

ENERGIESPEICHERUNG UND STROMNETZREGELUNG MIT HOCHEFFIZIENTEN GEBÄUDEN

M. Sc. Michael Pommer*¹, M. Sc. Michael Sedlmeier², Prof. Dr.-Ing. Martin Bauer², Dipl.-Ing. Dr. Stephan Leitschuh¹, Dipl.-Ing. Dr. Josef Hochhuber³

1. Bayerisches Landesamt für Umwelt, Bürgermeister-Ulrich-Str. 160, 0821/9071-5731, - 5444, michael.pommer@lfu.bayern.de, stephan.leitschuh@lfu.bayern.de; www.lfu.bayern.de/oeib
2. Hochschule Augsburg, An der Hochschule 1, 86161 Augsburg, Tel. 0821/5586-3102, - 3110, martin.bauer@hs-augsburg.de, michael.sedlmeier@hs-augsburg.de, http://www.hs-augsburg.de/fakultaet/ab/person/professor/bauer_martin/forschung/index.html
3. Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft und Medien, Energie und Technologie, Prinzregentenstr. 28, 80538 München Tel.: 089/2162-0 josef.hochhuber@stmwi.bayern.de

Abstract

Das Projekt dient der Integration der fluktuierenden, erneuerbaren Energien (EE) in das Energiesystem. Der gewählte Power-to-Heat-Ansatz (P2H) ermöglicht die Erhöhung deren Anteile im schwierig zu bedienenden Wärmemarkt. Die Integration des Konzepts in hocheffiziente Gebäude mit minimiertem Wärmebedarf sowie der Nutzung solarer Strahlung und interner Wärmelasten, bietet eine kostengünstige und umweltfreundliche Alternative zu herkömmlicher Beheizung dieser Gebäudekategorie.

Die Fluktuation von Wind- und Sonnenenergie wird durch eine intelligente Steuerungs- und Regelungstechnik ausgeglichen. Damit sollen hohe Leistungsspitzen im Stromnetz, z. B. bei Starkwindzeiten, aus dem Stromsystem in Form von direkter Wärmeeinlagerung ausgekoppelt werden. Vorrangig werden die Gebäudemassen als Wärmespeicher eingesetzt. Die hohe Pufferwirkung effizienter Gebäude mit großen Speichermassen ermöglicht die Nutzung von Strom außerhalb von Engpasszeiten. Der zeitlich flexible Wärmebedarf sowie die Verwendung von verschiedenen Steuerungssignalen zur Stromabnahme wirken somit ausgleichend auf das elektrische Versorgungsnetz. Diese kostengünstige Lösung zur Netzentlastung unterstützt die Maximierung des Ausbaus der EE.

Keywords: Power-to-Heat, effiziente Gebäude, funktionaler Stromspeicher, Smart Grid, Netzstabilisierung

1 Einleitung

Trotz der stark schwankenden Erzeugung EE weist Solar- und Windenergie eine jeweils typische Charakteristik auf. Im Sommer besteht ein erhöhtes Angebot an Solarenergie. Im Winterhalbjahr besteht die Tendenz eines erhöhten Windenergieangebots. Abbildung 1 veranschaulicht dies anhand der Einspeisewerte aus Photovoltaik (PV) und Windenergie für das Netzgebiet des deutschen Übertragungsnetzbetreibers Amprion im Jahr 2012. In der zweiten Grafik dieser Abbildung wird der Heizwärmeverbrauch des Untersuchungsgebäudes in drei aufeinanderfolgenden Jahren gegenübergestellt. Im Vergleich wird eine Übereinstimmung des verstärkten Windenergieangebots mit dem Heizzeitraum des Gebäudes ersichtlich.

