

Verlagen van het energieverbruik van een rijtjeswoning d.m.v. een renovatie.



Graduation Paper

Studio: Architectural Engineering

Architectural Teacher: M. Parravicini

Climate design Teacher: Ir. S. Jansen

Name: Kimberley Roelvink

Study number: 4143248

Address: Hoofdland 44

Zip-code: 3271 VC

City: Mijnsheerenland

Telephone: 06-13534126

E-mail: kimberleyroelvink@live.nl

Abstract (English)

Kimberley Roelvink, Architectural Engineering, Faculty of Architecture, Urbanism and
Building Sciences, Technical University of Delft.
Abstract of Master Graduation Paper, Submitted 10-06-2016.

The focus of the paper is a literature study on sustainable energy solutions. The goal is to gain enough knowledge to support the choices that have to be made for the renovation of an early-postwar terraced house in the Netherlands to reach a zero energy house.

The first part of the research describes the definition of the trias energetica, the zero energy house and how to reach the highest energetic efficiency. The second part of the research describes the sustainable solutions to reduce the energy demand, to reuse (waste) energy and to store thermal energy. There are 4 focus points to reduce the energy demand:

- 1) *Reduce the heating demand*
- 2) *Reduce the cooling demand*
- 3) *Reduce energy for lightning*
- 4) *Reduce the energy demand for equipment and domestic hot water.*

These goals have different measures, which can contribute or counteract on other goals. For the early-postwar terraced houses the largest effect can be reached by reducing the energy demand for heating. The next step to be taken is to reduce the energy demand for equipment, followed by reducing the energy demand for lightning and cooling.

Space heating could be done more efficiently, there is no need to use high temperature. By using low temperature heating, sustainable sources (sun, ground heat) and thermal waste streams can be used.

Thermal energy is not always available therefor it needs to be stored, this can be done in two ways. Passive, this is thermal storage without interventions of. A passive way to store thermal energy is thermal mass. Thermal energy can also be stored actively. Active storage means there is an intervention. The benefit of active storage is that is can be controlled and stored for seasonal time periods.

The last part of the research contains 3 case-study buildings. It appears that all buildings following the trias energetica approach. The focus is on reducing the energy demand, storing energy and producing sustainable energy. The energy is also used more efficiently by reusing (waste)energy. All case study buildings are energy neutral by the measures that has been adapted.

Finally, it can be concluded that it's useful to focus on reducing the energy demand, reusing (waste)energy and store (thermal)energy so the total energy consumption of the building becomes almost zero. Yet there is no standard protocol, because each location has its own conditions and characteristics that influences the system. For each project, the location and goals must be respected to reach a new optimum.

Abstract

Kimberley Roelvink, Architectural Engineering, Faculteit Bouwkunde .
Abstract voor Master Graduation Paper, ingeleverd op 10-06-2016.

De focus van deze paper is een literatuurstudie naar duurzame energetische oplossingen, met als einddoel genoeg kennis opgedaan te hebben om onderbouwde afwegingen te maken voor de renovatie van een vroeg naoorlogse rijtjeswoning in Nederland naar een energie neutrale woning.

Het eerste deel van het onderzoek beschrijft de definitie van een energie neutrale woning, waarbij de nadruk op ligt op het bereiken van een zo hoog mogelijk energetische efficiëntie. Het tweede deel van het onderzoek beschrijft de duurzame oplossingen die toegepast kunnen worden om de energievraag te verminderen, de duurzame oplossingen om energetische reststromen te hergebruiken en welke duurzame oplossingen er zijn om thermische energie op te slaan. De energievraag kan op een duurzame manier verminderd worden door te focussen op 4 aspecten:

- 1) Verminder de verwarmingsvraag.
- 2) Verminder de koelvraag.
- 3) Verminder de vraag naar verlichting.
- 4) Verminder de energievraag voor apparatuur en tapwater.

Deze doelen zijn bedoeld om het energieverbruik te verminderen, echter kunnen de effecten van bepaalde maatregelen elkaar versterken of tegenwerken. Bij de vroeg naoorlogse woningen kan grootste effect behaald worden door de warmtevraag te verminderen. Daarna is het raadzaam om te focussen op de vermindering in energievraag door huishoudelijke apparatuur, gevolgd door verlichting en als laatste de koelvraag.

Het verwarmen van ruimtes kan effectiever. Voor het verwarmen van ruimtes is geen hoge temperatuur nodig. Door het toepassen van lage temperatuur verwarming (LTV) kunnen duurzame bronnen (bv. zon, bodemwarmte) en restwarmtestromen beter benut worden.

Omdat deze thermische energie niet altijd beschikbaar is moet deze opgeslagen worden. Dit kan op twee manieren. Passief, dit is energie opslag zonder dat hier extra handelingen voor nodig zijn. Energie kan ook actief opgeslagen worden, hier is een extra handeling voor nodig. Met actieve energie opslag kan thermische energie vaak over een langere tijd gebufferd worden (seizoensgebonden), waardoor veel van deze technieken geschikt zijn voor seizoensopslag.

Als laatste onderdeel van het onderzoek worden drie case-studie gebouwen onder de loep genomen om te zien welke maatregelen hier toegepast zijn. Het blijkt dat alle gebouwen de trias energetica volgen. Er wordt gefocust op het reduceren van het energieverbruik, thermische opslag en duurzame energie productie. Ook wordt de energie efficiënter toegepast door het hergebruiken van (rest)energie . Alle case studie gebouwen zijn daarmee energie neutraal.

Tot slot kan worden geconcludeerd dat het raadzaam is om te focussen op het reduceren van de energiebehoefte, hergebruiken en opslaan van (thermische) energie, om zo het totale energieverbruik van het gebouw te verminderen. Toch is er geen standaard voorschrift, want elke locatie heeft zijn eigen omstandigheden en karakteristieken waarmee

gewerkt dient te worden. Voor elk project moeten de locatie en gebruiksdoelen in acht worden genomen om hiermee een nieuw optimum te berekenen.

Inhoudsopgave

Abstract (English)	2
Abstract	3
1. Introductie	6
2 Methode	8
3. Onderzoekresultaten.....	9
3.1. Energiebesparende maatregelen wat zijn dit?.....	9
3.2. Duurzame oplossingen om de energievraag te verminderen.....	13
3.3. Duurzame oplossingen om reststromen te hergebruiken.....	23
3.4. Duurzame oplossingen voor thermische energie opslag.....	28
3.5. Case studie.	33
4. Conclusie.....	38
5. Conclusion (English).....	41
6. Literatuurlijst.....	43

1. Introductie

De fossiele brandstofvoorraad is aan het opraken. Als men de CO₂ emissie wil terugdringen en minder fossiele energie wil gebruiken. Om dit te bereiken moet er efficiënter met energie omgegaan worden en hernieuwbare energie toegepast worden. De Europese Unie erkent dit probleem ook en heeft hiervoor wetten opgesteld met minimale doelen opdat Europa duurzamer wordt. De doelen worden trapsgewijs verzaamd met minimale doelen in 2020, 2030 en 2050. Elk land kan om deze doelen te behalen zelf maatregelen treffen. Nederlands loopt ver achter op andere EU landen en heeft de hoogste CO₂ uitstoot. De doelstellingen voor 2020 gaan waarschijnlijk wel gehaald worden, maar om de doelstellingen van 2030 zijn grote technische en ingrijpende veranderingen nodig, zoals het aanpakken van alle woningen en grote procesveranderingen in de industrie. (Niewold, 2015; Rijksoverheid, 2015)

Ongeveer $\frac{1}{3}$ van alle woningen in Nederland zijn naoorlogse rijtjeswoningen (CBS, 2012). Deze huizen hebben grote overeenkomsten met elkaar. Ze verbruiken een enorme hoeveelheid primaire energie en zijn ver van efficiënt.

Een gemiddeld Nederlands gezin in dit type woning verbruikt een 1.310 m³ gas en 3.000 kWh aan elektriciteit (NIBUD, 2016). De meeste energie wordt gebruikt voor verwarmen, wassen, douchen ect. Om in de benodigde energie van 1 douchebeurt te voorzien zijn zelfs 80 professionele wielrenners, die een uur aan het spinnen zijn, niet genoeg. Het verwarmen van een ongeïsoleerde rijtjeswoning kost een gemiddeld huishouden elk jaar 80% van de totale energieconsumptie (Dobbelsteen, 2011). Deze energiekosten zouden al met 50% gereduceerd kunnen worden als alle thermische restenergie uit de Nederlandse industrie wordt hergebruikt, zie figuur 1 voor de energieverdeling van Nederland.

High energy use

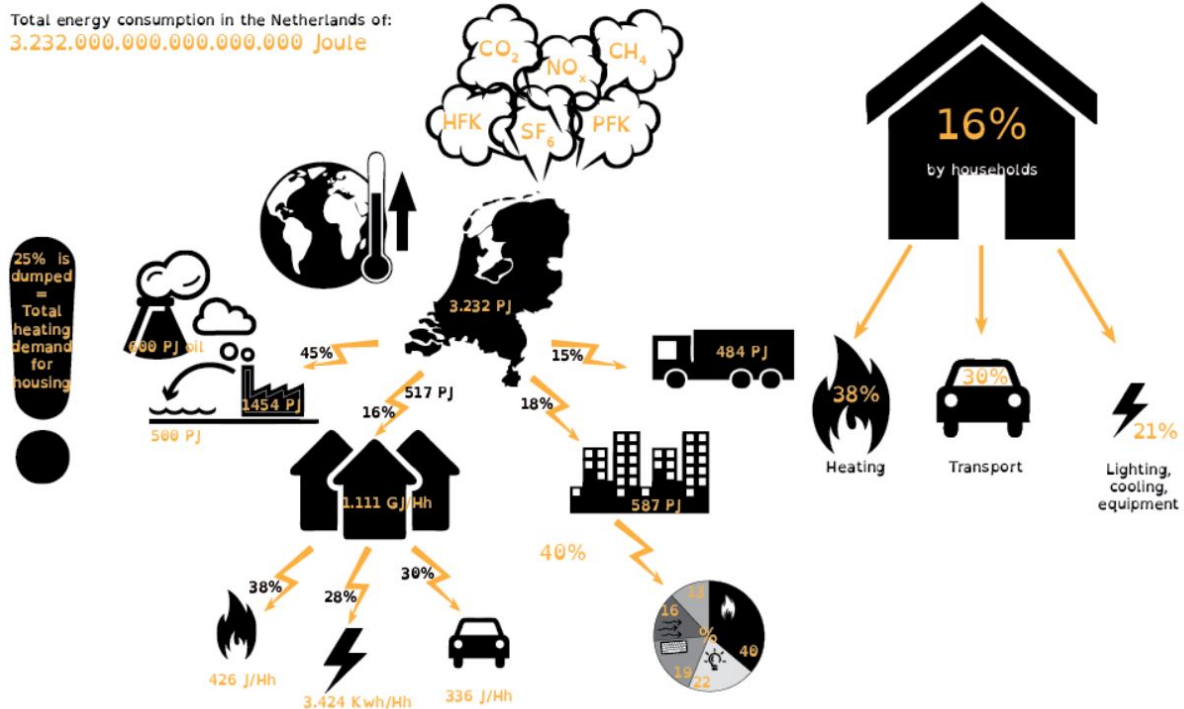


Fig. 1: De energieverdeling in Nederland

De Nederlandse overheid probeert de klimaatdoelen te halen door duurzame energie op te wekken, elektrisch rijden te stimuleren en nieuwbouwwoningen te verplichten tot hogere isolatiewaardes van de gevel. Deze nieuwbouwwoningen moeten aan een Energie Prestatie Coëfficiënt (EPC) van <0.4 voldoen, echter bestaan de nieuwbouwwoningen maar 3% van de totale woningbouw. De naoorlogse rijtjeswoningen, die 33% van de woningbouwsector vertegenwoordigen, zouden in EPC berekening uitkomen op ca. 3.5. Het strategisch renoveren van dit type woning kan een zeer grotere impact hebben op de totale energieconsumptie van Nederland. Als een gemiddeld gezin overstapt op een elektrische auto, heeft dit tot gevolg dat voor elk huishouden min. 80m² aan zonnepanelen nodig is om aan de totale energievraag (10MWh/y) te voldoen. Zoveel dak, dat gunstig is georiënteerd, is vaak niet aanwezig. Het energiegebruik in Nederland kan veel efficiënter. De sleutel voor de toekomst is, aldus minister Kamp, het efficiënt hergebruiken van restwarmte. Het uitbreiden van warmtenetwerken moet de vervanging worden voor Aardgas uit Groningen. (NOS, 2015) Echter, sluit de huidige bouw en nieuwe technieken nog niet goed op elkaar aan. Slimme toepassingen van de locatie potenties en woningen verwarmen met passieve technieken kunnen samen de energievraag sterk doen dalen, uiteindelijk zijn dan volgens het onderzoek van A. v.d. Dobbelsteen (2011) maar 25m² zonnepanelen nodig.

Het doel van deze thesis is om te onderzoeken welke maatregelen er zijn om tot een energieneutrale rijtjeswoning te komen en hoe deze samenhangen, met als doel deze kennis toe te kunnen passen bij het ontwerpen van een renovatie van een naoorlogse rijtjeswoning.

