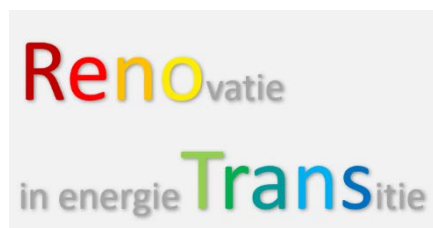


Openbaar Eindrapport RenoTrans

Hoe krijgen we de vooroorlogse bouwvoorraad gereed om van het aardgas af te gaan?

TNO 2020 R11878



Datum	3 december 2020
Auteur(s)	F.G.H. Koene (TNO) M. Oppenoorth (GreenHome/Regionaal Energieloket) R. Langedijk (Duurzaam Bouwloket) K. van der Linden (AaCee) K.E. Sewalt (TNO)
Projectnummer	1721405
Projecttitel	RenoTrans - Realistische maatregelpakketten voor substantiële energiebesparing van vooroorlogse particuliere woningen in de transitie naar een aardgasvrije energie-infrastructuur.
Uitvoerders project	TNO (penvoerder), GreenHome/Regionaal Energieloket, Duurzaam Bouwloket, AaCee
Looptijd project	01-01-2019 t/m 30-06-2020

Het project is uitgevoerd met subsidie van het Ministerie van Economische Zaken, Nationale regelingen EZ-subsidies, Topsector Energie uitgevoerd door Rijksdienst voor Ondernemend Nederland

Management samenvatting

De komende jaren zal de Nederlandse woningvoorraad verduurzaamd moeten worden en van het aardgas af moeten gaan. Er bestaat behoefte aan inzicht in de randvoorwaarden voor de Nederlandse gebouwvoorraad voor een transitie naar een nieuwe energie-infrastructuur, in het bijzonder voor vooroorlogse woningen met hun bouwkundige beperkingen voor renovatie.

De onderzoeksvraag is of en zo ja, hoe vooroorlogse woningen kunnen worden verbeterd om ze geschikt te maken voor een transitie naar een aardgasvrije energie-infrastructuur.

Het onderzoek naar het aardgasvrij maken van vooroorlogse woningen omvat een aantal stappen:

1. Inventarisatie van in Nederland veel voorkomende typen van (grondgebonden) vooroorlogse woningen en het opstellen van maatregelpakketten voor realistische renovaties.
2. Het benoemen van een aantal knelpunten en innovatiebehoefte voor het verduurzamen van deze woningen.
3. Het doorrekenen van de maatregelpakketten voor vier vooroorlogse woningtypen.

Stap 1 Inventarisatie vooroorlogse woningen.

Er is begonnen met een inventarisatie van in Nederland veel voorkomende typen van vooroorlogse grondgebonden woningen. Dit heeft geleid tot onderstaande indeling, weergegeven in Tabel 1.

Tabel 1. Vooroorlogse grondgebonden woningtypen.

	Bouwjaar	Kenmerk
	Tussenwoning < 1920	Enkel steens
	Tussenwoning 1921 - 1930	Enkel steens
	Tussenwoning 1921 - 1944	Spouwmuur
	Twee - onder - kap < 1920	Enkel steens
	Twee - onder - kap 1921 - 1930	Enkel steens
	Twee - onder - kap 1921 - 1945	Spouwmuur
	Vrijstaand < 1920	Enkel steens
	Vrijstaand 1921 - 1930	Enkel steens
	Vrijstaand 1921 - 1945	Spouwmuur
	Stolp < 1920	Enkel steens

Voor elk van deze typen is een bestaande woning 'opgenomen', dat wil zeggen dat de karakteristieken van de woning en van het (energie-gerelateerde) gedrag van de bewoners m.b.v. een vragenlijst zijn vastgesteld door een energie-adviseur.

Bij de opnames zijn ook knelpunten benoemd in de toepasbaarheid van bepaalde maatregelen voor de verduurzaming van de woning. Zo is de aanwezigheid van een kruipruimte of spouwmuur van grote invloed op de mogelijke isolatie van deze schildelen. Ook zijn er in sommige gevallen belemmeringen rondom het aanbrengen van hoog rendement glas. De verzameling van de meest voorkomende bouwkundige issues met mogelijke oplossingen is weergegeven in Tabel 2. Deze tabel is tot stand gekomen op basis van de praktische kennis en expertise van Duurzaam Bouwloket en het Regionaal Energieloket, ondersteund door bouwfysische expertise van AaCee.

Tabel 2: Bouwfysische kenmerken van vooroorlogse woningen en bijbehorende mogelijke aandachtspunten en consequenties bij renovatie.

Schil-deel	Mogelijke uitvoeringen bij bouw	Bijbehorende potentiële issues	Mogelijke consequenties/ Aandachtspunten	Mogelijke oplossingen/ maatregelen
Vloer	Op het zand	Traditionele kruipruimte isolatie niet mogelijk	Vochtproblematiek	Uitgraven kruipruimte/ nieuwe vloer leggen/ of isolatie op de vloer aanbrengen
	Lage kruipruimte (<50 cm)	Vloerisolatie niet mogelijk	Vochtproblematiek	Bodemisolatie mogelijk/ Uitgraven kruipruimte/ Nieuwe vloer aanleggen
	Hoge kruipruimte (>= 50 cm)	Geen	Vochtproblematiek	Vloerisolatie mogelijk/ Nieuwe vloer aanleggen
Gevel	Geen spouw of te dunne spouw (< 4 cm)	Spouwmuur-isolatie niet mogelijk	Kwaliteit afwerking buitengevel, warmteverlies kopgevel bij hoekhuis, beschermde status, vochtproblematiek	Buitengevelisolatie, binnengevelisolatie
	Met spouw	Spouwmuurisolatie niet altijd mogelijk/ voldoende	Warmteverlies kopgevel bij hoekhuis, geverfde/geglazuurd buitengevel	Spouwmuurisolatie, buitengevelisolatie, binnengevelisolatie
Glas		Modern glas mag of kan niet toegepast worden	Dikte kozijnen, beschermde status woning	Voorzetramen, HR+(+) glas, Triple glas, Vacuümglas
Dak	Schuin	Dakisolatie buitenzijde/ zoldervloerisolatie niet altijd mogelijk	Vochtproblematiek, beschermde status	Dakisolatie binnenzijde/ buitenzijde, zoldervloerisolatie
	Plat	Dakisolatie binnenzijde af te raden/ zoldervloerisolatie niet mogelijk	Vochtproblematiek	Dakisolatie buitenzijde/ mogelijk dakisolatie binnenzijde

Om toch ook bij deze belemmeringen opties voor renovaties aan te bieden zijn er drie verschillende maatregelpakketten voor schilisolatie opgesteld die rekening houden met bovenstaande beperkingen. Deze kunnen enigszins verschillen per woningtype, afhankelijk van de mogelijkheden van te nemen maatregelen, maar in algemene zin zijn het de volgende maatregelpakketten:

- Pakket 1: **Beperkte isolatie**; In dit pakket wordt niet elk schildeel van de woning aangepakt en de toepassing houdt vaak een beperkte toename in isolatiewaarde in. De maatregelen in dit pakket omvatten het laaghangende fruit en zijn geen garantie dat de woning voldoet aan de toekomstige infrastructuur.

- Pakket 2: **Goede isolatie**; Er worden meer schildelen aangepakt dan in het 'beperkte isolatie' pakket en de isolatie wordt hoogwaardiger uitgevoerd. Met als doel dat de woning in ieder geval geschikt is voor een midden-temperatuur warmtenet.
- Pakket 3: **Zeer goede isolatie**; Alle schildelen worden aangepakt en op nieuwbouwstandaard of zelfs beter uitgevoerd. Vaak betekent dit het geheel vervangen of opnieuw opbouwen van schildelen. Met als doel dat de woning ook op lage temperatuur verwarmd kan worden.

De drie pakketten zijn al dan niet gecombineerd met een pakket voor verbetering van de kierdichting en beperken van de ventilatieverliezen door het toepassen van een balansventilatiesysteem met warmterugwinning (WTW), wat het aantal beschouwde pakketten op zes brengt. De bouwtypen van vooroorlogse bouw, maatregelpakketten en aandachtspunten zijn in meer detail beschreven in deelrapport 1¹.

Stap 2 Knelpunten en gewenste innovaties

Vanuit praktisch oogpunt is gekeken naar de aanpak en uitvoering van deze renovatiemaatregelen en zijn de bijbehorende praktische en bouwfysische knelpunten in kaart gebracht.

Een knelpunten bij vooroorlogse woningen is dat vaak vanwege het stadsgezicht wordt gekozen voor binnenisolatie. Dit heeft bouwfysisch gezien zeker niet de voorkeur gezien een aantal mogelijke problemen, zoals inwendige condensatie of scheurvorming in gevels.

Een ander knelpunt is verkeerd ventilatiegedrag door bewoners, zoals het openen of sluiten van ramen en roosters op bouwfysisch of luchttechnisch gezien 'verkeerde' momenten, of te laag of geheel uit zetten van het ventilatiesysteem.

Een product waar grote behoefte aan bestaat is hoogwaardige isolatie met een geringe dikte. In renovaties, waar vaak beperkte (fysieke) ruimte aanwezig is om isolatiematerialen toe te passen, biedt dat vele voordelen. Enkele (nog niet marktrijpe) oplossingen zijn in aanleg bruikbaar met kans van slagen, zoals de Qavity vacuümvulling voor spouwmuren en bijvoorbeeld Nanotech Inside, een pleisterlaag en thermische coating als isolatiemaatregel.

In het kader van passieve maatregelen om oververhitting te voorkomen bestaat er een innovatiebehoefte aan inbraakvrije spuisvoorzieningen met een meer klassieke of monumentale uitstraling die acceptabel zijn in een beschermd vooroorlogs stadsgezicht.

Verder is gekeken welke verbeteringen of aanpassingen noodzakelijk zijn om de verduurzaming van vooroorlogse woningen op grote schaal mogelijk te maken.

Algemeen wordt verondersteld dat het industrialiseren van renovatieoplossingen doorslaggevend zal zijn voor het realiseren van schaalgrootte en kostenefficiëntie, beide noodzakelijk voor het behalen van de klimaatambities. Daarvoor zijn gestandaardiseerde of industrieel te produceren (renovatie)pakketten nodig voor energiebesparing, duurzame warmte en koude, en schone elektriciteit.

¹ *Overzicht van typen vooroorlogse bouw, potentiële energiebesparende maatregelen en issues, deelrapport 1 van TKI project RenoTrans, 2020*

Fabricage van geïntegreerde gevel- en dak elementen zal meer richting massaproductie moeten gaan om de doelstellingen van de energietransitie te kunnen halen. Een voorbeeld hiervan is het INDU-ZERO project waarin wordt uitgegaan op een standaard renovatiepakket dat met minimale aanpassingen breed kan worden toegepast.

Daarnaast is de verwachting dat industrialisatie zal leiden tot een breder aanbod van producten/ materialen, ook voor de doe-het-zelf markt. En zal leiden tot kostenreductie in combinatie met kwaliteitsverbetering en -garantie.

Voor de beoordeling van milieuaspecten van te gebruiken of nog te ontwikkelen renovatiepakketten zal naast de focus op de energieprestaties (EPG) ook meer aandacht komen voor de milieuaspecten en wordt de milieuprestatie (MPG) opportuin.

De verwachting is dat het circulaire materiaalgebruik van gebouwinstallaties steeds belangrijker wordt. Bij nieuwbouw is het materiaalgebruik van gebouwinstallaties 30-35% van het totale materiaalgebruik, en dit alleen maar toe zal nemen naarmate gebouwen meer richting energieneutraal gaan.

Stap 3. Doorrekenen maatregelpakketten voor een aardgasvrije energie infrastructuur

Met behulp van een TNO-rekenmodel zijn de zes maatregelpakketten ('beperkte isolatie', Goede isolatie, Zeer goede isolatie, al dan niet in combinatie met WTW en verbeterde kierdichting) doorgerekend voor een viertal veel voorkomende vooroorlogse woningen. Daarbij is onderzocht welke pakketten de woning geschikt maken voor toepassing van een aardgasvrije energie infrastructuur.

