

Keine Energiewende ohne Wärmewende

Niederexergetische Außenwandtemperierung als Lösung (Teil 1)

CHRISTOPH SCHMIDT,
DR. BODO GROSS*

Wird in der öffentlichen Debatte der Begriff „Energiewende“ verwendet, ist größtenteils der Umbau der Stromversorgung von fossilen Brennstoffen auf Erneuerbare Energien gemeint (Stromwende). Betrachtet man Bild 1 und die Energiedaten für Deutschland in Bild 2 (links), so wird ersichtlich, dass sowohl die Wärmewende als auch die Verkehrswende der Stromwende stark „hinterherhinken“. Gleichzeitig wird mehr als die Hälfte der Endenergie für Wärme aufgebracht. Welche Potentiale für den Einsatz von Erneuerbare Energien noch brach liegen und welche praktikablen Einsatzmöglichkeiten es gibt, zeigt der Beitrag.

Bild 1 zeigt, dass der Anteil der Erneuerbaren Energien (*kurz EE*) im Strom- und Wärmebereich um die Jahrtausendwende bei einer ähnlichen Größenordnung gestartet ist, seitdem jedoch einen sehr unterschiedlichen Verlauf genommen hat. Im Verkehrsbereich ist der Anteil seit rund zehn Jahren nahezu konstant. Die Zunahme der EE im Strombereich ist insbesondere seit 2010 im Vergleich zum Zuwachs im Wärmebereich wesentlich stärker. Bei der Brutto-Stromerzeugung liegt der Anteil der EE inzwischen bei knapp unter 30 %, im Wärmebereich gerade bei etwa 14 % und im Verkehrsbereich bei rund 5 %. Diese Auswertungen zeigen deutlich die Notwendigkeit zur Erhöhung des Anteils Erneuerbarer Energien in den Sektoren Wärme und Verkehr zur Erreichung der Ziele der Bundesregierung bezüglich der Einsparung von CO₂-Emissionen bis 2050. Die außenliegende Wandtemperierung als niederexergetische, minimalinvasive Flächentemperierung ist ein möglicher Lösungsweg für die verstärkte Integration niederexergetischer Wärmeströme/ Erneuerbarer Energien in den Gebäudebestand und entspricht damit einem potentiellen Baustein für die anstehende Wärmewende. Die in diesem Kontext ebenfalls dringend notwendige Verkehrswende wird in diesem Artikel nicht betrachtet. Bei einem genaueren Blick auf den Endenergieverbrauch für Wärmezwecke, siehe Bild 2 (rechts), kann man erkennen, dass die Raumwärme mit etwa 51 % den größten Anteil hat. Die Prozesswärme (v. a. für Industrieprozesse) folgt mit rund 41 %. Für die Warmwasserbereitung werden nur etwa 9 % der Endenergie verbraucht. Aus diesen Zahlen ist erkennbar, dass die Wärmewende, neben der Strom- und Verkehrswende, ein wesentlicher Bestandteil der angestrebten Energiewende ist bzw. diese nur bei konsequenter und gleichberechtigter

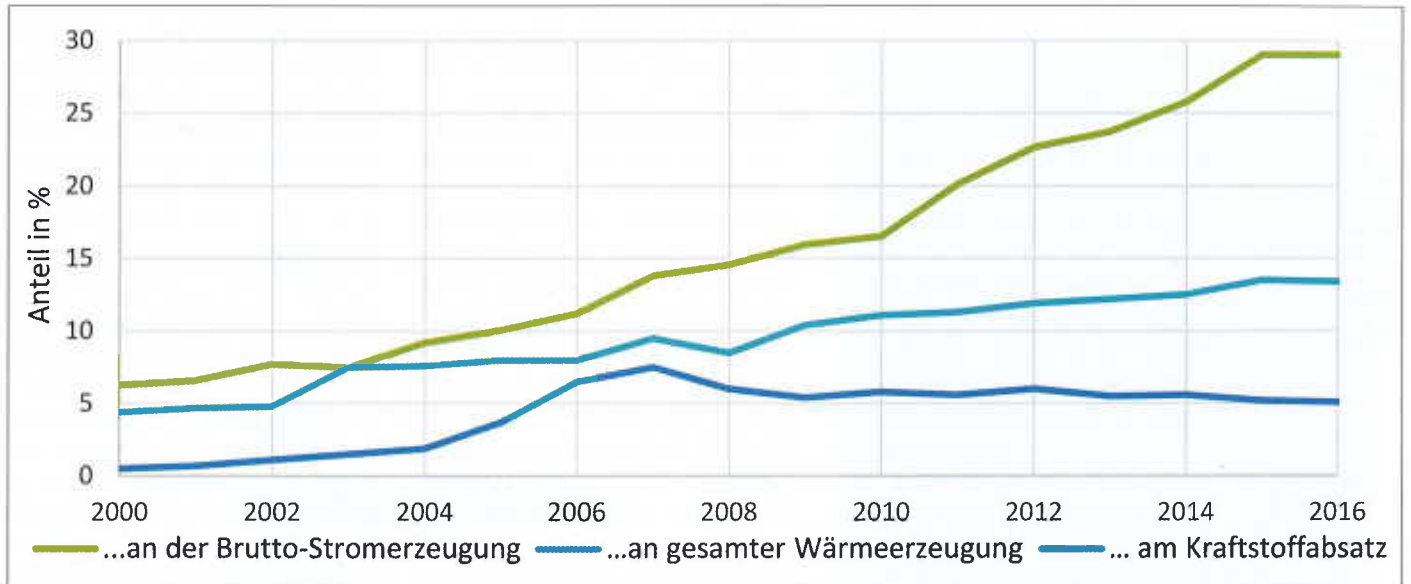
Bearbeitung aller drei Sektoren erreicht werden kann. Der hohe Anteil der Raumwärme am Endenergieverbrauch verdeutlicht, dass eine Wärmewende primär im Gebäudebereich stattfinden muss. Dies bedeutet in erster Linie den Ersatz fossiler Energieträger durch EE bzw. die Effizienzsteigerung der eingesetzten Energiequelle. Die Raumwärme für private Haushalte wird zu über 70 % mittels der beiden fossilen Energieträger Erdgas und Erdöl erzeugt, siehe Bild 3 (links). Der Anteil der EE liegt derzeit bei ca. 16 %. Die Tendenz dieser Zahlen bestätigt sich bei der Betrachtung der Warmwasserbereitung, siehe Bild 3 (rechts). Demzufolge birgt der Gebäudebereich einerseits ein sehr hohes Einsparpotential durch energetische Sanierungen im Bestand und gleichzeitig soll der verbleibende Energiebedarf nach der Erächtigung in zunehmendem Maße durch EE gedeckt werden. Die Wärmewende im Gebäudebereich beruht also auf den beiden Säulen „Energetische Sanierung/Erächtigung“ und „Integration Erneuerbarer Energien“. Diese beiden Säulen sind wesentlich um das anvisierte Klimaschutzziel (Verringerung der Treibhausgas-Emissionen gegenüber 1990 um 80 % bis 2050) zu erreichen. Eine eher untergeordnete Rolle spielt in dieser Betrachtung der Neubausektor. Das energetische Optimierungspotential liegt im Gebäudebestand, siehe Bild 4 (links). Etwa 74 % der deutschen Wohnungen/Gebäude wurden vor 1979 errichtet, also noch vor Inkrafttreten der ersten Wärmeschutzverordnung (1. WSV, 1977). Weitere rund 20 % der Wohnungen/Gebäude wurden vor Inkrafttreten der ersten Energieeinsparverordnung (EnEV, 01.02.2002) erbaut. Nur etwa 6 % der Wohnungen/Gebäude wurde nach den Richtlinien der EnEV errichtet. Die Zahlen machen deutlich, dass im größten Teil des Gebäudebestandes ein Sanierungsbedarf besteht. Hierbei

