

Effiziente Wärmesysteme in Wohngebäuden

Dr. Raphael Niepelt, Oliver Mercker • ISFH

M.Eng. Dipl.-Ing. (FH) Daniel Büchner • DBFZ

Prof. Dr. Bernhard Hoffschmidt, Dr. Jacob Schmiedt • DLR

Dipl.-Ing. Johann Reiß • IBP

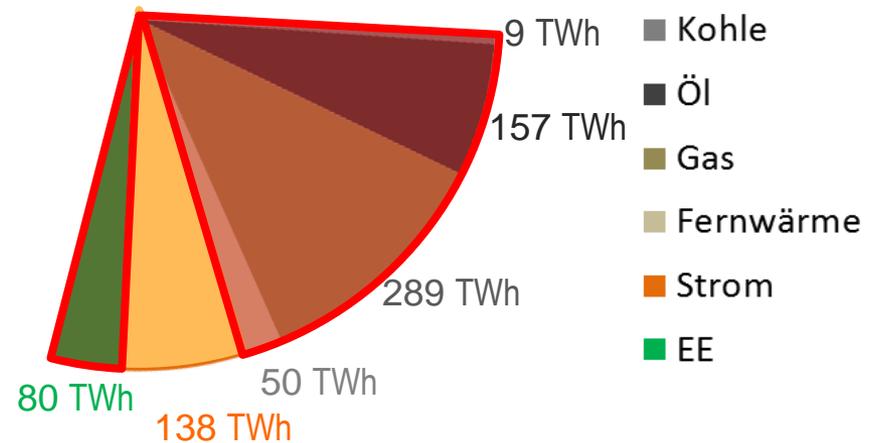
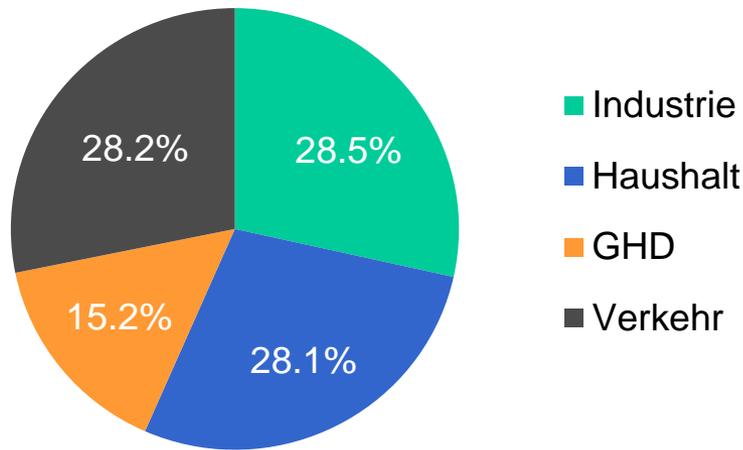
M.Eng. Christoph Schmidt • IZES

