



Samenvatting - Onderzoeksproject “IR-Bau” Potentieel van Infrarood-verwarmingssystemen voor duurzame woningen

Op 1 April 2017 werd het startschot gegeven voor onderstaand project van de universiteit HTWG Konstanz, vakgebied energie-efficiënt bouwen, met een looptijd van 30 maanden.

De hoofdvraag was of een infrarood-verwarmingssysteem ecologisch en economisch een alternatief zou kunnen zijn voor de warmtepompen in goed geïsoleerde gebouwen.

Drie wetenschappelijke modellen werden in het onderzoek betrokken:

1. Wetenschappelijke begeleiding van het woningbouw-pilotproject K76 in Darmstadt
2. Verrichten van metingen in een testomgeving
3. Opstellen van simulatiemodellen voor de testruimtes

In het kielzog van het project konden enkele belangrijke hoofdvragen met betrekking tot het thema infraroodverwarming worden beantwoord. Vervolgens diende een kort overzicht verschaft te worden van de onderzoeksmethodes met beschrijving van belangrijke inzichten.

Om te beginnen worden voor een beter begrip enkele thermodynamische uitgangspunten van de infraroodstraling en overige van belang zijnde parameters gehanteerd.

Ieder object boven het absolute nulpunt van -273.15°C stuurt elektromagnetische golven uit. Het menselijk lichaam kan een bepaald deel van deze elektromagnetische golven via de huid als warmte waarnemen, ook wel infraroodstraling genoemd.

Tussen twee objecten vindt er altijd een uitwisseling van straling plaats. Indien een object warmer is geeft deze energie af in de vorm van straling aan het andere object (= stralingsvermogen). Het stralingsvermogen (hoe goed een object warmte als stralingswarmte afgeeft) hangt af van verschillende factoren: de oppervlakte van het uitstralende en bestraalde object, de temperatuur van het uitstralende en bestraalde object en ook de emissie uitgifte van het uitstralende en bestraalde object.

In opdracht van



Bundesministerium
des Innern, für Bau
und Heimat

ZUKUNFT BAU
FORSCHUNGSFÖRDERUNG



Bundesinstitut
für Bau-, Stadt- und
Raumforschung

im Bundesamt für Bauwesen
und Raumordnung





Bij infrarood verwarming speelt de temperatuur van het warmte emitterende oppervlak een cruciale rol. Hoe hoger de oppervlaktetemperatuur des te hoger het stralingsvermogen. Bij een lagere oppervlaktetemperatuur kan de infrarood verwarming hetzelfde stralingsvermogen afgeven, het warmte afgevend oppervlak moet dan verhoudingsgewijs groter zijn.

Het stralingsvermogen van een infrarood verwarming mag niet worden vergeleken met het efficiëntie niveau.

Het stralingsefficiëntie niveau is de grootte, die de stralingseigenschappen van een infrarood verwarming beschrijft en aangeeft hoeveel procent van het toegevoegde elektrische vermogen in de vorm van straling wordt afgegeven.

Iedere infrarood verwarming geeft warmte in de vorm van convectie en straling. Het aandeel straling dient zo groot mogelijk te zijn om een hoge efficiëntie te bereiken. Dit kan in hoofdzaak worden bereikt door de constructie en positionering van de verwarming. Actueel is er geen normering, toch dient een infrarood verwarming een efficiëntie van minimaal 51 % aan te kunnen tonen.

Vlakke infrarood verwarmingen geven de straling diffuus af in een stralingshoek van 120°. De stralingsintensiteit is afhankelijk van de afstand tussen het uitstralende en bestraalde object. De stralingsintensiteit vermindert met een toename van de afstand.

In opdracht van



Bundesministerium
des Innern, für Bau
und Heimat

ZUKUNFT BAU
FORSCHUNGSFÖRDERUNG



Bundesinstitut
für Bau-, Stadt- und
Raumforschung

im Bundesamt für Bauwesen
und Raumordnung



1. Wetenschappelijk begeleidend onderzoek van het pilot-woningbouwproject K76 in Darmstadt

Bij het appartementengebouw K76 in Darmstadt, dat in de zomer van 2017 gereed is gekomen, gaat het om woningen, waarbij de technische installatie van de woning decentraal is, met een minimum aan materiaal- en ruimtegebruik. Verder diende de installatie, flexibel, onderhoudsvrij en duurzaam te zijn. Voor de verwarming viel daarom de keuze op infrarood verwarming, waarbij afhankelijk van de grootte van de appartementen, verschillende grootte panelen tegen het plafond werden gemonteerd, die door middel van een kamerthermostaat per ruimte flexibel aangestuurd konden worden. De warmwatervoorziening werd per woning gerealiseerd met een zogeheten doorstroomboiler. Een 36 kWp PV-installatie voorziet voor een deel in het energieverbruik per appartement (13 % van het energieverbruik infraroodverwarming is afkomstig van de PV-installatie). Om het energieverbruik te minimaliseren werd een ventilatiesysteem met WTW toegepast.

