



Zusammenfassung - Forschungsprojekt „IR-Bau“ Potenzial von Infrarot-Heizsystemen für hocheffiziente Wohngebäude

Am 01. April 2017 fiel der Startschuss für nachfolgendes Projekt der HTWG Konstanz, Fachgebiet Energieeffizientes Bauen, welches eine Laufzeit von 30 Monaten hatte.

Die grundlegende Fragestellung war, ob ein Infrartheizungssystem ökologisch und ökonomisch eine Alternative zur Wärmepumpe in sehr gut gedämmten Wohngebäuden darstellen kann.

Drei wissenschaftliche Methoden wurden zur Untersuchung herangezogen:

1. Wissenschaftliche Begleitung des Wohnbau-Pilotprojektes K76 in Darmstadt
2. Durchführung von Messungen in Laborräumen
3. Erstellung von Simulationsmodellen der Laborräume

Im Zuge des Projekts konnten einige wichtige Leitfragen zum Thema Infrartheizung beantwortet werden.

Im Folgenden soll ein kurzer Überblick zu den Untersuchungsmethoden gegeben werden, sowie die wichtigsten Erkenntnisse dargestellt werden.

Zum besseren Verständnis werden zu Beginn einige thermodynamische Grundlagen der Infrarotstrahlung und weiterer wichtiger Parameter festgehalten:

Jeder Körper über dem absoluten Nullpunkt von $-273,15^{\circ}\text{C}$ sendet elektromagnetische Wellen aus.

Unser Körper kann einen gewissen Teil dieser elektromagnetischen Wellen als Wärme über die Haut wahrnehmen, die sogenannte Infrarotstrahlung.

Zwischen zwei Körpern findet immer ein Strahlungsaustausch statt. Wenn ein Körper wärmer ist, gibt er diese Energie in Form von Strahlung an den anderen Körper ab = Strahlungsleistung.

Die Strahlungsleistung (wie gut ein Körper Wärme als Wärmestrahlung abgeben kann) hängt von verschiedenen Faktoren ab: die Fläche des abstrahlenden und bestrahlten Körpers, die Temperatur sowohl des abstrahlenden als auch des bestrahlten Körpers und der Emissionsgrad des abstrahlenden und bestrahlten Körpers.

gefördert durch:



Bundesministerium
des Innern, für Bau
und Heimat

ZUKUNFT BAU
FORSCHUNGSFÖRDERUNG



Bundesinstitut
für Bau-, Stadt- und
Raumforschung

im Bundesamt für Bauwesen
und Raumordnung





Bei einer Infrarotheizung spielt die Temperatur der Wärme emittierenden Oberfläche eine entscheidende Rolle. Je höher die Oberflächentemperatur, desto höher ist die Strahlungsleistung pro Quadratmeter. Bei niedrigerer Oberflächentemperatur kann die Infrarotheizung die gleiche Strahlungsleistung abgeben, die wärmeabgebende Fläche muss dafür jedoch verhältnismäßig größer sein.

Die Strahlungsleistung darf nicht mit dem Strahlungswirkungsgrad einer Infrarotheizung verwechselt werden.

Der Strahlungswirkungsgrad ist die Kenngröße für die Strahlungseigenschaften einer IR-Heizung und beschreibt wieviel Prozent der zugeführten elektrischen Leistung in Form von Strahlung abgegeben werden.

Jede IR-Heizung gibt Wärme in Form von Konvektion und Strahlung ab. Der Strahlungsanteil sollte maximiert werden, um einen hohen Strahlungswirkungsgrad zu erreichen. Dies kann man hauptsächlich durch die Konstruktion und Positionierung der Heizung erzielen.

Aktuell gibt es keine Norm, doch sollte eine IR-Heizung einen Strahlungswirkungsgrad von mindestens 51% aufweisen.

Plattenförmige Infrarotheizungen geben die Strahlung diffus über einen Abstrahlwinkel von 120° ab, und die Strahlungsintensität ist abhängig von der Entfernung des abstrahlenden zum bestrahlten Körper. Die Intensität der Strahlung verringert sich mit steigender Entfernung.

gefördert durch:



Bundesministerium
des Innern, für Bau
und Heimat

ZUKUNFT BAU
FORSCHUNGSFÖRDERUNG



Bundesinstitut
für Bau-, Stadt- und
Raumforschung

im Bundesamt für Bauwesen
und Raumordnung





1. Wissenschaftliche Begleitforschung des Wohnbau-Pilotprojektes K76 in Darmstadt

Bei dem Mehrfamilienhaus K76 in Darmstadt, welches im Sommer 2017 fertiggestellt wurde, handelt es sich um einen Wohnbau, dessen Gebäudetechniksystem mit geringem Materialaufwand und Platzbedarf errichtet werden und dezentral, wartungsarm, flexibel und langlebig sein soll.

