

Nederlandse woningmarkt energieneutraal

impuls voor regionale economie



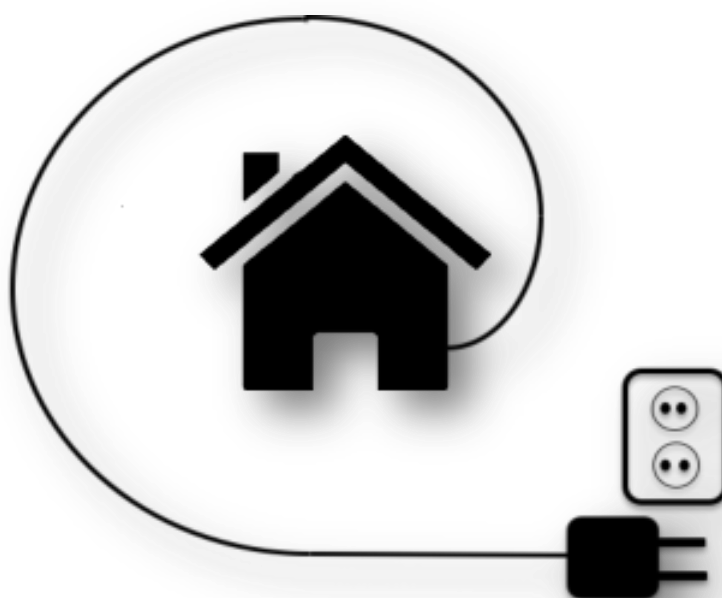
Afstudeerscriptie
Hogeschool Van Hall Larenstein Leeuwarden

Opleiding: Milieukunde deeltijd
Richting: Energiemanagement en Klimaat
Naam : Dick Tolsma
Nummer: 741227103

Begeleiders: Sietze Bottema / Wim Hilbrants

Nederlandse woningmarkt energieneutraal

Impuls voor regionale economie



Afstudeerscriptie
Hogeschool Van Hall Larenstein, Leeuwarden

Opleiding: Milieukunde deeltijd
Richting: Energiemanagement en Klimaat
Naam : Dick Tolsma
Nummer: 741227103

Begeleiders: Sietze Bottema / Wim Hilbrants

Samenvatting

Tijdens een gesprek met dhr. B. De Boer over een mogelijk afstudeer onderwerp is de vraag gesteld: kan een woning voor maximaal 25000 euro energieneutraal worden gemaakt? Deze interessante vraag heeft ter inspiratie gediend voor de verdere uitwerking van deze scriptie.

De hoofdvraag is iets breder gesteld:

Welke stappen kunnen genomen worden zodat bepaald kan worden welke maatregelen leiden tot een energie-neutrale woning, waarbij de investering niet hoger is dan 10 x de jaarlijkse energielasten.

De te nemen maatregelen zullen dus op financiële efficiëntie getoetst moeten worden. Zowel energiebesparende maatregelen als duurzame energie opwekking zullen doorgerekend moeten worden op efficiency.

Het doel van het onderzoek is om een methode te ontwikkelen voor het berekenen van maatregelen die leiden tot energie-neutrale woningen waarbij de investering maximaal tien keer de jaarlijkse energiekosten is. De berekening moet kunnen worden uitgevoerd voor alle bestaande woningen.

De gehanteerde methode voor het berekenen van maatregelen is beschreven in hoofdstuk 2 en bestaat uit de volgende stappen.

1. De warmtevraag van de woning staat centraal,
2. Een aantal mogelijke besparende maatregelen worden berekend. Per constructie wordt de meest efficiënte maatregel gekozen. Van deze maatregelen wordt het besparingspotentieel berekend.
3. Voor de verwarming wordt een keuze gemaakt uit een serie lucht water warmtepompen. Het type warmtepomp is afhankelijk van de transmissie van de woning.
4. De totale energievraag wordt opgewekt door PV-panelen. Deze energievraag bestaat uit het gemiddelde elektriciteitsgebruik per woningtype gesommeerd met de energievraag van de warmtepomp.

Er zijn hiermee drie typen maatregelen gedefinieerd.

- Besparende maatregelen, zoals isolatie
- Duurzame verwarming door middel van een lucht/water warmtepomp
- Duurzaam opwekken met behulp van PV panelen

De kracht van de berekening zit in de integrale aanpak welke is beschreven in paragraaf 2.8. Er bestaat een wisselwerking tussen besparende (isolerende) maatregelen, duurzame verwarming door middel van een warmtepomp en duurzaam opwekken met behulp van PV-panelen.

Deze methode zoekt naar de meest gunstige investeringsbalans van de combinatie van deze drie type maatregelen.

Van dit meest efficiënte pakket wordt de totale investering berekend en daarmee kan worden bepaald of deze woning voor maximaal 10 keer de jaarlijkse energielasten naar energie neutraal gebracht kan worden.

De basisgegevens van de te berekenen woning is afkomstig van een lijst van 200 voorbeeldwoningen. Deze lijst is beschikbaar gesteld door de RVO en wordt landelijk gebruikt voor de bepaling van het voorlopig energielabel. Net als bij de methode voor het bepalen van het definitieve energielabel, is ook hier de mogelijkheid om een aantal zaken zoals weerstandswaarden van constructies aan te passen. De oppervlaktegegevens blijven ongewijzigd. Hiermee is de mogelijkheid gecreëerd om van elke willekeurige woning in Nederland te bepalen hoe deze energieneutraal gemaakt kan worden, zonder deze woning te hoeven bezoeken.

Het meest efficiënte totaalpakket aan maatregelen wordt gevonden door de koppeling te leggen tussen besparende maatregelen, duurzame verwarming met een warmtepomp en het duurzaam opwekken van de totale elektrische energievraag.

Uit de calculatie blijkt dat niet in alle gevallen eerst alle mogelijke besparende maatregelen uitgevoerd hoeven te worden. Deze methode wijkt daarmee af van de trias energetica.

In hoofdstuk 5 is een aantal resultaatberekeningen beschreven. Van diverse woningtypen is bepaald welk pakket aan maatregelen specifiek voor die woning het meest efficiënt is. Tevens is gekeken naar de mogelijkheden voor de totale Nederlandse woningvoorraad.

Wanneer we deze reken methodiek loslaten op de gemiddelde woningtypen van de Nederlandse woningmarkt, zoals beschreven in het rapport voorbeeldwoningen 2011, dan blijkt dat 75% van de Nederlandse woningen voor minder dan €25.000,- naar energie neutraal gebracht kunnen worden.

Kijken we enkel naar de terugverdientijd dan blijkt dat 47% van de Nederlandse woningen naar energie neutraal gebracht kunnen worden met een terugverdientijd van minder dan 10 jaar.

Per jaar geven Nederlandse huishoudens ongeveer 12.6 miljard euro uit aan energie. Dit is een enorme potentie voor investering in duurzame maatregelen die leiden tot een energie neutrale woningmarkt.

De beschreven methode maakt het mogelijk om beleid en analyses op regionaal niveau te maken. Samen met lokale bedrijven kan een gericht plan van aanpak worden ontwikkeld om de lokale woningmarkt te verduurzamen. Dit zal de lokale economie een behoorlijke impuls geven.

Inhoudsopgave

Samenvatting	4
Inhoudsopgave	6
Woord vooraf	9
1 Inleiding	11
1.1 Achtergrond	11
1.2 Energiemanagement en klimaat.	16
1.3 Vraagstelling	16
1.4 Doelstelling	17
2 Stappenplan	18
2.1 Flowchart	19
2.2 Trias energetica	20
2.3 Energiegebruik	20
2.4 Verlagen warmtevraag	20
2.5 Duurzame verwarming	21
2.6 Eigen energie opwekking	21
2.7 Investeringsrendement	22
2.8 Integrale aanpak	22
2.9 Gemiddelde woninggegevens	23
2.10 Invulling van het stappenplan	24
3 Calculatieprogramma	25
3.1 Basisgegevens calculatie	25
3.2 Selectie van woning	25
3.3 Aanpassingen op de geselecteerde woning	25
3.4 Warmteverlies berekening huidige situatie	26
3.5 Besparende maatregelen	26
3.6 Transmissieberekening	28
3.7 Selectie type warmtepomp	28
3.8 Berekening hoeveelheid zonnepanelen.	28
3.9 Investeringsbalans	29
3.10 Rekenvoorbeelden	31
4 Verificatie calculatie methode	32
5 Resultaten energieneutraal berekening	35
5.1 Voorbeeld energiescan	36
5.2 Voorbeeld energieneutraal totaalpakket	37
5.3 Voorbeeld investeringsbalans	37
5.4 Berekening Nederlandse woningmarkt	38
6 Aanbevelingen	39
6.1 Analyse wijk – buurt – gemeente	39
6.2 Lokale economie	39
6.3 Geldstromen in de regio	39
7 Discussie	40
8 Bibliografie	41
9 Bijlagen	42

A.	Overzicht voorbeeldwoningen RVO	43
B.	Gebruikte formules en constanten	44
C.	Elektriciteitsverbruik	48

Woord vooraf

Ik ben altijd op zoek naar de feiten achter beweringen en naar bewijs van uitspraken. Om achter de feiten te kunnen komen zijn data, veel data en juiste data van onmisbaar belang. In de loop van de jaren heb ik mij ontwikkeld tot een dataverwerker pur sang en is Excel mijn grote vriend geworden. Excel maakt het mogelijk om een complex van data op een juiste manier te vereenvoudigen zodat ingewikkelde vraagstukken worden opgedeeld in begrijpelijke delen.

In 2011 heb ik al eens de gegevens van voorbeeldwoningen van AgentschapNL ontleend - dat kan later vast nog wel eens van pas komen – en heb gezien dat met 30 voorbeeldwoningen een redelijk beeld van de Nederlandse woningmarkt gegeven kan worden. Het is ook niet voor niets dat deze informatie heeft geleid tot de 200 voorbeeldwoningen waar het huidige voorlopige energielabel op berust.

Toen ik de vraag kreeg van Bouwe de Boer of een bestaande woning voor €25.000 energieneutraal gemaakt kan worden kwam ik met twee vragen te zitten; wat is energieneutraal en over welke woning hebben we het hier? De eerste vraag was snel beantwoord, energieneutraal is een woning waarvan de netto jaarlijkse energievraag nul is. En de woning zou de woning van Bouwe de Boer zelf kunnen zijn.

Maar wat als de burens van familie de Boer ook energieneutraal willen zijn. En wat te doen met de ambitie van de gemeente Leeuwarden. En waarom niet kijken naar de totale bestaande Nederlandse woningmarkt?

Binnen een week was ik afgestapt van 1 enkele woning en heb ik de data van de 200 voorbeeldwoningen als basis laten dienen voor mijn rekenmethode.

Het resultaat is een multi-inzetbare rekentool waarmee snel en eenvoudig een energie-neutraal berekening gemaakt kan worden.

Mijn dank gaat uit naar Bouwe de Boer voor zijn hulp, gastvrijheid en zijn vertrouwen, naar mijn twee studiebegeleiders Sietze Bottema en Wim Hilbrants voor hun ongezouten commentaar en kritische vragen, naar RAAKit voor het beschikbaar stellen van hun software, naar Stef Folmer voor zijn helicopterview, naar Vincent van Leijen een goede vriend voor zijn hulp in structuur aanbrengen, het mij blijven uitdagen en zijn enthousiasme. Bijzondere dank gaat uit naar mijn vrouw Caroline voor haar engelengeduld en haar vele avonden alleen zijn.

Met dit onderzoek daag ik alle gemeenten in Nederland uit om te laten analyseren welke maatregelen een energieneutraal woningbestand mogelijk maken en welke invloed dit heeft op de lokale economie, en ik daag minister Henk Kamp uit om te laten onderzoeken of investeren in een energieneutraal woningbestand meer loont dan verdere investeringen in fossiele energie. Wellicht belandt het onderzoek naar extra gaswinning in de Noordzee dan onder in de la, bedolven onder rapporten met duurzame oplossingen.

