

Gebäudebestand der Zukunft – Smarte Energieeffizienz



CAE

Dr. Bastian Büttner
bastian.buettner
@cae-zeroarbon.de

DBFZ

Kerstin Würdinger
kerstin.wurdinger@dbfz.de

DLR

Dr. Martin Vehse
martin.vehse@dlr.de

FZ Jülich

Dr. Noah Pflugradt
n.pflugradt@fz-juelich.de

ISFH

Dr. Modar Yasin
yasin@isfh.de

IZES

Dr. Bodo Groß
gross@izes.de

Einleitung

Der Anteil des Gebäudesektors am Endenergieverbrauch Deutschlands bleibt anteilig seit Jahren auf nahezu konstantem Niveau. So entfielen in den Jahren 2015–2019 ca. 34 % und in den Jahren 2020 und 2021 etwa 36 % auf diesen Sektor [1] – ein Anstieg, der auch der Corona-Krise geschuldet ist. Den Anwendungen Wärme und zunehmend auch Kälte kommt dabei eine herausragende Rolle zu, wobei sich der darauf entfallende Endenergiebedarf in den letzten acht Jahren nur unwesentlich verringert hat. Ebenso weist der Anteil erneuerbarer Energien einen nur geringfügig wachsenden Trend auf 16 % in 2021 auf, wobei hier vornehmlich die Verfeuerung von Biomasse eingesetzt wird (► *Abbildung 1*). Dass die Verbrennung von Primärholz kritisch zu betrachten ist, wurde in der Renewable Energy Directive (RED III) auf europäischer Ebene diskutiert.

Es ist festzustellen, dass der Gebäudesektor die im Klimaschutzgesetz festgelegten Emissionsziele für 2020 und 2021 verfehlt hat [2], weshalb ein „Sofortprogramm Gebäude“ von den Ministerien BMWSB und BMWK vorgelegt wurde, das unter anderem eine Novelle des Gebäudeenergiegesetzes (GEG) vorantreibt.

Neben den Bestimmungen im GEG, hat auch die Gasmangellage infolge des Ukrainekriegs zu einem Umdenken bei den eingesetzten Heizsystemen im Neubausektor geführt, so dass sich der Anteil von Wärmepumpen in der Wärmebereitstellung von Januar bis März 2022 auf 50 % erhöht hat und dabei im Wesentlichen Gasheizungen verdrängt (► *Abbildung 2*). Allerdings ist der Rückgang von Fernwärme im Neubau, ebenso wie die sehr langsame Marktdurchdringung erneuerbarer Heizungen im Gebäudebestand als kritisch einzustufen.

Auch die EU hat sich mit der neuen Energy Performance of Buildings Directive („Fit for 55“) zum Ziel gesetzt, eine Sanierungswelle in Europa zu starten und gemäß der „Worst-First“-Strategie, die energetisch schlechtesten Gebäude zuerst zu sanieren.

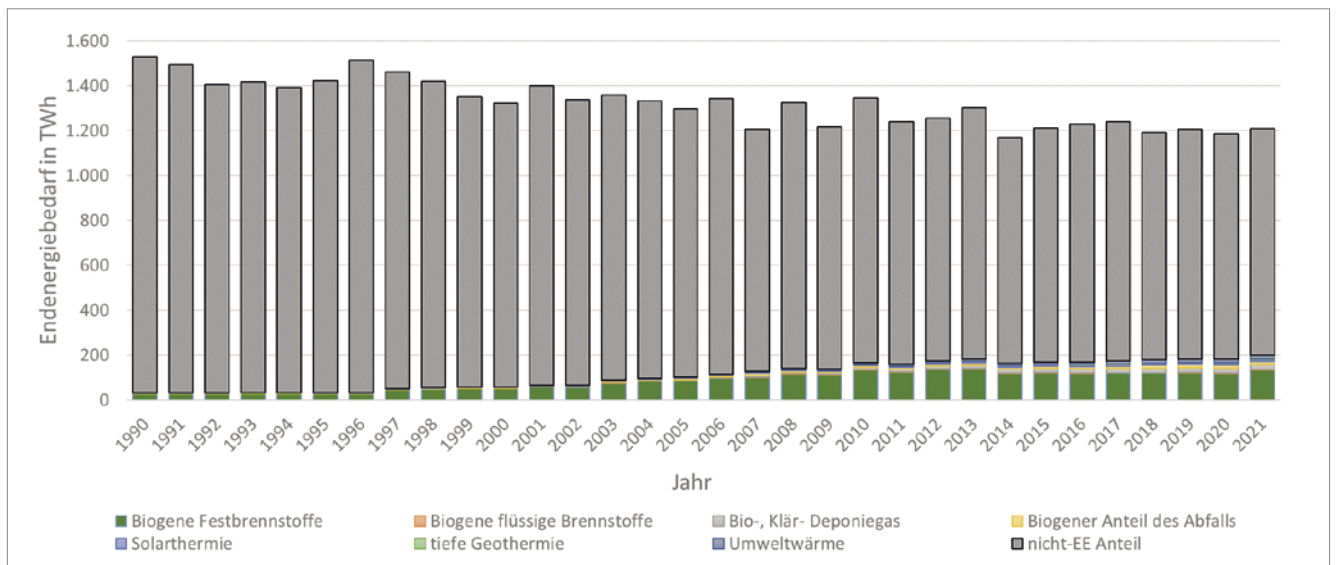
Zusätzlich kann eine Steigerung der Energieeffizienz auch durch den Einsatz von Smart Home-Produkten wie z. B. smarten Thermostaten erreicht werden. So konnten in zwei Pilotprojekten Energieeinsparungen von bis zu 30 % erreicht werden [4, 5].

Die Norm zur Gebäudeautomation DIN EN 15232 legt Einsparungen von bis zu 19 % fest und eine Studie mit einer Vielzahl an Praxisbeispielen [6] ermittelt Einsparpotenziale von 13 bis 30 %, was auch zeigt, dass der Nutzen vom konkreten Einsatzfall abhängt. So lassen sich durch smarte Thermostate in alten, energetisch schlechten Gebäuden, besonders bei wechselnder Belegung, die höchsten Einsparpotenziale durch intelligente Temperaturabsenkung erreichen.

