

MASTER

Een comfortinstallatie voor gerenoveerde woningen met extreem lage warmtehoeft een ontwerp door metingen en simulaties

van Erk, N.

Award date:
2009

[Link to publication](#)

Disclaimer

This document contains a student thesis (bachelor's or master's), as authored by a student at Eindhoven University of Technology. Student theses are made available in the TU/e repository upon obtaining the required degree. The grade received is not published on the document as presented in the repository. The required complexity or quality of research of student theses may vary by program, and the required minimum study period may vary in duration.

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain

ARR
2009
BWK

4380

Een comfortinstallatie voor gerenoveerde woningen

met extreem lage warmtebehoefte

een ontwerp door metingen en simulaties

Niek van Erk (BSc)

Afstudeer rapport

Student nummer: 0549121

Technische Universiteit Eindhoven

Faculteit Bouwkunde

Master Building Services

Eindhoven, juni 2009

Afstudeercommissie

Prof. dr. ir. M.H. de Wit

dr. ir. A.W.M. van Schijndel

ir. ing. G. Boxem

akkoord


Voorwoord

Dit rapport is het resultaat van mijn afstudeeropdracht tijdens het laatste jaar van mijn opleiding installatietechnologie aan de technische universiteit in Eindhoven. Tijdens deze afstudeeropdracht heb ik onderzoek gedaan naar een geschikte comfortinstallatie voor gerenoveerde doorzonwoningen volgens de passiefhuis methode. Voor dit onderzoek heb ik veel hulp gehad van mijn dagelijkse begeleider Gert Boxem, die mij kritischer heeft laten kijken naar de resultaten en me heeft geholpen het proces vlot te laten verlopen. Graag wil ik hem daarvoor bedanken. Ook de andere twee heren van mijn afstudeercommissie, Martin de Wit en Jos van Schijndel wil ik graag bedanken, waar ik altijd heb mogen binnenlopen voor vragen en die me stimuleerden tijdens het onderzoek.

Graag wil ik de initiatiefnemers van het renovatieproject de Kroeven, Ad van Reekum en Erik Franke bedanken voor het beschikbaar stellen van een proefwoning en het delen van hun expertise in het vakgebied over passief wonen. Ook ben ik dankbaar voor de informatie die ik heb mogen ontvangen over het renovatieproject en de gedeelde ervaringen van de participanten in het renovatieproject; Robert van Rede van Aramis-Alleewonen, Maarten Bekx en Linda Buijsman van Franke Architecten, Robert de Bourgraaf en Wilko Broekhoven van Ingenieurs Alliantie, Joachim Morhenne als onafhankelijk adviseur, Jérôme Corba, Norbert Hoek en Hilko Knul van J.E. Storkair, Lex van Dorst en Ronald Heezemans van Atag verwarming en Klaas ter Horst en Wim Hijmissen van Brink Climate Systems.

Ook andere mensen uit het bedrijfsleven die niet betrokken zijn bij het renovatieproject hebben mij een dienst bewezen door informatie te verstrekken over hun producten, te weten Eric Tijssen van Grundfos en Dingeman Ottevanger van HR solar.

Daarnaast wil ik graag alle medewerkers en studenten van de opleiding bedanken voor hun hulp tijdens dit onderzoek. Wout van Bommel en Erwin Smits hebben veel geholpen bij het voorbereiden en uitvoeren van metingen. Michiel Ham vanwege zijn kritische kijk op de resultaten. Lester van Ree en Barry Tuip wil ik graag bedanken voor de hulp tijdens metingen, en voor hun onderzoeksresultaten. Lester heeft me verder goed geholpen bij de invoer van het model. Coen Hoogervorst en Linda Pennings hebben me een dienst bewezen door de hoofdstukken van dit rapport kritisch door te nemen, wat de leesbaarheid van dit rapport ten goede is gekomen.

Als laatste wil ik graag mijn familie bedanken, die gedurende heel mijn studietijd voor me klaar stond.

Samenvatting

In de woningbouw in Nederland is het belangrijk dat gebruikers een hoog comfort genieten, maar dat moet samengaan met een laag energieverbruik. Daarom worden woningen steeds beter geïsoleerd, en gevels luchtdicht gebouwd. Hierdoor neemt de warmtebehoefte van woningen steeds verder af. Echter is de ontwikkeling van de comfortinstallatie niet met deze trend meegegaan. Voor het bereiden van ruimteverwarming en tapwater wordt traditioneel een gasketel gebruikt, welke een vermogen heeft dat vijf keer zo groot is als de warmtebehoefte van een extreem goed geïsoleerde woning met kierdichting.

Het is daarom belangrijk een geschikte comfortinstallatie te vinden, die voldoet in een woning met extreem lage warmtebehoefte. Het doel van dit onderzoek is een passende installatie te ontwerpen voor dit probleem. Om dit doel te behalen zijn tijdens dit onderzoek metingen gedaan in een voorbeeldwoning welke gerenoveerd is volgens de passief huis methode. Daarnaast is een model ontwikkeld in HAMBASE waarin een goed geïsoleerde woning gesimuleerd kan worden. Dit model is gebruikt om het energieverbruik van verschillende alternatieve systeemconcepten met elkaar te vergelijken.

Uit metingen is gebleken dat de warmtebehoefte van de voorbeeldwoning ongeveer 2,5 kW is en per jaar 250 m³ aardgas nodig heeft om een comfortabel binnenklimaat te creëren. Met een combiketel wordt hiervoor twee keer zoveel energie verbruikt dan de behoefte van de woning. Ook is duidelijk geworden dat de inblaaslucht na warmteterugwinning uit de retourlucht te koud is om in te blazen met standaard roosters om tocht te voorkomen.

De drie alternatieve installaties die tijdens dit onderzoek als geschikt bevonden worden hebben luchtverwarming als basis voor ruimteverwarming en een zonneboiler voor warm tapwater. De traditionele cv ketel wordt gebruikt om warmte te bereiden omdat in renovatiewoningen een gasaansluiting aanwezig is en gas een goedkope energiebron is. Omdat het vermogen hiervan te groot is, is een buffervat nodig om warmte geleidelijk af te geven aan de woning. De basis van de drie alternatieven is luchtverwarming met een mogelijkheid om per ruimte te verwarmen middels radiatoren. Als de warmtevraag van de woning echter nog verder afneemt, wordt het interessant om op lokaal niveau elektrisch te verwarmen.

Summary

In Dutch dwellings comfort is a very important issue, and also reduction in energy use is getting more important. To reduce the energy consumption, dwellings are built with more insulation and an airtight façade, which causes a lower heat demand for the dwelling. A conventional system, which is often used in dwellings for space heating and domestic hot water is a 'combi-boiler', which delivers five times more power than needed for heat demand of good insulated dwellings.

There is need for a comfort installation, which can produce the heat demand of well insulated dwellings, without overproduction. The aim of this experimental study is to design a suitable solution for this problem. To reach this aim an experimental study has been done in a representative well-insulated dwelling, which is renovated according to the passive house method. A model has been developed in HAMBASE, to simulate the heat demand of well-insulated dwellings. Measurements are used to validate the model. The model is used to compare the energy consumption of alternative configurations of installation concepts.

One of the conclusions of the experimental study is that the remaining heat demand was 2,5 kW for the representative well-insulated dwelling. A yearly consumption of 250 m³ gas is enough to keep the dwelling comfortable. By the use of a combi-boiler, the energy consumption is twice the demand of the dwelling, because of the high energy losses. Another conclusion was that the temperature of air at the inlet after the heat exchanger was too low to blow in to prevent draught.

The three alternative configurations of installation concepts, which are developed in this research for well-insulated dwellings, are based on air heating. Furthermore they all contain a solar boiler to produce heat for domestic hot water. The conventional boiler is also used in the alternatives, because a gas fitting is available in the dwellings and gas is a cheap energy source. To store the overproduced heat, a buffer is needed to be flexible with energy over time. The basis of the three alternatives is to use air heating and heating can be expanded by the use of radiators. If the heat demand of the dwelling will be even less, it will be a solution to induce extra local heat electrically instead of using radiators.

Inhoudsopgave

VOORWOORD	2
SAMENVATTING	3
SUMMARY	4
INHOUDSOPGAVE	5
SYMBOLENLIJST	7
HOOFDSTUK 1: INLEIDING	8
1.1 DOEL VAN HET ONDERZOEK	9
1.2 METHODE VAN HET ONDERZOEK	9
HOOFDSTUK 2: VAN KOLENKACHEL TOT PASSIEFHUIS INSTALLATIE	11
2.1 DE ONTWIKKELING VAN DE COMFORT INSTALLATIE IN NEDERLAND	11
2.1.1 RUIMTEVERWARMING	11
2.1.2 TAPWATER.....	12
2.1.3 VENTILATIE	15
2.1.4 ENERGIEKOSTEN.....	16
2.2 ANALYSE VAN PASSIEFHUIS PROJECTEN IN WEST EUROPA	17
HOOFDSTUK 3: ANALYSE NAAR BEHOEFTE VAN EEN GERENOVEERDE WONING .	21
3.1 BESCHRIJVING VAN EEN DOORZONWONING	21
3.1.1 VOORBEELDWONINGEN IN DE KROEVEN	22
3.1.2 RENOVATIE VAN DE VOORBEELDWONINGEN	23
3.1.3 COMFORTINSTALLATIE IN DE GERENOVEERDE WONING	24
3.2 ANALYSE VAN DE WARMTEVRAAG VAN EEN GERENOVEERDE WONING	25
3.2.1 DE BEREKENDE WARMTEBEHOEFTE VAN DE VOORBEELDWONING.....	25
3.2.2 ANALYSE VAN DE WARMTEBEHOEFTE VAN DE VOORBEELDWONING	26
3.3 ANALYSE VAN DE KOELBEHOEFTE VAN EEN GERENOVEERDE WONING	34
3.4 ANALYSE NAAR HET GEDRAG VAN DE INSTALLATIE IN DE GERENOVEERDE WONING	35
3.4.1 MEETMETHODE	36
3.4.2 ENERGIEVERBRUIK EN PRESTATIES VERWARMINGSINSTALLATIE.....	37
3.4.3 ENERGIEVERBRUIK EN PRESTATIES GEBALANCEERDE VENTILATIE.....	40
3.4.4 CONCLUSIES ENERGIEVERBRUIK EN PRESTATIES COMFORTINSTALLATIE	43
3.5 OPTIMALISATIE VAN DE INSTALLATIE IN DE GERENOVEERDE WONING	46
3.5.1 TAPWATER.....	46
3.5.2 RUIMTEVERWARMING	48

HOOFDSTUK 4: ONTWIKKELEN VAN EEN MODEL VAN DE VOORBEELDWONING....	51
4.1 VALIDATIE MET SLECHTS ZONINSTRALING ALS WARMTEBRON	51
4.2 VALIDATIE BIJ INTERNE WARMTE	53
4.3 CONCLUSIES.....	54
4.4 SIMULATIE VAN DE VOORBEELDWONING VOOR EEN MODELJAAR	55
HOOFDSTUK 5: ALTERNATIEVE COMFORTINSTALLATIES.....	57
5.1 LUCHTVERWARMING VOOR DE HELE WONING.....	57
5.2 LUCHTVERWARMING EN RADIATORVERWARMING	58
5.3 LUCHTVERWARMING MET ELEKTRISCHE NAVERWARMING.....	60
5.4 DISCUSSIE	63
HOOFDSTUK 6: CONCLUSIE EN AANBEVELINGEN.....	66
6.1 ANTWOORDEN OP ONDERZOEKSVRAGEN.....	66
6.2 CONCLUSIES NA METINGEN EN SIMULATIE	67
6.3 VERVOLGONDERZOEK.....	68
LITERATUUR	69
BIJLAGEN	71
BIJLAGE I: METERSTANDEN IN DE GERENOVEERDE TUSSENWONING IN ROSENDAAL	71
BIJLAGE II: MEETPUNTEN IN DE VOORBEELDWONING IN ROSENDAAL.....	72
BIJLAGE III: CORRECTIETABEL PANEELRADIATOREN VOLGENS RADSON.....	73
BIJLAGE IV: PLATTEGRONDEN VAN DE VOORBEELDWONING IN ROSENDAAL.....	74
BIJLAGE V: BYPASS REGELING VAN DE WTW IN DE VOORBEELDWONING.....	75
BIJLAGE VI: INVOERGEGEVENS HAMBASE MODEL	76
BIJLAGE VII: BEREKENING PHPP OPBRENGST ZONNECOLLECTOR	85
BIJLAGE VIII: FOTO HOUPELLETS	86

Symbolenlijst

Symbool	Omschrijving	Eenheid
Q	Vermogen	kW
E	Energieverbruik	kWh / Wh / MJ / GJ ^[1]
E _{tot}	Jaarlijks energieverbruik per oppervlakte	kWh/m ² a
Opp	Oppervlakte	m ²
V	Volume	liter / m ³
V _{ag}	Volume aardgas	m ³
η	Rendement	%
v	Ventilatievoud	/h
T	Temperatuur	°C
ΔT	Temperatuurverschil	K
U	U-waarde	W/m ² K
R	Warmteweerstand	m ² K/W
Δp	Drukverschil	Pa
Q	Vermogen per temperatuurverschil	W/K
t	Tijd	sec
v _{tap}	tapdebiet	l/s

[1]: 1 kWh = 10⁻³ Wh = 3,6 MJ = 3,6*10⁻³GJ

Lijst van afkortingen

Afkorting	Omschrijving
EPC	Energie prestatie coëfficiënt
WTW	Warmte terugwinning
COP	Prestatie coëfficiënt van warmtepomp

Hoofdstuk 1: Inleiding

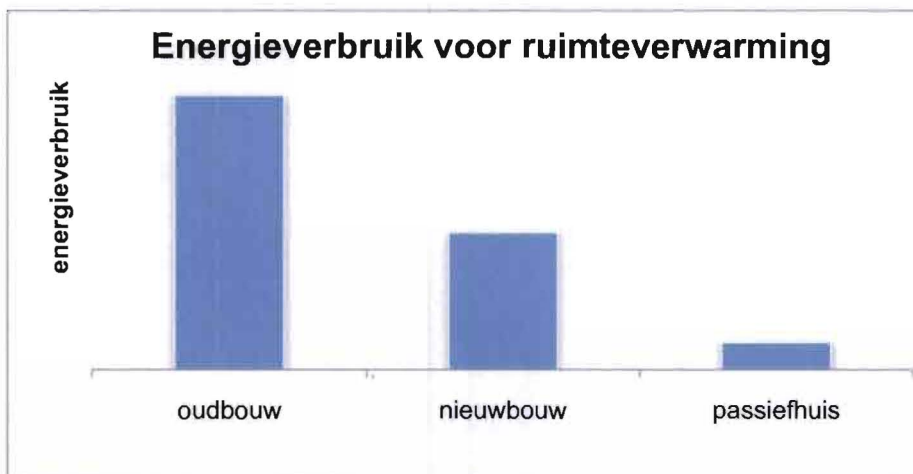
Tegenwoordig hecht men veel waarde aan energiezuinige woningen. Aan de ene kant omdat energie steeds duurder wordt. De prijs van elektriciteit is de afgelopen jaren met gemiddeld 7% gestegen en de prijs van aardgas zelfs met 10% per jaar gemiddeld (CBS 2008).

Daarnaast wordt door een verminderd energieverbruik het milieu minder belast. Nederland is een van de deelnemende landen aan het Kyoto protocol, en heeft zich als doel gesteld om 6% minder broeikasgassen te produceren tussen 2008 en 2012, ten opzichte van referentiejaar 1990 (KMMI 2008).

Huishoudens in Nederland nemen 12% (CBS 2008) tot 20% (ECE 2007) van het totale energieverbruik in Nederland voor hun rekening. De Nederlandse overheid heeft maatregelen getroffen met als doel het energieverbruik in de woningbouw te verminderen. Er is hiervoor een Energie Prestatie Coëfficiënt (EPC) eis geïntroduceerd, die sinds 1 januari 2006 voorschrijft dat nieuwbouwwoningen een EPC van maximaal 0,8 mogen hebben (SenterNovem 2008). Dit resulteert in de praktijk dat woningen worden gebouwd met buitengevelisolatie en warmte terugwinning van de ventilatielucht (SenterNovem 2008).

Een meer extreme manier om energie te besparen zonder verlies van comfort is door passief bouwen. Deze bouwmethode schrijft voor dat woningen niet meer dan 15 kWh/m²a aan energie mogen verbruiken voor ruimteverwarming (Schnieders 2006). Hierdoor moeten woningen extra goed worden geïsoleerd, de buitengevel extra luchtdicht worden gemaakt en moet er met een hoog rendement warmte teruggewonnen worden uit de ventilatielucht. Het energieverbruik voor ruimteverwarming is volgens deze definitie ongeveer een vijfde deel van een nieuwbouwwoning met EPC 0,8 (Stichting Passiefhuis Holland 2008). Passief bouwen is echter niet alleen toepasbaar in nieuwbouw situaties, maar kan ook ingezet worden voor renovatieprojecten (Stichting Passiefhuis Holland 2008).

Bij het renoveren van woningen volgens de passief bouwen methode loopt men echter tegen het probleem aan dat de bestaande comfortinstallatie te groot is voor de behoefte van de woning na de renovatie. Ruimteverwarming wordt traditioneel geleverd door een cv of combiketel met een vermogen van 18 tot 22 kW (VROM 2007). De behoefte van een woning na de renovatie is ongeveer 2 kW (Stichting Passiefhuis Holland 2008). De cv ketel is niet in staat om terug te regelen naar dit lage vermogen, waardoor een te groot vermogen aan warmte in de woning komt. Dit zorgt voor een slecht te regelen installatie, waardoor gezocht moet worden naar een passende installatie hiervoor.



afbeelding 1: vergelijking tussen het energieverbruik van drie situaties: oudbouw, nieuwbouw en passiefbouw (Stichting Passiefhuis Holland 2008)

1.1 Doel van het onderzoek

Tijdens deze afstudeeropdracht wordt onderzocht wat een geschikte comfortinstallatie is voor doorzonwoningen die gerenoveerd worden volgens de passiefhuis methode, waardoor de warmtebehoefte sterk afneemt. Deze comfortinstallatie moet voldoen aan onderstaande eisen:

- Hoge mate van comfort
- Laag energieverbruik
- Eenvoudig in gebruik
- Weinig onderhoud behoevend
- Hoge betrouwbaarheid van functioneren

Onderzoeksvragen:

- Wat is de resterende warmtevraag van de woning en hoe ziet het vraagpatroon er uit?
- Wat zijn de eisen die gesteld moeten worden aan de installatie?
- Welke alternatieve installaties zijn hiervoor geschikt?

1.2 Methode van het onderzoek

Om tot het gewenste doel te komen zijn verschillende onderzoeksfasen doorlopen.

Fase 1: Vaststellen van het doel, hoofdstuk 1

Omdat de traditionele methode van warmtebereiding niet geschikt is voor de warmtebehoefte van de doorzonwoning, is tot doel gesteld om door middel van dit onderzoek hiervoor een geschikte installatie te ontwerpen. De randvoorwaarden voor de installatie staan beschreven in paragraaf 1.1.

Fase 2: Literatuurstudie, hoofdstuk 2

Om een goed beeld te krijgen van de situatie rondom dit onderzoek, is een literatuurstudie gedaan naar de ontwikkeling van de Nederlandse comfortinstallaties vanaf de jaren 50 tot de methode van passief bouwen. Hierbij is ook bestudeerd wat de ontwikkelingen van passief bouwen zijn in Nederland en het buitenland.

Fase 3: Analyse van een woning gerenoveerd volgens de passief bouwen methode, hoofdstuk 3

Om een goed installatie ontwerp te kunnen maken is het nuttig te weten wat het gedrag van een goed geïsoleerde woning is. Daarom is gebruik gemaakt van een voorbeeldwoning, welke staat beschreven in paragraaf 3.2. Ook is onderzocht hoe de traditionele installatie in deze woning presteert. Er zijn hiervoor metingen gedaan naar het comfort in de woning en het energieverbruik van de installatie.

Fase 4: Ontwikkelen van een betrouwbaar model van een gerenoveerde woning, hoofdstuk 4

Met behulp van de metingen uit fase 3 is een gevalideerd model ontwikkeld van een woning met lage warmtebehoefte. Dit model maakt het mogelijk het thermisch comfort en energieverbruik door te rekenen met verschillende installaties. Dit model zal in fase 5 gebruikt worden om voorspellingen te doen als andere comfortinstallaties in de woning geplaatst worden.

Fase 5: Onderzoeken van alternatieve installaties die geschikt zijn voor de woning, hoofdstuk 5

Naar aanleiding van conclusies uit fase 3, zijn alternatieve comfortinstallaties ontworpen. Middels het model is onderzocht wat de prestaties van de alternatieve installaties zijn in een gerenoveerde woning. Deze alternatieven zijn bediscussieerd, waarbij de voor en nadelen beschreven zijn.

Fase 6: Afrondende fase, hoofdstuk 6

Naar aanleiding van de analyse van de voorbeeldwoning en het ontwikkelen van een simulatiemodel zijn conclusies getrokken. Ook staan aanbevelingen voor vervolgonderzoek in dit hoofdstuk beschreven.

Hoofdstuk 2: Van kolenkachel tot passiefhuis installatie

Om een onderzoek te kunnen doen naar de comfortinstallatie in extreem goed geïsoleerde woningen is het nuttig om een analyse te doen naar de situatie. Hiervoor is een literatuurstudie gedaan. Tijdens dit onderzoek wordt gekeken naar woningen van het type doorzon, welke gebouwd zijn in Nederland sinds de jaren 50. Naar schatting staan meer dan 460.000 van dit soort woningen in Nederland zoals te zien in onderstaand diagram.



afbeelding 2: de verdeling van het aantal zelfstandige woningen in Nederland (VROM 2007). Het aantal eengezins sociale huurwoning die gebouwd zijn tussen 1945 en 1970 is naar schatting meer dan 460.000.

Bij de literatuurstudie is inzicht verkregen in de ontwikkeling van de comfortinstallatie sinds de jaren 50 van de vorige eeuw, tot de moderne ontwikkelingen. Omdat de ontwikkeling van passief bouwen in Duitsland, Oostenrijk, Zwitserland en Scandinavië verder ontwikkeld is dan in Nederland, is tijdens deze literatuurstudie ook gekeken naar de comfortinstallatie van passiefhuizen in deze landen. Verder is gebruik gemaakt van Nederlands onderzoek naar de passieve zonne-energie woning.

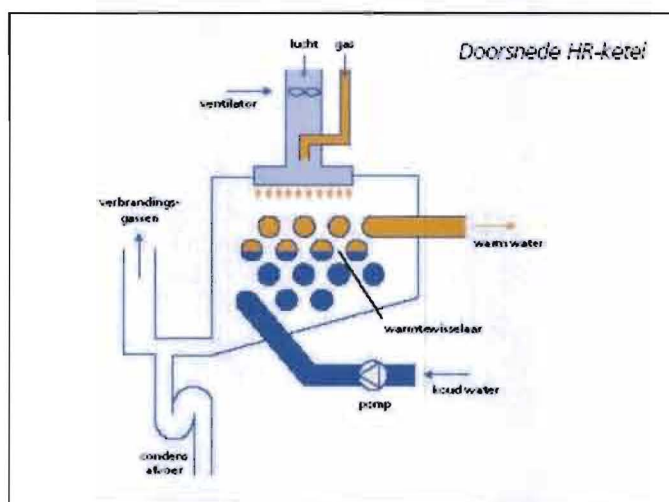
2.1 De ontwikkeling van de comfort installatie in Nederland

2.1.1 Ruimteverwarming

In Nederland is het tegenwoordig gebruikelijk dat een woning verwarmd wordt door centrale verwarming. In 2004 was dit in 82% van de woningen in Nederland het geval (VROM 2007). De centrale verwarming op gas zoals we die nu kennen bestaat pas sinds de jaren zestig, toen er een landelijk gasnet aangelegd werd (Gasunie 2009). Voor die tijd werd warmte in woningen geleverd door een kachel die als brandstof hout, kolen of petroleum gebruikt. Deze kachels geven direct warmte af in de opgestelde ruimte. (Wikipedia 2009). De komst van het gasnet heeft de gaskachel geïntroduceerd in de Nederlandse huishoudens, welke sinds die tijd veel in ontwikkeling is geweest. In het begin verving de gaskachel de kolenkachel, maar

door toenemende welvaart is de centrale verwarming ingevoerd. Warmte wordt daarbij geleverd door een gasketel en middels stromend water in de verschillende ruimtes van de woning afgegeven door radiatoren of convectors.

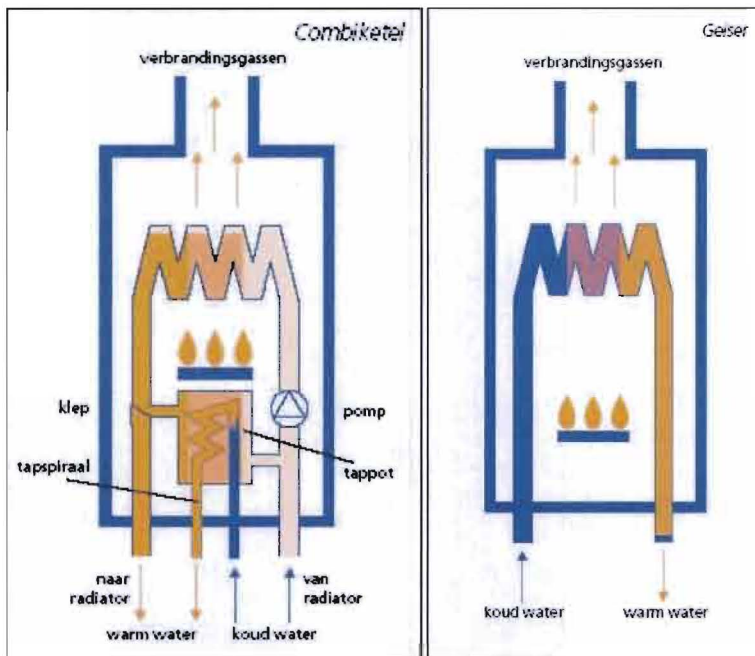
De cv ketel wordt aangestuurd door een thermostaat, welke vaak in de woonkamer hangt en een signaal geeft aan de ketel als er verwarmd moet worden. Centrale verwarming werkt dus automatisch: er hoeft geen brandstof handmatig toegevoegd te worden en de thermostaat regelt de temperatuur in de woning. Sinds de stijging van energieprijzen is het rendement van steeds groter belang geworden. Zo is de conventionele ketel verder ontwikkeld tot de VR ketel, met een omzettingsrendement van 83% en later ook de HR ketel met een rendement van 90% (Wikipedia 2009). De HR ketel behaalt een hoog rendement omdat rookgassen worden afgekoeld, zodat de waterdamp hierin condenseert. Deze warmte wordt nuttig gebruikt, waardoor inmiddels de HR 107 ketel op de markt is, welke een rendement heeft van 96% (Intergas 2009).



afbeelding 3: de werking van een HR ketel; door de vorm van de warmtewisselaar condenseert de waterdamp in de rookgassen, waardoor een extra hoog rendement behaald wordt (EPK 2009)

2.1.2 Tapwater

Comfort werd sinds de jaren 50 in woningen steeds belangrijker. Vanwege de komst van het landelijk gasnet in Nederland en technische ontwikkelingen, werd het eenvoudig om stromend water te verwarmen. In het begin werd dit gedaan door een geiser. Dit is een doorstroomtoestel waarbij gas gebruikt wordt als brandstof: er wordt pas water opgewarmd als er warmwater getapt wordt. Omdat het vermogen om tapwater te bereiden ongeveer even groot was als het vermogen dat nodig was voor ruimteverwarming, zijn deze twee functies sinds de jaren tachtig samengevoegd in één apparaat: de combiketel. Deze was in 2005 in 75% van alle woningen geïnstalleerd (VROM 2007).



afbeelding 4: de werking van een combiketel en een geiser (EPK 2009). Een geiser heeft als hoofdfunctie het bereiden van warm tapwater, terwijl een combiketel dit als nevenfunctie heeft.

Het gemiddeld gasverbruik per huishouden in Nederland in 2004 was 383 m³ voor de bereiding van warm tapwater en 1290 m³ voor ruimteverwarming (VROM 2007). Het is dus logisch dat de combiketel het zwaartepunt heeft liggen bij de opwekking van ruimteverwarming. De verbetering van het rendement van de ketel is daarom vooral gericht op het afgeven van warmte voor ruimteverwarming. Het omzettingsrendement voor tapwater bij een moderne combiketel is ongeveer 80% (Intergas 2009).

tabel 1: eigenschappen voor ruimteverwarming en tapwater. De combiketel heeft als hoofdfunctie het leveren van warmte voor ruimteverwarming, maar het aandeel tapwater wordt steeds belangrijker

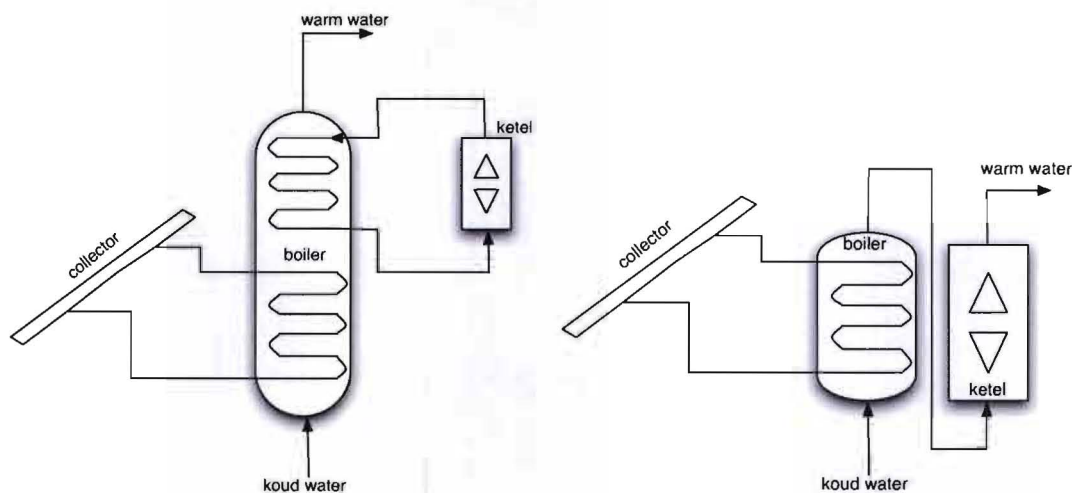
	Ruimteverwarming	Tapwater	Bron
Omzettingsrendement	96%	80%	(Intergas 2009)
Verbruik gemiddeld	1290 m ³	383 m ³	(VROM 2007)
Verbruik passiefhuis	150 m ³	383 m ³	(Passivhaus Institut 2001)
Vermogen oudbouw	20 kW	20 kW	(VROM 2007)
Vermogen EPC 0,8	8 kW	20 kW	(Stichting Passiefhuis Holland 2008)
Vermogen passiefhuis	2 kW	20 kW	(Passivhaus Institut 2001)

Echter, sinds gebouwd wordt met betere isolatie en kierdichting voor woningen, is het vermogen voor ruimteverwarming sterk afgenomen (ongeveer 8 kW bij een woning met EPC

0,8 en bij een passiefhuis is dit 2 kW), maar het vermogen om tapwater te verwarmen is hetzelfde gebleven (ongeveer 20 kW). In deze situatie verschuift de hoofdfunctie van het apparaat naar het opwekken van warm tapwater (tabel 1).