Specifiek zijn er berekeningen gemaakt van de uurlijkse warmtevraag gedurende een jaar en is gekeken of het thermisch vermogen voldoende kan worden teruggebracht voor toepassing van een midden-temperatuur (MT) warmtenet, een laag-temperatuur (LT) warmtenet of een warmtepomp. De resultaten worden hierna toegelicht.

Reductie van het thermisch vermogen door de maatregelpakketten

Bij toepassing van een warmtenet of warmtepomp neemt ook de temperatuur van het cv-water af, en daarmee het thermisch vermogen van het afgiftesysteem in de woning (radiatoren etc.) Bij een midden-temperatuur (MT) warmtenet² is de afname van de warmteafgifte ca. 36%, bij een laag-temperatuur (LT) warmtenet of een warmtepomp³ is de afname ca. 68%.

Door de toepassing van maatregelpakketten heeft de woning lagere warmteverliezen en daardoor is er minder thermisch vermogen van het verwarmingssysteem nodig om de woning warm te houden. Deze afname van het thermisch vermogen moet groter zijn dan 36% om een MT-warmtenet te kunnen toepassen en meer dan 68% om een LT- warmtenet of een warmtepomp te kunnen toepassen.

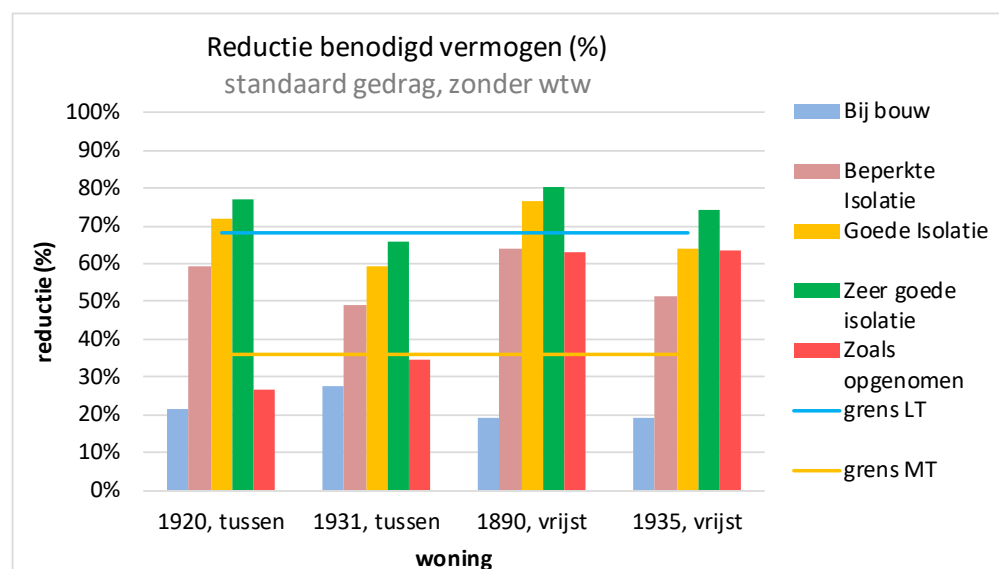
² Bij een (MT) warmtenet wordt uitgegaan van een aanvoertemperatuur van het cv-water van 70°C en een retourtemperatuur van 55°C.

³ Bij een (LT) warmtenet of een warmtepomp wordt uitgegaan van een aanvoertemperatuur van het cv-water van 50°C en een retourtemperatuur van 40°C.

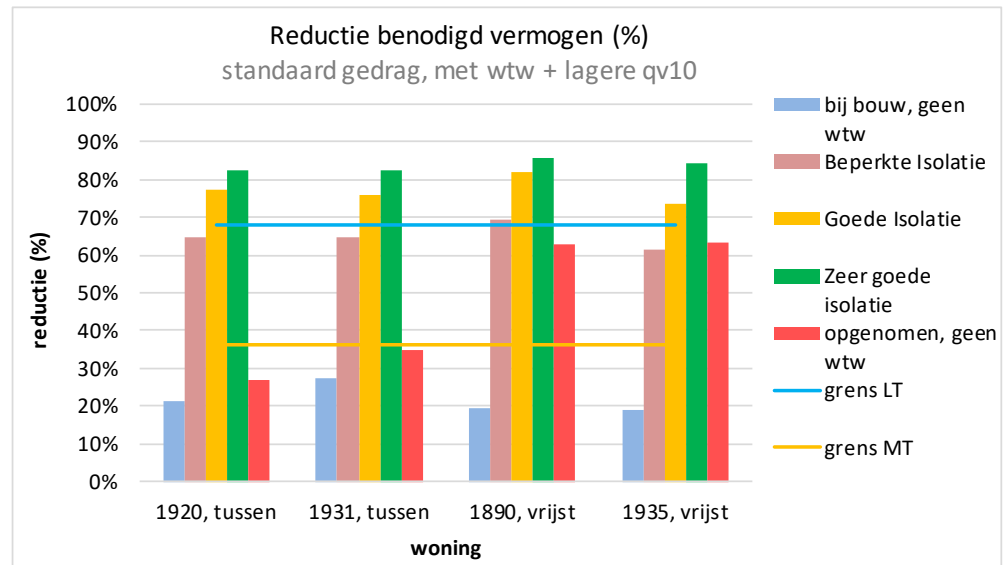
In deze scenario's is gerekend zonder toepassing van nachtverlaging omdat nachtverlaging leidt tot een piek in verwarmingsvermogen in de ochtend die we niet wilden meenemen.

De resultaten van de berekeningen met het TNO-model zijn in Figuur 7 en Figuur 8 weergegeven voor 4 woningen met verschillende maatregelpakketten. Figuur 7 toont de resultaten zonder en Figuur 8 de resultaten met toepassing van warmteterugwinning en verbeterde kierdichting.

Zoals hierboven aangegeven, is een woning met een bepaald maatregelpakket geschikt voor toepassing van een LT-warmtenet als de gerealiseerde reductie (de balken in onderstaande figuren) groter is dan de horizontale lijn van 68%. Voor een MT-warmtenet is dat de lijn van 36%.



Figuur 1: Reductie in (piek) verwarmingsvermogen ten opzichte het geïnstalleerd vermogen in scenario's zonder nachtverlaging. De drie maatregelpakketten zijn zonder toepassing van warmteterugwinning en verbetering kierdichting.



Figuur 2: Reductie in (piek) verwarmingsvermogen ten opzichte het geïnstalleerd vermogen in scenario's zonder nachtverlaging. De drie maatregelpakketten zijn met toepassing van warmteterugwinning en verbetering kierdichting.

Toepassing van een MT-warmtenet blijkt bijvoorbeeld mogelijk bij alle pakketten met schilverbetering voor alle vier de woningen. Toepassing van een LT-warmtenet (of een warmtepomp met cv-water op 50°C) voor alle vier de woningen is alleen mogelijk bij de pakketten 'goede isolatie' en 'zeer goede isolatie' in combinatie met warmteterugwinning en verbeterde kierdichting.

Kosten

Voor een goede inschatting van de kosten van de verschillende renovatiemaatregelen zijn prijzen gebruikt uit de interne kostendatabase van GreenHome/Regionaal Energieloket. Ter validatie is aanvullend gebruik gemaakt van informatie van Arcadis⁴ (hierna te noemen het 'Arcadis-rapport'). Daar waar nodig is er ook in enkele gevallen direct contact opgenomen met erkende installateurs uit het bestaande netwerk van het Regionaal Energieloket.

Een overzicht van de kosten per maatregel is te vinden in Tabel 8.

⁴ Arcadis, 'Actualisatie Investeringskosten Energiebesparende maatregelen bestaande woningbouw', 2019

Tabel 3: Investeringskosten van de verschillende isolatiemaatregelen per vierkante meter van het te renoveren schildeel en de totale kosten voor verbeterde luchtdichtheid en een ventilatiesysteem met warmteterugwinning.

Isolatiemaatregelen		Prijs per vierkante meter	Opmerkingen
Vloerisolatie	Bodemisolatie	€ 26	A
	Nieuwe (geïsoleerde) vloer	€ 210	
Gevelisolatie	Spouwmuurisolatie	€ 16	B
	Binnengevelisolatie	€ 85	
	Buitengevelisolatie	€ 225	
Glas	Dubbel glas	€ 125	C
	HR+(+) glas	€ 170	D
	HR+++ glas	€ 525	E
Dakisolatie	Zoldervloerisolatie	€ 25	
	Dakisolatie binnenzijde	€ 80	
	Dakisolatie buitenzijde	€ 230	
Infiltratie- / Ventilatie maatregelen		Totale kosten	
Centraal ventilatiesysteem met WTW, incl. verbeteren luchtdichtheid		€ 7.000	F

A In sommige woningen is het vloeroppervlak zo klein dat een minimumprijs van € 835,- gehanteerd wordt.

B In sommige woningen is het geveleppervlak zo klein dat een minimumprijs van € 810,- gehanteerd wordt.

C De prijs voor dubbelglas is ingeschat op ongeveer 75 % van de huidige prijs voor HR+ glas

D Het onderscheid in kosten tussen HR+ en HR++ is verwaarloosbaar

E De kosten voor HR+++ glas zijn inclusief de kosten voor het vervangen van de kozijnen

F De kosten voor naad- en kierdichting vallen gedeeltelijk ook binnen de investeringen voor de verschillende isolatiemaatregelen. In het algemeen hebben deze kosten dan ook geen significante invloed op de totale kosten van de maatregelpakketten.

De energiebesparingen en de kosten (incl. btw) voor de verschillende pakketten zijn gebruikt voor het berekenen van een eenvoudige terugverdientijd ⁵.

Hierbij zijn de volgende aannames gedaan:

- Alle (energie)besparingen en kosten zijn berekend t.o.v. de woning bij de bouw.
- Om de kosten van de schilmaatregelen zo zuiver mogelijk te presenteren wordt in alle gevallen uitgegaan van een HR-ketel en blijft de installatie onveranderd. De extra kosten die samenhangen met de overstap op een warmtenet of warmtepomp zijn dus niet meegenomen.
- Een constante gasprijs van €0,78 per m³.

De resultaten zijn weergegeven in Tabel 9.

Tabel 4: Terugverdientijden van de verschillende maatregelpakketten, met en zonder warmteterugwinning, voor de vier beschouwde woningen.

Maatregelpakketten:	Terugverdientijd (in jaren)					
	Beperkte isolatie		Goede isolatie		Zeere goede isolatie	
	zonder WTW	met WTW	zonder WTW	met WTW	zonder WTW	met WTW
Tussenwoning 1920	9	14	7	11	20	23
Tussenwoning 1931	10	14	7	10	23	23
Vrijstaande woning 1890	6	8	5	6	15	16
Vrijstaande woning 1935	9	10	7	8	23	22

Opvallend is vooral dat de terugverdientijd van het 'goede isolatie' pakket met warmteterugwinning veel gunstiger is dan het 'zeer goede isolatiepakket' zonder warmteterugwinning.

⁵ De eenvoudige terugverdientijd (in jaren) zijn de kosten (in EUR) gedeeld door de jaarlijkse energiebesparing (in EUR/jaar).