Smart Home beinhaltet viele weitere Komponenten, z. B. neben Wärme und Kälte auch Lichtsteuerung, Zugangskontrolle, Unterhaltungselektronik, Außenanlagensteuerung sowie die intelligente Einbindung von PV-Anlagen ggf. mit Batterie und das intelligente (zukünftig bidirektionale) Laden von Elektroautos. Durch den Einsatz von thermischen und elektrischen Speichern ergeben sich hier, intelligent genutzt, hohe Flexibilitäten für das Energiesystem. Die zukünftigen Anforderungen an smarte Gebäude lassen sich wie folgt unterteilen:

- effizient und wohngesund
- Aufnahmefähigkeit von erneuerbaren Energien erhöhen
- das Gebäude zu einer reaktiven Komponente im Energiesystem weiterentwickeln
- die Gebäude selbst intelligent steuern

Im Folgenden werden Projekte aus dem FVEE-Verbund vorgestellt, die sich der Weiterentwicklung der Gebäude mit diesen Zielrichtungen widmen.



Entwicklung smarter Wohnungsstationen in Mehrfamilienhäusern

Dank der durch die verabschiedeten Energiegesetze verschärften Anforderungen an bautechnische Maßnahmen sowie der bereits am Markt etablierten und ausgereiften anlagentechnischen Lösungen (Flächenheizungs- und Wärmepumpensysteme) verringert sich das Heiztemperaturniveau auf ca. 40°C und ermöglicht so die Integration von erneuerbaren Energien in den Gebäudesektor. Das aus hygienischen Gründen erforderliche Temperaturniveau des Trinkwarmwassers von 55 bis 60°C (bei zentraler Trinkwarmwasserbereitung) lässt sich kaum reduzieren und erschwert die Wärmewende sowie die Integration

von erneuerbaren Energien, wie Umweltwärme und Solarenergie im Gebäudesektor.

Bei Mehrfamilienhäusern ließ sich das Temperaturniveau bisher bei zentralen Frischwasserstationen in Wärmezentralen nur geringfügig verringern, ohne die nach der anerkannten Trinkwasserhygieneregulierung angeforderte Zirkulationsproblematik und den damit verbundenen Mehrenergiebedarf zu vermeiden. Wohnungsstationen sind vielversprechende Lösungen in Mehrfamilienhäusern, die dezentral Trinkwarmwasser mit minimaler Legionellen-Gefahr und ohne Zirkulationsbedarf (bei Einhaltung der 3 Liter-Regel) bereitstellen können (► *Abbildung 3*).

Abbildung 1

Endenergiebedarf für Wärme und Kälte:

zeitliche Entwicklung aufgeschlüsselt nach Energieträgern

(Quelle: eigene Darstellung nach [1] ZAE Bayern)

Abbildung 2

Beheizungsstruktur:

- links: Neubau
- rechts: Bestand

(Quelle: eigene Darstellung nach Daten des BDEW [3] ZAE Bayern)

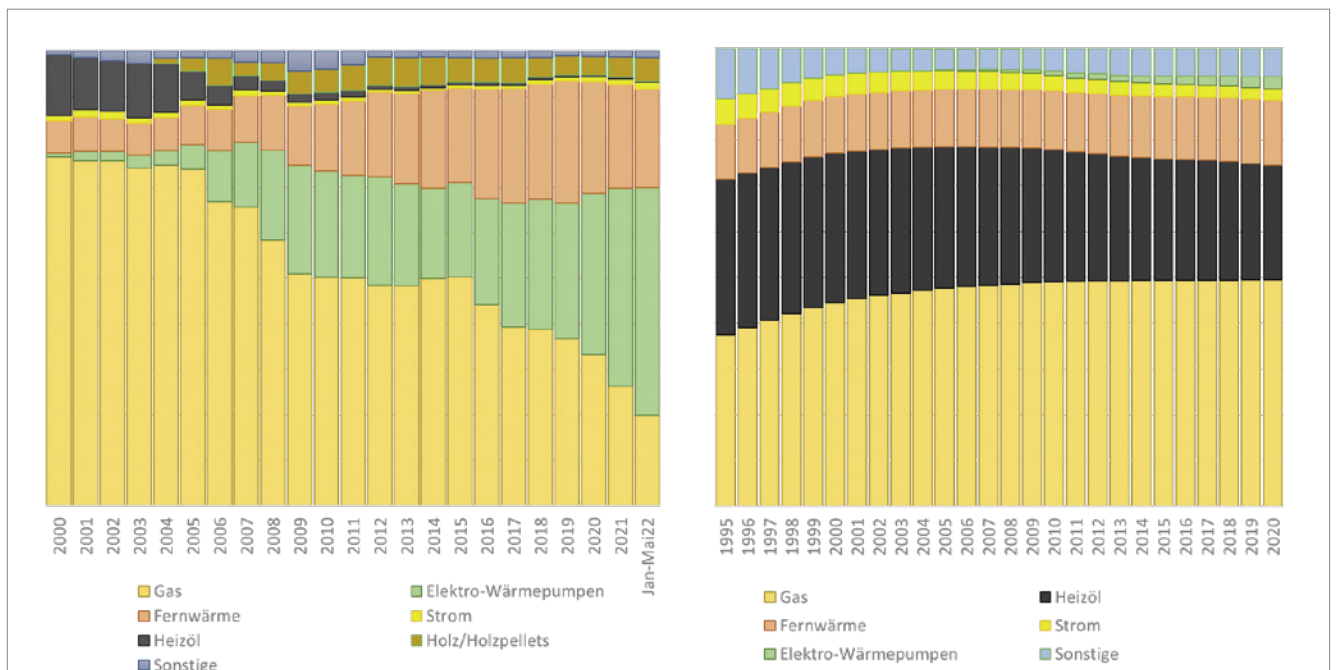
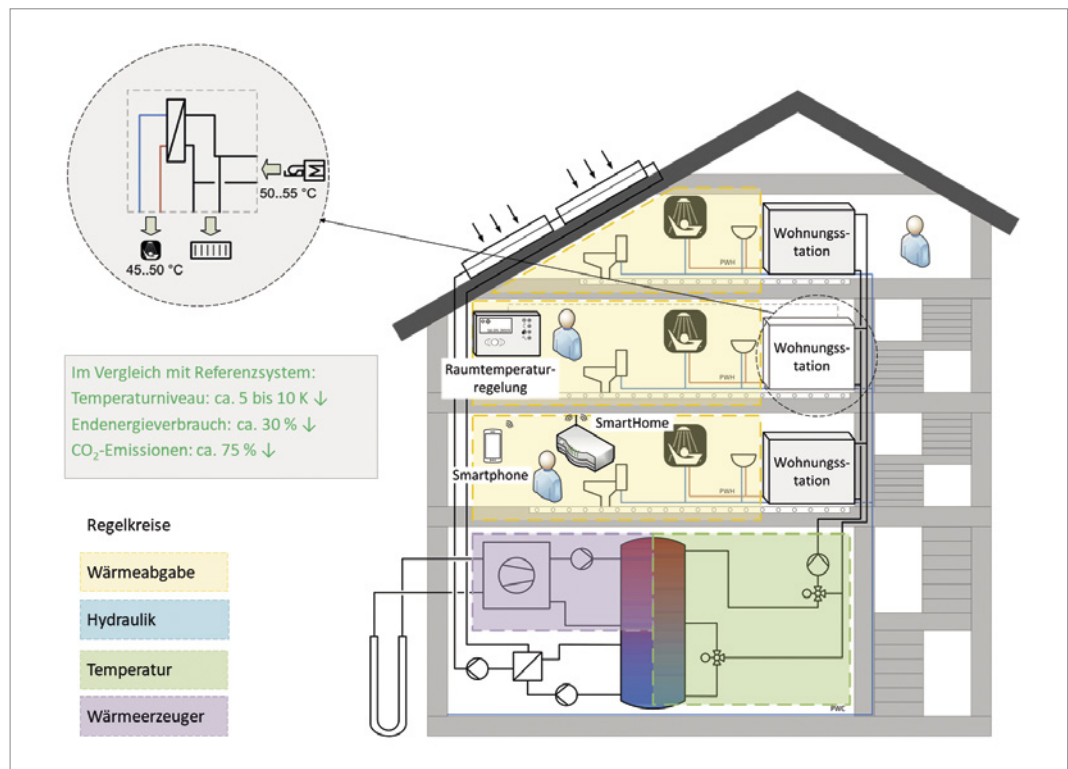