In het kader van energiebesparing is voor het bereiden van tapwater, de zonnecollector op de markt gekomen. Deze warmt water op door zonne-energie dat gebruikt kan worden als warm tapwater. Hiervoor is een collector nodig die op het dak geplaatst moet worden, en een boilervat waar het verwarmde water in opgeslagen wordt. De energetische besparing van een moderne zonnecollector kan in Nederland oplopen tot 6,1 GJ per jaar wat gelijk staat aan 170 m³ aardgas. Dit kan worden bereikt met een HR solar collector welke een oppervlakte heeft van 5,4 m² en een bufferinhoud van 200 liter (Geremaan BV 2009). Deze opbrengst is de helft van het landelijk jaarlijks gemiddeld verbruik voor de bereiding van warm tapwater (VROM 2007).

Een zonnecollector zorgt echter niet een heel jaar voor de bereiding van warm water, maar slechts in de zomermaanden. Daarom moet voor de andere maanden in het jaar een geschikte oplossing gevonden worden om de (na)verwarming van warm tapwater te voldoen. Twee oplossingen hiervoor zijn een doorstroomtoestel of een voorraadtoestel. In combinatie met een zonnecollector, kan de zonneboiler een heel jaar door functioneren als voorraadvat, waarbij de naverwarmer het vat op een minimale temperatuur houdt als de zonnecollector daar niet genoeg warmte voor afgeeft. Het prinsipeschema ziet dan uit als in onderstaande afbeelding.



afbeelding 5 links: prinsipeschema van een zonneboiler met een naverwarmer die het voorraadvat op temperatuur houdt. Rechts: prinsipeschema van een naverwarmer na de zonnecollector voor de bereiding van warm tapwater

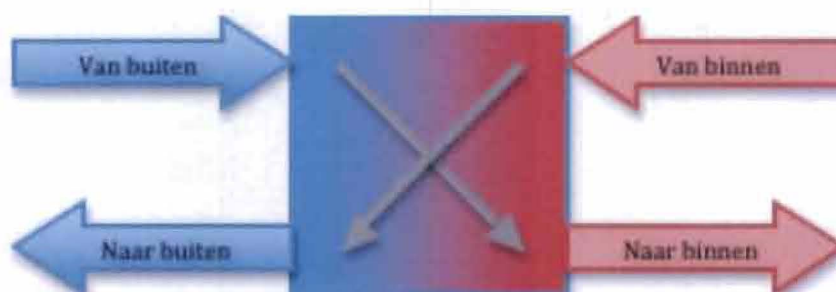
De manier om comfortabel tapwater te bereiden zonder het hele vat op een comfortabele temperatuur te houden, is door toepassing van een doorstroomtoestel. Het water wordt dan

alleen opgewarmd als tapwater wordt gevraagd, wat minder energie zal verbruiken dan een voorraadvat. Door de reactietijd van de naverwarmer duurt het echter iets langer voordat de gebruiker warm water zal tappen als het water van de zonneboiler koud is.

Een extra vorm van energiebesparing op het warm tapwater verbruik is door warmte terug te winnen. Onderzoek van ECN heeft aangetoond dat de jaarlijkse bijdrage hiervan 0,3 GJ is (Koene, Jong en Kaan 2001), wat ongeveer 3% is van de warm tapwater vraag. Omdat deze warmtewisselaar onder de afvoer van de douche geplaatst moet worden, is het bij renovatie moeilijk te realiseren.

2.1.3 Ventilatie

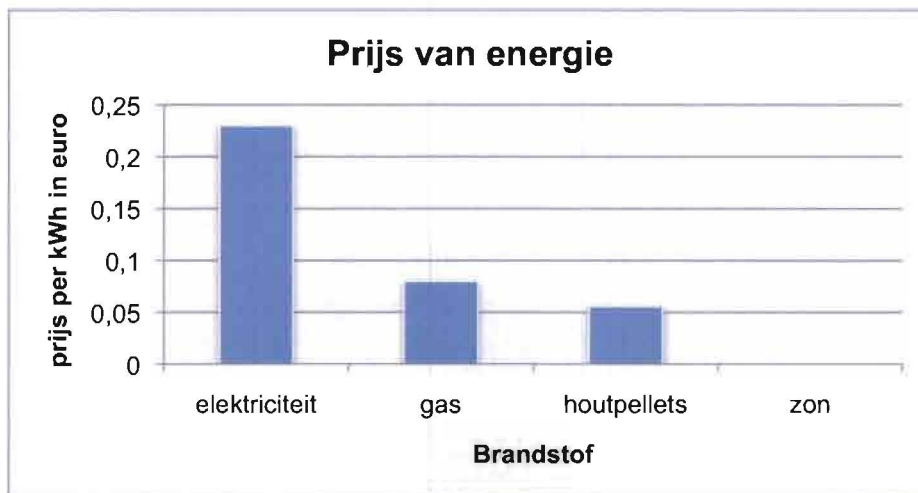
Verse lucht is nodig voor de gezondheid van mensen (OTB 2002). Mensen produceren afvalstoffen, die in grote hoeveelheid schade kunnen veroorzaken aan de gezondheid. Daarom moet er geventileerd worden in gebouwen. Meer dan tien jaar geleden werd in de woningbouw geventileerd door natuurlijke ventilatie. De gevel was toen nog relatief luchtopen waardoor er door kieren en spleten van de buitengevel schone lucht de woning in komt. Sinds buitengevels beter geïsoleerd worden en luchtdichter gebouwd, is het nodig om geforceerd te ventileren. Hierin bestaan verschillende typen: mechanische toevoer, mechanische afvoer of balansventilatie (OTB 2002). Om te voldoen aan de EPC eis van 0,8 wordt vaak balansventilatie toegepast. Hierbij wordt de lucht in de woning mechanisch afgezogen en frisse lucht mechanisch toegevoerd. Een optie hierbij is dat warmteterugwinning wordt toegepast: de warmte uit de retourlucht van de woning wordt gebruikt om de frisse lucht mee op te warmen die de woning ingaat.



afbeelding 6: het principe van warmteterugwinning van de ventilatielucht in winterbedrijf

Het rendement van deze warmteoverdracht in de WTW kan oplopen tot 95% (TNO 2000). Warmteterugwinning is vooral nuttig in de wintersituatie, als de lucht van buiten kouder is dan de gewenste inblaastemperatuur. Echter, in de zomer dient ook met een comfortabele temperatuur ingeblazen te worden. De buitenlucht kan dan warmer zijn dan de gewenste binnentemperatuur, dus moet op de WTW een bypass zitten, zodat geen warmte uitgewisseld wordt in deze situatie en koelere lucht de woning ingeblazen wordt (GGD Eemland 2008).

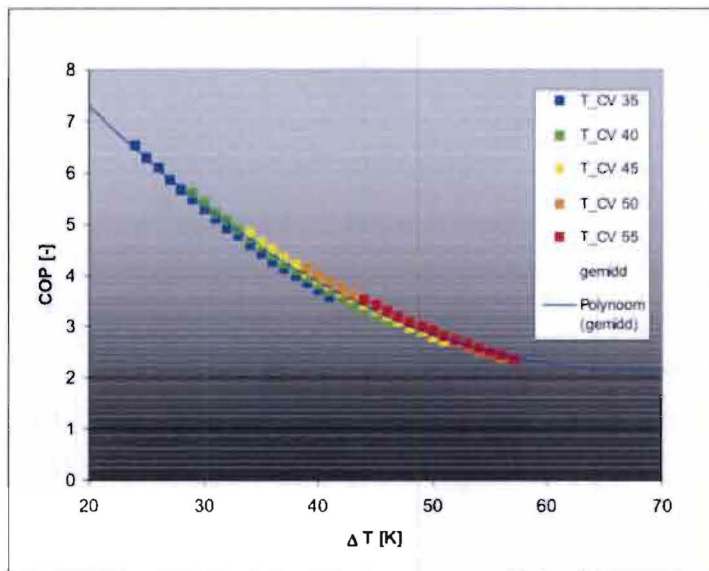
2.1.4 Energiekosten



afbeelding 7: de prijs voor een kWh aan warmte omgezet door verschillende brandstoffen

De verschillende onderdelen van de comfortinstallatie zijn de laatste jaren geoptimaliseerd, zoals te lezen in de voorgaande paragrafen. Dit is gedaan om het comfort te verhogen en energie te besparen. Een m³ aardgas kost in Nederland gemiddeld € 0,79, waaruit 35,17 MJ = 9,77 kWh warmte gehaald kan worden bij een omzettingsrendement van 100%. Een kWh elektriciteit kost gemiddeld € 0,23 (afbeelding 7) (CBS 2008). Echter is er nog een goedkopere vorm van energie: warmte middels houtpellets (Bijlage VIII). De verbrandingswaarde van een kilogram houtpellets is 18 MJ (= 5 kWh). Een kilogram houtpellets kost € 0,28 (Houtpelletsdirect 2009). Een combiketel die houtpellets als brandstof gebruikt is echter veel duurder in aanschaf (€ 8000) dan een gasketel (€ 1200) (Pietro e Calore 2009), waardoor het niet vaak wordt toegepast in Nederland. Ook moet rekening gehouden worden met ruimte voor opslag van pellets, terwijl gas en elektriciteit geleverd worden tot in de meterkast van een woning.

Een andere manier om warmte te leveren is door een warmtepomp. Doordat 'gratis' warmte uit buitenlucht of grondwater wordt gebruikt, kan met één deel elektriciteit twee tot zes delen warmte bereid worden (Stiebel Eltron 2009). Dit is de COP van een warmtepomp. Hoe dichter de te bereiden temperatuur van het water ligt bij de temperatuur van het medium waaraan warmte wordt onttrokken, des te hoger wordt de COP (afbeelding 8). Voor het bereiden van warm tapwater, waarbij de temperatuur 55°C moet zijn, is de COP ongeveer 2,5 (Stiebel Eltron 2009).



afbeelding 8: de COP van een warmtepomp wordt hoger als het temperatuurverschil tussen het medium en de gewenste temperatuur kleiner wordt (Koene, Jong en Kaan 2001)

2.2 Analyse van passiefhuis projecten in West Europa

Als een woning minder energie moet verbruiken dan de EPC eis van 0,8, kan dat door middel van de passief bouwen methode. Deze methode is in Nederland nog relatief onbekend. Tot 2008 zijn er in Nederland 21 passiefhuizen gebouwd (Stichting Passiefhuis Holland 2008). Deze methode van bouwen is beter bekend in onder andere Duitsland, Oostenrijk, Zwitserland, België en Zweden (Schnieders 2006) (Thiers 2008).

De basisgedachte van een passiefhuis is de thermische behaaglijkheid van de gebruiker te verbeteren tot het niveau dat een zeer eenvoudig verwarmingssysteem voldoet. Daarvoor wordt compact gebouwd, buitengevels worden zeer goed geïsoleerd en kierdicht gemaakt en er wordt gebalanceerd geventileerd waarbij warmte teruggewonnen wordt uit de retourlucht. De definitie van passief bouwen is vastgelegd door het passiefhuis instituut te Darmstadt (Schnieders 2006). De normen waaraan een passiefhuis moet voldoen zijn weergegeven in tabel 2.

tabel 2: de normen waaraan een passiefhuis moet voldoen

Passiefhuis normen (Feist, et al. 2005)

Energie voor ruimteverwarming < 15 kWh/m²a

Luchtdoorlatendheid van de gebouwschil < 0,6/h bij Δp = 50 Pa

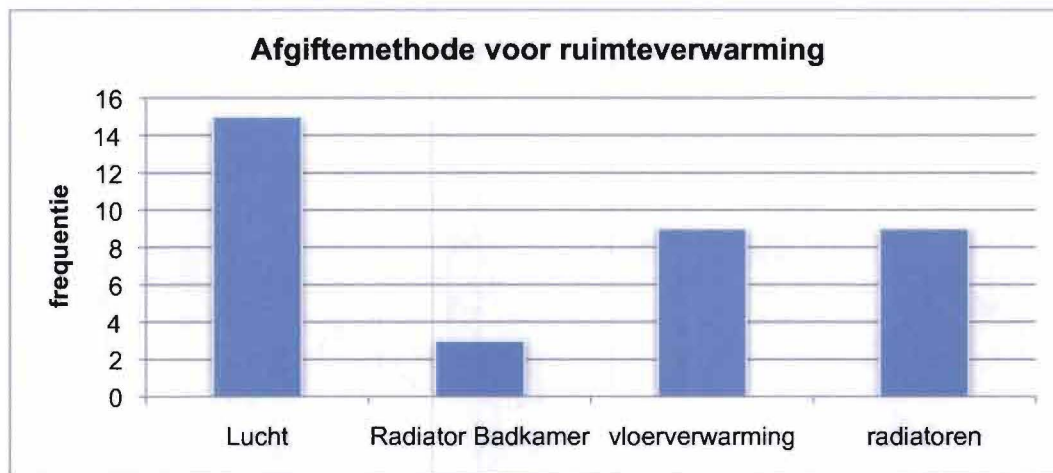
Verbruik primaire energie < 120 kWh/m²a

In samenwerking met het passiefhuis instituut is een project van 221 passiefhuizen in 5 verschillende landen opgezet, waarbij in deze woningen wordt gemeten naar het energieverbruik en comfort. Deze projecten staan in Zweden, Duitsland, Oostenrijk, Zwitserland en Frankrijk. Dit project wordt het CEPHEUS project genoemd, zoals beschreven staat in het artikel van Schnieders uit 2006. In dit artikel staat beschreven dat gemeten is naar de warmtebehoefte van de woningen. In een groot deel van deze woningen kan verwarmd worden met maximaal 15 kWh/m²a. Echter, er zijn ook woningen die met dezelfde bouwwijze tot drie keer deze hoeveelheid energie nodig hebben voor een comfortabel leefklimaat. De energie voor ruimteverwarming is dus sterk afhankelijk is van het gebruik van de woning. Het gemiddelde verbruik voor ruimteverwarming heeft in dit project een besparing van 80% gerealiseerd ten opzichte van een nieuwbouwwoning. De bewoners van de woningen in dit project waarderen het wonen in een passiefhuis als erg goed. Vanwege de dikke isolatielaag is het voorstelbaar dat de binnentemperatuur in een passiefwoning tijdens de zomer hoog kan oplopen. Van de bewoners beoordeelt 88% de binnentemperatuur tijdens de zomermaanden als goed tot erg goed. Een ander mogelijk probleem bij deze bouwmethode is een slechte luchtkwaliteit, omdat niet natuurlijk geventileerd wordt. Echter, van de bewoners beoordeelt 95% de luchtkwaliteit in de woning als goed tot zeer goed.

De passiefhuizen in dit project liggen in dezelfde klimaatzone als Nederland. Daarom zal het mogelijk zijn passiefhuizen in Nederland te bouwen. Een groot verschil met de Nederlandse bouwmethode is dat in Nederland veel meer geventileerd moet worden dan in de landen van het CEPHEUS project, waar een ventilatievoud van 0,25 tot 0,4 wordt aangehouden. In Nederland wordt voorgeschreven dat er minimaal 0,9 l/s per m² gebruiksoppervlakte frisse lucht toegevoerd moet kunnen worden, met een minimum van 7 l/s per verblijfsruimte. Frisse lucht moet uit minimaal 50% buitenlucht bestaan (OTB 2002). Voor een woning van 100 m² met drie slaapkamers komt het minimale ventilatievoud op ongeveer 0,5. Een lage luchtvochtigheid is een mogelijk probleem als volgens deze ventilatie-eis frisse lucht wordt toegevoerd.

Het idee van een passiefhuis is dat alle benodigde warmte voor ruimteverwarming toegevoerd kan worden via de lucht (Schnieders 2006). Hierbij mag de temperatuur van de lucht niet hoger worden dan 55°C, om te voorkomen dat stofdeeltjes verbranden in de toevoerlucht, wat een onaangename geur tot gevolg heeft. Ruimteverwarming wordt bij verschillende projecten zoals beschreven in de literatuur ook op andere manieren afgegeven aan de woning (afbeelding 9). Bij projecten in Duitsland en Zwitserland is vaak een radiator geplaatst in de badkamer, waarbij de overige ruimtes via inblaaslucht verwarmd worden. In een Scandinavisch project in Noorwegen, Zweden en Finland wordt verwarmd door

luchtverwarming, waarbij ook radiatoren worden gebruikt als warmte afgifte (Smeds en Wall 2007). In verschillende projecten in Noorwegen wordt naast luchtverwarming ook vloerverwarming toegepast (Dokka en Andresen 2008).



afbeelding 9: afgiftemethoden en hun frequentie van voorkomen voor ruimteverwarming in passiehuizen in west Europese landen zoals omschreven in de literatuur (Dokka en Andresen 2008), (Schnieders 2006), (Smeds en Wall 2007)

In passiefhuis projecten in West Europa, wordt in meer dan 65% van de gevallen door een zonneboiler warmte bereid. Omdat deze boiler alleen in de zomer warmte levert, wordt naverwarmd met een extra warmte bereider. Deze is wisselend per land, maar de meest gebruikte apparaten hiervoor zijn een houtpelletkachel, een gaskachel, een warmtepomp of een elektrische naverwarmer. De zonnecollector wordt niet alleen gebruikt voor het bereiden van warm tapwater, maar ook voor ruimteverwarming (Thiers 2008), (Wall 2006), (Schnieders 2006), (Dokka en Andresen 2008), (Smeds en Wall 2007).

In een overzicht van de stichting passiefhuis Holland, waarin gerealiseerde passiefhuis projecten in Nederland staan beschreven, is te vinden dat in de meeste gevallen een zonnecollector toegepast om warm tapwater te bereiden. Deze wordt vaak ondersteund door een combi ketel of anders een warmtepomp. De ruimteverwarming in deze goed geïsoleerde woningen in Nederland wordt vaak door een combiketel opgewekt, en anders door een warmtepomp of soms ook een houtkachel of pelletkachel. De afgifte van ruimteverwarming is via de lucht, maar vaak is dit geplaatst in combinatie met een of meerdere radiatoren.

In een onderzoek van ECN naar een verwarmingsconcept voor een passieve zonne-energie woning (Koene, Jong en Kaan 2001), welke een netto warmtevraag van 100 m³ aardgas per jaar heeft, blijken de systemen met radiatoren of luchtverwarming (afbeelding 10) de laagste exploitatiekosten te hebben. Een opmerking van dit in 2001 uitgevoerde onderzoek is dat de combiketel niet ver genoeg kan terugmoduleren om goed te voldoen aan de

Hoofdstuk 3: Analyse naar behoefte van een gerenoveerde woning

Om antwoord te kunnen geven op de hoofdvraag van dit onderzoek, welke comfortinstallatie geschikt is voor goed geïsoleerde gerenoveerde woningen, moet duidelijk zijn waaraan de installatie moet voldoen. Omdat de installatie de behoefte van de woning moet vervullen, is deze geanalyseerd. Om de behoefte van een doorzonwoning te onderzoeken, is gebruik gemaakt van een representatieve voorbeeldwoning in de wijk de Kroeven in Roosendaal, welke een renovatie heeft ondergaan met extreem goede isolatie en kierdichting van de gevel. Een beschrijving van deze woning is te lezen in paragraaf 3.1.1. In deze voorbeeldwoning zijn metingen gedaan naar de energiebehoefte en het comfort. Een beschrijving van de metingen is te lezen in paragraaf 3.2. De metingen zijn vergeleken met ontwerpberekeningen die voor deze woning gemaakt zijn door de adviseur. Hierna is antwoord gegeven op de eerste onderzoeksvraag, wat de resterende warmtevraag is van de woning en hoe het vraagpatroon er uit ziet. De metingen zijn daarnaast gebruikt om een model van een gerenoveerde woning te kunnen valideren, zoals beschreven in hoofdstuk 4.

3.1 Beschrijving van een doorzonwoning

Het woningtype waarnaar onderzoek gedaan wordt is de doorzonwoning, welke gebouwd is in de tweede helft van de twintigste eeuw. Het belangrijkste kenmerk hiervan is een groot raam in de voor- en achtergevel, die beiden aan de woonkamer op de begane grond grenzen. Op de eerste verdieping bevinden zich de slaapkamers en vaak een badkamer. De eerste generatie doorzonwoningen zijn vaak gebouwd met een dunne spouw en enkele beglazing (Wikipedia 2009).



afbeelding 11: Doorzonwoningen zijn veel te vinden en komen overal in Nederland voor, van links naar rechts: Emmausstraat IJzendijke (Directwonen.nl), Eikenlaan Zoelmond (svttiel.nl), Cantatestraat Nijmegen (dedigitalefabriek.nl), Hertogstraat te Zundert

Ruimteverwarming werd hierbij middels een gaskachel in de woonkamer afgegeven. Intussen is bij veel woningen de spouw nageïsoleerd en de enkele beglazing door dubbel glas vervangen. Ook is de warmtevoorziening aangepast waarbij vaak een centrale verwarming is aangelegd met een gasketel op zolder en radiatoren in de verschillende ruimten. Warmwater wordt bereid door een geiser of een combiketel. Het energieverbruik van dit woningtype ligt tussen de 1500 en 2000 m³ aardgas per jaar. Hiervan wordt gemiddeld 383 m³ verbruikt voor het bereiden van warm tapwater, 65 m³ voor koken en de rest voor ruimteverwarming (VROM 2007).

3.1.1 Voorbeeldwoningen in de Kroeven

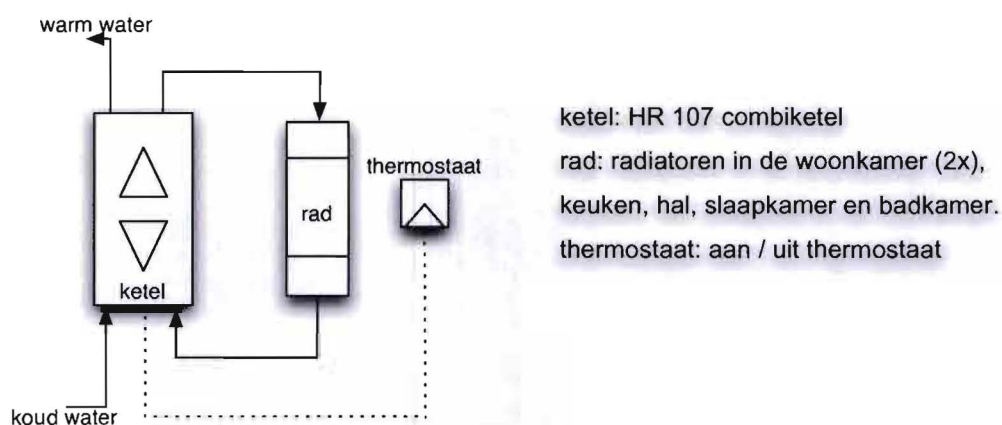
In de wijk de Kroeven in Roosendaal staan doorzonwoningen. Er staat gepland 246 sociale huurwoningen van woningcorporatie Aramis Allee Wonen te renoveren volgens de passiefhuis methode. Ter voorbereiding aan deze renovatieplannen zijn in april 2008 een tussen- en hoekwoning gerenoveerd (Stichting Passiefhuis Holland 2008). Deze woningen zijn gebruikt om metingen te doen om inzicht te krijgen in de behoefte van de woning en het presteren van de installatie. De twee gerenoveerde woningen zijn representatief voor dit onderzoek omdat ze gerenoveerd zijn met extreem goede isolatie en kierdichting. Daarom zullen ze als voorbeeldwoning in dit onderzoek worden gebruikt. De woningen hebben een gebruiksoppervlakte van 96,5 m². Op de begane grond is een hal, een woonkamer en een dichte keuken. Op de eerste verdieping zijn drie slaapkamers en een badkamer en via een vlieringtrap is de zolderverdieping bereikbaar. De voorgevel van de woning staat naar het Westen.



afbeelding 12: Foto van Haverschmidtlaan 8 en 6, twee doorzonwoningen in de wijk de Kroeven in Roosendaal, welke zijn gebruikt als voorbeeldwoningen in dit onderzoek.

Deze woningen zijn gebouwd in de jaren zestig van de twintigste eeuw en hadden toen een spouwmuur en enkele beglazing. De woningen waren aangesloten op een stadsverwarmingssysteem, en middels radiatoren werd warmte afgegeven aan de woning.

Middels een tussentijdse renovatie is de spouwmuur en het dak nageïsoleerd en dubbel glas geplaatst. Ook is de warmtevoorziening veranderd door een HR combiketel te plaatsen op zolder die de warmte voor de woning levert. Deze ketel verwarmt ook warm tapwater voor de keukenkraan en douche, (afbeelding 13). Ventileren gebeurt in beide situaties op natuurlijke wijze: de relatief luchtopen gevel laat frisse lucht naar binnen en extra ventileren gebeurt door te openen ramen.



afbeelding 13: principeschema van de comfortinstallatie van de voorbeeldwoning in de Kroeven

3.1.2 Renovatie van de voorbeeldwoningen



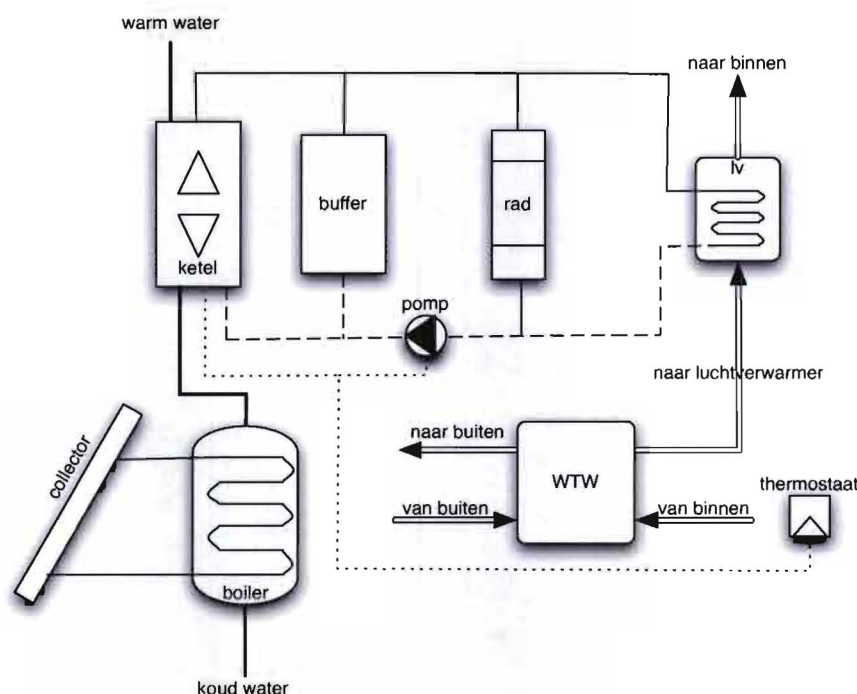
afbeelding 14: foto van de gerenoveerde woning aan de Haverschmidtlaan 12 en 10, welke als voorbeeldwoningen worden gebruikt in dit onderzoek

De doorzonwoningen in Roosendaal zijn gerenoveerd middels de passiefhuis methode. Dit resulteert in de praktijk dat de buitengevels zijn voorzien van 20cm extra XPS buitengevelisolatie. Het dak is vernieuwd en bestaat uit hetzelfde isolatiepakket. Daarnaast zijn ramen vervangen door drievoudig glas en geplaatst in panelen met koudebrugvrije kozijnen. Verder is de buitenschil extra luchtdicht gemaakt. De warmteweerstand van de geveldelen en het dak ligt volgens ontwerp na de renovatie tussen 8,4 en 9,0 m²K/W, en de beglazing heeft een U waarde van 0,6 W/m²K (Stichting Passiefhuis Holland 2008). De norm voor een passiefhuis is volgens de passiefhuis definitie niet gehaald (tabel 2, pagina 17). Dit is te wijten aan de extra moeilijkheid die renovatie met zich meebrengt ten opzichte van

nieuwbouw. De woning voldoet wel aan de eisen van de voorbeeldwoning: er is een renovatie uitgevoerd waarbij de woning extra goed is geïsoleerd en een extreem lage energiebehoefte voor ruimteverwarming heeft.

3.1.3 Comfortinstallatie in de gerenoveerde woning

Omdat er geen gasgestookte oplossingen bekend zijn om ruimteverwarming te voorzien in woningen met extreem lage warmtebehoefte, is in de voorbeeldwoning de comfortinstallatie grotendeels behouden tijdens de renovatie. Ruimteverwarming wordt geleverd door een HR 107 combiketel. Warmte wordt afgegeven aan de ruimtes middels een centrale luchtverwarmer en radiatoren in de verschillende ruimtes. De aan/uit thermostaat in de woonkamer geeft een signaal aan de ketel en de extra geplaatste circulatiepomp, als er warmtevraag in de woning is. De luchtverwarmer en radiatoren in de keuken en slaapkamers zijn uitgerust met een thermostatische radiatorkraan, om per ruimte de warmtetoevoer te kunnen regelen. In een buffervat wordt restwarmte van de ketel opgeslagen, om geleidelijk af te geven aan de woning (afbeelding 15).



afbeelding 15: principeschema van de verwarmingsinstallatie in de gerenoveerde voorbeeldwoning. ketel: Vaillant VHR 18-22C, buffer: inhoud 40 liter, rad = radiatoren (woonkamer, keuken, slaapkamers), lv = centrale luchtverwarming, thermostaat = Honeywell aan/uit, collector = 2,83 m², boiler = Atag Econorm 110 liter, WTW = J.E. Storkair WHR 930.

