

Energieeffiziente Gebäude im Strom-Wärme-System



Fraunhofer IBP
Dr. Dietrich Schmidt
dietrich.schmidt@ibp.fraunhofer.de

ZAE Bayern
Dr. Hans-Peter Ebert
Hans-Peter.Ebert@
zae.uni-wuerzburg.de

Fraunhofer IWES
Dr. Norbert Henze
norbert.henze@iwes.fraunhofer.de

Fraunhofer ISE
Florian Kagerer
florian.kagerer@ise.fraunhofer.de

Der Verbrauchssektor Gebäude ist mit seinem Endenergieverbrauch von über einem Drittel des gesamten Endenergieverbrauchs Deutschlands einer der Hauptenergieverbraucher und muss somit vermehrt in den Fokus der Diskussion gestellt werden. Gebäude sind ein zentrales Handlungsfeld für den Umbau des Energiesystems und zur Realisierung einer nachhaltigen und auf erneuerbaren Quellen basierenden Energieversorgung.

Gut ein Drittel unseres gesamten Endenergieverbrauchs verursachen wir durch die Beheizung von Räumen und die Bereitstellung von Trinkwarmwasser in Gebäuden. Während wir heute noch meist fossile Brennstoffe (Öl, Gas, etc.) dafür einsetzen, ist zu erwarten, dass in Zukunft vermehrt Strom (vorzugweise für Wärmepumpen) dafür zum Einsatz kommt.

Gebäude sind aber auch Teil der Lösung: Sie bieten durch ihre Speichermasse und teilweise schon vorhandene Warmwasserspeicher die Möglichkeit der zeitlichen Entkopplung von Stromeinsatz und Wärmenutzung. Zusätzlich werden Gebäude sowohl durch Photovoltaikanlagen und KWK (positive Regelernergie) als auch durch Wärmepumpen (negative Regelernergie) Spieler im flexiblen Strommarkt.

Klimawandel und Ressourcenknappheit erfordern eine Transformation der Energieversorgung. Die Bundesregierung strebt in ihrem Energiekonzept einen Anteil von 60 % erneuerbarer Energien (EE) am Bruttoendenergieverbrauch für das Jahr 2050 an. Dabei wird bereits heute deutlich, dass der dynamisch wachsende regenerative Strombereich – insbesondere Wind- und Solarenergie – tragende Säulen der Energieversorgung bilden werden. Der Vorteil dieser Ressourcen liegt in ihrem großen nachhaltigen Potenzial. Ihre größte Herausforderung liegt in der Beherrschung der fluktuierenden Einspeisecharakteristik. Während diese Fluktuationen heute noch von einem flexiblen Kraftwerkspark und zukünftig auch durch großräumigen Stromtransport teilweise ausgeglichen werden können, sind tendenziell immer häufiger Situationen mit regenerativen Überschüssen zu erwarten. Zudem müssen auch Situationen mit geringer EE-Einspeisung aus Wind- und Solarenergie überbrückt werden. Daraus ergibt sich die Fragestellung, wie fluktuierende Energiequellen unter hohen Synergien wirtschaftlich genutzt und Angebotslücken überbrückt werden können.

Da Strom (100 %-Exergie) zunehmend zur Primärenergiequelle wird und auch Teile des Bedarfs im Sektor Wärme/Kälte decken wird, ergeben sich neue Verbindungen und Abhängigkeiten zwischen den Energiesektoren.

So können elektrisch angetriebene Wärmepumpen und Klimatisierung zum Lastmanagement (DSM) eingesetzt werden. Neben der Möglichkeit des Ausgleichs der Fluktuationen kann damit auch zusätzlich die Effizienz des Gesamtsystems deutlich gesteigert werden.

Durch die Nutzung von EE-Strom im Wärmesektor ergeben sich auch Rückwirkungen auf den Stromsektor selbst. Einerseits kann durch die Nutzung der Lastmanagementoption die Integration der fluktuierenden EE verbessert werden. Andererseits steigt durch den zusätzlichen Verbrauch auch der Bedarf an Reservekraftwerken. So kann beispielsweise der Zubau von Wärmepumpen dazu führen, dass zukünftig der kälteste Tag auch zur Jahreshöchstlast des Stromverbrauchs führt.