Abbildung 3
Dezentrale Durchfluss-Trinkwasser-Erwärmung mit smarten Wohnungsstationen. Raumtemperaturregelung, Einbindung in Regelkreise sowie SmartHome.
 (Quelle: ISFH)



Die im Rahmen des 7. Energieforschungsprogramms als Ziel gesetzte Digitalisierungswelle soll für eine smarte und effiziente Energieversorgung im Gebäudesektor sorgen. Das BMWK-geförderte Forschungsprojekt WoSta4.0 versucht die Wohnungsstationen durch digitale Vernetzung und intelligente Regelung zu optimieren. Die bisher statisch und informationsisoliert betriebenen Wohnungsstationen sollen durch digitale Vernetzung Informationen über Wärmebedarf (Nutzer) und -erzeugung (Wärmezentrale) sammeln und zur hocheffizienten Energieversorgung durch intelligente elektronische Regelung beitragen. Digitale Vernetzung lässt sich entweder durch Smartphone-Apps, Bediengeräte oder Smarthome-Stationen realisieren. Die bedarfsgeführte intelligente Regelung greift auf Wärmeabgabe, Hydraulik, Temperaturniveau und/oder Wärmeerzeuger zu. Die davon resultierende transparente dezentrale Energieversorgung in der Wohnung soll zum suffizienten Verhalten der Nutzer (Mieter) und zu einem vernünftigen Ressourceneinsatz in der Wärmeversorgung führen.

Die Wohnungsstationen drei unterschiedlicher Hersteller werden in drei Phasen bewertet und optimiert. Im Labor werden in der ersten Phase die smarten Wohnungsstationen geprüft und bewertet. Anhand eines validierten TRNSYS-Modells (Transient System Simulation) werden intelligente Regelungskonzepte und unterschiedliche Vernetzungsgrade in der zweiten Phase simuliert, entwickelt und analysiert.

In der dritten Phase werden die Hersteller die smarten Wohnungsstationen in drei Demonstrationsobjekten installieren und mit sieben Referenzobjekten vergleichen und bewerten.

Innovative Sandwich Fassadenelemente

Die zentrale Projektidee von LEXU_PLUS, ebenfalls ein vom BMWK unter 03EN1041A-D gefördertes Verbundprojekt, ist die Entwicklung von vorgefertigten Sandwich-Fassaden-Elementen für Sanierungen im Gebäudebestand, welche sowohl Umweltenergie gewinnen, Wärme/Kälte speichern, aktiv die Wärmeverluste der angrenzenden Räume über die sanierte Außenwand reduzieren und zusätzlich die Räume im Sinne größtmöglicher Behaglichkeit temperieren können. Somit erfüllen die zu entwickelnden Bauteile bzw. deren Kombination neben statischen Funktionen auch vollumfänglich die folgenden energetischen Funktionen:

- Energiegewinnung
- Energiespeicherung
- Temperierung
- Dämmung

Die geplante Entwicklung betrifft die Integration weiterer thermischer Funktionen in vorgefertigte Sandwich-Fassaden-Elemente unter Nutzung neuer (wärmebrückenreduzierter) Verbindungsmittel aus glasfaserverstärktem Kunststoff (GFK). Die Sandwich-