Ook het tapwatersysteem in de woning is aangepast. Het tapwater in de woning wordt bereid door een zonnewarmtesysteem. Dit bestaat uit een 2,83 m² grote zonnecollector, geplaatst op het dak, georiënteerd op het oosten, die opgewarmd water opslaat in een horizontaal

liggend buffervat van 110 liter. De jaarlijkse opbrengst van dit zonnewarmte systeem is 3,5 GJ / jaar volgens NEN 5128 (SenterNovem 2002). Een ruimtelijk voordeel van dit systeem is dat de horizontale boiler onder een schuin dak geplaatst kan worden waardoor het minder nuttige plaats inneemt dan een verticale boiler. De combiketel wordt nog als naverwarmer voor het tapwater gebruikt (afbeelding 15).

Als laatste aanpassing aan de comfortinstallatie is mechanische ventilatie geplaatst in de voorbeeldwoning. Het basiselement hierbij is een kruisstroom warmtewisselaar met een rendement van 95% volgens NEN 5138 (TNO 2000). Deze WTW is uitgerust met elektronische vorstbeveiliging en 100% bypass, om bevroering van de warmtewisselaar en oververhitting in de zomer tegen te gaan. De lucht naar en van de woning wordt verdeeld / verzameld middels het Hybalans systeem: een luchtverdeeldoos waarop flexibele slangen aangesloten zijn voor transport. Deze luchtverdeeldoos functioneert volgens de leverancier tevens als geluiddemper. Flexibele slangen maken het installeren bij renovatieprojecten eenvoudiger. Ook is een flexibele demperslang geplaatst tussen de ventilator en de luchtverdeeldoos geluidsoverlast in de woning te beperken.

3.2 Analyse van de warmtevraag van een gerenoveerde woning

Om de warmtevraag van een gerenoveerde woning te berekenen wordt gebruik gemaakt van de drie onderstaande methoden.

- Berekeningen van het warmteverlies voor de voorbeeldwoning
- Metingen in de voorbeeldwoning tijdens het stookseizoen
- Metingen in de voorbeeldwoning met interne warmtelast

Deze drie verschillende methoden geven een gevalideerd inzicht in de warmtevraag van de voorbeeldwoning. Hiermee kan een uitspraak gedaan worden over de warmtevraag van een gerenoveerde woning met extreem goede isolatie in Nederland. Tevens wordt de uitkomst van deze berekening als validatie gebruikt om een model te maken van een gerenoveerde doorzonwoning.

3.2.1 De berekende warmtebehoefte van de voorbeeldwoning

De ontwerpberekeningen die gebruikt zijn om de resterende warmtevraag van de gerenoveerde woning aan te toetsen, zijn gemaakt door de adviseur van het renovatieproject de Kroeven, Joachim Morhenne, in het rekenprogramma PHPP (Passivhaus Institut 2001). Dit is een gevalideerde Duitse rekenmethode, waarin alle bouwgegevens ingevoerd worden zoals de oriëntatie van de woning, oppervlakte, warmteweerstand, hoeveelheid beglazing, beschaduwing en methode voor het opwekken van warmte. De uitkomst van dit in Microsoft Excel werkende programma is de energiebehoefte in kWh per vierkante meter gebruiksoppervlakte per jaar.

De door PHPP berekende energiebehoefte van de gerenoveerde woningen in de Kroeven is 21 en 27 kWh/m²a, voor de tussenwoning en respectievelijk de hoekwoning (Morhenne 2008), waardoor het verbruik per jaar overeen komt met 200 tot 270 m³ aardgas voor ruimteverwarming. Naar schatting was dit voor de renovatie 1100 tot 1500 m³ aardgas, zoals te lezen in paragraaf 3.1 wat een vermindering van een factor vijf is. De hoekwoning heeft volgens de berekeningen een groter warmteverlies omdat deze een buitengevel meer heeft dan de tussenwoning.

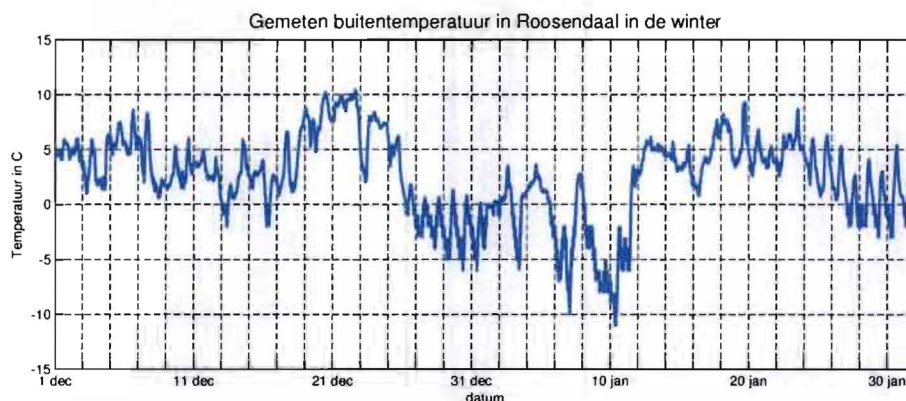
3.2.2 Analyse van de warmtebehoefte van de voorbeeldwoning

Om de warmtebehoefte van de gerenoveerde woning te analyseren zijn metingen gedaan tijdens het stookseizoen. Er is gemeten naar het binnencomfort in de woning en de warmte die afgegeven is aan de woning. De metingen zijn gedaan in de gerenoveerde tussenwoning (Haverschmidtlaan 12), zonder aanwezigheid van bewoners. Tijdens de meting in het stookseizoen zijn de verschillende elementen die warmte afgeven aan de woning:

- Zoninstraling
- Verwarming van de inblaaslucht (luchtverwarmer)
- Verwarming middels de radiator in de woonkamer

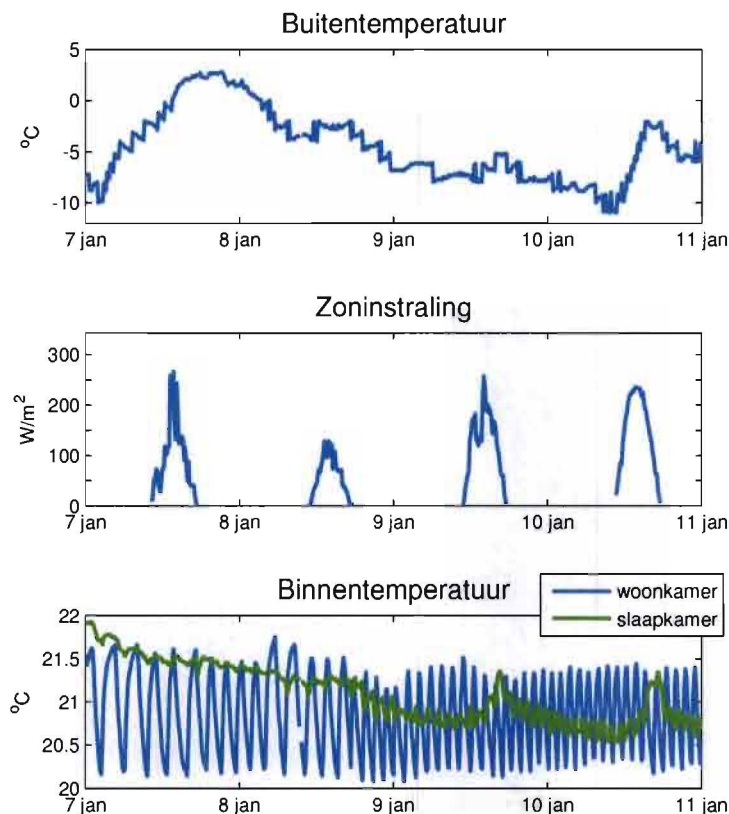
Met deze meting kan vastgesteld worden hoeveel verwarmingsvermogen benodigd is om de woning op temperatuur te houden en wat de jaarlijkse energievraag voor ruimteverwarming zal zijn door gebruik te maken van graaddagen. In Bijlage II is te vinden welke grootheden in de woning gemeten zijn.

Om de behoefte van de woning te onderzoeken is de analyse gedaan tijdens een koude periode in de winter. De koudste periode bij de voorbeeldwoning vond plaats tussen 7 en 11 januari 2009 (afbeelding 16), met een gemiddelde buitentemperatuur van -4,5°C.



afbeelding 16: grafiek van de gemeten buitentemperatuur bij de voorbeeldwoning in de wintermaanden. De koudste periode in de winter is tussen 7 en 11 januari 2009, welke gebruikt zal worden om de warmtebehoefte van de woning te bepalen.

Zoninstraling



afbeelding 17: grafiek van de buitentemperatuur, zoninstraling en binnentemperatuur tussen 7 en 11 januari 2009. De zoninstraling heeft geen invloed op de temperatuur van de woonkamer.

Om de zoninstraling in de woning vast te stellen is op het dak van de woning de zoninstraling op het horizontale vlak gemeten. De invloed van de zoninstraling op de warmtebehoefte van de woning is onderzocht, door de binnentemperatuur van een dag en nachtsituatie met elkaar te vergelijken. In afbeelding 17 is te zien dat de binnentemperatuur op de slaapkamer wel beïnvloed wordt door de zoninstraling tijdens deze periode, maar de temperatuur van de woonkamer lijkt niet merkbaar afhankelijk van de zoninstraling. De fluctuatie van de woonkamer temperatuur komt door het verwarmen van de installatie. Tijdens dag en nachtbedrijf is hierin geen merkbaar verschil te ontdekken. De zoninstraling wordt bij de berekening van de warmtebehoefte van de woning tijdens de winter daarom niet meegenomen als warmtebron tijdens deze periode.

Luchtverwarmer

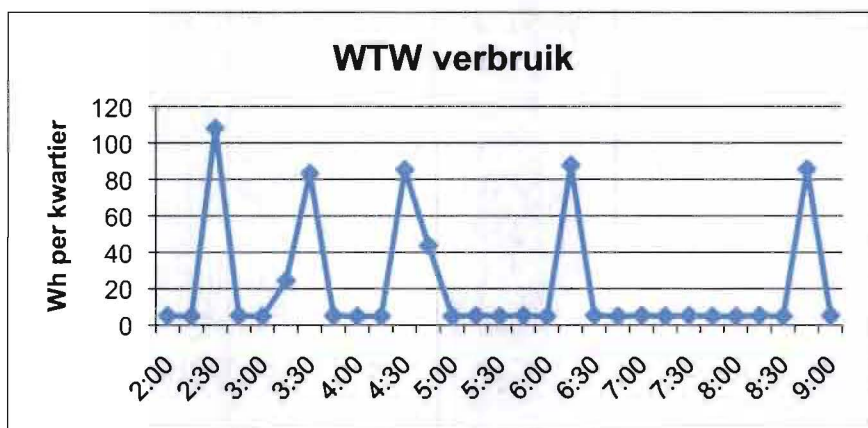
Om het afgegeven vermogen van de luchtverwarmer te berekenen zijn de luchttemperaturen voor en na het verwarmingselement gemeten. Het ventilatiedebiet van de installatie in de voorbeeldwoning is gemeten, wat te lezen is in paragraaf 3.4.3. In stand twee wordt er 130

$\pm 20 \text{ m}^3$ verse lucht ingeblazen per uur. De toegevoerde warmte aan de lucht wordt berekend met de formule: $Q=m \cdot c \cdot \Delta T$. In tabel 3 zijn de eigenschappen van de luchtverwarmer weergegeven, zoals opgegeven door J.E. StorkAir.

tabel 3: de eigenschappen van de luchtverwarmer in de voorbeeldwoning bij een luchtdebiet van $250 \text{ m}^3/\text{h}$

Temperatuur lucht in	16°C
Temperatuur lucht uit	37,5°C
Temperatuur water in	55°C
Temperatuur water uit	43°C
Totaal vermogen	1,8 kW

Helaas bleek achteraf dat de sensor die de temperatuur moet meten voor de luchtverwarmer tijdens de winterperiode kapot was, waardoor de temperatuur geschat is door middel van afbeelding 32 op $15 \pm \frac{1}{2} \text{ °C}$, zoals te lezen op pagina 43. Echter dient rekening gehouden te worden met een elektrische voorverwarmer van de ventilatielucht, die voorkomt dat de WTW bevriest. Om te onderzoeken of dit verwarmingselement heeft aangestaan tijdens de meetperiode is het elektrisch verbruik gemeten (afbeelding 18).



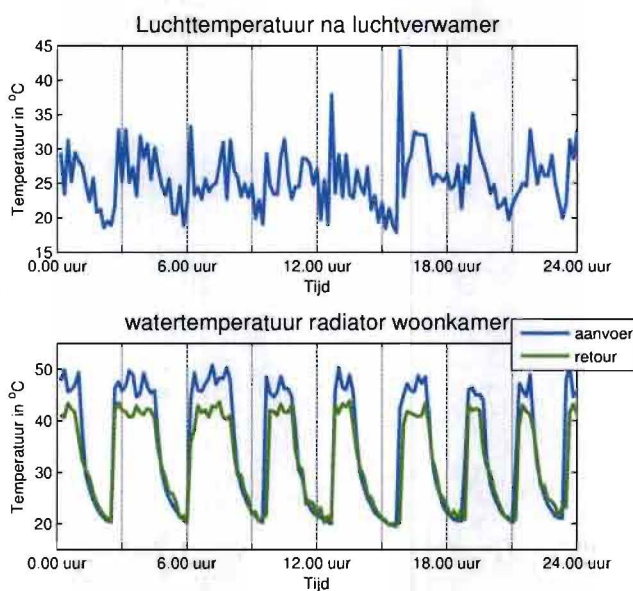
afbeelding 18: het elektrisch verbruik van de WTW op 7 januari 2009 in Wh per kwartier, waarbij de pieken duiden op het verbruik van de elektrische voorverwarmer

De pieken in bovenstaande afbeelding duiden op het verbruik van de elektrische voorverwarmer. Deze heeft in de gemeten periode vijf keer verwarmd in zeven uur. Dit heeft een elektrisch energieverbruik tot gevolg van $2,0 \pm 1 \text{ kWh}$ per dag. Het vermogen van de elektrische verwarmmer is 800 of 1000 Watt, volgens de specificaties van J.E. StorkAir (J.E. StorkAir 2006), waarmee de lucht vijf minuten per uur ongeveer 20K opgewarmd worden. Dit heeft gemiddeld weinig invloed op de temperatuur van de lucht na de WTW, zoals te lezen in paragraaf 3.4.3. Het energieverbruik is dus niet verwaarloosbaar, maar vanwege de

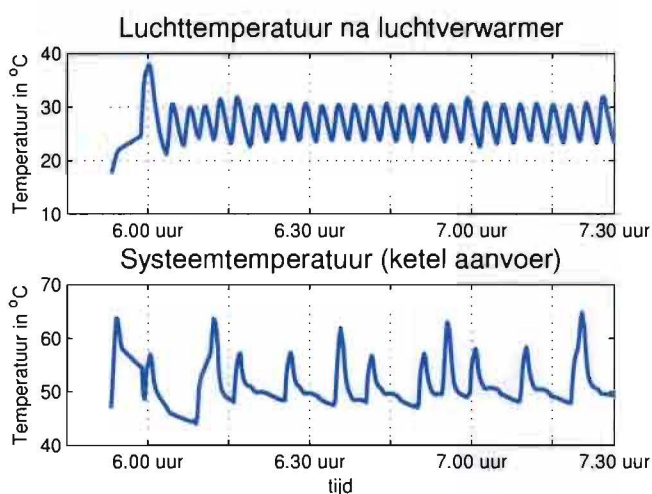
warmteterugwinning op de ventilatielucht wordt dit niet omgezet in nuttige warmte voor de woning.

De warmteafgifte van de centrale luchtverwarmer na de WTW gebeurt slechts als de thermostaat in de woonkamer aangeeft dat er verwarmd moet worden. In afbeelding 19 is het verloop van de temperatuur van de inblaasluft weergegeven. Omdat het meetinterval groter is dan de schommeling van de temperatuur, lijkt het een onregelmatig verloop. Bij een meting met een meetinterval van 10 seconden, blijkt dat bij het begin van een periode van verwarmen de luchttemperatuur bijna 40°C wordt, waarna de temperatuur van de lucht tijdens verwarmen regelmatig schommelt tussen 25°C en 30°C (afbeelding 20). Deze schommeling is niet afhankelijk van de systeemtemperatuur, maar wordt waarschijnlijk veroorzaakt door het thermisch regelement dat voor de luchtverwarmer is geplaatst. Dit kan komen omdat de watertemperatuur van het systeem te hoog is voor het element om te regelen met een constante temperatuur.

Bij een periode van niet verwarmen zakt de luchttemperatuur naar ongeveer $19 \pm \frac{1}{2}^{\circ}\text{C}$. De gemiddelde temperatuur van de inblaasluft is $27,0 \pm \frac{1}{2}^{\circ}\text{C}$ (afbeelding 19). Met deze gegevens is het afgegeven vermogen door de luchtverwarmer te berekenen, waarbij $\Delta T = 12 \pm 1\text{K}$. Het berekende afgegeven vermogen van de luchtverwarmer is gemiddeld gedurende deze periode $0,55 \pm 0,1\text{ kW}$.



afbeelding 19: de temperatuur van de inblaasluft na de luchtverwarmer en de watertemperatuur van de radiator in de woonkamer op 7 januari in de voorbeeldwoning



afbeelding 20: de temperatuur van de inblaasluft na de luchtverwarmer schommelt met regelmaat tussen 25 en 30°C. Deze is niet afhankelijk van de systeemtemperatuur, maar wordt veroorzaakt door het thermisch regelement.

Radiator

Het afgegeven vermogen van de radiator is geschat door gebruik te maken van een correctietabel (Bijlage III). Het is bekend dat de radiator een paneelradiator is van het merk Radson, met afmetingen 1650mm*400mm, type 22. Volgens de informatie van Radson over paneelradiatoren geeft deze 2200 Watt warmte af bij een temperatuur van 75/65/20 (aanvoer/ retour/ ruimtetemperatuur) (Radson 2009). Echter is het afgegeven vermogen van een radiator afhankelijk van veel factoren, zoals de luchtstroming, welke objecten in de buurt staan en de temperatuur van de lucht en de radiator.

De radiator geeft, net als de luchtverwarmer, niet continu warmte af, maar doet dit pulsgewijs. In een periode dat er verwarmd wordt is de aanvoertemperatuur van de radiator hoger dan 45°C, daarna koelt deze af naar kamertemperatuur, (afbeelding 19). Er zijn twee verschillende momenten waarop de warmteafgifte van de radiator is berekend: tijdens verwarmen en tijdens afkoelen.

Tijdens de periode van verwarmen, wat 25% van de tijd voorkomt (afbeelding 16), is de aanvoertemperatuur gemiddeld 51°C, de retourtemperatuur gemiddeld 43°C en de kamertemperatuur gemiddeld 21°C. De correctiefactor die daarbij hoort is geschat op $2,3 \pm 0,5$ (Bijlage III). Het afgegeven vermogen van de radiator tijdens verwarmen is daarmee $2200/2,3 * 0,25 = 0,25 \pm 0,1$ kW.

Het tweede deel van de warmteafgifte van de radiator is de warmte die na het verwarmen nog in de radiator aanwezig is. De inhoud van de radiator is 9,6 liter (Radson 2009). In de meetperiode koelt de radiator 50 keer af. De warmte inhoud van de radiator is berekend met de formule $Q=m*c*\Delta T$, waarbij $\Delta T = \frac{1}{2}*(51+43)-21=26$ K. De warmte die aan de ruimte wordt

afgegeven tijdens afkoelen van de radiator is daarmee $Q \cdot 50 / (4 \cdot 24 \cdot 3600 \text{sec}) = 0,15 \pm 0,05$ kW.

Totale warmtebehoefte

Het totale verwarmingsvermogen voor de woning bij gebruik van de WTW is dat van de luchtverwarming en de radiator samen. Voor een periode met een gemiddelde buitentemperatuur van $-4,5^\circ\text{C}$ is $1,0 \pm 0,25$ kW vermogen genoeg om de woning op een behaaglijke 21°C te houden (tabel 4). Het vermogen per temperatuurverschil dus 40 ± 20 W/K voor de woning.

tabel 4: de som van de totale warmtebehoefte van alle elementen die warmte afgeven aan de woning

Zoninstraling	0 kW
Luchtverwarmer	$0,55 \pm 0,1$ kW
Radiator tijdens verwarmen	$0,25 \pm 0,1$ kW
Radiator tijdens afkoelen	$0,15 \pm 0,05$ kW
Totaal	$1,0 \pm 0,25$ kW

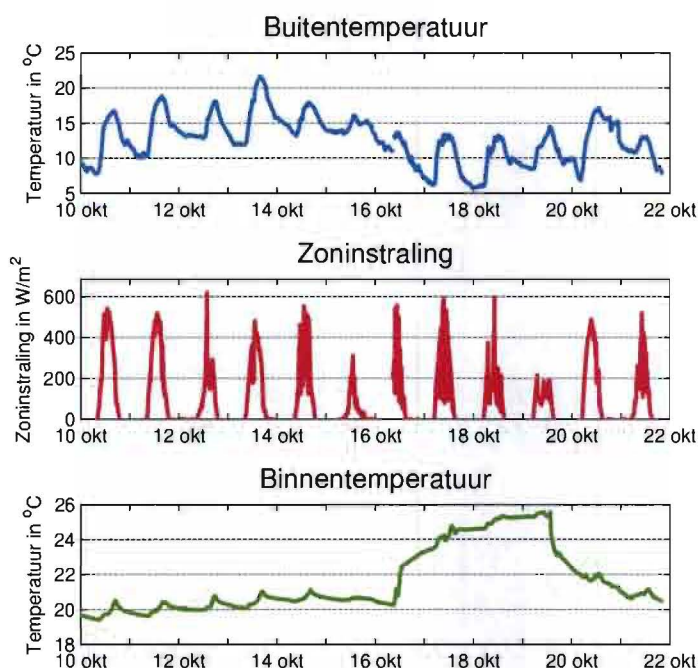
Om met dit vermogen een energieverbruik van de woning te schatten, wordt gebruik gemaakt van graaddagen. Het aantal graaddagen op een dag is gelijk aan 18 graden Celsius minus de gemiddelde etmaaltemperatuur (Wever 2008). Tijdens een dag van de gemeten koude periode is het aantal graaddagen per etmaal dus $18 - 4,5 = 22,5$. De benodigde hoeveelheid energie op deze dag is $1,0 \pm 0,25$ kW * 24 uur = 24 kWh. De woning heeft dus een warmtebehoefte van $1,1 \pm 0,25$ kWh per graaddag. Het gemiddeld aantal graaddagen in Nederland per jaar is 2250 (Wever 2008). Dit brengt de jaarlijkse warmtebehoefte van de woning op ongeveer 2400 ± 600 kWh, wat gelijk is aan 245 ± 60 m³ aardgas. Dit is in dezelfde orde grootte als de berekende waarde met behulp van PHPP (pagina 25).

Experiment om de warmtebehoefte van een gerenoveerde woning te bepalen

Een tweede experiment om de warmtebehoefte van de woning te bepalen is door middel van een interne warmtelast. Het toegevoerd warmtevermogen bij dit experiment is bekend. De comfortinstallatie is hierbij uitgeschakeld, en straalkachels hebben de woning verwarmd zodat een temperatuurverschil is ontstaan ten opzichte van de onverwarmde situatie.

Dit experiment is uitgevoerd met twee elektrische straalkachels van elk 750 ± 50 Watt, die geplaatst zijn in de uiterste hoeken van de woonkamer. De periode waarin dit plaatsvond is oktober, waarbij de verwarming in de woning sinds de zomer nog niet heeft aangestaan. In onderstaande figuur is te zien dat de buitentemperatuur in de periode tijdens het experiment gemiddeld $10,6^\circ\text{C}$ was. De binnentemperatuur is in de periode voor het experiment op een

temperatuur van gemiddeld 20°C gebleven, zonder dat verwarmd hoefde te worden. Met de interne warmtebron in de woonkamer loopt de temperatuur binnen drie dagen op naar 25,6°C. Er waren geen bewoners aanwezig tijdens dit experiment en de ventilatie stond op stand 2.

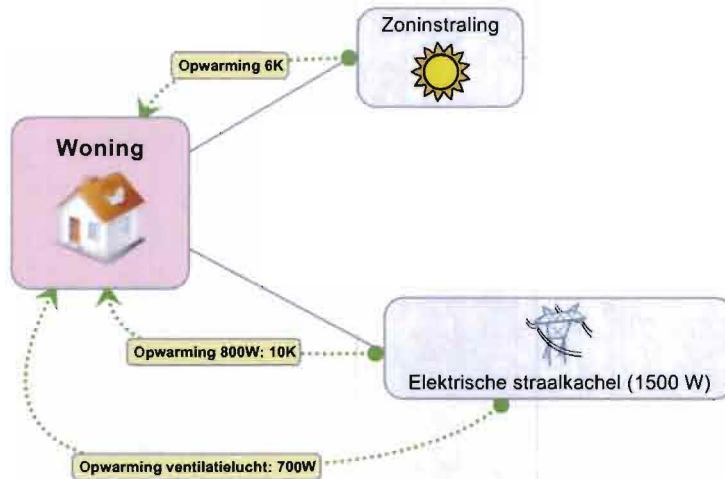


afbeelding 21: de buitemtemperatuur, zoninstraling en binnentemperatuur voor en tijdens het experiment om de warmtebehoefte te bepalen. De binnentemperatuur wordt vanaf 16 oktober door 1500 Watt interne warmte opgewarmd met 6K ten opzichte van de binnentemperatuur voor het experiment.

Op het eerste gezicht lijkt een temperatuurverschil van 6K het gevolg te zijn van het toevoegen van 1500 Watt warmte. Het regelschema van de bypass in de WTW (Bijlage V), geeft aan dat als de binnentemperatuur boven de comforttemperatuur komt, de bypass open gaat dus er geen warmte teruggewonnen wordt uit de ventilatielucht. Waarschijnlijk is 25,6°C binnentemperatuur hoger dan de comforttemperatuur, waardoor de elektrische kachels de buitemtemperatuur van 10,6°C gemiddeld hebben opgewarmd. Dit is helaas niet gemeten, dus niet vastgesteld. De warmte die nodig is om de 130 m³ buitenlucht per uur (paragraaf 3.4.3) op te warmen van 10,6°C naar maximaal 25,6°C is $0,7 \pm 0,1$ kW.

Voor het warmhouden van de woning zijn verder twee warmtebronnen aanwezig: zoninstraling en de elektrische straalkachels. In de periode voor het experiment was de zoninstraling genoeg om de temperatuur binnen op 20,3°C te houden, bij een buitemtemperatuur van gemiddeld 14,3°C (afbeelding 21). De zoninstraling zorgt dus voor een opwarming van de woning van 6K. De elektrische straalkachels warmen de woning op

met $((25,6-10,6)-6) = 9 \pm 1\text{K}$. De hiervoor benodigde warmte is $(1,5 \pm 0,1) - (0,7 \pm 0,1) = 0,8 \pm 0,2\text{ kW}$. De gemeten warmtebehoefte van de woning bij dit experiment is dus $80 \pm 25\text{ W/K}$.



afbeelding 22: de interne warmtelast van de kachel zorgt voor opwarming van de ventilatielucht en een temperatuurverhoging van de woning. Ook de zoninstraling is een warmtebron van de woning

Conclusie

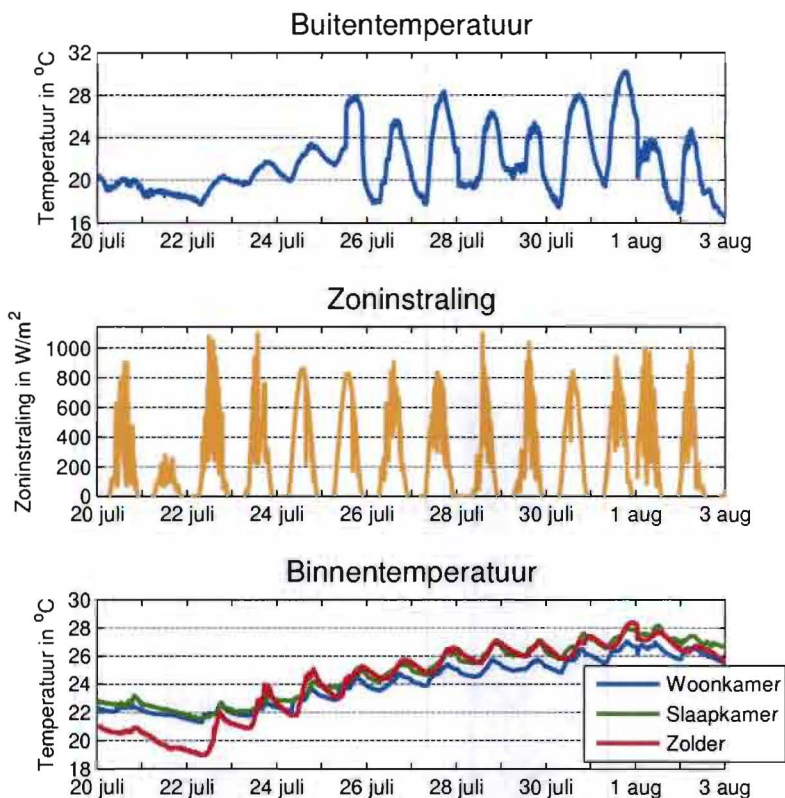
tabel 5: overzicht van de warmte- en energiebehoefte van de verschillende berekeningen en metingen

	PHPP	Stookseizoen	Experiment	Model (pagina 55)
Warmtebehoefte	-	$40 \pm 20\text{ W/K}$	$80 \pm 25\text{ W/K}$	1,8 kW
Energiebehoefte (V_{ag})	$230 \pm 30\text{ m}^3$	$245 \pm 60\text{ m}^3$	-	243 m^3

De energiebehoefte van de berekening met PHPP komt erg goed overeen met de berekening na metingen tijdens het stookseizoen (tabel 5). De warmtebehoefte van de twee verschillende metingen liggen wat verder uit elkaar. Als de woning bewoond wordt, worden er ook interne warmtebronnen in geplaatst, zoals elektrische apparaten, verlichting en personen. Daarnaast worden tijdens bewoning deuren geopend, waardoor energie verloren kan gaan. Om een schatting te maken wat het energieverbruik met bewoning is, is een model gemaakt van de woning, dat gevalideerd is met de meetresultaten.