Dipl.-Phys. Stephan Weismann • ZAE

Energieverbrauch in Deutschland nach Sektoren

Endenergieverbrauch D 2013: 2575 TWh

Davon 723 TWh in Haushalten

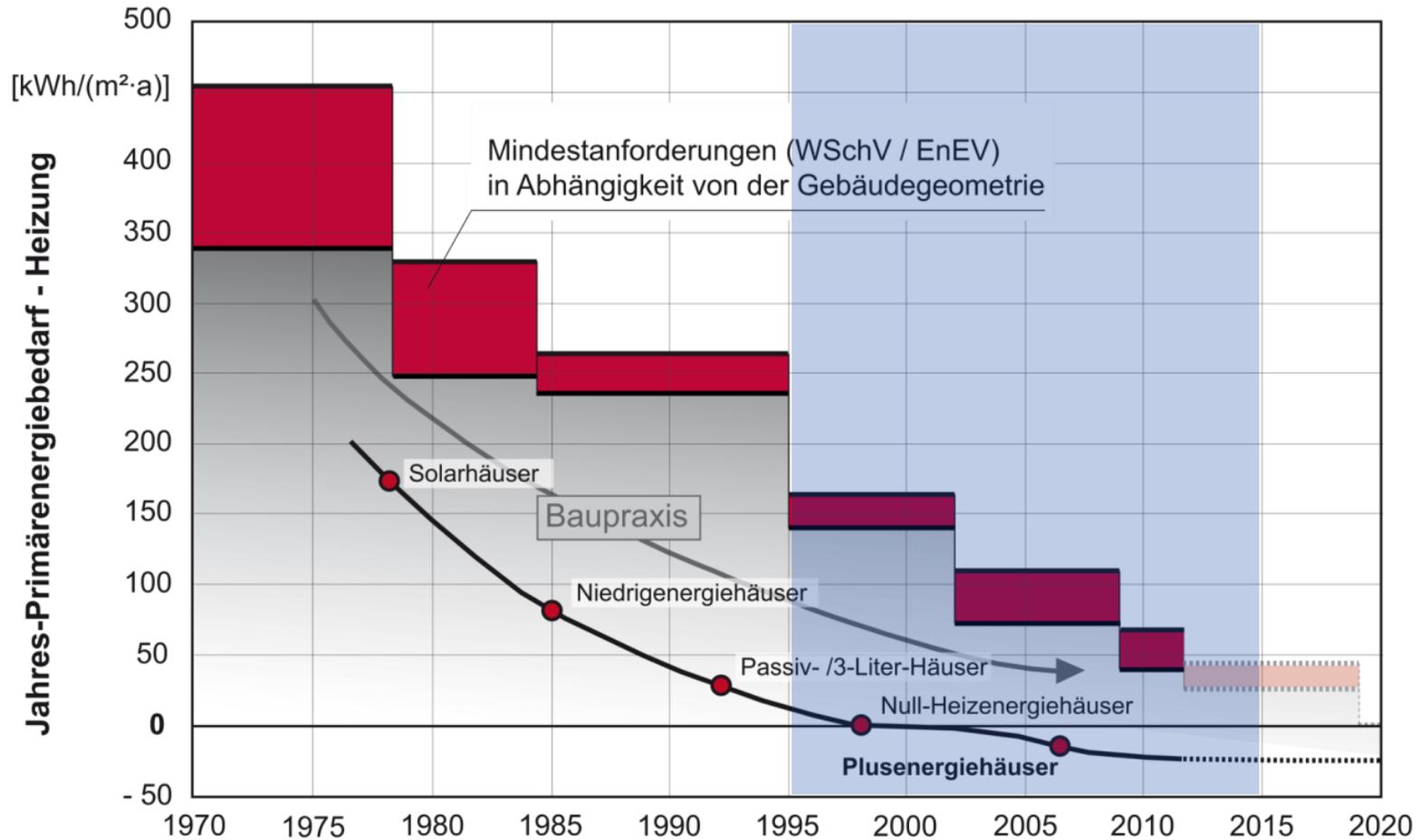


➔ **79% Nicht-Strom!**

Quelle: AGEB

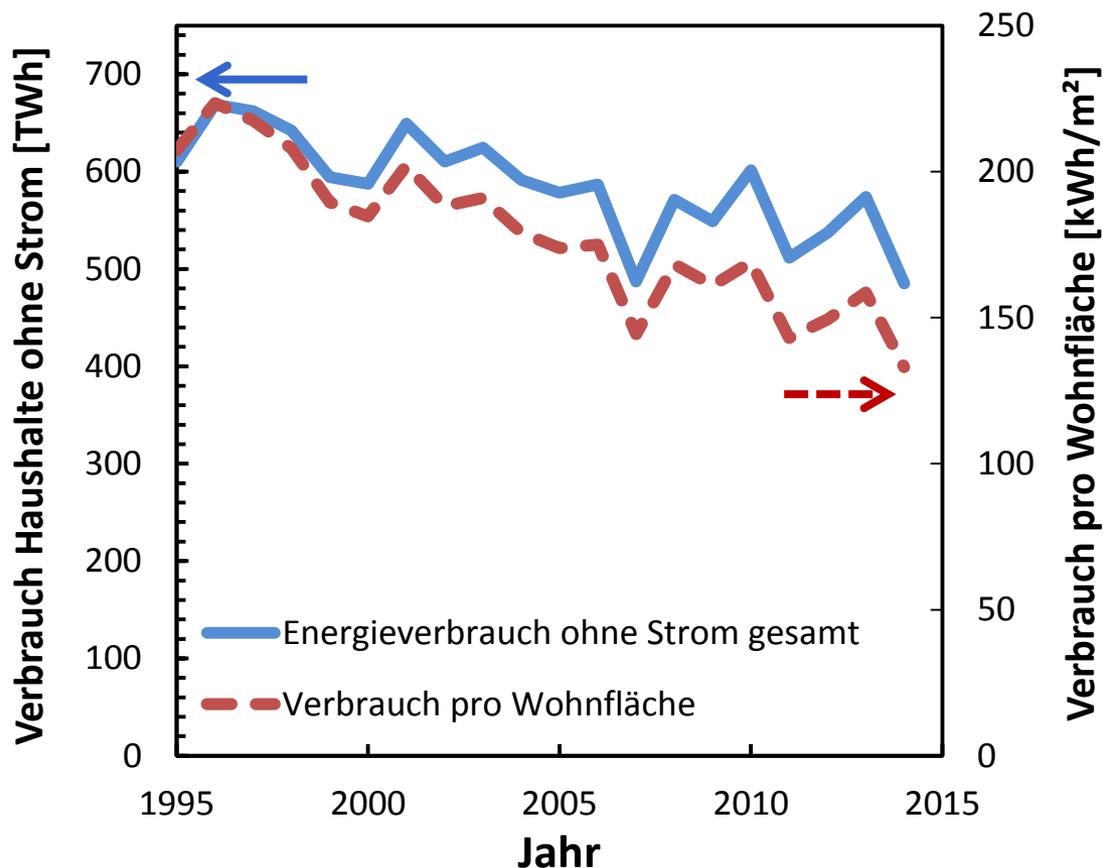
- Haushalte haben deutlichen Anteil am Endenergieverbrauch
- Ca. **80%** des Energieverbrauchs in Haushalten zum Bereitstellen von Wärme verwendet

Entwicklung des energieeffizienten Bauens



Quelle: TUM, Lehrstuhl für Bauphysik, Prof. Dr.-Ing. Gerd Hauser

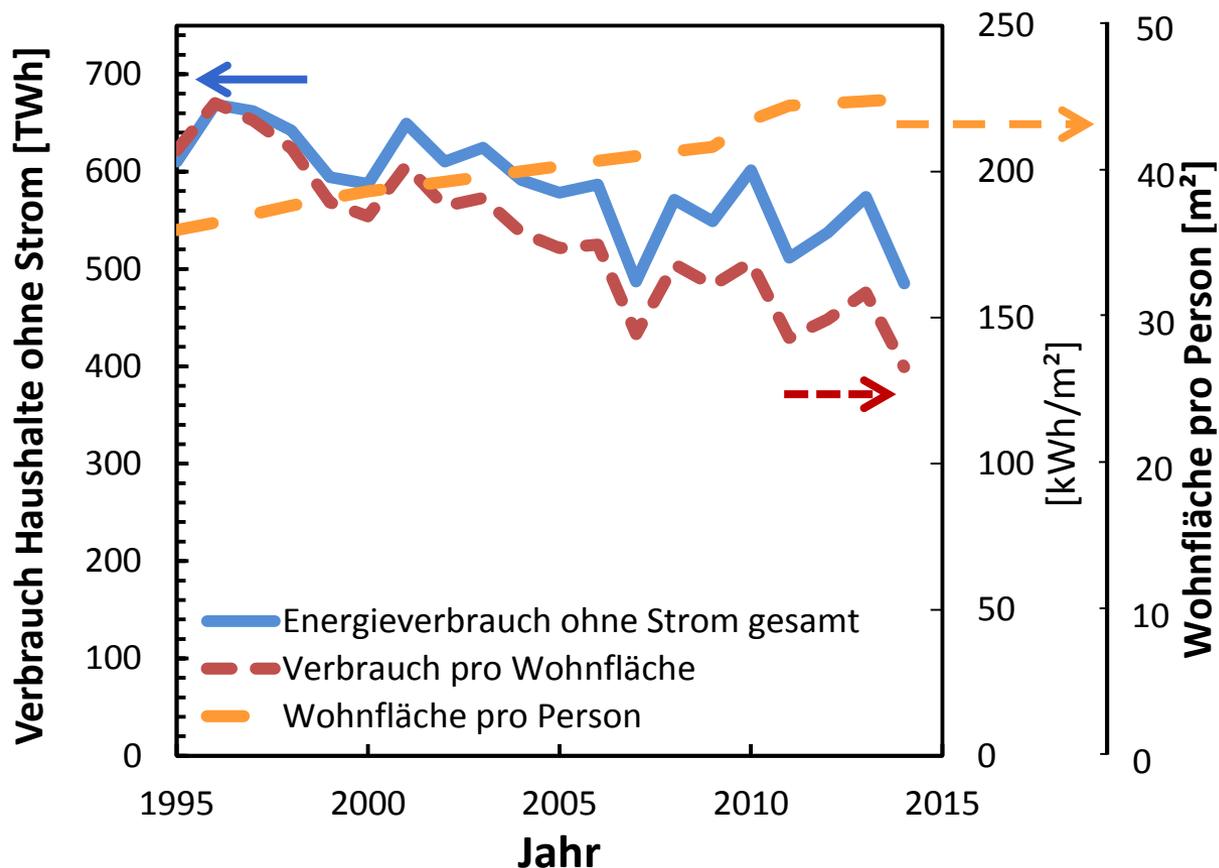
Entwicklung des Energieverbrauchs für Wärme in Haushalten



