



Planbureau voor de Leefomgeving

VIER TRAJECTEN NAAR EEN KLIMAATNEUTRALE GEBOUWDE OMGEVING

Achtergrondstudie ten behoeve van de Trajectverkenning Klimaatneutraal
2050

Wouter Wetzels, Nico Hoogervorst, Boris van Beijnum, Bert Daniëls, Bart Strengers
24 april 2024

PBL

Colofon

Vier trajecten naar een klimaatneutrale gebouwde omgeving. Achtergrondstudie ten behoeve van de Trajectverkenning Klimaatneutraal 2050.

© PBL Planbureau voor de Leefomgeving

Den Haag, 2024

PBL-publicatienummer: 5208

Contact

wouter.wetzels@pbl.nl

Auteurs

Wouter Wetzels, Nico Hoogervorst, Boris van Beijnum, Bert Daniëls, Bart Strengers

Met dank aan

Het PBL is dank verschuldigd aan diverse interne en externe reviewers.

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: Wetzels, W., Hoogervorst, N., Daniëls, B., van Beijnum, B. en Strengers, S. (2024), Vier trajecten naar een klimaatneutrale gebouwde omgeving. Achtergrondstudie ten behoeve van de Trajectverkenning Klimaatneutraal 2050, Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.

Het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL) is het nationale instituut voor strategische beleidsanalyses op het gebied van milieu, natuur en ruimte. Het PBL draagt bij aan de kwaliteit van de politiek-bestuurlijke afweging door het verrichten van verkenningen, analyses en evaluaties waarbij een integrale benadering vooropstaat. Het PBL is vóór alles beleidsgericht. Het verricht zijn onderzoek gevraagd en ongevraagd, onafhankelijk en wetenschappelijk gefundeerd.

Inhoud

Samenvatting	4
1 Inleiding	5
2 Oplossingsrichtingen voor de warmtetransitie van de gebouwde omgeving	6
2.1 Elektrisch verwarmen	6
2.2 Klimaatneutrale gassen	7
2.3 Warmtenetten	8
2.4 Warmtevraagreductie	8
3 Trajecten naar een klimaatneutrale gebouwde omgeving	10
3.1 De Startanalyse aardgasvrije buurten	11
3.2 Trajecten naar een klimaatneutrale gebouwde omgeving	14
4 Beleid voor de warmtetransitie van de gebouwde omgeving	17
4.1 Elektrisch verwarmen	17
4.2 Klimaatneutrale gassen	17
4.3 Warmtenetten	18
4.4 Warmtevraagreductie	18
Referenties	20

Samenvatting

Deze achtergrondstudie is onderdeel van het PBL-project 'Trajectverkenning klimaatneutraal 2050' (TVKN). TVKN onderzoekt welke ontwikkelingen in de Nederlandse samenleving mogelijk en/of nodig zijn om in 2050 een klimaatneutrale maatschappij te realiseren en hoe de weg daarnaartoe eruit zou kunnen zien. Het gaat daarbij om de energievraag en bijbehorende emissies in de verschillende sectoren, de energievoorziening, opslag en vastlegging of benutting van CO₂, en de uitstoot van overige broeikasgassen in met name de landbouw.

Voor de onderscheiden vraagsectoren (industrie, gebouwde omgeving, mobiliteit en landbouw en landgebruik) zijn mogelijke trajecten richting klimaatneutraliteit in kaart gebracht. Deze achtergrondstudie verkent vier mogelijke trajecten naar een klimaatneutrale gebouwde omgeving. Deze trajecten hebben sterk verschillende accenten op de technische oplossingsrichtingen elektrisch verwarmen, klimaatneutrale gassen, warmtenetten en warmtevraagreductie. Deze studie zet vervolgens uiteen welk beleid al is ingezet of in ontwikkeling is voor de vier onderzochte oplossingsrichtingen. De resultaten van de integrale analyse en de bevindingen worden niet besproken in deze achtergrondstudie, maar in het TVKN hoofdrapport.

1 Inleiding

Deze achtergrondstudie is onderdeel van het PBL-project ‘Trajectverkenning klimaatneutraal 2050’ (TVKN). TVKN onderzoekt welke ontwikkelingen in de Nederlandse samenleving mogelijk en/of nodig zijn om in 2050 een klimaatneutrale maatschappij te realiseren en hoe de weg daarnaartoe eruit zou kunnen zien. Het gaat daarbij om de energievraag en bijbehorende emissies in de verschillende sectoren, de energievoorziening, opslag en vastlegging of benutting van CO₂, en de uitstoot van overige broeikasgassen in met name de landbouw.

Daarvoor is een ‘bottom-up’ analyse van de verschillende vraag- en aanbodsectoren gebruikt als invoer voor een integrale analyse met behulp van een kostenoptimalisatiemodel (OPERA). De uitkomsten van de integrale analyse worden teruggekoppeld naar de vraag- en aanbodsectoren, waarbij inzichtelijk wordt gemaakt wat robuuste en onzekere elementen zijn in de transitie en wat de dilemma’s en keuzemogelijkheden zijn. Omdat niet alleen naar een eindbeeld in 2050 wordt gekeken, maar ook naar de trajecten op weg daar naartoe wordt ook inzichtelijk wanneer in de tijd welke dilemma’s en keuzes aan de orde zijn. De studie geeft tenslotte op hoofdlijnen inzicht in aanknopingspunten voor (nieuw) beleid om klimaatneutraliteit in 2050 te realiseren.

Voor de onderscheiden vraagsectoren (industrie, gebouwde omgeving, mobiliteit en landbouw en landgebruik) zijn mogelijke trajecten richting klimaatneutraliteit in kaart gebracht. De trajecten van de vraagsectoren en de bandbreedtes van de maximale beschikbaarheden van de aanbodsectoren zijn gebruikt om aannames en randvoorwaarden te formuleren waarbinnen de integrale trajecten zijn bepaald die tegen de laagste maatschappelijke kosten voeren naar klimaatneutraliteit in 2050.

Deze achtergrondstudie verkent vier mogelijke trajecten naar een klimaatneutrale gebouwde omgeving. De gebouwde omgeving gebruikt energie voor verwarming, koeling, elektrische apparaten en processen. De directe uitstoot van broeikasgasemissies uit de gebouwde omgeving wordt voor het overgrote deel veroorzaakt door verbranding van aardgas voor het verwarmen van gebouwen en tapwater. Om de gebouwde omgeving klimaatneutraal te maken is dus vooral een warmtetransitie nodig die het huidige gebruik van aardgas in HR-ketels vervangt door klimaatneutrale energiedragers met bijpassende verwarmingsinstallaties. Onderdeel van deze transitie is ook het verminderen van de warmtevraag door isolatie van gebouwen.

