



Planbureau voor de Leefomgeving

CONSEQUENTIES VAN MODELKEUZES VOOR HET BEREKENEN VAN ENERGIEBESPARING DOOR WONINGISOLATIE

Boris van Beijnum, Steven van Polen, Ruud van den Wijngaart

30-09-2024

PBL

Colofon

CONSEQUENTIES VAN MODELKEUZES VOOR HET BEREKENEN VAN ENERGIEBESPARING DOOR WONINGISOLATIE

© PBL Planbureau voor de Leefomgeving

Den Haag, 2024

PBL-publicatienummer: 5441

Contact

Boris.vanBeijnum@pbl.nl

Auteurs

Boris van Beijnum (PBL), Steven van Polen (PBL), Ruud van den Wijngaart (PBL)

Met dank aan

Harmen Jorritsma (RVO) voor de vormgeving van de dataset met testwoningen en de berekeningen met en tekstuele bijdragen over NTA8800, NEN7120NV en Maatwerkadvies. Vera Rovers (TNO) voor de berekeningen met en tekstuele bijdrage over de Warmteprofielengenerator. Kim Fernández Gómez (TNO) en Wessel Poorthuis (PBL) voor de berekeningen met en tekstuele bijdrage over Hestia. Joris Berben (INNAX) voor het verklaren van de verschillen tussen energielabelmethoden in een aparte notitie. Laure Itard (TU Delft/ TNO) voor het kritisch lezen van de literatuurstudie in dit rapport. Frans Koene (TNO) voor zijn bijdrage aan de fit-for-purpose tabel met betrekking tot de Warmteprofielengenerator. Thije Teunis (stagiair PBL) voor zijn bijdrage aan de modelvergelijking. Ook wil het PBL de leden van de klankbordgroep en de reviewers bedanken voor het meedenken over de vorm van het onderzoek en het kritisch meelesen met het rapport.

Redactie figuren

Beeldredactie PBL

Eindredactie en productie

Uitgeverij PBL

Toegankelijkheid

Het PBL hecht veel waarde aan de toegankelijkheid van zijn producten. Mocht u problemen ervaren bij het lezen ervan, dan kunt u contact opnemen via info@pbl.nl. Vermeld daarbij s.v.p. de naam van de publicatie en het probleem waar u tegenaan loopt.

Delen uit deze publicatie mogen worden overgenomen op voorwaarde van bronvermelding: Van Beijnum, B. et al (2024), *Consequenties van modelkeuzes voor het berekenen van energiebesparing door woningisolatie*, Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.

Het PBL doet onderzoek naar de leefomgeving en het leefomgevingsbeleid in Nederland en daarbuiten. Denk aan milieu, natuur en ruimtelijke inrichting. Met onze verkenningen, analyses en evaluaties leveren we strategische kennis voor beleid, politiek, maatschappelijke organisaties en het bredere publiek. We geven daarbij niet alleen feiten en inzichten over het hier en nu, maar kijken ook vooruit naar de nabije en verdere toekomst. We doen ons onderzoek gevraagd en ongevraagd, onafhankelijk en wetenschappelijk onderbouwd.

Inhoud

Samenvatting	5
Bevindingen: Methoden voor energiebesparing in woningen	8
Aanbevelingen	16
1 Inleiding	19
1.1 Projectdoelen	20
1.2 Scope: wat wordt in deze studie bedoeld met energiebesparing?	21
1.3 Isolatiestandaard en -streefwaarden	22
1.4 Typen energieverbruiksmodellen	23
1.5 Typen resultaten voor de netto warmtevraag	26
2 Inzichten uit de literatuur: warmtevraag en energiebesparing bij woningen	30
2.1 Warmtevraag in de praktijk	31
2.2 De energieprestatiekloof in Europese context	33
2.3 Onderzoek naar energiebesparing op basis van meetgegevens	34
2.4 Inzichten uit de literatuur	43
3 Over de modelvergelijking	48
3.1 Probleemstelling	48
3.2 Uitvoeringsorganisaties en klankbordgroep	52
4 Methode modelvergelijking	53
4.1 Geselecteerde modellen voor vergelijking	53
4.2 Methode kwalitatieve analyse modellen	54
4.3 Methode kwantitatieve analyse en vergelijking modelresultaten	55
4.4 Dataset testwoningen	57
4.5 Aannames modelvergelijking	65
5 Inzichten kwalitatieve analyse	66
6 Resultaten kwantitatieve analyse	69
6.1 Resultaten Referentieverbruik geven goede indicatie van huidige gemiddelde netto warmtevraag	71
6.2 Voorbeeldfiguur	79
6.3 Beschrijving modeluitkomsten en verklaring van de verschillen	80
6.4 Samenvatting observaties	103
7 Discussie	105
7.1 Onzekerheden in de vergelijkingsmethode	105
7.2 Modelspecifieke onzekerheden	108
7.3 Aandachtspunten	109

8	Conclusies	111
8.1	De netto warmtevraag van woningen	111
8.2	Energiebesparing door (woning)isolatie	113
8.3	Aanbevelingen voor modelontwikkeling	115
8.4	Fit-for-purposetabel	116
	Referenties	118
	Bijlagen	122
	Bijlage 1: Maastrichtstudie naar energiebesparing	122
	Bijlage 2: Beschrijving modellen en resultaten kwalitatieve analyse	127
	Bijlage 3: Opzet kwalitatieve analyse in Excel	146
	Bijlage 4: Vergelijking warm tapwater en koken	148
	Bijlage 5: Selectie isolatiepakketten	150
	Bijlage 6: Omzetting Rc-waarden naar Hestia-isolatie-niveaus	152
	Bijlage 7: Resultaten kwantitatieve vergelijking modellen	154
	Bijlage 8: VIVET-gemiddelden, het aantal woningen per gemiddeld verbruik ruimteverwarming	171
	Bijlage 9: Tabellen netto warmtevraag startverbruik en besparing naar minimaal doellabel D	175
	Bijlage 10: Woningen met ongunstige compactheid, gebouwd tussen 1975 en 2005	180

Samenvatting

Hoeveel energie een huishouden verbruikt, varieert sterk. Het is onder meer afhankelijk van de woningkenmerken en het gedrag van bewoners. Richting de klimaattransitie wordt isolatie van woningen vaak als belangrijke stap gezien. Mede door de grote variatie in het energieverbruik tussen huishoudens kan de effectiviteit van isolatiemaatregelen echter sterk verschillen, zelfs als mensen vergelijkbare woningen hebben.

Beter zicht op de verwachtingen rond energiebesparing na isolatie door de resultaten van energieverbruiksmodellen te vergelijken

In dit rapport beschrijven we de inzichten van een literatuurstudie. Daarin stellen we vast dat er zeer weinig empirisch onderzoek beschikbaar is naar energiebesparing. Met empirisch onderzoek bedoelen we dat de energiebesparing in woningen, specifiek door isolatie, gemeten is over een langere periode en bij gelijkblijvende bewoners. Empirisch onderzoek naar energiebesparing was in het verleden moeilijk door een gebrek aan data: energieverbruiksgegevens van het CBS waren (nog) niet altijd volledig. Bovendien vallen deze gegevens onder de Algemene verordening gegevensbescherming (Avg), waardoor ze alleen onder voorwaarden beschikbaar zijn voor onderzoek. Daarnaast is het zeer moeilijk om aan informatie te komen over isolatiemaatregelen, zoals welke maatregelen zijn genomen en wanneer.

Mede door dit gebrek aan empirische data wordt teruggevallen op energieverbruiksmodellen, die een schatting van het verbruik maken. Er bestaan veel verschillende modellen, elk met zijn eigen doel en methode. De maatschappelijke verwachtingen van energiebesparing door isolatie leunen zwaar op dit soort energieverbruiksmodellen. Het is daarom belangrijk om beter inzicht te krijgen in de eigenschappen van deze modellen, hoe de resultaten zich tot elkaar verhouden en hoe de modellen in de praktijk worden gebruikt. In deze studie hebben we daarom een methode ontwikkeld op basis van een dataset 'testwoningen'. Zo kunnen we de resultaten van verschillende energieverbruiksmodellen met elkaar vergelijken. In de resultaten bieden we een eerste indruk van de bandbreedte van modelresultaten voor de warmtevraag van woningen, voor een selectie van veelvoorkomende woningtypen uit diverse bouwperiodes.

Verskillende typen energieverbruiksmodellen

Het energieverbruik van woningen wordt meestal in twee fasen vastgesteld:

- Voorafgaand aan isolatiemaatregelen wordt het verbruik van een woning bepaald, dit noemen we het 'startverbruik'.
- Daarna worden verbeteringen verondersteld van de isolatiekwaliteit van woningen en wordt de daarbij behorende energiebesparing bepaald.

Grofweg bestaan er drie typen modellen om het energieverbruik te berekenen, als we kijken naar het doel van het model. Zo is er een methode met als doel om het individuele energieverbruik te berekenen (specifiek voor één woning en huishouden), zijn er methoden met als doel om een gemiddeld energieverbruik te berekenen (voor analyse van grotere groepen woningen) en zijn er methoden voor berekening van het energieverbruik voor normering. Dit laatste is bijvoorbeeld het toewijzen van een energielabel of om te controleren of een nieuwbouwwoning aan de daarvoor gestelde verbruiksnorm voldoet.

Hiernaast kunnen we energieverbruiksmodellen onderverdelen in de twee typen benaderingen die worden gebruikt om energieverbruik en de energiebesparing bij isolatiemaatregelen te schatten: een bouwfysische benadering en een statistische benadering.

Er bestaan grote verschillen tussen modelresultaten. Uitnodiging: voeg energieverbruiksmodellen toe aan de fit-for-purposetabel

Uit de modelvergelijking blijkt dat er (nog) grote verschillen bestaan in de resultaten tussen de verschillende energieverbruiksmodellen. Dit komt ook gedeeltelijk door de doelstelling van de modellen, dus dit hoeft geen probleem te zijn. Er ontstaat echter wel een probleem als het verkeerde model voor het verkeerde doel wordt ingezet omdat dit tot verkeerde verwachtingen kan leiden over de effecten van isolatiemaatregelen. Er is echter weinig zicht op het gebruik van modellen in het verleden. Ook blijft onbekend welke modellen met welk doel nu worden gebruikt door gemeenten en de markt.

Om beleidsmakers in ieder geval handvatten te geven voor het toekomstig gebruik van modellen hebben we een fit-for-purposetabel ontwikkeld. Daarin geven we een overzicht welk model waarvoor ingezet kan worden. Organisaties met eigen energieverbruiksmodellen (anders dan de modellen in deze studie) worden uitgenodigd om ook resultaten van hun methode toe te voegen aan de vergelijking op basis van de ‘testwoningen’ en richtlijnen voor het gebruik van hun model toe te voegen aan de ‘fit-for-purposetabel’.

Uit de modelvergelijking blijkt ook dat er nog vrij grote verschillen bestaan tussen resultaten van modellen die voor hetzelfde doel zijn ontwikkeld. Dit geldt specifiek voor modellen die zijn ontwikkeld om een gemiddeld energieverbruik te berekenen. De resultaten zijn relevant voor beleidsmakers die dit type modellen gebruiken in de besluitvorming rondom isolatiemaatregelen en geven inzicht in de onzekerheid die bij dit type schatting bestaat. De modelvergelijking helpt bij de interpretatie van de modelresultaten en geeft inzicht in de verhoudingen tussen resultaten.

Bij gebrek aan empirische data is het (nog) niet mogelijk om vast te stellen welk van deze modellen het dichtste in de buurt komt van de werkelijke energiebesparing in de praktijk. Het is daarom van groot belang dat er op korte termijn meer empirisch onderzoek wordt gedaan naar energiebesparing. Het PBL doet daarvoor diverse aanbevelingen in de conclusies (hoofdstuk 8), veelal op basis van de studies die in het literatuuronderzoek zijn besproken. Hoewel deze studies nog ontoereikend zijn om modelresultaten mee te valideren, illustreren ze bijvoorbeeld wel hoe informatie over isolatiemaatregelen kan worden verkregen uit bijvoorbeeld subsidieaanvragen of factuurgegevens van isolatiebedrijven. Een belangrijke methodische aanbeveling is om resultaten voor energiebesparing door isolatie – verkregen op basis van gemeten energieverbruiken over een langere periode – te vergelijken met gegevens van het energieverbruik van een controlegroep. Op die manier kan worden gecorrigeerd voor energiebesparingseffecten die niet kunnen worden toegeschreven aan de isolatiemaatregelen.

Daarnaast bestaan er voor modelleers mogelijkheden om bestaande modelmethoden verder te ontwikkelen (in afwachting van validatie met nog te ontwikkelen empirische data). Zo raadt het PBL aan om bij de inschatting van gemiddelde energiebesparingseffecten in elk geval de uitgangssituatie te ‘fitten’ op het huidige verbruik. Hierdoor worden de verschillen kleiner tussen effectinschattingen van energiebesparing van verschillende modellen, en sluiten ze aan bij het gemeten energieverbruik.

BEVINDINGEN

BEVINDINGEN

Bevindingen: Methoden voor energiebesparing in woningen

Eén van de belangrijke sporen om de gebouwde omgeving klimaatneutraal te maken is door de isolatie van woningen. Maar hoe groot is de bijdrage die isolatie kan leveren aan het halen van deze doelen? Hier worden verschillende boodschappen over afgegeven. Die verschillen worden mede veroorzaakt door verschillen in de rekenmethoden. Met dit rapport geven we inzicht in de effecten die methodische keuzes kunnen hebben op het verwachte effect van woningisolatie. Dit rapport schetst een beeld van voortschrijdend wetenschappelijk inzicht, maar laat ook zien dat er nog veel stappen moeten worden gezet. Met dit rapport kan het maatschappelijke debat rondom isolatie verbeterd worden, maar het bevat helaas niet alle antwoorden. Er zal nog vervolgonderzoek moeten plaatsvinden om de verschillen tussen methoden verder te verklaren en te verkleinen en om modelmatig verkregen resultaten voor energiebesparing te kunnen valideren met praktijkgegevens. Desalniettemin geeft dit rapport een bruikbaar ijkpunt voor de lezer die de keuzes rondom het schatten van de effecten van isolatie goed wil begrijpen.

Waar zijn maatschappelijke verwachtingen rond energiebesparing op gebaseerd?

Energiebesparende maatregelen, zoals isolatie van woningen, worden steeds vaker genomen in relatie tot het klimaat- en energiebeleid. Eén van de verwachtingen is dat isolatiemaatregelen het energieverbruik van een huishouden verminderen. Hoe groot men verwacht dat dit effect kan zijn, verschilt echter. Neem het voorbeeld van de gemeente Amsterdam.

In 2014 deed de Rekenkamer Amsterdam onderzoek naar de effectiviteit van subsidie voor labelstappen vanuit de gemeente. Bij een 'labelstap' wordt de energiestap van een woning dusdanig verbeterd, dat hij een beter energielabel krijgt. De gemeente beoogde in de periode 2011-2014 tussen de 48.000 en 72.000 labelstappen te realiseren, wat zou moeten leiden tot een vermindering van ongeveer 23 kiloton CO₂-uitstoot. Uit het onderzoek van de Rekenkamer Amsterdam bleek dat het effect van een (willekeurige) labelstap op het werkelijke energieverbruik veel kleiner was dan door de gemeente Amsterdam werd verwacht. De subsidieregeling was hierdoor erg kostbaar (Kooij & Hoffman 2014).

De gemeente Amsterdam (dienst Wonen, Zorg en Samenleven) kon zich niet vinden in de lezing van de Rekenkamer Amsterdam, omdat energiebesparing en CO₂-reductie niet de belangrijkste doelen van de labelstappensubsidie zouden zijn (Kooij & Hoffman 2014). Wooncomfort en de betaalbaarheid van de energierekening waren volgens de gemeente minstens zo belangrijk als het energiebesparingseffect. De Rekenkamer Amsterdam kon dit echter niet rijmen met de inhoud van de diverse (bestuurlijke) documenten, rapportages en andere gemeentelijke uitingen over de labelstappensubsidie. Hieruit bleek namelijk een duidelijke rode draad, waarbij telkens de verlaging van het energieverbruik als doel werd genoemd.

De verwachting van de subsidieregeling van de gemeente Amsterdam lijkt illustratief voor een bredere maatschappelijke opvatting: dat het isoleren van woningen leidt tot een aanzienlijke reductie van de energiebehoefte voor verwarming -en daarmee indirect tot een lagere energierekening voor bewoners.

Er zijn andere motivaties denkbaar om woningen te isoleren, zoals wooncomfort in de vorm van geluidsisolatie; het verminderen van tocht; woningwaarde; uitstraling van de woning en/of het geschikt maken van de woning voor verwarming met lage temperatuur warmtevoorzieningen. Maar in de maatschappelijke dialoog lijken besparing van energie en daarmee lagere kosten de belangrijkste redenen voor woningisolatie. Kijken we echter naar de conclusies van de Rekenkamer Amsterdam over de effectiviteit van de subsidies voor labelstappen, dan zien we het belang om nader onderzoek te doen naar het verband tussen energiebesparing en woningisolatie.

Of energie daadwerkelijk bespaard wordt is bijzonder complex en is, naast de eigenschappen van de woning, sterk afhankelijk van het gedrag van de bewoners

De potentie van energiebesparing is sterk afhankelijk van het huidige verbruik van een huishouden. In theorie geldt dat hoe meer energie een huishouden verbruikt, hoe meer energie bespaard kan worden. Hoe hoog het huidige energieverbruik is, verschilt echter veel per huishouden. Elke combinatie van een individuele woning en huishouden is uniek in eigenschappen en gedrag.

De verschillen in verbruik hangen aan de ene kant samen met de woning (bouwjaar, type woning, mate van isolatie, uitvoeringskwaliteit van maatregelen) en aan de andere kant met het gedrag van de bewoners (zoals de thermostaatinstellingen, hoe vaak bewoners het raam openzetten en hoe vaak ze thuis zijn). Het is hierdoor lastig om het huidige energieverbruik van huishoudens in één getal te vatten. Om een indruk te krijgen van de grote verschillen tussen individuele huishoudens kunnen we bijvoorbeeld kijken naar de spreiding in de energierekening van huishoudens in 2024. Het CBS heeft dit bepaald voor combinaties van verschillende woningtypen en aantallen bewoners (zie tabel B1). In de tabel is te zien dat er een grote spreiding zit in het energieverbruik per huishouden, zelfs bij dezelfde woningtypen met dezelfde bewonersaantallen.

Tabel B1
Spreiding energierekening 2024 [€ januari 2024] voor diverse combinaties van bewoners en woningen

	Gemiddeld	Laagste 10%	Mediaan (50%)	Hoogste 10%
Een bewoner in nieuw klein appartement	1400	840	1380	1960
Een bewoner in oud klein appartement	1600	890	1550	2330
Twee of meer bewoners in oud klein appartement	2060	1240	1970	2980
Een bewoner in oude kleine rijwoning	1840	1050	1770	2720
Een bewoner in oude middelgrote rijwoning	2140	1180	2050	3190
Twee of meer bewoners in oude kleine rijwoning	2310	1380	2240	3320
Twee of meer bewoners in nieuwe middelgrote rijwoning	2190	1250	2130	3180
Twee of meer bewoners in oude middelgrote rijwoning	2550	1480	2480	3690
Twee of meer bewoners in oude grote rijwoning	3330	1830	3210	5000
Twee of meer bewoners in oude grote vrijstaande woning	3990	2060	3810	6030

Deze tabel geeft de spreiding in de energierekening in euro (prijsspeil januari 2024) van diverse combinaties van bewoners en woningtypen. De tabel geeft de gemiddelde energierekening, de gemiddelde energierekening van de laagste en de hoogste 10 procent binnen de combinatie van huishoudtype en woningtype en de mediaan. Er zit een factor twee verschil tussen de energierekening van het laagste en hoogste deciel. Bron: CBS 2024.

Er zijn dus grote verschillen in energieverbruik, niet alleen per woningtype, maar ook per huishouden. Dat werkt ook door in de potentie van energiebesparing door isolatiemaatregelen, omdat dit direct beïnvloed wordt door het huidige energieverbruik per huishouden. Daarnaast zijn er nog andere factoren die de potentie van energiebesparing beïnvloeden:

- Verschillende aanbieders bieden verschillende kwaliteit bij het uitvoeren van isolatiemaatregelen. Ook wanneer bewoners zelf isolatie plaatsen, verschilt de kwaliteit van de maatregelen. Hierdoor kunnen isolatiemaatregelen minder effectief worden.
- Ook komt het voor dat bewoners na toepassing van maatregelen keuzes maken die zorgen dat de effecten van maatregelen gedempt worden (het zogenaamde 'rebound effect'). Ze zetten dan bijvoorbeeld de thermostaat hoger omdat het verlies nu minder is. Het comfort gaat hierdoor omhoog, maar het effect van isolatiemaatregelen wordt juist kleiner.

Er zijn weinig empirische data beschikbaar over energiebesparing door woningisolatie

Empirische data over de toepassing van energiebesparing zijn zeer beperkt beschikbaar. Denk hierbij aan onderzoek waarbij het effect van isolatiemaatregelen op het energieverbruik van woningen over een langere periode wordt onderzocht, op basis van meetgegevens en bij gelijkblijvende bewoners. Dit onderzoek was in het verleden lastig door een gebrek aan data: er was geen informatie beschikbaar over de toepassing van isolatiemaatregelen (welke maatregelen er wanneer genomen werden) en daarnaast waren de energieverbruiksdata in het verleden (nog) niet volledig.

Inmiddels komt er bij het CBS meer detailinformatie beschikbaar over het energieverbruik van individuele woningen. Deze data vallen onder de Algemene verordening gegevensbescherming en zijn als zodanig niet openbaar beschikbaar: data over energieverbruik worden alleen onder strikte voorwaarden beschikbaar gesteld voor specifieke onderzoeksdoeleinden. Als dit kan worden gecombineerd met data over de toepassing van isolatiemaatregelen, ontstaan er mogelijkheden voor onderzoek naar de effecten van energiebesparing.

De beperkte beschikbaarheid van de empirische data maakt echter dat er gezocht moet worden naar andere methoden om energiebesparing in te schatten. Mede om deze reden maken we gebruik van energieverbruiksmodellen. Daarmee kunnen we een indicatie krijgen van het potentieel van energiebesparing door toepassing van isolatiemaatregelen. In deze studie worden deze modellen vergeleken om een gevoel te krijgen welke methoden beschikbaar zijn en in hoeverre resultaten van modellen overeenkomen die voor vergelijkbare toepassingen zijn ontwikkeld. Het is belangrijk dat we beter gaan begrijpen hoe het gebruik van energieverbruiksmodellen de maatschappelijke verwachtingen beïnvloedt van energiebesparing door isolatie. De besluitvoering is immers niet geholpen met een diffuus beeld.

Met de dataset testwoningen die in dit onderzoek is vormgegeven, kunnen resultaten van energieverbruiksmodellen worden vergeleken

Het effect van isolatiemaatregelen is al lang onderwerp van onderzoek. De complexiteit van het onderwerp maakt dat het in het verleden lastig was om modelresultaten van onderzoeken en studies met elkaar te vergelijken. Dat kwam door verschillen in methode, data, tijdsperiode en diverse andere zaken. In dit onderzoek hebben we een methode ontwikkeld waarmee de uitgangspunten van de verschillende modellen voor de berekening van energiebesparing zo op elkaar aansluiten, dat we een eerste vergelijking van resultaten kunnen maken. Dit is mede dankzij de inzet van de instituten die de betreffende energieverbruiksmodellen ontwikkelen.

Daarnaast hebben we een dataset gemaakt met ‘testwoningen’: een beperkt aantal (fictieve) woningen met uiteenlopende isolatiekwaliteit. De dataset met testwoningen maakt het mogelijk om modelresultaten te vergelijken voor dezelfde groep woningen. Het biedt als het ware een gecontroleerde testomgeving. Dit maakt het mogelijk om de energieverbruiksmodellen met elkaar te vergelijken en zo uitspraken te doen over de verschillen tussen de modellen.

Bij het lezen van deze bevindingen is het van belang in gedachten te houden dat het onderzoek naar energiebesparing een continu proces is waarop wordt voortgebouwd op voortschrijdende inzichten. Ook dit rapport is één van de stappen in dit proces en helpt het complexe onderwerp energiebesparing steeds beter in de vingers te krijgen. Hieronder gaan we verder in op de verschillende modellen en de drie verschillende methoden die erin gebruikt worden.

Er bestaan verschillende soorten modellen voor het energieverbruik van woningen: modellen voor normering van het verbruik, voor het verbruik van individuele woningen of voor het gemiddelde verbruik van groepen woningen

Diverse organisaties (zoals adviesbureaus) en kennisinstellingen (universiteiten, maar ook PBL en TNO) hebben verschillende modellen ontwikkeld om een inschatting te geven van het effect van isolatiemaatregelen. Deze hebben verschillende doelen. Ze kennen hun eigen benaderingen en aannames. Een belangrijk onderscheid tussen de modellen zit in de methodische basis: wordt gewerkt vanuit bouwfysische uitgangspunten, of op basis van statistische data?

Wanneer de basis bouwfysisch is, betekent dit dat de modellen gebaseerd zijn op de fysieke eigenschappen van een woning. De inschattingen van de effecten van energiebesparing worden gemaakt op basis van natuurkundige berekeningen (op basis van verschillende vormen van warmteoverdracht, de isolatiekwaliteit, de warmteweerstand van bouwdeelen etc.). Voor de parameters van de berekening waar geen informatie over bekend is wordt gebruik gemaakt van ‘standaardwaarden’. Die zijn het resultaat van onderzoek of aannames, of ze zijn beleidsmatig bepaald. Vaak is het energieverbruiksgedrag van bewoners de onbekende parameter. Er bestaan verschillende bouwfysische modellen voor verschillende toepassingen, met elk hun eigen doel. In deze studie nemen we de volgende bouwfysische modellen mee:

- De NTA8800: het model dat onder andere wordt gebruikt om een energielabel mee te bepalen.
- Hestia: een rekenmodel ontwikkeld door PBL en TNO dat onder andere wordt gebruikt voor de Klimaat- en Energieverkenning.
- De Warmteprofielgenerator: een model van TNO dat onder andere wordt gebruikt in het Energietransitiemodel van Quintel.
- Het Maatwerkadvies (MWA): dit model wordt gebruikt voor Verbeterjehuis, de website van MilieuCentraal waar bewoners informatie krijgen over maatregelen die ze kunnen nemen.

Naast de bouwfysische modellen wordt ook gewerkt met energieverbruiksmodellen die gebaseerd zijn op statistische data, zoals het Referentieverbruik-model. Dit model werd ontwikkeld door het PBL en wordt onder andere gebruikt voor de Startanalyse aardgasvrije buurten. We nemen dit model ook mee in het voorliggende onderzoek. Zoals eerder aangegeven worden modellen ontwikkeld met een bepaald doel voor ogen: een type schatting voor het energieverbruik van woningen, met een bepaalde toepassing in gedachten. Grofweg onderscheiden we drie methoden die toegepast worden in de verschillende modellen voor berekening van energiegebruik. Deze geven we visueel weer in Bevindingen figuur 1 en onder de figuur lichten we ze toe.

Bevindingen figuur 1

Methoden voor berekening netto aardgasvraag voor ruimteverwarming

In kubieke meter aardgas per jaar bij identieke woningen

Methode 1:

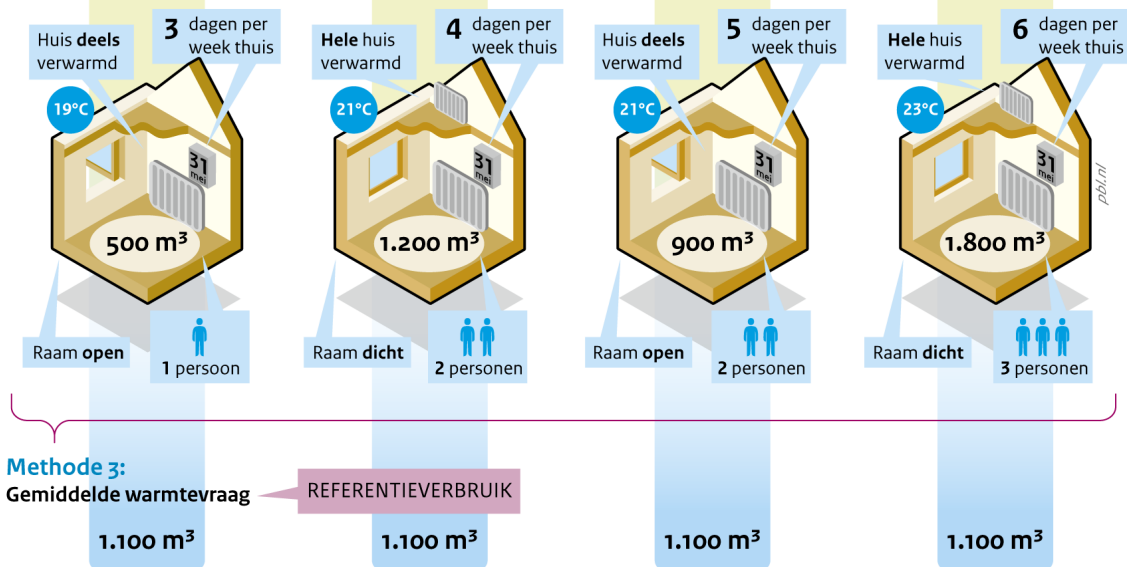
Warmtevraag op basis van energielabel

NORMERINGSMODEL NTA8800

Methode 2:

Individuele warmtevraag

VERBRUIK VOLGENS CBS STATISTIEK



Bron: PBL

Deze figuur geeft drie methoden, elk met een eigen doel, om de warmtevraag van vier woningen te schatten. Namelijk: de warmtevraag op basis van een normeringsmodel, een individuele warmtevraag of een gemiddelde warmtevraag. De woningen zijn identiek, maar verschillen van elkaar op het gebied van de bewoners en hun gedrag. Het verbruik van individuele huishoudens in vergelijkbare woningen kan sterk verschillen, onder andere onder invloed van gedrag: zo zijn bewoners niet altijd even vaak thuis, stellen ze de thermostaat in op verschillende temperaturen, verwarmen ze het hele huis of juist bepaalde ruimtes en doen sommige bewoners het raam vaak open waar andere bewoners de ramen doorgaans gesloten houden. Ook de samenstelling van huishoudens in vergelijkbare woningen verschilt (denk aan het aantal bewoners of de leeftijd).

Methode 1: normeringsmodel

Een bekende manier om energieverbruik te berekenen, is die voor het energielabel van bestaande woningen (het huidige model heet NTA8800, de voorloper is NEN7120NV¹). Deze methode noemen we een 'normeringsberekening' en ze wordt gebruikt om te kijken of nieuwbouwwoningen aan de energieprestatie-eisen van het Bouwbesluit voldoen. In de normeringsberekening zitten parameters waar doorgaans weinig informatie over beschikbaar is, bijvoorbeeld hoe vaak bewoners thuis zijn of op welke temperatuur ze de thermostaat instellen.

Daarom is beleidsmatig gekozen voor standaardwaarden die leiden tot een hoog resultaat voor het energieverbruik. Het moet immers voorkomen worden dat een gebrek aan informatie kan worden ‘beloond’ met een goed energielabel.

Een voorbeeld van zo’n onbekende parameter is het ‘Aandeel onverwarmde ruimten leidingverlies’ in de NTA8800. Deze factor geeft het aandeel aan van de leidingen die door onverwarmde ruimten lopen. Hierdoor is meer energie nodig om het leidingwater te verwarmen of warm te houden. Als het precieze aandeel leidingen in onverwarmde ruimten onbekend is, wordt hiervoor in NTA8800 15 procent aangehouden. In de praktijk ligt deze factor waarschijnlijk lager. Hoe lager de factor, hoe lager het energieverbruik (Van den Brom et al. 2022). In de meeste gevallen is het energieverbruik uit de normeringsberekening veel hoger dan het energieverbruik in de praktijk.

Methode 2: individuele warmtevraag

Sommige energieverbruiksmodellen zijn bedoeld om een ‘individueel energieverbruik’ te berekenen dat aansluit bij de specifieke situatie van een huis en het bijbehorende huishouden. Denk hierbij aan de ‘verbetercheck’ op Verbeterjehuis.nl. Deze tool is gebaseerd op een variant van het Maatwerkadvies. Met deze ‘op maat gemaakte berekening’ wordt besparingsadvies gegeven dat goed aansluit bij de specifieke situatie van de bewoner(s).

In dit geval worden diverse belangrijke eigenschappen van een bouwfysische berekening uitgevraagd bij de bewoner en hoeft er geen gebruik te worden gemaakt van standaardwaarden. Het verbruik van individuele huishoudens in vergelijkbare woningen kan sterk verschillen, bijvoorbeeld onder invloed van gedrag. Zo zijn bewoners niet altijd even vaak thuis en stellen ze de thermostaat in op verschillende temperaturen. Ze verwarmen het hele huis of juist alleen bepaalde ruimtes. Sommige bewoners doen het raam vaak open, waar anderen de ramen doorgaans gesloten houden. Ook de samenstelling van huishoudens in vergelijkbare woningen verschilt, denk aan het aantal bewoners of de leeftijd.

Methode 3: gemiddeld energieverbruik

Andere energieverbruiksmodellen zijn ontwikkeld om een indicatie te krijgen van het ‘gemiddelde’ energieverbruik van groepen woningen. De woninggroepen bestaan meestal uit combinaties van type (zoals vrijstaand, rijwoning, appartement), bouwperiode, oppervlakte, eigendom en/of energielabel. De volgende modellen zijn in deze studie hiervoor onderzocht: het Referentieverbruik, Hestia, de Warmteprofielengenerator en het Maatwerkadvies (MWA). Zoals eerder aangegeven is bij het Referentieverbruik gekozen voor een statistische benadering om het gemiddelde energieverbruik te schatten. De andere modellen zijn gebaseerd op een bouwfysische benadering. Bij het bepalen van het gemiddelde energieverbruik met een bouwfysisch model wordt met de diverse parameters van de berekening zoveel mogelijk aangesloten bij de praktijk. Standaardwaarden worden dus voornamelijk ‘representatief’ gekozen.

Hoewel een berekend gemiddeld verbruik niet per se hoeft aan te sluiten bij het werkelijke verbruik van individuele woningen (gezien de grote diversiteit die eerder is beschreven), kan dit type berekening wel gebruikt worden om schattingen te maken van de gemiddelde energie- en emissiereductie bij groepen. Dit geldt ook voor het woningenbestand van bijvoorbeeld een woningcorporatie, buurt of gemeente, of voor de Nederlandse woningvoorraad als geheel.

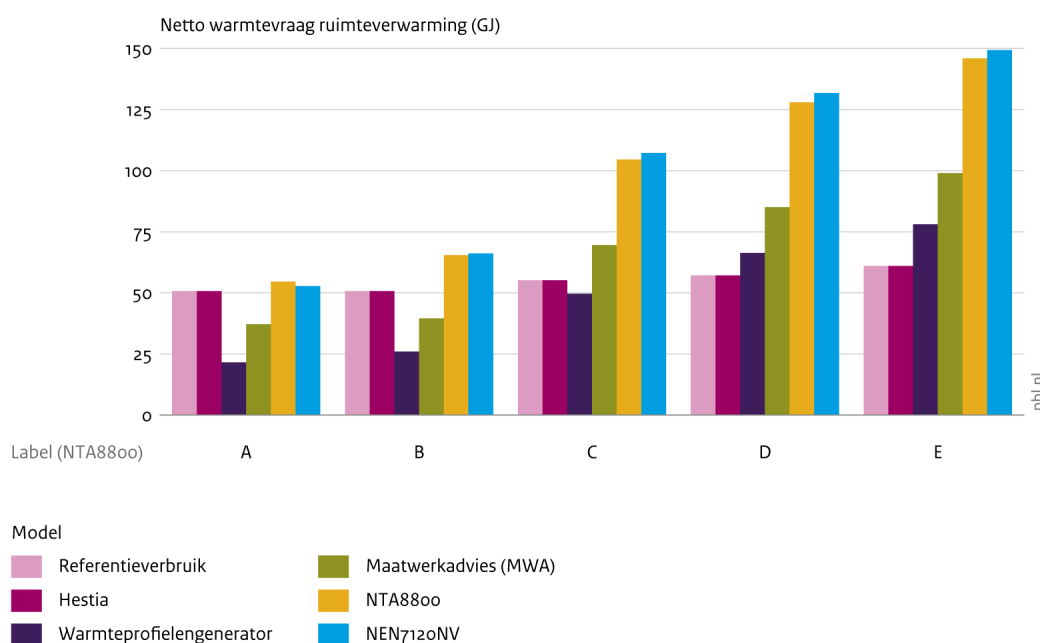
De resultaten van normeringsmodellen verschillen veel van de resultaten van modellen voor gemiddeld energieverbruik

Uit de vergelijking van de resultaten van de NTA8800 (en de voorloper NEN7120NV) en de modellen voor gemiddeld energieverbruik blijkt een substantieel verschil bij de inschatting van het huidige energieverbruik. Dit is conform onze verwachting, omdat de normeringsmodellen ontwikkeld zijn om normen te testen en niet om een exacte inschatting te geven van het gemiddelde verbruik van een woning. Het verschil zit met name in de keuzes voor de diverse standaardwaarden die worden gehanteerd voor gedrag, en in andere aspecten die van invloed zijn op het energieverbruik van huishoudens.

In het Maatwerkadvies (een model voor gemiddeld energieverbruik) is een eerste stap gezet om op basis van onderzoek meer representatieve standaardwaarden te bepalen. Daardoor komen met deze methode de inschattingen van het verbruik dichterbij de gemeten statistische waarden. Figuur B2 geeft een indruk van het verschil in de resultaten voor het netto energieverbruik van een vrijstaande woning (gebouwd tussen 1946 en 1964) tussen normeringsmodellen (NTA8800 en NEN7120/NV) en modellen die een gemiddeld energieverbruik berekenen.

Figuur B2

Netto warmtevraag bij vrijstaande woning (1946 – 1964)



Bron: PBL, TNO, RVO (modelversie 2023)

Deze figuur geeft resultaten voor de netto warmtevraag van een vrijstaande woning, gebouwd tussen 1946 en 1964 van zes modellen. NTA8800 en NEN7120NV zijn normeringsmodellen. De andere modellen zijn ontwikkeld om een gemiddeld energieverbruik te berekenen.

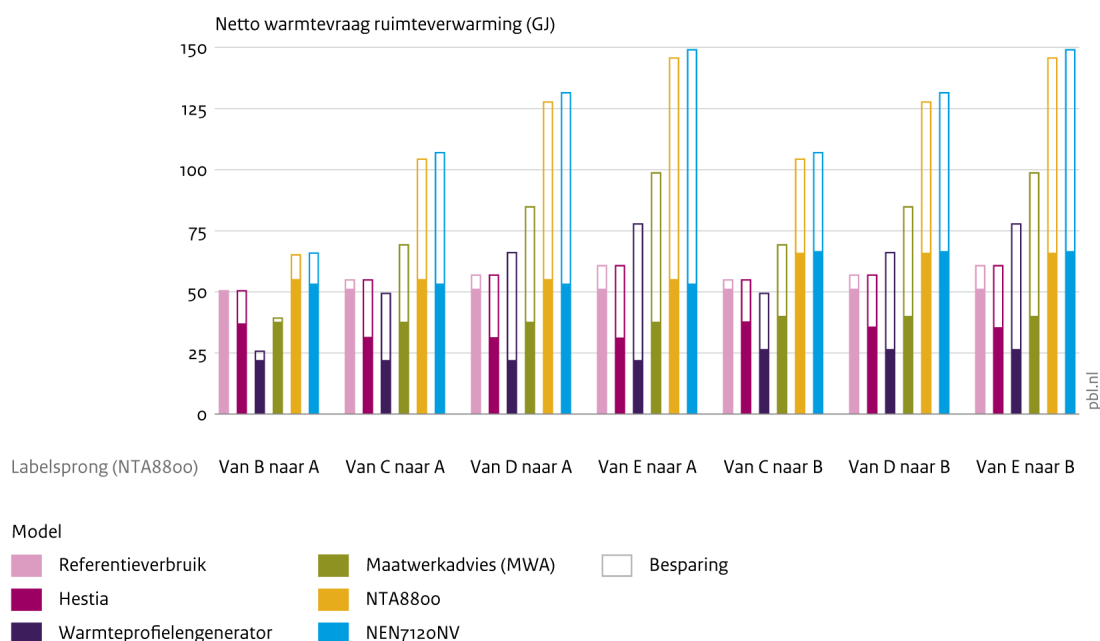
Tussen modellen voor gemiddeld energieverbruik onderling bestaan ook nog grote verschillen in resultaten

Ook binnen de modellen waarmee gemiddeld energieverbruik berekend wordt, is nog een significante spreiding van de resultaten te zien. Het gaat daarbij om de verschillen tussen de modellen het Referentieverbruik, Hestia, de Warmteprofielengenerator en het Maatwerkadvies.

Het Maatwerkadvies zit aan de bovenkant van de schattingsbandbreedte (lees: relatief veel energiebesparing bij isolatiemaatregelen ten opzichte van de andere modellen), het Referentieverbruik en Hestia zitten aan de onderkant van de schattingsbandbreedte (lees: relatief weinig energiebesparing bij isolatiemaatregelen).

Het verschil tussen het Maatwerkadvies, de Warmteprofielengenerator en de andere twee modellen zit met name in de inschatting van het huidige verbruik. Doordat deze inschatting bij het Maatwerkadvies al hoger ligt, valt er ook meer energie te besparen. Een verschil tussen het model Referentieverbruik en de andere modellen zit in de benadering voor energiebesparing. Bij het Referentieverbruik is deze gebaseerd op statistische verschillen in gemeten gasverbruik tussen (huidige) energielabels. Bij de andere modellen zit hier een bouwfysische benadering achter. Figuur 3 geeft een indruk van het verschil in resultaten voor de energiebesparing (wanneer er veronderstellingen worden gedaan over een verbetering van de isolatiekwaliteit) bij een vrijstaande woning (gebouwd tussen 1946 en 1964) tussen normeringsmodellen (NTA8800 en NEN7120/NV) en modellen die een gemiddelde besparing berekenen, en de onderlinge verschillen tussen modellen die een gemiddelde besparing berekenen.

Figuur B3
Besparing bij vrijstaande woning (1946 – 1964) naar doellabel A of B



Bron: PBL, TNO, RVO (modelversie 2023)

Bovenstaande figuur geeft resultaten van zes modellen voor de besparing bij de testwoning 'vrijstaand, gebouwd tussen 1946 en 1964' bij een verbetering van de isolatiekwaliteit (in de vorm van energielabelsprongen). De balk (inclusief) open contour geeft de geschatte netto warmtevraag in de uitgangssituatie, de open contour geeft de geschatte besparing naar de doelsituatie.

Elk van de methoden om energieverbruik te berekenen, kent zijn voor- en nadelen. Er is op dit moment niet te zeggen welk energieverbruiksmodeel een betere inschatting geeft van energiebesparing. Wel kan worden gezegd dat de gemiddelde verbruiksmodeellen een bandbreedte geven van mogelijke besparingseffecten, maar dat deze bandbreedte nog groot is.

Daarbij heeft de keuze om bij het startverbruik uit te gaan van statistisch gemeten verbruiken, een grote invloed op de mogelijke effecten van isolatiemaatregelen. De effecten van isolatiemaatregelen vallen dan, in de meeste situaties, lager uit dan binnen de andere methoden.

Nu het steeds beter mogelijk wordt om modellen beter aan te laten sluiten bij de praktijk, wordt de verwachting van energiebesparing door isolatie lager

Er is (nog) weinig empirisch onderzoek beschikbaar om modelschattingen voor ‘gemiddelde’ energiebesparing mee te kunnen valideren. Toch proberen onderzoekers binnen de mogelijkheden die er zijn om bouwfysische modellen beter aan te laten sluiten bij de gemeten statistische verbruiken. Zo worden de standaardwaarden, die worden gebruikt in een berekening van de gemiddelde energiebesparing, steeds meer in lijn gebracht met de (gemiddelde) praktijk. Ook worden energiestatistieken van het CBS steeds gedetailleerder. Dit maakt het mogelijk om schattingen van het energieverbruik te ‘fitten’ op het gemeten energieverbruik van woningen.

Het lijkt erop dat de verwachtingen van de effecten van isolatiemaatregelen op energiebesparing lager worden naarmate de berekeningen op basis van nieuw onderzoek meer in lijn worden gebracht met de (gemiddelde) gemeten verbruiken. Ter illustratie: de methode die gebruikt wordt voor de informatie op de website van MilieuCentraal is in oktober 2022 verbeterd, door standaardwaarden in de NTA8800-berekening in lijn te brengen met de praktijk (de nieuwe methode heet ‘het Maatwerkadvies’, in dit onderzoek ook afgekort tot MWA). Met de nieuwe methode zijn de schattingen van de energiebesparingseffecten per isolatiemaatregel twintig tot veertig procent lager dan bij de methode die daarvoor door MilieuCentraal werd gebruikt.

Aanbevelingen

Mede door een gebrek aan empirisch onderzoek naar energiebesparing door woningisolatie, leunen maatschappelijke verwachtingen voor deze besparing sterk op modellen, zoals die hiervoor zijn beschreven. Om te kijken in hoeverre resultaten van modellen overeenkomen, die voor vergelijkbare toepassingen zijn ontwikkeld, hebben we in deze studie een methode ontwikkeld waarmee we deze modellen kunnen vergelijken. De modelvergelijking helpt om energieverbruiksmoedellen en hun resultaten beter te begrijpen en om ze in de toekomst beter te kunnen gebruiken. Ondertussen is het van groot belang dat er meer empirisch onderzoek wordt gedaan naar energiebesparing door isolatie.

Er is meer empirisch onderzoek nodig naar energiebesparing in de praktijk, op basis van meetgegevens over een langere periode

Er moet meer empirisch onderzoek worden gedaan naar energiebesparing in de praktijk. Zo kunnen modelresultaten worden gevalideerd voor een gemiddelde energiebesparing bij isolatie. Er komt steeds meer informatie beschikbaar die empirisch onderzoek naar energiebesparing mogelijk maakt: zo zijn de meetgegevens die door het CBS worden geregistreerd nauwkeuriger en hebben ze een hogere dekkingsgraad. Dit komt doordat van steeds meer woningen het energieverbruik bekend is. Ook wordt steeds meer informatie verzameld over isolatiemaatregelen².

² Daar staat tegenover dat de diversiteit in woningen toeneemt, bijvoorbeeld met betrekking tot installaties zoals all-electric warmtepompen, hybride warmtepompen, bijverwarming met

Het PBL raadt aan om empirisch onderzoek naar energieverbruik te baseren op meetgegevens over meerdere jaren en om het te laten voldoen aan tenminste een paar eigenschappen. In de conclusies van de verdiepende rapportage (hoofdstuk 8) worden hiervoor diverse aanbevelingen gedaan.

Bij energieverbruiksmodellen is het belangrijk om te kijken of het model wel geschikt is voor de beoogde toepassing: is het ontwikkeld voor normering, of om een gemiddeld of individueel verbruik te berekenen?

Zoals aangegeven heeft het energieverbruik dat wordt berekend met een normeringsmodel weinig relatie met het energieverbruik van woningen in de praktijk. Er schuilt risico in het gebruik van dit type modellen voor toepassingen buiten het doel waar ze voor zijn ontwikkeld. Ze kunnen bijvoorbeeld beter niet gebruikt worden als indicatie voor een ‘gemiddeld’ energieverbruik of voor het berekenen van terugverdientijden. Wordt het model hiervoor wel gebruikt, dan is het belangrijk om hierbij af te wegen wat de gevolgen zijn voor de kwaliteit en de bruikbaarheid van de uitkomsten, bijvoorbeeld omdat terugverdientijden in de praktijk waarschijnlijk hoger zijn. Verder zeggen resultaten voor de gemiddelde warmtevraag weinig over het energieverbruik van individuele woningen. De warmtevraag en de besparing door isolatie kunnen namelijk in individuele gevallen sterk afwijken.

Uitnodiging: voeg ook andere energieverbruiksmodellen toe aan de fit-for-purposetabel die binnen dit onderzoek is vormgegeven

Binnen dit project is een ‘fit-for-purposetabel’ vormgegeven die handvatten biedt aan beleidsmakers, modellers en gemeenten om energieverbruiksmodellen goed te gebruiken binnen hun eigen projecten. We hebben deze tabel gemaakt om ervoor te zorgen dat verwachtingen rond de energiebesparing bij isolatie — die kunnen leven bij beleidsmakers, gemeenten, onderzoekers, woningcorporaties, etc. — op vergelijkbare en uitlegbare uitgangspunten zijn gebaseerd. Het is van belang dat ook andere energieverbruiksmodellen, bijvoorbeeld die worden toegepast door adviesbureaus, worden toegevoegd aan de fit-for-purposetabel en aan de modelvergelijking op basis van de ‘testwoningen’. Met dat doel zal de dataset met testwoningen apart worden gepubliceerd: we willen andere organisaties met eigen energieverbruiksmodellen uitnodigen om de testwoningen te analyseren en de resultaten toe te voegen aan de modelvergelijking.

persoonsverwarmingsinstallaties (denk aan infraroodpanelen, elektrische dekens, etc. die veelal onbekend zijn) en ‘uniforme’ groepen daardoor steeds kleiner worden. Ook steeds meer woningen hebben isolatiemaatregelen waarvan niet altijd bekend is welke dat zijn.

VERDIEPING

VERDIEPING

1 Inleiding

Energie besparen door je woning te isoleren: dat speelt een belangrijke rol in het Klimaatakkoord en in de transitie die de samenleving moet maken richting 2050. De verwachting is dat woningisolatie de warmtevraag significant beperkt en daarnaast het comfortniveau en de gezondheid van bewoners verbetert.

In deze studie ligt de focus op energiebesparing. We gaan in op de voor- en nadelen van verschillende methoden om energiebesparing vast te stellen. De verwachte energiebesparing door woningisolatie is onlosmakelijk verbonden met de warmtevraag in woningen: vaak geldt dat hoe meer warmte een woning verbruikt, hoe meer energie in theorie kan worden bespaard.³ Daarom besteden we in dit rapport expliciet aandacht aan modelschattingen voor de ‘netto warmtevraag’ van woningen.

Opvallend is dat er nog maar weinig onderzoek is gedaan naar energiebesparingseffecten door woningisolatie, op basis van gemeten verbruikscijfers en over een langere periode. Een belangrijke reden hiervoor is een gebrek aan informatie: het CBS verkrijgt sinds 2004 verbruikscijfers van netbeheerders op adresniveau, maar de kwaliteit van deze informatie is duidelijk verschillend in de periode tot en met 2012. Daarna is de informatie verbeterd. Zo zijn er sinds 2019 nauwelijks nog ontbrekende woningen. Verbruiksgegevens van woningen vallen onder de Algemene verordening gegevensbescherming (AVG). Om de privacy van bewoners te beschermen, is het gebruik van hun energieverbruiksgegevens en de publicatie van afgeleide producten aan strenge voorwaarden verbonden. Het is ook moeilijk om aan data te komen over isolatiemaatregelen, zoals welke isolatiemaatregelen zijn genomen en wanneer: deze informatie kan alleen via enquêtes verkregen worden. Dit type onderzoek is duur en lastig om uit te voeren.

Verwachtingen van energiebesparing zijn tot dusver vooral een product van modellen. Modellen worden echter voor uiteenlopende doeleinden ontwikkeld, met telkens andere methoden en doelgroepen. Op basis van eerder onderzoek zijn er aanwijzingen dat er grote verschillen bestaan tussen modelresultaten (Van den Wijngaart & Van Polen 2020). Het is echter de vraag in hoeverre deze verschillen nog steeds bestaan bij de huidige generatie energieverbruiksmodellen. Ook is de vraag of modelresultaten vergelijkbaar zijn die voor dezelfde toepassing zijn bedoeld.

In de praktijk worden diverse energieverbruiksmodellen gebruikt voor dezelfde toepassingen. Zo blijkt uit een recente analyse van het PBL dat gemeenten variërende modellen hebben gebruikt bij de totstandkoming van de Transitievisies warmte (Van der Molen et al. 2023a). De veelheid aan modellen en de verschillende methoden, definities en resultaten leiden tot afwijkende beelden en verwachtingen met betrekking tot energiebesparing. Hierdoor ontstaat onduidelijkheid over het potentieel van besparing en dit kan leiden tot vertraging van het besluitvormingsproces.

³ Dit is niet altijd zo: er kan sprake zijn van een grote woning met een relatief hoge warmtevraag (bijvoorbeeld door het gedrag van de bewoners), maar met goede isolatie waardoor er nog maar weinig isolatiemaatregelen mogelijk zijn. De warmtevraag is dan wel hoog, maar het besparingspotentieel is laag.

Het is daarom van groot belang dat (overheids)organisaties die betrokken zijn bij de warmtetransitie met elkaar afstemmen en coördineren over het gebruik van energiemodellen voor de gebouwde omgeving. Dit rapport biedt onderzoekers, beleidsmakers en gemeenteambtenaren het sterk benodigde theoretische kader om modelresultaten voor energiebesparing beter te kunnen interpreteren en om ze in een breder landschap aan modelresultaten te kunnen plaatsen. De aanvullende producten van het project, een 'fit-for-purposetabel' en een modelvergelijkingsmethode in de vorm van de 'dataset testwoningen' biedt beleids- en gemeenteambtenaren de mogelijkheid om resultaten voor energiebesparing van adviesbureaus te bevragen en modelresultaten in de toekomst beter geïnformeerd te gebruiken.

In deze inleiding definiëren we de doelen van het PBL-project 'Methoden voor energiebesparing in woningen' en stellen we vast wat we in deze studie verstaan onder het begrip 'energiebesparing'. Verder beschrijven we de isolatiestandaard- en streefwaarden: begrippen die geregeld terugkomen in de tekst. Ook gaan we in op verschillende typen energieverbruiksmodellen en typen resultaten voor de netto warmtevraag.

1.1 Projectdoelen

Het project is tot stand gekomen op initiatief van het PBL, in samenwerking met TNO en RVO en in samenspraak met onder andere het ministerie voor Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties (BZK). Het PBL beoogt met dit project meerdere doelen te behalen:

- Het verzamelen en structureren van inzichten uit de literatuur met betrekking tot de warmtevraag van woningen en energiebesparing door isolatiemaatregelen op basis van meetgegevens, voor zover beschikbaar. De nadruk ligt hierbij op literatuur waarin energiebesparing door (isolatie)maatregelen in Nederlandse woningen wordt onderzocht op basis van gemeten verbruiksgegevens.
- 'Proof-of-concept'-modelvergelijking. Er spelen veel vrijheidsgraden bij de inschatting van energiebesparing. Tot dusver bestond er geen dataset— met een situatie van een woning voorafgaand aan én na het nemen van isolatiemaatregelen— waarmee energieverbruiksmodellen met elkaar kunnen worden vergeleken. De eerste stap van dit onderzoek is daarom de ontwikkeling van een vergelijkingsmethode. Daarmee kunnen we kijken of de resultaten van verschillende energieverbruiksmodellen voor de gebouwde omgeving kunnen worden vergeleken (voor dezelfde groep woningen).
- In een vervolgstap worden de resultaten van de modellen ook daadwerkelijk vergeleken. In dit project doen we een (eerste) directe vergelijking van de nieuwe generatie energieverbruiksmodellen voor woningen. Het gaat hierbij om de modellen die gangbaar zijn en die op diverse punten aangrijpen op de beleidsvorming en -beoordeling. In de resultaten van het project worden de verschillen tussen de modellen expliciet gemaakt. De resultaten bieden een eerste indruk van de bandbreedte van modelresultaten voor de warmtevraag van woningen en de energiebesparing door isolatiemaatregelen. Dit geldt voor een selectie van veelvoorkomende woningtypen en bouwperiodes, diverse gebouweigenschappen en aanmerkelijke variatie in de isolatiekwaliteit.
- Het verschaffen van inzicht aan beleidsmakers met betrekking tot de resultaten van verschillende gangbare energieverbruiksmodellen. Op hoofdlijnen (op basis van oorspronkelijke doelen en uitgangspunten) proberen we de verschillen te verklaren.

- Diverse kennispartijen samenbrengen om een gezamenlijk beeld te krijgen van geschikte modeltoepassing en verdere ontwikkeling. Een zogenoemde fit-for-purposetabel is onderdeel van dit streven. Deze tabel geeft gebruikers (beleidsmakers, modellers, adviesbureaus) handvaten voor goed gebruik van de modellen die in deze studie zijn betrokken. De fit-for-purposetabel wordt als aparte publicatie aangeboden naast dit rapport.

1.2 Scope: wat wordt in deze studie bedoeld met energiebesparing?

Wanneer onderzoek wordt gedaan naar het energiebesparingseffect door isolatiemaatregelen is er altijd sprake van een berekening gebaseerd op definities of aannames, of dit onderzoek nu plaatsvindt op basis van gemeten verbruiksdata of op basis van modelberekeningen. Wanneer voor onderzoek naar energiebesparing gebruik wordt gemaakt van meetgegevens, moet de warmtevraag van een woning immers over een langere periode worden gemeten, waarna de (gemeten) warmtevraag op een bepaald moment in de tijd moet worden vergeleken met de warmtevraag op een eerder, vastgesteld referentiemoment. Een andere methode is om het verbruik van een woning met verschillende energiebesparende maatregelen modelmatig te berekenen en de uitkomsten te vergelijken.

Er kan semantisch onderscheid worden gemaakt tussen een ‘methode’ en een ‘model’. In dit rapport wordt ‘methode’ begrepen als de wijze waarop het energieverbruik van een woning wordt berekend en de energiebesparing bij isolatiemaatregelen. Met ‘model’ wordt de implementatie van de methode bedoeld in een software-tool of middel, waarmee de methode gebruikt kan worden voor een analyse. In dit rapport wordt zowel gesproken over de ‘modellen’ als over de achterliggende (reken)‘methoden’.

Er zijn diverse manieren waarmee energie in een woning kan worden bespaard:

- Door veranderingen in gedrag, bijvoorbeeld door de thermostaat lager te zetten of gericht te stoken per ruimte.
- Door gebruik te maken van efficiëntere installaties of door de radiatoren goed af te stellen
- Door het nemen van isolerende maatregelen in het dak, de gevel, de ramen of de vloer.

De focus van dit project ligt op het energiebesparingseffect dat door modellen worden geschat als gevolg van (pakketten van) isolatiemaatregelen. Er worden geen aanvullende⁴ aannames gedaan met betrekking tot energiebesparing door (bewuste beïnvloeding van) bewonersgedrag of door het gebruik van andere installaties. Voor zover er literatuur beschikbaar is over het energiebesparingseffect (op basis van meetgegevens) door isolatiemaatregelen, beschrijven we die in de literatuurstudie in hoofdstuk 2.

De ‘netto warmtevraag’ is de warmtevraag van de woning, exclusief de verliezen in de installaties. Dit wordt ook wel de ‘functionele vraag’ genoemd. Over het algemeen is voor drie functies warmte nodig: ruimteverwarming, warm tapwater en koken.

⁴ Aannames over bewonersgedrag of installaties worden wel meegenomen als die onderdeel uitmaken van de modelschatting voor energiebesparing.

Ruimteverwarming vormt doorgaans het grootste aandeel in de totale warmtevraag. De warmtevraag (per functie of totaal) inclusief de installatieverliezen noemen we ‘*metervraag*’. Isolatiemaatregelen hebben vooral invloed op de (netto) warmtevraag voor ruimteverwarming. Binnen de kaders van de modelvergelijking van dit project wordt ‘energiebesparing’ daarom geïnterpreteerd als:

‘Het (berekende of verwachte) effect op de netto warmtevraag voor ruimteverwarming van een woning als gevolg van een ander isolatieniveau van de gebouwschil. De ‘besparing’ is het verschil in de netto warmtevraag voor ruimteverwarming mét de desbetreffende isolatiemaatregel (in een specifieke toekomstige periode), en de geschatte netto warmtevraag zonder de isolatiemaatregel.’

1.3 Isolatiestandaard en -streefwaarden

Belangrijke begrippen met betrekking tot het beleid voor woningisolatie zijn de isolatiestandaard en -streefwaarden. De begrippen en hun plaats in het beleid worden in deze paragraaf uitgelegd.

1.3.1 Isolatiestandaard

Sinds de jaren '80 worden middels het Bouwbesluit steeds strengere eisen gesteld aan de energieprestatie van nieuwbouwwoningen⁵ en woningen die ingrijpend gerenoveerd worden. Voor bestaande woningen gelden deze eisen niet. Om te voorkomen dat huiseigenaren in oudere woningen maatregelen nemen waar ze spijt van zouden kunnen krijgen, zoals isolatie die later onvoldoende blijkt te zijn om het huis comfortabel te kunnen verwarmen met een warmtevoorziening met (zeer) lage temperatuur⁶, werd in 2021 conform de afspraak in het Nederlandse Klimaatakkoord de ‘*standaard voor woningisolatie*’ ontwikkeld.

Met de isolatiestandaard krijgen woningeigenaren een referentie voor wat ze kunnen beschouwen als goede en ‘toekomstvaste’ warmtevraag (Cornelisse et al. 2021). Het achterliggende idee is dat, wanneer de netto warmtevraag van een woning kleiner of gelijk is aan die van de isolatiestandaard, deze in principe geschikt is om comfortabel te kunnen worden verwarmd met alle (toekomstige) vormen van warmtevoorziening. Onder toekomstige vormen van warmtevoorziening vallen ook lage temperatuur warmtevoorzieningen. Als zodanig geeft de isolatiestandaard doelstellingen voor de warmtevraag van woningen. De indicatieve minimale isolatieniveaus van gebouwdelen — waarmee de kans groot is dat de isolatiestandaard wordt behaald — zijn bepaald door Nieman en beschreven in het rapport ‘Standaard en streefwaardes bestaande woningbouw’ (Cornelisse et al. 2021). De ‘indicatieve’ minimale isolatieniveaus die worden beschreven bieden echter geen garantie dat een woning daarmee altijd aan de isolatiestandaard voldoet.

⁵ In het rapport ‘Standaard en streefwaardes bestaande woningbouw’ geeft Nieman een overzicht van de eisen aan de isolatiekwaliteit van woningen per bouwperiode conform bouwbesluit (Cornelisse, Kruithof, & Valk, 2021).

⁶ Er wordt onderscheid gemaakt in de aanvoertemperaturen voor verwarming van 80 graden Celsius (hoge temperatuur), 70 graden (midentemperatuur) 50 graden (lage temperatuur) en 35 graden (zeer lage temperatuur, Cornelisse et al. 2021).

Het kan dus zo zijn dat alle gebouwdelen van een woning voldoen aan de isolatiewaarden die door Nieman worden gesuggereerd om de isolatiestandaard mee te behalen, en dat de woning toch (net) niet aan de isolatiestandaard voldoet. Op het energielabel van een woning wordt aangegeven wat de isolatiestandaard voor die woning is en of de woning aan de isolatiestandaard voldoet.

1.3.2 Isolatiestreefwaarden

Naast de isolatiestandaard (in de vorm van een netto warmtevraag) zijn door Nieman *streefwaarden* voor isolatie ontwikkeld in Rc-waarden (voor gebouwdelen), dan wel U-waarden (voor ramen). De streefwaarden definiëren extra prestatieniveaus die op het niveau van individuele gebouwdelen ambitieuzer zijn dan de isolatiestandaard en gericht zijn op het bereiken van hogere niveaus van energie-efficiëntie. De streefwaarden zijn een nuttige streefdoel voor verbouwingen waarbij maar één of enkele bouwdelen worden aangepakt (zoals dak, gevel, raam of vloer).

De aanbevelingen van de streefwaarden voor de isolatiekwaliteit van gebouwdelen gaan dus verder dan de isolatiestandaard, waarbij een enkele bouwdeel zeker ‘toekomstbestendig’ is. Dit betekent dat het bouwdeel absoluut goed genoeg is geïsoleerd en bij aansluiting op een alternatieve warmtebron niet meer hoeft te worden aangepakt (RVO 2021).

1.3.3 Isolatiestandaard- en streefwaarden in beleid

In het Klimaatakkoord is afgesproken dat verhuurders verplicht zullen worden om in 2050 aan de isolatiestandaard te voldoen (BZK 2021). In de kamerbrief van 18 maart 2021 laat minister Ollongren dit besluit aan een volgend kabinet (Ollongren 2021). In het programma Versnelling verduurzaming gebouwde omgeving, specifiek het Nationaal isolatieprogramma (Volkshuisvesting en Ruimtelijke ordening 2022a), wordt het doel geformuleerd om 2,5 miljoen woningen in 2030 te hebben geïsoleerd ‘richting de standaard voor woningisolatie’⁷. De nadruk ligt daarbij op de 1,5 miljoen slechtst geïsoleerde woningen (label E, F en G). Onderdeel van deze doelstelling is het isoleren van 1 miljoen huurwoningen naar de isolatiestandaard voor woningisolatie (door de verhuurder). Deze ambitie komt ook terug in het (concept) Nationaal plan energiesysteem (RVO 2023). In de prestatieafspraken met de woningcorporaties is opgenomen dat 675.000 sociale huurwoningen zullen worden geïsoleerd tot de isolatiestandaard en alle E-, F- en G-labels bij woningen in corporatiebezit worden uitgefaseerd. De verwachting is dat deze opgaven in de praktijk samen zullen worden opgepakt (Volkshuisvesting en Ruimtelijke ordening 2022b). In 2025 zullen de isolatiestandaard en -streefwaarden conform de afspraken in het Klimaatakkoord worden geëvalueerd.

1.4 Typen energieverbruiksmodellen

Over het algemeen geldt dat hoe meer warmte een woning verbruikt, hoe meer energie in theorie kan worden bespaard. De schatting van energiebesparing door isolatiemaatregelen kan dus niet los worden gezien van de schatting van de netto warmtevraag van een woning.

Om een goed begrip te krijgen van de verschillen in de schattingen voor energiebesparing is het van belang om eerst een globaal gevoel te krijgen voor verschillende schattingsmethoden voor de netto warmtevraag van woningen.

⁷ Het betreft één of meerdere stappen richting de standaard voor woningisolatie.

Globaal kan er onderscheid worden gemaakt in twee stromingen in de ontwerpfilosofie van energieverbruiksmodellen: 'bouwfysische' en 'statistische' energieverbruiksmodellen. De twee typen energieverbruiksmodellen worden hieronder beschreven.

1.4.1 Bouwfysische energieverbruiksmodellen

Veel modellen maken gebruik van een bouwfysische warmteverlies-berekening om de netto warmtevraag van een woning te schatten. Deze berekeningen zijn bedoeld om thermisch gedrag van gebouwen te begrijpen en te beoordelen. In de berekeningen wordt rekening gehouden met de verschillende manieren waarop warmte door materialen wordt overgedragen. Dit kan door geleiding, convectie en straling. Bouwelementen zoals muren, vloeren, daken en ramen hebben verschillende isolatiewaarden en eigenschappen die deze warmteoverdracht beïnvloeden, zoals het gebruikte materiaal en de dikte van het bouwelement.

Voor de berekeningen wordt zoveel mogelijk gebruik gemaakt van bestaande data, die bijvoorbeeld zijn opgehaald door een energieadviseur bij het bepalen van het energielabel van een woning. Voor zover deze informatie niet beschikbaar is wordt gebruik gemaakt van aannamen in de vorm van 'standaard-' of forfaitaire waarden (zie tekstkader).

Standaard- of forfaitaire waarden

Voor bouwfysische energieverbruiksmodellen zijn standaardwaarden (ook wel 'forfaitaire waarden' genoemd) de waarden die zijn gebaseerd op gemiddelde of representatieve gegevens. Ze dienen als praktische schattingen voor bepaalde eigenschappen of kenmerken van een gebouw of de bewoners. Dit type gegevens is vaak niet beschikbaar zonder gedetailleerde metingen.

Bij standaardwaarden kan worden gedacht aan rendementen van installaties, de hoeveelheid ventilatie (luchtverversing door het ventilatiesysteem) of de hoeveelheid 'spuien' (grote volumes lucht die snel worden ververst door openstaande ramen en deuren). Belangrijke standaardwaarden houden verband met het gedrag van de bewoner zoals de binnentemperatuur (setpoint), het aandeel van het huis dat wordt verwarmd (aantal verwarmde kamers), hoe vaak de bewoner thuis is (aantal stookuren), etc. Het aantal parameters (en bijbehorende standaardwaarden) is afhankelijk van de complexiteit van het model: sommige modellen hebben bijvoorbeeld ook parameters voor hoe vaak bewoners de ramen openzetten of hoe vaak (en hoe lang) de bewoners warm douchen.

Het voordeel van bouwfysische modellen is dat de invloed nauwkeurig kan worden onderzocht van alle rekenparameters, waaronder specifiek de gedragsparameters, op de uiteindelijk berekende netto warmtevraag. Een nadeel is dat er heel veel informatie nodig is over alle technische details van een woning én het gedrag van de bewoners: deze gegevens zijn vrijwel nooit volledig voor handen, waardoor versimpelingen nodig zijn— zoals het terugbrengen van de grote diversiteit in gebruikersgedrag tot één standaardwaarde per gedragsparameter⁸. Deze versimpelingen kunnen leiden tot afwijkingen van de schattingen ten opzichte van de gemeten energieverbruiken uit de praktijk.

⁸ De standaardwaarden voor gedragsparameters kunnen in principe worden gevarieerd, bijvoorbeeld door onderscheid te maken in standaardwaarden voor verschillende 'gebruiksprofielen'- dit komt in de praktijk echter niet vaak voor.

Er kan verder onderscheid worden gemaakt in statische en dynamische bouwfysische modellen. In de praktijk is het verwarmen van een woning een proces in de tijd en kan de verwarmingsdynamiek verschillen tussen dagdelen en zelfs tussen dagen. Zo zetten veel mensen de verwarming lager gedurende de nacht en zetten ze de verwarming hoger in de ochtend. In bouwfysische modellen wordt dat proces daarom vaak in de tijd gemodelleerd, met verschillende 'tijd stappen'. Hoe dit wordt gedaan, verschilt per model. Een statisch bouwfysisch model beschrijft het warmtesysteem en de netto warmtevraag op een specifiek punt in de tijd: de variabelen blijven constant ('statisch'). In een statisch model wordt aangenomen dat alle energie die in het systeem (gebouw) komt gedurende een bepaalde periode, ook in die periode uit het systeem weggaat.

Een dynamisch model houdt rekening met veranderingen en ontwikkelingen in het systeem over een bepaalde periode, waarbij variabelen kunnen veranderen: zo kan de netto warmtevraag in tijdstap 2 afhankelijk zijn van de resterende warmte uit tijdstap 1 -aan dat deel van de warmtevraag is immers al voldaan. Bij een dynamisch model wordt ook rekening gehouden met de capaciteit van materialen om warmte te accumuleren: een deel blijft in het systeem en wordt later afgegeven.