Conclusies

De resultaten uit het onderzoek geven aanleiding tot de volgende conclusies:

- De resultaten tonen aan dat een MT-warmtenet kan worden toegepast in alle vier onderzochte woningen bij de drie maatregelpakketten, zowel met als zonder warmteterugwinning en verbeterde kierdichting. Een LT-warmtenet kan alleen in alle vier onderzochte woningen worden toegepast bij de pakketten 'goede isolatie' en 'zeer goede isolatie', beiden in combinatie met warmteterugwinning en verbeterde kierdichting.
- Gelet op het geheel van geschiktheid voor een LT-warmtenet (of een warmtepomp met cv-water op 50°C), terugverdientijd en energiebesparing, scoort het pakket 'goede isolatie' in combinatie met warmteterugwinning (en verbeterde kierdichting) het beste van de onderzochte pakketten. De kosten hiervan bedragen € 15.000, - tot € 30.000, afhankelijk van het type woning, die zich in 8-11 jaar terugverdienen.
- Het gehanteerde criterium van een minimaal benodigd thermisch vermogen geeft aan wat de uiterste grens is voor toepassing van lagere aanvoertemperaturen (LT of MT). In die gevallen waarbij er net aan het criterium wordt voldaan is het niet uitgesloten dat er op de koudste dagen lokaal discomfort optreedt. Dat kan bijvoorbeeld het geval zijn bij woningen met grote raamoppervlakken en glas met een hogere U-waarde dan HR++-glas, waarbij er nabij de ramen koudeval optreedt en het er minder comfortabel is.
- Het is uiteraard ook mogelijk het aantal radiatoren te verhogen, de radiatoren te vervangen door een variant met een groter warmtewisselend oppervlak of vloerverwarming aan te leggen om het afgiftevermogen te verhogen. Dit is verder niet onderzocht.
- Het onderzoek heeft zich beperkt tot vier veel voorkomende vooroorlogse grondgebonden woningen. Om bovenstaande conclusie meer algemeen geldig te maken, zou het onderzoek uitgebreid moeten worden tot alle 10 grondgebonden woningtypen uit Tabel 1 en een aantal appartementen.
- Uitvoering van de zes voorgestelde maatregelpakketten bij de onderzochte vooroorlogse woningen is mogelijk met bestaande technieken en producten, al zou de renovatie-opgave aanzienlijk worden vergemakkelijkt met bijvoorbeeld dunne, hoogwaardige thermische isolatie.
- Grootste knelpunt is het risico op vocht- en schimmelproblemen bij onvakkundige renovaties, met name bij toepassing van binnenisolatie.
- Voor een versnelling/opschaling van de benodigde renovaties zijn innovaties nodig op het gebied van industrialisatie of minstens een grootschalige prefabricage van geveldelen.

Inhoudsopgave

	Management samenvatting	2
1	Inleiding	12
2	Aanpak.....	13
3	Resultaten	14
3.1	Overzicht van typen vooroorlogse bouw, mogelijke issues en potentiële energiebesparende maatregelen.....	14
3.2	Knelpunten en innovatiebehoefte bij het terugdringen van de warmtevraag in vooroorlogse bouw	18
3.3	Renovatieconcepten om de vooroorlogse bouw aardgasvrij-ready te maken	22
3.4	Discussie	31
3.5	Conclusie en aanbevelingen	32
3.6	Mogelijkheden voor spin-off en vervolgvactiteiten	33
4	Bijdrage van het project aan de doelstellingen van de regeling	34
4.1	Duurzame energiehuishouding.....	34
4.2	Versterking van de Nederlandse kennispositie	34
4.3	Spin-off binnen en buiten de sector.....	34
4.4	Overzicht van openbare publicaties over het project en waar deze te vinden of te verkrijgen zijn.....	34
4.5	Contactpersoon	35
5	Ondertekening	36

1 Inleiding

De komende jaren zal de Nederlandse woningvoorraad verduurzaamd moeten worden en van het aardgas afgaan. Er bestaat behoefte aan inzicht in de randvoorwaarden voor de Nederlandse gebouwvoorraad voor een transitie naar een nieuwe energie-infrastructuur, in het bijzonder voor vooroorlogse woningen met hun bouwkundige beperkingen voor renovatie.

Het doel van het project is het krijgen van inzicht in realistische maatregelpakketten voor substantiële energiebesparing van vooroorlogse particuliere woningen in de transitie naar een aardgasvrije energie-infrastructuur. Het gaat daarbij om concrete mogelijkheden en onmogelijkheden als gevolg van bouwkundige en stedenbouwkundige randvoorwaarden bij vooroorlogse woningen en om randvoorwaarden die een nieuwe energie-infrastructuur met zich meebrengt.

Gezien het beschikbare budget en de benodigde diepgang van de aanpak, is het onderzoek beperkt tot grondgebonden woningen. Verder is enkel de warmtevraag voor ruimteverwarming beschouwd. Een aardgasvrije warm tapwatervoorziening is vooral een installatietechnisch vraagstuk, dat buiten het kader van deze opdracht valt.

De onderzoeksvraag is of en zo ja, hoe vooroorlogse woningen kunnen worden verbeterd om ze geschikt te maken voor een transitie naar een aardgasvrije energie-infrastructuur.

Parallel aan dit project liep het project 'Noord-Holland Aardgasvrij', uitgevoerd in opdracht van de Provincie Noord-Holland. In dat project is onderzoek gedaan naar vooroorlogse woningen. In beide projecten is gebruik gemaakt van een rekenmodel met gebruikersmodule, die (energie-gerelateerd) gedrag van bewoners vertaalt naar invoer voor het rekenmodel. In de rapportages van beide projecten is een min of meer dezelfde, generieke beschrijving van het rekenmodel en gebruikersmodule gebruikt.

2 Aanpak

Het onderzoek naar het aardgasvrij maken van vooroorlogse woningen omvat een aantal stappen:

1. Inventarisatie van in Nederland veel voorkomende typen van (grondgebonden) vooroorlogse woningen en het opstellen van maatregelpakketten voor realistische renovaties.
2. Het benoemen van een aantal knelpunten en innovatiebehoefte voor het verduurzamen van deze woningen.
3. Het doorrekenen van de maatregelpakketten voor vier vooroorlogse woningtypen. Daarbij is specifiek gekeken of de woningen met deze pakketten bij een aardgasvrije energievoorziening met lagere aanvoertemperaturen zoals laag-temperatuur (LT) of midden-temperatuur (MT) warmtenetten of een warmtepomp nog goed en comfortabel warm te houden zijn.

Stap 1 Inventarisatie vooroorlogse woningen.

Er is begonnen met een inventarisatie van in Nederland veel voorkomende typen van grondgebonden woningen. Voor elk van deze typen is een in werkelijkheid voorkomende woning 'opgenomen', dat wil zeggen dat de karakteristieken van de woning en het (energie-gerelateerde) gedrag van de bewoners m.b.v. een vragenlijst zijn vastgesteld door een energie-adviseur. Voor alle typen vooroorlogse woningen is geïnventariseerd tegen welke issues men aanloopt bij de renovatie naar een energiezuinige woning. Mede op basis hiervan zijn maatregelpakketten opgesteld zoals gevelisolatie, warmteterugwinning van ventilatielucht etc. De resultaten worden beschreven in paragraaf 3.1.

Stap 2 Knelpunten en gewenste innovaties

Vervolgens is beschreven wat de knelpunten zijn om de energietransitie mogelijk te maken, en is een overzicht gegeven van gewenste innovaties op het gebied van installatie, gebouwschil en op het gebied van het bouwproces. De resultaten worden beschreven in paragraaf 3.2.

Stap 3. Doorrekenen maatregelpakketten voor een aardgasvrije energie infrastructuur

Tenslotte zijn de opgestelde maatregelpakketten doorgerekend, en is gekeken welke pakketten de woning geschikt maken voor toepassing van een aardgasvrije energie infrastructuur.

Specifiek zijn er berekeningen gemaakt van de uurlijkse warmtevraag gedurende een jaar en is gekeken of de warmtevraag voldoende kan worden teruggebracht voor toepassing van een midden-temperatuur (MT) warmtenet, een laag-temperatuur (LT) warmtenet of een warmtepomp.

De resultaten zijn vergeleken met resultaten uit studies naar effecten van verschillende concepten op bijvoorbeeld netverzwaring zoals die bijvoorbeeld zijn uitgevoerd door Nieman. Daarbij is tevens gekeken naar acceptabele kosten voor bewoner bij een comfortabel binnenmilieu. De resultaten worden beschreven in paragraaf 3.3.

3 Resultaten

3.1 Overzicht van typen vooroorlogse bouw, mogelijke issues en potentiële energiebesparende maatregelen

Inventarisatie vooroorlogse woningvoorraad.

De particuliere vooroorlogse woningbouw is ingedeeld in 10 verschillende woningtypen. Gezien het beschikbare budget en de benodigde diepgang van de aanpak, is het onderzoek beperkt tot grondgebonden woningen. Deze woningen maken 60% van de Nederlandse gebouwvoorraad uit⁶.

De belangrijkste uitgangspunten voor de indeling zijn dat de bouwfysische eigenschappen per klasse grotendeels uniform zijn en dat de woningtypen gezamenlijk een goede afspiegeling vormen van de vooroorlogse woningvoorraad.

Daarbij is onder meer gekeken naar de historische ontwikkeling van woningen en de geldende bouwregelgeving. De woningwet van 1901 was hierbij een belangrijke ontwikkeling en heeft de basis gelegd voor een gezonde en gestructureerde bouw met relatief uniforme bouwfysische eigenschappen.

Zo is vastgesteld dat vele vooroorlogse woningen zich kenmerken door massieve, vaak steens- of anderhalfsteens muren, waarbij tussen 1906 tot 1944 de spouwmuur steeds meer zijn intrede doet. In het kader van deze studie is de aanwezigheid dan wel afwezigheid van een spouwmuur het belangrijkste bouwfysische criterium voor de definitie van de verschillende woningtypen. Daarnaast zijn het overgrote deel van de vooroorlogse woningen voorzien van houten dak- en vloerconstructies met lage of geen kruipruimtes.

Aanvullend op het bovenstaande is er een onderscheidt gemaakt op basis van de geometrie van de woning, in drie categorieën:

- Tussenwoningen;
- Twee-onder-één kap woningen/ hoekwoningen en;
- Vrijstaande woningen.

Daarnaast is een met name in Noord-Holland veel voorkomende stolpboerderij in de lijst opgenomen. De indeling is weergegeven in Tabel 5.

⁶ WoonOnderzoek Nederland 2015

Tabel 5: Vooroorlogse grondgebonden woningtypen.

	Bouwjaar	Kenmerk
	Tussenwoning < 1920	Enkel steens
	Tussenwoning 1921 - 1930	Enkel steens
	Tussenwoning 1921 - 1944	Spouwmuur
	Twee - onder - kap < 1920	Enkel steens
	Twee - onder - kap 1921 - 1930	Enkel steens
	Twee - onder - kap 1921 - 1945	Spouwmuur
	Vrijstaand < 1920	Enkel steens
	Vrijstaand 1921 - 1930	Enkel steens
	Vrijstaand 1921 - 1945	Spouwmuur
	Stolp < 1920	Enkel steens

Identificatie mogelijke issues

Voor elk van de tien geselecteerde woningtypen is een representatieve woning gedetailleerd in kaart gebracht door middel van een woningopname door een energie-adviseur inclusief een interview met de bewoners.

Zo is uit de opnames onder andere gebleken dat in geen van de opgenomen woningen de gehele woning wordt verwarmd. De eerste verdieping wordt gemiddeld voor 32% verwarmd en de zolder in 20% van de gevallen. De slaapkamers wordt daarentegen aanzienlijk vaker dan verwacht geventileerd door ramen op een kierstand te zetten, met een gemiddelde van 8-9 uur per dag in het stookseizoen. Verder past 90% van de ondervraagden nachtverlaging toe met een gemiddelde temperatuur van 16,5 graden Celsius.

Op basis van deze opnames zijn zowel bouwkundige als gedrag-specifieke issues geïventariseerd die van belang zijn bij het renoveren van de woning. De meest voorkomende bouwkundige issues en mogelijke oplossingen zijn samengevat in Tabel 6. Deze tabel is tot stand gekomen op basis van de praktische kennis en expertise van Duurzaam Bouwloket en het Regionaal Energieloket, ondersteund door bouwfysische expertise van AaCee.

Tabel 6: Bouwfysische kenmerken van vooroorlogse woningen en bijbehorende mogelijk aandachtspunten en consequenties bij renovatie.