Hoofdstuk 2 beschrijft vier technische oplossingsrichtingen voor de warmtetransitie van de gebouwde omgeving: elektrisch verwarmen, klimaatneutrale gassen, warmtenetten en warmtevraag-reductie. Hoofdstuk 3 verkent vier trajecten naar een klimaatneutrale gebouwde omgeving, met sterk verschillende accenten op de technische oplossingsrichtingen. Hoofdstuk 4 zet uiteen welk beleid al is ingezet of in ontwikkeling is voor de vier onderzochte oplossingsrichtingen. De resultaten van de integrale analyse en de bevindingen worden niet besproken in deze achtergrondstudie, maar in het TVKN hoofdrapport (PBL, 2024).

2 Oplossingsrichtingen voor de warmtetransitie van de gebouwde omgeving

We hebben vier technische oplossingsrichtingen voor de warmtetransitie van de gebouwde omgeving onderzocht, die hieronder worden toegelicht.

2.1 Elektrisch verwarmen

Er zijn verschillende manieren waarop gebouwen elektrisch verwarmd kunnen worden. Elektrische warmtepompen waarden warmte uit de omgeving op naar een bruikbare temperatuur voor ruimteverwarming en warm tapwater. Infraroodverwarming en weerstandsverwarming (straalkachels) geven stralingswarmte af, hebben een lager rendement en worden meestal gebruikt als bijverwarming. We beperken de discussie tot volledig elektrische warmtepompen en hybride warmtepompen.

Elektrische warmtepompen werken meestal op lagere temperaturen (35 tot 55 °C) dan aardgasgestookte CV-ketels (60 tot 80 °C) (ECW, 2022). Voor verwarming van gebouwen met lagere temperaturen is het nodig dat het gebouw een geschikt warmteafgiftesysteem heeft. In goed geïsoleerde gebouwen kan een efficiëntere warmtepomp met minder vermogen en een lagere afgiftemperatuur worden geïnstalleerd.

In de Startanalyse aardgasvrije buurten (PBL, 2020a, 2020b) wordt de toepasbaarheid van lage-temperatuurwarmtepompen gekoppeld aan isolatie tot minimaal schillabel B, maar de inzichten hierover lijken te verschuiven. Volgens recent onderzoek (Pothof, Vreeken, & van Meerkerk, 2022) zijn lage-temperatuurwarmtepompen ook toepasbaar in veel minder goed geïsoleerde woningen, mits de bestaande radiatoren voldoende gedimensioneerd zijn. Het is ook mogelijk dat hoge-temperatuur warmtepompen een rol gaan spelen. Deze zijn gemiddeld duurder en hebben een lager rendement dan lage-temperatuur warmtepompen, maar omdat ze warmte leveren op een temperatuurniveau dat vergelijkbaar is met dat van een HR-ketel zijn dure aanpassingen aan de gebouwschil en het warmte-afgiftesysteem niet nodig.

Een snelle manier om het aardgasverbruik en de bijbehorende CO₂-emissies te verminderen is het vervangen van HR-ketels door hybride warmtepompen. Door voornamelijk met een elektrische warmtepomp te verwarmen en op de koudste momenten met een HR-ketel bij te springen, kan circa 60% op het jaarlijkse gasverbruik worden bespaard en kan de piekvraag naar elektriciteit worden verminderd.

Voor toepassing van warmtepompsystemen zijn aanzienlijke investeringen nodig. De investeringskosten van volledig elektrische warmtepompen zijn hoger dan die van hybride warmtepompen (Tigchelaar, et al., 2021). Als eerst nog hoge isolatiekosten gemaakt moeten worden, kan dat een belemmering zijn om over te stappen op elektrisch verwarmen. Ook de financiering van de

investeringen kan een belemmering zijn. Het voordeel voor bewoners, bedrijven en instellingen is wel dat de energierekening omlaag gaat.

Warmtepompen hebben een relatief hoog elektrisch vermogen en gebruiken vaak gelijktijdig elektriciteit, met name in koude periodes in de winter. Als veel gebouwen overgaan op elektrisch verwarmen wordt het elektriciteitsnet zwaarder belast en kan extra elektriciteitsproductievermogen nodig zijn. Wel kan het stookpatroon van elektrische warmtepompen worden aangepast om de belasting van het elektriciteitsnet te beperken. Als het gebouw 's nachts weinig afkoelt is er na koude nachten minder vermogen nodig om het gebouw weer op te warmen. Om het gevraagde vermogen te verminderen kan een elektrische warmtepomp worden gecombineerd met isolatie, een voorraadvat voor warm tapwater, ventilatie-warmteterugwinning, douchewarmtewisselaars of buffertanks voor de opslag van warmte voor ruimteverwarming (ECW, 2022).

2.2 Klimaatneutrale gassen

Met 'klimaatneutrale gassen' bedoelen we in dit rapport gassen die over de gehele keten (bij de productie én bij verbranding) netto geen uitstoot van broeikasgassen veroorzaken. We beperken de discussie tot groengas en groene waterstof. Groengas is biogas dat wordt opgewaardeerd naar een hoger methaanpercentage, gelijk aan dat van aardgas, waarmee het geschikt is voor invoeding in het aardgasnet (of als grondstof voor de chemie). Biogas wordt gemaakt van allerlei soorten biomassa, bij voorkeur uit reststromen. Groene waterstof is klimaatneutraal als uitsluitend CO₂-vrije elektriciteit wordt gebruikt bij de elektrolyse van water, waarbij waterstof en zuurstof ontstaan. Blauwe waterstof is CO₂-arm en kan ook een belangrijke schakel zijn in de transitie naar een klimaatneutraal energiesysteem (PBL, 2024).

Groengas kan worden gebruikt in bestaande HR-ketels met bestaande radiatoren en in bestaande kooktoestellen. Dit betekent dat gebouweigenaren niet hoeven te investeren in het aanpassen van warmteafgiftesystemen. Gebouwen hoeven ook niet extra te worden geïsoleerd om comfortabel verwarmd te kunnen worden.

Het is erg onzeker hoeveel groengas op termijn beschikbaar kan komen om gebouwen te verwarmen en wat groengas gaat kosten. Dat laatste is niet alleen afhankelijk van de beschikbaarheid van biograndstoffen en de mate waarin de productiekosten (door innovatie) gaan dalen, maar ook van de mate waarin concurrentie om groengas de marktprijs gaat opdrijven (PBL, 2024).

Bij toepassing van waterstof zijn beperkte aanpassingen in gebouwen nodig. De in pandige gasleidingen moeten gecontroleerd worden op lekkages, er zal waarschijnlijk een andere gasmeter nodig zijn en de brander in de verwarmingsketel moet worden vervangen. Ook voor groene waterstof is het onzeker hoeveel er op termijn beschikbaar komt voor verwarming van gebouwen. Dit hangt af van de toekomstige binnenlandse productie, de geïmporteerde hoeveelheden en de behoefte aan waterstof in andere sectoren (PBL, 2024).