1 Inleiding

De woningmarkt is op het gebied van energieprestatie in beweging. Dit is voor een deel te wijten aan de nieuwbouw van energiezuinige woningen, maar ook de verduurzaming van de bestaande woningen draagt bij aan de verlaging van de gemiddelde energieconsumptie. Met name de huursector heeft de afgelopen jaren stappen gezet op het gebied van energiebesparing. De koppeling van het huurpuntensysteem aan het energielabel en de renovatiesubsidies hebben ertoe geleid dat steeds meer huurwoningen naar energielabel B zijn gebracht. Maar is dit voldoende?

De gemeente Leeuwarden heeft de ambitie gesteld om in 2020 volledig energieneutraal te zijn. Voor de particuliere woningmarkt betekent dit ten opzichte van 2012 een energiebesparing van 124,3 miljoen kilowattuur (kWh) elektriciteit en 68 miljoen kubieke meter aardgas¹.

Deze ambitie vraagt om een bredere aanpak dan enkel na-isolatie en plaatsen van zonnepanelen. Uit de markt klinkt ook een steeds groter wordende vraag hoe een woning naar energieneutraal gerenoveerd kan worden. Voor zowel de particuliere markt als de huursector geldt dat de investering binnen een redelijke termijn terugverdiend moet zijn.

In het verlengde hiervan is tijdens een gesprek over een eventueel afstudeeronderzoek met dhr. B. de Boer de volgende vraag gesteld:

“Kan een woning voor maximaal 25000 euro energieneutraal gemaakt worden?”

De bovenliggende vraag heeft als inspiratie gediend voor het verder uitwerken van deze scriptie. Aangezien dhr. de Boer energie coördinator van de gemeente Leeuwarden is, wordt in deze scriptie in eerste instantie de focus gelegd op energiereductie en energieneutraal maken van woningen in de gemeente Leeuwarden. Het onderzoek beperkt zich echter niet alleen tot de gemeente Leeuwarden, maar zal van toepassing zijn op het volledige Nederlandse woningbestand.

Deze scriptie beschrijft de ontwikkeling van een calculatiemethode. Deze methode is erop gericht om een bestaande woning naar energieneutraal te brengen en daarbij te zoeken naar het meest efficiënte totaalpakket aan maatregelen. De selectie van maatregelen berust op financiële efficiëntie.

1.1 Achtergrond

In het energieakkoord is afgesproken dat er in Nederland in 2020 een besparing van 100 PJ (t.o.v. 2012) gerealiseerd wordt. Ter illustratie: 1 Peta joule energiebesparing in het finale energieverbruik komt overeen met het jaarlijkse

¹ Leeuwarden Energieneutraal in 2020 (Hetzler, 2013).

gemiddelde elektriciteits- en gasverbruik van circa 15.000 huishoudens. Daarnaast moet het aandeel duurzame energie in 2020 14% zijn en 16% in 2023.²

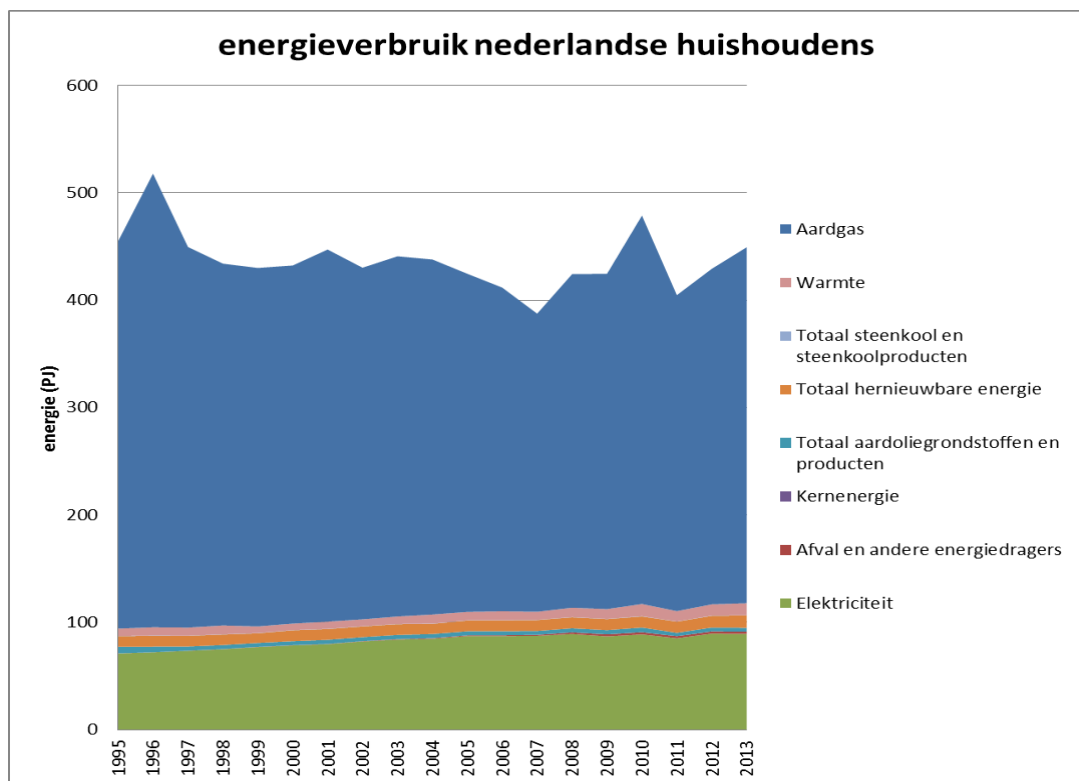
Noord Nederland neemt volgens haar eigen energieakkoord 15-20 Mton CO₂ reductie na 2011 voor haar rekening.³

Er zullen diverse maatregelen nodig zijn om dit ambitieniveau te realiseren. Wellicht zal ook het gemeentelijk en/of provinciaal energiebeleid moeten worden bijgesteld.

Gerichte energiebesparing in de industrie is door middel van wetgeving redelijk vastgelegd. Hierbij valt te denken aan Wet milieubeheer, het Emission Trading System (ETS), meerjarenafspraken, branche afspraken en MEE convenanten ⁴.

Voor de particuliere woningmarkt geldt geen verplichtende wetgeving. Wel zijn er motiverende maatregelen zoals energieprijzen bij energiebesparende maatregelen. Ook de bankensector vertoont ontwikkelingen die een verduurzaming van de woningmarkt stimuleren. Een goed voorbeeld hiervan is een korting op hypotheekrente bij een beter energielabel.

Het energieverbruik van de Nederlandse huishoudens is ongeveer 13-14% van de totale Nederlandse energieconsumptie.



Grafiek 1 - energieverbruik Nederlandse huishoudens. bron: CBS-2012

² Energie akkoord voor duurzame groei (SOCIAAL-ECONOMISCHE RAAD, 2013)

³ Programmaplan_Fryslân geeft Energie (Provinciale Staten van Fryslân)

⁴ (Ministerie van Economische Zaken, 2014)

Hieronder worden enkele energie getallen uit de Provincie Fryslân beschreven:

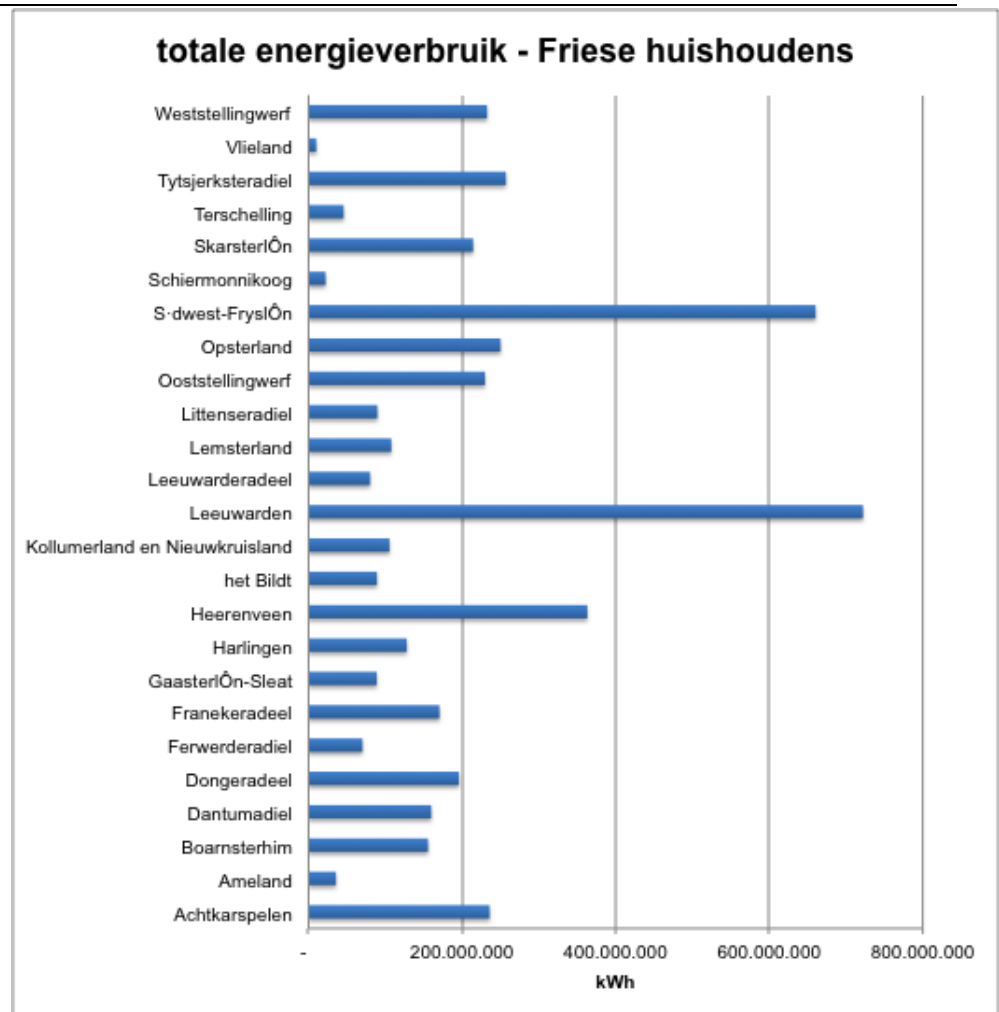
- De totale energieconsumptie van de Friese huishoudens is 18,1 PJ
- Het gemiddelde Friese energieverbruik per huishouden is 1860m3 gas en 3076kWh elektriciteit.



grafiek 2 - energie kosten verdeling

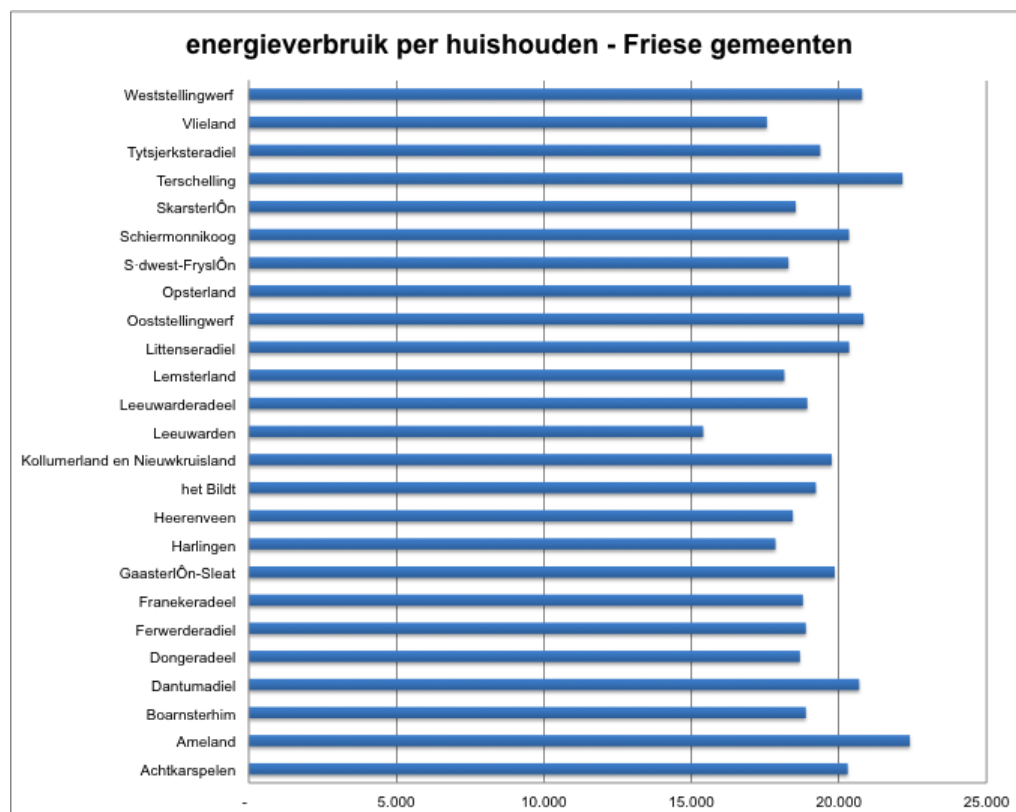
De gemeente Leeuwarden heeft van alle Friese gemeente de hoogste energieconsumptie. In totaal is dit 762.162.292 kilowattuur⁵. Ter illustratie, dit komt overeen met de opbrengst van ongeveer 514 ha zonnepanelen of 109 grote windmolens.