Schil-deel	Mogelijke uitvoeringen bij bouw	Bijbehorende potentiële issues	Mogelijke consequenties/Aandachtspunten	Mogelijke oplossingen/maatregelen
Vloer	Op het zand	Traditionele kruipruimte isolatie niet mogelijk	Vochtproblematiek	Uitgraven kruipruimte/ nieuwe vloer leggen/ of isolatie op de vloer aanbrengen
	Lage kruipruimte (<50 cm)	Vloerisolatie niet mogelijk	Vochtproblematiek	Bodemisolatie mogelijk/ Uitgraven kruipruimte/ Nieuwe vloer aanleggen
	Hoge kruipruimte (>= 50 cm)	Geen	Vochtproblematiek	Vloerisolatie mogelijk/ Nieuwe vloer aanleggen
Gevel	Geen spouw of te dunne spouw (< 4 cm)	Spouwmuur-isolatie niet mogelijk	Kwaliteit afwerking buitengevel, warmteverlies kopgevel bij hoekhuis, beschermde status, vochtproblematiek	Buitengevelisolatie, binnengevelisolatie
	Met spouw	Spouwmuurisolatie niet altijd mogelijk/ voldoende	Warmteverlies kopgevel bij hoekhuis, geverfde/geglazuurd buitengevel	Spouwmuurisolatie, buitengevelisolatie, binnengevelisolatie
Glas		Modern glas mag of kan niet toegepast worden	Dikte kozijnen, beschermde status woning	Voorzetramen, HR+(+) glas, Triple glas, Vacuümglas
Dak	Schuin	Dakisolatie buitenzijde/ zoldervloerisolatie niet altijd mogelijk	Vochtproblematiek, beschermde status	Dakisolatie binnenzijde/ buitenzijde, zoldervloerisolatie
	Plat	Dakisolatie binnenzijde af te raden/ zoldervloerisolatie niet mogelijk	Vochtproblematiek	Dakisolatie buitenzijde/ mogelijk dakisolatie binnenzijde

Maatregelpakketten voor realistische renovaties

Bouwkundig is de aanwezigheid van een kruipruimte of spouwmuur van grote invloed op de mogelijke isolatie van deze schildelen. Ook zijn er in sommige gevallen belemmeringen rondom het aanbrengen van hoog rendement glas.

Om toch ook bij deze belemmeringen opties voor renovaties aan te bieden zijn er drie verschillende pakketten voor schilisolatie opgesteld die rekening houden met bovenstaande beperkingen.

- Pakket 1: **Beperkte isolatie**; In dit pakket wordt niet elk schildeel van de woning aangepakt en de toepassing houdt vaak met een beperkte toename in isolatiewaarde in. De maatregelen in dit pakket omvatten het laaghangende fruit en zijn geen garantie dat de woning voldoet aan de toekomstige infrastructuur.
- Pakket 2: **Goede isolatie**; Er worden meer schildelen aangepakt dan in het 'beperkte isolatie' pakket en de isolatie wordt hoogwaardiger uitgevoerd. Met als doel dat de woning in ieder geval geschikt is voor een midden-temperatuur warmtenet.
- Pakket 3: **Zeere goede isolatie**; Alle schildelen worden aangepakt en op nieuwbouwstandaard of zelfs beter uitgevoerd. Vaak betekent dit het geheel vervangen of opnieuw opbouwen van schildelen. Met als doel dat de woning ook op lage temperatuur verwarmd kan worden.

De pakketten zijn samengevat in Tabel 7.

Tabel 7: Drie ambitieniveaus van pakketten voor isolatie van de gebouwschil.

Isolatiepakket	Schildeel	Bouwjaar:		Aanpassing	Aanpassing	
		< 1925	1925 - 1945			
Eigenschappen:		Geen Spouwmuur Geen isolatie bij de bouw		Dunne spouw Geen isolatie bij de bouw		
Beperkte isolatie:	Vloer	Geen vloerisolatie, Rc=0,13	-	Geen vloerisolatie, Rc=0,13	-	
	Gevel	Binnengevelisolatie, Rc=1,5	✓	Spouwmuurisolatie, Rc=1,5	✓	
	Glas	Beneden	Dubbel glas, U=2,7	o	Dubbel glas, U=2,7	o
		Boven	Dubbel glas, U=2,7	o	Dubbel glas, U=2,7	o
	Dak	Zoldervloerisolatie, Rc=2,5	✓	Zoldervloerisolatie, Rc=2,5	✓	
Goede isolatie:	Vloer	Bodemisolatie, Rc=2	✓	Bodemisolatie, Rc=2	✓	
	Gevel	Binnengevelisolatie, Rc=3,5	✓	Spouwmuurisolatie, Rc=1,5	✓	
	Glas	Beneden	HR+ glas, U=1,7	✓	HR++ glas, U=1,3	✓
		Boven	Dubbel glas, U=2,7	o	Dubbel glas, U=2,7	o
	Dak	Dakisolatie binnenzijde, Rc=4	✓	Dakisolatie binnenzijde, Rc=4	✓	
Zeere goede isolatie:	Vloer	Vloerisolatie / Nieuwe vloer, Rc=4,5	✓	Vloerisolatie / Nieuwe vloer, Rc=4,5	✓	
	Gevel	Buitengevelisolatie, Rc=4,5	✓	Spouw + Buitengevelisolatie, Rc=4,5	✓	
	Glas	Beneden	HR+++ glas, U=0,9	✓	HR+++ glas, U=0,9	✓
		Boven	HR+ glas, U=1,7	✓	HR++ glas, U=1,3	✓
	Dak	Dakisolatie buitenzijde, Rc=6	✓	Dakisolatie buitenzijde, Rc=6	✓	

Legenda

-	Geen aanpassing aan schildeel bij renovatiemoment, conditie zoals bij de bouw.
o	Geen aanpassing aan schildeel bij renovatiemoment, in het verleden al uitgevoerd.
✓	Aanpassing aan schildeel bij renovatiemoment.

De drie pakketten zijn al dan niet gecombineerd met een pakket dat bestaat uit een tweetal aanvullende maatregelen, te weten 1) balansventilatiesysteem met warmteterugwinning om de ventilatieverliezen te verminderen en 2) het verbeteren van de kierdichting. Dit brengt het aantal beschouwde pakketten op zes.

3.2 Knelpunten en innovatiebehoefte bij het terugdringen van de warmtevraag in vooroorlogse bouw

Vanuit praktisch oogpunt is gekeken naar de aanpak en uitvoering van deze renovatiemaatregelen en zijn de bijbehorende praktische en bouwfysische knelpunten in kaart gebracht. Daarbij is gekeken hoe om te gaan met deze knelpunten en welke verbeteringen of aanpassingen noodzakelijk zijn om de verduurzaming van vooroorlogse woningen op grote schaal mogelijk te maken. Verder is aandacht besteed aan innovaties, industrialisatie en circulariteit m.b.t. te nemen renovatiemaatregelen.

Maatregelen en knelpunten

Een belangrijke constatering is dat afzonderlijke maatregelen zoals isoleren, kierdichten en ventileren vaak wel duidelijk en op zichzelf goed uitvoerbaar zijn, maar dat de onderlinge samenhang ook essentieel is, gezien de vaak aanwezige onderlinge interactie. Beter isoleren en kierdichten heeft consequenties voor het binnenklimaat en dus ook voor het benodigde ventilatiesysteem. Behalve een energiezuinige woning is comfort en gezond binnenklimaat gewenst. Een integrale aanpak is hierbij sterk aan te bevelen.

Energie besparen begint met verminderen van de vraag. Voor een gebouw of woning betekent dat isoleren van de gebouwschil en als het koud is, niet méér ventileren dan nodig is, en zo mogelijk warmteterugwinning uit de ventilatielucht toepassen.

Bij nieuwbouw zijn er minimale eisen voor de isolatiewaarde, maar het is altijd interessant om verder te gaan en een optimale isolatiewaarde te vinden waarbij er evenwicht is tussen investeringskosten en de energiekosten in de gebruiksfase. Ook bij bestaande bouw kan een optimum gezocht worden, maar meestal bepaalt de aanwezige bouw- en installatietechnische situatie en de te verwachte infrastructuur (bijvoorbeeld de komst van een warmtenet) mede wat mogelijk is.

Bij vooroorlogse woningen wordt vaak afgezien van buitenisolatie vanwege het stadsgezicht en dan gekozen voor binnenisolatie. Dit heeft bouwfysisch gezien zeker niet de voorkeur gezien een aantal mogelijke problemen. Bij het aan de binnenzijde isoleren van een constructie moet rekening worden gehouden met de mogelijkheid van inwendige condensatie en is extra aandacht nodig als er ook vloer- of dakbalken in de buitenmuur rusten. Doorlopende betonnen vloeren (balkon) en andere doorbrekingen van constructies kunnen koudebruggen vormen die vaak nog afzonderlijk moeten worden geïsoleerd. Ook kan scheurvorming in gevels optreden door thermische lengteveranderingen.

In kleinere woningen is ook ruimtegebruik een issue: isoleren kost binnenruimte. Het isoleren van de binnenzijde heeft bouwfysisch gezien dus risico's maar kan voor bewoners wel (financieel) aantrekkelijk zijn omdat het een duidelijke doe-het-zelf component in zich heeft, voor spouwmuur- en buitenisolatie moeten eerder professionals worden ingeschakeld.

De knelpunten m.b.t. vocht en schimmelvorming zijn bekeken in relatie tot te nemen isolatie- en ventilatiemaatregelen. Om schimmelvorming te voorkomen is het belangrijk dat de constructie een voldoende hoge (oppervlakte)temperatuur heeft en er voldoende ventilatie is om een hoge relatieve vochtigheid in de woning te voorkomen. Vaak wordt er niet goed geventileerd, enerzijds door slecht ontworpen of slecht bedienbare ventilatievoorzieningen (roosters, klepraampjes) en anderzijds

door bewonersgedrag (openen of sluiten van ramen en roosters op bouwfysisch of luchttechnisch gezien 'verkeerde' momenten, te laag of geheel uit zetten van het ventilatiesysteem).

Innovaties van producten en systemen

Een product waar grote behoefte aan bestaat is hoogwaardige isolatie met een geringe dikte. In renovaties, waar vaak beperkte (fysieke) ruimte aanwezig is om isolatiematerialen toe te passen, biedt dat vele voordelen. Enkele (nog niet marktrijpe) oplossingen zijn in aanleg bruikbaar met kans van slagen, zoals de Qavity vacuüm vulling voor spouwmuren en bijvoorbeeld Nanotech Inside, een pleisterlaag en thermische coating als isolatiemaatregel. Pilotprojecten moeten de praktische en economische haalbaarheid echter nog wel aantonen.

Een ontwikkeling bij verwarmen is het toepassen van een basis verwarmingssysteem (met bijvoorbeeld Laag Temperatuur (LT) convectoren) in combinatie met persoonlijk klimatiseren (met bijvoorbeeld een elektrisch stralingspaneel). Uit oogpunt van circulariteit is dit eveneens interessant: systemen zijn herindeelbaar, aanpasbaar, losmaakbaar en vervangbaar bij verandering van gezinssamenstelling of intrekken van nieuwe bewoners. Aan de andere kant zijn er wel twee systemen nodig, een voor het basisoniveau en daarnaast additioneel voor het persoonlijke comfort. Er is potentiële energiebesparing mogelijk doordat het basistemperatuurniveau omlaag kan.

De algemene verwachting is dat de koudevraag toeneemt door klimaatverandering en hogere comforteisen van bewoners. Echter, met goede passieve maatregelen is oververhitting vaak goed te voorkomen. Maatregelen als automatische (buiten)zonwering en spui- of zomernachtventilatie, dus de mogelijkheid om het huis door te laten tochten, zijn het meest zinvol en worden het meest toegepast.

Gebruikelijke spuivoorzieningen zijn openstaande deuren, ramen en luiken, maar dit is vooral 's nachts effectief en daardoor inbraakgevoelig en bovendien is er kans op regeninslag. Er zijn oplossingen op de markt voor zomernachtkoeling zoals in de gevel gemonteerde inbraakvrije ventilatieroosters met een isolatieluik; een dakraam zorgt voor hierbij een goede natuurlijke trek. Ook hier is bij vooroorlogse woningen het gevelaanzicht mogelijk weer een beperkende factor. Een innovatiebehoefte is hier het vormgeven van dergelijke spuivoorzieningen met een meer klassieke of monumentale uitstraling die acceptabel zijn in een beschermd vooroorlogs stadsgezicht.

Verbeterde luchtdichting vraagt om goed geregelde ventilatie. Bij actief geregelde natuurlijke toevoer in combinatie met CO₂-sensors is de luchtdichtheid van een woning tot op zekere hoogte minder kritisch. De infiltratie draagt bij aan de luchtkwaliteit waardoor de actief geregelde toevoer zichzelf terug kan regelen, echter de infiltratie kan hierbij ook weer te veel worden.

Het toepassen van warmterugwinning zorgt ervoor dat de benodigde LT-verwarmingcapaciteit beperkt blijft. Hierdoor worden pieken in de warmtevraag vermeden, wat gunstig is.