Gebäude im Strom-Wärme-System

Im Wärmebereich müssen die Potenziale von Einsparmaßnahmen durch Wärmedämmung der wirtschaftlichen Bereitstellung regenerativ erzeugter Wärme gegenübergestellt werden. Im Neubaubereich werden Gebäude mit sehr geringem oder ohne Heizwärmebedarf schon seit längerem auch wirtschaftlich realisiert. Allerdings liegt die Neubauquote in Deutschland bei weniger als 1 %. Die energetische Sanierung von Bestandsgebäuden ist dagegen mit hohen Investitionen verbunden, die über die eingesparten Heizkosten allein in vielen Fällen nicht abschließend wirtschaftlich dargestellt werden können.

Mit Blick auf eine regenerative Energieversorgung gilt es zunächst zu bestimmen, welcher Wärmebedarf regenerativ gedeckt werden kann, wie groß der Sanierungsbedarf insgesamt ist. Danach müssen Förderinstrumente entwickelt werden, die die nötigen Sanierungen wirtschaftlich werden lassen.

Die Reichweite des regenerativ erzeugten Stroms wird in Zukunft dadurch gesteigert werden, dass sowohl stromnutzende Heizungen (Wärmepumpen) als auch stromerzeugende Heiztechnologien (KWK) zunehmend „stromgeführt“ betrieben werden. Sie stellen dann Heizwärme in Abhängigkeit vom Stroman-

gebot zur Verfügung und speichern die erzeugte Wärme in der Gebäudemasse und Warmwasserspeichern, bis sie benötigt wird. Für Wärmepumpen muss dabei das Lastmanagementpotenzial genauer quantifiziert werden.

Erste Berechnungen für den Betrieb von KWK-Anlagen im Rahmen der BMU Leitstudie 2010 haben gezeigt, dass die Stromführung vor allem zum Ausgleich von Fluktuationen im Tagesbereich geeignet ist. Bei deutlich stärkeren Einflüssen eines fluktuierenden EE-Stromangebots und damit auch länger andauernden Phasen überschüssiger EE-Einspeisung muss die Systemkonformität der KWK in Hinblick auf Speicherkosten, Speicherverluste und Effizienz überprüft werden. Durch die Verbindung der Klimatisierung mit der Nutzung von Kältespeichern ergeben sich sehr wichtige Synergien für das Gesamtsystem, da dadurch die heute wie zukünftig hohen Leistungsspitzen der Photovoltaik integriert werden können.

Schließlich sind auch die Wechselwirkungen und Konkurrenz mit nicht-elektrischen erneuerbaren Energiequellen im Wärmebereich zu beachten. Dies betrifft die Felder der Solarthermie, Geothermie und Biomasse. Dabei ist das Einsatzpotenzial der Solarthermie zur Deckung der Raumheizung auch an möglichen Sanierungsstandards im Gebäudebestand zu spiegeln. Eine generelle Neubewertung der Effizienz von Heiztechnologien – differenziert nach den Versorgungsstrukturen Fernwärme, Nahwärme und Objektversorgung – ist hierfür notwendig und angebracht.

Generell stehen folgende technologische Möglichkeiten des Lastmanagement durch eine Verknüpfung des Strom- und Wärmesektors zur Verfügung:

- Nutzung von Wärmepumpen in Haushalten, Gewerbe und Dienstleistungsbereich, sowie in der Industrie für Raumwärme und ggf. zur Erzeugung von Niedertemperaturprozesswärme.
- Deckung des Strombedarfs von Kompressionskältemaschinen zur Gebäudekühlung durch Photovoltaikanlagen (Eigenstromnutzung) (siehe unten).
- Nutzung bestehender Trinkwarmwasserspeicher und Bereitstellung sogenannter negativer Regelleistung durch kostengünstige elektrisch betriebene Heizstäbe und durch eine effiziente Trinkwarmwasserbereitung mittels Wärmepumpen.
- Nutzung neuer und bestehender Heizungspufferspeicher, ggf. in einem bivalenten Betrieb kombiniert mit steuerbaren elektrisch betriebenen Heizstäben oder Biomasse/Biogas betriebenen Heizkesseln.
- Nutzung stromgeführter KWK-Anlagen in schwer zu sanierenden Wohngebäuden oder in Gewerbe-/Industrieanlagen.

