



energie

Energieinfrastruktur der Zukunft: Windheizung 2.0

Energiespeicherung und Stromnetzregelung
mit hocheffizienten Gebäuden

Erläuterung zum Fachposter



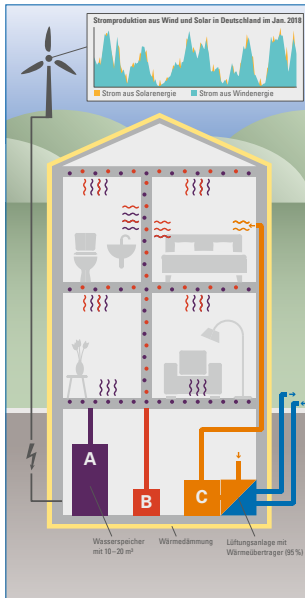
Martina Reinwald (LFU), Dr. Stephan Leitschuh (LFU), Dr. Josef Hochhuber (StMWi)

Energieinfrastruktur der Zukunft: Windheizung 2.0

Energiespeicherung und Stromnetzregelung mit hocheffizienten Gebäuden

Ziel

- Entwicklung eines innovativen, kostengünstigen und umweltfreundlichen **Heiz- und Speichersystems** für hocheffiziente Wohngebäude
- **Zeitlich sehr flexible Stromabnahme** bei hoher Stromproduktion aus erneuerbaren Energien (Starkwind) oder geringer Nachfrage (z. B. nachts und am Wochenende)



Ausgangslage

1. Windenergie- und PV-Anlagen speisen Strom volatil ins Netz ein. Häufig werden bei Starkwinden **Windenergieanlagen abgeregelt**.
2. In sehr gut gedämmten, hocheffizienten Gebäuden ist ein **herkömmliches Heizsystem** oft unverhältnismäßig **teuer**.
3. Die **kurze Heizperiode** deckt sich weitgehend mit der **erhöhten Stromproduktion aus Windenergieanlagen** im Winter.

Lösungsansätze

Bei Starkwind wird „**überschüssig**“ produzierter **Strom** abgenommen, in Wärme umgewandelt (Power to Heat) und für 7-10 Tage gespeichert, um Windflauten zu überbrücken.

Alternative Wärmespeichermöglichkeiten:

- **Möglichkeit A: Großer Wasserspeicher**
Erwärmung mit einem Durchlauferhitzer und Einspeisung in eine oberflächennahe Fußboden-, Wand- oder Deckenheizung.
- **Möglichkeit B: Bauteilaktivierung**
Erwärmung des Wassers mit einem Durchlauferhitzer und direkte Einlagerung der Wärme in schweren Bauteilen wie z.B. Betondecken und Kalksandsteinwänden.
- **Möglichkeit C: Hochtemperatur-Steinspeicher**
Erhitzung von schweren Steinen in einem hochgedämmten Speicher mit Strom. Die Wärmeabgabe und -verteilung erfolgt über die Lüftungsanlage.

Erfolgsfaktoren

- Gebäude mit sehr geringem Heizwärmebedarf
- Schwere Massen begünstigen die Technik
- Möglichkeit des direkten Zugriffs auf günstige Börsenstrompreise
- Orientierung an ausreichender Kapazität der Stromleitungen

Hintergrund

Die sinnvolle Vernetzung von Energieeffizienz und -speicherung, intelligenten Stromnetzen sowie die Nutzung erneuerbarer Energien sind entscheidend für eine erfolgreiche Umsetzung der Energiewende. Im Projekt „Windheizung 2.0“ wird untersucht, wie sich Gebäude als Wärmespeicher dem schwankenden Stromangebot aus erneuerbaren Energien anpassen können. Bei einem „Stromüberschuss“ und freien Leitungskapazitäten wird Strom entnommen und als Wärme im Gebäude gespeichert. Die Speicherdauer muss so lange sein, dass Stromengpasszeiten flexibel in einem Zeitbereich von ein bis zwei Wochen überbrückt werden können.

Projektentstehung

Folgende Entwicklungen führten zur Konzeption des Projekts:

1. Volatile Stromerzeugung sucht Speicher

Abbildung 1 veranschaulicht die volatile Einspeisung von Strom aus Windenergie- und Photovoltaik-Anlagen (PV-Anlagen). Der steigende Anteil fluktuierender, erneuerbarer Energien verursacht immer häufiger neben Stromengpässen auch „Stromüberschüsse“. Laut den Schätzungen des Öko-Instituts e. V. werden diese Überschüsse im Jahr 2045 in bis zu 40 % der Stunden eines Jahres auftreten (BOTHE UND JANSSEN 2016). Dieses Überangebot verursacht sinkende, zum Teil sogar negative Strompreise an der Börse.

Um eine Netzstabilität zu gewährleisten und eine punktuelle Stromüberlastung zu vermeiden, werden Windenergieanlagen bei Stürmen immer häufiger abgeregelt. Das verursacht hohe Kosten bei den Netzbetreibern und Stromverbrauchern, da für den Ausfall entsprechende Entschädigungen gezahlt werden. Diese Abschaltungen sind aus ökologischen Gründen und im Hinblick auf die Kosteneffizienz zu vermeiden.

Die Energiewende erfordert wegen der zunehmenden volatilen Stromerzeugung der Windenergie- und PV-Anlagen sowohl Speichermöglichkeiten als auch ein systemdienliches Verhalten zahlreicher Stromverbraucher.

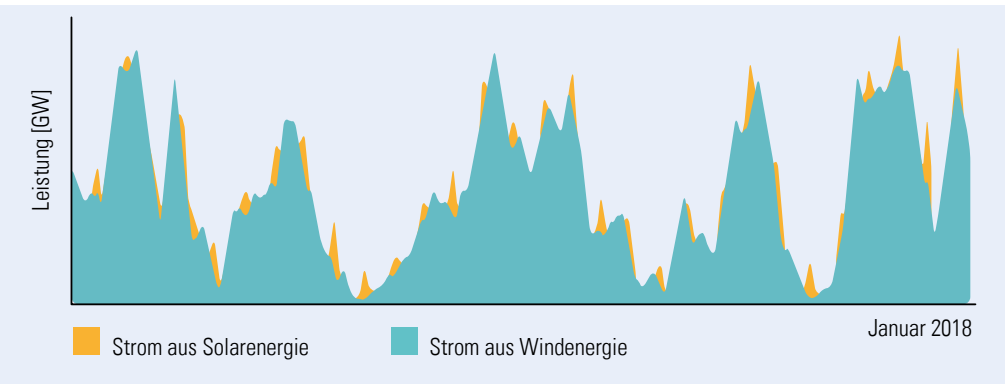


Abbildung 1: Stromproduktion aus Windenergie- und PV-Anlagen in Deutschland im Januar 2018 (Eigene Darstellung nach Daten des Fraunhofer ISE)

2. Kostenintensive Heizsysteme trotz geringem Heizwärmebedarf

Neubauten weisen aufgrund der aktuellen Anforderungen an den Wärmeschutz im Vergleich zu älteren Bestandsbauten einen deutlich geringeren Heizwärmebedarf auf. Immer mehr Bauherren entscheiden sich für eine über den momentan gesetzlich vorgeschriebenen Standard hinausgehende energieeffiziente Bauweise, z. B. nach dem Passivhausstandard. Herkömmliche Heizungssysteme verursachen bei solchen hocheffizienten Gebäuden im Verhältnis zur geringen Heizlast von 10 W/m^2 und einem Heizwärmebedarf von bis zu $15 \text{ kWh/(m}^2\text{-a)}$ unverhältnismäßig hohe Investitionskosten.