Na simulatie met het model (pagina 54) blijkt dat de gemiddelde waarde van de twee metingen overeen komt voor simulatiejaar 1976. Om tijdens alle omstandigheden een comfortabel binnenklimaat te kunnen garanderen, zal een opgesteld vermogen nodig zijn van minimaal 2,5 kW om de voorbeeldwoning op temperatuur te houden.

3.3 Analyse van de koelbehoefte van een gerenoveerde woning



afbeelding 23: Gemeten buitentemperatuur, zoninstraling en binnentemperatuur bij de voorbeeldwoning tijdens de zomer. De binnentemperatuur loopt op tot ongeveer 28°C door slechts zonnewarmte.

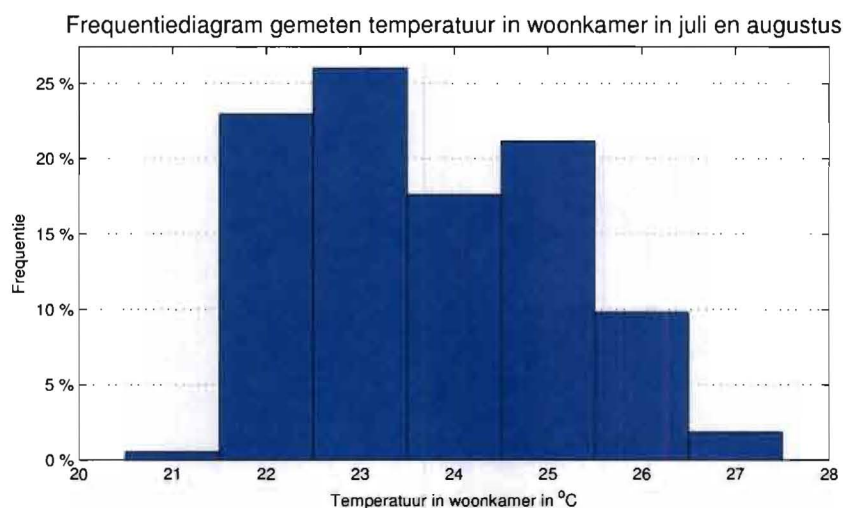
Om te onderzoeken of de gerenoveerde woning behoefte heeft aan koeling is geanalyseerd wat het verloop is van de binnentemperatuur in de zomer. De warmste periode in de zomer was van 20 juli tot en met 3 augustus. De dagelijks gemiddelde buitentemperatuur in Roosendaal is minimaal 20°C gebleven en er was een irradiantie op het horizontale vlak van meer dan 750 W/m² (afbeelding 23). Tijdens deze meting stond de ventilatie op stand 1, waarbij de bypass stand werd geregeld volgens Bijlage V. Er zijn tijdens deze periode geen bewoners aanwezig, de thermostaat is ingesteld op 14°C, waarbij de comfortinstallatie niet verwarmd heeft en er was geen interne warmtelast in de woning aanwezig.

tabel 6: de maximumtemperatuur met bijbehorend tijdstip op 31 juli 2008

	Woonkamer	Slaapkamer	Zolder
Temperatuur	27,0°C	28,1°C	28,4°C
Tijd	18.25 uur	19.35 uur	20.25 uur

In deze zomerperiode is de binnentemperatuur in de woonkamer, slaapkamer en zolder gemeten. Er is dagelijks hetzelfde patroon te zien in de maxima van de binnentemperatuur:

het warmste moment van de slaapkamer is een uur later dan in de woonkamer, en het verschil tussen woonkamer en zolder is twee uur (tabel 6).



afbeelding 24: frequentiediagram van de gemeten temperatuur in de woonkamer van de voorbeeldwoning in de maanden juli en augustus. Het totaal aantal uur is 1488, waarvan 180 uur boven 25,5°C is gemeten.

De gemeten temperatuur tijdens de zomer komt ongeveer 180 uur boven 25,5°C (afbeelding 24). Omdat de temperatuur niet boven 27°C is geweest, wordt de norm van Ashrae behaald. De norm van stichting passiefhuis wordt niet behaald, omdat de temperatuur meer dan 100 uur boven 25°C komt (tabel 7).

tabel 7: verschillende comforteisen voor temperatuuroverschrijding in de zomer

Norm	Eis	Gemeten
Passiefhuis (Feist, et al. 2005)	$T > 25^{\circ}\text{C}$; $t < 100$ uur	$T > 25,5^{\circ}\text{C}$ $t = 180$ uur; voldoet niet
Ashrae (Baruch 1992)	$T < 27^{\circ}\text{C}$	$T < 27^{\circ}\text{C}$; voldoet

Aan de hand van deze metingen is de verwachting dat bij een gerenoveerde woning met extreem goede isolatie de temperatuur in de woning tijdens de zomermaanden binnen de gestelde normen blijven. Als de woning bewoond wordt komt er een interne warmtelast bij, maar kunnen de bewoners ook zelf extra ventileren. Dit kan door zomernachtventilatie toe te passen en in de avonden een raam of deur open te zetten. Of de woning een koelbehoefte heeft kan gemeten worden tijdens bewoning van de woning. Immers, de beleving van de bewoner is hierin belangrijker dan de eisen beschreven in de literatuur.

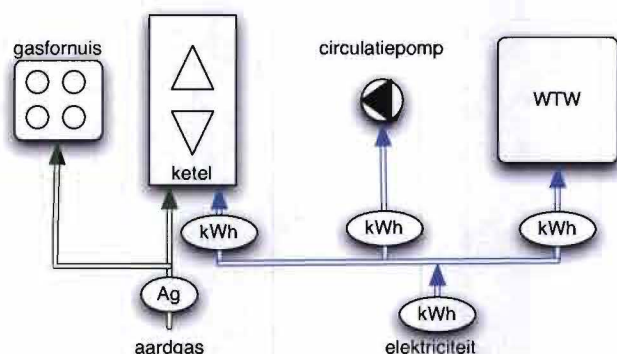
3.4 Analyse naar het gedrag van de installatie in de gerenoveerde woning

In de voorbeeldwoning wordt de warmtebehoefte voldaan door de comfortinstallatie (afbeelding 15, pagina 24). Een cv ketel, zoals geplaatst in ongeveer 80% van de woningen

in Nederland, geeft een warmtevermogen af van ongeveer 20 kW, en kan terugregelen tot ongeveer 10 kW (Vaillant 2005). Dit is vijf keer het maximaal benodigd vermogen in een gerenoveerde woning met extreem goede isolatie (pagina 33). Als een cv ketel toegepast wordt in bovengenoemde situatie zal deze regelmatig aan / uit gaan. In het voor- en naseizoen, waarbij slechts een deel van het maximaal verwarmingsvermogen nodig is, zal de cv ketel slechts kortstondig aan moeten. Het afgiftemedium van radiatoren is relatief traag, waardoor het kan voorkomen dat de verwarmingsinstallatie de woning meer opwarmt dan gevraagd. Er is daarom onderzocht wat het gedrag is van een cv installatie in een gerenoveerde woning. Dit is gedaan door metingen in de voorbeeldwoning. Hierbij is gemeten naar het energieverbruik en de systeemtemperaturen van de comfortinstallatie (Bijlage II).

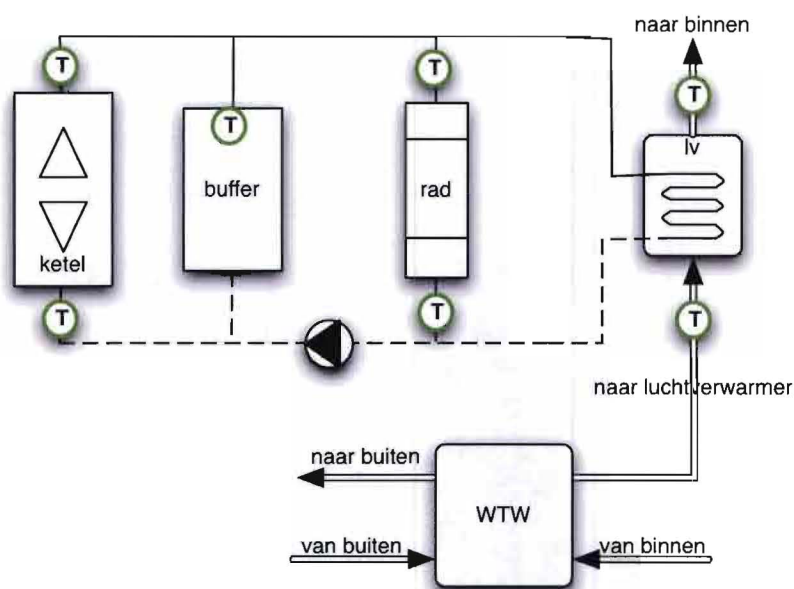
3.4.1 Meetmethode

Om te onderzoeken hoe efficiënt de cv installatie warmte toevoert aan de woning zijn de energiestromen in kaart gebracht, door het energieverbruik van de verschillende installatiecomponenten te meten (afbeelding 25). Het elektrisch verbruik per apparaat wordt elke tien minuten gemeten. De meterstanden van aardgas en elektriciteit worden handmatig opgeschreven bij elk bezoek (Bijlage I). Omdat de woning niet bewoond was tijdens de meetperiode, wordt ervan uitgegaan dat geen gas is verbruikt door het gasfornuis. Al het gasverbruik is daarom toe te schrijven aan de ketel.



afbeelding 25: de energiestromen en meetpunten van de drie installatie componenten in de voorbeeldwoning

Ook is op verschillende plaatsen de temperatuur van het ruimteverwarmingssysteem gemeten (afbeelding 26). De watertemperatuur voor en na de radiator is gemeten om de warmteafgifte uit te rekenen en de systeemtemperatuur van de ketel is gemeten om te onderzoeken wanneer deze aangaat. Tevens is de temperatuur van het water in het buffervat gemeten, om te onderzoeken of deze efficiënt wordt gebruikt.



afbeelding 26: de gemeten temperaturen aan de comfortinstallatie

Ook naar de ventilatie zijn metingen gedaan. Zo is het debiet gemeten van alle roosters in de twee proefwoningen om te onderzoeken of het voldoet aan de behoefte van de woning. Dit is gedaan met een flowfinder, die het ventilatiedebiet meet (afbeelding 27). Ook is aan de WTW gemeten, wat de temperaturen zijn de van de luchtstromingen naar de woning toe om de prestatie van de WTW te analyseren (afbeelding 26).



afbeelding 27: foto van het meten van het luchtdebiet per rooster met een flowfinder

3.4.2 Energieverbruik en prestaties verwarmingsinstallatie

Tijdens de zomerperiode (juni tot oktober) was er geen vraag voor ruimteverwarming in de voorbeeldwoning. Ook is nooit tapwater gebruikt omdat de woning onbewoond was.

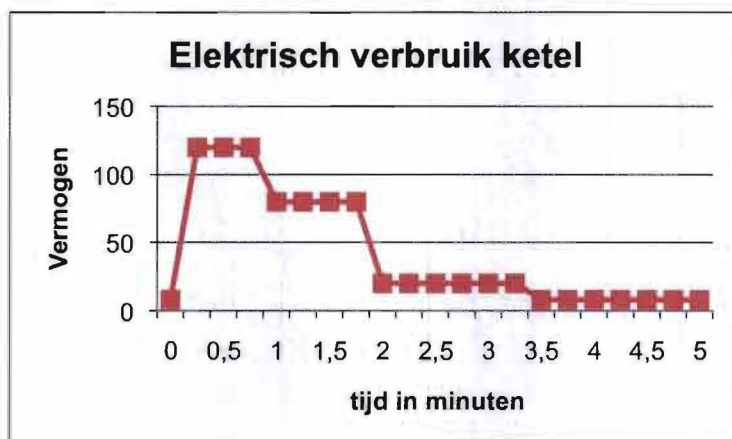
Desondanks, heeft de verwarmingsinstallatie toch energie verbruikt tijdens de zomerperiode (tabel 8).

tabel 8: het energieverbruik per dag van de verwarmingsinstallatie op een zomerdag

Pomp (elektrisch)	$0,5 \pm 0,05$ kWh
Ketel (elektrisch)	$0,75 \pm 0,1$ kWh
Ketel (aardgas)	$0,3 \pm 0,05$ m ³ = $3,0 \pm 0,5$ kWh
Totaal	$4,3 \pm 0,7$ kWh

Het totaal energieverbruik door de verwarmingsinstallatie op een zomerdag is 72% van de berekende hoeveelheid energie voor ruimteverwarming per dag. Dit energieverbruik komt door het warmhouden van een warmtewisselaar, waardoor het tapwater sneller opgewarmd wordt bij tapwatervraag. De ketel gaat hiervoor eens in de 45 minuten aan om de wisselaar warm te houden. Metingen naar het verschil in tapwatercomfort, zoals beschreven in paragraaf 3.5.1, zullen aantonen of dit energieverbruik bijdraagt aan het comfort van de woning.

Om te onderzoeken hoe het energieverbruik van de ketel verminderd kan worden is het energieverbruik tijdens de opstartprocedure in de zomer met een tijdsinterval van 15 seconden gemeten (afbeelding 28). Hieruit blijkt dat tijdens de eerste minuut van de opstart van warmtelevering de meeste energie verbruikt wordt. Het sluipverbruik van de ketel is 8W.



afbeelding 28: het opgenomen elektrisch vermogen van de combiketel tijdens een periode van warmte levering; tijdens de opstart van de ketel is het elektrisch verbruik hoger dan tijdens nominale belasting

Tijdens de winterperiode heeft de combiketel warmte afgegeven om de woning op een comfortabele temperatuur van 21°C te houden. Voor een dag tijdens de koude periode in het stookseizoen is onderzocht wat het gedrag is van de comfortinstallatie. Dit is gedaan voor 7

januari 2009, welke ook gebruikt is voor het bepalen van de warmtebehoefte van de woning in paragraaf 3.2.2.

In afbeelding 29 is te zien dat de temperatuur in de woonkamer varieert tussen 20,0°C en 21,6°C. Deze dag wordt de woning acht keer verwarmd door de luchtverwarmer en radiatoren. Het is duidelijk te zien dat de temperatuur in de woonkamer stijgt zodra de temperatuur van de radiator stijgt. Zodra de radiator niet meer gevoed wordt met warm water, daalt de ruimtetemperatuur.

Het water voor de radiatoren wordt verwarmd door de ketel. Het temperatuurverloop van het ketelwater laat zien dat de ketel vaker dan eens per uur is aangegaan. Dit is met eenzelfde regelmaat als in de zomer is gemeten voor het warmhouden van de warmtewisselaar voor tapwater (pagina 38).

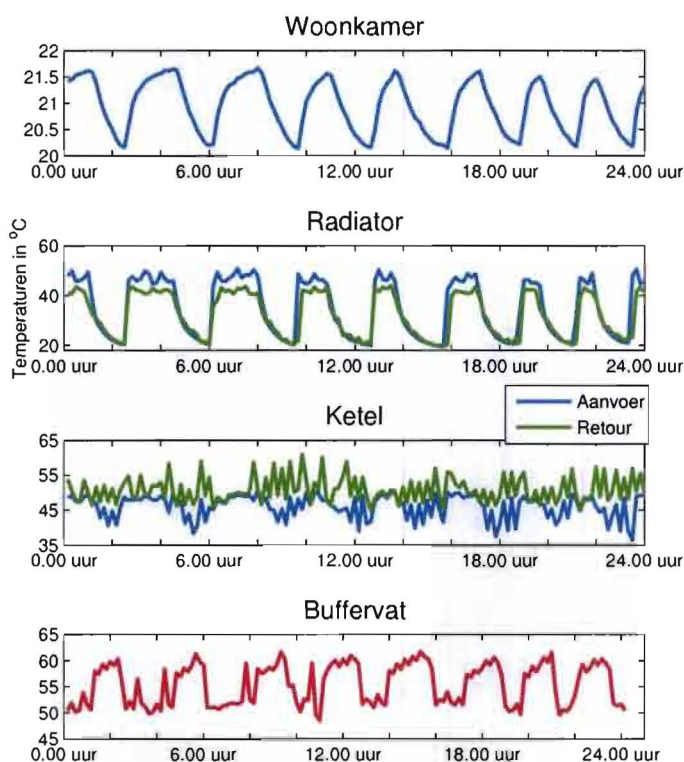
Als laatste is weergegeven hoe de temperatuur van het buffervat verloopt gedurende deze dag. Zoals te zien aan de voortdurend hoge temperatuur in dit vat wordt de warmte die in dit vat is opgeslagen niet nuttig gebruikt tijdens een volgende warmtevraag.

tabel 9: overzicht van het energieverbruik per dag door de verwarmingsinstallatie tijdens wintersituatie en zomersituatie

	Zomersituatie	Wintersituatie (Bijlage I)
Pomp (elektrisch)	0,5 ± 0,05 kWh	1,2 ± 0,1 kWh
Ketel (elektrisch)	0,75 ± 0,1 kWh	1,6 ± 0,1 kWh
Ketel (aardgas)	0,3 ± 0,05 m ³ = 3,0 ± 0,5 kWh	3,0 ± 1,0 m ³ = 30 ± 10 kWh
Totaal	4,3 ± 0,7 kWh	33 ± 10 kWh

Om het comfort van de woning op deze dag te bereiken heeft de verwarmingsinstallatie energie verbruikt (tabel 9). Zoals te lezen in paragraaf 3.2.2 telde deze dag 20 graaddagen. Het verwachte jaarlijks energieverbruik, berekend met het gemiddeld aantal graaddagen tijdens het stookseizoen, komt daarmee op 350 ± 100 m³ aardgas en 300 ± 50 kWh elektriciteit.

De warmtevraag in de woonkamer wordt dus gevoed door de radiatoren en de luchtverwarmer, die alleen warmte geven als de ruimtethermostaat hierom vraagt. De ketel gaat vaker aan dan nodig om aan de warmtevraag te voldoen. Daarnaast wordt de warmte die opgeslagen wordt in het buffervat niet meer nuttig gebruikt. Om te weten of het buffervat een nuttige bijdrage kan leveren aan het systeem is het belangrijk te weten hoe groot het energieverlies is. Hier zijn metingen naar gedaan.



afbeelding 29: de temperatuur in de woonkamer, en systeemtemperaturen op 7 januari 2009. De ketel gaat vaker aan dan nodig om de woning op temperatuur te houden en de warmte van het buffervat wordt niet gebruikt om de woning op te warmen.

Het 40 liter grote buffervat is gemiddeld op een temperatuur van 55°C, en geeft warmte af aan de omgeving. Tijdens een meting aan het buffervat op 26 en 27 juli 2008, koelde de oppervlaktetemperatuur af van 42,6°C naar 37,6°C in 21 uur. Het afgegeven vermogen van het vat aan de ruimte is in deze situatie dus 11W. De ruimtetemperatuur was tijdens deze meting 21°C. Het warmteverlies van het buffervat bij deze omstandigheden is 0,6 W/K. In PHPP wordt gerekend met 3W/K als het buffervat 200 liter (5 x zo groot) is en een temperatuur heeft van 60°C (20°C warmer) (Passivhaus Institut 2001). De gemeten waarde is dus vergelijkbaar met de waarde uit PHPP. Echter dient opgemerkt te worden dat de sensor aan de bovenkant van het vat was bevestigd. Voor een nauwkeurige schatting zou de temperatuurverdeling van het vat gemeten moeten worden.

3.4.3 Energieverbruik en prestaties gebalanceerde ventilatie

Naast de verwarmingsinstallatie bestaat de comfortinstallatie in de gerenoveerde woning uit ventilatie. Een van de prestaties van de ventilatie is de hoeveelheid ingeblazen en afgezogen lucht. Om deze ventilatiehoeveelheden te meten is met een flowfinder elk rooster gemeten op het luchtdebiet (tabel 10). Het debiet van het toilet is helaas niet kunnen meten, omdat

deze in een hoek is geplaatst waar de flowfinder niet tussenpast. Tijdens deze meting is gebleken dat in beide woningen een rooster was waar geen lucht door stroomde.

tabel 10: het gemeten ventilatiedebiet per rooster in de twee voorbeeldwoningen in Roosendaal op 4 september 2008

Ventilatiedebiet in m ³ per uur							
Toevoerpunten	Stand van ventilatie						Advies
	Tussenwoning			Hoekwoning			
	1	2	3	1	2	3	
Woonkamer (1)	17	25	38	19	28	40	100
Woonkamer (2)	15	21	33	25	35	40	
Keuken	8	13	18	12	17	26	
Slaapkamer achter kl.	7	13	18	12	16	25	25
Slaapkamer achter gr.	20	27	42	28	37	54	50
Slaapkamer voor	10	14	21	0	0	0	25
Zolder	8	15	21	10	16	24	
Totaal	85	128	191	106	149	209	200
Afzuigpunten							
Keuken links	36	47	68	38	48	70	100
Keuken rechts	0	0	0	36	48	66	
Badkamer	31	38	50	29	35	50	100
Toilet	onb	onb	onb	onb	onb	onb	

Meetonzekerheid per rooster $\pm 3\text{m}^3/\text{h}$, (1) = richting zijgevel, (2) = richting voorgevel, kl = klein, gr = groot, onb = onbekend omdat deze niet is kunnen meten, Advies = advies gezondheidsraad bij bewoning met 4 personen

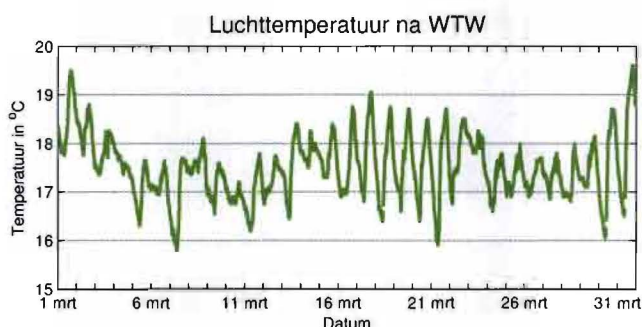
Aan de eis van het bouwbesluit, dat er voldoende capaciteit geïnstalleerd, wordt voldaan. De gezondheidsraad adviseert daarnaast om per persoon in een vertrek $25\text{m}^3/\text{uur}$ te ventileren (Pernot, et al. 2003). In de tussenwoning wordt in geen geval aan dit advies voldaan. In de hoekwoning wordt aan de eis voldaan in stand drie. Belangrijk voor het ventilatiedebiet is de reinheid van de filters: verstopte filters werken het doorstroomdebiet tegen, waardoor meer elektriciteit verbruikt wordt, en minder frisse lucht de woning ingeblazen wordt (OTB 2002). Filters moeten daarom geregeld schoongemaakt en vervangen worden. Tijdens de periode vanaf oplevering tot half december is dat niet gebeurd, omdat de woning niet bewoond was. De filters zijn in deze tijd twee maal gecontroleerd en gefotografeerd, zoals te zien is in afbeelding 30. De rechtse afbeelding is gemaakt op 13 december 2008, 100 dagen na het maken van de foto op de linkse afbeelding. Op de foto's is duidelijk zichtbaar dat vervuiling van de filters optreedt.



afbeelding 30: foto's van de vervuilde filters in het toevoergedeelte van de WTW. Het filter op de rechtse foto heeft 100 dagen van 24 draaiuren langer gefunctioneerd, waarbij de WTW in stand 2 heeft gestaan.

Ook het energieverbruik van de WTW is gemeten. Het vermogen is voor de drie verschillende standen van de ventilator respectievelijk 25, 40 of 85 Watt, ± 5 W. Hiermee wordt respectievelijk 40, 50, 70% van het maximale ventilatiedebiet van de ventilator gebruikt. Stand 2 is de aanbevolen stand; de aanwezigheidsstand. Als de ventilatie het hele jaar door op stand 2 staat, wordt per jaar 330 kWh elektrische energie verbruikt. Daarnaast is op dagen met een buitentemperatuur lager dan -5°C ongeveer 2 ± 1 kWh nodig per dag voor de elektrische voorverwarmer, om te voorkomen dat de warmtewisselaar niet invriest (pagina 28).

Als laatste is het belangrijk om te weten wat de temperatuur van de inblaaslucht is na de WTW. Dit is gemeten in de maand maart, waarbij de buitentemperatuur varieert tussen 0°C en 15°C . In afbeelding 31 is te zien dat de temperatuur van de inblaaslucht na de WTW lager wordt dan 16°C .

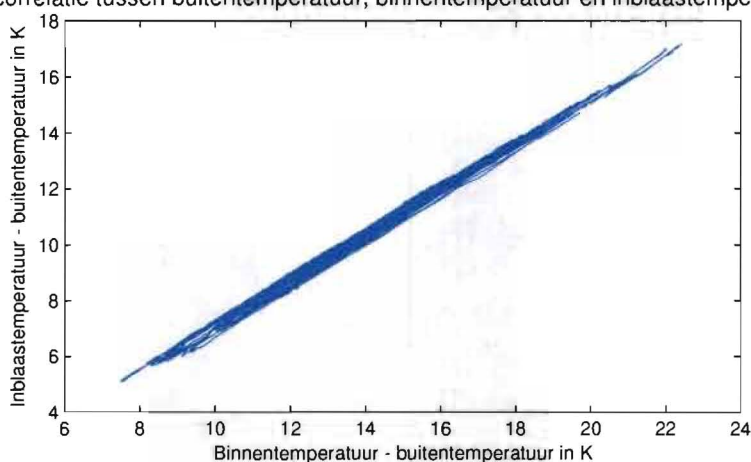


afbeelding 31: bij een buitentemperatuur van 0°C bereikt de temperatuur van de inblaaslucht een temperatuur van 16°C , wat te koud is om in te blazen

Als de thermische winbare energie (binnentemperatuur – buitentemperatuur) en de thermisch gewonnen energie (inblaastemperatuur – buitentemperatuur) tegen elkaar worden uitgezet (afbeelding 32), is een lineair verloop te zien. Het thermisch rendement van de

WTW (thermisch gewonnen energie / thermisch winbare energie) is uit te rekenen met de gegevens van deze afbeelding: minimaal 75%. Dit is echter 20% minder dan het berekend rendement volgens NEN 5138 (TNO 2000). Met deze afbeelding kan een extrapolatie uitgevoerd worden, om een schatting te maken wat de temperatuur van de inblaaslucht zal zijn bij een buitentemperatuur van -5°C . Bij een binnentemperatuur van 21°C zal de inblaastemperatuur naar schatting 15°C zijn. Dit is gebruikt om het vermogen van de naverwarmer uit te rekenen, op pagina 29.

correlatie tussen buitentemperatuur, binnentemperatuur en inblaastemperatuur



afbeelding 32: de correlatie tussen de thermisch winbare energie (binnentemperatuur – buitentemperatuur) en de thermisch gewonnen energie (inblaastemperatuur – buitentemperatuur) is lineair.

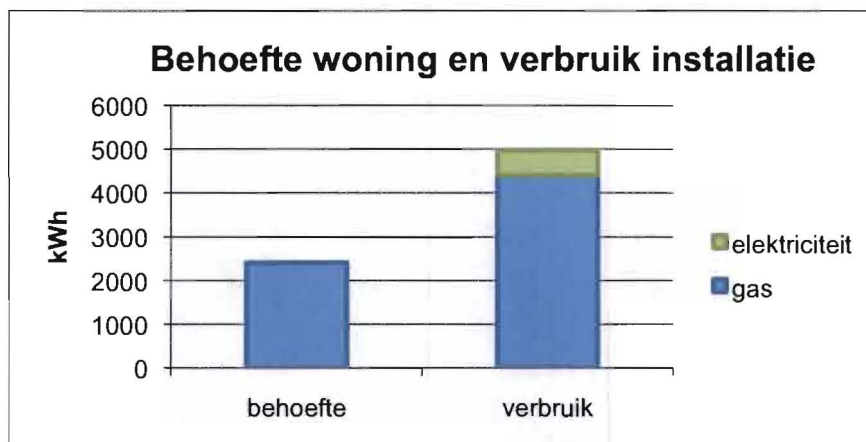
3.4.4 Conclusies energieverbruik en prestaties comfortinstallatie

Aan de hand van de metingen in de proefwoning kunnen conclusies getrokken worden over de verschillende elementen van de comfortinstallatie. Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen de verwarmingsinstallatie en de ventilatie.

Verwarmingsinstallatie

De behoefte van de woning wordt vervuld door de installatie. De warmtebehoefte van een gerenoveerde woning tijdens een gemiddeld jaar is ongeveer 250 m^3 aardgas equivalent (tabel 9 op pagina 39). Het gemeten totaalverbruik in het stookseizoen, tussen 21 november 2008 en 28 februari 2009 is 325 m^3 . Daarnaast is in deze periode elektrische energie verbruikt door de installatie: $350 \pm 50 \text{ kWh}$. Verder is er een verbruik gemeten tijdens de zomerperiode, wat gebruikt wordt voor het warmhouden van de tapwater warmtewisselaar in de ketel. Dit staat gelijk aan $0,3 \pm 0,05 \text{ m}^3$ aardgas en $1,25 \pm 0,15 \text{ kWh}$ elektriciteit per dag. Bij een stookseizoen van 150 dagen staat het jaarlijks verbruik van de verwarmingsinstallatie gelijk aan $350 + 0,3 \cdot 215 \text{ dagen} = 415 \text{ m}^3$ aardgas en $300 + 1,25 \cdot 215 \text{ dagen} = 570 \text{ kWh}$

elektriciteit. Als de warmtebehoefte in de gerenoveerde woning wordt voldaan door het verwarmingssysteem zoals in de proefwoning aanwezig is, is daarvoor de dubbele hoeveelheid energie voor nodig (afbeelding 33).



afbeelding 33: het verbruik van de traditionele verwarmingsinstallatie in de voorbeeldwoning is twee keer zo groot als de behoefte van de woning

De comfortstand van het tapwater verbruikt ongeveer 20% van de energie in de woning. Er is daarom onderzocht of de comfortstand van de ketel een nuttige bijdrage levert aan het comfort van het tapwater. Dit is te lezen in paragraaf 3.5.1. Verder is aan de hand van metingen aan het systeem gebleken dat het buffervat geen nuttige bijdrage levert aan de verwarmingsinstallatie. Omdat het warmteverlies van het vat ongeveer 11 Watt is in de gemeten periode, zorgt dit vat niet voor een groot energieverlies. Wel is een circulatiepomp geplaatst vanwege de toevoeging van het buffervat aan het systeem, welke meer dan 40% van de elektrische energie van de verwarmingsinstallatie verbruikt. Allereerst is onderzocht of het buffervat nuttig gebruikt kan worden door het systeem. Het zal waarschijnlijk het te grote vermogen van de ketel kunnen verspreiden over de tijd, waardoor continu het gevraagde vermogen van de woning afgegeven kan worden.