Quellen: DESTATIS
AGEB

➔ Energieverbrauch pro Fläche und Gesamtverbrauch divergent

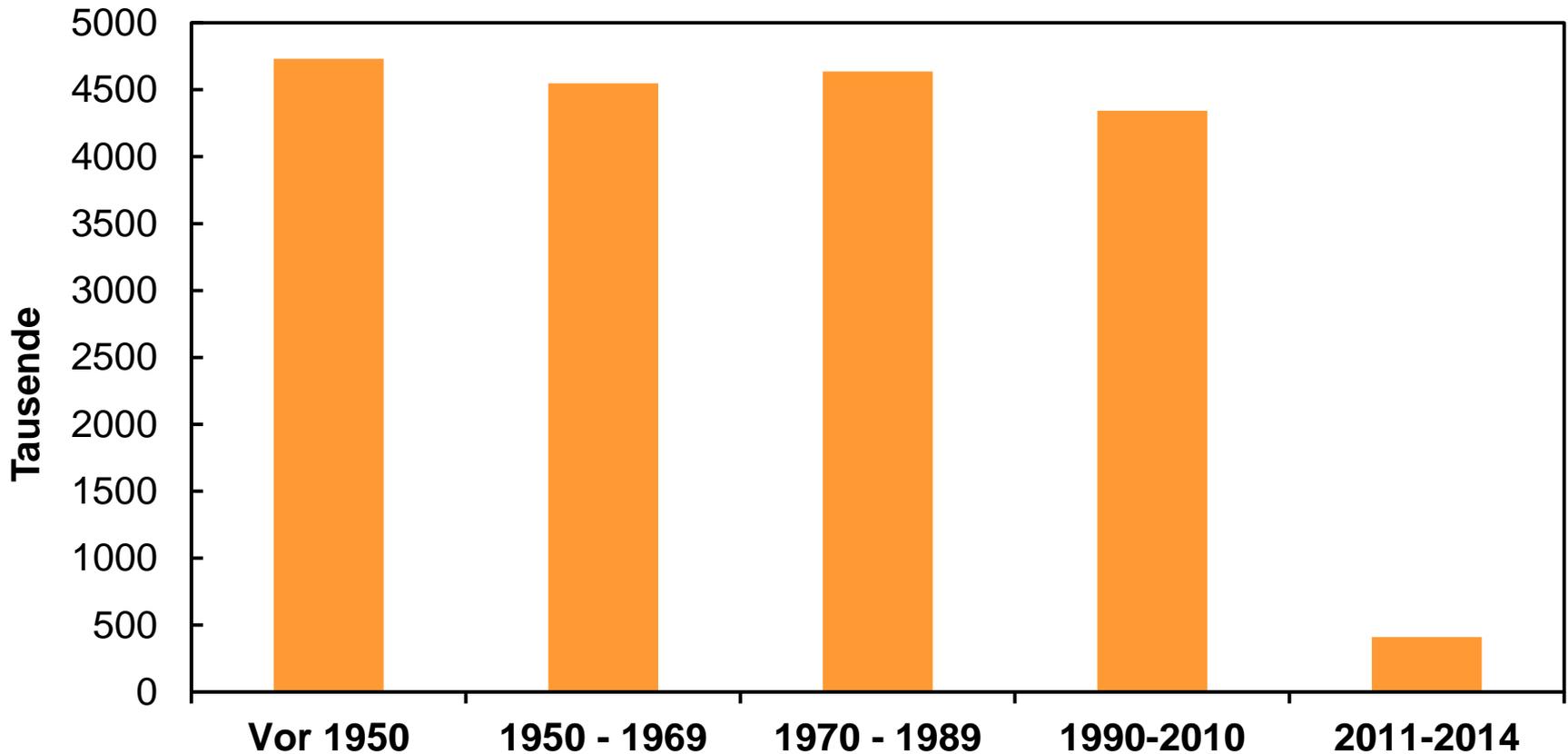
Entwicklung des Energieverbrauchs für Wärme in Haushalten



Quellen: DESTATIS
AGEB

➔ Wohnflächenverbrauch berücksichtigen!

Wohngebäudebestand nach Baujahr 2014

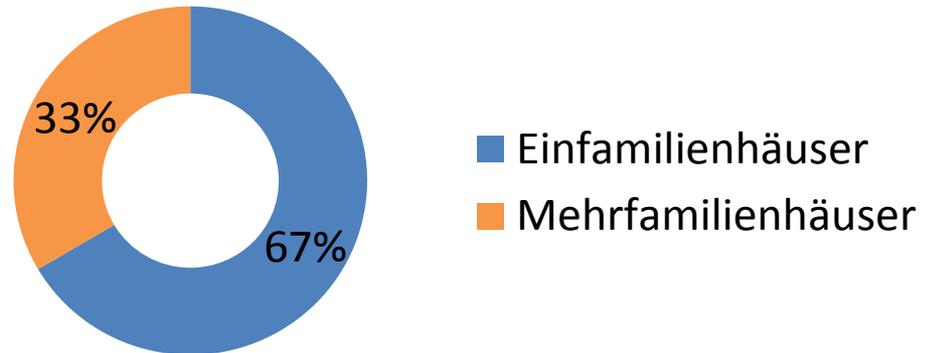


Quellen: Zensus2011
DESTATIS

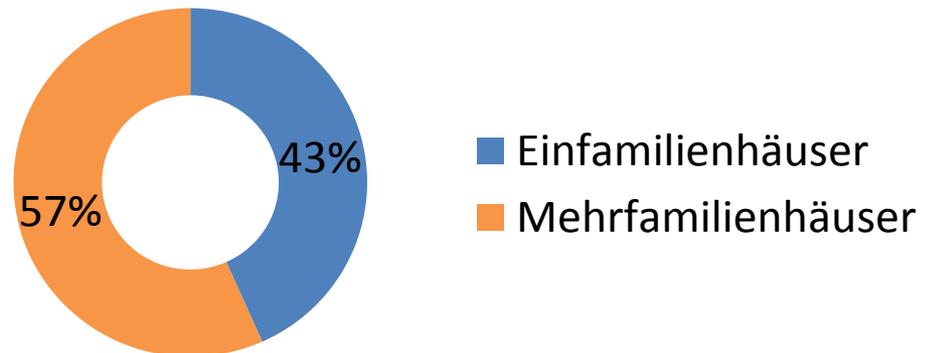
➔ Für die Wärmewende müssen Bestandsimmobilien mitgenommen werden!