3. Viel Wind im Winter

Windenergieanlagen erzeugen wegen der durchziehenden Stürme im Winter durchschnittlich doppelt so viel Strom wie im Sommer. Diese Zeit deckt sich mit der kurzen Heizperiode hocheffizienter Gebäude von circa Anfang November bis Ende Februar (siehe Abb. 2). Daher stammt der Begriff Windheizung¹⁾. Strom aus PV-Anlagen wird in diesem Projekt nicht betrachtet, weil dieser in der Heizperiode nicht in nennenswertem Maße zur Verfügung steht.

¹⁾ Dieses Projekt ist eine Weiterentwicklung des Windheizung-Projektes der RWE AG in Essen mit besonderem Fokus auf Energieeffizienz, daher der Zusatz „2.0“.

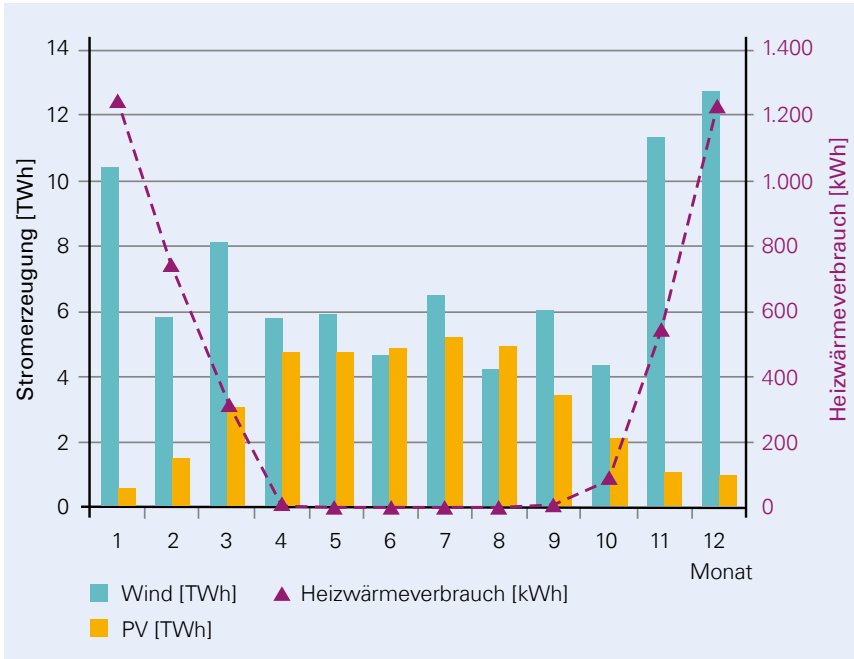


Abbildung 2: Gemittelter Heizwärmeverbrauch in einem hocheffizienten Gebäude (249 m² Wohnfläche) und Stromerzeugung aus Windenergieanlagen und PV-Anlagen in Deutschland im Jahr 2015 (Eigene Darstellung)

Ziel des Projektes

Diese drei Aspekte haben dazu beigetragen, das Projekt „Windheizung 2.0“ zu initiieren. Der Strom soll im Winter von besonders effizienten Gebäuden (wie Passivhäusern) mit hoher Leistung bezogen und zu Wärme umgewandelt werden. Das Prinzip wird als Power-to-Heat (PtH) bezeichnet. Das Hauptziel des Projekts ist es, mit einer systemverträglichen Sektorkopplung einen wichtigen Beitrag zum Gelingen der Energiewende zu leisten. Um die Attraktivität für die Gebäudeeigentümer zu erhöhen und systemkompatibel zu sein, sollen bestimmte Kriterien eingehalten werden:

- Das System muss für den Gebäudeeigentümer aus betriebswirtschaftlicher Sicht kostengünstig sein.

- Der Strombezug soll zeitlich flexibel erfolgen. Gleichzeitig soll ein Stromverzicht über einen längeren Zeitraum (1 bis 2 Wochen) möglich sein, damit das Gebäude als funktionaler Speicher dem Stromnetz systemdienlich zur Verfügung steht.
 - **Erzeugungsorientierter Ansatz:** Der Strombezug erfolgt aus ökologischen Gründen weitgehend dann, wenn während der Starkwindperioden ein Überangebot an Strom im Netz vorhanden ist. In Stromengpasszeiten soll kein Strom abgenommen werden.
 - **Lastorientierter Ansatz:** Der Bezug des Stroms und des gegebenenfalls erforderlichen Reststroms aus dem Stromnetz erfolgt nur dann, wenn genügend freie Leitungskapazitäten (Übertragungs- und Verteilnetz) vorhanden sind. In Norddeutschland kann das eher Strombezug zu Hochlastzeiten (= große Stromflüsse nach Süddeutschland), in Süddeutschland eher Bezug zu Niedriglastzeiten bedeuten.

Die Börsenstrompreise drücken das Verhältnis von Angebot und Nachfrage aus. Abbildung 3 veranschaulicht die Abhängigkeit des Börsenpreises von Wochentagen und Uhrzeiten. Im Winter sind die beiden Preisanstiege am Morgen und am frühen Abend ersichtlich. Ebenfalls auffällig ist der deutlich niedrigere Strompreis am Wochenende und nachts zwischen null und fünf Uhr – die optimale Zeit für den Bezug des Reststroms.

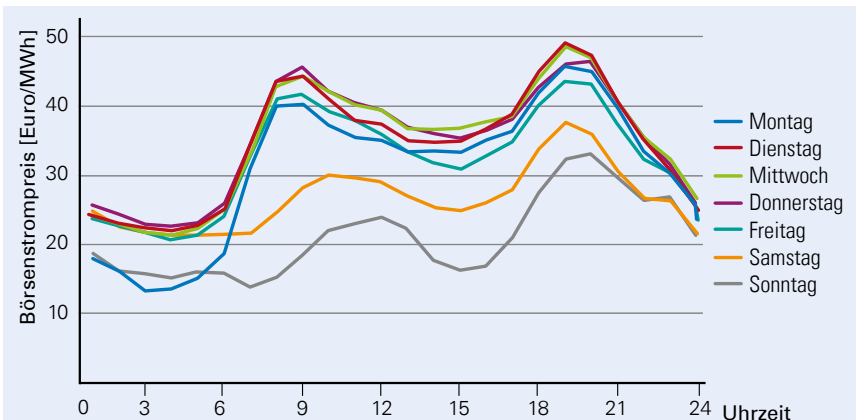


Abbildung 3: Durchschnittlicher Börsenstrompreis (Intraday-Handel an der EEX) während der Heizperiode 2014/15 nach Uhrzeit und Wochentag (SINNESBICHLER ET AL. 2016)

Besonderheiten und Unterschiede zu anderen Power-to-Heat-Ansätzen

Power-to-Heat-Systeme (PtH) tragen nicht per se zur Energiewende bei. Zwei Bedingungen müssen erfüllt sein, um eine Akzeptanz der PtH-Anlagen erreichen zu können:

- Heizen mit Strom ist nur zu rechtfertigen, wenn er so sparsam wie möglich eingesetzt wird, das heißt, wenn zuerst alle Maßnahmen zur Verbrauchsminderung ausgeschöpft sind. Dabei ist ein hoher Dämmstandard und eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung notwendig, damit ein Heizwärmebedarf von $15 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ möglichst nicht überschritten wird.
- Die Beheizung muss auf Basis von Strom aus erneuerbaren Energien stattfinden und möglichst ausschließlich „Überschussstrom“ nutzen.