Als laatste is gebleken dat het elektriciteitsverbruik van de ketel de eerste minuten ongeveer 120 Watt is als deze opstart. Dat is 50% meer dan als de ketel nominaal werkt. Omdat het energieverbruik tijdens de opstart van een ketel niet veranderd kan worden, zal onderzocht worden of het mogelijk is om dezelfde hoeveelheid warmte te leveren met minder start – stops van de ketel. Dit is onderzocht in paragraaf 3.5.2.

Ventilatie

Bij metingen naar het ventilatiedebiet in de twee voorbeeldwoningen is gebleken dat slechts de hoekwoning met ventilatie in stand 3 voldoet aan het advies van de gezondheidsraad (tabel 10 op pagina 41). In de tussenwoning is te weinig ventilatie om aan het advies te

voldoen. Echter wordt stand twee van de ventilatie het grootste deel van de tijd gebruikt als aanwezigheidsstand. In deze stand wordt in de tussenwoning slechts 50% geventileerd van het advies, en in de hoekwoning ongeveer 70% hiervan. Er zal dus meer geventileerd moeten worden om aan het advies van de gezondheidsraad te voldoen. Dit brengt echter twee nadelen met zich mee. Ten eerste heeft een hoog ventilatievoud tot gevolg dat de luchtvochtigheid in de winter erg laag wordt (Schnieders 2006). Dit kan leiden tot lichamelijke klachten van de bewoners. Daarnaast is een gegeven dat de ventilator meer geluid produceert bij een hoger toerental, waar bewoners last van kunnen krijgen (OTB 2002). Er moet dus een optimum gevonden worden tussen deze grootheden om de hoeveelheid ventilatielucht vast te kunnen stellen. Dit wordt tijdens deze afstudeeropdracht niet onderzocht, dus wordt dit aanbevolen als vervolgonderzoek. Als ventilatiedebiet wordt tijdens deze afstudeeropdracht het advies van de gezondheidsraad gebruikt. Per jaar zou dat een elektrisch verbruik van 750 ± 50 kWh tot gevolg hebben. Belangrijk voor het energieverbruik van de ventilator is dat de filters van de WTW regelmatig worden schoongemaakt (OTB 2002).

Uit metingen is gebleken dat de temperatuur van de inblaaslucht te koud is om in te blazen met de standaard roosters in het ventilatiesysteem (afbeelding 31). De toegepaste roosters in de voorbeeldwoning hebben geen worp, waardoor de frisse lucht naar beneden valt. Als een bewoner in de buurt van het rooster zit, kan deze tocht voelen, wat kan leiden tot discomfort (Soldaat 2007). Om dit te voorkomen zijn twee verschillende oplossingen mogelijk: het gebruik van hoog inducerende roosters of het gebruik van een naverwarmer van de inblaaslucht. Hoog inducerende roosters hebben een grotere worp, waardoor de inblaaslucht zich beter mengt met de omgevingslucht. Als deze goed afgesteld zijn voorkomt dit tochtverschijnselen. Echter hebben deze roosters een hogere drukval dan standaardroosters, waardoor de kracht van de ventilator groter moet zijn om dezelfde hoeveelheid lucht te verplaatsen, wat een groter elektrisch verbruik tot gevolg heeft. De voorkeur gaat daardoor uit naar naverwarming van de inblaaslucht waarbij standaardroosters toegepast kunnen worden. Alle warmte die toegediend wordt via luchtverwarming hoeft immers niet meer via een andere weg in de woning te komen. Een beperking hieraan is dat de lucht niet verder verwarmd mag worden dan 55°C , omdat anders stofdeeltjes kunnen branden aan de appendages in het systeem (OTB 2002). De maximale hoeveelheid warmte die meegegeven kan worden aan de lucht is te berekenen met de formule $Q=m \cdot c \cdot \Delta T$. Hierbij is het luchtdebiet gesteld op het advies van de gezondheidsraad, wat $200\text{m}^3/\text{h}$ is en de temperatuur na de WTW geschat op 15°C . De hoeveelheid warmte die meegegeven kan worden aan dit luchtdebiet is 2,9 kW. De berekende warmtebehoefte van de gerenoveerde woning is 2,5 kW, zoals berekend in paragraaf 3.2.2 dus moet het mogelijk zijn om de

gerenoveerde woning op een comfortabele temperatuur te houden middels alleen luchtverwarming.

3.5 Optimalisatie van de installatie in de gerenoveerde woning

Aan de hand van metingen zoals beschreven in paragraaf 3.4 is gebleken dat de geplaatste comfortinstallatie op verschillende punten niet presteert zoals verwacht wordt in een woning met lage warmtebehoefte. Deze verbeterpunten zijn:

- De comfortstand voor tapwater in de ketel verbruikt 20% van de totale energie van de verwarmingsinstallatie. Onderzocht wordt of dit een nuttige bijdrage levert aan het comfort.
- De ketel verbruikt 50% meer energie tijdens opstarten dan tijdens nominaal bedrijf. Door de regeling aan te passen zodat beter gebruik wordt gemaakt van het buffervat, wordt onderzocht of hetzelfde comfortniveau in de woning gehaald kan worden door minder start – stops van de ketel.

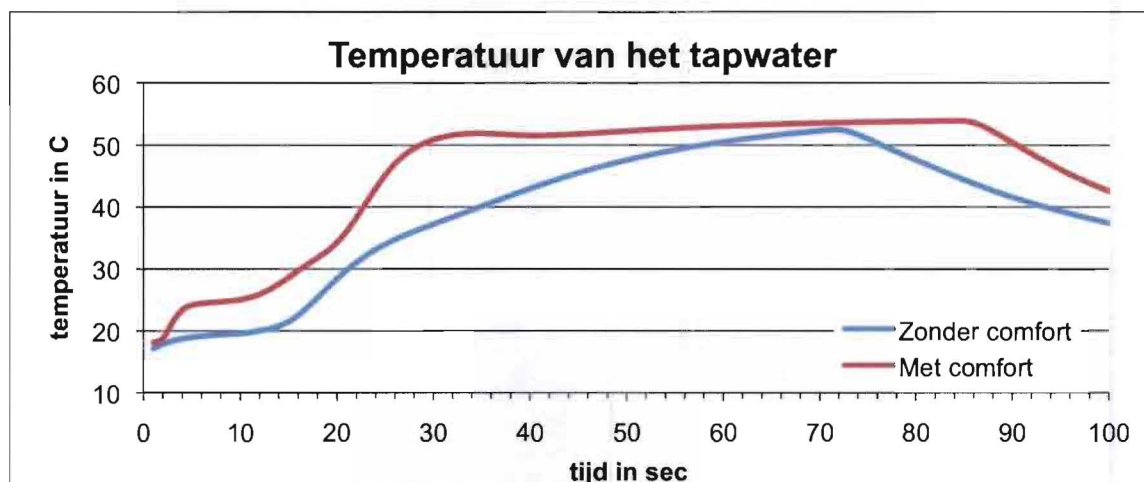
3.5.1 Tapwater



afbeelding 34: foto van de meetopstelling bij meting naar het temperatuurverloop bij tapwatervraag met en zonder comfortstand van de combiketel

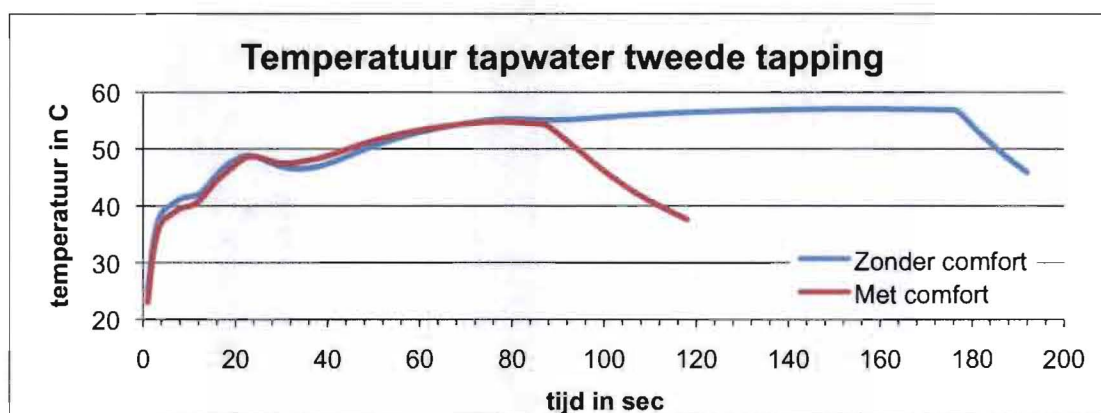
Het energieverbruik voor de bereiding van warm tapwater is in de voorbeeldwoning ongeveer 3x zo hoog als benodigd. Dit komt onder andere door de comfortstand van de combiketel. Het is daarom interessant om te weten of deze stand, in combinatie met een zonneboiler een bijdrage levert aan het tapwater comfort. Daarom is meting gedaan naar de temperatuur van het tapwater in de voorbeeldwoning met en zonder comfortstand. Hierbij is elke seconde de temperatuur van het water gemeten aan het verste tappunt, en bij een constant debiet water getapt door de keukenkraan volledig open te zetten. Het debiet dat dan door de kraan stroomt is $0,11 \pm 0,01$ l/s. Dit is gemeten door bij elke meting afzonderlijk, het water op te vangen en te wegen. De temperatuursensor is onder de kraan vastgemaakt, zodat deze in

de waterstroom hing (afbeelding 34). De meting is gedaan op een winterdag, waarbij in de zonneboiler geen warm water opgeslagen was.



afbeelding 35: de temperatuur van het tapwater bij de eerste tapwatervraag bij een debiet van 0,11 l/s, met en zonder comfortstand van de verwarmingsketel. Bij toepassing van de comfortstand is de temperatuur van het tapwater 30 sec eerder op een temperatuur van 50°C.

Eerst is tapwater afgenomen zonder comfortstand (afbeelding 35). Het duurt ongeveer 15 sec voordat de temperatuur van het tapwater oploopt. Het water voelt pas warm aan ($T > 37^{\circ}\text{C}$) na 30 sec, en na 60 sec is de temperatuur van het tapwater 50°C. Bij toepassing van de comfortstand duurt het ongeveer 12 sec voordat er water uit de kraan stroomt dat verwarmd is (afbeelding 35). Binnen 30 sec is in deze situatie het tapwater warmer dan 50°C.



afbeelding 36: het temperatuurverloop van het tapwater bij tapwatervraag vijf minuten na de eerdere warmwatervraag met en zonder comfortstand van de ketel. Hierbij is geen verschil tussen de twee situaties.

Ook is gemeten hoe de temperatuur van het tapwater verloopt als vijf minuten na een eerste tapping een volgende tapping wordt uitgevoerd (afbeelding 36). Het water dat in de leiding

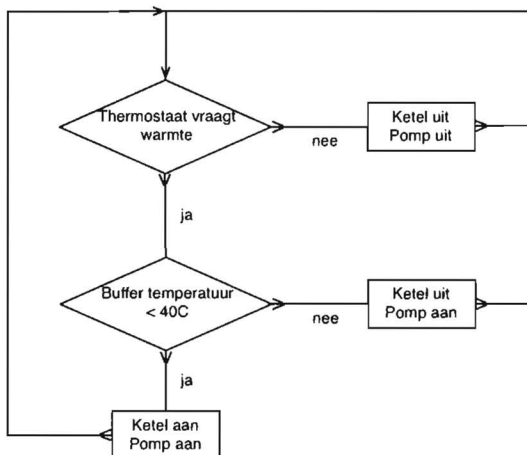
naar de kraan zit is dan nog warm. Voor beide situaties (met en zonder comfortstand) is het temperatuurverloop van het tapwater hetzelfde. Het plaatselijk maximum in de grafiek na ongeveer 20 sec is de warmte die nog in de warmtewisselaar zit bij beide situaties. Pas daarna komt het tapwater door de kraan dat door de ketel is verwarmd voor deze warmwatervraag.

De eerste meting toont aan dat zonder toepassing van een comfortstand het ongeveer 30 seconden langer duurt, bij volledig opendraaien van de kraan voordat water een temperatuur heeft bereikt van 50°C (afbeelding 35). Bij het gemeten debiet van 0,11 l/s houdt dat in dat er zonder comfortstand 3,5 ± 0,5 liter extra water verbruikt wordt, voordat de temperatuur aan het tappunt 50°C is. Het toepassen van de comfortstand van het tapwater werkt dus erg comfortverhogend. Een oplossing om met toepassing van de comfortstand energie te besparen is de warmtewisselaar te isoleren. Hierdoor zal deze minder snel afkoelen, en hoeft de ketel minder vaak aan. Hiernaar is echter geen onderzoek verricht.

Een hoger tapwater comfort wordt bereikt bij het toepassen van een voorraadvat. Omdat het water bovenin het vat op 60°C gehouden wordt, wordt direct water van 60°C getapt. In de gerenoveerde woning zal met een tapwater voorraadvat na 20 seconden water van 60°C getapt worden (afbeelding 41). Ook hierbij geldt dat het buffervat altijd warmte afgeeft aan de ruimte, waardoor het meer energie kost, ook als geen water getapt wordt. Daarnaast is het systeem in aanschaf duurder omdat er een extra warmtewisselende spiraal nodig is in het buffervat (afbeelding 5 op pagina 15).

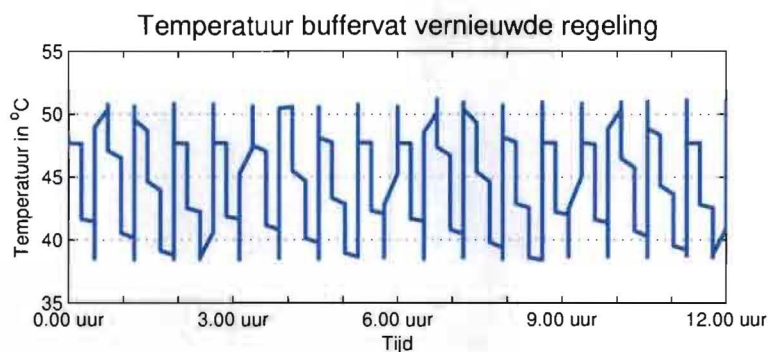
3.5.2 Ruimteverwarming

De ketel verbruikt tijdens de opstart ongeveer 50% meer energie dan tijdens nominaal bedrijf. Door gebruik te maken van een buffervat wordt restwarmte van de ketel opgeslagen in het vat en geleidelijk afgegeven aan de woning, waardoor de ketel minder vaak aan hoeft. Dit is onderzocht met metingen in de voorbeeldwoning door aanpassingen aan de regeling voor de ruimteverwarming (afbeelding 42). De bestaande regeling houdt in dat de ketel en pomp gelijktijdig aangeschakeld worden bij een warmtevraag van de thermostaat. Het doel van de nieuwe regeling is om het water in het buffervat op te warmen tot 60°C door de ketel, waarna deze warmte afgeeft aan de woning indien nodig, en de ketel pas weer aan gaat als de temperatuur van het buffervat onder de 40°C komt.



afbeelding 37: de aangepaste regeling van de verwarmingsinstallatie om de functie van het buffervat te benutten. Het water in het systeem wordt opgewarmd tot 60°C en geeft warmte af aan de woonkamer totdat het water afgekoeld is tot 40°C.

Na metingen met de aangepaste ketelregeling is gebleken dat de regeling in de praktijk niet geheel werkte zoals op papier beschreven. De ketel werd maar beperkte tijd aangezet, waardoor het buffervat opgewarmd werd tot 50°C (afbeelding 38). De meting laat wel zien dat het mogelijk is het buffervat beter te benutten. Gedurende de meting op 6 februari was er altijd warmtevraag gesimuleerd in de woonkamer. Dit heeft er voor gezorgd dat de circulatiepomp altijd heeft aangestaan (afbeelding 37). Dat heeft er voor gezorgd dat de centrale luchtverwarmer altijd gevoed is met warm water, waardoor de temperatuur van de inblaaslucht altijd minimaal 27°C is. De temperatuur van de radiator gedraagt zich zoals het verloop van de temperatuur van het buffervat.



afbeelding 38: de temperatuur van het buffervat als deze minimaal 40°C gehouden wordt door de ketel, waarbij continu warmte afgegeven wordt aan de woonkamer.

Het doel om de ketel minder vaak aan te laten schakelen is hiermee niet gehaald. Een groter temperatuurverschil in het buffervat en een minder grote warmtevraag in de woning zou kunnen helpen om het doel wel te behalen. Als het verbruik van de drie apparaten wordt bekeken, valt op dat de pomp en de ketel minder elektrische energie hebben verbruikt tijdens

deze aangepaste regeling dan bij de standaard regeling (tabel 11). Dit is opvallend omdat het aantal draaiuren van de pomp groter is, en de ketel vaker aan heeft geschakeld dan bij de standaard regeling. Het verminderd verbruik van de circulatiepomp en de pomp in de ketel is waarschijnlijk te verklaren doordat het systeem stabiel is. Het water blijft met constante snelheid stromen, wat minder energie kost dan het opstarten van het systeem. Hiernaar zijn geen metingen gedaan, dus is een vervolgstudie nodig om dit met zekerheid vast te kunnen stellen. Het aardgasverbruik van de ketel is echter wel groter dan bij de oude regeling. Dit komt waarschijnlijk omdat de gewenste binnentemperatuur hoger ingesteld was dan bij eerdere metingen, waardoor meer warmte in de woning gebracht wordt.

tabel 11: het energieverbruik per dag bij de aangepaste regeling van de verwarmingsinstallatie vergeleken met de standaard regeling

Energieverbruik per dag	Pomp (Elektrisch)	Ketel (elektrisch)	Ketel (aardgas)
Nieuwe regeling	1,0 ± 0,1 kWh	1,1 ± 0,1 kWh	4,2 ± 1,0 m ³
Oude regeling	1,2 ± 0,1 kWh	1,6 ± 0,1 kWh	3,0 ± 0,5 m ³

Hoofdstuk 4: Ontwikkelen van een model van de voorbeeldwoning

Om verschillende installatie concepten voor een woning met extreem lage warmtebehoefte door te kunnen rekenen met Hambase een model gemaakt van de voorbeeldwoning. Hiermee kunnen verschillende installatieconcepten met elkaar worden vergeleken, zodat het energieverbruik en de prestaties beoordeeld kunnen worden. Met behulp van dit model kan een antwoord gegeven worden op de laatste twee onderzoeksvragen: wat de eisen zijn die aan de installatie gesteld moeten worden en welke alternatieve installaties geschikt zijn voor een gerenoveerde woning.

Hambase staat voor "Heat, air and moisture model for building and systems evaluation". Het is een dynamisch rekenmodel dat geschikt is om het energieverbruik, de daarbij horende binnentemperatuur en de luchtvochtigheid door te rekenen van gebouwen. Gebouwen kunnen hierbij in verschillende zones verdeeld worden. De werking en het gebruik van het model is te lezen in bouwsteen 100: Hambase van prof. Martin de Wit.

Omdat het model nog nooit is gebruikt voor woningen met extreem lage warmtebehoefte, moet eerst onderzocht worden of het hiervoor geschikt is. Dit is gedaan door een validatie van het model uit te voeren, met gemeten waarden in de voorbeeldwoning voor twee verschillende situaties:

- Tijdens de zomer, waarbij de binnentemperatuur alleen beïnvloed wordt door zoninstraling
- Door toevoeging van een interne warmtebron aan de woning.

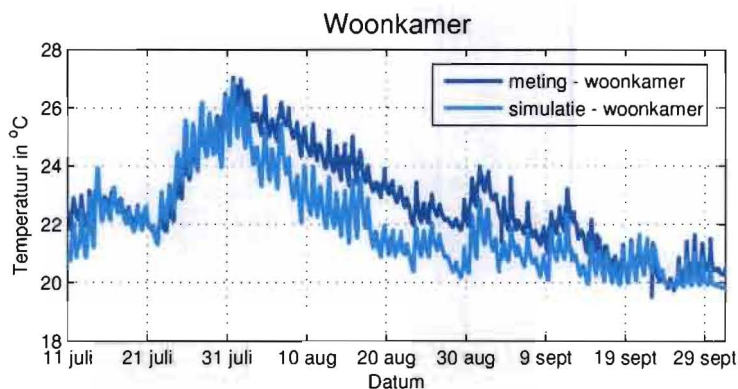
Voor simulatie is de woning in drie zones verdeeld. Deze driedeling is gemaakt vanwege de gebruiksfunctie ervan; zone 1 is de woonkamer, waarin vooral overdag wordt geleefd. Zone twee is de eerste verdieping, waar de slaapkamers zich bevinden. Hier wordt vooral 's nachts geleefd. Zone drie is de zolder, welke niet gebruikt wordt als leefruimte.

4.1 Validatie met slechts zoninstraling als warmtebron

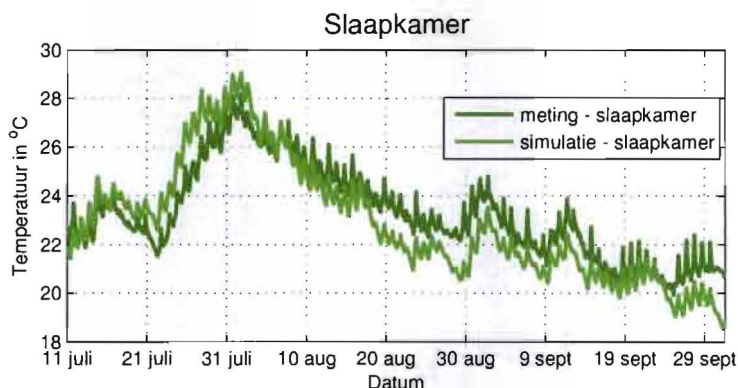
Als de klimaatfile ingevuld is zodat deze op de juiste manier wordt gelezen door het Hambase model zijn de resultaten van de simulatie vergeleken met de metingen. In afbeelding 39 tot en met afbeelding 41 staat per zone weergegeven wat de gemeten binnentemperaturen zijn geweest en wat de binnentemperaturen worden als met de klimaatgegevens gesimuleerd is. Als eerste kan opgemerkt worden dat het temperatuurverloop van de simulatie in de zomer erg goed overeen komt met de gemeten temperaturen in de voorbeeldwoning. Het verloop van de lijnen van de simulatie en de meting is in alle drie de grafieken dezelfde. Het verschil tussen de twee lijnen is maximaal

2°C, waarbij de lijn van de simulatie hoger is als de temperatuur omhoog gaat, en de simulatie lager ligt als de temperatuur daalt.

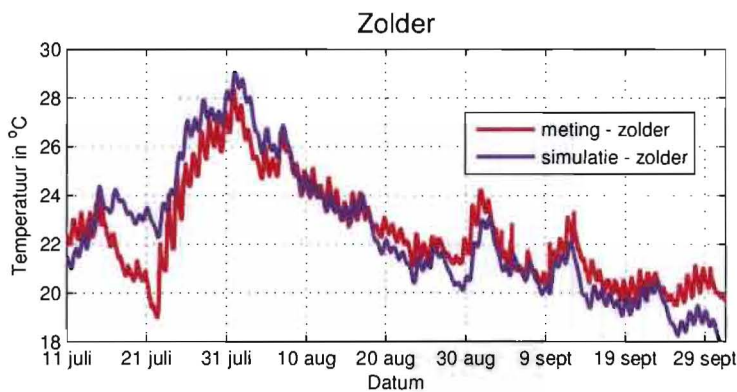
Niet alleen het verloop van de temperatuur is van belang, ook is het belangrijk dat het opwarm en afkoel gedrag overeenkomen. In de grafieken is duidelijk te zien dat het temperatuurverschil tijdens een dag veroorzaakt door de zon overeenkomt tussen de meting en de simulatie. Op dagen dat de gemeten binnentemperatuur weinig verandert is dat ook bij de simulatie zo, en op dagen waar veel warmte binnenkomt is het verschil tussen maximum en minimum temperatuur van de simulatie en de meting ongeveer dezelfde. Hieruit kan geconcludeerd worden dat de simulatie van de woning met de zon als warmtebron, erg goed overeenkomt met de gemeten resultaten in de voorbeeldwoning.



afbeelding 39: een vergelijking van de woonkamertemperatuur in de zomer tijdens meting in de voorbeeldwoning en simulatie in het Hambase model



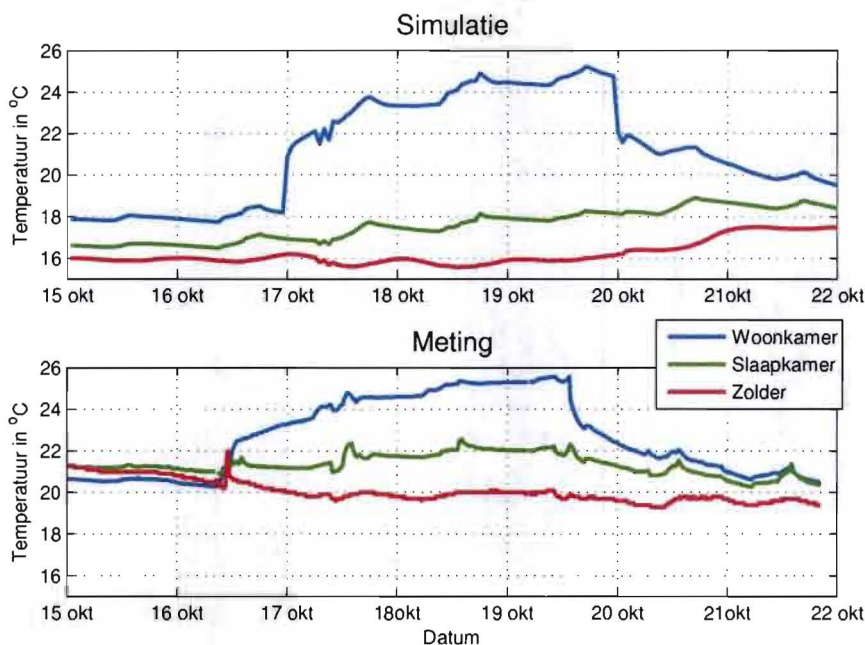
afbeelding 40: een vergelijking van de slaapkamertemperatuur in de zomer tijdens meting in de voorbeeldwoning en simulatie in het Hambase model



afbeelding 41: een vergelijking van de zoldertemperatuur in de zomer tijdens meting in de voorbeeldwoning en simulatie in het Hambase model

4.2 Validatie bij interne warmte

Voor de validatie van het model bij een interne warmtebron is een experiment gedaan met twee elektrische straalkachels van 750 Watt, geplaatst in de woonkamer. Dit is hetzelfde experiment als gebruikt tijdens de bepaling van de warmtebehoefte van de woning, zoals te lezen in paragraaf 3.2.2. Tijdens dit experiment was de woning onbewoond. Voor de simulatie is de klimaatdata gebruikt zoals gemeten in deze periode in Roosendaal.



afbeelding 42: vergelijking tussen de simulatie en metingen van het experiment waarbij 1500 Watt verwarmingsvermogen wordt afgegeven aan de woonkamer

Door deze interne warmtelast wordt vooral de temperatuur in de woonkamer opgewarmd (afbeelding 42). Een dag na het starten van het experiment is de temperatuur opgelopen van

20,5°C naar ongeveer 24°C. Daarna zijn er nog twee dagen nodig voordat de stabiele temperatuur van 25,5°C wordt bereikt. Het afkoelen van de woning kent ongeveer hetzelfde patroon. Een dag nadat de interne warmtelast is gestopt, is de temperatuur in de woonkamer met 4K gezakt. Een dag later lijkt de binnentemperatuur weer gestabiliseerd.

Bij het vergelijken van het gesimuleerde experiment en de metingen van het uitgevoerde experiment valt als eerste op dat de begintemperatuur van de verschillende zones 3 tot 5°C lager is dan tijdens metingen is waargenomen. Bij het toevoegen van interne warmtelast in de woonkamer loopt tijdens de simulatie de temperatuur binnen een dag op naar ongeveer 24°C, zoals ook waargenomen tijdens de meting. De stabiele temperatuur van ongeveer 25°C wordt twee dagen later behaald. Ook het afkoelgedrag komt overeen met de metingen: om tot de oorspronkelijke temperatuur van de woning af te koelen zijn ongeveer drie dagen nodig.

De invloed van de warmtebron in de woonkamer heeft bij zowel de simulatie als de meting op de lange duur een beetje effect op de temperatuur op de eerste verdieping. Deze warmt ongeveer een graad Celsius op na drie dagen tijd. De temperatuur op de zolder lijkt tijdens de meting niet beïnvloed te worden door de interne warmtelast in de woonkamer, terwijl deze tijdens de simulatie oploopt.

Het opwarm en afkoel gedrag van de gemodelleerde woning komt dus overeen met de metingen in de voorbeeldwoning. Echter is onduidelijk waarom de temperatuur in de woonkamer voor het experiment 3°C tot 5°C lager is dan in de voorbeeldwoning is gemeten.

4.3 Conclusies

Na de verschillende vergelijkingen tussen simulaties met het model en de metingen in de gerenoveerde voorbeeldwoning kunnen verschillende conclusies getrokken worden. De gesimuleerde binnentemperaturen met het model bij zoninstraling als warmtebron komen goed overeen met de gemeten temperaturen in de voorbeeldwoning (afbeelding 39 - afbeelding 41). Zowel het verloop van de temperaturen op de lange termijn (weken), als de opwarming en afkoeling van de ruimtes gekeken naar de periode van een dag. Ook als een interne warmtelast de woning op een comfortabele temperatuur moet houden, blijkt dat de modelwoning opwarmt tot dezelfde temperatuur als tijdens de metingen is waargenomen (afbeelding 42). Dit houdt in dat het model geschikt is om simulaties te doen voor woningen met extreem goede isolatie en kierdichting. Het model kan bij dit onderzoek gebruikt worden om de binnentemperaturen te simuleren bij een afgegeven warmtevermogen.