Durch den Umbau von ca. 16,7 Mio. umrüstbarer Heizungsanlagen in Deutschland könnte, bei einer elektrischen Anschlussleitung von jeweils 6 kW pro Anlage, eine negative Regelleistung von insgesamt 100 GW aufgebracht werden. Weiterhin kann man von einer Größenordnung von Ausfallzeiten, also von

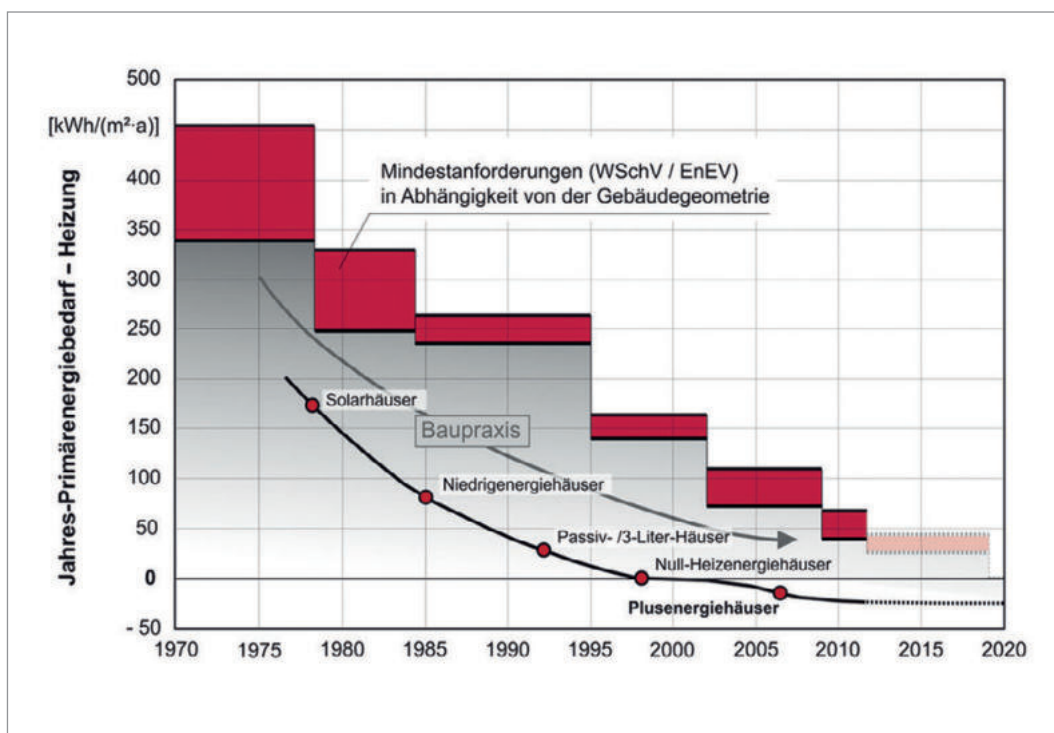


Abbildung 1
Entwicklung des energieeffizienten Bauens

Zeiten, zu denen Stromerzeugungsanlagen abgeregelt werden müssen, im Jahre 2050 von ca. 1200 h/a ausgehen. In diesem Fall könnten umgerüstete Heizungsanlagen eine Erzeugung von ca. 120 TWh/a aufnehmen und damit einen Verbrauch in ähnlicher Größe vermeiden. Wenn man nur die Ausfallzeiten des Jahres 2010 betrachtet, so würde eine Umrüstung von ca. 270.000 Heizungsanlagen (was ca. 3,4 % des Gesamtstandes ausmacht) ausreichen, um diese vermiedene Erzeugung aufzunehmen.