2 Methode

Om een antwoord te kunnen formuleren op de hoofdvraag van deze paper, zal een literatuur onderzoek gedaan worden in de verschillende duurzame oplossingen ten aanzien van het reduceren, hergebruiken en opslaan van (thermische) energie. De oplossingen worden vergeleken met verschillende case studies, om zo inzicht te krijgen in de gemaakte afwegingen van de betrokken architecten en ingenieurs. In de ontwerpopgave zullen de afwegingen gemaakt worden welke oplossingen tijdens de renovatie van de vroeg-naoorlogse rijtjeswoningen toegepast zullen worden.

De uitkomst van het onderzoek zal voor een groot deel van de gebouwvoorraad in Nederland bruikbaar zijn. Toch blijft de architect en adviseurs eindverantwoordelijk om voor elke locatie en gebruiksdoel de juiste afwegingen te maken opdat er een optimum bereikt wordt.

3. Onderzoekresultaten

Op de vraag welke maatregelen er zijn om een rijtjeswoning te renoveren in een energie neutrale woning zal eerst gekeken worden naar de methoden die toegepast kunnen worden om dit te bereiken. De basis van de energiebesparing is de trias energetica. De trias energetica focust op het verminderen van de energievraag, het produceren van duurzame energie en het efficiënt gebruik maken van fossiele energie.. De energievraag kan verminderd worden door de warmtevraag, koelvraag, verlichtingsvraag en energiegebruik van apparatuur te verminderen. Energie kan hergebruikt worden door thermische energie terug te winnen, op te slaan en opnieuw toe te passen. In het onderzoek worden verscheidene maatregelen besproken met elk hun eigen effect. Hierin moeten afwegingen gemaakt worden. De case studies geven een voorbeeld van energie neutrale gebouwen, waarin afwegingen zijn gemaakt en voor verschillende maatregelen gekozen is. Met deze kennis zou een architect een gedegen en onderbouwde keuze kunnen maken uit het scala van maatregelen die het meest geschikt zijn voor het specifieke project.

3.1. Energiebesparende maatregelen wat zijn dit?

De basis van energiebesparende maatregelen is al in de jaren 90 vastgelegd in de trias energetica. Deze methode zal hieronder besproken worden. De trias energetica is ook de basis voor de meeste duurzame woningen. Er zijn verschillende toetsingsinstituten en labels om de duurzaamheid van gebouwen te classificeren. Een voorbeeld hiervan is de energie neutrale woning. Om het energiegebruik te verminderen, zal energie efficiënter ingezet moeten worden. Dit hoofdstuk vormt de basis voor het vervolgonderzoek.

De hoofdstukindeling is als volgt:

1	• Trias energetica
2	• Energie neutrale woning
3	• Verhogen van de effectiviteit
4	• Conclusie en aanbeveling

1) Trias energetica

Er zijn verschillende aanpakken en methoden om tot een energieuinig ontwerp te komen. De meest toegepaste strategie is de Trias energetica, deze werd in 1996 geïntroduceerd. De focus was, verminder de energievraag, gebruik duurzame bronnen en gebruik eindige energiebronnen zo efficiënt mogelijk. Later is de trias energetica geüpdatet door Andy van den Dobbelsteen, hoogleraar aan de TU Delft. De nieuwe stappen strategie bestaat uit 4 doelen:

- 1) Verminder de energievraag
- 2) Gebruik energie uit reststromen
- 3) Zet zo veel mogelijk hernieuwbare energiebronnen in
- 4) Gebruik eindige bronnen alleen wanneer nodig en zet deze zo efficiënt mogelijk in.

Als de trias energetica in het ontwerp wordt meegenomen is dit van invloed op de oriëntatie van de bouwkundige en bouwfysische eigenschappen van de bebouwing.

2) Energie neutrale woning.

In de literatuur zijn vele verschillende definities en berekeningsmethodes te vinden voor zero energy woningen, ook wel bekend als nul energie woning. In de artikelen van A.J Marszal (2011) worden de belangrijkste definities en concepten besproken. Marszal heeft het over “Zero energy building” (ZEB) en “Net Zero Energy Building” (NZEB). In beide gevallen is het doel dat er evenveel energie wordt gebruikt als opgewekt. In principe wordt hier alleen het gebouw gebonden energieverbruik bedoeld (verwarming, koeling, ventilatie en verlichting). De afkorting NZEB wordt ook vaak gebruikt voor ‘nearly zero energy buildings’ wat betekent dat ze bijna evenveel energie moeten opwekken als verbruiken. De verschillende definities van energie neutrale woningen leiden tot verschillen in de berekening, zo is er onderscheid te maken tussen gebouw gebonden energie en gebruiksenergie. Onder gebouw gebonden energie vallen alle noodzakelijke gebruiken voor het conditioneren en verlichten van het gebouw. Gebruikers energie is de overige energie, voor gebruik van apparaten, tv, computers. e.d. (National Renewable Energy, 2006, pp. 6-11)

In NEN 7120 worden vanuit de overheid nieuwe bepalingmethoden gegeven voor een bijna energie neutrale woning (BENG). Het doel is dat vanaf 2020 alle nieuwbouw en renovatiewoningen aan de BENG eisen voldoen. De BENG norm varieert per gebouwfunctie. In tabel 1 worden die minimale en maximale waardes uitgelicht geldend voor woningen en woongebouwen. (Blok, 2015)

Tabel 1: BENG Norm Wonen

Norm	Waardes
Energiebehoefte	25 kWh/m2.jr
Primair energiegebruik	25 kWh/m2.jr
Aandeel hernieuwbare energie	50%

3) Verhoging van de effectiviteit.

Zoals bij de trias energetica wordt aangegeven moet (eindige) energie zo efficiënt mogelijk ingezet worden. Om de effectiviteit van energie te verhogen moet deze op de juiste wijze worden ingezet. Dit is in meerdere principes op te delen:

- 1) **Pas (duurzame) thermische energiebronnen toe;**

Gebruik warmte i.p.v. elektriciteit of gas om ruimtes te verwarmen. De grootste bron van duurzame thermische energie is de zon, deze kan voorzien in de verwarmings- en verlichtingsvraag, het toepassen van elektriciteit wordt hiermee sterk verminderd.

2) Hergebruik de beschikbare thermische energie;

Een ruimte kan verwarmd worden met lage temperatuurverwarming, hiervoor is dan geen gas of elektriciteit nodig. Beschikbare bronnen zijn restwarmte uit processen binnen- en buitenhuis zoals tapwater of industrie. De restwarmte die door de industrie geproduceerd wordt is genoeg om aan de gehele verwarmingsvraag van woningen te voldoen. Om deze energie ter beschikking te krijgen is een warmtenetwerk nodig dat voor het transport zorgt.

3) Hou de keten voor het hergebruiken van thermische energie kort;

Als veel processen in serie achter elkaar geschakeld zijn gaat bij elke schakel een deel van de thermische energie verloren. Als bij een volgend proces niet genoeg thermische energie over blijft is toevoeging van energie in de vorm van elektriciteit of gas nodig. Hier moet een balans in gevonden worden, zodat de max. efficiëntie wordt bereikt

4) Pas geen hogere thermische energie toe dan strikt nodig is.

Stem de thermische vraag op het aanbod af; het is niet efficiënt om water op te warmen naar 60°C als de gebruiker maar 20°C afneemt. Het is dan efficiënter om een duurzame thermische bron van 30°C te zoeken.

5) Sla thermische energie op;

Door het opslaan is thermische energie op elk moment beschikbaar. Als de ruimte met lage temperatuur verwarmd kan worden en deze bron ook beschikbaar is, is er geen gas of elektriciteit nodig om de ruimte te verwarmen of te koelen. Goede opslagmedia zijn de bodem, doordat deze gedurende het hele jaar een stabiele temperatuur behouden, of het water door de grote thermische capaciteit.

3) Conclusie

Er zijn veel theorieën om energie te besparen in gebouwen. De energie neutrale woning geeft hier een invulling aan en gebruikt per jaar niet meer energie dan ook geproduceerd wordt. De effectiviteit van het energieverbruik kan nog verder verhoogd worden, waardoor minder energie nodig is. Door te focussen op het toepassen van (laagwaardige) thermische energiebronnen, kunnen veel processen in woningen vervangen worden voor efficiëntere. De trias energetica en verhoging van de effectiviteit kunnen samengevat worden in 5 focus doelen:

- 1) Verminder de energievraag.
- 2) Hergebruik (rest)energie stromen.
- 3) Sla (thermische) energie op.
- 4) Produceer duurzame (thermische) energie.
- 5) Gebruik (eindige) energie bronnen zo min en efficiënt mogelijk.

Om een balans te creëren tussen de energieproductie en de energie vraag zijn bijna alle gebouwen aangesloten op het gas en elektriciteitsnetwerk. Het netwerk werkt als een buffer. (National Renewable Energy, 2006, pp. 6-11; Winter Associates, 2014) Door het aanleggen van warmtenetwerken kunnen thermische energiebronnen, zoals restwarmte uit de industrie ook gebufferd worden. Het zou een kans zijn om bij de renovatie van een rijtjeswoning het ontwerp zo te maken dat het in contact staat met een lokaal smart grid

(elektriciteit, gas en warmtenetwerk) dat alle energiestromen zo efficiënt mogelijk inzet en verdeelt.

3.2. Duurzame oplossingen om de energievraag te verminderen.

In dit hoofdstuk zal nader ingegaan worden op verschillende oplossingen om de energievraag van een rijtjeswoning te verminderen. Hierbij ligt de focus op vier focuspunten. Alle focuspunten hebben hun eigen maatregelen om het doel te bereiken. Verschillende maatregelen kunnen tegenstrijdig zijn of elkaar versterken.

De hoofdstukindeling is als volgt:

1	•De Energievraag
2	•Focus punten •Reduceer de energie verliezen en de verwarmingsvraag •Reduceer het energieverbruik voor koeling •Reduceer het energieverbruik voor verlichting •Reduceer het energieverbruik van apparatuur en tapwater
3	•Totale integratie
4	•Conclusie

1) Energievraag

Om te weten waar en wanneer een woning energie gebruikt voor het verwarmen of koelen van de ruimtes dient een warmtebalans gemaakt te worden. De warmtebalans is een optelsom van alle energieverliezen minus alle energie winsten. Figuur 2 is een schematische tekening van de energiebalans waar alle energiestromen in weergegeven zijn. De warmtevraag wordt berekend als volgt:

$$Q_{\text{vraag}} = Q_{\text{tr}} + Q_{\text{vent}} + Q_{\text{inf}} - Q_{\text{int winst}} - Q_{\text{ext winst}}$$

De verliezen bestaan uit transmissie-, ventilatie- en infiltratieverliezen. De winsten worden gehaald uit interne warmtebronnen zoals mensen en mechanische apparatuur die warmte uit stralen en externe warmtebronnen in de praktijk meestal alleen de zon.

De verliezen en opbrengsten hebben directe invloed op de warmtevraag. Echter een vergroting van de externe warmte winst betekent niet direct een verkleining van de warmtevraag, want de infiltratieverliezen kunnen hierdoor eveneens zijn toegenomen.

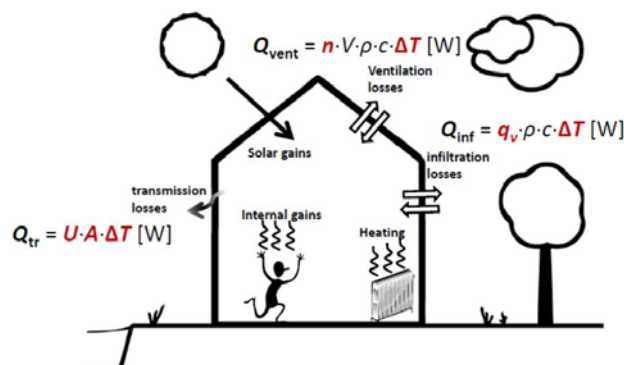


Fig 2: Warmtebalans in een woning

2) Focus punten

1. Reduceer de energie verliezen en de verwarmingsvraag

a. Maatregelen

- i. Voorkom transmissieverliezen door bv. verbeterde isolatie
- ii. Voorkom infiltratieverliezen door bv. naad en kier dichting
- iii. Verminder ventilatieverliezen door bv. warmteterugwinning
- iv. Toepassing van efficiënte installaties door bv. lage temperatuur verwarming
- v. Gratis verwarming door warmte van bv. de zon op te vangen.

b. Verbeter de gebouwschil

Zoals figuur 4 weergeeft gaat een hoop energie door de gebouwschil verloren en komen er ongewenste koude stromen binnen. De energie prestatie coëfficiënt (EPC) van een niet geïsoleerde vroeg-naoorlogse rijtjeswoning is ongeveer 3.5. De overheid stelt dat alle nieuwbouwwoningen in 2020 aan de BENG norm (Bijna Energie Neutrale Woning) moeten voldoen. Dit betekent dat alle gebouwen opgeleverd in 2020 of hierna aan een $EPC \leq 0.2$ moeten voldoen (S. A. Blok, 2015). De transmissie verliezen, door de gevel, van deze nieuwbouw is daardoor veel lager dan bij de oude niet geïsoleerde gevel het geval is. Door na-isolatie van oude rijtjeswoningen kunnen deze transmissieverliezen aanzienlijk verminderen.