LT-convectoren voor verwarming (en koeling) kunnen ook gecombineerd zijn met CO₂-gestuurde ventilatie via een geveldoorvoer, er is dan sprake van integratie van installaties. De convector wordt hierbij als een alternatief voor vloerverwarming aangeboden, zonder het benodigde hak- en breekwerk. De convector wordt aangesloten op de bestaande CV-leidingen in de woning. Voor vooroorlogse woningen is dit een interessante optie.

Integratie van decentrale installatiecomponenten in industrieel gefabriceerde gevelelementen is een ontwikkeling bij de grootschaliger, ingrijpende renovaties van met name portiekflats en appartementencomplexen. In de gevelelementen worden componenten en productonderdelen geïntegreerd voor functies zoals: isoleren, ventileren, verwarmen, koelen, en energie opwekken.

Innovaties in het bouwproces

Algemeen wordt verondersteld dat het industrialiseren van renovatieoplossingen doorslaggevend zal zijn voor het realiseren van schaalgrootte en kostenefficiëntie, beide noodzakelijk voor het behalen van de klimaatambities.

Daarvoor zijn gestandaardiseerde of industrieel te produceren (renovatie)pakketten nodig voor energiebesparing, duurzame warmte en koude, en schone elektriciteit. Innovatie, industrialisatie en renovatie gaan hierbij hand in hand.

Uit TNO-onderzoek⁷ is gebleken dat 'industrialisatie' binnen het bouwdomain nu veelal gekenmerkt wordt door mechanisatie en/of prefabricage.

Het verschuiven van een projectaanpak (typisch voor de huidige bouwwijze) naar een productaanpak (zoals toegepast in de industriële sectoren) is een belangrijke voorwaarde en eerste stap bij het streven naar kostenreductie en opschaling. Naar verwachting zullen industriële renovatieoplossingen zich ontwikkelen van in eerste instantie relatief eenvoudige enkelvoudige producten naar uiteindelijk complexere, meer samengestelde totaaloplossingen.

TNO heeft in het kader van een kennisontwikkeling programma een onderzoek uitgevoerd⁸ uitgaande van de vraag of/hoe het mogelijk is met renovatieconcepten de renovatie te versnellen en substantieel goedkoper te maken.

Uit een analyse van de kostenkengetallen van renovaties van vooroorlogse rijwoningen blijkt dat bij de ingrepen in de gebouwschil het merendeel van de kosten wordt bepaald door materiaalkosten. Arbeidskosten bepalen een groter deel van de kosten bij installatietechnische onderdelen van de woning, c.q. het renoveren daarvan.

Kostenreductie kan dus echter niet alleen voortkomen uit de gewenste opschaling en industrialisatie maar juist uit de combinatie van industriële productie, procesoptimalisatie, digitalisering, integratie van installaties, verbeterd beheer en onderhoud etc.

In de bouw is er sprake van grootschalige productie bij producten als bijvoorbeeld bakstenen, isolatiemateriaal en PV-panelen. Fabricage van geïntegreerde gevel- en dak elementen vindt vooralsnog vooral plaats in (kleine) seriefabricage, waarbij projectgericht wordt geproduceerd. Dit zal echter meer en meer richting massaproductie gaan om de doelstellingen van de energietransitie te kunnen halen.

Voorbeelden hiervan zijn het INDU-ZERO project⁹ waarin wordt gestuurd op een standaard renovatiepakket dat met minimale aanpassingen breed kan worden toegepast, zie Figuur 3. Hierbij vindt ook onderzoek plaats naar integratie van componenten voor decentrale verwarming en ventilatie in gevel- en dak elementen.

⁷ Industrialisatie van renovatie - sleutel tot succes? TNO-rapport R11601 - Kuindersma, P. - 2018

⁸ Eindrapportage KIP Renovatieconcepten – Balkuv F.N., Donkervoort D.R., e.a. – TNO 2019 (vertrouwelijk)

⁹ <https://northsearegion.eu/indu-zero/>

Uitgangspunt hierbij is het (op termijn) kunnen produceren van ca. 20.000 renovatiepakketten op jaarbasis.



Figuur 3: Gevelrenovatie rijwoningen met prefab-elementen.

Industrialisatie en opschaling van renovatieoplossingen geeft bij verdergaande kostenreductie en product- en procesoptimalisatie op termijn wellicht ook de particuliere woningeigenaren de mogelijkheid om hiervan in gezamenlijk verband (klein collectief) gebruik van te gaan maken, direct of in een afgeleide vorm.

Industrialisatie van renovaties is met name gericht op grootschalige renovaties met vervanging van complete gevel- en dakelementen met daarin de installaties of delen van de installaties al verwerkt. We hebben het hier dan over ingrijpende renovaties van de schil van de woning. De ontwikkelde dak- en gevelelementen geven de woning ook een bewuste esthetische facelift maar worden niet ontworpen om naast energetische verbetering tegelijkertijd het (al dan niet beschermde) vooroorlogse stadsgezicht te behouden. De focus ligt op de renovatie van naoorlogse woningen.

De industrialisatie richt zich nu vooral op de marktsegmenten en wat grotere projecten zoals de aanpak van complete portiek- en galerijflats en de renovatie van meerdere rijwoningen per blok of straat.

Daarnaast leidt industrialisatie tot een breder aanbod van producten/ materialen, ook voor de doe-het-zelf markt. En kostenreductie in combinatie met kwaliteitsverbetering en -garantie.

Duurzaamheid en circulariteit

Voor de beoordeling van milieuaspecten van te gebruiken of nog te ontwikkelen renovatiepakketten zal naast de focus op de energieprestaties die er al is, de aandacht voor de milieuaspecten in de nabije toekomst naar verwachting ook dwingender gaan worden. Naast de energieprestatie (EPG) wordt de milieuprestatie (MPG) opportuun. Er is inmiddels ook een aanzet gegeven (project TKI-KIEM¹⁰) om een standaard te ontwikkelen om de integrale duurzaamheid van gebouwen in kaart te brengen; de Duurzaamheid Prestatie Gebouwen (DPG). Deze methode combineert de berekening van de energieprestatie (EPG) en de milieuprestatie (MPG) van een gebouw tot één prestatie-indicator die de duurzaamheid over de

¹⁰ www.tki-kiem.nl

gehele levenscyclus beschouwt. Daarbij neemt de DPG ook de inzet van materialen mee.

Circulariteit van installaties

Vanuit de markt is al veel aandacht voor circulaire bouwmaterialen, maar over het circulaire materiaalgebruik van gebouwinstallaties is minder bekend. Dit ondanks het feit dat bij een gemiddeld (nieuwbouw)project het materiaalgebruik voor gebouwinstallaties circa 30-35% van het totale materiaalgebruik is, en dit alleen maar toe zal nemen naarmate gebouwen meer richting energieneutraal gaan.

Bij het ontwikkelen van circulaire installaties is Design for Disassembly een belangrijk uitgangspunt: gebouw- en ruimtefuncties kunnen veranderen (bijvoorbeeld switchen van werken naar wonen of slapen of verandering van gezinssamenstelling of bewoners) en installaties dienen dan ook flexibel, veranderbaar en aanpasbaar te zijn. De installatiebranche is hier actief mee bezig.

3.3 Renovatieconcepten om de vooroorlogse bouw aardgasvrij-ready te maken

Om de vooroorlogse bouw aardgasvrij te krijgen moet zowel de warmtevraag voor ruimteverwarming als voor de bereiding van warm tapwater worden aangepakt.

Gezien het beschikbare budget en de benodigde diepgang van de aanpak, is het onderzoek beperkt tot de warmtevraag voor ruimteverwarming. De vraag is immers of, en zo ja welke (bouwkundige) aanpassingen aan de woning nodig zijn om haar geschikt te maken voor een aardgasvrije energievoorziening. Een aardgasvrije warm tapwatervoorziening is vooral een installatietechnisch vraagstuk, dat buiten het kader van deze opdracht valt.

Rekenmodel

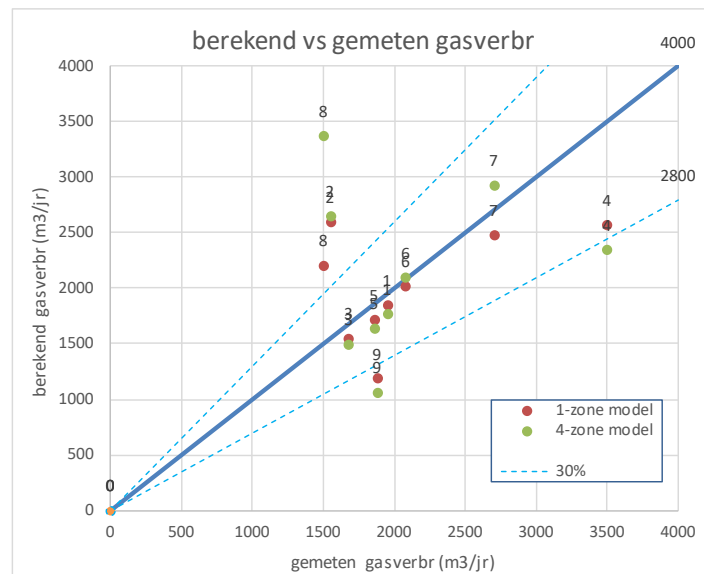
Voor het berekenen van de ruimteverwarmingsvraag zijn diverse TNO-rekenmodellen gebruikt, in het bijzonder een 1-zone model dat de gehele woning op één en dezelfde temperatuur beschouwt en een 4-zone model waarbij de woning in 4 zones is opgedeeld, elk op een eigen temperatuur:

1. verwarmde woonkamer/keuken;
2. verwarmd deel 1^e verdieping;
3. onverwarmd deel 1^e verdieping en;
4. zolder (verwarmd of onverwarmd).

Bij het berekenen van de energievraag is rekening gehouden met het (zelf-gerapporteerde) gedrag van bewoners, zoals thermostaatinstellingen, deel van de woning dat wordt verwarmd, gebruik van ventilatievoorzieningen (indien aanwezig) en openen van ramen¹¹.

Het jaarlijkse gasverbruik van de 10 opgenomen woningen is daarmee berekend en vergeleken met het gemeten jaarlijkse gasverbruik zie. Figuur 4. In de grafiek is onderscheid gemaakt tussen de resultaten van het 1-zone model en het 4-zone rekenmodel.

¹¹ Gasverbruik voor warm tapwater (en eventueel koken) zijn hier berekend op basis van de uitgevraagde doucheduur en type koken.



Figuur 4: Berekend versus gemeten gasverbruik. 45 lijn, $\pm 30\%$. In deze berekeningen is het bewonersgedrag meegenomen, zoals thermostaatinstellingen overdag, 's avonds en 's nachts.

Indien voor alle woningen het berekende gasverbruik precies overeen zou komen met het gemeten gasverbruik, zouden alle punten op de (blauwe) 45 graden lijn moeten liggen. Dat blijkt niet het geval, maar de meeste punten vallen wel binnen een foutenmarge van $\pm 30\%$ (de lichtblauwe stippellijnen), al zijn er ook een aantal 'outliers'. Op een enkele woning na (nr. 8) is het verschil tussen het 1-zone model en het 4-zone model gering. Vanwege de eenvoud is in het resterende deel van het onderzoek het 1-zone rekenmodel gebruikt.

Belangrijkste conclusie is dat de gebruikte rekenmodellen het energiegebruik goed genoeg berekenen voor verdere berekeningen van de energiebesparing door verschillende renovatiepakketten.

Doorrekenen van maatregelpakketten

De opgestelde maatregelpakketten zijn met het 1-zone rekenmodel doorgerekend, en is gekeken welke pakketten de woning geschikt maken voor toepassing van een midden-temperatuur (MT) of laag-temperatuur (LT) warmtenet of een warmtepomp, waarbij het thermisch vermogen van het verwarmingssysteem in de woning lager is dan bij gebruik van een conventionele cv-ketel.

In tegenstelling tot de berekeningen hierboven is zoveel mogelijk 'standaard' bewonersgedrag aangenomen. Belangrijkste element is dat alle woningen in hun geheel op 20°C worden verwarmd en er geen nachtverlaging wordt toegepast.