Für die Wärmeversorgung fiel die Wahl daher auf das Infrarotheizungssystem, wobei je nach Größe der Wohnung verschiedene große Paneele an der Decke montiert wurden, die mittels raumweise installierten Thermostaten flexibel geregelt werden können.

Die Warmwasserbereitung erfolgt wohnungsweise über Durchlauferhitzer, und eine 36 kWp PV-Anlage sorgt zum Teil zur Eigenbedarfsdeckung (13% für IR-Heizung aus der PV Anlage). Um den Energieverbrauch zu minimieren wurde eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung eingebaut.

1.360m² Wohnfläche bieten Platz für 40 Bewohner und 15 Wohneinheiten zwischen 50 und 120m².

Die Begleitforschung stützt sich zum einen auf die Daten aus den Messungen der Verbräuche der einzelnen Wohneinheiten während zwei Heizperioden (2017/18 und 2018/19) und zum anderen auf die Nutzerbefragung zur Behaglichkeit.

Die wichtigsten Ergebnisse der Messungen auf einen Blick dargestellt:

| | Laut EnEV-Berechnung | Daten HP 2017/18 | Daten HP 2018/19 |
|------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Endenergiebedarf | 36,9kWh/m ² a | 32,3kWh/m ² a | 28,6kWh/m ² a |

(witterungsbereinigt)

Der spezifische Gesamtenergiebedarf für IR-Heizung, Lüftung und Warmwasser und liegt deutlich unter dem durch die EnEV berechneten Wert.

Die Reduktion des Endenergiebedarfs von der ersten auf die zweite Heizperiode könnte mit der zunehmenden Trocknung der Gebäudemasse zusammenhängen. Auch wurden Fehler in der Bedienung der Lüftungsanlage oder der Thermostateinstellungen durch die Nutzer im zweiten Nutzungsjahr optimiert, sodass eine weitere Reduzierung des Heizungsstromverbrauchs die Folge war.

Im Laufe des Projekts wurden weitere Möglichkeiten angedacht, um den Energiebedarf weiter zu senken, wie zum Beispiel die Erhöhung des Eigennutzungsgrades der PV Anlage. Dabei könnte die Umstellung der Warmwassererzeugung von Durchlauferhitzern auf dezentrale Warmwasserboiler mit Speicher oder Brauchwasserwärmepumpen mit Warmwasserspeicher Reduktionspotenzial haben, da die eingesetzten Durchlauferhitzer oft hohe Lastspitzen zu Zeiten ohne solare Einstrahlung verursachen.

gefördert durch:



Bundesministerium
des Innern, für Bau
und Heimat

ZUKUNFT BAU
FORSCHUNGSFÖRDERUNG



Bundesinstitut
für Bau-, Stadt- und
Raumforschung

im Bundesamt für Bauwesen
und Raumordnung





Auch der Einsatz eines Stromspeichers könnte zur Erhöhung des Eigenversorgungsgrades durch die PV-Anlage beitragen.

Die Behaglichkeit und Bedienerfreundlichkeit des Infrarot-Heizsystems wurde anhand von anonymisierten Online-Fragebögen zu verschiedenen Zeitpunkten über drei Heizperioden erhoben. Dabei wurden grundlegende Hypothesen bestätigt:

- Mit Infrarotstrahlungsheizungen kann ein behagliches Raumklima erzeugt werden.
- Die eingesetzte Steuerungstechnik ist für die Nutzer gut bedienbar.
- Eine etwas geringere Raumlufttemperatur als in der vorherigen Wohnsituation wurde als behaglich eingestuft.

Basierend auf der wissenschaftlichen Untersuchung am realen Objekt K76 kann zusammenfassend gesagt werden, dass das Konzept der „Direktstromheizung“ in wärmegeprägten Neubauten sehr gut funktioniert.

2. Labormessungen

Auf dem ehemaligen Gelände einer Kaserne aus den 1960er Jahren wurden im Mannschaftsgebäude 4 identische Räume zur Durchführung von Labormessungen mit jeweils 32,8m² Größe errichtet und mit unterschiedlichen Wärmeerzeugern ausgestattet.