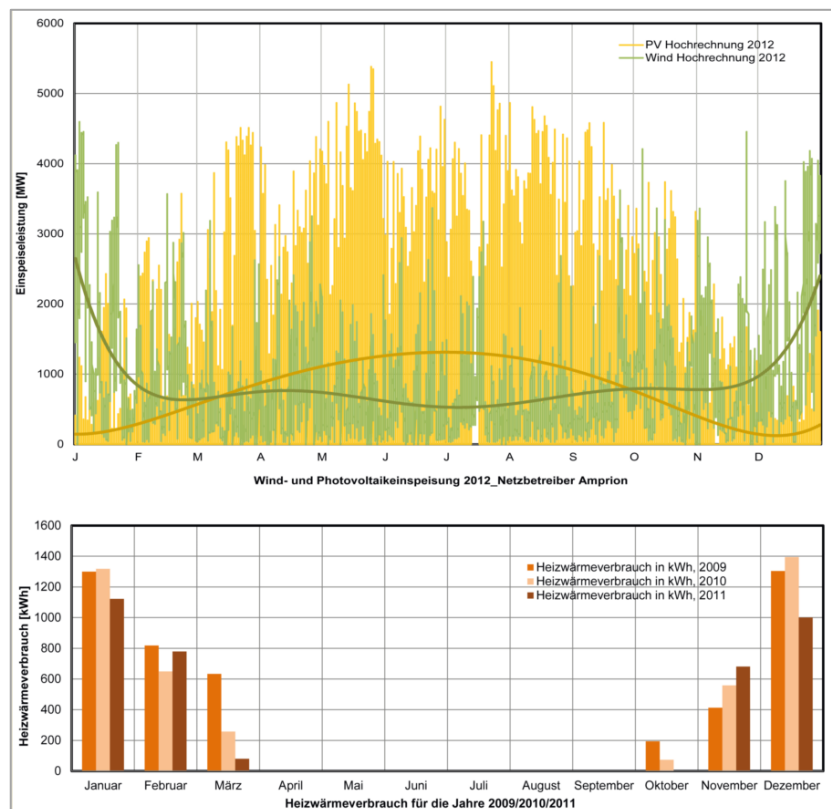


Abbildung 1: Jahresverlauf von PV- und Windkrafteinspeisung ins Amprion-Übertragungsnetz in 2012 in Gegenüberstellung mit dem Heizwärmeverbrauch des Untersuchungsgebäudes in 2009 – 2011

Um eine höchst mögliche Wärmeversorgung eines Gebäudes mit den fluktuierenden Einspeisungen aus EE, besonders aus Windkraft, im P2H-Verfahren zu ermöglichen, benötigt dieses besonders große Speichermassen und ein sehr stark verzögertes Auskühlverhalten. Das gewählte Untersuchungsgebäude im Projekt besitzt eine darauf angepasste Bauweise und wird auf dessen Potenzial hin untersucht.

Für die Erprobung einer netzentlastenden Wirkung wurden eine intelligente Steuerungstechnik und dazu passende Steuerungssignale entwickelt. Für die flexible, bedarfsgerechte und angebotsabhängige Ansteuerung des Untersuchungsgebäudes wird ein Ansatz für ein neues Strompreismodell integriert. Darauf angepasst wurde eine

Regelungstechnik für die Weiterverarbeitung und Umsetzung der Steuerungssignale entwickelt.

Das Projekt soll mit seinem starken Fokus auf Energieeffizienz als Leitprojekt für P2H-Projekte etabliert werden. In Abgrenzung zu anderen Projekten integriert die Konzeptidee die gesamte Versorgungskette unter hohen Effizienzkriterien durch:

- eine regionale und erzeugungsorientierte Stromabnahme
- eine möglichst effiziente Umwandlung und optimierte Einlagerung innerhalb der hocheffizienten Gebäudehülle
- einen geringen Wärmebedarf und ein stark verzögertes Auskühlverhalten

In diesem Rahmen wird untersucht, wie lange die energetische Pufferwirkung eines hocheffizienten Gebäudes im Komfortbereich sein kann. Dafür wird die optimierte Einlagerung der Wärme in den Gebäudemassen erprobt, um den Zeitraum zwischen den Zeitpunkten der Stromabnahme zu maximieren. Dadurch soll die Frage beantwortet werden, ob hocheffiziente Gebäude weitgehend mit überschüssigem Strom aus EE beheizt werden können.