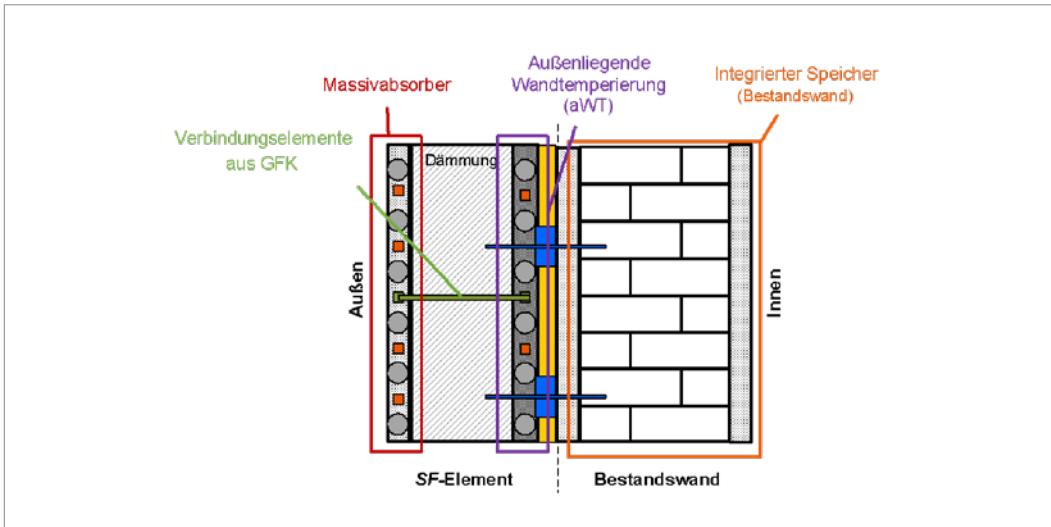


Abbildung 4

Sandwich-Fassaden-Element:

Aufbau mit Absorber und außenliegender Wandtemperierung, die über GFK-Verbindungselemente mit einer Dämmung aneinander befestigt sind.

(Quelle: IZES)

Fassaden-Elemente sollen auch in die überbetriebliche Ausbildung integriert werden. Außerdem beinhaltet das Projekt die Umsetzung an einer Demonstrationsfassade sowie einem Demonstrator (siehe ► *Abbildung 4*). Zusätzlich sind wesentliche Bestandteile von LEXU_PLUS die Untersuchung des praxisnahen Betriebsverhaltens der Bauteile im Testbetrieb sowie ein umfangreiches Monitoringprogramm zur Validierung der theoretischen Modelle und Konzepte. Dies dient als Voraussetzung für weitere Praxisanwendungen und zur Steigerung der Akzeptanz in der Baupraxis.

Die Kernthemen des Vorhabens sind somit die konsequente Weiterentwicklung sowie die Optimierung der Komponente „außenliegende Wandtemperierung“, einer Flächentemperierung für den Gebäudebestand, durch Erhöhung des Vorfertigungsgrades, erweitert um einen flexibel gestaltbaren Fassadenabsorber als integraler Bestandteil der Fassade, basierend auf den Ergebnissen des Vorprojekts „LEXU II“ [7] [8]. Die Erhöhung des Vorfertigungsgrades wird dabei durch die Herstellung von thermisch aktivierten Sandwich-Fassaden-Elementen in einem Fertigteilwerk erzielt.

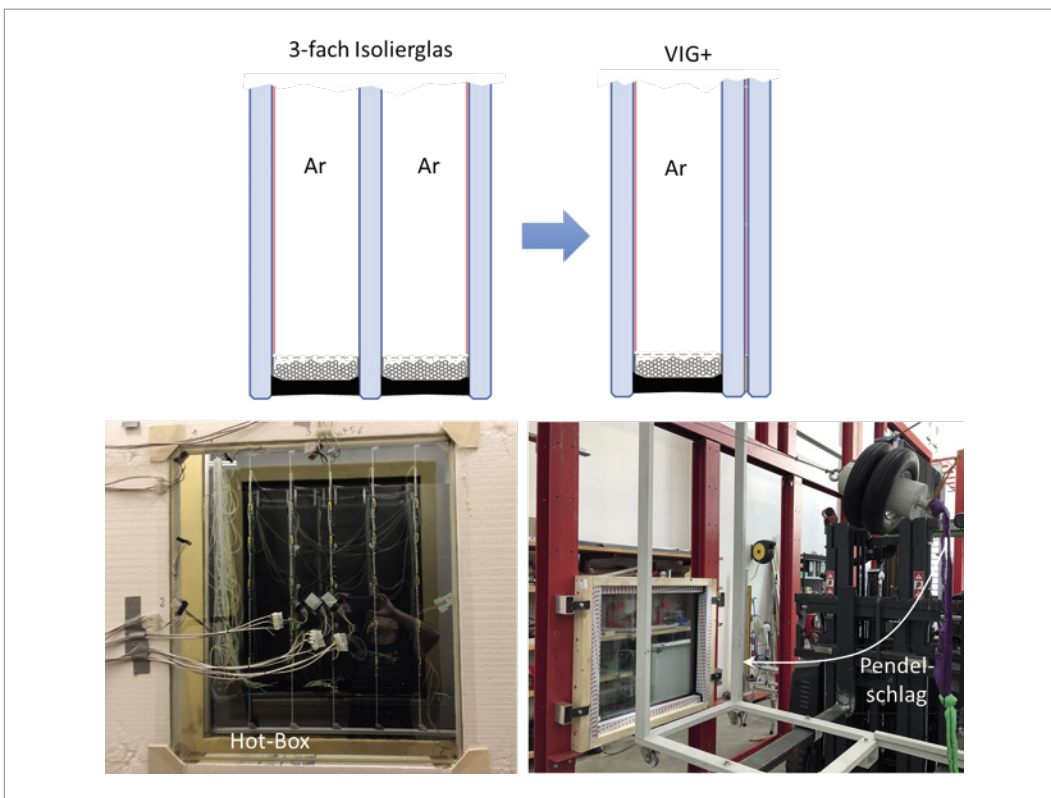


Abbildung 5

oben: Vergleich der Aufbaustärken von Fenstersystemen:

links: herkömmliches 3-fach Isolierglas
rechts: hybrides VIG+ mit Vorsatzscheibe

unten: Tests am Fenstersystem VIG+

links: Messung der thermomechanischen Eigenschaften mittels Dehnungsmessstreifen in offener Hotbox
rechts: Pendelschlagtest zur Prüfung der Absturzsicherheit

(Quelle: ZAE Bayern)