Echter blijft het onduidelijk waarom de temperatuur van de modelwoning 3°C tot 5°C lager was dan tijdens de metingen is waargenomen. Dit moet onderzocht worden, voordat het

model gebruikt kan worden om op kleine tijdschaal de warmtebehoefte van de woning te simuleren.

Als laatste blijft het onzeker of de begane grondvloer in het model ingevoerd mag worden als scheidingsconstructie met een constante temperatuur of beter als een goed geïsoleerde gevel meegerekend kan worden. In Hambase wordt een vloer ingevoerd met een constante temperatuur, maar vanwege de extreem goede isolatie is dat discutabel. Tijdens simulaties is deze ingevoerd met een constante temperatuur van 19°C. In een vervolgstudie waarbij de oppervlakte temperatuur van een goed geïsoleerde begane grond vloer gemeten wordt, kan hierover een uitspraak gedaan worden.

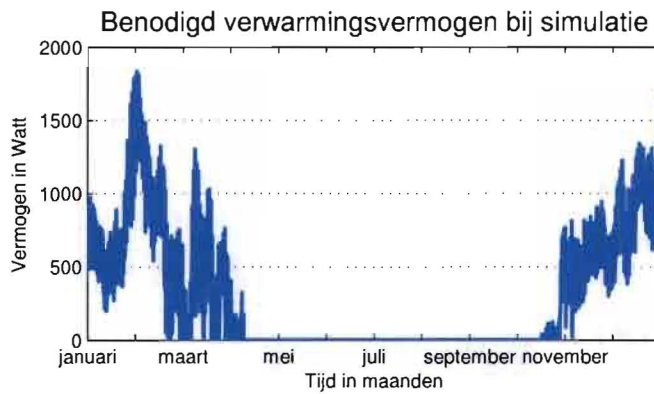
4.4 Simulatie van de voorbeeldwoning voor een modeljaar

Om alternatieve systemen voor ruimteverwarming met elkaar te kunnen vergelijken, is een simulatie uitgevoerd met de modelwoning, voor modeljaar 1976. Dit jaar wordt gebruikt als testjaar vanwege de strenge winter. Het bewonersprofiel dat tijdens simulatie is gebruikt, is een huishouden met vier personen, die overdag werken, 's avonds in de woonkamer zijn en 's nachts slapen in de slaapkamers. De bijbehorende interne warmtelast is weergegeven in onderstaande tabel.

tabel 12: de interne warmtelast zoals gebruikt voor de simulatie van de energievraag van een bewoonde gerenoveerde woning

	07 – 17 uur	17 – 23 uur	23 – 07 uur
Zone 1	100 Watt	600 Watt	100 Watt
Zone 2	0 Watt	0 Watt	400 Watt
Zone 3	100 Watt	100 Watt	100 Watt

In de eerste zone wordt continu een klein beetje warmte afgegeven door een koelkast en het stand-by staan van andere apparatuur. 's Avonds is er extra interne warmtelast door apparatuur die aanstaat en de bewoners zelf. De warmtelast van de bewoners verplaatst zich 's nachts naar de tweede zone. Op zolder wordt continu warmte afgegeven door de installatie.



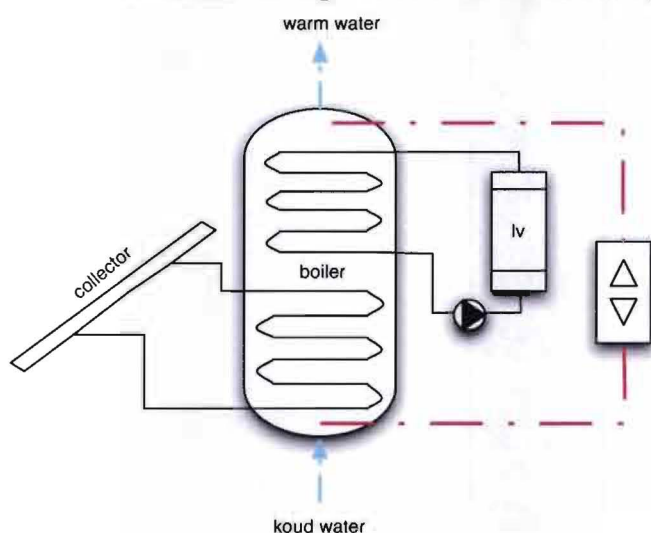
afbeelding 43: het benodigd verwarmingsvermogen van een gerenoveerde woning, gesimuleerd met het ontwikkeld model is in totaal 243m³ aardgas, verdeeld over een stookseizoen van 176 dagen

De gewenste temperatuur in de woonkamer is tijdens simulatie 20°C, in de slaapkamer is deze 18°C. In totaal is voor dit simulatiejaar 243 m³ aardgas nodig voor om de warmtebehoefte van de woning te voldoen, waarbij het stookseizoen 176 dagen lang is (afbeelding 44). Het maximaal toegevoerd warmtevermogen aan de woning is 1,8 kW.

Hoofdstuk 5: Alternatieve comfortinstallaties

Nu de randvoorwaarden voor het ontwerp van een installatie bekend zijn, kan antwoord gegeven worden op de derde deelvraag van dit onderzoek, welke alternatieve installaties geschikt zijn voor gerenoveerde woningen met extreem goede isolatie. In de literatuur is gevonden dat de basisgedachte van een passiefhuis is dat er met lucht verwarmd wordt (paragraaf 2.2). Omdat berekend is dat het ook voor een gerenoveerde woning mogelijk is om alle warmtebehoefte via de lucht in de woning te brengen (pagina 45), is dat een voordehandliggende eerste oplossing. Echter heeft deze oplossing het nadeel dat het niet mogelijk is per vertrek de hoeveelheid warmte te regelen, waardoor twee andere oplossingen zijn ontworpen waarbij dat wel mogelijk is. De eerste is door gebruik te maken van radiatoren. Omdat door simulatie blijkt dat de radiatoren nauwelijks gebruikt worden, is het derde alternatief met elektrische kachels in plaats van radiatoren. In de laatste paragraaf van dit hoofdstuk zullen de drie alternatieven bediscussieerd worden.

5.1 Luchtverwarming voor de hele woning



afbeelding 44: het principeschema van het installatieconcept waarbij warm tapwater direct uit het buffervat komt en ruimteverwarming door alleen luchtverwarming wordt afgegeven

Het eerste systeem dat ontworpen is dat geschikt is voor een gerenoveerde doorzonwoning met extreem goede isolatie, is het verwarmen door middel van luchtverwarming. De eenvoudigste oplossing hiervoor is als het vermogen van de opwekker dezelfde is als de benodigde warmte van de woning. Dit is mogelijk door toepassing van een warmtepomp. Echter is dan een tweede apparaat nodig voor de bereiding van warm tapwater. Vanwege de hoge aanschafprijs hiervan en de reeds aanwezige gasaansluiting in gerenoveerde woningen in Nederland, is bij dit systeemconcept gekozen voor warmtelevering door gas.

Omdat gasketels een te groot vermogen hebben voor de gerenoveerde woning, zorgt een buffervat voor de gelijkmatige verdeling van de warmte die aan de lucht wordt toegevoerd. Hiervoor wordt de zonneboiler gebruikt. Het voordeel hiervan is dat zonnewarmte van de collector in het voor en naseizoen gebruikt kan worden als ruimteverwarming. Omdat de bovenste helft van het vat warm moet zijn om de luchtverwarmer van warm water te kunnen voorzien, kan ook warm tapwater direct uit het vat getapt worden. Er hoeft dus geen ketel geïnstalleerd te worden van minimaal 20 kW, omdat deze niet het stromend tapwater hoeft na te verwarmen. In afbeelding 44 is het principeschema van dit ontwerp weergegeven.

Nadelen van dit systeem zijn dat de ruimteverwarming in alle vertrekken terechtkomt. De gebruiker kan dus niet kiezen om een van de ruimtes te verwarmen, of het juist koeler te laten op de slaapkamers. Daarnaast kan er bij renovatie van woningen weinig gebruikt worden van het traditionele systeem voor ruimteverwarming. Er is een buffervat nodig met een extra aansluiting voor de ketel en twee warmtewisselende spiralen, wat duurder is dan een standaard buffervat. Daarnaast wordt het buffervat een heel jaar warm gehouden, wat extra energieverlies veroorzaakt.

Een reden om dit systeem te kiezen is vanwege de robuustheid van de regeling. Er wordt alleen verwarmd via de inblaaslucht, waardoor de regeling erg eenvoudig is. Daarnaast is het breed toepasbaar in alle woningen met een extreem lage warmtebehoefte waar balansventilatie aanwezig is.

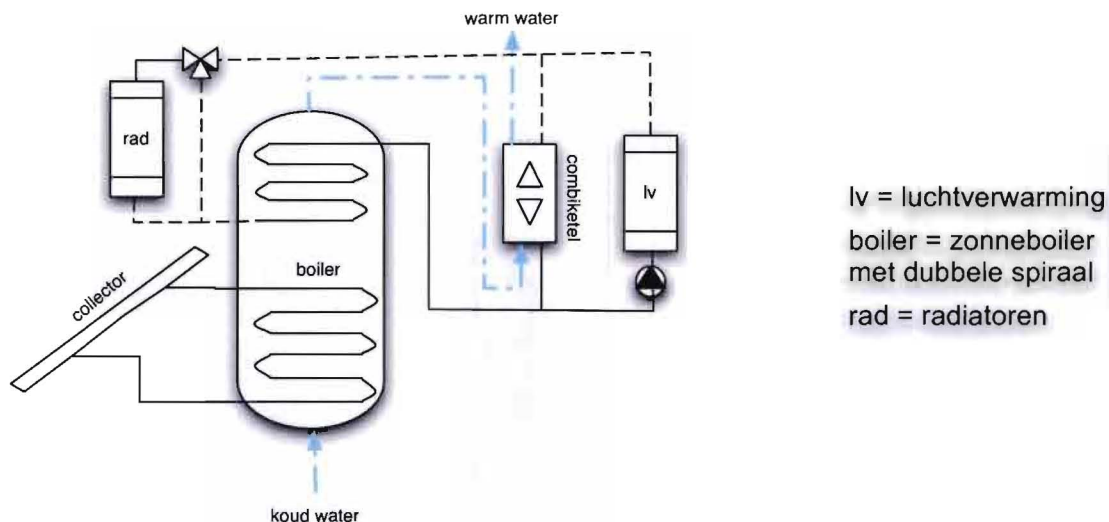
tabel 13: de voor- en nadelen van het systeemconcept met luchtverwarming voor een gerenoveerde woning

Voordelen	Nadelen
Eenvoudig in gebruik	Niet per vertrek te regelen
Eenvoudige regeling	Hoger energieverbruik doordat overal warmte komt
Hoog tapwater comfort	Geen hergebruik van traditionele installatie

5.2 Luchtverwarming en radiatorverwarming

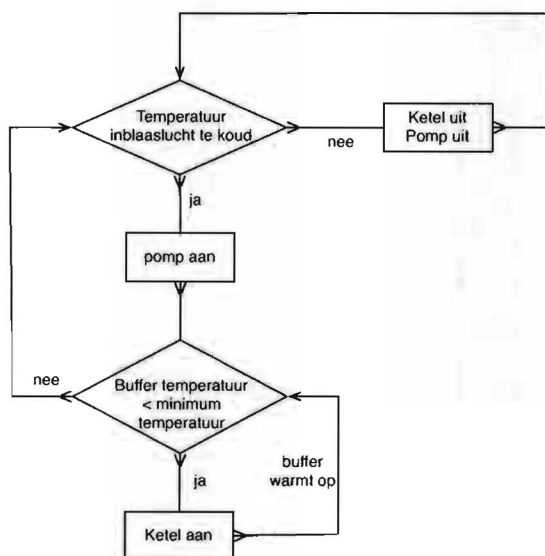
Het grootste bezwaar van het eerste systeemconcept is dat de toegevoerde warmte in alle vertrekken van de woning terechtkomt, waardoor de mogelijkheid om te regelen per vertrek is uitgesloten. De oplossing hiervoor is door de warmteafgifte op twee manieren te doen; als basisverwarming middels lucht, en extra verwarming middels de bestaande radiatoren, zodat per ruimte de hoeveelheid warmte geregeld kan worden. In afbeelding 45 is een principeschema weergegeven van een alternatieve installatie, welke hieraan voldoet. In dit systeem is, zoals bij het vorige, gebruik gemaakt van een buffervat met twee warmtewisselende spiralen, om extra goed gebruik te kunnen maken van de zonnewarmte.

De zonnecollector is aangesloten op de onderste spiraal van het vat om een zo hoog mogelijk rendement van de zonnecollector te kunnen behalen. Deze zal vooral in de zomerperiode warmte afgeven.



afbeelding 45: het prinsieschema van het installatieconcept waarbij zowel met luchtverwarming als met radiatoren verwarmd kan worden

Als het kouder wordt, wordt de pomp van de luchtverwarmer aangezet zodat de inblaasluft verwarmd wordt. Deze warmte wordt gehaald uit het buffervat. Als de zon te weinig warmte afgeeft om de lucht na te verwarmen gaat de combiketel aan. Het water dat opgewarmd is door de ketel stroomt door de luchtverwarmer, waarna de resterende warmte in het buffervat wordt opgeslagen. Als het vat weer opgewarmd is gaat de ketel uit, en blijft de luchtverwarmer warmte halen uit het vat (afbeelding 46).



afbeelding 46: het regelschema van het systeemconcept, waarbij de luchtverwarmer als basisverwarming dient en radiatoren gebruikt kunnen worden om per ruimte te verwarmen

Omdat de luchtverwarmer bij dit systeem slechts een deel van de ruimteverwarming verzorgt, hoeft de temperatuur van het systeemwater niet zo hoog te zijn. Een lagere temperatuur van het buffervat heeft minder warmteverlies aan de omgeving tot gevolg. Daarom is het bij dit systeem energetisch interessanter om het tapwater na te laten verwarmen door de combiketel, in plaats van de bovenste helft van het buffervat op tapwater temperatuur van 60°C te houden. Er moet gezocht worden naar een combiketel die de temperatuur van het buffervat meet; standaard verwarmt de ketel tapwater zodra er water stroomt. Echter dient de ketel eerst te meten of het water uit het buffervat warm genoeg is om als warm tapwater door te laten, voordat verwarmd wordt.

Als de luchtverwarmer vervolgens te weinig vermogen heeft om de woning op een comfortabele temperatuur te houden, kunnen de radiatoren de verschillende ruimtes naverwarmen. Hiervoor is het nodig dat de klep voor de radiatoren open wordt gezet en de ketel aan gaat, zodat warm water door de radiatoren stroomt. De restwarmte die niet wordt afgegeven aan de woning die wel is opgewekt door de ketel wordt opgeslagen in het buffervat.

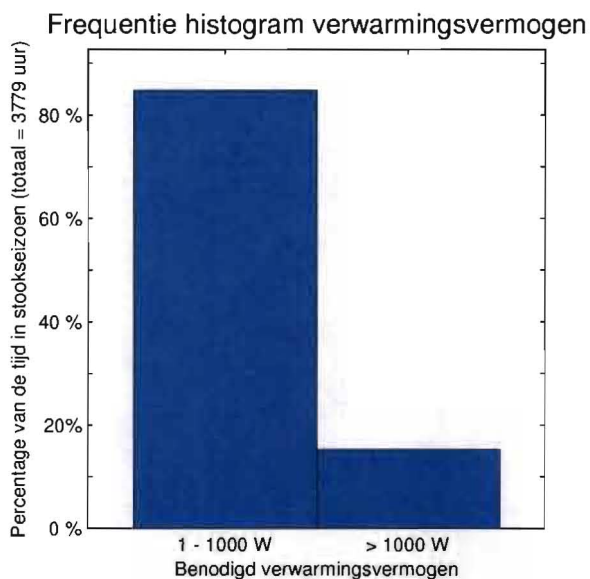
tabel 14: de voor- en nadelen van het systeem met luchtverwarming en radiatorverwarming

Voordelen	Nadelen
Radiatoren kunnen hergebruikt worden	Buffervat geeft heel jaar warmte af
Zonnewarmte gebruikt voor ruimteverwarming	Hoge investeringskosten
Per vertrek te regelen	Verhoogde kans op defecten

De reden om voor bovenstaand systeem te kiezen is vanwege de grote vrijheid van de regeling. Het systeem is eenvoudig te regelen op de wensen van de gebruiker. De lucht kan in de winter koel ingeblazen worden of worden verwarmd. Daarnaast is eenvoudig een extra warmtebehoefte per ruimte te voldoen door de radiatoren. Ook is het mogelijk de luchtverwarmer alleen voor de luchttoevoer van de woonkamer te plaatsen, zodat slaapkamers in de winter koel blijven als de gebruiker dat wil.

5.3 Luchtverwarming met elektrische naverwarming

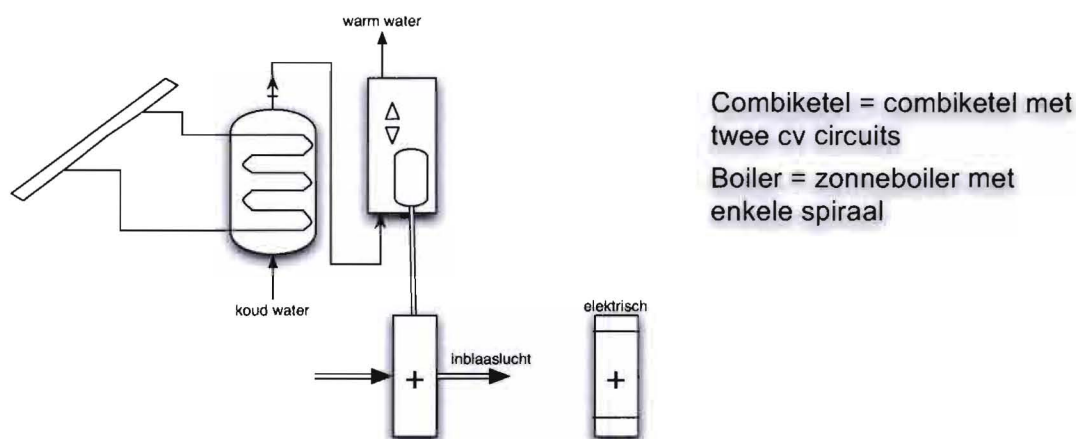
Na simulatie van het tweede alternatieve installatieconcept blijkt dat de meeste warmte gedurende een jaar wordt toegevoegd door de luchtverwarmer. In slechts 18% van de tijd is meer dan 1000 Watt verwarmingsenergie nodig in het stookseizoen om aan de gestelde gewenste temperaturen te voldoen (afbeelding 47). Bij een vermogen van de luchtverwarmer van 1000 Watt, blijkt voor verwarming via radiatoren slechts 19 m³ aardgas nodig te zijn. Als het vermogen van de luchtverwarmer slechts 500 Watt is, blijkt nog 103 m³ aardgas nodig te zijn voor radiatorverwarming.



afbeelding 47: frequentie histogram van het benodigd verwarmingsvermogen. Slechts 18% van de tijd in het stookseizoen is meer dan 1000 Watt ruimteverwarming gevraagd

Bij een te laag frequent gebruik van het systeem, lopen verschillende onderdelen van het systeem het risico vast te gaan zitten. Dit kan ervoor zorgen dat tijdens de paar extreem koude dagen in het jaar, het systeem niet werkt, en de bewoners in de kou zitten. Het derde alternatief is daarom een oplossing die betrouwbaarder is op het moment dat warmte gevraagd wordt. Dit is door naverwarming toe te passen met elektrische kachels.

Als eerste is voor dit systeemontwerp gezocht naar een combiketel met een cv circuit met een heel laag vermogen, om de luchtverwarmer van warm water te voorzien. Omdat ketels niet ver genoeg kunnen terugregelen, is de oplossing een combiketel die cv water kan opwarmen via de comfortfunctie van warm tapwater. Daardoor kan een vermogen afgegeven worden welke gewenst is voor het verwarmen van de lucht. Daarnaast heeft de cv ketel wel het vermogen om tapwater te bereiden als doorstroomtoestel (afbeelding 48). Twee mogelijke combiketels die voor dit ontwerp gebruikt kunnen worden zijn de Intergas HRE en de Daalderop Combifort. In de zomersituatie, als de zonneboiler warm water bereidt voor tapwater hoeft de lucht niet verwarmd te worden. De comfortstand van het tapwater kan dan uitgeschakeld worden. In de wintersituatie, waarbij de lucht verwarmd wordt en tapwater niet voorverwarmd door de zonneboiler komt de comfortstand van de ketel dus extra van pas.



afbeelding 48: het prinsipeschema van een cv ketel die een klein vermogen afgeeft voor luchtverwarming en ook tapwater kan naverwarmen als doorstroomtoestel. Extra verwarming van de ruimte kan door elektrisch verwarmen.

Door de naverwarming van elektrische kachels per ruimte kan voor iedere gebruiker een aangenaam binnenklimaat gecreëerd worden. Per ruimte is de hoeveelheid warmte goed te regelen. Echter dient de gebruiker bij dit installatieontwerp zich goed bewust te zijn van de werking van het systeem. Omdat warmte levering middels elektriciteit ongeveer 3,5 keer zo duur is als warmte omgezet uit gas, is het risico dat bij verkeerd gebruik de elektriciteitsrekening bij dit ontwerp snel kan oplopen.

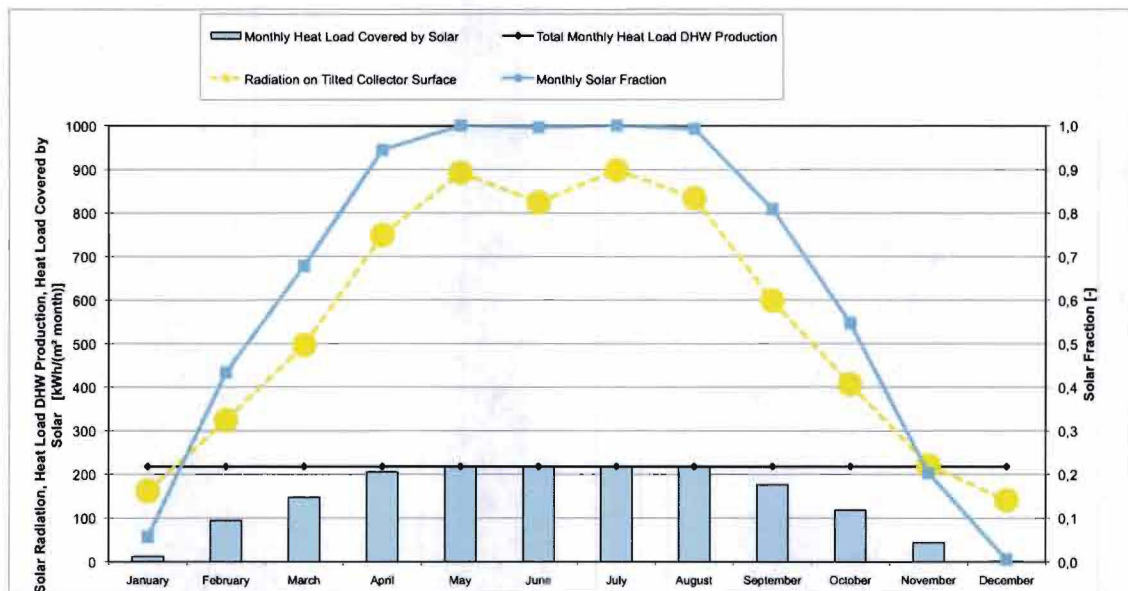
Om het mogelijke risico in te kunnen schatten is een simulatie gedaan met de installatie, waarbij de gewenste temperatuur in elke ruimte is ingesteld op 22°C. De totale warmtebehoefte van de woning is hierbij 796 m³ aardgas. Omdat de luchtverwarmer bij de simulatie een vermogen heeft van 1,0 kW is de rest van de warmte elektrisch geleverd. Elektrisch is daarvoor 3262 kWh benodigd voor het gesimuleerde jaar. De totale energiekosten voor een jaar zijn dan € 1137. Als alle warmte door gas omgezet wordt kost dat per jaar € 557. Deze berekening laat zien dat er een risico is bij toepassing van dit systeem.

tabel 15: de voor- en nadelen van het systeem waarbij een combiketel met een laag cv vermogen waarmee lucht wordt verwarmd. Naverwarmen gebeurt elektrisch.

Voordelen	Nadelen
Lage investeringskosten	Risico van een hoge energierekening
Per vertrek regelbaar	Geen hergebruik van installatie
Breed toepasbaar	

5.4 Discussie

Een zonnecollector gebruikt zonnewarmte om tapwater mee te verwarmen. Volgens de gelijkwaardigheidsverklaring van het HRsolar systeem kan de jaaropbrengst van een zonnewarmtesysteem oplopen tot 6,1 GJ per jaar (Geremaan BV 2009), wat de helft is van het jaarlijks gemiddeld tapwaterverbruik (VROM 2007). Berekeningen met het rekenprogramma PHPP wijzen uit dat deze zonnewarmte in de vier hoogzomermaanden voldoende is voor de volledige warmtevraag voor tapwater. In het voor en naseizoen neemt dit aandeel echter snel af (afbeelding 49).



afbeelding 49: de met PHPP berekende zonneopbrengst van een collector met oppervlakte van $5,7\text{m}^2$ en een boiler van 200 liter laat zien dat het warm tapwater in de vier hoogzomer maanden volledig wordt verwarmd door de zon en in het voor en naseizoen snel afneemt (Passivhaus Institut 2001).

Het nuttig gebruik van zonnewarmte voor ruimteverwarming is daarom ook discutabel. Uit de simulatie van een goed gerenoveerde woning is gebleken dat het stookseizoen ligt tussen half oktober en begin april. Als in deze periode de zonnewarmte wordt opgevangen door de collector, zal dit als eerste gebruikt worden voor het verwarmen van tapwater. Als meer warmte van de zon opgevangen wordt dan afgenomen door het tapwater, zal het een extreem zonnige dag geweest zijn, en zal de doorzonwoning op een passieve manier door de zon verwarmd zijn, waardoor geen actieve verwarming nodig zal zijn. De bijdrage van zonnewarmte aan ruimteverwarming zal naar verwachting dus erg weinig zijn. Simulatie van een zonnecollector in het Hambase model kan hierover een voorspelling doen. Hiervoor is een vervolgstudie nodig.

De keuze tussen de verschillende alternatieve systemen is afhankelijk van het zwaartepunt van de keuze. Het eerste systeem is een robuust systeem met een eenvoudige regeling dat in elke woning met een lage warmtebehoefte toegepast kan worden. Naast de voorgestelde kleine ketel, is het ook mogelijk om een warmtepomp te gebruiken als warmte bereider. Echter, omdat het water verwarmd moet worden tot 60°C, heeft een warmtepomp niet de COP goedkoper warmte te bereiden dan een gasketel (afbeelding 8, pagina 17).

Het tweede systeem heeft een complexere regeling, maar biedt meer mogelijkheden voor de gebruiker. Omdat er twee verschillende manieren van warmteafgifte zijn, is een goede afstemming nodig tussen de afgiftesystemen om oververhitting in de woning te voorkomen. Luchtverwarming kan door de gebruiker aan en uit gezet worden, wat direct gekoppeld is aan de pomp. Een ruimtethermostaat kan daarnaast het circuit van radiatoren aansturen. Omdat water in het vat een lagere temperatuur heeft dan bij systeem 1, zal minder warmte verloren gaan. Daarnaast wordt gerichter verwarmd met de radiatoren dan door een centrale luchtverwarmer. Dit systeem is het meest geschikt in combinatie met een kleine luchtverwarmer, zodat de radiatoren tijdens het stookseizoen regelmatig zullen moeten bijspringen, wat het vastzitten van de appendages in het systeem voorkomt.

Als de warmtevraag van de woning echter nog verder terugloopt en binnen de passiefhuis normering komt, wordt de derde oplossing interessanter. Hierbij is het belangrijk dat het grootste deel van de warmtevraag wordt voldaan door de luchtverwarmer, en de gebruikers bewust omgaan met de elektrische verwarming. Omdat het systeem geen complex buffervat nodig heeft, en elektrische kachels veel goedkoper zijn dan een systeem met radiatoren, zijn de investeringskosten waarschijnlijk veel lager dan bij de andere twee systemen.

De plaats van de luchtverwarmer is in de laatste twee alternatieven variabel, waarbij de keuze gemaakt kan worden tussen de woonkamer of centraal in de woning. Bij centrale luchtverwarming is het nadeel dat de afgegeven warmte in heel de woning terechtkomt, waarbij ook de slaapkamers verwarmd worden. Door de luchtverwarmer slechts voor de woonkamer te gebruiken blijft het op de slaapkamers koeler. Bij het gebruik van een slaapkamer als studeerkamer moet daar echter meer naverwarmd worden.

Bij het gebruik van een centrale luchtverwarmer komt de warmte in de verschillende ruimtes terecht, evenredig verdeeld met de hoeveelheid verse lucht naar deze ruimtes. In de situatie van de voorbeeldwoning is dat 46% voor zone 1, 42% voor zone 2 en 12% voor de derde zone. Tijdens simulaties is de gewenste temperatuur van de slaapkamer op 18°C ingesteld, maar tijdens metingen is gebleken dat door centrale luchtverwarming en radiatorverwarming in de woonkamer, de temperatuur op zone twee boven de 20°C blijft, zoals te zien in de onderste grafiek van afbeelding 17 op pagina 27. Echter, metingen naar de temperatuur op

de verschillende zones bij een lokale warmtebron hebben laten zien dat warmte in de woning zich niet uniform verdeelt. Als de tussendeuren in de woning gesloten blijven, gaat warmte van de eerste zone niet naar de tweede zone (afbeelding 42, pagina 53).