2 Versuchsaufbau

Das Versuchsgebäude, ein Einfamilienhaus im Passivhausstandard, besitzt eine besondere Heiz- und Speichertechnik, mit welcher bisher durch Solarthermie im Sommer und einen wasserführenden Scheitholzofen im Winter der minimierte Wärmebedarf gedeckt wurde. Beide Wärmeerzeuger speisen in einen sehr großen Pufferspeicher (2,5 m³) ein. Mit der hier gespeicherten Wärme, kann für 1 - 2 Wochen die Brauchwassererwärmung bereitgestellt werden. Zur Beheizung des Gebäudes wird die erzeugte Wärme über den Pufferspeicher in ein Betonkerntemperierungs-System (BKT) in den Decken des Gebäudes überführt. Im Zentrum der Decken verlegte Heizrohre übertragen die Wärme auf den Beton. Dieser hat eine hohe Wärmespeicherkapazität und gibt die Wärme stark verzögert an die Räume ab. Durch Wärmestrahlungsaustausch werden indirekt die weiteren Gebäudemassen der Innen- und Außenwände als Speichermedien aktiviert. Es wird untersucht, inwieweit die passiven Gebäudemassen die wärmpuffernde Wirkung des Gebäudes unterstützen.

In dieses Gebäude wurde die P2H-Technik integriert. Das Herz des Systems ist ein Durchlauferhitzer (DLH) mit einer eigenen Steuerung zur optimalen Ausnutzung des Schichtungsverhaltens und der Temperaturspreizung im Pufferspeicher. Die Steuerungs- und Regelungstechnik besteht aus zwei Systemen: Eine Powerline-Kommunikations-Technik (PLC) überträgt die in der Netzleitwarte des Stromversorgers generierten Signale von der Ortsnetzstation (ONS) über das Stromkabel in das Gebäude. Zwei angeschlossene Regler (s. 3.2 und Abb. 4) stimmen die Beladungssignale des Netzbetreibers mit der Einlagerung der Wärme in den Pufferspeicher und die Betonkerntemperierung ab. Neben der reinen technischen Optimierung müssen dabei auch die Nutzeransprüche und Komfortbedingungen eingehalten werden.

Der technische Aufbau des Versuchs ist in Abbildung 2 schematisch dargestellt. Im Gebäude sind die zu koppelnden Heizungstechnikkomponenten mit dem Durchlauferhitzer, der Solarthermieanlage, der BKT, dem Pufferspeicher, der Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung (WRG) sowie den zugehörigen Regelungskomponenten dargestellt.

Im Schaubild wird weiterhin die netz- und signaltechnische Anbindung des Gebäudes veranschaulicht.