*IZES gGmbH

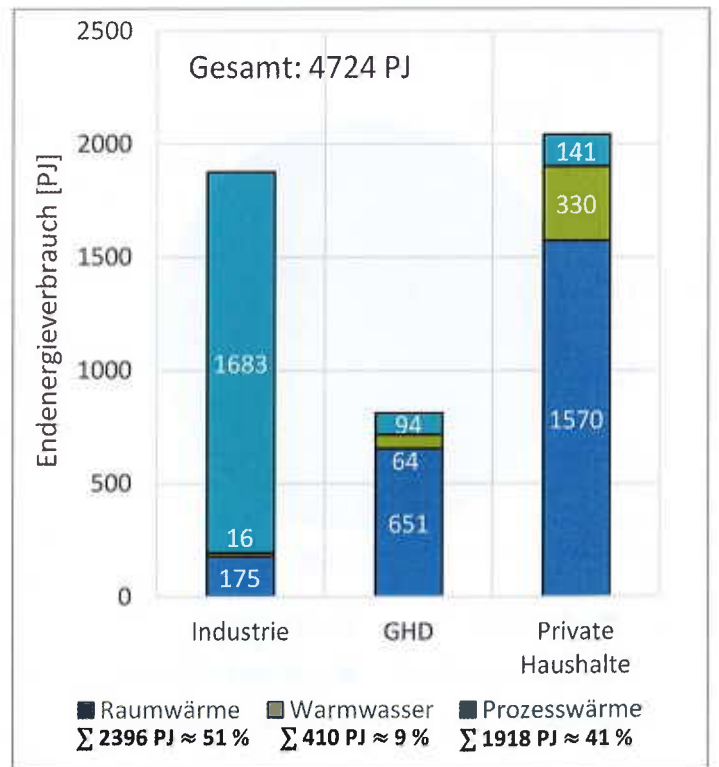
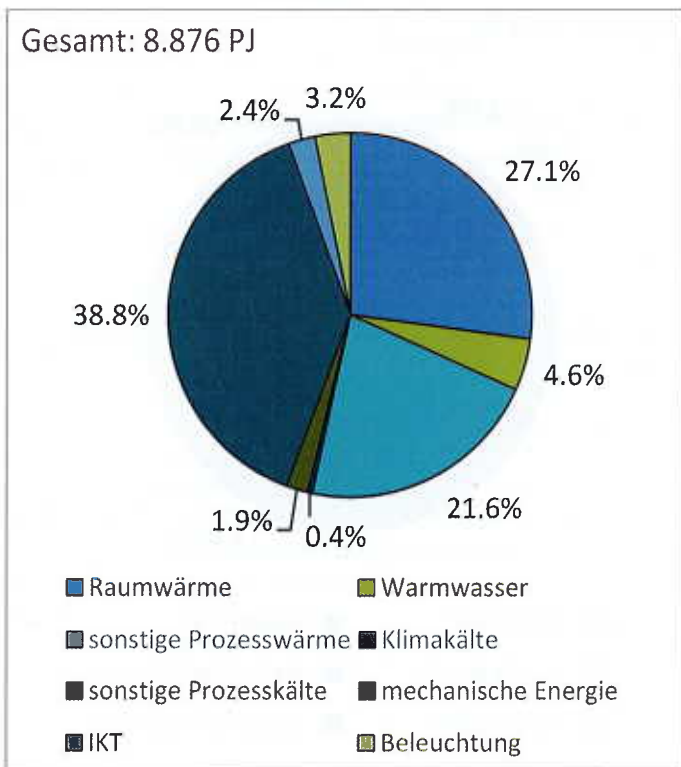
zu berücksichtigen sind die Gebäude, die bereits energetisch saniert wurden. In Bild 4 (rechts) ist die Marktentwicklung der Wärmeerzeuger (Neubau & Sanierung) seit 2002 zu erkennen. Der Anteil der EE ist auch hier in 2015 noch bei < 20 %. Derzeit ist bei den gesamten Absatzzahlen kein signifikanter Trend zu EE im Gebäudebereich zu erkennen. Betrachtet man die neuen Wärmeerzeuger getrennten in Neubau und Bestand, siehe Bild 5, so ist auch