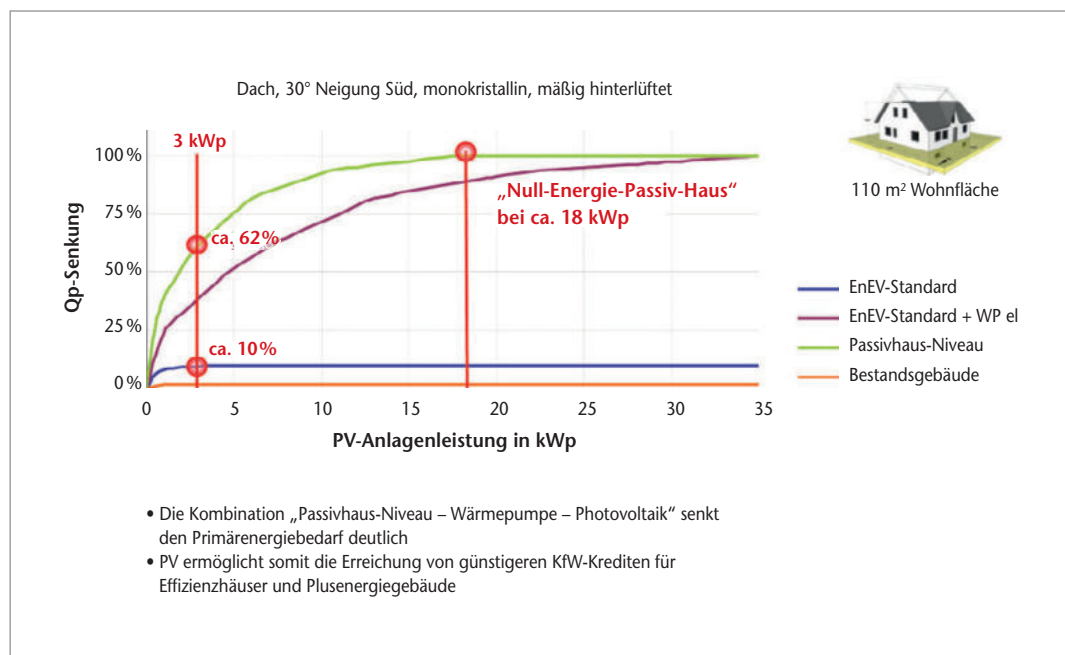
Möglichkeiten des Lastmanagements in Gebäuden durch innovative Kühlkonzepte

In den Sommermonaten steigt der Bedarf zur Gebäudekühlung und Komfortkälteerzeugung in modernen Bürogebäuden naturgemäß an. An sehr sonnigen Tagen, an denen der Gebäudekühlungsbedarf hoch ist, haben auch Photovoltaik-Anlagen ihren höchsten Ertrag. Somit liegt es nahe, eine elektrisch betriebene Kälteerzeugung direkt mit einer Photovoltaik-Anlage zu koppeln. Leider fällt die maximale Erzeugungsleistung der PV-Anlagen auf die Mittagszeit, während die Kälteerzeugung erst einige Stunden später, in den frühen Nachmittagsstunden, ihre maximale Leistung abgeben muss. Um diese beiden Systeme zeitlich besser aufeinander abzustimmen, die Eigenstromstromnutzung zu optimieren und die Belastung des Stromnetzes zu minimieren, kann es sinnvoll sein, Gebäude während der Mittagszeit vorzukühlen. Dazu wird die Solltemperatur für die Kühlung in dieser Zeit von 24 °C auf ca. 22 °C gesetzt. Dadurch kann die Kühllast um gut 3h in die Mittagzeit verlagert wer-

den, was erlaubt, die Kältemaschine somit effizient mit dem selbst über die PV-Anlage erzeugten Strom zu betreiben.

Eine andere Möglichkeit der Realisierung von innovativen Kühlkonzepten wird am Neubau des Energy Efficiency Centers (EEC) in Würzburg demonstriert. Dort wird das sogenannte Passive Infrared Night Cooling-System (PINC) verwendet. Das EEC verfügt über zwei je 100m³ große Löschwassertanks, die als thermische Energiespeicher genutzt werden und über Wärmetauscher mit dem Kühlsystem des Gebäudes verbunden sind. Ein Tank ist an eine gewöhnliche Kälteerzeugung angeschlossen, der andere an das PINC-System. Dieses hoch effiziente System arbeitet seit 2000 im EEC Würzburg, wo es für die Gerätekühlung in den Laboren und Raumkühlung in den Büros eingesetzt wird. Für die Rückkühlung wird das Wasser aus dem Tank auf einem bestimmten Bereich des Daches verrieselt und läuft in einem offenen System über die Dachfläche ab, wobei es seine Wärme über die Abstrahlung an den kühlen Nachthimmel, über Konvektion und Verdunstung abgibt und bis nahe der Gefrieretemperatur abkühlt werden kann. Somit wird für die Kälteerzeugung in diesem System nur der Pumpenstrom aufgewendet; ein COP (Coefficient of Performance = Leistungszahl der Kälteanlage) von größer 20 kann erwartet werden [1].