Dabei wurden folgende Aufbauten vorgenommen:

- Raum 1: wassergeführte Fußbodenheizung (Buderus Luft-Wasser-Wärmepumpe mit 7,6kW Leistung)
- Raum 2: elektrische Fußbodenheizung Devi/Danfoss (2,8kW Leistung)
- Raum 3: Redwell-Infrarotheizung (2 Paneele á 1,3kW Leistung) – Deckenmontage
- Raum 4: Redwell-Infrarotheizung (2 Paneele á 1,3kW Leistung) – Wandmontage (Innenseite der Außenwand)

Alle Räume wurden mit dezentralen Einzellüftern bestückt, um einen realistischen Luftwechsel zu erhalten, da die Räume unbewohnt sind.

Ein umfangreiches Mess- und Regelungssystem in und um die Laborräume wurde eingesetzt, um die verschiedenen Systeme und die Wirkungsweise der verschiedenen Heizungsanlagen während vier Messphasen untersuchen zu können.

Folgende Fragestellungen konnten dadurch beantwortet werden:

gefördert durch:



Bundesministerium
des Innern, für Bau
und Heimat

ZUKUNFT BAU
FORSCHUNGSFÖRDERUNG



Bundesinstitut
für Bau-, Stadt- und
Raumforschung

im Bundesamt für Bauwesen
und Raumordnung





Strombedarfsdifferenzen verschiedener Wärmeerzeuger im Realbetrieb

Der Wärmeverbrauch von den deckenmontierten Redwell-IR-Heizungen liegt in allen Messphasen unter jenem der WP/FBH wie in Abb. 68 anschaulich dargestellt.

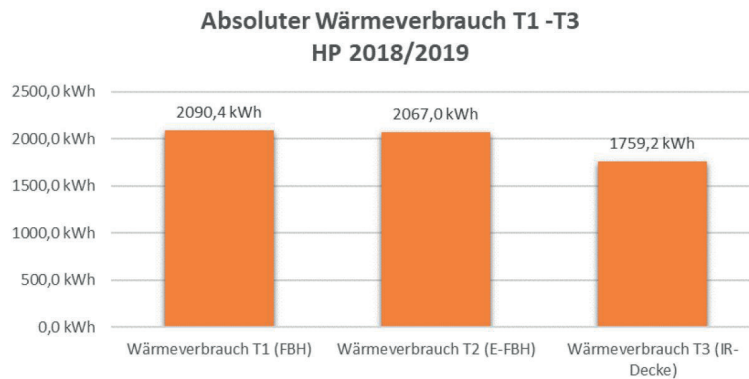


Abb. 68 Wärmeverbrauch Raum T1-T3, Messphase 1-4, Heizperiode 2018/2019

Die Positionierung und die Hysterese der Regelung haben immer einen Einfluss auf die Strom- und Wärmeverbräuche der IR-Heizung.

Aus den Messungen lässt sich ableiten, dass es für eine IR-Heizung von Vorteil ist, wenn sie an der Decke montiert wird (geringerer Konvektionsanteil), die Hysterese 0,5K beträgt und die Raumlüftung mittels Lüftungsanlage mit WR erfolgt.

Rauminnenoberflächentemperaturen bei IR-Heizungen

Die Messungen der Laborräume ergaben, dass die mittlere Oberflächentemperatur im Raum mit den beiden Redwell-Infrarotpaneelen, zusammen mit den Heizflächen im Schnitt um 0,6K höher als im Raum mit Fußbodenheizung ist. Diese Ergebnisse konnten auch im Objekt K76 in den Messungen der Innenoberflächentemperaturen festgestellt werden.