im Neubau weiterhin Gas der primäre Wärmeträger mit einem Anteil >50 %. Auf Platz zwei folgt hier die Wärmepumpe mit einem Anteil von rund 30 % am gesamten Absatz. Um die Potentiale im Gebäudebestand nutzen und die Klimaschutzziele erreichen zu können, muss somit einerseits die energetische Sanierungsrate deutlich gesteigert und andererseits die verstärkte Integration von EE in den Gebäudebestand ermöglicht werden. Die

Entwicklung von (energetischen) Sanierungsmöglichkeiten für den Gebäudebestand, die gleichzeitig die Integration von EE fördern, erscheint daher das Gebot der Stunde. Als ein möglicher Baustein für die Wärmewende wurde von der IZES gGmbH in diesem Zusammenhang bereits 2006 die an der Praxis orientierte Idee der außenliegenden Wand- und Lufttemperierung entwickelt. Seit diesem Zeitpunkt beschäftigt sich die IZES gGmbH



▲ Bild 1 • Anteil der Erneuerbaren Energien an der Brutto-Stromerzeugung und Anteil an der gesamten Wärmeerzeugung in %. [Datenquelle: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, Energiedaten, Stand Mai 2017, Daten für 2016 vorläufig]



▲ Bild 2 • Endenergieverbrauch nach Anwendungsbereichen für 2015 (links) und Endenergieverbrauch der Sektoren für Wärmezwecke in 2015 (rechts, ohne Verkehr).

[Datenquelle: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, Energiedaten, Stand Mai 2017]

im Rahmen von mehreren Forschungsprojekten mit dieser Thematik.¹²³⁴⁵

Außenliegende Wand- und Lufttemperierung

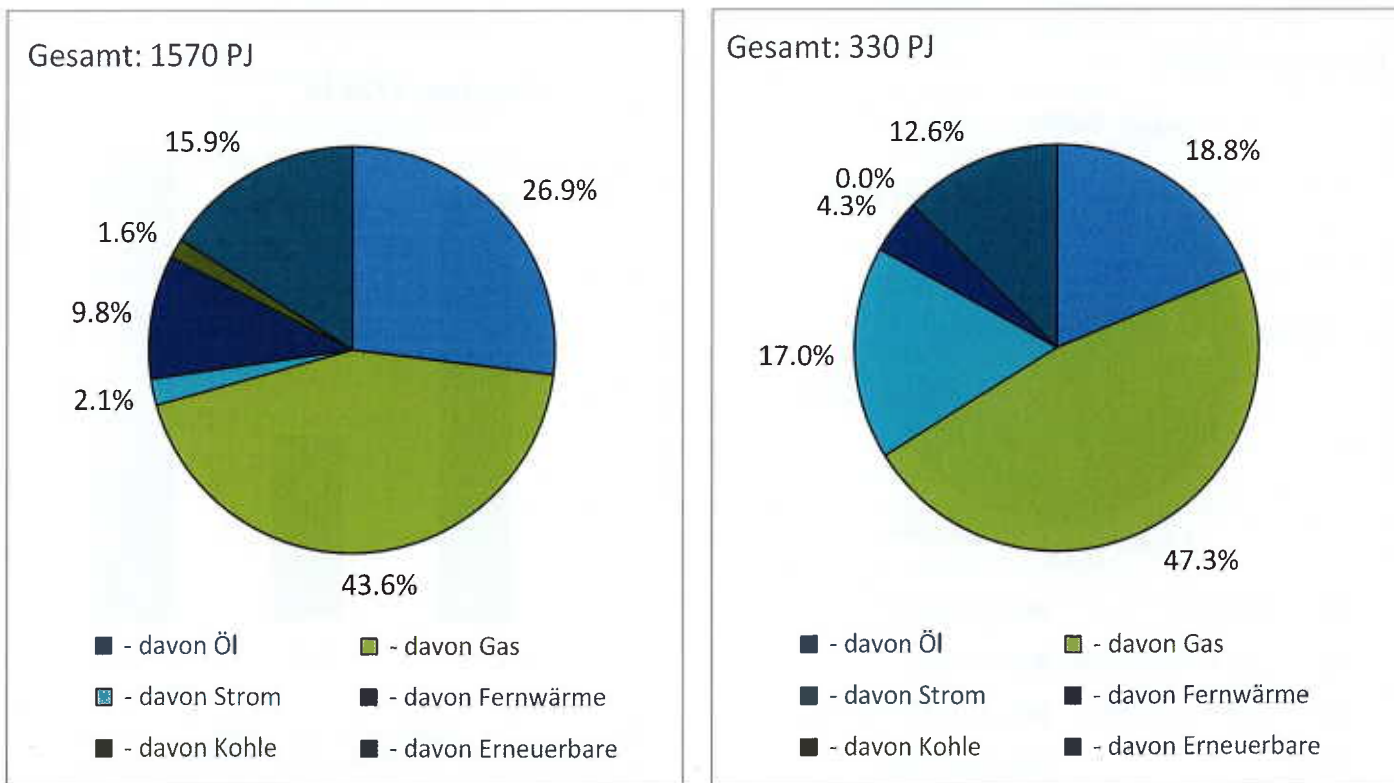
Bei der außenliegenden Wandtemperierung (*kurz aWT*), siehe Bild 6 (links), handelt es sich um eine fluidbasierte Flächentemperierung (2), die zwischen unsanierter Außenwand (1) und einem neuen Wärmedämmverbundsystem (3) (*kurz WDVS*) im Zuge einer energetischen Sanierung des Bestandsgebäudes „von außen“ aufgebracht wird. Bei der aWT handelt es sich somit um einen Sonderfall eines thermoaktiven Bauteilsystems (*kurz TABS*) bzw. um eine thermische Bauteilaktivierung. Hierzu gibt es eine Vielzahl von relevanten Veröffentlichungen, stellvertretend wird hier auf die grundlegenden und umfangreichen Arbeiten von Bernd Glück⁶, Koschenz & Lehmann⁷ und Jens Pfafferoth⁸ hingewiesen. Durch das Aufbringen des WDVS findet eine energetische Ertüchtigung des Gebäudes statt und der Raumwärmebedarf kann, je nach Sanierungsvariante und in Kombination mit anderen Maßnahmen, um bis zu 80 %⁹ reduziert werden. Diese Betrachtung ist unabhängig von dem eingesetzten Wärmeerzeuger und der Wärmeabgabefläche und beruht alleine