1.360 m² totaal woonoppervlak geeft plaats aan 40 bewoners en 15 appartementen tussen de 50 en 120 m².

Het begeleidend onderzoek richt zich enerzijds op de data van de metingen van het verbruik van de afzonderlijke appartementen gedurende 2 verwarmingsperiodes (2017/18 en 2018/19) en anderzijds op bewonersonderzoek naar de behaaglijkheid.

De belangrijkste resultaten van de metingen in een overzicht weergegeven:

	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

(Temperatuur gecompenseerd)

Het totaal aan energieverbruik voor IR-verwarming, ventilatie, warm water en verlichting ligt duidelijk onder hetgeen aan energieverbruik volgens de norm werd berekend. De reductie in energieverbruik van de tweede periode in vergelijking met de eerste periode kan met de toenemende droging van het gebouw samenhangen. Ook werden fouten met de bediening van de WKK -installatie of de instelling van de thermostaten in het tweede verbruiksjaar door de gebruiker geoptimaliseerd met een verdere reductie van energieverbruik tot gevolg.

In de loop van het project werden verdere mogelijkheden bekeken om het verbruik verder te laten zakken, zoals bijvoorbeeld het verhogen van het individuele gebruik van de gezamenlijke PV-installatie. Hierbij zou het omzetten van de warmwaterproductie naar decentrale elektrische boilers of tapwater warmtepompen i.p.v. de doorstroomboilers een besparingspotentieel opleveren, doordat doorstroomboilers een hoge net-belasting geven in periodes dat de PV-installatie weinig produceert.

In opdracht van



Bundesministerium
des Innern, für Bau
und Heimat

ZUKUNFT BAU
FORSCHUNGSFÖRDERUNG



Bundesinstitut
für Bau-, Stadt- und
Raumforschung

im Bundesamt für Bauwesen
und Raumordnung





Ook het toepassen van batterij-opslag voor de PV-installatie kan zorgen voor een verbetering van de eigen energievoorziening.

De behaaglijkheid en het bedieningsgemak van het IR-verwarmingssysteem werd verkregen aan de hand van anonieme online vragenlijsten op verschillende tijdstippen en over drie verwarmingsperiodes. Hierbij werden 3 belangrijke hypothesen bevestigd:

- Met infrarood verwarming kan een behaaglijke ruimtetemperatuur worden verkregen
- De toegepaste regeltechniek is voor gebruikers goed te bedienen
- Een wat lagere luchttemperatuur werd in de woonsituatie als behaaglijk ervaren

Met het wetenschappelijk onderbouwde onderzoek van het praktijk object K76 kan samenvattend worden gesteld dat het concept van de directe infrarood stralingsverwarming in de nieuwbouw heel goed functioneert.

2. Metingen testomgeving

Op een voormalige legerkazerne uit 1960 werden in het manschappengebouw 4 identieke ruimtes van elk 32,8 m² voor het uitvoeren van tests ingericht met verschillende verwarmingssystemen.

Hierbij werd de volgende opbouw uitgevoerd:

- Ruimte 1: watervoerende vloerverwarming (Buderus lucht-water-warmtepomp met een 7,6kW vermogen)
- Ruimte 2: elektrische vloerverwarming Devi/Danfoss (vermogen 2,8kW)
- Ruimte 3: Redwell infrarood verwarming (2 panelen van elk 1,3k vermogen, plafondmontage)
- Ruimte 4: Redwell infrarood verwarming (2 panelen van elk 1,3k vermogen, wandmontage)

De ruimtes werden ieder met een afzonderlijk ventilatiesysteem voorzien om zo een realistische luchtverversing te realiseren aangezien de ruimtes niet werden bewoond.

De volgende vragen konden hierdoor worden beantwoord:

In opdracht van



Bundesministerium
des Innern, für Bau
und Heimat

ZUKUNFT BAU
FORSCHUNGSFÖRDERUNG



Bundesinstitut
für Bau-, Stadt- und
Raumforschung

im Bundesamt für Bauwesen
und Raumordnung



Vershil in benodigd elektrisch vermogen van verschillende verwarmingssystemen in de praktijk

Het energieverbruik van de Redwell infrarood verwarming (plafondmontage) ligt in alle meetfases onder dat van de andere drie installaties zoals weergegeven in afb. 68.