Wohngebäudebestand in Deutschland 2014

Anteilig nach Anzahl
der Häuser:



Anteilig nach
Wohnfläche:

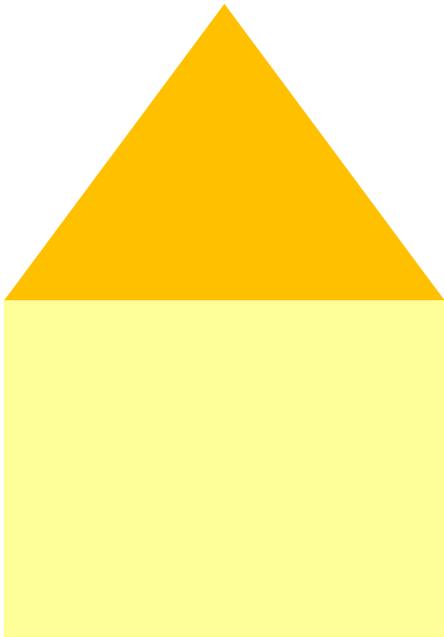


Quelle: DESTATIS

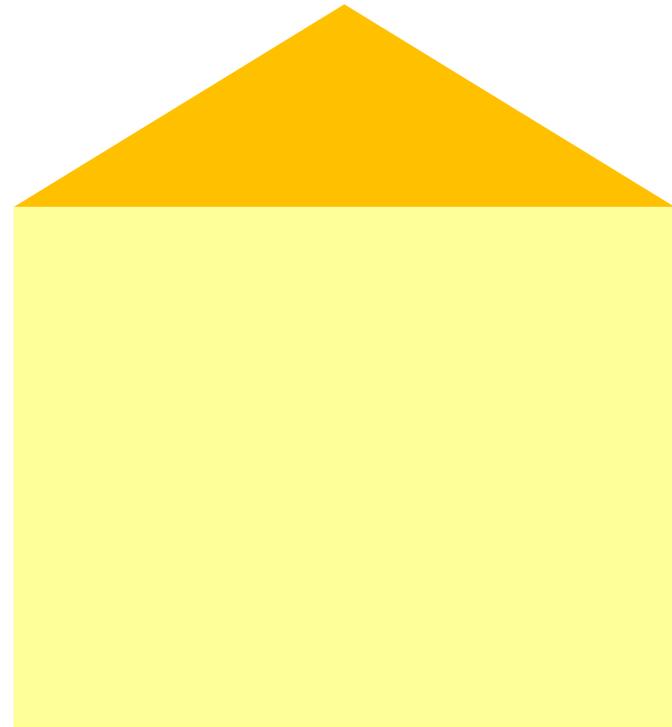
➔ Ein- und Mehrfamilienhäuser mit signifikantem Anteil am Bestand

F&E zu effizienten Wärmesystemen im FVEE

Einfamilienhäuser



Mehrfamilienhäuser



F&E zu effizienten Wärmesystemen im FVEE

Einfamilienhäuser

Mehrfamilienhäuser

Systemanalyse und Systemsimulation

Wechselwirkungen im und mit anderen Systemen

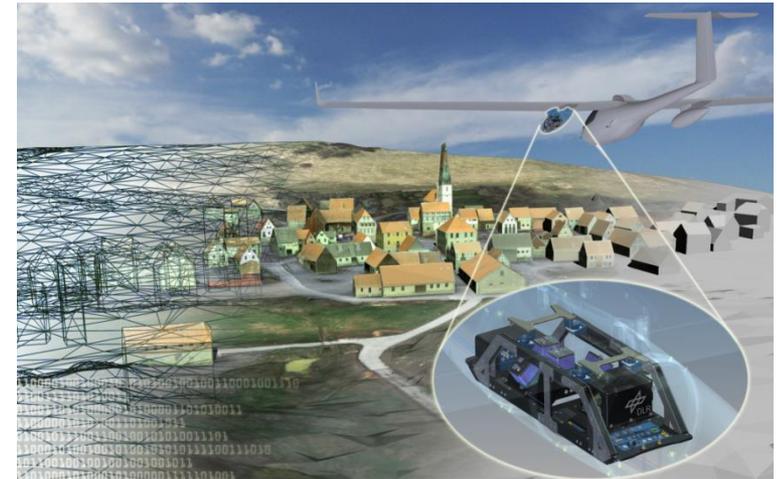
Entwicklung von neuen, effizienten Systemen

Effizienzmaßnahmen bei Systemen im Bestand

Luft- und satellitengestützte Analyse von Wärmesystemen



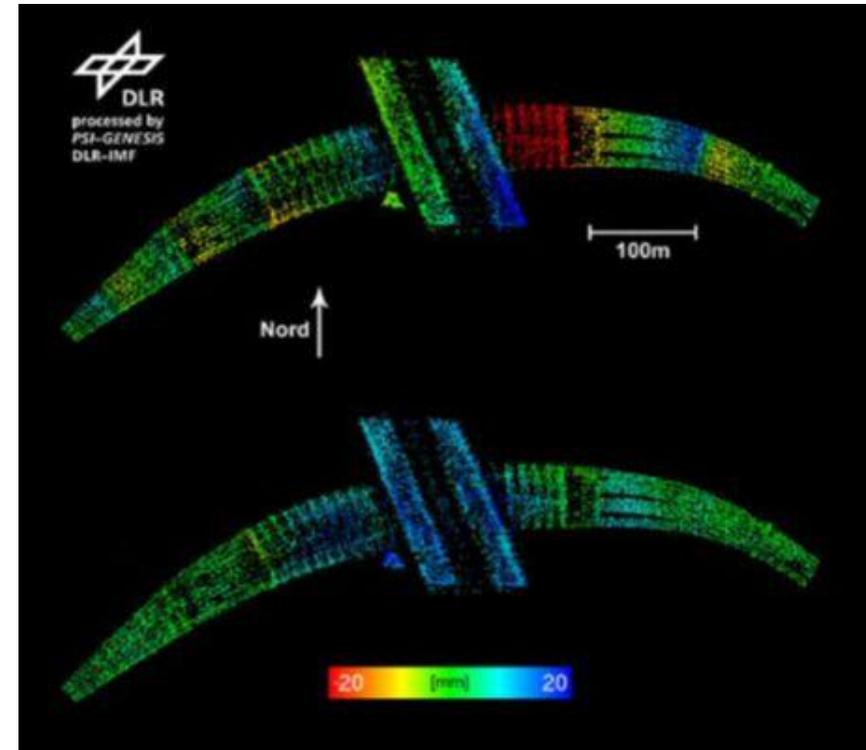
- Bündelung der DLR-Kompetenzen aus Fernerkundung, Sensortechnik, Modellierung, Simulation zur Datenerhebung
- Messdaten geben Input für Gebäudesimulation
- Analyse auf allen Größenskalen



Luft- und satellitengestützte Analyse

Beispiel: Gebäudetomographie

- Erstellung hochaufgelöster 3D-Modelle aus Überflügen
- Thermische Deformation von Gebäuden mit Radarinterferometrie von Satelliten messbar
- Optimierung gängiger Verfahren zur Gebäudeanalyse wie Thermographie
- Ergänzend weitere Verfahren, z.B. Ultraschall oder Mikrowellensensorik
- Mobile Einsatzfähigkeit der Sensortechnik und kurze Messzeiten