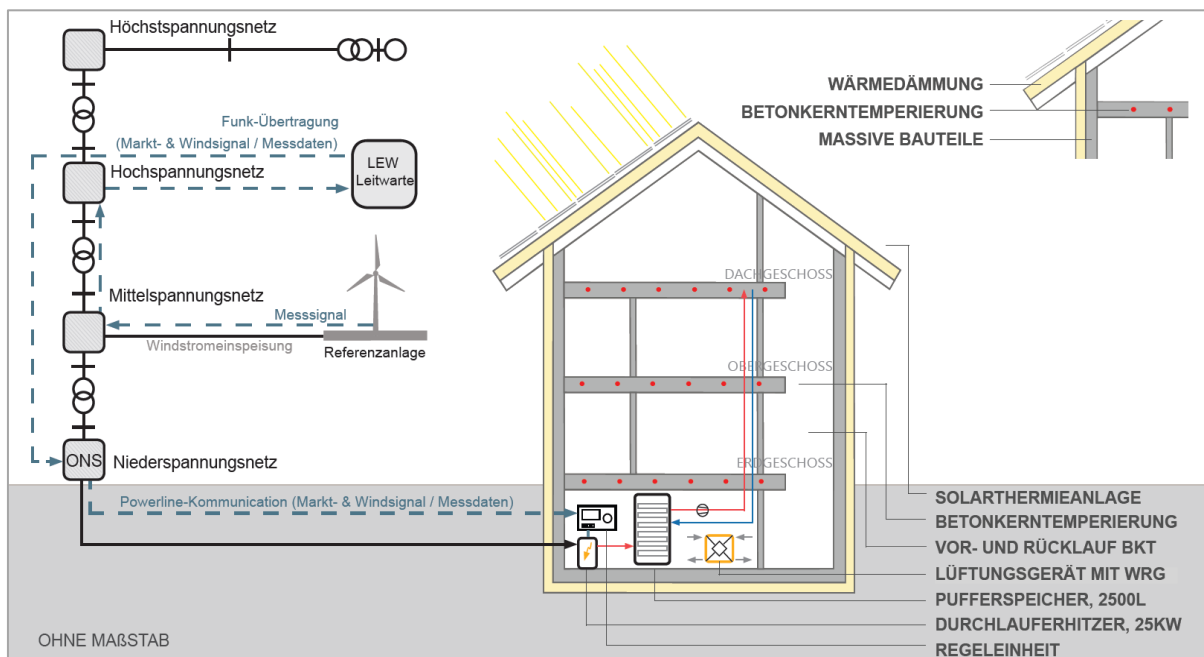


Abbildung 2: Technischer Versuchsaufbau (schematisch)

3 Projektergebnisse

3.1 Entwicklung von Steuerungssignalen und Tarifmodellen

Die netzseitige Anbindung sowie die bedarfs- und angebotsabhängige Ansteuerung des Gebäudes als Stromverbraucher bedürfen passender, dynamischer Steuerungssignale. Diese stehen im prototypischen Einsatz für zwei aktuelle Herausforderungen eines Energieversorgers. Steuerungssignal 1 – das Marktsignal – gibt stellvertretend für den Stromvertrieb einen allgemeinen Stromüberschuss in den Netzen sowie die damit einhergehenden günstigen Strompreise wider. Steuerungssignal 2 – das Windsignal – gibt den erschwerten Betrieb von Verteilnetzen durch eine hohe, fluktuierende Einspeisung EE wider.

Das Marktsignal ist an den aktuellen Netzlastverlauf und die PV-Einspeisung im LEW-Verteilnetz nach Algorithmen des Verteilnetzbetreibers (VNB) gekoppelt. Es wird vorrangig ausgelöst, wenn in der Mittagszeit die aktuell häufig auftretenden Stromüberschüsse zu geringen Preisen an den Strombörsen führen. Während die Verbrauchslast im LEW-Netz im Zeitraum von 13.00 - 16.00 Uhr regelmäßig sinkt, hat die PV ihre höchste Einspeisung, wodurch es zu Stromüberschüssen kommt. Fällt die Netzlast unter und steigt die PV-Einspeisung über den jeweils festgelegten Schwellwert, so wird das Marktsignal ausgelöst. Das Signal steuert im Regelungskonzept des Untersuchungsgebäudes die Bereitstellung der Trinkwarmwasser-Reserve (TWW).

Das Windsignal ergibt sich aus einer gemessenen Leistungskurve einer realen Windkraftanlage. Aufgrund von Versuchserfahrungen werden als Schwellwerte zur An- und Abschaltung geringe Werte verwendet. Sie wurden gewählt um, trotz sehr kurzfristiger und starker Leistungsschwankungen der Windkrafteinspeisung, ein stabiles Signal für die Erzeugung der Heizwärme zu gewährleisten. Im Regelungskonzept wird das Windsignal prioritär verwendet und ist an die Beladung der BKT gekoppelt.