Waarom dynamische en statische modellen dus van elkaar verschillen, is dat bij dynamische modellen het resultaat van een berekening in een tijdstap weer wordt gebruikt als invoer voor de berekening van diezelfde variabele in een volgende tijdstap. Het is belangrijk om op te merken dat ook bij statische modellen rekening kan worden gehouden met veranderingen en ontwikkelingen, door voor iedere 'statische' tijdstap de invoer (handmatig) te veranderen (denk hierbij aan het verlagen van de warmtedoorlaatbaarheid van een bouwdeel na een maatregel, een nieuwe warmte installatie of een sterker klimaateffect).

1.4.2 Statistische energieverbruiksmoellen

Bij een statistisch energieverbruiksmoel wordt gebruik gemaakt van het gemeten warmteverbruik van woningen, veelal in de vorm van gemiddelden. Dat gemiddelde warmteverbruik wordt bepaald op basis van diverse gebouw- of bewonerskenmerken. Het gemiddelde warmteverbruik wordt met een 'statistisch' moel gecorrigeerd voor versturende factoren (denk hier bijvoorbeeld aan het corrigeren naar een 'normaal' klimaatjaar).

Het PBL heeft bij de Startanalyse aardgasvrije buurten⁹ een statistische benadering gebruikt om het effect van isolatiemaatregelen op het energiegebruik te schatten. Daarbij maakten we gebruik van gegevens van het CBS, het jaarlijks gemeten warmteverbruik (in de vorm van gas), om de gemiddelde warmtevraag van (grote) groepen woningen met vergelijkbare kenmerken te bepalen, waaronder het energielabel¹⁰. Deze andere benadering voor het schatten van de energieprestatie van woningen is toegepast in het moel 'Vesta-MAIS' dat voor de Startanalyse is gebruikt.

⁹ De Startanalyse is een technisch-economische analyse van effecten en kosten van opties om gebouwen zonder aardgas te verwarmen. Het Rijk heeft het PBL gevraagd de Startanalyse te maken, zodat gemeenten een transparant en openbaar instrument ter beschikking hebben voor ondersteuning van lokale besluitvorming. Voor meer informatie [zie de webpagina op de website van het PBL](#).

¹⁰ Onderzoekpopulaties worden samengesteld op een dusdanige wijze dat het effect van installaties op het energielabel zoveel mogelijk buiten beschouwing wordt gelaten. Het energielabel hangt daardoor vrijwel volledig samen met de isolatiekwaliteit van de gebouwschil en wordt in die context 'schillabel' genoemd.

Dat model was eerder gebaseerd op de gemiddelde verbruiksmetingen van de aardgasmeter van WoON 2012 (Van den Wijngaart et al. 2014) en is na de Startanalyse doorontwikkeld binnen de kaders van het VIVET-samenwerkingsprogramma¹¹. De methode is publiek toegankelijk gemaakt in een Excel-model onder de noemer ‘Referentieverbruik warmte woningen’ (Van Beijnum et al. 2023).

Hoewel het Referentieverbruik-model gebaseerd is op statistische gegevens, geeft deze niet direct de gemiddelde warmtevraag van een bepaald type woning: de schatting van de warmtevraag voor ruimteverwarming is afhankelijk van de vloeroppervlakte van de woning.

Deze wordt bepaald door een lineaire regressie toe te passen op het gemeten aardgasverbruik (gecorrigeerd voor schattingen van de efficiëntie van de cv-ketel en het gebruik voor warm tapwater en koken). Vanwege deze ‘modelmatige’ bewerkingen wordt het model ook wel ‘model-statistisch’ genoemd. Hoe het model van de Startanalyse zich verhoudt tot een bouwfysisch model (resultaten van de Variatietool, gebaseerd op de rekenmethode van de NEN7120NV) met betrekking tot het geschatte effect van energiebesparingsmaatregelen, is uitvoerig beschreven in Van den Wijngaart & Van Polen (2020). In dat rapport worden ook verklarende factoren gegeven voor de verschillen in uitkomsten,

Omdat de schatting voor de netto warmtevraag gebaseerd is op statistische gegevens¹², zit de grote diversiteit in gebruikersgedrag impliciet verwerkt in de schatting. In de huidige statistische modellen van het PBL wordt er bij de schatting van de netto warmtevraag geen expliciet onderscheid gemaakt in kenmerken die samenhangen met de bewoners en hun gedrag. Het Referentieverbruik-model wordt uitgebreid beschreven in paragraaf 6.1.

1.5 Typen resultaten voor de netto warmtevraag

Bouwfysische en statistische modellen kunnen verschillende resultaten opleveren voor de netto warmtevraag van woningen, maar bouwfysische modellen kunnen ook onderling verschillen in de resultaten voor de netto warmtevraag. Naast begrip van de verschillende typen berekeningen van de netto warmtevraag, is het daarom ook van belang om een basaal begrip te krijgen van verschillende typen resultaten voor de netto warmtevraag. Een bepaald type resultaat voor de netto warmtevraag wordt vaak geschat met een specifiek doel voor ogen. We maken het volgende onderscheid tussen drie doelen:

- Netto warmtevraag voor normering;
- Netto warmtevraag gemiddeld voor een groep woningen (kan zowel bouwfysisch als model-statistisch worden bepaald);
- Netto warmtevraag voor een individuele woning (bij specifiek gebruikersgedrag).

¹¹ Voor meer informatie over het VIVET programma, zie een [beschrijving van VIVET op de PBL website](#).

¹² Bij het gebruik van statistische gegevens wordt meestal uitgegaan van het ‘standaardjaarverbruik’, dit betekent dat het gemeten verbruik in een bepaald jaar is genormaliseerd op basis van het verbruik in het verleden.

Bij bouwfysische modellen hangt het verschil in type resultaat voor de netto warmtevraag sterk samen met het gebruik van de standaardwaarden voor diverse modelparameters. Voor de berekening van het energielabel zijn de standaardwaarden beleidsmatig vastgesteld (netto warmtevraag voor normering). Voor het bepalen van een gemiddelde netto warmtevraag worden meestal gemiddelde (lees ‘representatieve’) standaardwaarden vastgesteld. Om de warmtevraag van een specifiek huis of huishouden te berekenen, kunnen standaardwaarden worden aangepast op de individuele (specifieke) situatie van het huis of de bewoner (netto warmtevraag voor een individuele woning). De drie typen resultaten voor de netto warmtevraag worden in de volgende paragrafen beschreven.

1.5.1 Netto warmtevraag voor normering, bouwfysisch

Een netto warmtevraag voor normering – die we voor het gemak ‘normeringsvraag’¹³ kunnen noemen – wordt bepaald met een bouwfysische berekening en is bedoeld om te kijken of woningen aan een bepaalde richtlijn voldoen: denk hierbij aan de energieprestatie-eisen voor nieuwbouwwoningen, het bepalen van de energieprestatie voor het energielabel (voor nieuwbouw- of bestaande woningen) of om te kijken of een woning voldoet aan de richtlijn voor de warmtevraag van de isolatiestandaard. Deze berekeningen zijn vastgelegd in normverklaringen, zoals een Nederlandse norm (NEN) of een Nederlandse technische afspraak (NTA) (NEN 2022). Zoals in het validatierapport van het Maatwerkadvies (Van den Brom et al. 2022) wordt beschreven zijn standaardwaarden voor een normeringsvraag – met het oog op handhaafbaarheid – vaak bewust niet representatief maar conservatief gekozen. Dit betekent dat er is gekozen voor rekenwaarden die ongunstig zijn voor de energieprestatie en in de bouwfysische berekening in de meeste gevallen leiden tot een relatief hoge netto warmtevraag. De netto warmtevraag is vooral hoog bij relatief energie-onzuinige labels (label E, F en G). Bij conservatieve standaardwaarden gaat het vooral om ongunstige isolatiewaarden en rendementen, maar ook met betrekking tot de gedragsparameters wordt uitgegaan van een ‘gestandaardiseerde’ bewoner. Dit voorkomt dat woningen waar weinig informatie over bekend is een goede score krijgen voor de energieprestatie (en een goed energielabel). De normeringsvraag is daardoor meestal hoger dan het gemeten energiegebruik.

De modellen waarmee een normeringsvraag kan worden berekend noemen we voor het gemak ‘normeringsmodellen’. Normeringsmodellen voor gebouwen worden al geruime tijd gebruikt in Nederland. Een belangrijke mijlpaal was de introductie van de Energieprestatienorm voor gebouwen (EPN) in 1995, toen nog alleen gericht op de energieprestatie-eisen voor nieuwbouw, met NEN5128 als bijbehorende norm. Deze gaf de energieprestatie van nieuwbouwwoningen in de vorm van één globaal getal— de ‘energieprestatiecoëfficiënt’ (EPC). Met de EPC werd bepaald of nieuwbouwwoningen aan de bouweisen voldeden en of zij in aanmerking kwamen voor een bouwvergunning. Bij de bepaling van de energieprestatie werd onder andere rekening gehouden met diverse factoren zoals het niveau van isolatie, installaties en ventilatie. Na de introductie van de EPN werden verschillende herzieningen en updates uitgebracht. Eén van de uitbreidingen was de energieprestatie van nieuwbouw utiliteitsgebouwen, die werd bepaald conform de NEN2916-norm (Agentschap NL 2012).

¹³ De ‘normeringsvraag’ wordt ook wel ‘standaardverbruik’ genoemd. Om verwarring met het ‘standaard jaarverbruik (SJV)’ — een indicator die wordt gebruikt door het CBS en door de netbeheerders— te voorkomen wordt hier gesproken van de ‘normeringsvraag’.

In 2002 werd de ‘Energy Performance of Buildings Directive’ (EPBD) geïntroduceerd door de Europese Commissie. Deze richtlijn had als doel om het energiegebruik in de gehele Europese gebouwde omgeving beter te monitoren en energiebesparing te stimuleren. Naast nieuwe EU-normen voor de energieprestatie van nieuwbouwwoningen, werden de EPBD-richtlijnen vastgesteld. Deze moesten lidstaten helpen bij het ontwikkelen van methoden om nationale energieprestatieberekeningen te kunnen uitvoeren en gebouwen te voorzien van een energiekeurmerk.

Dit heeft onder andere geleid tot de introductie van een energielabel (in 2006, nog zonder verplichting) en normeringsberekeningen voor bestaande gebouwen in Nederland, waarbij de energieprestatie werd uitgedrukt in de vorm van de energie-index (EI). De energie-index vertoont nauwe verwantschap met de EPC voor nieuwbouw. Het energielabel voor woningen werd berekend met de ISSO 82.3 publicatie en voor utiliteitsgebouwen met de ISSO 75.3 publicatie (Agentschap NL 2012).

Vanaf 2012 werd gefaseerd één geïntegreerde norm geïntroduceerd voor woningbouw, utiliteitsbouw, nieuwbouw én bestaande bouw: de Energie Prestatienorm voor Gebouwen (EPG) met NEN7120 als bijbehorende norm. Met NEN7120 kregen we één norm voor de bepaling van de energetische kwaliteit van gebouwen (Agentschap NL 2012). Het ‘Nader voorschrift’ (NEN7120/NV) betrof een aanvulling op de NEN7120 methodiek voor bestaande gebouwen. Deze werd in 2015 geïntroduceerd.

Sinds januari 2021 bestaat een nieuwe bepalingsmethode voor de energieprestatie van gebouwen¹⁴. Deze werkt niet met de status van een ‘norm’, maar in de vorm van een ‘Nederlandse technische afspraak’ die aansluit bij de richtlijnen van de EPBD: NTA8800. Deze geeft de energieprestatie niet langer in de vorm van een dimensieloos getal zoals de EPC of de EI, maar drukt de energieprestatie uit in drie energieprestatie-indicatoren. Dit is de benodigde hoeveelheid energie voor verwarming en koeling inclusief een beleidsmatig gekozen ventilatiesysteem type C1 in ‘thermische’ kWh per vierkante meter gebruiksoppervlak per jaar (EP1), het primair fossiel energiegebruik in kWh per vierkante meter per jaar (EP2) en het percentage hernieuwbare energie (EP3). Het energielabel wordt bepaald op basis van het primair fossiel energiegebruik (EP2).

Sinds de introductie van NTA8800 in 2021 zijn er diverse updates geweest (NTA8800:2022, NTA8800:2023), waarbij kleine aanpassingen en verduidelijkingen zijn verwerkt en inhoudelijke wijzigingen doorgevoerd in het model. Dit gebeurde op verzoek van de markt (op basis van nieuwe inzichten of technieken).

1.5.2 Netto warmtevraag gemiddeld, bouwfysisch of (model-) statistisch

In de praktijk kunnen onder andere gebruikersgedrag en gebouwcondities significant afwijken van de standaardwaarden die bij de berekening van de normeringsvraag worden aangenomen (zie paragraaf 1.5.1). Voor diverse toepassingen wordt daarom een netto warmtevraag berekend met de bewuste intentie om die zoveel mogelijk te laten aansluiten bij de ‘gemiddelde’ praktijk.

¹⁴ In 2023 is de ISSO-publicatie 51 ‘Warmteverliesberekening voor woningen en woongebouwen’ geïntroduceerd.

We noemen dit een 'gemiddelde netto warmtevraag'. Een gemiddelde netto warmtevraag wordt bijvoorbeeld gebruikt om een businesscase voor een warmtenet door te rekenen in een bepaald gebied of om een schatting te maken van de potentie voor energiebesparing of emissiereductie door woningisolatie voor groepen woningen. Bij groepen woningen kan worden gedacht aan de woningvoorraad van een gemeente of zelfs de gehele Nederlandse woningvoorraad. Deze gemiddelde netto warmtevraag kan zowel met bouwfysische- als met statistische modellen worden bepaald.

Gemiddelde netto warmtevraag, bouwfysisch

Om een netto warmtevraag te berekenen die dichter in de buurt komt bij de gemeten verbruiken in de praktijk, kan voor een bouwfysische berekening worden uitgegaan van andere 'representatieve' standaardwaarden. Dit kan door onderbouwd af te wijken van de conservatieve standaardwaarden die worden gebruikt voor een normeringsvraag. Ook kan in de standaardwaarden en in de berekening rekening worden gehouden met meer 'gemiddeld' gebruikersgedrag.

Gemiddelde netto warmtevraag, statistisch (Startanalyse)

Statistische modellen zijn (inherent) bedoeld om een gemiddelde netto warmtevraag te bepalen. De schattingen voor de netto warmtevraag zijn gebaseerd op gemiddelden van gemeten verbruiksgegevens. De grote diversiteit binnen gebruikers(gedrag) maakt hier impliciet onderdeel van uit. De kwaliteit van het statistische- of model-statistische gemiddelde is afhankelijk van de kwaliteit en de grootte van de onderzoekspopulatie.

1.5.3 Netto warmtevraag voor individuele woning (bij specifiek gebruikersgedrag), bouwfysisch

Wanneer er veel gegevens beschikbaar zijn van een individuele woning (en de bewoners), kan met bouwfysische modellen een netto warmtevraag worden berekend die aansluit bij het gedrag van de specifieke bewoner. Een dergelijke individuele berekening is bijvoorbeeld nuttig om gepersonaliseerd energieadvies te geven. In dit geval is er, bijvoorbeeld via een (online) enquête, informatie opgehaald over het gedrag van de bewoner (hoe vaak de bewoner thuis is, hoe vaak de bewoner gebruik maakt van bad of douche, in welke ruimtes de bewoner stookt) of de condities van het huis (bouwjaar, isolatiekwaliteit, douche met warmteterugwinning, etc.). Sommige modellen, die worden gebruikt om energiebesparing door mogelijke isolatiemaatregelen te bepalen, maken ook gebruik van verbruiksgegevens van de woning van eerdere jaren. Typisch voor deze modellen is dat ze geen gebruik hoeven te maken van standaardwaarden: in dit geval wordt de bouwfysische berekening aangepast op basis van de specifieke, individuele situatie van het huis of van de bewoner. Omdat men nooit alle informatie tot in detail kan uitvragen of bepalen, zal er altijd een afwijking blijven bestaan ten opzichte van de praktijk.

2 Inzichten uit de literatuur: warmtevraag en energiebesparing bij woningen

Data over de gemeten warmtevraag van woningen worden in toenemende mate ontsloten. Vanaf circa 1975 tot en met 2015 werd in een panel van woningen het energiegebruik gemonitord. Dit gebeurde eerst in het Basisonderzoek Aardgas Kleinverbruik (BAK) en het Basisonderzoek Elektriciteit Kleinverbruik (BEK) van Energied en later in het Huishoudelijk Onderzoek Markt en Energie (HOME).

Sinds 2004 verkrijgt het CBS ook verbruikscijfers van netbeheerders op adresniveau, maar de kwaliteit van deze informatie is duidelijk verschillend in de periode tot en met 2012. Daarna is de kwaliteit verbeterd. Zo zijn er sinds 2019 er nauwelijks nog ontbrekende woningen: onder voorwaarden is het mogelijk om binnen een afgeschermd CBS-omgeving analyses te doen waarin gebruik wordt gemaakt van geanonimiseerde gegevens van netbeheerders.

Sinds 2012 wordt het WoonOnderzoek Nederland (WoON) driejaarlijks uitgevoerd in opdracht van het ministerie van BZK. Hierin worden middels enquêtes gegevens verzameld over woningen en de bewoners. Een belangrijke bron van informatie is verder de SHAERE-database: in deze database heeft AEDES informatie verzameld van alle corporatiewoningen in Nederland, inclusief lange-termijngegevens over energieverbruik én informatie over isolatiemaatregelen die zijn uitgevoerd in de woningen in de database.

In diverse studies worden de berekende ‘theoretische’ schattingen voor de metervraag van woningen uit diverse modellen vergeleken met meetgegevens uit de praktijk. Het verschil tussen de modelschattingen voor de metervraag en de praktijkgegevens wordt de ‘*energieprestatiekloof*’ genoemd. Het is goed om te bedenken dat ook het gemeten warmteverbruik van woningen niet direct inzicht geeft in het warmteverbruik van een huishouden, aangezien ook op de gemeten warmtevraag van woningen diverse (modelmatige) correcties worden toegepast. Denk hierbij aan klimaatcorrecties, correctie voor het moment waarop de data worden gemeten, of verdeling van het verbruik als er meerdere woningen achter één meter zitten. In paragraaf 2.1 vatten we de inzichten samen uit de literatuur met betrekking tot de energieprestatiekloof. In paragraaf 2.2 wordt de energieprestatiekloof in internationale context geplaatst op basis van het validatierapport van het Maatwerkadvies (Van den Brom et al. 2022).

Er is vrij veel (internationale) literatuur beschikbaar waarin onderzoek wordt gedaan naar energiebesparing door (isolatie)maatregelen. In de meeste gevallen is dit onderzoek gericht op factoren die van invloed zijn op het uiteindelijke besparingseffect, zoals bewoners- of gedragskenmerken. De vastgestelde (gemiddelde) besparingseffecten worden hierbij niet gerapporteerd. In sommige onderzoeken wordt ook gerapporteerd over besparingseffecten, maar dan zijn deze resultaten gebaseerd op bouwfysische modelschattingen (dus niet op basis van meerjarige energieverbruiksgegevens) of op besparingen in woningen in het buitenland. Deze gegevens kunnen niet vanzelfsprekend worden vergeleken met Nederlandse woningen.

Bij de auteurs van dit rapport zijn slechts vier studies¹⁵ bekend waarin het energiebesparingseffect door isolatiemaatregelen empirisch is onderzocht, op basis van gemeten data én waarin de besparingen (per isolatiemaatregel) worden gerapporteerd. Deze vier studies, de methoden en relevante bevindingen worden beschreven in paragraaf 2.3.

Het doel van deze literatuurstudie is daarmee drieledig:

- Vaststellen wat in de literatuur wordt gezegd over de metervraag van woningen.
- Inzichten in de literatuur met betrekking tot ‘werkelijke’ energiebesparing (op basis van gemeten verbruiksgegevens) voor zover mogelijk structureren, naar dezelfde eenheden omrekenen en indien mogelijk vergelijken met de modeluitkomsten van de geselecteerde modellen.
- Inzichten benoemen die verschillen in modeluitkomsten mogelijk helpen verklaren.

2.1 Warmtevraag in de praktijk

Nu gemeten verbruiksdata steeds beter beschikbaar komen, wordt er meer onderzoek gedaan naar de mate waarin modelschattingen overeenkomen met de gemeten warmtevraag van woningen. Dit gebeurt met name voor normeringsmodellen. Hierbij wordt in principe niet uitgegaan van de netto warmtevraag (exclusief warmteverliezen in de installaties) maar van de metervraag (inclusief verliezen in de installaties). De berekende metervraag hoort namelijk in theorie aan te sluiten bij de gemeten warmtevraag. Onder deze onderzoeken zijn diverse proefschriften van de TU Delft (Majcen et al. 2013b; Majcen et al. 2013a; Van den Brom 2018). Voor de Startanalyse in 2020 heeft het PBL ook onderzoek gedaan naar de energieprestatiekloof (Van den Wijngaart & Van Polen 2020). Ook het validatierapport voor het Maatwerkadvies geeft een goed overzicht van deze onderzoeksinspanningen. De bevindingen van het validatierapport worden deels beschreven in paragraaf 2.1. De bevindingen van het validatierapport met betrekking tot de energieprestatiekloof in Europese context worden beknopt samengevat in paragraaf 2.2 (Van den Brom 2022).

De proefschriften van de TU Delft, het PBL-rapport en het validatierapport voor het Maatwerkadvies komen tot eenzelfde beeld. Hierin wordt de warmtevraag van relatief energiezuinige woningen (energielabel A, B) lager geschat door normeringsmodellen. De warmtevraag van energie-onzuinige woningen (energielabel E, F, G) wordt door normeringsmodellen hoger geschat dan de gemeten warmtevraag in de praktijk. Deze afwijkingen tussen de metervraag die door een (normerings)model wordt berekend en de gemeten warmtevraag in de praktijk wordt de ‘energieprestatiekloof’ genoemd. In deze onderzoeken wordt vooral gekeken naar de voorlopers van het normeringsmodel NTA8800. De proefschriften van de TU Delft hebben betrekking op ISSO82.3 en op de gemeten warmtevraag van sociale huurwoningen via de SHAERE-database van AEDES (zie figuur 2.1).

¹⁵ In een latere fase van het project zijn er nog studies aangedragen door leden van de klankbordgroep: zo is in een andere studie onderzoek gedaan naar de relatie tussen het energielabel en het werkelijke energiegebruik (Majcen & Itard 2014) en is er empirisch onderzoek gedaan naar energiebesparing in Amsterdamse woningen (Filippidou et al. 2016). In beide studies wordt gerapporteerd over de vastgestelde energiebesparing, maar deze inzichten konden niet meer worden meegenomen in het literatuuronderzoek.

Het PBL-rapport is gericht op (een variant van) NEN7120/NV en op de gemeten warmtevraag van woningen via het WoON2018-onderzoek (zie paragraaf 1.5.1 voor een schets van de ontwikkeling van normeringsmodellen). In het kader van de validatie van het Maatwerkadvies is ook onderzoek gedaan naar de energieprestatiekloof bij NTA8800. Hier komt een vergelijkbaar beeld uit (zie figuur 2.2). Enkele mogelijke verklaringen voor de energieprestatiekloof, die geregeld worden genoemd en in voornoemde studies uitgebreid worden beschreven, zijn:

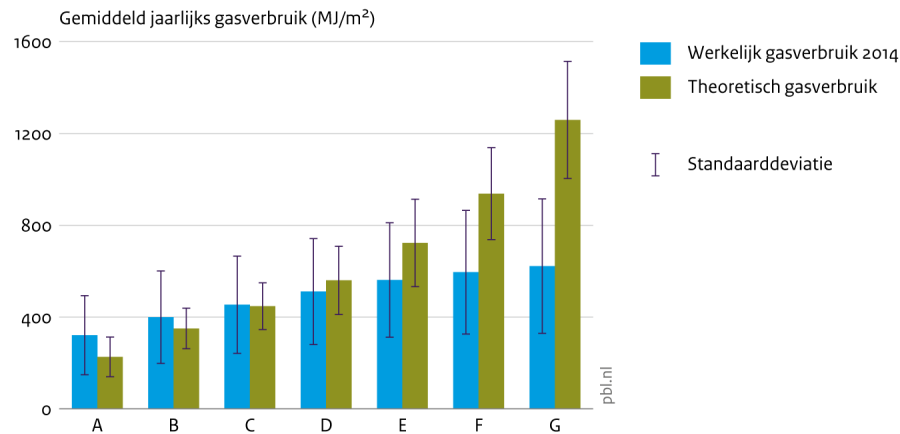
- Normeringsmodellen gaan uit van conservatieve aannames voor de standaardwaarden (zie paragraaf 1.5.1);
- Een toename in de warmtevraag na isolatiemaatregelen ('rebound'-effect): het huis wordt meer verwarmd door ruimten langer te verwarmen; op hogere temperatuur te verwarmen; en/of meer ruimten te verwarmen, nadat isolatiemaatregelen zijn genomen¹⁶;
- Bewonersgedrag dat afwijkt van de standaardwaarden die in een bouwfysische berekening worden aangenomen (naast het reboundeffect bijvoorbeeld het lager instellen van de thermostaat, vaak afwezig zijn, afwijkend ventilatiegedrag, etc.);
- Bouwfysische warmteverliesmodellen in het algemeen (ongeacht of ze zijn ontwikkeld voor normering of om een gemiddelde of individuele warmtevraag te berekenen) houden geen rekening met de (uitvoerings)kwaliteit van isolatie;
- Bouwfysische warmteverliesmodellen houden in het algemeen geen rekening met de kwaliteit van de bouw zoals koudebruggen, kieren en ouderdom.

Het validatierapport van het Maatwerkadvies door INNAX (Van den Brom et al. 2022) en de notitie over energiebesparing in de Startanalyse (Van den Wijngaart & van Polen 2020) geven samen een goed overzicht van mogelijke verklaringen voor de energieprestatiekloof.

¹⁶ In andere gevallen komt het reboundeffect voort uit een andere dynamiek met de warmte installatie of het afgiftesysteem: zo is het denkbaar dat vloerverwarming wordt geïnstalleerd met één zone, waardoor het niet meer mogelijk is om de verwarming van verschillende ruimten apart te regelen of worden bewoners bij de installatie van een warmtepomp geïnstrueerd om geen nachtverlaging in te stellen, omdat het systeem traag verwarmd: in deze gevallen kan er ook sprake zijn van een rebound-effect maar komt dit niet door ander gedrag van de bewoners.

Figuur 2.1

Energieprestatiekloof ISSO82.3

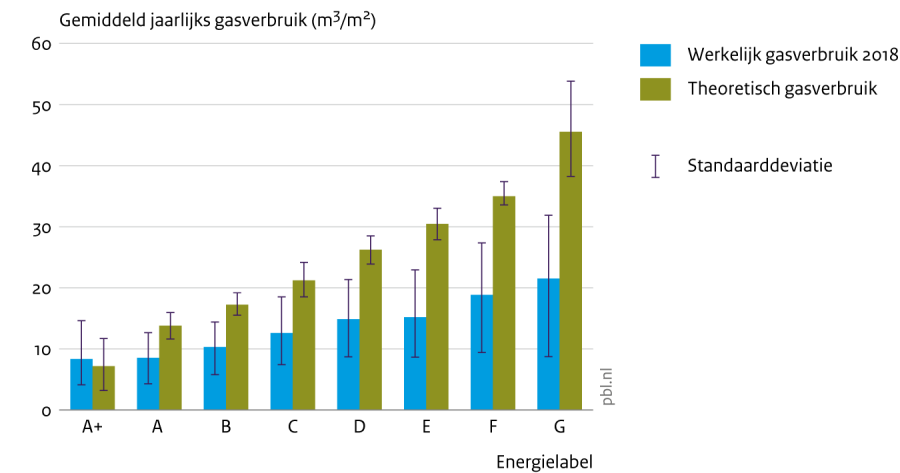


Bron: Majcen, D., L.C.M. Itard, and H. Visscher

Gemeten en volgens ISSO82.3 berekend gasverbruik [in MJ/m²] voor woningen in de SHAERE-database van 2014. De blauwe balken geven het gemiddelde van de gemeten warmtevraag in de SHAERE-database, de groene balken geven voor dezelfde woningen de gemiddelde theoretische warmtevraag conform ISSO82.3. Bron: (Majcen et al. 2016).

Figuur 2.2

Energieprestatiekloof NTA8800



Bron: Van den Brom et al. 2022; bewerking PBL

Gemeten en volgens NTA8800 berekend gasverbruik onder standaard condities per m² voor woningen in WoON2018.

2.2 De energieprestatiekloof in Europese context

Zoals eerder is genoemd in paragraaf 1.5.1 hebben de EU-lidstaten, conform de ‘Energy Performance of Buildings Directive’, eigen bouwfysische warmteverliesmodellen ontwikkeld. Voor de rekenprincipes hebben ze richtlijnen meegekregen vanuit de EU. In het validatierapport voor het Maatwerkadvies wordt de energieprestatiekloof ook in internationale context geplaatst (Van den Brom et al. 2022).

Vergelijkend onderzoek zoals in het validatierapport voor het Maatwerkadvies is gedaan, is in toenemende mate mogelijk doordat er steeds meer data beschikbaar zijn op internationale schaal. De bevindingen van het validatierapport van het maatwerkadvies worden hier beknopt samengevat (Van den Brom et al. 2022):

Uit het rapport blijkt dat in Portugal, Zwitserland, Denemarken, Ierland, het Verenigd Koninkrijk en Frankrijk een vergelijkbare energieprestatiekloof voorkomt als in Nederland. De metervraag voor relatief energie-onzuinige gebouwen (labels D-G) wordt hierbij vaak overschat. De energieprestatiekloof bij relatief energiezuinige woningen (labels A-C) is vaak minder groot of de metervraag wordt daar onderschat. Uit een recent onderzoek door het Duitse UBA blijkt dat ook in Duitsland systematische afwijkingen bestaan tussen de gemeten warmtevraag en de berekende metervraag van gebouwen, waarbij de overschatting van de vraag toeneemt naarmate de isolatiekwaliteit afneemt.

De warmtevraag van zeer efficiënte gebouwen wordt ook in Duitsland vaak onderschat (Von Mantuffel & Offermann 2022). Verder onderzoek is nodig naar de mate waarin dit samenhangt met de EPBD-richtlijnen voor de rekenmethodiek van energieverbruiksmodellen voor gebouwen.¹⁷

2.3 Onderzoek naar energiebesparing op basis van meetgegevens

Ons literatuuronderzoek naar energiebesparing is gericht op studies waarin het effect van isolatiemaatregelen op de warmtevraag ‘empirisch’ is onderzocht, dat wil zeggen: waarbij de warmtevraag van dezelfde woningen vóór en na de isolatiemaatregel is vergeleken. Zoals eerder aangegeven in dit hoofdstuk wordt verondersteld dat buitenlandse woningen niet vanzelfsprekend vergelijkbaar zijn met de Nederlandse (ander klimaat, ander bewonersgedrag, ander type bouw, etc.). Er is daarom gezocht naar studies die voldoen aan de volgende criteria:

- Onderzoek naar energiebesparing op basis van longitudinale meetgegevens van het energieverbruik, dus over een langere periode. Onderzoeken op basis van modelschattingen zijn niet in overweging genomen;
- Meetgegevens moeten afkomstig zijn van Nederlandse woningen.

Studies zijn aangedragen door leden van de klankbordgroep of zijn gevonden via globaal desktoponderzoek. Wanneer geschikte studies zijn gevonden is op basis van de literatuurlijst mogelijke andere relevante literatuur gezocht (‘snowball sampling’). Uit dit literatuuronderzoek zijn slechts vier studies¹⁸ gekomen waarin empirisch onderzoek wordt gedaan naar energiebesparing in Nederlandse woningen.

¹⁷ De EPBD bevat geen formules, maar geeft algemene richtlijnen waaraan de lidstaten moeten voldoen. Daarnaast zijn er verschillende Europese CEN-normen waarin wél een formulestructuur is uitgewerkt. De Nederlandse methode is op deze normen gebaseerd.

¹⁸ Mogelijk zijn er meer: in ieder geval één studie naar werkelijke energiebesparing (transversaal én longitudinaal) in opdracht van de Rekenkamer Amsterdam kon niet meer worden betrokken in deze literatuurstudie. Zie de studie ‘Energiebesparende maatregelen in corporatiewoningen’ (Kooij et al. 2016) via [deze link](#).

Onder deze studies zijn twee proefschriften van de TU Delft: de energiebesparing die op basis van gemeten verbruiksgegevens is waargenomen wordt, net als bij de warmtevraag van woningen (zie paragraaf 2.1), in de proefschriften vergeleken met de schattingen voor energiebesparing door de ISSO82.3-methode (zie paragraaf 1.5.1 voor uitleg over de ISSO82.3).

Het verschil tussen ‘geschatte’ en ‘gerealiseerde’ energiebesparingen kan worden aangeduid als de ‘energiebesparingskloof’. De berekende energiebesparing door een model (de ‘geschatte’ besparing) kan afwijken van de gemeten besparing in de praktijk (de ‘gerealiseerde’ besparing). Dit kan doordat de berekende metervraag – bedoeld voor normering – vóór het nemen van isolatiemaatregelen hoger wordt ingeschat dan de gemeten warmtevraag. Het is ook mogelijk dat de metervraag na het nemen van isolatiemaatregelen lager wordt ingeschat door de bouwfysische berekening dan de gemeten warmtevraag na het nemen van maatregelen. Beide effecten (of een combinatie daarvan) leiden tot te optimistische schattingen van de werkelijk haalbare energiebesparingen. Dit noemen we de energiebesparingskloof. In de vier bovengenoemde studies is onderzoek gedaan naar besparingen op basis van gemeten energieverbruiken voor- en na het nemen van isolatiemaatregelen. Ze worden in deze paragraaf beschreven.

In de vergelijking tussen geschatte energiebesparing (door modellen) en gerealiseerde energiebesparing in de praktijk (op basis van gemeten verbruiksgegevens), is het van belang om te bedenken dat meetgegevens niet zaligmakend zijn. Volgens TNO geven gemeten verbruiksgegevens van netbeheerders niet noodzakelijkerwijs de werkelijke warmtevraag van een huishouden weer, omdat huishoudens op verschillende momenten van het jaar hun verbruiksgegevens doorgeven. De warmtevraag in de rest van het jaar wordt erbij geschat door de netbeheerder op basis van de warmtevraag van de voorgaande drie jaar. Na het nemen van energiebesparende maatregelen kan deze schatting afwijken van de werkelijke warmtevraag (Rovers et al. 2020). Voor een goede analyse is het daarom van belang te weten in welk jaar de maatregelen zijn toegepast.

2.3.1 Majcen et al. (2016) – Proefschrift TU Delft

De energiebesparingskloof werd voor het eerst onderzocht door Majcen et al. (2016), waarbij gebruik werd gemaakt van de SHAERE-database van Aedes. Naast lange-termijngegevens over het energieverbruik van sociale huurwoningen in Nederland (2010 tot en met 2013), heeft AEDES in de SHAERE-database informatie verzameld over isolatiemaatregelen die zijn uitgevoerd in opdracht van de woningbouwcorporatie. De SHAERE-database geeft geen energielabels die zijn geregistreerd bij de verantwoordelijke overheidsinstanties, maar zogenaamde ‘pre-labels’. Deze pre-labels bevatten gedetailleerde informatie over de (warmte)eigenschappen van woningen, inclusief de theoretisch bepaalde metervraag. Dit wordt met dezelfde rekenmethode bepaald als het officiële energielabel. Ten tijde van de studie werd het energielabel bepaald conform ISSO 82.3 (zie paragraaf 1.5.1). Een pre-label wordt opnieuw bepaald na het nemen van isolatiemaatregelen: vaak is er dan (nog) geen nieuw officieel label geregistreerd. Het pre-label geeft dan alvast de nieuwe situatie goed weer.

Op basis van de SHAERE-database hebben Majcen et al. het effect onderzocht op het energiegebruik in dezelfde woningen vóór en na verbeteringen in de installaties voor ruimteverwarming, warm tapwater en ventilatie. Hetzelfde hebben ze ook gedaan voor verbeteringen in de gebouwschil (dak, vloer of gevel), met een aparte categorie voor aanpassingen aan de ramen. Zowel het besparingseffect van combinaties van maatregelen als het effect van individuele maatregelen is onderzocht en vergeleken met de theoretische besparing op basis van ISSO82.3.

De resultaten worden weergegeven per ISSO82.3 labelsprong in tabel 2.1, waarbij de besparingen in m³ zijn omgerekend naar gigajoules.¹⁹ Tabel 2.1 is gebaseerd op een (sub)populatie van 18.107 woningen, waarbij maatregelen in de installaties voor verwarming en warm tapwater, het ventilatiesysteem, de ramen of de gebouwschil hebben geleid tot een aanpassing van het pre-label. De labelsprongen hangen dus niet alleen samen met isolatiemaatregelen, maar kunnen ook het gevolg zijn van een verandering in installatie.

De tabel geeft de waargenomen gemiddelde besparingen, in de periode tussen 2009 en 2013. De besparingen zijn gebaseerd op gemeten energieverbruiken die zijn aangeleverd door het CBS. De laatste meting van het jaar vóór het eerste pre-labelrapport wordt gebruikt als uitgangspunt voor het startjaar. De laatste meting ná het laatste pre-labelrapport wordt als uitgangspunt gebruikt voor het doeljaar (dus: verbruiksgegevens van 2009 zijn het uitgangspunt voor een eerste pre-labelrapport in 2010. Verbruiksgegevens van 2013 zijn het uitgangspunt voor een laatste pre-labelrapport in 2012). De besparing van een woning wordt bepaald als het verschil tussen de gemeten warmtevraag op deze referentiemomenten. Besparingen per labelsprong zijn gemiddeld. Volgens de resultaten van het onderzoek van Majcen et al. (2016) ligt de energiebesparing op basis van de gemeten verbruiksgegevens gemiddeld tussen de 11 en 16 gigajoules per jaar, bij een sprong van ISSO82.3-energielabel G of F naar energielabel A of B. Hierbij dient het volgende in gedachten te worden gehouden:

- Bij de bepaling van de gemiddelde besparingen per ISSO82.3-labelsprong is door Majcen et al. geen onderscheid gemaakt tussen woningtypen en bouwperiodes. Er wordt niet gecorrigeerd voor de grootte van de woningen (in de vorm van oppervlakte). Bovendien zijn de gemiddelden gebaseerd op de SHAERE-database, die bestaat uit woningen in corporatiebezit. Deze zijn doorgaans relatief klein. Het is daarom aannemelijk dat bepaalde woningtypen met een relatief grote warmtevraag (vrijstaande woningen, 2-onder-1-kap woningen, hoek- en rijwoningen) méér warmte vragen dan het gemiddelde en woningtypen met een relatief lage warmtevraag (portiekwoningen en appartementen) minder;
- ISSO82.3-labelsprongen zijn niet een-op-een te vergelijken met NTA8800-labelsprongen. Isolatiemaatregelen die leiden tot een bepaalde ISSO82.3-labelsprong kunnen tot een andere labelsprong leiden volgens NTA8800;
- Het komt voor dat woningcorporaties eerst een grove inschatting maken van het pre-label zoals die in de SHAERE-database worden geregistreerd. Daarna kunnen ze een betere inspectie laten uitvoeren, waardoor het energielabel mogelijk verandert: in dit geval is een verandering van het pre-label niet het gevolg van een renovatie, maar van de betere inspectie (Filippidou et al. 2016).

¹⁹ Gebruikmakend van de onderwaarde van de energie-inhoud van aardgas: 0.03165 GJ/m³.

Tabel 2.1

Gemeten versus theoretische (ISSO 82.3) besparing per labelsprong

	Werkelijke besparing [GJ]	Theoretische besparing [GJ]	Ratio Werkelijk/theoretisch	N
G naar F	4.2	16.1	0.26	3576
G naar E	4.8	26.8	0.18	2090
G naar D	6.8	44.8	0.15	934
G naar C	9.5	55.1	0.17	730
G naar B	11.2	59.2	0.19	348
G naar A	14.1	65.7	0.21	78
F naar E	4.3	11.8	0.36	2090
F naar D	4.3	21.3	0.2	934
F naar C	7.2	34.5	0.21	730
F naar B	11.7	43.6	0.27	348
F naar A	16.1	53.4	0.3	78
E naar D	4.0	10.2	0.39	934
E naar C	5.9	19.8	0.3	730
E naar B	10.8	29.1	0.37	348
E naar A	12.4	35.0	0.35	78
D naar C	4.7	7.7	0.62	730
D naar B	6.9	15.0	0.46	348
D naar A	10.1	22.7	0.44	78
C naar B	5.0	5.2	0.95	348
C naar A	4.3	9.8	0.44	78
B naar A	4.1	4.0	1.03	2499

In deze tabel wordt de gemeten energiebesparing gegeven per labelsprong (let op: het gaat hier om 'pre-labels', zie tekst) voor dezelfde groep woningen (met meerdere pre-labels). Daarnaast wordt de theoretische besparing voor dezelfde woningen gegeven conform ISSO82.3. Gemiddelde besparingen per labelsprong zijn op basis van een populatie woningen waar maatregelen zijn genomen en die dientengevolge een nieuw pre-label hebben gekregen. Bij de labelsprongen is geen onderscheid gemaakt in woningtypen en bouwperiodes. Het aantal woningen waar de gemiddelde besparing op is gebaseerd wordt gegeven in de laatste kolom. Bron: (Majcen et al. 2016).

In tabel 2.2 wordt de energiebesparing gegeven per isolatiemaatregel. Tabel 2.2 is gebaseerd op een populatie met woningen waarin slechts één isolatiemaatregel is genomen: het aantal woningen per isolatiemaatregel wordt weergegeven in de tabel.

Tabel 2.2
Gemiddelde besparing per maatregel

	Gemiddelde werkelijke besparing [GJ]	Gemiddelde theoretische besparing [GJ]	Ratio Werkelijk/ theoretisch	Aantal	Opmerking
Ventilatie	2.3	0.9	2.52	4848	
Ramen	3.0	4.2	0.72	15744	Niet zeker hoe de ramen zijn aangepast
Gebouwschil	3.3	5.7	0.58	21035	Dak, gevel én vloer
Verwarming en warm tapwater	5.4	8.8	0.62	30749	
Totaal				72376	
Gemiddeld	4.1	6.0	0.7		

Gemiddelde besparing per maatregel omgerekend van m³ naar GJ (met de onderwaarde van de energie-inhoud van aardgas), op basis van een populatie woningen waar slechts één van bovenstaande maatregelen is genomen. Bron: (Majcen et al. 2016)

Met betrekking tot de energiebesparingskloof concluderen de onderzoekers het volgende:

- De theoretische besparingen van de ISSO82.3 komen het beste overeen met de gerealiseerde besparingen bij woningen die al een relatief goede energieprestatie hadden voorafgaand aan de maatregelen (e.g. van label B naar A);
- De theoretische besparingen van de ISSO82.3 komen beter overeen met de gerealiseerde besparingen bij relatief kleine verbeteringen (e.g. van label B naar A of van C naar B). Dit terwijl de theoretische besparing bij grote verbeteringen (met combinaties van maatregelen) vaak aanzienlijk groter is dan de gerealiseerde besparingen (e.g. van label F naar B).

Een significante beperking van het onderzoek is dat er geen gegevens beschikbaar waren met betrekking tot de bewoners en eventuele verhuizingen: de resultaten kunnen derhalve worden beïnvloed door een verandering van bewoners(gedrag). In een latere studie naar energiebesparing door Van den Brom et al. (2019) is gebruik gemaakt van vergelijkbare data, waarbij wél rekening is gehouden met de bewoners. Ook is de relatie tussen verhuizingen en renovaties onderzocht. De studie wordt hierna besproken.

2.3.2 Van den Brom et al. (2019) – Proefschrift TU Delft²⁰

Voortbouwend op voorgaande onderzoeksinspanningen, waaronder (Majcen et al. 2013b), hebben Van den Brom et al. (2019) onderzoek gedaan naar de factoren die van invloed zijn op uiteindelijke besparingseffecten na isolatie. Zij hebben daarbij wederom gebruik gemaakt van data van de SHAERE-database uit dezelfde periode (2010-2014) en van microdata van het CBS.

²⁰ De studie van Van den Brom et al. (2019) bouwt voort op eerdere onderzoeksinspanningen van Filippidou et al. (2018) en maakt goeddeels gebruik van dezelfde data. Dit onderzoek wordt niet behandeld in dit rapport (Filippidou, Nieboer, & Visscher, 2018).

De energiebesparing die door de onderzoekers wordt vastgesteld wordt weer vergeleken met theoretische schattingen met de ISSO82.3 methode. Een belangrijke methodologische verbetering die in de studie wordt gemaakt is dat woningen alleen worden meegenomen wanneer de bewoners vóór en na renovatie dezelfde zijn, wat uiteindelijk leidt tot een onderzoekspopulatie van circa 90.000 woningen. De onderzoekers concluderen dat 95 procent van de bewoners in hun woning bleven wonen ná renovatie tussen 2010 en 2014. Bovendien wordt de warmtevraag (of de besparing) van een woning gerapporteerd in de vorm van een energiebehoefte per vierkante meter vloeroppervlak om te corrigeren voor de grootte van de woning. Voor de besparing wordt het verschil aangenomen in de (klimaat gecorrigeerde gemeten) warmtevraag van het jaar 2014 ten opzichte van 2010.

In de studie worden diverse gebouw- en bewonerskenmerken onderzocht, die mogelijk van invloed zijn op de uiteindelijke gerealiseerde energiebesparing. Deze kenmerken zijn volgens de auteurs geselecteerd op basis van de beschikbaarheid van data. Ook geven de auteurs aan dat op basis van eerder onderzoek een relatie wordt verwacht tussen deze kenmerken en de warmtevraag van de woning en de energiebesparing bij woningisolatie. Deze kenmerken zijn:

- De isolatiekwaliteit van de woning voorafgaand aan de isolatiemaatregel: ventilatie met warmteterugwinning levert mogelijk meer besparing op in een woning die goed is geïsoleerd, met goede kierdichting;
- Woningtype: isolatiemaatregelen leveren waarschijnlijk meer besparing op in eengezinswoningen dan in meergezinswoningen, omdat eengezinswoningen doorgaans een groter warmteverliesoppervlakte (gebouwschil) hebben;
- Het aantal werkende bewoners: dit houdt mogelijk verband met de aanwezigheid in het huis. In de studie wordt aangenomen dat er vaker iemand thuis is in huishoudens waarin ten minste één volwassene werkloos is (ten opzichte van een huishouden waarin alle volwassenen werken);
- Aantal mensen in het huishouden;
- Inkomen van het huishouden.

De gemiddelde besparingen per maatregel die in de studie worden gerapporteerd, worden omgerekend in $[GJ/m^2]$ en weergegeven in tabel 2.3. De auteurs concluderen dat er ook energiebesparing heeft plaatsgevonden in de onderzoeksperiode in een controlegroep met woningen waar geen maatregelen in zijn genomen (ongeveer 0.028 gigajoules per vierkante meter).

De auteurs noemen diverse mogelijke verklaringen voor de besparing in de controlegroep (zonder maatregelen), waaronder een verandering in gedrag, klimaatverandering waar niet voor wordt gecorrigeerd met de graaddagencorrectie, verandering in de calorische waarden van het gas en een toename in elektrisch koken. In tabel 2.3 is niet voor de besparing in de controlegroep gecorrigeerd.

Tabel 2.3

Gemiddelde besparing Van den Brom et al. (2019) per maatregel bij gemiddelde oppervlakte per woningtype

	Besparing	Aantal	Opmerkingen
	[GJ/m ² vloeroppervlak]		
Dakisolatie	0.04	5164	
Vloerisolatie	0.036	10095	
Gevelisolatie	0.035	6504	
Raam	0.036	10103	
Installatie ruimteverwarming	0.05	7864	
Installatie warm tapwater	0.03	1895	
Ventilatie	0.028	9527	
Gebouwschil	0.062	3552	Minimaal twee isolatiemaatregelen (dak, vloer, raam of gevel)
Alle installaties	0.08	3848	Voor ruimteverwarming, warm tapwater en ventilatie
Diepe renovatie	0.141	1530	Minimaal drie maatregelen die het gebouw op het niveau brengen van het bouwbesluit (2019) of beter

Deze tabel geeft de gemiddelde besparing per maatregel zoals vastgesteld door Van den Brom et al. (2019). Er is ook een besparing geconstateerd in een controlegroep met woningen waarin geen isolatiemaatregelen zijn genomen (0.028 GJ/m²) – de besparingen per maatregel zijn hier niet voor gecorrigeerd. Let op: aangezien de besparingscijfers niet beschikbaar waren in de vorm van een tabel, zijn deze handmatig afgeleid van grafieken. Bron: Van den Brom et al. (2019).

Voor alle woning- en bewonerskenmerken die eerder zijn genoemd, laten de onderzoekers het effect zien op de gemiddelde energiebesparing per maatregel, zoals te zien in tabel 2.3. Een belangrijke conclusie van de studie is dat het niet mogelijk is om de (algemeen geldende) ‘meest effectieve’ energiebesparingsmaatregel te bepalen, omdat dit zeer afhankelijk is van de specifieke kenmerken van het gebouw en bewoners voorafgaand aan de maatregel. Elke situatie is uniek en behoeft een gepersonaliseerd advies om tot de meeste effectieve energiebesparingsmaatregel te komen. De onderzoekers trekken verder de volgende conclusies:

- Woningen die al relatief energie-efficiënt zijn hebben gemiddeld gezien het meeste baat bij een verbetering van de installatie, terwijl woningen die relatief energie-inefficiënt zijn gemiddeld gezien meer baat hebben bij een verbetering van de isolatie in de gebouwschil;
- De energiebesparing door isolatie van de gebouwschil is gemiddeld hoger bij eengezinswoningen dan bij meergezinswoningen;

- Bewoners met een relatief hoog inkomen (bovenmodaal) lijken meer te besparen dan bewoners met een relatief laag inkomen (onder modaal) bij gelijke maatregelen. Bij bewoners met een laag inkomen is in dat geval waarschijnlijk wel sprake van comfortverbetering (of verspilling);
- Huishoudens waarin alle volwassenen werken, lijken door een verbetering in de installaties, gemiddeld meer energie te besparen (relatief) dan huishoudens met ten minste één niet-werkende volwassene. De onderzoekers suggereren dat dit mogelijk kan worden verklaard doordat het aanwezigheidspatroon van werkende volwassenen beter te voorspellen is en zij daarom meer baat hebben van automatische regelsystemen (e.g. automatische thermostaat). Met betrekking tot de energiebesparing door isolatiemaatregelen in de gebouwschil werd geen noemenswaardig verschil geconstateerd tussen de beide groepen;
- Het aantal bewoners leek weinig invloed te hebben op de besparing per maatregel;
- Tot slot wordt geconcludeerd dat bij 'diepe renovatie', waarbij er meerdere energiebesparingsmaatregelen tegelijk worden genomen, het besparingseffect vaak lager is dan op basis van de theorie (ISSO82.3) wordt verwacht. De theoretische besparing bij individuele maatregelen sluit juist beter aan bij de gerealiseerde besparingen. Deze conclusie strookt met de bevindingen van Majcen et al. (2016).

2.3.3 Rovers et al. (2020) –TNO-analyse energiebesparende maatregelen

In 2020 heeft TNO in opdracht van de RVO onderzocht in hoeverre de leningen van particuliere woningeigenaren bij het Nationaal Energiebespaarfonds (NEF) woonlastenneutraal gefinancierd zijn en van welke factoren dit afhankelijk is (Rovers et al. 2020). Daarbij is specifiek onderzoek gedaan naar de verandering in het energiegebruik door het nemen van (isolatie)maatregelen in de periode 2015-2018 en naar het verschil tussen de gemeten en theoretische verandering (conform ISSO 82.3) in het energiegebruik. Voor het onderzoek is gebruik gemaakt van Microdata van het CBS en gegevens over isolatiemaatregelen van het NEF. Veel informatie over de uitgangssituatie van de woning— zoals de woningkenmerken, huishoudkenmerken en het energielabel— was voor het onderzoek beschikbaar via het CBS. De gegevens zijn waar mogelijk aangevuld met een enquête waarin vragen zijn opgenomen over het energiegedrag van de bewoners en de energetische kwaliteit van de woning voor maatregelen, veranderingen in energiegedrag, type verbouwing van de woning, de mate waarin maatregelen zijn genomen en de aanschaf van nieuwe apparatuur. De woningen waar de enquêtes voor zijn ingevuld (784 in totaal) zijn als subpopulatie in het onderzoek opgenomen en helpen de data-analyse te verfijnen. In totaal zijn 6941 woningen betrokken in de analyse.

In tabel 2.4 wordt weergegeven wat het gemiddelde effect is geweest in het absolute gasverbruik, een jaar nadat de maatregel is genomen ten opzichten van het jaar voordat de maatregel is genomen. De absolute besparing in kubieke meters aardgas is omgerekend naar gigajoules, gebruikmakend van de onderwaarde van de energie-inhoud van aardgas. Hierbij zijn alleen woningen meegenomen waar maar één isolatiemaatregel is genomen.

Tabel 2.4
Gemiddelde besparing per maatregel TNO

Maatregel	Gemiddelde besparing [GJ]	Standaarddeviatie [GJ]	N
Bodem- isolatie	5.4	7.8	9
Dak- isolatie	6.8	15.4	120
Deuren	4.7	8.6	21
Gevel- isolatie	14.4	17.8	79
Glas	4.0	11.9	1558
Paneel[isolatie]	6.6	9.3	7
Vloer- isolatie	5.5	18.0	33

*Gemiddelde besparing en de spreiding in de absolute verandering in het gasverbruik vóór en één jaar na het nemen van één bepaald type maatregel, omgerekend van m³ naar GJ (met de onderwaarde van de energie-inhoud van aardgas).
Bron: (Rovers et al. 2020)*

Om beter inzicht te krijgen in de factoren die van invloed zijn op energiebesparing bij maatregelen, zijn diverse statistische lineaire regressie analyses uitgevoerd. Met de lineaire regressie-analyses wordt de causale relatie onderzocht tussen veranderingen in het energiegebruik voor en na maatregelen, en het nemen van energiebesparende maatregelen of andere factoren. Factoren die in dit rapport significante invloed hebben op het energiebesparingseffect van isolatiemaatregelen zijn:

- Het woningtype;
- De bouwjaarklasse;
- De gebruiksoppervlakte
- Leeftijd bewoner(s);
- Energiegebruik voor maatregelen;
- Huishoudtype en verandering in het aantal personen;
- Energiegedrag voor maatregelen;
- Veranderingen in energiegedrag (na maatregelen);
- De energetische kwaliteit van de woning voor isolatiemaatregelen en verbouwing van de woning.

In het algemeen zijn deze factoren direct van invloed op de energievraag voordat de isolatiemaatregelen zijn genomen. Daarmee beïnvloeden zij indirect het (absolute) energiebesparingseffect. Wanneer deze effecten (met behulp van een interactiemodel op basis van diverse lineaire regressie analyses) worden meegenomen, lijkt het gemiddelde energiebesparingseffect per maatregel kleiner. TNO geeft in het rapport echter aan dat er nog onzekerheden zijn met betrekking tot de energieverbruiksgegevens, het jaar waarin de maatregelen zijn genomen en de representativiteit van de populatie met een energiebespaarlening. Deze onzekerheden moeten verder worden onderzocht voordat de resultaten van energiebesparingseffecten kunnen worden gebruikt.

Er wordt verder geconcludeerd dat in de theoretische berekening de verandering in het energiegebruik wordt overschat ten opzichte van de gemeten verandering, met de kanttekening dat de theoretische berekening is gebaseerd op beperkte informatie. TNO doet ook diverse aanbevelingen voor vervolgonderzoek om de theoretische berekeningen te verbeteren.

2.3.4 Kattenberg et al. (2022) – Universiteit Maastricht

In een recente studie door de Universiteit Maastricht (Kattenberg et al. 2022) wordt ook het gerealiseerde effect van energiebesparing onderzocht. Een uitgebreidere reflectie op de onderzoeksresultaten is opgenomen in bijlage 1, de belangrijkste bevindingen van die reflectie worden in deze paragraaf beschreven.

In het onderzoek van Kattenberg et al. worden gegevens van één isolatiebedrijf over isolatiemaatregelen gekoppeld aan micro-data over de warmtevraag van het CBS. Dit gebeurt voor 1312 woningen. De daadwerkelijk gerealiseerde energiebesparing wordt bepaald per isolatiemaatregel. De besparing wordt gegeven als een gemiddelde relatieve besparing ten opzichte van de warmtevraag voorafgaand aan de isolatiemaatregel. De relatieve besparingen kunnen grofweg worden omgerekend naar absolute besparingen uitgaande van het gewogen gemiddelde verbruik van gas van de woningen in de onderzoekspopulatie in 2009 (2327m³). Met het gemiddelde verbruik en de gemiddelde relatieve besparing per maatregel kan de gemiddelde absolute besparing per maatregel worden bepaald, resultaten worden weergegeven in tabel 2.5.

Deze besparingen zijn aanzienlijk hoger dan de besparingen die zijn geobserveerd door Majcen et al. (2016), Van den Brom et al. (2019) en TNO (Rovers et al. 2020). Hier zijn verschillende verklaringen voor te noemen, waarvan de belangrijkste is dat de woningen in de onderzoeksgroep een bovengemiddeld energieverbruik hebben (zie bijlage 1). Bovendien zijn de resultaten gebaseerd op een relatief klein aantal observaties en zijn de isolatiemaatregelen uitgevoerd door slechts één gespecialiseerd isolatiebedrijf. De besparingen die worden weergegeven in tabel 2.5 geven daarom vermoedelijk een vertekend beeld van de effectiviteit van isolatiemaatregelen voor de gehele woningvoorraad. Desalniettemin geeft de studie een goed voorbeeld van een robuuste methode om het effect van energiebesparingseffect van isolatiemaatregelen op basis van meetgegevens te onderzoeken.

Tabel 2.5
Besparing per maatregel universiteit Maastricht

	%	GJ
Dak	23.2%	19.5
Muur	20.7%	17.4
Vloer	12.5%	10.5

*Deze tabel geeft de gemiddelde besparing per isolatiemaatregel [%]. De relatieve besparing wordt omgerekend naar GJ, uitgaande van het gewogen gemiddelde verbruik van de woningen in de onderzoekspopulatie in 2009: 2327m³ [GJ].
Bron: (Kattenberg et al. 2022).*

2.4 Inzichten uit de literatuur

In deze paragraaf vatten we enkele relevante inzichten uit de literatuur samen. Paragraaf 2.4.1 gaat over de warmtevraag van woningen en paragraaf 2.4.2 over de energiebesparing na het nemen van isolatiemaatregelen. Hierbij besteden we met name aandacht aan de gemiddelde besparingen (op basis van meetgegevens) zoals ze worden gerapporteerd door Van den Brom et al. (2019).

2.4.1 De warmtevraag van woningen

Er is inmiddels steeds meer literatuur beschikbaar over de gemeten warmtevraag van woningen en de energieprestatiekloof ten opzichte van resultaten van normeringsmodellen. De literatuurstudie heeft geleid tot de volgende inzichten met de betrekking tot de netto warmtevraag van woningen en de energieprestatiekloof ten opzichte van modellen:

- Er bestaan grote verschillen tussen modelschattingen voor de metervraag van woningen (met name van normeringsmodellen) en de gerealiseerde (gemeten) warmtevraag. Deze verschillen worden aangeduid met de term ‘energieprestatiekloof’.
- Er is geconstateerd dat de energieprestatiekloof in de gehele EU bestaat en hetzelfde karakter vertoont als de energieprestatiekloof in Nederland. De warmtevraag van relatief energie-onzuinige woningen wordt doorgaans overschat, waarbij de overschatting van de vraag toeneemt naarmate de isolatiekwaliteit afneemt. De warmtevraag van relatief energiezuinige woningen (A of A+) wordt veelal onderschat.

2.4.2 Energiebesparing na (isolatie)maatregelen bij woningen

Er is weinig literatuur beschikbaar over energiebesparing bij isolatiemaatregelen waarin direct het gerealiseerde effect van isolatiemaatregelen op het energiegebruik is onderzocht op basis van gemeten verbruiksgegevens. Idealiter maakt dit type onderzoek gebruik van energiestatistiek over een langere periode, waarbij de warmtevraag vóór en na isolatie wordt onderzocht in dezelfde woning en bij gelijkblijvende bewoners, en waarbij rekening wordt gehouden met de grootte van de woning (e.g. door gebruik te maken van de warmtevraag per vierkante meter² vloeroppervlak). Het is waardevol om de energiebesparing die op deze wijze empirisch is vastgesteld te corrigeren met een ‘difference-in-difference’-benadering zoals die is toegepast door Kattenberg et al. (2022). Bij een difference-in-difference-correctie worden de resultaten voor de energiebesparing van de onderzoekspopulatie (mèt isolatiemaatregelen) vergeleken met resultaten van een controlegroep (zónder isolatiemaatregelen). Dit kan helpen de resultaten te corrigeren voor besparingseffecten in dezelfde periode die niet kunnen worden toegeschreven aan de isolatiemaatregel. Op deze manier kan het effect van individuele isolatiemaatregelen worden onderzocht of kan op vergelijkbare wijze de energiebesparing bij een labelsprong (pakketten van maatregelen) worden onderzocht. De studies die wél beschikbaar zijn, zijn moeilijk met elkaar te vergelijken omdat onderzoekspopulaties verschillen, de definities van (isolatie)maatregelen niet overeenkomen en energiebesparingen op verschillende manieren wordt gerapporteerd.

De studies van Majcen et al. (2016) en Van den Brom et al. (2019) zijn gebaseerd op de grootste onderzoekspopulaties, maar deze onderzoekspopulaties bevatten enkel bewoners van sociale huurwoningen. Dit kan van invloed zijn op de uiteindelijk gerapporteerde energiebesparing, aangezien bewoners van huurwoningen zich anders kunnen gedragen dan bewoners van koopwoningen (Van den Brom et al. 2019). De studie van Majcen geeft de orde grootte van energiebesparing bij grotere renovatieprojecten in de vorm van labelsprongen (e.g. van ISSO82.3 label G naar A): zo ligt de energiebesparing gemiddeld tussen de 11 en 16 GJ/jaar bij een sprong van ISSO82.3 energielabel G of F naar energielabel A of B. Deze labelsprongen kunnen echter niet één op één vergeleken worden met NTA8800 labelsprongen. Bovendien is het niet zeker of de besparingen in de studie van Majcen et al. het gevolg zijn van isolatiemaatregelen in de gebouwschil, een verbetering van de installaties of een combinatie van beide.

In de studie wordt ook een gemiddelde besparing gegeven na specifieke isolatiemaatregelen, waaronder glasvervanging, verschillende niveaus van schilisolatie, verwarmingsinstallaties, ventilatiesystemen en warm tapwater. Bij het bepalen van deze besparingen is echter geen rekening gehouden met het type of de grootte van de woning. Bovendien is er geen rekening gehouden met mogelijke verhuizingen.

De studie van Van den Brom et al. (2019) maakt goeddeels gebruik van dezelfde onderzoekspopulatie en houdt wél rekening met de grootte van de woning en verhuizingen. De gemiddelde besparingen die in deze studie worden gevonden kunnen een indruk geven van realistische orde-grootte besparingen bij diverse isolatiemaatregelen. In tabel 2.6 wordt daarom ter indicatie de gemiddelde besparing geschat voor drie oppervlakten²¹ op basis van de gemiddelde besparing per m² bij de maatregel 'isolatie van de gebouwschil' zoals die door Van den Brom et al. (2019) wordt gerapporteerd. In dat onderzoek wordt met 'isolatie van de gebouwschil' bedoeld dat er minimaal twee isolatiemaatregelen zijn genomen in dak, muur, gevel of raam. In de tabel wordt de gemiddelde besparing gegeven, mét en zonder correctie voor een autonome energiebesparing (zonder maatregelen) die door de auteurs wordt beschreven (zie tabel 2.3).

In de studie worden gemiddelde besparingen ook gerapporteerd in een vorm waarbij rekening wordt gehouden met diverse factoren die van invloed zijn op de besparing. Het is dan echter niet altijd duidelijk op hoeveel woningen deze sub-onderzoekspopulaties zijn gebaseerd. Desalniettemin laten deze aanvullende analyses zien dat bij de interpretatie van de besparingen die in tabel 2.6 worden weergegeven voorzichtigheid is geboden: deze zijn gebaseerd op gemiddelde besparingen van de SHAERE-database, waarin voornamelijk sociale huurwoningen zijn opgenomen. Eén van de analyses van Van den Brom et al. (2019) laat echter zien dat er een significant verschil bestaat in de besparing tussen woningtypen (een- en meergezinswoningen) bij dezelfde typen maatregelen. Specifiek bij de maatregel 'isolatie gebouwschil' is de besparing (zonder correctie voor de autonome besparing) bij meergezinswoningen gemiddeld ongeveer 0.039 GJ/m² en bij eengezinswoningen gemiddeld ongeveer 0.077 GJ/m² (0.068 GJ/m² gemiddeld over alle woningen, waar de besparingen in tabel 2.6 op zijn gebaseerd).

²¹ De oppervlakten zijn zo gekozen dat de besparingen die zijn gerapporteerd door Van den Brom et al. (2019) later makkelijk kunnen worden vergeleken met resultaten van modellen. 65m² komt overeen met de mediaan grondoppervlakte van een portiekwoning (tussen midden) uit de periode 1946-1964, 115m² met een rijwoning tussen uit de periode 1965-1974 en 150 m² met een vrijstaande woning van voor 1946.

Tabel 2.6
Gemiddelde besparing bij isolatie gebouwschil

	65m ²	115m ²	150m ²
Gemiddelde besparing gebouwschil	4.0	7.1	9.3
Gemiddelde besparing gebouwschil gecorrigeerd voor autonome besparing	2.2	3.9	5.1

Deze tabel geeft de gemiddelde besparing bij isolatie van de gebouwschil bij drie oppervlakten, op basis van de gemiddelde besparing per m² per maatregel van Van den Brom et al. (2019) zoals weergegeven in tabel 2.3. In de bovenste rij wordt direct de gemiddelde besparing gegeven voor de drie oppervlakten. In de onderste rij wordt de besparing per m² eerst nog gecorrigeerd voor een autonome besparing die door de auteurs is vastgesteld (0.028 GJ/m²).

Naast het verschil in besparing per woningtype (een- of meergezins) wordt in een andere analyse door Van den Brom et al. (2019) gekeken naar het verschil in besparing per energielabel in de uitgangssituatie. In tabel 2.7 wordt de besparing geschat (in de vorm van een bandbreedte) voor drie vloeroppervlakten, op basis van het betrouwbaarheidsinterval bij de gemiddelde besparingen per vierkante meter vloeroppervlak zoals die wordt gerapporteerd in Van den Brom et al. (2019), bij isolatie van de gebouwschil (ten minste twee maatregelen in vloer, dak, muur of raam) van een woning met startlabel G of label C (respectievelijk 0.063 en 0.033 GJ/m²). De bandbreedte geeft een indruk van de (orde-grootte) besparing die in de studie voor dit type maatregel en bij deze isolatiekwaliteit in de uitgangssituatie is vastgesteld, of specifieker: de maximale besparing voor woningen met startlabel G of C bij dit type maatregel en oppervlakte (respectievelijk 0.12 en 0.042 GJ/m²). In de tabel is niet gecorrigeerd voor de autonome besparing (zonder maatregelen) die in dezelfde onderzoeksperiode is waargenomen: wanneer voor dit autonome effect zou worden gecorrigeerd worden de besparingen in tabel 2.7 lager. Bij de interpretatie van de tabel moet rekening worden gehouden met het eerder genoemde punt dat bij het bepalen van de gemiddelde besparingen waar de tabel op is gebaseerd geen rekening is gehouden met woningtypen. Ook moet er rekening mee worden gehouden dat het besparingseffect tussen een- en meergezinswoningen kan verschillen.

In totaal zijn er 3.552 woningen waarbij de gebouwschil is verbeterd ongeacht het label in de uitgangssituatie. Zoals eerder aangegeven is het niet duidelijk hoeveel van deze woningen een label G of C hadden in de uitgangssituatie.

Tabel 2.7

Besparingsbandbreedte [GJ] bij isolatie gebouwschil bij een uitgangssituatie met label G en label C

	65m ²	115m ²	150m ²
C gemiddeld	2.1	3.8	5.0
C max	2.7	4.8	6.3
G gemiddeld	4.1	7.2	9.5
G max	7.8	13.8	18.0

Deze tabel geeft de besparing [GJ] op basis van de gemiddelde besparing per m² voor de maatregel 'isolatie van de gebouwschil' voor een woning met een label G en label C in de uitgangssituatie, alsook op basis van de bovenkant van het betrouwbaarheidsinterval voor dezelfde maatregel, zoals die worden gerapporteerd door Van den Brom et al. (2019), voor drie oppervlakten. Hierbij is niet gecorrigeerd voor de autonome besparing (zonder maatregelen) die door de auteurs is vastgesteld in dezelfde periode. De besparing conform de bovenkant van het betrouwbaarheidsinterval geeft een indicatie van de maximum besparing dat met dit type maatregel is geregistreerd.

De gemiddelde besparingen die worden gerapporteerd door Kattenberg et al. (2022) zijn aanzienlijk hoger dan de besparingen die worden geconstateerd in Van den Brom et al. (2019). Dit wordt nader geduid in bijlage 1, met als belangrijkste reden een relatief kleine en afwijkende onderzoekspopulatie. Hoewel in de studie van Kettenberg et al. (2022) wel onderscheid wordt gemaakt in woningtype, wordt er geen rekening gehouden met de grootte van de woningen. De besparingen die in de studie worden gerapporteerd zijn daarom niet representatief voor de woningvoorraad als geheel. De studie toont wel aan hoe (factuur)informatie van isolatiebedrijven gebruikt kan worden om inzicht te krijgen in het effect van genomen isolatiemaatregelen.

Bij de studie van TNO (Rovers et al. 2020) wordt aangegeven dat de gerapporteerde besparingen niet kunnen worden gebruikt zonder aanvullend onderzoek. De studie laat wel zien hoe subsidiegegevens gebruikt kunnen worden om inzicht te krijgen in genomen isolatiemaatregelen. Ook concluderen Rovers et al. dat in 30 procent van de woningen sprake was van een reboundeffect, waarbij de warmtevraag is toegenomen na het nemen van maatregelen. Kanttekening hierbij is dat woninggegevens, gegevens over isolatiemaatregelen en de gemeten energieverbruiksgegevens ernstige beperkingen kennen.

Samenvattend: de literatuurstudie bevestigt de conclusie van Van den Brom et al. (2019) dat het niet mogelijk is om 'de meest effectieve isolatiemaatregel' vast te stellen, omdat dit (te) zeer afhankelijk is van de uitgangssituatie van het gebouw en de bewoners. In paragraaf 2.3 zijn diverse kenmerken genoemd die waarschijnlijk van invloed zijn op de uiteindelijke besparing. Verder is in de studie van TNO een reboundeffect vastgesteld, wat erop wijst dat het energieverbruik zelfs kan toenemen bij het nemen van isolatiemaatregelen. Tot slot lijkt de energiebesparingskloof het grootste bij grotere renovaties, met meerdere isolatiemaatregelen.

