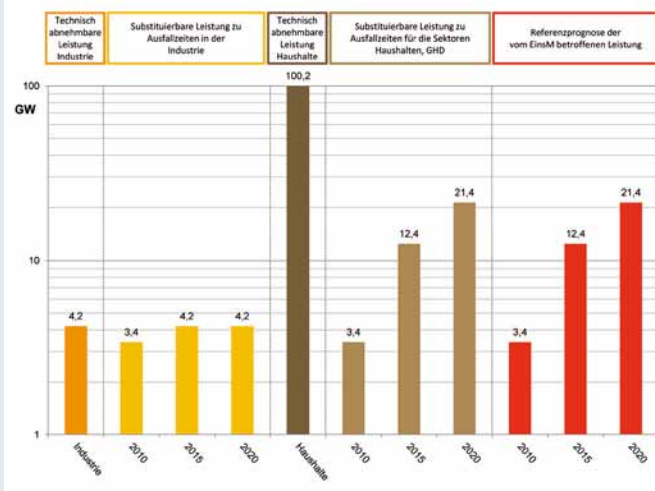


Abb. 6 Leistungspotenziale in den betrachteten Industriesektoren sowie im Bereich Haushalte und GHD [2]

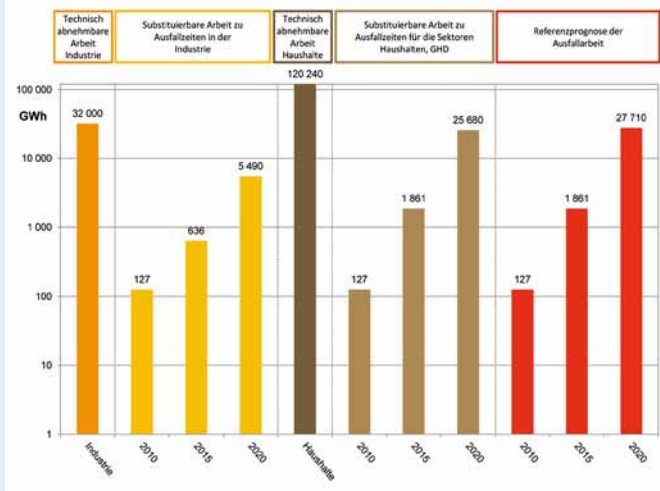


Abb. 7 Übersicht zu den energetischen Potenzialen in Teilen der Industrie sowie im Bereich Haushalte und GHD [2]

fast die gesamte prognostizierte Ausfallarbeit für das Jahr 2020 (25 680 GWh von 27 710 GWh) aufnehmen.

In den Sektoren Industrie sowie Haushalte und GHD besteht ein bedeutendes Potenzial für die Erzeugung von Wärme zur Integration von Stromüberschüssen aus EE. Durch die Summe der betrachteten hybriden Anwendungstechniken im Industriesektor sowie im Bereich Haushalte und GHD (31 170 GWh) kann die für das Jahr 2020 prognostizierte Ausfallmenge (27 710 GWh) vollständig gedeckt werden bzw. es bestehen noch Reserven zur Integration von Ausfallmengen.

Aufgrund des hohen Potenzials zur Integration EE könnten hybride Anwendungstechniken als DSM-Maßnahme einen wichtigen Beitrag in einem sich verändernden Energieversorgungssystem leisten.

Anmerkungen

- [1] Spiegel: Wind: Heizung für Millionen. Ausgabe 52/1980.
- [2] ZIES: Stromanwendungen in Zeiten überschüssigen Windstroms. Zentrum für Innovative Energiesysteme, 2011.
- [3] ECOFYS: Abschätzung der Bedeutung des Einspeisemanagements nach EEG 2009. Auswirkungen auf die Windenergieerzeugung in den Jahren 2009 und 2010. Ecofys Germany GmbH, 2011.
- [4] Bundesnetzagentur: Netzentwicklungsplan. Szenariogrammen für den Netzentwicklungsplan 2012. Bundesnetzagentur 2011.