De reden om geen nachtverlaging toe te passen is dat er 'extra' thermisch vermogen nodig is om een woning 's ochtends na nachtverlaging weer op te warmen. Hoeveel extra vermogen nodig is, hangt af van hoe ver de woning 's nachts is afgekoeld en hoeveel tijd de verwarming in de ochtend krijgt om de woning weer op te warmen.

Om het minimaal benodigd thermisch vermogen te bepalen is dit 'extra' vermogen niet meegenomen. In dat scenario wordt er dus geen nachtverlaging toegepast en kunnen de radiatoren altijd zo veel warmte afgeven dat de warmteverliezen van de woning worden gecompenseerd.

Voor de mate van ventilatie is uitgegaan van de ventilatorstand en het openen van roosters en ramen, zoals dat door de bewoners bij de opnames is aangegeven. Dit gedrag is voor elke woning gelijk gehouden bij toepassing van de maatregelpakketten. Uitzondering zijn de scenario's met warmteterugwinning. Hierin is aangenomen dat de ventilator continu in de hoogstand staat en, omdat is verondersteld dat de ventilatie van de woning hiermee voldoende is, dat er geen ramen worden geopend. Voor het rendement van de warmteterugwin unit is 70% aangehouden.

In dit onderzoek ligt de nadruk op de ruimteverwarming. De vraag is immers of, en zo ja welke (bouwkundige) aanpassingen aan de woning nodig zijn om haar geschikt te maken voor een aardgasvrije energievoorziening ¹².

Een eventuele koudebehoefte van de woningen is dus niet meegenomen, ondanks het feit dat in scenario's met een zeer goede schilisolatie mogelijk oververhitting kan optreden. Er wordt echter verondersteld dat oververhitting met passieve maatregelen (overstekken, zonwering, zomernachtventilatie, thermische massa etc.) voldoende kan worden tegengegaan.

Bij de opnames van de woningen bleek dat sommige woningen op een aantal punten al waren verbeterd, zoals het vervangen van enkel glas door dubbel glas of dakisolatie. Die maatregelen zijn niet bij alle woningen van een bepaald type in Nederland toegepast. Om de resultaten van dit onderzoek algemeen geldig te maken, is als uitgangspunt genomen de situatie waarbij de woning is 'teruggebracht' in de originele staat, dat wil zeggen, zoals bij de bouw opgeleverd. Ten opzichte van deze situatie ('bij de bouw') zijn de energiebesparing en de kosten van de zes maatregelpakketten berekend (de drie ambitieniveaus van schilisolatie uit Tabel 7, al dan niet in combinatie met de toepassing van warmteterugwinning en verbeterde kierdichting).

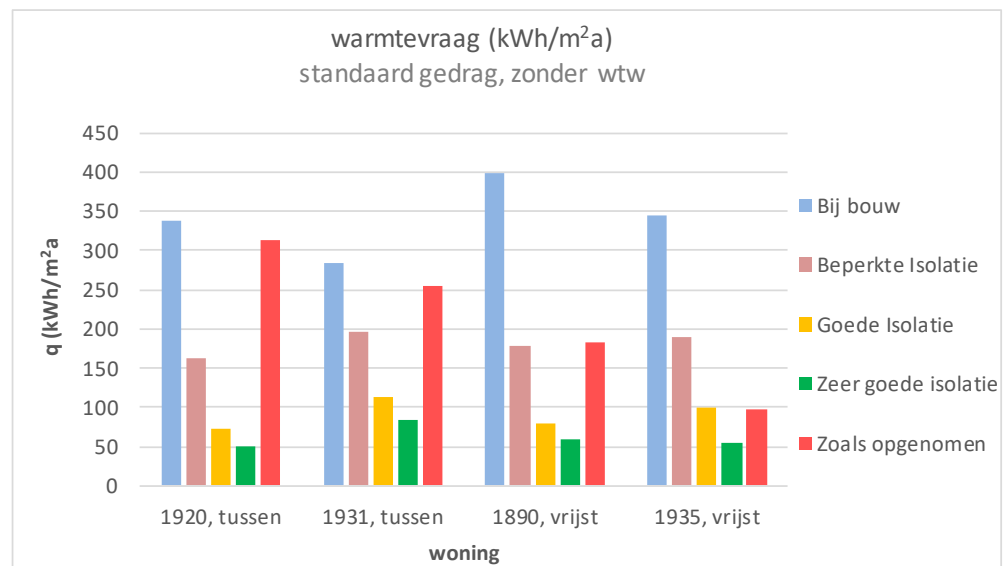
Vanwege budgettaire beperkingen zijn voor het doorrekenen van de maatregelpakketten 4 van de 10 vooroorlogse woningtypen geselecteerd. Deze 4 woningen geven een goede representatie van de vooroorlogse bouwvoorraad. Hierbij is onder andere gekeken naar het bouwjaar, het type woning en het type gevel. De beschouwde woningen zijn:

1. Een tussenwoning uit 1920.
2. Een tussenwoning uit 1931.
3. Een vrijstaande woning uit 1890.
4. Een vrijstaande woning uit 1935.

¹² De bereiding van warm tapwater is een aparte uitdaging. Bij een doorstroomtoestel is een thermisch vermogen van typisch 20 kW nodig, dat met een warmtepomp of een laag-temperatuur warmtenet lastig op te brengen is. Om aan de warm tapwatervraag te kunnen voldoen, zal in deze gevallen dus vaak een buffervat nodig zijn (naast besparingsopties zoals toepassing van een douche-warmtewisselaar, waterbesparende douchekop etc.). De grootte van het buffervat hangt af van de grootte van het gezin, het aantal keren dat er dagelijks wordt gedoucht en de doucheduur. Onderzoek daarnaar valt buiten de scope van dit onderzoek.

Warmtevraag voor ruimteverwarming

De jaarlijkse warmtevraag voor ruimteverwarming is met het rekenmodel berekend voor de scenario's 'bij de bouw', de drie hierboven benoemde ambitieniveaus van schilisolatie en 'zoals opgenomen'. De resultaten voor de vier woningen voor de scenario's zonder warmteterugwinning en verbeterde kierdichting zijn weergegeven in Figuur 5.

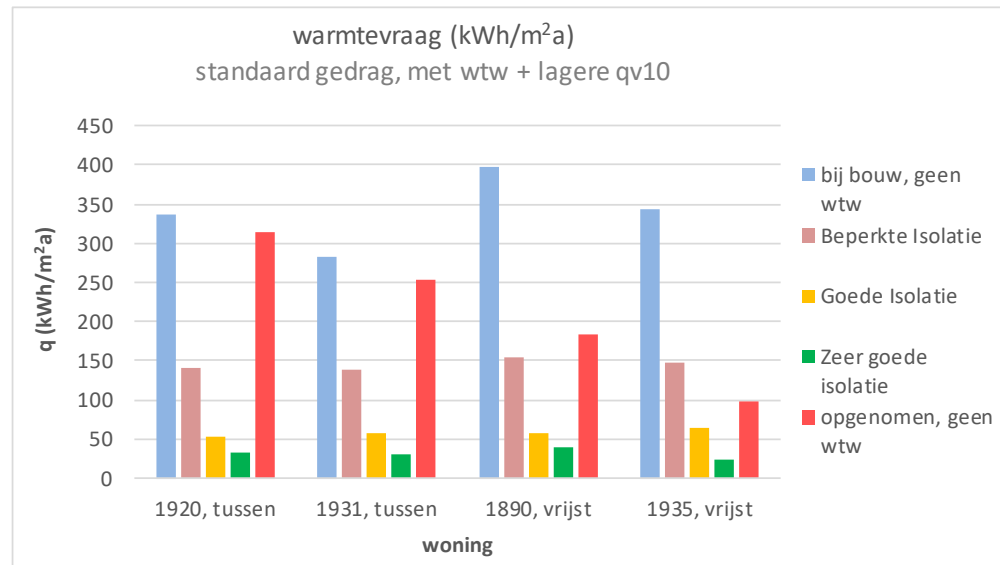


Figuur 5: De jaarlijkse warmtevraag voor ruimteverwarming bij de onderzochte maatregelpakketten zonder toepassing van warmteterugwinning en verbetering kierdichting.

Figuur 5 laat zien dat bij de bouw (lichtblauwe balken), de vier woningen een warmtevraag voor ruimteverwarming hadden van 280-400 kWh/m²/jaar. In de opgenomen toestand (rode balken) is de warmtevraag met name bij woningen 3 en 4 aanzienlijk lager dan bij de bouw, wat in overeenstemming is met de observatie dat bij deze woningen al woningverbeteringen hebben plaatsgevonden.

Naarmate de maatregelpakketten ambitieuzer zijn, neemt bij alle vier de woningen de warmtevraag af. In het scenario 'goede isolatie', zonder warmteterugwinning (gele balken) is de warmtevraag afgenomen tot 75 -115 kWh/m²/jaar, in het scenario 'zeer goede isolatie' tot 50-85 kWh/m²/jaar.

Figuur 6 toont de warmtevraag van de drie renovatiescenario's met warmteterugwinning en verbeterde kierdichting.



Figuur 6: De jaarlijkse warmtevraag voor ruimteverwarming is met het dynamische 1-zone model bij de drie maatregelpakketten met toepassing van warmteterugwinning en verbetering kierdichting.

In het scenario 'goede isolatie' met warmteterugwinning (gele balken) is de warmtevraag afgenomen tot 55-65 kWh/m²/jaar. Dat is vergelijkbaar met de warmtevraag in het scenario 'zeer goede isolatie' zonder warmteterugwinning.

Thermisch vermogen

Voor de bestaande situatie wordt verondersteld dat er een cv-ketel in de woning aanwezig is, die water kan bereiden met een aanvoertemperatuur van 90°C (en 70°C-retourtemperatuur).

Bij toepassing van een MT-warmtenet wordt aangenomen dat de aanvoer- en retourtemperatuur van het cv-water 70°C en 55°C bedragen¹³, voor LT-warmtenet (of een warmtepomp) wordt aangenomen dat de aanvoer- en retourtemperatuur van het cv-water 50°C en 40°C bedragen.

Of een woning het gehele jaar warm gehouden kan worden, wordt voor een belangrijk deel bepaald door het afgiftevermogen van de radiatoren of convectoren in de woning (aantal, grootte en type). En dat bepaalt ook mede of de woning geschikt is voor toepassing van een warmtenet met een lagere temperatuur of een warmtepomp. Immers, bij een warmtebron met lagere aanvoertemperaturen, is de temperatuur van het cv-water ook lager en geven radiatoren minder warmte af.

Bij midden-temperatuur cv-water (70°C aanvoer, 55 °C retour) levert een radiator ca. 36% minder thermisch vermogen¹⁴ en bij laag-temperatuur cv-water (50°C aanvoer, 40°C retour) ca. 68% minder vermogen. Om een woning met een MT- of LT-temperatuur warmtenet te kunnen verwarmen, moet de afname van het

¹³ Er wordt aangenomen dat er in de warmtewisselaar van warmtenet naar cv-water geen temperatuurverlies optreedt.

¹⁴ Hoeveel minder vermogen een radiator levert bij lagere temperaturen wordt uitgedrukt in de zogenaamde 'radiator exponent', hiervoor is een waarde van 1,3 aangenomen.

piekvermogen door de schilverbetering dus groter zijn dan 36% respectievelijk 68% ten opzichte van de pre-renovatie situatie.

Verder heeft ook het al dan niet toepassen van nachtverlaging grote invloed op het benodigde vermogen. Indien een woning gedurende de nacht is afgekoeld, is er een aanzienlijk thermisch vermogen nodig om de woning 's ochtends in 1 of 2 uur weer op temperatuur te krijgen. Dat vermogen wordt lager naarmate de nachtelijke afkoeling wordt beperkt, en naarmate de verwarming in de ochtend meer tijd krijgt de woning op te warmen.