3 Over de modelvergelijking

In de voorgaande hoofdstukken schetsen we de context waarin dit project tot stand is gekomen. In dit hoofdstuk worden de inzichten uit hoofdstuk 1 en 2 van het rapport gevat in een probleemstelling. Deze probleemstelling is de aanleiding voor de modelvergelijking die in hoofdstuk 4 en 5 wordt beschreven. Ook hebben we op basis van de probleemstelling een fit-for-purposetabel vormgegeven die gebruikers (beleidsmakers, modelleurs, adviesbureaus) handvaten geeft voor het goed gebruik van de modellen die in deze studie zijn betrokken. In dit hoofdstuk gaan we ook verder in op de inrichting van de projectklankbordgroep en de uitvoering.

3.1 Probleemstelling

De huidige ambities met betrekking tot (woning)isolatie – zoals beschreven in het Nationaal isolatieprogramma en het Nationaal Programma Energiesysteem – worden tweeledig gemotiveerd: enerzijds om gebouwen met de isolatiestandaard geschikt te maken voor alle vormen van verwarming, waaronder lage temperatuur warmtevoorzieningen en anderzijds om de warmtevraag te beperken.

Er wordt nog veel onderzoek gedaan naar welk isolatieniveau nodig is om woningen comfortabel te kunnen verwarmen met lage temperatuur warmtevoorzieningen. Bij de beschrijving van de isolatiestandaard (zie paragraaf 1.3.1) worden indicatieve minimale isolatieniveaus van gebouwdelen gegeven waarmee de kans groot is dat de isolatiestandaard (in de vorm van een netto warmtevraag in kWh per m²) wordt behaald en woningen comfortabel kunnen worden verwarmd met lage temperatuur warmtevoorzieningen. In WarmingUP— een collectief van partijen in de warmtetransitie— wordt gesteld dat een lager niveau van isolatie ook al voldoende kan zijn voor verwarming met lage temperatuur, op basis van een onderzoek naar een onderzoekspopulatie van 220 woningen (Pothof et al. 2022). Daarnaast worden ook nieuwe technologieën geïntroduceerd, zoals de hoge temperatuur warmtepomp, waarmee mogelijk de woning comfortabel kan worden verwarmd zonder vergaande isolatiemaatregelen²². Concluderend: er is nog volop discussie over het benodigde isolatieniveau om woningen klimaatneutraal te maken. Het isolatieniveau dat benodigd is om woningen klimaatneutraal te kunnen maken én ze nog steeds comfortabel te kunnen verwarmen met lage temperatuur warmtevoorzieningen is verder geen onderdeel van deze studie.

3.1.1 Verwachtingen energiebesparing door isolatiemaatregelen in woningen lopen uiteen

De nadruk ligt daarnaast op de verwachte effecten van energiebesparing als motivatie voor isolatie. Dit is vooral interessant met het oog op een toekomstig energiesysteem: waarin het mogelijk wenselijk is om de energieafhankelijkheid van het buitenland te beperken, er sprake zal zijn van schaarste van duurzame gassen en een toenemende (piek)druk op het elektriciteitsstelsel.

²² Daarbij moet wel worden opgemerkt dat het rendement van deze hoge temperatuur warmtepompen per definitie lager is dan van lage temperatuur warmtepompen, nog onzeker is voor praktijksituaties en deze mogelijk extra belasting van het elektriciteitsnet veroorzaken.

Maar waar zijn de maatschappelijke verwachtingen met betrekking tot de besparingseffecten door isolatie van woningen op gebaseerd? Het onderwerp van energiebesparing komt regelmatig terug in (maatschappelijke) publicaties over, onder andere, klimaat- en energiebeleid, maar verwachtingen met betrekking tot de grootte van dit effect als gevolg van isolatiemaatregelen bij woningen verschillen. Dit kan worden geïllustreerd met een voorbeeld van de gemeente Amsterdam over de verwachte effecten van het isoleren van woningen (zie tekstkader).

Voorbeeld: verwachtingen energiebesparing door labelstappensubsidie gemeente Amsterdam

In 2014 heeft de Rekenkamer Amsterdam onderzoek gedaan naar de effectiviteit van het subsidiëren van labelstappen door de gemeente Amsterdam. Bij een 'labelstap' wordt de energieprestatie van een woning dusdanig verbeterd, dat dit leidt tot een beter energielabel. De gemeente beoogde in de periode 2011 tot en met 2014 tussen de 48.000 en 72.000 labelstappen te realiseren, wat zou moeten leiden tot een vermindering van ongeveer 23 kiloton CO₂ uitstoot. Uit het onderzoek van de Rekenkamer Amsterdam bleek dat het effect van een (willekeurige) labelstap op het werkelijke energieverbruik veel kleiner was dan door de gemeente Amsterdam werd verwacht en dat de subsidieregeling hierdoor erg kostbaar was (Kooij & Hoffman 2014).

De gemeente Amsterdam (dienst Wonen, Zorg en Samenleven) kon zich niet vinden in de lezing van de Rekenkamer Amsterdam, omdat energiebesparing (en CO₂-reductie) niet het belangrijkste doel van de labelstappensubsidie zou zijn. Wooncomfort en de betaalbaarheid van de energierekening waren volgens de gemeente minstens zo belangrijk als het energiebesparingseffect. De Rekenkamer Amsterdam kon dit echter niet rijmen met de inhoud van de diverse (bestuurlijke) documenten, rapportages en andere gemeentelijke uitingen over de labelstappensubsidie. Hieruit bleek namelijk een duidelijke rode draad, waarbij telkens de verlaging van het energieverbruik als doel wordt genoemd.

De verwachting van de gemeente Amsterdam met betrekking tot de subsidieregeling lijkt illustratief voor een bredere maatschappelijke opvatting: dat het isoleren van woningen leidt tot een aanzienlijke reductie van de energiebehoefte voor verwarming (en daarmee indirect tot een lagere energierekening voor bewoners). Hoewel er andere motivaties denkbaar zijn om woningen te isoleren (zoals wooncomfort in de vorm van geluidsisolatie; het verminderen van tocht; woningwaarde; uitstraling van de woning en/of; het geschikt maken van de woning voor verwarming met lage temperatuur warmtevoorzieningen), is het de veronderstelde energiebesparing en het effect op de energierekening dat de maatschappelijke dialoog met betrekking tot isolatie lijkt te beheersen. De conclusies door de Rekenkamer Amsterdam met betrekking tot de effectiviteit van de subsidie-maatregel voor labelstappen, laten het belang zien om te onderzoeken waar deze verwachtingen (zowel die van de gemeente Amsterdam alsook die van de Rekenkamer Amsterdam) met betrekking tot het energiebesparingseffect bij isolatie op zijn gebaseerd.

In voorgaande hoofdstukken is al ingegaan op de verschillende soorten energieverbruiksmodellen en de verschillen tussen bouwfysische en statistische modellen. De gemeente Amsterdam ging voor een schatting van het klimaat-effect van haar labelstappensubsidie uit van een gemiddelde besparing van 180 m³/jaar per labelstap (5.7 GJ) (Kooij & Hoffman 2014). Omdat de labelstappensubsidie voornamelijk gericht was op corporatiewoningen en gezien de beperkte beschikbaarheid van empirische gegevens over energiebesparing (zie hoofdstuk 2), is het aannemelijk dat deze schatting is gebaseerd op resultaten voor energiebesparing van een bouwfysisch model.

Verder is het aannemelijk dat voor de schatting wordt uitgegaan van woningtypen die veel voorkomen in corporatiebezit, zoals galerijwoningen. Het is echter niet zeker waar de schatting op is gebaseerd omdat de publicatie waarin de schatting wordt verantwoord niet meer beschikbaar is. De Rekenkamer Amsterdam heeft zich in haar beoordeling van de labelstappensubsidie laten informeren door de TU Delft: de onderzoekers hebben een statistische methode ontwikkeld (die methodisch verwantschap heeft met het Referentieverbruik-model die in paragraaf 1.4.2 wordt genoemd) om de energiebesparing te schatten op basis van statistische gegevens van circa 50.000 Amsterdamse woningen (voornamelijk corporatiewoningen). Zonder verder in te gaan op welke methode het bij het rechte eind heeft, laat bovenstaande zien hoe het gebruik van verschillende methoden voor het schatten van energiebesparing kan leiden tot afwijkende verwachtingen. Daaropvolgend kan— wanneer de energiebesparing als gevolg van beleidsmaatregelen worden overschat— het gevolg zijn dat burgers worden teleurgesteld in de reductie van hun gasgebruik, beschikbare fondsen voor subsidiëring van bepaald maatregelen mogelijk niet efficiënt worden ingezet en klimaatdoelen niet worden gehaald.

Een toenemende beschikbaarheid van data maakt het mogelijk om modelschattingen te vergelijken met gemeten verbruiken op individueel gebouwniveau. Daarbij worden er ook stappen gezet om bouwfysische modellen beter aan te laten sluiten bij de gemeten statistische gegevens. Zo wordt er steeds meer onderzoek gedaan naar de invulling van standaardwaarden die worden gebruikt in bouwfysische modellen. Dit resulteert meestal in lagere startverbruiken, waardoor verwachtingen met betrekking tot energiebesparingseffecten door isolatiemaatregelen lager worden. Ter illustratie: de methode die gebruikt wordt voor de informatie op de website van MilieuCentraal is in oktober 2022 verbeterd (de nieuwe methode heet ‘het Maatwerkadvies’) en laat lagere verwachte energiebesparingseffecten zien dan de voorgaande methode (MilieuCentraal n.d.a.). Gebaseerd op deze methode zijn de schattingen van de energiebesparingseffecten per isolatiemaatregel 20-40 procent lager dan bij de methode die daarvoor door MilieuCentraal werd gebruikt (MilieuCentraal n.d.a.).

Probleemstelling

Het is de vraag in hoeverre verschillen in schattingen voor de energiebesparing door isolatie nog steeds voorkomen in de huidige generatie modellen: daarom wordt in dit deel van het rapport de mogelijkheid onderzocht om modelresultaten onderling te vergelijken, wat een indruk geeft van de onderlinge verhoudingen in modelresultaten met betrekking tot de energiebesparing door isolatie van woningen.

3.1.2 Risico's bij toepassing modellen

Normeringsmodellen zoals de NTA8800 zijn voor een duidelijk doel ontwikkeld, namelijk ‘normering’: om vast te stellen of een nieuwbouwwoning aan de normeringseisen voldoet. Verder is de NTA8800 ontwikkeld om een energielabel te bepalen en om de Standaard voor woningisolatie (netto warmtevraag) te bepalen. Hoewel een normeringsmodel geschikt is voor de toepassing waar die voor bedoeld is, laat de literatuurstudie zien dat er grote afwijkingen bestaan tussen de netto warmtevraag voor normering en de (gemiddelde) warmtevraag van woningen die we vinden in de gemeten verbruiksdata van het CBS. Het grote verschil tussen normeringsverbruik en gemeten verbruik is een risico wanneer resultaten van normeringsmodellen zouden worden gebruikt ter indicatie van een gemiddeld verbruik. Ter illustratie: ondanks dat de normering verwarmingsinstallaties mogelijk geen doorgang zal vinden (conform recente inzichten uit het hoofdlijnenakkoord ten tijde van het schrijven van dit rapport) werd in een eerste conceptberekening van de terugverdientijd

van een hybride warmtepomp ten behoeve van de normering verwarmingsinstallaties, gebruik gemaakt van NTA8800-resultaten voor de netto warmtevraag (zie tekstkader).

Berekening terugverdientijd normering verwarmingsinstallaties

In het in 2022 gepubliceerde beleidsprogramma 'Versnelling Verduurzaming Gebouwde Omgeving' (PVG0) (BZK 2022) van minister De Jonge is aangekondigd dat er per 2026 normering komt voor verwarmingsinstallaties (bij vervanging van de cv-ketel), mits de woning of het gebouw daartoe geschikt is. Qua richting en ambitie zou de norm worden gebaseerd op een goed gedimensioneerd en goed werkend systeem. De bedoeling was wel dat dit systeem zich binnen zeven jaar zou terugverdienen.

In een eerste verkenning door W/E-adviseurs, in opdracht van RVO, om te bepalen hoe de normering er uit zou komen te zien en wat het doelbereik zou worden, is voor de berekening van de terugverdientijd van een hybride warmtepomp gebruik gemaakt van de warmtevraag van verschillende woningen zoals die zijn gepubliceerd in de RVO-brochure voorbeeldwoningen, conform het normeringsmodel NTA8800 (W/E adviseurs 2023). De RVO-voorbeeldwoningen zijn ontwikkeld om "beleidsstudies naar het energiegebruik en mogelijke energiebesparing bij bestaande woningen te ondersteunen" (RVO 2022, p.14). Hierbij fungeren de voorbeeldwoningen als theoretische onderlegger om de bouwkundige en installatietechnische kenmerken van de woning te beschrijven. In de brochure is tevens per voorbeeldwoning de Standaard voor woningisolatie berekend, de netto warmtevraag en pakketten van maatregelen waarmee de warmtevraag kan worden verbeterd en aan de isolatiestandaard kan worden voldaan. Het idee is dat het gemeten (gemiddeld voor een grote groep woningen) verbruik wordt berekend met een ander model, maar dit staat niet expliciet aangegeven in de brochure. Hoewel in de brochure wordt gewaarschuwd dat de NTA8800-resultaten niet zonder meer geschikt zijn ter indicatie van het werkelijke energiegebruik en er grote verschillen mogelijk zijn tussen werkelijke en berekende energiegebruiken, bestaat het risico op een verkeerde interpretatie door de lezer waardoor NTA8800-resultaten mogelijk wel worden gebruikt als indicatie van het gemiddelde verbruik.

Volgens de schatting van W/E-adviseurs (op basis van NTA8800-resultaten voor de warmtevraag) zouden 2,65 miljoen woningen een hybride warmtepomp binnen 7 jaar terugverdienen. De terugverdientijd is ook berekend door Berenschot in opdracht van Vereniging Eigen Huis, waarbij gebruik is gemaakt van de warmtevraag volgens de statistische warmtevraagberekening van de Startanalyse (voorloper van het Referentieverbruik-model): op basis van die berekening zouden 0,27 miljoen woningen de hybride warmtepomp binnen 7 jaar terugverdienen (Vereniging Eigen Huis 2023).

Op dit moment is onduidelijk of de normering voor verwarmingsinstallaties er komt, omdat in het hoofdlijnenakkoord van mei 2024 is aangekondigd dat woningeneigenaren niet verplicht zullen worden tot een hybride warmtepomp bij het einde van de levensduur van hun CV-installatie (Kabinetformatie 2024). Maar feit is dat NTA8800-schattingen voor de warmtevraag over het algemeen hoger zijn dan de gemeten energieverbruiken volgens het CBS (het verschil is het grootste bij relatief energie-onzuinige labels) omdat er welbewust wordt uitgegaan van conservatieve standaardwaarden (zie paragraaf 1.5.1): hierdoor bestaat het risico dat er terugverdientijden worden berekend die in de praktijk niet worden gerealiseerd. Wanneer de berekening van de terugverdientijd zou worden gebaseerd op een model dat ontwikkeld is om een gemiddeld energieverbruik te berekenen (zoals het Maatwerkadvies) zou de terugverdientijd aanzienlijk langer zijn, immers: hoe hoger de warmtevraag van een woning in de uitgangssituatie (voor het nemen van maatregelen), hoe meer energie er in theorie met een hybride warmtepomp kan worden bespaard.

NTA8800 ligt verder aan de basis van de Uniforme Maatlat Gebouwde Omgeving (UMGO): een model voor de doorrekening van alternatieve opties voor de energievoorziening van wijken en gebieden. Het model is ontwikkeld om inzicht te krijgen in het effect van alternatieve energievoorzieningen op het energiegebruik en CO₂-emissies. De UMGO sluit aan op NTA8800 voor de berekening van de energieprestatie van (individuele) gebouwen. In de meest recente versie van de UMGO (v5.04) is een mogelijkheid ingebouwd om het berekende energiegebruik voor ruimteverwarming conform NTA8800 met een correctiefactor aan te passen richting de werkelijke warmtevraag. Het is echter niet duidelijk waar deze correctiefactor op is gebaseerd (Van Vught 2020). De UMGO speelt vooral een rol in de verkennende fase van een project. Het is mogelijk om snel een berekening te doen op basis van een beperkt aantal gegevens: het is geen detailberekening en dus niet geschikt voor een definitief ontwerp of een investeringsbeslissing. Er is geen zicht op het gebruik van NTA8800 en de UMGO door de markt (e.g. adviesbureaus, isolatiebranche, etc.) en de mate waarin resultaten van de NTA8800 worden gebruikt ter indicatie van het werkelijke energiegebruik en werkelijke besparing.

Er bestaat ook een risico wanneer modelresultaten voor een gemiddeld energieverbruik en gemiddelde energiebesparing bij isolatiemaatregelen zouden worden gebruikt ter indicatie van het individuele verbruik van woningen omdat – zoals beschreven in hoofdstuk 2 – het individuele verbruik van woningen onderling sterk kan verschillen, onder andere onder invloed van gedrag.

Gezien de risico's in de mogelijke toepassing van modellen buiten de context waar deze voor zijn ontwikkeld, is binnen de kaders van dit project een fit-for-purposetabel vormgegeven. De fit-for-purposetabel geeft gebruikers (beleidsmakers, modelleurs, adviesbureaus) handvaten voor het goed gebruik van de modellen die in deze studie zijn betrokken. De fit-for-purposetabel wordt als aparte publicatie aangeboden naast dit rapport.

3.2 Uitvoeringsorganisaties en klankbordgroep

Bij de uitvoering van de analyses en de totstandkoming van dit rapport zijn diverse organisaties betrokken, waaronder het PBL, RVO, TNO en het CBS.

In navolging van de doelen van dit project is een klankbordgroep opgericht die meedenkt met de vormgeving van dit project en mogelijke vervolgstappen. De klankbordgroep bestaat uit vertegenwoordigers van het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL), het ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties (ministerie van BZK), de Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO), Toegepast Natuurwetenschappelijk Onderzoek (TNO), Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS), de Technische Universiteit Eindhoven (TUE) en MilieuCentraal. De leden van de klankbordgroep zijn direct betrokken bij modelontwikkeling en/of ze zijn werkzaam op het gebied van onderzoek of beleid met betrekking tot de warmtetransitie van de bestaande woningvoorraad.

4 Methode modelvergelijking

Diverse gangbare modellen die worden gebruikt voor het analyseren van beleid voor de Rijksoverheid, worden in dit onderzoek zowel kwalitatief als kwantitatief met elkaar vergeleken. In de kaders van dit project wordt alleen gekeken naar de berekende effecten van een verbetering van de isolatiekwaliteit van een woning: in de selectie worden daarom alleen modellen betrokken die de warmtevraag van woningen kunnen berekenen of bepalen. Het effect van installaties is zoveel mogelijk buiten beschouwing gelaten. In dit hoofdstuk wordt een overzicht gegeven van de modellen die in de selectie zijn opgenomen (paragraaf 4.1) en wordt de methode beschreven waarmee de modellen kwalitatief zijn beschreven (paragraaf 4.2) en kwantitatief (met betrekking tot de uitkomsten voor de warmtevraag en energiebesparing) zijn vergeleken (paragraaf 4.3).

4.1 Geselecteerde modellen voor vergelijking

De selectie betreft de ‘nieuwe generatie’ modellen die momenteel (in diverse toepassingen) worden gebruikt ter advisering van de Rijksoverheid²³. NTA8800 volgt NEN7120/NV op als standaard normeringsmodel en de methode die wordt gebruikt voor het Referentieverbruik-model vervangt de methode die het PBL bij de Startanalyse heeft gehanteerd (zie paragraaf 1.4.2). NTA8800 Maatwerkadviesmethode (MWA) is ontwikkeld met de intentie om de NTA8800-berekening beter aan te laten sluiten bij de gemeten warmtevraag. De warmteprofielgenerator (TNO) en het Hestia model (gedeeld eigenaarschap van PBL en TNO) zijn relatief recent geïntroduceerd. In tabel 4.1 wordt per model aangegeven welke organisatie het model beheert en in welk jaar het is geïntroduceerd. Een belangrijk criterium in de selectie is dat het mogelijk moet zijn om met de modellen besparingseffecten voor verschillende woningtypen te berekenen als gevolg van isolerende maatregelen zodat deze effecten in deze studie naast elkaar gezet kunnen worden.

Tabel 4.1

Modellen die worden vergeleken met bijbehorende organisaties die de modellen beheren

Modellen	Organisatie	Jaar van introductie	Opmerking
NTA8800	NEN	2021	
NTA8800 MWA	ISSO	2022	
Verbeterjehuis	Twee Snoeken	2022	
Referentie-verbruikmodel	PBL	2023	
Hestia	PBL/ TNO	2023	
Warmteprofielgenerator	TNO	2022	Online-versie beschikbaar, maar nog zonder documentatie
NEN7120/NV*	NEN	2015	

²³ Netbeheer Nederland heeft een keuzehulp ontwikkeld die gemeenten, woningcorporaties en energiecoöperaties wegwijs moet maken in het gebruik van veel gangbare energiemodellen, in dit overzicht ontbreken modellen die recent zijn geïntroduceerd (Netbeheer Nederland, 2023).

Deze tabel geeft een overzicht van de modellen die zijn betrokken in de selectie. In de linker kolom staat het model, in de tweede kolom de organisatie die het model (en de ontwikkeling) beheert. *NEN7120/NV is als voorganger van NTA8800 ook betrokken in de kwantitatieve en kwalitatieve analyse.

Naast de selectie van de modellen in tabel 4.1, wordt momenteel in opdracht van RVO een nieuw model ontwikkeld door de technische universiteit Eindhoven, TNO en de Twee Snoeken: de 'Renovatieverkenner'. Omdat dit model nog in ontwikkeling is, wordt deze buiten beschouwing gelaten in dit onderzoek. Daarnaast zijn meer energiemodellen voor de gebouwde omgeving in omloop, waarvan het gros is ontwikkeld door adviesbureaus.

Een ander type model is bedoeld om inzicht te geven in de mogelijke energie strategieën per wijk en de prestaties daarvan. Een relatief recente studie identificeert zes modellen die veel worden gebruikt door gemeenten in de totstandkoming van lokale beleidsstrategieën, deze worden weergegeven in tabel 4.2 (Henrich et al. 2021). In een studie van de provincie Zuid-Holland is onderzocht hoe verschillen in uitkomsten ontstaan wanneer deze modellen verduurzamingsroutes uitrekenen voor hetzelfde gebied, waarbij de modellen ook zijn vergeleken met betrekking tot invoergegevens en (deels) rekenprincipes (Brouwer 2019). Hoewel deze modellen in de rekenkern ook de warmtevraag zouden moeten inschatten om tot resultaten te komen, zijn ze niet opgenomen in de vergelijking. In de vergelijking gaat het namelijk maar om een deel van de rekenkern; namelijk dat deel waar de warmtevraag wordt bepaald. Voor Vesta-MAIS (het model achter de startanalyse) is dat een methode vergelijkbaar met die van het Referentieverbruik-model. In een vervolg zouden deze rekenkernen of kentallen ook kunnen worden vergeleken.

Tabel 4.2

Overzicht van zes energiemodellen die veel zijn gebruikt door gemeenten (in het jaar 2021)

Model	Ontwikkeld door
Vesta MAIS/ Startanalyse	PBL
CEGOIA	CE Delft
Energietransitiemodel	Quintel
Warmtetransitiemodel	Over Morgen (overgenomen door Arcadis)
Integraal kostenmodel	DWA
Wijkwarmtemodel	DWA
Caldomus	Innoforte

Deze tabel geeft een overzicht van zes energiemodellen die veel zijn/ worden gebruikt door gemeenten in de totstandkoming van lokale beleidsstrategieën. Bron: (Henrich et al. 2021). Het overzicht is niet uitputtend.

4.2 Methode kwalitatieve analyse modellen

De modellen in de vergelijking zijn complex en de modelbeschrijvingen veelal uitgebreid (het functioneel ontwerp van Hestia telt meer dan tweehonderd pagina's. Het functioneel ontwerp van NTA8800 meer dan duizend). In bijlage 2 is daarom een beknopte beschrijving per model opgenomen met een toelichting op de achterliggende methode en de belangrijkste uitgangspunten²⁴.

²⁴ Voor een uitgebreidere beschrijving wordt verwezen naar de originele modeldocumentatie.

Eén van de doelen van het project is om een gezamenlijk beeld te krijgen van geschikte modeltoepassing, onder andere in de vorm van een fit-for-purposetabel waarin gebruikers handvaten aangeboden krijgen voor het goed gebruik van (de resultaten van) de modellen die onderdeel uitmaken van deze studie.

Daarom worden in de kwalitatieve analyse verder elementen betrokken die gesprekken over goed modelgebruik helpen faciliteren, zoals: het oorspronkelijk ontwikkelingsdoel van het model, huidige toepassingen van het model, toegankelijkheid en type validatie. De kwalitatieve analyse is bedoeld als ondersteuning bij de interpretatie van de kwantitatieve vergelijking van de modeluitkomsten en biedt handvaten voor een discussie over het (goed) gebruik van de modellen in analyse- en beleidstoepassingen. De kwalitatieve analyse is bedoeld om grip te krijgen op de volgende elementen:

- de gehanteerde methoden in het model, de uitgangspunten en de vorm van de modelresultaten;
- het oorspronkelijke doel en de oorspronkelijke doelgroep waar het model voor is ontwikkeld;
- de huidige toepassingen (waar het model momenteel daadwerkelijk voor gebruikt wordt) en hoe huidige toepassingen en oorspronkelijk doel zich tot elkaar verhouden;
- verder wordt in de kwalitatieve analyse een inschatting gemaakt van de bekendheid van de modellen bij beleidsmakers en woningeigenaren en de impact op de besluitvorming van deze groepen;
- de toegankelijkheid van het model;
- de wijze waarop het model is gevalideerd.

Voor de kwalitatieve analyse is een template ontwikkeld in Excel, de onderdelen van deze template worden weergegeven in bijlage 3. Voor ieder model wordt de Excel template ingevuld door een expert (zie tabel 4.1). Naast de Excel template levert iedere modelexpert een bijdrage in het rapport met een (korte) modelbeschrijving, die vooral is gericht op de methode voor de berekening van de warmtevraag en de energiebesparing bij maatregelen. Deze modelbeschrijving is bedoeld als aanvullende toelichting op de Excel template. De beschrijvingen per model zijn opgenomen in bijlage 2. In de kwalitatieve analyse wordt per model aangegeven welke methode is gekozen: bouwfysisch (statisch of dynamisch en met resultaten per jaar, maand of uur) of statistisch (zie paragraaf 1.4 en 1.5). Niet alle inzichten van de kwalitatieve analyse zijn opgenomen in dit rapport, waar de focus vooral ligt op modelmethoden voor het berekenen van de warmtevraag van woningen en de besparing bij isolatiemaatregelen. Voortbouwend op de kwalitatieve analyse in Excel is een fit-for-purposetabel vormgegeven, deze tabel geeft een indicatie van de geschiktheid van het model voor diverse toepassingen.

4.3 Methode kwantitatieve analyse en vergelijking modelresultaten

De kwantitatieve vergelijking van de modellen gebeurt aan de hand van een dataset met ‘testwoningen’. De modellen worden met elkaar vergeleken met betrekking tot de berekende of anderszins bepaalde warmtevraag voor ruimteverwarming (exclusief verliezen in de installaties) bij een bepaald isolatieniveau van een testwoning. Met ieder model is ook het effect geschat op de functionele vraag ruimteverwarming bij een ander isolatieniveau van de gebouwschil, waarna de model-schattingen onderling zijn vergeleken.

De uitkomsten van de modellen met betrekking tot de geschatte netto warmtevraag voor warm tapwater en koken worden vergeleken in bijlage 4. De testwoningen zijn vormgegeven door RVO op basis van de publicatie voorbeeldwoningen (RVO 2022).

De testwoningen zijn gedeeltelijk fictief, waarbij is gevarieerd in de isolatiekwaliteit van de RVO-voorbeeldwoningen door diverse pakketten met schilmaatregelen te veronderstellen. Op deze manier wordt voor alle testwoningen een ruime spreiding van NTA8800-energielabels verkregen. De focus van de vergelijking ligt op modelresultaten voor energiebesparing door isolatiemaatregelen in de gebouwschil (muur, raam, vloer, dak, deuren, etc.). Overige eigenschappen zoals de gebruiksoppervlakte en (warmteverlies)oppervlakte van gebouwdelen worden gelijk gehouden. Enkele relevante uitgangspunten:

- Voor de warmte-installatie wordt standaard een HR-ketel verondersteld.
- Aangenomen wordt dat de testwoningen niet over andere warmte-installaties beschikken zoals zon-PV of zonneboilers.
- In alle gevallen wordt uitgegaan van natuurlijke ventilatie om zuiver te kijken naar het geschatte besparingseffect door verbetering van de isolatiekwaliteit van woningen, zonder invloed van een verandering van de installaties, óók bij het isolatiepakket met de naam 'isolatiestandaard', wat bedoeld is om de richtlijn voor de netto warmtevraag van de isolatiestandaard mee te halen²⁵.

De dataset met testwoningen bevat alle (detail)informatie die nodig is om een netto warmtevraag- en energiebesparingsberekening te kunnen doen met de energiemodellen: denk hierbij aan de (verlies)oppervlaktes en isolatiekwaliteit van gebouwdelen (voor berekeningen met NTA8800 en de Maatwerkadvies-methode) en NEN7120/NV energielabels voor schattingen met het Referentieverbruik-model²⁶. Er is één uitzondering: aangezien de testwoningen fictief zijn ontbreken adresgegevens (locaties) van de testwoningen waardoor locatie-afhankelijke correcties met Hestia en het Referentieverbruik-model niet mogelijk zijn. Energielabels zijn bepaald door RVO conform NTA8800- én de NEN7120/NV methodiek, de resultaten zijn gecontroleerd door INNAX.

Voor de vergelijking is bewust gekozen voor 'standaard/ forfaitaire' uitgangspunten van modellen: dit betekent dat als informatie voor een berekening ontbreekt (wat bij analyses in de praktijk veel voorkomt) wordt uitgegaan van standaardwaarden die voor het specifieke model zijn bepaald. We willen weten wat de modellen doen wanneer ze zouden worden ingezet voor analyses van (een deel van) de Nederlandse bouwvoorraad. Met betrekking tot het klimaatjaar is getracht de modellen zoveel mogelijk op elkaar af te stemmen: voor Hestia, het Referentieverbruik-model en de warmteprofielgenerator wordt voor het klimaatjaar 2020 aangenomen. Voor NTA8800, NTA8800/MWA en NEN7120/NV kan niet gekozen worden voor één specifiek jaar, maar wordt het volgens de norm te gebruiken jaar gebruikt.

²⁵ Zoals beschreven in paragraaf 1.3.1 geeft de isolatiestandaard een richtlijn voor de warmtevraag per m² woonoppervlak. In sommige gevallen zijn de isolatiepakketten die hier worden beschreven niet genoeg om de isolatiestandaard te halen zonder aanvullende maatregelen (waaronder ventilatie).

²⁶ Het Referentieverbruik-model is voor het overgrote deel op NEN7120N/V-energielabels gebaseerd: zie de modelbeschrijving in bijlage 2.

Daarbij is voor deze modellen een gemiddelde temperatuur bepaald per maand op basis van diverse voorgaande jaren²⁷. De mate waarin de klimaatnorm afwijkt van de klimaatcorrectiemethoden (op basis van graaddagen) van de andere modellen is niet onderzocht.

De dataset met testwoningen die is gebruikt voor de kwantitatieve vergelijking van de modellen wordt beschreven in de volgende paragrafen waarbij respectievelijk wordt ingegaan op de woningtypen die worden onderscheiden, de bouwperiodes en isolatiepakketten met bijbehorende energielabels. De resultaten van de kwantitatieve vergelijking geeft een eerste indruk van de bandbreedte van modelresultaten voor energiebesparing door isolatiemaatregelen.

4.4 Dataset testwoningen

De dataset die is gebruikt voor de vergelijking is vormgegeven door de RVO in afstemming met de klankbordgroep. Als basisdataset is uitgegaan van de RVO-voorbeeldwoningen in oorspronkelijke situatie conform bouwbesluit met mediaan afmetingen (zie onderstaand tekstkader voor uitleg). De woningen in de dataset zijn met betrekking tot de geometrie gelijk aan de RVO-voorbeeldwoningen, maar wijken af met betrekking tot de technische eigenschappen en isolatiekwaliteit. Om verwarring met de RVO-voorbeeldwoningen te voorkomen, worden de woningen in de dataset voor de vergelijking daarom 'testwoningen' genoemd.

RVO-voorbeeldwoningen

De voorbeeldwoningen zijn onder meer ontwikkeld om beleidsstudies naar het energiegebruik en mogelijke energiebesparing bij bestaande woningen te ondersteunen. De voorbeeldwoning fungeert hierbij als theoretische onderlegger waarbij de bouwkundige en installatietechnische kenmerken van de woning zijn beschreven. Elke voorbeeldwoning vertegenwoordigt een bepaald deel van de Nederlandse woningvoorraad. Alle voorbeeldwoningen samen, 51 in totaal, omvatten een vereenvoudigde samenstelling van alle bestaande woningen tot en met bouwjaar 2018 van de Nederlandse woningvoorraad. Er zijn voor elk van de voorbeeldwoningen en de subtypes daarvan warmtevraagberekeningen gemaakt met NTA8800 met vijf isolatiepakketten: 'oorspronkelijk' (conform de eisen die golden in de periode waarin de voorbeeldwoning gebouwd is), voor een pakket op basis van het 'huidig' energetisch niveau en drie pakketten die voldoen aan de 'isolatiestandaard' (met respectievelijk een gasketel, elektrische warmtepomp met mechanische ventilatie en een elektrische warmtepomp met gebalanceerde ventilatie). Bij de beschrijving van het huidige energetische niveau van de 51 voorbeeldwoningen is op basis van de woningen in WoON2018 een indicatie gegeven van de variatie in isolatiegraad en installaties in de praktijk. Bronnen: (RVO 2022; W/E adviseurs 2023). Alle isolatiepakketten die zijn gedefinieerd voor de RVO-voorbeeldwoningen komen ook voor bij de dataset met testwoningen: verschil is dat bij de testwoningen nog extra (plausibele) isolatiepakketten zijn toegevoegd op basis van een analyse van de WoON2018 database en het energielabel (zowel conform NTA8800 alsook voorloper NEN7120/NV) voor iedere combinatie van testwoning en isolatiepakket is bepaald.

²⁷ NTA8800 maakt voor de klimaatcorrectie gebruik van de NEN5060 (klimaatnorm). De klimaatcorrectie van de NEN7120NV is op basis van TRY De Bilt (test reference year).

Aangezien in deze studie de (model)verwachting met betrekking tot het effect van isolatie op de warmtevraag wordt onderzocht, wordt bij alle woningen de installatie voor de warmtevoorziening gelijk gehouden: hiervoor wordt een HR107 ketel aangenomen (ook bij appartementen wordt uitgegaan van individuele ketels in plaats van blokverwarming). Naast de isolatiepakketten die voor de RVO-brochure voorbeeldwoningen zijn ontwikkeld, zijn op basis van een analyse van WoON2018 nieuwe isolatiepakketten bepaald voor de testwoningen op basis van veelvoorkomende isolatiewaarden.

4.4.1 Woningtypen

Voor de testwoningen worden zes woningtypen onderscheiden die veel voorkomen in de WoON2018 database en in de Nederlandse gebouwvoorraad als geheel. Maisonette-woningen zijn niet in de analyse meegenomen omdat er geen aparte categorie bestaat voor dit type in het Referentieverbruik-model (en resultaten daarom moeilijk vergelijkbaar zijn). Voor portiek- en galerijwoningen is uit praktische overwegingen de variant gekozen die het meeste voorkomt, zijnde de ‘tussen midden’ variant. Bij dit subtype woningen grenzen dak en vloer aan respectievelijk boven- en onder gelegen woningen in plaats van de buitenomgeving en zijn zij geen hoekwoning. Dit type woningen hebben doorgaans een gunstige compactheid²⁸ en een relatief lage warmtevraag. Een overzicht van de woningtypen die in de dataset worden onderscheiden is opgenomen in tabel 4.3. Hoewel deze woningtypen veel voorkomen zijn ze niet representatief voor de gehele Nederlandse woningvoorraad, in de praktijk kunnen woningen (sterk) afwijken door compactheid, gebruiks- en verliesoppervlakte, etc. De resultaten voor de testwoningen bieden wel een eerste beeld van hoe de modelresultaten zich tot elkaar verhouden.

Tabel 4.3
Woningtypen

Woningtype	Opmerking
Vrijstaande woning	
2-onder-1-kap	
Rijwoning hoek	
Rijwoning tussen	
Portiek tussen, midden	Meest voorkomende subtype van portiekwoningen, dak en vloer grenzen aan andere woningen
Galerij tussen, midden	Meest voorkomende subtype van galerijwoning, dak en vloer grenzen aan andere woningen

Deze tabel geeft de woningtypen die in de dataset met testwoningen worden onderscheiden. De testwoningen zijn niet representatief voor Nederland, in de praktijk kunnen woningen (sterk) afwijken door compactheid, gebruiks- en verliesoppervlakte, etc. De resultaten voor de testwoningen bieden wel een eerste beeld van hoe de modelresultaten zich tot elkaar verhouden.

²⁸ Met ‘compactheid’ wordt de verhouding bedoeld tussen het gebruiksoppervlak en het warmteverliesoppervlak van gebouwdelen.

4.4.2 Bouwperiodes

Voor de testwoningen worden net als bij de voorbeeldwoningen diverse bouwperiodes onderscheiden. De bouwperiodes worden weergegeven in tabel 4.4. Bouwperiodes na 1992 zijn minder interessant met het oog op energiebesparing omdat in die bouwperiodes al strenge bouweisen werden gesteld en de woningen al relatief goed zijn geïsoleerd.

Tabel 4.4
Bouwperiodes

Bouwperiode	Opmerking
<1946	Steens muren
1946-1964	
1965-1974	
1975-1991	
1992-2005	
2006-2014	
Na 2014	Voldoen aan BENG eisen

Deze tabel geeft een overzicht van de bouwperiodes die in het databestand met testwoningen worden onderscheiden.

4.4.3 Isolatiepakketten en energielabels

RVO heeft op grond van een analyse van WoOn2018 veel voorkomende ‘isolatiepakketten’ gedefinieerd. De bouwdelen die worden onderscheiden worden weergegeven in de tabel 4.5. In de dataset is er (op basis van een inschatting door een expert) van uitgegaan dat de helft van de kozijnen en beglazing behoort bij de slaapkamers en de andere helft in leefruimtes. Wat betreft de isolatiemaatregelen in de gebouwdelen worden vier niveaus onderscheiden (zie tabel 4.6). Niveau 2 is het niveau dat bedoeld is om de isolatiestandaard te halen, hierbij moet met het volgende rekening worden gehouden:

- In de RVO-brochure voorbeeldwoningen (RVO 2022) wordt bij het isolatiepakket dat is vormgegeven om de isolatiestandaard te halen uitgegaan van mechanische afvoer of balansventilatie. Zoals eerder aangegeven wordt in dit project in alle gevallen uitgegaan van natuurlijke ventilatie om zuiver te kijken naar het geschatte besparingseffect door verbetering van de isolatiekwaliteit van woningen, zonder invloed van een verandering van de installaties. Het is in de praktijk echter wel van belang om een woning met een hoge isolatiekwaliteit voldoende te ventileren.
- Voor het isolatiepakket ‘isolatiestandaard’ wordt voor de isolatiekwaliteit van de gebouwdelen uitgegaan van de RVO-brochure voorbeeldwoningen. Bij alle andere isolatiepakketten (anders dan ‘isolatiestandaard’) zijn de isolatiewaarden van niveau 2 gebaseerd op een analyse door RVO van veelvoorkomende waarden in de WoON2018 database.

Tabel 4.5
Gebouwdelen

Bouwdeel	Afkorting
Vloer	V
Gevel	G
Dak	D
Raam Leefruimtes	L

Raam slaapruides	S
Kierdichting	K

Deze tabel geeft een overzicht van de gebouwdelen die worden onderscheiden met bijbehorende afkorting

Tabel 4.6
Isolatie-niveaus

Isolatie-niveau	Beschrijving
0	Oorspronkelijk (conform bouwbesluit van dat moment)
1	Na-geïsoleerde situatie
2	Niveaus die zijn bedoeld om de isolatiestandaard te halen. Bij het isolatiepakket 'isolatiestandaard' zijn deze gebaseerd op de RVO-brochure voorbeeldwoningen, bij de andere pakketten zijn plausibele isolatie-niveaus vastgesteld door RVO op basis van een analyse van de WoON2018 database.
3	Meer ingrijpende renovatiepakketten met buitengevelisolatie, extra dikke isolatie van dak en vloer. Deze pakketten zijn toegevoegd voor (vooroorlogse) woningen met steens muren, waar spouwisolatie niet mogelijk is, om toch vergaande isolatie-niveaus (met energielabel A of B) te bereiken.

In deze tabel wordt in de linker kolom het isolatie-niveau gegeven en in de rechterkolom een beschrijving van wat dat isolatie-niveau betekent.

Maatregelen worden kortweg aangegeven met de letter van het bouwdeel en het cijfer van het isolatie-niveau, bijvoorbeeld: een gevel waarin beperkte na-isolatie heeft plaatsgevonden wordt aangeduid met 'G1'. Het isolatie-niveau van een bepaald bouwdeel kan worden vertaald in een isolatiewaarde. Belangrijk uitgangspunt is dat de isolatie-niveaus zijn gebaseerd op veelvoorkomende Rc-waarden in de bouwvoorraad: dit is gecontroleerd met een analyse van WoON2018. Mogelijke isolatiemaatregelen met bijbehorende isolatiewaarde worden weergegeven in tabel 4.7. Het kan voorkomen dat de isolatiekwaliteit van bepaalde gebouwdelen relatief hoog is bij isolatie-niveau 2 van woningen uit een recente bouwperiode, waarin hoge eisen werden gesteld aan de energieprestatie in de bouwvergunning: ze voldoen dan waarschijnlijk ruim aan de isolatiestandaard. De spreiding in de isolatiekwaliteit bij niveau 2 wordt aangegeven in de tabel. Er moet rekening worden gehouden met het feit dat isolatie-niveau 2 dat voor de testwoningen is vastgesteld (onder andere op basis van een analyse van WoON2018) niet overeenkomt met de isolatiewaarden van het isolatiepakket 'isolatiestandaard' in de RVO-brochure voorbeeldwoningen (RVO 2022).

Tabel 4.7
Maatregelen

Maatregel	Isolatiewaarde	Eenheid	Opmerking
V1	2.5	m ² *K/W	Rc-waarde
G1	1.5	m ² *K/W	Rc-waarde
V2	3.5	m ² *K/W	Rc-waarde
G2	1.7-4.5	m ² *K/W	Rc-waarde
G3	4.5	m ² *K/W	Rc-waarde
D1	2.5	m ² *K/W	Rc-waarde
D2	3.5-6	m ² *K/W	Rc-waarde, Rc van 6 alleen bij nieuwbouw woningen
L1	2.9	W/ m ² *K	U-waarde
S1	2.9-5.1	W/ m ² *K	U-waarde
L2	1.4-1.8	W/ m ² *K	U-waarde, 1.4 bij pakket 'isolatiestandaard' conform RVO-brochure voorbeeldwoningen
S2	1.4-1.8	W/ m ² *K	U-waarde, 1.4 bij pakket 'isolatiestandaard' conform RVO-brochure voorbeeldwoningen
K1	1.0	dm ³ /s	Luchtvolumestroom (Qv;10 waarde). Bij de RVO-voorbeeldwoningen is dit 0,7 voor de isolatiestandaard

Deze tabel geeft een overzicht van mogelijke isolatiemaatregelen met bijbehorende isolatiewaarde. Het kan voorkomen dat de isolatiekwaliteit van bepaalde gebouwdelen relatief hoog is bij isolatieniveau 2 van woningen uit een recente bouwperiode, waarin hoge eisen werden gesteld aan de energieprestatie in de bouwvergunning: ze voldoen dan waarschijnlijk ruim aan de isolatiestandaard. De spreiding in de isolatiekwaliteit bij niveau 2 wordt aangegeven in de tabel.

Voor gevels zijn er drie isolatieniveaus aangehouden gebaseerd op een analyse van WoOn2018 en bouwkundige logica. Rc=1,5 is spouwmuurisolatie, Rc=2,5 komt vaak voor bij binnengevelisolatie en Rc=3,5 komt vaak voor bij buitengevelisolatie.

Op basis van de isolatiemaatregelen zijn verschillende 'isolatiepakketten' samengesteld. Tabel 4.8 geeft een overzicht van de mogelijke isolatiepakketten per bouwperiode. Per pakket wordt het isolatieniveau aangeduid zoals weergegeven in tabel 4.6, de isolatiewaarden per maatregel zijn gegeven in tabel 4.7. De pakketten 'isolatiestandaard' en 'oorspronkelijk' zijn conform de RVO-brochure voorbeeldwoningen. In de periode na 1975 werden al steeds strengere eisen gesteld aan de bouwkwaliteit en energieprestatie van (nieuwbouw) woningen: deze woningen zijn daarom al met wisselende gradaties geïsoleerd en hebben conform de bouweisen van hun bouwperiode ca. 5 cm isolatie. Uit de analyse van de WoOn2018 database blijkt dat bij matig geïsoleerde (conform Bouwbesluit) woningen met een bouwjaar na 1975, gevel en dak doorgaans maar zeer weinig aanvullend zijn geïsoleerd. Verder blijkt uit de analyse van WoON2018 dat het isolatiepakket dat hoort bij de isolatiestandaard voor bouwperiodes na 1975 niet altijd vanzelfsprekend valt toe te passen: zo hebben woningen gebouwd na 1975 al een geïsoleerde spouw (conform de bouwvoorschriften van die periode) en om aan de isolatiestandaard te kunnen voldoen zonder (extra) gevelisolatie zou dit materiaal moeten worden vervangen door moderner materiaal met betere isolerende eigenschappen- dit komt in de praktijk zelden voor. Deze bouwperiodes hebben daarom alleen isolatiepakketten, gebaseerd op isolerende beglazing (inclusief pakketten met HR++ beglazing) en kierdichting, waarbij de pakketten conform de isolatiestandaard zoveel mogelijk buiten beschouwing worden gelaten.

Voor diverse woningtypen (2-onder-1-kap woningen, rijwoningen hoek, rijwoningen tussen en vrijstaande woningen) kan in de dataset met testwoningen echter alleen energielabel A worden bereikt met het pakket dat 'isolatiestandaard' heet.

Tabel 4.8
Isolatiepakketten

Bouwperiode	Isolatiepakketten	Opmerking
<1946, 1946-1946, 1965-1974	oorspronkelijk	
	modus	
	['D1', 'L1', 'S1']	
	['D1', 'L1']	
	['G2', 'D1', 'L1', 'S1']	
	['G2', 'D1', 'L1']	
	['G2', 'L1', 'S1']	
	['G2', 'L1']	
	['L1']	
	['V1', 'G2', 'D1', 'L1', 'S1']	
	['V1', 'G2', 'D1', 'L2', 'S1']	
	['V1', 'G2', 'D1', 'L2', 'S2', 'K1']	
	['V1', 'G2', 'D1', 'L2', 'S2']	
	isolatiestandaard excl installaties	
	isolatiestandaard incl installaties	
	['V2', 'G3', 'D2', 'L2', 'S2', 'K2']	
Tussen 1975 en 1992	oorspronkelijk	
	['L1', 'S1']	
	['L1']	
	['L2', 'S1']	
	['L2', 'S2', 'K1']	
	['L2', 'S2']	
	isolatiestandaard excl installaties	Bij voorkeur een alternatief
isolatiestandaard incl installaties	Bij voorkeur een alternatief	
Tussen 1992 en 2006	['L2']	
	['L2', 'S2']	
	oorspronkelijk	
	['L2', 'S2', 'K1']	
	['L2', 'S2']	
	['L2']	
	isolatiestandaard excl installaties	Bij voorkeur een alternatief
	isolatiestandaard incl installaties	Bij voorkeur een alternatief

Deze tabel geeft een overzicht van de mogelijke isolatiepakketten per bouwperiode.

Energielabel

Voor iedere testwoning is voor alle bijbehorende isolatiepakketten het energielabel bepaald conform NTA8800-energielabel-methodiek. Daarnaast wordt ook het energielabel bepaald conform de 'oude' labelmethodiek (NEN7120/NV). De NEN7120/NV-labels worden gebruikt voor schattingen met het Referentieverbruik-model en in de berekeningen met Hestia, waarin ook schattingen met het Referentieverbruik-model worden gebruikt.

Energielabel

De energieprestatie van een woning wordt weergegeven in de vorm van een 'energielabel'. Sinds januari 2021 wordt het energielabel vastgesteld met NTA8800 methode door een gecertificeerde energieadviseur. Er bestaan zeven energielabelniveaus welke worden aangeduid met de letters A tot en met G, waarbij A de indicatie geeft voor de beste energieprestatie en G de slechtste. Ook bestaan voor het A label vier 'plusklassen' (A+ tot en met A++++). Het energielabel wordt geregistreerd bij RVO. De beoordeling van de energieprestatie omvat verschillende factoren, waaronder isolatie (isolatiekwaliteit van muren, dak, vloer en ramen), verwarming (het type en de efficiëntie van de verwarmingssystemen), ventilatie (luchtkwaliteit) en de aanwezigheid van zonnepanelen. Voor een uitgebreide beschrijving van NTA8800-energielabelmethodiek en de relatie met de voorgaande methode NEN7120/NV, zie de (op zichzelf staande) bijlage 'Oorzaken labelmutaties bij overgang van NEN7120/NV naar NTA8800 (Berben 2024).

Meerdere isolatiepakketten kunnen tot hetzelfde energielabel leiden. Veelal leiden de isolatiepakketten tot een dekkende spreiding van NTA8800-energielabels, zoals je die kunt verwachten bij een bepaalde bouwperiode (bij bouwjaren na 1992 komen geen woningen voor met een label slechter dan C bijvoorbeeld omdat toen al hoge eisen werden gesteld aan de energieprestatie in het bouwbesluit). Voor ieder NTA8800 afgemeld energielabel wordt één isolatiepakket gekozen om de modelresultaten met betrekking tot de netto warmtevraag en energiebesparing mee te illustreren en vergelijken. De selectie van isolatiepakketten per energielabel wordt weergegeven in bijlage 5. Voor zover mogelijk is gekozen voor 'logisch opvolgende' isolatiepakketten: dit betekent dat er bij een verbetering van het energielabel geen sprake zou moeten zijn van een verlies in isolatiekwaliteit van een gebouwdeel. Dit lukt echter niet altijd: het isolatiepakket 'isolatiestandaard' is niet altijd bij alle gebouwdelen logisch opvolgend ten opzichte van het isolatiepakket bij energielabel B. Verder komt het voor dat isolatiepakketten niet logisch opvolgend zijn bij de testwoning vrijstaand van vóór 1946: daar volgt het isolatiepakket bij energielabel E ['G2', 'L1'] niet logisch op het pakket bij energielabel F ['D1', 'L1']. Bij energielabel F is er sprake van beperkte na-isolatie van het dak (naar niveau 1). Bij de overgang naar energielabel E zou in dit geval de dakisolatie verdwijnen en zou de gevel zijn geïsoleerd naar niveau 2. Hoewel dit in theorie mogelijk is, zijn isolatiepakketten bij voorkeur logisch opvolgend. In dit geval was er geen logisch opvolgend isolatiepakket beschikbaar dat resulteert in een energielabel E.

Isolatiepakketten kunnen leiden tot verschillende NTA8800-energielabels, maar tot dezelfde NEN7120/NV-labels. Dit is bijvoorbeeld het geval bij vrijstaande woningen van voor 1946: hier krijgen NTA8800 A en B labels allebei een NEN7120/NV A label en NTA8800 C en D labels allebei een NEN7120/NV C label (zie bijlage 5 voor de selectie van isolatiepakketten en bijbehorende energielabels): in de resultaten zal de energiebesparing volgens het Referentieverbruik van NTA8800 labelsprong C en D naar A of B hier dus gelijk zijn.

Isolatiepakket voor de isolatiestandaard

In de meeste gevallen leidt het isolatiepakket dat voor de RVO-voorbeeldwoningen is bepaald om de isolatiestandaard te bereiken tot een NTA8800-energielabel A en is dit pakket gekozen als voorkeursoptie²⁹. In twee gevallen is voor een alternatief pakket gekozen: bij vrijstaande woningen <1946, waarbij (ingrijpender) gevelisolatie nodig is om een A label te bereiken en bij portiek tussen midden 1975-1991 omdat deze woningen doorgaans al beperkt zijn geïsoleerd en het niet aanneemelijk is dat het isolatiemateriaal wordt vervangen (zie paragraaf 4.4.3)³⁰. Zoals hiervoor aangegeven komt het echter voor dat de isolatiekwaliteit van bepaalde gebouwdelen in dit pakket niet logisch volgen op het gekozen isolatiepakket bij NTA8800-label B: dan zijn de Rc-waarden van sommige gebouwdelen lager. Tezamen leiden de isolatiemaatregelen van de isolatiestandaard dan wel tot een beter energielabel. Hier dient wél rekening mee te worden gehouden bij de interpretatie van modelresultaten voor de energiebesparing van energielabel B naar A.

4.4.4 Overgang energielabelmethode NEN7120/NV naar NTA8800

In 2021 is de vorige rekenmethodiek om het energielabel te bepalen (NEN7120/NV) vervangen door een nieuwe methodiek (NTA8800). In het algemeen bevat NTA8800 veel meer details dan NEN7120/NV. Dit komt doordat de achterliggende Europese normen waarop de rekenmethode gebaseerd is, gewijzigd zijn. Het is niet mogelijk om alle verschillen te beschrijven. Er zijn wel enkele punten te benoemen die van belang zijn, zoals de energieposten die ingerekend worden, de wijziging van de primaire factor elektriciteit, een andere waardering van bepaalde woningkenmerken zoals 'compactheid' (verhouding tussen schil- en gebruiksoppervlak) en elektrische installaties en een andere waardering van Zon-PV. In een aparte bijlage is een verklarende notitie opgenomen van INNAX waarin de verschillen in uitkomsten voor het energielabel tussen de energielabelmethoden worden verklaard en hoe deze resultaten zich verhouden tot de bevindingen van een eerdere inijkingsstudie van INNAX (Berben 2020).

4.4.5 Disclaimer energielabels testwoningen

Voor de testwoningen in de dataset die als uitgangspunt dienen voor dit project is een label bepaald ten behoeve van de vergelijking tussen energieverbruiksmodellen. Voor dit label zijn veel detailgegevens nodig over de woningen, waaronder exacte afmetingen, vormfactor, en exacte isolatiewaarden van bouwdelen en installaties. Het label van de testwoning is dus alleen geldig voor de betreffende testwoning met alle bijbehorende detailkenmerken, en niet toe te passen voor vergelijkbare woningen. Voor een passend en geldig label van een gebouw moeten de specifieke kenmerken van die woning worden opgenomen door een erkend en vakbekwaam adviseur. Voor dit label zijn veel detailgegevens nodig over de woningen, waaronder exacte afmetingen, vormfactor, en exacte isolatiewaarden van bouwdelen en installaties.

²⁹ Het isolatiepakket dat hoort bij de isolatiestandaard is niet altijd logisch opvolgend ten opzichte van het voorgaande NTA8800-energielabel (meestal B): het kan voorkomen dat enkele gebouwdelen een lagere Rc waarde krijgen bij een sprong naar de isolatiestandaard.

³⁰ Ditzelfde argument geldt ook voor andere woningen gebouwd na 1975, maar er is niet altijd een alternatief isolatiepakket beschikbaar dat ook leidt tot een NTA8800-energielabel A.

4.5 Aannames modelvergelijking

Voor sommige modellen zijn aannamen gedaan om berekeningen voor de testwoningen mogelijk te maken. De aannamen worden in deze paragraaf per model besproken.

4.5.1 Aannames Referentieverbruik-model

Het Referentieverbruik-model geeft één schatting per energielabel, zonder verder onderscheid in het isolatiepakket. Er zijn diverse aannamen gemaakt bij het schatten van de warmtevraag van de testwoningen met het Referentieverbruik-model:

- Hoewel de resultaten worden weergegeven per NTA8800-energielabel zijn de schattingen van het Referentieverbruik-model gebaseerd op het NEN7120/NV energielabel dat hoort bij hetzelfde isolatiepakket. In de meeste gevallen resulteert de energielabelbepaling conform NTA8800 en NEN7120/NV in hetzelfde energielabel voor een bepaald isolatiepakket.
- Het Referentieverbruik-model maakt ook onderscheid in het eigendomstype van de woning: in het geval van de testwoningen wordt aangenomen dat het gaat om koopwoningen, omdat dat eigendomstype het meeste voorkomt.
- Omdat er geen adresgegevens beschikbaar zijn van de testwoningen worden de resultaten van het Referentieverbruik-model niet ruimtelijk gecorrigeerd voor klimaat of anderszins.
- Voor het bouwjaar van de testwoningen wordt het midden van de bouwperiode aangenomen. Voor de bouwperiode <1946 wordt uitgegaan van het bouwjaar 1923.

4.5.2 Aannames Hestia

Ten behoeve van de analyse met Hestia is de isolatiekwaliteit per gebouwdeel van de testwoningen omgezet naar de isolatieniveaus zoals die in Hestia worden gedefinieerd. Hoe deze omzetting heeft plaatsgevonden wordt toegelicht in bijlage 6. Net als bij het Referentieverbruik is ervoor gekozen om geen regionale klimaatcorrectie toe te passen (klimaatcorrectie van de warmtevraag is gelijk aan 1), waarmee de woning de facto wordt gesitueerd in de Bilt. Voor het bouwjaar van de testwoningen wordt het midden van de bouwperiode aangenomen.

4.5.3 Aannames Warmteprofielengenerator

In tegenstelling tot andere modellen kan in de Warmteprofielengenerator elk uur de temperatuur van het verwarmingssysteem worden ingesteld voor een typische week- en weekenddag. Het is aan de modelgebruiker zelf om hier invulling aan te geven: de Warmteprofielengenerator schrijft hier geen standaardwaarden voor. In het MWA wordt wel over een hele dag aannames gedaan over het aantal uur per week-/weekenddag dat de verwarming hoger of lager staat. In de berekeningen met de testwoningen is hier in de Warmteprofielengenerator zoveel mogelijk bij aangesloten:

- De instelling voor de dag/nachtverlaging is 16 C 's nachts, voor verwarming overdag is 20 C
- Er wordt 10 uur nachtverlaging toegepast, zowel doordeweeks als in het weekend

5 Inzichten kwalitatieve analyse

In dit hoofdstuk beschrijven we enkele relevante inzichten uit de kwalitatieve analyse. Deze inzichten kunnen helpen bij de interpretatie van de resultaten van de kwantitatieve modelvergelijking, die we hierna in hoofdstuk 6 bespreken.

Zoals beschreven in paragraaf 1.3 en 1.4 worden energieverbruiksmodellen ontwikkeld op basis van verschillende methoden en benaderingen. NTA8800 en NEN7120/NV zijn methoden die ontwikkeld zijn om een normeringsvraag te berekenen. Het Referentieverbruik-model, de Warmteprofielengenerator, het Maatwerkadvies en Hestia zijn ontwikkeld om een schatting te geven van een gemiddelde netto warmtevraag. Bij het Referentieverbruik-model is gekozen voor een model-statistische benadering. De Warmteprofielengenerator gebruikt een bouwfysische benadering gebaseerd op gebruiksprofielen, het MWA gebruikt ook een bouwfysische benadering en Hestia combineert een bouwfysische warmteverliesberekening met de model-statistische benadering van het Referentieverbruik. Hierbij wordt de netto warmtevraag in de uitgangssituatie gefit op de resultaten van het Referentieverbruik.

Alleen het MWA is ontwikkeld om voor een individuele woning een zeer gedetailleerde berekening te maken (netto warmtevraag bij specifiek gebruikersgedrag, zie paragraaf 1.5.2). Dit kan alleen wanneer voldoende informatie beschikbaar is over de specifieke woning. Bij een individuele schatting kan het energieverbruik in de uitgangssituatie eventueel ook worden 'gefit' op het warmteverbruik dat door de bewoner wordt opgegeven. Wanneer het MWA wordt toegepast voor grotere groepen woningen, is dit type informatie vaak niet beschikbaar. Dan moet gebruik worden gemaakt van standaardwaarden. Het Maatwerkadvies wordt op deze manier bijvoorbeeld gebruikt voor de statische informatie op de website van MilieuCentraal. Verbeterjehuis is een softwaretool gebaseerd op de MWA-methode. Deze is ontwikkeld om verduurzamingsadvies te geven aan individuele gebouweigenaren. De tool biedt voor een maatwerkberekening minder aanpassingsmogelijkheden dan het MWA.

In tabel 5.1 geven we voor de modellen die door PBL zijn geselecteerd voor deze studie aan om wat voor type energieverbruiksmodel het gaat, uitgaande van de beschrijvingen in paragraaf 1.4. In de tabel wordt ook indicatief aangegeven welk type resultaat het model geeft voor de netto warmtevraag conform de indeling in paragraaf 1.5- 'indicatief' omdat dit soms aan voorwaarden is verbonden en nadere toelichting behoeft. Waar het de geschiktheid van het model betreft om bepaalde typen resultaten voor de netto warmtevraag (zie uitleg paragraaf 1.5) te berekenen, zie de fit-for-purposetabel in Excel die als aparte bijlage bij dit rapport zal worden gepubliceerd. Voor de complete beschrijving per model, zie bijlage 2. Zie voor andere relevante eigenschappen (bijvoorbeeld de manier waarop de modellen zijn gevalideerd) de aparte bijlage met de kwalitatieve analyse in Excel die naast dit rapport wordt gepubliceerd.

Tabel 5.1

Overzicht geselecteerde modellen naar type

	Type	[Indicatief] type resultaat voor de netto warmtevraag	Opmerking
NEN7120/NV	Fysisch-statisch	Normering	
NTA8800 basis	Fysisch- statisch	Normering	
NTA, MWA	Fysisch- statisch	Gemiddeld (per woningtype en isolatieniveau) of individueel	Individueel indien veel detailinformatie bekend is over de specifieke woning (en de bewoners). Bij individuele berekening kan het verbruik in de uitgangssituatie worden 'gefit' op het warmteverbruik dat door de bewoner wordt opgegeven.
Verbeterjehuis	Fysisch- statisch	Individueel	Methode gelijk aan MWA op enkele (kleine) verschillen na. De softwaretool biedt minder aanpassingsmogelijkheden voor een specifieke berekening dan MWA. Bij individuele berekening kan het verbruik in de uitgangssituatie worden 'gefit' op het warmteverbruik dat door de bewoner wordt opgegeven.
Referentieverbruik	Statistisch	Gemiddeld (per woningtype en isolatieniveau)	
Hestia	Fysisch- statisch	Gemiddeld (per woningtype en isolatieniveau)	In de basis een fysisch-statisch model maar de netto warmtevraag in de uitgangssituatie (voor maatregelen) wordt gefit op het Referentieverbruik-model en het verbruik na maatregelen hanteert vervolgens dezelfde correctiefactor.
Warmteprofielengenerator	Fysisch-dynamisch	Gemiddeld (gemiddeld voor een groep woningen, gebaseerd op een aantal verschillende profielen)	

In deze tabel wordt voor de geselecteerde modellen het type resultaat voor de warmtevraag aangegeven conform de indeling van paragraaf 1.4 en (indicatief) het type resultaat voor de netto warmtevraag conform de indeling van paragraaf 1.5. Op basis van de inzichten van de kwalitatieve beschrijving van de modellen (zie bijlage 2 en aparte Excel met kwalitatieve beschrijving).

Hieronder volgen enkele andere relevante inzichten uit de kwalitatieve beschrijving van de modellen:

- Normeringsmodellen zijn oorspronkelijk bedoeld om de energieprestatie conform Europese wetgeving te bepalen via een normeringsvraag. Deze modellen zijn niet ontwikkeld om een indicatie van een gemiddelde netto warmtevraag te geven, maar worden daar in sommige gevallen wel voor gebruikt. Het standaardnormeringsmodel van de Rijksoverheid, NTA8800, is niet gevalideerd met praktijkgegevens. Dit is bij een normeringsmodel niet per se noodzakelijk omdat bewust is gekozen voor conservatieve standaardwaarden. Uit het validatierapport van het Maatwerkadvies blijkt dat de afwijking met name groot is bij energie-onzuinige labels (E tot en met G) (Van den Brom et al. 2022).
- Bouwfysische warmteverliesmodellen maken vaak gebruik van standaardwaarden, onder andere voor bewonersgedrag. In sommige gevallen zijn de standaardwaarden (deels) beleidsmatig bepaald. Zo gaat het Maatwerkadvies uit van een setpointtemperatuur (thermostaatinstelling) van 20 graden tijdens verblijf en 16 graden voor nachtverlaging (10 uur per dag). Deze aanname heeft mogelijk een grote invloed op het uiteindelijke berekende verbruik. In de praktijk bestaat echter een spreiding in de setpointtemperatuur, die leidt tot een spreiding in de uiteindelijke warmtevraag. Een ander voorbeeld is het ventilatiegedrag van bewoners, dat in de praktijk sterk kan variëren ten opzichte van wat in bouwfysische modellen wordt aangenomen. In de statistische benadering van het Referentieverbruik is deze spreiding in gedrag impliciet in het gemiddelde verwerkt, omdat deze noodzakelijkerwijs deel uitmaakt van de gemeten verbruiksgegevens. Het nadeel van deze benadering is dat het effect van gedrag op het energieverbruik niet afzonderlijk kan worden onderzocht, zoals dat met bouwfysische modellen mogelijk is.
- Diverse energieverbruiksmodellen zijn vaak beperkt toegankelijk: in het geval van de warmteprofielgenerator zijn de invoerparameters openbaar, maar de methode niet. De normeringsmodellen NTA8800 en NEN7120/NV zijn wél openbaar op het gebied van invoer en methoden, maar de rekenmethoden zijn dermate uitgebreid en complex, dat deze niet zonder uitvoerige verdieping en mogelijke inzet van een specialist zijn toe te passen of te begrijpen. Ook is (model)software niet zonder meer toegankelijk. Hestia en het Referentieverbruik-model zijn publiek toegankelijk (uitgangspunten én methode), maar met name Hestia is ook complex en uitgebreid.
- Degradatie van productprestatie of gemiddelde praktijkprestaties zijn niet meegenomen in het MWA (of NTA8800). Dit terwijl de isolatiekwaliteit van gebouwdelen wel degelijk kan afnemen in de tijd.
- Modellen verschillen in de tijdschaal van de resultaten. Alleen de warmteprofielgenerator kan een uurlijks vraagprofiel voor woningen berekenen. De NTA8800, de NTA8800/MWA, Verbeterjehuis en Hestia geven de warmtevraag per maand. Het Referentieverbruik-model kan alleen de warmtevraag per jaar geven.

6 Resultaten kwantitatieve analyse

In paragraaf 1.4 en 1.5 hebben wij uitleg gegeven over verschillende typen energieverbruiksmodellen en typen resultaten voor de warmtevraag, welke nauw verbonden zijn met de resultaten voor energiebesparing. In hoofdstuk 2 hebben wij een overzicht gegeven van literatuur waarin modelresultaten voor de warmtevraag en energiebesparing voor zover mogelijk worden vergeleken met meetgegevens. Hoewel de literatuur nuttige inzichten geeft in de factoren die van invloed zijn op de effectiviteit van isolatiemaatregelen, wordt ook duidelijk dat er nog weinig houvast is om modelresultaten voor energiebesparing te kunnen valideren met praktijkgegevens. In hoofdstuk 3 wordt daarom de noodzaak beschreven om inzicht te krijgen in de verhouding tussen modelresultaten in de vorm van een modelvergelijking. De methode van die modelvergelijking wordt beschreven in hoofdstuk 4. Gebruikmakend van het theoretisch kader dat in de voorgaande hoofdstukken (vooral paragraaf 1.4 en 1.5) uiteen is gezet, worden in hoofdstuk 5 de karakteristieken beschreven van de modellen die door het PBL zijn geselecteerd voor de vergelijking. In dit hoofdstuk worden de kwantitatieve resultaten van de modelvergelijking beschreven.

De warmtevraag voor ruimteverwarming, warm tapwater en koken is met alle modellen berekend voor een selectie van de testwoningen. Zoals beschreven in hoofdstuk 5 zijn het Referentieverbruik, Hestia, de Warmteprofielengenerator en het Maatwerkadvies, methoden die zijn ontwikkeld om een gemiddelde netto warmtevraag te kunnen berekenen. De resultaten van deze modellen zetten wij in de figuren naast de resultaten van de normeringsmodellen NTA8800 en NEN7120/NV, om een indruk te krijgen van de verhouding tussen de resultaten van deze twee typen modellen.

In dit rapport worden resultaten getoond voor de woningtypen die het meeste voorkomen in de bouwvoorraad. Dat zijn rijwoningen (tussen) en portiekwoningen (midden tussen). Daarnaast worden resultaten getoond voor vrijstaande woningen, omdat deze woningen doorgaans een relatief hoge warmtevraag hebben en daarom in theorie veel baat kunnen hebben bij isolatie. De resultaten worden verder beperkt tot de meest voorkomende bouwperiodes van deze typen.

Een overzicht van de geselecteerde testwoningen staat in tabel 6.1. Hoewel er aanzienlijk meer testwoningen beschikbaar zijn voor analyse, zijn deze combinaties niet met alle modellen doorgerekend³¹. Hoewel het interessant is om modelresultaten te vergelijken voor de overige woningtypen (2-onder-1-kap, rijwoning hoek en galerijflat), is de verwachting dat dit niet tot afwijkende inzichten zal leiden in de modelmethoden. Ook verwachten we geen afwijkingen voor de meer algemene conclusies met betrekking tot de verhoudingen tussen modelresultaten die in dit rapport worden beschreven. De modelresultaten van deze testwoningen, voor de netto warmtevraag en de energiebesparing na isolatiemaatregelen, zijn opgenomen in bijlage 7.

³¹ Alle testwoningen zijn doorgerekend met het Referentieverbruik, Maatwerkadvies, NTA8800 en NEN7120/NV. Met Hestia en de Warmteprofielengenerator is een deel van de testwoningen doorgerekend ten behoeve van deze rapportage.