Daarnaast heeft de gevel ook veel kieren, waardoor de ruimtes in directe verbinding met buiten staan. Deze naden en kieren zorgen voor infiltratieverliezen. Afbeelding 3 is het beeld van een warmtescan. Een warmtescan laat punten zien waar veel energie verloren gaat. Acties moeten ondernomen worden om de energieverliezen door infiltratie en transmissie te verkleinen. Naast het luchtdicht maken van verbindingen tussen ramen en deuren met de gevel zijn ook de detaillering van de daknok, dak doorvoeren, aansluiting van de dak op de gevel, de brievenbus, kruipluik en de doorvoer van ondergrondse leidingen aandachtspunten tijdens de renovatie van een woning.

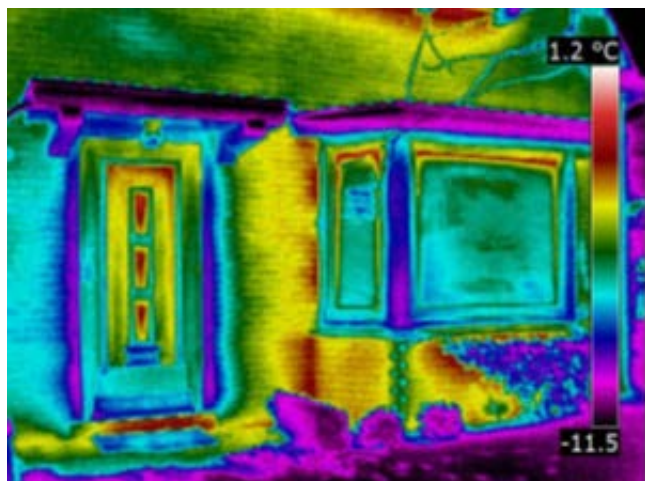


Fig. 3: Warmtescan (EnjoyEnergy)

Ventilatie van de ruimte zorgt voor afvoer van warme lucht en toevoer van frisse, koelere lucht. Dit leidt tot ventilatieverliezen. Met goede regel- en meetsystemen kan er minimaal geventileerd worden en gaat minder warmte verloren.

Al deze maatregelen zorgen ervoor dat minder energie verloren gaat. Na het maken voor de eenvoudige berekeningen voor de totale warmtebehoefte $\Phi_w = \Phi_{tr} + \Phi_v + \Phi_{opw}$ (transmissieverlies $\Phi_{tr} = U \cdot A \cdot \Delta T$, infiltratie $\Phi_v = q_{vi} \cdot A_g \cdot \rho \cdot c \cdot \Delta T$, opwarming $\Phi_{opw} = A_{vl} \cdot 20$ en ventilatie $\Phi_{vent} = \Phi_v \cdot \rho \cdot c \cdot \Delta T \cdot 15\%$ uitgaande van een buitentemperatuur 10°C en een binnen temperatuur van 21°C) blijkt dat het effect van alle maatregelen bij elkaar kan oplopen tot een reductie van 65% energieverlies door de gevel t.o.v. de vroeg naoorlogse rijtjeswoning met een energie label G. Figuur 4 laat het verschil tussen voor en na zien en waar de meeste winst behaald kan worden. Als minder energie verloren gaat is ook minder energie nodig om het verschil te overbruggen en de ruimte op een constante temperatuur te houden. (Agentschap NL, NL Energie en Klimaat, & BOOM, 2010, pp. 75-102; Kristinsson, 2012, pp. 57-71; Milieu Centraal, 2015a, 2015d; Porter, 2013)

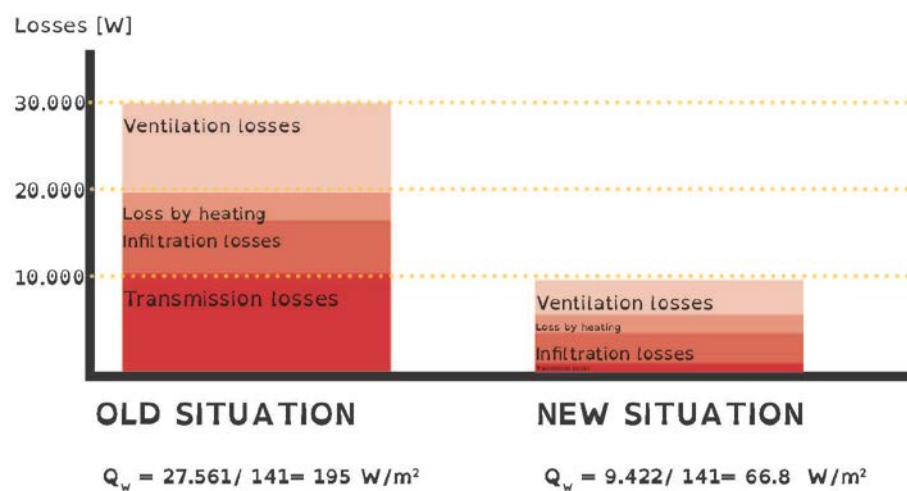


Fig.4: Energie vraag voor en na de renovatie

c. Verhoging van de effectiviteit

Zoals figuur 4 weergeeft gaat bijna $\frac{2}{3}$ minder energie verloren door de buitenschil van het gebouw. Bij een lagere energievraag is het gemakkelijker om met lage temperatuur systemen in de warmtevraag te voorzien. Systemen waarbij lage temperatuur verwarming effectief werken zijn bv. vloerverwarming, wandverwarming of plafondverwarming.

In en om het huis zijn vele bronnen waar restwarmte aan onttrokken kan worden. Restwarmte kan aan de omgeving onttrokken worden met behulp van warmteterugwinningssystemen (WTW) en warmtewisselaars (WW). Met deze systemen kan (rest)warmte uit bv. de binnen/buiten lucht, tapwater en bodem gehaald worden. Een WTW die buitenlucht combineert met ventilatielucht kan de inkomende koude buitenlucht stroom van -7°C in de winter verwarmen naar 18.5°C , waardoor voor het na-verwarmen de temperatuur nog maar 1.5°C behoeft te stijgen.

Door de kleinere temperatuursprong is er minder primaire energie nodig om te verwarmen, als een warmtepomp wordt gebruikt. Eveneens kan de warmte van de zomer/processen opgeslagen worden om later (avond, winter) te hergebruiken.

Een andere maatregel die toegepast kan worden is de Warmtepomp (WP). Een WP kan een temperatuursprongen maken van koude naar warme. Hiermee kan lage

temperatuurverwarming efficiënt gecombineerd worden. Met een WP is minder primaire energie nodig om te verwarmen. Door opslag van warmte in de zomer kan in de winter deze energie gebruikt worden voor gratis verwarming.

Externe warmtebronnen kunnen bijdragen aan de gratis opwarming van vertrekken. Een voorbeeld hiervan is de vergroting van raamoppervlakken, de aanbouw van kassen of toepassing van dubbele huidgevels en klimaatramen ect. Door de gratis zonne-energie is minder energie nodig voor de verwarming van vertrekken.

2. Reduceer het energieverbruik voor koeling

a. Maatregelen

- i. Voorkom oververhitting bv. zorg voor schaduw
- ii. Gratis koeling door bv. toepassing van dwarsventilatie
- iii. Verhoging van de efficiëntie
m.b.v. WTW, WW en WP

b. Vermindering energie vraag

In de zomer is de kans op oververhitting aanzienlijk groter dan in de winter. Mensen gebruiken vaak ventilatoren of airconditioning om het vertrek waarin zij zich bevinden te verkoelen. Deze manier van koelen kost echter veel energie. Lage temperatuur (bv. 12-15°C) wordt de ruimte ingeblazen om de ruimte terug te brengen tot 25°C.

Fig.5: Zonnestand per maand (Roelvink, K.)

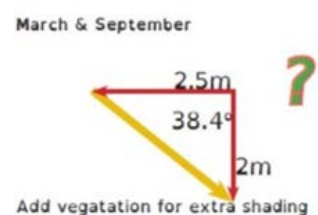
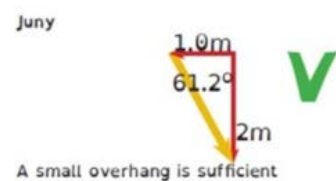
SOLAR RADIATION

Month	Degrees	Steep
21 Jan	17.9	
21 Feb	27.3	
21 March	38.1	
21 April	49.7	
May	58.0	
June	61.2	
July	58.2	
August	49.8	
Sept	38.4	
Oct	27	
Nov	17.8	
Dec	14.3	

De mogelijkheid om hogere temperaturen voor koeling toe te passen is groter wanneer de koelvraag kleiner is. De straling van de zon moet worden voorkomen wanneer de intensiteit van de zonnestralen erg hoog is. Echter de invalshoek van de zon verandert elke dag. Figuur 5, laat zien welke invalshoek de zon heeft elke 21^{ste} van de maand. De rode vlakken hebben zonwering nodig, de groene kunnen in de winter bijdragen aan gratis warmte. Een goed ontworpen overstek zorgt dat er op de gewenste momenten zonlicht wordt toegelaten of geweerd.

Fig.6: Minimaal overstek dat nodig is als zonwering (Roelvink, K.)

OVERHANG



Figuur 6 laat zien welke minimale overhangen er nodig zijn om de zoninval te weren. Als een overhang niet mogelijk is of onvoldoende blijkt te zijn kan vegetatie (bv. leilinde) aangeplant worden als zonwering. In de zomer weren de bladeren de zon,

terwijl zontoetreding in de winter mogelijk is door de kale takken. Mechanische zonwering is altijd mogelijk, maar gebruikt wel een kleine hoeveelheid energie. (Agentschap NL et al., 2010, pp. 57-61; Ala-Juusela, 2003, pp. 14-28; Porter, 2013)

Verhoging van luchtstromen zorgt voor meer ventilatie. Dit leidt tot verkoeling als de buitentemperatuur lager is dan de binnentemperatuur. De effectiviteit van het verkoelen kan verhoogd worden met bv. dwars ventilatie. Door ramen zo te ontwerpen dat ze tegenover elkaar geopend kunnen worden, is het mogelijk de woning 's ochtends en 's nachts af te koelen. De lucht waait door de woning heen zodat de warme lucht wordt afgevoerd en het vertrek wordt gekoeld. Echter, kan dit alleen als de buitentemperatuur lager is dan de gewenste binnentemperatuur.

Het nadeel van natuurlijke ventilatie is dat de energie die de lucht nog bevat wordt weggegooid. Mechanische ventilatie of balansventilatie kan een bijdrage leveren aan het verminderen van ventilatieverliezen. Opslag van koud uit lucht in de winter zorgt ervoor dat in de zomer voldoende koude energie aanwezig is om de woning mee af te koelen. (Agentschap NL et al., 2010, pp. 126-130; Ala-Juusela, 2003, pp. 14-28; Kristinsson, 2012, pp. 72-87; Milieu Centraal, 2015e).

c. Verhoging van de effectiviteit

Verkoelen met hoge temperatuurkoeling is trager dan lage temperatuurkoeling, maar het temperatuurverschil tussen vraag en aanbod is kleiner waardoor minder energie nodig is. De warmtepomp werkt efficiënter door een kleiner temperatuur verschil. Ook zijn gemakkelijk bronnen voor hoge temperatuurkoeling te verkrijgen uit de omgeving zoals oppervlakte water, buitenlucht, bodemwarmte ect. Hierdoor vermindert het energiegebruik.