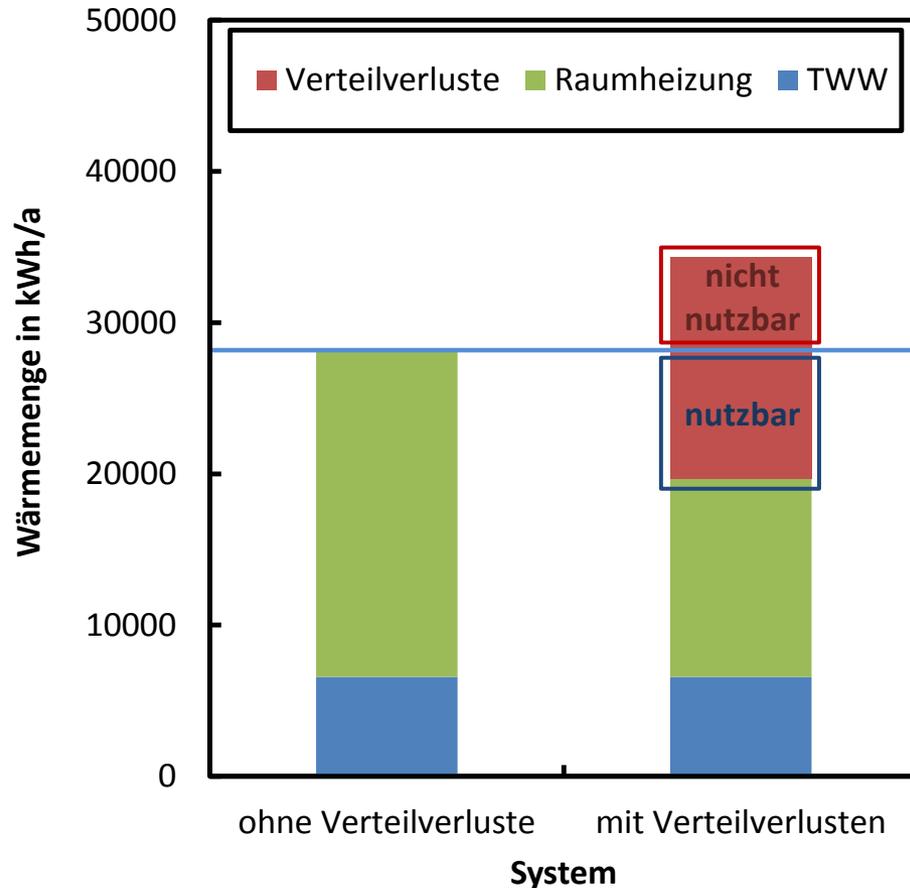


Größe der periodischen Deformation des Berliner Hbf in Ost-West-Richtung (oben) und der Höhe (unten)

Gebäudetomographie – Berlin Tiergarten



Energieeffiziente Wärmeversorgung von MFH durch Vermeidung fossil gedeckter Wärmeverteilverluste



- Verteilverluste (ungeregelte Wärmeeinträge): Erwärmung über Raumsolltemperatur und höhere Transmissions- und Lüftungsverluste
- Einfluss steigt mit sinkendem Nutzwärmebedarf:
(Beispiel: 28 kWh/(m²a) Verlust bei 74 kWh/(m²a) Wärmeverbrauch = **43 % Anteil an Gesamtwärmemenge**)
- **Energieeinsparung durch Sanierung in Praxis oft (viel) geringer als in Theorie**

Zentrale Fragestellung:

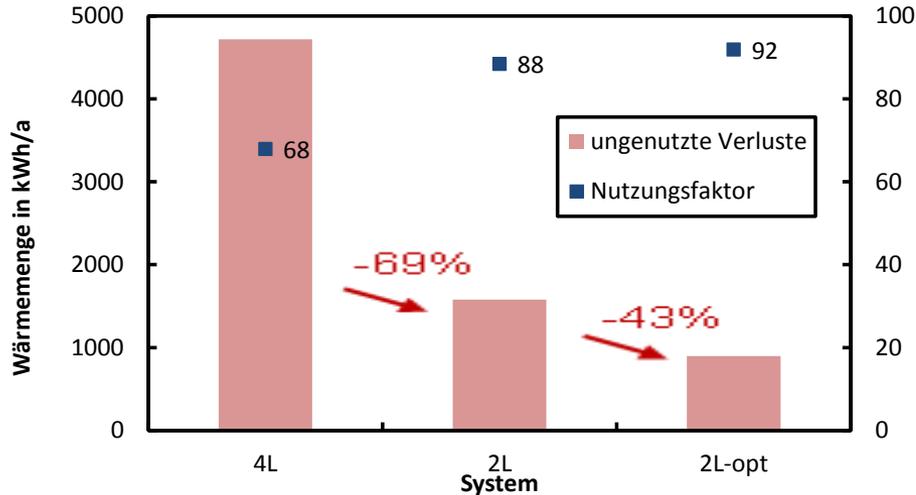
- Wie sieht ein optimales Wärmeverteilkonzept aus?

Gefördert durch:



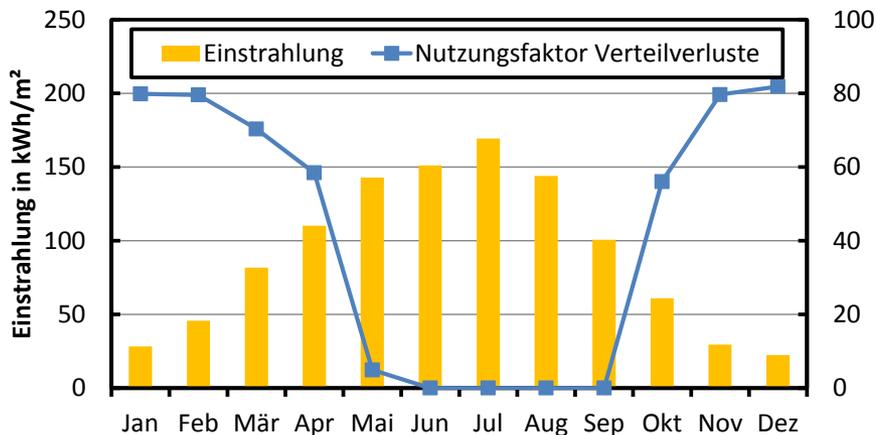
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Energieeffiziente Wärmeversorgung von MFH durch Vermeidung fossil gedeckter Wärmeverteilverluste



Dezentrale TWW-Erwärmung:

- Übergang von Vierleiternetz (4L) auf Zweileiternetz (2L) reduziert ungenutzte Wärme um 69 %
- Heizungsgeführte Vorlauftemperatur im 2L durch dezentrale TWW-Nacherwärmung weitere 43 %



Einbindung Solarthermie:

- Nicht nutzbare Verteilverluste und Einstrahlung korrelieren stark
- Voldeckung nicht nutzbarer Verteilverluste bei 2 m² KF pro Person (hier: 32 m² → 26 % Gaseinsparung)
- Einfache Möglichkeit zur Kompensation von Verlusten: Mehr Kollektorfläche!