⁵ CBS getallen uit 2012



Grafiek 3 - Energieverbruik huishoudens Fryslân, bron: CBS2012

Wanneer gekeken wordt naar het gemiddelde energieverbruik per huishouden in Fryslân dan liggen de verhoudingen anders. De totale energievraag wordt gedeeld door meerdere huishoudens. Leeuwarden heeft in Fryslân in verhouding veel hoogbouw, dat wil zeggen, flatwoningen met een gemiddeld lagere energievraag.



Grafiek 4 energieverbruik per huishouden Friese gemeenten

Eén van de duurzaamheidsambities van de gemeente Leeuwarden is om in 2020 onafhankelijk te zijn van fossiele brandstoffen.

De term energieneutraal kan op verschillende manieren worden uitgelegd. Er wordt geen fossiele energie gebruikt. (CO₂ emissie is nul), de energiekosten zijn nul of de CO₂ balans is nul. Er wordt ook wel gesproken van energieneutraal wanneer alleen de primaire energie voor een woning duurzaam opgewekt wordt.

In dit onderzoek verstaan we onder een energie neutrale woning een woning waarbij de jaarlijkse netto energievraag nul is.

De totale besparingsopdracht van de huishoudens in de gemeente Leeuwarden is, volgens CBS gegevens van 2012, 762.162.292 kWh per jaar. Deze energiebesparing zal gerealiseerd moeten worden door zowel de particuliere sector als de huursector. Hoe dit gerealiseerd moet worden is op dit moment niet duidelijk. Welke maatregelen zijn mogelijk, welke maatregelen zijn wenselijk en welk pakket aan maatregelen is het meest effectief?

Voor de gemiddelde particulier is naast het milieuaspect de terugverdientijd van een duurzame investering een belangrijk gegeven. De investering moet binnen een redelijke termijn worden terugverdiend. Bijvoorbeeld bij de verkoop van zonnepanelen is een termijn van 10 jaar terugverdientijd over het algemeen acceptabel. In ieder geval zal het financiële aspect moeten worden meegenomen.

1.2 Energiemanagement en klimaat.

De politiek is zich steeds meer bewust van het klimaatprobleem. In 2013 is er door het Planbureau voor de leefomgeving een notitie uitgebracht over de huidige stand van de klimaatwetenschap. Hieronder volgt een korte samenvatting.

Sinds de industriële revolutie warmt de aarde op, smelt het land- en zee-ijs en stijgt de zeespiegel. De concentratie CO₂ in de lucht is in deze tijd met bijna 40% gestegen. Het waarschijnlijke effect van verdubbeling van de CO₂ concentratie op de temperatuur ligt tussen de 2,0 en 4,5 graden Celsius. De gevolgen van de opwarming (mondiaal ca. 0,8 graden en in Nederland 1,7 graden) zijn nu al merkbaar.⁶

Het landelijke energie akkoord, de provinciale duurzame doelstellingen en het gemeentelijke duurzaamheidsbeleid dienen tot het verlagen van de CO₂ emissie. Een aantal gemeenten heeft als doelstelling om in 2020 vrij te zijn van fossiele brandstoffen. Enkele voorbeelden hiervan zijn gemeente Leeuwarden, Kollumerland c.a. , Zeewolde, Assen, Apeldoorn, Zutphen en de Waddeneilanden Texel, Vlieland, Ameland en Schiermonnikoog.⁷

Voor de woningbouw zijn er diverse beleids- en stimuleringsmaatregelen zoals de Friese energiepremie⁸. Deze regeling stimuleert de particuliere huizenbezitters tot het nemen van een aantal energiebesparende maatregelen. Het subsidie bedrag verhoogt wanneer meerdere maatregelen tegelijk worden uitgevoerd, deze maatregel stimuleert particulieren dus voor het nemen van meerdere besparende maatregelen tegelijk. Er zijn over het algemeen voor het verduurzamen van een woning meerdere besparende maatregelen mogelijk.

Welke besparende maatregelen of pakket aan maatregelen de meeste besparing oplevert per geïnvesteerde euro is niet bekend. Op welke manier een woning naar energie neutraal gebracht kan worden op een zo financieel efficiënt mogelijke manier is eveneens onduidelijk.

Een onderbouwd advies over welke maatregelen het meeste effect hebben voor een zo laag mogelijke investering kan hier een belangrijk hulpmiddel zijn.

1.3 Vraagstelling

De energie coördinator van de gemeente Leeuwarden heeft de vraag gesteld of het mogelijk is om een bestaande woning voor maximaal €25.000,- energie neutraal te maken. Deze 25.000 euro is niet zomaar een getal. De gemiddelde energielasten van een Nederlands huishouden zijn ongeveer €1850,- per jaar. Uitgaande van een energieprijsstijging van 6% per jaar, zijn de totale energiekosten in 10 jaar ongeveer €24.400,- euro. Een investering van €25.000,-

⁶ De achtergrond van het klimaatprobleem (Strengers, Van Doorland, & Meyer, 2013)

⁷ Klimaatneutrale Steden in Nederland (Urgenda, 2009)

⁸ Friese Energiepremie (SNN, 2015)

euro die leidt tot een woning zonder energiekosten is dan ongeveer in tien jaar terugverdiend.

Om te kunnen bepalen hoe een woning energieneutraal gemaakt kan worden is accurate data gewenst. Voor een goed energie advies zal per woning de mogelijke besparende maatregelen onderzocht moeten worden, er moet gekeken worden naar een manier hoe deze woning duurzaam verwarmd kan worden en als laatste op welke manier de benodigde energie zelf duurzaam kan worden opgewekt. Om de investering in een redelijke termijn terug te verdienen mag de totale investering niet groter zijn dan 10 keer de jaarlijkse energielasten.

De te nemen maatregelen zullen dus op financiële efficiëntie getoetst moeten worden. Zowel energiebesparende maatregelen als duurzame energie opwekking zullen doorgerekend moeten worden op efficiency. Welk pakket aan maatregelen levert de meeste bespaarde euro's per geïnvesteerde euro?

Om antwoord te krijgen op bovenstaande vragen is de volgende hoofdvraag gesteld:

Welke stappen kunnen worden genomen zodat bepaald kan worden welke maatregelen leiden tot een energie neutrale woning, waarbij de investering niet hoger is dan 10 keer de jaarlijkse energielasten.

1.4 Doelstelling

De basis van een energieadvies is de bestaande warmtevraag. De warmtevraag wordt berekend aan de hand van de isolatiewaarden van de constructie en het verliesoppervlak. Per constructie wordt allereerst het warmteverlies berekend, samen met vaste gegevens als binnentemperatuur, buitentemperatuur en stooktijd kan de energievraag worden berekend. Hiervoor zal de woning bezocht en ingemeten moeten worden.

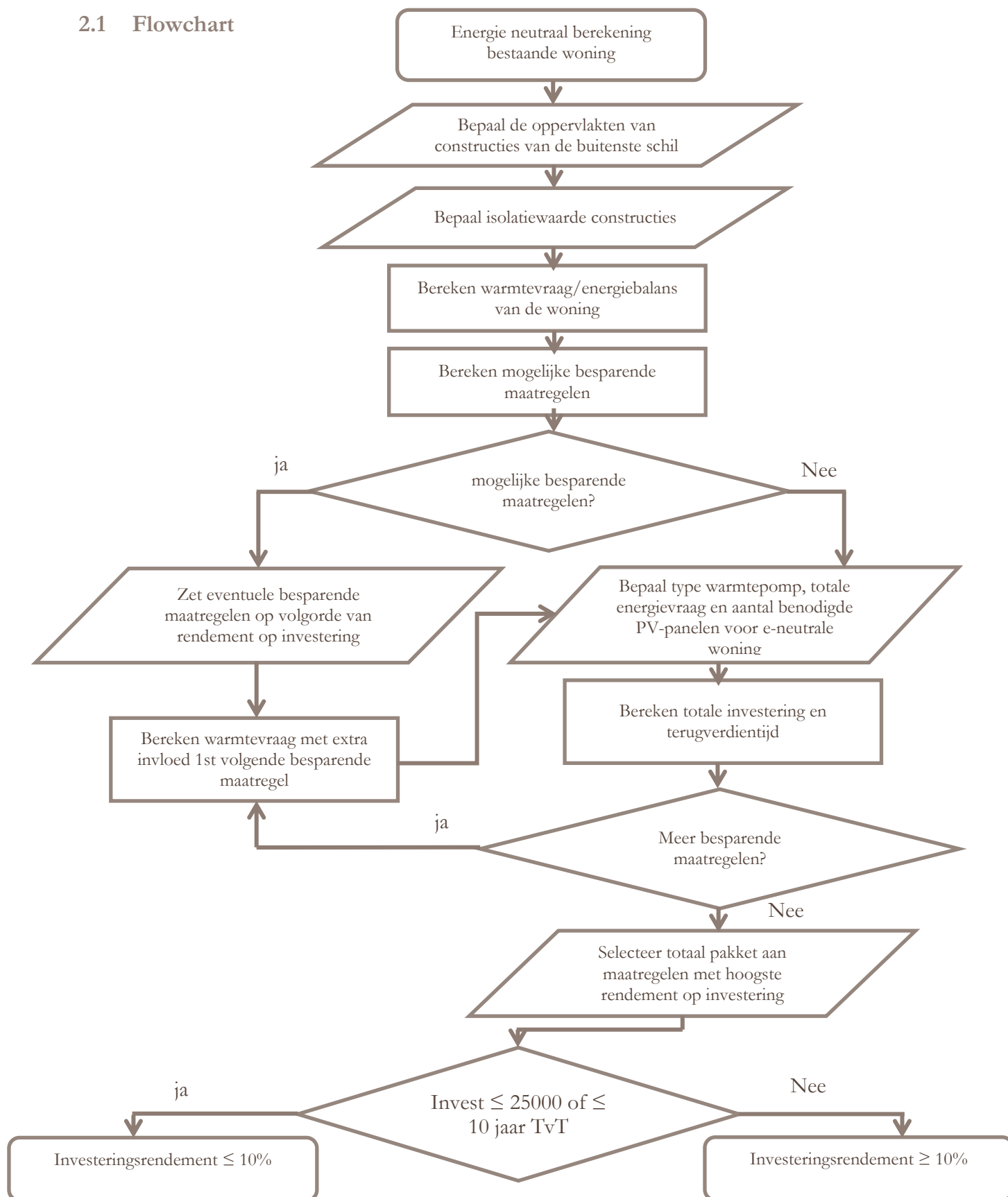
Deze methode is tijdrovend en daarmee ook relatief duur. Om deze reden is het wenselijk om een advies uit te kunnen brengen zonder dat deze woning bezocht hoeft te worden.

Het doel van het onderzoek is om een methode te ontwikkelen voor het berekenen van maatregelen die leiden tot energie-neutrale woningen waarbij de investering maximaal tien keer de jaarlijkse energiekosten is. De berekening moet kunnen worden uitgevoerd voor alle bestaande woningen.

2 Stappenplan

Dit hoofdstuk beschrijft de stappen die genomen kunnen worden zodat antwoord gegeven kan worden op de hoofdvraag, namelijk welke stappen genomen kunnen worden om zodat bepaald kan worden welk pakket aan maatregel leidt tot een energie neutrale woning voor maximaal 10 keer de jaarlijkse energielasten.