De bestaande gasinfrastructuur is al geschikt voor groengas. Waterstof kan slechts in beperkte mate worden bijgemengd met aardgas of groengas. Om waterstof te kunnen toepassen moet de omschakeling van alle aansluitingen in een verzorgingsgebied (of desnoods een deel daarvan) in één operatie plaatsvinden. Een waterstoftransportnetwerk voor de industrie zou als startpunt kunnen dienen voor het gefaseerd aansluiten van de gebouwde omgeving op waterstof.

2.3 Warmtenetten

Warmtenetten transporteren warm water naar woningen en andere gebouwen. Momenteel worden de Nederlandse warmtenetten gevoed uit centrale bronnen waar afval, aardgas, kolen en biograndstoffen worden verbrand. In een klimaatneutrale gebouwde omgeving is alleen plaats voor warmtenetten die gevoed worden met restwarmte en hernieuwbare energiebronnen zoals geothermie en aquathermie. Houtige biograndstoffen zijn niet meer aan de orde aangezien het gebruik daarvan wordt afgebouwd (IenW, 2020).

Warmtenetten zijn vooral aantrekkelijk op plaatsen waar op relatief korte afstand van een bron veel warmte kan worden geleverd, bijvoorbeeld doordat woningen in stedelijke gebieden dicht op elkaar staan. Als warmte over grotere afstanden getransporteerd moet worden, moeten meer kostbare transportleidingen worden aangelegd en wordt onderweg meer warmte verloren.

Het rendement van een warmteproject wordt door tal van factoren beïnvloed, maar de warmteafzet (volume) en de marge op de verkochte warmte (het verschil tussen de verkoop- en inkoop-prijs) zijn de belangrijkste factoren (van Rossum, 2022). Vóór de aanleg van een warmtenet kan de verwachte deelname worden geschat of met intentieverklaringen worden bekrachtigd, maar er blijft een risico dat de warmtevraag achterblijft bij de verwachte afzet (het zogenaamde vollooprisico). En ook nadat gebouwen zijn aangesloten, kunnen klanten hun stookgedrag aanpassen, energiebesparende investeringen doen of besluiten om toch geen warmte meer af te nemen en over te stappen op bijvoorbeeld elektrisch verwarmen.

De huidige warmtenetten worden gevoed uit hoge en midden-temperatuurbronnen en leveren water van circa 90 graden Celsius aan gebouwen. Dat is warm genoeg om gebouwen te verwarmen met behulp van een eenvoudige warmtewisselaar en standaard radiatoren. Er wordt geëxperimenteerd met warmtenetten die gevoed worden uit bronnen met een lage temperatuur (LT-bronnen), zoals oppervlaktewater (0-20 graden), restwarmte van koelinstallaties (in supermarkten en datacenters), waterzuiveringsinstallaties en riolen.

2.4 Warmtevraagreductie

Als de warmtevraag van de gebouwde omgeving wordt verlaagd, hoeft er minder warmte te worden opgewekt. Na-isolatie kan de warmtevraag van bestaande gebouwen verlagen. Nieuwe woningen zijn (door aangescherpte voorschriften) veel beter geïsoleerd dan bestaande woningen en verbruiken daardoor minder warmte per vierkante meter. Er zijn ook andere mogelijkheden om de warmtevraag te verlagen. De energievraag voor verwarming kan verminderd worden door het verlagen van de gemiddelde temperatuur in gebouwen en door selectief te verwarmen, in plaats van de hele ruimte of het hele gebouw. Ook met eenvoudige maatregelen, zoals tochtstrippen, is de warmtevraag te verlagen.

De belangrijkste factoren die van invloed zijn op de warmtebehoefte van woningen kunnen worden onderscheiden in fysieke kenmerken van het gebouw en persoonsgebonden kenmerken. De belangrijkste gebouwkenmerken hangen samen met het woningtype, het bouwjaar, welke isolatiemaatregelen zijn toegepast en de grootte van de woning. Belangrijke persoonsgebonden kenmerken zijn de samenstelling van het huishouden, de gewenste thermostaattemperatuur en energiezuinig gedrag (van Beijnum, et al., 2023).

Gebouweigenaren maken een eigen afweging van wat na-isolatie hen kost en oplevert. Het financiële rendement van een investering in na-isolatie is onzeker vanwege fluctuaties in energieprijzen en onzekerheid over het effect op de warmtevraag. Bewoners van energiezuinige woningen zijn geneigd om langer en tot hogere temperaturen te verwarmen. Dat levert hen meer comfort op maar ook minder energiebesparing.

3 Trajecten naar een klimaatneutrale gebouwde omgeving

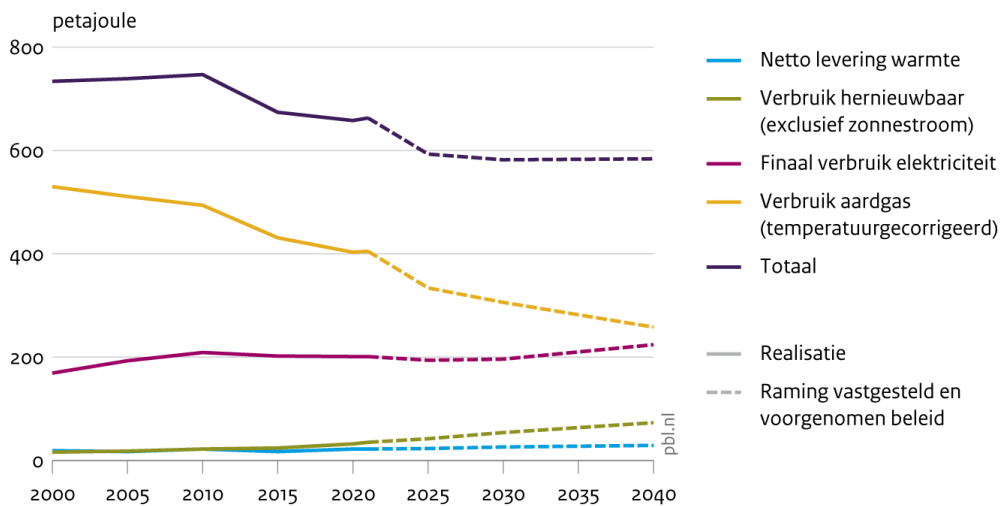
In dit hoofdstuk verkennen we langs welke routes de gebouwde omgeving in 2050 klimaatneutraal zou kunnen worden. We werken vier trajecten uit, met sterk verschillende accenten op de technische oplossingsrichtingen die in het vorige hoofdstuk zijn geïntroduceerd.