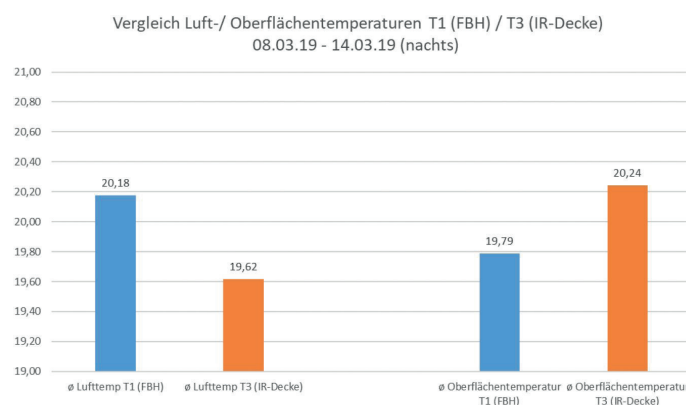


Abb. 74 Vergleich der nächtlichen Luft – und Oberflächentemperaturen zwischen Raum T1 (WP/FBH) und Raum T3 (IR-Decke) in Messphase 3 HP 2018/2019

gefördert durch:



**Bundesministerium
des Innern, für Bau
und Heimat**

ZUKUNFT BAU
FORSCHUNGSFÖRDERUNG



**Bundesinstitut
für Bau-, Stadt- und
Raumforschung**

im Bundesamt für Bauwesen
und Raumordnung





Verhalten der Lufttemperatur bei IR-Heizungen

Im Gegensatz zur Oberflächentemperatur, liegt die Lufttemperatur beim mit Redwell-Infrarotheizungen beheizten Raum im Mittel um ca. 0,6K unter jener Lufttemperatur eines mit FBH beheizten Raumes. Somit kann die Raumtemperatur bei gleicher Behaglichkeit mithilfe einer Infrarotheizung reduziert werden und daher auch die Lüftungswärmeverluste, wodurch sich wiederum Energiekosten einsparen lassen.

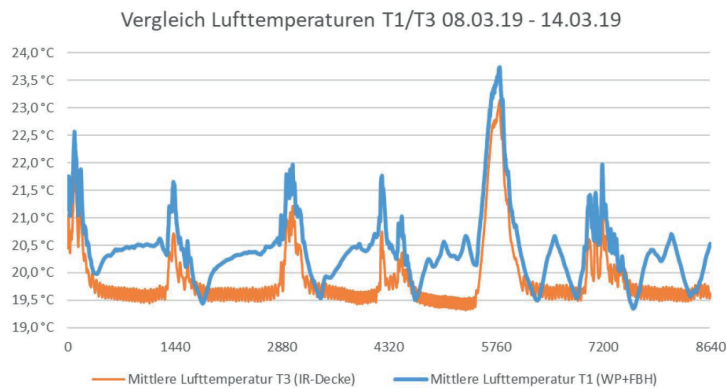


Abb. 85 Verlauf der Lufttemperaturen in Raum T1 (WP/FBH) / T3 (IR-Decke) bei Regelung nach operativer Temperatur, MP 08.03.19 – 14.03.2019

Einsparungen durch flexible Regelung bei IR-Heizungen

Redwell-Heizungen können im Gegensatz zu trägen Fußbodenheizungen sehr reaktionsschnell die Temperatur im Raum regeln. Somit kann die Wärmeabgabe der Heizung optimal auf die Wärmebedarfsanforderung reagieren.

Bei den durchgeführten Messungen konnten Verbrauchsdifferenzen zwischen der FBH und den Redwell-Infrarotheizung von mehr als 15% erzielt werden. (siehe Tabelle 21).

Berechnete Differenzen im Wärmeverbrauch zwischen Raum T1 (WP/FBH) und Raum T3 (IR-Decke):

| | Raum T1 (WP/FBH) | Raum T3 (IR-Decke) | Differenz |
|--|------------------|--------------------|------------------|
| Differenz aufgrund niedrigerer Lufttemperatur nachts in Raum T3 | 10,17 kWh | 9,82 kWh | 0,36 kWh |
| Differenz aufgrund niedrigerer Transmissionswärmeverluste in Raum T3 | 85,18 kWh | 68,49 kWh | 16,69 kWh |
| Differenz aufgrund höherer Übertemperatur tagsüber in Raum T1 | 25,86 kWh | 22,49 kWh | 3,38 kWh |
| Summe berechneter Differenzen im Wärmeverbrauch: | | | 20,42 kWh |
| Gemessene Differenz im Wärmeverbrauch: | | | 21,90 kWh |

Tabelle 21 Berechnete Differenzen im Wärmeverbrauch zwischen Raum T1 (WP/FBH) und Raum T3 (IR-Decke)

gefördert durch:



Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat

ZUKUNFT BAU
FORSCHUNGSFÖRDERUNG



Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung

im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung





Strahlungswirkungsgrad von IR-Heizungen

Da der Strahlungswirkungsgrad einer IR-Heizung bestimmt, wieviel Prozent der zugeführten elektrischen Energie in Form von Strahlungswärme an den Raum abgegeben wird, stellt er eine entscheidende Größe für die Effizienz eines Infrartheizungssystems dar.