2.1 Flowchart



2.2 Trias energetica

Een veelgebruikte strategie voor een energiezuinig ontwerp is de trias energetica. Dit is een drie stappen strategie die onderverdeeld is in:

1. Beperk het energieverbruik door verspilling tegen te gaan; bijvoorbeeld door een compacte gebouwworm of door middel van isolatie;
2. Maak maximaal gebruik van energie uit duurzame bronnen zoals wind-, water-, en zonne-energie; bijvoorbeeld door installatie van een zonneboiler of een zonnepaneel;
3. Maak zo efficiënt mogelijk gebruik van fossiele brandstoffen om in de resterende energiebehoefte te voorzien.

De eerste twee stappen kunnen ook gebruikt worden voor een energieneutraal ontwerp. De laatste stap is niet van toepassing aangezien er in een energie neutrale situatie geen rest energievraag meer is.

2.3 Energiegebruik

Om inzicht te krijgen in de bestaande energiestromen van een woning zal er een nulmeting uitgevoerd moeten worden. Wat is de huidige energievraag en waar bestaat deze energievraag uit?

Het energieverbruik van een woning bestaat uit elektriciteit en warmte. De warmtevraag bestaat uit warmtapwater en verwarming van de woning en de elektriciteitsvraag kan worden onderverdeeld in primaire energie, zoals verlichting en elektriciteit voor verwarming, en overige elektrische energie. Met name bij de elektrische grootverbruikers zoals wasmachine, vaatwasser en droger zijn door de invoering van het energielabel, de laatste jaren sterke verbeteringen zichtbaar.

Zoals vermeld in paragraaf 1.1 is ongeveer twee derde van de energielasten voor rekening van verwarming en ongeveer één derde van de lasten voor rekening van het elektriciteitsgebruik. Dit onderzoek richt zich daarom op de warmtevraag en de reductie hiervan. Besparing op elektriciteit wordt buiten beschouwing gelaten.

2.4 Verlagen warmtevraag

Belangrijke factoren voor de warmtevraag zijn aantal bewoners, woninggrootte, isolatiegraad, woninggebruik en gedrag. Van deze variabelen is een tweetal variabelen te beïnvloeden, namelijk de isolatiegraad en het gedrag. De invloed van het gedrag is minder goed meetbaar. Het verlagen van de warmtevraag bestaat in dit onderzoek daarom uit isolerende maatregelen.

De totale warmtevraag bestaat uit het de som van warmteverlies en warmtewinst van verschillende constructies. Warmtestroom treedt op bij een temperatuurverschil (ΔT) aan weerszijden van een constructie. De hoeveelheid warmtestroom wordt bepaald door de grootte van het temperatuurverschil en de isolatiewaarde van de constructie. Het verschil in temperatuur is deels te beïnvloeden door de temperatuur in de woning te verlagen, dit is een comfort verlagende maatregel en wordt daarom niet als optie meegenomen. Het resultaat is dat het verlagen van de warmtevraag alleen wordt beïnvloed door het verhogen van de isolatiewaarde van constructies die betrekking hebben op de buitenste schil van de woning.

De mogelijke constructies bestaan uit dak, gevel, vloer en beglazing. De invloed van het aanpassen van een deur is door de geringe oppervlakte zeer klein en wordt daarom buiten beschouwing gelaten.

De isolatiegraad van constructies kan op verschillende manieren worden verbeterd. Het dak kan bijvoorbeeld aan de binnenkant of aan de buitenkant worden geïsoleerd. De gevel kan van binnen, van buiten of, wanneer aanwezig, in de spouw worden geïsoleerd. Elke maatregel heeft zijn eigen kenmerken, zowel de kostprijs als de isolerende werking kunnen per maatregel verschillen. Om de juiste keuze te kunnen maken in het type maatregel welke de grootste besparing oplevert per geïnvesteerde euro zal elke besparende maatregel apart moeten worden doorgerekend. Op deze manier kan de financiële efficiëntie per maatregel inzichtelijk worden gemaakt.

2.5 Duurzame verwarming

Onder een duurzame warmtevoorziening verstaan we bijvoorbeeld een houtkachel die brandt op lokaal gekapt hout. Energie opwekkers met meer gebruikersgemak zijn bijvoorbeeld warmtepompen of infraroodpanelen waarvan de benodigde energie opgewekt wordt met zonnepanelen. Van infra rood panelen zijn op dit moment te weinig verbruiksgegevens bekend. Duurzame warmtevoorziening wordt daarom ingevuld door middel van warmtepompen. Warmtepompen zetten laagwaardige energie om in hoogwaardige energie, de techniek is te vergelijken met een koelkast.⁹ De warmtepomp haalt energie uit de omgeving, uit bodem, water of lucht. De eerste twee genoemde bronnen hebben als voordeel dat de temperatuur van de bron relatief constant is, daardoor is de efficiency relatief groot. Het nadeel is echter een hoge investering voor het aanleggen van de bron. De laatste jaren hebben lucht-water warmtepompen een grote ontwikkeling doorgemaakt waardoor het afgiftevermogen is verhoogd en de efficiency is verbeterd.

In dit onderzoek is gekozen voor de Fujitsu Waterstage Lucht water warmtepompen. De reden is dat deze warmtepompen een hoog afgiftetemperatuur kunnen verzorgen waardoor het afgifte systeem niet aangepast hoeft te worden naar laag temperatuur verwarming.¹⁰ Daarnaast zijn online actuele prijzen te raadplegen.¹¹

De benodigde energie voor de warmtepomp wordt bepaald door de warmtevraag en de COP van de warmtepomp. De COP staat voor Coëfficiënt Of Performance en geeft de efficiency van de warmtepomp aan.

2.6 Eigen energie opwekking

Met de inzet van een warmtepomp voor de warmtevraag, bestaat de totale energievraag uit elektrische energie. De benodigde energie bestaat nu uit de bestaande elektrische energie plus de energie die nodig is voor de warmtepomp.

⁹ De techniek van de warmtepomp (warmtepomp-info, 2015)

¹⁰ Fujitsu Lucht water warmtepomp (Fujitsu, 2015)

¹¹ Fujitsu warmtepomp prijzen (Mijn eigen energie, 2015)

Dit maakt het mogelijk om de totale energievraag zelf op te wekken. Het gebruik van Photovoltaic Cells oftewel zonnepanelen of PV-panelen is inmiddels gemeengoed geworden en zal in dit onderzoek worden ingezet als techniek om zelf duurzame energie op te wekken.

2.7 Investeringsrendement

In de hoofdvraag is genoemd dat de totale investering maximaal tien keer de jaarlijkse energielasten mag zijn. Met andere woorden, de terugverdientijd dient kleiner of gelijk te zijn aan 10 jaar of nog anders, het investeringsrendement is minimaal 10%.

De totale investering bestaat uit een combinatie van investeringen. De investering in besparende maatregelen, de investering voor een warmtepomp en de investering voor PV-panelen. De totale besparing is gelijk aan de bestaande jaarlijkse energielasten.

Deze rendementsberekening zal per maatregel verschillend zijn. De invloed van besparende maatregelen bepaalt de warmtevraag en daarmee het type warmtepomp. Het aantal PV-panelen wordt bepaald door de totale energievraag en zal daarmee ook wijzigen met de inzet van besparende maatregelen.

De ontwikkelingen die de energieprijzen de komende tien jaar zullen ondergaan zijn niet met zekerheid en op voorhand te voorzien en vallen daarom buiten het onderzoek.

2.8 Integrale aanpak

Een besparende maatregel beïnvloedt het transmissieverlies en dit bepaalt het benodigd vermogen van de warmteopwekker. De energievraag van de benodigde warmtepomp zal eveneens wijzigen per besparende maatregel en daarmee kan tevens het aantal benodigde PV-panelen veranderen.

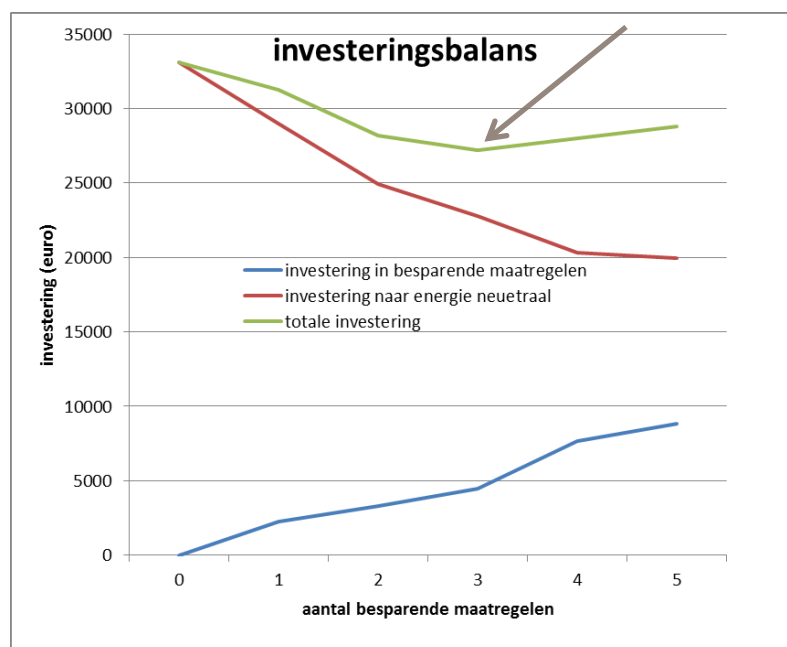
Om er achter te komen welk totaalpakket aan maatregelen het hoogste rendement heeft is een integrale aanpak vereist.

Het startpunt is een bestaande woning zonder besparende maatregelen. Voor deze situatie kan door de transmissieberekening bepaald worden wat het vermogen van de warmteopwekker moet zijn, wat de energievraag is en hoeveel PV-panelen hiervoor nodig zijn.

Elke willekeurige maatregel zal het eindresultaat beïnvloeden. Wanneer we sturen op het hoogste investeringsrendement is het van belang om de besparende maatregelen niet willekeurig te kiezen, maar deze op volgorde van rendement op investering te plaatsen. De invloed van de besparende maatregel met het hoogste rendement wordt daarom eerst berekend. De warmtevraag zal lager zijn dan zonder besparende maatregel, hierdoor kan ook de benodigde warmtepomp met de resterende energievraag wijzigen en daarmee wijzigt wellicht ook het benodigd aantal PV panelen. De totale investering die leidt tot een energie neutrale woning kan na invloed van een besparende maatregel verschillen met de situatie zonder besparende maatregel en daarmee verandert ook het investeringsrendement.

Na de berekening van de besparende maatregel met de hoogste rendement op investering volgt dezelfde berekening cyclus waarbij de invloed volgende besparende maatregel wordt berekend. Hiermee zal de energievraag cumulatief dalen.

Er ontstaat na elke besparende maatregel een nieuwe balans tussen de investering in besparende maatregelen, investering in duurzame verwarming, rest energievraag en eigen duurzame opwekking.



Grafiek 5 - investeringsbalans

Het punt waarbij de totale investering waarmee de woning energieneutraal is, het laagst is, geeft het meest efficiënte pakket aan. Het totaalpakket aan maatregelen bij dit punt heeft het hoogste rendement op investering. De terugverdientijd van de totale investering van dit pakket is het laagst van alle mogelijke combinaties.

2.9 Gemiddelde woninggegevens

Het blijkt dat in Nederland veel huizen staan met dezelfde eigenschappen. In 2011 is door agentschap NL een brochure uitgebracht met voorbeeldwoningen.¹² De voorbeeldwoningen in deze brochure zijn bedoeld om beleidsstudies naar het energieverbruik en mogelijke energiebesparing bij bestaande woningen te ondersteunen. Ze dienen als theoretische onderlegger. Van iedere voorbeeldwoning zijn de bouwkundige en installatietechnische kenmerken beschreven. Elke voorbeeldwoning vertegenwoordigt een deel van de Nederlandse woningen. De dertig voorbeeldwoningen weerspiegelen samen de Nederlandse woningmarkt.