Startanalyse als startpunt

De trajecten naar een klimaatneutrale gebouwde omgeving bouwen voort op de resultaten van de Startanalyse aardgasvrije buurten (PBL, 2020a, 2020b). Dat is een technisch-economische analyse van de effecten en kosten van opties om gebouwen zonder aardgas te verwarmen. Hierin is per buurt bepaald welke strategie voor aardgasvrij verwarmen de laagste kosten vanuit maatschappelijk perspectief heeft. Energiekosten zijn daarbij gebaseerd op productiekosten, en houden dus geen rekening met de prijsopdrijvende werking van schaarste van hulpbronnen zoals biogrondstoffen en waterstof en de concurrentie tussen verschillende sectoren en toepassingen. Het TVKN hoofdrapport gaat in op de impact van die schaarste.

Figuur 3.1

Energieverbruik van gebouwde omgeving volgens Klimaat- en Energieverkenning 2022



Bron: Klimaat- en Energieverkenning 2022

Scope

De sector gebouwde omgeving bestaat uit huishoudens en bedrijven en organisaties in de dienstensector. Het energieverbruik in deze sector bestaat uit het finaal verbruik van elektriciteit, het verbruik van aardgas, de (netto) geleverde warmte via warmtenetten, lokaal gewonnen

hernieuwbare energie en het overig verbruik, zie figuur 3.1. Het overig verbruik blijft verder buiten beschouwing omdat dit ook omzettingsverliezen bij de oliehandel en het verbruik van aardgas voor het op druk brengen van de velden voor gasopslag bevat.

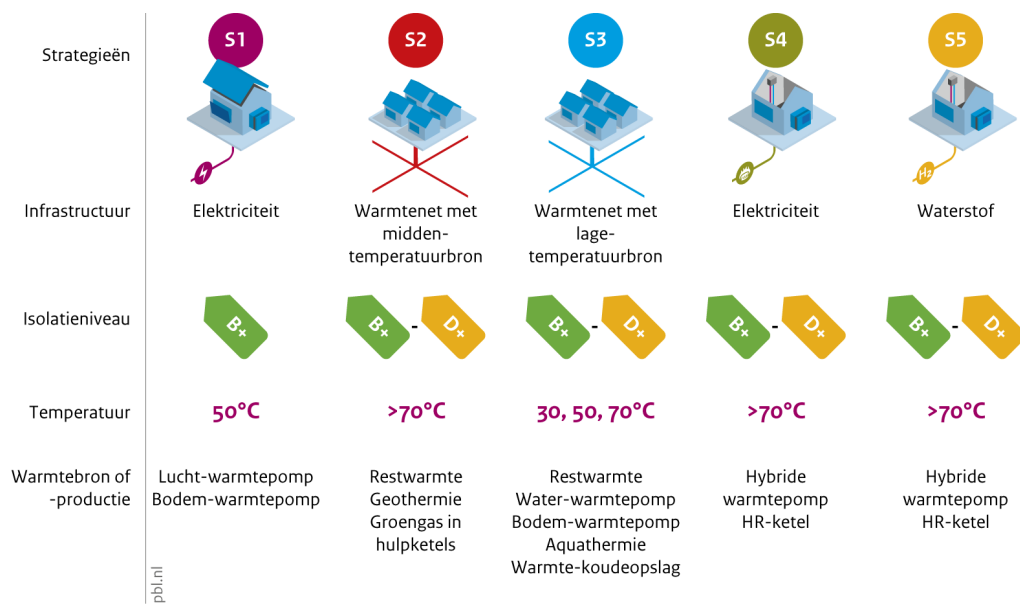
Het aardgasverbruik van de gebouwde omgeving vertoonde in de periode 2000-2021 een dalende trend. Volgens de centrale raming van de Klimaat en Energieverkenning (KEV) 2022 zet die daling bij vastgesteld en voorgenomen beleid richting 2030 door. De directe uitstoot van broeikasgassen daalt daarbij tussen 2020 en 2030 van 22 naar 18 [15-21] megaton.

3.1 De Startanalyse aardgasvrije buurten

De Startanalyse aardgasvrije buurten is ontwikkeld om gemeenten informatie te geven bij de selectie van technische opties voor de transitie naar aardgasvrije buurten. In de analyse zijn doorrekeningen gemaakt van vijf strategieën voor aardgasvrij verwarmen (zie figuur 3.2) die gebaseerd zijn op de vier oplossingsrichtingen uit hoofdstuk 2. Bij lage-temperatuurverwarming is verondersteld dat minimaal een isolatieniveau van schillabel B nodig is voor een comfortabel binnenklimaat.

Figuur 3.2

Vijf strategieën voor aardgasvrij verwarmen in de gebouwde omgeving



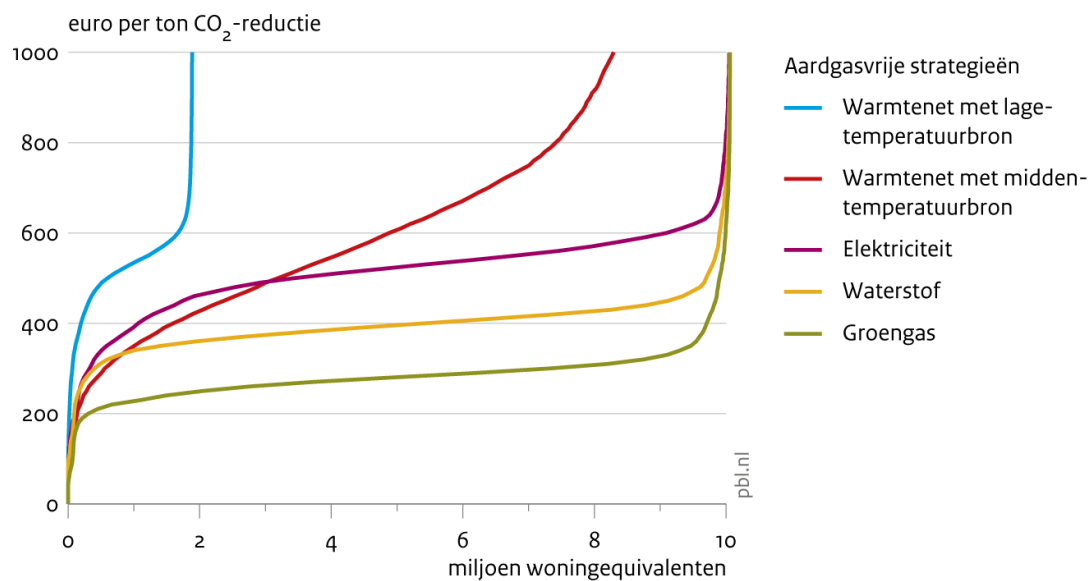
Bron: PBL

Met behulp van de Startanalyse kunnen de nationale kosten – kosten voor de Nederlandse samenleving als geheel, ongeacht wie deze draagt – van de aardgasvrije technieken in 2030 vergeleken worden. In de kostenberekening is verondersteld dat zoveel mogelijk gebouwen in een buurt met dezelfde techniek worden verwarmd en dat de gehele bestaande bouwvoorraad wordt na-geïsoleerd tot minimaal schillabel D. De kosten zijn bepaald ten opzichte van de kosten van het huidige dominante systeem met HR-ketels en aardgas. De berekeningen hanteren ramingen van investeringskosten in verwarmingsinstallaties en energienetwerken in 2030 naast ramingen van productiekosten van energiedragers in 2030. Ook is rekening gehouden met kosten van beheer en onderhoud van netwerken en installaties in 2030.