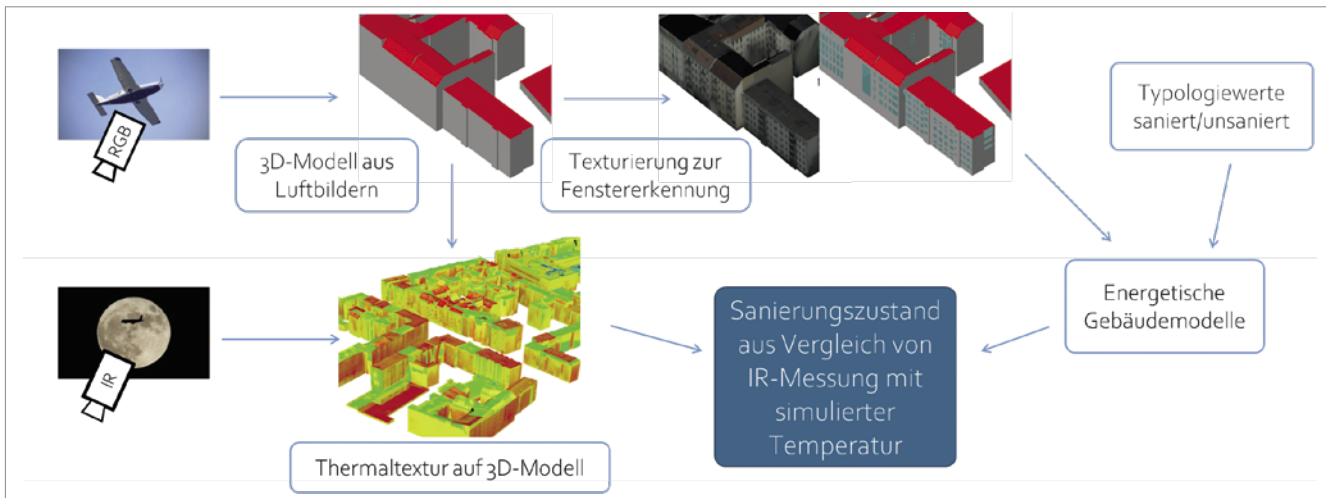


Abbildung 6
Großflächige energetische Bestandserfassung im Quartier
 Vorgehensweise mit Überflügen mit normaler und IR-Kamera. Die gewonnenen Daten werden durch Texturierung sowie Miteinbeziehung von Typologiewerten und GIS-Daten präzisiert.
 (Quelle: DLR)

Abbildung 6 Fenster- und Fassadenelemente mit hybridem Vakuumisoliertglas

Im BMWK-geförderten Verbundforschungsvorhaben FFS-VIG (FKZ 03EGB0021A) werden hochwärmedämmende und schlanke Fenster- und Fassadensysteme mit einer hybriden Verglasung bestehend aus Vakuum-Isoliertglas (VIG) mit Vorsatzscheibe (VIG+) zu aufeinander optimierten Systemen (FFS-VIG) entwickelt, getestet und im praktischen Einsatz erprobt (► *Abbildung 5*).

In Hinblick auf die Novellierung des Gebäudeenergiegesetzes in 2023 schafft FFS-VIG die Voraussetzung, dass im Neubau die Fensterflächen gleich groß bleiben oder sogar größer ausfallen können. Weiterhin ermöglicht die geringe und anpassbare Aufbaustärke von VIG+ den Einsatz in Bestandsgebäuden als Ersatz für eine Doppelverglasung, wodurch enorme Energieeinsparpotenziale erschlossen werden können. Die Vorsatzscheibe garantiert eine hohe Dauerhaftigkeit der Vakuum-Isoliertglas-Systeme, deren Nachweis im Projekt anhand von zyklischen Belastungsprüfungen erbracht wurde. Aufgrund der erheblichen Verbesserung des Dämmwertes halbiert sich der Wärmeverlust durch die Fensterfläche im Vergleich zu aktueller Dreifach-Isolierverglasung auf 0,3 W/(m²·K). Allerdings fehlten noch effiziente Systemlösungen im Bereich thermisch und bauphysikalisch optimierter Rahmen und Fassaden, um das Potenzial auch ausschöpfen zu können. Im Rahmen von FFS-VIG wurden praktikable und wirtschaftliche Systemlösungen für den Rahmen und VIG+ als Pfosten/Riegel-Fassade, Fensterflügel und Dachfenster entwickelt.

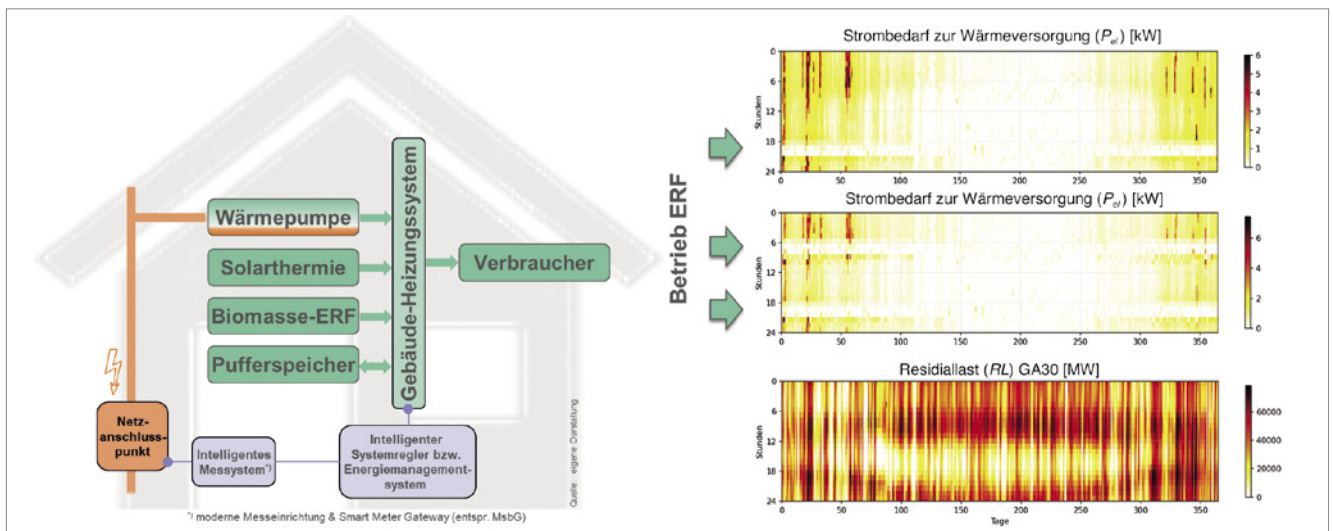
Nach erfolgreicher Erteilung der ZiE (Zustimmung im Einzelfall) soll der großflächige Einbau in das gesamte Obergeschoss des Demogebäudes erfolgen und einem Monitoring unterzogen werden.