¹² Voorbeeldwoningen 2011 (Agentschap NL, 2011)

Onlangs is voor de uitvoering van het vereenvoudigd energielabel een uitgebreidere versie van deze 30 voorbeeldwoningen uitgebracht. De voorbeeldwoningen 2011 gaan tot en met bouwjaar 2005. In de nieuwe uitgave (ter inzage verspreid onder erkende EPA adviseurs) zijn extra bouwjaar categorieën opgenomen. Ook zijn meer subtypes van meergezinswoningen opgevoerd. Meergezinswoningen zijn meerdere appartementen of maisonnettes in één complex. De positie in het gebouw is bepalend voor de energievraag. Onderin, tussen, boven, op een hoek of in het midden.

Dit heeft in eerste instantie geresulteerd in 180 voorbeeld woningen met elk gemiddelde woningkenmerken. Later is de definitieve lijst vastgesteld op 20 woningtypen onderverdeeld in 10 bouwjaar categorieën, een lijst van 200 voorbeeldwoningen met gemiddelde woningkenmerken. Van elke woning zijn de gemiddelde oppervlakten en weerstandswaarden van constructies bekend. Daarnaast is van elke woning bepaald op welke manier de woning wordt verwarmd en hoe de ventilatie is geregeld.

Deze lijst van voorbeeldwoningen inclusief eigenschappen is als basis gebruikt voor een calculatieprogramma. Uit deze lijst kan voor elke woning in Nederland een voorbeeldwoning worden gekozen. Met behulp van deze lijst van voorbeeldwoningen kan een energieadvies berekend worden voor elke woning in Nederland.

2.10 Invulling van het stappenplan

Deze methode is vormgegeven in een Excel spreadsheet. De invulling van deze calculatie en de stappen die genomen zijn worden in hoofdstuk 3 beschreven.

3 Calculatieprogramma

Om antwoord te kunnen geven op de vraag of een woning energie neutraal gemaakt kan worden met een maximale investering van 10 keer de jaarlijkse energielasten zal een aantal berekeningen moeten worden uitgevoerd. Deze berekeningen zijn in een Excel spreadsheet uitgewerkt.

3.1 Basisgegevens calculatie

De basis uitgangspunten voor de berekening is de lijst van 200 voorbeeldwoningen. Het betreft twintig verschillende woningtypen onderverdeeld in tien jaartal categorieën. Van elke afzonderlijke gemiddelde woning is het verliesoppervlakte van de verschillende constructies bekend. Tevens zijn de gemiddelde weerstandswaarden van de constructies vastgesteld en is per woning de meest voorkomende warmteopwekker en ventilatietype bepaald. Voor elke woning in Nederland is een gemiddelde woning uit deze lijst beschikbaar. Hypothetisch gezien kan dus voor elke woning in Nederland een energieadvies worden gegenereerd.

3.2 Selectie van woning

De eerste stap die gemaakt moet worden is om de bestaande woning te koppelen aan één van de voorbeeldwoningen. Deze selectie wordt gemaakt door het type woning en het bouwjaar aan te geven. Met deze twee gegevens wordt een woning uit de lijst geselecteerd en hiermee zijn direct de gemiddelde oppervlakte gegevens bekend. Daarnaast zijn de meest voorkomende energetische eigenschappen per verliesoppervlak bepaald.

3.3 Aanpassingen op de geselecteerde woning

Het is niet ongebruikelijk dat een bestaande woning naderhand is aangepast. De gemiddelde standaard waarden komen in dit geval niet overeen met de werkelijkheid. Om deze reden wordt rekening gehouden met eventuele aanpassingen op de situatie. Met deze mogelijke aanpassing zal de berekende woning meer overeenkomen met de werkelijke situatie. Dit wordt gerealiseerd door een aantal keuzemogelijkheden.

1. Type beglazing in leef- en slaapgedeelte
2. gevel, dak of vloer na-geïsoleerd?
3. Type ketel
4. Tapwatervoorziening
5. Ventilatie
6. Duurzame energie voorziening

Elke keuze is weer gekoppeld aan een vastgestelde weerstandswaarde of rendement. Na het verstrekken van deze gegevens is een representatief beeld van de betreffende unieke woning geschetst. Van alle verliesoppervlakten is nu tevens bekend wat de weerstandswaarde is, daarnaast is bekend wat voor warmteopwekker wordt gebruikt en het type ventilatiesysteem is.

Al deze gegevens worden gebruikt voor het berekenen van het bestaande warmteverlies.

3.4 Warmteverlies berekening huidige situatie

Het warmteverlies van een woning wordt bepaald door het totale warmteverlies van alle verliesoppervlakten. Deze wordt berekend door eerst de warmtestroom per constructie te berekenen. Wanneer we hier de tijd van het stookseizoen aan toevoegen kan het jaarlijks energieverlies worden berekend.

Daarnaast zijn invloeden als interne warmte, warm tapwater en energiewinst door zon intrede van invloed op het totale energieverlies.

Samen met gegevens over calorische waarde van aardgas en het rendement van de ketel wordt het totale energieverbruik berekend.

Een uitgebreide omschrijving van berekeningen wat betreft warmteverlies is gevonden op de website van Joost de Vree¹³ en dicks-website.eu/isolatiecalculator.¹⁴

Het resultaat van deze stap is een energiebalans van de eerder geselecteerde gemiddelde woning met de eventuele aanpassingen op de standaard. Het energieverlies per constructie is berekend en de totale energievraag is bekend. Aan de hand van het energieverlies kan gekeken worden naar mogelijke besparende maatregelen.

3.5 Besparende maatregelen

Het uitgangspunt is om de bestaande woning naar energieneutraal te brengen. Dit kan door middel van het duurzaam opwekken van de bestaande energievraag.

Volgens de trias energetica dient men echter eerst te kijken naar besparende maatregelen, de resterende lagere energievraag kan daarna duurzaam worden opgewekt. In dit calculatieprogramma wordt in eerste instantie de trias energetica gevolgd.

De doorberekende maatregelen hebben betrekking op het reduceren van de energievraag. Er is uitgegaan van de vier verschillende constructies die grenzen aan de buitenlucht of grond namelijk: gevel, dak, vloer en beglazing.

Van elke constructie is een aantal besparende maatregelen doorgerekend. Deze type maatregelen kunnen overigens uitgebreid worden. In eerste instantie is gekeken naar de meest voorkomende gebruikelijke maatregelen.

¹³ Warmtegeleiding, warmteoverdracht (Vree, 2015)

¹⁴ De isolatie calculator (Kleijer)

Tabel 1 -overzicht besparende maatregelen

constructie	omschrijving
Gevel	gevel isolatie aanbrengen binnenzijde
	gevel isolatie aanbrengen buitenzijde
	spouwmuur isolatie aanbrengen
dak	dak isolatie aanbrengen binnenzijde
	dak isolatie aanbrengen buitenzijde
vloer	vloer isolatie aanbrengen bovenzijde
	pur isolatie aanbrengen onderkant vloer
	isolatiefolie aanbrengen onderkant vloer
	bodem isolatie aanbrengen kruipruimte
raam leefruimte	HR++ glas aanbrengen leefruimten
	drie-voudig-glas aanbrengen leefruimten
raam slaapruimte	HR++ glas aanbrengen slaapruimten
	drie-voudig-glas aanbrengen slaapruimten

Van elke maatregel is de nieuwe Rc of U-waarde bepaald. De kostprijs is deels bepaald aan de hand van gegevens van EPA software en deels uit overleg met lokale aannemers en installateurs. De genoemde bedragen zijn gemiddelde bedragen. Uiteraard kunnen deze bedragen worden aangepast naar actuele offerte prijzen.

Om tegemoet te komen aan specifieke wensen van de klant is in het calculatieprogramma een aantal extra keuzes toegevoegd. Deze keuzes hebben te maken met de wijze van isoleren van de gevel, dak en vloer. Bij afwezigheid van een kruipruimte kan bijvoorbeeld de vloer niet aan de onderzijde worden geïsoleerd. In het geval van de gevels geldt dat men kan kiezen of de gevel aan de binnen- of buitenzijde geïsoleerd mag worden of dat men kiest voor spouwmuurisolatie. De wijze van na-isoleren van het dak hangt af van de bestaande isolatie (het dak kan niet zowel aan de binnenzijde als aan de buitenzijde geïsoleerd worden) daarnaast hangt het af van naastgelegen panden, in het geval van meerdere panden onder één dak is het lastig één pand daarvan aan de buitenkant isoleren.

Van elke constructie worden meerdere maatregelen berekend. Hieruit wordt 1 maatregel geselecteerd, namelijk de maatregel met de grootste financiële besparing per geïnvesteerde euro. Er blijven na deze stap in totaal vijf maatregelen over, voor elke constructie één.

Met de gegevens van deze besparende maatregelen wordt een nieuwe energiebalans gemaakt. Deze nieuwe energiebalans geeft een indicatie van mogelijke energiebesparing van deze specifieke woning.

3.6 Transmissieberekening

Het vermogen van de energie opwekker wordt berekend door middel van een transmissie berekening. Deze berekening is identiek aan de eerder (in paragraaf 3.4) gemaakte warmteverliesberekening

Nu geldt echter voor de buitentemperatuur niet de gemiddelde waarde in het stookseizoen, maar de ontwerp temperatuur van -10 °C.

De achterliggende gedachte hierbij is dat een woning bij een buitentemperatuur van -10 °C nog steeds warm gestookt moet kunnen worden.

3.7 Selectie type warmtepomp

De transmissie berekening bepaalt het vermogen van de opwekker en daarmee ook de selectie van de warmtepomp.

Het verbruik van de warmtepomp wordt berekend door de COP van het type warmtepomp. COP is de coëfficiënt of performance en geeft de efficiency van een warmtepomp weer.

Met behulp van de COP gegevens en de warmtevraag van de woning, wordt het verbruik van de warmtepomp berekend. Het totale energieverbruik van de woning is de som van het berekende energieverbruik van de warmtepomp en het standaard energieverbruik van dit type woning.

3.8 Berekening hoeveelheid zonnepanelen.

De laatste stap om te komen naar een energie neutrale woning betreft het zelf opwekken van de totale energievraag. Dit kan ingevuld worden door middel van Photo Voltaic Cells (PV-panelen). Het aantal PV panelen is afhankelijk van het vermogen per paneel, dit wordt weergegeven in Watt piek (Wp) en verschilt per type paneel. In deze berekening is het vermogen gesteld op 250 Wp per paneel.

De opbrengst van de panelen is sterk afhankelijk van de ligging van het paneel. De oriëntatie en de hellingshoek bepalen het grootste gedeelte van de opbrengst, daarnaast is het type paneel en omvormer van invloed op het totale rendement.

De opbrengst kan worden berekend met behulp van de instalingsfactor en de verliesfactor.