Messungen von verschiedenen am Markt erhältlichen Modellen ergaben große Differenzen im Strahlungswirkungsgrad von 40 – 70%. Eine Normierung hierfür fehlt jedoch noch, sodass eine allgemeine Definition die Güte einer IR-Heizung bestimmt.

3. Simulationen der Laborräume

Da die Laborräume einige Besonderheiten aufweisen (Südausrichtung...) wurde ein digitales Simulationsmodell der Laborräume in einem Gebäudesimulationsmodell erstellt, um die gemessenen Werte auf Standardgebäude übertragen zu können.

Das Simulationsmodell wurde in drei unterschiedlichen Validierungsphasen getestet, ob auch die Realität korrekt abgebildet wird.

Am Simulationsmodell wurden folgende Fragestellungen untersucht:

Übergabeverluste einer Infrarot-Heizung

Die Laborraummessungen und auch die Simulationen zeigen, dass im Vergleich zum eingesetzten Redwell-Heizsystem die Übergabeverluste einer wassergeführten Fußbodenheizung um ca. 50% höher. Die schnelle Reaktionsfähigkeit der Infrartheizung und die geringe thermische Trägheit wirken sich hier äußerst vorteilhaft zugunsten der Infrarot-Heizung aus.

Life Cycle Assessment (LCA) und Life Cycle Costing (LCC) über 50 Jahre – Vergleich Infrarot-Heizung und Wärmepumpe

Auch in der gesamtökologischen Lebenszyklusbetrachtung über 50 Jahre inklusive der Herstellung, Instandhaltung und Entsorgung liefert ein Infrartheizsystem, vor allem in Kombination mit einer PV-Anlage, die deutlich besseren Kennwerte als ein herkömmliches Wärmepumpen-System. (siehe Abb. 155)

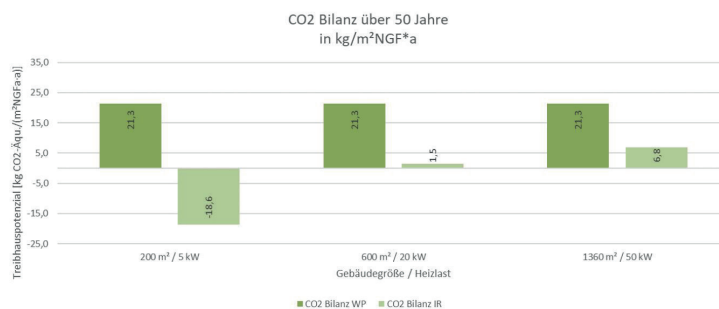


Abb. 155 Änderungen der CO2 Bilanz bei Verringerung der Gebäudegröße

| | 200 m² / 5 kW | 600 m² / 20 kW | 1360 m² / 50 kW |
|------------------|------------------|-----------------|-----------------|
| Wärmepumpe | 21,3 kg CO2/m²a | 21,3 kg CO2/m²a | 21,3 kg CO2/m²a |
| IR-Heizung + PV | -18,6 kg CO2/m²a | 1,5 kg CO2/m²a | 6,8 kg CO2/m²a |
| Abweichung IR+PV | -4088% | -1413% | -313% |

gefördert durch:



Bundesministerium
des Innern, für Bau
und Heimat

ZUKUNFT BAU
FORSCHUNGSFÖRDERUNG



Bundesinstitut
für Bau-, Stadt- und
Raumforschung

im Bundesamt für Bauwesen
und Raumordnung





Bei der Bewertung der Wirtschaftlichkeit generiert die Variante Wärmepumpe höhere Investitions-, Betriebs- und Instandsetzungskosten, dafür aber geringere Verbrauchskosten. Bei einem Infrarotsystem in Kombination mit einer PV-Anlage (Beispiel K76) reduzieren sich die Betriebskosten bei gleicher oder sogar niedrigerer Investition entsprechend deutlich. Somit ist diese Variante über einen Berechnungszeitraum von 50 Jahren kostengünstiger, als das reine Wärmepumpenkonzept.

Die Simulationen lassen die Schlussfolgerung zu, dass sich das Konzept mit einem Redwell IR-Heizsystem mit PV-Anlage eindeutig wirtschaftliche und ökologische Vorteile hat. Je kleiner und besser gedämmt das Gebäude ist, desto größer werden diese Vorteile. (siehe Abb 154).