3. Reduceer het energieverbruik voor verlichting

a. Maatregelen

- i. Vervang armaturen door bv. LED
- ii. Gratis verlichting door meer zontoetreding

b. Vermindering energie vraag

Primaire energie is altijd nodig om ruimtes te verlichten. Gemiddeld 13% van het totale elektriciteitsverbruik van een rijtjeswoning wordt ingezet voor verlichting (Gerdes, Marbus, & Boelhouwer, 2014). De verlichtingsvraag kan verminderd worden door de oude armaturen te vervangen voor spaarlampen of LED verlichting. De benodigde hoeveelheid energie voor de verlichting van een woning kan hiermee tot wel 80% gereduceerd worden. (Milieu Centraal, 2015b)

c. Verhoging van de effectiviteit

Zonlicht is de krachtigste bron, het levert energie voor verlichting en warmte. Gratis zonlicht kan gebruikt worden om ruimtes te verlichten. Ramen zorgen voor lichttoetreding in

de woning. Door de ramen te vergroten of meer ramen te plaatsen kan meer zonlicht de woning toetreden en is op deze momenten geen kunstmatige verlichting nodig. Hoe dieper de ruimte is, des te minder zonlicht deze ruimtes kan bereiken. “Solartubes” zijn lichtkoepels op het dak die het zonlicht tot midden in de woning kunnen vervoeren. Toepassing van natuurlijk zonlicht is altijd het meest voordelige want dit is gratis. (Agentschap NL et al., 2010, pp. 57-70; Ala-Juusela, 2003, pp. 14-28)

4. Reduceer het energieverbruik van apparatuur en tapwater

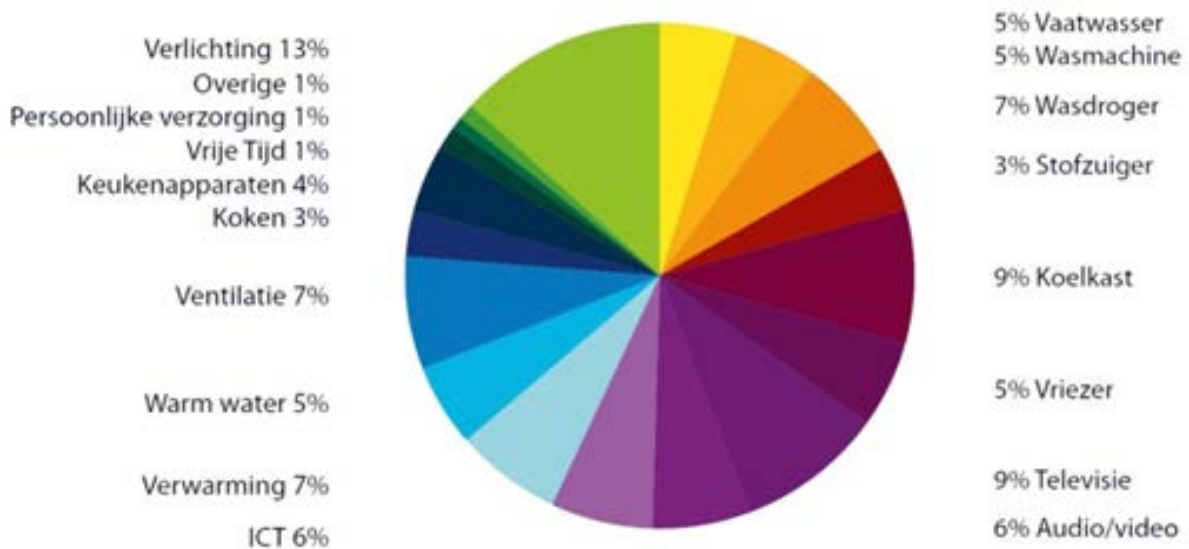
a. Maatregelen

- i. Vervang apparatuur voor A+++
- ii. Warmwater vraag reduceren
- iii. Gratis restwarmte uit apparaten opvangen

b. Vermindering energie vraag

Zoals figuur 7 weergeeft kan veel energie bespaard worden door oude koelkasten & tv's (9%), wasdrogers (7%), ICT& audio (6%) en vaatwassers & wasmachines (5%) te vervangen. Nieuwe zuinige apparaten hebben vaak al A+++ labels.

De reductie op het elektriciteitsverbruik kan al snel oplopen tot 50%. (Milieu Centraal, 2015c)



Figuur 7: Verdeling elektriciteitsverbruik apparatuur in een woonhuis (Gerdes et al., 2014)

De hoeveelheid warm water die in een huishouden gebruikt wordt kan verminderd worden met een waterbesparende douchekop ect. Meer primaire energie kan bespaard worden als oude boilers worden vervangen door een combiketel of een hr++. (Milieu Centraal, 2015c)

c. Verhoging van de effectiviteit

De energie die nodig is om het tapwater te verwarmen kan echter ook op een efficiëntere manier verkregen worden. Door WTW's kan restenergie uit de douche, wasmachine of vaatwasser, die nu verloren gaat in het riool, gehaald en hergebruikt worden. Hierdoor kan energie nodig voor verwarming of tapwater verminderd worden.

Veel apparaten verwarmen zelfstandig, het aangevoerde koude water/lucht met een elektrisch verwarmingselement, maar hiervoor is veel elektriciteit nodig. Toepassing van warm water/lucht vanuit een ketel/opslagvat zorgt dat er energie nodig is. Machines die op dit principe werken zijn "hot-fill" wasmachines, vaatwassers en drogers.

3) Integratie van de doelen

Om inzicht te verkrijgen in de effecten van de maatregelen en hoe deze elkaar kunnen versterken zal tabel 2 eerst alle doelen en maatregelen op een rijtje zetten.

Tabel 2: Doelen, maatregelen en effecten op de energievraag

Doel	Maatregel	Toelichting
Reduceer de verwarmingsvraag	Transmissieverliezen beperken (isoleren)	Door reductie van warmteverliezen kan met lage temperatuurverwarming aan de vraag voldaan worden.
	Infiltratieverliezen beperken (kierdichting)	Vermindert tocht en zorgt voor een gevoelsmatig beter binnenklimaat dat gemakkelijk met LTV verwarmd kan worden.
	Ventilatieverliezen beperken (meet-regel systemen)	Door minimaal te ventileren, wordt zo min mogelijk warmte afgevoerd. In combinatie met een WTW kan bijna alle restenergie uit de lucht gehaald worden.
	Lage temperatuur-verwarming	Toepassing van LTV zorgt voor vermindering van het primair energieverbruik en kan gemakkelijk gecombineerd worden met restwarmte. De efficiëntie kan verhoogd worden in combinatie met een WP.
	Gratis verwarming	Het opvangen en gebruiken van gratis zonne-energie en warmte uit de omgeving zorgt voor vermindering van het primair energieverbruik.
Reduceer de koelvraag	Zonwering	Als zontoetreding wordt voorkomen is de kans op oververhitting kleiner en hoeft er minder warmte afgevoerd te worden om aan de vraag te voldoen.
	Gratis koeling (buitenlucht)	Door met hoge temperatuur te koelen verkregen uit bv. de buitenlucht is er geen energie nodig om de vertrekken te koelen.
	Mechanische ventilatie (WTW)	Met mechanische ventilatie kan optimaal geventileerd worden, in combinatie met een WTW wordt de meeste koude uit de lucht teruggewonnen. M.u.v. de tussenseizoenen waarbij juist een bypass nodig is.
Reduceer de	Vervang armaturen	Verlaagd energieverbruik door zuinigere armaturen.

verlichtingsvraag	(LED)	
	Gratis verlichting (zonlicht)	Zonlicht vervangt armaturen waardoor er geen energie nodig is voor verlichting.
Reduceer het gebruik van apparatuur en tapwater	Vervang oude apparaten (tv, koelkast...)	Het gebruik van zuinige apparaten zorgt voor vermindering van het energieverbruik.
	Tapwater	Vermindering van het gebruik van tapwater en in combinatie met een WP kan het primair energieverbruik verminderd worden.
	Gratis energie uit apparaat gebruik	Door restwarmte uit apparaten te hergebruiken is minder primaire energie nodig voor ruimteverwarming.

Sommige doelen kunnen elkaar versterken zoals het verhogen van de warmteweerstand waardoor transmissie en infiltratieverliezen worden verminderd. Correcte bepaling van de grootte en de plaatsing van ramen kan de warmtevraag verder reduceren door toevoer van gratis warmte uit zonlicht. Het zonlicht zorgt tevens voor verminderen van elektriciteitsverbruik door verlichting. Als de ramen geopend kunnen worden dragen deze ook bij aan gratis koeling. Deze maatregelen zouden elkaar kunnen versterken.

Echter kan een grote raampartij, die niet optimaal gepositioneerd is, ook zorgen voor te veel lichttoetreding met oververhitting tot gevolg. De koelvraag stijgt in dit geval. Ook kan door de grote raampartijen de warmtevraag stijgen door de lage warmteweerstand van de ramen en de grote hoeveelheid energie die verdwijnt door natuurlijke ventilatie. Tabel 3 laat de effecten van alle maatregelen op de doelen zien en waar tegenstrijdigheden ontstaan. Het maken van een warmtebalans en/of dynamische simulaties kan helpen om de doelen af te wegen en zo een efficiënter en minimaal (primair) energie verbruik te behalen.

Tabel 3: Maatregelen en het effect op de doelen

Maatregel	Warmtevraag	Koelvraag	Verlichting	Apparatuur
Transmissieverliezen beperken (isolatie)	+++	-	--	
Infiltratieverliezen beperken (kierdichting)	+	--		
Ventilatieverliezen beperken (efficiënt ventileren)	++	---		
Lage temperatuurverwarming (in combinatie met WP)	+++	+		
Gratis verwarming (zonne-energie)	+++	---	++	
Zonwering	---	+++	--	
Gratis koeling	---	+++	+	
Mechanische ventilatie	++	++		

(WTW)				
Vervangen armaturen voor LED	-	+	+++	+
Gratis verlichting (zonlicht)	+++	+/-	+++	+
Vervang oude apparaten voor zuinigere	--	++		+++
Tapwater (verminder verbruik)	-	+		++
Gratis restwarmte uit apparaten	+++	+		+++

- is negatief effect + positief effect

4) Conclusie

Het verminderen van de energievraag heeft 4 aandachtspunten; verminder de vraag naar verwarming, koeling, verlichting en apparatuur gebruik. Door maatregelen van alle doelen toe te passen kan veel energie bespaard worden. Indien maatregelen verschillende effecten hebben (bv. op warmte en verlichting) moet de architect een optimale ontwerp bepalen. Hierbij wordt uitgegaan van een energie label G woning die verlicht wordt met gloeilampen.

Tabel 4: De focusdoelen en de effectiviteit van de ingrepen

Focuspunt	Deel van de totale energievraag [%] (Gerdes et al., 2014)	Effectiviteit van de ingrepen [%]
Verwarmingsvraag	65.4	≤ 65% (handberekeningen)
Koelvraag	2	≤ 10% (handberekeningen)
Verlichtingsvraag	2.6	≤ 80% (Milieu Centraal, 2015b)
Apparatuur gebruik	30	≤ 50% (Milieu Centraal, 2015c)

Zoals in tabel 4 te zien is het grootste effect te behalen door maatregelen toe te passen om de verlichtingsvraag te verminderen. Verlichting is echter maar een klein deel van de totaalvraag. De vermindering van de verwarmingsvraag heeft een groter effect op de totale consumptie. De verwarmingsvraag kan gereduceerd worden door te focussen op het verminderen van de verliezen en de opbrengsten te verhogen. Wel moet er op toegezien worden dat er een warmtebalans blijft bestaan zoals figuur 4. Want hogere warmte opbrengsten dan er warmteverliezen zijn, is niet effectief.

Het energieverbruik van apparatuur kan gemakkelijk verminderd worden door het aanschaffen van nieuwe zuinige apparaten. Het focussen om de koelvraag te verminderen heeft in woningbouw weinig effect, omdat dit maar een hele kleine deel van de totaalvraag omvat.

Wel is het raadzaam om te focussen om de benodigde energie efficiënter in te zetten d.m.v. gebruik van rest energiestromen. Het zuinigste is om helemaal geen gas of

elektriciteit te gebruiken. Gratis energiebronnen kunnen hier deels in voorzien, door toepassing van zonne-, wind en bodemenergie. Gratis energiebronnen kunnen doelmatiger toegepast worden als niet eerst de energievraag verminderd is.

3.3. Duurzame oplossingen om reststromen te hergebruiken.

In de gebouwde omgeving zijn veel bronnen aanwezig waar energie/warmte aan onttrokken kan worden. Echter, worden deze bronnen niet vaak gebruikt. De toepassing van deze energiebronnen kan het elektriciteitsverbruik en de primaire energie vraag van huishoudens verminderen.

De hoofdstukindeling is als volgt:

1	• Vraag en aanbod van restenergie
2	• Cascaderen en zoneren
3	• Upgraden en convergeren
4	• Conclusie en aanbeveling

1. Vraag en aanbod van restenergie

In en om een huis gebeuren veel verschillende processen. Bij veel processen ontstaat warmte als een restproduct. Warmte is ook een vorm van energie, maar wordt vaak gezien als een restproduct. Echter, in een huishouden is de vraag naar warmte groot en zouden de warme restenergie stromen opgevangen en hergebruikt kunnen worden. Figuur 8 laat het aanbod van restwarmte en de vraag naar warmte zien. In het midden loopt een thermostaat, alle rode blokken zijn potentiële restwarmtestromen die hergebruikt kunnen worden. Deze reststromen kunnen direct of met behulp van upcycling hergebruikt worden, dit wordt weergegeven met de gele en blauwe pijlen. De groene blokken verbeelden de warmtevraag in een gemiddeld huishouden.

Zoals het figuur weergeeft, levert het verbranden van restafval de hoogste temperaturen, tot wel 1000°C, op. warmte is hoogwaardige warmte en kan worden gebruikt voor elektriciteitsopwekking. Er zijn echter ook andere methoden om kokend water te verkrijgen. De temperaturen van geothermie kunnen afhankelijk van de diepte oplopen van 25°C (500m) tot 175°C (5500m). Deze warmte kan eveneens goed ingezet worden om in de vraag van tapwater, wassen en douchen te voorzien.