De formule hierbij is:

Opbrengst PV (kWh) = aantal Wp x instalingsfactor x verliesfactor

De instalingsfactor is afhankelijk van de stralingssterkte van de zon. In Nederland ligt dit op ongeveer 0,9. Voor de vereenvoudiging is gekozen voor de ideale positie met een verliesfactor van 1

1000Wp levert per jaar 900kWh op

	Oost										ZUID										West																			
	-90	-85	-80	-75	-70	-65	-60	-55	-50	-45	-40	-35	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90			
helingshoek	0	87	87	87	87	87	87	87	87	87	87	87	87	87	87	87	87	87	87	87	87	87	87	87	87	87	87	87	87	87	87	87	87	87	87	87	87	0		
	5	88	88	89	89	89	90	90	90	90	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	90	90	90	91	91	91	90	89	89	5	
	10	89	90	91	91	91	92	92	93	94	94	94	95	95	95	95	95	96	96	96	95	95	95	95	95	95	94	94	93	93	93	92	91	91	90	89	89	10		
	15	88	89	90	91	92	93	93	94	95	95	95	96	96	97	97	97	97	97	97	97	97	97	97	97	96	96	96	95	95	95	94	94	93	92	91	91	90	89	15
	20	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	96	97	97	97	98	98	98	98	98	98	98	98	98	97	97	96	96	96	95	95	94	93	92	91	91	90	89	88	20
	25	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	98	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	98	97	97	96	96	95	94	93	92	91	89	88	87	25	
	30	86	87	88	89	90	92	93	94	95	96	97	98	98	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	98	97	97	96	96	95	94	93	92	91	90	89	87	30	
	35	84	85	87	88	89	91	92	93	95	96	97	98	98	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	98	97	96	95	94	93	92	90	89	88	86	85	35	
	40	82	83	85	86	87	89	90	92	94	95	96	97	97	98	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	98	97	96	95	93	92	91	89	88	87	85	84	40	
	45	80	82	84	85	86	88	89	91	93	94	95	96	96	97	98	98	98	99	99	99	98	98	98	97	97	96	95	95	93	92	91	89	88	86	85	84	82	45	
	50	78	80	82	84	85	87	88	89	91	92	93	94	95	95	96	96	97	97	97	97	97	97	97	96	96	95	94	93	92	91	89	88	86	85	84	82	80	50	
	55	76	78	80	82	83	85	86	87	89	90	91	92	93	94	94	95	95	95	95	95	95	95	95	94	93	92	91	90	89	88	86	85	83	82	80	78	76	55	
	60	74	76	78	79	81	83	84	85	86	87	88	89	90	90	91	91	92	93	93	93	93	93	93	92	92	91	90	89	88	87	86	85	83	81	80	78	76	60	
	65	72	74	76	77	78	80	81	82	84	85	86	87	88	88	89	89	90	90	90	90	90	90	90	90	89	89	88	87	87	85	84	83	82	80	79	77	75	73	65
	70	69	71	73	74	75	77	78	79	81	82	83	84	85	85	86	86	86	87	87	87	87	87	87	87	86	86	86	85	84	83	81	80	79	77	76	74	72	70	
	75	66	68	70	71	72	74	75	76	78	79	80	81	81	82	83	83	83	84	84	84	84	84	84	83	83	82	81	81	79	78	77	76	74	73	71	69	68	75	
80	63	65	67	68	69	71	72	73	74	75	76	77	77	78	79	79	80	80	80	80	80	80	80	79	79	79	78	77	76	75	74	73	71	69	68	66	80			
85	60	61	63	64	65	67	68	69	70	71	72	73	73	74	75	75	76	76	76	76	76	76	76	75	75	75	74	73	72	71	70	68	67	66	64	63	85			
90	56	57	59	60	61	63	64	65	66	67	68	69	69	70	71	71	71	71	71	71	71	71	71	71	71	71	71	70	69	68	66	65	64	63	62	61	59	90		
	-90	-85	-80	-75	-70	-65	-60	-55	-50	-45	-40	-35	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90			

De tabel van Hespul

Met deze gegevens kan berekend worden hoe groot de PV installatie moet worden om in de totale energievraag te kunnen voorzien.

Het resultaat van de berekening is een woning waarvan de netto jaarlijkse energievraag nul is, er zijn diverse besparende maatregelen doorgerekend en de resterende warmtevraag wordt door een warmtepomp geleverd. De totaal benodigde energie wordt opgewekt door middel van PV-panelen.

3.9 Investeringsbalans

Het is in deze fase duidelijk welke stappen genomen kunnen worden voor het berekenen van maatregelen die leiden tot een energie neutrale woning. De volgende stappen geven duidelijkheid op de vraag of het pakket aan maatregelen de meest financieel efficiënte keuze is.

De vraag of de totale investering niet meer dan 25000 euro is of dat de totale investering niet meer dan tien keer de jaarlijkse energielasten betreft is hiermee wel beantwoord. Maar wellicht kan het efficiënter.

Om de vraag naar efficiëntie te kunnen beantwoorden moet een combinatie gelegd worden tussen a) investeren in besparende maatregelen en b) energieneutraal opwekken door middel van de combinatie warmtepomp en PV-panelen.

In de berekening van het calculatieprogramma is de efficiëntie berekening geborgd door onderstaande stappen.

Stap 1.

Met behulp van de transmissieberekening wordt bepaald wat het vermogen van de warmtepomp moet zijn (zie paragraaf 3.6). Dit wordt allereerst voor de bestaande woning uitgevoerd zonder de invloed van een besparende maatregel. Ook wordt het totale energieverbruik berekend en wordt het aantal benodigde PV-panelen bepaald.

Stap 2.

De mogelijke besparende maatregelen worden op volgorde van efficiëntie geplaatst. De maatregel met de laagste terugverdientijd wordt bovenaan geplaatst. De invloed op van deze maatregel op de energievraag wordt als eerste berekend.

Stap 3.

Dezelfde transmissie berekening als in stap 1 wordt uitgevoerd na elke besparende maatregel. Het transmissieverlies neemt cumulatief af na uitvoeren van elke volgende besparende maatregel.

Stap 4.

Na elke stap wordt de bespaarde euro per totaal geïnvesteerde euro bepaald.

De totale investering is de som van investering in besparende maatregelen, warmtepomp en PV-panelen. De besparing is het totaal van de bestaande jaarlijkse energielasten.

Stap 5.

De combinatie van maatregelen met de hoogste bespaarde euro per geïnvesteerde euro is het meest financieel efficiënte totaalpakket.

3.10 Rekenvoorbeelden

Voorbeeld1:

De transmissie van een woning is 9.930 Watt. De uitvoering van maatregel 1 (met de hoogste bespaarde euro per geïnvesteerd euro) levert een besparing van 3250 Watt. De transmissie komt dan uit op 6680 Watt. De uitvoering van maatregel 2 bespaart 1565 Watt op de transmissie. Na uitvoering van deze 2^e maatregel komt de transmissie van de woning uit op 5.115 Watt.

Voorbeeld2:

Uit de transmissieberekening volgt dat een hoekwoning uit 1970 zonder besparende maatregelen 10,7 kW bedraagt

Zonder besparende maatregel kan deze woning energie neutraal gemaakt worden door een warmtepomp met een vermogen ≥ 11 kW te installeren.

Dit betreft een warmtepomp WH14Z met een nominaal vermogen van 11,17 kW.

Het verbruik van deze warmtepomp komt uit op 7800 kWh. Het overige elektraverbruik is 3400 kWh. Het totale verbruik is 12000 kWh per jaar.

Deze energie kan onder ideale omstandigheden worden opgewekt met 50 PV panelen van elk 250 Wp.

De investering is als volgt:

Warmtepomp WH14Z	€11.000,-
PV installatie	€20.625
Totaal	€31.625

Brengt men in deze woning spouw en vloer isolatie aan en HR++ glas dan is de warmteverlies 4,73 kW en volstaat een warmtepomp met een vermogen van 5 kW, de WC08T.

Investering besparende maatregelen:	€ 4.445
Investering warmtepomp	€ 8.070
Investering in PV	€13.200
Totale investering naar e-neutraal =	€25.715

4 Verificatie calculatie methode

Het resultaat van de rekenmethode is geverifieerd met geaccrediteerde software voor het berekenen van energielabels. De gebruikte software is RaakEPA-W 10.9.27.

De eerste stap in de calculatie is de berekening van de warmtevraag. Wanneer deze resultaten afwijken van de werkelijkheid zullen alle achterliggende berekeningen minder accuraat zijn. Van een aantal werkelijke adressen is het pakket aan maatregelen welke leiden tot een energie neutrale woning bepaald en doorgerekend.

Onderstaande werkelijke adressen zijn doorgerekend.

adres	postcode	plaats	type	bouwjaar
ereprijs 24	8446SM	Heerenveen	hoekwoning	1979
G.A.Wumkesstrjitte 23	8802XJ	Franeker	tussenwoning	1974
Pastorijleane 49	8804SB	Tzum	vrijstaand	1995
Kanadeeskestjitte 13	8491BC	Akkrum	vrijstaand	1895

Tabel 2 berekende woningen

De woningtypen en bouwjaar zijn ingevoerd in de calculatie tool. Daarnaast zijn alle doorgevoerde aanpassingen of afwijkingen op de bepaalde gemiddelden in de tool bijgesteld. De resultaten zijn hieronder vermeld. Tevens is berekend hoe de woning naar energie neutraal gebracht kan gaan worden.

adres	type	bouwjaar	berekend verbruik (m ³)	investering naar E-neutraal	TvT
Ereprijs 24	hoekwoning	1979	1720	20.662	12,0 jaar
G.A.Wumkesstrjitte 23	tussenwoning	1974	1911	20.213	10,9 jaar
Pastorijleane 49	vrijstaand	1995	1823	23.410	11,8 jaar
Kanadeeskestjitte 13	vrijstaand	1895	2134	16.763	7,6 jaar

Tabel 3 resultaat energieneutraal berekening

Het werkelijk verbruik is bij de bewoners opgevraagd en vergeleken met het berekend verbruik.

adres	type	bouwjaar	werkelijk verbruik gas	afwijking
Ereprijs 24	hoekwoning	1979	1483	14%
G.A.Wumkesstrjitte 23	tussenwoning	1974	1759	8%
Pastorijleane 49	vrijstaand	1995	1100	40%
Kanadeeskestjitte 13	vrijstaand	1895	1503	30%

Tabel 4 - werkelijk gasverbruik berekende woningen

De afwijking van de bovenste twee heeft met name te maken met het warmteverlies door de beglazing op de slaapkamers. In de meeste gevallen worden

slaapvertrekken niet of minder verwarmd. Er geldt hier dan een andere delta T waardoor de warmtestroom minder zal zijn dan nu berekend.

Wanneer de gestelde beglazing 1 positie verbeterd wordt ten opzichte van het origineel zal het verschil significant verminderen.

De laatste twee woningen worden veelvuldig bijgestookt met een houtkachel. Navraag naar het energieverbruik voordat de houtkachel in gebruik was gaf een ander beeld. De houtkachel heeft het gasverbruik van zowel de Pastorijleane als de Kanadeeskestjitte met ongeveer 800m³ verminderd.

Verschil na uitfilteren factoren

adres	type	bouwjaar	berekend verbruik (m ³)
ereprijs 24	hoekwoning	1979	1572
G.A.Wumkesstrjitte 23	tussenwoning	1974	1728
Pastorijleane 49	vrijstaand	1995	1823
Kanadeeskestjitte 13	vrijstaand	1895	2134

adres	type	bouwjaar	werkelijk verbruik gas	afwijking
ereprijs 24	hoekwoning	1979	1483	6%
G.A.Wumkesstrjitte 23	tussenwoning	1974	1759	-2%
Pastorijleane 49	vrijstaand	1995	1900	-4%
Kanadeeskestjitte 13	vrijstaand	1895	2303	-8%

Tabel 5 - afwijking na aanpassing factoren

Andere van invloed zijnde factoren op het berekend energieverbruik zijn de vooraf bepaalde oppervlaktegegevens (Deze zijn gebaseerd op gemiddelden. Wanneer de werkelijkheid afwijkt, vooral van verliesoppervlakten met een lage weerstandswaarde, zal het berekend gasverbruik tevens afwijken), het gebruikersgedrag (Leeft men zuinig, doet men eerder de kachel uit of staat de thermostaat lager, dan zal het gasverbruik lager zijn) en de oriëntatie van de woning (een woning waarbij veel glasoppervlakte gericht is op het zuiden zal meer energiewinst door zoninstraling hebben)

Om een beeld te krijgen van de mogelijkheden voor de Nederlandse huishoudens is een aantal van de in Nederland meest voorkomende voorbeeldwoningen doorgerekend. Hieronder staat een overzicht van de investering en terugverdientijden.

type	bouwjaar	investering	TvT
vrijstaand	1946-1964	36.699	8,0
2-onder 1-kap	1946-1964	28.643	8,3
rijwoning tussen	1975-1982	20.410	12,1
maisonnette	1946-1964	20.850	9,9
galerijwoning	1965-1974	15.573	11,0

Tabel 6 - resultaat meest voorkomende woningtypen Nederland

5 Resultaten energieneutraal berekening

Met deze calculatiemethode kan in kaart gebracht worden welke maatregelen leiden tot een energie neutrale woning. Door gebruik te maken van de standaard gegevens uit de lijst met voorbeeldwoningen kan tevens op een snelle manier een berekening worden gemaakt zonder de woning te bezoeken. De gemiddelde oppervlaktegegevens van de constructies en bijbehorende weerstandswaarden dienen als input voor een energiebalans van de woning.