Als Weiterentwicklung des Marktsignals ist ein flexibles Tarifmodell vorgesehen, wie es in Abbildung 3 dargestellt ist. Bisher wurden für die flexible Stromlieferung unterbrechbarer Verbrauchseinrichtungen feste Zeitfenster vorgegeben. Anstelle dieser sollen künftig an den aktuellen Börsenpreisen orientierte, dynamische Schaltzeiten vorgegeben werden.

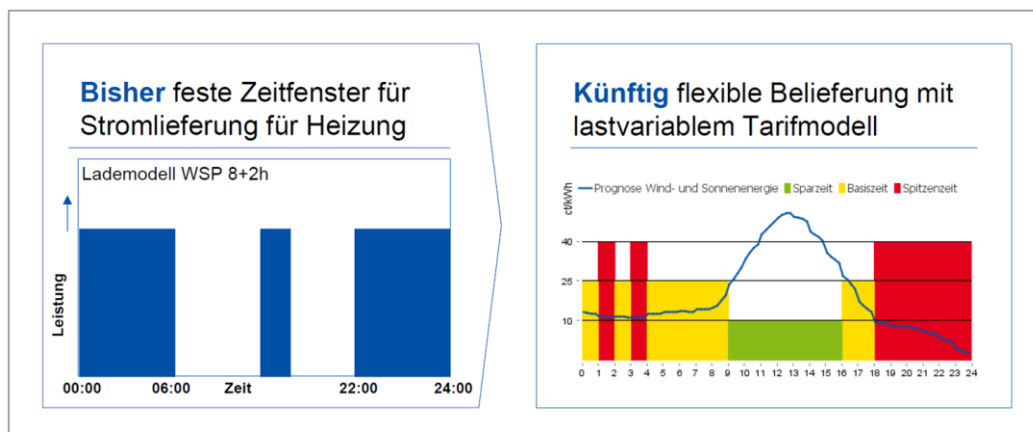


Abbildung 3: Gestaltung flexibler Stromtarifmodell (Rummeni, J. (2012): RWE Windheizung. Speicher für die Energiewende. S.9

3.2 Entwicklung eines Steuerungs- und Regelungssystem

Die in 2.1 beschriebene Powerline-Kommunikationstechnik gewährleistet die Netzanbindung des Gebäudes. Die zur intelligenten Regelung übertragenen Signale werden von den zwei gekoppelten Reglern weiterverarbeitet und als drei Betriebszustände für das Heizungssystem vorgegeben:

- Zustand 1 - keine Freigabe: Wird kein Freigabesignal empfangen, so wird bei vorhandenem Wärmebedarf mit dem vertraglich festgelegten Strom Wärme erzeugt. Deshalb wird nur eine kleine Trinkwarmwasser-Reserve vorgehalten und die BKT im Basisbetrieb gefahren, um die Raumtemperatur (RT) auf 20 °C zu halten. Der Nutzer besitzt die Möglichkeit die RT um +/- 5 K manuell anzupassen.
- Zustand 2 - Marktsignal: Sobald das Marktsignal empfangen wird, baut die Regelung die maximale TWW-Reserve im Pufferspeicher auf. Die BKT befindet sich weiterhin im Basisbetrieb und gewährleistet eine RT von 20 °C. Der Nutzer besitzt die Möglichkeit, die RT individuell um +/- 5 K anzupassen. Durch diesen Betrieb wird eine konstante Wärmeeinlagerung für die TWW-Bereitstellung in der Nutzung praktisch über das ganze Jahr möglich. Damit gibt es ein Einlagerungspotenzial für überschüssigen PV-Strom.
- Zustand 3 - Windsignal: Bei Auslösung des Windsignals, wird dieses dem Marktsignal übergeordnet. Es leitet die Beladung einer maximalen TWW-Reserve und die maximale Stromabnahme zur Einlagerung von Wärme im Gebäude ein. Die BKT geht in den Ladebetrieb und erhöht die RT von 20 °C um 2 K. Weiterhin hat der Nutzer die Möglichkeit der manuellen Anpassung der vorgegebenen RT von 20 °C um +/- 5 K.