Bij centrale luchtverwarming komt dus meer dan de helft van de toegevoegde energie op een verkeerde plaats. De totale hoeveelheid benodigde energie van de drie verschillende alternatieven is in onderstaande tabel weergegeven. Hiervoor is het model van de woning gebruikt. Er is gerekend dat 46% van de luchtverwarming op de plaats terecht komt waar het gewenst is, het omzettingsrendement van een gasketel gelijk is aan 90% en het warmteverlies van een boiler 3 W/K is (Passivhaus Institut 2001), wat slechts in 6 maanden van het jaar hoeft te worden warm gehouden. De buffertemperatuur van systeem 1 is 60°C en van systeem 2 is 45°C. Het elektrisch verbruik is bij alle systemen geschat op 300 kWh per jaar bij gebruik van een moderne combiketel en pomp. De energiekosten zijn € 0,23 voor een kWh elektriciteit en € 0,79 per m³ gas (CBS 2008).

tabel 16: Energieverbruik en kosten voor ruimteverwarming voor de drie alternatieve systemen

	Systeem 1: luchtverwarming	Systeem 2: 500 W luchtverwarming + radiatoren	Systeem 3: 1000 W luchtverwarming + elektrisch
Verbruik luchtverwarming	592 m ³ ag	156 m ³ ag	249 m ³ ag
Verbruik radiatoren		114 m ³ ag	
Verlies buffervat	54 m ³ ag	34 m ³ ag	
Verbruik elektrische verwarming			186 kWh
Elektrisch verbruik ketel en pomp	300 kWh	300 kWh	300 kWh
Totaal verbruik ruimteverwarming	646 m ³ ag 300 kWh elektrisch	304 m ³ ag 300 kWh elektrisch	249 m ³ ag 486 kWh elektrisch
Energiekosten voor ruimteverwarming	€ 580	€ 309	€ 308

Omdat bij centrale luchtverwarming niet alle warmte terecht komt waar bedoeld, is de plaats van de luchtverwarmer in de woning van grote invloed op de energiekosten. Als een gebruiker alleen warmte wenst in de woonkamer, moet alleen de lucht die naar de woonkamer gaat verwarmd worden. Als de gebruiker echter de hele woning verwarmd wil hebben moet de luchtverwarmer centraal geplaatst worden.

Hoofdstuk 6: Conclusie en aanbevelingen

Tijdens dit onderzoek is een aantal conclusies kunnen trekken. Allereerst zal in dit hoofdstuk een antwoord gegeven worden op de onderzoeksvragen van dit onderzoek. Daarnaast zijn ook andere conclusies getrokken, aan de hand van de uitgevoerde metingen en het ontwikkelde model. Verder zullen in dit hoofdstuk aanbevelingen gegeven worden voor vervolgonderzoek.

6.1 Antwoorden op onderzoeksvragen

De eerste onderzoeksvraag stelt wat de warmtevraag van een gerenoveerde woning is, en hoe het vraagpatroon er uit ziet. De warmtevraag van de gerenoveerde woning is maximaal 2,5 kW, en zal per jaar ongeveer 250 m³ aardgas equivalent aan energie nodig hebben voor ruimteverwarming. Simulaties laten zien dat het stookseizoen ongeveer 180 dagen zal duren.

De tweede deelvraag van dit onderzoek is welke eisen gesteld moeten worden aan de installatie. Ten eerste moet een woning met extreem goede kierdichting voorzien zijn van mechanische ventilatie. De gezondheidsraad schrijft voor om minimaal 25 m³/h per persoon in een ruimte toe te voeren. Omdat zo min mogelijk energie verbruikt mag worden is het effectief om warmte uit te wisselen van de retourlucht naar de inblaaslucht. Tijdens metingen is echter gebleken dat de toevoerlucht te koud is om in te blazen door een standaard rooster. Inblaaslucht zal naverwarmd moeten worden of ingeblazen met een hoog inducerend rooster. Verder is voor ruimteverwarming in de woning minimaal 2,5 kW afgiftevermogen nodig en moet tapwater bereid kunnen worden tot minimaal 55°C (NEN 1006), waarbij de hoeveelheid afhankelijk is van het gebruiksgedrag. Gemiddeld wordt hiervoor 35 liter per persoon per dag aangehouden (ISSO 30). Om bij het verwarmen van tapwater energie te besparen is het nuttig een zonnecollector met boiler te plaatsen, welke in de zomermaanden water opwarmt.

Als derde onderzoeksvraag is gesteld welke alternatieve installaties geschikt zijn voor een gerenoveerde woning met extreem goede isolatie en kierdichting. Deze drie alternatieven worden beschreven in hoofdstuk 5. Het eerste concept verwarmt de ruimtes van de woning met alleen luchtverwarming. Het tweede en derde alternatief maken hier ook gebruik van als basisverwarming, maar hebben tevens naverwarming per ruimte, waarvoor het tweede alternatief gebruik maakt van radiatoren en de derde oplossing elektrische kachels gebruikt als naverwarming. Deze derde oplossing is vooral geschikt voor woningen met een extreem lage warmtebehoefte, waarbij het overgrote deel van de warmte door de lucht wordt toegevoerd aan de woning. Elektrisch verwarmen hoeft dan zo min mogelijk te gebeuren,

wat het risico op een hoge energierekening voorkomt. Het tweede alternatief geniet de voorkeur. Dit vanwege de grote regelbaarheid van de hoeveelheid warmte per ruimte, er wordt een minder groot risico gelopen dan bij het derde alternatief en ook zijn de berekende energiekosten fors lager dan het eerste alternatief (tabel 16).

De totale energiekosten voor dit installatieconcept zijn berekend (tabel 17). Naast de energie voor ruimteverwarming is energie nodig voor het bereiden van warm tapwater en de ventilatie. Omdat het verbruik voor warm tapwater afhankelijk is van de gebruiker en niet van de woning zal dit niet afwijken van het landelijk gemiddelde. Hiervoor is ongeveer 400m³ aardgas equivalent aan energie nodig per jaar (VROM 2007). Verder is het belangrijk dat in woningen met extreem goede kierdichting geventileerd wordt. Als het advies van de gezondheidsraad als minimale hoeveelheid ventilatie wordt aangehouden, zal de ventilator per jaar 750 kWh aan elektriciteit verbruiken.

tabel 17: het jaarlijks energieverbruik van installatieconcept twee

Energieverbruik	Aardgas	Elektriciteit
Ruimteverwarming	304 m ³	300 kWh
Tapwater	400 m ³	250 kWh
Ventilatie		750 kWh
Totaal	704 m ³	1300 kWh
Kosten	€ 556	€ 299

6.2 Conclusies na metingen en simulatie

Naast het beantwoorden van de onderzoeksvragen kunnen naar aanleiding van metingen en het ontwikkelen van het model overige conclusies getrokken worden.

- Het elektriciteitsverbruik van een ketel wordt bij lage warmtevraag relatief hoog. Bij de keuze van een ketel voor woningen met lage energievraag dient dus gelet te worden op het elektriciteitsverbruik hiervan.
- Als tussendeuren van de woning gesloten zijn, warmen slaapkamers van de woning niet veel op als in de woonkamer warmte wordt toegevoerd.
- De temperatuur van de inblaaslucht na warmte uitwisseling met de retourlucht is te koud om in te blazen met standaard roosters. Dit kan leiden tot tocht in de woning.
- Het warmhouden van een warmtevoorraad voor tapwater verbruikt 10% van de energie die nodig is voor ruimteverwarming. Dit verhoogt het tapwater comfort.

- Simulaties van de binnentemperatuur van een extreem goed geïsoleerde woning bij interne warmtebronnen en zoninstraling zijn overeenkomstig met metingen in de voorbeeldwoning.
- Simulatie van het energieverbruik van een extreem goed geïsoleerde woning komt overeen met metingen in de voorbeeldwoning en berekeningen met PHPP.

6.3 Vervolgonderzoek

Omdat tijdens een onderzoek niet alle onbekenden en onzekerheden onderzocht kunnen worden, wordt naar aanleiding van vraagstukken tijdens dit onderzoek voorstel gedaan voor vervolgonderzoek.

- Meting naar oververhitting in de zomer van een extreem goed geïsoleerde woning met interne warmtelast (tijdens bewoning).
- Onderzoek naar de invoer van de begane grondvloer van de extreem goed geïsoleerde woning in het Hambase model.
- Onderzoek naar de opbrengst van een zonnecollector ten behoeve van ruimteverwarming. Dit kan gedaan worden door simulaties in Hambase.
- Onderzoek naar de verdeling van de ventilatielucht in de woning met mechanische ventilatie om te bepalen hoeveel ventilatie nodig is voor een gezond binnenmilieu.

Literatuur

- Audenaert. „Economic analysis of passive houses and low-energy house compared with standard houses.” *Energy and Policy* 36 (2008): 47-55.
- Baruch, Givoni. „Comfort, climate analysis and building design guidelines.” *Energy and Buildings* 18 (1992): 11-23.
- CBS. „Binnenlands energieverbruik per sector, 1990 - 2007.” cijfers, Energieverbruik, Centraal bureau voor de statistiek, 2008, 1.
- CBS. *Gemiddelde tarieven aardgas en elektriciteit*. 28 februari 2008.
- de Wit, Martin. *Hambase*. faculteit bouwkunde, technische universiteit eindhoven, Eindhoven: TU/e, 2006, 112.
- Dokka, Tor Helge, en Inger Andresen. „Passive house projects in Norway - an overview.” *Passive houses in cold climates*. Stuttgart: passiv haus institut, 2008. 125-130.
- ECE. „Nederland - Informatieblad Energiemix.” Factsheet, European Commission Energy, 2007, 3.
- EPK. *Stichting Energie Prestatie Keur*. 2009. www.EPK.nl (geopend april 17, 2009).
- Feist, Wolfgang, Jurgen Schnieders, Viktor Dorer, en Anne Haas. „Re-inventing air heating: Convenient and comfortable within the frame of the Passive House concept.” *Energy and Buildings* 37 (2005): 1186-1203.
- Gasunie. *NV De Nederlandse Gasunie*. 2009. www.nvdenederlandsegasunie (geopend april 16, 2009).
- Geremaan BV. „Berekening gelijkwaardigheid van HR Solar zonnearmsysteem in de NEN 5128, 2005.” gelijkwaardigheidsverklaring, Geremaan BV, Apeldoorn, 2009, 1.
- GGD Eemland. „Gezondheid en ventilatie in woningen in Vathorst.” Amersfoort, 2008, 98.
- Houtpelletsdirect. 2009. www.houtpelletsdirect.nl (geopend april 20, 2009).
- Intergas. *Intergas-verwarming*. 2009. www.intergas-verwarming.nl (geopend april 17, 2009).
- J.E. StorkAir. „Handleiding WHR 930.” Handleiding, Zwolle, 2006.
- KMMI. „Seizoenoverzicht zomer 2008.” *Klimaatdata en advies*. september 2008. www.knmi.nl (geopend december 11, 2008).
- KNMI. „De kleine vraagbaak van het Kyoto protocol.” rapport, KNMI, 2005, 25.
- Koene, F.G.H., M.J.M. Jong, en H.F. Kaan. „Verwarmingsconcepten PZE-woning.” ECN, Petten, 2001, 39.
- Morhenne, Joachim. „Passivhaus Nachweis.” berekening, Morhenne ingenieure, 2008.

- OTB. „Ventilatie in de praktijk, kwaliteit voor bewoners.” OTB, Delft, 2002, 43.
- Passivhaus Institut. *Passivhaus Institut*. Editor: Wolfgang Feist. 2001. www.passiv.de (geopend april 30, 2009).
- Pernot, Koren, Dongen van, en Bronswijk. „Relatie EPC-niveau en gezondheidsrisico's als onderdeel van het kwaliteitsniveau van gebouwen.” *Gezonde gebouwen en installaties*, TNO, 2003, 102.
- Pietro e Calore. www.pietrocalore.nl. 2009. www.pietrocalore.nl (geopend juni 03, 2009).
- Radson. *Radson*. Radson. 2009. www.purmo.com/be/products (geopend april 30, 2009).
- Schnieders, Jürgen. „CEPHEUS results: measurements and occupants' satisfaction provide evidence for Passive Houses being an option for sustainable building.” *Energy Policy* 34 (2006): 151-171.
- SenterNovem. *Senternovem*. 21 mei 2008. <http://www.senternovem.nl/> (geopend maart 02, 2009).
- SenterNovem. „Vergelijkend onderzoek zonneboilers.” producten, Senternovem, 2002, 53.
- Smeds, J., en M. Wall. „Enhanced energy conservation in houses through high performance design.” *Energy and Buildings* 39 (july 2007): 273-278.
- Soldaat, Karin. „Bewonersgedrag balansventilatie.” Habiforum, Gouda, 2007, 98.
- Stichting Passiefhuis Holland. „Passiefhuistechnologie in Nederland.” Brochure, 2008.
- Stiebel Eltron. stiebel-eltron.nl. 2009. www.stiebel-eltron.nl/duurzame-energie/producten/warmtepomp (geopend juni 03, 2009).
- Thiers, Stéphane. „Thermal and environmental assessment of a passive building equipped with an earth-to-air heat exchanger in France.” *Solar Energy*, 2008.
- TNO. „Bepaling van het energetisch rendement van het warmteterugwinapparaat "stork Air WHR90 BR".” Briefrapport, Energie- en stromingstechnologie, TNO, Apeldoorn, 2000, 6.
- Vaillant. „Handleiding voor gebruik en installatie.” Vaillant, Amsterdam, 2005, 23.
- VROM. „Cijfers over wonen 2006.” wonen, VROM, 2007, 204.
- Wall, Maria. „Energy-efficient terrace houses in Sweden.” *Energy and Buildings* 38 (2006): 627-634.
- Wever, Nander. „Effectieve temperatuur en graaddagen.” klimatologie en klimaatscenario's, KNMI, De Bilt, 2008, 41.
- Wikipedia. *Wikipedia*. 2009. www.wikipedia.nl (geopend april 16, 2009).

Bijlagen

Bijlage I Meterstanden in de gerenoveerde tussenwoning in Roosendaal

Datum	Ag stand	Ag verbruik p dag	E stand	E verbruik p dag
12-sep-08	2151,433	In m ³	77210	In kWh
16-okt-08	2161,372	0,3	77314	3,1
19-okt-08	2162,319	0,3	77427	37,7
12-nov-08	2170,079	0,3	77834	17,0
21-nov-08	2175,351	0,6	77859	2,8
13-dec-08	2259,48	3,8	77945	3,9
2-jan-09	2303,724	2,2	78010	3,2
5-feb-09	2408,6	3,1	78181	5,0
6-feb-09	2413,542	3,5	78187	4,3
11-feb-09	2437,953	5,2	78207	4,3
28-feb-09	2501,946	3,8	78276	4,0
gemiddeld		Vanaf 21 nov: 3,6		Vanaf 21 nov: 4,1
totaal	350,5		1066	

Bijlage II Meetpunten in de voorbeeldwoning in Roosendaal

Naam	Omschrijving	Locatie	Meetmethode
C1	CO2 concentratie	Woonkamer	interval: elke 15 min
C2	CO2 concentratie	Slaapkamer 1	interval: elke 15 min
T11	Luchttemperatuur	Woonkamer	interval: elke 15 min
T12	Luchttemperatuur	Slaapkamer 1	interval: elke 15 min
T14	Luchttemperatuur	Na WTW / voor luchtverwarmer	interval: elke 15 min
T15	Luchttemperatuur	Na luchtverwarmer	Event A: elke 15 sec
T16	Luchttemperatuur	Zolder	interval: elke 15 min
Tw1	Watertemperatuur	Voor ketel	Event A: elke 15 sec
Tw2	Watertemperatuur	Na Ketel	Event A: elke 15 sec
Tw3	Watertemperatuur	Buffervat (bovenin)	interval: elke 15 min
Tw3a	Watertemperatuur	Buffervat (bovenin)	Event A: elke 15 sec
Tw4	Watertemperatuur	Voor radiator	Event A: elke 15 sec
Tw4a	Watertemperatuur	Voor radiator	interval: elke 15 min
Tw5	Watertemperatuur	Na radiator (wk)	Event A: elke 15 sec
RV1	Relatieve vochtigheid	woonkamer	interval: elke 15 min
RV2	Relatieve vochtigheid	Slaapkamer 1	interval: elke 15 min
RV3	Relatieve vochtigheid	Zolder	interval: elke 15 min
kWh	Totaalverbruik elektra	Meterkast	onregelmatig + tijdstip
kWh1	E-verbruik ketel	Zolder	interval: elke 15 min
kWh2	E-verbruik WTW	Zolder	interval: elke 15 min
kWh3	E-verbruik pomp	Zolder	interval: elke 15 min
Watt1	Vermogen ketel	Zolder	Event A: als ketel verbruikt dan elke 15 sec meten
Watt2	Vermogen WTW	Zolder	interval: elke 15 min
Watt3	Vermogen pomp	Zolder	Event A: als ketel verbruikt dan elke 15 sec meten
AG	Aardgasverbruik	Meterkast	onregelmatig + tijdstip
F1	(warm)watermeter	Zolder	Event A: elke 15 sec
F2	Thermostaat aan/uit		Event A: elke 15 sec
I	pyranometer	Buiten op dakkap	interval: elke 15 min
Tb	Buitentemperatuur	In lucht aanzuig	interval: elke 15 min
RVb	BuitenRV	In lucht aanzuig	interval: elke 15 min

Bijlage III Correctietabel paneelradiatoren volgens Radson

paneelradiatoren - omrekeningstabel EN 442

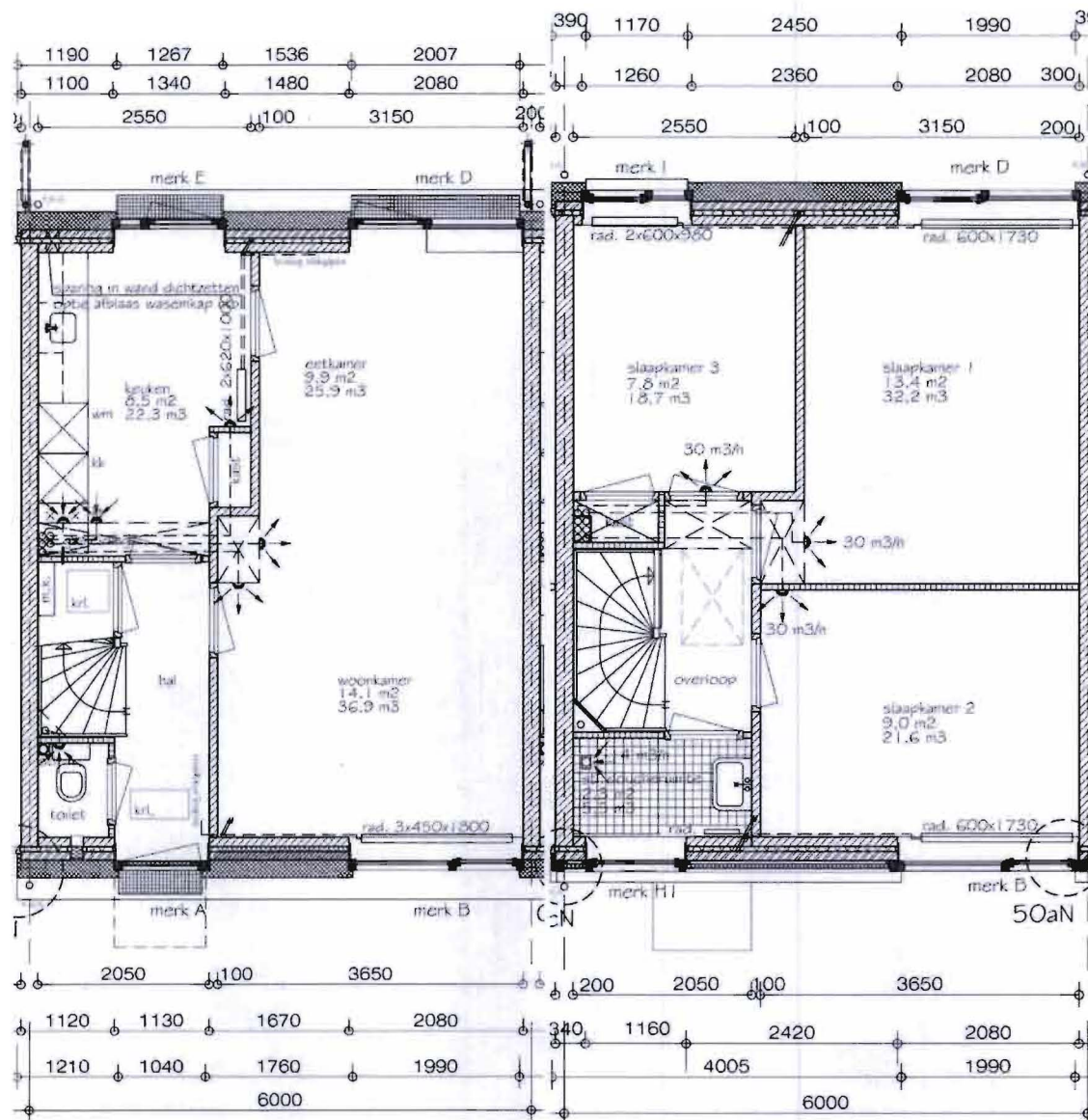
AT	OT	RT	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85
90	24	4,56	2,45	1,88	1,57	1,36	1,21	1,10	1,01	0,93	0,87	0,82	0,77	0,73	
	22	3,11	2,11	1,69	1,44	1,27	1,14	1,04	0,96	0,89	0,83	0,78	0,74	0,70	
	20	2,50	1,87	1,54	1,33	1,19	1,07	0,98	0,91	0,85	0,80	0,75	0,71	0,67	
	18	2,13	1,68	1,42	1,24	1,11	1,01	0,93	0,87	0,81	0,76	0,72	0,68	0,65	
	15	1,76	1,44	1,26	1,13	1,02	0,93	0,87	0,81	0,76	0,71	0,67	0,64	0,61	
12	1,51	1,29	1,14	1,03	0,94	0,87	0,81	0,76	0,71	0,67	0,64	0,61	0,58		
85	24	1,93	2,63	2,00	1,67	1,45	1,29	1,16	1,07	0,99	0,92	0,86	0,81		
	22	3,34	2,76	1,80	1,53	1,34	1,21	1,10	1,01	0,94	0,88	0,82	0,78		
	20	2,67	1,99	1,64	1,41	1,25	1,13	1,04	0,96	0,89	0,84	0,79	0,75		
	18	2,27	1,78	1,50	1,31	1,18	1,07	0,98	0,91	0,85	0,80	0,75	0,72		
	15	1,87	1,54	1,33	1,19	1,07	0,98	0,91	0,85	0,80	0,75	0,71	0,67		
12	1,60	1,36	1,20	1,08	0,99	0,91	0,85	0,79	0,75	0,70	0,67	0,64			
80	24	5,38	2,83	2,15	1,78	1,54	1,37	1,24	1,13	1,05	0,97	0,91			
	22	3,61	2,47	1,95	1,63	1,43	1,28	1,16	1,07	0,99	0,93	0,87			
	20	2,87	2,12	1,75	1,50	1,33	1,20	1,10	1,01	0,94	0,88	0,83			
	18	2,42	1,90	1,60	1,39	1,24	1,13	1,04	0,96	0,90	0,84	0,79			
	15	1,99	1,64	1,41	1,25	1,13	1,04	0,96	0,89	0,84	0,79	0,75			
12	1,69	1,44	1,27	1,14	1,04	0,96	0,89	0,83	0,78	0,74	0,70				
75	24	5,90	3,07	2,32	1,92	1,66	1,47	1,32	1,21	1,12	1,04				
	22	3,92	2,61	2,07	1,75	1,53	1,37	1,24	1,14	1,05	0,98				
	20	3,10	2,28	1,87	1,61	1,42	1,28	1,17	1,08	1,00	0,94				
	18	2,61	2,03	1,70	1,48	1,32	1,20	1,10	1,02	0,95	0,89				
	15	2,12	1,75	1,50	1,33	1,20	1,10	1,01	0,94	0,88	0,83				
12	1,80	1,51	1,34	1,21	1,10	1,01	0,94	0,88	0,82	0,78					
70	24	6,54	3,34	2,52	2,08	1,79	1,58	1,42	1,30	1,19					
	22	4,30	2,84	2,24	1,89	1,64	1,47	1,33	1,22	1,13					
	20	3,38	2,47	2,01	1,73	1,52	1,37	1,25	1,15	1,07					
	18	2,82	2,19	1,83	1,59	1,42	1,28	1,17	1,08	1,01					
	15	2,28	1,87	1,61	1,42	1,28	1,17	1,08	1,00	0,94					
12	1,93	1,63	1,43	1,28	1,16	1,07	0,99	0,93	0,87						
65	24	7,42	3,70	2,78	2,27	1,94	1,71	1,54	1,40						
	22	4,75	3,11	2,44	2,05	1,78	1,58	1,43	1,31						
	20	3,70	2,69	2,19	1,87	1,64	1,47	1,34	1,23						
	18	3,07	2,37	1,98	1,71	1,52	1,37	1,24	1,16						
	15	2,47	2,01	1,73	1,52	1,37	1,25	1,15	1,07						
12	2,07	1,75	1,53	1,37	1,24	1,14	1,05	0,98							
60	24	8,37	4,13	3,06	2,50	2,13	1,87	1,68							
	22	5,32	3,44	2,62	2,24	1,94	1,73	1,56							
	20	4,10	2,95	2,32	2,03	1,78	1,60	1,45							
	18	3,38	2,59	2,15	1,86	1,65	1,48	1,35							
	15	2,69	2,19	1,87	1,64	1,47	1,34	1,23							
12	2,24	1,89	1,64	1,47	1,33	1,22	1,13								
55	24	9,62	4,67	3,43	2,78	2,37	2,07								
	22	6,03	3,87	2,99	2,48	2,15	1,90								
	20	4,60	3,29	2,64	2,24	1,96	1,75								
	18	3,75	2,86	2,36	2,03	1,80	1,62								
	15	2,96	2,37	2,03	1,78	1,60	1,45								
12	2,44	2,05	1,78	1,58	1,43	1,31									
50	24	11,88	5,39	3,92	3,15	2,67									
	22	6,97	4,39	3,37	2,79	2,40									
	20	5,23	3,70	2,96	2,50	2,17									
	18	4,22	3,19	2,63	2,25	1,98									
	15	3,29	2,64	2,24	1,96	1,75									
12	2,69	2,24	1,94	1,73	1,56										
45	24	14,93	6,38	4,58	3,65										
	22	8,76	5,11	3,89	3,19										
	20	6,08	4,25	3,37	2,83										
	18	4,84	3,63	2,96	2,53										
	15	3,70	2,96	2,50	2,17										
12	2,99	2,48	2,15	1,90											
40	24	17,93	7,87	5,54											
	22	10,16	6,14	4,62											
	20	7,28	5,01	3,93											
	18	5,68	4,21	3,41											
	15	4,25	3,37	2,83											
12	3,37	2,79	2,43												
35	24	25,15	10,15												
	22	13,27	7,76												
	20	9,12	6,14												
	18	6,91	5,04												
	15	5,01	3,93												
12	3,89	3,19													
30	24	42,40													
	22	19,37													
	20	12,34													
	18	8,89													
	15	6,14													
12	4,62														

voorbeeld van een omrekening naar een ander regime dan ΔT 50
 U zoekt 2150 Watt voor een badkamer op 24 °C in 90/70.
 In de tabel staat bij 90/70/24, 0,87.
 U zoekt in de prijslijst met ΔT 50 naar een radiator die in de buurt ligt van 1871 W.
mogelijke oplossingen

	<u>75/65/20</u>	<u>90/70/24</u>
11	750	1650
		1959 W
215	600	1350
		1821 W
22	400	1350
		1804 W
33	450	900
		1904 W

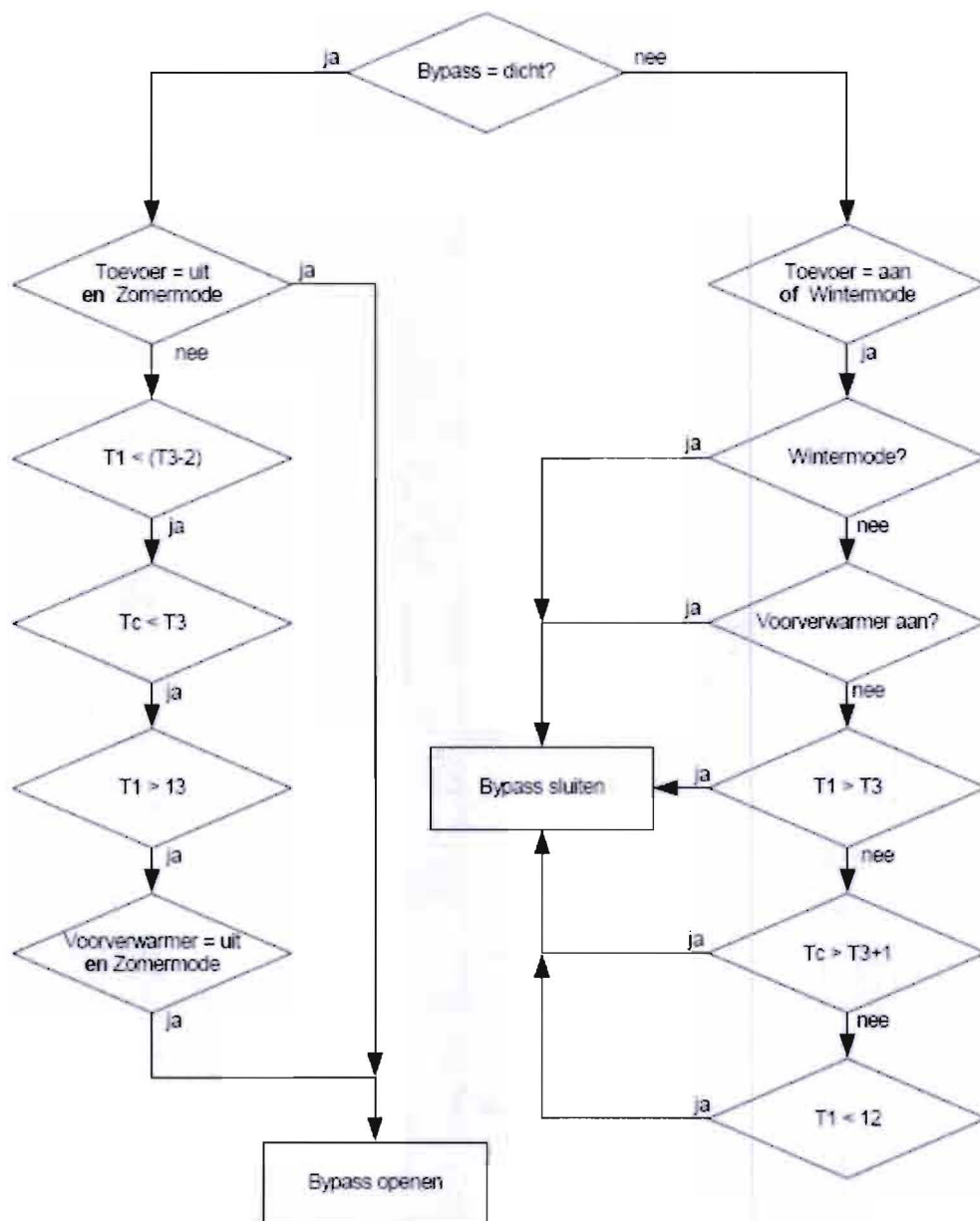
benaderende N-waarde = 1,30
 AT : aanvoertemperatuur (°C) OT : omgevingstemperatuur (°C) RT : retourtemperatuur (°C)

Bijlage IV Plattegronden van de voorbeeldwoning in Roosendaal



Bijlage V Bypass regeling van de WTW in de voorbeeldwoning

RegelBypassCalc (elke minuut aangeroepen)



Bron: (J.E. StorkAir 2006)

Bijlage VI Invoergegevens Hambase model

15-3-09 17:45 D:\TU\afstuderen\hambasesept08\PassiefBuilding.m

1 of 9

```

% -----
%           HAMBASE
%
% HEAT And Moisture Building And Systems Evaluation
% -----
% Reference_Building0908
% -----
% PART 2 : THE BUILDING
% -----
% ZONES NUMBERS [-] & VOLUMES [m3]
%
% A zone consists of one room or several adjacent rooms with about the same
% temperature and relative humidity and the same climate control e.g. a
% dwelling might have three zones: the ground floor (living room etc), the
% first floor (sleeping) and the attic (not heated). There is no limit in
% number of zones that can be simulated. All zones get a zonenummer(zoneNo)
% Example: 3 zones: BAS.Vol{1} = ...; BAS.Vol{2} = ...; BAS.Vol{3} = ...; If
% alone zone with number 2 (zoneNo2): define only BAS.Vol{2}. The air mass
% in the zone is 1.2*volume. If the density is very different from 1.2kg/m3
% e.g. at a high altitude location, the volume should be corrected to get
% the correct air mass (lower density is corrected by a lower volume).
%
% FORMAT BAS.Vol{zoneNo}=volume (m3);
BAS.Vol{1}=    5.8* 7*    2.6;
BAS.Vol{2}=    5.8* 7*    2.4;
BAS.Vol{3}= .5* 5.8* 7*    2.1;
%
% ** CONSTRUCTION COMPONENTS DATA **
%
% A construction component usually consists of different layers. The order
% of the input of the properties of these layers is standard from indoors
% to outdoors and for construction components between zones from the zone
% with the lowest zone-number to the highest so: 1->2, 1->3, 2->3 etc.. The
% material properties of the component layer are inserted by a material
% ID-number. By typing 'help matpropf' a list of materials appears with a
% material ID-number. Also each different construction component gets a
% different construction ID-number: conID=1,2,...
%
% FORMAT BAS.Con{conID}=[Ri,d1,matID,...,dn,matID,Re,ab,eb].
% dn = material layer thickness [m]
% matn = material ID-number.
% Ri = internal surface heat transfer resistance (for example Ri=0.13)
% [Km2/W]
% Re = surface heat transfer resistance at the opposite site (for example
% Re=0.04) [Km2/W]
% ab = external solar radiation absorption coefficient [-] e.g.light
% ab=0.4, dark ab=0.9.
% eb = external longwave emissivity [-]. Almost always: eb=0.9
%
% BAS.Con{conID}=[Ri, d1,matID,... , dn,matID, Re, ab,
eb].