auf der energetischen Ertüchtigung der Gebäudehülle. Ein wesentlicher Vorteil der aWT im Vergleich zu anderen Bauteilaktivierungen ist, dass die Flächentemperierung „von außen“ aufgebracht werden kann und die Bewohner des Gebäudes weitestgehend unbeeinträchtigt bleiben bzw. das Gebäude während der Sanierung/Ertüchtigung bewohnt bleiben kann. Somit ermöglicht die aWT die Installation von Flächentemperierungen im Bestand, unabhängig von Raumhöhen und Bodenaufbauten im Inneren und auch unabhängig vom Wohnzustand des Gebäudes. Der große Vorteil von Flächentemperierungen (große Fläche, geringe notwendige Temperaturdifferenz zwischen Heizfläche und Raumtemperatur) wird lagebedingt (Außenbauteil und Lage hinter der Bestandswand) bei der aWT noch weiter verstärkt. Als eine Weiterentwicklung der aWT wurde zusätzlich das Konzept der außenliegenden Lufttemperierung (*kurz aLT*) erarbeitet¹⁰, siehe Bild 6 (rechts). Diese ermöglicht die Temperierung von Frischluft, durch Schaffung eines Luftspalts (3) zwischen thermisch aktivierter Bestandswand (1 & 2) und WDVS (4). Somit kann auch die Funktion „dezentrales kontrolliertes und temperiertes Lüften“ von außen erschlossen und inte-

griert werden. Anlagentechnisch werden hierfür Klappen, Filter (5 & 6) und ein Ventilator benötigt. Dabei können auch andere Luftführungsvarianten umgesetzt werden (Umlufttemperierung, Wärmerückgewinnung).

Niederexergetischer Ansatz

Sowohl bei der aWT, als auch bei der aLT handelt es sich um niederexergetische Temperierungssysteme. Dabei werden niedrige Vorlauftemperaturen und damit sehr geringe Temperaturdifferenzen zwischen Heizmedium und Raumtemperatur nutzbar gemacht. In Bild 7 sind beispielhafte Temperaturverläufe durch eine sanierte Außenwand bei konstanter Raumtemperatur und verschiedenen Außentemperaturen dargestellt. Die Temperatur T_{k0} entspricht der Temperatur in der Schnittstelle zwischen Bestandswand und dem neuen WDVS. Zu erkennen ist, dass die Temperatur in dieser Ebene über die komplette, relevante Außentemperaturbandbreite (Heizgrenztemperatur bis Normaußentemperatur) nur sehr geringen Schwankungen unterliegt. In dem hier dargestellten Beispiel bewirkt eine Außentemperaturänderung von 30 K eine Änderung von T_{k0} um etwa 3 K. Im Zusammenhang mit den Komponenten aWT und aLT wird die Tem-



▲ Bild 3 • Endenergieverbrauch für Raumwärme (links) und Warmwasser (rechts) von privaten Haushalten, aufgeteilt auf die verschiedenen Wärmeträger in 2015.