Modelresultaten voor de testwoningen: de netto warmtevraag en de energiebesparing na isolatiemaatregelen

In bijlage 7 worden per testwoning twee soorten figuren gegeven: in de eerste figuur staat de netto warmtevraag voor ruimteverwarming³² (in gigajoules), berekend door de modellen voor isolatiepakketten die corresponderen met NTA8800-energielabels. Verschillende isolatiepakketten leiden tot een andere warmtevraag: zo komt het voor dat in het ene isolatiepakket meer maatregelen worden genomen dan in een ander pakket, waardoor de warmtevraag die met de NTA8800 methode wordt berekend lager is. Het energielabel beslaat echter een bandbreedte van de warmtevraag: dit betekent dat verschillende pakketten van isolatiemaatregelen tot hetzelfde energielabel kunnen leiden, vermits de NTA8800-resultaten voor de warmtevraag van die pakketten in dezelfde bandbreedte vallen.

Bij het model Referentieverbruik wordt de warmtevraag geschat op basis van het energielabel, zonder onderscheid in isolatiepakketten. Voor de schatting wordt niet uitgegaan van het NTA8800-energielabel (waarmee de resultaten worden gevisualiseerd) maar van het achterliggende NEN7120/NV-energielabel voor hetzelfde isolatiepakket (omdat de schattingen van deze methode op dit type label zijn gebaseerd, zie bijlage B2.5 voor een beschrijving van de methode). De schatting van de netto warmtevraag voor een testwoning in de uitgangssituatie door Hestia is gelijk aan de schatting volgens het Referentieverbruik-model (zie bijlage B2.4 voor een beschrijving van de methode).

De hierop volgende figuren in bijlage 7 geven schattingen weer van de energieverbruiksmoedellen. Dit zijn schattingen van de besparing op de netto warmtevraag voor ruimteverwarming, wanneer de testwoning een sprong zou maken van een NTA8800 start- naar een doellabel (bijvoorbeeld van E naar D). Hierbij geven we het verschil tussen de netto warmtevraag voor ruimteverwarming bij het startlabel en bij het doellabel, waar de woning naartoe 'springt' met extra isolatiemaatregelen. De figuur geeft de absolute besparing weer (in gigajoules) per NTA8800-energielabelsprong in de vorm van een open contour. Deze contour geeft dus in feite de verbetering weer die optreedt door het toepassen van de bijbehorende isolatiepakketten. In paragraaf 6.2 is hiervan een voorbeeldfiguur opgenomen.

In dit hoofdstuk

Voordat we verder ingaan op de resultaten van de modelvergelijking beschrijven we in paragraaf 6.1 eerst specifiek de resultaten van het Referentieverbruik. Het Referentieverbruik is het enige statistische model in de modelvergelijking en wijkt als zodanig methodisch het meeste af van de andere modellen. Het Referentieverbruik kent daarmee ook specifieke (van de andere modellen afwijkende) onzekerheden, zowel in relatie tot de schattingen voor de warmtevraag alsook de schattingen voor energiebesparing. Die onzekerheden worden in paragraaf 6.1 geadresseerd. Daarnaast vermoeden wij dat de lezer bij de interpretatie van de resultaten behoefte heeft aan een orde-grootte-indicatie van het energieverbruik van woningen in de praktijk. In paragraaf 6.1 argumenteren wij waarom wij denken dat het Referentieverbruik in die behoefte kan voorzien.

³² In NTA8800 heet 'de netto warmtevraag'/'het functioneel verbruik' (exclusief verliezen in de installaties) de 'warmtevraag'.

In de paragrafen daarna gaan we in op de resultaten van de modelvergelijking. In paragraaf 6.2 wordt een voorbeeldfiguur gegeven waarbij de lezer wordt geholpen met de interpretatie van de figuur. In paragraaf 6.3 beschrijven we enkele opvallende resultaten van de modelvergelijking. In paragraaf 6.4 worden de observaties, die in paragraaf 6.3 worden beschreven, samengevat.

In deze studie hebben we niet gekeken naar het energiebesparingseffect per isolatiemaatregel omdat het Referentieverbruik-model en de Warmteprofielengenerator hier geen optie voor bieden. Zoals aangegeven in hoofdstuk 5 is de methode van Verbeterjehuis gelijk aan de Maatwerkadvies-methode, met uitzondering van enkele kleine aanpassingen (zie bijlage B2.3). Aangezien we verwachten dat de aanpassingen leiden tot verwaarloosbare verschillen in de resultaten, is ervoor gekozen om geen berekeningen te doen met de Verbeterjehuis-methode.

Tabel 6.1

Selectie van woningtypen en bouwperiodes voor presentatie resultaten

Woningtype	Bouwperiode
Rijwoning (tussen)	<1946
	1965 tot en met 1974
	1975 tot en met 1991
Portiek (tussen midden)	<1946
	1946 tot en met 1964
	1975 tot en met 1991
Vrijstaand	<1946
	1946 tot en met 1964
	1975 tot en met 1991

Deze tabel geeft de selectie van testwoningen weer waar resultaten voor worden weergegeven. Per woningtype worden de meest voorkomende bouwperiodes gegeven.

6.1 Resultaten Referentieverbruik geven goede indicatie van huidige gemiddelde netto warmtevraag

Vooralsnog bestaan er geen onderzoeken die openbare statistische gemiddelden van de netto warmtevraag voor ruimteverwarming in 2020 geven op een vergelijkbaar detailniveau als die binnen het PBL-project ‘Referentieverbruik warmte woningen’ zijn bepaald. Bij een vergelijkbaar detailniveau moet worden gedacht aan gemiddelden per combinatie van woningtype, bouwperiode, eigendomstype en isolatiekwaliteit.

Het Referentieverbruik-project is uitgevoerd in het kader van het programma Verbetering Informatievoorziening Energietransitie (VIVET). In het VIVET-programma is gebruik gemaakt van de meter-vraag van aardgas in het jaar 2020 van in totaal 5.460.850 woningen. Deze woningen gebruiken aardgas voor het verwarmen van ruimte én warm tapwater, en eventueel gebruiken ze ook aardgas om te koken (zie het kopje ‘toelichting VIVET-verbruik en Referentieverbruik’ hieronder). Het Referentieverbruik-model is gebaseerd op de VIVET-gemiddelden: deze maakt gebruik van de VIVET-gemiddelden voor de warmtevraag voor ruimteverwarming voor verschillende woningcombinaties, maar corrigeert die onder andere nog voor de grootte van de woning in de vorm van

vloeroppervlakte. Het Referentieverbruik-model is in deze studie toegepast op de testwoningen. De VIVET-gemiddelden en het Referentieverbruik-model worden verderop in deze paragraaf beschreven onder het kopje 'Toelichting VIVET-gemiddelde en Referentieverbruik'. Zoals hiervoor beschreven zijn de VIVET-gemiddelden en het Referentieverbruik-model – dat rekening houdt met de grootte van de woning – gebaseerd op meetgegevens uit 2020. In hoeverre het Referentieverbruik-model ook voor de toekomstige warmtevraag van ruimteverwarming van de bestaande woningen een goede indicatie is, is afhankelijk van met name gedrags-, klimaat- en weersverandering. Zo nam in 2022 het gemiddelde aardgasverbruik per woning met 270 kubieke meter af tot 980 kubieke meter, een daling van 21,6 procent voor de gehele woningvoorraad (inclusief nieuwbouw) ten opzichte van een jaar eerder (CBS 2023). Deze landelijke daling in het gemiddelde jaarverbruik van woningen komt voor circa de helft door het warmere weer in 2022 (CBS 2023). Ook zuiniger stookgedrag van huishoudens vanwege de hoge gasprijzen als gevolg van de oorlog in Oekraïne en de maatregelen in (nieuwbouw)woningen speelden mee. Op de middellange termijn wordt door klimaatverandering een structurele daling verwacht van de warmtevraag van ruimteverwarming van 11 procent (Van den Wijngaart & Van Polen 2020). Daar staat tegenover dat het gedrag van bewoners ook tot een hoger energieverbruik kan leiden, als bewoners minder zuinig zouden omgaan om redenen die we nu nog niet goed kennen.

Het energielabel conform NTA8800 (gebaseerd op de EP2-indicator) is in de toekomst mogelijk minder geschikt in de context van het Referentieverbruik-model als indicatie voor de isolatiekwaliteit van een woning en voor het schatten van de warmtevraag. Dit komt door de toename van alternatieve warmte-installaties die ook van invloed zijn op het energielabel zoals de (hybride) warmtepomp, zonneboiler en -panelen. Hierdoor wordt het steeds moeilijker om vast te stellen in welke mate het energielabel wordt beïnvloed door de isolatiekwaliteit van de woning of door de warmte-installatie. De populatie waarop het onderzoek kan worden gebaseerd wordt daardoor steeds kleiner. In de periode tot en met 2020 was het energielabel van ruim 3 miljoen woningen nog een voldoende betrouwbare indicatie van de isolatiekwaliteit van de woning (met kennis van en correctie voor aansluitingen op een warmtenet, en de aanwezigheid van zonnepanelen). Voor woningen zonder energielabel was een aparte schatting van de warmtevraag beschikbaar.

Toelichting VIVET-gemiddelde en Referentieverbruik

In het VIVET-project 'Referentieverbruik warmte woningen' zijn gemiddelden bepaald van het warmteverbruik van woningen voor een verscheidenheid aan combinaties van woningtype, bouwperiode, eigendomsstijpe en energielabel. Dit is gedaan op basis van microdata van het CBS uit 2020. In de onderzoekspopulatie (verdeeld in drie groepen, zie hieronder) zijn alleen woningen opgenomen die naar alle waarschijnlijkheid gebruikmaken van aardgas voor ruimteverwarming en warm tapwater. Zij hebben geen zonnepanelen en zonneboilers: het energielabel kan daarom relatief betrouwbaar worden gebruikt als indicatie voor de isolatiekwaliteit van de woningen in de onderzoekspopulatie. De warmtevraag voor ruimteverwarming wordt per woning bepaald door het aardgasverbruik voor warm tapwater en koken te schatten met een methode die is ontwikkeld door TNO. Deze schatting brengen we vervolgens op de totale metervraag in mindering. De warmtevraag voor ruimteverwarming per woning wordt gebruikt om de VIVET-gemiddelden mee te bepalen. De methode van TNO wordt beschreven in het achtergrondrapport van het Referentieverbruik (Van Beijnum et al. 2023).

De gemiddelden van het VIVET- project zijn bepaald per combinatie van woningtype, bouwperiode, eigendomstype en energielabel. Ze gelden voor de gemiddelde vloeroppervlakte per woningcombinatie. In het Referentieverbruik-project is gebruik gemaakt van de situatie zoals deze geldig was voor woningen in het jaar 2020. In het Referentieverbruik-project is onderscheid gemaakt in de volgende drie onderzoekspopulaties:

- Woningen waarvan het energielabel is vastgesteld door een expert in de periode 2015 – 2020;
- Woningen met een vereenvoudigd energielabel, dat is aangevraagd door de woningeigenaar, of een energielabel dat is vastgesteld in 2014 of eerder;
- Woningen zonder een geregistreerd energielabel in 2020.

Voor de gemiddelden van het VIVET-project en de testwoningen is (alleen) gebruik gemaakt van de resultaten van de eerste populatie. De schattingen van het Referentieverbruik-model komen eveneens voort uit het VIVET-project. Hierbij is de warmtevraag geschat als functie van de oppervlakte op basis van een lineaire regressie (zie bijlage B.2.5).

Het verschil tussen het VIVET-gemiddelde en het Referentieverbruik van de testwoning

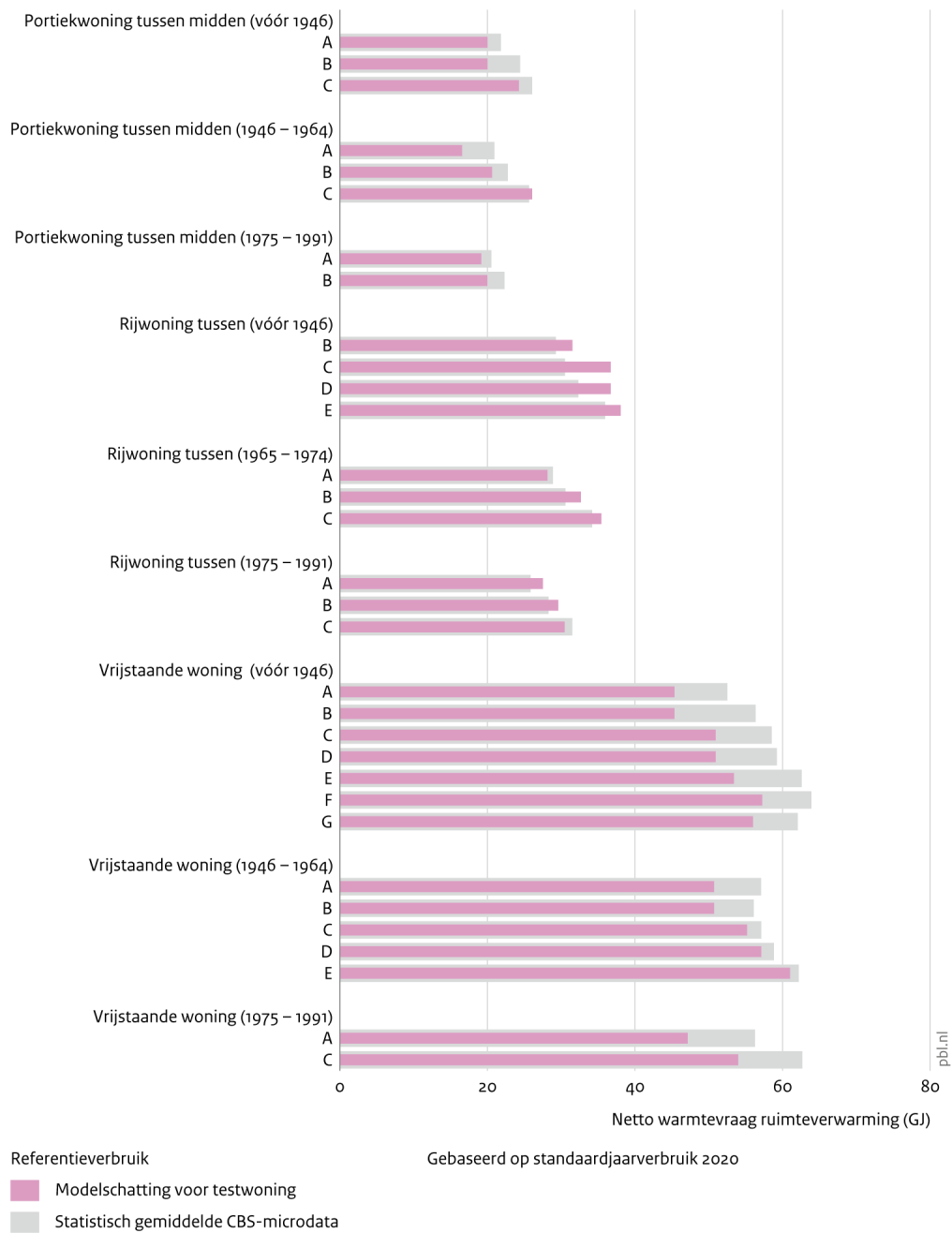
Voor iedere woningcombinatie (woningtype, bouwperiode, eigendom en energielabel) levert het VIVET-project de gemiddelde warmtevraag voor ruimteverwarming die hoort bij de gemiddelde vloeroppervlakte van de woningcombinatie. Dat betekent dat het VIVET-gemiddelde (de gemiddelde warmtevraag, maar ook de gemiddelde vloeroppervlakte) verschilt tussen de energielabels voor iedere woningcombinatie (woningtype, bouwperiode en eigendom). De testwoning van iedere woningcombinatie heeft echter wel dezelfde gebruiksoppervlakte voor alle energielabels. Gevolg is dat de gebruiksoppervlakte van de testwoning sowieso verschilt van de vloeroppervlakte van de VIVET woningcombinatie die (wel) verschilt per energielabel. De gemiddelde vloeroppervlakte van VIVET per energielabel verschilt ook van de testwoningen omdat de populatie waarop de testwoning is gebaseerd afwijkt van VIVET. Het feit dat andere populaties een andere gemiddelde vloeroppervlakte kunnen hebben zien we ook bij het verschil van VIVET met de BAG in tabel 8.7 van het achtergrondrapport van het Referentieverbruik (Van Beijnum et al. 2023). Het gevolg is dat het Referentieverbruik wordt berekend met een andere vloeroppervlakte dan VIVET, waardoor een afwijking in de schatter van de warmtevraag ontstaat tussen Referentieverbruik en VIVET.

Behalve het gebruiksoppervlak hebben de testwoningen specifieke geometrische eigenschappen, die mogelijk niet overeenkomen met het gemiddelde van de woningcombinatie waardoor ook de schattingen voor de netto warmtevraag voor ruimteverwarming met het Referentieverbruik-model kunnen afwijken van het VIVET-gemiddelde. Omdat voor de testwoning wordt uitgegaan van mediaan geometrie-eigenschappen (die in de praktijk veel voorkomen) is de afwijking echter klein (zie figuur 6.1). Alleen de statistische (VIVET) gemiddelden van de woningen waarvan het energielabel conform NEN7120NV zijn bepaald in de periode na 2015 - 2020 door een expert zijn in de figuur opgenomen: hiervoor zijn gewogen gemiddelden genomen over de eigendomstypen. De VIVET-gemiddelden voor de geselecteerde testwoningen zijn eveneens opgenomen in tabelvorm in bijlage 8.³³

³³ Voor de VIVET-gemiddelden is uitgegaan van het NTA8800-energielabel, de schattingen voor de warmtevraag van de testwoningen met het Referentieverbruik zijn gebaseerd op het (achterliggende) NEN7120/NV-energielabel.

Figuur 6.1

Referentieverbruik testwoning versus statistisch gemiddelde woningcombinatie



Bron: PBL (modelversie 2023)

Bovenstaande figuur geeft de geschatte netto warmtevraag van de testwoning conform het Referentieverbruik-model en de gemiddelde statistische netto warmtevraag van VIVET voor alle woningen van hetzelfde type, bouwperiode en energielabel ('Statisch gemiddelde op basis van CBS-microdata'). De schattingen voor de individuele testwoningen wijken af van de VIVET-gemiddelden, omdat de testwoning een andere gebruiksoppervlakte heeft dan het VIVET-gemiddelde. Daarnaast heeft de testwoning specifieke (mediaan) geometrie eigenschappen die veel voorkomen in de praktijk.

6.1.1 Discussie en vertrouwen in VIVET-verbruik en Referentieverbruik voor indicatie gemiddelde warmtevraag

Twee essentiële onderdelen waarop de VIVET- en Referentieverbruikmodel zijn gebaseerd, zijn enerzijds het gebruik van energielabels en anderzijds de indeling in woningcombinaties op basis van fysieke kenmerken (woningtype, bouwperiode). Beide zijn vaak onderwerp van discussie. Bij het gebruik van energielabels wordt veelal gewezen op de afwijking van het afgenomen energielabel, vaak in een voorafgaand jaar ten opzichte van de feitelijke situatie. Dit komt doordat er na de afname nog verbeteringen worden aangebracht aan de woning, in het jaar van het gemeten aardgasverbruik (metervraag in 2020). Bij de indeling van woningen naar fysieke kenmerken wordt vaak gewezen op het feit dat ook huishoudkenmerken een rol kunnen spelen bij de warmtevraag. Toch speelt dit naar onze mening geen belangrijke rol of is de invloed ervan onbekend. In onderstaande twee sub-paragrafen gaan we hier verder op in.

Geeft het gebruik van de energielabels voldoende vertrouwen?

Bij de bepaling van het VIVET-gemiddelde en het Referentieverbruik spelen de door een inspecteur bepaalde energielabels in de periode 2015 tot en met 2020 een dominante rol. Voor de kwaliteit van de schatting van de warmtevraag, is het van essentieel belang dat de energielabels overeenstemmen met de feitelijke situatie in 2020. Ook is het belangrijk dat ze op een correcte wijze worden verwerkt in een analyse met het Referentieverbruik. Voor dit laatste verwijzen we naar het achtergronddocument (Van Beijnum et al. 2023) waarin de selectie van woningen, de onderzoekspopulatie en het schatten van het aardgasverbruik van warm water en koken worden toegelicht. Het Referentieverbruik-model kent ook beperkingen. Zo zijn er woningen waarvan de energielabels achterhaald zijn ten opzichte van de feitelijke situatie, doordat er aanpassingen gedaan zijn aan de woning na afmelding van het energielabel in de energielabeldatabase. Dit beïnvloedt de VIVET-gemiddelden en daarmee de resultaten van het Referentieverbruik-model, maar toch is er voldoende vertrouwen dat het Referentieverbruik-model een goede indicatie geeft van de warmtevraag voor ruimteverwarming voor grote groepen woningen:

- Volgens de monitoringrapportage van de kwaliteitscontrole van energielabels over het jaar 2021 bleek bij circa 7 procent van de woningen de labelklasse verkeerd te zijn (de Jonge, 2022). Wij vinden dit beperkte aandeel geen reden om aan de genoemde bruikbaarheid van het model te twijfelen;
- Te meer omdat de afwijkingen naar beide kanten (slechter en beter label) op werken en zelden meer dan één labelsprong betreffen, volgens een analyse van WoON2018 (Van den Wijngaart & Van Polen 2020);
- Verder is een voorloper van het Referentieverbruik-model (zoals die werd gebruikt in de Startanalyse aardgasvrije buurten, zie paragraaf 1.4.2) toegepast op de labels van WoON2018. Hieruit bleek dat het Referentieverbruik de gemeten verbruiken van de herkeurde labels goed kon reproduceren (Van den Wijngaart & Van Polen 2020);
- Ten slotte gaan we in op het (tegen)argument dat er in de praktijk isolatiemaatregelen kunnen worden genomen nadat het energielabel is bepaald. We erkennen dat dit gebeurt maar we denken dat het slechts in beperkte mate invloed heeft op de schattingen:
 - Niet elke isolatiemaatregel leidt tot een beter energielabel;
 - Bij woningcorporaties – het grootste deel van de woningvoorraad met een energielabel – komt het weinig voor dat er geen energielabel meer wordt aangevraagd na een renovatie. Zij zullen in het algemeen hun woningen labelen nadat renovatie en isolatiemaatregelen zijn uitgevoerd om een hogere huur te krijgen (Rijksoverheid, n.d.);

- Voorgaande blijkt ook uit het feit dat een groot deel van de woningen waarvan het energielabel is afgenomen door een expert in de periode 2015 tot en met 2020 voor de tweede keer is gedaan: de eerste keer (meestal nog voor 2015) is geweest voordat er isolatiemaatregelen zijn genomen; de tweede keer nadat de isolatiemaatregelen zijn genomen;
- Sinds de energiecrisis, met hoge energieprijzen in 2022, is er meer aandacht voor het energielabel bij de aanschaf van een huis. Het is daardoor aannemelijk dat woningeigenaren meer geneigd zijn om een huis te isoleren voorafgaand aan de verkoop, om de marktwaarde te verhogen. Voor de energiecrisis werden woningen vooral geïsoleerd door de kopers, na de verkoop. Het komt desalniettemin waarschijnlijk vaker voor dat woningen worden opgeknapt na verkoop. Als het energielabel niet opnieuw wordt bepaald, is het geregistreerde energielabel mogelijk slechter dan het in werkelijkheid is. Dat betekent dat het energiegebruik van die woningen in de praktijk beter is dan op basis van het geregistreerde energielabel zou worden geschat met het Referentieverbruik-model. Uit de hiervoor genoemde analyse van WoON2018 blijkt dat dit vooral speelt bij energielabels F en G. Hierbij is het RVO-afgemelde energielabel in circa twee derde van de gevallen slechter dan de praktijk. Het aantal woningen met energielabel F en G in de woningvoorraad is echter klein, evenals het aantal woningen in de WoON2018-database waar deze constatering op is gebaseerd (106 woningen met label F, 71 woningen met label G). Het aantal woningen met energielabel B, C, D en E is aanzienlijk groter. Hier bleken de verschillen tussen het afgemelde energielabel en het energielabel in de praktijk klein. Ook bleken de energielabels van de woningen in WoON2018 database in de praktijk zowel slechter als beter dan het geregistreerde energielabel. Over het geheel lijken energielabels voor het gros van de woningen met label B tot en met E een voldoende betrouwbare basis te bieden voor schattingen van het energieverbruik. De onzekerheid bij relatief energie-onzuinige labels (F en G) is onvoldoende om het gebruik van energielabels als indicatie van de isolatiekwaliteit in de Referentieverbruik-methode te verwerpen. Het feit dat woningen met een afgemeld label F en G in de praktijk vaak beter zijn geïsoleerd, is wel een punt van aandacht bij de interpretatie van de resultaten van het Referentieverbruik-model en voor toekomstig onderzoek.

Bewonerskenmerken zijn niet expliciet meegenomen. Is dat erg?

Het Referentieverbruik-model laat zien dat de warmtevraag van ruimteverwarming (sterk) wordt bepaald door fysieke kenmerken van woningen, met name het woningtype, de bouwperiode, het energielabel en de vloeroppervlakte. De invloed van de vloeroppervlakte op de warmtevraag kan worden verklaard, omdat deze in contact staat met de buitenomgeving (in dit geval de grond). Een vergelijkbare verklaring heeft ook te maken met het woningtype: vrijstaande woningen hebben immers meer oppervlakten die in contact staan met de buitenomgeving dan bijvoorbeeld een appartement. We noemen de oppervlakten die in contact staan met de buitenomgeving het 'warmteverliesoppervlak'. Bij de bouwperiode hangt de invloed op de warmtevraag samen met de gebruikte bouwmaterialen en de wijze van bouwen zoals koudebruggen, spouwmuur en kierafdichting. Bewonerskenmerken zijn niet expliciet meegenomen in het Referentieverbruik-model van het VIVET-project omdat de bewonerskenmerken niet openbaar beschikbaar zijn.

Aangezien het doel van het VIVET-project is om de warmtevraag van iedere bestaande woning in Nederland te kunnen schatten, en gemeenten en adviesbureaus hierover te laten beschikken, kan niet gewerkt worden met niet-openbare informatie – en dus niet met de bewonerskenmerken. Dit geldt ook bij de toepassing van het Referentieverbruik-model in het openbare Vesta MAIS-model van PBL en het Hestia-model van PBL/TNO. We behandelen hieronder de vraag in hoeverre kennis over bewonerskenmerken de schatter van het Referentieverbruik-model kan verbeteren.

Bij het PBL is geen literatuur bekend waarin overtuigend is aangetoond dat het inkomen noch andere huishoudenseigenschappen verschillen tussen energielabels binnen dezelfde combinatie van woningtype, bouwperiode en grootte van de woning, waardoor de warmtevraag beïnvloed wordt. Ook zijn hiervoor geen aanwijzingen gevonden. In het onderzoek van Van den Brom et al. (2019) wordt wel geconcludeerd dat het inkomen verschil maakt voor besparing, maar in dat onderzoek wordt daarbij niet tegelijkertijd gecorrigeerd voor andere woningkenmerken (zoals het woningtype), naast de correctie voor de oppervlakte (zie paragraaf 2.3.2). Bovendien lijkt het absolute effect op de besparing klein zoals die in de studie wordt gepresenteerd. Het zou wel verstandig zijn om de relatie tussen inkomen en de warmtevraag verder te onderzoeken om een verband te vinden of uit te kunnen sluiten. Het kan namelijk inderdaad zo zijn dat het inkomen verschilt binnen dezelfde woningcombinatie van type, bouwperiode én oppervlakte en dat er vervolgens een verband is tussen het inkomen en de warmtevraag. Maar belangrijk voor het schatten van energiebesparing is de vraag of dit tussen energielabels binnen de woningcombinatie (woningtype, bouwperiode) verschilt. De resultaten die Van den Brom vindt kunnen namelijk mogelijk worden verklaard uit de samenhang tussen enerzijds fysieke eigenschappen van woningen en anderzijds het inkomen van huishoudens. Zo wonen huishoudens met een hoger inkomen relatief vaker in grotere woningen en woningen met een groter warmteverliesoppervlak (vrijstaand ten opzichte van 2-onder-1-kap t.o.v. hoekwoning t.o.v. tussenrijwoning t.o.v. appartement). Deze samenhang is ook gevonden in het onderzoek van Leidelmeijer (2019), waarin wordt geconcludeerd dat inkomen geen onafhankelijke invloed heeft op het gasverbruik. Dat wil zeggen: wanneer (naast het inkomen) ook wordt gecorrigeerd voor het type en de grootte van de woning, heeft het inkomen waarschijnlijk geen op zichzelf staand effect op het gasverbruik.

Huishoudenseigenschappen hebben wel tot op zeker hoogte invloed op de warm tapwaterbehoefte. Bij het Referentieverbruik-model wordt hier rekening mee gehouden bij de bepaling van de warmtevraag van ruimteverwarming, door het aardgasverbruik van warm tapwater en koken af te trekken van de metervraag. Het aardgasverbruik van warm tapwater en koken is naast het aantal personen van het huishouden ook afhankelijk van de bouwperiode en de grootte van de woning. Voor het energielabel kon echter geen significante relatie worden gevonden met de warm tapwaterbehoefte, zie hoofdstuk 4 (Van Beijnum et al. 2023). Voor alle (schil)labels binnen de woningcombinatie (woningtype, bouwperiode) is daarom in dit onderzoek hetzelfde aardgasverbruik van warm tapwater en koken verondersteld. Andere afhankelijkheden zijn minder significant of konden niet in het genoemde onderzoek worden meegenomen. Dit laatste is bijvoorbeeld het geval voor de leeftijd van de bewoners in relatie tot het warm tapwatergebruik: leeftijd van de bewoners is hier wel significant van invloed, maar kon niet worden meegenomen in de gemeentebestanden van het Referentieverbruik omdat die informatie niet publiek toegankelijk is. Overigens zijn ons geen aanwijzingen bekend dat de leeftijdsverdeling van bewoners verschilt tussen energielabels, binnen de combinaties van woningtype en bouwperiode.

De VIVET-gemiddelden zijn desalniettemin gebaseerd op een relatief groot aantal gemeten verbruiksgegevens, die in ieder geval de situatie in 2020 realistisch weerspiegelen voor de woningen die in dat jaar een energielabel hebben.

Aan het begin van de paragraaf lieten we zien dat de resultaten van het Referentieverbruik-model voor de testwoningen zeer in de buurt komen van de VIVET-gemiddelden. De resultaten van het Referentieverbruik-model bieden daarmee een realistische orde-grootte-indicatie van de gemiddelde netto warmtevraag van de woningcombinatie waar een testwoning bij hoort, in ieder geval voor het jaar 2020. De schattingen voor de netto warmtevraag in de uitgangssituatie (niet noodzakelijkerwijs de besparing) bieden daarom een bruikbaar ijkpunt voor de andere modelschattingen. In 2022 lag het energieverbruik door de hoge energieprijzen aanzienlijk lager, maar het moet nog blijken in welke mate deze daling in het energiegebruik structureel is. Eventueel kan worden overwogen om het Referentieverbruik-project te herhalen met recentere statistieken van het energieverbruik.

6.1.2 Discussie en vertrouwen in Referentieverbruik voor indicatie van gemiddelde energiebesparing na isolatiemaatregelen

In de paragraaf hiervoor is beargumenteerd waarom het gebruik van de energielabels in onze ogen verantwoord is voor de VIVET-gemiddelden en de methode achter het Referentieverbruik-model bij de bepaling van de warmtevraag voor ruimteverwarming, in ieder geval gebaseerd op het warmteverbruik voor 2020. De onzekerheid neemt echter toe als we het model gebruiken voor het schatten van de energiebesparing nadat isolatiemaatregelen genomen zijn.

- In de vorige paragraaf werd de mogelijke invloed van bewonerskenmerken besproken op de warmtevraag. Hoewel bewonerskenmerken niet expliciet zijn opgenomen in de schattingsmethode van het Referentieverbruik, zitten bewonerskenmerken (en hun gedrag) wel impliciet in de statistieken van het energieverbruik van het CBS en die gebruikt zijn in het VIVET project. Dit is een voordeel bij het schatten van een gemiddelde warmtevraag in de praktijk (omdat bewoners en hun gedrag nu eenmaal van invloed zijn op het verbruik), maar vormt een onzekerheid bij het schatten van de energiebesparing bij isolatiemaatregelen met het Referentieverbruik. Het Referentieverbruik vergelijkt, bij het schatten van de energiebesparing, de gemiddelde warmtevraag van woningcombinaties van hetzelfde woningtype, bouwperiode en eigendomstype—maar met verschillende isolatiekwaliteit in de vorm van het energielabel. Het kan echter zo zijn dat de kenmerken van huishoudens zoals gezinssamenstelling, leeftijd, etc. verschillen tussen deze woningcombinaties, wat de schatting voor de besparing mogelijk beïnvloedt. Het impliciet meenemen van bewonerskenmerken en gedrag is juist een voordeel van de methode, omdat de netto warmtevraag in de uitgangssituatie (voor maatregelen) daardoor waarschijnlijk beter aansluit bij de praktijk.
- Zoals eerder aangegeven kan het zijn dat de isolatiekwaliteit van woningen met een afgemeld energielabel F en G in de praktijk beter is doordat de woningen na afmelding zijn verbeterd (en de isolatiekwaliteit van woningen met een A label juist iets slechter). Als dit werkelijk zo is, zou dit betekenen dat schattingen voor de besparing met het Referentieverbruik aan de conservatieve kant zijn.

Hoewel er onzekerheden bestaan bij het schatten van de energiebesparing na isolatiemaatregelen met het Referentieverbruik, bestaan deze onzekerheden in vergelijkbare mate bij bouwfysische modellen. Het voordeel van het statistische Referentieverbruik-model is dat eigenschappen van bewoners en gedrags- en gebouwkenmerken impliciet zijn verwerkt in de statistische meetgegevens. Daardoor kunnen we ze in ieder geval meenemen bij de inschatting van de warmtevraag in de

situatie voorafgaand aan isolatiemaatregelen. Bouwfysische modellen nemen deze eigenschappen nu nog niet, of minder, mee. Impliciete gedrags- en gebouwkenmerkenvormen echter tegelijkertijd een onzekerheid bij het schatten van de energiebesparing met het Referentieverbruik, op basis van transversale data van het energiegebruik, omdat niet expliciet kan worden gemaakt waar de daling in energieverbruik tussen energielabels door wordt veroorzaakt.

In bouwfysische modellen worden deze gedrags- en gebouwkenmerken wel expliciet meegenomen in de berekening, maar wordt de grote diversiteit in gedrags- en gebouwkenmerken die in de praktijk kan bestaan teruggebracht tot één standaardwaarde, meestal door een gebrek aan data. Daarom is het goed dat statistische- en bouwfysische modellen naast elkaar worden ontwikkeld. Met elk hun eigen voordelen en onzekerheden bieden statistische- en bouwfysische benaderingen inzicht in een ander aspect van energiebesparing. In bouwfysische modellen kan de invloed van diverse gedrags- en gebouwweigenschappen op de warmtevraag individueel worden onderzocht, maar de kennis daarover is nog beperkt waardoor het risico bestaat dat berekeningen onvoldoende recht doen aan de praktijk. Met statistische modellen worden gedrags- en gebouwkenmerken impliciet meegenomen, maar kan de individuele invloed van deze factoren op het energiegebruik niet worden onderzocht.

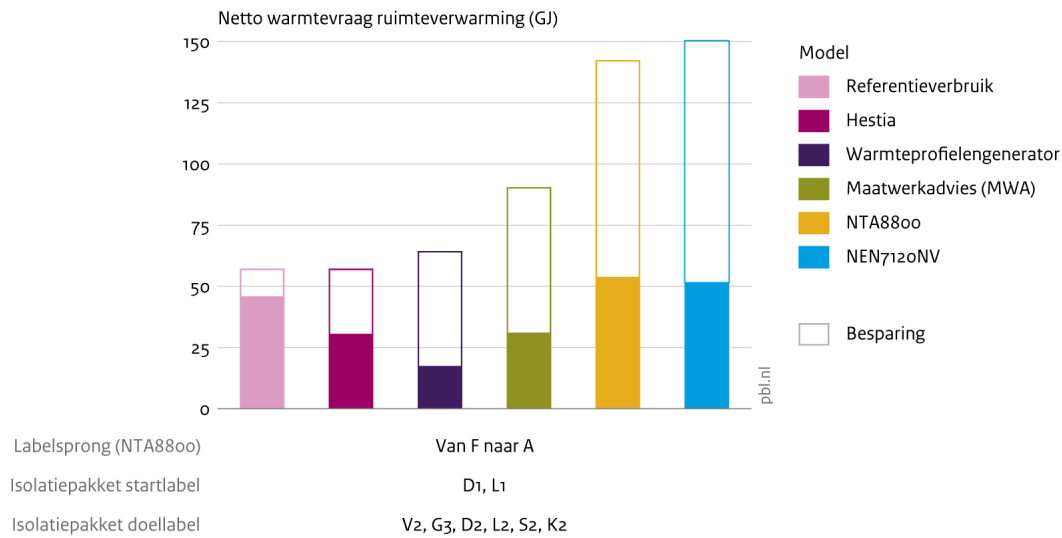
6.2 Voorbeeldfiguur

Ter illustratie van het type resultaten van de kwantitatieve modelvergelijking in bijlage 7 wordt in figuur 6.2 een voorbeeld gegeven: in dit geval van een vrijstaande woning, gebouwd voor 1946, bij een sprong van het geselecteerde isolatiepakket bij startlabel F naar het geselecteerde isolatiepakket bij doellabel A. Het gaat hier dus om één testwoning, met mediaan geometrie. Met 'mediaan geometrie' wordt bedoeld dat voor alle gebouwdelen de mediaan oppervlakte is gekozen (RVO 2022). De figuur bestaat uit de volgende elementen:

- In de balken (gehele balk, inclusief open contour) wordt per model de geschatte netto warmtevraag voor ruimteverwarming gegeven voor het isolatiepakket van het startlabel. Hierbij wordt het startlabel gebaseerd op het isolatiepakket in de uitgangssituatie en bepaald met de NTA8800;
- De netto warmtevraag voor ruimteverwarming in de uitgangssituatie volgens het Referentieverbruik wordt berekend met de bij de woningcombinatie behorende formule uit het Referentieverbruik. Voor het energielabel wordt gebruik gemaakt van het NEN7120/NV-label;
- De netto warmtevraag voor ruimteverwarming in de uitgangssituatie in Hestia wordt gefit op de schatting van het Referentieverbruik, deze is daarom gelijk;
- In de x-as (label) wordt de labelsprong gegeven van NTA8800 start- naar doellabel. Het isolatiepakket dat hoort bij de startlabel wordt in blokhaakjes weergegeven;
- De besparing op de netto warmtevraag ten opzichte van de uitgangssituatie (label F in het voorbeeld) door het toepassen van isolerende maatregelen naar de doelsituatie (label A in het voorbeeld) wordt, per model, in de vorm van een open contour weergegeven.

Figuur 6.2

Besparing bij vrijstaande woning (vóór 1946) naar doellabel A



Bron: PBL, TNO, RVO (modelversie 2023)

Bovenstaande figuur geeft resultaten van de geselecteerde modellen voor de besparing bij de testwoning 'vrijstaand, gebouwd voor 1946' bij een labelsprong van NTA8800-label F naar label A. De balk (inclusief) open contour geeft de geschatte netto warmtevraag in de uitgangssituatie, de open contour geeft de geschatte besparing naar de doelsituatie.

6.3 Beschrijving modeluitkomsten en verklaring van de verschillen

In deze studie hebben we gekeken naar diverse factoren die het verschil in resultaten tussen energieverbruiksmoellen kunnen verklaren. Deze modellen verschillen sterk in het doel waarvoor ze zijn ontwikkeld. Zo verschillen ze in het type resultaat dat ze geven voor de netto warmtevraag, of in de tijdstap waarbinnen ze het energieverbruik berekenen (per jaar, maand of uur). Ook de gebruikte methoden variëren, wat het moeilijk maakt om oorzaken voor de verschillen in uitkomsten direct aan te wijzen. De energieverbruiksmoellen kunnen verder van elkaar verschillen met betrekking tot de kengetallen. Diverse factoren die bepalend zijn voor de netto warmtevraag en die verschillen in uitkomsten mogelijk kunnen verklaren zijn onder andere:

- Rekentemperatuur³⁴, zowel binnen als buiten;
- Ventilatie;
- Infiltratie;
- Spuien/ spuifactor³⁵ (lees: in korte tijd alle lucht in een ruimte verversen, bijvoorbeeld door het openen van ramen of deuren);

³⁴ Diverse andere eigenschappen zijn hier van op invloed: denk aan de aanwezigheid van de bewoners in het huis, het aantal bewoners, nachtverlaging van de thermostaat, aandeel van het huis dat wordt verwarmd, etc.

³⁵ De standaardwaarde voor de 'spuifactor' is in het MWA gehalveerd ten opzichte van NTA8800.

- Zoninstraling;
- Interne warmteproductie;
- Klimaatcorrectie (de klimaatcorrectie die wordt gebruikt in normeringsmodellen verschilt met de klimaatcorrectie van andere modellen in de vergelijking);
- Inschatting functionele warmtevraag voor koken en warm tapwater;
- Bewerkingen in de energiestatistiek.

In de praktijk blijkt het lastig om de kengetallen voor de geselecteerde modellen te vergelijken. Bouwfysische warmteverliesmodellen, zoals het normeringsmodel NTA8800 of het Maatwerkadvies, hebben aanzienlijk meer parameters dan bijvoorbeeld Hestia. Zo biedt Hestia bijvoorbeeld geen mogelijkheid voor nachtverlaging met een aparte setpointtemperatuur: in plaats daarvan wordt gewerkt met een gecorrigeerde binnentemperatuur. Verder worden ventilatie- en infiltratiedebieten in Hestia uitgedrukt in een eenheid per aansluiting, niet per vierkante meter gebruikso-pervlak zoals dat gebeurt bij normeringsmodellen en het Maatwerkadvies.

Verder wordt bij de bepaling van de energie-efficiëntie voor warm tapwater in NTA8800 onderscheid gemaakt tussen het afgifterendement, bijdrage van douchewaterwarmterugwinning (indien van toepassing), distributieverliezen, opslagverliezen (indien van toepassing), opwekkingsrendement, etc. Bij Hestia is dit teruggebracht tot één rendement voor energieverbruik voor warm tapwater. Het Referentieverbruik beschouwt geen van bovengenoemde factoren, maar is gebaseerd op meetgegevens van het meterverbruik van woningen. Alleen de schatter van warm tapwater en koken is in dit model naast praktijkgegevens van gedrag gebaseerd op enkele kentallen van installaties (zie bijlage B2.5 voor een beschrijving van de methode). Ook de wijze van klimaatcorrectie verschilt tussen de verschillende energieverbruiksmo-dellen.

Bovenstaande voorbeelden geven een indruk van de complexiteit van een directe vergelijking van de kengetallen van modellen. Hoewel we wel een poging hebben gedaan binnen de kaders van dit project om bovenstaande kengetallen te vergelijken, bleek dit te complex om binnen de beschikbare tijd grondig te kunnen doen. Aanvullend onderzoek kan hier mogelijk meer inzicht in bieden. In bijlage 4 worden wél de modeluitkomsten vergeleken voor de geschatte netto warmtevraag voor warm tapwater en koken. De verschillen in modeluitkomsten voor warm tapwater en koken zijn dusdanig klein, dat dit de grote verschillen in modeluitkomsten voor ruimteverwarming niet kan verklaren.

Opvallende resultaten van de modelvergelijking beschrijven we hieronder en we verklaren ze voor zover mogelijk, onder andere op basis van inzichten van de kwalitatieve analyse van de modellen (zie hoofdstuk 5 en bijlage 2). De figuren met resultaten voor de testwoningen die in de modelvergelijking zijn geanalyseerd staan in bijlage 7. Diverse figuren uit bijlage 7 zijn (soms met extra informatie) opgenomen in de tekst in dit hoofdstuk. In paragraaf 6.3.1 beschrijven we observaties met betrekking tot de geschatte netto warmtevraag van woningen. In paragraaf 6.3.2 staan observaties over de geschatte besparing. In paragraaf 6.3.3 vergelijken we onze modelresultaten met resultaten van de studie van Van den Brom et al. (2019). In paragraaf 6.4.4 wordt een beknopt overzicht gegeven van de observaties van de modelvergelijking.

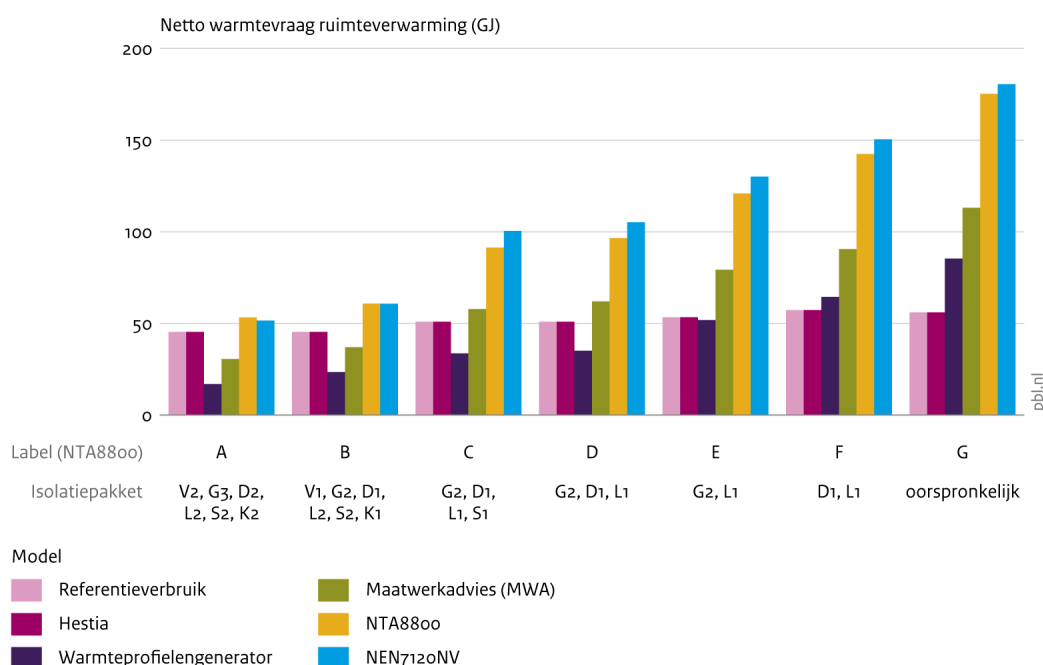
6.3.1 Observaties met betrekking tot de geschatte netto warmtevraag

i. NTA8800 en NEN7120/NV geven vaak de hoogste netto warmtevraag

Het normeringsmodel NTA8800 of diens voorloper NEN7120/NV geven de hoogste netto warmtevraag bij 84 procent van de combinaties van testwoning, bouwperiode en energielabel die in dit rapport zijn betrokken. Het verschil met de andere modellen is het grootste bij vrijstaande woningen. Dit is niet vreemd, gezien het feit dat NTA8800 en NEN7120/NV zijn bedoeld om een normeringsvraag te berekenen (zie paragraaf 1.5.1). Daarbij wordt veelal gebruik gemaakt van conservatieve standaardwaarden. Ook moet worden voldaan aan richtlijnen voor berekeningen van de EPBD (zie bijlage B2.1). In figuur 6.3 staat ter illustratie de netto warmtevraag van de testwoning vrijstaand, gebouwd vóór 1946 per NTA8800-energielabel (met bijbehorend isolatiepakket).

Figuur 6.3

Netto warmtevraag bij vrijstaande woning (vóór 1946)



Bron: PBL, TNO, RVO (modelversie 2023)

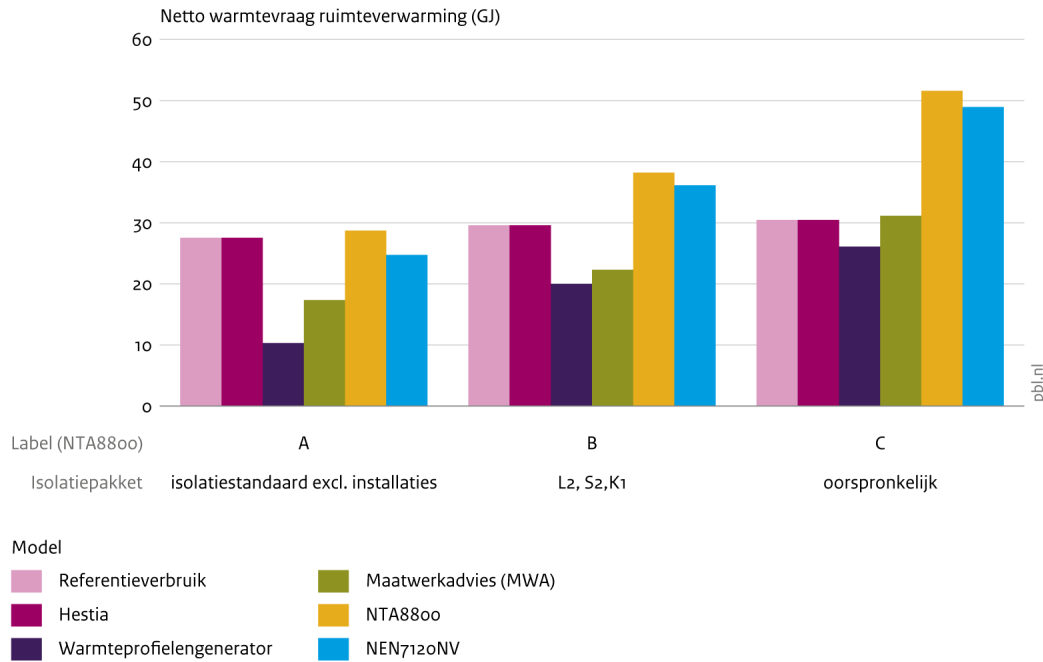
Deze figuur geeft de netto warmtevraag per isolatiepakket dat correspondeert met een NTA8800-energielabel. De afkortingen bij de isolatiepakketten worden beschreven in paragraaf 4.4. Hoewel de resultaten worden gepresenteerd aan de hand van NTA8800-energielabels, is de achterliggende toewijzing naar label gebaseerd op de NEN7120/NV voor toepassingen met het Referentieverbruik-model en Hestia.

ii. De Warmteprofielengenerator geeft een relatief lage netto warmtevraag bij energiezuinige labels (A, B)

In vergelijking met andere modellen valt op dat de Warmteprofielengenerator een lagere netto warmtevraag berekent bij relatief energiezuinige labels (A en B) van de testwoningen (zie figuur 6.4). Dit komt overeen met de conclusies uit een eerdere validatie van het model met 12 wijken in Delft en Leidscheveen (zie figuur 6.5; Koene et al. 2022).2014).

Het door het model geschatte energieverbruik van nieuwere wijken ligt 20 tot 40 procent lager dan de in werkelijkheid gemeten warmtevraag, volgens de cijfers gepubliceerd door het CBS. Van oudere wijken ligt het berekende energiegebruik in de meeste gevallen binnen 20 procent afwijking van het in de praktijk gemeten gebruik.

Figuur 6.4
Netto warmtevraag bij rijwoning tussen (1975 – 1991)

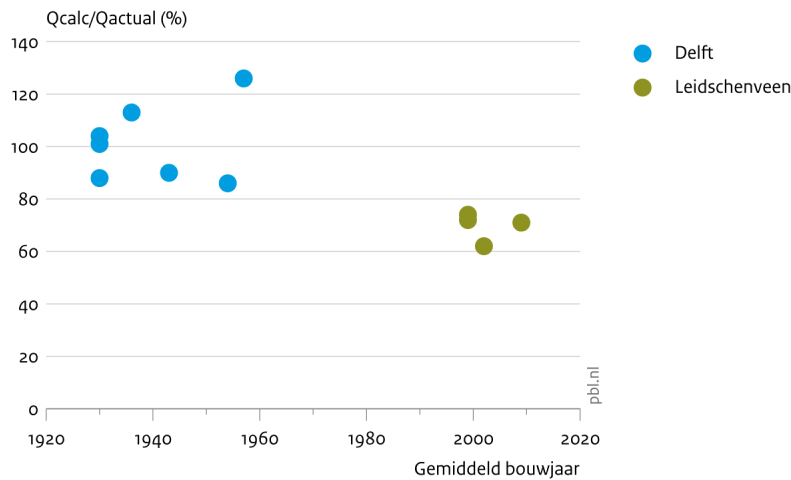


Bron: PBL, TNO, RVO (modelversie 2023)

Deze figuur geeft de netto warmtevraag per isolatiepakket dat correspondeert met een NTA8800-energielabel. De afkortingen bij de isolatiepakketten worden beschreven in paragraaf 4.4. Hoewel de resultaten worden gepresenteerd aan de hand van NTA8800-energielabels, is de achterliggende toewijzing naar label gebaseerd op de NEN7120/NV voor toepassingen met het Referentieverbruik-model en Hestia.

Figuur 6.5

Validatie warmteprofielgenerator Delft en Leidscheveen



Bron: TNO (modelversie 2023)

Bron: Koene et al. (2022) met bewerking door PBL. De figuur geeft het berekende energieverbruik (Q_{calc}) gedeeld door het werkelijke energieverbruik (Q_{actual}) in procenten. Het berekende energieverbruik ligt bij oudere woningen in Delft (gebouwd voor 1960) meestal in de buurt van het werkelijk energiegebruik (tussen de 80 en de 120 procent). Bij relatief recent gebouwde woningen (rond 2000 en daarna) ligt het berekende energieverbruik ónder het werkelijk energieverbruik (minder dan 80 procent).

Eén van de verklaringen dat de Warmteprofielgenerator de netto warmtevraag bij energielabel A en B lager inschat, kan zijn dat in het model de aanname zit dat bewoners de ramen en deuren altijd gesloten houden. In het voor- en najaar kunnen hierdoor relatief hoge binnentemperaturen ontstaan in goed geïsoleerde woningen, waardoor minder energie voor verwarming nodig is. In de praktijk kan het zijn dat bewoners wel de ramen openen of zonwering gebruiken waardoor er minder warmtewinst van zoninstraling is.

Ook zouden aannames over infiltratieverliezen de verschillen tussen de resultaten van de energieverbruiksmoellen kunnen verklaren. Bij alle modellen hebben we voor de testwoningen aangenomen dat er sprake is van natuurlijke ventilatie, maar in de modellen kunnen aannames verschillen over de hoeveelheden verse lucht en daaraan gerelateerde warmteverliezen. In de Warmteprofielgenerator wordt gebruik gemaakt van een ventilatie- en infiltratiemodel dat het ventilatiedebiet³⁶ berekent gecombineerd met de effecten van infiltratie (kieren in de gebouwschil), ventilatieroosters en open ramen.

Zoals beschreven in paragraaf 4.5.3, hebben we voor de temperatuurinstellingen in de berekeningen met de Warmteprofielgenerator aangesloten bij de uitgangspunten van het Maatwerkadvies. In de Warmteprofielgenerator zit echter de aanname dat er doordeweeks, na een piek in het energiegebruik in de ochtend, hierna 8 uur lang sprake is van verlaagd gebruik ('dagverlaging').

³⁶De hoeveelheid lucht die per tijdseenheid door een ventilatiesysteem wordt verplaatst

Het MWA gaat er daarentegen vanuit dat de verwarming (setpointtemperatuur) overdag altijd op 20 graden Celsius staat. Voor een woning met een beter energielabel is de verwachting dat deze na opwarming in de ochtend niet veel zal afkoelen richting de avond. Dit verklaart dus niet het verschil in de resultaten voor het energiegebruik van woningen met betere energielabels tussen de Warmteprofielgenerator en de andere modellen.

In het najaar van 2023 is door TNO een project gestart om de Warmtevraagprofielgenerator beter te laten aansluiten bij het werkelijk energiegebruik en het model te valideren. Bovenstaande punten zullen in dit project verder worden geanalyseerd en eventueel worden aangepast.

iii. Tussen verschillende energielabels zit volgens het Referentieverbruik weinig verschil in de netto warmtevraag voor ruimteverwarming

Het valt op dat er volgens het Referentieverbruik tussen energielabels weinig verschil zit in de geschatte verbruiken voor ruimteverwarming. Dit kan deels worden verklaard uit het feit dat de schattingen van het Referentieverbruik zijn gebaseerd op de achterliggende NEN7120/NV-energielabels: hoewel de isolatiepakketten voor de analyse zo zijn gekozen dat de NTA8800-energielabels per isolatiepakket verschillen, kan het voorkomen dat de NEN7120/NV-energielabels hetzelfde zijn voor verschillende isolatiepakketten. Dit wordt duidelijk bij de testwoning ‘vrijstaand <1946’ (zie figuur 6.3). Hier krijgen woningen met NTA8800-energielabel A en B allebei een NEN7120/NV-energielabel A. Woningen met NTA8800-energielabel C en D krijgen allebei een NEN7120/NV-energielabel C. De netto warmtevraag die met het Referentieverbruik-model (en met Hestia) wordt geschat, is daarom hetzelfde bij energielabel A en B en bij energielabel C en D.

Desondanks blijven de verschillen in schattingen van het Referentieverbruik voor de netto warmtevraag tussen energielabels klein. Dit betekent dat andere factoren veel invloed kunnen hebben bij specifieke energielabels, zoals de samenstelling en het gedrag van huishoudens. In welke mate dit speelt, weten we echter niet. Ook andere factoren zoals de werkelijke energetische kwaliteit van de woning, gebruikte bouwmaterialen, -constructie en -ouderdom kunnen van invloed zijn. Zo weten we uit een andere studie (Van den Wijngaart & Van Polen 2020) dat in VIVET het gemiddelde energieverbruik voor ruimteverwarming van ‘goede’ schillabels (A en B) bij oude woningen anderhalf keer zo hoog is als bij recent gebouwde woningen met hetzelfde label. De VIVET-gemiddelden—waarbij de invloed van installaties zoveel mogelijk buiten beschouwing is gelaten—lijken deze uitkomst te bevestigen (zie paragraaf 6.1).

iv. Binnen hetzelfde energielabel is grote spreiding mogelijk in de geschatte netto warmtevraag

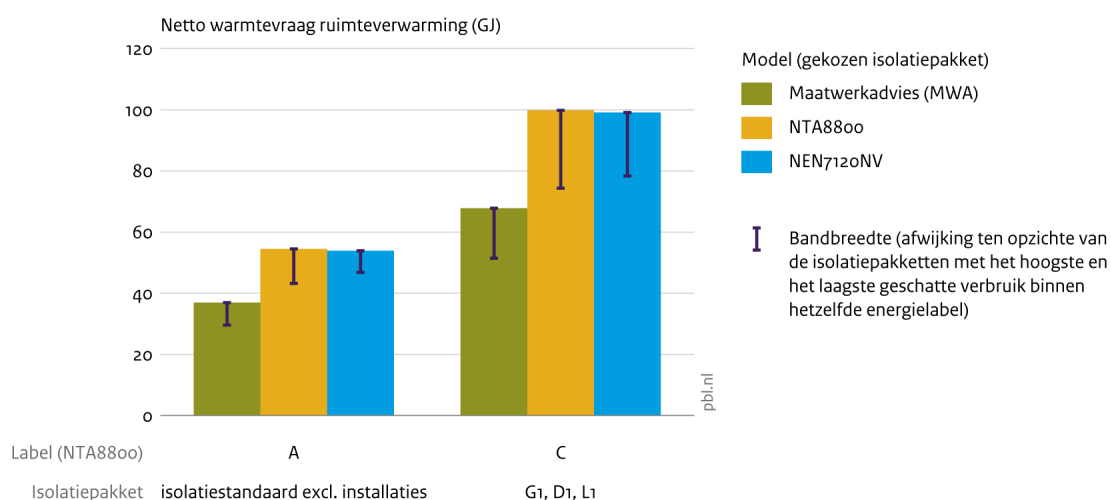
Zoals eerder aangegeven kunnen meerdere isolatiepakketten worden samengesteld, die tot hetzelfde NTA8800-energielabel leiden. Stel dat verschillende woningen verschillende isolatiepakketten toepassen, wel allemaal met een HR-ketel, en vervolgens hetzelfde energielabel krijgen. Hoewel ze hetzelfde label hebben, kan de spreiding in het energieverbruik tussen deze woningen groot zijn. In de figuren 6.6 en 6.7 wordt voor twee testwoningen de spreiding weergegeven van de geschatte netto warmtevraag van woningen met isolatiepakketten die tot hetzelfde energielabel leiden. Deze bandbreedten kunnen alleen worden bepaald in bouwfysische modellen, omdat die onderscheid maken tussen isolatiepakketten binnen hetzelfde energielabel. Het Referentieverbruik geeft als statistisch model één schatting voor de gemiddelde netto warmtevraag op basis van het energielabel, zonder verder onderscheid in isolatiepakketten.

De bandbreedte in de figuren geeft de afwijking weer van de isolatiepakketten met de hoogste en de laagste geschatte netto warmtevraag binnen hetzelfde energielabel. In de figuren zijn voor alle energielabels meerdere isolatiepakketten beschikbaar, het geselecteerde isolatiepakket zit toevallig vaak aan de onder- of bovengrens van de warmtevraagbandbreedte binnen het energielabel. In figuur 6.6 lopen de schattingen van de netto warmtevraag voor ruimteverwarming voor de testwoning 'Vrijstaand 1975-1991' met label C volgens NTA8800 uiteen van 74 tot 100 gigajoules. In figuur 6.7 lopen de schattingen voor de testwoning 'Portiek 1946-1964' met label A eveneens volgens NTA8800 uiteen van 9 gigajoules tot circa 19 gigajoules.

Hoewel een keuze voor een ander isolatiepakket tot (iets) andere verhoudingen zou kunnen leiden in het energieverbruik zoals berekend door bouwfysische modellen, gaan we ervan uit dat de pakketten waarschijnlijk wel dezelfde richting op werken. Elk isolatiepakket leidt bij alle bouwfysische modellen tot een resultaat aan de bovenkant, in het midden of aan de onderkant van de bandbreedte. De verhouding van de resultaten van bouwfysische modellen ten opzichte van schattingen van het statistische Referentieverbruik-model kunnen wel veranderen met een keuze van andere isolatiepakketten. Het Referentieverbruik geeft immers één schatting voor de warmtevraag op basis van het energielabel, ongeacht de keuze in isolatiepakket. De selectie van isolatiepakketten verklaart echter niet de grote verschillen in de schattingen voor de netto warmtevraag tussen het statistische Referentieverbruik-model en de bouwfysische modellen bij relatief energie-onzuinige labels.

Figuur 6.6

Spreiding netto warmtevraag van isolatiepakketten bij vrijstaande woning (1975 – 1991)

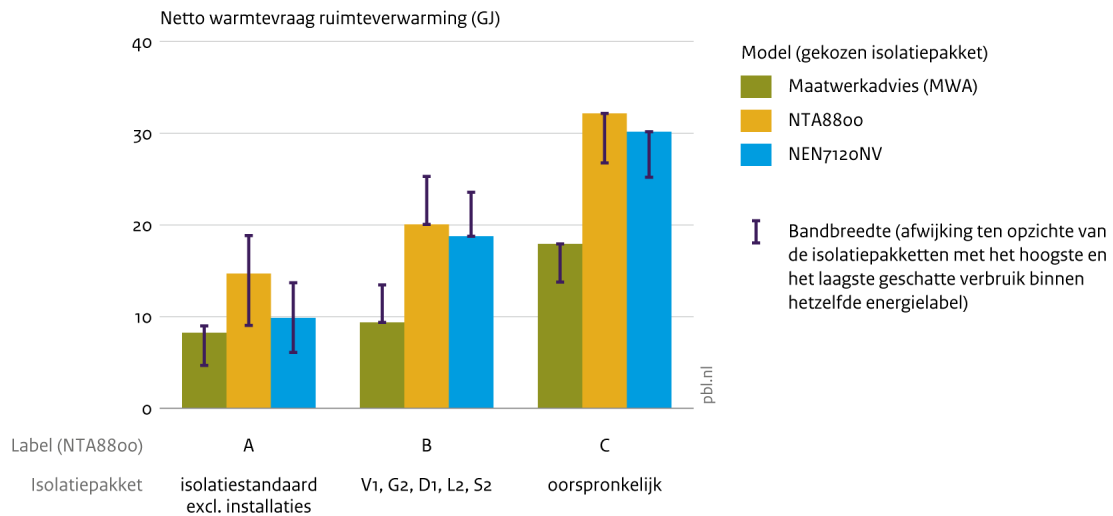


Bron: RVO (modelversie 2023)

Deze figuur geeft de netto warmtevraag per isolatiepakket dat correspondeert met een NTA8800-energielabel. De bandbreedte geeft de afwijking ten opzichte van de isolatiepakketten met het hoogste en het laagste geschatte verbruik binnen hetzelfde energielabel: in dit geval heeft het pakket 'isolatiestandaard' het hoogste verbruik van alle pakketten die voor deze testwoning resulteerden in een energielabel A.

Figuur 6.7

Spreiding netto warmtevraag van isolatiepakketten bij portiekwoning tussen midden (1946 – 1964)



Bron: RVO (modelversie 2023)

Deze figuur geeft de netto warmtevraag per isolatiepakket dat correspondeert met een NTA8800-energielabel. De afkortingen bij de isolatiepakketten worden beschreven in paragraaf 4.4. De bandbreedte geeft de afwijking ten opzichte van de isolatiepakketten met het hoogste en het laagste geschatte verbruik binnen hetzelfde energielabel.

6.3.2 Observaties met betrekking tot de geschatte energiebesparing

v. Hoog geschat verbruik in de uitgangssituatie gaat vaak gepaard met hoge schattingen voor de besparing bij isolatie

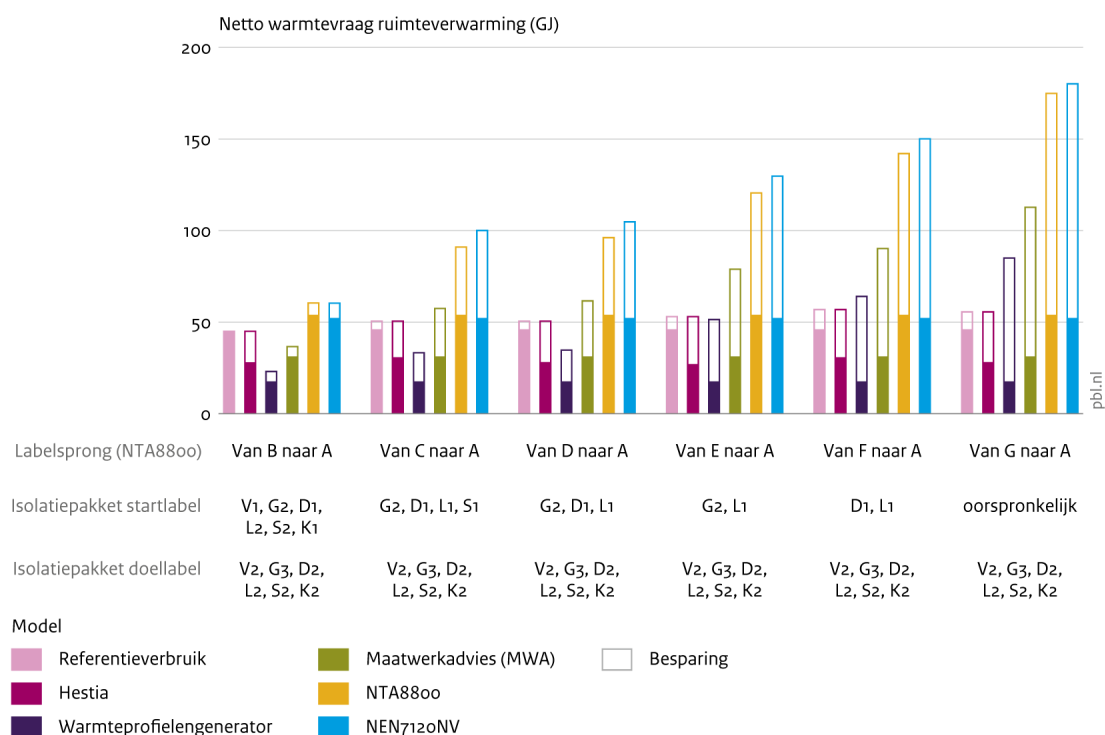
Normeringsmodellen geven vaak de grootste geschatte energiebesparing na isolatiemaatregelen. Het verschil met de andere modellen is het grootste bij vrijstaande woningen. Van de modellen die ontwikkeld zijn om een gemiddeld verbruik te berekenen, geeft het Maatwerkadvies bij veruit de meeste labelsprongen de hoogste geschatte energiebesparing na isolatie (bij 57 procent van de labelsprongen in dit rapport). Bij 25 procent van de geanalyseerde labelsprongen geeft de Warmteprofielgenerator de hoogste besparing, meestal bij portiekwoningen en rijwoningen (tussen). Hestia geeft bij 16 procent van de geanalyseerde labelsprongen de hoogste besparing, meestal bij de labelsprong van B naar A (in observatie x. wordt hier specifiek op ingegaan). In figuur 6.8 staat ter illustratie de energiebesparing in dezelfde testwoning per NTA8800-energielabelsprong: van het isolatiepakket dat hoort bij het startlabel naar het isolatiepakket dat hoort bij het doellabel, in dit geval doellabel A. In de figuur geven het Maatwerkadvies, de NEN7120/NV en de NTA8800 de hoogste resultaten voor de warmtevraag (met uitzondering van de sprong van label B naar A) en de hoogste energiebesparing.

Bij sommige energieverbruiksmodellen wordt er volgens de resultaten soms netto méér energie bespaard dan de hoeveelheid die voorafgaand aan de isolatie überhaupt werd verbruikt (volgens de schatting uit het Referentieverbruik). Dit komt bij meerdere modellen voor— al is het verschil het meest opvallend bij de NEN7120/NV en NTA8800— en het komt vooral voor bij relatief energieonzuinige vrijstaande woningen (label E, F of G). We zien dit het meest duidelijk bij de labelsprong van G naar A bij vrijstaande woningen van voor 1946 (zie figuur 6.8).

Hier ligt de hoeveelheid bespaarde energie bij NTA8800, NEN7120/NV, het MWA én de Warmteprofielengenerator boven het geschatte verbruik in de uitgangssituatie met het Referentieverbruik-model (iets minder dan 60 gigajoules voor label G, zie figuur 6.3). Volgens de eerste twee modellen is de energiebesparing twee keer zo hoog als de netto warmtevraag in de uitgangssituatie uit het Referentieverbruik.

Over het algemeen lijkt het erop dat een bouwfysische modelschatting voor energiebesparing relatief hoog is ten opzichte van andere modellen, wanneer een relatief hoge netto warmtevraag berekend is in de uitgangssituatie. Dit is vooral het geval voor relatief energie-onzuinige labels. Uitzondering is het op statistiek gebaseerde Referentieverbruik-model: de besparingen die met dit model worden berekend zijn over het algemeen kleiner dan de resultaten van bouwfysisch modellen. Dit geldt zelfs als de netto warmtevraag in de uitgangssituatie volgens het Referentieverbruik hoger ligt (zie figuur 6.8, labelsprong van C naar A: het Referentieverbruik schat de netto warmtevraag in de uitgangssituatie hoger dan de Warmteprofielengenerator en berekent toch een lagere besparing).