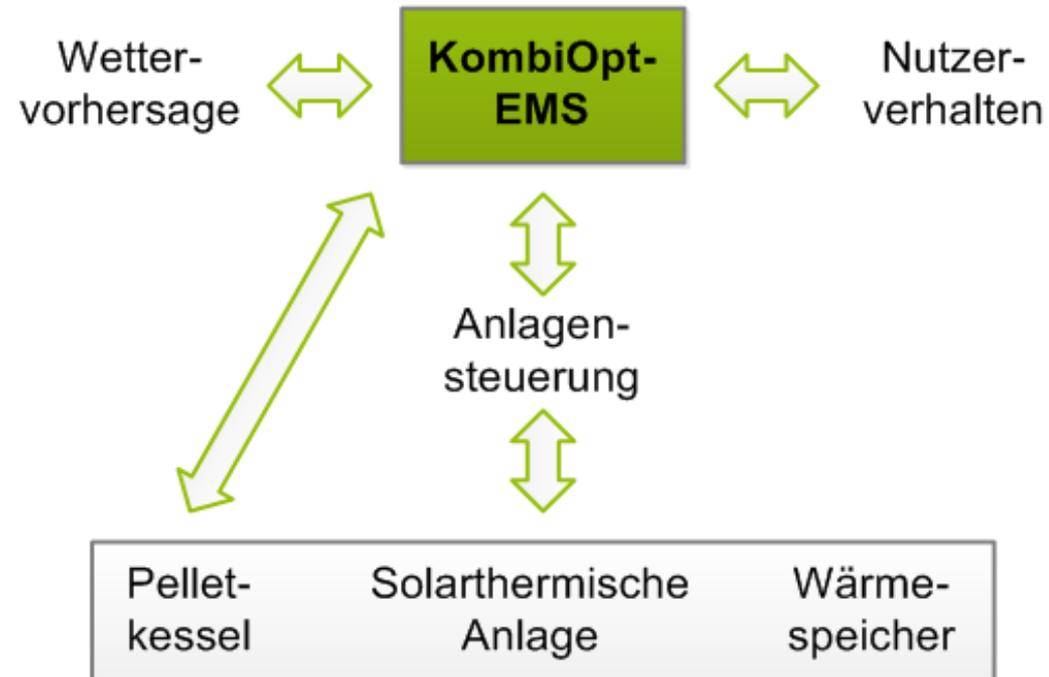
KombiOpt – Energiemanagement zur kombinierten Nutzung erneuerbarer Energien



- Reduzierung des Endenergiebedarfs von Pellet-Solar-Kombisystemen durch modellbasierte prädiktive Regelung
- Eignung als Nachrüstlösung bzw. Erweiterung

Erste Ergebnisse:

- Deutliche Reduzierung des Endenergieverbrauchs
- Signifikante Steigerung der solaren Erträge



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages



KombiOpt – Energiemanagement zur kombinierten Nutzung erneuerbarer Energien



Referenzgebäude:

- Einfamilienhaus im Raum Karlsruhe
- Beheizte Grundfläche 240 m²
- Nutzenergiebedarf 50 kWh/m²a
- Pelletkessel mit 15 kW Leistung
- Kesselnutzungsgrad 75 %
- Kollektorfläche 10 m²
- Solarer Deckungsgrad 25 %
- Puffervolumen 840 Liter



3D-Modell des Referenzgebäudes

Optimierung des Anlagenbetriebs:

- Betrieb des Kessels mit hoher Last
- Reduzierung der Kesselstarts
- Erhöhung des solaren Deckungsgrades

KombiOpt – Energiemanagement zur kombinierten Nutzung erneuerbarer Energien



Referenzgebäude:

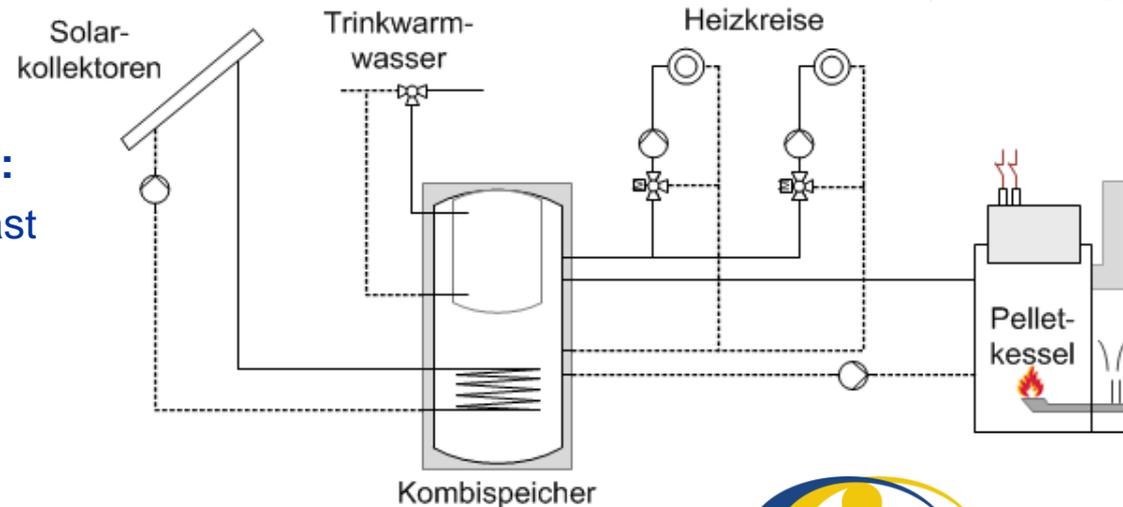
- Einfamilienhaus im Raum Karlsruhe
- Beheizte Grundfläche 240 m²
- Nutzenergiebedarf 50 kWh/m²a
- Pelletkessel mit 15 kW Leistung
- Kesselnutzungsgrad 75 %
- Kollektorfläche 10 m²
- Solarer Deckungsgrad 25 %
- Puffervolumen 840 Liter



Quelle: ÖkoFEN

Optimierung des Anlagenbetriebs:

- Betrieb des Kessels mit hoher Last
- Reduzierung der Kesselstarts
- Erhöhung des solaren Deckungsgrades



Experimentalanlage „Integrierte Strom- und Wärmeversorgungssysteme in Gebäuden“



Flexible realistische Untersuchungsmöglichkeiten:

- Vergleich von Messungen mit Simulationsergebnissen
- Betrieb an repräsentativen Typtagen zur Funktionsprüfung und Jahresbilanzierung
- Freier Zugriff auf Betriebs- und Regelparameter sowie Komponentenauswahl



Variable Konzeption der Experimentalanlage:

- Unterschiedlichste Kombinationen von Strom- und Wärmesystemen möglich
- Vorgegebenes Wetter steuert Strom- und Wärmeangebot und Bedarf
- Untersuchung dynamischer Effekte möglich