De restwarmte kan met behulp van een warmteterugwinning unit (WTW) uit het medium gehaald worden. Zo kan restenergie van het douchen of tapwater worden ingezet om ruimtes te verwarmen zoals de badkamer en woonvertrekken naar 20-22°C. De restwarmte uit deze ruimtes kan vervolgens getransporteerd worden naar de entree, zolder, toilet ect. om te verwarmen naar 15°C. Warmte uit bv. aquifers, riolen, buiten lucht/water en horizontale bodem warmtewisselaars kan eveneens onttrokken worden voor directe of indirecte toepassingen als ruimteverwarming.

Zoals uitgelegd kan een enkele energiebron meerdere malen hergebruikt worden. Door dit zo efficiënt mogelijk achter elkaar te schakelen kan zo veel mogelijk elektrische energie uitgespaard worden.

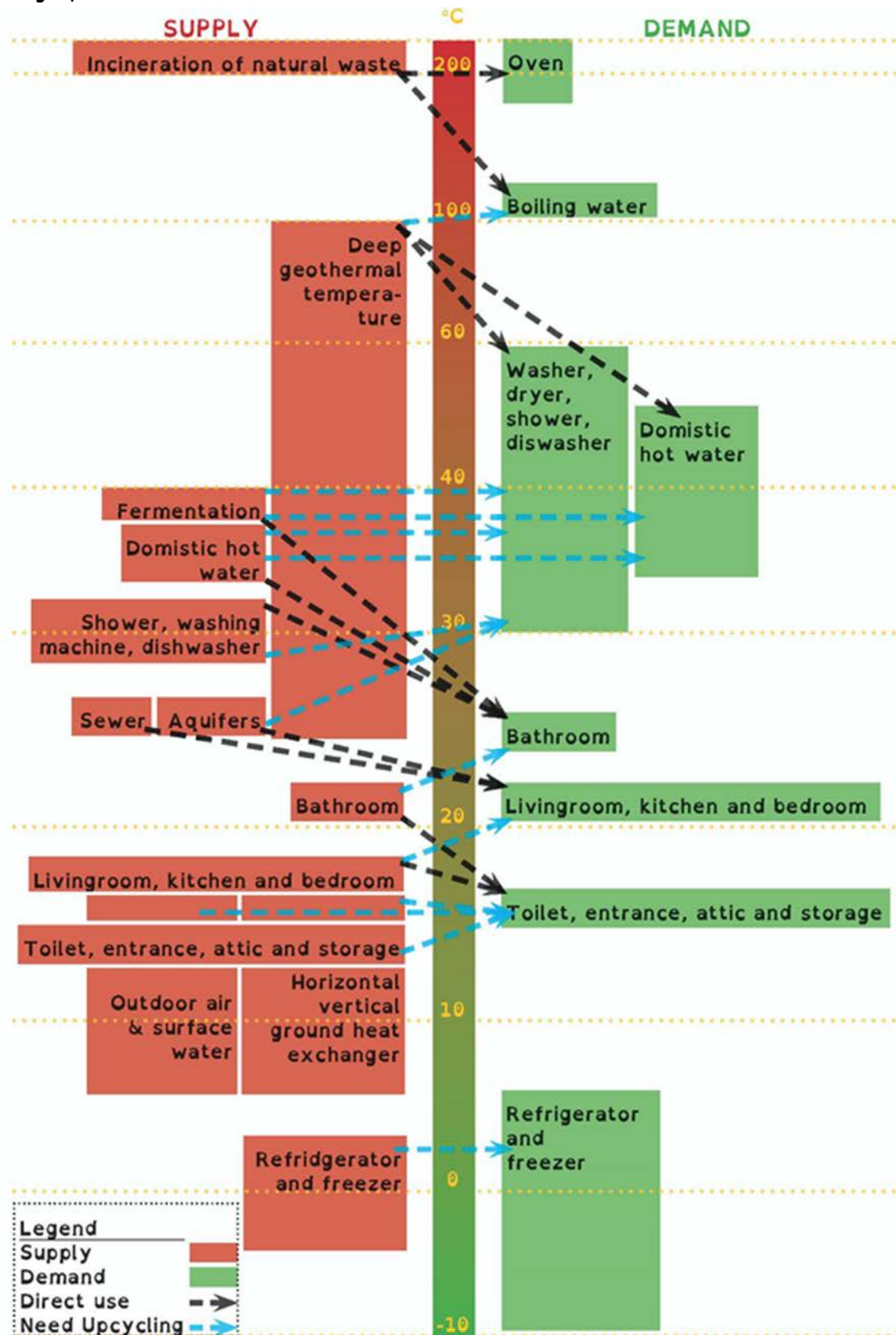


Fig. 8: Vraag en aanbod van rest energie. (Roelvink, K.)

2. Cascaderen en zoneren

Zoals figuur 8 weergeeft blijft er bij veel acties restenergie over die efficiënt hergebruikt kan worden. Door de energiestromen in kaart te brengen kunnen deze zo goed mogelijk gecascadeerd worden. Tijdens elk gebruik gaat de kwaliteit energie achteruit. Cascaderen betekent dus eigenlijk processen in serie achter elkaar plaatsen waardoor reststromen optimaal benut kunnen worden (fig 3.), meestal komt dit neer op een steeds lagere temperatuur. Door te beginnen bij het proces met de hoogste temperatuur en vervolgens de restenergie te matchen aan de vraag die hier het dichtst bij aansluit enz. kunnen zeer energie efficiënte ketens ontstaan.

Door ruimtes zo te zoneren dat de restwarmte direct hergebruikt kan worden en in combinatie met optimaal inzetten van gratis warmte en licht kan de effectiviteit verhoogd worden.

Figuur 9 laat zijn zien hoe een rijtjeswoning optimaal ingedeeld zou kunnen worden. De keuken heeft er baat bij om op het oosten gericht te zijn zodat de ochtendzon de ruimte kan verwarmen en verlichten. Door positionering van woonvertrekken op het zuiden, wordt een groot deel van de dag warmte in de woning gebufferd en is verlichting overbodig. In de avond kan de warmte uit de woonkamer en badkamer (20-22°C) gedistributeerd worden naar de slaap kamers. De volgende ochtend kan de restwarmte uit de slaapkamers de gang, toilet en opslag ruimtes verwarmen naar 15°C.

Door ruimtes zo te zoneren dat de activiteiten, temperaturen en gebruiksmomenten efficiënt gekoppeld kunnen worden d.m.v. directe verbindingen of ventilatie kan restwarmte efficiënt hergebruikt worden. Het energiegebruik kan nog verder verminderd worden door de gratis energie uit de zon te gebruiken op de momenten dat de betreffende ruimtes ook in gebruik zijn. (Agentschap NL et al., 2010, pp. 51-67; Ala-Juusela, 2003, pp. 14-28; L. J. J. H. M. Gommans, 2015)

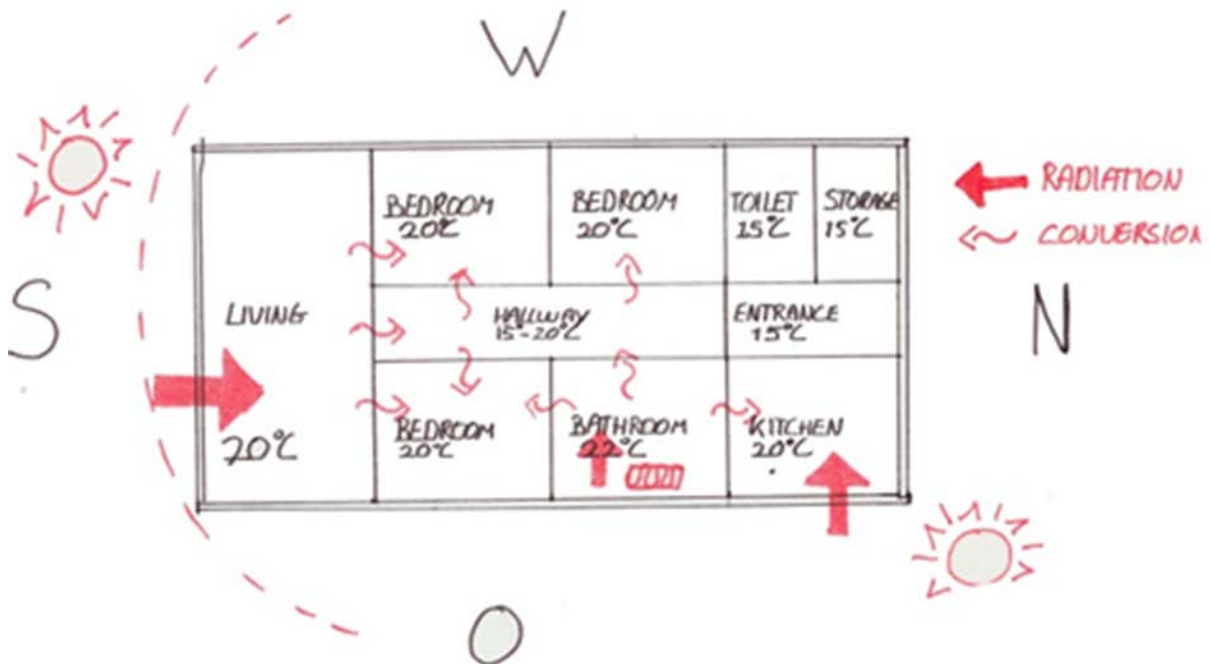


Fig. 9: Zonering van een rijtjeswoning (Roelvink, K.)

3. Hoe kan restwarmte gebruikt worden?

Als de minimale kwaliteit energie niet beschikbaar moet er energie toegevoegd worden om de te lage kwaliteit te upgraden naar de gewenste. Warmtewisselaars worden veelvuldig toegepast in gebouwen.

Warmtewisselaars kunnen warmte terugwinnen uit ventilatielucht, afvalwater, buitenlucht, oppervlaktewater en uit de bodem. Ze werken door lucht of water stromen langs elkaar te geleiden zodat warmte wordt overgedragen (fig.10). In de winter kan met behulp van een WW lucht van -12°C voorverwarmd worden tot $16,2^{\circ}\text{C}$. 95% van de energie kan uit het medium teruggewonnen worden.

(Agentschap NL et al., 2010, pp. 201-225; Jansen, 2013, pp. 226-228; LTI-BV, 2015)

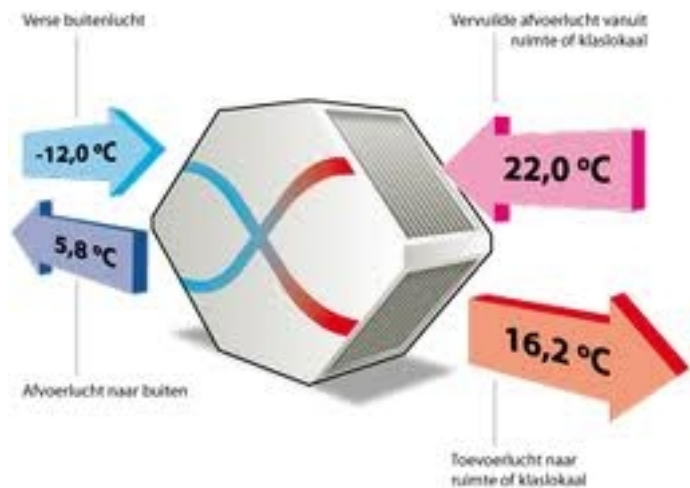


Fig.10 Heat recovery unit (LTI-BV, 2015)

Warmtepompen worden vaak in “nul-op-de-meter-woningen” toegepast. De WP werkt net als de WW goed in combinatie met (rest)warmte uit de lucht, het water en de bodem. Het proces van opwarmen of koelen werkt op basis van compressie. De werking van een WP wordt in fig. 11 weergegeven. Doordat het aanwezige gas in de Wp wordt samengeperst stijgt, neemt de druk en daarmee de temperatuur toe. Vervolgens wordt deze warmte afgegeven, waardoor de temperatuur van het gas daalt en de druk afneemt, opdat het opnieuw ingezet kan worden. Van de 100% energie die een WP ingaat is bijvoorbeeld 75% restwarmte gecombineerd met 25% elektriciteit wat leidt tot 100% energie/warmte die er uitkomt. De effectiviteit van de WP komt tot zijn recht in combinatie met lage temperatuurverwarming. Hierdoor daalt de elektriciteitsvraag voor verwarming aanzienlijk. (Agentschap NL et al., 2010).

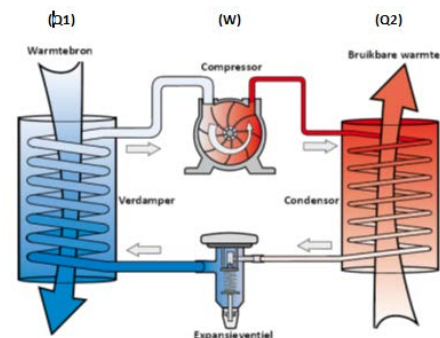


Fig. 11: Werking van een warmtepomp. Retrieved warmtepompplein.nl

4. Conclusie

In rijtjeswoningen wordt bijna 70% van al het gebruikte gas en elektriciteit gebruikt voor het verwarmen van ruimtes en tapwater. Dit hoofdstuk laat zien dat bij veel processen restwarmte ontstaat of overblijft die potentieel hergebruikt kan worden.