Das maximale technische Einsparpotenzial durch den Einsatz von FFS-VIG+ im Gebäudebestand wurde anhand des Einsatzes in der deutschen Gebäudetypologie unter Annahme eines Gasbrennwertkessel zur Wärmebereitstellung ermittelt und beträgt auf die Endenergie bezogen 38 TWh/a bzw. auf Emissionen ca. 10Mio.tCO₂ äq.

Ermittlung des Sanierungsbedarfes aus Überflügen und Quartiersanalysen im Projekt „Gebäudetomograph“ (Gtom)

Eine schnelle Erfassung des Sanierungsbedarfs ist notwendig, um eine höhere Sanierungsquote zu realisieren und die effizientesten Maßnahmen als erstes anzugehen. Um großflächige Sanierungskonzepte umsetzen zu können, ist aber der Einsatz von Energieberatern (Gebäude für Gebäude) zu kleinteilig. Das DLR trägt mit dem Projekt „Gebäudetomograph“ (Gtom) dazu bei, dass mit aus Überflügen gewonnenen Daten der Sanierungsbedarf von Stadtteilen und Quartieren analysiert werden kann. Die einzelnen Schritte sind in ► *Abbildung 6* dargestellt.

Zunächst wird aus Luftbildern ein 3D-Modell der Gebäudekomplexe erstellt. Durch eine nachfolgende Texturierung werden Fenster erkannt und der entsprechende Flächenanteil bestimmt. Diese Daten fließen anschließend in energetische Gebäudemodelle ein, welche mit GIS-Daten (Geoinformationssysteme) und Statistiken (Zensus) zum Gebäudezustand ergänzt wird. Abschließend wird durch den Vergleich von Infrarot(IR)-Messungen aus Überflügen mit simulierten Temperaturen aus dem Gebäudemodell in Verbindung mit der bekannten Außentemperatur der konkrete Sanierungszustand der Gebäude ermittelt.



Das Gebäude als Teil des Energiesystems

Intelligenter Einsatz von Biomasseerzeugern als sektorübergreifende Flexibilitätsoption

Als sektorübergreifende Flexibilitätsoption hat das DBFZ im BMWK-geförderten Forschungsprojekt OptDienE (FKZ 03KB138) von August 2018 bis November 2021 das Potenzial untersucht, bei einem kombinierten Einsatz von biomassebasierten Einzelraumfeuerungen (ERF) und Wärmepumpen in Ein- und Zweifamilienhäusern (EZFH) in Deutschland die Last im Stromnetz durch dezentralen Leistungsausgleich verringern zu können.

Dazu wurden Hybridsysteme mit Einzelraumfeuerung (Typen: Kamineinsatz/Kaminkassette, Kaminofen, Offener Kamin) wie z. B.

- Einzelraumfeuerung + Wärmepumpe oder
- Einzelraumfeuerung + Solarthermie + Gastherme mit verschiedenen Anwendungsfällen und Rahmenbedingungen (z. B. Gebäudedämmung, Größe der Einzelraumfeuerung, Betriebsregime der Einzelraumfeuerung) untersucht (► *Abbildung 7*).

Es wurden rund 480 verschiedene Varianten simuliert. Im Ergebnis der Simulationen lassen sich in EZFH mit spezifischen Heizwärmebedarfen zwischen 25 und 287 kWh/(m²a) in Abhängigkeit der simulierten Konstellation maximale Reduzierungen des jährlichen Strombedarfs durch ERF bis zu 88% feststellen. Die festgestellten maximalen Reduzierungen des jährlichen Strombedarfs ausschließlich innerhalb der im Projekt selektierten Spitzenlastzeiten (6–9 und 18–21 Uhr) liegen zwischen 71 und 90% des jährlichen Strombedarfs für diese Zeitintervalle. Einen Anteil daran hat das Konzept, die ERF hydraulisch über eine Wassertasche in das Heizungssystem des Gebäudes zu integrieren, so dass überschüssig erzeugte Wärme gespeichert wird.

Potenzieller Beitrag für das erneuerbare Energiesystem:

- Aufgrund von Lagerfähigkeit des Brennstoffes und intelligentem Pufferspeichermanagement kann Residuallastschwankungen begegnet werden, die zukünftig noch weniger stark als heute festen zeitlichen Rhythmen folgen werden.
- Eine zielgerichtete Betriebsweise der ERF im Zusammenspiel mit Wärmepumpensystem und Solarthermie kann die Effizienz des Energieeinsatzes erhöhen durch:
 - Abgabe überschüssiger Wärme der ERF an das Gebäudeheizungssystem bzw. den Pufferspeicher
 - Einsatz von automatisierten Kommunikationslösungen bei der Bewertung von Zuständen des Stromnetzes am Netzanschlusspunkt

Die Hebung der vorhandenen Potenziale setzt jedoch Marktprodukte voraus, die das Angebot einer Lastverschiebungsoption auf Verbraucherseite monetär anerkennen.

Für die Jahre 2030 und 2050 wurde im Klimaschutzenszenario 95 (KS95) aufgrund von Gebäudeanzahl, Gebäudestruktur und ERF-Verteilung in Deutschland das größte Potenzial bei der Biomassefeuerung – bezogen auf die Anzahl der EZFH – im Cluster E90 (Heizwärmebedarf 60–120 kWh/(m²a) sichtbar [9,10].