```

15-3-09 17:45 D:\TU\afstudereren\hambasesept08\PassiefBuilding.m

2 of 9

```

BAS.Con{1} = [0.13, 0.110,235, 0.060,408, 0.100,232,
0.04, 0.9, 0.9];
BAS.Con{20}= [0.13, 0.110,235, 0.060,408, 0.100,232, 0.212,457,
0.04, 0.9, 0.9];
BAS.Con{2} = [0.13, 0.110,235, 0.060,2, 0.100,232,
0.04, 0.9, 0.9];
BAS.Con{3} = [0.13, 0.2,232,
0.04, 0.4, 0.9];
BAS.Con{4} = [0.13, 0.0032,503, 0.038,410, 0.0032,503,
0.04, 0.9, 0.9];
BAS.Con{5} = [0.13, 0.0032,503, 0.016,410, 0.0032,503,
0.04, 0.9, 0.9];
BAS.Con{30}= [0.13, 0.0032,503, 0.200,459, 0.0032,503,
0.04, 0.9, 0.9];
BAS.Con{6} = [0.13, 0.001,603, 0.038,601, 0.001,603, 0.075,628,
0.04, 0.8, 0.9];
BAS.Con{7} = [0.13, 0.010,512, 0.080,408, 0.001,603, 0.038,601, 0.001,603,
0.075,628, 0.04, 0.8, 0.9];
BAS.Con{40}= [0.13, 0.010,512, 0.360,472, 0.010,601, 0.075,628,
0.04, 0.8, 0.9];
BAS.Con{8} = [0.13, 0.015,262, 0.200,312, 0.050,456, 0.050,312,
1, 0.9, 0.9];
BAS.Con{9} = [0.17, 0.020,317, 0.160,342,
0.1, 0.6, 0.9];
BAS.Con{10}= [0.17, 0.030,317, 0.200,342,
0.17, 0.6, 0.9];
BAS.Con{50}= [0.17, 0.100,461, 0.030,317, 0.200,342,
0.17, 0.6, 0.9];
BAS.Con{11}= [0.13, 0.040,501,
0.04, 0.8, 0.9];
BAS.Con{12}= [0.13, 0.040,505,
0.04, 0.6, 0.9];

```

% Comments

```

% 1: kalkzandsteen, steenwol, gevelklinker (external wall, not used in this
simulation)
% 20: kalkzandsteen, steenwol, gevelklinker, XPS isolatie (external wall)
% 2: kalkzandsteen, zwak geventileerde luchtsponw, gevelklinker (not insulated
external wall, not used in this simulation)
% 3: kalkzandsteen (internal wall)
% 4: hardboard, steenwol, hardboard (Borstwering onder 38mm geïsoleerd
sandwichpaneel, external wall, not used in this simulation)
% 5: hardboard, steenwol, hardboard (Borstwering boven 16mm geïsoleerd
sandwichpaneel, external wall, not used in this simulation)
% 30: hardboard, PF, hardboard (Borstwering 198mm geïsoleerd sandwichpaneel, external
wall)
% 6: damp remmende folie, dakelement, dampremmende folie (roof construction, not
used in this simulation)
% 7: softboard, stone wool, damp remmende folie, dakelement, dampremmende folie,
dakpan (roof construction, not used in this simulation)
% 40: OSB plaat, cellulose isolatie, kronotec plaat, keramische dakpan (roof
construction)
% 8: floor construction (not used in this simulation)
% 9: system floor, top floor (floor between zones)
% 10: system floor, top floor (ground floor, not used in this simulation)

```

```

% 50: PUR, systemfloor, top floor (ground floor)
% 11: exterior front door
% 12: exterior back door

% ** GLAZING SYSTEMS DATA**
%
% The solar gain factor of glazing depends on the incident angle of the
% solar radiation. The properties below are independent of this angle but
% if one wants to account for the incident angle this can be done (see the
% shadow section below). In that case the solar gain factor at normal
% incidence should be inserted here. Each different glazing system gets an
% ID-number: glaID = 1, 2, .
%
% FORMAT BAS.Glas(glaID)=[Uglas,CFr,ZTA,ZTAw,CFrw,Uglasw]
%
% Uglas = U-value without sunblinds [W/m2K]
% CFr = convection factor without sun blinds [-]
% ZTA = Solar gain factor [-] without sun blinds
% ZTAw = Solar gain factor [-] with sun blinds
% CFrw = convection factor with sun blinds [-]
% Uglasw = U-value with sun blinds [W/m2K]
%
%BAS.Glas(glaID)=[Uglas, CFr, ZTA, ZTAw, CFrw, Uglasw]
BAS.Glas{1}= [5.5, 0.01, 0.80, 0.80, 0.80, 0.01, 5.5]
];
BAS.Glas{2}= [3.6, 0.01, 0.70, 0.70, 0.70, 0.01, 3.6]
];
BAS.Glas{3}= [0.6, 0.01, 0.40, 0.40, 0.40, 0.01, 1]
];%drievoudig beneden
BAS.Glas{4}= [0.6, 0.01, 0.50, 0.50, 0.50, 0.01, 0.6]
];%drievoudig boven
BAS.Glas{5}= [1.0, 0.01, 0.45, 0.45, 0.45, 0.01, 1.0]
];%dakraam

% Comments
% Glazing 1 single glazing
% Glazing 2 double glazing
% Glazing 3 triple glazing
% Glazing 4 roof glazing

% ** ORIENTATIONS **
%
% For each surface of the building envelope (exterior walls) the tilt and
% the orientation (azimuth)with respect to the south has to be known. Each
% different orientation gets a different orientation ID-number: orID.
%
% FORMAT BAS.Or(orID) = [tilt azimuth];
% Tilt: vertical = 90, horizontal = 0;
% Azimuth: east = -90, west = 90, south = 0, north = 180
%
%BAS.Or(orID)=[tilt, azimuth];
BAS.Or{1}= [90.0, -90.0 ]; %east front wall
BAS.Or{2}= [90.0, 90.0 ]; %west back wall
BAS.Or{3}= [31.0, -90.0 ]; %east roof
BAS.Or{4}= [31.0, 90.0 ]; %west roof

```



```

% -----
% A building is an assembly of different construction components. The input
% here is about the size, place in the building and ID of these different
% components (for convenience called walls and windows, so also the doors
% floors and roofs). They are divided into 5 groups:
% I. Constructions separating a zone from the exterior climate: EXTERNAL
% WALLS
% II. Windows in external walls I
% III. Constructions separating a zone from an environment with a constant
% temperature e.g. the ground: CONSTANT TEMPERATURE WALLS
% IV. Constructions separating a zone from an environment with the same
% conditions: ADIABATIC EXTERNAL WALLS
% V. Constructions between and in zones: INTERNAL WALLS
% For external walls and constant temperature walls the heat loss by
% thermal bridges can be accounted for if the steady state heat loss in
% Watt per 1K temperature difference from these bridges is known. These
% values can be obtained by thermal bridge software or a approximate
% methods. Use '0' if not known.
% -----

% I. EXTERNAL WALLS
%
% For each wall ID-number exID=1,2,...
%
% FORMAT BAS.wallex{exID} = [zoneNo,surf,conID,orID,bridge];
% zoneNo = select zone number from ZONES Section
% surf = total surface [m2], the windows surface area is included
% conID = select construction ID-number from CONSTRUCTION Section.
% orID = select orientation ID-number from ORIENTATIONS Section
% bridge = the heat loss in W/K of the thermal bridges (choose 0 if
% unknown)

%BAS.wallex{exID}= [zonenr, surf, conID, orID, bridge]
BAS.wallex{1} = [1, (3.92*3.0)-(1.13*2.22), 20, 1, 0]; %east↙
front wall (1st)
BAS.wallex{2} = [2, (3.92*2.8), 20, 1, 10]; %east↙
front wall (2nd)
BAS.wallex{3} = [3, 6*4.610, 40, 3, 10]; %east↙
roof (3rd)
BAS.wallex{4} = [1, (3.92*3.0)-(1.34*2.205),20, 2, 0]; %west↙
front wall (1st)
BAS.wallex{5} = [2, 3.92*2.8, 20, 2, 10]; %west↙
front wall (2nd)
BAS.wallex{6} = [3, 6*4.610, 40, 4, 10]; %west↙
roof (3rd)
BAS.wallex{7} = [1, 1.13*2.22, 11, 1, 0]; %front↙
door (1st)
BAS.wallex{8} = [1, 1.34*2.205, 12, 2, 0]; %back↙
door (1st)
BAS.wallex{9} = [1, (2.08*2.325), 30, 1, 0]; %east↙
front wall borstwering onder (1st)
BAS.wallex{10} = [1, (2.08*0.675), 30, 1, 0]; %east↙
front wall borstwering boven (1st)
BAS.wallex{11}= [2, (2.08*2.8), 30, 1, 10]; %east↙

```

15-3-09 17:45 D:\TU\afstuderen\hambasesept08\PassiefBuilding.m

5 of 9

```

front wall borstwering (2nd)
BAS.wallex{12} =      [1,      (2.08*2.325),      30,      2,      0]; %west
front wall borstwering onder (1st)
BAS.wallex{13} =      [1,      (2.08*0.675),      30,      2,      0]; %west
front wall borstwering boven (1st)
BAS.wallex{14} =      [2,      (2.08*2.8),      30,      2,      10]; %west
front wall borstwering (2nd)

```

% II. WINDOWS IN EXTERNAL WALLS

```

%
% Each external wall can have one or more windows. The surface area is the
% area of the transparent part. If the surface is curved the effective area
% for solar radiation is needed. The U-value must be increased in such a
% way that the heat loss per 1K temperature difference equals the one for
% the curved glazing, e.g. a glazed dome in a flat roof has an orientation
% with tilt=0, surface area 'pi*r^2' and U-value Uglazing*2*pi*r^2/pi*r^2.
% If a wall has 100% glazing use an EXTERNAL WALL that is slightly larger
% than the window area. Each window gets an ID-number winID=1,2,...
%
% FORMAT window{winID} = [exID, surf, glaID, shaID];
% exID = select external construction ID-number from CONSTRUCTIONS Section
% surf = surface area of the glazing [m2]
% glaID = select glass ID-number from GLAZING Section
% shaID = select ID-number of shadow from SHADOW section. This section is
% located in the m-file Inputextra0908, no shadow: shaID=0

```

```

%BAS.window{winID}= [exID, surf, glaID, shaID]
BAS.window{1} =      [1,      (.5*.15),      3,      0];
BAS.window{2} =      [2,      (1.91*.59),      4,      0];
BAS.window{3} =      [5,      (1.26*1.49),      4,      0];
BAS.window{4} =      [6,      (0.618*0.618),      5,      0];
BAS.window{5} =      [7,      (0.854*2.1)+(.096*2.04),      3,      0];
BAS.window{6} =      [8,      (1.405*.634)+(.306*2.025),      3,      0];
BAS.window{7} =      [9,      (1.96*1.515),      3,      0];
BAS.window{8} =      [11,      (1.96*1.37),      4,      0];
BAS.window{9} =      [12,      (1.146*1.515)+(.534*1.405),      3,      0];
BAS.window{10} =      [14,      (1.96*1.37),      4,      0];

```

% III. CONSTANT TEMPERATURE WALLS

```

%
% Each constant temperature wall gets an ID: i0ID=1,2,...
%
% FORMAT walli0{i0ID} = [zoneNo, surf, conID, temp];
% zoneNo = select zone number from ZONES Section
% surf = total surface area [m2]
% conID = select construction ID-number from CONSTRUCTION Section.
% temp = constant temperature [oC], e.g ground = '10'
% bridge = the heat loss in W/K of the thermal bridges (0 if unknown)

```

```

%BAS.walli0{i0ID}= [zoneNo, surf, conID, temp, bridge]
BAS.walli0{1} =      [1,      6*7,      10,      19.0,      0]; %ground floor

```

% IV ADIABATIC EXTERNAL WALLS

```

%
% Each adiabatic wall gets an ID: iaID=1,2,...

```

15-3-09 17:45 D:\TU\afstuderen\hambasesept08\PassiefBuilding.m

6 of 9

```

%
% FORMAT wallia{iaID} = [zoneNo,surf,conID];
% zoneNo    = select zone number from ZONES Section
% surf      = total surface area in m2
% conID     = select construction ID-number from CONSTRUCTION Section.

%BAS.wallia{iaID}= [zoneNo, surf,      conID]
BAS.wallia(1) = [1, 7.27*2.8, 3 ];
BAS.wallia(2) = [2, 7.27*2.8, 3 ];
BAS.wallia(3) = [3, .5*7.27*2.3, 3 ];
BAS.wallia(4) = [1, 7.27*2.8, 3 ];
BAS.wallia(5) = [2, 7.27*2.8, 3 ];
BAS.wallia(6) = [3, .5*7.27*2.3, 3 ];

% V. INTERNAL WALLS BETWEEN AND IN ZONES
%
% All different internal walls get an ID-number: inID.
% If there are 3 different walls (or floors) between zoneNo1 and zoneNo2,
% the input is BAS.wallin(1)=[1,2,... t/m BAS.wallin(3)=[1,2,... If the
% 4th construction is completely in zoneNo2 the input is consequently:
% BAS.wallin(4)=[2,2,... The first layer (Ri) of the construction component
% is in the zone that comes first. If instead BAS.wallin(3)=[2,1,... is
% used the construction is reversed and Ri is in zoneNo2. The surface area
% is the surface area of one side of the wall, also for walls that are
% completely in the same zone.
%
%
% FORMAT wallin{inID} = [zoneNo1,zoneNo2,surf,conID];
% zoneNo1  = select zone number from ZONES Section
% zoneNo2  = select zone number from ZONES Section
% surf     = total surface area [m2]
% conID    = select construction number from CONSTRUCTION Section.

%BAS.wallin{inID}= [zoneNo1,zoneNo2, surf, conID]
BAS.wallin(1) = [1, 2, 6*7, 9 ]; %1st floor
BAS.wallin(2) = [2, 3, 6*7, 9 ]; %2nd floor
BAS.wallin(3) = [1, 1, 727*2.8 9 ]; %tussenmuur bg lange
kant
BAS.wallin(3) = [1, 1, 6*2.8 3 ]; %tussenmuur bg korte
kant
BAS.wallin(4) = [2, 2, 7.27*2.8 3 ]; %tussenmuur
verdieping 1 lange kant
BAS.wallin(3) = [2, 2, 6*2.8 3 ]; %tussenmuur
verdieping 2 korte kant

-----
% PART 3 : profiles for internal sources, climate control and ventilation
%
%
%
% **PROFILES**
%
% Profiles are related to the use of a zone: office, living room, school
% etc Each day of a week can have a different profile e.g. weekends are
% different. Below the profiles are defined and given an ID-number; proID.

```


15-3-09 17:45 D:\TU\afstuderen\hambasesept08\PassiefBuilding.m

7 of 9

```

% For each day up to 24 different periods can be defined with different
% data. period1: start time = hrnr1 and end time = hrnr2; period2: start
% time = hrnr2 and end time = hrnr3; last period: the hours that are left
% on the same day. For example [1,8,18] means period1: 1h till 8h, period2:
% 8h till 18h, period 3: 24h(==0h) till 1h and 18h till 24h. (3 periods are
% often used). The inserted hours are the clock time.
% The profile allows for free cooling i.e. above a certain threshold Tfc
% (oC) the ventilation is increased from vvmmin to vvmmax: e.g.
% vvmmax=3*vvmmin. So if vvmmin=vvmmax there is no free cooling. The
% temperature Tfc is also used for the control of sun blinds: if the solar
% irradiance on the window is higher than Ers and the indoor temperature
% higher than Tfc the blinds will be used. This means that if there is no
% free cooling the temperature Tfc is still necessary for the control of
% sun blinds. Ers is the same for all zones. A number often encountered for
% Ers is 300W/m2.
%
% BAS.Ers(proID)      = irradiance level for sun blinds [W/m2]
% BAS.dayper(proID) = [hrnr1,hrnr2,hrnr3], the starting time of a new
% period
% BAS.vvmmin(proID) = [ . . . ], the ach [1/hr] for each period
% BAS.vvmmax(proID) = [ . . . ], the maximum ach [1/hr] in case of free
% cooling
% BAS.Tfc(proID)    = [ . . . ], treshold [oC] for free cooling, for each
% period
% BAS.Tsetmin(proID)= [ . . . ], setpoint [oC] switch for heating, (in
% case of no heating choose -100)
% BAS.Tsetmax(proID) = [ . . . ], setpoint [oC] switch for cooling, (in
% case of no cooling choose 100)
% BAS.Qint(proID)   = [ . . . ], casual heat gains [W]
% BAS.Gint(proID)   = [ . . . ], water vapour sources [kg/s]
% BAS.RVmin(proID) = [ . . . ], setpoint relative humidity [%] switch
% humidification, (in case of no humidification choose -1)
% BAS.RVmax(proID) = [ . . . ], setpoint relative humidity [%] switch
% dehumidification, (in case of no dehumidification choose 101)

% proID=1 living room
BAS.Ers{1} =0;
BAS.dayper{1}= [ 7,      17,      23];
BAS.vvmmin{1}= [.55,     .55,     .55];
BAS.vvmmax{1}= [.55,     .55,     .55];
BAS.Tfc{1}= [100,     100,     100];
BAS.Qint{1}= [ 0,      0,      0];
BAS.Gint{1}= [ 0,      0,      0];
BAS.Tsetmin{1}= [ 20,     20,     20];
BAS.Tsetmax{1}= [ 100,    100,    100];
BAS.RVmin{1}= [ -1,     -1,     -1];
BAS.RVmax{1}= [ 101,    101,    101];

%proID=2 bedrooms
BAS.Ers{2}=0;
BAS.dayper{2}= [ 7,      17,      23];
BAS.vvmmin{2}= [ .5,     .5,     .5];
BAS.vvmmax{2}= [ .5,     .5,     .5];
BAS.Tfc{2}= [ 100,    100,    100];
BAS.Qint{2}= [ 0,      0,      0];

```

15-3-09 17:45 D:\TU\afstuderen\hambasesept08\PassiefBuilding.m

8 of 9

```

BAS.Gint{2}=      [ 0,      0,      0];
BAS.Tsetmin{2}=  [ 18,     18,    18];
BAS.Tsetmax{2}=  [ 100,    100,   100];
BAS.RVmin{2}=    [ -1,     -1,    -1];
BAS.RVmax{2}=    [ 101,    101,   101];

%proID=3 loft
BAS.Ers{3}=0;
BAS.dayper{3}=   [ 0,      8,      18  ];
BAS.vvmin{3}=    [ .35,    .35,    .35  ];
BAS.vvmax{3}=    [ .35,    .35,    .35  ];
BAS.Tfc{3}=      [ 100,    100,   100  ];
BAS.Qint{3}=     [ 0,      0,      0   ];
BAS.Gint{3}=     [ 0,      0,      0   ];
BAS.Tsetmin{3}=  [ 18,     18,    18];
BAS.Tsetmax{3}=  [ 100,    100,   100 ];
BAS.RVmin{3}=    [ -1,     -1,    -1  ];
BAS.RVmax{3}=    [ 101,    101,   101  ];

% THE PROFILES OF THE BUILDING
%
% Each day of a week can have a different profile (profile ID-number:
% proID.) e.g. weekends can be different.
% FORMAT BAS.weekfun(zoneNo) = [pnrmon, pnrTue, pnrWed, pnrThu, pnrFri,
% pnrSat, pnrSun]
%
% For each zone zone = 1...etc. select the proID-numbers for each day of
% the week
% pnrmon = proID of Monday,
% pnrTue = proID of Tuesday
% pnrWed = proID of Wednesday
% pnrThu = proID of Thursday
% pnrFri = proID of Friday
% pnrSat = proID of Saturday
% pnrSun = proID of Sunday

%
% BAS.weekfun{zoneNo} = [ pnrmon,pnrTue,pnrWed,pnrThu,pnrFri,pnrSat,pnrSun]
BAS.weekfun{1}=   [1,      1,      1,      1,      1,      1,↵
1,      1];
BAS.weekfun{2}=   [2,      2,      2,      2,      2,      2,↵
2,      2];
BAS.weekfun{3}=   [3,      3,      3,      3,      3,      3,↵
3,      3];

%
%-----
% PART 4 : Heating, cooling, humidification, dehumidification
%-----

% If the maximum heating capacity is known then that value can be used. If
% it is unknown the value '-1' means an infinite capacity. The value '-2'
% can be used for a reasonable estimate of the maximum heating capacity. If
% there is no cooling the dehumidification capacity (kg/s) is '0' Cooling

```

15-3-09 17:45 D:\TU\afstuderen\hambasesept08\PassiefBuilding.m

9 of 9

```
% and dehumidification are negative! For each zone :
%
% FORMAT BAS.Plant(zoneNo)=[heating capacity [W], cooling capacity [W],
% humidification capacity [kg/s],dehumidification capacity [kg/s]];

BAS.Plant{1}=[0,0,0.00,-0.00];
BAS.Plant{2}=[0,0,0.00,-0.00];
BAS.Plant{3}=[0,0,0.00,-0.00];

% The simulation program treats radiant heat and convective heat
% differently.
% For each zone:
%
% FORMAT BAS.convfac(zoneNo)=[CFh, CFset, CFint ]; CFh =Convection factor
% of the heating system: air heating CFh=1, radiators CFh=0.8 floor heating
% CFh=0.5, cooling usually CFh=1 CFset= Factor that determines whether the
% temperature control is on the air temperature (CFset=1), or
% comforttemperature (CFset=0.6),Tset=CFset*Ta+(1-CFset)*Tr
%
% CFint= is the convection factor of the casual gains (usually CFint=0.5)

BAS.convfac{1}=[0.8, 1, 0.5 ];
BAS.convfac{2}=[0.8, 1, 0.5 ];
BAS.convfac{3}=[0.8, 1, 0.5 ];

% In order to apply heat recovery from ventilation air a balanced
% ventilation system is needed. Only a simple system is modelled:
% a) the amount of air from a zone passing the heat recovery unit is equal
% to the amount supplied to that zone.
% b) In case of heating the unit is only used when the maximum air
% temperature of a zone connected to a unit is higher than the outdoor
% temperature and lower than the temperature Twws. For cooling the minimum
% air temperature must be lower than the outdoor temperature and higher
% than the temperature Twwc.
% c) the heat recovery unit has a constant temperature efficiency. In a
% building or combination of buildings (e.g. terraced housing) more units
% are possible. The units are numbered HRUNo. If there is just one unit
% Twws and Twwc are the same for all zones. The product of the efficiency
% and the fraction of vvmín of each room that is going to the heatexchanger
% is 'etaww'.
%
% FORMAT BAS.heatexch(zoneNo)=[etaww, Twws, Twwc, HRUNo];

BAS.heatexch{1}=[.8 22 40 2];
BAS.heatexch{2}=[.8 22 40 2];
BAS.heatexch{3}=[.8 22 40 2];

%***** END OF INPUT*****
```


Bijlage VII Berekening PHPP opbrengst zonnecollector

Passive House Planning HOT WATER PROVIDED BY SOLAR

Building: **HEER De Koeven Buis++** Building Type/Use: **Woonwoning**
 Location: **Rosendaal** Treated Floor Area A_{tr,t}: **93,9** m²

Solar Fraction with DHW Demand including Washing and Dish-Washing

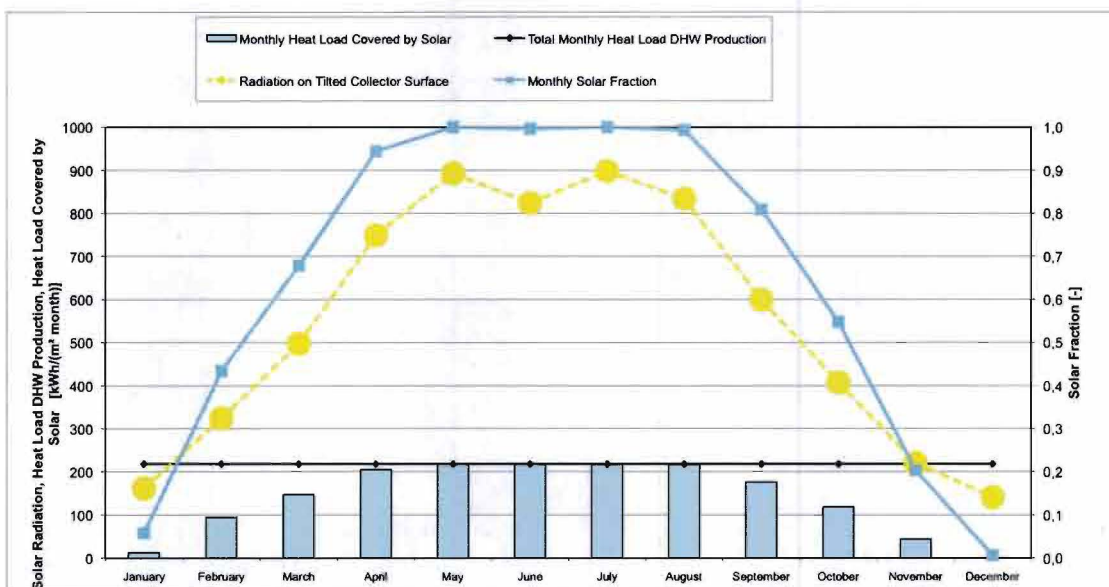
Heat Demand DHW: **2615** kWh/a (from DHW+Distribution worksheet)
 Latitude: **52,1** (from Climate Data worksheet)
 Selection of collector from list (see below): **7** Selection: **7 Improved Flat Plate Collector**
 Solar Collector Area: **5,70** m²
 Deviation from North: **1,60** °
 Angle of Inclination from the Horizontal: **35** °
 Height of the Collector Field: **9** m
 Height of Horizon: **0,00** m
 Horizontal Distance: **100,00** m
 Additional Reduction Factor Shading: **100%** %

Occupancy: **2,1** Persons
 Specific Collector Area: **2,1** m²/Pers

Estimated Solar Fraction of DHW Production: 64%
Solar Contribution to Useful Heat: 1671 kWh/a **18 kWh/(m²a)**

Secondary Calculation of Storage Losses

Selection of DHW storage from list (see below): **6** Selection: **6 Simple Solar Storage**
 Total Storage Volume: **200** litre
 Volume Standby Part (above): **60** litre
 Volume Solar Part (below): **140** litre
 Specific Heat Losses Storage (total): **3,0** W/K
 Typical Temperature DHW: **60** °C
 Room Temperature: **20** °C
 Storage Heat Losses (Standby Part Only): **94** W
 Total Storage Heat Losses: **120** W



Bron: (Passivhaus Institut 2001)

Bijlage VIII Foto houpellets



bron: <http://www.nettenergy.com>