Abbildung 4 verdeutlicht die Besonderheit des Konzepts Windheizung 2.0 im Vergleich zu anderen PtH-Anwendungen. Die farbigen Balken stellen den

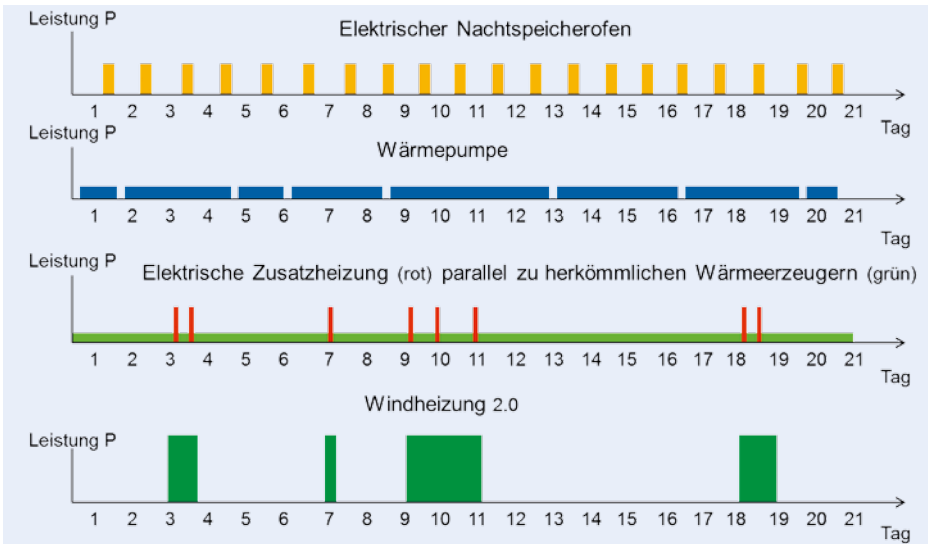


Abbildung 4: Vergleich der Power-to-Heat Systeme elektrischer Nachtspeicherofen, Wärmepumpe, elektrische Zusatzheizung und Windheizung 2.0 in Bezug auf Abnahmeleistung, Speicherdauer und Systemdienlichkeit bei konstanten äußeren Bedingungen (Eigene Darstellung)

Zeitraum und die Leistung des Strombezugs dar. In den Zeiträumen dazwischen erfolgt keine Stromabnahme.

Das System Windheizung 2.0 kennzeichnet sowohl deutlich längere Zeiträume ohne Strombezug als auch eine höhere Leistungsaufnahme, wenn „Überschussstrom“ zur Verfügung steht. Das wird im Vergleich zwischen herkömmlichen PtH-Systemen und dem System Windheizung 2.0 deutlich. Während zum Beispiel bei der Wärmepumpe Lastverschiebungen von maximal einem Tag möglich sind, kann bei einem Windheizung 2.0-Gebäude ein bis zwei Wochen auf die Stromabnahme verzichtet werden. Dieser PtH-Ansatz kann daher als sogenannter „funktionaler Stromspeicher“ bezeichnet werden. Er dient der zeitlichen Anpassung von Nachfrage und Erzeugung mit dem Ziel des zeitlichen und räumlichen Ausgleichs der Energiebilanz im Stromnetz.

Bisherige Projektergebnisse

Analyse der Starkwindereignisse

Während eines Sturmereignisses muss eine möglichst große Strommenge abgenommen und im Gebäude als Wärme gespeichert werden. Für die Ermittlung der benötigten thermischen Speicherfähigkeit sowie für die Auslegung des Wärmeerzeugers eines Windheizung 2.0-Gebäudes wurden nachfolgende Fragen geklärt:

- Wie häufig treten in den Wintermonaten Starkwindereignisse auf?
- Wie lange ist die durchschnittliche Dauer eines durchziehenden Sturms, bei dem „Überschussstrom“ produziert wird?
- Wie lange dauern Windflauten an, die von einem Windheizung 2.0-Gebäude überbrückt werden müssen?

Dazu wurden die Starkwindereignisse mit den Daten des Deutschen Wetterdienstes von 2003 bis 2012 analysiert. Das Ergebnis: Während des Winterhalbjahres, von Anfang Oktober bis Ende März, liegt die Dauer zwischen zwei Starkwindereignissen mit einer Wahrscheinlichkeit von 95 % nicht höher als

13 Tage. Dabei wurden nur Starkwindereignisse mit einer Mindestdauer von 5 Stunden und Windgeschwindigkeit $> 10,8$ m/s betrachtet²⁾. Wenn auch einstündige Starkwindereignisse berücksichtigt werden, liegt der 95 %-Quantil-Wert bei 6,5 Tagen (SINNESBICHLER ET AL. 2016).

Speicher- und Auskühlverhalten in einem hocheffizienten Gebäude

Folgende zentrale Fragen wurden an einem realen Gebäude im Passivhausstandard mit Betonkernaktivierung untersucht:

- Wie ändert sich die Raumtemperatur in einem sehr gut gedämmten Gebäude, wenn keine Heizwärme aktiv zugeführt wird?
- Welche Wärmemengen können in einem Gebäude gespeichert werden?

Mit einem Speicherversuch konnte die überdurchschnittlich effiziente Speicherwirkung und das hohe Lastverschiebungspotenzial eines schweren massiven Gebäudes demonstriert werden. Abbildung 5 zeigt, dass es nach einer Aufheizung des Gebäudes auf circa $25,5$ °C 15 Tage dauerte, bis das Gebäude um 4,5 Grad auf 21 °C abgekühlt war.