Abbildung 7

(links) schematische Darstellung des untersuchten Wärmeversorgungssystems (rechts) Visualisierung des Systembeitrags der Heizungsanlage ohne Solarthermie

(Quelle: DBFZ)



Abbildung 8

Lokale Deckung des Wärmebedarfs mit PV-Anlage und Wärmepumpe:

Gebäudescharfe Berechnung für

(links) Großstadt Köln
(rechts) ländlich geprägtes Winterberg

(Quelle: FZ Jülich)

Lokale Photovoltaik und Demand-Side-Management als Alternative zu hoher Gebäudeeffizienz

Angesichts der derzeit häufig schlechten Verfügbarkeit von Handwerkern, hohen Kosten für Wärmedämmung-Verbundsysteme und anhaltend niedrigen Renovierungsraten erscheint es zweifelhaft, ob innerhalb der nächsten Jahre die Effizienzziele der Bundesregierung für Wohngebäude erreicht werden können. Eine Alternative kann die lokale Erzeugung mit einer Photovoltaik-Anlage sein. Das FZ Jülich untersucht, wie der lokal erzeugte Strom direkt von einer Wärmepumpe verwendet werden kann, um das Haus zu beheizen. Bei hinreichend großer Photovoltaik-Anlage kann auch im Winter noch genug Strom erzeugt werden, um den Bedarf aus dem Netz signifikant zu senken. Bei abgestimmter Anlagenkonfiguration und optimaler Fahrweise der Wärmepumpe kann eine PV-Anlage mit 10 kWp ca. 50% des Bedarfs eines mittleren Einfamilienhauses mit 20.000 kWh Wärmebedarf decken, wenn an die PV-Anlage nur die Wärmepumpe angeschlossen ist. Erste Studien ergaben, dass z. B. in Köln 47% der Gebäude mindestens 50% des Wärmebedarfs und in ländlichen Gebieten, z.B. der Gemeinde Winterberg (► *Abbildung 8*), über 74% der Gebäude über 50% des Wärmebedarfs mit lokaler Erzeugung decken könnten [11].

Wirtschaftlich kann dies insbesondere für Gebäude mittlerer Effizienz sein, in denkmalgeschützten Gebäuden, oder wenn eine Verfügbarkeit von Handwerkern für die Gebäudesanierung gering ist. Allerdings erreicht man solche Effizienzen nur bei optimierter Betriebsweise, signifikanten Speicherkapazitäten und der Nutzung des Gebäudes als thermischer Speicher. Die gegenwärtige Anlagentechnik bietet entsprechende Möglichkeiten nur

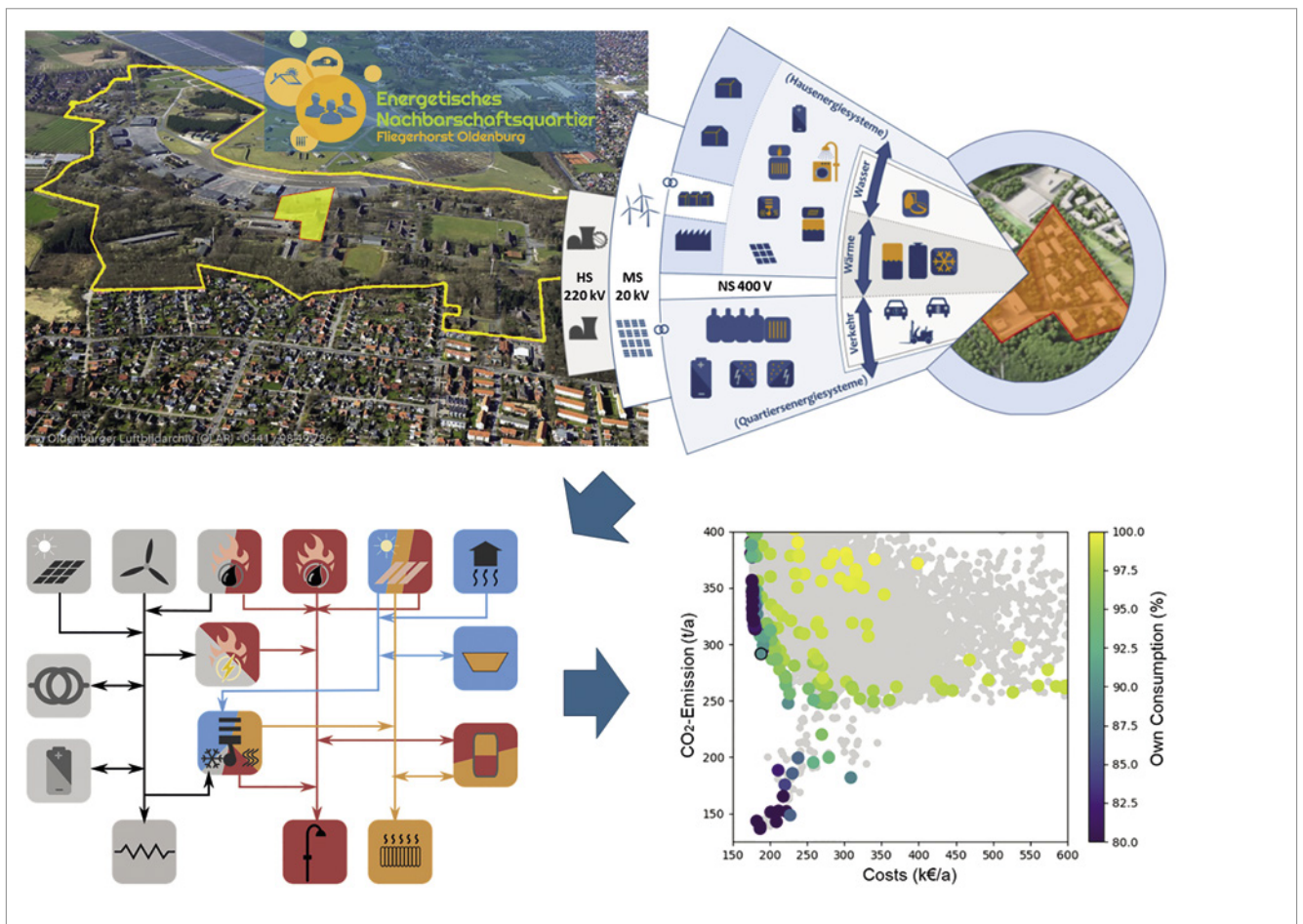
vereinzelt. Das IEK-3 des Forschungszentrums Jülich implementiert aktuell verschiedene typische Steuerungsalgorithmen in der Open-Source-Gebäude-Software HiSim, um entsprechende Standards zu erarbeiten [12]. Mitstreiter sind willkommen.