Das ausführliche Regelungskonzept ist in Abbildung 4 dargestellt. Es ist ersichtlich, dass Regler 1 die ankommenden Freigabesignale des Netzbetreibers verarbeitet. Zusätzlich erhält er als Eingangsdaten den Ladegrad des Pufferspeichers sowie von Regler 2 den Heizbedarf. Diesen ermittelt Regler 2 aus den gemessenen Raum- und Außentemperaturen sowie aus dem BKT-Ladegrad. Dieser wird durch die Vor- und Rücklauftemperaturen der BKT bestimmt. Regler 1 ermittelt aus den Eingangswerten den Soll-Ladegrad der TWW-Reserve und erhöht diesen solange er Freigabesignal 1 und 2 erhält. Wird das Windsignal geschaltet, so gibt Regler 1 die Freigabe zur Beladung der BKT an Regler 2 weiter. Dieser belädt die BKT in einem Temperaturkorridor von 2 K in Abgleich mit dem vorgegebenen Wert von 20 °C +/- 5 K zur Nutzeranpassung. Solange kein Windsignal ausgelöst wird, betreibt Regler 2 die BKT nur zur Beheizung des Gebäudes auf 20 °C mit einer Möglichkeit zur Nutzeranpassung von +/- 5 K.

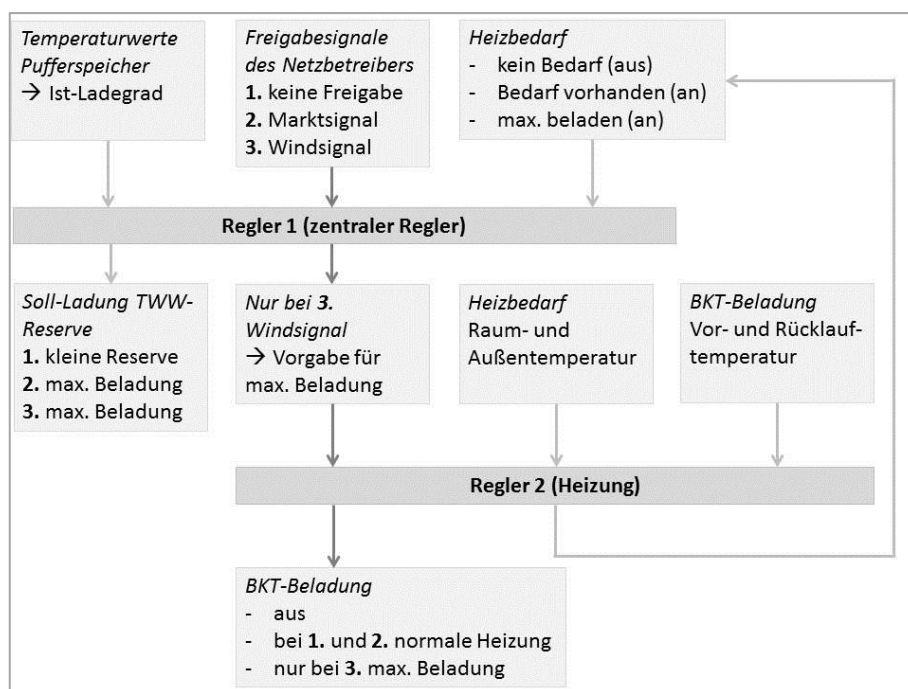


Abbildung 4: Regelungskonzept

3.3 Thermisches Verhalten des Gebäudes