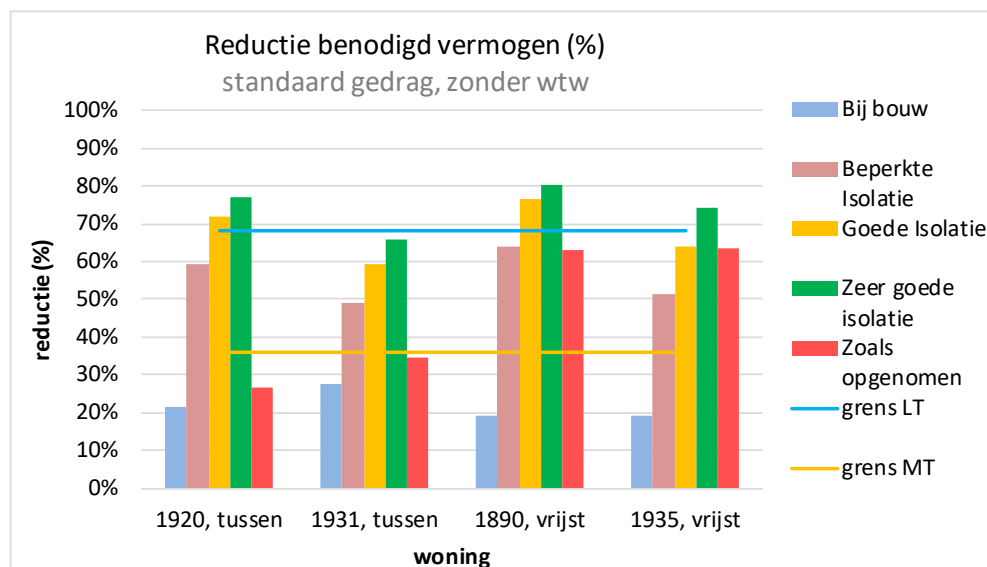
Om na te gaan wat het minimaal benodigde thermisch vermogen is om de woning op temperatuur te houden is ervan uitgegaan dat er geen nachtverlaging wordt toegepast.

Het geïnstalleerd afgiftevermogen van de verwarmingsinstallatie in de uitgangssituatie ('bij bouw') is bepaald door de woning gedurende een geheel jaar door te rekenen met het rekenmodel. De gehele woning wordt daarbij op een constante temperatuur van 20°C gehouden, en er wordt geen nachtverlaging toegepast. Daarbij zijn weersomstandigheden uit het testreferentiejaar gebruikt, waarin een buitentemperatuur van -9°C in eind januari voorkomt. Het berekende maximale thermisch vermogen gedurende dat jaar is verhoogd met een vaste opslag van 25% om tot het geïnstalleerd afgiftevermogen te komen.

Reductie van het thermisch vermogen door de maatregelpakketten

Er is eerst gekeken naar de maatregelpakketten zonder warmteterugwinning. In Figuur 7 is de reductie van het thermisch vermogen (ten opzichte van het geïnstalleerd vermogen) door de maatregelpakketten vergeleken met de minimaal benodigde reductie voor toepassing van een MT-warmtenet en een LT-warmtenet (horizontale lijnen).

Een woning met een bepaald maatregelpakket is dus geschikt voor toepassing van een MT-warmtenet of een LT-warmtenet als de gerealiseerde reductie (de balken in onderstaande figuren) groter is dan de horizontale lijnen van resp. 36% en 68% reductie.



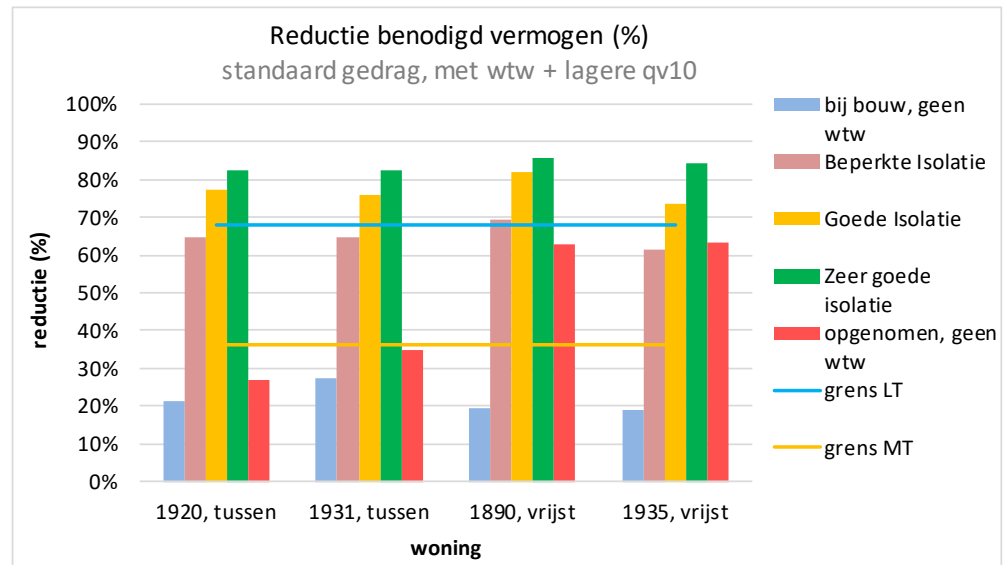
Figuur 7: Reductie in (piek) verwarmingsvermogen ten opzichte het geïnstalleerd vermogen in scenario's zonder nachtverlaging. De drie maatregelpakketten zijn zonder toepassing van warmteterugwinning en verbetering kierdichting.

In de situatie bij de bouw (lichtblauwe balken) is het benodigd vermogen 20% lager dan het geïnstalleerd afgiftevermogen¹⁵. Dat is niet voldoende voor toepassing van een LT- of zelfs MT-warmtenet. Met andere woorden, de 'overcapaciteit' die bij de bouw is gehanteerd, is onvoldoende om een verlaging van de aanvoertemperatuur naar 50°C dan wel naar 70°C op te vangen.

In het renovatiescenario '**beperkte isolatie**' (bruine balken) is de reductie van het benodigd vermogen bij alle woningen voldoende voor toepassing van een MT-warmtenet, maar niet voldoende voor toepassing van een LT-warmtenet (of een warmtepomp met cv-water op 50°C). Toepassing van een LT-warmtenet is voor drie van de vier woningen mogelijk bij het meest ambitieuze renovatiescenario (nog steeds zonder gebalanceerde ventilatie en verbeterde kierdichting).

Figuur 8 toont de resultaten voor de pakketten in combinatie met warmteterugwinning en verbeterde kierdichting.

¹⁵ Omdat het geïnstalleerd afgiftevermogen gedefinieerd was als 125% van het maximale vermogen 'bij bouw', is het vermogen 'bij bouw' 80% van het geïnstalleerd afgiftevermogen, en dus 20% lager.



Figuur 8: Reductie in (piek) verwarmingsvermogen ten opzichte het geïnstalleerd vermogen in scenario's zonder nachtverlaging. De drie maatregelpakketten zijn met toepassing van warmteterugwinning en verbetering kierdichting.

Toepassing van een MT-warmtenet is nu mogelijk bij alle pakketten met schilverbetering voor alle vier de woningen. Toepassing van een LT-warmtenet (of een warmtepomp met cv-water op 50°C) is mogelijk bij de pakketten 'goede isolatie' en 'zeer goede isolatie' voor alle vier de woningen.

Kosten

De energiebesparing wordt berekend ten opzichte van de situatie 'bij de bouw' om het effect van de verschillende ambitieniveaus in renovatie aan te tonen.

De kosten van de te nemen maatregelen worden eveneens bepaald ten opzichte van de woning 'bij de bouw'. Indien bij de vier beschouwde woningen blijkt dat bepaalde isolatiemaatregelen in het verleden al zijn gedaan¹⁶, zijn deze kosten geschat en meegenomen in de kosten van het maatregelpakket.

Om een goede indicatie te krijgen van de kosten van de verschillende renovatiemaatregelen zijn er in dit onderzoek meerdere bronnen geraadpleegd. Deze bronnen zijn met elkaar vergeleken om een zo objectief mogelijk beeld te krijgen van de huidige kosten.

Allereerst zijn prijzen opgehaald uit de interne kostendatabase van het Regionaal Energieloket. Ter validatie is aanvullend gebruik gemaakt van informatie van Arcadis¹⁷ (hierna te noemen het 'Arcadis-rapport'). Daar waar nodig is er ook in enkele gevallen direct contact opgenomen met erkende installateurs uit het bestaande netwerk van het Regionaal Energieloket. De kosten zijn gebaseerd op prijspeil 2020.

¹⁶ Een voorbeeld hiervan is het al aanwezige dubbel glas (Thermopane) dat niet (volledig) vervangen wordt in de isolatiepakketten 'beperkte' en 'goede' isolatie.

¹⁷ Arcadis, 'Actualisatie Investeringskosten Energiebesparende maatregelen bestaande woningbouw', 2019

Een overzicht van de kosten per mogelijke maatregel is te vinden in Tabel 8.

Tabel 8: Investeringskosten van de verschillende isolatiemaatregelen per vierkante meter van het te renoveren schildeel en de totale kosten voor verbeterde luchtdichtheid en een ventilatiesysteem met warmteterugwinning.

Isolatiemaatregelen		Prijs per vierkante meter	Opmerkingen
Vloerisolatie	Bodemisolatie	€ 26	A
	Nieuwe (geïsoleerde) vloer	€ 210	
Gevelisolatie	Spouwmuurisolatie	€ 16	B
	Binnengevelisolatie	€ 85	
	Buitengevelisolatie	€ 225	
Glas	Dubbel glas	€ 125	C
	HR+(+) glas	€ 170	D
	HR+++ glas	€ 525	E
Dakisolatie	Zoldervloerisolatie	€ 25	
	Dakisolatie binnenzijde	€ 80	
	Dakisolatie buitenzijde	€ 230	
Infiltratie- / Ventilatie maatregelen		Totale kosten	
Centraal ventilatiesysteem met WTW, incl. verbeteren luchtdichtheid		€ 7.000	F

A In sommige woningen is het vloeroppervlak zo klein dat een minimumprijs van € 835,- gehanteerd wordt.

B In sommige woningen is het geveloppervlak zo klein dat een minimumprijs van € 810,- gehanteerd wordt.

C De prijs voor dubbelglas is ingeschat op ongeveer 75 % van de huidige prijs voor HR+ glas

D Het onderscheid in kosten tussen HR+ en HR++ is verwaarloosbaar

E De kosten voor HR+++ glas zijn inclusief de kosten voor het vervangen van de kozijnen

F De kosten voor naad- en kierdichting vallen gedeeltelijk ook binnen de investeringen voor de verschillende isolatiemaatregelen. In het algemeen hebben deze kosten dan ook geen significante invloed op de totale kosten van de maatregelpakketten.

Bij de uitvoering van de maatregelen is rekening gehouden met een basisprijs bestaande uit minimum kosten voor een klus, de meest voorkomende meerwerkkosten en de vierkante meter prijs op basis van de oppervlakten van de woning in kwestie. Maatwerk en uitzonderlijke meerwerkkosten zijn niet meegenomen in de prijsbepaling.

Alle kosten zijn berekend inclusief btw om de werkelijke kosten van huiseigenaren zo goed mogelijk te benaderen. Subsidies zijn in de kostenraming buiten beschouwing gelaten aangezien hier grote verschillen per regio gelden, er door de tijd regelmatig wijzigingen aan het subsidiestelsel zijn en er vaak aanvullende voorwaarden gelden waar niet in elk geval aan voldaan kan worden.

De energiebesparingen en de kosten (incl. btw) voor de verschillende pakketten zijn gebruikt voor het berekenen van een eenvoudige terugverdientijd ¹⁸.

Hierbij zijn de volgende aannames gedaan:

- Alle besparingen en kosten zijn berekend t.o.v. de woning bij de bouw.
- Om de kosten van de schilmaatregelen zo zuiver mogelijk te presenteren wordt in alle gevallen uitgegaan van een HR-ketel en blijft de installatie onveranderd. De extra kosten die samenhangen met de overstap op een warmtenet of warmtepomp zijn dus niet meegenomen.
- Een constante gasprijs van €0,78 per m³.

¹⁸ De eenvoudige terugverdientijd (in jaren) zijn de kosten (in EUR) gedeeld door de jaarlijkse energiebesparing (in EUR/jaar).

De resultaten zijn weergegeven in Tabel 9.

Tabel 9: Terugverdientijden van de verschillende maatregelpakketten, met en zonder warmteterugwinning, voor de vier beschouwde woningen.