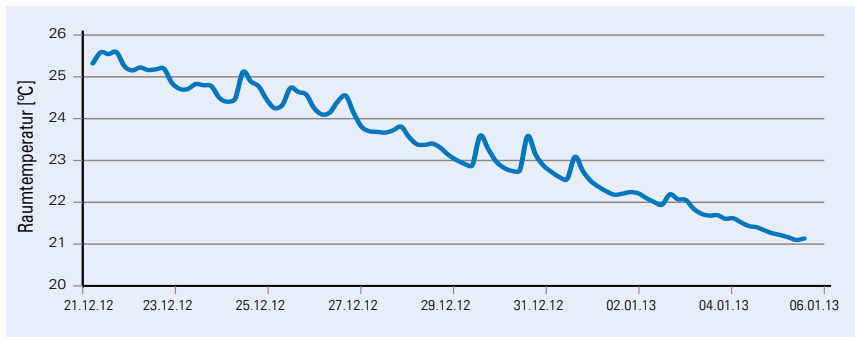


Abbildung 5: Messergebnisse des Auskühlversuchs: Verlauf der Raumtemperatur (Erdgeschoss) in einem hocheffizienten Gebäude ohne aktive Beheizung über zwei Wochen (HOCHHUBER 2014)

²⁾ Der Deutsche Wetterdienst teilt die Windereignisse anhand der Beaufort-Skala in 12 verschiedene Klassen ein.

Der Versuch fand in der Kernheizperiode (Dezember/Januar) statt. In der ersten Woche wurde die Auskühlung durch milde Außentemperaturen und solare Wärmegewinne (siehe Temperaturspitzen in der Kurve) gebremst. In der zweiten Woche der Auskühlphase lagen die Außentemperaturen ohne nennenswerte Sonneneinstrahlung im Bereich um den Gefrierpunkt.

Rein rechnerisch sind 150 kWh Wärme erforderlich, um 500 Tonnen Beton (entspricht etwa der Masse eines großen Einfamilienhauses in massiver Steinbauweise) um 1 Grad zu erwärmen. Das bedeutet eine Energiemenge von etwa 450 kWh, wenn das Gebäude um 3 Grad erwärmt wird. Im vorliegenden Versuchsgebäude entspricht dies einer Wärmespeicherung von ca. 1/10 des gesamten Heizwärmeverbrauchs einer Heizperiode (4.500 bis 5.000 kWh). Die mögliche Beladeleistung der drei hier vorhandenen Betondecken mittels Bauteilaktivierung lag dabei je nach Temperaturdifferenz (Beton/Zirkulationswasser) bei insgesamt 20 bis 60 kW.

Analyse der Börsenstrompreise

Es ist bekannt, dass der Börsenstrompreis maßgeblich von der Einspeisung erneuerbarer Energien beeinflusst wird. Folgende Fragen sollte das Projekt beantworten:

- Wann und wie häufig treten niedrige oder sogar negative Strompreise am EPEX Spotmarkt (Day-Ahead- und Intraday-Handel, Paris/Leipzig) auf?
- Gibt es einen Zusammenhang zwischen diesem preiswerten Strom und der Einspeisung von Strom aus erneuerbaren Energien?

Um diese Korrelation zu untersuchen, wurden die Börsenstrompreise 2016 der Windenergieeinspeisung sowie der Residuallast gegenübergestellt (ADAM ET AL. 2017).

Als Residuallast wird der Reststrombedarf bezeichnet, den die konventionellen Kraftwerke erbringen müssen, wenn die erneuerbaren Energien die Stromnachfrage nicht decken können. Die Residuallast ergibt sich somit aus

der Stromnachfrage abzüglich der Einspeisung fluktuierender, erneuerbarer Energien zum gleichen Zeitpunkt.

Die Abbildungen 6 und 7 zeigen die Korrelationen zwischen dem Börsenpreis des Intraday-Handels und der relativen Windeinspeiseleistung sowie der Residuallast. Eine hohe Stromeinspeisung aus Windenergieanlagen hat tendenziell geringe und negative Spotmarktpreise zur Folge. Ebenso sind die Preise am Spotmarkt sehr niedrig und zeitweise sogar negativ, wenn die Residuallast

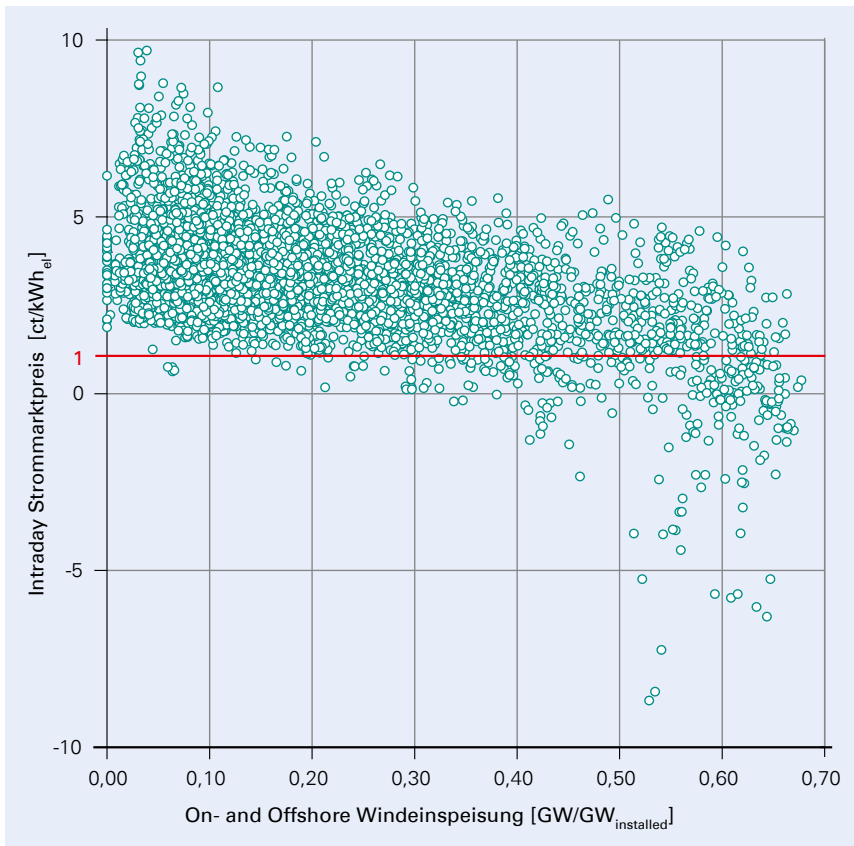


Abbildung 6: Korrelation zwischen dem Strommarktpreis im Intraday-Handel in der Heizperiode 2016 und der relativen Windeinspeiseleistung (ADAM ET AL. 2017)

gering ist. Insbesondere ein Spotmarktpreis von kleiner als 1 ct/kWh signalisiert einen sehr hohen Anteil an Strom aus Windenergieanlagen. Dieser Strom wird in einem Windheizung 2.0-Gebäude bevorzugt verwendet, da er sowohl ökologisch als auch kostengünstig ist.