Figuur 6.8
Besparing bij vrijstaande woning (vóór 1946) naar doellabel A



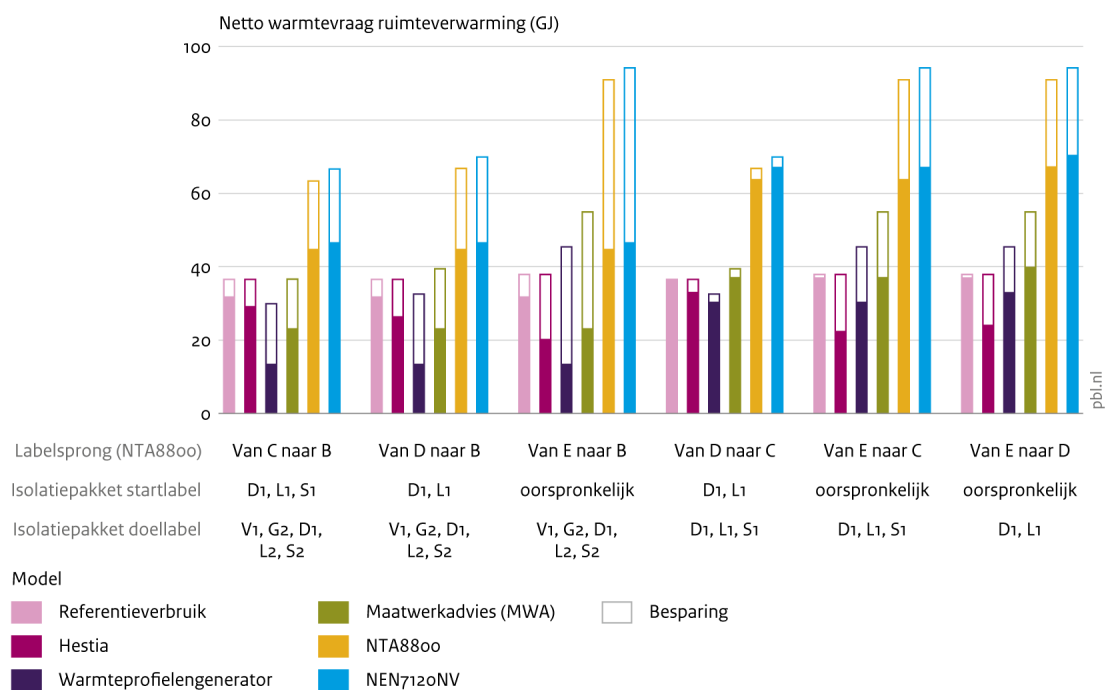
Bron: PBL, TNO, RVO (modelversie 2023)

Deze figuur geeft de absolute (op de y-as) besparing weer die is bepaald op basis van één isolatiepakket per energielabel. De figuur laat alle besparingsstappen zien naar doellabel A. De labelstappen zijn gebaseerd op NTA8800-labels, de achterliggende berekeningen voor Hestia en het Referentieverbruik zijn gebaseerd op NEN7120 labels. Isolatiepakketten bij energielabel F en E zijn hier niet logisch opvolgend.

vi. Het Maatwerkadvies geeft structureel een lagere absolute besparing dan NTA8800, maar vaak een hogere relatieve besparing

Het MWA geeft een structureel lagere absolute besparing dan NTA8800 (zie figuur 6.9 ter indicatie, de figuren voor de andere testwoningen laten vergelijkbare resultaten zien). Dit sluit aan bij de conclusies van het validatie-onderzoek van de methode in opdracht van RVO (Van den Brom et al. 2022). Opvallend is dat – ondanks de lagere absolute energiebesparing – de relatieve besparing die door het MWA wordt berekend vaak groter is dan de relatieve besparing volgens NTA8800. Bij 75 procent van de labelsprongen die in dit rapport worden beschreven is de relatieve besparing volgens het Maatwerkadvies hoger dan de relatieve besparing volgens de NTA8800. Dit wordt duidelijk geïllustreerd in figuur 6.9 bij NTA8800 labelsprong van startlabel E naar doellabel B (EB): daar berekent NTA8800 een relatieve besparing van 51 procent en berekent het MWA een relatieve besparing van 59 procent. Dit terwijl de absolute besparing aanzienlijk lager is volgens het MWA (zie tabel 6.2 voor de besparingen in tabelvorm).

Figuur 6.9
Besparing bij rijwoning tussen (vóór 1946) naar doellabel B, C of D



Bron: PBL, TNO, RVO (modelversie 2023)

Deze figuur geeft de absolute (op de y-as) besparing weer die is bepaald op basis van één isolatiepakket per energielabel. De figuur laat alle besparingsstappen zien op basis van de geselecteerde isolatiepakketten. Hoewel de resultaten worden gepresenteerd aan de hand van NTA8800-energielabels, is de achterliggende toewijzing naar label gebaseerd op de NEN7120/NV voor toepassingen met het Referentieverbruik-model en Hestia.

Tabel 6.2

Startverbruik en besparing [GJ] van label E naar B

	Warmtevraag		
	Uitgangssituatie	Besparing	Besparing relatief
Referentieverbruik	38.1	6.5	17%
Hestia	38.1	18.1	48%
Warmteprofielenge-			
nerator	45.6	32.4	71%
MWA	55.1	32.3	59%
NEN7120NV	94.4	48.1	51%
NTA8800	91.2	46.7	51%

Deze tabel geeft de geschatte netto warmtevraag in de uitgangssituatie (met NTA8800-label E) en de geschatte besparing naar de doelsituatie (met NTA8800-label B).

vii. Het Referentieverbruik is relatief conservatief in schattingen van energiebesparing

Ten opzichte van de andere energiemodellen geeft het Referentieverbruik-model lage schattingen voor energiebesparing, ook bij woningen met een relatief groot verbruik (vrijstaand, tussenwoningen). Dit kan mogelijk worden verklaard vanuit het feit dat het model het effect van energiebesparing schat door de warmtevraag van groepen woningen met elkaar te vergelijken. Deze woningen hebben dezelfde kenmerken (type en bouwjaar), maar verschillende isolatiekwaliteit (zie onderdeel 'energiebesparing' van Bijlage B2.5). Bij de vergelijking van groepen woningen wordt in het Referentieverbruik geen rekening gehouden met mogelijke verschillen in bewonerskenmerken tussen deze groepen.

Uit diverse onderzoeken blijkt echter dat de eigenschappen van bewoners en hun gedrag (leeftijd, aanwezigheid in het huis, inkomen, etc.) van invloed zijn op de warmtevraag (Van den Brom et al. 2019; Van den Brom et al. 2018; Guerra-Santin & Itard 2010, Guerra-Santin 2011). Het is dus mogelijk dat de eigenschappen en het gedrag van bewoners verschilt binnen de groepen woningen. Het is tot dusverre echter onbekend in welke mate bewonerseigenschappen en gedrag verschillen tussen woningen met andere energielabels, maar met dezelfde grootte binnen de woningcombinaties van het Referentieverbruik, zoals beschreven in paragraaf 6.1. De VIVET-gemiddelden voor ruimteverwarming, die in het Referentieverbruik worden toegepast, geven tot nu toe een goede indicatie van de warmtevraag van woningen in de huidige situatie (in elk geval het jaar 2020). Dit kan echter in de toekomst veranderen.

De relatief lage schattingen van energiebesparing in het Referentieverbruik kunnen mogelijk ook worden veroorzaakt door 'verouderde' energielabels. In dat geval zijn er isolatiemaatregelen genomen in een woning, zonder dat er een nieuw energielabel is aangevraagd. Het energielabel kan ook verkeerd zijn vastgesteld. In paragraaf 6.1.1 gaan we uitgebreid in op de discussie over het gebruik van energielabels voor energieanalyses van woningen.

viii. In Hestia wordt de absolute energiebesparing lager ingeschat dan in andere bouwfysische modellen, maar meestal wel hoger dan in het statistische model Referentieverbruik

Het valt op dat de absolute besparingen in het Hestiamodel bij 67 procent van de labelsprongen in dit rapport lager liggen dan in de andere bouwfysische modellen, terwijl die ook zijn ontwikkeld om een gemiddelde besparing te berekenen (Maatwerkadvies en Warmteprofielengenerator). Zie bijvoorbeeld de vrijstaande woning 1946-1964, figuur 6.10.

Ondanks dat de absolute besparing in Hestia vaak lager ligt dan bij de andere bouwfysische modellen, geldt dat in het algemeen niet voor de relatieve besparing. In tabel B9.3 van bijlage 9 is te zien dat de relatieve besparing in Hestia ruwweg even vaak groter als kleiner is dan in de andere bouwfysische modellen (voor de in deze analyse beschouwde portiek- en rijwoningen). Ten aanzien van het statistische model, Referentieverbruik, schat Hestia in bijna alle gevallen de besparing hoger in, zowel absoluut als relatief.

Het feit dat de absolute besparing in de meeste gevallen lager is dan bij de andere bouwfysische modellen sluit aan bij de verwachting: de netto warmtevraag in de uitgangssituatie is in Hestia gebaseerd op het Referentieverbruik (zie hoofdstuk 5). Met een 'gedragsfactor' of 'fitfactor' is de bouwfysische berekening in Hestia gefit op het voor die woning bepaalde Referentieverbruik (zie bijlage B2.4). Gemiddeld is voor woningen met slechtere labels de bouwfysische berekening als gevolg van de fitfactor naar beneden geschaald en voor goede labels omhoog.

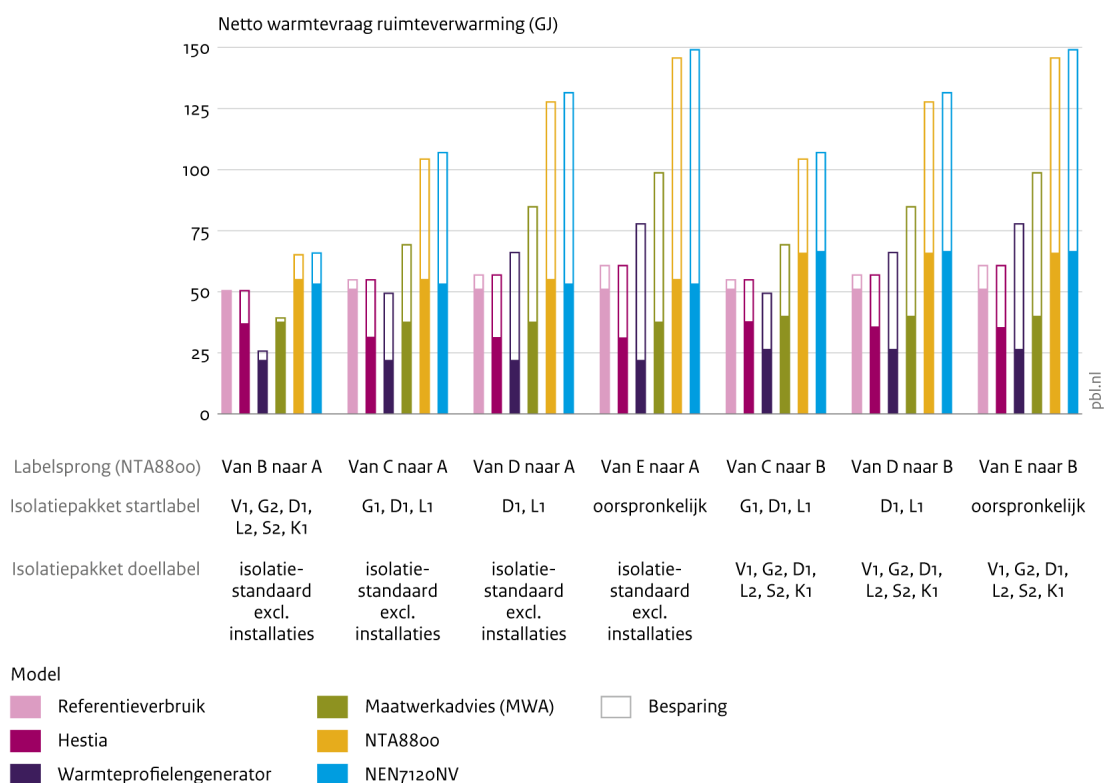
In Hestia is er door de modelmakers voor gekozen om deze 'fitfactor' constant te houden met de uitgangssituatie. Dat wil zeggen dat dezelfde fitfactor wordt gebruikt in de berekening van de warmtevraag van een woning voor én na het nemen van isolatiemaatregelen. De warmtevraag voorafgaand aan isolatiemaatregelen die door Hestia bouwfysisch is berekend, is bij slechte energielabels en bij de meeste woningtypen hoger dan de warmtevraag die met het statistische Referentieverbruik wordt berekend. In een woning met een slecht label zal de 'fitfactor' er daarom voor zorgen dat het energiegebruik na verbetering wat lager uitvalt dan zonder deze fitfactor. Het gebruik van dezelfde fitfactor voor het berekenen van de warmtevraag na het nemen van isolatiemaatregelen, wordt gedeeltelijk tenietgedaan omdat in Hestia rekening wordt gehouden met het feit dat de binnentemperatuur van een woning stijgt na de toepassing van betere isolatie.

Het fitten van de warmtevraag in de uitgangssituatie op het Referentieverbruik heeft als gevolg dat de geschatte energiebesparing in Hestia kleiner uitvalt dan in andere bouwfysische modellen. Dit strookt met observatie v., waarin we vaststellen dat (ten opzichte van andere modellen) een hoog verbruik in de uitgangssituatie in de meeste gevallen gepaard gaat met relatief hoge resultaten voor de besparing bij isolatiemaatregelen. Oftewel: als een woning relatief veel energie verbruikt vóór isolatie, zal deze na isolatie meer energie besparen. Een andere factor die van invloed is op het energiegebruik dat Hestia berekent, is de warmtewinst (van personen, elektrische apparaten en zoninstraling). Die wordt gemaximaliseerd tot 80 procent van de warmtevraag³⁷. Wanneer de warmtewinst niet zou worden beperkt, zou in sommige gevallen het energiegebruik voor verwarming lager worden doordat er meer warmte komt van bijvoorbeeld personen, elektrische apparaten of zoninval. Dat zou ook betekenen dat bij isolatiemaatregelen, de energiebesparing lager is.

³⁷ De berekening van de maximalisatie van de warmtewinst staat beschreven in de *release notes* van Hestia (v1.1) paragraaf 1.5, zie daarvoor de [publicatie op de website van TNO](#).

Figuur 6.10

Besparing bij vrijstaande woning (1946 – 1964) naar doellabel A of B



Bron: PBL, TNO, RVO (modelversie 2023)

Deze figuur geeft de absolute (op de y-as) besparing weer die is bepaald op basis van één isolatiepakket per energielabel. De figuur laat alle besparingsstappen zien op basis van de geselecteerde isolatiepakketten. Hoewel de resultaten worden gepresenteerd aan de hand van NTA8800-energielabels, is de achterliggende toewijzing naar label gebaseerd op de NEN7120/NV voor toepassingen met het Referentieverbruik-model en Hestia.

ix. Relatief hoge besparingen in het Hestiamodel bij portiekwoningen

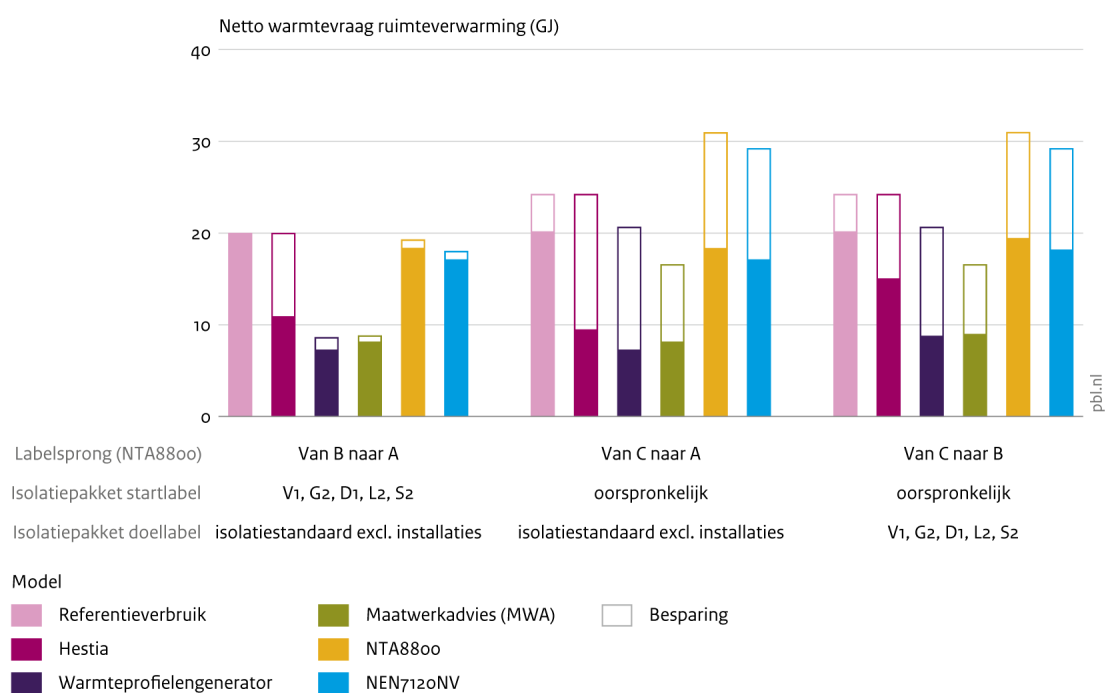
Het is opvallend dat Hestia – van de modellen die ontwikkeld zijn om een gemiddelde besparing te berekenen – na de Warmteprofielengenerator in de meeste gevallen de hoogste energiebesparing na isolatiemaatregelen laat zien bij portiekwoningen. Dit is opvallend omdat de netto warmtevraag in de uitgangssituatie wordt gefit op het Referentieverbruik (zie bijlage B2.4). De resultaten voor de netto warmtevraag liggen bij de meeste woningtypen in het Referentieverbruik lager dan in de resultaten van bouwfysische modellen (zie observatie vii.).

Bij portiekwoningen maakt het Referentieverbruik echter geen onderscheid in subtypen binnen woningtypen, dit terwijl voor deze vergelijking is gekozen voor de testwoning ‘Portiek tussen midden’. Een ‘tussen midden’ portiekwoning heeft geen raakvlak met het dak of de begane grond van een gebouw en heeft daardoor relatief gezien een lage netto warmtevraag. Aangezien het Referentieverbruik-model een gemiddelde netto warmtevraag schat op basis van alle portiekwoningen uit dezelfde bouwperiode, met hetzelfde energielabel en eigendomstype (ongeacht de locatie in het gebouw), zijn deze schattingen relatief hoog voor een portiekwoning ‘tussen midden’. Andere, vooral bouwfysische modellen houden bij het bepalen van de netto warmtevraag wel rekening met de locatie van de portiekwoning in het gebouw.

Bij subtypen van de portiekwoning komt het daardoor voor dat met het Referentieverbruik-model een hoger energieverbruik wordt geschat dan met bouwfysische modellen. Ook bij het woningtype 'galerijflat' komt een 'tussen midden' subtype voor, maar dat woningtype maakt geen onderdeel uit van de modelvergelijking.

Zoals in observatie v. werd geconstateerd betekent een hoog startverbruik (over het algemeen) dat er meer besparing kan worden gerealiseerd. Omdat Hestia-resultaten worden gefit op resultaten van het Referentieverbruik-model heeft dit tot gevolg dat in Hestia ook een relatief hoge warmtevraag wordt gegeven in de uitgangssituatie voor de testwoning 'portiekwoning tussen midden' en een relatief hoge besparing ten opzichte van andere bouwfysische modellen.

Figuur 6.11
Besparing bij portiekwoning tussen midden (vóór 1946) naar doellabel A of B



Bron: PBL, TNO, RVO (modelversie 2023)

Deze figuur geeft de absolute (op de y-as) besparing weer die is bepaald op basis van één isolatiepakket per energielabel. De figuur laat alle besparingsstappen zien naar doellabel A of B op basis van de geselecteerde isolatiepakketten. Hoewel de resultaten worden gepresenteerd aan de hand van NTA8800-energielabels, is de achterliggende toewijzing naar label gebaseerd op de NEN7120/NV voor toepassingen met het Referentieverbruik-model en Hestia.

Een andere oorzaak van de hogere besparing kan liggen bij het feit dat Hestia niet direct rekent met de Rc-waardes van de testwoningen, maar met isolatieniveaus per bouwdeel die bepaalde Rc-waardes vertegenwoordigen. Bij kleine verbeteringen in de Rc-waardes van de testwoning kan het voorkomen dat ze binnen hetzelfde isolatieniveau van Hestia vallen, waardoor er geen verbetering zichtbaar is. Dit lijkt in dit geval echter geen verklaring te bieden voor de hogere besparing (zie tabel 6.3).

Tabel 6.3

Isolatiewaarden van de testwoning portiek < 1946 B naar A en bijbehorende isolatiewaarden die Hestia hanteert in de berekening van het warmteverlies.

Bouwdeel	Uitgangssituatie		Doelsituatie		Opmerking
	Testwoning	Hestia	Testwoning	Hestia	
Raam leefruimte (U waarde)	1,8	1,6	1,4	1,6	In Hestia wordt geen verbetering van de ramen geïnterpreteerd; dit draagt bij aan een lagere besparing
Raam slaapruimte (U waarde)	1,8	1,6	1,4	1,6	In Hestia wordt geen verbetering van de ramen geïnterpreteerd; dit draagt bij aan een lagere besparing
Deuren (U waarde)	3,4	3,45	3,4	3,45	
Paneel (Rc waarde)	0	0,24	0	0,24	
Massieve gevel (Rc waarde)	2,5	0,19	4,5	3,5	In Hestia wordt zowel de isolatiewaarde in de uitgangssituatie als de doelsituatie slechter geïnterpreteerd, maar kan door het verschil in de waarden tot een andere besparing leiden. Hestia hanteert een drempelwaarde voor isolatieniveau 3 met een Rc van 3,48 bij massieve gevels. Alle isolatieniveaus onder die drempelwaarde die bij de testwoningen voorkomen krijgen hetzelfde lage isolatieniveau toegekend (met bijbehorende Rc van 0,19).
Kierdichting (Qv10 waarde)	0	0,4	0	0,4	

Deze tabel geeft de isolatiewaarden voor de testwoning portiek <1946 van energielabel B naar A. De verschillen in isolatiewaarden kunnen in sommige gevallen een verklaring voor de verschillen in besparing vergeleken met andere modellen geven. Het is onduidelijk of dat in dit geval zo is.

x. Er vinden grote besparingen plaats bij labelsprong van B naar A volgens het Hestiamodel, met in een enkel geval ontsparring

Het isolatiepakket dat in de RVO-brochure voorbeeldwoningen is bepaald om de Isolatiestandaard mee te halen, correspondeert in bijna alle gevallen met een NTA8800-energielabel A (met uitzondering van soms een lager energielabel bij vooroorlogse woningen, waar andere eisen voor gelden vanuit de Isolatiestandaard).

Het komt geregeld voor dat resultaten voor de energiebesparing voor woningen met startlabel B die verbeterd worden naar label A die met Hestia zijn bepaald hoger uitvallen dan met het MWA en de Warmteprofielengenerator. Bij portiekwoningen kan de relatief hoge besparing bij de labelsprong van B naar A deels worden verklaard door de fitfactor die de netto warmtevraag in de uitgangssituatie gelijk stelt aan de resultaten van het Referentieverbruik-model (zie observatie ix.).

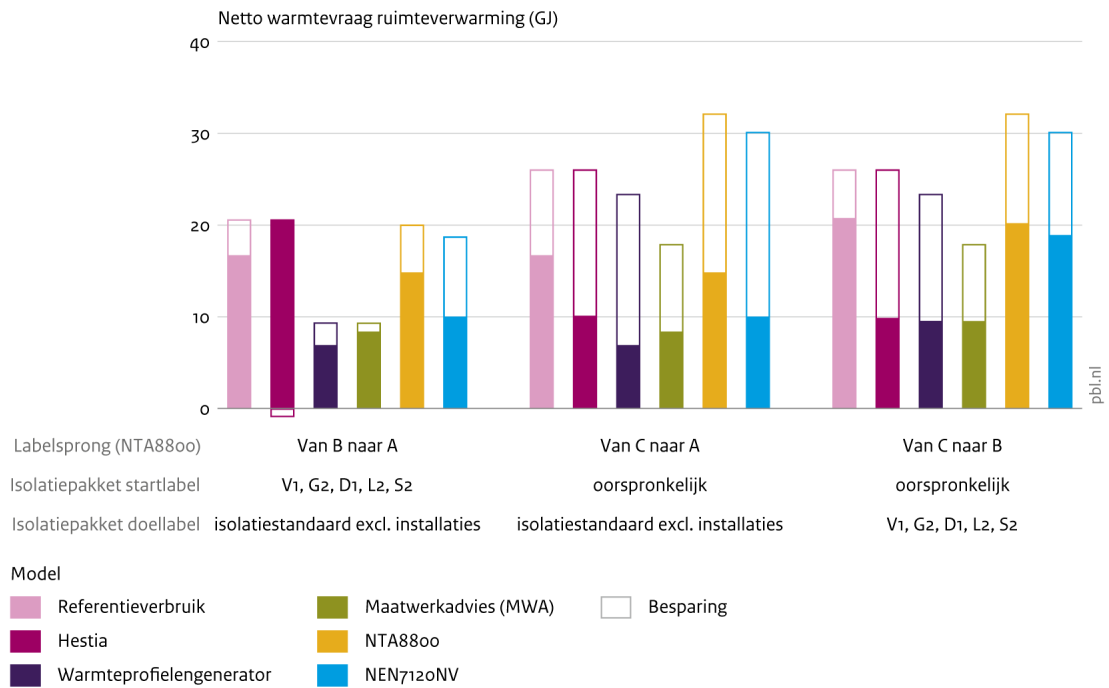
Het verklaart echter niet waarom de relatief hoge besparing bij specifiek de labelsprong van B naar A ook voorkomt bij andere woningtypen (zie bijvoorbeeld 'Vrijstaand 1946-1964' in bijlage 7). Een ander opvallend resultaat bij de labelsprong van B naar A is te zien bij de portiekwoning tussen midden met bouwjaar 1946-1964 (figuur 6.12). Daar laat Hestia een negatief resultaat zien. De netto warmtevraag van de woning neemt bij een negatief resultaat toe, dit noemen we 'ontsparring'.

Zoals eerder aangegeven is het isolatiepakket 'isolatiestandaard' conform de RVO-brochure-voorbeeldwoningen, vaak gekozen bij energielabel A. Mogelijk worden de relatief hoge besparingen en de incidentele ontsparring die Hestia berekent bij de labelsprong van B naar A veroorzaakt door het feit dat een bouwdeel in het pakket 'isolatiestandaard' soms een lagere isolatiekwaliteit heeft dan het maatregelpakket voor label B. Specifiek bij de portiekwoning tussen midden 1946-1964 heeft de gevel bij het isolatiepakket 'isolatiestandaard' (met label A) een Rc-waarde van 1,7, terwijl dat voor het B-label Rc 2,4 is. In Hestia vallen deze twee waarden binnen hetzelfde isolatieniveau en wordt dezelfde isolatiewaarde gebruikt in de warmteverliesberekening. Het isolatieniveau van kierdichting is voor label A lager dan label B. Hoewel het isolatieniveau van het dak wel hoger is bij label A, weegt dit niet op tegen het slechtere isolatieniveau van kierdichting en is het theoretische warmteverlies bij label A hoger dan label B. In combinatie met de eerder genoemde fitfactor betekent dit dat het Hestiamodel incidenteel een toename van het energiegebruik berekent bij verbetering van het label.

Dat de label A-woning een bouwdeel met een slechter isolatieniveau heeft dan de woning met label B, is een gevolg van het feit dat de gekozen pakketten bij deze testwoning niet logisch opvolgend zijn. Dit is dus een artefact van de vergelijkingsmethode.

Figuur 6.12

Besparing bij portiekwoning tussen midden (1946 – 1964) naar doellabel A of B



Bron: PBL, TNO, RVO (modelversie 2023)

Deze figuur geeft de absolute (op de y-as) besparing weer die is bepaald op basis van één isolatiepakket per energielabel. De figuur laat alle besparingsstappen zien naar doellabel A of B op basis van de geselecteerde isolatiepakketten. Hoewel de resultaten worden gepresenteerd aan de hand van NTA8800-energielabels, is de achterliggende toewijzing naar label gebaseerd op de NEN7120/NV voor toepassingen met het Referentieverbruik-model en Hestia.

6.3.3 Vergelijking modelresultaten met de resultaten van Van den Brom et al. (2019)

In paragraaf 2.4.2 beschreven we dat de studie van Van den Brom et al. (2019) een goede eerste indicatie geeft van besparingen die op basis van gemeten verbruiksgegevens zijn vastgesteld. Ondanks de kanttekeningen die we in hoofdstuk 2 noemen bij de studie van Van den Brom et al. (2019), gebruiken we die studie toch om een eerste indruk te krijgen van de verhouding tussen de resultaten voor gemiddelde energiebesparing die geschat zijn door de modellen enerzijds, en anderzijds de resultaten van empirisch onderzoek naar energiebesparing op basis van meetgegevens.

De overige studies die in hoofdstuk 2 worden beschreven, nemen we niet mee in deze vergelijking, om uiteenlopende redenen: de studie van Majcen et al. (2016) is ruwweg gebaseerd op dezelfde onderzoekspopulatie als de studie van Van den Brom et al. (2019), maar houdt geen rekening met mogelijk verhuizingen door bewoners. De auteurs van de studie van Rovers et al. (2020) geven zelf aan dat de resultaten (nog) niet geschikt zijn voor toepassingen zonder verder onderzoek. De studie van Kattenberg et al. (2022) geeft een optimistischer beeld van energiebesparing door isolatie dan de studie van Van den Brom et al. (2019), maar is onder andere gebaseerd op een atypische en relatief kleine onderzoekspopulatie: een uitgebreide reflectie op deze studie is opgenomen in bijlage 1.

In tabel 2.7 van paragraaf 2.4.2 staat een schatting van de energiebesparing bij woningen met startlabel C of G. De schatting vindt plaats voor drie verschillende woonoppervlakten, op basis van de gemiddelde besparingen per vierkante meter² van Van den Brom et al. (2019), voor- en na toepassing van de isolatiemaatregel 'ander isolatieniveau van de gebouwschil'. Verder wordt in tabel 2.7 de maximale besparing gegeven voor dezelfde maatregel, waarbij wordt uitgegaan van de bovenzijde van het betrouwbaarheidsinterval (lees: de maximale besparing).

Let op: houd er bij de interpretatie van de besparingen op basis van de studie van Van den Brom (2019) rekening mee dat het gaat om gemiddelde besparingen waarbij wél rekening is gehouden met de isolatiekwaliteit van de woningen in de uitgangssituatie (in de vorm van het energielabel), maar niet met verschillen in woningtype. Het kan dus zijn dat de besparing per vierkante meter in een vrijstaande woning groter is dan de gemiddelde besparing per vierkante meter. En het kan zo zijn dat de besparing per vierkante meter in een rij- of portiekwoning kleiner is dan de gemiddelde besparing per vierkante meter.

De oppervlakten van de woningen in tabel 2.7 zijn zo gekozen dat ze overeenkomen met de oppervlakten van enkele testwoningen uit onze dataset. 65 m² komt (ongeveer) overeen met de oppervlakte van de testwoning 'portiek tussen midden (1946-1964)', 115 m² met de oppervlakte van de testwoning 'rijwoning tussen (1965-1974)' en 150 m² met de 'vrijstaande woning van voor 1946'.

In tabel 6.4 wordt de maximale besparing (voor woningen met startlabel C) bij een oppervlakte van 65 m² vergeleken met de besparingen per labelsprong vanaf startlabel C voor de testwoning portiek tussen midden (1946-1964). In tabel 6.5 wordt de maximale besparing (voor woningen met startlabel C) bij een oppervlakte van 115 m² vergeleken met de besparingen per labelsprong vanaf startlabel C voor de testwoning portiek tussen rijwoningen tussen (1965-1974).

In tabel 6.6 wordt de maximale besparing (voor woningen met startlabel C) bij een oppervlakte van 150 m² vergeleken met de besparingen per labelsprong vanaf startlabel C voor de testwoning vrijstaand (<1946). In tabel 6.7 wordt de maximale besparing (voor woningen met startlabel G) bij een oppervlakte van 150 m² vergeleken met de besparingen per labelsprong vanaf startlabel G voor de testwoning vrijstaand (<1946).

In alle tabellen wordt voor de volledigheid ook de gemiddelde besparing gegeven voor dezelfde maatregel, voor woningen met startlabel C of G (zie ook tabel 2.7). Het is niet zeker welke maatregelen precies zijn genomen onder 'ander isolatieniveau van de gebouwschil' in de studie van Van den Brom et al. (2019) en in hoeverre deze leiden tot een NTA8800-labelsprong.

De eerste vergelijking van de modelresultaten met de praktijk suggereert dat de meeste bouwfysische modellen te optimistisch zijn in de schattingen voor energiebesparing. Dit is zelfs zo wanneer het model ontwikkeld is om een gemiddelde netto warmtevraag te schatten³⁸. We gaan hierbij uit van de maximale besparingen (ofwel het maximum van de betrouwbaarheidsinterval) volgens Van den Brom et al. (2019). Deze besparingen zijn niet gecorrigeerd voor de autonome besparing die in dezelfde meetperiode plaats heeft gevonden.

Schattingen voor de (gemiddelde) energiebesparing bij een portiekwoning tussen midden (1946-1964) met startlabel C lopen uiteen van 8.6 (MWA) tot 16.6 gigajoules (Warmteprofielengenerator). Op basis van de studie van Van den Brom et al. (2019) wordt hiervoor maximaal 2.7 gigajoules geschat (zie tabel 6.4). Een vergelijkbaar beeld komt ook uit de andere tabellen: in tabel 6.5 ligt de besparing bij verbetering van de gebouwschil vanaf label C bij bouwfysische modellen (voor gemiddelde besparing) tussen de 15.3 (Hestia) en de 28.5 gigajoules (Warmteprofielengenerator). Dit ligt ten opzichte van een maximale besparing van 4.8 gigajoules volgens van de resultaten van Van den Brom et al. (2019).

In tabel 6.6 ligt de besparing volgens de bouwfysische modellen (voor gemiddelde besparing) tussen 6.6 (Hestia) en 27.3 gigajoules (MWA). Volgens de resultaten van Van den Brom et al is de maximale besparing 6.3 gigajoules. Ook een besparing vanaf startlabel G geeft een vergelijkbaar beeld: daar lopen schattingen van bouwfysische modellen (voor een gemiddeld verbruik) uiteen van 17.6 (Hestia) tot 82.6 gigajoules (MWA), tegenover een maximale besparing van 18 gigajoules volgens de resultaten van Van den Brom et al. (2019).

De schattingen voor energiebesparing volgens het Referentieverbruik zijn bij de portiekwoning hoger dan de maximale besparing volgens de resultaten van Van den Brom et al. (2019) (5.5 gigajoules bij een labelsprong van C naar B, zie tabel 4). Bij de andere tabellen lijken de besparingen vanaf startlabel C, die met het Referentieverbruik zijn bepaald, wel in de buurt te liggen van de besparingen die zijn bepaald op basis van de resultaten van Van den Brom et al. (2019).

Het is belangrijk te benadrukken dat bovenstaande resultaten echter onzeker zijn, aangezien de informatie ontbreekt over de sub-onderzoekpopulaties en de specifieke maatregelen die vallen

³⁸ Let op: deze vergelijking is gebaseerd op de netto warmtevraag, niet de metervraag. Schattingen voor besparingen op basis van de metervraag zijn mogelijk (iets) hoger omdat verliezen in de installatie bij het bepalen van de metervraag worden meegenomen.

onder ‘ander isolatieniveau van de gebouwschil’ in de studie van Van den Brom et al. (2019). Zoals eerder aangegeven kunnen de besparingen die zijn berekend op basis van de resultaten van Van den Brom et al. (2019) verschillen tussen woningtypen (meergezins- of eengezinswoningen).

Tabel 6.4

Besparing [GJ] per labelsprong portiek tussen midden (1946-1964) en (maximale) besparing op basis van Van den Brom et al. (2019) bij woningen met startlabel C

Model	Labelsprong	Besparing	Maximale besparing woning 65m ² startlabel C (Van den Brom et al. 2019)	Gemiddelde besparing woning 65m ² (Van den Brom et al. 2019)
Referentieverbruik	CB	5.5	2.7	2.1
Hestia	CB	13.2	2.7	2.1
Warmteprofielen-generator	CB	14.0	2.7	2.1
MWA	CB	8.6	2.7	2.1
NEN7120NV	CB	11.4	2.7	2.1
NTA8800	CB	12.1	2.7	2.1
Referentieverbruik	CA	9.5	2.7	2.1
Hestia	CA	13.0	2.7	2.1
Warmteprofielen-generator	CA	16.6	2.7	2.1
MWA	CA	9.7	2.7	2.1
NEN7120NV	CA	20.3	2.7	2.1
NTA8800	CA	17.5	2.7	2.1

In deze tabel wordt de besparing geschat op basis van de gemiddelde besparing voor een woning met startlabel C in MJ per m² voor de maatregel ‘ander isolatieniveau van de gebouwschil’ (minimaal twee isolatiemaatregelen in dak, muur, vloer of raam) zoals die wordt gerapporteerd door Van den Brom et al. (2019). Zowel de gemiddelde besparing wordt gegeven alsook de besparing waarbij wordt uitgegaan van het maximum van het betrouwbaarheidsinterval (zie tabel 3.7). In beide gevallen wordt niet gecorrigeerd voor een autonome besparing (zonder maatregelen) in dezelfde periode die door de auteurs is vastgesteld. In de tabel wordt uitgegaan van een oppervlakte van 65 m². De besparing op basis van Van den Brom et al. (2019) wordt vergeleken met de besparingen per labelsprong vanaf startlabel C zoals die wordt geschat door de geselecteerde modellen voor de testwoning portiek tussen midden (1946-1964).

Tabel 6.5

Besparing [GJ] per labelsprong rijwoning tussen (1965-1974) en (maximale) besparing op basis van Van den Brom et al. (2019) bij woningen met startlabel C

Model	Labelsprong	Besparing	Maximale besparing woning 115m ² startlabel C (Van den Brom et al. 2019)	Gemiddelde besparing woning 115m ² (Van den Brom et al. 2019)
Referentieverbruik	CB	2.8	4.8	3.8
Hestia	CB	15.3	4.8	3.8
Warmteprofielen-generator	CB	26.3	4.8	3.8
MWA	CB	20.9	4.8	3.8
NEN7120NV	CB	27.2	4.8	3.8
NTA8800	CB	25.4	4.8	3.8
Referentieverbruik	CA	7.3	4.8	3.8
Hestia	CA	15.5	4.8	3.8
Warmteprofielen-generator	CA	28.5	4.8	3.8
MWA	CA	24.3	4.8	3.8
NEN7120NV	CA	41.7	4.8	3.8
NTA8800	CA	37.9	4.8	3.8

In deze tabel wordt de besparing geschat op basis van de gemiddelde besparing voor een woning met startlabel C in MJ per m² voor de maatregel 'ander isolatieniveau van de gebouwschil' (minimaal twee isolatiemaatregelen in dak, muur, vloer of raam) zoals die wordt gerapporteerd door Van den Brom et al. (2019). Zowel de gemiddelde besparing wordt gegeven alsook de besparing waarbij wordt uitgegaan van het maximum van het betrouwbaarheidsinterval (zie tabel 3.7). In beide gevallen wordt niet gecorrigeerd voor een autonome besparing (zonder maatregelen) in dezelfde periode die door de auteurs is vastgesteld. In de tabel wordt uitgegaan van een oppervlakte van 115 m². De besparing op basis van Van den Brom et al. (2019) wordt vergeleken met de besparingen per labelsprong vanaf startlabel C zoals die wordt geschat door de geselecteerde modellen voor de testwoning rijwoning tussen (1965-1974).

Tabel 6.6

Besparing [GJ] per labelsprong vrijstaand (<1946) en (maximale) besparing op basis van Van den Brom et al. (2019) bij woningen met startlabel C

Model	Labelsprong	Besparing	Maximale besparing woning 150m ² startlabel C (Van den Brom et al. 2019)	Gemiddelde besparing woning 150m ² (Van den Brom et al. 2019)
Referentieverbruik	CB	5.6	6.3	5.0
Hestia	CB	6.6	6.3	5.0
Warmteprofielen-generator	CB	10.3	6.3	5.0
MWA	CB	20.8	6.3	5.0
NEN7120NV	CB	39.7	6.3	5.0
NTA8800	CB	30.6	6.3	5.0
Referentieverbruik	CA	5.6	6.3	5.0
Hestia	CA	20.9	6.3	5.0
Warmteprofielen-generator	CA	16.8	6.3	5.0
MWA	CA	27.3	6.3	5.0
NEN7120NV	CA	48.9	6.3	5.0
NTA8800	CA	38.1	6.3	5.0

In deze tabel wordt de besparing geschat op basis van de gemiddelde besparing voor een woning met startlabel C in MJ per m² voor de maatregel 'ander isolatieniveau van de gebouwschil' (minimaal twee isolatiemaatregelen in dak, muur, vloer of raam) zoals die wordt gerapporteerd door Van den Brom et al. (2019). Zowel de gemiddelde besparing wordt gegeven alsook de besparing waarbij wordt uitgegaan van het maximum van het betrouwbaarheidsinterval (zie tabel 3.7). In beide gevallen wordt niet gecorrigeerd voor een autonome besparing (zonder maatregelen) in dezelfde periode die door de auteurs is vastgesteld. In de tabel wordt uitgegaan van een oppervlakte van 150 m². De besparing op basis van Van den Brom et al. (2019) wordt vergeleken met de besparingen per labelsprong vanaf startlabel C zoals die wordt geschat door de geselecteerde modellen voor de testwoning vrijstaand (<1946).

Tabel 6.7

Besparing [GJ] per labelsprong vrijstaand (<1946) en (maximale) besparing op basis van Van den Brom et al. (2019) bij woningen met startlabel G

Model	Labelsprong	Besparing	Maximale besparing woning 150m ² startlabel G (Van den Brom et al. 2019)	Gemiddelde besparing woning 150m ² startlabel G (Van den Brom et al. 2019)
Referentieverbruik			18	9.5
Hestia	GA	10.6		
Warmteprofielengenerator			18	9.5
Hestia	GA	28.5		
MWA	GA	68.5		
NEN7120NV	GA	82.6	18	9.5
NTA8800	GA	129.0	18	9.5
Referentieverbruik			18	9.5
Hestia	GB	10.6		
Warmteprofielengenerator			18	9.5
Hestia	GB	21.7		
MWA	GB	62.0		
NEN7120NV	GB	76.1	18	9.5
NTA8800	GB	119.8	18	9.5
Referentieverbruik			18	9.5
Hestia	GC	5.0		
Warmteprofielengenerator			18	9.5
Hestia	GC	19.1		
MWA	GC	51.7		
NEN7120NV	GC	55.3	18	9.5
NTA8800	GC	80.1	18	9.5
Referentieverbruik			18	9.5
Hestia	GD	5.0		
Warmteprofielengenerator			18	9.5
Hestia	GD	17.6		
MWA	GD	50.3		
NEN7120NV	GD	51.1	18	9.5
NTA8800	GD	75.3	18	9.5
Referentieverbruik			18	9.5
Hestia	GE	2.6		
Warmteprofielengenerator			18	9.5
Hestia	GE	2.4		

Model	Labelsprong	Besparing	Maximale besparing woning 150m ² startlabel G (Van den Brom et al. 2019)	Gemiddelde besparing woning 150m ² startlabel G (Van den Brom et al. 2019)
Warmteprofielen-generator	GE	33.6	18	9.5
MWA	GE	33.8	18	9.5
NEN7120NV	GE	50.4	18	9.5
NTA8800	GE	54.4	18	9.5
Referentieverbruik	GF	-1.3	18	9.5
Hestia	GF	17.6	18	9.5
Warmteprofielen-generator	GF	21.0	18	9.5
MWA	GF	22.6	18	9.5
NEN7120NV	GF	30.1	18	9.5
NTA8800	GF	32.9	18	9.5

In deze tabel wordt de besparing geschat op basis van de gemiddelde besparing voor een woning met startlabel G in MJ per m² voor de maatregel 'ander isolatieniveau van de gebouwschil' (minimaal twee isolatiemaatregelen in dak, muur, vloer of raam) zoals die wordt gerapporteerd door Van den Brom et al. (2019). Zowel de gemiddelde besparing wordt gegeven alsook de besparing waarbij wordt uitgegaan van het maximum van het betrouwbaarheidsinterval (zie tabel 2.7). In beide gevallen wordt niet gecorrigeerd voor een autonome besparing (zonder maatregelen) in dezelfde periode die door de auteurs is vastgesteld. In de tabel wordt uitgegaan van een oppervlakte van 150 m². De besparing op basis van Van den Brom et al. (2019) wordt vergeleken met de besparingen per labelsprong vanaf startlabel G zoals die wordt geschat door de geselecteerde modellen voor de testwoning vrijstaand (<1946).

6.4 Samenvatting observaties

Uit de eerste vergelijking van de modelresultaten voor energiebesparing met de resultaten van het empirisch onderzoek blijkt dat vooral uit bouwfysische modellen optimistische schattingen voortkomen. Er is meer onderzoek nodig om vast te stellen welk energieverbruiksmodel de praktijk het dichtst benadert. In deze paragraaf vatten we verder de observaties samen die in paragraaf 6.3 zijn beschreven.

Het is belangrijk om onderscheid te maken tussen de inschatting van de netto warmtevraag en de besparing

Uit observaties i. tot en met iv. blijkt dat verschillen in modelresultaten beginnen bij de schatting voor de netto warmtevraag in de uitgangssituatie voorafgaand aan maatregelen. De resultaten laten zien dat de conservatieve standaardwaarden in normeringsmodellen over het algemeen leiden tot hoge schattingen voor de warmtevraag ten opzichte van modellen die een gemiddelde netto warmtevraag berekenen. De verschillen zijn het grootst zijn bij relatief energie-onzuinige labels (E, F en G). De modelvergelijking geeft ook een indruk van de verhoudingen tussen resultaten van modellen voor de gemiddelde netto warmtevraag onderling. Ook hier bestaan nog grote verschillen in de resultaten voor de netto warmtevraag. Dit geldt voor het statistische Referentieverbruik ten opzichte van bouwfysische modellen, maar ook voor bouwfysische modellen onderling.

De standaardwaarden verschillen tussen bouwfysische modellen

Zoals beschreven bij observatie ii. verschillen bouwfysische modellen in de aannamen voor de standaardwaarden. Soms zijn deze verschillen in uitgangspunten duidelijk, zoals bij de aanname voor ‘dagverlaging’ van de setpointtemperatuur die verschilt tussen de Warmteprofielengenerator en het Maatwerkadvies. Soms bestaat het vermoeden van verschillen in standaardwaarden, maar zijn deze niet zonder meer te achterhalen, zoals bij aannames met betrekking tot ventilatie. (In de modelvergelijking gaat dit onder andere om de hoeveelheden verse lucht bij natuurlijke ventilatie en daaraan gerelateerde warmteverliezen).

Voor modellen die een gemiddelde netto warmtevraag en besparing bij maatregelen berekenen, lijkt het belangrijk om het verbruik in de uitgangssituatie aan te laten sluiten bij de (gemeten) praktijk

Wanneer bouwfysische modellen een relatief hoge netto warmtevraag berekenen voor de uitgangssituatie, lijkt het erop dat de berekende gemiddelde besparing bij maatregelen ook hoog ligt ten opzichte van andere bouwfysische modellen (zie observatie v.). Het lijkt daarom belangrijk om bij het berekenen van een gemiddelde besparing, de gemiddelde warmtevraag in de uitgangssituatie zo dicht mogelijk aan te laten sluiten bij de praktijk. Dit kan door standaardwaarden zoveel mogelijk aan te laten sluiten bij de praktijk (observatie vi.) of door het verbruik in de uitgangssituatie te ‘fitten’ op gemeten verbruiken (observatie viii.). Dat laatste gebeurt bij Hestia door de netto warmtevraag in de uitgangssituatie te fitten op de resultaten van het Referentieverbruik. In paragraaf 6.1 is beschreven dat er (nog) geen betere statistische gemiddelden bestaan van het gemeten warmteverbruik dan degenen die binnen het Referentieverbruik-project zijn bepaald. Desalniettemin laat observatie ix. zien dat het warmteverbruik (en daarmee de energiebesparing) voor bepaalde woningtypen waar ‘subtypen’ relevant zijn mogelijk wordt onder- of overschat.

Kijk naar de absolute besparing die door een model wordt berekend

Uit observatie vi. en viii. blijkt dat de berekende absolute besparing bij isolatiemaatregelen van het ene model lager kan zijn dan bij een ander model. Dit terwijl de berekende relatieve besparing hoger is (afhankelijk van de berekende netto warmtevraag in de uitgangssituatie, voorafgaand aan maatregelen). Uiteindelijk is het de absolute besparing die laat zien hoeveel energie- en emissiereductie kan worden gerealiseerd. Het is dus belangrijk bij de modelresultaten ook te kijken naar absolute besparingen, naast de relatieve besparingen.

Bij Hestia zijn hoge besparingen te zien bij de labelsprong van B naar A, en incidentele ontsparring

In sommige gevallen wijken resultaten voor de besparing die door Hestia worden berekend af van de verwachting. Dit is vooral het geval bij de labelsprong van B naar A, wanneer het doellabel A is gebaseerd op het isolatiepakket ‘isolatiestandaard’ (conform RVO-brochure-voorbeeldwoningen). In deze gevallen is de isolatiekwaliteit van bepaalde gebouwdelen niet altijd logisch opvolgend en zijn de hoge besparingen als zodanig een artefact van de vergelijkingsmethode. Dit heeft geen invloed op de bevindingen en de conclusies in dit rapport.

Op basis van een eerste vergelijking lijkt de energiebesparing die door bouwfysische modellen wordt berekend hoog ten opzichte van de energiebesparing die wordt geconstateerd op basis van meetgegevens. Hier is echter meer onderzoek nodig

Wanneer resultaten van bouwfysische modellen voor energiebesparing vanaf een bepaald startlabel worden vergeleken met (maximale) besparingen die zijn vastgesteld in de literatuur op basis van gemeten energieverbruiken (zie paragraaf 6.3.3), lijken bouwfysische modellen optimistisch in de schattingen voor energiebesparing. Het statistische Referentieverbruik-model ligt vaker in de buurt van de besparingen die zijn vastgesteld in de literatuur. De besparingen die zijn vastgesteld in de literatuur zijn echter hoofdzakelijk gebaseerd op sociale huurwoningen. Verder is bij het bepalen van de energiebesparing apart onderscheid gemaakt in woningtype en isolatiekwaliteit in de uitgangssituatie, maar worden deze woningkenmerken idealiter gecombineerd bij het bepalen van de energiebesparing. Tot slot bestaat er enige onzekerheid over de samenstelling van (sub)onderzoekspopulaties. Mede daarom kan op basis van deze vergelijking niet worden vastgesteld welk model het dichtste aansluit bij energiebesparing in de praktijk.

7 Discussie

In dit rapport beschrijven we de complexiteit van 'energiebesparing'. We willen grip krijgen op de verschillende wijzen waarop hiernaar onderzoek wordt gedaan. De modelvergelijking in dit project is een eerste stap in die zoektocht, waarmee een basis wordt gelegd voor vervolgstappen. Dit is bijvoorbeeld in de vorm van nieuw onderzoek of door standaardwaarden in modellen en methoden te harmoniseren.

Op basis van dit onderzoek kan nog niet worden vastgesteld welk model het dichtste in de buurt komt van energiebesparing in de praktijk. Wel geeft het een indruk van verschillende doelen waar energieverbruiksmoellen voor worden ontwikkeld en hoe dit van invloed is op de uiteindelijke resultaten voor de berekende energiebesparing. De modelvergelijking laat zien dat het belangrijk is om bij de toepassing van een model rekening te houden met het doel waar het model oorspronkelijk voor is ontwikkeld. In dit hoofdstuk bespreken we de onzekerheden van deze studie.

7.1 Onzekerheden in de vergelijkingsmethode

Deze paragraaf gaat over de onzekerheden rond de methode die we ontwikkelden voor de vergelijking van modelresultaten met testwoningen.

Resultaten van de modelvergelijking kunnen niet zonder meer worden gegeneraliseerd, doordat er variatie zit in de vormeigenschappen van gebouwen

De vergelijking op basis van de testwoningen geeft een eerste indruk van de verhoudingen tussen modelresultaten. De testwoningen zijn een verlengstuk van de RVO-brochure voorbeeldwoningen. Ze vertegenwoordigen de mediaan van een combinatie van woningtype en bouweigenschappen. In de praktijk is echter een zeer grote variatie mogelijk in vormeigenschappen van gebouwen (denk aan andere oppervlakten van gebouwdelen, andere verhoudingen tussen grondoppervlakte en muren, dakkapellen, etc.). Resultaten van de modelvergelijking kunnen daarom niet zonder meer worden gegeneraliseerd.

De presentatie van de resultaten voor energiebesparing wordt in dit onderzoek per testwoning weergegeven in plaats van per vierkante meter

In dit rapport wordt het belang benadrukt om bij het presenteren van resultaten voor energiebesparing te corrigeren voor de grootte van de woning, bijvoorbeeld door de energiebesparing te presenteren per vierkante meter gebruiksoppervlakte. In dit project is er echter vooraf voor gekozen om de resultaten voor de energiebesparing per maatregel te presenteren per testwoning. Bij een vervolgstudie kan worden gekozen om alsnog de resultaten te presenteren per eenheid gebruiksoppervlakte.

Verhoudingen in modelresultaten kunnen anders liggen bij woningtypen die niet in de modelvergelijking zijn opgenomen

Voor deze eerste modelvergelijking is ervoor gekozen om drie woningtypen te vergelijken (vrijstaand, portiek tussen midden en rijwoning tussen) en even zoveel bouwperiodes per woningtype. Hoewel de verwachting is dat het doorrekenen van alle testwoningen (combinaties van woningtype en bouwperiode) niet tot significant andere inzichten of conclusies zal leiden, kunnen de verhoudingen tussen modellen iets anders liggen voor specifieke woningtypen die nu buiten beschouwing zijn gelaten (e.g. 2-onder-1-kap, galerijwoningen, hoekwoningen). Bij eventueel vervolgonderzoek kan worden overwogen om de modelresultaten voor alle testwoningen te vergelijken.

Specifiek voor de portiekwoningen is gekozen voor de subvariant ‘tussen midden’ (zonder raakvlak met dak of begane grond). Deze subvariant heeft doorgaans een lager warmteverbruik dan andere portiekwoningen die wél grenzen aan het dak of de begane grond, omdat er minder contactoppervlak (lees ‘warmteverliesoppervlak’) is met de buitenlucht. Een keuze voor een andere subvariant portiekwoning zou tot andere verhoudingen kunnen leiden tussen resultaten van het Referentieverbruik en bouwfysische modellen voor dat woningtype.

Keuze voor andere isolatiepakketten zou kunnen leiden tot andere verhoudingen in modelresultaten (tussen bouwfysische modellen en het statistische Referentieverbruik)

Bij de modelvergelijking hebben we ervoor gekozen om de besparing te laten zien per labelsprong, met specifieke isolatiepakketten per energielabel. Resultaten van bouwfysische modellen voor de netto warmtevraag kunnen binnen hetzelfde energielabel significant verschillen tussen isolatiepakketten. Een keuze voor andere isolatiepakketten zou mogelijk invloed kunnen hebben op de verhouding tussen bouwfysische modellen en het statistische model Referentieverbruik. Ook kan het in mindere mate invloed hebben op de resultaten tussen bouwfysische modellen onderling. Het komt echter geregeld voor dat er slechts één isolatiepakket beschikbaar is voor een label: in die gevallen was het niet mogelijk om een ander isolatiepakket te kiezen. In mogelijk vervolgonderzoek kan worden overwogen om nog extra isolatiepakketten te definiëren en andere keuzes te maken in isolatiepakketten per label. Als alternatief kan ook worden overwogen om bouwfysische modelresultaten voor de energiebesparing weer te geven per maatregel. In dat laatste geval kunnen resultaten voor de (gemiddelde) energiebesparing echter niet meer worden vergeleken met het statistische Referentieverbruik.

Isolatiepakketten van energielabel B naar A zijn niet altijd logisch opvolgend. Dit beïnvloedt het beeld van de energiebesparing bij deze labelsprong

Bij energielabel A is in voorliggende analyse vaak gekozen voor het pakket ‘isolatiestandaard’ conform de voorbeeldwoningen uit de RVO-brochure. De isolatiekwaliteit van verschillende delen van gebouwen uit dit pakket volgt niet altijd logisch op de gekozen isolatiepakketten bij energielabel B (NTA8800). Hier moet rekening mee worden gehouden bij de interpretatie van de resultaten van de modelvergelijking. Bij eventueel vervolgonderzoek kan worden overwogen om te kiezen voor een ander isolatiepakket bij energielabel A, of om nieuwe isolatiepakketten te definiëren.

Onzekerheid in de vergelijking van modelresultaten met besparingen die door Van den Brom et al. (2019) worden gerapporteerd

In paragraaf 6.3.3 vergelijken we modelresultaten met de gemiddelde besparing zoals die wordt gerapporteerd door Van den Brom et al. (2019). We houden hierbij rekening met de isolatiekwaliteit van de woning voorafgaand aan isolatiemaatregelen (in de vorm van het energielabel).

Zoals al in paragraaf 6.3.3 wordt beschreven, zijn deze gemiddelden gebaseerd op sociale huurwoningen en wordt geen onderscheid gemaakt in woningtype (voor een gezin of voor meer gezinnen³⁹). Dit terwijl in de studie van Van den Brom et al. wél wordt aangegeven dat dit invloed heeft op de besparing. Bovendien zijn er nog onzekerheden in de studie, bijvoorbeeld met betrekking tot de samenstelling van de (sub)onderzoekspopulaties waar de besparingen op zijn gebaseerd. Hoewel de resultaten van Van den Brom et al. (2019) een nuttige eerste indruk geven van besparingen die op basis van meetgegevens zijn geconstateerd, kunnen de resultaten niet vanzelfsprekend worden gebruikt om de modelresultaten mee te valideren.

7.2 Modelspecifieke onzekerheden

In deze paragraaf behandelen we de onzekerheden die komen kijken bij de analyse van de testwoningen. De onzekerheden komen voor in specifieke modellen bij berekening van de warmtevraag en de mate van energiebesparing na isolatie.

In dit onderzoek hebben we gekozen om enkele standaardwaarden van de Warmteprofielengenerator aan te laten sluiten bij het Maatwerkadvies

Bij de modelvergelijking zijn we zoveel mogelijk uitgegaan van standaardwaarden per model, zoals die in een realistische analyse worden voorgeschreven in de modeluitgangspunten, of zoals ze vaak worden gebruikt door de onderzoekers die met de modellen werken. Bij de Warmteprofielengenerator is de gebruiker behoorlijk vrij in de keuze voor de modelinstellingen. Waar bij de belangrijkste modelparameters in de Warmteprofielengenerator geen standaardwaarden zijn voorgeschreven, hebben we gekozen in de vergelijking aan te sluiten bij het Maatwerkadvies. Andere modelinstellingen kunnen leiden tot significant andere uitkomsten.

Inmiddels is er een nieuwe versie beschikbaar van de Warmteprofielengenerator

Bij de modelvergelijking in dit onderzoek is gerekend met een versie van de Warmteprofielengenerator uit 2023. Inmiddels zijn er diverse aanpassingen gedaan en is er een nieuwe(re) versie van het model beschikbaar, waarvan de uitkomsten mogelijk afwijken van de resultaten zoals die in dit rapport worden gepresenteerd.

Keuze voor het eigendomstype 'koop' in de analyse met het Referentieverbruik

Het Referentieverbruik maakt bij de schatting van de netto warmtevraag naast woningtype, bouwperiode en energielabel onderscheid in eigendomstype. Bij het bepalen van de resultaten met het Referentieverbruik-model zijn we in dit onderzoek bij alle testwoningen uitgegaan van eigendomstype 'koop'. Een ander eigendomstype zou mogelijk kunnen leiden tot andere resultaten, al wordt in het achtergrondrapport van het Referentieverbruik-model aangegeven dat de verschillen in schattingen tussen eigendomstype klein zijn. De keuze voor een ander eigendomstype bij de schattingen voor de netto warmtevraag met het Referentieverbruik zal waarschijnlijk weinig verschil maken in de verhouding van de resultaten ten opzichte van andere (bouw fysische) modellen.

³⁹ Onder eengezinswoningen vallen doorgaans vrijstaande-, 2-onder-1-kap en rijwoningen. Onder meergezinswoningen vallen over het algemeen portiek- en galerijwoningen.

Keuze om schattingen Referentieverbruik te baseren op NEN710NV-energielabels

Het Referentieverbruik-model is gekijkt op energielabels die door een expert zijn vastgesteld in 2015 of daarna. Voor het overgrote deel zijn dit NEN7120(NV)-energielabels. In de modelvergelijking is ervoor gekozen om de schattingen met het Referentieverbruik te baseren op de NEN7120NV-labels die voor de testwoningen zijn bepaald. Wanneer de modelvergelijking zou worden gebaseerd op de NTA8800-energielabels (als proxy voor de isolatiekwaliteit) zou dit voor het Referentieverbruik tot iets andere resultaten kunnen leiden.

7.3 Aandachtspunten

In deze paragraaf benoemen we enkele aandachtspunten op basis van een notitie van INNAX (Berben 2024), waarin de verschillen tussen NTA8800- en NEN7120/NV-labelmethodieken worden beschreven. Ook een analyse van isolatiemaatregelen in de WoON2018-database, die we binnen dit onderzoek uitvoerden om veelvoorkomende isolatiepakketten voor de testwoningen te bepalen, levert een aandachtspunt op. Deze aandachtspunten maken geen onderdeel uit van het onderzoeksdoel van dit project, maar zijn relevant met het oog op mogelijk vervolgonderzoek.

Energielabel staat niet gelijk aan mate van isolatie

Het energielabel is niet (alleen) bedoeld om de isolatiekwaliteit van een woning aan te duiden. Hiervoor bestaat de isolatiestandaard. In de maatschappelijke discussie over isolatie wordt het energielabel wel geregeld in één adem genoemd met isolatie. In een verklarende notitie door advies- en ingenieursbureau INNAX, zie bijlage 'Oorzaken labelmutaties bij overgang van NEN7120/NV naar NTA8800', wordt het verschil beschreven tussen de NEN7120/NV en NTA8800 als labelmethoden (Berben et al. 2024). In de verklarende notitie wordt uitgelegd dat het energielabel gebaseerd is op de 'totale energieprestatie' van een woning, waarbij niet alleen de mate van isolatie een rol speelt, maar ook het rendement van de installatie en de hoeveelheid opgewekte elektriciteit met zonnepanelen. Het energielabel is daarmee een goede indicator voor de totale (duurzame) energieprestatie van een woning, inclusief het energiesysteem van de woning. Het is daardoor echter geen goede indicator voor (alleen) de isolatiekwaliteit.

In andere woorden: er schuilt een risico in het gebruik van het energielabel als beleidsinstrument, wanneer het doel is om woningen te isoleren. Zo is het in theorie mogelijk om een beter energielabel te behalen door in een niet-geïsoleerde woning veel PV-panelen te plaatsen. Met betrekking tot de prestatieafspraken met woningcorporaties zou dit mogelijk kunnen betekenen dat E, F en G-labels zouden kunnen worden uitgefaseerd zonder de desbetreffende woningen te isoleren. Dit is dan wel afhankelijk van de oppervlakte van het dak van het gebouw of de mogelijkheid om zonnepanelen in de buurt van het gebouw te plaatsen⁴⁰. In de verklarende notitie van INNAX wordt beschreven dat het mogelijk beter is om een oordeel over de isolatiekwaliteit te baseren op de netto warmtevraag, oftewel de warmtevraag zonder de invloed van de installatie. Observatie iv. in paragraaf 6.3.1 lijkt deze suggestie te bekrachtigen, gezien de grote spreiding in warmteverbruik van woningen die van hetzelfde type zijn en hetzelfde energielabel hebben, maar verschillende isolatiepakketten.

⁴⁰ In dit rapport is niet onderzocht of het daadwerkelijk mogelijk is om (alle) E, F en G labels uit te faseren zonder woningen te isoleren (dus alleen door zon-PV toe te voegen en/of de gebouwinstallaties aan te passen).

Er is extra aandacht nodig voor het isoleren van reeds matig geïsoleerde woningen, gebouwd tussen 1975 en 2005, naar de isolatiestandaard

Veel woningen die zijn gebouwd tussen 1975 en 2005 zijn al (matig) geïsoleerd, conform het bouwbesluit van die periode (zie paragraaf 4.4.2). Het isolatiemateriaal dat in het verleden is toegepast heeft veelal slechtere isolerende eigenschappen dan isolatiemateriaal dat nu verkrijgbaar is. Relatief eenvoudige isolatiemaatregelen, zoals kierdichting en beter isolerend glas, zijn mogelijk niet genoeg om deze woningen te laten voldoen aan de isolatiestandaard. Het wordt daardoor nodig om extra of vervangend isolatiemateriaal met kwaliteitskeurmerk aan te brengen.

Dit is echter vrij complex en het lijkt op basis van de analyse van WoON2018 in de praktijk (nog) weinig voor te komen. Om deze woningen toch naar een niveau te brengen waarmee de isolatiestandaard kan worden gehaald, zijn waarschijnlijk meer ingrijpende maatregelen nodig. Die omvatten buiten- en binnengevelisolatie, dakrenovatie, vloerrenovatie en het vervangen van kozijnen met nieuwe beglazing. Deze maatregelen hebben fors hogere investeringskosten, vragen om meer arbeid en veroorzaken meer ongemak voor de bewoner. In bijlage 10 wordt dit voor de volledigheid verder geconcretiseerd tot woningtypen met een ongunstige compactheid⁴¹ die zijn gebouwd tussen 1975 en 2005. In relatie tot de isolatieplannen van de overheid, zoals die staan beschreven in het Nationaal isolatieprogramma (Volkshuisvesting en Ruimtelijke Ordening 2022a), moet mogelijk extra aandacht worden besteed aan deze woningen.

⁴¹ Voor een uitleg over ‘compactheid’, zie de notitie door INNAX die als aparte bijlage bij dit rapport wordt aangeboden (Berben 2024).

8 Conclusies

Energieverbruik is al decennialang onderwerp van onderzoek, maar in de afgelopen tien jaar is (veel) meer inzicht verkregen in het onderwerp doordat er meer data beschikbaar zijn. Ondertussen is ook een grote variëteit ontstaan aan modellen en methoden om de netto warmtevraag van woningen mee te schatten en om inzicht te krijgen in het effect van isolatiemaatregelen op het energiegebruik. In dit hoofdstuk trekken we diverse conclusies op basis van de informatie in dit rapport, de literatuurstudie, de kwalitatieve analyse van de geselecteerde modellen en de kwantitatieve vergelijking van de modelresultaten.

Diverse doelen van het project zijn bereikt. In de eerste plaats blijkt het mogelijk om verschillende gangbare energieverbruiksmoellen met elkaar te vergelijken aan de hand van de dataset met testwoningen. De resultaten voor schattingen voor de netto warmtevraag van woningen en het energiebesparingseffect door isolatie zijn hierdoor met elkaar te vergelijken. Verder hebben we inzicht verschaft in hoe de resultaten van de geselecteerde modellen zich tot elkaar verhouden en hoe dit mogelijk samenhangt met de uitgangspunten van de modellen, zoals die in de kwalitatieve analyse zijn beschreven.

Gezien de veelheid aan energiemodellen (waarvan we zeven modellen direct hebben betrokken in de analyse van dit rapport en zeven modellen zijdelings zijn genoemd, zie paragraaf 4.1) en de grote verschillen in uitkomsten met betrekking tot de netto warmtevraag van woningen en de energiebesparingseffecten van isolatiemaatregelen, is het noodzakelijk dat er meer aandacht wordt besteed aan goed modelgebruik. Drie duidelijk verschillende beleidstoepassingen van energieverbruiksmoellen die in dit project naar voren komen zijn:

1. 'Normering' van de warmtevraag van een woning, met het oog op eisen waaraan renovatie en nieuw- en verbouw van woningen moeten voldoen;
2. Maatwerkadvies voor individuele woningen waar een specifieke berekening voor nodig is;
3. Toekomstverkenningen en beleidsbeoordeling/ effectschattingen, waarbij de warmtevraag zoveel mogelijk moet aansluiten bij de gemiddelde praktijk op nationale en regionale (wijk of buurt) schaal.

8.1 De netto warmtevraag van woningen

Uit de resultaten van de modelvergelijking blijkt dat schattingen van de netto warmtevraag van woningen sterk uiteen kunnen lopen. In hoofdstuk 1 leggen we uit dat de verschillende typen resultaten voor de netto warmtevraag van woningen sterk samenhangen met de beoogde beleidstoepassing. In veel gevallen kunnen de onderlinge verschillen in modelresultaten worden verklaard op basis van de beoogde toepassing.

De normeringsvraag wijkt sterk af van de (inschatting van de) praktijk

Resultaten van normeringsmodellen zoals NTA8800 en NEN7120/NV wijken veel af ten opzichte van de andere modellen. Het belangrijkste verschil zit in (bewust gekozen) conservatieve aannamen voor de standaardwaarden bij het bepalen van een normeringsvraag (zie paragraaf 1.5.1 en bijlage 2).

Diverse onderzoeken tonen aan dat een netto warmtevraag die bedoeld is voor normering weinig relatie heeft met het gemeten energieverbruik van woningen, vooral wanneer het relatief onzuinige energielabels betreft (E, F of G). Hoewel deze richtwaarde goed dienstdoet voor normering, vormt het een risico wanneer dit type resultaat gebruikt wordt voor andere toepassingen. De fit-for-purpose tabel die in het kader van dit project is vormgegeven biedt handvaten voor (goed) gebruik van de geselecteerde modellen voor diverse toepassingen, waaronder normeringsmodellen.

In de modelschattingen zitten afwijkingen voor een werkelijk te verwachten gemiddelde netto warmtevraag

Opvallend is echter dat ook schattingen uiteenlopen van modellen die in principe bedoeld zijn om een werkelijk te verwachten gemiddelde netto warmtevraag te berekenen. Dit geldt voor het Referentieverbruik en Hestia ten opzichte van de Warmteprofielgenerator en MWA. Bij bouwfysische modellen hangt het verschil voor een groot deel samen met aannamen voor standaardwaarden en kengetallen en de complexiteit van de rekenmethode. Het bleek moeilijk om kengetallen, bijvoorbeeld in relatie tot installatie-efficiëntie of ventilatie, direct met elkaar te vergelijken. Daardoor kan niet met zekerheid worden vastgesteld waar de verschillen door worden veroorzaakt. Aanvullend onderzoek zou hier mogelijk meer inzicht in kunnen verschaffen en kunnen helpen om de modellen met elkaar te harmoniseren. Met harmoniseren bedoelen we dat modellen daar waar nodig en zinvol een gemeenschappelijk (begrippen)kader, formules en uitgangspunten hebben.