In figuur 3.3 is ervan uitgegaan dat groengas en waterstof niet schaars zijn en tegen productiekosten kunnen worden geleverd, en zijn veronderstellingen gemaakt over de regionale beschikbaarheid van restwarmte, geothermie en aquathermie. De beschikbaarheid van middentemperatuur (MT) restwarmte is daarbij afhankelijk van de hoeveelheid en locatie van bedrijven die restwarmte blijven produceren, waarmee ongeveer 5 miljoen woningequivalenten (voornamelijk appartementen) kunnen worden verwarmd. De beschikbaarheid van laagtemperatuurwarmte (LT) is veel kleiner op plaatsen met een compacte gebouwvoorraad. Omdat LT-bronnen doorgaans een kleine capaciteit hebben, zijn de LT-warmtenetten meestal ook beperkt van omvang. In de Startanalyse is verondersteld dat ze alleen rendabel kunnen worden aangelegd op plekken waar ze lagere nationale kosten hebben dan elektrische warmtepompen. Onder de veronderstelling dat alle gebouwen eerst naar minimaal schillabel B worden geïsoleerd, geldt dit voor slechts 170.000 woningequivalenten. Alle overige gebouwen krijgen in deze optie (LT-net) een elektrische warmtepomp. Daardoor verschilt de nationale energiebehoefte van deze optie weinig van die in de volledig elektrische optie.

Figuur 3.3

Nationale kosten van aardgasvrije strategieën



Bron: PBL 2020

Nationale kosten van aardgasvrij verwarmen in 2030 als groengas en waterstof niet schaars zijn en tegen productiekosten kunnen worden geleverd en op basis van veronderstellingen over de beschikbaarheid van restwarmte, geothermie en aquathermie. Eén woning is gelijk aan één woningequivalent en gebouwen in de dienstensector worden omgerekend naar woningequivalenten op basis van hun bruto vloeroppervlak. Een woningequivalent is gelijk aan 130 vierkante meter bruto vloeroppervlak. Bron: berekend uit resultaten van de Startanalyse aardgasvrije buurten (PBL, 2020a, 2020b).

Op basis van de uitgangspunten van de Startanalyse heeft elk aardgasvrij systeem in 2030 hogere nationale kosten dan een systeem met HR-ketels en aardgas. Ondanks het feit dat de aardgasvrije systemen energetisch efficiënter zijn dan het huidige systeem (met uitzondering van de HR-ketel met groengas), zijn ze wel duurder. Het verschil wordt vooral veroorzaakt door verschillen in de kosten van installaties, na-isolatie en netwerken en veel minder door verschillen in de technische

efficiëntie van de systemen. De verwarmingsinstallaties van de aardgasvrije systemen zijn meestal aanmerkelijk duurder dan HR-ketels en investeringen in warmtenetten hebben ook grote invloed op de kostenverschillen tussen de systemen.

Bij de gekozen uitgangspunten heeft verwarmen met groengas al dan niet in combinatie met een warmtepomp in vrijwel alle gevallen de laagste nationale kosten. In goed geïsoleerde gebouwen met een laag gasverbruik zijn de kosten van een HR-ketel met groengas het laagst; in andere gebouwen is een hybride warmtepomp goedkoper. De kapitaalslasten van de strategieën met groengas en waterstof zijn lager dan van andere warmtestrategieën. Er zijn namelijk minder investeringen nodig in na-isolatie, verwarmingsinstallaties en distributienetten voor elektriciteit, gas en warmte. Daar staat tegenover dat de inkoop van energie duurder is. Verder is het jaarlijkse onderhoud van installaties in gebouwen duurder dan bij warmtenetten en is onderhoud van netwerken duurder dan bij volledig elektrische warmtepompen.

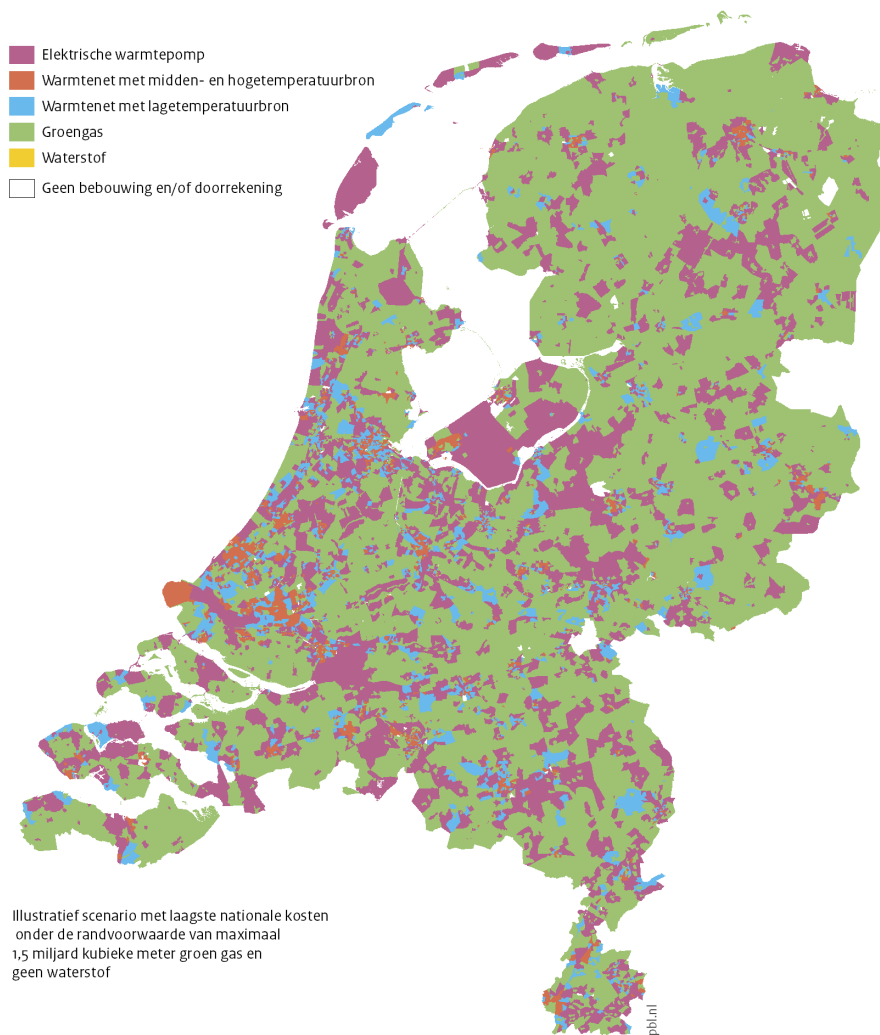
De kosten van energiedragers zoals berekend in de Startanalyse hebben betrekking op productie-kosten (voor de Nederlandse samenleving als geheel). Die vormen structureel een ondergrens voor marktprijzen en staan los van wat mensen ervoor zouden willen betalen. Schaarste aan groengas zou bijvoorbeeld kunnen leiden tot marktprijzen die aanmerkelijk hoger zijn dan de productiekosten die hier zijn gehanteerd.