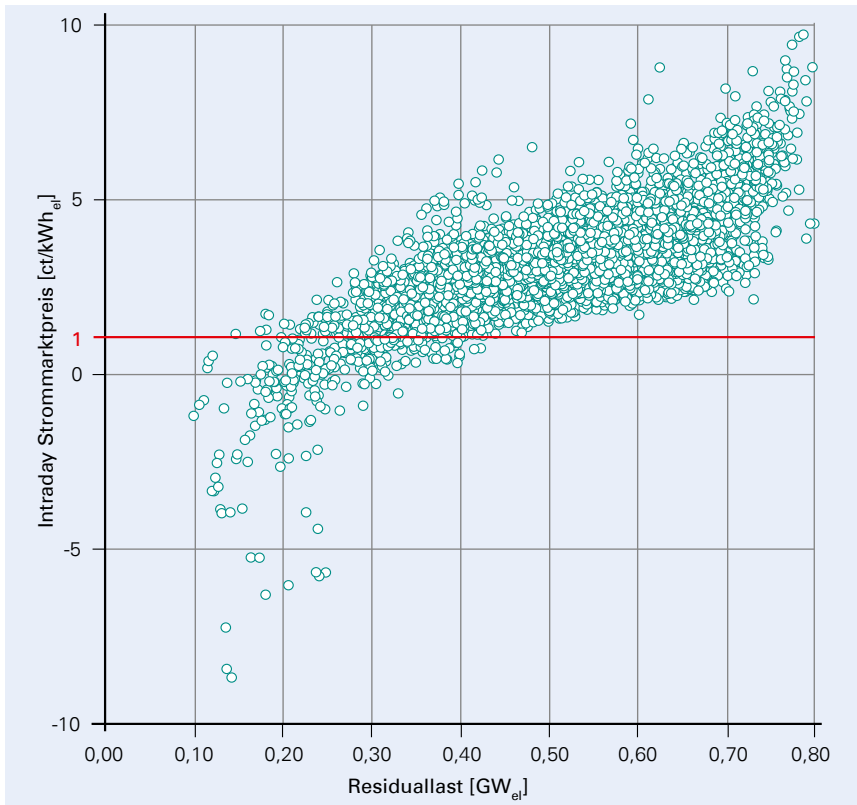


Abbildung 7: Korrelation zwischen dem Strommarktpreis im Intraday-Handel in der Heizperiode 2016 und der Residuallast (ADAM ET AL. 2017)

Daraus resultiert die Frage, wie häufig der Spotmarktpreis von 1 ct/kWh (= 10 €/MWh) unterschritten wird. Dazu wurden die Börsenstrompreise am Intraday-Handel im Winter 2015/16 ausgewertet. Das Ergebnis wird in Abbildung 8 veranschaulicht.

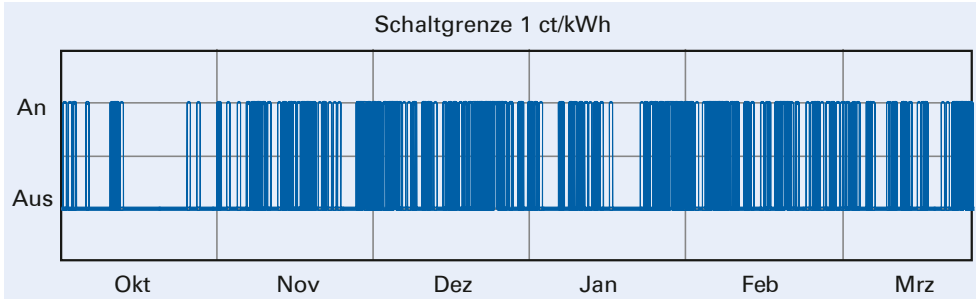


Abbildung 8: Häufigkeit eines Spotmarktpreises im Intraday-Handel von kleiner gleich 1 ct/kWh im Winter 2015/16 (PAZOLD ET AL. 2017)

Die Tage, an denen Spotmarktpreise von ≤ 1 ct/kWh auftraten, sind in Abbildung 8 mit einem blauen Balken dargestellt. Unter der Annahme, dass nur Strompreise ≤ 1 ct/kWh akzeptiert werden, stellen sie die möglichen Zeiträume für einen Strombezug („Windstrom“) dar. In den weiß dargestellten Zeiträumen traten höhere Preise auf. Diese Zeiten müssten in diesem Modell idealerweise ohne Strombezug und mit entsprechender Wärmespeicherung im Gebäude überbrückt werden. Je niedriger der akzeptierte Börsenpreis angesetzt wird, desto seltener sind die Zeiten des Strombezugs und umso länger sind die Überbrückungszeiträume.

Der Strombezug in einem Windheizung 2.0-Gebäude könnte aus Sicht des Nutzers folgendermaßen aussehen: Der Nutzer gibt vor, zu welchem Preis er bereit ist, den Windstrom zu beziehen. Im Idealfall definiert er flexible Grenzpreise abhängig von seinem Wärmespeicher. Je voller der Wärmespeicher ist und je weniger Wärmeverluste auftreten, desto länger kann er auf einen überdurchschnittlich niedrigen Preis warten. Wenn der Wärmespeicher zur Neige geht und die Raumtemperatur unter eine akzeptable Schwelle sinkt, wird der Nutzer auch höhere Preise akzeptieren, um den Speicher wieder zu beladen. Höhere Preise treten häufiger auf, deuten aber auf Strom aus nicht oder weniger erneuerbaren Energien hin. In diesem Fall wird der Nutzer nicht den kompletten Speicher mit diesem „Reststrom“ befüllen, sondern nur die geringen Wärmeverluste eines Tages ausgleichen. Dies kann in den üblichen Schwachlastzeiten nachts zwischen null und fünf Uhr oder am Wochenende erfolgen (siehe Abb. 3).

Bisher sind die günstigen Börsenstrompreise für den Endverbraucher nicht verfügbar. Um das systemdienliche Verhalten zu fördern, sind niedrige Strompreise gerechtfertigt. Dies könnte zum Beispiel durch Flexibilisierung der Abgaben und Umlagen realisiert werden.

Gebäudesimulationen

Mithilfe von Gebäudesimulationen wurden bautechnische Grundlagen ermittelt (SINNESBICHLER ET AL. 2016), um folgende Fragen zu beantworten:

- Wie muss ein Windheizung 2.0-Gebäude beschaffen sein, um die Kriterien
 - geringer Heizwärmebedarf,
 - hohe Stromabnahme zu Zeiten von Stürmen beziehungsweise niedrigen Strompreisen sowie
 - Überbrückung von ein bis zwei Wochen ohne Strombezug zu erfüllen?
- Welche Kombinationen aus Baumaterialien und technischer Gebäudeausrüstung sind geeignet, damit das Gebäude als sogenannter funktionaler Stromspeicher fungieren kann?