In der aktuellen Messperiode wurden die Aufheiz- und Auskühlversuche erstmalig mit der vollautomatisierten Steuerungs- und Regelungstechnik durchgeführt. Erste Ergebnisse zeigen, dass das Gebäude in der Heizperiode bei moderaten winterlichen Außentemperaturen und nach Erhöhung der Raumtemperatur von ca. 22 °C um etwa 2 K bis zu sechs Tage ohne weitere Beheizung auf den Ausgangszustand abkühlt (s. Abb. 5). Dabei ist zu beachten, dass der entstehende thermische Zustand des Gebäudes im individuellen Behaglichkeitskorridor des Nutzers liegt und im Allgemeinen je nach Behaglichkeitsempfinden stark variiert. Die Nutzerakzeptanz wird durch die manuelle Einstellmöglichkeit der Grundtemperatur von 20 °C +/- 5 K zur Nutzeranpassung sowie den Korridor für den Beladebetrieb, in der ansonsten vollautomatisierten Regelung, gewährleistet.

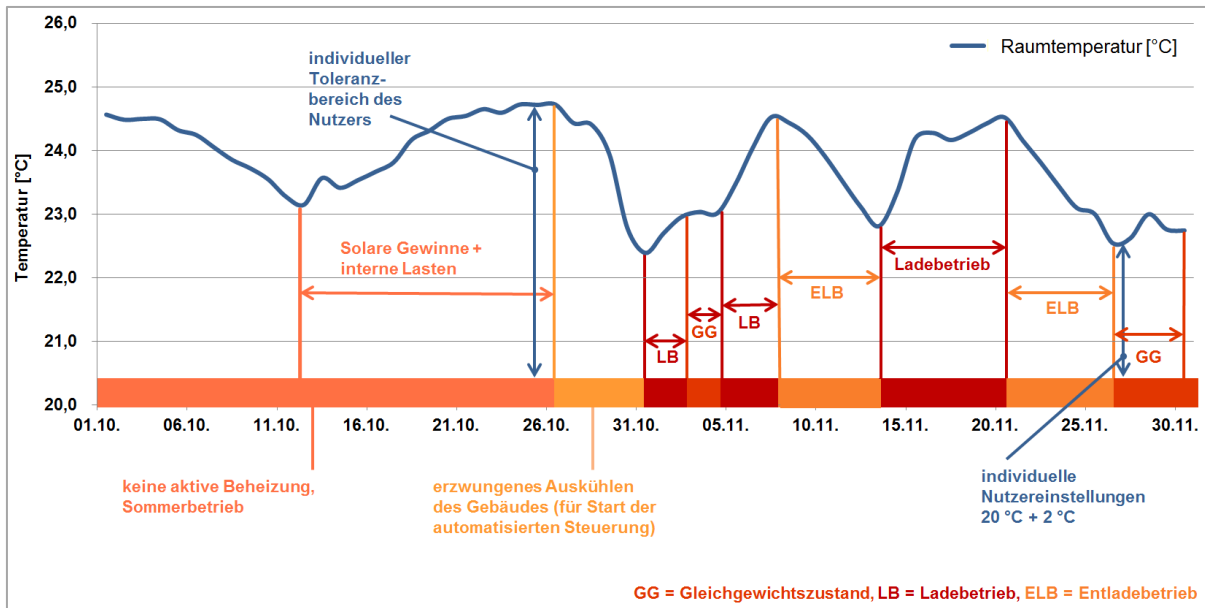


Abbildung 5: Tagesmitteltemperatur des Untersuchungsgebäudes Okt. - Nov. 2013

Das untersuchte Betriebsverhalten, welches in Abbildung 5 anhand aktueller Messwerte veranschaulicht ist, kann in vier Phasen eingeteilt werden.