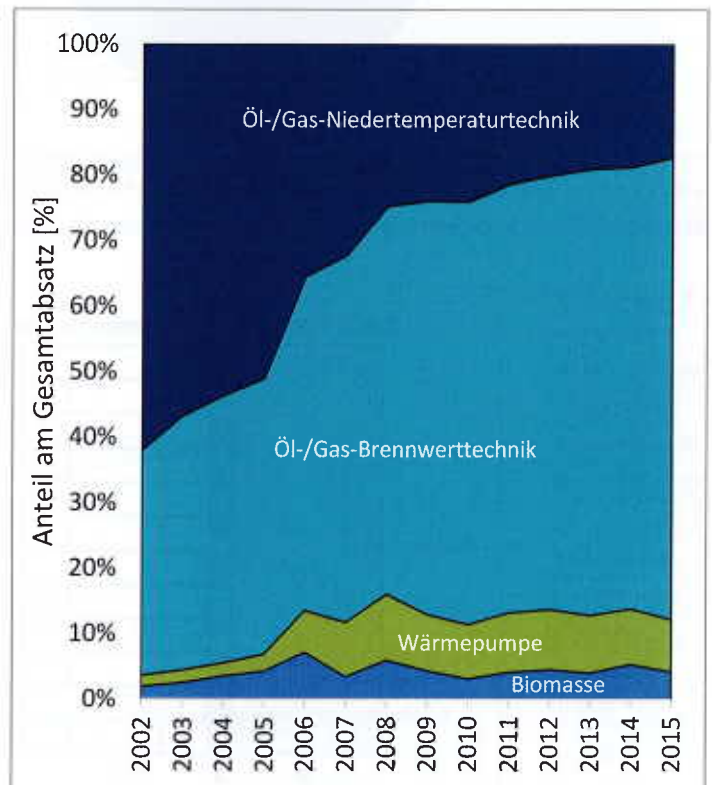
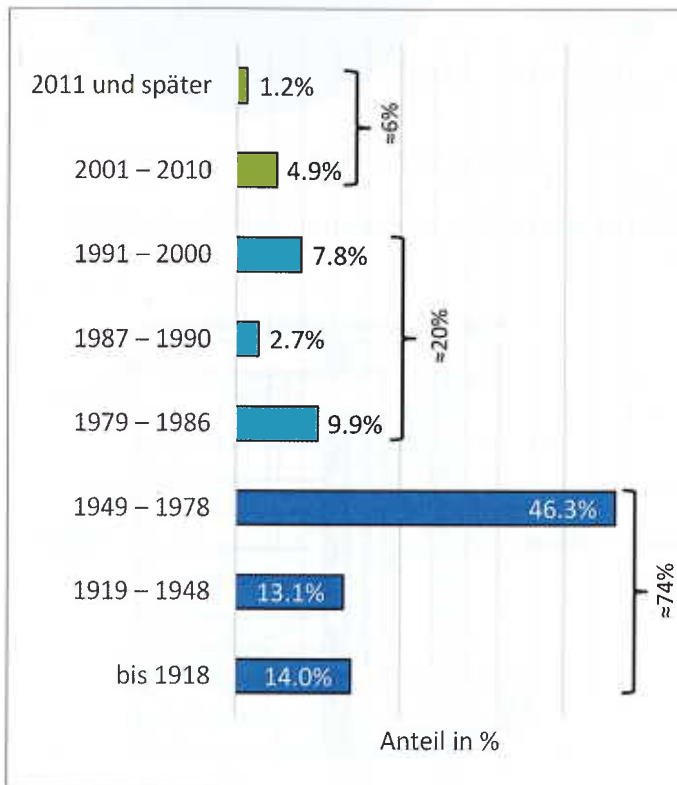
[Datenquelle: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, Energiedaten, Stand Mai 2017]

peratur T_{k0} als „Ruhetemperatur“ bezeichnet. Die Ruhetemperatur stellt sich in der Temperierungsebene ein, wenn die Wand nicht thermisch aktiviert ist (also im Ruhezustand). Die Temperaturen ergeben sich dabei aus dem Verlustwärmestrom aufgrund von Transmissionswärmeverlusten, der sich über die Außenwand einstellt. Dieser ist abhängig von der Temperaturdifferenz ($T_i - T_{amb}$) und dem Wärmedurchgangskoeffizienten (kurz *U-Wert*) der sanier-

ten Außenwand inklusive WDVS. Wird eine thermisch aktive Schicht in den Wandquerschnitt eingebracht und somit der Außenwand ein Wärmestrom aufgeprägt, ändert sich der Verlustwärmestrom bzw. die Verlustebene und damit die Temperaturen über den Wandquerschnitt. Dabei lässt sich die neue, geänderte Knotentemperatur (T_k) in Relation zu der Ruhetemperatur (T_{k0}) als Indikator für die verschiedenen Betriebsmodi der außenliegenden

Wandtemperierung heranziehen. Relevant ist hierbei vor allem der resultierende Temperaturgradient zum Innenraum hin. Die drei folgenden, generellen Betriebsweisen können dabei unterschieden werden, siehe dazu auch Bild 8:

- Teilkompensatorischer Betrieb:
 $T_{k0} < T_k < T_1 \rightarrow \Delta T_i < 0$:
 Der Verlustwärmestrom über die Außenwand wird teilkompensiert. Es verbleibt ein Rest-Verlustwärmestrom.



▲ Bild 4 • Anteil der bewohnten Wohnungen in Deutschland nach Baujahr des Gebäudes/Wohnung (links).

[Datenquelle: Statistisches Bundesamt „Bauen und Wohnen 2014“, Fachserie 5 Heft 1, 2016]. Marktentwicklung der Wärmeerzeuger seit 2002 (rechts).

[Datenquelle: Umwelt Bundesamt, Marktdaten: Bereich Wohnen, 2016]

¹ Schmidt, C., Luther, G., Altgeld, H., Maas, S., Groß, B., Scholzen, F., „Außenliegende Wandtemperierung“ - LowEx-Anwendung zur Temperierung von Bestandsgebäuden und thermischen Aktivierung der Bestandswand; theoretische Grundlagen und Kennwerte, Ernst & Sohn Verlag, Berlin, Bauphysik 39 (2017), Heft 4, Seiten 215-223

² Luther, G., Altgeld, H., Die außenliegende Wandheizung, In: Gesundheitsingenieur, 2002 (1), Seite 8-15

³ Schmidt, C., Altgeld, H., Groß, B., Luther, G., Schmidt, D., 2016: LEXU II – Einsatz von außenliegender Wandtemperierung bei der Gebäudesanierung, In: Proceedings of CESBP/BauSim 2016, S.843-850.