Valideer schattingen voor de netto warmtevraag met praktijkgegevens

Er is steeds meer informatie beschikbaar over het werkelijke energieverbruik van woningen, waardoor het beter mogelijk is om schattingen van (vooral bouwfysische) modellen voor de gemiddelde netto warmtevraag van woningen te vergelijken met de praktijk. De schatting van een model voor de gemiddelde netto warmtevraag van een woning in de uitgangssituatie (voor maatregelen) heeft veel invloed op de uiteindelijke geschatte (gemiddelde) besparing: het is daarom bij bouwfysische modellen, die ontwikkeld zijn om een gemiddelde netto warmtevraag te berekenen, van belang om de berekende netto warmtevraag in de uitgangssituatie te blijven valideren met praktijkgegevens. Er bestaan ook mogelijkheden om modelresultaten beter aan te laten sluiten bij de gemeten warmtevraag. Bij de warmteprofielgenerator is dit bijvoorbeeld gebeurd door standaardwaarden voor de berekening beter aan te laten sluiten bij de (gemiddelde) praktijk. Het model Hestia gaat nog een stap verder. Daarin wordt de berekende netto warmtevraag 'gefit' op resultaten van het Referentieverbruik, die op statistische gemiddelden van de gemeten warmtevraag zijn gebaseerd.

Er is meer onderzoek nodig naar de (demografische) verdeling over woningen met verschillende isolatiekwaliteit

Bij statistische modellen— het Referentieverbruik en een hybride model zoals Hestia— is sprake van een radicaal andere benadering van de berekening van het energieverbruik ten opzichte van bouwfysische modellen. Enerzijds heeft dit voordelen: zo zitten diverse (gedrags- en gebouw) eigenschappen impliciet verwerkt in de modelschattingen. Deze worden niet vanzelfsprekend meegenomen in strikt bouwfysische modellen. Anderzijds kent een statistische benadering ook beperkingen, omdat het effect van deze onderliggende (gedrags-)factoren moeilijk afzonderlijk kan worden onderzocht. Veel (onderliggende) informatie over de gebruikte onderzoekspopulaties ontbreekt. Aanvullend onderzoek naar deze onderzoekspopulaties, bijvoorbeeld naar de verdeling van inkomen en bevolkingsgroepen over woningen met uiteenlopende isolatiekwaliteit, kan helpen om deze onzekerheden (deels) weg te nemen.

Warmtevraag kan in individuele gevallen sterk afwijken van gemiddelde warmtevraag

Ook kan de warmtevraag in individuele gevallen sterk afwijken van een modelschatting voor de gemiddelde netto warmtevraag, omdat dit sterk afhankelijk is van de specifieke kenmerken van de woning en het huishouden.

8.2 Energiebesparing door (woning)isolatie

De resultaten van de modelvergelijking laten zien dat ook schattingen van energiebesparing bij woningisolatie sterk uiteen kunnen lopen.

Vergelijking nodig met de praktijk van modelresultaten voor energiebesparing na isolatie

Anders dan bij de warmtevraag voor woningen, is onderzoek naar energiebesparing op basis van meetgegevens summier. In een viertal studies wordt gerapporteerd over energiebesparing door woningisolatie die op basis van gemeten verbruiksgegevens is vastgesteld (zie paragraaf 2.3). Deze studies worden in dit rapport besproken en de resultaten van de studies zijn voor zover mogelijk gestructureerd en vergelijkbaar gemaakt. In de meeste gevallen zijn de gerapporteerde energiebesparingen echter niet (vanzelfsprekend) bruikbaar voor een vergelijking met de modelresultaten (zie paragraaf 2.4.2). De literatuurstudie laat daarmee zien dat er weinig materiaal beschikbaar is om modelschattingen met betrekking tot het energiebesparingseffect van woningisolatie in Nederland te valideren. Verwachtingen over het effect van (woning)isolatie leunen daarom nog sterk op modellen.

Een (eerste) vergelijking van modelresultaten voor energiebesparing door isolatie met gemeten verbruiksgegevens van verschillende woningen op basis van (Van den Brom et al. 2019), lijkt te suggereren dat schattingen van met name bouwfysische modellen optimistisch zijn (zie paragraaf 6.3.3). Daarbij moet in gedachten worden gehouden dat de studie van Van den Brom et al. hoofdzakelijk is gebaseerd op woningen in corporatiebezit. Er bestaat nog onzekerheid over de samenstelling van (sub)onderzoekspopulaties. Bij gebrek aan ander empirisch onderzoek naar energiebesparing op basis van meetgegevens valt daarom nog niet met zekerheid vast te stellen welke van de geselecteerde modellen in deze studie de schatting geeft die het dichtste in de buurt komt van de praktijk.

Het is daarom van groot belang dat er meer onderzoek wordt gedaan naar energiebesparing in de praktijk. De studies die in paragraaf 2.3 worden beschreven, bieden daar al zeer bruikbare uitgangspunten voor: zo staan er potentiële bronnen van informatie in over isolatiemaatregelen en geschikte methoden om besparing in de praktijk te analyseren. Empirisch onderzoek naar energiebesparing wordt bij voorkeur gebaseerd op longitudinale meetgegevens (meetgegevens over meerdere jaren) en voldoet tenminste aan een paar eigenschappen:

- De onderzoekers maken gebruik van longitudinale meetgegevens van dezelfde woningen en bij gelijkblijvende bewoners. Idealiter wordt ook het gedrag van bewoners constant gehouden (denk aan thermostaatinstellingen, gezinsveranderingen, etc.);
- Voor de grootte van de woningen in de onderzoekspopulatie wordt gecorrigeerd, bijvoorbeeld door resultaten te presenteren in een besparing per vierkante meter;
- Bij het presenteren van resultaten voor energiebesparing wordt onderscheid gemaakt in verschillende woningtypen en wordt (gecombineerd met het woningtype) informatie gegeven over de isolatiekwaliteit van de woning voorafgaand aan de isolatiemaatregel (in de vorm van een energie-/schillabel);

- De energiebesparing in de onderzoekspopulatie waar isolatiemaatregelen zijn genomen wordt vergeleken met een controlegroep van woningen, vergelijkbaar met de onderzoekspopulatie, waarin géén maatregelen zijn genomen. Het besparingseffect door de isolatiemaatregelen in de onderzoekspopulatie wordt gecorrigeerd voor autonome besparingseffecten in de controlegroep ('difference-in-difference') of het verschil wordt op zijn minst inzichtelijk gemaakt;
- De onderzoekers maken gebruik van de informatie over de isolatie-, installatie- en bouwgegevens die zijn opgenomen in het energielabel van gecertificeerde woningen (NTA8800 en voorheen NEN7120);
- Energiebesparing bij isolatiemaatregelen kan worden onderzocht door gebruik te maken van de SHAERE-database van AEDS met (nieuwe) energieverbruiksgegevens van het CBS.
- Energiebesparing door isolatiemaatregelen in particuliere huurwoningen en koopwoningen kan mogelijk worden onderzocht door gebruik te maken van (bestaande) gegevens over isolatiemaatregelen. Gegevens over isolatiemaatregelen kunnen worden opgehaald uit subsidieaanvragen, factuurgegevens van isolatiebedrijven of door nieuw onderzoek met enquêtes. Mogelijk kan worden overwogen om woningen over een langere periode te volgen (bijvoorbeeld in het kader van de WoON-onderzoeken).

Totdat er meer data beschikbaar zijn om modelschattingen voor (gemiddelde) besparing bij woningisolatie te valideren, is het van belang om de onzekerheid aan te geven. Een mogelijkheid is om toe te werken naar een *modelecolgie* waarin diverse modellen samen gebruikt worden om tot een realistische bandbreedte te komen voor de gemiddelde energiebesparing bij (isolatie)maatregelen in woningen.

In dit project werd vooral gekeken naar grotere besparingseffecten (labelsprongen). In aanvullend onderzoek kunnen modelschattingen voor het gemiddelde besparingseffect van individuele isolatiemaatregelen mogelijk worden vergeleken met de literatuur.

De bandbreedte van modelschattingen van energiebesparing

In deze studie geven we een eerste indruk van de manier waarop modelresultaten voor energiebesparing door woningisolatie zich tot elkaar verhouden. Over het algemeen geeft de statistische methode van het Referentieverbruik de laagste schattingen voor energiebesparing bij de testwoningen. Normeringsmodellen zoals NTA8800 en NEN7120/NV geven de hoogste besparingen. Het TNO/PBL Hestiamodel, waarin model-statistische en bouwfysische benaderingen worden gecombineerd, zit met haar resultaten tussen schattingen van het uitsluitend statistische Referentieverbruik en bouwfysische modellen in. De resultaten van het Maatwerkadvies, de methode die aan de basis ligt voor de informatie op MilieuCentraal, geeft over het algemeen de meest optimistische resultaten voor de energiebesparing bij isolatiemaatregelen, uit alle modellen die zijn ontwikkeld om een gemiddelde energiebesparing te berekenen.

Besparing is sterk afhankelijk van de Ausgangssituatie van de woning en de eigenschappen van de bewoners

Uit de literatuurstudie blijkt dat energiebesparing bij isolatiemaatregelen niet alleen afhangt van het gebouw, maar ook sterk afhankelijk is van (het gedrag van) de bewoners. Om uitspraken te kunnen doen over de effectiviteit van isolatiemaatregelen, is meer onderzoek nodig naar het stookgedrag van bewoners. Met name belangrijk zijn gegevens als de thermostaattemperatuur, de tijdsduur van hoge temperatuurinstellingen en parameters als inkomen, leeftijd en werkzaam zijn.

Besparing bij woningisolatie in individuele gevallen

De gemiddelde energiebesparing (net als bij modelschattingen voor de netto warmtevraag) zegt niets over de besparing in individuele gevallen. In individuele gevallen is het niet mogelijk om 'de meest effectieve' isolatiemaatregel vast te stellen zonder informatie over de specifieke kenmerken van de woning en de bewoners. Hiervoor is in de projectgroep bestaande uit diverse organisaties het Maatwerkadvies ontwikkeld, waarin specifieke invoer op maat voor de gebruiker kan worden aangepast (in plaats van een berekening van de gemiddelde besparing op basis van standaardwaarden).

Nu het steeds beter mogelijk wordt om modellen beter aan te laten sluiten bij de praktijk, wordt de verwachting van energiebesparing door isolatie lager

Er is weinig empirisch onderzoek beschikbaar om modelschattingen voor 'gemiddelde' energiebesparing mee te valideren. Desalniettemin wordt binnen de mogelijkheden die er zijn geprobeerd om bouwfysische modellen beter aan te laten sluiten bij de gemeten statistische verbruiken, zoals beschreven in de vorige paragraaf. Het lijkt er op dat de verwachtingen met betrekking tot de energiebesparingseffecten door isolatiemaatregelen lager worden naarmate berekeningen (op basis van nieuw onderzoek) meer in lijn worden gebracht met de (gemiddelde) gemeten verbruiken. Ter illustratie: bij de methode-overgang in oktober 2022 van MilieuCentraal naar het Maatwerkadvies, ten behoeve van de (statische) informatie op de website, zijn de schattingen van de energiebesparingseffecten per isolatiemaatregel 20 tot 40 procent lager dan bij de methode die daarvoor door MilieuCentraal werd gebruikt. Het model Hestia, waarin de berekende netto warmtevraag in de uitgangssituatie wordt gefit op statistische gemiddelden van gemeten energieverbruiken (conform Referentieverbruik), geeft lagere besparingen dan het Maatwerkadvies. Zoals eerder aangegeven kan bij gebrek aan empirisch onderzoek naar energiebesparing echter (nog) niet met zekerheid worden gezegd welk model het dichtste in de buurt komt van energiebesparing in de praktijk.

8.3 Aanbevelingen voor modelontwikkeling

Eenzijds is meer onderzoek naar energiebesparing in de praktijk belangrijk. Anderzijds kunnen de bestaande methoden voor het schatten van energiebesparing verder worden ontwikkeld. Met betrekking tot bouwfysische modellen kunnen we enkele aanbevelingen doen:

- Doe meer praktijkonderzoek naar (specifieke) parameters van de bouwfysische berekening en breng deze meer in lijn met de gemiddelde meetgegevens. Zo lijken bouwfysische modellen het verbruik van slecht geïsoleerde woningen structureel te overschatten. Dit hangt mogelijk samen met standaardwaarden voor de setpointtemperatuur of de isolatiekwaliteit van gebouwdelen die niet stroken met de gemiddelde praktijk. Onderzoek naar representatieve standaardwaarden wordt expliciet meegenomen bij de ontwikkeling van een nieuw model door de TU Eindhoven, TNO en de Twee Snoeken in opdracht van RVO: de 'Renovatieverkenner'. Inzichten vanuit dit project kunnen mogelijk worden meegenomen bij de verdere ontwikkeling van bouwfysische modellen die zijn ontwikkeld om een gemiddelde warmtevraag (en energiebesparing bij maatregelen) te berekenen.
- Resultaten van bouwfysische modellen zouden kunnen worden getest op gemiddelde verbruiken bij onderzoeken naar energiebesparing. Dit is nu geen staande praktijk. Het geschatte energieverbruik in de uitgangssituatie lijkt veel te verschillen van de uiteindelijke schatting voor de energiebesparing.

Naast een inspanning om standaardwaarden zoveel mogelijk aan te laten sluiten bij de praktijk, kan zelfs worden overwogen om de berekende warmtevraag in de uitgangssituatie (voorafgaand aan isolatiemaatregelen) direct te ‘fitten’ op gemeten verbruiksgegevens. Overweeg bijvoorbeeld om resultaten van bouwfysische modellen te toetsen aan- of direct te fitten op de gemiddelde waarden van grote groepen woningen, zoals geschat door het Referentieverbruik.

- Bouwfysische modellen kunnen worden geharmoniseerd door standaardwaarden voor zover mogelijk gelijk te trekken. Dit is niet vanzelfsprekend: modellen verschillen van elkaar op detailniveau en in de gebruikte eenheden (eenheden kunnen bijvoorbeeld zijn per huis, per vierkante meter, etc.). Het is waarschijnlijk veel werk om ze vergelijkbaar te maken.

Met betrekking tot het Referentieverbruik-model doen we de volgende aanbevelingen:

- Meer onderzoek is nodig naar de demografische samenstelling van woningcombinaties (van woningtype, bouwperiode, eigendomstype en energielabel). Een mogelijkheid is om bijvoorbeeld onderzoek te doen naar de verdeling van leeftijdsgroepen over deze woningcombinaties. Ook kan het effect van inkomen als individuele verklarende factor op het energieverbruik worden onderzocht.
- Resultaten van het Referentieverbruik zijn vooral bruikbaar voor het jaar 2020, omdat de statistische gegevens die aan de basis liggen van de methode op dat jaar zijn gebaseerd. Beleidsmakers of onderzoeksconsortia zoals VIVET kunnen overwegen om de methode geregeld op basis van nieuwe energieverbruiksstatistieken te laten actualiseren.
- Bij een eventueel vervolg van het project Referentieverbruik kan overwogen worden om verder onderscheid te maken in subvarianten per woningtype (indien mogelijk). Dit is vooral relevant voor portiek- en galerijwoningen. Het is daarbij belangrijk om onderscheid te maken in portiek- en galerijwoningen onder het dak, in het midden van het gebouw en op de begane grond. Ook kan worden overwogen om bij het schatten van de warmtevraag onderscheid te maken in ventilatiesystemen: hierbij kan mogelijk gebruik worden gemaakt van de labelregistratie, omdat het type ventilatiesysteem daarin is opgenomen.

8.4 Fit-for-purposetabel

Het PBL biedt naast deze publicatie een fit-for-purposetabel aan. Deze biedt handvaten voor goed gebruik van energieverbruiksmodellen voor hun diverse toepassingen. De fit-for-purposetabel geeft aan of een energieverbruiksmodel gebaseerd is op een statistische of een bouwfysische methode. Ook is te zien voor welk type resultaat het model geschikt is— al dan niet onder voorwaarden— zoals beschreven in paragraaf 1.5: de netto warmtevraag voor normering, de gemiddelde netto warmtevraag of de netto warmtevraag voor individuele woningen.

Verder wordt in de fit-for-purposetabel de methode beschreven waarmee een model schattingen maakt van de energiebesparing na isolatiemaatregelen. Ook beschrijven we in hoeverre de modellen in deze studie geschikt zijn voor enkele concrete toepassingen. Denk bijvoorbeeld aan een berekening van de werkelijke terugverdientijd van installaties of de inschatting van de werkelijke warmtevraag van een gebied (e.g. voor het bepalen van een businesscase voor een warmtenet of voor een warmteprogramma van een gemeente).

De fit-for-purposetabel biedt niet alleen handvaten voor goed gebruik van de modellen in deze studie, maar is— in combinatie met voorliggend rapport en de dataset met testwoningen— ook bedoeld om gesprekken over resultaten van andere energieverbruiksmodellen te faciliteren.

Stel bijvoorbeeld dat een gemeente zich wil laten informeren over het warmteverbruik van haar gebouwvoorraad door een energieverbruiksmiddel van een adviesbureau.

Op basis van dit rapport en de fit-for-purposetabel kan de gemeente informeren naar het type methode van het model en onderzoeken of het geschikt is voor de beoogde toepassing. Gemeenten kunnen adviesbureaus ook verzoeken om modelresultaten van adviesbureaus te vergelijken met de resultaten van (een selectie van) de modellen in dit onderzoek.

Zij kunnen dan gebruikmaken van de dataset met testwoningen. Dit geeft houvast bij de interpretatie van de modelresultaten die door het adviesbureau worden aangeboden. Samen helpen de producten grip te krijgen op het complexe onderwerp energiebesparing.

Referenties

- ACM (n.d.), *Gasaansluitplicht*, [acm.nl](https://www.acm.nl/nl/onderwerpen-energie-netbeheerders/gasaansluitplicht), geraadpleegd op 23 oktober 2023:
- <https://www.acm.nl/nl/onderwerpen-energie-netbeheerders/gasaansluitplicht>
- Agentschap NL. (2012), *Energieprestatie nieuwbouw EPG*, Sittard: Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties, opgehaald van https://www.joostdevree.nl/bouwkunde2/jpgp/pdf_o2o_veelgestelde_vragen_energieprestatie_nieuwbouw_epg_www_rvo_nl.pdf
- Beijnum, B. van, van den Wijngaart, R., Luteijn, G., van der Molen, F., Geijtenbeek, L., Rovers, V., & Tigchelaar, C. (2023), *Referentieverbruik warmte woningen. Achtergrondrapport*. Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.
- Berben, J. (2020), *Inijking energielabels woningen v7*, Veenendaal: INNAX, opgehaald van <https://open.overheid.nl/documenten/ronl-793a064d-2cbe-433d-aco8-587840ee7669/pdf>
- Berben, J. (2024), *Oorzaken labelmutaties bij overgang van NEN7120/NV naar NTA8800*. Veenendaal: INNAX.
- Brom, P. van den, Berben, J., Valk, H., & Nuiten, P. (2022), *Maatwerkadvies NTA8800; Een omschrijving van de aangepaste parameters en de validatie procedure*. Utrecht: RVO, opgehaald van https://documenten.isso.nl/s/uSoHK7Om2kijKFdnI9bkT5ggSsr4ZY4b/20220715_validatierapportage_MWA_v1.1.pdf
- Brom, P. van den, Meijer, A., & Visscher, H. (2018), Performance Gaps in Energy Consumption; Household Groups and Building Characteristics. *Building Research & Information* Vol.46(1), 54-70.
- Brom, P. van den, Meijer, A., & Visscher, H. (2019), Actual energy saving effects of thermal renovations in dwellings- longitudinal data analysis including building and occupant characteristics. *Energy & Buildings* 182, 251-263.
- Brouwer, M. (2019), *Het ene model is het andere niet; zes rekenmodellen voor de energietransitie in de gebouwde omgeving onderzocht*. Den Haag: provincie Zuid-Holland, opgehaald van <https://www.talentvoortransitie.nl/wp-content/uploads/2019/05/201905-Rekenmodellen-energietransitie.pdf>
- BZK. (2021), *open.overheid.nl, Standaard voor woningisolatie*, opgehaald van: <https://open.overheid.nl/documenten/ronl-d413f219-d3f9-4f40-a949-3791646198b4/pdf>
- CBS. (2023), *cbs.nl, Aardgasverbruik woningen daalt het meest in westen van Nederland*, opgehaald van: <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2023/48/aardgasverbruik-woningen-daalt-het-meest-in-westen-van-nederland#:~:text=In%202022%20nam%20het%20gemiddelde,hel%20warmere%20weer%20in%202022>
- CBS. (2024), *cbs.nl, De energierekening januari 2024*, opgehaald van: <https://www.cbs.nl/nl-nl/long-read/diversen/2024/de-energierekening-januari-2024?onepage=true#c-4--Verschillen-tussen-huishoudens>
- Cornelisse, M., Kruithof, A., & Valk, H. (2021), *Rapport Standaard en streefwaardes bestaande woningbouw*. Utrecht: Nieman, opgehaald van <https://www.nieman.nl/wp-content/uploads/2021/03/rapport-standaard-en-streefwaarden-bestaande-woningbouw-nieman-raadgevend-in.pdf>

- Filippidou, F., Nieboer, N., & Itard, L. (2016). *Actual Energy Savings of Renovated Dwellings: the Case of Amsterdam* in P. K. Heiselberg (Ed.), *CLIMA 2016 : Proceedings of the 12th REHVA World Congress Vol. 1*, 1-10. Aalborg: Aalborg University.
- Filippidou, F., Nieboer, N., & Visscher, H. (2018), Effectiveness of energy renovations: a reassessment based on actual consumption savings. *Energy Efficiency* 12, 19-35.
- Guerra-Santin, O. (2011), Behavioural Patterns and User Profiles related to energy consumption for heating. *Energy and Buildings* 43 (10), 2662-2672.
- Guerra-Santin, O., & Itard, L. (2010), Occupants' behaviour Determinants and effects on residential heating consumption. *Building Research & Information* 38 (3), 318-338.
- Henrich, B. A., Hoppe, T., Diran, D., & Lukszo, Z. (2021), The use of energy models in local heating transition decision making: insights from ten municipalities in the Netherlands. *Energies*, 1-23.
- Jonge, H. de (30 november 2022), *Verzamelbrief energielabel* [. Opgehaald van <https://open.overheid.nl/documenten/ronl-7854c0997e004a4a272780c59d776e2ce2890bob/pdf>
- Kabinetformatie (2024), *kabinetformatie2023.nl Hoop, Lef en Trots- Hoofdlijnenakkoord 2024-2028 van PVV, VVD, NSC en BBB*, opgehaald van <https://www.kabinetformatie2023.nl/documenten/publicaties/2024/05/16/hoofdlijnenakkoord-tussen-de-fracties-van-pvv-vvd-nsc-en-bbb>
- Kattenberg, L., Eichholtz, P., & Kok, N. (2022), [te verschijnen] *The Efficacy of Energy Efficiency: Measuring the Returns to Home Insulation*. Maastricht: Maastricht University.
- Koene, F.G.H., Matthijsen, E.F., Menkveld, M. (2022), *Generating heat demand profiles of neighbourhoods*. Den Haag: TNO, opgehaald van: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/1085/1/012008/pdf>
- Kooij, J. & Hoffman, M. (2014) *Amsterdams klimaatbeleid; Effectiviteit van het subsidiëren van labelstappen*, Amsterdam: Rekenkamer Amsterdam, opgehaald van https://www.rekenkamer.amsterdam.nl/content/uploads/2014/11/Klimaatbeleid_ONDZrapp_met_kaft_DEF1.pdf
- Kooij, J., van Doorn, M., Rahmouni, S., (2016) *Energiebesparende maatregelen in corporatiewoningen; Op verzoek: vervolgonderzoek klimaatbeleid*, Amsterdam: https://www.rekenkamer.amsterdam.nl/content/uploads/2016/03/Klimaatbeleid_verzoek_vervolg_OZRrapp_met_kaft.pdf
- Leidelmeijer, K. (2019), *Verschillen in energiegebruik; Wat weten we (niet)*, Amsterdam: In.Fact.Research, opgehaald van <https://www.infactresearch.eu/publicaties>
- Majcen, D., Itard, L., & Visscher, H. (2013a), Actual and theoretical gas consumption in Dutch dwellings: What causes the differences? *Energy Policy*, 460-471.
- Majcen, D., Itard, L., & Visscher, H. (2013b), Theoretical vs. actual energy consumption of labelled dwellings in the Netherlands: Discrepancies and policy implications. *Energy Policy*, 125-136.
- Majcen, D. & Itard, L. (2014), *Relatie tussen energielabel, werkelijk energiegebruik en CO₂- uitstoot van Amsterdamse corporatiewoningen*, Delft: TU Delft, opgehaald van <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid%3Ab0b73c48-4413-4dda-8b1b-748cf65a534b?collection=research>
- Majcen, D., Itard, L., & Visscher, H. (2016), Actual heating energy savings in thermally renovated Dutch dwellings. *Energy Policy*, 82-92.
- Manteuffel, B. von, & Offermann, M. (2022), [vertaald met DeepL] *Realitätsnahe Berechnung des Energiebedarfs*. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt.
- Menkveld, M., Rovers, V., Tigchelaar, C., & Zwamborn, A. (2020), *Kosten en baten isolatiestandaard en streefwaarden voor woningen*. Amsterdam: TNO.

- MilieuCentraal. (n.d.a), *Toelichting op besparingsberekening verduurzaming woning*. Opgeroepen op 20 juni 2024: <https://www.verbeterjehuis.nl/over-verbeterjehuis-nl/kennisbank/bepalingsmethode-maatwerkadvies/toelichting-op-besparingsberekening-verduurzaming-woning>
- MilieuCentraal. (n.d.b), *Subsidie voor isolatie*. Opgeroepen op 26 juni 2024: <https://www.milieucentraal.nl/energie-besparen/energiesubsidies-en-leningen/subsidie-voor-isolatie/>
- Molen van der, F., Langeveld, J., Herbstritt, C., Poorthuis, W., & Hoogervorst, N. (2023a), *Overzicht transitievisies warmte; signalen; obstakels en potentieel*. Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.
- Molen van der, F., Poorthuis, W., Zwamborn, A., Tigchelaar, C., Niessink, R., & Rovers, V. (2023b), *Functioneel Ontwerp Hestia 1.0; Ruimtelijk energiemodel voor de gebouwde omgeving*. Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.
- NEN. (2022), nen.nl, *Veelgestelde vragen over normen*, opgeroepen op 29 oktober 2023: <https://www.nen.nl/veelgestelde-vragen-over-normen>
- Netbeheer Nederland. (2023), netbeheernederland.nl, *Rekenmodellen*, opgeroepen in september 2023: https://www.netbeheernederland.nl/upload/Files/Rekenmodellen_21_eabcbazf86.pdf
- Ollongren, K. (2021, 18 maart). *Isolatiestandaard en Streefwaardes voor woningen [Kamerbrief]*, opgehaald van https://www.tweedekamer.nl/kamerstukken/brieven_regering/detail?id=2021Z04724&did=2021D10454
- Overheid Wettenbank. (2023), wetten.overheid.nl, *Klimaatwet, geraadpleegd op 31 oktober 2023*: <https://wetten.overheid.nl/BWBR0042394/2023-07-22>
- Overheid (2023), wetten.overheid.nl, *Regteling energieprestatie gebouwen, geraadpleegd op 3 november 2023*: <https://wetten.overheid.nl/BWBR0020921/2023-07-25>
- Wijngaart, R. van, van Polen, S. (2020), *Bepaling energiebesparing door isolatie van woningen in de Startanalyse 2020*. Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.
- Pothof, I., Vreeken, T., & van Meerkerk, T. (2022), *Field measurements on lower radiator temperatures in existing buildings; Manuscript for Energy and Buildings*, Utrecht: WarmingUP.
- Rijksoverheid. (n.d.), rijksoverheid.nl, *Heeft de energieprestatie van mijn woning invloed op de huurprijs?*, Den Haag: Rijksoverheid, opgehaald van <https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/huur-woning-zoeken/vraag-en-antwoord/heeft-de-energieprestatie-van-mijn-woning-in-vloed-op-de-huurprijs#:~:text=Ja..energieprestatie%20levert%20meer%20huurpunten%20op>
- Rijksoverheid. (2019), open.overheid.nl, *Klimaatakkoord*. Den Haag: Rijksoverheid, opgehaald van <https://open.overheid.nl/documenten/ronl-7f383713-bf88-451d-a652-fbdeb1254c06/pdf>
- Rijksoverheid. (2023), rijksoverheid.nl, *Extra pakket maatregelen dicht gat tot klimaatdoel 2030*, opgeroepen op 31 oktober 2023: <https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/klimaatverandering/nieuws/2023/04/26/extra-pakket-maatregelen-dicht-gat-tot-klimaatdoel-2030>
- Rovers, V., & Tigchelaar, C. (2023), *Achtergrondrapport bij de Monitor van de ISDE, SEEH en het Nationaal Warmtefonds*. Amsterdam: TNO.
- Rovers, V., Menkveld, M., & Krone, T. (2020), *Analyse energiebesparende maatregelen Nationaal Energiebespaarfonds*, Amsterdam: TNO, opgehaald van <https://www.rvo.nl/sites/default/files/2021/02/Analyse-energiebesparende-maatregelen-Nationaal-Energiebespaarfonds-TNO-2020.pdf>
- RVO. (2015), *Infoblad Trias Energetica en energieneutraal bouwen*. Utrecht: Rijksdienst voor Ondernemend Nederland.

- RVO. (2021), *Standaard en streefwaarden voor woningisolatie*. Utrecht: Rijksdienst voor Ondernemend Nederland, opgehaald van <https://www.rvo.nl/onderwerpen/wetten-en-regels-gebouwen/standaard-streefwaarden-woningisolatie>
- RVO. (2022), *Voorbeeldwoningen 2022*, Den Haag: RVO, opgehaald van <https://www.rvo.nl/sites/default/files/2023-01/brochure-voorbeeldwoningen-bestaande-bouw-2022.pdf>
- RVO. (2023), *(concept) Nationaal plan energiesysteem; ambtelijk werkdocument C- Transitiepaden gebruikssectoren*, Utrecht: Rijksdienst voor Ondernemend Nederland.
- Tigchelaar, C., & Rovers, V. (2023), *Achtergrondrapport bij de Monitor van de ISDE, SEEH en het Nationaal Warmtefonds*, Amsterdam: TNO, opgehaald van <file:///H:/Documents/Downloads/TNO-2023-P11006.pdf>
- Vereniging Eigen Huis (2023) *Factsheet; Impact verplichting hybride warmtepomp*, opgehaald van <https://www.eigenhuis.nl/nieuws/miljoenen-huiseigenaren-mogelijk-onterecht-verplicht-tot-warmtepomp>
- Volkshuisvesting en Ruimtelijke Ordening. (2022a), *Nationaal Isolatieprogramma*, Den Haag: Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties; Volkshuisvesting en Ruimtelijke Ordening.
- Volkshuisvesting en Ruimtelijke Ordening. (2022b), *Nationale prestatieafspraken*, Den Haag: Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties; Volkshuisvesting en Ruimtelijke Ordening, opgehaald van <https://www.volkshuisvestingnederland.nl/onderwerpen/nationale-prestatieafspraken-voor-de-volkshuisvesting/documenten/publicaties/2022/06/30/nationale-prestatieafspraken-2022>
- Volkshuisvesting en Ruimtelijke Ordening. (2022c), *Beleidsprogramma versnelling verduurzaming gebouwde omgeving*. Den Haag: Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties.
- Vught, P. van, (2020). *Uniforme Maatlat Gebouwde Omgeving (UMGO) voor de warmtevoorziening in de woning- en utiliteitsbouw; Een protocol voor het vergelijken van alternatieven voor de warmtevoorziening in de woning- en utiliteitsbouw*, Den Haag: RVO.
- W/E adviseurs. (2023), *Normering verwarmingssystemen*, Eindhoven/ Utrecht, opgehaald van <https://www.w-e.nl/wp-content/uploads/2023/05/we-rapport-normering-verwarmings-systemen.pdf>
- Wijngaart van den, R., Folket, R. & Middelkoop, M. (2014), *Op weg naar een klimaatneutrale woningvoorraad in 2050, Investeringsopties voor een kosteneffectieve woningvoorraad, Achtergronden en uitgebreide resultaten*, Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.

Bijlagen

Bijlage 1: Maastrichtstudie naar energiebesparing

Er zijn weinig studies naar de daadwerkelijke effecten van isolerende maatregelen die zijn vastgesteld op basis van meetgegevens van het energiegebruik: waarbij wordt gekeken naar het gerealiseerde verbruik (over langere periode) vóór en na het nemen van isolatiemaatregelen. Eén studie van de universiteit Maastricht ‘*The efficacy of energy efficiency: measuring the returns to Home Insulation*’ (Kattenberg et al. 2023) kijkt naar daadwerkelijke besparingseffecten. In deze bijlage geven wij een (korte) reflectie op de inhoud.

Methode

Voor het onderzoek zijn (factuur)gegevens verstrekt over isolatiemaatregelen door één isolatiebedrijf van haar klanten. In totaal gaat het om 1312 woningen of ‘observaties’ waarvan 1054 koopwoningen, 96 particuliere huurwoningen en 62 woningen in corporatiebezit (zie tabel B1.1). De onderzoekspopulatie bestaat voornamelijk uit 2-onder-1-kap woningen, rijwoningen en vrijstaande woningen (zie tabel B1.1). De gegevens over isolatiemaatregelen zijn gekoppeld op adresniveau aan CBS micro-data over meerdere jaren waardoor ook de huishoudsamenstelling en de warmtevraag van de woningen beschikbaar was. De resultaten voor de onderzoekspopulatie zijn vergeleken met alle andere woningen in de provincie (als controlegroep, n=301035 woningen) met een ‘difference-in-difference’ benadering. Concreet betekent dit dat wordt gekeken naar het verschil in energiebesparing tussen de onderzoekspopulatie en de controlegroep: als er ook energiebesparing heeft plaatsgevonden in de controlegroep heeft dit mogelijk andere oorzaken dan isolerende maatregelen en wordt hiervoor gecorrigeerd in de resultaten van de onderzoekspopulatie. Met betrekking tot de isolatiemaatregelen wordt vooral spouwmuurisolatie en vloerisolatie geregistreerd, met een klein aantal isolatiemaatregelen voor het dak (zie tabel B1.2). De woningen in de onderzoekspopulatie zijn voor het grootste deel gebouwd tussen 1945 en 1979 (zie tabel B1.3). De onderzoekers geven aan dat— ten opzichte van de controlegroep— de bewoners in de onderzoekspopulatie gemiddeld een hoger inkomen hebben, de woningen gemiddeld een grotere oppervlakte hebben en de huishoudens gemiddeld iets groter zijn. Bovendien hebben de woningen in de onderzoekspopulatie een hoger gemiddeld verbruik dan de woningen in de controlegroep (zie tabel B1.4).

Tabel B1.1
Verdeling woningtypen

Woningtype	Koop	Parthuur	Sociaal	Totaal
Apartment	6	6	14	26
Corner	188	16	19	223
Semi-detached	355	24	10	389
Row	273	25	20	318
Detached	232	24	0	256
Totaal	1054	96	62	1212

Bron: (Kattenberg et al. 2022)

Tabel B1.2
Verdeling isolatiemaatregelen

Isolatiemaatregel	Aandeel totaal aantal maatregelen	Aantal maatregelen
(spouw)muur	87%	1141
Vloer	18%	236
Dak	6%	78

Bron: (Kattenberg et al. 2022)

Tabel B1.3
Verdeling bouwperiodes

Woningtype	Koop	Parthuur	Sociaal	Totaal
1900-1929	33	5	0	38
1930-1944	74	1	0	75
1945-1959	256	15	12	283
1960-1969	296	35	25	356
1970-1979	353	29	22	404
1980-1989	28	2	2	32
1990-1999	12	3	0	15
>2000	2	6	0	8
Totaal	1054	96	62	1212

Bron: (Kattenberg et al. 2022)

Conclusies Rapport

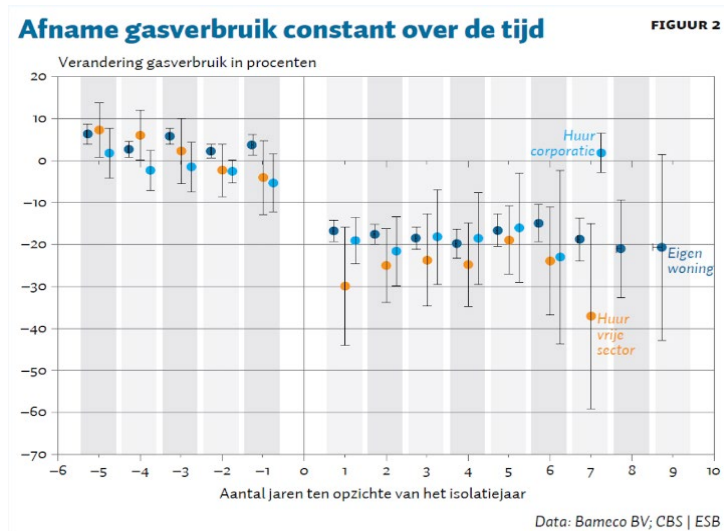
De onderzoekers concluderen dat isolatiemaatregelen gemiddeld genomen leiden tot een reductie in de gasvraag van 20 procent, consistent tot 10 jaar na het nemen van maatregelen en zowel voor koop- als huurwoningen (zie figuur B1.1 en B1.2)⁴². Bovendien vinden de onderzoekers op basis van dit onderzoek geen bewijs voor een rebound effect, waarbij de warmtevraag van (dezelfde) bewoners na het nemen van isolatiemaatregelen toeneemt. De conclusies op een rij (Kattenberg et al. 2022):

- Gemiddelde besparing van 20.8 procent in jaarlijks gasgebruik. Met een gemiddelde besparing per eigendomstype van 21.8% bij koopwoningen, 27.8 procent bij huurwoningen en 15.6 procent bij woningen in corporatiebezit.
- Het gemiddelde besparingseffect per maatregel is: 23.2 procent besparing bij dakisolatie, 20.7 procent besparing bij muurisolatie en 12.5 procent besparing bij vloerisolatie.
- Gemiddelde besparing van 300,- euro per jaar ten opzichte van controlegroep. Bij gemiddelde investering van 1640,- levert dat een rendement op van 18.3 procent en terugverdientijd van 5,5 jaar, bij de gasprijs van het jaar voorafgaand aan de maatregel.
- Geen reboundeffect gevonden

⁴² De onderzoekspopulatie wordt gedomineerd door koopwoningen waarvan het gemiddelde verbruik rond de 2400m³ gas ligt (zie tabel 18). Dit lijkt te stroken met het gemiddelde verbruik in de jaren voorafgaand aan de isolatiemaatregelen (zie figuur 15). Uitgaande van een gewogen gemiddeld verbruik van 2327m³ in 2009 komt een besparing van 20.8 procent neer op 484 m³ gas of 15.3 GJ energie.

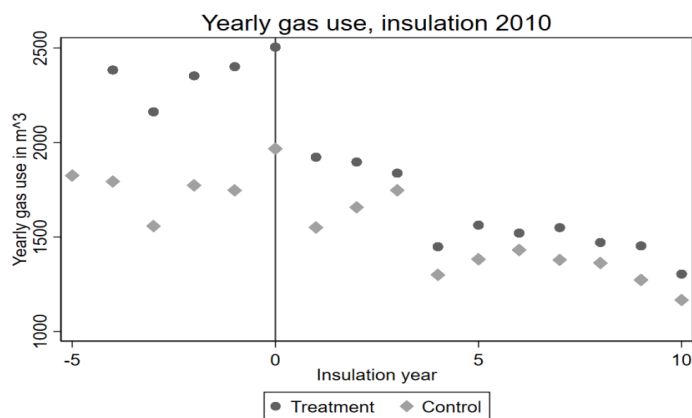
- Geen significant besparingseffect bij appartementen (met voornamelijk dak- en vloerisolatie)

Figuur B1.1
Afname gasverbruik studie Maastricht



Verandering gasverbruik in procenten. Jaar 0 is het jaar van de isolatiemaatregel. Bron: (Kattenberg et al. 2022)

Figuur B1.2
Gemiddeld jaarlijks gasverbruik in onderzoekspopulatie en controlegroep



Gemiddeld jaarlijks gasverbruik in onderzoekspopulatie ("Treatment") en controlegroep ("Control"). Jaar 0 is het jaar van de isolatiemaatregel. Bron: (Kattenberg et al. 2022).

Reflectie

Ondanks de robuuste analysemethode met een 'difference-in-difference' benadering, zijn er enkele aandachtspunten te noemen die doen twifelen of de studieresultaten representatief zijn voor de Nederlandse woningvoorraad in zijn geheel of zelfs de belangrijkste woningtypen in de studie specifiek. Veel van deze aandachtspunten worden door de onderzoekers zelf beschreven in het rapport:

- De studie is gebaseerd op één aannemer (Bameco in Limburg) die alle maatregelen heeft uitgevoerd (N=1). Deze aannemer kan zorgvuldig te werk gaan en bijvoorbeeld gaten in de gevel dichtstoppen. In hoeverre andere aannemers even zorgvuldig werken weten we niet.

- Niet-representatieve selectie woningen. Diverse factoren leiden tot een bovengemiddeld gasverbruik, onder andere:
 - Relatief veel vrijstaande-, 2-onder-1-kap en rijwoningen
 - Vooral bouwperiode tussen 1945-1979 (relatief oude woningen)
 - Relatief grote huishoudens (met hoog inkomen)
 - De woningpopulatie is mogelijk een selectie van woningen met gunstige bouwkenmerken (bijvoorbeeld geen koudebruggen) en bouwjaren;
 - Relatief grote en dure woningen (op basis van oppervlakte en WOZ waarde).
- Voornamelijk spouwmuurisolatie: kleine onderzoekspopulatie voor dakisolatie.
- Het is onduidelijk of ook andere maatregelen zijn genomen zoals een efficiëntere cv-ketel en het waterzijdig inregelen van de warmte-installatie. Een goed renovatiebedrijf met als doel om energie te besparen zou hier op gelet hebben, maar dit gebeurt in de praktijk mogelijk niet altijd (waardoor de besparing soms lager uitvalt)
- Investeringskosten bij Bameco lijken op basis van een snelle vergelijking met gemiddelde kostencijfers van MilieuCentraal niet representatief en relatief laag (zie tabel B1.4). Aangezien het gaat om (relatief) dure en grote woningen mag worden verwacht dat de investering in de onderzoekspopulatie aan de bovenzijde ligt van wat er doorgaans binnen Nederland voor isolatiemaatregelen wordt betaald: de investering bij Bameco lijkt echter ruim onder het Nederlandse gemiddelde te liggen.

Tabel B1.4

Gemiddelde kosten per isolatiemaatregel Kattenberg et al. 2022 en MilieuCentraal

	Kattenberg et al. 2022 (gemiddeld)	Tussenwoning	Hoekwoning	2-onder-1-kap	Vrijstaande woning
Oppervlakte gevel [m2]	105	39	88	90	129
Oppervlakte vloer [m2]	53	48	50	64	95
Oppervlakte dak [m2]	51	53	56	58	91
Isoleren spouw [€]	1656	1100	2400	2400	3500
Isoleren vloer [€]	1437	1950	2050	2600	3800
Isoleren (schuin) dak [€]	2055	5400	5700	6000	9200

Bron: (Kattenberg et al. 2022) en (MilieuCentraal, n.d.b). Deze tabel geeft de gemiddelde oppervlakte per gebouwdeel (conform de populatie van Kattenberg et al. 2022), met bijbehorende gemiddelde isolatiekosten en de indicatieve kosten per gebouwdeel die worden gegeven door MilieuCentraal met de oppervlakten per gebouwdeel waar die indicatieve kosten op zijn gebaseerd. Vooral de gemiddelde kosten voor het isoleren van het dak die door Kattenberg et al. worden gerapporteerd lijken laag in vergelijking met de gemiddelde kosten voor isolatie van het dak die door MilieuCentraal worden gegeven (zeker gezien de vergelijkbare oppervlakte). Rekening houdend met de oppervlakten van de gebouwdelen, lijken de isolatiekosten voor de andere gebouwdelen die door Kattenberg et al. 2022 worden gerapporteerd laag. Mogelijk is de factuurdata gebaseerd op informatie van een relatief goedkope aanbieder (Bameco in Limburg). De verschillen in kosten tussen Kattenberg et al. 2022 en de kosten die door MilieuCentraal worden gerapporteerd kunnen ook het gevolg zijn van een stijging in de kosten van isoleren ten opzichte van de factuurdata.

Conclusie reflectie

De resultaten zijn vooral bruikbaar met betrekking tot het effect van spouwmuurisolatie in twee-onder-1-kap woningen ('semi-detached'), rijwoningen ('row') en vrijstaande woningen. Resultaten zijn mogelijk niet representatief voor dit type woningen in de gehele voorraad: met betrekking tot energiebesparing zijn de resultaten vermoedelijk te hoog, gezien de demografie van de onderzoekspopulatie en het bovengemiddeld verbruik van de woningen (voorafgaand aan isolatie) en het feit dat de resultaten zijn gebaseerd op één gespecialiseerde aannemer. Ook zijn de resultaten met betrekking tot de kosten (en terugverdientijden) slechts gebaseerd op één aanbieder.

Meer van dit type onderzoek is nodig om beter grip te krijgen op de werkelijke effecten van isolatiemaatregelen op de warmtevraag, maar de resultaten van dit onderzoek zijn in de huidige vorm (nog) niet toereikend om (gegeneraliseerde) conclusies te kunnen trekken over de energiebesparende effecten van isolatiemaatregelen en om modelresultaten voor energiebesparing door isolatie in woningen mee te valideren.

Bijlage 2: Beschrijving modellen en resultaten kwalitatieve analyse

De geselecteerde modellen (zie paragraaf 4.1) worden in dit hoofdstuk kwalitatief beschreven door modelexperts. Daaraan voorafgaand hebben zij een kwalitatieve analyse uitgevoerd door het invullen van een template in Excel waarin informatie is gevraagd over verschillende modeleigenschappen. De informatie van de Excel template wordt deels beschreven in dit rapport, onder andere met betrekking tot het doel waarvoor het model oorspronkelijk is ontwikkeld, de huidige toepassingen, de toegankelijkheid, de methoden die worden toegepast om energieverbruik en -besparing bij woningen te berekenen en een (globale) beschrijving van de invoer en uitvoer van het model. In dit hoofdstuk is een aanvullende beschrijving per model opgenomen, de Excel template wordt apart gepubliceerd.

Niet alle informatie van de kwalitatieve analyse is betrokken in het rapport, de beschrijvingen zijn vooral bedoeld om een (globale) eerste indruk te krijgen van de modellen, het doel waar ze oorspronkelijk voor zijn ontwikkeld en de methode om de netto warmtevraag van woningen te berekenen en de energiebesparing bij isolatiemaatregelen. Voor aanvullende informatie over de modellen wordt verwezen naar model specifieke achtergronddocumentatie of het functioneel ontwerp, indien beschikbaar.

Bijlage B2.1 NTA 8800

NTA8800 is de huidig geldende bepalingsmethode voor het bepalen van de energieprestatie van gebouwen in het kader van de EPBD. Het is een Nederlandse Toetsingsafspraken ontwikkeld door NEN in opdracht van BZK.

Oorspronkelijk doel van het model

Het instrument is primair bedoeld voor handhaving en het voldoen aan Europese EPBD wetgeving in het kader van nieuwbouweisen en het energielabel.

Huidige toepassing van het model

Het model is bedoeld voor het toetsen aan nieuwbouw eisen en het opstellen van energielabels. Zodoende hebben alle projectontwikkelaars, woning- en gebouweigenaren te maken met deze methode. Energielabels worden ook gebruikt om beleidsafspraken te maken, portefeuilleplanningen en financieringsconstructies, om daarmee de energiebesparing te stimuleren. Het is niet bekend in hoeverre de methode nog op andere manieren wordt gebruikt. De klankbordgroep geeft aan dat de methode soms verkeerd gebruikt wordt, omdat het wordt gebruikt ter indicatie van het werkelijke energiegebruik. De indruk onder experts is wel dat deze toepassing steeds minder voorkomt.

Toegankelijkheid

De NTA 8800 is vrij beschikbaar en via NEN (na registratie) gratis te downloaden. In dit document staan alle invoerwaarden, rekenwaarden, formules en definities. Er zijn drie marktpartijen die de rekenprocedures in software geïmplementeerd hebben (een enkele partij is hier nog mee bezig). Hiervoor hebben deze partijen een certificatie-traject doorlopen waarbij de software met succes getest is.

Daarnaast is MWA NTA 8800 (zie bijlage Bz.2) geïmplementeerd in een Excel tool die aangevraagd kan worden bij NEN en onder strikte voorwaarden gebruikt mag worden. Deze tool mag alleen voor validatie van software, onderzoek en beleid gebruikt worden in opdracht van de Rijksoverheid.

Beschrijving methode

NTA8800 is te typeren als een statisch bouwfysisch rekenmodel waarmee de energieprestatie berekend kan worden onder standaard condities. Energieprestatie heeft betrekking op gebouwgebonden primair fossiel energiegebruik. Berekeningen worden per maand gemaakt. Het primaire fossiele energiegebruik geeft aan hoeveel fossiele energie nodig is om in de gebouwgebonden functies van een woning te voorzien: verwarmen, koelen, ventileren en warmtapwater bereiden. Het primair fossiel energiegebruik wordt uitgedrukt per vierkante meter gebruiksoppervlak, zoals in onderstaande formule:

$$EP2 = \frac{Q_{totaal}}{A_g}$$

EP2 staat voor het primaire fossiele energiegebruik. Het energielabel wordt bepaald op basis van EP2.

(Globale) beschrijving invoer en uitgangspunten

In deze paragraaf worden invoer en uitgangspunten (ook wel ‘parametrisering’ genoemd) beschreven. NTA8800 is een model met circa 500 – 1000 kenmerken; het exacte aantal is afhankelijk van de complexiteit van de woning waar berekeningen voor worden uitgevoerd. Voor het bepalen van de energieprestatie hoeven alleen eigenschappen van het gebouw ingevoerd te worden, want voor bewonersgedrag en klimaatomstandigheden zijn standaardwaarden aangehouden. Belangrijke modelparameters zijn:

1. Algemene kenmerken op gebouw/woningniveau:
 - a. Woningtype en gebouwtype. Hieraan worden onder andere standaardwaarden voor ventilatie en infiltratiehoeveelheden aan gekoppeld
 - b. Bouwjaar en renovatiejaar
 - c. Thermische massa gebouw in verband met warmtebufferende werking
 - d. Hoogte gebouw in verband met ventilatieverliezen
 - e. Infiltratiewaarde (qv10 waarde). Alleen op basis van blower door tests, anders worden standaardwaarden gehanteerd op basis van woningtype en bouwjaar.
 - f. Warmteverliezen door koudebruggen en leidingdoorvoeren. Ook hier worden standaardwaarden gehanteerd, tenzij uitgebreide koudebrug berekeningen worden overlegd.
 - g. Aantal bouwlagen
2. Warmteverlies door thermische schil. Alle constructiedelen worden beschreven met oppervlakte, hellingshoek, oriëntatie, en type begrenzing (verwarmde ruimte, onverwarmde ruimte, grond, kruipruimte of water). Isolatiewaarden (Rc-waarden voor isolatie, U-waarden voor glas) worden bepaald op basis van bouwjaar, opgemeten dikte, of de vaststelling dat een bepaald product met kwaliteitsverklaring is toegepast. Bij producten met kwaliteitsverklaring mag met aanzienlijk hogere Rc-waarden gerekend worden. Bij ramen wordt ook een aantal kenmerken van de beschaduwing en zonwering meegenomen, deze zijn van invloed op passieve zonnewinst (zie punt 4)
3. Warmteverlies door ventilatie. Het ventilatiesysteem wordt in ongeveer 40 kenmerken beschreven. Het gaat om typologie, toestellen, distributie, type warmterugwinning, etc.

4. Warmtewinst door zonnestraling. Zoals aangegeven wordt er met een landelijk gemiddelde zoninstraling gerekend. Hiervoor zijn ook de oppervlaktes, hellingshoeken en oriëntaties nodig die voor de warmteverliesberekening nodig zijn. Bij ramen wordt beschaduwing en zonwering meegerekend.
5. Rendement verwarmingsinstallatie. Een woning kan meerdere verwarmingssystemen hebben. Het gaat om kenmerken over opwekking, distributie en afgifte van warmte. Bij de opwekker kunnen er meerdere toestellen zijn.
6. Rendement tapwaterinstallatie. Een woning kan meerdere tapwatersystemen hebben. Net zoals bij ruimteverwarming bevat een tapwatersysteem kenmerken over opwekking, distributie en afgifte.

Koeling en PV zijn buiten beschouwing gelaten in deze beschrijving, omdat het in deze studie gaat om isolatietechnieken.

Uitvoer

De uitvoer van NTA8800 bestaat uit drie energieprestatieindicatoren (EP): de energiebehoefte, primair fossiel energiegebruik en het aandeel hernieuwbare energie. Dit worden ook wel de drie BENG indicatoren genoemd. BENG staat voor Bijna Energie Neutraal Gebouw. De uitkomsten worden voor nieuwbouw getoetst aan de wettelijke eisen voor deze drie indicatoren.

Hieronder een toelichting per indicator:

1. EP1: Energiebehoefte in kWh/m².jaar: optelsom van energiebehoefte voor verwarming en koeling
2. EP2: Primair fossiel energiegebruik in kWh/m².jaar: optelsom van het primair fossiel energiegebruik voor verwarming, koeling, warmtapwaterbereiding hulpenergie en ventilatoren minus de opwekking van PV.
3. EP3: Aandeel hernieuwbare energie in procenten: hernieuwbare energie gedeeld door het totaal van hernieuwbare energie plus primair fossiel energiegebruik

Opmerking: Bij EP1 wordt altijd uitgegaan van een “neutraal” ventilatiesysteem. Hierbij is uitgegaan van mechanische afzuiging met natuurlijke toevoer.

Het energielabel is ook een uitkomst welke volgt uit de EP2 indicator (primair fossiel energiegebruik). De regels zijn vastgelegd in de Regeling energieprestatie gebouwen (Overheid 2023). Een energielabel ‘B’ heeft conform huidige wetgeving bijvoorbeeld een primair fossiel energiegebruik van 160,01 t/m 190,00 kWh/m².jaar. Voor nieuwbouw geldt nog een extra indicator TO-juli, die het risico op oververhitting aangeeft. Omdat dit onderzoek over bestaande bouw gaat, wordt deze indicator verder buiten beschouwing gelaten.

Bijlage B2.2 MWA NTA8800

Het Maatwerkadvies omvat meer dan een rekenmodel. Het is een gecertificeerde methode waarbij een kwaliteitsborgingssysteem, examinering en een (optionele) registratie in EP-online ook een rol spelen. In dit onderzoek hebben we het alleen over het rekenmodel.

Oorspronkelijk doel van het model

Het doel van de methode MWA NTA8800 is om investeringsbeslissingen voor energiebesparende maatregelen te ondersteunen. Het rekenmodel als onderdeel van de methode moet daarom realistische uitkomsten geven over energiebesparing. Een uitgangspunt is dat de methode aansluit als een verlengstuk bij het energielabel, zodat kenmerken niet opnieuw vastgesteld hoeven te worden en het proces van opname en advies gestroomlijnd kan worden. Het energielabel biedt al algemene aanbevelingen die geautomatiseerd zijn vastgesteld. Deze aanbevelingen zijn globaal en onder standaardcondities bepaald. Als de bewoner meer op maat informatie nodig heeft, kan een maatwerkadvies een interessant alternatief zijn.

Huidige toepassing van het model

Het rekenmodel wordt zoals al aangegeven toegepast binnen de gecertificeerde adviesmethode MWA NTA 8800. Daarnaast wordt MWA NTA8800 als rekenkern (software component) toegepast in Verbeterjehuis. De lezer die nieuwsgierig is naar Verbeterjehuis kan de [Verbeterjehuis tool via deze link bekijken](#). Op dit Platform is veel van de invoer van het model “dichtgekapt”, omdat woningeigenaren zonder professionele kennis met dit instrument moeten kunnen werken. Tenslotte is het voornemen om MWA NTA8800 ook (daar waar relevant) voor onderzoek en beleidsstudies te gebruiken.

Toegankelijkheid

De formulestructuur NTA 8800 is openbaar toegankelijk via nen.nl en de aangepaste waarden van het MWA zijn openbaar toegankelijk via isso.nl. Er zijn drie marktpartijen die de rekenprocedures in software geïmplementeerd hebben (een enkele partij is hier nog mee bezig). Daarnaast is MWA NTA 8800 geïmplementeerd in een Excel tool die aangevraagd kan worden bij NEN. Deze tool mag alleen voor validatie van software, onderzoek en beleid gebruikt worden in opdracht van de Rijksoverheid.

Beschrijving methode

MWA NTA 8800 is een variant op de NTA 8800. Het bouwfysische rekenmodel van NTA8800 wordt gebruikt om niet alleen primair fossiel energiegebruik te berekenen, maar ook gas-, elektra-, warmte- en biomassaverbruiken. Uitgangspunten van NTA8800 zijn aangepast, hierbij zijn ook parameters “open gebroken” die geen invoer zijn in NTA8800. Soms zijn in de formulestructuur correctiefactoren toegepast.

(Globale) beschrijving invoer en uitgangspunten

In het model zijn extra parameters uit de formulestructuur “open gezet”. Dit betreft de buitentemperatuur, parameters over gebruikersgedrag en technische prestaties.

Daarnaast is het mogelijk om het berekende verbruik te vergelijken met werkelijk gemeten energiegebruik. MWA NTA8800 geeft procedures hoe de parameters in het rekenmodel gefit kan worden op basis van het gemeten energiegebruik. De gemeten warmtevraag wordt gecorrigeerd voor graaddagen.

Het model geeft een aantal default- of 'standaard' waarden, indien niet volgens de maatwerk procedures gefit wordt. Hieronder staan de belangrijkste aanpassingen van NTA8800:

- Correctie buitentemperatuur met +1 graad Celsius op grond van onderzoek naar urban heat effect.
- Correctie Rc-waarden met + 0,15 m²*K/W op grond van vermoedens van TU Delft en de argumentatie dat afwerkingslagen niet meegenomen zijn in de bepaling van de warmte-weerstand van constructies. Daarbij is het vermoeden dat overgangsweerstanden (warmteverlies als gevolg van wind nabij gevel, dak etc) gunstiger zijn, omdat woningen dichter bij elkaar liggen
- Correctie interne warmteoverdracht van 2 naar 1,5 W/m² gebruiksoppervlak. De interne warmteoverdracht geeft aan hoe het warmtetransport binnen de woning plaatsvindt van de verwarmde zone (bijvoorbeeld woonkamer) naar matig verwarmde zones (bijvoorbeeld slaapkamers). Factoren die hierbij een rol spelen zijn, isolatie van binnenwanden, openstaande deuren en open trappen. De ISSO norm geeft aan dat dit een (ruwe) schatting is.
- Correctie infiltratiewaarden, omdat alle experts het erover eens waren dat in de praktijk de infiltratie lager is dan aangenomen in NTA8800
- Correctie ventilatiehoeveelheden, omdat alle experts het erover eens waren dat in de praktijk minder geventileerd wordt
- Verliezen via de vloer: zie Verbetercheck Verbeterjehuis.

Voor een volledig overzicht, zie de rapportage (Van den Brom et al. 2022). Deze rapportage bevat een beschrijving van de aangepaste parameters en de validatieprocedure.

Uitvoer

Het model geeft uitkomsten met gas-, elektra-, - warmte en biomassaverbruiken per jaar van alleen de gebouwgebonden functies. Optioneel kunnen ook de tussenresultaten per energiepost per maand gegeven worden.

Bijlage B2.3 Verbeterjehuis

Het model van Verbeterjehuis (VJH) is een afgeleide variant van MWA NTA 8800. Het model is aangepast voor gebruik door woningeigenaren in een online tool.

Oorspronkelijk doel van het model

Het doel van het model is dat woningeigenaren zelf een indicatie van de energiebesparing kunnen bepalen via een online tool, die als invoerwaarden ook gebruikt maakt van de RVO-voorbeeldwoningen en een bibliotheek van technisch en praktisch haalbare besparende maatregelen.

Huidige toepassing van het model

De rekenkern is een software implementatie van het rekenmodel van Verbeterjehuis welke door Smart Twin B.V ontwikkeld en beheerd wordt. De belangrijkste toepassingen zijn de interfaces (online loket) voor woningeigenaren. Er zijn drie interfaces met een toenemend detailniveau:

1. De quick-scan van Milieu Centraal (een wizard met circa 15 vragen)
2. De eenvoudige 3d tool van Smart Twin B.V.
3. De uitgebreide 3d tool van Smart Twin B.V.

De rekenkern of de rekenprocedures (het model en de uitgangspunten) worden ook gebruikt voor beleid en onderzoek, zoals voor het bepalen van huurverhogingen op basis van woningpunten.

Toegankelijkheid

Het model is openbaar en de verschillen met MWA NTA8800 staan beschreven op de kennisbank van Verbeterjehuis.nl. Alleen Smart Twin B.V. heeft deze rekenprocedures in software geïmplementeerd.

Daarnaast is MWA NTA 8800 waaronder de variant VJH geïmplementeerd in een Excel tool die aangevraagd kan worden bij NEN en onder strikte voorwaarden gebruikt mag worden. Deze tool mag alleen voor validatie van software, onderzoek en beleid gebruikt worden in opdracht van de Rijksoverheid.

Beschrijving methode

De methode is een afgeleide van MWA NTA8800 waarbij de invoer geschikt gemaakt is voor woningeigenaren. MWA NTA8800 heeft circa 500 kenmerken die moeilijk vast te stellen zijn. Bij het model van Verbeterjehuis worden waarden geautomatiseerd aangenomen of berekend op basis van openbare data. Hierdoor wordt de invoer gereduceerd tot circa 20-30 kenmerken. Voor gebruikersgedrag worden juist extra parameters toegevoegd om beter het tapwaterverbruik, de binnentemperatuur en interne warmtelast te bepalen. Zie verder de paragraaf invoer en uitgangspunten.

(Globale) beschrijving invoer en uitgangspunten

Ten opzichte van het model MWA NTA8800 zijn de volgende aanpassingen gedaan:

- De invoer van MWA NTA8800 met circa 500 kenmerken is “ingeklapt” tot circa 25-30 kenmerken. Onder de motorkap worden dus aannames gedaan voor ontbrekende invoer op basis van openbare data. Voor de geometrie wordt de 3dBAG data benut om tot betere bepalingen te komen. Bouwjaar en oppervlaktes komen uit de BAG registratie.
- Voor bewonersgedrag zijn extra parameters toegevoegd afkomstig van een model van Smart Twin B.V.
- Verliezen via de vloer worden anders berekend. In de Maatwerkadviesmethode, dus ook in de Verbetercheck (Verbeterjehuis) wordt met de setpointtemperatuur (20°C) als binnentemperatuur gerekend in plaats van met de berekende gemiddelde woningtemperatuur, welke in het stookseizoen vrijwel altijd lager ligt. Daarnaast wordt in de MWA gerekend met maandgemiddelde buitentemperaturen in plaats van de jaargemiddelde temperatuur, zoals de NTA 8800 voorschrijft. Het gevolg van rekenen met de hogere binnentemperatuur en lagere (maandgemiddelde) buitentemperatuur is dat het effect van het (aanbrengen van) vloerisolatie groter is. Het voornemen is dat de projectgroep MWA NTA8800 deze aanpassingen overneemt.

- Verbeterjehuis hanteert een andere bepalingsmethode voor kierdichting (Fj waarde), waarbij wordt verondersteld dat de kierdichting verbetert wanneer er gevel- én dak (na)isolatie wordt aangebracht en/ of wanneer er bewust wordt gekozen voor verbeterde kierdichting.

Uitvoer

Verbeterjehuis.nl geeft informatie over energiebesparing, energiekostenbesparing, investeringskosten, een indicatie van verbetering van de woningwaarde, informatie over mogelijke subsidies en een verwijzing naar de transitievisies warmte van gemeentes.

- Energiebesparing wordt voor aardgas, elektra, biomassa en warmtelevering weergegeven.
- Energiekostenbesparingen zijn bepaald met energieprijzen van CBS/PBL en onderzoek van Milieu Centraal.
- Investeringskosten zijn bepaald met kostenkentallen van RVO / Arcadis

Bijlage B2.4 Hestia

Deze paragraaf is gebaseerd op en gedeeltelijk overgenomen uit het functioneel ontwerp Hestia 1.0 (Van der Molen et al. 2023b). Voor een meer verdiepende beschrijving van modelfunctionaliteiten, kentallen en aannames kan het Functioneel Ontwerp geraadpleegd worden.

Oorspronkelijk doel van het model

Het doel van Hestia is het ondersteunen van de energietransitie in de gebouwde omgeving bij het maken van analyses, simulaties en scenario's. Het model maakt ramingen van welke investeringen in de woningvoorraad worden gedaan op het gebied van energieprestatieverbetering. Het model geeft een afspiegeling van de woningvoorraad in termen van o.a. geometrie, eigendomsstypen, bouwperiode. Ook geeft het model de energetische kwaliteit en de warmtevraag van woningen weer en de manier waarop deze kunnen veranderen onder verschillende invloeden, zoals beleid. De doelgroep van het model is de nationale overheid, gemeenten, provincies, woningcorporaties, adviesbureaus, financiële- en onderzoeksinstituten. Eén van de voornaamste functies van Hestia is het maken van doorrekeningen van energiebeleid gericht op huishoudens voor de Klimaat- en Energieverkenning (KEV).

De uitkomsten die het model genereert zijn geldig voor de gehele woningvoorraad, maar het model levert ook resultaten voor bijvoorbeeld gemeenten en buurten. De resultaten zijn betrouwbaarder naarmate het aggregatieniveau hoger is. Het model is niet geschikt voor rapportage op het niveau van individuele woningen.

Huidige toepassing van het model

Voor de Klimaat- en Energieverkenning 2023 (KEV 2023) heeft Hestia op de achtergrond meegedraaid, waarbij is gekeken in welke mate Hestia andere resultaten geeft dan SAWEC (het model dat eerder werd ingezet voor de KEV in voorgaande jaren). De verwachting is dat Hestia voor de KEV 2024 de hoofdberekeningen gaat doen. Het model is al wel toegepast voor enkele andere studies. Bijvoorbeeld voor het ruimtelijk in kaart brengen en analyseren van de Transitie Visies Warmte (Van der Molen et al. 2023a), het uitvoeren van een pilot case study voor de warmtetransitieplannen van de gemeente Utrecht en om het energiebesparingseffect van subsidies voor verduurzaming van koopwoningen te schatten (Rovers & Tigchelaar 2023).

Toegankelijkheid

Het model en de invoergegevens zijn publiek toegankelijk: open source, open data en open access. Hestia is door anderen te gebruiken en in te zien op de Github pagina van Hestia⁴³. De masterversie van Hestia wordt beheerd door PBL en TNO. Via de grafische interface van de GeoDMS software kan de modelgebruiker invoerdata inzien, wijzigen, en kiezen voor specifieke toekomstscenario's.

Beschrijving methode

Hestia berekent voor iedere individuele woning, voor ieder individueel zichtjaar, de warmtevraag. Het model berekent geen energiebesparing als dusdanig, echter de energiebesparing kan worden afgeleid door het bepalen van de mutatie van dit verbruik tussen verschillende zichtjaren. Hiermee kan de energiebesparing dus gedefinieerd worden als de delta tussen de warmtevraag van een groep gegeven woningen van verschillende zichtjaren. Verder in deze paragraaf zal daarom exclusief worden toegelicht hoe de warmtevraag bepaald wordt.

Functionele vraag en metervraag

Hestia berekent de warmtevraag globaal gezien in twee stappen: de functionele vraag en de metervraag. De functionele vraag is de warmtevraag van een woning voor verschillende doeleinden: ruimteverwarming, koken, elektrische apparatuur, warm tapwater en koude. De metervraag is de hoeveelheid energie die nodig is om aan de functionele vraag te voldoen. Hierbij spelen factoren zoals de efficiëntie van installaties en mogelijke lokale opwekking een rol. Voor verschillende individuele elementen van de functionele vraag kan in theorie een aparte installatie worden ingezet – zo hoeft dus bijvoorbeeld de vraag voor ruimteverwarming en de tapwatervraag niet per se te worden ingevuld door dezelfde installatie.

Functionele vraag

De functionele vraag voor ruimteverwarming wordt in Hestia bepaald door het uitvoeren van de volgende warmtebalansberekening:

$$Vf_{RV} = (Vf_{RV_{bouwdelen}} + Vf_{RV_{VT}}) * Correctie_{Vf_{RV}} - Warmtewinst$$

Waarbij

- Vf_{RV} : functionele vraag ruimteverwarming
- $Vf_{RV_{bouwdelen}}$: warmteverlies bouwdelen
- $Vf_{RV_{VT}}$: warmteverlies ventilatie
- $Correctie_{Vf_{RV}}$: correctie ruimteverwarmingsvraag

Inputdata

De digitale representatie van de woningvoorraad die het model geeft, is gebaseerd op de 3D-BAG (TU Delft, 2023); een datamodel dat de BAG en de AHN3 combineert en inzicht geeft in de locatie en dimensies van bouwdelen van individuele woningen.

⁴³ Link naar de Github pagina van Hestia: [pbl-nl/model-hestia-public: Hestia model openbare repository \(github.com\)](https://pbl-nl/model-hestia-public: Hestia model openbare repository (github.com))

Op basis van statistische data is een inschatting gemaakt van bouwdelen waar de 3D-BAG geen inzicht in geeft, van het huidige isolatieniveau van bouwdelen, van de aanwezige installaties van de woning en van de verschillende energievragen (stookgedrag) van bewoners. Het model maakt gebruik van toekomstscenario's van exogene ontwikkelingen, bijvoorbeeld voor nieuwbouw en klimaatverandering, om veranderingen in de warmtevraag van de woningvoorraad in de tijd te simuleren. In de studie met testwoningen wordt geen gebruik gemaakt van deze inputdata en wordt de berekening gedaan aan de hand van de eigenschappen van de testwoningen.