Om energie/warmte te kunnen hergebruiken moet deze teruggewonnen worden, dit kan met behulp van warmtewisselaars en warmtepompen. Om restwarmte zo efficiënt mogelijk te hergebruiken moeten vraag en aanbod zo goed mogelijk op elkaar afgestemd worden. Dit betekent dat bij de vraag de minimale aanbod wordt gezocht. Als de restenergie

een te lage temperatuur heeft kan deze op een hoger temperatuurniveau gebracht worden met een warmtepomp.

Door het hergebruik van restenergiestromen kan het elektriciteit en het primair energieverbruik aanzienlijk verminderd worden.

3.4. Duurzame oplossingen voor thermische energie opslag.

Energie is niet altijd en overal beschikbaar. Overdag wekken zonnecollectoren op het dak van een woning thermische energie op maar deze wordt vaak niet direct in dezelfde woning gebruikt. Zo kan warmte in de zomer ook tot problemen geven zoals oververhitting, dan is koeling nodig. Terwijl in de winter het vaak koud is en er een grote vraag naar warmte is. Er is een energie mismatch in ons huidige energienetwerk. Zoals figuur 12 weergeeft moet energie beschikbaar zijn in tijd en plaats. Om dit te bereiken zal energie opgeslagen moeten worden. In dit hoofdstuk zal specifiek ingegaan worden op de opslag van thermische energie. (L. J. J. H. M. Gommans, 2015)

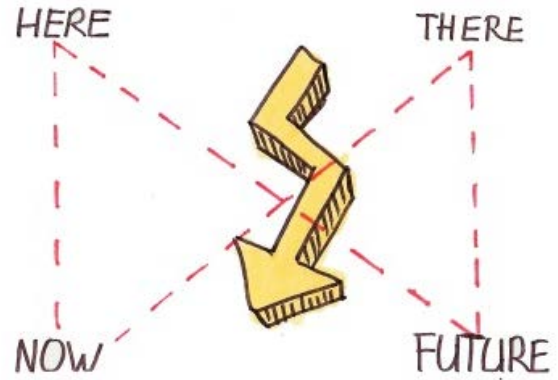


Fig.12: Exchange of energy

De hoofdstuk indeling is als volgt:

1	• Passieve thermische opslag en technieken
2	• Actieve thermische opslag en technieken
3	• Tijdelijke opslag of seisoensopslag van energie
4	• Conclusie en aanbeveling

1. Passieve thermische opslag

Warmte kan opgeslagen worden met warmteaccumulatie. Dit betekent dat de warmte in een medium wordt opgeslagen en op een later tijdstip wordt afgegeven. Dit gebeurt alleen als het medium en de omgeving een andere temperatuur hebben, het proces probeert hierbij in evenwicht te komen. Passieve thermische opslag betekent dat dit proces uit zichzelf gebeurt en er geen extra handelingen nodig zijn. (Boer, 2013, pp. 3-9)

Technieken

1. Massa:

De Grieken gebruikte 4000 jaar geleden al passieve thermische opslag om mee te verwarmen. Door massieve vloeren en muren werd de hitte van de zon overdag opgeslagen. 's Nachts werd deze warmte uit het materiaal langzaam afgegeven. Materialen die geschikt zijn om warmte vast te houden zijn materialen met een hoge warmtecapaciteit. Voorbeelden van deze

materialen zijn beton, staal, baksteen, kalkzandsteen, speksteen en water. (Buitenhuis, 2007; Cement&BetonCentrum, u.n., pp. 12-14)

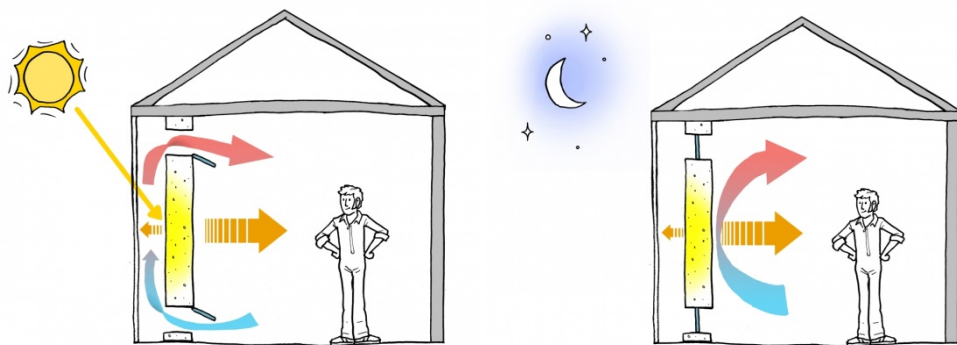
2. Betonkern activering:

Beton en water hebben beide een hoge warmtecapaciteit, hierdoor zijn ze samen geschikt om warmte of kou vast te houden. Door in een betonnen wand buizen gevuld met water te plaatsen kan met behulp van zonnestraling de wand meer energie bufferen. (Buitenhuis, 2007; Cement&BetonCentrum, u.n., pp. 12-14)

Betonkern activering kan naast passief ook actief toegepast worden, namelijk door warm of koud water door de wand heen te pompen. De wand wordt dan voorzien met toegevoerde thermische energie waarmee het klimaat geregeld kan worden.

3. Trombe wall:

De trombe wand is een dikke (20-40cm) betonnen gevelelement, deze wordt omsloten door een glazen box. De wand zelf is zwart waardoor er veel warmte wordt geaccumuleerd. De opgewarmde lucht gaat stijgen en komt via een raam of rooster de vertrekken binnen. De warmte vormt een laag bovenop de koude lucht. Door de lage luchtdruk die in de box ontstaat wordt de koude lucht uit de ruimte gezogen en opgewarmd. Dit proces blijft zichzelf herhalen, zolang de zon schijnt. 's Nachts geeft de betonnen wand warmte af om de afkoeling van de ruimte tegen te gaan. Figuur 13 geeft het hele dag en nacht proces weer (Autodesk, u.n.)



Figuur13: Werking trombe wall retrieved (Autodesk, u.n.)

2. Actieve thermische opslag en technieken

Als er actief warmte of kou wordt opgeslagen of afgestaan wordt er gesproken van actieve thermische opslag. Actieve energie opslag is te verdelen in 3 verschillende technieken; voelbaar, latent en chemisch. Bij energieopslag in voelbare materialen is de warmtecapaciteit van belang. In verhouding is er heel veel materiaal nodig voor een lage opbrengst. Minder materiaal en meer energie opslag kan behaald worden door toepassing van latente warmte. Latente warmte is gebaseerd op faseovergangen. Dit is meestal van vast naar vloeibaar en omgekeerd, geschikte mediums zijn: water, paraffine, zouthydraten en

vetzuren. De afgifte van de warmte in tijd gaat met temperatuursprongen op het moment dat een overgang bezig is. Chemische warmte ontstaat wanneer twee stoffen een reactie met elkaar aangaan. Deze reactie kan een fysische of chemische verbinding zijn. De warmte wordt in verschillende pieken afgegeven in de tijd, met een relatief kleine hoeveelheid materiaal kan een grote hoeveelheid energie gebufferd/afgegeven worden. (Boer, 2013, pp. 3-9)

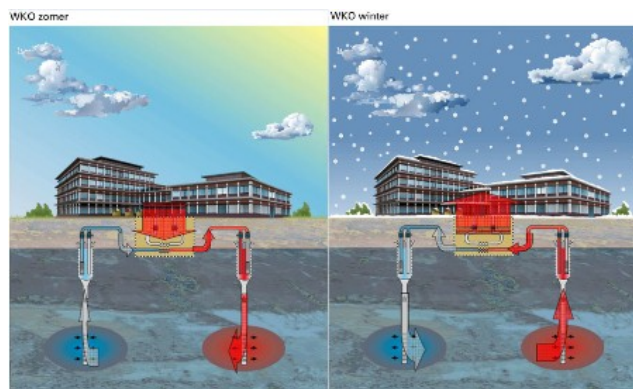
Technieken

1. Tanks, buffervaten en boilers:

Goed geïsoleerde boilers, buffervaten en tanks kunnen op een kleinschalige manier toegepast worden om tijdelijk warmte/ kou op te slaan. Door het verlies is na een aantal dagen het rendement al zo laag dat het niet meer geschikt is om direct te gebruiken. Een duurzame optie is om een boiler aan te sluiten op zonnecollectoren, deze wekken (gratis) warmte op uit de zonenergie. Mocht het rendement na langere periode te laag zijn kan het water altijd worden naverwarmd, dit is efficiënter omdat de temperatuur van de vloeistof hoger is en dus minder energie nodig is om het naar het gewenste temperatuur niveau te brengen. (ECN, 2008)

2. Aquifers :

Een aquifer is een open systeem waarin warm of koud water uit de buizen in contact staat met het grondwater. In de zomer wordt warm water in het grondwater gepompt en koel water omhoog gehaald en vice versa in de winter. De grond werkt als een buffer. Figuur 14 geeft de aquifer weer die in project hotelcomplex De Bonte Wever wordt toegepast. (bodemenergie nl, 2015)

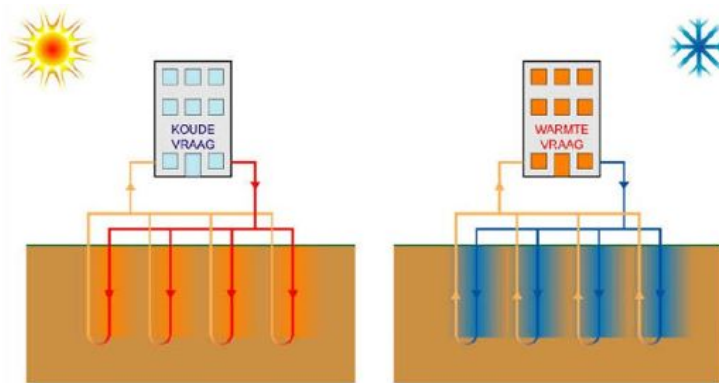


Figuur 14: Systeem aquifer. Retrieved .assercourant.nl

3. Ondergrond:

De ondergrond heeft een stabiele temperatuur rond de 10°C. De oppervlakkige laag is niet geschikt om thermische energie te bufferen. Hoe dieper in de grond geboord wordt, des te hoger de temperatuur. In Nederland kan de bodemtemperatuur op bepaalde plekken oplopen tot 90°C, maar hier zijn hele hoge aanlegkosten aan verbonden.

Bodemwisselaars zijn vaak buizen tot 100m diep het zijn U-vormige buizen waar in de zomer warm water ingepompt wordt. Deze warmte wordt aan de grond afgegeven die hierdoor opgewarmd wordt. Het water dat in de warmtewisselaar is afgekoeld komt hierna weer boven. In de winter is de opgewarmde ondergrond een warmtebron voor het koude water dat in het systeem wordt gepompt. Het water komt voorverwarmd boven. Zie figuur15 (bodemenergie nl, 2015; L. J. J. H. M. Gommans & Tu Delft, 2012, pp. 98-102)



Figuur 15: Systeem bodemwisselaar, retrieved (ecwf.nl)

4. Phase Changing Material (PCM):

PCM bestaat in organische en anorganische vormen. Het proces van warmte adsorberen en absorberen is gebaseerd op temperatuurverschillen. Als de omgeving onder een bepaalde temperatuur komt, onttrekt de PCM kou uit de omgeving doordat het materiaal stolt. Als de omgeving boven een bepaalde temperatuur komt, dan onttrekt het materiaal warmte aan de omgeving doordat het vloeibaar wordt. Op deze manier blijft de temperatuur het gehele jaar door constant. Het proces is in figuur 16 weergegeven.

PCM's kunnen zowel actief als passief worden toegepast. Wanneer dit materiaal wordt gebruikt in de vloer of wanden is het een passieve methode. Als het materiaal in een opslagvat zit en thermische energie aan en afgevoerd moet worden is dit een actieve techniek.