⁴ Altgeld, H., Bischoff, T., Eckert, M., Palm, S., Schmidt, C., Dynamische Leistungscharakterisierung und Modellierung von PVT-Kollektoren für einen Demonstrator mit einem innovativen LowEx-Temperierungssystem, Tagungsband 27. Symposium Thermische Solarenergie, 10-12.05.2017, Bad Staffelstein

⁵ BINE Informationsdienst, „Gebäude über die Außenwand heizen“, 02.12.2015,

<http://www.bine.info/themen/gebaeude-stadt/sanierung/news/gebaeude-ueber-aussenwand-heizen>

⁶ U.a. Glöck, B., Thermische Bauteilaktivierung, C.F. Müller Verlag, Heidelberg, 1999, ISBN: 3-7880-7674-7

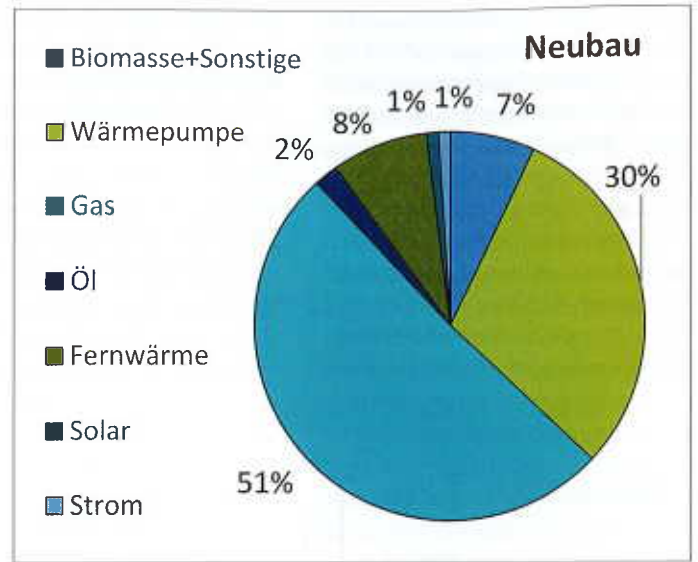
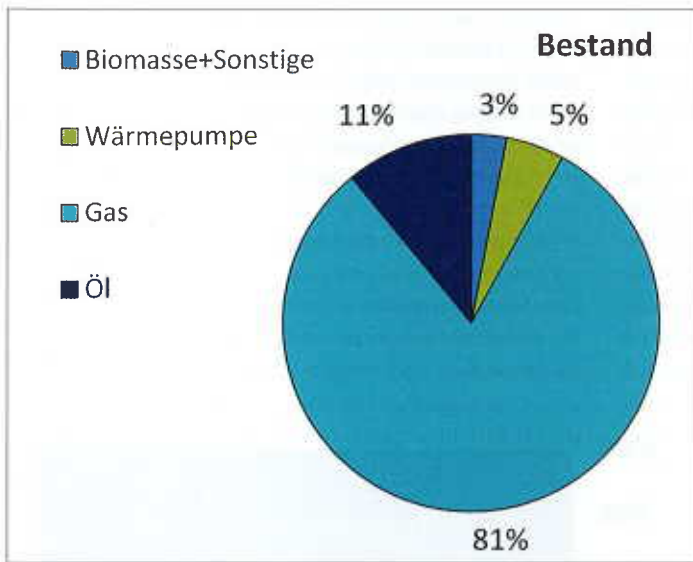
⁷ U.a. Koschenz, M., Lehmann, B., Thermoaktive Bauteilsysteme tabs, EMPA Drübendorf, Zürich, 2000 ISBN: 3-905594-19-6

⁸ U.a. Pfafferott, J., Kalz, D., Koenigsdorff, R., Bauteilaktivierung, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, 2015, ISBN: 978-3-8167-9357-1

Pfafferott, J., Henze, G., Lang, T., Anlageaufwandszahlen für die Bauteilaktivierung in Abhängigkeit des Regelkonzeptes, Ernst & Sohn Verlag, Berlin, Bauphysik 39 (2017), Heft 5, Seiten 279 - 290

⁹ Vgl. Dena: „Auswertung von Verbrauchskennwerten energieeffizient sanierter Wohngebäude“, Berlin, 2013

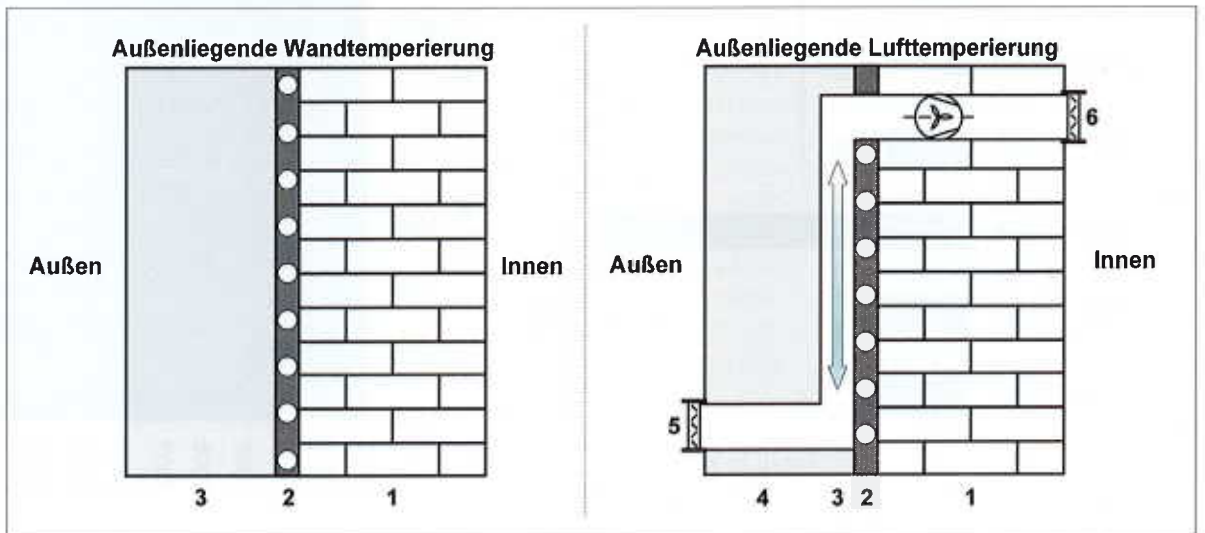
¹⁰ Luther, G., Endbericht zum theoretischen Teil von Arbeitspaket 3 im Projekt LEXU II, Außenliegende Luftheizung, Konzept, Modellierung und Analysen, Universität des Saarlandes, FSt. Zukunftsenergie, Saarbrücken, 2013



▲ Bild 5 • Neue Wärmeerzeuger im Bestand (links) und im Neubau (rechts) 2013.