Het moment waarop maatregelen worden genomen heeft invloed op de te maken kosten. In de Startanalyse is gerekend met verwachte kostenontwikkelingen tussen 2019 en 2030, waarbij de kosten van nieuwe technieken sneller dalen dan die van bekende technieken zoals warmtenetten en na-isoleren. Die benadering is beter geschikt om de verschillen in kosten van opties in beeld te brengen dan de absolute hoogte van die kosten in een toekomstig jaar.

De gemiddelde kosten van netwerkaanpassingen per woning vertonen in de praktijk een grote spreiding. Dat wordt vooral veroorzaakt door spreiding in de onderlinge afstand van gebouwen en in de afstand tot locaties waar energiedragers worden geproduceerd, zoals elektriciteitscentrales en fabrieken die restwarmte produceren. Ook de kosten van na-isolatie vertonen grote regionale verschillen. Dat zorgt er voor dat niet één aardgasvrij verwarmingssysteem overal de goedkoopste optie is, maar dat dat per locatie steeds een ander systeem kan zijn (zie figuur 3.4 voor een illustratie).

Figuur 3.4

Vijf strategieën om gebouwen zonder aardgas te verwarmen



Bron: Langeveld, van den Wijngaart, & Hoogervorst, 2023; bewerking PBL

De verdeling van vier van de vijf onderzochte strategieën over Nederland voor een illustratief scenario met laagste nationale kosten onder de randvoorwaarde van maximaal 1,5 miljard kubieke meter groengas en geen waterstof. Bron: (Langeveld, van den Wijngaart, & Hoogervorst, 2023).

3.2 Trajecten naar een klimaatneutrale gebouwde omgeving

Uit de resultaten van de Startanalyse zijn vier trajecten naar een klimaatneutrale gebouwde omgeving gedestilleerd, met sterk verschillende accenten op de technische oplossingsrichtingen, zie Tabel 3.1 (Hoogervorst, 2024).

Deze oplossingsrichtingen verschillen van elkaar op allerlei kenmerken, zoals kosten, benodigde arbeidskrachten, behoefte aan klimaatneutrale energiedragers, het aantal gebouwen waar na-isolatie nodig is, etcetera. Per locatie kunnen die kenmerken ook nog variëren, afhankelijk van het bouwtype, de buurt (bijvoorbeeld vanwege de dichtheid van de bebouwing) en regio (nabijheid

warmtebronnen). Dat maakt het kiezen extra ingewikkeld. In de trajecten neemt het aantal woningen toe van 7,5 miljoen in 2020 naar 8,9 miljoen in 2050. De gebouwvoorraad in de dienstensector groeit van 3,1 miljoen woningequivalenten in 2020 naar 3,8 miljoen in 2050. In alle trajecten is rekening gehouden met een gemiddelde temperatuurstijging in het stookseizoen die is gebaseerd op het G_H-klimaatscenario van het KNMI (KNMI, 2014). De koudevraag neemt toe doordat de gemiddelde buitentemperatuur stijgt. In de Startanalyse is toegelicht hoe met de koudevraag is omgegaan (PBL, 2020b).

Tabel 3.1

De realisatie van klimaatneutrale verwarming van de bestaande gebouwvoorraad volgens vier trajecten, in miljoen woningequivalenten. Bron: (Hoogervorst, 2024).

Type maatregel	Volledig elektrisch	Klimaatneutrale gassen	Warmtenetten	Energie besparen
Na-isolatie niet nodig	2,1	3,9	3,5	2,1
Na-isoleren naar schillabel D	0	3,9	3,9	0
Na-isoleren naar schillabel B	5,7	0	0,4	5,7
Na-isoleren utiliteit* naar schillabel B	2,4	2,4	2,4	2,4
Elektrische warmtepompen	9,8	0,1	4,2	6,4
MT-Warmtenetaansluitingen	0,3	0,3	3,0	1,2
LT-Warmtenetaansluitingen	0	0	0,3	0,2
Hybride warmtepompen	0	9,7	2,6	2,4

* Exclusief 0,7 miljoen woningequivalenten (voornamelijk industriële bedrijfsgebouwen zonder koeling) die niet zijn meegenomen in de Startanalyse aardgasvrije buurten.

Traject Volledig elektrisch

Het traject Volledig elektrisch gaat uit van volledig elektrisch verwarmen van vrijwel alle gebouwen. Het aantal woningequivalenten in de bestaande bouw dat voorzien is van een volledig elektrische warmtepomp neemt toe van 1,5 miljoen in 2030 naar 6,0 miljoen in 2040 en uiteindelijk 9,8 miljoen in 2050. Gebouweigenaren kunnen meestal zelf bepalen wanneer ze gebouwmaatregelen uitvoeren, zoals na-isolatie tot schillabel B en aanpassing van radiatoren, ventilatiesystemen en kooktoestellen. Ze zijn dan niet afhankelijk van collectieve besluitvorming over warmtenetten en hebben geen last van onzekerheid over de beschikbaarheid van groengas en waterstof. Daar staat tegenover dat toepassing van warmtepompen kan worden belemmerd of vertraagd in gebieden waar verzwaring van het elektriciteitsnetwerk niet tijdig wordt gerealiseerd. Bestaande warmtenetten blijven in dit traject in gebruik tot het eind van hun technische levensduur. In nieuw gebouwde woningen en utiliteitsgebouwen wordt vanaf 2020 alleen volledig elektrische verwarming toegepast, tenzij nieuwbouw plaatsvindt in een buurt waar al een warmtenet aanwezig is.