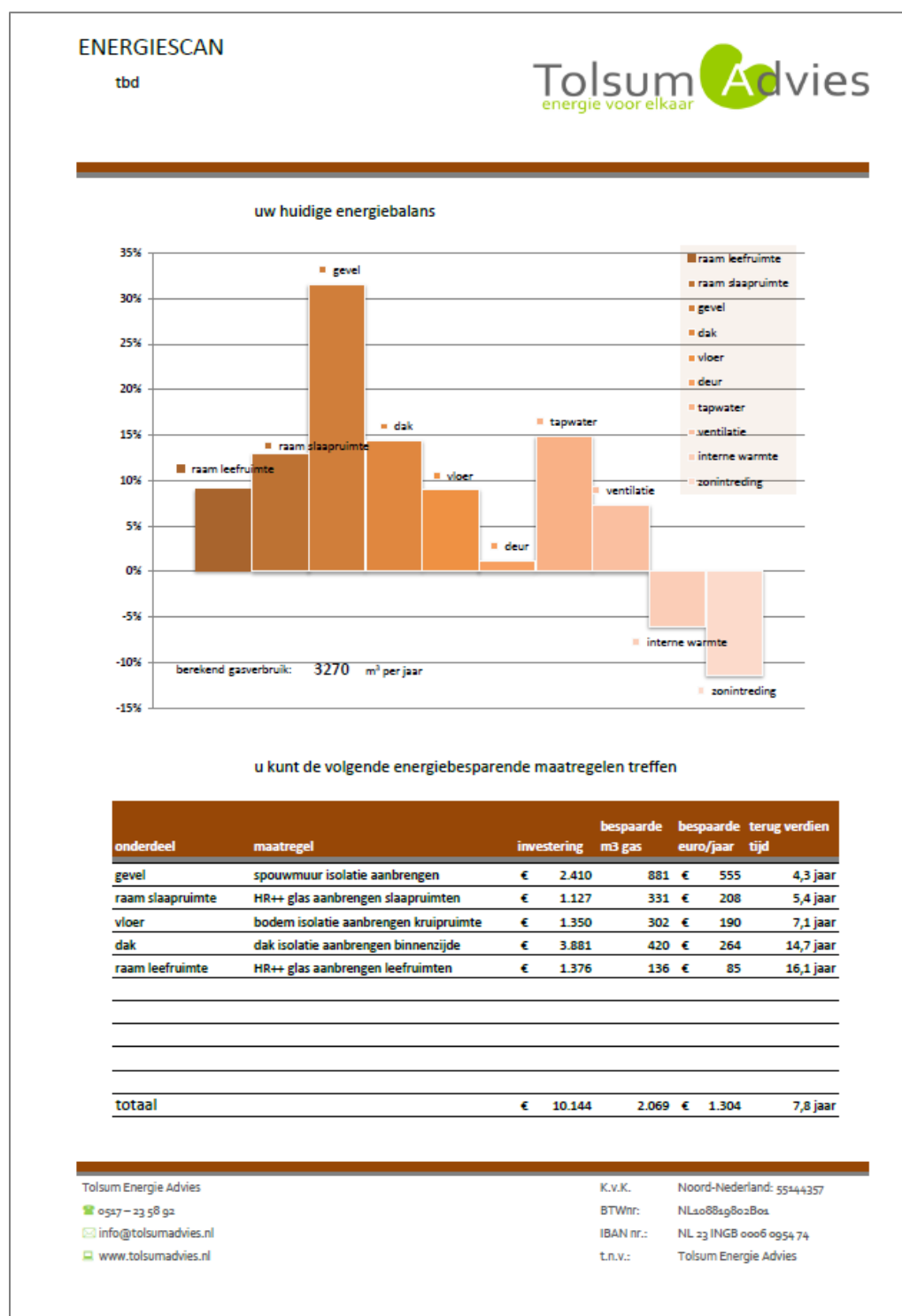
Door standaard maatregelen te definiëren kan tevens een energie QuickScan worden gemaakt waarin besparende maatregelen op volgorde van efficiëntie worden gezet.

Het meest efficiënte totaalpakket aan maatregelen wordt gevonden door de koppeling te leggen tussen besparende maatregelen, duurzame verwarming met een warmtepomp en het duurzaam opwekken van de totale elektrische energievraag.

Uit de calculatie blijkt dat niet in alle gevallen eerst alle mogelijke besparende maatregelen uitgevoerd hoeven te worden. Deze methode wijkt daarmee af van de trias energetica.

In paragraaf 5.1 - 5.3 is een voorbeeld van een berekende energiebalans, een totaal pakket naar energie neutrale woning en een investeringsbalans weergegeven.

5.1 Voorbeeld energiescan



Figuur 1 - energiebalans en besparende maatregelen

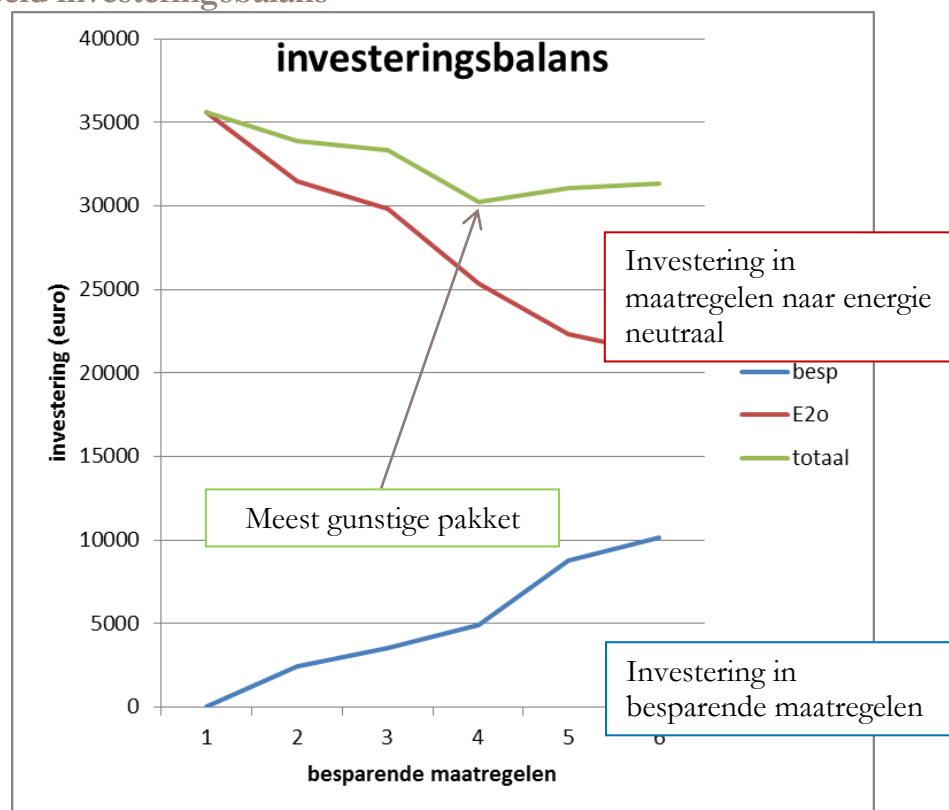
5.2 Voorbeeld energieneutraal totaalpakket

Het meest gunstige totaalpakket naar energieneutraal wordt berekend en hieronder weergegeven.

	Maatregel	investering	besparing
maatregel 1	spouwmuur isolatie aanbrengen	2.410	555
maatregel 2	HR++ glas aanbrengen slaapruimten	1.127	208
maatregel 3	bodem isolatie aanbrengen kruipruimte	1.350	190
type warmtepomp	WC010T	10.060	
aantal JAGA lowH2O			
aantal PV panelen	37	15.263	
totaal		30.210	2.907 per jaar
terugverdiend in 10,4 jaar			

Figuur 2 - totaalpakket naar energieneutraal

5.3 Voorbeeld investeringsbalans



Figuur 3 - Investeringsbalans

5.4 Berekening Nederlandse woningmarkt

Wanneer we deze reken methodiek loslaten op de gemiddelde woningtypen van de Nederlandse woningmarkt, zoals beschreven in het rapport voorbeeldwoningen 2011, dan blijkt dat 75% van de Nederlandse woningen voor minder dan €25.000,- naar energie neutraal gebracht kunnen worden.

Kijken we enkel naar de terugverdientijd dan blijkt dat 47% van de Nederlandse woningen naar energie neutraal gebracht kunnen worden met een terugverdientijd van minder dan 10 jaar.

6 Aanbevelingen

6.1 Analyse wijk – buurt – gemeente

De beschreven methode berekent een pakket aan maatregelen dat leidt tot een energie neutrale woning waarvan het investeringsbedrag zo laag mogelijk is. Deze berekening kan worden toegepast op elk willekeurig woningtype. Wanneer bekend is hoeveel van deze type woningen aanwezig is in een bepaalde regio biedt deze methode de mogelijkheid om analyses te maken voor een complete wijk, buurt, gemeente of provincie.

6.2 Lokale economie

Samen met lokale partijen (aannemers, installateurs etc.) kan met behulp van een Energie-neutraal-analyse een totaal plan worden ontwikkeld met maatregelen voor een complete wijk, buurt of gemeente. Hiermee is veel winst te behalen door efficiëntie in de uitvoering van werkzaamheden. Voor de particuliere huizenbezitters kan er veel voordeel ontstaan door een collectieve aanpak.

6.3 Geldstromen in de regio

De Nederlandse huishoudens hebben gezamenlijk ongeveer 12.6 miljard euro aan energiekosten per jaar. De huishoudens van bijvoorbeeld de gemeente Leeuwarden betalen gezamenlijk ongeveer 70-80 miljoen euro per jaar aan energie. Dit geld gaat nu naar energiemaatschappijen en blijft dus niet in de regio.

Investeren in het energieneutraal maken van woningen door lokale partijen biedt potentie voor de regionale economie door deze geldstromen in de regio te investeren.

7 Discussie

Woningkenmerken.

De lijst van 200 voorbeeldwoningen bevat gemiddelde oppervlaktegegevens per type woning uit een bepaalde jaartalcategorie. Over het algemeen kan worden gesteld dat deze maatvoering niet veel afwijkt van de werkelijkheid. Toch kan het voorkomen dat de afmetingen van de te berekenen woning dusdanig afwijkt van het gemiddelde dat de berekening scheef gaat.

Een steekproef op een aantal woningtypen kan hier meer duidelijkheid over geven. Wellicht bestaan er zelfs regionale verschillen in afmetingen.

Maatregelen.

Er is een aantal besparende maatregelen gedefinieerd. Deze besparende maatregelen bestaan uit de huidige meest voorkomende besparende maatregelen. Deze lijst is echter niet eindig en kan eenvoudig worden uitgebreid. De methodiek blijft gelijk. Het resultaat van de berekening blijft een pakket aan maatregelen met het meest gunstige rendement op investering.

PV-panelen.

Het aantal berekende PV-panelen is gebaseerd op de opbrengst van een installatie op de meest gunstige ligging. De panelen bestaan uit 250 Wp panelen met een afmeting van 1,6 m² per paneel. Er zijn inmiddels panelen op de markt waarvan de opbrengst per m² hoger ligt.

Investeringsbedragen.

Van alle mogelijke maatregelen is een investeringsbedrag ingevoerd. Dit bedrag is in een aantal gevallen gebaseerd op gemiddelde investeringsbedragen in Nederland. Deze bedragen kunnen echter worden geactualiseerd met investeringsgegevens van lokale aannemers en installateurs.

Besparingspotentie.

De besparing is gebaseerd op de bestaande berekende energiekosten voor gas en elektrisch. De werkelijke energievraag kan hiervan afwijken. Wellicht kan hiervoor een eventuele correctiefactor worden ingebouwd. Overigens is in de berekening geen rekening gehouden met energieprijsstijgingen dan wel dalingen.