[Datenquelle: Der dena-Gebäudereport 2015, Statistiken und Analysen zur Energieeffizienz im Gebäudebestand, Berlin, Stand 01/2015]

► Bild 6 • Schematische Darstellung der außenliegenden Wandtemperierung (links) und der außenliegenden Lufttemperierung (rechts) im Wandquerschnitt.



- Kompensatorischer Betrieb:

$$T_{k0} < T_k = T_1 \rightarrow \Delta T_i = 0:$$

Der Verlustwärmestrom über die Außenwand wird vollständig kompensiert. Es findet kein Verlustwärmestrom vom Innenraum über die Außenwand mehr statt.

- Überkompensatorischer Betrieb:

$$T_{k0} < T_k > T_1 \rightarrow \Delta T_i > 0:$$

Der Verlustwärmestrom wird vollständig kompensiert und zusätzlich wird dem Raum ein effektiver Wärmestrom zur Kompensation weiterer Wärmeverluste (unbelegte Flächen, Fenster, Lüftungs- und Infiltrationswärmeverluste) zugeführt.

Für die beiden Komponenten aWT und aLT gilt somit zusammengefasst, dass bereits mit Systemtemperaturen nahe der Raumtemperatur die Transmissionswärmeverluste durch die Außenwand teilkompensiert bzw. bei Raumtemperatur komplett kompensiert werden können.

Bei Temperaturen größer der Raumtemperatur wird dem Raum ein effektiver Heizwärmestrom zur Verfügung gestellt, der zur Kompensation anderer Verluste (unbelegte Flächen, Fenster, Lüftung/Infiltration) genutzt werden kann.

Mögliche Einsatzgebiete für die Komponenten aLT und aWT

Der niederexergetische Ansatz der beiden Komponenten aWT und aLT wiederum ermöglicht den verstärkten Einsatz von Erneuerbaren Energien für den Gebäudebereich. Insbesondere der Solarthermie und der Wärmepumpe kommt der Nieder temperatur-Ansatz entgegen. Bei der Wärmepumpe gilt überschlüssig: Je geringer die notwendige Vorlauf temperatur im Heizkreis, desto höher die Effizienz der Wärmepumpe¹¹. Bei der Solarthermie steigt mit sinkender Temperaturanforderung

der spezifische Kollektor ertrag¹². Die Wandtemperierung dient in diesem Fall als (zusätzliche) Nieder temperatur-Wärmesenke für die Solarthermie. Somit kann der spezifische Kollektor ertrag gesteigert werden. Dies konnte in dem 2006 gestarteten und 2009 beendeten Vorgängerprojekt „LEXU“ mittels umfangreicher Simulationsstudien nachgewiesen werden.

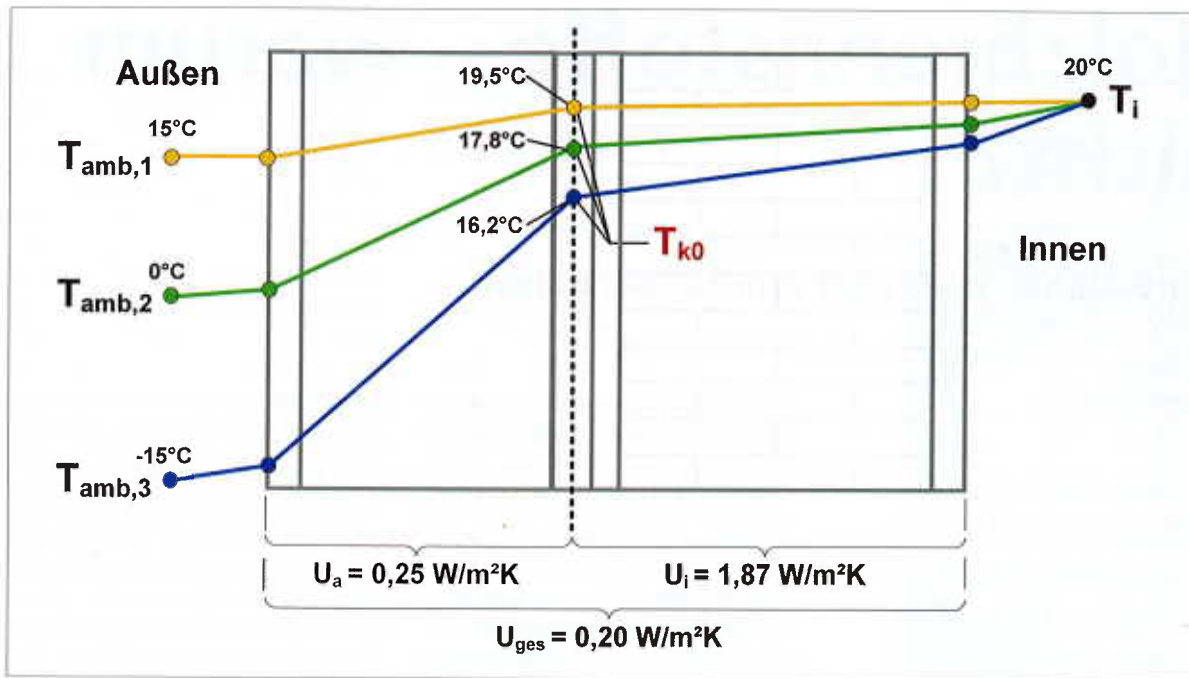
Einsatz der aWT/aLT zur Altbausolarisierung