Das Gebäude inklusive der möglichen Anlagen- und Speichertechniken wurde im Computer mit der Software WUFI-Plus modelliert. Anschließend wurden für mehrere tausend Varianten die Wärmeerzeugung, -speicherung und -übergabe in einem Windheizung 2.0-Gebäude berechnet. Als Beurteilungsgrundlage für alle Varianten dienten folgende Bewertungskriterien:

- Windstromdeckung: Anteil des „Überschussstroms“ am Gesamtstromverbrauch für Heizung und Warmwasserbedarf
- Wirtschaftlichkeit: Mehrkosten im Vergleich zu einem Gebäude nach Energieeinsparverordnung 2014
- Raumklima: PMV-Index (predicted mean vote) als Parameter für das menschliche Wärmeempfinden
- Endenergiebedarf
- Umweltwirkung: Treibhauspotenzial und nicht erneuerbare Primärenergie

In den Abbildungen 9 und 10 sind wesentliche Simulationsergebnisse für einen Einfamilienhaus-Neubau für die Kriterien Wirtschaftlichkeit und Umweltwirkung (Treibhauspotenzial und nicht erneuerbare Primärenergie) grafisch dargestellt. Die Untersuchung des Treibhauspotenzials zeigt in Abbildung 9 für das Referenzgebäude (EnEV 2014 mit Öl-Brennwertheizung und Radiatoren) ein mehr als fünfmal größeres Treibhauspotenzial als für die beiden Passivhaus-Varianten. Das Passivhaus mit Windheizung 2.0 wiederum weist ein etwas niedrigeres Treibhauspotenzial auf als das herkömmliche Passivhaus mit Wärmepumpe. Dies liegt daran, dass die Umweltwirkung des Stroms aus Starkwindereignissen wesentlich niedriger ist als die des konventionellen Stroms. Der nicht erneuerbare Primärenergiebedarf liegt bei den beiden Passivhausvarianten in einem ähnlich niedrigen Bereich im Vergleich zum Referenzgebäude (SINNESBICHLER ET AL. 2016).

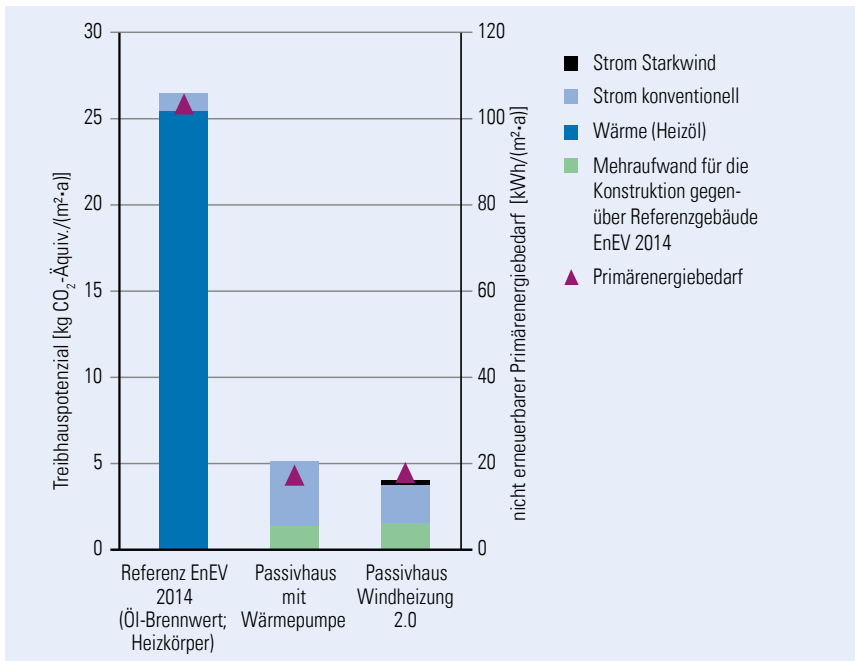


Abbildung 9: Vergleich der Umweltwirkungen zwischen dem Referenzgebäude (EnEV 2014 mit Öl-Brennwertheizung und Heizkörpern) und zwei unterschiedlichen Passivhäusern (Eigene Darstellung nach SINNESBICHLER ET AL. 2016)

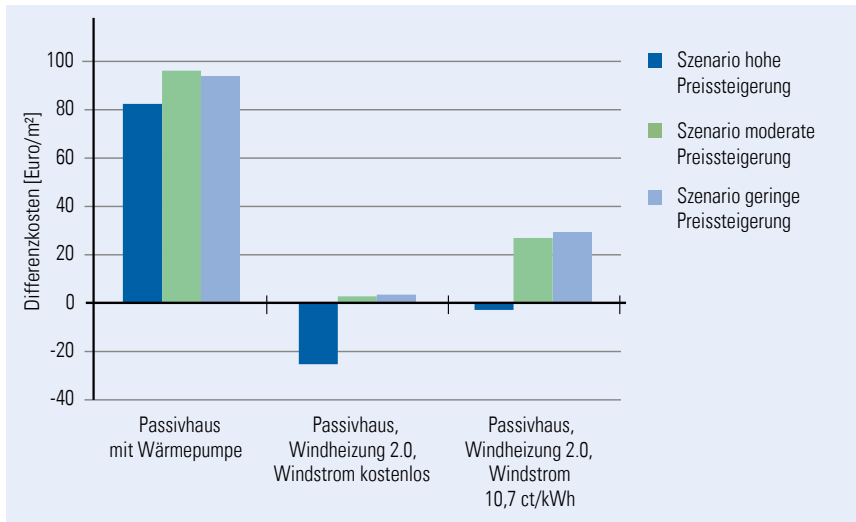


Abbildung 10: Vergleich der Kosten für verschiedene Passivhäuser mit unterschiedlichen Annahmen zur Preissteigerung und Windstrompreisen (Eigene Darstellung nach SINNESBICHLER ET AL. 2016)

Die Differenzkosten der Passivhäuser sind im Vergleich zum Referenzgebäude in den meisten betrachteten Szenarien höher. Ausgehend von einer hohen Preissteigerung ist das Windheizung 2.0-Passivhaus allerdings günstiger als das EnEV-Gebäude. Bei allen dargestellten Szenarien fallen die Kosten eines Passivhauses mit dem System Windheizung 2.0 geringer aus als für ein herkömmliches Passivhaus mit Wärmepumpe (siehe Abb. 10).

Mögliche Lösungsansätze für die Wärmespeicherung in einem hoch-effizienten Gebäude

Die Berechnungen und Gebäudesimulationen zeigen, dass grundsätzlich drei verschiedene Heiz- und Speichertechniken für ein Windheizung 2.0-Gebäude infrage kommen (siehe Abb. 11):