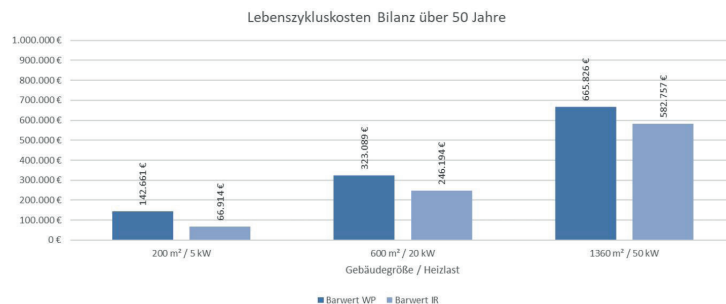


Abb. 154 Änderungen der Wirtschaftlichkeit bei Verringerung der Gebäudegröße

| | 200 m² / 5 kW | 600 m² / 20 kW | 1360 m² / 50 kW |
|--------------------|---------------|----------------|-----------------|
| Barwert Wärmepumpe | 142.661 € | 323.089 € | 665.826 € |
| Barwert IR-Heizung | 66.914 € | 246.194 € | 582.757 € |
| Abweichung IR | -53% | -24% | -12% |

Können Infrarot-Heizungen eine Alternative zu Wärmepumpen-Systemen sein?

Die Vorteile einer Redwell-Infrarotheizung (Installation, Wartung, Bedienbarkeit, Flexibilität, Investitionskosten,...) tragen dazu bei, dass sich die strombasierte Heizung, dank lokaler Erzeugung von regenerativem Strom, perfekt in die Energiewende einfügt. Neue Ein- oder Mehrfamilienhäuser oder die Umrüstung bestehender Gebäude auf ein Redwell-Infrarotheizsystem in Kombination mit einem PV-System können zum einen den Ausbau der regenerativen Energie vorantreiben und zum anderen die Hauseigentümer geringer finanziell belasten, als beim Einsatz eines Wärmepumpen-Systems. Auch zeigen die Untersuchungen, dass es möglich ist, mit einer auf Eigenverbrauch optimierten Regelung des Infrarotheizsystems inkl. PV-System auch in der Heizperiode einen gleichen oder sogar geringeren Netzstrombezug als ein Wärmepumpensystem zu erreichen.

gefördert durch:



Bundesministerium
des Innern, für Bau
und Heimat

ZUKUNFT BAU
FORSCHUNGSFÖRDERUNG



Bundesinstitut
für Bau-, Stadt- und
Raumforschung

im Bundesamt für Bauwesen
und Raumordnung





4. Fazit

Das Projekt IR-Bau, in welchem die Redwell Manufaktur GmbH als Partner mitwirkte, mit seinen vielfältigen Forschungsansätzen konnte einige Vorteile der Infrarotheizung im Vergleich zur Fußbodenheizung aufzeigen.

Eine Wärmepumpe ist zwar das effizientere System zur Wärmeerzeugung und hat auch einen geringeren Strombedarf, dem jedoch die deutlich niedrigeren Investitionskosten einer Infrarot-Heizung gegenüber stehen. Ein Redwell-Infrarotheizungssystem gekoppelt an eine PV-Anlage kann durch die anteilmäßige Deckung des Eigenbedarfs im Winter und Stromüberschuss im Sommer noch dazu Gewinne erzielen.

Die Kombination einer Infrarotheizung als Wärmeerzeuger mit einer Photovoltaikanlage als regenerative Energiequelle sollte Standard werden, um die ökologischen und ökonomischen Vorteile beider Systeme bestens auszunutzen. Die sinkende Preisentwicklung bei PV-Anlagen könnte diese Vorteile in Zukunft weiter verbessern. Erfolgt die Warmwasserbereitung zudem mittels Elektroboiler oder dezentralen Brauchwasserwärmepumpen und einer weiteren Kombination eines Stromspeichers bietet das Infrarot-System zusammen mit seiner sehr flexiblen Regelbarkeit großes Potenzial.

gefördert durch:



Bundesministerium
des Innern, für Bau
und Heimat

ZUKUNFT BAU
FORSCHUNGSFÖRDERUNG



Bundesinstitut
für Bau-, Stadt- und
Raumforschung

im Bundesamt für Bauwesen
und Raumordnung