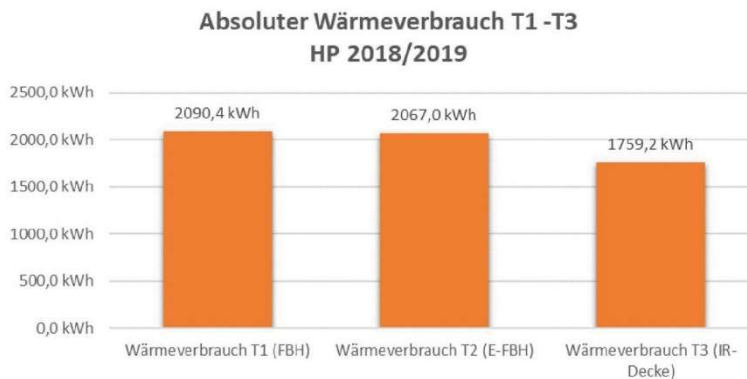


Abb. 68 Wärmeverbrauch Raum T1-T3, Messphase 1-4, Heizperiode 2018/2019

De positionering en de hysteresis van de regeling hebben altijd een invloed op het energie- en warmteverbruik van de IR-verwarming.

Uit de metingen kan worden afgeleid dat het voor een IR-verwarming een voordeel oplevert in verbruik indien deze aan het plafond wordt bevestigd (kleinste aandeel aan convectie), de hysteresis 0,5K is en de ruimteventilatie met WKK uitgerust is.

Oppervlaktetemperatuur binnenruimte bij IR-verwarming

Uit metingen in de testruimtes bleek dat de gemiddelde oppervlaktetemperatuur in de beide ruimtes met de Redwell infrarood panelen 0,6K hoger lag in vergelijking met de twee andere ruimtes met vloerverwarming. Dit resultaat werd eveneens vastgesteld in het praktijk object K76.

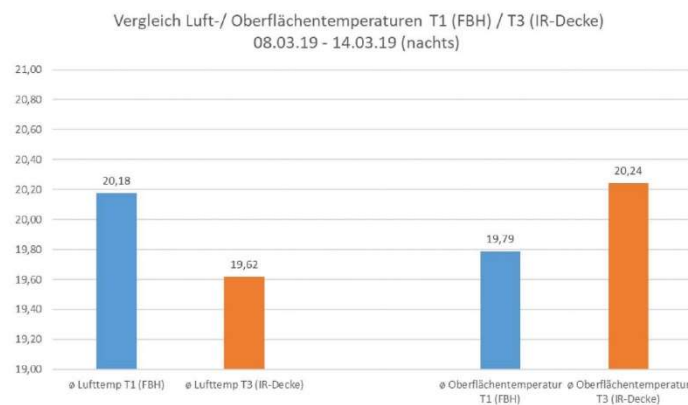


Abb. 74 Vergleich der nächtlichen Luft – und Oberflächentemperaturen zwischen Raum T1 (WP/FBH) und Raum T3 (IR-Decke) in Messphase 3 HP 2018/2019

In opdracht van

Verhouding van de luchttemperatuur bij IR-verwarming

In tegenstelling tot de oppervlaktetemperatuur ligt de luchttemperatuur bij de ruimtes die met de infrarood verwarming van Redwell uitgerust waren, 0,6K onder de luchttemperatuur van de ruimtes uitgevoerd met een vloerverwarming. Hierdoor kan de ruimtetemperatuur, met een gelijkblijvende behaaglijkheid door de infrarood verwarming, worden gereduceerd en hiermee samenhangend ook de verliezen door ventilatie. Zo worden wederom energiekosten bespaard.

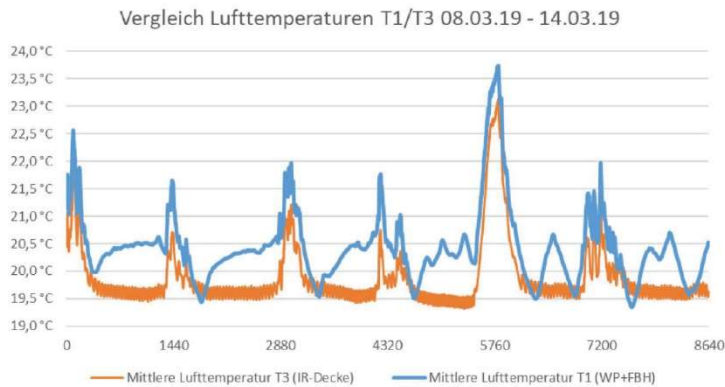


Abb. 85 Verlauf der Lufttemperaturen in Raum T1 (WP/FBH) / T3 (IR-Decke) bei Regelung nach operativer Temperatur, MP 08.03.19 – 14.03.2019