Traject Klimaatneutrale gassen

Dit traject gaat uit van een maximale toepassing van hybride warmtepompen. Hierdoor kunnen pieken in de warmtevraag worden ingevuld met gas, terwijl de totale vraag naar klimaatneutraal gas lager is dan bij toepassing van HR-ketels. Het aantal woningequivalenten in de bestaande bouw met een hybride warmtepomp loopt op van 1,5 miljoen in 2030, naar 4,8 miljoen in 2040 en 9,7 miljoen in 2050. Bestaande warmtenetten blijven in dit traject in gebruik tot het eind van hun technische levensduur. Bij deze aanpak is minder na-isolatie nodig. In dit traject wordt nieuwbouw zoveel mogelijk verwarmd met hybride warmtepompen. De overige nieuwbouw wordt verwarmd met volledig elektrische warmtepompen of warmtenetten. In 2050 is 189 petajoule aan klimaatneutraal

gas nodig. Het is echter zeer onzeker of er zoveel klimaatneutraal gas beschikbaar zal zijn voor de gebouwde omgeving (PBL, 2024).

Traject Warmtenetten

Het warmtenettentraject zet sterk in op benutting van het potentieel van warmtenetten, en daarmee energiebronnen die anders onbenut zouden blijven, zoals middentemperatuur (MT) en lage-temperatuur (LT) restwarmte, geothermie en aquathermie. Benutting van middentemperatuurwarmte is het goedkoopst in combinatie met matige isolatie van gebouwen. Warmtenetten met LT-bronnen kunnen 0,3 miljoen woningequivalenten in de bestaande bouw verwarmen. Het aantal woningequivalenten in de bestaande bouw met een warmtenetaansluiting neemt toe van 0,9 miljoen in 2030 naar 1,9 miljoen in 2040 en 3,3 miljoen in 2050. Van de resterende bestaande bouwvoorraad worden uiteindelijk 4,2 miljoen woningequivalenten verwarmd met elektrische warmtepompen en 2,6 miljoen met hybride warmtepompen waarvoor 86 petajoule klimaatneutraal gas nodig is. Ongeveer twee derde van de nieuwbouwwoningen en de helft van de nieuwbouw in de dienstensector wordt aangesloten op een warmtenet. De rest van de nieuwbouw wordt volledig elektrisch verwarmd.

Traject Energie besparen

In dit traject is energiebesparing het belangrijkste uitgangspunt. Dat gebeurt door alle bestaande woningen zo snel mogelijk te isoleren tot de isolatiestandaard, bestaande utiliteitsgebouwen te isoleren tot schillabel B en de resterende warmtebehoefte in de bestaande bouw tegen de laagste kosten in te vullen met elektrische warmtepompen (in 6,4 miljoen woningequivalenten), warmtenetaansluitingen (1,4 miljoen woningequivalenten) en hybride warmtepompen (in 2,4 miljoen woningequivalenten en met 60 petajoule klimaatneutraal gas). Ongeveer een kwart van de nieuwbouw wordt aangesloten op een warmtenet en de rest wordt verwarmd met elektrische warmtepompen.

Voor elk traject ligt de CO₂-uitstoot van de gebouwde omgeving uiterlijk in 2050 op nul en is geschat hoe snel de benodigde maatregelen kunnen worden uitgevoerd in de anno 2019 bestaande bouw. De ingroei van technische opties in de nieuwbouw gaat gelijk op met het nieuwbouwtempo van woningen en utiliteitsgebouwen. Na-isolatie van bestaande woningen is vaak nodig om een alternatief voor de aardgasgestookte cv-ketel te kunnen toepassen. In de trajecten vindt na-isolatie dan ook plaats op het moment dat de cv-ketel wordt vervangen. Alleen voor traject Energie besparen is een hoger isolatietempo aangenomen omdat dit traject energiebesparing als hoofddoel heeft. Voor de utiliteitsbouwen gaan alle trajecten uit van een constant isolatietempo tussen 2020 en 2050, zodat alle gebouwen in 2050 minimaal schillabel B hebben.

Ondanks tempoverschillen tussen typen maatregelen is er geen betekenisvol verschil in de cumulatieve CO₂-reductie tussen 2020 en 2050, zie Tabel 3.2. De trajecten verschillen wel duidelijk in de investeringen die nodig zijn.

Tabel 3.2

Vergelijking van vier trajecten naar een klimaatneutrale gebouwde omgeving.

Kenmerk	Volledig elektrisch	Klimaat-neutrale gassen	Warmtenetten	Energie besparen
Investeringen tot 2050 (miljard €2020)	208	83	160	190
CO ₂ -emissie cumulatief 2020-2050 (Mton)	460	489	474	484

4 Beleid voor de warmtetransitie van de gebouwde omgeving

In dit hoofdstuk zetten we uiteen welk beleid al is ingezet of in ontwikkeling is voor de vier onderzochte technische oplossingsrichtingen voor de warmtetransitie van de gebouwde omgeving.

Beleid voor verduurzaming van de gebouwde omgeving

Het kabinet-Rutte IV heeft in het coalitieakkoord een pakket maatregelen aangekondigd om de Nederlandse klimaatdoelen te halen. Het Beleidsprogramma versnelling verduurzaming gebouwde omgeving (BZK, 2022a) bevat plannen om de verduurzaming van woningen en utiliteitsgebouwen te versnellen met een mix van normering, beprijzing, financiering, subsidiëring en ondersteuning. De prioriteit in de aanpak ligt op energiebesparing. Het beleid loopt zowel via een gebiedsgericht spoor, waarin wijken planmatig verduurzaamd en uiteindelijk aardgasvrij gemaakt worden, als via een spoor dat gericht is op individuele gebouwen en gebouweigenaren. Om de klimaatdoelen in zicht te brengen is in de Voorjaarsnota 2023 een aantal beleidsvoornemens verder uitgewerkt en zijn er nieuwe beleidskeuzes gemaakt (PBL, 2023).

4.1 Elektrisch verwarmen

Investerings in elektrische warmtepompen in de bestaande bouw worden gestimuleerd met subsidie. Eigenaren van bestaande koopwoningen en zakelijke gebruikers kunnen subsidie aanvragen uit de Investeringssubsidie duurzame energie en energiebesparing (ISDE). Vanaf 2022 is deze subsidie verhoogd van 20% naar 30% van de investeringskosten van de warmtepomp.

In 2026 gaat bij vervanging van een cv-ketel een energieprestatie-eis gelden waardoor moet worden overgestapt op een substantieel efficiënter alternatief (meestal een hybride warmtepomp). De normering gaat niet gelden voor appartementen en monumenten. Er komt ook een uitzonderingsmogelijkheid voor situaties waarin de norm niet goed kan worden toegepast en voor wijken die nu al met een warmtenet worden verwarmd, of waar binnen tien jaar via de wijkaanpak op een ander duurzaam alternatief wordt overgestapt.

De energiebesparingsplicht houdt in dat bedrijven en instellingen alle CO₂-reducerende maatregelen moeten nemen met een terugverdientijd van vijf jaar of minder. De erkende maatregelenlijsten (EML) voor de energiebesparingsplicht zijn in 2023 geactualiseerd. Op de geactualiseerde EML staat ook de hybride warmtepomp als erkende maatregel op een zelfstandig moment. Kleinverbruikers in de dienstensector die niet aan de energiebesparingsplicht hoeven te voldoen krijgen op een vervangingsmoment te maken met dezelfde normering voor verwarmingsinstallaties als de huishoudens.