8 Bibliografie

- Agentschap NL. (2011). *Voorbeeldwoningen 2011 - bestaande bouw*. Sittard: Agentschap NL.
- Fujitsu. (2015, mei 07). *Energiezuinig verwarmen en koelen*. Opgeroepen op mei 07, 2015, van www.fujitsuclimate.nl:
<http://www.fujitsuclimate.nl/toepassingen/p/woningbouw/renovatie/energiezuinig-verwarmen-en-koelen/35/>
- Hetzler, i. J. (2013). *Leeuwarden energieneutraal in 2020*. de groene rekenkamer.
- Kleijer, D. (sd). <http://www.dicks-website.eu/isolatie/calculator.html>. Opgeroepen op 01 2015, van Dick's website: <http://www.dicks-website.eu/isolatie/calculator.html>
- Mijn eigen energie. (2015, 04 12). *Fujitsu General Warmtepompen*. Opgeroepen op 04 12, 2015, van www.mijneigenenergie.nl:
<http://www.mijneigenenergie.nl/Warmtepompen-Fujitsu-General/>
- milieu centraal. (2015, 05 07). *gemiddeld energieverbruik - MilieuCentraal*. Opgeroepen op 05 07, 2015, van <http://www.milieucentraal.nl/>:
<http://www.milieucentraal.nl/energie-besparen/snel-besparen/grip-op-je-energierekening/gemiddeld-energieverbruik/>
- Ministerie van Economische Zaken. (2014, november 13). *Energie-efficiëntie in de industrie*. 's-GRAVENHAGE.
- Provinciale Staten van Fryslân. (sd). *Programmaplan_Fryslan geeft Energie*. Leeuwarden: Provinciale Staten van Fryslân.
- SNN. (2015, 07 04). *Friese Energiepremie 2013-2015*. Opgeroepen op 07 04, 2015, van [snn.eu](http://www.snn.eu): <http://www.snn.eu/friese-energiepremie/>
- SOCIAAL-ECONOMISCHE RAAD. (2013). *Energieakkoord voor duurzame groei*. Den Haag: SOCIAAL-ECONOMISCHE RAAD.
- Strengers, B., Van Doorland, R., & Meyer, L. (2013). *De achtergrond van het klimaatprobleem*. Planbureau voor de Leefomgeving. Den Haag: PBL.
- Urgenda. (2009). *KLimaatneutrale Steden in Nederland*. Urgenda.
- Vree, J. d. (2015, 5 5). *warmtegeleiding*. Opgeroepen op 5 5, 2015, van [joostdevree.nl](http://www.joostdevree.nl):
http://www.joostdevree.nl/shtmls/warmtegeleiding_meer.shtml#wet_van_fourier
- warmtepomp-info. (2015, 05 07). *warmtepomp-info, alles over warmtepompen - wat is een warmtepomp | hernieuwbare energie*. Opgeroepen op 05 07, 2015, van <http://www.warmtepomp-info.nl>: <http://www.warmtepomp-info.nl/warmtepomp/>

9 Bijlagen

A. Overzicht voorbeeldwoningen RVO

Het overzicht en achtergrond informatie wat betreft de methodiek voor het bepalen van het voorlopig energielabel is hierte raadplegen:

<http://www.rvo.nl/onderwerpen/duurzaam-ondernemen/gebouwen/energielabel/publicaties/energielabel/methodiek>

B. Gebruikte formules en constanten

In dit onderzoek is gebruik gemaakt van energetische berekeningen. In dit hoofdstuk worden de gebruikte formules en uitgangspunten nader toegelicht.

Warmtestroom

De warmtestroom van een constructie wordt bepaald door de totale warmteweerstand van de constructie en het temperatuurverschil aan beide zijden van de constructie. Een duidelijke uitleg is te vinden op de website van Joost de Vree (Vree, 2015). De Rc waarde is bekend uit de lijst met voorbeeldwoningen.

Binnen- en buiten temperatuur

De temperatuur binnen en buiten moet worden bepaald. Vanuit de wetgeving zijn rekenmethoden op het gebied van warmteverlies in de woningbouw vastgesteld. Hierin is bepaald dat de setpoint temperatuur voor een woning vastgesteld is op 18 graden Celsius.

De gemiddelde buitentemperatuur is vastgesteld op 6,12°C, dit is de gemiddelde temperatuur in het stookseizoen.

stookseizoen

Het stookseizoen is conform de berekening voor het vereenvoudigd energielabel vastgesteld van oktober tot en met april (212 dagen)

Warmteverlies berekening

De transmissieverlies van een woning bestaat uit de warmtestroom van een woning in Watt maal de tijd in seconden waarin het verlies optreedt. Aangezien we bij de bepaling van de gemiddelde buitentemperatuur uitgegaan zijn van een stookseizoen van oktober tot en met april, wordt deze periode hier ook weer gebruikt. Het betreft 212 dagen wat overeenkomt met 18316800 seconden. Het resultaat is in Joule. Het is gebruikelijk om de transmissieverliezen weer te geven in MJ (Mega Joule) met andere woorden de warmtestroom in Watt x 18,3168 Mega seconden.

Energiebehoefte bestaande situatie

De energiebehoefte is afhankelijk van het type opwekker. De warmte kan bijvoorbeeld opgewekt worden door middel van elektrische verwarming, conventionele ketel of een HR ketel. Het rendement van het type opwekker bepaald uiteindelijk de totale energievraag.

Bij een gasgestookte opwekker wordt de totale energievraag de totale transmissie (in MJ) gedeeld door de calorische waarde van aardgas (31,65 MJ/m³) maal het rendement van de opwekker.

Een deel van de formules is afkomstig van het dictaat XXX. Deze formules zijn uitgebreid met formules en constanten van de ¹⁵ isolatie calculator <http://www.dicks-website.eu/isolatie/calculator.html>

Warmteweerstand van een materiaal

¹⁵ <http://www.dicks-website.eu/isolatie/calculator.html>

Elke constructie heeft een bepaalde weerstandswaarde, deze is afhankelijk van de warmtegeleidingscoëfficiënt en de dikte van het materiaal.

Formule 1: $R_m = d/\lambda$ (m^2K/W)

Overgangsweerstand van een constructie

Wanneer een constructie grenst aan buitenlucht ontstaat een overgangsweerstand. Aan het oppervlak bestaat een dunne laag met stilstaande lucht, dit belemmert de warmtestroom door een constructie en beïnvloed hiermee de totale warmteweerstand. Er wordt onderscheid gemaakt tussen de overgangsweerstand aan de binnenzijde van een constructie R_{si} (stilstaande lucht) en de overgangsweerstand aan de buitenzijde van een constructie R_{se} .

Tabel 7 - overgangsweerstand constructies

Soort constructie	R_{si} (m^2K/W)	R_{se} (m^2K/W)
Daken met hellingshoek met horizontaal t/m 75 °	0,1	0,04
Vloer bij naar boven gerichte warmtestroom (boven verwarmde ruimte)	0,1	0,1
Vloer boven buitenlucht	0,17	0,04
Vloer boven onverwarmde ruimte of kruipruimte	0,17	0,17
Vloer grenzend aan water / grond	0,17	0
Wand grenzend aan water / grond (kelderwand)	0,13	0
Wanden en overige constructies grenzend aan buitenlucht	0,13	0,04
Wanden en overige constructies niet grenzend aan buitenlucht	0,13	0,13

Totale warmteweerstand van een constructie

De totale weerstand van een constructie is de overgangsweerstanden plus de som van de materiaal weerstanden (R_c).

Formule 2: $R_c = \sum R_m = R_{m1} + R_{m2} + R_{m3}$

Formule 3: $R_{tot} = R_{se} + R_c + R_{si}$ (m^2K/W)

De U waarde

De warmtedoorgangs coëfficiënt (U) is omgekeerd evenredig met de totale warmteweerstand van een constructie. Van glazen constructies wordt vaak alleen de U waarde weergegeven.

Formule 4: $U = 1 / R_{tot}$ (W/m^2K)

Warmtestroom door een constructie

De U waarde geeft de warmteverlies per vierkante meter per graad kelvin aan. Wanneer we hier de totale oppervlakte en het temperatuurverschil (ΔT) van een constructie aan toevoegen, dan is de warmtestroom te berekenen.

Formule 5: $Q_w = U * A * \Delta T$ (Watt)

Energieverlies door een constructie

Het totale energieverlies is afhankelijk van de constructie, het oppervlakte het temperatuurverschil en de tijdsduur. Met andere woorden de warmtestroom door

een constructie maal de tijdsduur in seconden. Het resultaat geeft het energieverlies in Watt*seconden = Joule

Formule 6: $E = Q_w * t$ (J)

Totale energieverlies woningschil

Het totale energieverlies van de woningschil is de totale warmtestroom van alle constructies maal de tijdsduur in seconden

Formule 7: $E_{\text{tot}} = \sum Q_{w(\text{tot})} * t$

Formule 8: $Q_{w(\text{tot})} = ((U_{\text{gevel}} * A_{\text{gevel}}) + (U_{\text{dak}} * A_{\text{dak}}) + (U_{\text{glas}} * A_{\text{glas}}) + (U_{\text{vloer}} * A_{\text{vloer}})) * \Delta T$

Berekende constructies

De buitenste schil van een woning bestaat uit diverse constructies. De in dit onderzoek gebruikte constructies zijn beperkt tot:

- raam slaapgedeelte
- raam leefgedeelte
- gevel
- dak
- vloer
- deur

warmtebalans woning

naast energieverlies als gevolg van warmtestroom door constructies bestaan er nog andere energiegebruikers die de warmtebalans van een woning beïnvloeden. Hierbij moet men denken aan warm tapwater, ventilatie, interne warmte en zon intreding.

Tapwater

Het energieverbruik voor het tapwater is berekend aan de hand van de rekenmethoden voor het vereenvoudigd energielabel.

Formule 9:

Ventilatie

Het warmteverlies door ventilatie wordt bepaald door de hoeveelheid ventilatie en het temperatuurverschil van de ventilatielucht.

Het debiet is afhankelijk van het type ventilatiesysteem, natuurlijke ventilatie of mechanische ventilatie.

Formule 10: $q_{ve} = \rho * c_p * \Phi_v * \Delta T * (1 - \gamma_{WTW})$

- ρ = dichtheid van lucht (1,2 kg/m³)
- c_p = soortelijke warmte van lucht (1004 J/kgK)
- Φ_v = ventilatiehoeveelheid in m³/sec
- γ_{WTW} = rendement van warmteterugwinning

interne warmte

de aanwezigheid van personen, het koken en gebruik van warm water en het elektriciteitsverbruik produceert interne warmte. Een persoon produceert

ongeveer 80 Watt aan warmte. Het koken en warm watergebruik levert 9,5 GJ per jaar = 450 watt en het elektriciteitsverbruik ongeveer 350 W. Ongeveer 40 % komt ten goede aan interne warmte van de woning.

Formule 11: $q_{iw} = \text{aantal personen} * 80 + 450 + 350 \text{ (Watt)}$

Zoninstraling

De gemiddeld zoninstraling over het stookseizoen bij willekeurige oriëntatie van de beglazing is gesteld op 50 Watt per m² glasoppervlak. Als gevolg van belemmeringen (schaduwval) en de absorptie van glas zit er een reductiefactor op van 40%.

Formule 12: $q_{zon} = A_{glas} * 50 * (1-0,4)$

C. Elektriciteitsverbruik

per woningtype

In dit onderzoek is tevens gekeken naar het energieverbruik per woningtype. Dit is uitgevoerd met gegevens van het CBS. Gezocht is op kerncijfers wijken en buurten. Van de gegevens kerncijfers wijken en buurten 2013 zijn de volgende onderwerpen gekozen:

Onderwerp

Energie

Gemiddeld elektriciteitsverbruik

Gemiddeld elektriciteitsverbruik totaal □

Naar woningtype

Appartement □

Tussenwoning □

Hoekwoning □

Twee-onder-één-kap-woning □

Vrijstaande woning □

Regio

Gemeenten

Gemeenten van 2013 (alfabetisch)

Nederland

Nederland □

Leeuwarden

Leeuwarden □

Leeuwarderadeel

Leeuwarderadeel □

Dit resulteert in een overzicht met elektriciteitsverbruik per woningtype in Leeuwarden, Leeuwarderadeel en Nederland.

Per huishouden

Het elektriciteitsverbruik is sterk afhankelijk van het aantal bewoners. Onderstaand overzicht komt van de website van milieu centraal.

Aantal personen in een huishouden	Gemiddeld elektriciteitsverbruik (kWh)
1	2.317
2	3.424
3	4.092
4	4.604
5	5.292
6	5.430

(milieu centraal, 2015)

Afhankelijk van de te onderzoeken regio kunnen deze gegevens gebruikt worden. In dit onderzoek zijn de gegevens voor Nederland meegenomen. In de tool bestaat de mogelijkheid te kiezen voor welke gemeente in Fryslân het elektriciteitsgebruik meegenomen moet gaan worden.