Intelligente Betriebsführung für ein erneuerbares Energiesystem

Im Rahmen des Forschungsprojektes „Energetisches Nachbarschaftsquartier“ (ENaQ), ebenfalls vom BMWK gefördert, wird vom DLR die intelligente Betriebsführung des Quartiers in einem erneuerbaren Energiesystems untersucht. Das Design und die Betriebsführung von den Energiesystemen (Quartiere und Gebäude) werden mit dem Modellierungsframework MTRESS (Model Template for Renewable Energy Supply Systems) untersucht. Dieses erlaubt vielfältige Optimierungsoptionen unter Verwendung eines Technologieportfolios z. B. hinsichtlich Wirtschaftlichkeit, Emissionen und Eigenverbrauchsanteil (► *Abbildung 9*).

Darüber hinaus werden hochauflösende Planungs-werkzeuge für Quartiere erarbeitet. Dazu gehören GIS-basierte Potenzialabschätzungen und Tomographie-basierte Gebäudevermessung als Input für den Sanierungsbedarf.

Neben diesen systemischen Ansätzen werden auch innovative EE-Technologien als sektorenkoppelnde Elemente für TGA, Gebäudehülle, Gastechnik, Schnittstellen zur Mobilität im Labor unter realitätsnahen Bedingungen erprobt und validiert, um diese in Gesamtkonzepte zu integrieren (z. B. Hybride Heizsysteme mit Brennstoffzellen-Fahrzeugen). Außerdem steht auch die Entwicklung selbstoptimierender Betriebsführungen inklusive hochaufgelöster Prognosemethoden und Verifizierung der Betriebs-



führung in Laborumgebung im Fokus. Zum Abschluss des Projektes wird die optimierte Betriebsführung der innovativen EE-Technologien in die Reallaborumgebung „Energetisches Nachbarschaftsquartier“ (ENaQ) in Oldenburg übertragen und verifiziert.

Zusammenfassung

Der klimaneutrale Gebäudebestand, der zum Erreichen der Pariser Klimaschutzziele schneller denn je erreicht werden muss, kann durch das synergetische Zusammenwirken von erhöhter Gebäudeeffizienz, den Einsatz erneuerbarer Energien (Schlüsseltechnologien Wärmenetze und Wärmepumpe), den intelligenten Betrieb der Gebäude und Quartiere selbst sowie die Bereitstellung von Netzdienlichkeit und Flexibilitäten im künftigen Energiesystem (Speicher), erreicht werden.

Allerdings sind auf dem Weg dorthin Hemmnisse zu überwinden. Beispielsweise stellt sich die Frage, wie man die Intelligenz effizient und bezahlbar in den Altbau bringen kann. Akut stellt der Fachkräftemangel (Energieberater, Handwerker ...) ein großes Umsetzungshemmnis dar, das die Erhöhung der

Sanierungsrate verlangsamt. Für die Gebäudeeigentümer wirken weiterhin die stark gestiegenen Investitionskosten in den letzten beiden Jahren abschreckend, wobei die in den letzten Jahren häufig wechselnden Rahmenbedingungen in der Förderung ebenfalls zu Unsicherheiten bei Investitionsentscheidungen führten. Auf der anderen Seite kann man die hohen Energiepreise auch als Ansporn ansehen, denn der Handlungsdruck war noch nie so groß wie heute.

Abbildung 9
Schematische Darstellung zur Optimierung erneuerbarer Energiesysteme für Gebäude und Quartiere
(Quelle: DLR)

Literatur

- [1] BMWK, „Gesamtausgabe der Energiedaten – Datensammlung des BMWK,“ 20.01.2022. [Online]. Available: <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Artikel/Energie/energiedaten-gesamtausgabe.html>
- [2] Umweltbundesamt, „Treibhausgas-Emissionen in Deutschland,“ 15.03.2022. [Online]. Available: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/klima/treibhausgas-emissionen-in-deutschland#entwicklung-der-treibhausgase-kohlendioxid-methan-distickstoffoxid>
- [3] BDEW, „Daten und Grafiken – Wohnen und Heizen,“ 08/2022. [Online]. Available: <https://www.bdew.de/service/daten-und-grafiken/?tags=wuh>.
- [4] HomeMatic, „Pilotprojekt belegt: smarte Homematic-IP-Thermostate sparen 31 % Energie,“ 07.10.2022. [Online]. Available: <https://www.imtest.de/287108/news/pilotprojekt-belegt-smarte-homematic-ip-thermostate-sparen-31-energie/>.
- [5] TH Köln, „Forschungsprojekt: Energieersparnis durch Smart HomeSysteme,“ 2018.
- [6] S. Beucker und S. Hinterholzer, „Energieeinsparung durch Gebäudeautomation – Ausgewählte Fallbeispiele,“ Borderstep Institut, Berlin, 2021.
- [7] C. Schmidt, G. Luther, H. Altgelt, S. Maars, B. Groß und F. Scholzen, „Außenliegende Wandtemperierung – LowEx-Anwendung zur Temperierung von Bestandsgebäuden und thermischen Aktivierung der Bestandswand: theoretische Grundlagen und Kennwerte,“ Bauphysik 39, Nr. 4, 2017.
- [8] C. Schmidt, H. Altgelt, B. Groß, G. Luther, S. Maars und F. Scholzen, „Außenliegende Wandtemperierung – Praktische Umsetzung anhand eines Demonstrationsgebäudes und Ermittlung der Systemkosten,“ Bauphysik 40, Nr. 4, 2018.
- [9] M. Koch, K. Hennenberg, K. Hünecke, M. Haller und T. Hesse, „Rolle der Bioenergie im Strom- und Wärmemarkt bis 2050 unter Einbeziehung des zukünftigen Gebäudebestandes,“ FKZ 03KB114, 2018.
- [10] D. Thrän, N. Szarka, H. Haufe, V. Lenz, S. Majer, K. Oemichen, M. Jordan, M. Millinger, R. Schaldach und J. Schüngel, „BioplanW: Systemlösungen Bioenergie im Wärmesektor im Kontext zukünftiger Entwicklungen: Schlussbericht,“ DBFZ-Report 36, Leipzig, 2020.
- [11] K. Dabrock, K. Knosala, N. Pflugradt, H. Beuth, L. Kotzur und D. Stolten, „The Potential of Combined PV and Air Source Heat Pump Systems in German Residential Buildings,“ in Eurosun, 2022.
- [12] „Github link zur Open-Source-Gebäudesoftware HiSim,“ [Online]. Available: <https://github.com/FZJ-IEK3-VSA/HiSim>.