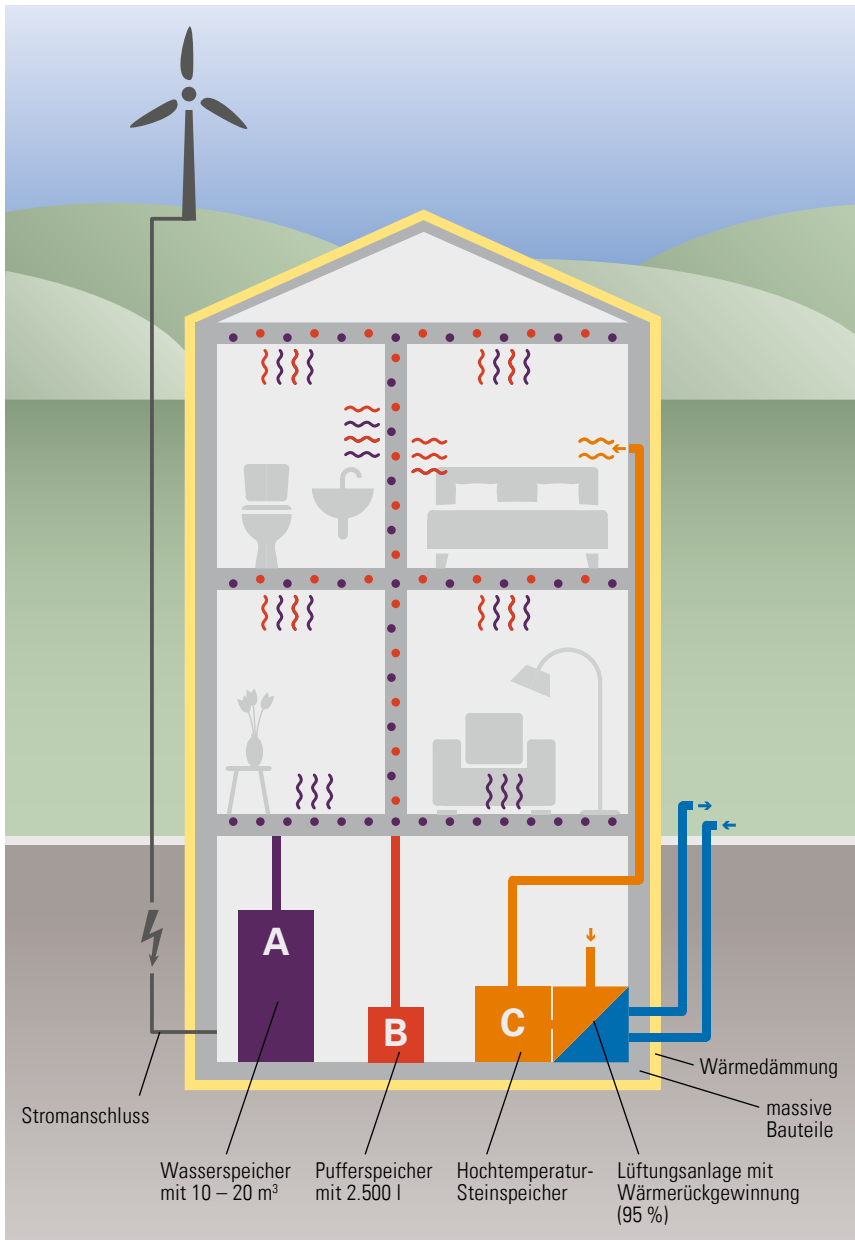


Abbildung 11: Schematische Darstellung der verschiedenen Lösungsmöglichkeiten für die Umsetzung eines Windheizung 2.0-Gebäudes (Eigene Darstellung)

A. Großer Wasserspeicher:

Mit einem Durchlauferhitzer wird Wasser erwärmt. Als Zwischenspeicher steht ein großer Wasserspeicher/Pufferspeicher (10.000 bis 20.000 Liter) zur Verfügung. Von dort erfolgt die bedarfsorientierte Einspeisung des warmen Wassers in eine Fußboden-, Wand- oder Deckenheizung.

B. Bauteilaktivierung:

Auch bei dieser Variante wird das Wasser mit einem Durchlauferhitzer erwärmt. Mit dem Zirkulationswasser wird die Wärme direkt in die schweren Bauteile wie Betondecken und -wände eingelagert. Von dort wird die Wärme langsam an die Räume abgegeben. Die Bauteile fungieren somit als Speicher- und Wärmeabgabesystem.



Abbildung 12: Verlegung der Betonkernaktivierung in einer Betondecke

C. Hochtemperatur-Steinspeicher:

Dieser Lösungsansatz wird derzeit erforscht. Ähnlich einem herkömmlichen Elektrospeicherofen werden schwere Steine im Inneren eines sehr gut gedämmten Hochtemperatur-Steinspeichers mit Strom auf circa 700 °C erhitzt. Die Wärmeabgabe und -verteilung erfolgt zum Beispiel über die Lüftungsanlage. Im Unterschied zu herkömmlichen Speicheröfen besitzen Hochtemperatur-Steinspeicher ein wesentlich größeres Volumen und höhere Kompaktheit, kombiniert mit vielfach besserer Wärmedämmung. So können sie die Wärme deutlich länger speichern.

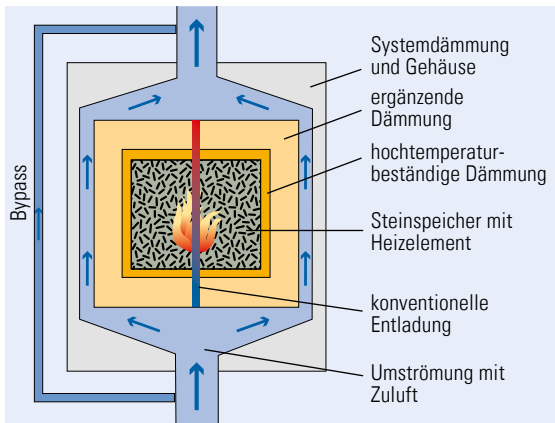


Abbildung 13: Schematische Darstellung eines zentralen, in die Zuluft einer Lüftungsanlage integrierten Hochtemperatur-Steinspeichers mit zweilagigem Dämmbau (SINNESBICHLER ET AL. 2016)

Fazit

Das Konzept Windheizung 2.0 ist ein wirtschaftlich und ökologisch interessantes Instrument zur systemdienlichen Kopplung der Sektoren Strom und Wärme. Damit kann es zur umweltverträglichen Umsetzung der Energiewende beitragen. Die bisherigen Ergebnisse zeigen, dass die Umsetzung des Systems Windheizung 2.0 unter folgenden Prämissen wirtschaftlich möglich ist:

- **Schwere Massen:** Gebäude aus Beton, Ziegel oder Kalksandstein (Decken und Innenwände) sind für die Speicherung und Pufferung von Wärme besonders geeignet.
- **Lüftungsanlage:** Sie reduziert die Wärmeverluste des Gebäudes erheblich und sollte einen Wärmerückgewinnungsgrad von mindestens 95 % aufweisen.
- **Hoher Dämmstandard des Gebäudes:** Die Gebäudehülle sowie die Energieeffizienz der Lüftungsanlage sollten so gestaltet sein, dass sich ein Endenergiebedarf für die Heizung von etwa $15 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ ergibt.
- **Hohe Abnahmeleistung:** Das Gebäude muss in der Aufheizphase verhältnismäßig viel Energie in kurzer Zeit aufnehmen. Die vorzusehende Leistung liegt für ein großes Einfamilienhaus in der Größenordnung von 50 kW.
- **Günstiger Strompreis:** Für eine wirtschaftliche Nutzung von Windheizung 2.0 ist eine Überarbeitung des derzeitigen Stromumlagensystems oder der direkte Zugriff auf die Börsenstrompreise erforderlich.

Ausblick

Voraussetzung für die künftige Praxisanwendung ist eine Neuordnung des Stromtarifsystems. Aktuell gibt es keinen finanziellen Anreiz für den Stromkunden, den Verbrauch flexibel an die Netzlast und das Stromangebot anzupassen. Eine Absenkung der Abgaben und Umlagen wäre erforderlich, um eine besonders systemdienliche Verhaltensweise lukrativ zu machen. Ebenso müssen Smart-Grid-Komponenten serienmäßig zur Verfügung stehen, damit eine zeitliche Verschiebung der Stromabnahme leicht steuerbar ist.