[5] Die Annahmen zum Anstieg der vom Einspeisemanagement betroffenen Leistung sowie der Ausfallarbeit wurden unter Berücksichtigung der Entwicklung des Einsatzes des Einspeisemanagements bis zum Jahr 2010 getroffen. Aufgrund des überproportionalen Anstiegs der Einsätze des Einspeisemanagements gegenüber der vom Einspeisemanagement betroffenen Leistung wurde für die Ausfallarbeit ein exponentieller Anstieg und für die Entwicklung der betroffenen Leistung ein linearer Anstieg prognostiziert.

[6] Eisenbeiß, G.: Solares Methan und Power to Gas - kritische Anmerkungen. In: „et“ 12/2011, S. 18-19.

[7] Nationaler Entwicklungsplan Elektromobilität der Bundesregierung, 2009. Aufgerufen über http://www.bmbf.de/pubRD/nationaler_entwicklungsplan_elektromobilitaet.pdf

[8] Eigene Berechnung auf Datengrundlage von: AG Energiebilanzen e.V.: Anwendungsbilanzen für die Endenergiesektoren in Deutschland 2008. Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie. Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung, München 2009.

[9] Kleindurchlauferhitzer verfügen über keinen Speicher. Das Wasser wird unmittelbar während des Durchströmens erhitzt. Typische Anwendungen von Kleindurchlauferhitzern finden sich an Handwaschbecken. Die Ankopplung an Warmwasserspeicher ist nicht ohne Weiteres möglich.

[10] Mit Hilfe von Wärmepumpen besteht die Möglichkeit, Wärme durch Strom zu erzeugen. Dabei wird die Energie einer Wärmequelle (z. B. Erdreich, Außenluft oder Grundwasser) genutzt und dessen Energieniveau durch die Zufuhr von Kompressionsarbeit mithilfe eines Verdichters gehoben. Die Wärmeenergie kann als Nutzenergie einem Heizungssystem übertragen werden.

[11] Klassische Stromspeicherheizungen mit einer geschätzten mittleren Anschlussleistung von 12 bis 15

kW erreichen in Deutschland eine Gesamtleistung, die etwa der derzeit installierten Windleistung entspricht. D. h., in Zeiten von nicht-integrierbarer Windenergie können die Speicherheizungen als Puffer genutzt werden. Aufgrund der fehlenden Möglichkeit zur hybriden Auslegung eines solchen mit Strom betriebenen Heizsystems werden Stromspeicherheizungen hier nicht weiter betrachtet. Vgl. Kleimaier, M.; Schwarz, J.: Elektro-Speicherheizung - neue Anwendung statt Verbot. In: „et“ 5/2009, S. 60-61.

[12] BDEW: Energiemarkt Deutschland. Zahlen und Fakten zur Gas-, Strom- und Fernwärmeversorgung, Bundesverband der Deutschen Energie- und Wasserwirtschaft e.V., 2010.

[13] BDH: Erhebung des Schornsteinfegerhandwerkes für 2009. Schätzung, Bundesindustrieverband Deutschland Haus-, Energie- und Umwelttechnik e.V., 2009.

[14] Vattenfall: Flyer von Vattenfall Europe Wärme AG, Energiedienstleistung, 2011.

[15] Energie & Management: Windstrom im Heizkellerbunkern, Ausgabe 1.5.2011.

[16] RWE Effizienz und Siemens testen Windheizung. Pressemitteilung RWE Effizienz 1.3.2011.

[17] Strom-Magazin: Stadtwerke profitieren von überlaufendem Stromsee. Aufgerufen am 31.01.2012: http://www.strom-magazin.de/strommarkt/stadtwerke-profitieren-von-ueberlaufendem-stromsee_31793.html

Prof. Dr. W. Münch, Energie Baden-Württemberg (EnBW), Karlsruhe; B. Sc. EE M. Robra, B. Eng. L. Volkmann, M. Sc. Ph. Riegebauer und Prof. Dr. D. Oesterwind, Zentrum für Innovative Energiesysteme (ZIES), Düsseldorf w.muench@enbw.com zies@fh-duesseldorf.de