Daher erscheint ein wesentlicher Einsatzfall für die entwickelten Komponenten die sogenannte Altbausola-

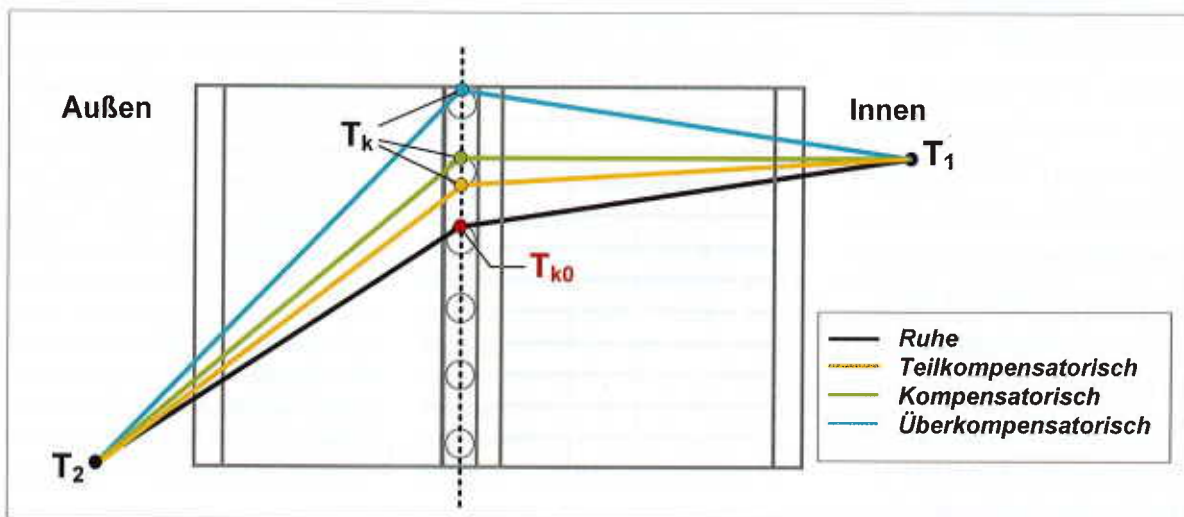
¹¹ Vgl. EnergieAgentur NRW „Leitfaden Wärmepumpe“, Düsseldorf, 2015

¹² Vgl. Remmers, K. H., „Große Solaranlagen“, Uranus-Verlagsgesellschaft, Wien, 1999, ISBN: 3-901626-16-60

FORSCHUNG



◀ Bild 7 • Beispielhafter Temperaturverlauf durch eine sanierte Außenwand bei konstanter Raumtemperatur und verschiedenen Außentemperaturen.



◀ Bild 8 • Schematische Darstellung der verschiedenen Betriebsmodi der wandtemperaturverteilung, in Abhängigkeit der Knotentemperatur T_k in Relation zur Ruhetemperatur T_{k0} .

risierung zu sein. Bekannt ist das „Solaraktivhaus-Konzept“ des Sonnenhaus-Instituts¹³, das per Definition einen solaren Deckungsgrad von mindestens 50 %¹⁴ hat. Im Neubau wurde dies bisher durch große Kollektorflächen (im Einfamilienhaus bis zu 40 m²) und große gebäudeintegrierte Pufferspeicher (bis zu 10 m³) erreicht. Gerade wegen des gebäudeintegrierten Pufferspeichers lässt sich dieses Konzept nur schwer auf den Gebäudebestand übertragen. Unter Altbausolarisierung ist somit die Erarbeitung von Konzepten zur Erreichung hoher solarer Deckungsgrade für den Gebäudebestand gemeint. In den beiden Projekten „SH-T-Opt“ und „SH-T-Opt Exp“ des Instituts für Solarenergieforschung (ISFH)¹⁵ wurde durch einen Vergleich zwischen Simulation und Messungen an einem Musterhaus nachgewie-

sen, dass auch durch die Kombination von Solarthermie und thermischer Bauteilaktivierung (hier Decken und Böden), in Kombination mit typischen Pufferspeichervolumen (1 m³) solare Deckungsgrade um 50 % erreicht werden können¹⁵. Gleichzeitig konnte für die Nutzung mit Bauteilaktivierung eine Steigerung des Kollektornutzungsgrades um 20 % ermittelt werden. Bei dem Musterhaus in diesem Projekt handelt es sich um einen Neubau. Dieses Konzept lässt sich jedoch auf den Gebäudebestand übertragen mit dem Vorteil, dass unter Nutzung der aWT/aLT als Wärmeabgabefläche noch niedrigere Fluidtemperaturen nutzbar gemacht werden können und zugleich die thermische Speichermasse der Bestandsstruktur aktiviert wird. Erste eigene Simulationsstudien untermauern diese An-

nahme. Insofern handelt es sich bei der aWT aus bauphysikalischer Sicht um die ideale Wärmeabgabefläche für die Altbausolarisierung. Mittels eigener Simulationsstudien anhand von Referenzgebäuden konnte nachgewiesen werden, dass die aWT in Kombination mit der aLT auch als alleiniges Heizsystem geeignet ist.

¹³ Sonnenhaus-Institut e. V., www.sonnenhaus-institut.de

¹⁴ Vgl. Merkblatt „Solaraktivhaus“, Teil 1, Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle, 2015

¹⁵ Institut für Solarenergieforschung GmbH, Emmerthal; https://isfh.de/forschung/solare-systeme/projekte/sh_topt/

¹⁶ Vgl. Workshop „Energieeffiziente Niedrigenergiegebäude“, TU Bergakademie Freiberg, Präsentation B4-2, Jan Steinweg, ISFH