Warmteverlies bouwdelen

Het warmteverlies van een woning wordt in Hestia bepaald door het berekenen van de som van alle verliezen door individuele bouwdelen van de woning. Het verlies van een individueel bouwdeel is afhankelijk van diens oppervlakte en isolatiekwaliteit. Hestia hanteert isolatieklassen; vijf niveaus welke corresponderen met bepaalde Rc, U- of Qv10-waarden. Zie tabel 6.1 uit het Functioneel Ontwerp (PBL & TNO, 2023). Hestia hanteert voor isolatieniveau 0 – de laagst mogelijke isolatiewaarde – een warmtevraag die wordt gefit op het Referentieverbruik-model (Van Beijnum et al. 2023). Bij het bepalen van het totale warmteverlies voor alle individuele bouwdelen spelen nog enkele factoren een rol in het bijstellen van deze waarden, zoals een klimaateffect en gedrag.

Tabel B2.1

Isolatiewaarden gekozen bij isolatieniveau per bouwdeel

Bouwdeel	Niveau 0 (No) ¹	Niveau 1 (N1) ¹	Niveau 2 (N2)	Niveau 3 (N3)	Niveau 4 (N4)
Ramen	U = 5.80 (enkel)	U = 2.70 (dubbel)	U = 1.60 (HR)	U = 1.20 (HR++)	U = 0.80 (triple)
Dak	Rc = 0.22	Rc = 0.86	Rc = 1.33	Rc = 3.50	Rc = 8.00
Deuren	U = 3.45	-	-	-	U = 0.69
Paneel	Rc = 0.24	Rc = 1.30	Rc = 2.00	Rc = 3.50	Rc = 5.00
Vloer	Rc = 0.15	Rc = 0.52	Rc = 1.26	Rc = 3.50	Rc = 5.00
Gevel	Rc = 0.19	-	-	Rc = 3.50	Rc = 6.00
Spouwmuur	Rc = 0.36	Rc = 1.30	Rc = 1.80	Rc = 3.50	Rc = 6.00
Kieren	Qv10 = 3.00	Qv10 = 1.80	Qv10 = 1.20	Qv10 = 0.70	Qv10 = 0.40

De waarden bij No en N1 dienen als referentie om de besparing op ruimteverwarming te bepalen bij een verbetering naar een hoger niveau. Er zijn geen maatregelen die een woning naar No of N1 brengen in het model opgenomen. Bron: (Van der Molen et al. 2023b).

Warmteverlies ventilatie

Het gebruik van ventilatiesystemen kan ervoor zorgen dat warme lucht een woning verlaat, wat wordt meegerekend in de warmteverliesberekening in Hestia. Bij het bepalen van het warmteverlies onder invloed van ventilatie zijn factoren zoals de hoeveelheid aansluitingen (doorgaans 1) en het kengetal voor warmteverlies behorende bij een type installatie van belang. Ook het warmteverlies voor ventilatie wordt bijgesteld onder invloed van klimaateffect en gedrag.

Correctie ruimteverwarmingsvraag

In Hestia wordt er een correctiefactor in de warmteverliesberekening meegenomen, welke corrigeert voor het fenomeen dat wanneer gebouwen beter geïsoleerd zijn, de binnentemperatuur hoger uitvalt⁴⁴.

Warmtewinst

Naast warmteverliezen wordt er ook warmtewinst meegenomen in de warmtebalansberekening van Hestia. Hierbij wordt er met name gekeken naar warmtewinst door personen, apparaten en zoninstraling. Warmtewinst door personen en apparaten wordt van verondersteld dat deze gelijk zijn bij verschillende woningen, terwijl de warmtewinst voor zoninstraling wordt bepaald met behulp van de totale hoeveelheid glas en de mate waarin het type glas van een gegeven woning zoninstraling toelaat.

Fitten op gemeten verbruik

Voor elke woning, met een gasaansluiting, in Nederland is een gemeten verbruik bekend bij het CBS. Dit verbruik is vergeleken met de gevonden parameters op verblijfsobject-niveau zoals hierboven beschreven. Voor deze vergelijking moet uit de gemeten warmtevraag de functionele vraag naar ruimteverwarming worden bepaald. Hiervoor is op basis van de gemeten warmtevraag in het VIVET-project (Van Beijnum et al. 2023) een set regressielijnen bepaald die zijn onderverdeeld naar bouwperiode, eigendom en woningtype (bijvoorbeeld: vrijstaande woning, meergezinswoning, et cetera.) en zijn apart gegeven voor elk energielabel. Deze wordt in de berekening van de functionele warmtevraag gebruikt om het warmteverlies per bouwdeel door middel van de *fitfactor* te schalen naar de gemeten nationale gemiddelden.

Door het berekende en gemeten verbruik van woningen te vergelijken is als onderdeel van de data uit dit VIVET-project voor elke wijk in Nederland een lokale correctiefactor bepaald. Daaruit kan worden opgemaakt in welke wijken en in welke segmenten van de populatie binnen de wijk de berekende vraag op basis van de parameters uit dit VIVET-project afwijkt van meetgegevens⁴⁵. Dit verschil wordt als correctiefactor per wijk en per deelpopulatie (gegroepeerd naar eigendom, woningtype, bouwjaar en energielabel) meegenomen in Hestia, en wordt gedurende de modelrun constant gehouden.

Metervraag

Bij het bepalen van de metervraag in Hestia wordt de (gefitte) functionele energievraag ingevuld door de aanwezige relevante installaties in de woning. Deze metervraag wordt bepaald door de functionele vraag te delen door de efficiëntie van de installatie die de vraag invult. Iedere installatie in Hestia heeft een eigen efficiëntiewaarde, ook wel SPF (Seasonal Performance Factor). Verder kan lokale opwek een rol spelen in het invullen van de metervraag van een woning in Hestia.

⁴⁴ In de vorm van een 'rebound-factor'

⁴⁵ Op het niveau van de wijk was voor bijna alle woningen in de onderzoekspopulatie een correctiefactor beschikbaar (een enkele wijk bevatte te weinig woningen om te voldoen aan het minimale niveau van de AVG-wetgeving). Het gemiddelde van de geschatte verbruiken op wijkniveau week het meest af in de wijk 'Zeeburgereiland/ Nieuwe Diep' (Amsterdam) waar het gemiddelde van de gemeten verbruiken 30 procent hoger lag dan de schattingen. In de wijk Marienvelde (Oost Gelre) lag het gemiddelde van de gemeten verbruik 22 procent lager dan het gemiddelde van de schattingen op wijkniveau. De gewogen gemiddelde afwijking van alle wijken was minder dan 1 procent.

Zo kan een woning lokaal opgewekte elektriciteit van zonnepalen inzetten voor de invulling van de warmtevraag als deze woning is uitgerust met een (hybride) warmtepomp.

Relatie met NTA8800

Hestia heeft een labelberekeningsmethodiek welke is geïnspireerd op de methode van NTA8800. Deze is echter versimpeld; er wordt in Hestia alleen in hoofdlijnen gepoogd de elementen van NTA8800 te incorporeren en kentallen en aannames over te nemen. Sommige elementen, zoals het bepalen van mate van kierdichting van een woning, volgen in iets meer detail NTA8800.

De energielabelmethodiek in Hestia is echter niet NTA8800. NTA8800 is een complexe methodiek, welke alleen door geaccrediteerde instanties naar software vertaald kan en mag worden. Hoewel TNO aan het fundament van de ontwikkeling van NTA8800 heeft gestaan, heeft TNO geen software beschikbaar waarbij voor (voldoende) grote populaties met weinig rekentijd energielabels kunnen worden berekend. De uitkomsten van de labelberekening in Hestia en volgens NTA8800 kunnen dus van elkaar verschillen. Voor de analyse met de testwoningen is Hestia niet gebruikt om de energielabels te schatten, de energielabels zijn bepaald conform 'officiële' NTA8800 én NEN7120/NV methoden.

Schaalniveau

Hestia rekent tot op individueel woningniveau zodat het spreiding van resultaten kan presenteren, data kan verwerken dat op ieder schaalniveau en op elke geografische populatiedoorsnede resultaten kan exporteren. Echter, de resultaten zijn niet bedoeld om te interpreteren op individueel woningniveau wanneer er gebruik wordt gemaakt van de 3D-BAG en met statistische analyses en pseudo-willekeurige toewijzingen verrijkte inschattingen voor bouwdeeldimensies en energetische kwaliteit. Echter, wanneer er gebruik gemaakt wordt van een andere populatie, zoals bijvoorbeeld een testwoningen dataset met volledige inzage in diens technische eigenschappen en dimensies, kan er wél zinnig tot op individueel woningniveau gekeken worden naar de resultaten.

(Globale) beschrijving invoer en uitgangspunten

Hestia maakt gebruik van diverse invoerdata. Een selectie van de invoerdata wordt hier kort beschreven; voor een uitgebreidere beschrijving en de precieze verwerking kan het Functioneel Ontwerp worden geraadpleegd (Van der Molen et al. 2023b).

Voor de huidige voorraad en het historisch verloop daarvan wordt gebruik gemaakt van de BAG. Op basis van de locatie van het verblijfsobject wordt de woning ingedeeld in een CBS-buurt (2021) en via die route ook bij een gemeente, provincie en andere geografische indelingen. Nieuwbouw vanaf 2021 is gebaseerd op de scenario's uit het Ruimtescanner model van PBL. Voor sloop van woningen zijn de BAG (historisch) en scenario's van het Ruimtescanner model van PBL (vanaf 2021) gebruikt.

De oppervlakken van individuele bouwdelen behorende tot de buitenste schil-gevel, dak en vloer worden bepaald met als voornaamste bron de 3D BAG. Voor de bouwdelen paneel, raam- en deur is de WoON Energiemodule als voornaamste databron ingezet: de gevonden verdeling van bouwdeelloppervlakken zijn geëxtrapoleerd voor verschillende woningtype-bouwjaar combinaties.

Isolatiegraad- of ook wel bouwdeelkwaliteit- is bepaald door het extrapoleren van de frequentieverdeling van de isolatieniveaus van woningen uit verschillende combinaties van woningtype- en energielabelklassen van de WoON 2018 Energiemodule.

Beschrijving uitvoer

Voor elk jaar in de tijdsperiode van het model (2000 tot 2050) kan een momentopname worden gemaakt van de staat van de representatie van de gebouwde omgeving. De gegevens worden vanaf woningniveau geaggregeerd naar het gewenste niveau (bijvoorbeeld nationaal of per gemeente) en kunnen op verschillende manieren worden geëxporteerd uit het model. Hestia heeft zicht op tal van parameters welke individueel geëxporteerd kunnen worden, dus vrijwel alle denkbare resultaten op het gebied van geografie, energie, kosten en eigenschappen van de woningen kunnen als resultaat worden uitgevoerd. Er zijn bijvoorbeeld flowtabellen die een totaaloverzicht geven van de volledige staat van de woningvoorraad, of er kan een koppeling worden gemaakt naar andere modellen via ESDL (Energy System Description Language). Er kunnen ook meer specifieke exports worden gegenereerd, waaronder de uitvoer van informatie die nodig is om de raming van de emissies van de gebouwde omgeving in de KEV (Klimaat en Energie Verkenning) op te stellen. Via de grafische interface van de GeoDMS software heeft de gebruiker de mogelijkheid om alle tussenresultaten van een modelrun op te vragen en desgewenst te exporteren. Tabel 5.2 geeft een overzicht van de mogelijke uitvoer van het Hestia model.

Tabel B2.2
Mogelijke uitvoer Hestia model

Parameter / dimensie	Resultaten Hestia	Opmerkingen
Temporeel	Jaarlijks	Hestia kan geen dwarsdoorsnedes per maand of uur maken
Geografisch	Nationaal (maximaal) – bouwdeel individuele woningen (minimaal)	Hestia kan tot op individueel woning niveau resultaten produceren; echter, wanneer de standaard inputdata van Hestia wordt gehanteerd, worden resultaten pas vanaf hogere aggregatieniveaus (buurt / wijk) als voldoende in kwaliteit beschouwd.
Warmtevraag	Ja	Hier hoort bij: warmteverlies door bouwdelen, ventilatie, individuele warmtewinsten, lokale opwek en efficiëntie van installaties
Koudebehoefte	Ja	Validatie van de koude module in Hestia moet nog worden uitgevoerd
Ventilatie	Ja	Ventilatie speelt zowel een onderdeel in de warmtevraag als in de elektriciteitsvraag in Hestia
Overig elektriciteitsverbruik (apparaten e.d.)	Ja	
Functionele vraag	Ja	Functionele vraag wordt apart bepaald voor ruimtewarming, koken, warm tapwater, apparatuur en koude
Metervraag	Ja	
Thermisch comfort	Nee	
Piekbelasting	Nee	

Parameter / dimensie	Resultaten Hestia	Opmerkingen
Binnen luchtkwaliteit	Nee	
Effect per individuele maatregel	Ja	
Energie label	Ja	Validatie / vergelijking met NTA8800 moet nog worden uitgevoerd

Mogelijke uitvoer van het Hestia model

Bijlage B2.5 Referentieverbruik warmte woningen

Deze paragraaf is gebaseerd op en gedeeltelijk overgenomen uit Van Beijnum et al. (2023). Voor een meer verdiepende beschrijving van modelfunctionaliteiten, kentallen en aannames kan het achtergrondrapport geraadpleegd worden.

Oorspronkelijk doel van het model

Oorspronkelijk doel

Het Referentieverbruik schat de warmtevraag van een woning op basis van de gemiddelde waarde die bepaald wordt over een groot aantal woningen met vergelijkbare fysieke eigenschappen. De warmtevraag wordt onderscheiden naar de warmtevraag voor koken, het verkrijgen van warm tapwater en ruimteverwarming. Modelschattingen zijn gepubliceerd op individueel woningniveau in een ‘gemeentebestand’ (Excelbestand) per gemeente.

Het Referentieverbruik kan worden gebruikt om inzicht te krijgen in de warmtevraag van groepen van woningen die in die behoefte worden voorzien door energiedragers, met aardgas als de grootste bron. Het gemeentebestand biedt inzicht in de omvang van de warmtevraag en kan als start dienen voor het verkennen van de mogelijkheden om met minder of alternatief energieverbruik verduurzamingsmaatregelen te treffen, zoals energiebesparing, de aanleg van warmtenetten of het gebruiken van ‘duurzaam’ gas.

Doelgroep model

Het Referentieverbruik is bedoeld voor gemeenten en andere betrokkenen bij de warmtetransitie in de gebouwde omgeving – zoals adviesbureaus, woningcorporaties, energie(net)- en bouwbedrijven en financiële en onderzoeksinstellingen – die de warmtevraag van woningen willen weten met het oog op de verduurzaming van de gebouwde omgeving. Het is niet bedoeld voor particuliere eigenaren en bewoners.

Waar zijn de resultaten voor geschikt (met toelichting aggregatieniveaus)?

Het ‘Referentieverbruik’ wordt bepaald met een statistisch schattingsmodel op basis van gemiddelde praktijkwaarden van groepen woningen met vergelijkbare kenmerken. Resultaten kunnen significant afwijken voor individuele woningen. Het model beoogt een gemiddelde schatting te geven voor de warmtevraag en de potentie van energiebesparing, waarin onzekerheden die zich kunnen voordoen in de praktijk – zoals (structureel afwijkend) bewonersgedrag (in de vorm van prebound of rebound effecten) of een slechte uitvoeringskwaliteit van isolatiemaatregelen – weerspiegeld worden. Resultaten zijn bruikbaar op een hoger aggregatieniveau (e.g. gemeente) of op het niveau van de complete bouwvoorraad en zijn niet geschikt voor individuele woningen.

Huidige toepassing van het model

Het model in de vorm van Excel 'gemeentebestanden', met achtergronddocumentatie, achtergronddata en bijbehorende resultaten op individueel woningniveau, is gepubliceerd in april 2023. Hoewel er weinig zicht is op de disseminatie van het model, wordt het gebruikt in diverse toepassingen door adviesbureaus en gemeenten. Het Referentieverbruik-model wordt gebruikt in het Hestia model, om de (bouwfysisch) berekende warmtevraag van woningen in de uitgangssituatie (voorafgaand aan maatregelen) op te fitten.

Toegankelijkheid

Het model- met bijbehorende kengetallen (van installaties) en rekenprincipes- is toegankelijk gemaakt in de vorm van een Excel 'gemeentebestand'. Resultaten van het model voor 2023, met alle bijbehorende achtergronddata die betrekking hebben op de situatie van individuele woningen in dat jaar worden beschikbaar gesteld in de gemeentebestanden. De gebruikte methoden worden verantwoord in een achtergrondrapport (Van Beijnum et al. 2023). Gebruikers worden begeleid in het gebruik van het model en de interpretatie van de resultaten met een 'gebruikershandleiding'.

Beschrijving methode

Het Referentieverbruik-model is een statistisch model. 'Statistisch' omdat gemiddelde (daadwerkelijk gemeten) verbruiken van individuele woningen met vergelijkbare eigenschappen dienen als uitgangspunt. Woningkenmerken die worden onderscheiden zijn het woningtype, bouwperiode, eigendomstype en energielabel. In de onderzoekspopulatie die gebruikt is voor het bepalen van de gemiddelde verbruiken waar het Referentieverbruik-model op is gebaseerd worden alleen woningen meegenomen waarvan zeker is dat ze gebruik maken van gas voor ruimteverwarming en warm tapwater. Het effect van installaties op de warmtevraag is zoveel mogelijk buiten beschouwing gelaten door woningen met zonnepanelen en zonneboilers niet mee te nemen. Het energielabel kan daarom met enige zekerheid worden geïnterpreteerd als een indicatie van de isolatiekwaliteit van een woning en wordt daarom een 'schillabel' genoemd. De methode is niet uitsluitend gemiddeld statistisch omdat de schatting voor de warmtevraag van individuele woningen voor ruimteverwarming afhankelijk is gemaakt van de grootte (oppervlakte) van de woning in de vorm van een lineaire regressie. Alle benodigde variabelen zijn gebaseerd op publiek toegankelijke informatie of zijn een product van schattingen.

Huishoudgrootte

De huishoudgrootte wordt op een vergelijkbare wijze bepaald als de warmtevraag voor ruimteverwarming: met een schatting op basis van de oppervlakte middels een lineaire regressie. Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen woningtype, bouwperiode, eigendomstype en schillabel. De huishoudgrootte heeft alleen invloed op het geschat verbruik voor warm tapwater en koken.

Warm tapwater en koken

De warmtevraag voor warm tapwater en koken is gebaseerd op een statistische schattingsmethode van TNO, waarbij een (functioneel) verbruik wordt bepaald op basis van de huishoudgrootte, de bouwperiode en de oppervlakte.

Lokale praktijkfactor

Het gemiddelde verbruik van groepen individuele woningen is op verschillende lokale aggregatieniveaus gefit op het gemiddelde daadwerkelijke gemeten verbruik met een 'lokale praktijkfactor': op deze lokale aggregatieniveaus komt het gemiddelde van de schatting dus (nagenoeg⁴⁶) overeen met het gemiddelde van de praktijkwaarden.

Energiebesparing

In de gemeentebestanden wordt een energiebesparingsschatting gegeven door eerst de warmtevraag van een woning met een bepaalde isolatiekwaliteit (lees: schillabel) te schatten op basis van het gemiddelde verbruik van een groep woningen met vergelijkbare eigenschappen (woningtype, bouwperiode, eigendomstype), rekening houdend met de oppervlakte. Vervolgens wordt de warmtevraag van de woning geschat op basis van het gemiddelde verbruik van een groep met dezelfde vergelijkbare eigenschappen maar met een verbeterde isolatiekwaliteit (beter schillabel). Het verschil wordt gegeven als schatting van de energiebesparing, behorende bij de verbetering van het schillabel. Bij de toepassing van de methode in de gemeentebestanden is het energielabel gebruikt als proxy voor het schillabel. In dit geval kan het energielabel niet met zekerheid worden gebruikt als een indicator van de isolatiekwaliteit van een woning: omdat de woning mogelijk andere installaties zoals een warmtepomp, zonneboiler en zonnepaneel of aansluiting op het warmtenet heeft, is de kans groot dat het veronderstelde schillabel afwijkt van het energielabel. Bij de analyse met de testwoningen wordt aangenomen dat de testwoningen beschikken over een HR-ketel en wordt zon-PV buiten beschouwing gelaten: bij de analyse van de testwoningen kan het energielabel daarom betrouwbaar worden geïnterpreteerd als schillabel.

(Globale) beschrijving invoer en uitgangspunten

De warmtevraag voor ruimteverwarming is bepaald op basis van statistische gegevens uit het jaar 2020. Voor de analyse zijn alleen woningen gebruikt waarvan zeker is dat ze gebruik maken van gas voor ruimteverwarming, warm tapwater en waarschijnlijk ook voor koken. Woningen met zonnepanelen, zonneboilers en/ of andere warmte-installaties (zoals een warmtepomp) zijn uitgesloten van de analyse. Voor warm tapwater en koken wordt gebruik gemaakt van kengetallen van TNO die zijn vastgesteld in 2023. De schattingen van de warmtevraag voor ruimteverwarming van woningen zijn gebaseerd op de woningkenmerken: de oppervlakte, woningtype, bouwperiode, eigendomstype, schillabel en geografische locatie.

Beschrijving uitvoer

Resultaten worden aangeboden in de vorm van een functioneel jaargebruik van individuele woningen per gebruiksfunctie [GJ] en als metervraag per functie en energiedrager [GJ]. Alle kengetallen en berekeningen worden samen met de resultaten aangeboden.

⁴⁶ De lokale praktijkfactor is alleen gebaseerd op de woningen die ook zijn gebruikt in de regressieanalyse: het lokaal gemiddelde van de schatting kan daardoor afwijken van de gemiddelde praktijkwaarde van alle woningen in het lokale gebied. Voor meer informatie, zie Van Beijnum et al. (2023).

Bijlage B2.6 Warmteprofielengenerator

Deze paragraaf is gebaseerd op en gedeeltelijk overgenomen uit Edwin Matthijssen, Marijke Menkveld, Frans Koene en Lars de Ridder (2022). Warmtevraagprofielen voor buurten. TNO 2022 P10336.

Oorspronkelijk doel van het model

Met de Warmteprofielengenerator (WPG) kunnen warmtevraagprofielen op buurtniveau worden berekend op basis van openbare data. Deze warmtevraagprofielen geven de warmtevraag voor ieder uur van het jaar. Met modellen die alleen de jaarlijkse warmtevraag berekenen kan geen inzicht worden verkregen in de pieken en dalen in de warmtevraag. Uurlijkse warmtevraagprofielen zijn daarom nodig om een goede inschatting van de impact op de energie-infrastructuur te kunnen maken en de warmte- en elektriciteitsvoorziening te kunnen optimaliseren. Een doel van de WPG is dan ook om andere modellen van meer realistische input te voorzien. De primaire doelgroep van het model zijn energieadviseurs/-modellers, onderzoekers en beheerders van warmte- en elektriciteitsnetten.

De WPG is bedoeld om voor groepen woningen (bijvoorbeeld een buurt of wijk) het patroon in energiegebruik te bepalen. Met het model kán wel een warmtevraagprofiel voor een individuele woning worden berekend om inzicht te verschaffen, maar is niet bedoeld om daarmee een betrouwbare schatting van het werkelijke verbruik van één specifieke woning te bepalen. Immers, veel parameters zijn gebaseerd op gemiddelde en gestandaardiseerde input. De geometrie, isolatiewaarden en aanwezigheid van ventilatiesysteem zijn bijvoorbeeld gebaseerd op de RVO-voorbeeldwoningen. Aannames rond infiltratie/ventilatie en warmtewinsten zijn gestandaardiseerd en er worden gemiddelde gebruikersprofielen toegepast om de temperatuurinstelling te bepalen. Om het werkelijke profiel van één woning te bepalen zouden deze parameters specifiek voor die woning en dat huishouden moeten worden bepaald.

Huidige toepassing van het model

Het model is nog in ontwikkeling en moet nog verder worden gevalideerd. Geïnteresseerden kunnen de tool wel al online gebruiken en input geven.

Toegankelijkheid

Het model is online beschikbaar voor gebruik, zie daarvoor de [website van de warmteprofielengenerator](#). De gebruiker kan op de kaart een buurt of individuele woning selecteren, een aantal invoerparameters opgeven en dan een warmteprofiel laten genereren door het model. De gebruiker moet minimaal opgeven met welk klimaatjaar het model moet rekenen (default: 2019) en wat het thermisch vermogen van de verwarmingsinstallatie is (default: 15 kW/100 m²). Voor buurtberekeningen moet de gebruiker nog aangeven of in de berekening niet-woningen buiten beschouwing gelaten moeten worden of als woningen meegerekend moeten worden.

Beschrijving methode

Het rekenmodel berekent voor elk uur het gemiddeld vermogen in kW, dat tijdens dat uur nodig is om de woning op de ingestelde temperatuur te krijgen en/of te houden. Hier volgt ook een warmtevraag in kWh voor ruimteverwarming uit.

Afhankelijk van de isolatiegraad van de woning en het ingegeven opgestelde vermogen van de verwarmingsinstallatie kan het enkele uren duren voordat de binnentemperatuur het niveau van het ingestelde setpoint bereikt. De setpoints worden door het model bepaald per gebouw, gebaseerd op de gegevens uit de WoON-dataset op buurtniveau die willekeurig worden verdeeld over de

gebouwen in die buurt.

De warmtevraag is gebaseerd op een warmteverliesberekening en is een balans van warmteverliezen (door transmissie en ventilatie) en van warmtewinsten (aanwezige personen en apparaten, zoninstraling en van de verwarmingsinstallatie zelf).⁴⁷ Het model bepaalt, op basis van historische weergegevens of voor een weerscenario voor elk uur de buitentemperatuur en berekent het verschil met de gemodelleerde binnentemperatuur. Dit verschil is één van de factoren die het warmteverlies per bouwdeel bepaalt. De andere factor is de warmteweerstand per bouwdeel. Dit berekent het model door per woning de U-waarde van het schildeel te vermenigvuldigen met het oppervlak van het schildeel. Door dit te vermenigvuldigen met het verschil in binnen- en buitentemperatuur wordt het totale warmteverlies voor dat schildeel bepaald. Ook ventilatie- en infiltratieverliezen zijn afhankelijk van het verschil tussen de binnen- en buitentemperatuur. Hoe groter dit verschil hoe groter de verliezen. In het model wordt uitgegaan van een constant debiet van de luchtstromen die afhankelijk zijn van de mate van kierdichting en de aanwezigheid van een ventilatiesysteem. Voor beide worden aannames gedaan op basis van het bouwjaar. Naast warmteverliezen zijn er ook warmtewinsten door aanwezigheid van personen en apparaten. Hiervoor is in het model een gemiddelde van 5 W/m² als constante waarde meegenomen. Ook zoninstraling zorgt voor aanvoer van warmte en hiervoor is een apart model gebruikt van de TU Delft faculteit bouwkunde en civiele techniek⁴⁸.

De warmteverliesberekening is gebaseerd op een 1-zone model, waarbij verondersteld wordt dat de hele woning met eenzelfde binnentemperatuur wordt verwarmd. Dit is in de praktijk niet het geval en om hiervoor te corrigeren wordt de setpointtemperatuur verlaagd met 3 graden in de warmteverliesberekening. Deze correctie is geconstateerd na vergelijking met de uitkomsten van een 4-zone model⁴⁹.

Daarbij wordt rekening gehouden met het feit dat in de woning warmte wordt opgeslagen in de muren, vloeren en plafonds. Uit eerdere onderzoeksprojecten is gebleken dat het zin heeft de warmtecapaciteit van de woning op te splitsen in een binnendeel en een buitendeel. Het binnendeel (de thermische massa van de binnenste ca. 2 cm van muren, vloer en plafond), wisselt vrij gemakkelijk warmte uit met de lucht in de woning. Het buitenste deel van de gebouwmassa wisselt warmte uit met het binnendeel en met de buitenlucht. Op dit moment is het model zo ingesteld dat het binnenste deel 22% van de totale warmtecapaciteit representeert.

(Globale) beschrijving invoer en uitgangspunten

Bij de berekening van de warmtevraag van een wijk zijn de woningkenmerken zoals woningtype, bouwjaar en geometrie afgeleid van openbare data (BAG 2021). Deze data bevatten geen gegevens over de isolatiegraad en de aanwezigheid van ventilatiesystemen en zijn daarom afgeleid van de

⁴⁷ De warmtevraag wordt berekend met een zogenaamd RC-netwerk, waarbij de R staat voor een warmteweerstand (in K/W) en de C voor de warmtecapaciteit van de thermische massa van de woning (in J/K).

⁴⁸ http://wiki.bk.tudelft.nl/bk-wiki/Zon_bouwfysica en https://klimapedia.nl/wpcontent/uploads/2013/06/W-9_zoninstraling_en_zonstralingsgegevens.pdf

⁴⁹ Frans Koene et al, 2021: Noord Holland aardgasvrij, TNO-2021-R10385.

RVO-voorbeeldwoningen en WoON (2018) data op basis van woningkenmerken. Ook de instellingen van de thermostaat zijn per combinatie van woningtype/bouwjaar bepaald aan de hand van de WoON2018 data. Voor de individuele woning berekeningen kan de gebruiker één van de RVO-voorbeeldwoningen selecteren met daarbij behorende kenmerken. De parameters voor oppervlakte en isolatiewaarde kunnen eventueel ook aangepast worden per bouwdeel van de woning. Daarnaast kan een setpointprofiel worden gekozen of kan voor elk uur handmatig een setpoint worden ingevoerd.

Beschrijving uitvoer

De gebruiker ontvangt op het ingevoerde e-mailadres een link naar de webpagina met de resultaten. De data kan ook worden geëxporteerd in een Excel-format. De resultaten op de webpagina bestaan uit grafieken van:

- Het profiel van de buitentemperatuur over het jaar
- Het warmtevraag profiel van de buurt of woning over het jaar
- De warmtebalans (verliezen en winsten) van alle woningen in de buurt of de individuele woning voor het gehele jaar
- Indien gekozen: het profiel van het gasverbruik (omgerekend van het warmtevraagprofiel op basis van de opgegeven efficiëntie en een (vast) warm tapwaterprofiel)
- Indien een buurt: informatie over de bouwvoorraad

Bijlage B2.7 NEN7120/NV

Het model NEN7120 NV is sinds 1-1-2021 uitgefaseerd, want sindsdien is NTA8800 van kracht. Dit model is nog wel relevant, omdat er data verzameld is op grond van deze bepalingmethode.

Oorspronkelijk doel van het model

Het instrument is primair bedoeld voor handhaving en het voldoen aan Europese wetgeving (EPBD) in het kader van energieprestatie eisen voor nieuwbouw en bestaande bouw (o.a. energielabel).

Huidige toepassing van het model

NEN7120 NV wordt momenteel niet meer toegepast anders dan voor deze vergelijkingsstudie. Het model werd toegepast voor het toetsen aan nieuwbouw eisen en voor het bepalen van het energielabel, zoals dat nu ook gebeurt voor NTA8800. Daarbij werd ook het Vereenvoudigd Energielabel (VEL) bepaald op basis van deze methode.

Toegankelijkheid

De rekenprocedures of formulestructuur van de NEN7120 NV zijn bij NEN verkrijgbaar tegen betaling. Meerdere marktpartijen hadden deze rekenprocedures geïmplementeerd in software, maar de software is inmiddels uitgefaseerd. Er is nog wel een Excel tool aanwezig bij RVO, waarmee NEN7120 NV berekeningen gemaakt kunnen worden. Deze tool kan alleen onder strikte voorwaarden gedeeld of gebruikt worden door externen.

Beschrijving methode

De NEN7120 is te typeren als een statisch bouwfysisch rekenmodel waarmee de energieprestatie berekend kan worden, op basis van standaard klimaat en gebruikersgedrag. In NEN7120/NV was de

indicator op basis waarvan het energielabel bepaald werd de energie-index (EI). De EI was als volgt gedefinieerd:

$$EI = \frac{Q_{\text{totaal}}}{c1 * A_g + c2 * A_{ls} + c3}$$

Hierin zijn c_1 , c_2 en c_3 constanten. Q_{totaal} is het totale primaire energiegebruik in MJ en A_g en A_{ls} zijn respectievelijk gebruiksoppervlak en verliesoppervlak (m^2). Door deze definitie wordt de energieprestatie onafhankelijk of grotendeels onafhankelijk van compactheid uitgedrukt. Een vrijstaande woning met gelijke energetische eigenschappen als een tussenwoning heeft dus grosso modo dezelfde energieprestatie.

(Globale) beschrijving invoer en uitgangspunten

NEN7120/NV bestaat uit een uitgebreid bouwfysisch model, maar heeft (veel) minder detailniveau dan NTA8800. De invoer is op hoofdniveau grotendeels hetzelfde als NTA8800 (zie bijlage B2.1), maar op detailniveau heeft NEN 7120 minder installatiekenmerken.

De uitgangspunten zijn conform standaardcondities volgens Bouwbesluit. De klimaatgegevens zijn volgens Test Reference Year De Bilt. Het is algemeen bekend dat condities die in het bouwbesluit als uitgangspunt gekozen zijn, in de praktijk gemiddeld (veel) afwijken. In de praktijk wordt bijvoorbeeld minder geventileerd dan in het bouwbesluit minimaal vereist is. Standaardcondities weerspiegelen dan ook niet de gemiddelde werkelijke situatie, maar een wenselijke of minimaal vereiste situatie.

Beschrijving uitvoer

De NEN 7120/NV geeft als uitkomst de energie-index, waarmee het energielabel bepaald kan worden. Voorbeeld: een energieindex van 1,2 t/m 1,4 heeft energielabel B. Het model genereert daarnaast tussenuitkomsten om per energiepost per maand werkelijke gas-, elektra-, warmte- en biomassaverbruiken te berekenen. Deze uitkomsten werden in de praktijk niet/weinig gebruikt, omdat dit model hiervoor niet bedoeld is.

Bijlage 3: Opzet kwalitatieve analyse in Excel

Tabel B3.1

Overzicht onderdelen kwalitatieve analyse modellen Excel

Beschrijving invoer	Specificatie
Rekenmethode	
Ingevuld door	
contactpersoon	
Status	
Doel	
Doelgroep	
Definitie besparing	
Huidige toepassing van het model	
Bekendheid bij beleidmakers en impact op besluitvorming	
Bekendheid bij en beslissingen door woningeigenaren	
Is uitkomst voor energiebesparing mogelijk te hoog of te laag?	
beknopte technische toelichting	
Beschrijving invoer en uitgangspunten	
Validatie (hoe is het model gevalideerd)	
Geldig voor	Gestandaardiseerd
	Gemiddeld
	Gemiddeld/ gebruiksprofielen
	Individueel/ maatwerk
Methode	statistisch
	Model- statisch
	Model - dynamisch
	Fysisch jaar
	Fysisch maand
	Fysisch uur
Bewerkingen	Klimaatcorrectie
	Correctie binnenklimaat
	anders
Toegankelijk	Methode openbaar
	Invoer openbaar
	Methode en invoer toegankelijk
Gedrag	Incl gebruikersgebonden energiegebruik
	Gefit op werkelijk energiegebruik?
	Rebound effect?
Aantal bewoners	Forfaitair/ standaard waarde
	Schatting
Installaties	Forfaitair/ standaard waarde

Beschrijving invoer	Specificatie
	Schatting
Toelichting op de uitkomsten: korte beschrijving + hoe nauwkeurig zijn de uitkomsten?	
Resultaten zijn:	Jaarlijks
	Maandelijks
	Uurlijks
	Warmtevraag
	Koudebehoefte
	Ventilatie
	Overig elektriciteitsverbruik (e.g. verlichting/ apparaten)
	Functionele (netto) energieverbruik
	Metervraag
	thermisch comfort
	Piekbelasting
	Binnenlucht-kwaliteit
	Incl. effect per maatregel
	label
Compleetheid tav technieken	
Achterliggende normen, gebaseerd op..	

Opmerkingen

Deze tabel geeft een overzicht van de invul-onderdelen in de Excel template voor de kwalitatieve analyse van de modellen. De onderdelen worden ingevuld door modelexperts van de organisaties die de modellen beheren of hebben ontwikkeld.

Bijlage 4: Vergelijking warm tapwater en koken

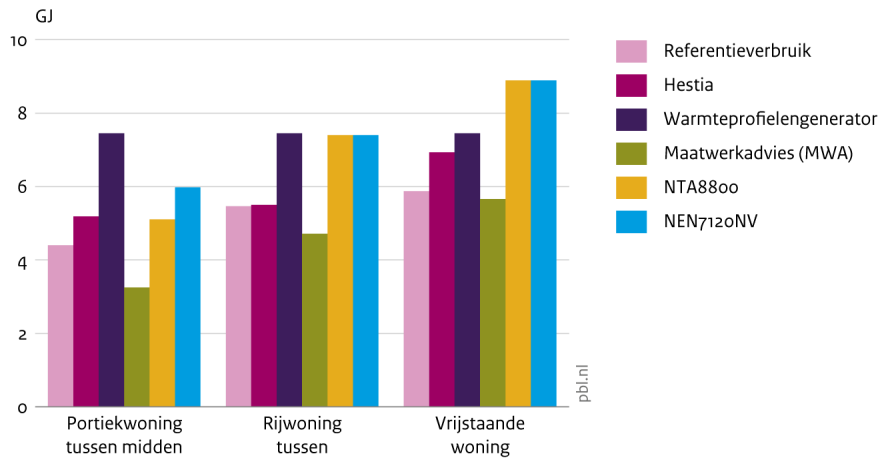
In deze bijlage worden de resultaten voor de netto warmtevraag voor warm tapwater en koken van de geselecteerde modellen (zie paragraaf 4.1) op hoofdlijnen vergeleken. Hiervoor wordt het gemiddelde functionele verbruik bepaald per woningtype— zonder verder onderscheid in bouwperiode en energielabel— voor dezelfde testwoningen waarvoor resultaten worden getoond in hoofdstuk 6. Het gemiddelde geschat verbruik voor warm tapwater wordt gegeven in figuur B4.1, het gemiddelde geschat verbruik voor koken wordt gegeven in figuur B4.2. De verschillen in uitkomsten tussen woningtypes zijn hier niet relevant, omdat verschillende bouwperiodes worden vergeleken: de figuren zijn bedoeld om de verschillen in uitkomsten tussen de modellen te illustreren.

De NEN7120/NV, NTA8800 en warmteprofielengenerator bieden geen mogelijkheid om een netto warmtevraag voor koken te bepalen. In het MWA wordt standaard 37m³ aardgas (1.17 GJ) aangenomen voor de warmtevraag voor koken, inclusief warmteverliezen in de kookinstallatie. Uitgaande van een efficiëntie van 45 procent voor koken op gas, komt de netto warmtevraag uit op 0.53 GJ. Uiteindelijk heeft koken maar een zeer gering aandeel in het totale energieverbruik van een woning. De netto warmtevraag voor warm tapwater is groter, maar nog steeds klein in vergelijking met de warmtevraag voor ruimteverwarming. Gemiddeld liggen de schattingen van de modellen voor de netto warmtevraag voor warm tapwater bij elkaar in de buurt, waarbij de schattingen van de warmteprofielengenerator iets hoger liggen dan de schattingen van het Referentieverbruik, het MWA en Hestia. Opvallend is dat de schatting voor de netto warmtevraag voor warm tapwater lager is volgens het MWA ten opzichte van de schattingen van NTA8800. De verschillen in uitkomsten voor de netto warmtevraag voor warm tapwater en koken zijn niet groot genoeg om de (grote) verschillen in uitkomsten tussen de modellen voor de functionele vraag ruimteverwarming te verklaren.

Eén bepalende factor voor het warm tapwatergebruik is de huishoudgrootte, informatie over deze parameter is bij realistische analyses vaak niet beschikbaar omdat dit AVG-beschermde informatie is: bij sommige modellen wordt daarom gebruik gemaakt van een standaardwaarde (NTA8800, NTA8800 MWA, WPG, verbeterjehuis), bij andere modellen wordt de huishoudgrootte geschat (Referentieverbruik, Hestia).

Figuur B4.1

Gemiddelde netto warmtevraag warm tapwater

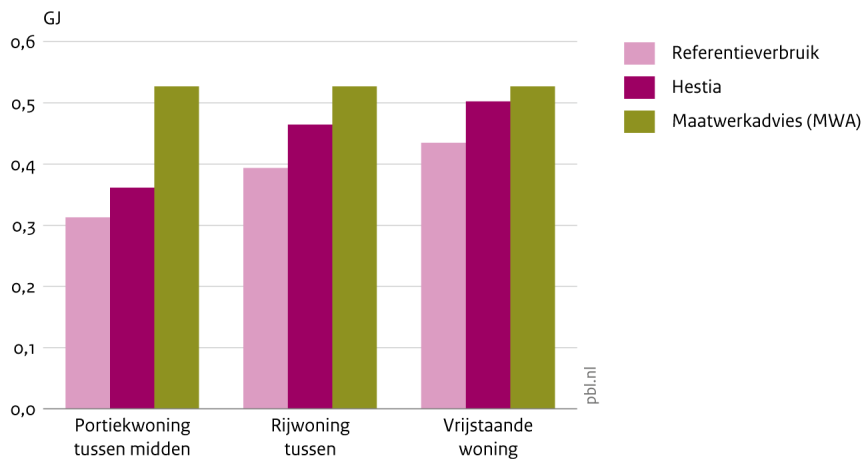


Bron: PBL, TNO, RVO (modelversie 2023)

In deze figuur wordt het gemiddelde gegeven per woningtype van het geschatte functionele verbruik voor warm tapwater voor de testwoningen in tabel 6.1.

Figuur B4.2

Gemiddelde netto warmtevraag koken



Bron: PBL, TNO, RVO (modelversie 2023)

In deze figuur wordt het gemiddelde gegeven per woningtype van het geschatte functionele verbruik voor koken voor de testwoningen in tabel 6.1. NTA8800, NEN7120 en de warmteprofielengenerator bieden geen optie om de netto warmtevraag voor koken te schatten.

Bijlage 5: Selectie isolatiepakketten

Figuur B5.1 geeft het isolatiepakket dat is gekozen per afgemeld NTA8800 label. Naast het NTA8800-label wordt ook het NEN7120/NV-label gegeven bij hetzelfde isolatiepakket. De volgende selectiemethode is toegepast voor de bepaling van de isolatiepakketten:

1 = voorkeurspakket. Het pakket dat in de dataset met testwoningen in de meeste gevallen leidt tot het desbetreffende label). In de meeste gevallen leidt het isolatiepakket dat hoort bij de isolatiestandaard tot een NTA8800-energielabel A: waar mogelijk wordt dit pakket gekozen als voorkeursoptie voor de hoogste isolatiegraad.

2 = handmatige selectie, logisch opvolgend. Wanneer het voorkeurspakket niet beschikbaar is en/of niet logisch opvolgend is.

3 = handmatige selectie, niet logisch opvolgend. Wanneer er geen isolatiepakket beschikbaar is dat logisch opvolgend is ten opzichte van het voorgaande isolatiepakket. Dit betekent dat de isolatiekwaliteit van individuele gebouwdelen slechter kan zijn dan de gebouwdelen in het pakket dat hoort bij het voorgaande label.

Tabel B5.1
Selectie isolatiepakket per NTA8800-energielabel

		NTA8800	NEN7120		Selectie- methode
portiek tussen midden	< 1946	A	B	isolatiestandaard excl installaties	1
portiek tussen midden	< 1946	B	B	['V1', 'G2', 'D1', 'L2', 'S2']	2
portiek tussen midden	< 1946	C	D	oorspronkelijk	1
portiek tussen midden	1946 - 1964	A	A	isolatiestandaard excl installaties	1
portiek tussen midden	1946 - 1964	B	B	['V1', 'G2', 'D1', 'L2', 'S2']	2
portiek tussen midden	1946 - 1964	C	D	oorspronkelijk	1
portiek tussen midden	1975 - 1991	A	A	['L2', 'S2', 'K1']	2
portiek tussen midden	1975 - 1991	B	B	oorspronkelijk	2
rijwoning tussen	< 1946	B	B	['V1', 'G2', 'D1', 'L2', 'S2']	2
rijwoning tussen	< 1946	C	D	['D1', 'L1', 'S1']	2
rijwoning tussen	< 1946	D	D	['D1', 'L1']	1
rijwoning tussen	< 1946	E	F	oorspronkelijk	1
rijwoning tussen	1965 - 1974	A	A	isolatiestandaard excl installaties	1
rijwoning tussen	1965 - 1974	B	B	['V1', 'G2', 'D1', 'L2', 'S2']	2

		NTA8800	NEN7120		Selectie- methode
rijwoning tussen	1965 - 1974	C	D	oorspronkelijk	1
rijwoning tussen	1975 - 1991	A	A	isolatiestandaard excl installaties	1
rijwoning tussen	1975 - 1991	B	B	['L2', 'S2', 'K1']	2
rijwoning tussen	1975 - 1991	C	C	oorspronkelijk	1
vrijstaand	< 1946	A	A	['V2', 'G3', 'D2', 'L2', 'S2', 'K2']	2
vrijstaand	< 1946	B	A	['V1', 'G2', 'D1', 'L2', 'S2', 'K1']	1
vrijstaand	< 1946	C	C	['G2', 'D1', 'L1', 'S1']	2
vrijstaand	< 1946	D	C	['G2', 'D1', 'L1']	2
vrijstaand	< 1946	E	D	['G2', 'L1']	3
vrijstaand	< 1946	F	F	['D1', 'L1']	2
vrijstaand	< 1946	G	G	oorspronkelijk	1
vrijstaand	1946 - 1964	A	A	isolatiestandaard excl installaties	1
vrijstaand	1946 - 1964	B	A	['V1', 'G2', 'D1', 'L2', 'S2', 'K1']	1
vrijstaand	1946 - 1964	C	C	['G1', 'D1', 'L1']	2
vrijstaand	1946 - 1964	D	D	['D1', 'L1']	1
vrijstaand	1946 - 1964	E	E	oorspronkelijk	1
vrijstaand	1975 - 1991	A	A	isolatiestandaard excl installaties	1
vrijstaand	1975 - 1991	C	C	oorspronkelijk	1

Bijlage 6: Omzetting Rc-waarden naar Hestia-isolatie niveaus

Om de testwoningen in Hestia door te kunnen rekenen, is het nodig geweest enkele vertaalslagen te maken. De belangrijkste hiervan is het goed interpreteren van de isolatiekwaliteit van de bouwdeelen. Deze zijn in de testwoningen dataset gegeven in Rc-/U-/Qv10-waarden, naargelang gebruikelijk voor het bouwdeel. In Hestia wordt echter niet direct met deze waarden gerekend, maar klassen gebaseerd op die waarden. In Tabel B6.1 staan de isolatiewaarden die gangbaar zijn bij de in Hestia gedefinieerde isolatieniveaus. Deze waarden geven aan welke Rc-/U-/Qv10-waarde aangenomen mag worden wanneer een bouwdeel een bepaald isolatieniveau heeft. Voor de omzetting van de isolatiewaarden naar de bouwdeelen zijn echter grenswaarden gebruikt, zie Tabel B6.2. Deze waarden geven aan wat de minimale isolatiekwaliteit van een bouwdeel moet zijn om in een bepaald isolatieniveau te vallen. Hierbij moet worden opgemerkt dat voor massieve gevels (in de tabellen aangeduid met 'Gevel'), er geen Niveau 1 en Niveau 2 zijn gedefinieerd. Dit omdat buitenisolatie van de gevel doorgaans zo ingrijpend is dat daarmee geen kleine isolatiestap genomen kan worden. Bij woningen met een vooroorlogs bouwjaar zijn de data voor de gevels vertaald naar massieve gevels, en voor naoorlogse woningen zijn de gevels vertaald naar spouwmuur.

De vertaalslag van de isolatiewaarden van de ramen van de testwoningen naar isolatieniveaus in Hestia is niet vanzelfsprekend: de isolatiewaarden van de ramen van de testwoningen hebben namelijk betrekking op het complete raam, zijnde glas inclusief de kozijnen. De isolatiewaarden van ramen waar Hestia van uitgaat per isolatieniveau hebben alleen betrekking op het glas (exclusief kozijnen). In de resultaten voor de modelvergelijking is hier niet voor gecorrigeerd, omdat in een aanvullende analyse is geconstateerd dat het effect van lagere u-waarden voor de testwoningen (alleen het glas) op de uiteindelijke netto warmtevraag die door Hestia wordt berekend verwaarloosbaar is.

Voor meer informatie over bouwdeelkwaliteit in Hestia, zie het Functioneel Ontwerp 1.0 (Van der Molen et al., 2023).

Tabel B6.1

Isolatiewaarden gekozen bij isolatieniveau per bouwdeel

Bouwdeel	Niveau 0 (No) ¹	Niveau 1 (N1) ¹	Niveau 2 (N2)	Niveau 3 (N3)	Niveau 4 (N4)
Ramen onder	U = 5.80 (enkel)	U = 2.70 (dubbel)	U = 1.60 (HR)	U = 1.20 (HR++)	U = 0.80 (triple)
Ramen boven	U = 5.80 (enkel)	U = 2.70 (dubbel)	U = 1.60 (HR)	U = 1.20 (HR++)	U = 0.80 (triple)
Dak (plat)	Rc = 0.22	Rc = 0.86	Rc = 1.33	Rc = 3.50	Rc = 8.00
Dak (schuin)	Rc = 0.22	Rc = 0.86	Rc = 1.33	Rc = 3.50	Rc = 8.00
Deuren	U = 3.45	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	U = 0.69
Paneel	Rc = 0.24	Rc = 1.30	Rc = 2.00	Rc = 3.50	Rc = 5.00
Vloer	Rc = 0.15	Rc = 0.52	Rc = 1.26	Rc = 3.50	Rc = 5.00
Gevel	Rc = 0.19	n.v.t.	n.v.t.	Rc = 3.50	Rc = 6.00
Spouwmuur	Rc = 0.36	Rc = 1.30	Rc = 1.80	Rc = 3.50	Rc = 6.00
Kieren	qv;10 = 3.00	qv;10 = 1.80	qv;10 = 1.20	qv;10 = 0.70	qv;10 = 0.40

Bron: Van der Molen et al. (2023). Let op: de isolatiewaarden van ramen waar Hestia van uitgaat per isolatieniveau hebben alleen betrekking op het glas (exclusief kozijnen). De isolatiewaarden van de ramen van de testwoningen hebben betrekking op het glas én de kozijnen.

Tabel B6.2

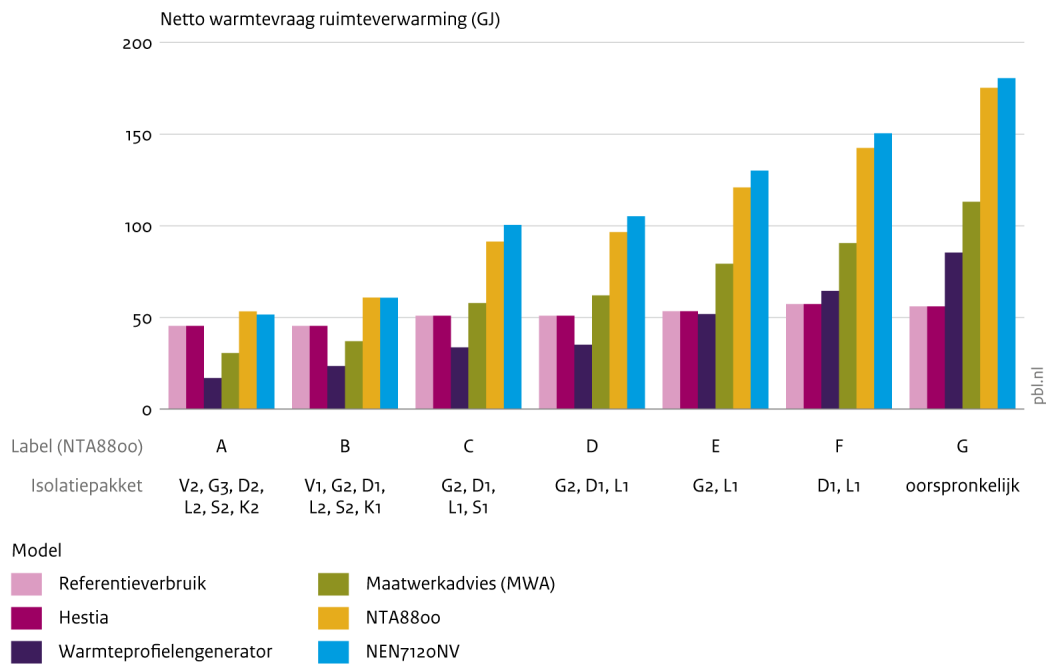
Isolatiegrenswaarden gekozen bij isolatieniveau per bouwdeel

Bouwdeel	No-N1	N1-N2	N2-N3	N3-N4
Ramen onder	U = 3.28	U = 1.87	U = 1.36	U = 0.92
Ramen boven	U = 3.28	U = 1.87	U = 1.36	U = 0.92
Dak (plat)	Rc = 0.84	Rc = 1.24	Rc = 3.37	Rc = 7.65
Dak (schuin)	Rc = 0.84	Rc = 1.24	Rc = 3.37	Rc = 7.65
Deuren	U = 3.10	U = 3.10	U = 3.10	U = 1.03
Paneel	Rc = 1.28	Rc = 1.87	Rc = 3.30	Rc = 4.65
Vloer	Rc = 0.51	Rc = 0.121	Rc = 3.37	Rc = 4.65
Gevel	n.v.t.	n.v.t.	Rc = 3.48	Rc = 5.65
Spouwmuur	Rc = 1.26	Rc = 1.67	Rc = 3.48	Rc = 5.65
Kieren	qv;10 = 2.10	qv;10 = 1.38	qv;10 = 0.82	qv;10 = 0.47

Bijlage 7: Resultaten kwantitatieve vergelijking modellen

Figuur B7.1

Netto warmtevraag bij vrijstaande woning (vóór 1946)

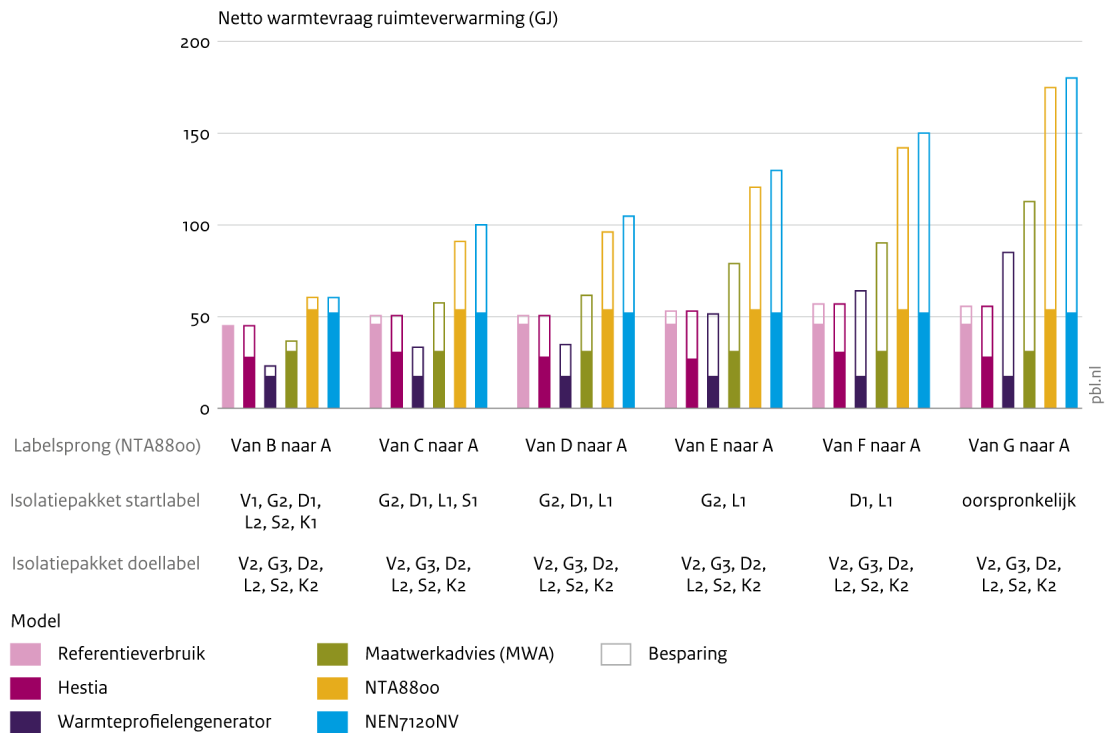


Bron: PBL, TNO, RVO (modelversie 2023)

Deze figuur geeft de netto warmtevraag per isolatiepakket dat correspondeert met een NTA8800-energielabel. De afkortingen bij de isolatiepakketten worden beschreven in paragraaf 4.4. Hoewel de resultaten worden gepresenteerd aan de hand van NTA8800-energielabels, is de achterliggende toewijzing naar label gebaseerd op de NEN7120/NV voor toepassingen met het Referentieverbruik-model en Hestia. De isolatiepakketten bij label F en E zijn hier niet logisch opvolgend.

Figuur B7.2

Besparing bij vrijstaande woning (vóór 1946) naar doellabel A

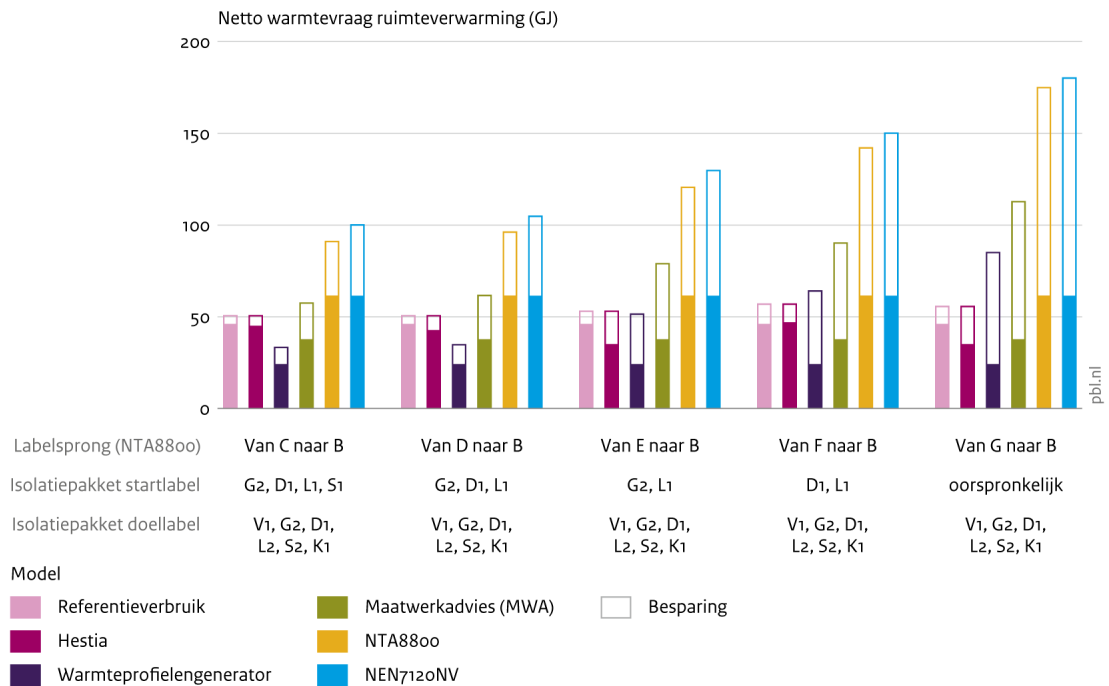


Bron: PBL, TNO, RVO (modelversie 2023)

Deze figuur geeft de absolute (op de y-as) besparing weer die is bepaald op basis van één isolatiepakket per energielabel. De figuur laat alle besparingsstappen zien naar doellabel A op basis van de geselecteerde isolatiepakketten. De labelstappen zijn gebaseerd op NTA8800-labels, de achterliggende berekeningen voor Hestia en het Referentieverbruik zijn gebaseerd op NEN7120/NV-labels. De isolatiepakketten bij label F en E zijn hier niet logisch opvolgend. In deze figuur wordt alleen de besparing weergegeven naar doellabel A. Besparingen naar doellabel B worden weergegeven in de volgende figuur.

Figuur B7.3

Besparing bij vrijstaande woning (vóór 1946) naar doellabel B

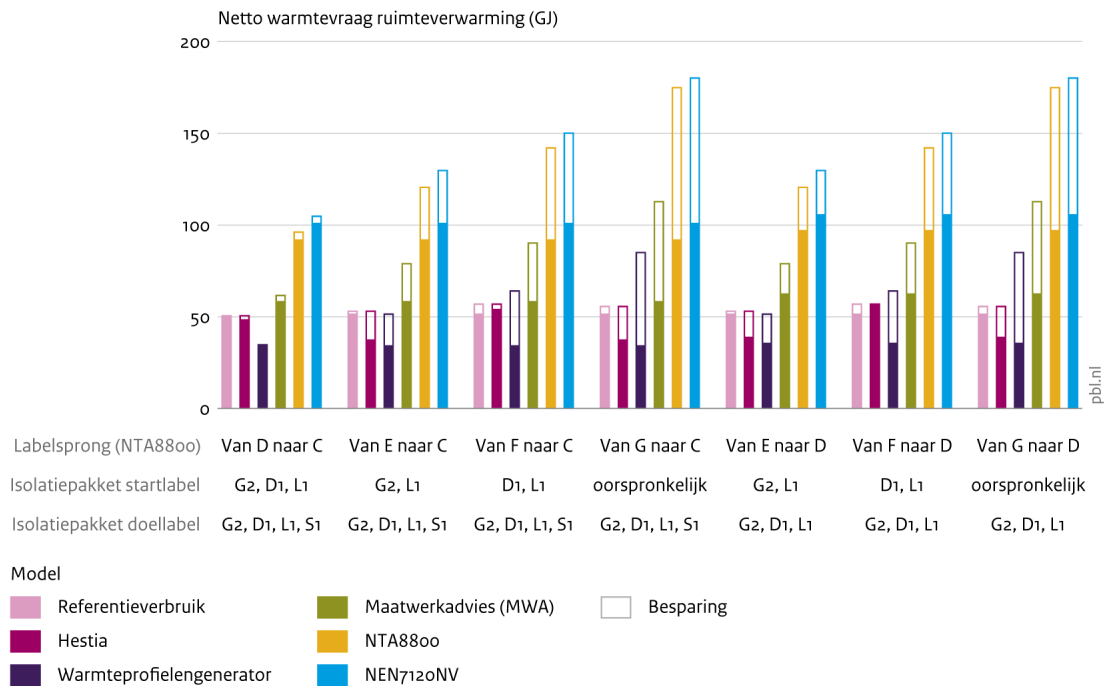


Bron: PBL, TNO, RVO (modelversie 2023)

Deze figuur geeft de absolute (op de y-as) besparing weer die is bepaald op basis van één isolatiepakket per energielabel. De figuur laat alle besparingsstappen zien naar doellabel B op basis van de geselecteerde isolatiepakketten. De labelstappen zijn gebaseerd op NTA8800-labels, de achterliggende berekeningen voor Hestia en het Referentieverbruik zijn gebaseerd op NEN7120/NV-labels. In deze figuur wordt alleen de besparing weergegeven naar doellabel A. Besparingen naar doellabel B worden weergegeven in de volgende figuur.

Figuur B7.4

Besparing bij vrijstaande woning (vóór 1946) naar doellabel C of D

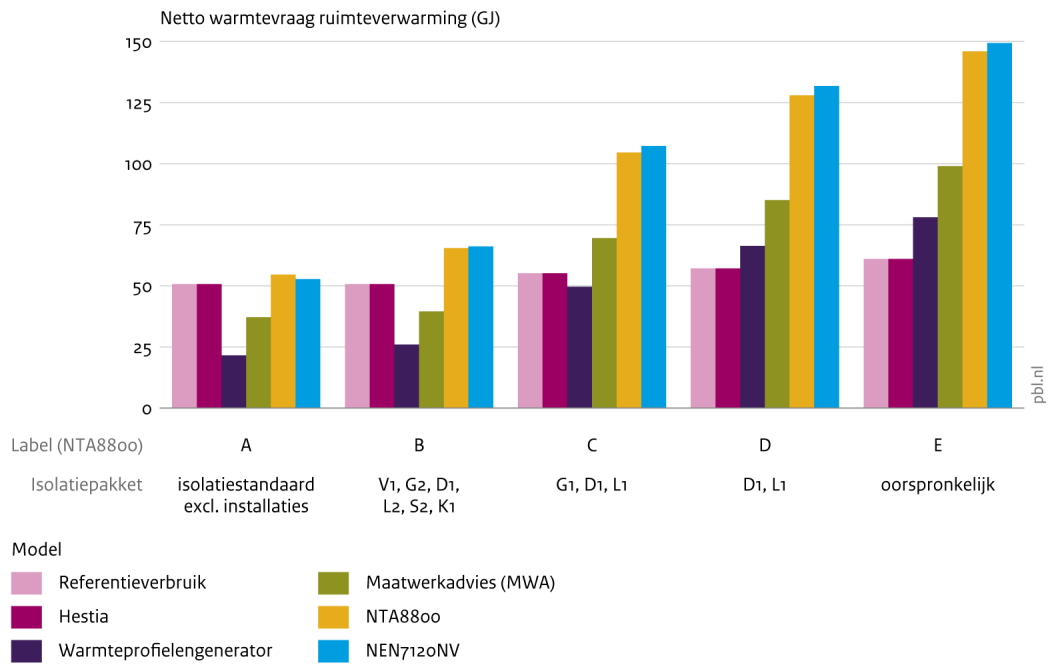


Bron: PBL, TNO, RVO (modelversie 2023)

Deze figuur geeft de absolute (op de y-as) besparing weer die is bepaald op basis van één isolatiepakket per energielabel. De figuur laat alle besparingsstappen zien naar doellabel C en D op basis van de geselecteerde isolatiepakketten. De labelstappen zijn gebaseerd op NTA8800 labels, de achterliggende berekeningen voor Hestia en het Referentieverbruik zijn gebaseerd op NEN7120/NV-labels. In deze figuur wordt alleen de besparing weergegeven naar doellabel A. Besparingen naar doellabel B worden weergegeven in de volgende figuur.

Figuur B7.5

Netto warmtevraag bij vrijstaande woning (1946 – 1964)

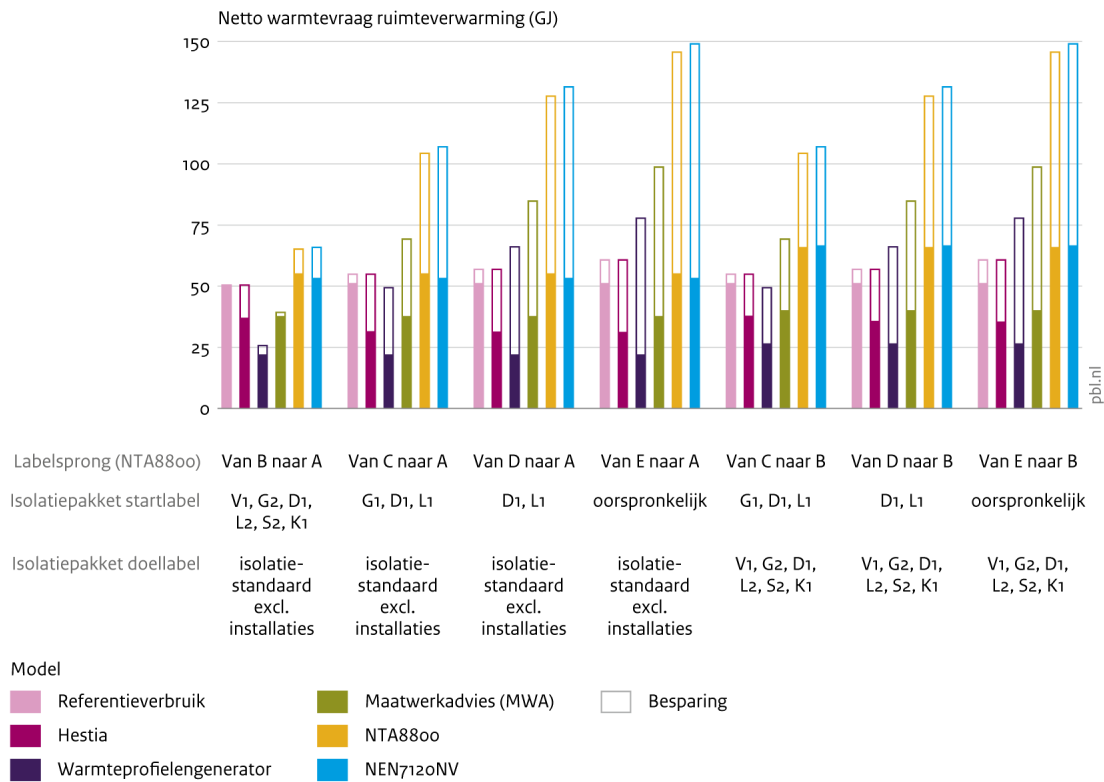


Bron: PBL, TNO, RVO (modelversie 2023)

Deze figuur geeft de netto warmtevraag per isolatiepakket dat correspondeert met een NTA8800-energielabel. De afkortingen bij de isolatiepakketten worden beschreven in paragraaf 4.4. Hoewel de resultaten worden gepresenteerd aan de hand van NTA8800-energielabels, is de achterliggende toewijzing naar label gebaseerd op de NEN7120/NV voor toepassingen met het Referentieverbruik-model en Hestia.

Figuur B7.6

Besparing bij vrijstaande woning (1946 – 1964) naar doellabel A of B

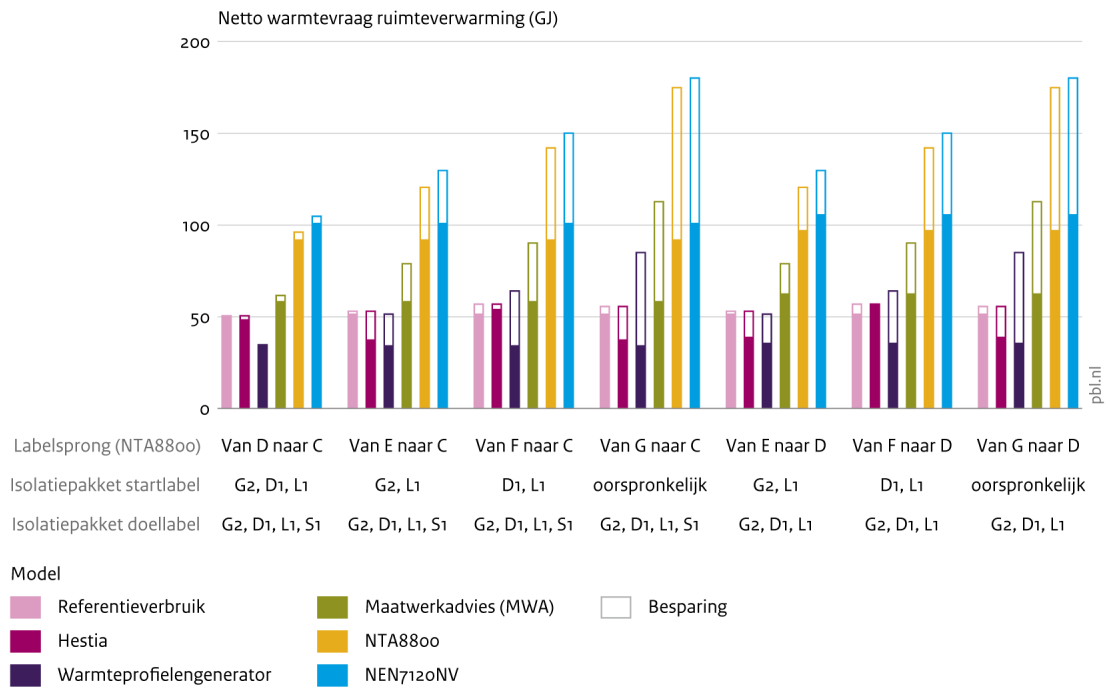


Bron: PBL, TNO, RVO (modelversie 2023)

Deze figuur geeft de absolute (op de y-as) besparing weer die is bepaald op basis van één isolatiepakket per energielabel. De figuur laat alle besparingsstappen zien naar doellabel A of B op basis van de geselecteerde isolatiepakketten. Hoewel de resultaten worden gepresenteerd aan de hand van NTA8800-energielabels, is de achterliggende toewijzing naar label gebaseerd op de NEN7120/NV voor toepassingen met het Referentieverbruik-model en Hestia.