Besparing door flexibele regeling bij IR-verwarming

Redwell infrarood verwarming kan, in tegenstelling tot vloerverwarming, met een snelle reactietijd de temperatuur regelen in een ruimte. Hierdoor wordt de warmteafgifte door de IR-verwarming optimaal afgestemd op het gewenste warmtecomfort. Uit de metingen bleek dat de infrarood verwarming van Redwell 15% lager lag in verbruik t.o.v. de vloerverwarmingsystemen (Zie tabel 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)

In opdracht van



Bundesministerium
des Innern, für Bau
und Heimat

ZUKUNFT BAU
FORSCHUNGSFÖRDERUNG



Bundesinstitut
für Bau-, Stadt- und
Raumforschung

im Bundesamt für Bauwesen
und Raumordnung



Stralingsefficiëntie/werkingsgraad van IR-verwarming

De werkingsgraad bij IR-verwarming is een meeteenheid die aangeeft hoeveel procent van de toegevoegde elektrische energie in de vorm van stralingswarmte wordt afgegeven. Metingen bij verschillende, zich op de huidige markt bevindende producten, tonen een groot verschil in efficiëntie aan, uiteenlopend van 40 tot 70 %. Een normering die de kwaliteit als zodanig kan weergeven ontbreekt nog op dit moment.

3. Simulaties van de testruimtes

Aangezien de testruimtes enkele bijzonderheden hadden (onder andere gelegen op het zuiden) werd er een digitaal simulatiemodel van de testruimtes in een gebouwensimulatiemodel gecreëerd. Op deze manier konden de metingen op standaard gebouwen worden overgedragen. Het simulatiemodel werd in drie verschillende validatiefasen getest om vast te stellen of de realiteit correct wordt weergegeven.

In het simulatiemodel werden volgende scenario's onderzocht:

Overdrachtsverliezen van een IR-verwarming

De testmetingen en de simulaties toonden overdrachtsverliezen aan bij een water gevoerde vloerverwarming van meer dan 50 % in vergelijking met de infraroodverwarming.

De reactiesnelheid en de geringe thermische traagheid van de infraroodverwarming werken in het voordeel van de infrarood verwarming.

Life Cycle Assessment (LCA) en Life Cycle Costing (LCC) - over een vergelijkperiode van 50 jaar - Vergelijking infrarood verwarming en de warmtepomp

Ook in de totale ecologische levenscyclus van 50 jaar, inclusief fabricage, onderhoud en recycling, vooral ook in combinatie met een PV-installatie, heeft infrarood verwarming de beste uitgangspunten in vergelijking met warmtepompsystemen (zie afb. 155)

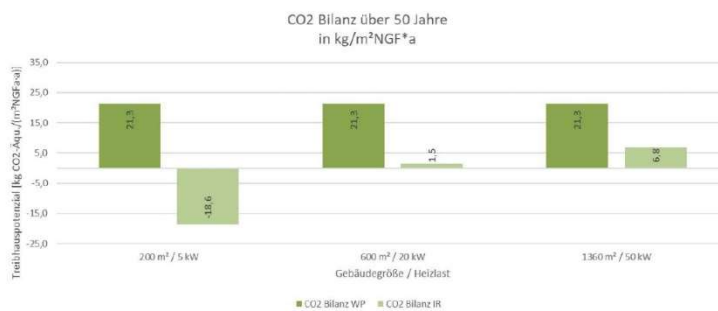


Abb. 155 Änderungen der CO₂ Bilanz bei Verringerung der Gebäudegröße

	200 m ² / 5 kW	600 m ² / 20 kW	1360 m ² / 50 kW
Wärmepumpe	21,3 kg CO ₂ /m ² a	21,3 kg CO ₂ /m ² a	21,3 kg CO ₂ /m ² a
IR-Heizung + PV	-18,6 kg CO ₂ /m ² a	1,5 kg CO ₂ /m ² a	6,8 kg CO ₂ /m ² a
Abweichung IR+PV	-4088%	-1413%	-313%

In opdracht van



Bundesministerium
des Innern, für Bau
und Heimat

ZUKUNFT BAU
FORSCHUNGSFÖRDERUNG



Bundesinstitut
für Bau-, Stadt- und
Raumforschung

im Bundesamt für Bauwesen
und Raumordnung



De beoordeling in hoeverre systemen economisch rendabel zijn toont aan, dat de warmtepomp variant hogere investerings-, bedrijfs- en onderhoudskosten met zich meebrengt. Daar tegenover staan wel geringere verbruikskosten. Bij een infraroodsysteem in combinatie met PV (voorbeeld K76) liggen de totale kosten significant lager.