Experimentalanlage „Integrierte Strom- und Wärmeversorgungssysteme in Gebäuden“



Heizkreis-Emulator

Kombi-Pufferspeicher

Frischwasserstation

Heizstäbe

Last-Emulatoren

PV-WR

PV-Batteriespeicher

PV-Emulator

Wärmepumpe + Quelle



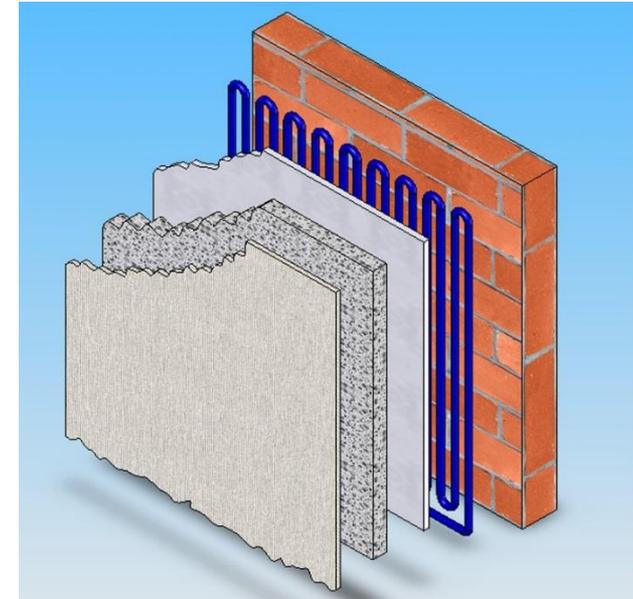
LEXU II – Einsatz von außenliegender Wandtemperierung bei der Gebäudesanierung

Die außenliegende Wandheizung (aWH) wird zwischen Bestandswand und einem Wärmedämmverbundsystem (WDVS) aufgebracht:

- „Sanierung von außen“ möglich
- Niedrige Vorlauftemperaturen
- Thermische Aktivierung der Bestandswand
- Gesteigertes Wohlbefinden durch warme Wände

In dem Forschungsprojekt soll die praktische Umsetzbarkeit der Ergebnisse aus dem vorangegangenen Projekt LEXU nachgewiesen werden:

- Erweiterung der aWH zu einer außenliegenden Luftheizung (aLH)
- Feldtest der aWH/aLH mit PVT-Kollektoren, Eisspeicher und Wärmepumpe
- Kombination von aWH/aLH mit einer neu entwickelten transkritischen CO₂-Wärmepumpe



Explosionszeichnung der aWH (schematisch)

Gefördert durch:



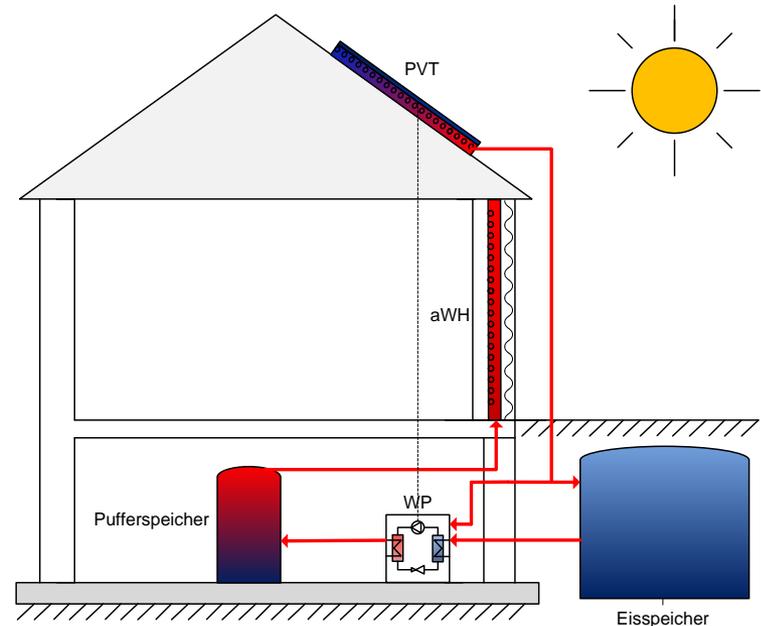
Bundesministerium
für Wirtschaft
und Technologie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

LEXU II – Einsatz von außenliegender Wandtemperierung bei der Gebäudesanierung

Feldtestgebäude an der Universität des Saarlandes (UdS):

- Bürogebäude aus den 70er Jahren
- Belegte Fassadenfläche aWH: ca. 140 m²
- Belegten Fassadenfläche aLH: ca. 6 m²
- Eisspeicher: 10 m³
- Kollektoren: 12 PVT-Kollektoren, 3kW_{peak,elektr.}



Schema des niederexergetischen Temperierungssystems



Flächentemperierung auf der Fassade



Matten werden verputzt

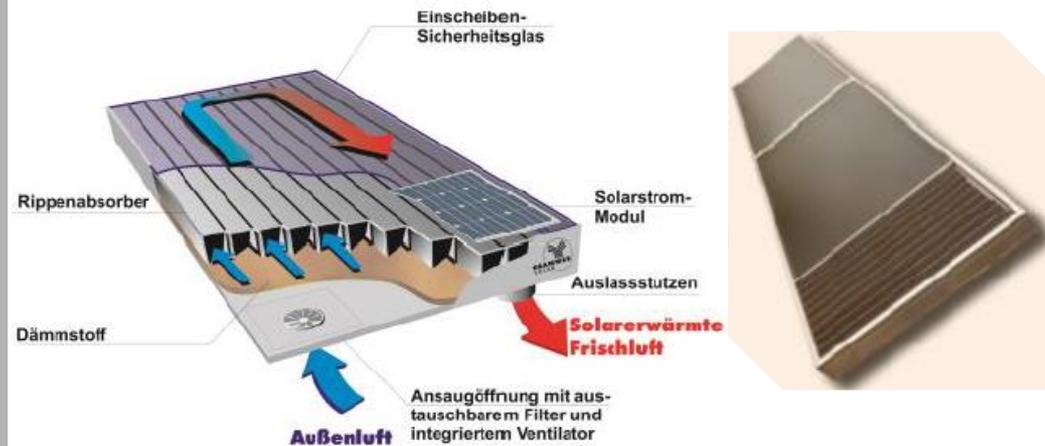
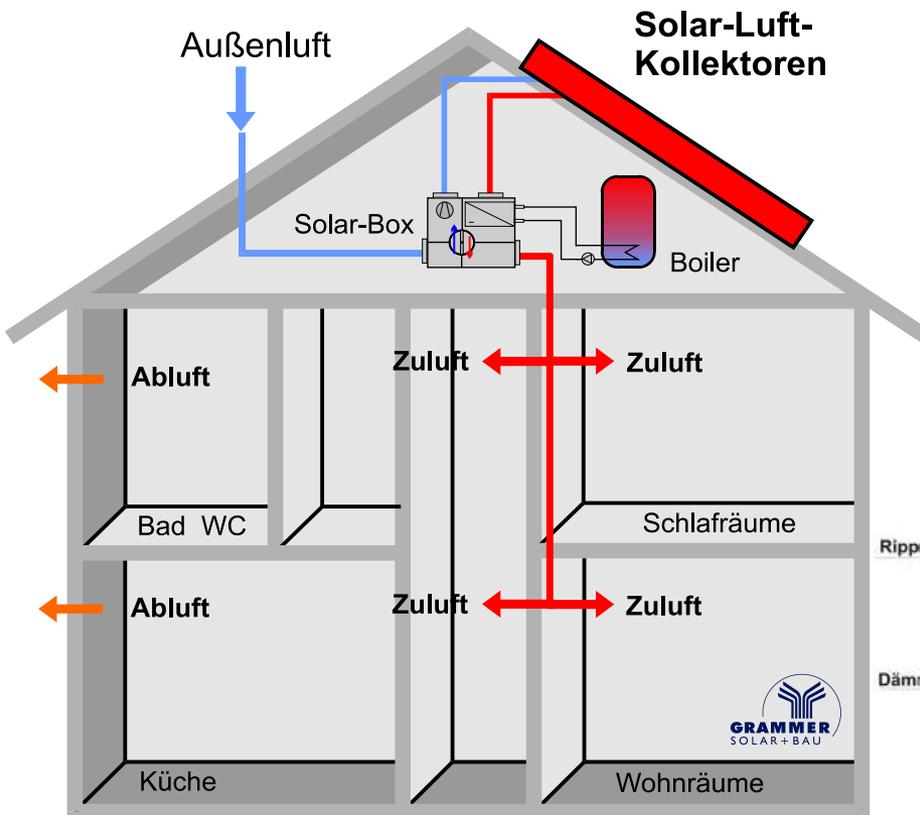