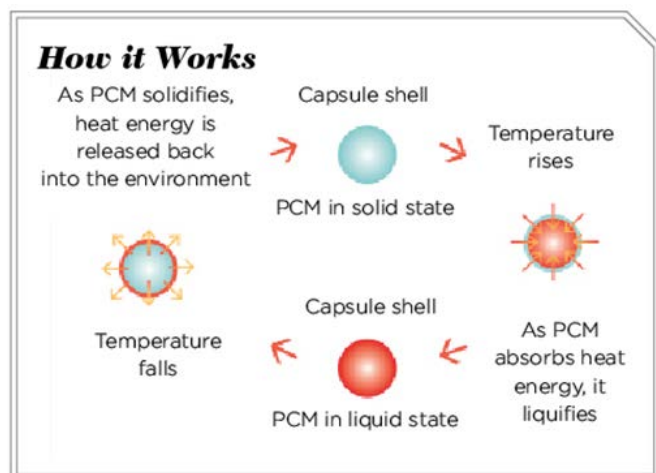


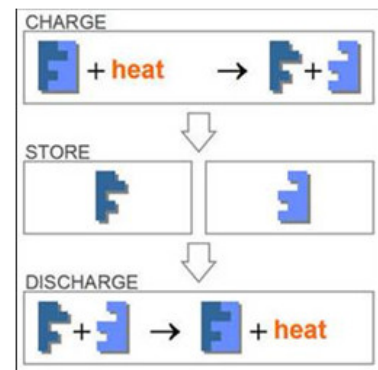
Fig. 16: Werking van een PCM. Retrieved homebuilding.co.uk

5. Thermo chemische materialen (TCM):

Volgens de instituten ECN en TNO is TCM het product dat kan bijdragen in het bereiken van een nul-op-de-meter woning in 2050. Zoals in 2004 al werd gerapporteerd zijn verscheidende zouthydraten uitermate geschikt voor het opslaan van thermische (zonne)warmte. Het zouthydraat bestaat uit gedroogd zout en waterdamp. Als warmte wordt toegevoegd worden deze van elkaar gescheiden en afzonderlijk opgeslagen. Als er in de winter behoefte is aan warmte, moet de waterdamp en het gedroogd zout weer bij elkaar gevoegd worden, bij deze reactie komt de warmte weer vrij. Dit proces is weergegeven in fig. 17. Als dit in een klimaatkast wordt toegepast, betekent dit dat vochtige koele lucht van buiten in de winter wordt omgezet in warme droge lucht die de ruimte ingeblazen kan worden. Andersom, wordt de warme zomerlucht omgezet in koele

lucht. Het voordeel van hygroscopische zouten is dat ze een hoge energiedichtheid hebben, veilig en eenvoudig in het gebruik zijn en bijna verliesvrije thermische energieopslag bieden. (Zondag, 2010a, 2010b)

Fig. 17: How a TCM works. Retrieved from e-hub.org



3. Tijdelijk opslag of seizoensgebonden

De passieve opslagtechnieken zijn vaak alleen toepasbaar op korte termijn. Er zijn daarom ook veel technieken ontwikkeld die thermische energie voor langere periode op kunnen slaan. Om energie voor langdurige periode op te slaan moet het opladen en ontladen gecontroleerd worden, deze technieken zijn daarom bijna altijd actief.

Nieuwe materialen zoals PCM en TCM kunnen zowel tijdelijk als seizoensgebonden energie opslaan en zowel actief als passief worden ingezet. Tabel 5 geeft een overzicht van de meest toegepaste technieken en of deze actief/passief en tijdelijk/seizoensgebonden energieopslag bieden.

Tabel 5: De geschiktheid van thermische opslag technieken

Techniek	Actief / passief	Tijdelijke- / seizoensopslag
Massa	Passief	Tijdelijk
Betonkernactivering	Semi-passief	Tijdelijk
Trombe wall	Semi-passief	Tijdelijk
Tanks	Actief	Seizoen
Aquifers	Actief	Seizoen
Ondergronds	Actief	Seizoen
PCM	Beide	Beide
TCM	Beide	Beide

4. Conclusie

Er zijn veel verschillende opslagtechnieken voor thermische energie. Elke techniek heeft zijn eigen voor en nadelen. Opslag met massa gaat natuurlijk, maar werkt tijdelijk en is niet aan te sturen. Meer controle over de warmte opslag en afgifte van massa werkt semi-passief met betonkern activering.

Om thermische energie langer op te kunnen slaan moet dit actief gedaan worden. De technieken zijn gebaseerd op voelbare, latente of chemische mediums. Chemische materialen hebben de grootste opslagcapaciteit en kunnen oneindig energie adsorberen en absorberen. PCM's en TCM's zijn daarmee de meest belovende materialen voor het klimatiseren in energie neutrale gebouwen.

3.5. Case studie.

Voor de case studie zijn drie verschillende gebouwen geanalyseerd. Als eerste wordt het “Flexhouse”, ontworpen door studenten van de ZUYB te Heerlen, besproken. Hierna volgt “Villa Flora” ontworpen door Jon Kristinsson en als laatste de “Prêt-à-Loger” ontworpen door studenten van de TU Delft.

De hoofdstuk indeling is als volgt:

1	• Flexhouse
2	• Villa Flora
3	• Prêt-à-Loger
4	• Conclusie

1. Flexhouse

Het gebouw is geheel gebouwd met duurzame materialen zoals hout, bamboe en glas. De façade heeft een hoge isolatiewaarde met een R_c van $8 \text{ m}^2\text{K/W}$ waardoor het energieverlies door de gevel gereduceerd wordt. De gevel is bekleed met stuc van Minox dit leidt tot een reductie van de hoeveelheid NO_2 uitstoot. Het gebouw heeft een groen dak, waardoor de uitstoot van CO_2 wordt gereduceerd. Er is een grote overstek gecreëerd om de koelvraag in de zomer te reduceren. Een groot deel van de façade bestaat uit glas, waardoor veel energie voor verlichting wordt gereduceerd en gratis warmte wordt opgevangen.

Het trappenhuis is ontwikkeld als een kas, hier wordt de lucht voorverwarmd en via de warmtewisselaar toegepast voor balansventilatie. De gebruikte lucht uit de ruimtes wordt mechanisch afgezogen en de energie wordt teruggewonnen zodat deze hergebruikt kan worden. Het water wordt voorverwarmd met horizontale bodemwisselaars.

In het gebouw wordt energie actief opgeslagen met PCM vaten en seizoensgebonden energie opslag. De toepassing van PCM zorgt ervoor dat er een stabiel comfortabel binnenklimaat is dat met lage temperatuur verwarmd en hoge temperatuur gekoeld kan worden.

Naast het reduceren van het energieverbruik, toepassen van gratis warmte en hergebruik van energie produceert het gebouw ook duurzame energie met PV panelen en een windturbine. De efficiëntie van de panelen wordt met 30% verhoogd door combinatie met spiegels op de gevel. Tabel 6 geeft overzichtelijk alle focus punten en maatregelen weer die voor het betreffende doel genomen zijn. (Bergmans, Schroën, & Rovers, 2010, pp. 7,9; L. J. J. H. M. Gommans, 2015)



Fig. 18&19; Afbeelding van de Flexhouse, retrieved dewijkvanmorgen.nl

Tabel 6: Toepassingen in de Flexhouse

Focuspunt	Toepassing
Reduceer de verwarmingsvraag	• Ventilatieverliezen beperken • Gratis verwarming • Lage temperatuur-verwarming
Reduceer de koelvraag	• Zonwering • Gratis koeling • Mechanische ventilatie
Reduceer de verlichtingsvraag	• Vervang armaturen • Gratis verlichting
Reduceer het gebruik van apparatuur en tapwater	• A+++ apparaten
Hergebruik restenergiestromen	• Warmteterugwinningssysteem • Warmtepomp • Bodemwarmte
Zoneren	• Ruimteverwarming
Cascaderen	•
Tijdelijke/ seizoen energieopslag	• Boiler • PCM
Productie	• PV • Windturbine
Extra focuspunten	• Reductie uitstoot NO² • Reductie uitstoot CO² • Reductie watergebruik

2. Villa Flora

Het gebouw is ontworpen voor de Floriade en staat bekend als het groenste kantoorgebouw van Nederland. De façade bestaat geheel uit glas en aluminium profielen. Glas heeft een hoge U waarde van gemiddeld 1.2W/m²K, dat betekent dat de Rc laag is en veel energie kan dan ook door de gebouwschil heen verloren gaan. De glazen gevel zorgt wel voor een grote hoeveelheid lichttoetreding waardoor elektrische verlichting vrijwel overbodig is en veel warmte uit de zon gratis opgevangen kan worden. Op het dak en in de

gevel zijn lamellen en zonneschermen toegepast om oververhitting in de zomer te voorkomen en zo te besparen in het energieverbruik voor koeling.

Volgens Kristinsson is er geen isolatie in het gebouw nodig omdat er zo veel gratis energie wordt binnengehaald met de kassen, 3 aquifers en een nieuw prototype warmte wisselaars, waardoor de warmtebalans 0 is. De voorverwarmde lucht uit de kassen wordt hergebruikt d.m.v. een warmtewisselaar en opgewaardeerd d.m.v. een warmtepomp waarna het met balansventilatie in het kantoorgedeelte wordt gedistribueerd.

Seizoensgebonden energieopslag vindt plaats door de 3 aquifers. Passieve energie opslag vindt plaats door toepassing van PCM's in de vloer van de kas en het kantoorgebouw. zo wordt met lage temperatuur verwarmd en hoge temperatuur gekoeld.

Energieproductie vindt plaats door eigen ontworpen parabolische zonnecollectoren systeem en een biovergister voor groen gas. (Kristinsson, 2012, pp. 263-280)

Tijdens de rondleiding door het gebouw werd verteld dat veel van de technieken minder werken of helemaal niet zijn toegepast. Zo is de afmetingen van de kas gereduceerd naar $\frac{1}{3}$ van de originele maatvoering i.v.m. kostenbesparing. Tijdens ons bezoek in de november voelde het koud en verre van comfortabel aan in het gebouw. De zonnecollectoren waren eveneens te duur, de structuur is gemaakt, maar kan geen gewicht dragen en er zijn geen pv panelen of warmtecollectoren in het gebouw aanwezig. Ook was de biovergister buiten gebruik, doordat er niet genoeg aanvoer van groenafval dit als gevolg van de grote leegstand in het pand. Daarnaast was ook bespaard op het nieuwe type warmtewisselaar, waardoor deze vloeistof lekten en buiten gebruik zijn gesteld. Het is bijzonder dat zoveel goede initiatieven niet zijn toegepast of werken vanwege bezuinigen. Tabel 7 geeft alle toegepaste maatregelen weer.



Fig. 20&21: Villa Flora, render en luchtfoto tijdens de Floriade.

Tabel 7: Toepassingen in de Vila Flora

Focuspunt	Toepassing
Reduceer de verwarmingsvraag	- Gratis zonnewarmte - Aquifer
Reduceer de koelvraag	- Zonwering - Mechanische ventilatie
Reduceer de verlichtingsvraag	Glazen façade
Reduceer het gebruik van apparatuur en tapwater	- Aquifer - Warmtepomp
Hergebruik restenergiestromen	(Warmtewisselaar)
Zoneren	

Cascaderen	•
Tijdelijke / seizoen energieopslag	• Aquifer • PCM
Productie	• (PV) • (biovergister)
Extra focuspunten	•

3. Prêt-à-Loger

Het gebouw is een renovatie van een rijtjeswoning uit 1960. De renovatie is ontworpen voor de Solar Decathlon 2014 in Frankrijk. Het team voegt een extra isolatielaag toe om het warmteverlies te beperken. Aan de zuidzijde wordt een kas geplaatst, zodat gratis zonlicht opgevangen kan worden. Het dak is uitgerust met 2 solartubes en een groen dak. De huishoudelijke apparaten hebben het hoogste energielabel. In de woning is alle verlichting vervangen door LED, die aangestuurd worden met RCD's en RF's. Ook zijn de radiatoren vervangen zodat deze geschikt worden voor toepassing van LTV, dit is mogelijk doordat de woning goed geïsoleerd is.

De voorverwarmde lucht uit de kas wordt met een warmtewisselaar behandeld en daarna opgeslagen in een boiler of met de PCM-box. Tevens kan deze warmte worden benut als bron voor de WP. Tabel 8 geeft alle focusdoelen en toegepaste maatregelen weer.



Fig. 22&23: Prêt-à-Loger gedurende de Solar Decathlon (inhabitat.nl)

Tabel 8: Toepassingen in de Prêt-à-Loger

Focuspunt	Toepassing
Reduceer de verwarmingsvraag	• Transmissie, infiltratie- en ventilatieverliezen beperken • Gratis verwarming • Lage temperatuur-verwarming
Reduceer de koelvraag	• Zonwering • Gratis koeling
Reduceer de verlichtingsvraag	• Vervang armaturen • Gratis verlichting
Reduceer het gebruik van apparatuur en tapwater	• A+++ apparaten
Hergebruik restenergiestromen	• Warmteterugwinningssysteem • Warmtepomp

Zoneren	• Ruimteverwarming
Cascaderen	•
Tijdelijke/ seizoen energieopslag	• Boilervat • PCM
Productie	• PV
Extra focuspunten	•

4. Conclusie

Alle drie de gebouwen focussen op de 3 hoofdthema's; reduceren, hergebruiken en opstaan van energie en opwekken. De gebouwen vangen gratis energie op van de zon m.b.v. kassen. De warmtewisselaar zorgt ervoor dat de energie uit de voorverwarmde lucht en afgezogen lucht zo veel mogelijk wordt gebruikt. Ook worden warmtepompen toegepast om energie naar een hoger temperatuurniveau te brengen. Warmte en kou worden opgeslagen in boilers en in PCM's.

Alle gebouwen doen ook stap 3 van de trias energetica door ook duurzame energie te produceren, dit wordt gedaan met PV panelen, windturbines of een biovergister.