Abbildung 2
Primärenergiebedarfsenkung
beim Einfamilienhaus
in Abhängigkeit von der
PV-Anlagenleistung



Möglichkeiten der Stromerzeugung vor Ort

Eine Möglichkeit der lokalen Stromerzeugung stellt die Nutzung von Photovoltaik-Anlagen an Gebäuden dar. Seit der Novellierung der Energieeinsparverordnung (EnEV) 2009 kann Strom aus gebäudenahen Photovoltaik-Anlagen (PV) bei Nutzung des Eigenverbrauchstarifs angerechnet werden und trägt somit zu einer Senkung des rechnerisch ermittelten Primärenergiebedarfs bei. Dies ermöglicht Spielräume bei der Gebäudeplanung und der Auslegung der jeweiligen Anlagentechnik. Der Einfluss der Photovoltaik-Anlagen auf den Primärenergiebedarf hängt dabei einerseits vom PV-Ertrag ab, andererseits von der Höhe des monatlich bilanzierten Strombedarfs eines Gebäudes. Hierbei handelt es sich um eine rein rechnerische Größe, die lediglich die elektrische (Hilfs-) Energie für Heizung, Warmwasser, Kühlung und Lüftung erfasst. Bei Nichtwohngebäuden kommt der Strombedarf für die Beleuchtung hinzu. Um Größenordnungen der erreichbaren Primärenergiebedarfs-Senkung zu ermitteln, wurde dies an Beispielen exemplarisch untersucht. Ziel der Untersuchung war es, Grenzbereiche der Primärenergie-Senkung zu ermitteln, die durch PV-Anlagen erreichbar sind. Exemplarisch sind die Ergebnisse für ein Einfamilienhaus in der folgenden *Abbildung 2* dargestellt [2].

Gebäude im zukünftigen Energiesystem

Wie oben beschrieben, werden wir zukünftig in und an Gebäuden elektrische Energie erzeugen. Dies kann durch Photovoltaik-Anlagen oder ggf. auch durch die Nutzung von KWK-Anlagen geschehen. Gebäude sind somit in Zukunft nicht nur Energieverbraucher, sondern auch verstärkt Energieerzeuger.

Weiterhin können Gebäude als Energiespeicher dienen. Dies wird erreicht durch die Nutzung von vorhandenen oder ggf. zubaubaren Pufferspeichern.

Darüber hinaus kann auch die Baukonstruktion an sich als Speicher fungieren. Nimmt man allein den deutschen Wohnbaubestand, so könnte man ca. 1,09 TWh/K Raumtemperaturveränderung im Gebäudebestand speichern, dies sind 1090 GWh pro ein Grad C bewusster Veränderung der Raumtemperatur. Damit werden Gebäude langfristig sowohl als Energieproduzenten und Energiespeicher fungieren und somit Akteure im flexiblen Strommarkt sein.

Fazit

Gebäude stellen mit ihrem großen Bedarf an Raumwärme auch zukünftig einen der größten Verbrauchssektoren dar. Durch die lokale Stromerzeugung an und in Gebäuden werden diese, zusammen mit der Nutzung ihrer Speichermassen, zu aktiven Akteuren im flexiblen Strommarkt werden, wofür etliche Technologien zur Verknüpfung des Strom- und des Wärmesektors zur Verfügung stehen. Für die Zukunft gilt es weiterhin an der Integration aller Teilsysteme zu arbeiten und entsprechende Steuer- und Regelkonzepte zu entwickeln.

Literatur

- [1] Rampp, T.; Ebert, H.-P. (2013): The Energy Efficiency Center: Smart Building/Lightweight Construction with Smart Technology. SB 13 Munich Konferenz, München.
- [2] Roos, M.; Boyanov, N.; Maas, A. (2012): Einfluss gebäudeintegrierter Photovoltaik auf den Primärenergiebedarf von Gebäuden nach der EnEV 2009. IWES Anwenderforum, Kassel.