Das System Windheizung 2.0 kann bei nennenswerter Verbreitung zu einer sinnvollen Erhöhung der Stromnachfrage in Überschusszeiten führen und damit den Börsenpreis stabilisieren. Dieser Effekt könnte zu einer volkswirtschaftlich sinnvollen Verringerung der EEG-Umlage führen. Unabhängig vom Standort der Windenergieanlagen und des Auftretens von „Überschussstrom“ wird beim Projekt Windheizung 2.0 die generelle Machbarkeit erforscht. Solange der überregionale Stromnetzausbau noch nicht vollständig umgesetzt worden ist, sollen die Windheizung 2.0-Gebäude idealerweise in der Nähe von Windenergieanlagen realisiert werden.

Das System Windheizung 2.0 ist keine Konkurrenz, sondern eine sinnvolle Ergänzung zu anderen effizienten Power-to-Heat Systemen. Die Erkenntnisse aus dem Projekt sollen dazu beitragen, die Systemverträglichkeit auch anderer Varianten der Sektorenkopplung (Elektromobilität, Wärmepumpen) zu verbessern.

Weitere Informationen

Projekthomepage im Energie-Atlas Bayern:

www.energieatlas.bayern.de/thema_energie/forschung.html

Finanzierung

Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Energie und Technologie

Projektpartner

Hochschule Augsburg, Fakultät für Architektur und Bauwesen

Lechwerke AG (LEW), Augsburg

Fraunhofer Institut für Bauphysik (IBP), Holzkirchen

Zentrum für Innovative Energiesysteme (ZIES), Düsseldorf

Kontakt

Bayerisches Landesamt für Umwelt, Martina Reinwald

Bürgermeister-Ulrich-Str. 160, 86179 Augsburg, Deutschland

Tel.: +49 (0)821 9071-5731; martina.reinwald@lfu.bayern.de

Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Energie und Technologie,

Dr. Josef Hochhuber

80525 München, Deutschland

Tel.: +49 (0)89 2162-2628; josef.hochhuber@stmwi.bayern.de

Literaturverzeichnis

ADAM, M.; RIEGEBAUER, P. und T. SPIEGEL (2017): Entwicklung von Steuerungssignalen zur systemdienlichen und ökologischen Stromabnahme. Internet: <http://q.bayern.de/windheizung2-endbericht-zies-2017> (abgerufen am 04.05.2018).

BOTHE, D. und M. JANSSEN (2016): Energiewende in Deutschland – Perspektiven für Industrie und Gewerbe. Kurzstudie im Auftrag von IHK NRW und DIHK. Internet: https://www.aachen.ihk.de/blob/acihk24/innovation/downloads/3603478/fb2f9d352c0ca5402d36afdaf1e34f17/energiewende_in_deutschland_studie-data.pdf (abgerufen am 04.05.2018).

HOCHHUBER, J. (2014): Klug vernetzt. Projekt zur Energiespeicherung und Stromnetzregelung mit hocheffizienten Gebäuden. In: Passivhaus Kompendium. 9. Jg. Allensbach: 160.

PAZOLD, M.; KERSKEN, M.; GANTNER, J.; JÄGER, M. und H. SINNESBICHLER (2017): Windheizung 2.0 - Energiespeicherung und Stromnetzregelung mit hocheffizienten Gebäuden – Projektphase 2017. Internet: <http://q.bayern.de/windheizung2-endbericht-ibp-2017> (abgerufen am 04.05.2018).

SINNESBICHLER, H.; KERSKEN, M.; PAZOLD, M.; LENZ, K.; ERHORN, H.; ERHORN-KLUTTIG, H.; SCHUMACHER, P.; DOSTER, S.; JÄGER, M.; ANTRETTER, F. und D. SCHMIDT (2016): Windheizung 2.0 – Energiespeicherung und Stromnetzregelung mit hocheffizienten Gebäuden – Projektphase 2015/16. Internet: <http://q.bayern.de/windheizung2-endbericht-ibp-2015-2016> (abgerufen am 04.05.2018).

Impressum:

Herausgeber:

Bayerisches Staatsministerium für
Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie
Prinzregentenstraße 28
80538 München
E-Mail: info@stmwi.bayern.de Internet:
www.stmwi.bayern.de

Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU)
Bürgermeister-Ulrich-Straße 160
86179 Augsburg
Telefon: 0821 9071-0
E-Mail: poststelle@lfu.bayern.de
Internet: www.lfu.bayern.de

Postanschrift:

Bayerisches Landesamt für Umwelt
86177 Augsburg

Konzept/Text:

LfU, Ökoenergie-Institut Bayern,
Stephan Leitschuh, Martina Reinwald

Bildnachweis:

Titelbild: [@atnyasunn/123rf.com](https://www.instagram.com/atnyasunn/)
Abb. 11: LfU
Abb. 12: Josef Hochhuber
Abb. 13: LfU nach einer Vorlage von SINNES-
BICHLER ET AL. 2016

Druck:

JOH. WALCH GmbH & Co. KG
Im Gries 6, 86179 Augsburg

Stand:

Juni 2018
Januar 2019, 2. inhaltlich unveränderte Ausgabe
Mai 2021: 3. inhaltlich unveränderte Ausgabe

Diese Publikation wird kostenlos im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit der Bayerischen Staatsregierung herausgegeben. Sie darf weder von den Parteien noch von Wahlwerbern oder Wahlhelfern im Zeitraum von fünf Monaten vor einer Wahl zum Zweck der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für Landtags-, Bundestags-, Kommunal- und Europawahlen. Missbräuchlich ist während dieser Zeit insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken und Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist gleichfalls die Weitergabe an Dritte zum Zweck der Wahlwerbung. Auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl darf die Publikation nicht in einer Weise verwendet werden, die als Parteinahme der Staatsregierung zugunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte. Den Parteien ist es gestattet, die Publikation zur Unterrichtung ihrer eigenen Mitglieder zu verwenden. Bei publizistischer Verwertung – auch von Teilen – wird um Angabe der Quelle und Übersendung eines Belegexemplars gebeten.

Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte sind vorbehalten. Die Broschüre wird kostenlos abgegeben, jede entgeltliche Weitergabe ist untersagt. Diese Broschüre wurde mit großer Sorgfalt zusammengestellt. Eine Gewähr für die Richtigkeit und Vollständigkeit kann dennoch nicht übernommen werden. Für die Inhalte fremder Internetangebote sind wir nicht verantwortlich.



BAYERN | DIREKT ist Ihr direkter Draht zur Bayerischen Staatsregierung. Unter Tel. 089 122220 oder per E-Mail unter direkt@bayern.de erhalten Sie Informationsmaterial und Broschüren, Auskunft zu aktuellen Themen und Internetquellen sowie Hinweise zu Behörden, zuständigen Stellen und Ansprechpartnern bei der Bayerischen Staatsregierung.