Daarmee is deze variant, berekend over een tijdruim van 50 jaar, goedkoper dan een warmtepomp. Uit de tests kan worden geconcludeerd dat het concept met een infrarood systeem met een PV-installatie eenduidig economische en ecologische voordelen heeft. De omvang van het gebouw en de mate van isolatie bepalen hoe groot het voordeel is. (zie afb. 154)

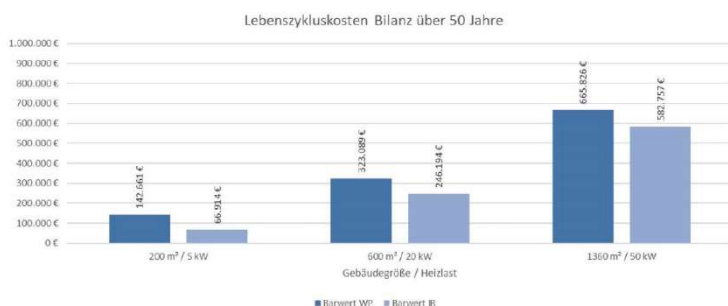


Abb. 154 Änderungen der Wirtschaftlichkeit bei Verringerung der Gebäudegröße

	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%

Kunnen infrarood verwarmingen een alternatief zijn voor warmtepompen?

De voordelen van een Redwell infrarood verwarming (installatie, onderhoud, flexibiliteit, bedieningsgemak, investering enz.) dragen ertoe bij, dat een op elektriciteit gebaseerde verwarming, dankzij lokaal geproduceerde duurzame energie, perfect past binnen de energietransitie. Nieuwbouw van woningen en appartementsgebouwen of renovatie van bestaande bouw, uitgerust met Redwell infrarood verwarming in combinatie met een PV-systeem, kunnen zorgdragen voor de verdere uitbouw van de duurzame energieopwekking en daarbij tevens de huiseigenaren minder financieel belasten, anders dan bij warmtepompen het geval is. Ook toont het onderzoek aan dat het mogelijk is om, met een op het verbruik geoptimaliseerde regeling van de infrarood verwarmingsinstallatie incl. PV-installatie, ook in de verwarmingsperiode een gelijke en zelfs lagere netbelasting als dat van een warmtepompinstallatie te bereiken.

In opdracht van



Bundesministerium
des Innern, für Bau
und Heimat

ZUKUNFT BAU
FORSCHUNGSFÖRDERUNG



Bundesinstitut
für Bau-, Stadt- und
Raumforschung

im Bundesamt für Bauwesen
und Raumordnung





4. Conclusie

Het project IR-Bau, waaraan de fabrikant Redwell Manufaktur GmbH als partner heeft meegewerkt, met z'n veelvoud aan onderzoek aspecten, heeft enkele voordelen van IR-verwarming in vergelijking met vloerverwarming kunnen aantonen.

Een warmtepomp is weliswaar het meest efficiënte systeem om warmte te genereren en heeft ook een lager energieverbruik, maar daar staan lagere investeringskosten van een IR-verwarming tegenover. Een Redwell infrarood verwarming in combinatie met PV-installatie kan door de gedeeltelijke dekking uit eigen energieproductie in de winter en een overschot aan productie in de zomer nog meer voordelen behalen.

De combinatie van een IR-verwarming als warmteopwekker en een PV-installatie als duurzame energieproductie zou de standaard moeten worden, om op deze manier de ecologische en economische voordelen van beide systemen optimaal te benutten. De dalende prijzen bij PV-installaties kunnen dit voordeel in de toekomst nog verder doen toenemen. Dit, indien de warmwaterproductie wordt gedaan door middel van een elektrische boiler of decentrale tapwater warmtepomp en een latere combinatie met een batterijopslag, biedt het infrarood systeem met zijn flexibele regelbaarheid een groot potentieel.

In opdracht van



Bundesministerium
des Innern, für Bau
und Heimat

ZUKUNFT BAU
FORSCHUNGSFÖRDERUNG



Bundesinstitut
für Bau-, Stadt- und
Raumforschung

im Bundesamt für Bauwesen
und Raumordnung