4. Conclusie

1

• Conclusie

2

• Afweging in de renovatie

1. Conclusie

Er zijn verscheidene maatregelen die genomen kunnen worden om een vroeg-naoorlogse rijtjeswoning te renoveren. De energievraag moet gereduceerd worden, (rest) energie moet worden hergebruikt, thermische energie moet worden opgeslagen en duurzame energie moet geproduceerd worden. In de trias energetica wordt daarnaast ook gesproken over het efficiënt inzetten van energie. In dit onderzoek komen de volgende maatregelen aan bod: reduceer de energievraag, hergebruik (rest)energie, sla (thermische) energie op welke wijze de effectiviteit in combinatie met deze maatregelen verhoogd kan worden.

Het energieverbruik kan sterk verminderd worden, het grootste effect kan behaald worden door te focussen op het reduceren van de verwarmingsvraag en energieverbruik door apparatuur. Maatregelen die grote invloed hebben op de warmtevraag zijn: het beperken van transmissie verliezen door verbetering van de isolatieschil en het beperken van ventilatieverliezen door luchtdicht te bouwen. De effectiviteit voor het verwarmen kan gemakkelijk verbeterd worden door het gebruik van LTW in combinatie met een warmtepomp en door optimaal benutten van de zonnewarmte.

Veel apparatuur in de bestaande woningbouw is verouderd. Een grote energiebesparing is mogelijk door verouderde apparatuur te vervangen voor de energiezuinigste. De efficiëntie kan in het direct gebruik ook verhoog worden door de restwarmte terug te winnen zodat deze opnieuw gebruikt kan worden. Bij het focussen op het verminderen van de verlichtingsvraag kan tot wel 80% gereduceerd worden. Dit kan bereikt worden door bestaande armaturen te vervangen voor LED en gratis zonlicht zo veel mogelijk in de woning te benutten. Echter is het aandeel van verlichting minder dan 3% van de totale energievraag, waardoor het effect maar gering is.

In een rijtjeswoning wordt tot wel 70% van het totale energiegebruik ingezet voor verwarmen en tapwater. Zoals al eerder beschreven kan de effectiviteit van energie verhoogd worden wanneer deze hergebruikt wordt. Energie uit water en lucht kan teruggewonnen worden met een warmtewisselaar. Deze thermische energie kan gecascadeerd worden en zo meerdere malen worden hergebruikt. Als de restenergie niet toereikend genoeg meer is kan deze geüpgraded worden met een warmtepomp.

Omdat de geschikte thermische energie niet altijd voorradig is moet deze opgeslagen worden. Energie opslag kan (semi)passief, maar hier is weinig controle over en alleen tijdelijk beschikbaar. Wanneer thermische energie actief wordt opgeslagen kan deze preciezer geregeld worden en is de energie voor langere periodes beschikbaar. PCM's en TCM's lijken volgens wetenschappers de meest veelbelovende materialen door de compactheid in combinatie met de oneindige opslagcapaciteit.

De onderzochte focusdoelen en een groot deel van de maatregelen zijn toegepast in de case-studie gebouwen. In deze gebouwen is het energieverbruik gereduceerd, wordt energie hergebruikt, wordt energie opgeslagen en wordt duurzame energie geproduceerd. Door een juiste combinatie van maatregelen zijn deze gebouwen energie neutraal.

2. Afweging in de renovatie

De wijk Blijerheide te Kerkrade is opgebouwd met vroeg-naoorlogse arbeidswoningen voor de mijnbouw. Deze woningen hebben een energie label E, F of G. Het doel is om deze woningen te renoveren tot een energie neutrale woning waarin efficiënt wordt omgegaan met de beschikbare energie. Tabel 9 geeft de focuspunten en maatregelen weer.

Tabel 9: Toepassingen in de renovatie

Focuspunt	Maatregel
Reduceer de verwarmingsvraag	• Transmissie, infiltratie- en ventilatieverliezen beperken met verbeterde isolatieschil. • Gratis verwarming door vergroting raamoppervlak en de aanbouw van serres • Lage temperatuur-verwarming met vloerverwarming en balansventilatie
Reduceer de koelvraag	• Voorkom oververhitting door toepassing van shutters • Gratis koeling met dwarsventilatie
Reduceer de verlichtingsvraag	• Vervang armaturen voor LED • Gratis verlichting door vergroting ramen en solartubes.
Reduceer het gebruik van apparatuur en tapwater	• A+++ apparaten • Boilers, vaatwasser ect. vervangen voor hotfill apparaten,
Hergebruik restenergiestromen	• Warmtewisselaar • Warmtepomp
Zoneren	• Oriëntatie ruimtes
Cascaderen	• Energie processen cascaderen • Thermische energie opslaan van verschillende bronnen met verschillende temperatuur niveaus; 60-80°C van de PVT, 30-40°C verkregen met restwarmte en 10-20°C d.m.v. lucht en regenwater.
Tijdelijke/ seizoen energieopslag	• Ondergrondse thermische energie opslag op verschillende energie niveaus. • Ondergrondse elektrische opslag d.m.v. sea salt battery
Productie	• PVT panelen, die elektriciteit en thermische energie produceren.

De toepassing van al deze maatregelen zou moeten leiden tot een energie neutrale woning. Het totale energieverbruik wordt sterk gereduceerd, energie wordt efficiënt ingezet en zo veel mogelijk hergebruikt. Daarnaast wordt er gewerkt met gratis energie bronnen en wordt duurzaam opgewerkte energie opgeslagen voor later gebruik opdat het huis geheel zelfvoorzienend wordt en niet meer afhankelijk is van het elektriciteitsnetwerk.

5. Conclusion (English)

1

• Conclusion

2

• Considerations in the renovation

1. Conclusion

There are different measures that can be taken to renovate early-postwar terraced houses. The energy demand needs to be reduced, (waste)energy has to be reused and (thermal) energy needs to be stored and sustainable energy should be produced. The trias energetica also mentioned that energy had to be used more efficiently. In this research the follow measures will be discussed: reduce the energy demand, reuse (waste)energy, store (thermal)energy and how to increase the efficiency of the energy use.

The energy demand can be reduced significantly, the largest effect can be accomplished by reducing the energy demand. Measures that can be taken are reducing transmission losses, by adding insulation and reduce ventilation losses by building airtight. The efficiency for space heating can be raised by using low temperature heating in combination with a heat pump and the optimum use of free solar energy.

Most of the equipment's in the existing dwellings are outdated, by replacing these for energy efficient ones, a large reducing effect can be achieved. By retreating the waste heat, the thermal energy can be reused. The amount of energy that can be reduced for lightning could climb up to 80%. This is done by replacing all fittings for LED and using free solar energy, although in the total energy use the stake is low with only 3%.

The terrace house uses 70% of the total energy demand for heating and DHW. This efficiency can be raised by the reuse of thermal energy. With a heat exchanger thermal energy can be gained. By cascading the energy flows, the energy can be reused several times. When the residual energy is not sufficient enough, it can be upgraded with a heat pump and can be used again.

Thermal energy is not always available, it needs storage. Energy storage can be done (semi)passive, but this offers less control and is only temporarily. Thermal energy can also be stored actively, this is suitable for seasonal storage. PCM's and TCM's seems to be promising materials by the compactness of the technic combined with the infinite storage capacity.

All examined focus goals are visible in the case study buildings. The buildings are energy neutral by reducing the energy demand, reusing energy, store thermal energy and producing sustainable energy.

2. Consideration in the renovation

The neighborhood Blijerheide in Kerkrade, the Netherlands, has been built up with early postwar working houses for the miners. These houses have an energy label of E, F or G. The goal is to renovate these homes in an energy-neutral house in which energy is used more efficient.

Table 9: Applications in the renovation

Focus points	Measures
Reduce the heating demand	• Transmission, infiltration and ventilation losses by adding insulation and building airtight • Free heating by enlarging windows and adding greenhouses to the buildings • Use low temperature heating with PCM in the floor and balanced ventilation
Reduce the cooling demand	• Prevent overheating with sun shading • Free cooling with cross ventilation
Reduce energy use for lightning	• Replace fittings for LED • Free lighting by enlarging windows and adding solar tubes.
Reduce the equipment energy and DHW	• A+++ equipment's • Boilers, dishwasher etc. will be replaced by hot fill equipment's.
Reuse (waste)energy	• Heat exchanger • Heat pump
Zone	• Orientation of rooms
Cascade	• Cascade energy qualities • Upgrade thermal energy with a heat pump
temporary or seasonal energy storage	• Temporarily storage by means of a boiler • Seasonal storage by means of PCM
Energy production	• PVT panels to produce electricity and thermal energy. • Store electricity in a power wall.
Additional focus points	• Reduce CO₂ • Reduce water use • Reuse graywater • Store graywater

With the application of all these measures, the terraces house should become energy neutral. The total energy demand is reduced energy is used more efficient and sustainable energy is produced and stored.

6. Literatuurlijst

- Agentschap NL, NL Energie en Klimaat, & BOOM. (2010). *EnergieVademecum*. Boxtel: Aeneas,.
- Ala-Juusela, M. (2003). *Guidbook M. Ala-Juusela (Ed.) Heating and Cooling with Focus on Increased Energy Efficiency and Improved Comfort*
- Autodesk. (u.n.). Trombe Wall and Attached Sunspace.
- Bergmans, B., Schroën, B., & Rovers, R. (2010). *De Wijk van Morgen*
- Blok. (2015). *Beleid - Eisen energieprestatie nieuwbouw vanaf 2020*.
- Blok, S. A. (2015). *Voortgang energiebesparing gebouwde omgeving*. Den Haag.
- bodemenergie.nl. (2015). Werkingsprincipe. Retrieved from <http://www.bodemenergie.nl/Bodemenergie/Werkingsprincipe>
- Boer, R. d. (2013). Ontwikkelingen op het gebied van Warmteopslag. Retrieved from <ftp://ftp.ecn.nl/pub/www/library/report/2013/l13068.pdf>
- Buitenhuis, J. J. N., A.M.J.;. (2007). Wat verstaan we onder betonkernactivering? Retrieved from <http://www.sbrurnet.nl/producten/publicaties/thermisch-actieve-vloeren/1-wat-verstaan-we-onder-betonkernactivering>
- CBS. (2012). Kenmerken woningvoorraad. http://vois.datawonen.nl/quickstep/QSReportAdvanced.aspx?report=cow_13_101&geolevel=nederland&geoitem=1&period=most_recent_period
- Cement&BetonCentrum. (u.n.). Thermische massa voor energiezuinige gebouwen. Retrieved from http://www.joostdevree.nl/bouwkunde2/jpgw/warmteaccumulatie_4_thermische_massa_www_cementenbeton_nl.pdf
- Dobbelsteen, A. v. d. (2011). Energie = ruimte. Retrieved from ECN. (2008). Water. Retrieved from
- Gerdes, J., Marbus, S., & Boelhouwer, M. (2014). *Energetrends 2014*. Retrieved from Petten:
- Gommans, L. J. J. H. M. (2015). [Paper Guidance].
- Gommans, L. J. J. H. M., & Tu Delft, D. U. o. T. (2012). *Gebiedsgerichte energetische systeemoptimalisatie : een onderzoek naar de mogelijkheden voor een duurzame energietransitie*. Delftdigitalpress, Delft :. WorldCat.org database.
- Jansen, S. C. (2013). *Exergy in the built environment : the added value of exergy in the assessment and development of energy systems for the built environment*. [s.n.], [S.I.] :. WorldCat.org database.
- Kristinsson, J. (2012). *Integrated Sustainable design*. Delft: Delftdigitalpress.
- LTI-BV. (2015). WTW. Retrieved from <http://www.lti-bv.nl/producten/wtw-units/>
- Milieu Centraal. (2015a). Bespaartips verwarming.
- Milieu Centraal. (2015b). Energiezuinig verlichten.
- Milieu Centraal. (2015c). Huishoudelijke apparaten.
- Milieu Centraal. (2015d). Isoleren en besparen.
- Milieu Centraal. (2015e). Ventilatie & belansventilatie.
- National Renewable Energy, L. (2006). *Zero Energy Buildings: A Critical Look at the Definition* S. P. P. Torcellini, and M. Deru, (Ed.) Retrieved from <http://purl.access.gpo.gov/GPO/LPS91209>
- NIBUD. (2016). Energie en water.
- Niewold, M. (2015). 'Armzalig' klimaatbeleid: Nederland, het vieze jongetje van Europa. RTL Z.
- NOS. (2015). Kabinet ziet in restwarmte alternatief voor aardgas.
- Porter, K. (Writer). (2013). *The Twelve Essential Steps to NET ZERO ENERGY*. America: zero-energyplans.
- Rijksoverheid. (2015). *Klimaatbeleid*. Retrieved from <https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/klimaatverandering/inhoud/klimaatbeleid>.

- Winter Associates, W. (2014). Net Zero Energy Buildings. Retrieved from <https://www.wbdg.org/resources/netzeroenergybuildings.php>
- Zondag, H. A. (2010a). Op zoek naar hét materiaal om warmte te bewaren. Retrieved from <http://web.tue.nl/cursor/internet/jaargang53/cursor09/onderzoek/onderzoek.php?page=02>
- Zondag, H. A. (2010b). Seasonal heat storage for heating of buildings. Retrieved from https://www.tue.nl/fileadmin/content/onderzoek/Eindhoven_Energy_Institute_EEI/EnergyDays/Serie_1_2008_2010/2010_02_11/Zondag-1.pdf