Eisspeicher

Wissenschaftlicher Projektpartner:

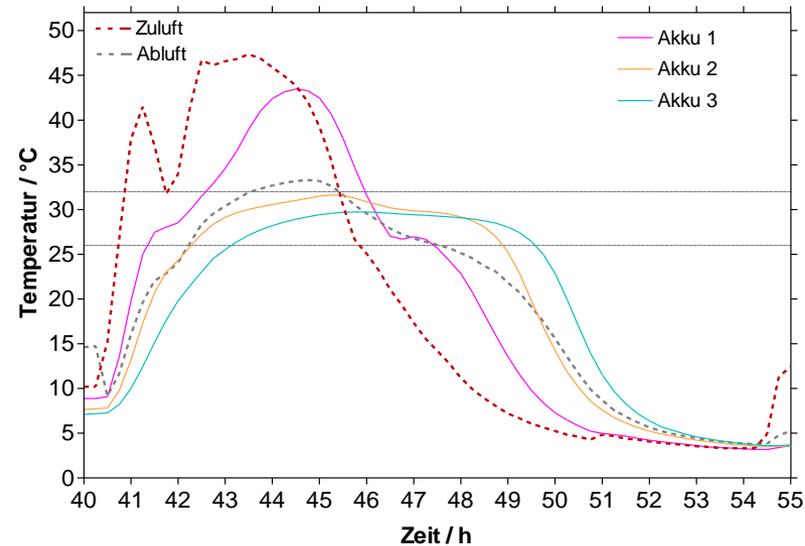
- Lehrstuhl für Automatisierungs- und Energiesysteme (AES) der UdS
- Forschungsstelle Zukunftsenergie der UdS

Solares Zuluftsytstem mit Warmwasserbereitung



- Solar erwärmte Zuluft zur Lüfterneuerung
- Unterstützung der Heizung durch erhöhte Zulufttemperatur
- Trinkwassererwärmung im Sommer über Luft-Wasser-Wärmetauscher
- Solarer Deckungsgrad: ca. 20-30%

Prototyp: Phasenwechsel-Solar-Luft-Wärmespeicher



- Der PCM-Speicherblock ist die aussichtsreichste Variante in einem Solar-Luft-System
- Prototypen-Kapazität von 4 kWh thermisch reicht für 4-5 h Nachheizung wenn die Sonne nicht scheint
- Marktfähiger Speicherpreis perspektivisch erreichbar

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Neues Sonnenhauskonzept mit Bauteilaktivierung



RESOL®



- Nutzbarmachung vorhandener Speichermassen (Gebäudemasse und Raumtemperatur) durch BTA (*siehe auch Vortrag um 11.30*)
- Solarwärme wird direkt für Raumheizung verwendet
- Kollektorheizbetrieb auf sehr geringem Temperaturniveau möglich (20 °C – 35 °C)
- Hohe solare Deckungsraten wie in derzeit typischen Sonnenhäusern mit 7,5 m³ Pufferspeicher
- Höherer Wohnkomfort im Sommer und höherer Ertrag im Winter

Aktuell: Messung im Betrieb in einer Demonstrationsanlage in Hannover:

<1kWh/Strom/m² von 01. 04 – 30.09. für Heizung und TWW!



CO₂-neutrale Wärmeversorgung München Lilienstraße

Ausgangszustand

- 149 Wohnungen in 4 Gebäudeblöcken, Bj. 1955
- Verschlissene Bauteile, wenig attraktive Grundrisse
- U-Wert Außenwände 1,2 bis 1,4 W/(m²K)
- U-Werte Fenster ca. 2,6 W/(m²K)
- Einzelofenheizung mit Gas, Strom und Öl
- Primärenergiebedarf für Heizung und TWW-Erwärmung 327 kWh/(m²a)

Ziel

- Energetische Sanierung mit dem Ziel, den Primärenergieverbrauch auf unter 50 % des Primärenergie-Bedarfs eines Neubaus zu senken. Restenergie soll mit regenerativen Energien erzeugt werden



CO₂-neutrale Wärmeversorgung München Lilienstraße

Energiekonzept

Gebäude

- Vakuumdämmung Straßenfassade und Kellerdecke
- Hocheffizienter Dämmstoff für Außenfassade ($\lambda = 0,22 \text{ W/(mK)}$)
- 3-fach-wärmeschutzverglaste Fenster
- Keine zusätzlichen Transmissionsverluste über Wärmebrücken
- Hohe Luftdichtheit
- Erstellung attraktiver Grundrisse und Verdichtung durch Aufstockung

Anlagentechnik

- Nutzung der Erdwärme über oberflächennahe Geothermie
- Gasmotor-Kompressionswärmepumpe
- Brennwertsitzenlastkessel
- Umsetzung einer Bedarfsheizung durch dezentrale Heizungspumpen
- Solare Trinkwarmwasser- und Heizungsunterstützung durch thermische Kollektoren
- Einsatz von Photovoltaik auf den flach geneigten Dächern

CO₂-neutrale Wärmeversorgung München Lilienstraße - Monitoringergebnisse

| Verbrauchsdaten [kWh/(m ² a)] *) (Juli 2014 bis Juli 2015) | |
|--|------|
| Heizwärmeverbrauch | 25,7 |
| Trinkwarmwasser-Wärmeverbrauch | 24,8 |
| Gesamtstromverbrauch (Haushalt und Anlagentechnik) | 26,9 |

*) bezogen auf Nutzfläche A_N

→ 80% Primärenergieeinsparung!

| Energieerträge [kWh/(m ² a)] *) (Juli 2014 bis Juli 2015) | |
|---|-----|
| Thermische Kollektoren | 422 |
| Photovoltaik | 99 |

*) bezogen auf die Aperturfläche



Zusammenfassung

- Wärmeverbrauch in Haushalten hat deutlichen Anteil am Endenergieverbrauch
- FVEE-Institute forschen an effizienten Systemen für Bestandsimmobilien und Neubauten