Die festgestellten Phasen sind:

- Ladebetrieb – Strom fluktuierender EE wird in Form von Wärme in einem vorgegebenen Temperaturkorridor dem Gebäude zugeführt. Von der Basistemperatur aus kann die Raumtemperatur um etwa 2 K angehoben werden. Der speichernde Effekt wird durch das Einlagern der Wärme in der Baukonstruktion erzielt. Die BKT wird aktiv beladen. Durch Strahlungswärmeaustausch werden die weiteren Gebäudemassen aktiviert.
- Entladebetrieb – Nach Temperaturerhöhung um 2 K kühlt das Gebäude wieder auf die Ausgangstemperatur ab. Aufgrund der Trägheit beim Wärmetransport im Bauteil wird die Wärme den Räumen zeitverzögert zur Verfügung gestellt. Ein Teil der von der BKT abgegebenen Wärme, wird von den massiven Wänden aufgenommen und wieder zeitverzögert abgegeben. Die Dauer und Effizienz des Auskühlens sind eng mit den Dämmstandards und der Wirksamkeit der Speichermasse des Gebäudes verknüpft.
- Heizbetrieb – Wenn keine überschüssige Energie aus EE zur Verfügung steht und die Soll-Raumtemperatur unterschritten wird, wird das Gebäude mit dem vertraglichen Strommix des Energieversorgers beliefert.
- Gleichgewichtszustand – Moderne, energetisch optimierte Gebäude können durch die Nutzung solarer Einstrahlung und interner Energiegewinne sogar noch bei sehr kalten Außentemperaturen ohne zusätzliche Heizenergie auskommen. Die puffernde Wirkung der schweren Gebäudemassen wirken dabei förderlich.

Im weiteren Verlauf des Projektes wird u. a. ermittelt, wie sich die Wärmemengen in den einzelnen Wärmespeichermedien im Gebäude verteilen. Tendenziell kann davon ausgegangen werden, dass ca. 1/3 der Wärme im Pufferspeicher und 2/3 in der Gebäudemasse eingelagert werden können.

4 Ausblick

Durch Verschaltung vieler Gebäude mit der effizienten P2H-Technologie kann ein flexibles und dezentral aktivierbares Regelpotenzial für die Stromnetze und eine sinnvolle Senke für überschüssigen Strom aus EE aktiviert werden. Dies fördert wiederum deren Ausbau. Im Vergleich zu herkömmlichen Elektrospeicherheizungen zeigt das Projekt eine systemverträgliche Heizungs- und kostengünstige Speichermöglichkeit für ein Energiesystem auf Basis EE auf.

In der Fortsetzung des Projektes ist daher vorgesehen, weitere hocheffiziente Gebäude mit einer unterschiedlichen Nutzungsart mit der ausgereiften Technologie auszustatten und auf deren Potenzial als Puffer überschüssiger EE zu untersuchen. Es ist das Ziel auch die sommerliche Kühlung sowie die besonders effiziente Wärmepumpentechnologie in das Konzept zu integrieren.

In der Weiterentwicklung des Konzeptes sollen die Steuerungssignale differenzierter hinsichtlich Netz-, Markt-, Erzeugungs- und Wetterbezug sowie deren Vorranglogik ausgearbeitet werden. Für den Übergang vom Demonstrationsprojekt zur Marktreife muss die Steuerungs- und Regelungstechnik zu einem Baukastensystem zusammengeführt werden. Das Konzept soll in Zukunft weitere Anwendungen, wie beispielsweise die Wärmespeicherung in sanierten Bestandsbauwerken und die Speicherung von überschüssigem Photovoltaikstrom in Form von Kälte in Kühlhäusern, ermöglichen.

5 Projektdaten

5.1 Projektpartner

- Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft und Medien, Energie und Technologie
- Hochschule Augsburg Fakultät für Architektur und Bauwesen
- Bayerisches Landesamt für Umwelt
- Tekmar Regelsysteme GmbH
- Lechwerke AG

5.2 Weitere Beteiligte

- Power Plus Communications AG
- Klimatechnik Wagner GmbH
- Fa. Frisch Elektrobau
- Landkreis Augsburg
- IDS GmbH

5.3 Projektlaufzeit

2012 - 2014, Fortführung geplant