Terugverdientijd (in jaren)						
Maatregelpakketten:	Beperkte isolatie		Goede isolatie		Zeer goede isolatie	
	zonder WTW	met WTW	zonder WTW	met WTW	zonder WTW	met WTW
Tussenwoning 1920	9	14	7	11	20	23
Tussenwoning 1931	10	14	7	10	23	23
Vrijstaande woning 1890	6	8	5	6	15	16
Vrijstaande woning 1935	9	10	7	8	23	22

Opvallend is vooral dat de terugverdientijd van het 'goede isolatie' pakket met warmteterugwinning veel gunstiger is dan het 'zeer goede isolatiepakket' zonder warmteterugwinning.

Conclusies

De resultaten uit het onderzoek geven aanleiding tot de volgende conclusies ten aanzien van de maatregelpakketten:

- De resultaten tonen aan dat een MT-warmtenet kan worden toegepast in alle vier onderzochte woningen bij de drie maatregelpakketten, zowel met als zonder warmteterugwinning. Een LT-warmtenet kan alleen in alle vier onderzochte woningen worden toegepast bij de pakketten 'goede isolatie' en 'zeer goede isolatie', beiden in combinatie met warmteterugwinning.
- Gelet op het geheel van geschiktheid voor een LT-warmtenet (of een warmtepomp met cv-water op 50°C), terugverdientijd en energiebesparing, scoort het pakket 'goede isolatie' in combinatie met warmteterugwinning (en verbetering van de luchtdichtheid) het beste van de onderzochte pakketten. De kosten hiervan bedragen € 15.000, - tot € 30.000, afhankelijk van het type woning, die zich in 8-11 jaar terugverdienen.

3.4 Discussie

Bij bovenstaande resultaten kan een aantal kanttekeningen worden geplaatst.

Allereerst zijn de uitkomsten gebaseerd op een aantal aannames, zoals de verbetering van de luchtdichtheid met 60%, het rendement van warmteterugwinning van 70% die in individuele gevallen anders kunnen uitvallen.

De resultaten zijn gebaseerd op het criterium van een minimaal benodigd thermisch vermogen van het warmteafgiftesysteem, zonder dat er nachtverlaging wordt toegepast. In die grensgevallen kunnen bewoners op de koudste dagen dus geen nachtverlaging toepassen omdat er geen 'reserve' thermisch vermogen beschikbaar is om de woning 's ochtends naar een hogere temperatuur te brengen. Daar staat tegenover dat het warmteverlies van een woning het grootste deel van het stookseizoen veel minder is dan op de koudste dagen, waardoor er dan wel reservecapaciteit aanwezig is en er dan dus ook nachtverlaging kan worden toegepast.

In verwarmingsscenario's zonder nachtverlaging is de jaarlijkse warmtevraag in de orde van 5-10% hoger dan in scenario's met nachtverlaging, afhankelijk van hoe goed de woning is geïsoleerd en dus hoeveel die afkoelt gedurende de nacht. Geen nachtverlaging kunnen toepassen kost dus extra energie.

Aan de andere kant zijn er überhaupt argumenten om bij een aardgasvrije warmtevoorziening geen nachtverlaging toe te passen. Bij gebruik van warmtenetten, wordt het piekvermogen (om de woningen 's ochtends op te warmen) vaak geleverd door gasketels, wat toch weer een gasvraag oplevert. Bij gebruik van een warmtepomp kan het zijn dat deze bij het leveren van een groot thermisch vermogen (om de woning 's ochtends op te warmen) in een ongunstig werkgebied opereert, waardoor het rendement (de Coefficient of Performance – COP) veel lager is dan de nominale waarde.

In die gevallen waarbij er net aan het criterium wordt voldaan, is het niet uitgesloten dat er op de koudste dagen lokaal discomfort optreedt. Dat kan bijvoorbeeld het geval zijn bij woningen met grote raampervlakken en glas met een hogere U-waarde dan HR++-glas, waarbij er nabij de ramen koudeval optreedt en het er minder comfortabel is.

In de modellering is het gehele huis op één en dezelfde temperatuur verondersteld, en is er geen onderscheid gemaakt tussen verschillende vertrekken. In grensgevallen is het dus mogelijk dat het afgiftevermogen van de verwarming in sommige vertrekken iets te laag is om de warmteverliezen te dekken, wat zal resulteren in discomfort in die vertrekken.

In woningen die (net) niet voldoen aan het criterium van voldoende afgiftevermogen, kan worden overwogen om het aantal radiatoren te verhogen, de radiatoren te vervangen door een variant met een groter warmtewisselend oppervlak of het aanleggen van vloerverwarming om het afgiftevermogen te verhogen. De kosten daarvan zijn verder niet onderzocht.

Kosten zijn gebaseerd op de huidige situatie (energieprijzen, arbeidskosten etc.) Met name als er krapte op de arbeidsmarkt ontstaat door een grote renovatievraag, kunnen arbeidskosten oplopen. Dit is niet meegenomen in de presentatie van de resultaten in dit rapport, maar kan in online advisering (zie hoofdstuk 3) wel makkelijk worden aangepast.

3.5 Conclusie en aanbevelingen

De algemene conclusie van het onderzoek luidt dat niet nodig is om de vier onderzochte vooroorlogse woningen tot NOM-niveau te verbeteren om ze geschikt te maken voor een transitie naar een aardgasvrije energie-infrastructuur.

Van de onderzochte maatregelpakketten lijkt het pakket 'goede isolatie' in combinatie met warmteterugwinning (en verbetering van de luchtdichtheid) het meest kansrijk voor toepassing van een LT warmtenet of een warmtepomp (aanvoertemperatuur 50°C, retourtemperatuur 40°C). De kosten hiervan bedragen € 15.000, - tot € 30.000, afhankelijk van het type woning, die zich in 8-11 jaar terugverdienen.

Uitvoering van de zes voorgestelde maatregelpakketten bij de onderzochte vooroorlogse woningen is mogelijk met bestaande technieken en producten, al zou de renovatie-opgave worden vergemakkelijkt met bijvoorbeeld dunne, hoogwaardige thermische isolatie.

Grootste knelpunt is het risico op vocht- en schimmelproblemen bij onvakkundige renovaties, met name bij toepassing van binnenisolatie.

Voor een versnelling/opschaling van de benodigde renovaties zijn innovaties nodig op het gebied van industrialisatie of minstens een grootschalige prefabricage van geveldelen.

Het onderzoek heeft zich beperkt tot vier veel voorkomende vooroorlogse grondgebonden woningen. Om bovenstaande conclusie meer algemeen geldig te maken, zou het onderzoek uitgebreid moeten worden tot alle 10 grondgebonden woningtypen uit Tabel 5 en een aantal appartementen.

3.6 Mogelijkheden voor spin-off en vervolgactiviteiten

Het project 'RenoTrans' heeft parallel gelopen met project 'NH aardgasvrij' in opdracht van de provincie Noord-Holland. In beide projecten zijn in totaal 35 woningtypes vastgesteld die in Nederland veel voorkomen. In het project RenoTrans is gefocust op vooroorlogse woningen en in het project NH aardgasvrij op naoorlogse woningen¹⁹.

De resultaten van beide projecten zijn gebruikt in een verfijning van de online adviseringstools van de partners Duurzaam Bouwloket (<https://woningplanner.duurzaambouwloket.nl/>) en GreenHome (<https://greenhome.nl/huisscan>).

¹⁹ In de rapportages van beide projecten is een min of meer dezelfde, generieke beschrijving van het rekenmodel en gebruikersmodule gebruikt.

4 Bijdrage van het project aan de doelstellingen van de regeling

4.1 Duurzame energiehuishouding

De komende jaren zal de Nederlandse woningvoorraad verduurzaamd moeten worden en van het aardgas afgaan. Er bestaat behoefte aan inzicht in de randvoorwaarden voor de Nederlandse gebouwvoorraad voor een transitie naar een nieuwe energie-infrastructuur, in het bijzonder voor vooroorlogse woningen met hun bouwkundige beperkingen voor renovatie.

Het beantwoorden van de onderzoeksvraag: “Hoe kunnen vooroorlogse woningen kunnen worden verbeterd om ze geschikt te maken voor een transitie naar een aardgasvrije energie-infrastructuur” draagt daarmee rechtstreeks bij aan een duurzame energiehuishouding van de Nederlandse gebouwde omgeving.

4.2 Versterking van de Nederlandse kennispositie

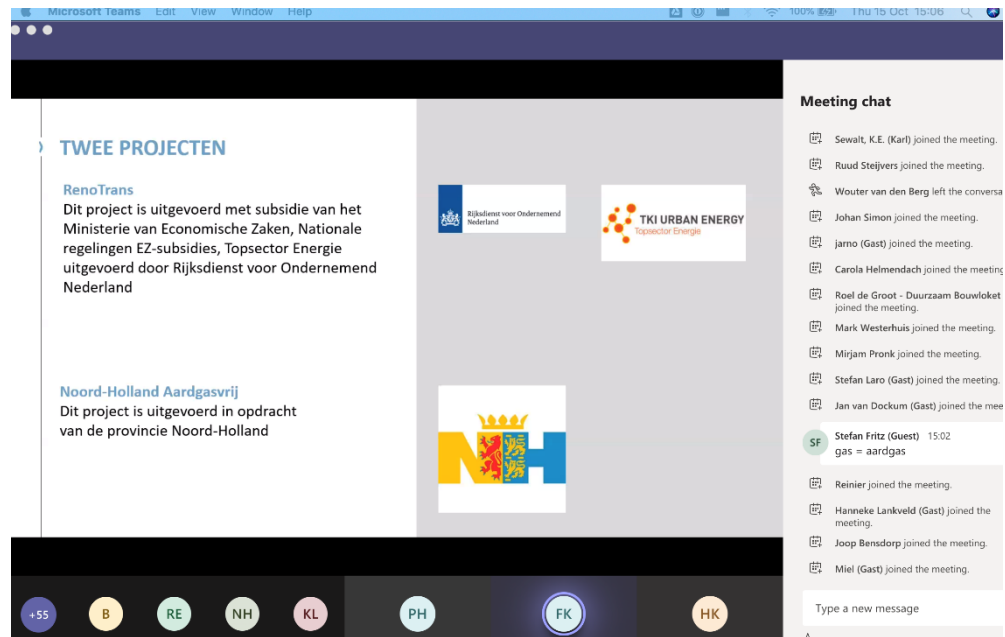
Partners in het project GreenHome en Duurzaam Bouwloket bedienen nu al in ca. 180 gemeentes (ongeveer de helft van alle gemeentes) de energieloketten. Samen met aangesloten toeleveranciers willen ze de verduurzaming en de transitie naar aardgasvrij versnellen door de opgedane kennis in hun online adviseringstools te implementeren en in te zetten ten dienste van particuliere eigenaren.

4.3 Spin-off binnen en buiten de sector

Voor beleidsmakers kunnen de ontwikkelde rekentools en inzichten in realistische en betaalbare renovatiepakketten helpen de vraag te beantwoorden hoe de Nederlands Gebouwde Omgeving aardgasvrij moet worden gemaakt, welke mogelijkheden en beperkingen er zijn voor toepassing van warmtenetten en warmtepompen en wat de kosten van de daarvoor benodigde verduurzaming van woningen zijn.

4.4 Overzicht van openbare publicaties over het project en waar deze te vinden of te verkrijgen zijn

Op 15 oktober 2020 is een webinar georganiseerd voor een breed publiek, waarin de resultaten van dit project en van het parallel lopend project ‘Noord-Holland Aardgasvrij’ werden gepresenteerd, zie Figuur 9.



Figuur 9: Screenshot van het webinar op 15 oktober 2020

De presentatie van het webinar kan worden aangevraagd bij de contactpersoon, hieronder benoemd.

Deze openbare eindrapportage is beschikbaar op de website van RVO of kan worden aangevraagd bij de contactpersoon.

4.5 Contactpersoon

Voor meer informatie kan contact opgenomen worden met ir. F.G.H. Koene, email frans.koene@tno.nl.

Het project is uitgevoerd met subsidie van het Ministerie van Economische Zaken, Nationale regelingen EZ-subsidies, Topsector Energie uitgevoerd door Rijksdienst voor Ondernemend Nederland.

5 Ondertekening

Delft, 3 december 2020

TNO



Ir. A.C. Westerlaken
Research Manager



F.G.H. Koene
Auteur