Figuur B7.7

Besparing bij vrijstaande woning (vóór 1946) naar doellabel C of D

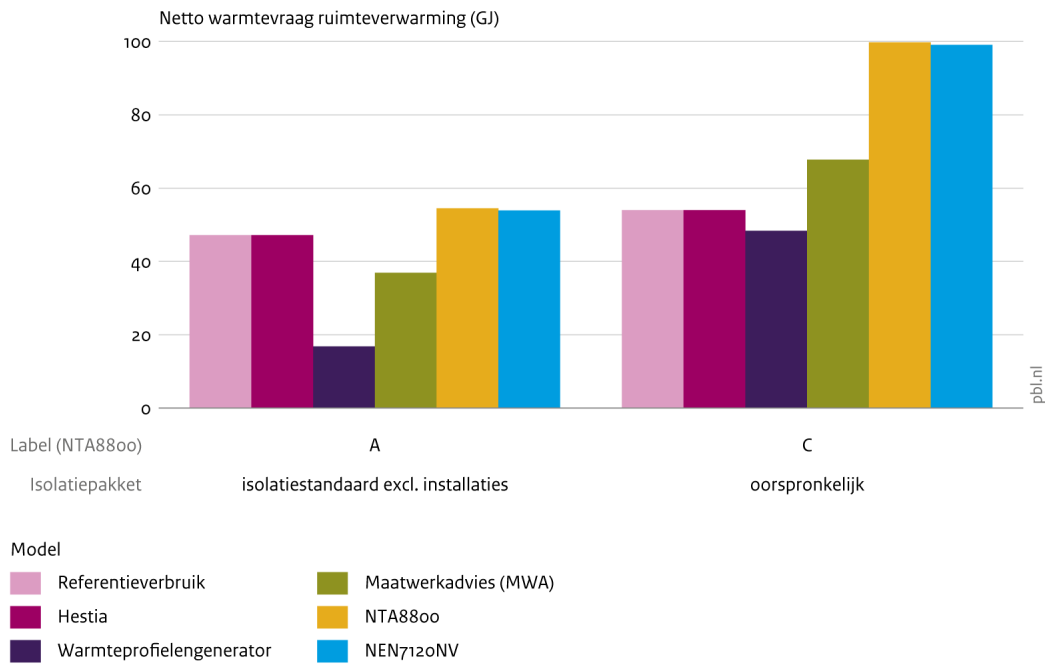


Bron: PBL, TNO, RVO (modelversie 2023)

Deze figuur geeft de absolute (op de y-as) besparing weer die is bepaald op basis van één isolatiepakket per energielabel. De figuur laat alle besparingsstappen zien naar doellabel C of D op basis van de geselecteerde isolatiepakketten. Hoewel de resultaten worden gepresenteerd aan de hand van NTA8800-energielabels, is de achterliggende toewijzing naar label gebaseerd op de NEN7120/NV voor toepassingen met het Referentieverbruik-model en Hestia.

Figuur B7.8

Netto warmtevraag bij vrijstaande woning (1975 – 1991)

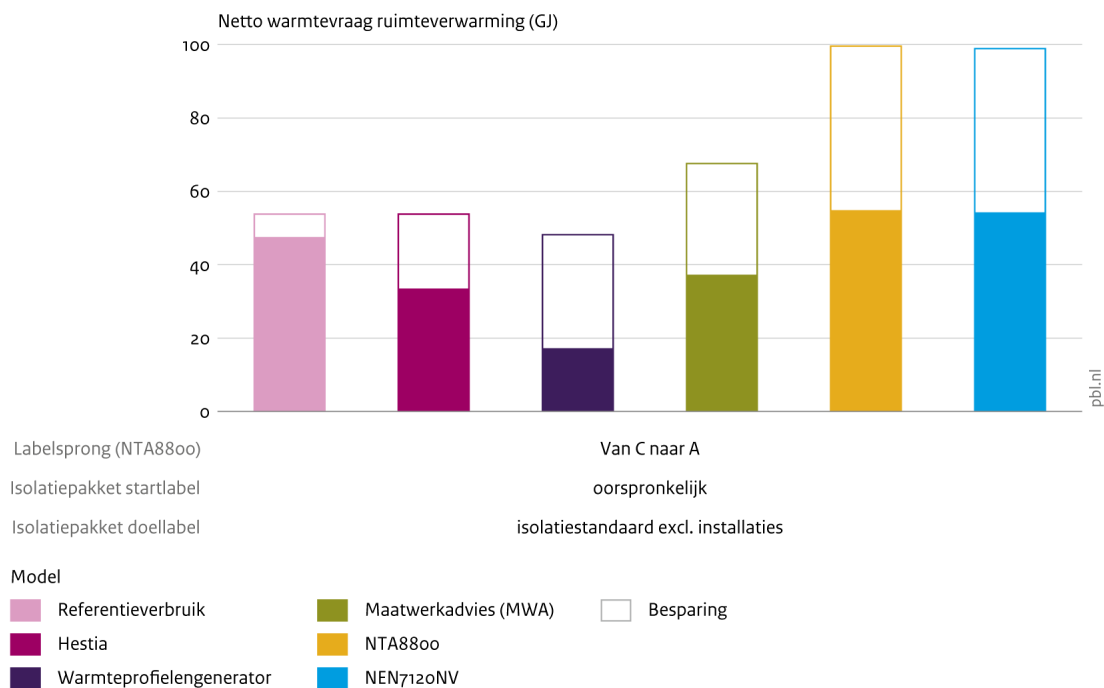


Bron: PBL, TNO, RVO (modelversie 2023)

Deze figuur geeft de netto warmtevraag per isolatiepakket dat correspondeert met een NTA8800-energielabel. De afkortingen bij de isolatiepakketten worden beschreven in paragraaf 4.4. Hoewel de resultaten worden gepresenteerd aan de hand van NTA8800-energielabels, is de achterliggende toewijzing naar label gebaseerd op de NEN7120/NV voor toepassingen met het Referentieverbruik-model en Hestia.

Figuur B7.9

Besparing bij vrijstaande woning (1975 – 1991) naar doellabel A

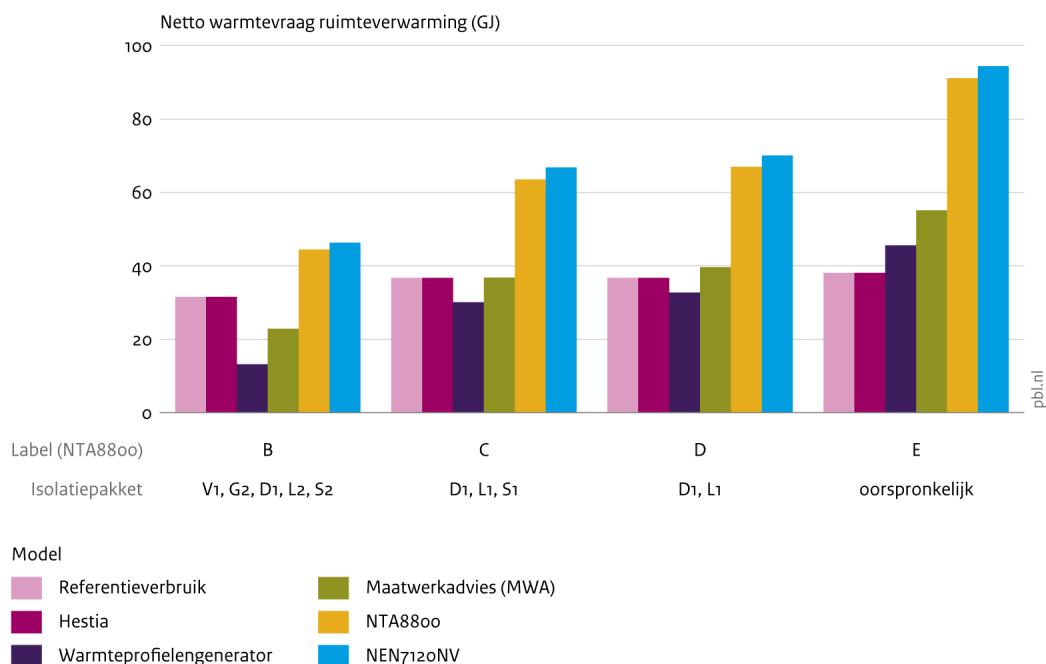


Bron: PBL, TNO, RVO (modelversie 2023)

Deze figuur geeft de absolute (op de y-as) besparing weer die is bepaald op basis van één isolatiepakket per energielabel. De figuur laat alle besparingsstappen zien naar doellabel A of B op basis van de geselecteerde isolatiepakketten. Hoewel de resultaten worden gepresenteerd aan de hand van NTA8800-energielabels, is de achterliggende toewijzing naar label gebaseerd op de NEN7120/NV voor toepassingen met het Referentieverbruik-model en Hestia.

Figuur B7.10

Netto warmtevraag bij rijwoning tussen (vóór 1946)

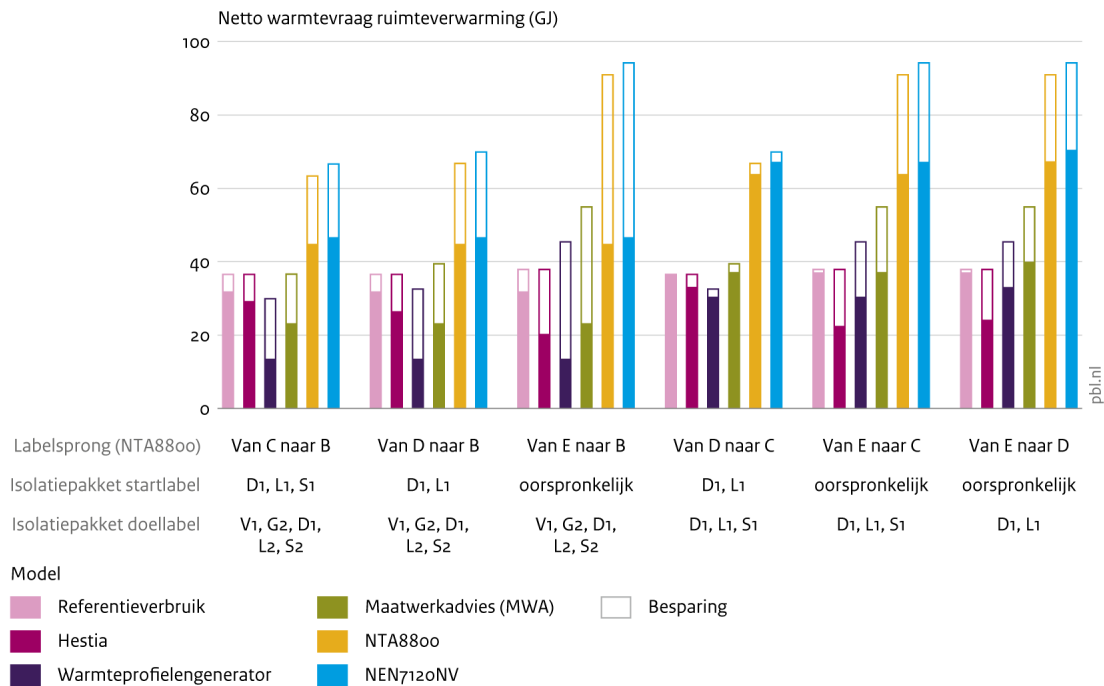


Bron: PBL, TNO, RVO (modelversie 2023)

Deze figuur geeft de netto warmtevraag per isolatiepakket dat correspondeert met een NTA8800-energielabel. De afkortingen bij de isolatiepakketten worden beschreven in paragraaf 4.4. Hoewel de resultaten worden gepresenteerd aan de hand van NTA8800-energielabels, is de achterliggende toewijzing naar label gebaseerd op de NEN7120/NV voor toepassingen met het Referentieverbruik-model en Hestia. Isolatiepakketten met label A zijn wel beschikbaar voor deze testwoning, maar zijn door een omissie niet opgenomen in de analyse.

Figuur B7.11

Besparing bij rijwoning tussen (vóór 1946) naar doellabel B, C of D

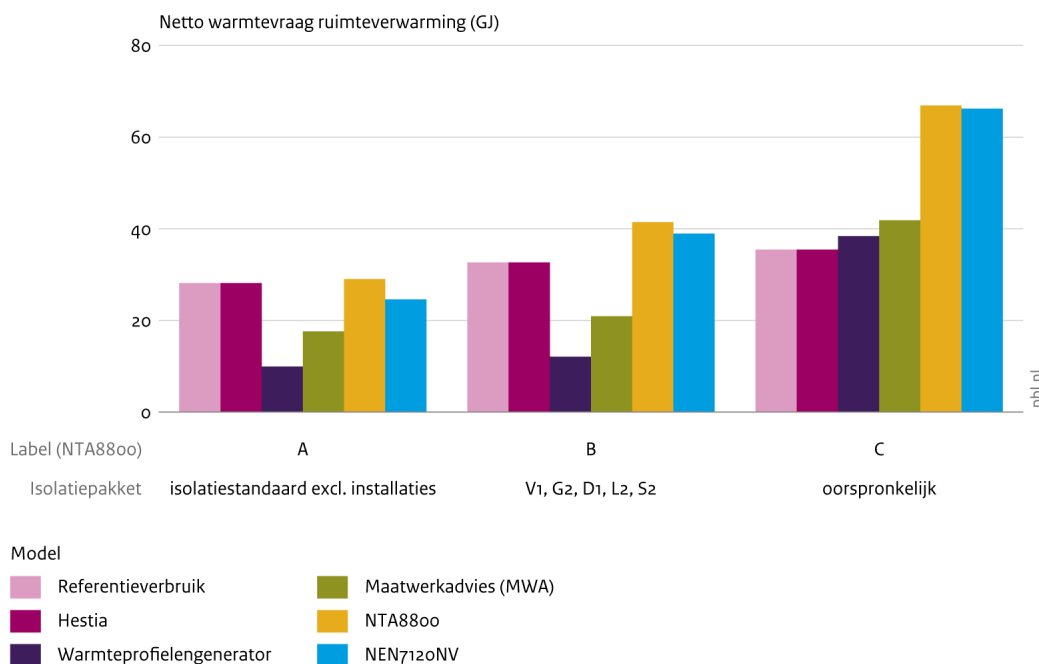


Bron: PBL, TNO, RVO (modelversie 2023)

Deze figuur geeft de absolute (op de y-as) besparing weer die is bepaald op basis van één isolatiepakket per energielabel. De figuur laat alle besparingsstappen zien naar doellabel A of B op basis van de geselecteerde isolatiepakketten. Hoewel de resultaten worden gepresenteerd aan de hand van NTA8800-energielabels, is de achterliggende toewijzing naar label gebaseerd op de NEN7120/NV voor toepassingen met het Referentieverbruik-model en Hestia.

Figuur B7.12

Netto warmtevraag bij rijwoning tussen (1965 – 1974)

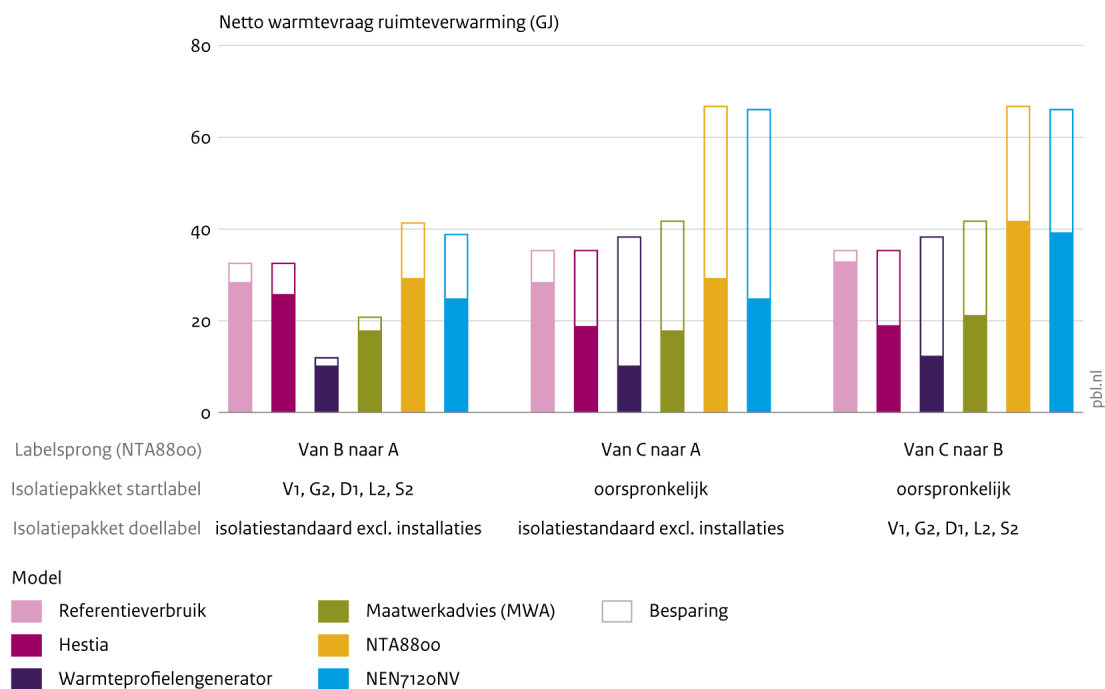


Bron: PBL, TNO, RVO (modelversie 2023)

Deze figuur geeft de netto warmtevraag per isolatiepakket dat correspondeert met een NTA8800-energielabel. De afkortingen bij de isolatiepakketten worden beschreven in paragraaf 4.4. Hoewel de resultaten worden gepresenteerd aan de hand van NTA8800-energielabels, is de achterliggende toewijzing naar label gebaseerd op de NEN7120/NV voor toepassingen met het Referentieverbruik-model en Hestia.

Figuur B7.13

Besparing bij rijwoning tussen (1965 – 1974) naar doellabel A of B

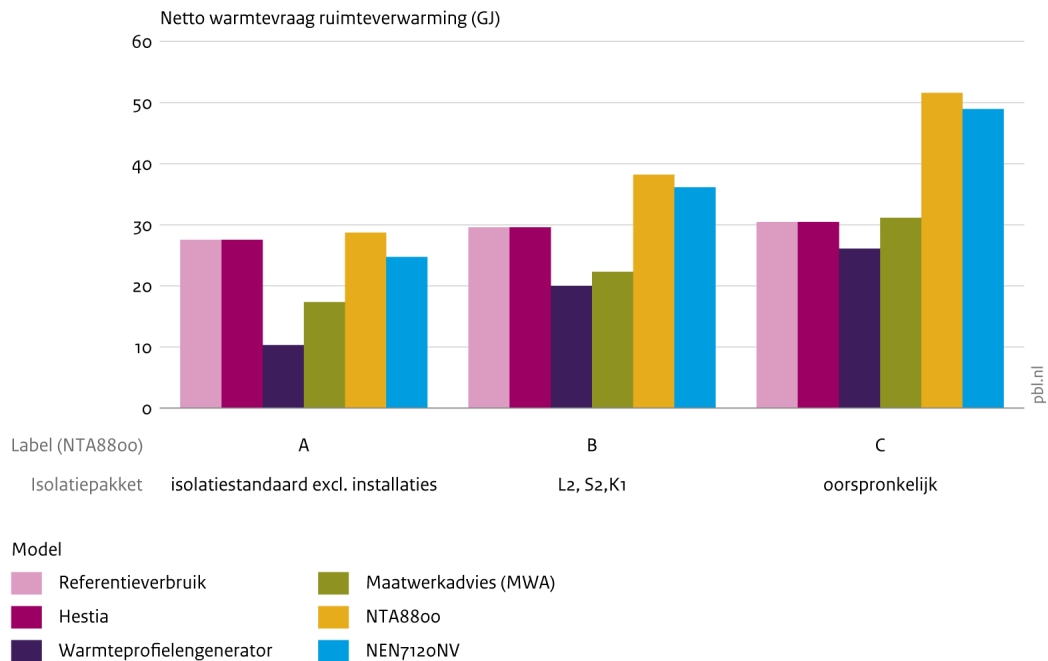


Bron: PBL, TNO, RVO (modelversie 2023)

Deze figuur geeft de absolute (op de y-as) besparing weer die is bepaald op basis van één isolatiepakket per energielabel. De figuur laat alle besparingsstappen zien naar doellabel A of B op basis van de geselecteerde isolatiepakketten. Hoewel de resultaten worden gepresenteerd aan de hand van NTA8800-energielabels, is de achterliggende toewijzing naar label gebaseerd op de NEN7120/NV voor toepassingen met het Referentieverbruik-model en Hestia.

Figuur B7.14

Netto warmtevraag bij rijwoning tussen (1975 – 1991)

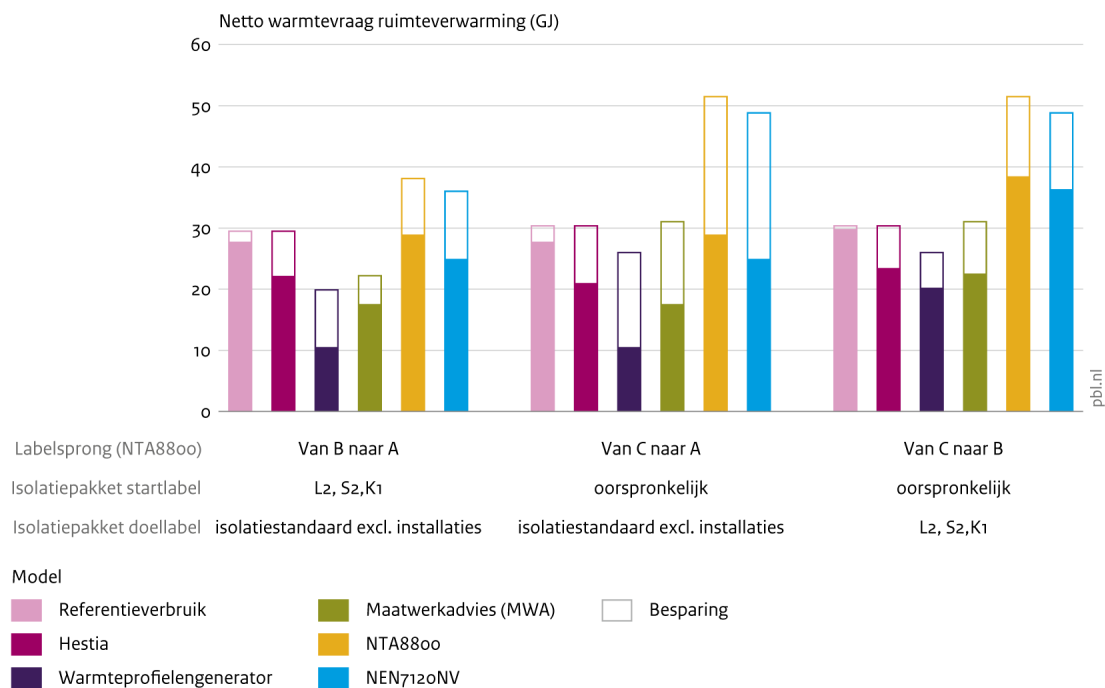


Bron: PBL, TNO, RVO (modelversie 2023)

Deze figuur geeft de netto warmtevraag per isolatiepakket dat correspondeert met een NTA8800-energielabel. De afkortingen bij de isolatiepakketten worden beschreven in paragraaf 4.4. Hoewel de resultaten worden gepresenteerd aan de hand van NTA8800-energielabels, is de achterliggende toewijzing naar label gebaseerd op de NEN7120/NV voor toepassingen met het Referentieverbruik-model en Hestia.

Figuur B7.15

Besparing bij rijwoning tussen (1975 – 1991) naar doellabel A of B

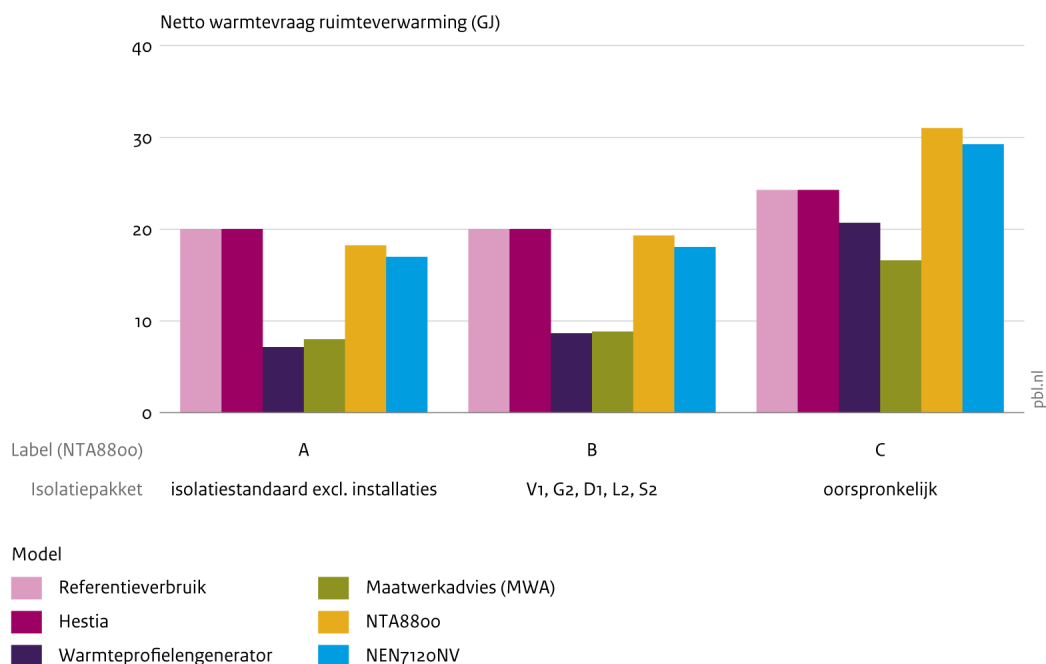


Bron: PBL, TNO, RVO (modelversie 2023)

Deze figuur geeft de absolute (op de y-as) besparing weer die is bepaald op basis van één isolatiepakket per energielabel. De figuur laat alle besparingsstappen zien naar doellabel A of B op basis van de geselecteerde isolatiepakketten. Hoewel de resultaten worden gepresenteerd aan de hand van NTA8800-energielabels, is de achterliggende toewijzing naar label gebaseerd op de NEN7120/NV voor toepassingen met het Referentieverbruik-model en Hestia.

Figuur B7.16

Netto warmtevraag bij portiekwoning tussen midden (vóór 1946)

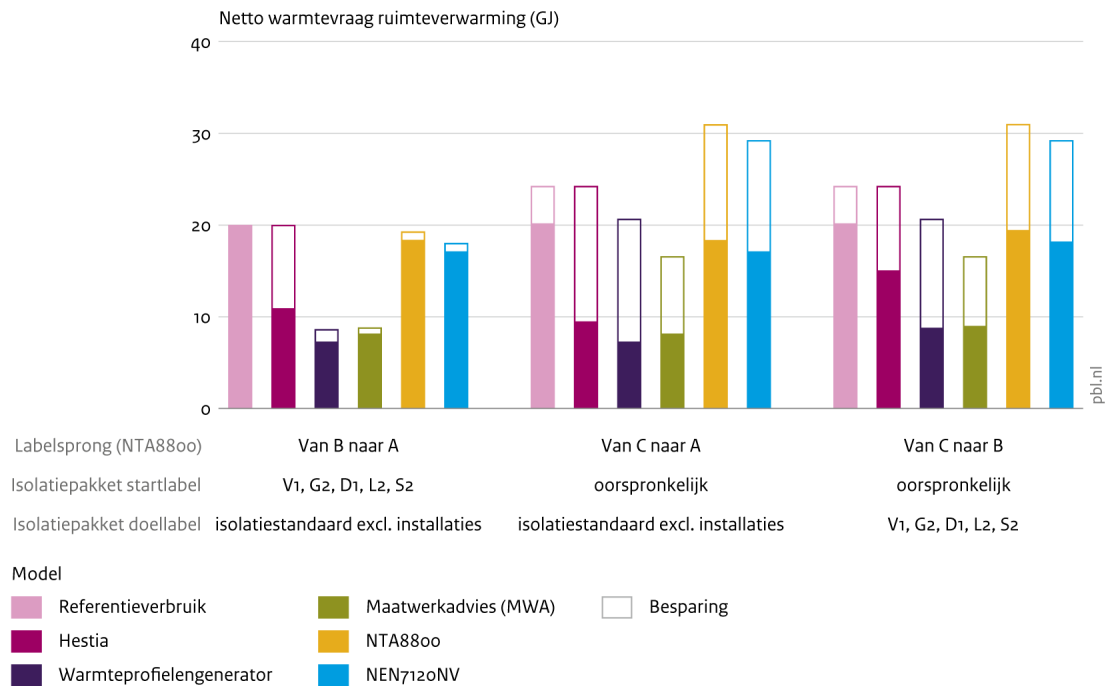


Bron: PBL, TNO, RVO (modelversie 2023)

Deze figuur geeft de netto warmtevraag per isolatiepakket dat correspondeert met een NTA8800-energielabel. De afkortingen bij de isolatiepakketten worden beschreven in paragraaf 4.4. Hoewel de resultaten worden gepresenteerd aan de hand van NTA8800-energielabels, is de achterliggende toewijzing naar label gebaseerd op de NEN7120/NV voor toepassingen met het Referentieverbruik-model en Hestia.

Figuur B7.17

Besparing bij portiekwoning tussen midden (vóór 1946) naar doellabel A of B

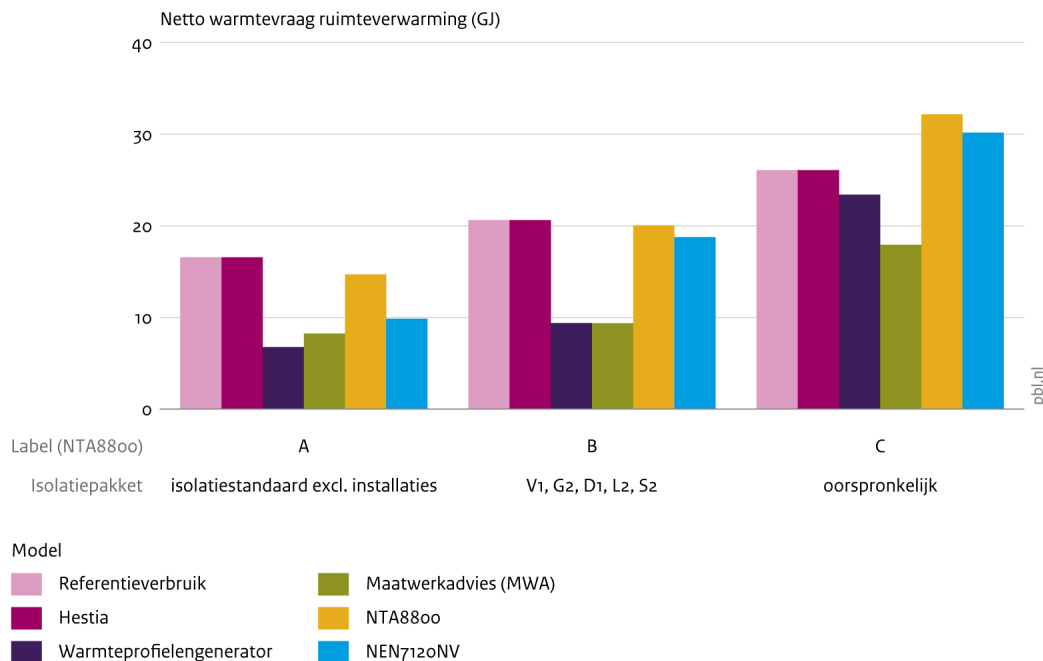


Bron: PBL, TNO, RVO (modelversie 2023)

Deze figuur geeft de absolute (op de y-as) besparing weer die is bepaald op basis van één isolatiepakket per energielabel. De figuur laat alle besparingsstappen zien naar doellabel A of B op basis van de geselecteerde isolatiepakketten. Hoewel de resultaten worden gepresenteerd aan de hand van NTA8800-energielabels, is de achterliggende toewijzing naar label gebaseerd op de NEN7120/NV voor toepassingen met het Referentieverbruik-model en Hestia.

Figuur B7.18

Netto warmtevraag bij portiekwoning tussen midden (1946 – 1964)

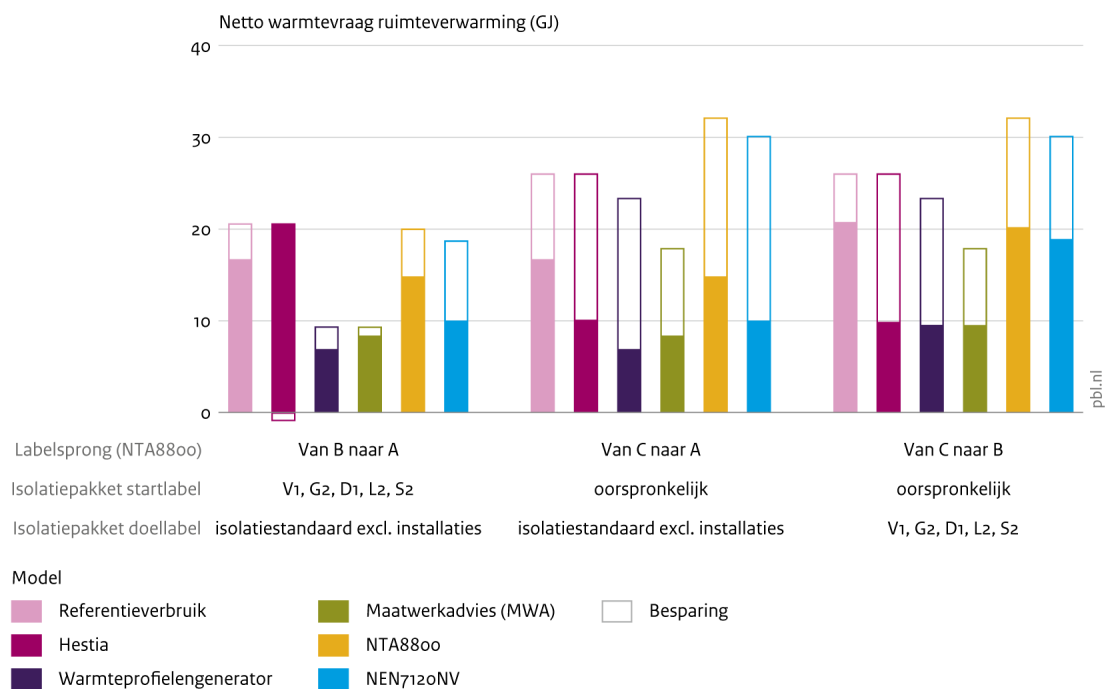


Bron: PBL, TNO, RVO (modelversie 2023)

Deze figuur geeft de netto warmtevraag per isolatiepakket dat correspondeert met een NTA8800-energielabel. De afkortingen bij de isolatiepakketten worden beschreven in paragraaf 4.4. Hoewel de resultaten worden gepresenteerd aan de hand van NTA8800-energielabels, is de achterliggende toewijzing naar label gebaseerd op de NEN7120/NV voor toepassingen met het Referentieverbruik-model en Hestia.

Figuur B7.19

Besparing bij portiekwoning tussen midden (1946 – 1964) naar doellabel A of B

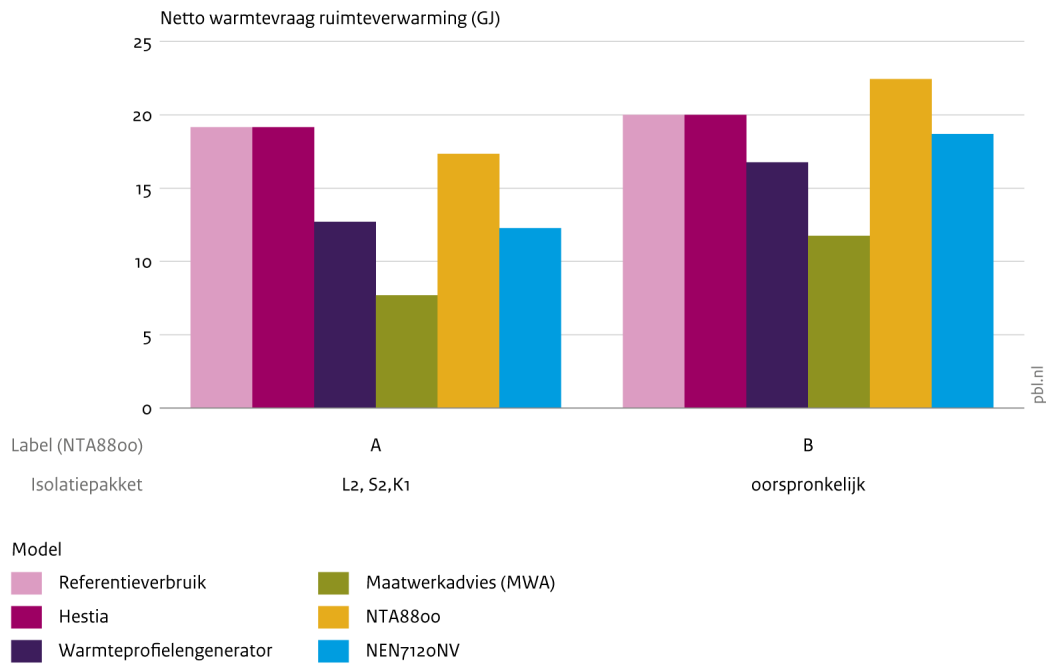


Bron: PBL, TNO, RVO (modelversie 2023)

Deze figuur geeft de absolute (op de y-as) besparing weer die is bepaald op basis van één isolatiepakket per energielabel. De figuur laat alle besparingsstappen zien naar doellabel A of B op basis van de geselecteerde isolatiepakketten. Hoewel de resultaten worden gepresenteerd aan de hand van NTA8800-energielabels, is de achterliggende toewijzing naar label gebaseerd op de NEN7120/NV voor toepassingen met het Referentieverbruik-model en Hestia.

Figuur B7.20

Netto warmtevraag bij portiekwoning tussen midden (1975– 1991)

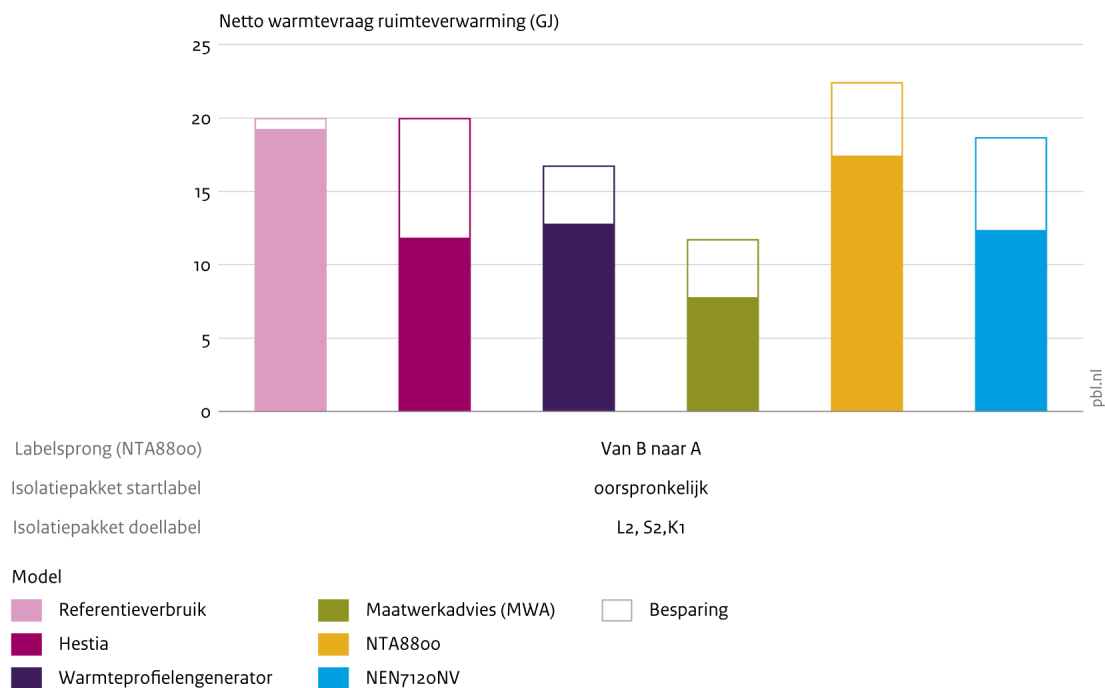


Bron: PBL, TNO, RVO (modelversie 2023)

Deze figuur geeft de netto warmtevraag per isolatiepakket dat correspondeert met een NTA8800-energielabel. De afkortingen bij de isolatiepakketten worden beschreven in paragraaf 4.4. Hoewel de resultaten worden gepresenteerd aan de hand van NTA8800-energielabels, is de achterliggende toewijzing naar label gebaseerd op de NEN7120/NV voor toepassingen met het Referentieverbruik-model en Hestia.

Figuur B7.21

Besparing bij portiekwoning tussen midden (1975 – 1991) naar doellabel A



Bron: PBL, TNO, RVO (modelversie 2023)

Deze figuur geeft de absolute (op de y-as) besparing weer die is bepaald op basis van één isolatiepakket per energielabel. De figuur laat alle besparingsstappen zien naar doellabel A of B op basis van de geselecteerde isolatiepakketten. Hoewel de resultaten worden gepresenteerd aan de hand van NTA8800-energielabels, is de achterliggende toewijzing naar label gebaseerd op de NEN7120/NV voor toepassingen met het Referentieverbruik-model en Hestia.

Bijlage 8: VIVET-gemiddelden, het aantal woningen per gemiddeld verbruik ruimteverwarming

Tabel B8.1

Gemiddelde netto warmtevraag ruimteverwarming per combinatie van woningtype, bouwperiode en eigendomstype

Woningcombinatie	Gemiddelde netto warmtevraag RV [GJ]	Count
vrijstaand < 1946 A	53	746
vrijstaand < 1946 B	56	1058
vrijstaand < 1946 C	59	2683
vrijstaand < 1946 D	59	10984
vrijstaand < 1946 E	63	2603
vrijstaand < 1946 F	64	10618
vrijstaand < 1946 G	62	19416
vrijstaand 1946 - 1964 A	57	387
vrijstaand 1946 - 1964 B	56	584
vrijstaand 1946 - 1964 C	57	4718
vrijstaand 1946 - 1964 D	59	3311
vrijstaand 1946 - 1964 E	62	6702
vrijstaand 1946 - 1964 F	63	8829
vrijstaand 1946 - 1964 G	60	3080
vrijstaand 1975 - 1991 A	56	844
vrijstaand 1975 - 1991 B	58	9758
vrijstaand 1975 - 1991 C	63	22616
vrijstaand 1975 - 1991 D	65	3469
vrijstaand 1975 - 1991 E	65	553
vrijstaand 1975 - 1991 F	61	235
vrijstaand 1975 - 1991 G	62	146
rijwoning tussenwoning < 1946 A	27	4070
rijwoning tussenwoning < 1946 B	29	2299
rijwoning tussenwoning < 1946 C	31	7948
rijwoning tussenwoning < 1946 D	32	7441
rijwoning tussenwoning < 1946 E	36	5637
rijwoning tussenwoning < 1946 F	39	4131
rijwoning tussenwoning < 1946 G	40	2374
rijwoning tussenwoning 1965 - 1974 A	29	13241
rijwoning tussenwoning 1965 - 1974 B	31	10822
rijwoning tussenwoning 1965 - 1974 C	34	39336
rijwoning tussenwoning 1965 - 1974 D	38	14757
rijwoning tussenwoning 1965 - 1974 E	39	4225
rijwoning tussenwoning 1965 - 1974 F	40	778
rijwoning tussenwoning 1965 - 1974 G	39	275
rijwoning tussenwoning 1975 - 1991 A	26	7897
rijwoning tussenwoning 1975 - 1991 B	28	31400
rijwoning tussenwoning 1975 - 1991 C	31	56590

Woningcombinatie	Gemiddelde netto warmtevraag RV [GJ]	Count
rijwoning tussenwoning 1975 - 1991 D	35	5477
rijwoning tussenwoning 1975 - 1991 E	38	403
rijwoning tussenwoning 1975 - 1991 F	n.b.	0
rijwoning tussenwoning 1975 - 1991 G	n.b.	0
portiek < 1946 A	22	5184
portiek < 1946 B	24	5760
portiek < 1946 C	26	12355
portiek < 1946 D	29	8239
portiek < 1946 E	32	4957
portiek < 1946 F	34	3713
portiek < 1946 G	33	2792
portiek 1946 - 1964 A	21	7506
portiek 1946 - 1964 B	23	6660
portiek 1946 - 1964 C	26	22374
portiek 1946 - 1964 D	29	14428
portiek 1946 - 1964 E	30	7133
portiek 1946 - 1964 F	31	2603
portiek 1946 - 1964 G	31	1717
portiek 1975 - 1991 A	21	19517
portiek 1975 - 1991 B	22	41994
portiek 1975 - 1991 C	24	54714
portiek 1975 - 1991 D	27	4652
portiek 1975 - 1991 E	29	399
portiek 1975 - 1991 F	n.b.	0
portiek 1975 - 1991 G	n.b.	0
Woningcombinatie	Gemiddelde netto warmtevraag RV [GJ]	Count
vrijstaand < 1946 A	53	746
vrijstaand < 1946 B	56	1058
vrijstaand < 1946 C	59	2683
vrijstaand < 1946 D	59	10984
vrijstaand < 1946 E	63	2603
vrijstaand < 1946 F	64	10618
vrijstaand < 1946 G	62	19416
vrijstaand 1946 - 1964 A	57	387
vrijstaand 1946 - 1964 B	56	584
vrijstaand 1946 - 1964 C	57	4718
vrijstaand 1946 - 1964 D	59	3311
vrijstaand 1946 - 1964 E	62	6702
vrijstaand 1946 - 1964 F	63	8829
vrijstaand 1946 - 1964 G	60	3080
vrijstaand 1975 - 1991 A	56	844
vrijstaand 1975 - 1991 B	58	9758
vrijstaand 1975 - 1991 C	63	22616
vrijstaand 1975 - 1991 D	65	3469
vrijstaand 1975 - 1991 E	65	553
vrijstaand 1975 - 1991 F	61	235
vrijstaand 1975 - 1991 G	62	146

Woningcombinatie	Gemiddelde netto warmtevraag RV [GJ]	Count
rijwoning tussenwoning < 1946 A	27	4070
rijwoning tussenwoning < 1946 B	29	2299
rijwoning tussenwoning < 1946 C	31	7948
rijwoning tussenwoning < 1946 D	32	7441
rijwoning tussenwoning < 1946 E	36	5637
rijwoning tussenwoning < 1946 F	39	4131
rijwoning tussenwoning < 1946 G	40	2374
rijwoning tussenwoning 1965 - 1974 A	29	13241
rijwoning tussenwoning 1965 - 1974 B	31	10822
rijwoning tussenwoning 1965 - 1974 C	34	39336
rijwoning tussenwoning 1965 - 1974 D	38	14757
rijwoning tussenwoning 1965 - 1974 E	39	4225
rijwoning tussenwoning 1965 - 1974 F	40	778
rijwoning tussenwoning 1965 - 1974 G	39	275
rijwoning tussenwoning 1975 - 1991 A	26	7897
rijwoning tussenwoning 1975 - 1991 B	28	31400
rijwoning tussenwoning 1975 - 1991 C	31	56590
rijwoning tussenwoning 1975 - 1991 D	35	5477
rijwoning tussenwoning 1975 - 1991 E	38	403
rijwoning tussenwoning 1975 - 1991 F	n.b.	0
rijwoning tussenwoning 1975 - 1991 G	n.b.	0
portiek < 1946 A	22	5184
portiek < 1946 B	24	5760
portiek < 1946 C	26	12355
portiek < 1946 D	29	8239
portiek < 1946 E	32	4957
portiek < 1946 F	34	3713
portiek < 1946 G	33	2792
portiek 1946 - 1964 A	21	7506
portiek 1946 - 1964 B	23	6660
portiek 1946 - 1964 C	26	22374
portiek 1946 - 1964 D	29	14428
portiek 1946 - 1964 E	30	7133
portiek 1946 - 1964 F	31	2603
portiek 1946 - 1964 G	31	1717
portiek 1975 - 1991 A	21	19517
portiek 1975 - 1991 B	22	41994
portiek 1975 - 1991 C	24	54714
portiek 1975 - 1991 D	27	4652
portiek 1975 - 1991 E	29	399
portiek 1975 - 1991 F	n.b.	0
portiek 1975 - 1991 G	n.b.	0

In deze tabel wordt het gemiddelde (klimaatgecorrigeerde) functionele verbruik (exclusief warmteverliezen in de installaties) gegeven voor ruimteverwarming in het jaar 2020 van woningen waarvan het energielabel is vastgesteld door een expert na 2015 en die gebruik maken van gas voor ruimteverwarming en warm tapwater. De woningen beschikken niet over zon-pv of zonneboilers. Uitzondering zijn de vrijstaande woningen: hier wordt geen onderscheid gemaakt in het energielabel, omdat er weinig vrijstaande woningen zijn die aan deze voorwaarden voldoen. De warmtevraag voor

ruimteverwarming is per woning bepaald door de netto warmtevraag voor koken en warm tapwater in mindering te brengen op de metervraag.

Bijlage 9: Tabellen netto warmtevraag startverbruik en besparing naar minimaal doellabel D

Tabel B9.1

Netto warmtevraag uitgangssituatie (startlabel) per model [GJ]

Type	Sprong start-naar doellabel	Referentieverbruik	MWA	NTA8800	NEN7120NV	Warmteprofie-lengenerator	Hestia
		GJ	GJ	GJ	GJ	GJ	GJ
portiek tussen midden < 1946	CA	24.3	16.6	31.0	29.3	20.7	24.3
portiek tussen midden < 1946	BA	20.0	8.8	19.3	18.1	8.7	20.0
portiek tussen midden < 1946	CB	24.3	16.6	31.0	29.3	20.7	24.3
portiek tussen midden 1946 - 1964	CA	26.1	17.9	32.2	30.2	23.4	26.1
portiek tussen midden 1946 - 1964	BA	20.6	9.4	20.0	18.8	9.4	20.6
portiek tussen midden 1946 - 1964	CB	26.1	17.9	32.2	30.2	23.4	26.1
portiek tussen midden 1975 - 1991	BA	20.0	11.7	22.4	18.7	16.8	20.0
rijwoning tussen < 1946	EB	38.1	55.1	91.2	94.4	45.6	38.1
rijwoning tussen < 1946	DB	36.7	39.6	67.0	70.1	32.7	36.7
rijwoning tussen < 1946	CB	36.7	36.8	63.5	66.8	30.1	36.7
rijwoning tussen < 1946	EC	38.1	55.1	91.2	94.4	45.6	38.1
rijwoning tussen < 1946	DC	36.7	39.6	67.0	70.1	32.7	36.7
rijwoning tussen < 1946	ED	38.1	55.1	91.2	94.4	45.6	38.1
rijwoning tussen 1965 - 1974	CA	35.5	41.9	66.9	66.2	38.4	35.5
rijwoning tussen 1965 - 1974	BA	32.7	20.9	41.5	39.0	12.1	32.7
rijwoning tussen 1965 - 1974	CB	35.5	41.9	66.9	66.2	38.4	35.5
rijwoning tussen 1975 - 1991	CA	30.5	31.1	51.6	48.9	26.1	30.5
rijwoning tussen 1975 - 1991	BA	29.6	22.3	38.2	36.1	20.0	29.6
rijwoning tussen 1975 - 1991	CB	30.5	31.1	51.6	48.9	26.1	30.5
vrijstaand < 1946	GA	56.0	113.1	175.3	180.5	85.4	56.0
vrijstaand < 1946	FA	57.2	90.5	142.4	150.4	64.4	57.2
vrijstaand < 1946	EA	53.4	79.3	120.9	130.1	51.8	53.4
vrijstaand < 1946	DA	50.9	62.0	96.5	105.2	35.1	50.9
vrijstaand < 1946	CA	50.9	57.8	91.4	100.4	33.7	50.9
vrijstaand < 1946	BA	45.4	37.0	60.8	60.7	23.4	45.4
vrijstaand < 1946	GB	56.0	113.1	175.3	180.5	85.4	56.0
vrijstaand < 1946	FB	57.2	90.5	142.4	150.4	64.4	57.2
vrijstaand < 1946	EB	53.4	79.3	120.9	130.1	51.8	53.4
vrijstaand < 1946	DB	50.9	62.0	96.5	105.2	35.1	50.9
vrijstaand < 1946	CB	50.9	57.8	91.4	100.4	33.7	50.9

Type	Sprong start-naar doella-bel	Referentiever-bruik	MWA	NTA8800	NEN7120NV	Warmteprofielengenerator	Hestia
vrijstaand < 1946	GC	56.0	113.1	175.3	180.5	85.4	56.0
vrijstaand < 1946	FC	57.2	90.5	142.4	150.4	64.4	57.2
vrijstaand < 1946	EC	53.4	79.3	120.9	130.1	51.8	53.4
vrijstaand < 1946	DC	50.9	62.0	96.5	105.2	35.1	50.9
vrijstaand < 1946	GD	56.0	113.1	175.3	180.5	85.4	56.0
vrijstaand < 1946	FD	57.2	90.5	142.4	150.4	64.4	57.2
vrijstaand < 1946	ED	53.4	79.3	120.9	130.1	51.8	53.4
vrijstaand 1946 - 1964	EA	61.0	99.0	146.0	149.4	78.1	61.0
vrijstaand 1946 - 1964	DA	57.1	85.1	128.0	131.8	66.4	57.1
vrijstaand 1946 - 1964	CA	55.2	69.5	104.6	107.3	49.6	55.2
vrijstaand 1946 - 1964	BA	50.7	39.6	65.4	66.1	26.0	50.7
vrijstaand 1946 - 1964	EB	61.0	99.0	146.0	149.4	78.1	61.0
vrijstaand 1946 - 1964	DB	57.1	85.1	128.0	131.8	66.4	57.1
vrijstaand 1946 - 1964	CB	55.2	69.5	104.6	107.3	49.6	55.2
vrijstaand 1946 - 1964	EC	61.0	99.0	146.0	149.4	78.1	61.0
vrijstaand 1946 - 1964	DC	57.1	85.1	128.0	131.8	66.4	57.1
vrijstaand 1946 - 1964	ED	61.0	99.0	146.0	149.4	78.1	61.0
vrijstaand 1975 - 1991	CA	54.0	67.8	99.8	99.1	48.4	54.0

Tabel B9.2
Besparing per model absoluut [GJ]

Type	Sprong start-naar doella-bel	Referentiever-bruik	MWA	NTA8800	NEN7120NV	Warmteprofielengenerator	Hestia
		GJ	GJ	GJ	GJ	GJ	GJ
portiek tussen midden < 1946	CA	4.2	8.6	12.8	12.3	13.5	14.9
portiek tussen midden < 1946	BA	0.0	0.8	1.1	1.1	1.5	9.2
portiek tussen midden < 1946	CB	4.2	7.8	11.7	11.2	12.0	9.4
portiek tussen midden 1946 - 1964	CA	9.5	9.7	17.5	20.3	16.6	16.1
portiek tussen midden 1946 - 1964	BA	4.1	1.1	5.4	8.9	2.6	-0.9
portiek tussen midden 1946 - 1964	CB	5.5	8.6	12.1	11.4	14.0	16.3
portiek tussen midden 1975 - 1991	BA	0.8	4.1	5.1	6.4	4.1	8.3
rijwoning tussen < 1946	EB	6.5	32.3	46.7	48.1	32.4	18.1
rijwoning tussen < 1946	DB	5.2	16.8	22.5	23.8	19.5	10.6
rijwoning tussen < 1946	CB	5.2	14.0	19.1	20.5	16.9	7.8
rijwoning tussen < 1946	EC	1.3	18.3	27.6	27.6	15.5	15.9

Type	Sprong start- naar doella- bel	Referentiever- bruik	MWA	NTA8800	NEN7120NV	Warmteprofi- lengenerator	Hestia
rijwoning tussen < 1946	DC	0.0	2.8	3.4	3.3	2.6	4.0
rijwoning tussen < 1946	ED	1.3	15.5	24.2	24.3	12.9	14.3
rijwoning tussen 1965 - 1974	CA	7.3	24.3	37.9	41.7	28.5	16.9
rijwoning tussen 1965 - 1974	BA	4.5	3.3	12.5	14.4	2.1	7.1
rijwoning tussen 1965 - 1974	CB	2.8	20.9	25.4	27.2	26.3	16.7
rijwoning tussen 1975 - 1991	CA	2.9	13.8	22.9	24.2	15.8	9.7
rijwoning tussen 1975 - 1991	BA	2.1	5.0	9.5	11.4	9.7	7.6
rijwoning tussen 1975 - 1991	CB	0.9	8.8	13.4	12.8	6.1	7.2
vrijstaand < 1946	GA	10.6	82.6	122.1	129.0	68.5	28.5
vrijstaand < 1946	FA	11.9	60.0	89.2	98.9	47.6	27.2
vrijstaand < 1946	EA	8.1	48.8	67.6	78.6	34.9	25.9
vrijstaand < 1946	DA	5.6	31.5	43.2	53.7	18.2	21.3
vrijstaand < 1946	CA	5.6	27.3	38.1	48.9	16.8	20.9
vrijstaand < 1946	BA	0.0	6.5	7.6	9.2	6.5	15.2
vrijstaand < 1946	GB	10.6	76.1	114.5	119.8	62.0	21.7
vrijstaand < 1946	FB	11.9	53.6	81.6	89.7	41.0	11.0
vrijstaand < 1946	EB	8.1	42.3	60.1	69.3	28.4	19.1
vrijstaand < 1946	DB	5.6	25.0	35.7	44.4	11.7	9.0
vrijstaand < 1946	CB	5.6	20.8	30.6	39.7	10.3	6.6
vrijstaand < 1946	GC	5.0	55.3	83.9	80.1	51.7	19.1
vrijstaand < 1946	FC	6.3	32.7	51.1	50.0	30.8	3.7
vrijstaand < 1946	EC	2.5	21.5	29.5	29.7	18.1	16.6
vrijstaand < 1946	DC	0.0	4.2	5.1	4.8	1.4	3.1
vrijstaand < 1946	GD	5.0	51.1	78.8	75.3	50.3	17.6
vrijstaand < 1946	FD	6.3	28.6	45.9	45.3	29.3	0.0
vrijstaand < 1946	ED	2.5	17.3	24.4	24.9	16.7	15.1
vrijstaand 1946 - 1964	EA	10.3	61.8	91.4	96.6	56.6	30.3
vrijstaand 1946 - 1964	DA	6.4	47.9	73.4	79.0	44.8	26.3
vrijstaand 1946 - 1964	CA	4.5	32.3	50.0	54.5	28.1	24.2
vrijstaand 1946 - 1964	BA	0.0	2.4	10.8	13.3	4.5	14.2
vrijstaand 1946 - 1964	EB	10.3	59.4	80.6	83.2	52.1	26.1
vrijstaand 1946 - 1964	DB	6.4	45.5	62.6	65.7	40.4	21.9
vrijstaand 1946 - 1964	CB	4.5	30.0	39.2	41.1	23.6	17.9
vrijstaand 1946 - 1964	EC	5.8	29.5	41.4	42.1	28.5	21.4
vrijstaand 1946 - 1964	DC	1.9	15.5	23.4	24.5	16.7	14.8
vrijstaand 1946 - 1964	ED	3.9	13.9	18.0	17.6	11.7	8.8
vrijstaand 1975 - 1991	CA	6.8	30.9	45.3	45.2	31.5	20.9

Tabel B9.3
Besparing per model relatief

Type	Sprong start-naar doella-bel	Referentieverbruik	MWA	NTA8800	NEN7120NV	Warmteprofielengenerator	Hestia
		%	%	%	%	%	%
portiek tussen midden < 1946	CA	17%	52%	41%	42%	65%	61%
portiek tussen midden < 1946	BA	0%	9%	6%	6%	17%	46%
portiek tussen midden < 1946	CB	17%	47%	38%	38%	58%	39%
portiek tussen midden 1946 - 1964	CA	36%	54%	54%	67%	71%	62%
portiek tussen midden 1946 - 1964	BA	20%	12%	27%	47%	28%	-5%
portiek tussen midden 1946 - 1964	CB	21%	48%	38%	38%	60%	63%
portiek tussen midden 1975 - 1991	BA	4%	35%	23%	34%	24%	41%
rijwoning tussen < 1946	EB	17%	59%	51%	51%	71%	48%
rijwoning tussen < 1946	DB	14%	42%	34%	34%	60%	29%
rijwoning tussen < 1946	CB	14%	38%	30%	31%	56%	21%
rijwoning tussen < 1946	EC	4%	33%	30%	29%	34%	42%
rijwoning tussen < 1946	DC	0%	7%	5%	5%	8%	11%
rijwoning tussen < 1946	ED	4%	28%	27%	26%	28%	37%
rijwoning tussen 1965 - 1974	CA	21%	58%	57%	63%	74%	48%
rijwoning tussen 1965 - 1974	BA	14%	16%	30%	37%	18%	22%
rijwoning tussen 1965 - 1974	CB	8%	50%	38%	41%	69%	47%
rijwoning tussen 1975 - 1991	CA	10%	44%	44%	49%	61%	32%
rijwoning tussen 1975 - 1991	BA	7%	22%	25%	31%	48%	26%
rijwoning tussen 1975 - 1991	CB	3%	28%	26%	26%	23%	24%
vrijstaand < 1946	GA	19%	73%	70%	71%	80%	51%
vrijstaand < 1946	FA	21%	66%	63%	66%	74%	48%
vrijstaand < 1946	EA	15%	62%	56%	60%	67%	48%
vrijstaand < 1946	DA	11%	51%	45%	51%	52%	42%
vrijstaand < 1946	CA	11%	47%	42%	49%	50%	41%
vrijstaand < 1946	BA	0%	18%	12%	15%	28%	34%
vrijstaand < 1946	GB	19%	67%	65%	66%	73%	39%
vrijstaand < 1946	FB	21%	59%	57%	60%	64%	19%
vrijstaand < 1946	EB	15%	53%	50%	53%	55%	36%
vrijstaand < 1946	DB	11%	40%	37%	42%	33%	18%
vrijstaand < 1946	CB	11%	36%	33%	40%	31%	13%
vrijstaand < 1946	GC	9%	49%	48%	44%	61%	34%
vrijstaand < 1946	FC	11%	36%	36%	33%	48%	6%
vrijstaand < 1946	EC	5%	27%	24%	23%	35%	31%
vrijstaand < 1946	DC	0%	7%	5%	5%	4%	6%
vrijstaand < 1946	GD	9%	45%	45%	42%	59%	32%
vrijstaand < 1946	FD	11%	32%	32%	30%	46%	0%

Type	Sprong start- naar doella- bel	Referentiever- bruik	MWA	NTA8800	NEN7120NV	Warmteprofi- lengenerator	Hestia
vrijstaand < 1946	ED	5%	22%	20%	19%	32%	28%
vrijstaand 1946 - 1964	EA	17%	62%	63%	65%	72%	50%
vrijstaand 1946 - 1964	DA	11%	56%	57%	60%	68%	46%
vrijstaand 1946 - 1964	CA	8%	47%	48%	51%	57%	44%
vrijstaand 1946 - 1964	BA	0%	6%	17%	20%	17%	28%
vrijstaand 1946 - 1964	EB	17%	60%	55%	56%	67%	43%
vrijstaand 1946 - 1964	DB	11%	53%	49%	50%	61%	38%
vrijstaand 1946 - 1964	CB	8%	43%	37%	38%	48%	32%
vrijstaand 1946 - 1964	EC	10%	30%	28%	28%	36%	35%
vrijstaand 1946 - 1964	DC	3%	18%	18%	19%	25%	26%
vrijstaand 1946 - 1964	ED	6%	14%	12%	12%	15%	14%
vrijstaand 1975 - 1991	CA	13%	46%	45%	46%	65%	39%

Bijlage 10: Woningen met ongunstige compactheid, gebouwd tussen 1975 en 2005

In tabel B10.1 wordt de verdeling gegeven over energielabels van woningtypen met een ongunstige compactheid⁵⁰— zijnde vrijstaande woningen, hoekwoningen en 2-onder-1 kap woningen— die zijn gebouwd tussen 1975 en 2005 en conform de bouweisen van de bouwperiode al matig moeten zijn geïsoleerd. In totaal gaat het om 947622 woningen, waarvan op het moment van schrijven 428438 woningen een afgemeld energielabel hebben. 114761 woningen hebben al een energielabel A: dit betere energielabel kan samenhangen met maatregelen voor na-isolatie, de aanwezigheid van zonnepanelen, of een verduurzamingslag in de warmte installaties- maar het is mogelijk dat een deel van deze woningen al aan de isolatiestandaard voldoet. In ieder geval 179052 woningen hebben een energielabel C of lager. Tabel B10.2 geeft de isolatiewaarden van het niveau ‘huidig’ ten opzichte van de indicatieve (minimale) niveaus van de isolatiestandaard zoals ze worden gerapporteerd door Nieman (Cornelisse et al. 2021): het isolatiepakket ‘huidig’ is vastgesteld voor de RVO-brochure voorbeeldwoningen (RVO 2022) en geeft isolatieniveaus die tegenwoordig veel voorkomen voor woningen gebouwd in deze periode (op basis van een analyse van de WoON2018 database). Bij de gebouwdelen die rood zijn gekleurd is er wél sprake van (enige vorm van) na-isolatie, maar voldoet het gebouwdeel nog niet aan de indicatieve niveaus waarmee waarschijnlijk de isolatiestandaard kan worden gehaald: hier zijn mogelijk (relatief ingrijpende) aanvullende maatregelen nodig. Hier is aanvullend onderzoek nodig, zeker in relatie tot de gevelmaatregelen.

Tabel B10.1

Aantal woningen met ongunstige compactheid, gebouwd tussen 1975 en 2005, per energielabel

Energielabel	Aantal woningen
A	114,761
B	134,625
C	157,674
D	17,704
E	2,181
F	770
G	723
Geen label	519,184
Totaal	947,622

Bron: Hestia op basis van BAG en EP-online

⁵⁰ De isolatiestandaard is een richtwaarde voor de warmtevraag en is onder andere afhankelijk van de compactheid van de woning. Voor woningtypen met een ongunstige compactheid, gebouwd tussen 1975 en 2005, is het mogelijk extra moeilijk om aan de standaard te voldoen.

Tabel B10.2

Isolatiekwaliteit gebouwdelen niveau 'huidig' van tussenwoningen, 2-onder-1-kap woningen, vrijstaande woningen en appartementen ten opzichte van de indicatieve minimale waarden voor de isolatiestandaard en de streefwaarden

	Tussenwoning	2 ¹ kap	Vrijstaande woning	Appartement	Standaard	Streefwaarden		
1975-1995	Begane grond vloer	Rc= 1,16 m ² K/W	Rc= 1,25 m ² K/W	Rc= 1,35 m ² K/W	Rc= 1,16 m ² K/W	Rc = 3,5 m ² K/W	Rc = 3,5 m ² K/W	
	Gevel	Rc= 1,53 m ² K/W	Rc= 1,61 m ² K/W	Rc= 1,69 m ² K/W	Rc= 1,66 m ² K/W	Rc = 1,7 m ² K/W	Rc = 6,0 m ² K/W	
	Paneel	Rc= 1,48 m ² K/W	Rc= 1,61 m ² K/W	Rc= 1,75 m ² K/W	Rc= 1,56 m ² K/W	Rc = 1 m ² K/W	Rc = 1,4 m ² K/W	
	Plat/hellend dak	Rc= 1,50 m ² K/W	Rc= 1,59 m ² K/W	Rc= 1,82 m ² K/W	Rc= 1,66 m ² K/W	Rc = 3,5 m ² K/W	Rc = 8,0 m ² K/W	
	Ramen	Uw = 2,82 W/m ² K	Uw = 2,72 W/m ² K	Uw = 2,74 W/m ² K	Uw = 2,91 W/m ² K	Uw = 1,0 W/m ² K	Uw = 1,0 W/m ² K	
	Deuren	Ud = 3,33 W/m ² K	Ud = 3,33 W/m ² K	Ud = 3,30 W/m ² K	Ud = 3,32 W/m ² K	Ud = 1,4 W/m ² K	Ud = 1,4 W/m ² K	
	>1995	Begane grond vloer	Rc= 2,68 m ² K/W	Rc= 2,63 m ² K/W	Rc= 2,64 m ² K/W	Rc= 2,00 m ² K/W	Rc = 3,5 m ² K/W	Rc = 3,5 m ² K/W
		Gevel	Rc= 2,68 m ² K/W	Rc= 2,59 m ² K/W	Rc= 2,56 m ² K/W	Rc= 2,61 m ² K/W	Rc = 1,7 m ² K/W	Rc = 6,0 m ² K/W
		Paneel	Rc= 2,77 m ² K/W	Rc= 2,56 m ² K/W	Rc= 2,60 m ² K/W	Rc= 2,57 m ² K/W	Rc = 1 m ² K/W	Rc = 1,4 m ² K/W
		Plat/hellend dak	Rc= 2,75 m ² K/W	Rc= 2,69 m ² K/W	Rc= 2,68 m ² K/W	Rc= 2,67 m ² K/W	Rc = 3,5 m ² K/W	Rc = 8,0 m ² K/W
Ramen		Uw = 2,10 W/m ² K	Uw = 2,16 W/m ² K	Uw = 2,14 W/m ² K	Uw = 2,16 W/m ² K	Uw = 1,0 W/m ² K	Uw = 1,0 W/m ² K	
Deuren		Ud = 3,27 W/m ² K	Ud = 3,25 W/m ² K	Ud = 3,22 W/m ² K	Ud = 3,28 W/m ² K	Ud = 1,4 W/m ² K	Ud = 1,4 W/m ² K	

Bron: (Cornelisse et al. 2021)