4.2 Klimaatneutrale gassen

Het kabinet heeft aangekondigd om een bijmengverplichting voor groengas voor energieleveranciers in te voeren. Het doel van de bijmengverplichting is om de productie van groengas in Nederland te vergroten door producenten voor langere termijn zekerheid te bieden over de richting van

de markt. Er wordt budget uit het Klimaatfonds beschikbaar gesteld voor een investeringssubsidie voor het demonstreren van grootschalige vergassingsprojecten voor de productie van groengas. De SDE++ subsidieert de onrendabele top voor de productie van groengas en waterstofproductie via elektrolyse. Daarnaast werkt het kabinet aan diverse andere subsidies voor hernieuwbare waterstof, een verplichting voor industriële waterstofgebruikers en beleid gericht op randvoorwaarden. Voor de gebouwde omgeving voorziet het kabinet voorlopig bescheiden volumes voor het gebruik van waterstof en blijft het beleid vooral gericht op pilots en kleinschalige regionale initiatieven (EZK, 2023).

4.3 Warmtenetten

Sinds enkele jaren werkt de overheid aan een nieuwe Warmtewet, ofwel de Wet collectieve warmtevoorziening (Wcw) (EZK, 2022b). Daarin wordt onder andere geregeld dat de warmteprijs niet langer wordt afgeleid van de aardgasprijs (volgens de Niet-Meer-Dan-Anders methodiek) maar van de werkelijke productiekosten van warmte plus een redelijk rendement voor warmteleveranciers.

In 2022 is besloten een wijziging in de Wcw op te nemen die regelt dat het eigendom van nieuwe distributienetten in publieke handen komt. Daarbij geldt gedurende een ingroeiperiode van zeven jaar een tijdelijke uitzondering als er geen voldoende gekwalificeerd warmtebedrijf met infrastructuur in publieke handen beschikbaar is (EZK, 2022a). Bestaande netten komen na een overgangspanperiode ook in publieke handen.

De Rijksoverheid geeft daarnaast een impuls aan de uitrol van warmtenetten in de bestaande bouw door de onrendabele top te beperken met een nationale subsidieregeling. De Warmtenetten Investeringsubsidie (WIS) biedt vanaf juni 2023 investeringssubsidie voor onrendabele warmtenetprojecten, waardoor de kosten om afnemers aan te sluiten maximaal 6.000 euro omlaag kunnen. Voor de eerste openstellingsperiode was 150 miljoen euro beschikbaar.

4.4 Warmtevraagreductie

Voor alle nieuwbouw, zowel woningbouw als utiliteitsbouw, geldt dat de vergunningaanvragen vanaf 1 januari 2021 moeten voldoen aan de eisen voor Bijna Energie Neutrale Gebouwen (BENG). De BENG stelt eisen aan de energiebehoefte (netto warmtevraag) van een woning/gebouw, het primair gebouwgebonden energieverbruik en het aandeel duurzame energie.

Het doel van het Nationaal Isolatieprogramma (NIP) (BZK, 2022b) is dat er in 2030 2,5 miljoen woningen zijn geïsoleerd met de nadruk op de slecht geïsoleerde woningen (label E, F en G) waarbij één of meerdere stappen worden gezet richting de standaard voor woningisolatie. Het programma dient ook als ondersteuning bij het nemen van energiebesparende maatregelen en het verlagen van de energierekening.

Het kabinet wil met normering de gebouwen met de slechtste energielabels verduurzamen. Met de woningcorporaties zijn prestatieafspraken gemaakt om alle E, F en G labelwoningen in de sociale huur uiterlijk in 2028 worden uitgefaseerd. In aanvulling hierop is in de voorjaarsbesluitvorming 2023 aangekondigd dat alle huurwoningen (ongeveer een derde van het totaal) vanaf 2029 niet meer verhuurd mogen worden als ze niet minimaal label D hebben. In de voorjaarsbesluitvorming is ook een uitfasering van de slechtste energielabels in de utiliteitsbouw voorgesteld, vooruitlopend

op Europese energieprestatie-eisen voor bestaande gebouwen in de definitieve Energy Performance of Buildings Directive (EPBD) IV. Bedrijven en instellingen die onder de energiebesparingsplicht vallen moeten daarnaast gebouwgebonden CO₂-reductiemaatregelen nemen die zich binnen 5 jaar terugverdienen.

De investeringssubsidie duurzame energie en energiebesparing (ISDE) stimuleert eigenaren van koopwoningen om isolatiemaatregelen te nemen. Vanaf 2023 kunnen eigenaar-bewoners subsidie aanvragen als er één isolatiemaatregel is gerealiseerd. Als stimulans om meer maatregelen tegelijk te nemen is de subsidie hoger bij combinatie van een isolatiemaatregel met een tweede isolatiemaatregel of een investering in een warmtepomp, zonneboiler of warmtenetaansluiting.

Het Nationaal Warmtefonds biedt financiering voor de verduurzaming van huizen en gebouwen van eigenaar-bewoners, Verenigingen van Eigenaars en scholen. Het kabinet wil met het Warmtefonds zorgen dat woningeigenaren verduurzamingsmaatregelen tegen aantrekkelijke voorwaarden kunnen financieren, ook als ze geen leenruimte hebben.

Om het tempo van na-isolatie van woningen te versnellen, is in het Klimaatakkoord afgesproken om een standaard te ontwikkelen voor 'spijtvrije isolatie'. Met die standaard zouden gebouweigenaren zich kunnen voorbereiden op een klimaatneutrale toekomst nog voordat duidelijk is welk energiesysteem de huidige aardgasvoorziening gaat vervangen. Die wens is vertaald in de 'ontwerpeis' dat gebouwen comfortabel verwarmd moeten kunnen worden met water met een aanvoertemperatuur van maximaal 50 graden Celsius. De 'spijtvrije' isolatiestandaard zorgt dat huiseigenaren niet hoeven te wachten op duidelijkheid over welke energiedrager in hun wijk de rol van aardgas gaat overnemen; met de standaard zijn ze op elke optie voorbereid. De Standaard ligt voor vooroorlogse woningen ruwweg bij schillabel D en voor naoorlogse woningen ruwweg bij schillabel B (Ministerie van BZK, 2021).

Referenties

- 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: PBL.
- BZK. (2021). *Wegwijzer Dashboard Eindgebruikerskosten*, Den Haag: Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties.
- BZK. (2022a). *Beleidsprogramma Versnelling verduurzaming gebouwde omgeving*, Den Haag: Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties.
- BZK. (2022b). *Nationaal Isolatieprogramma*, Den Haag: Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties.
- ECW. (2022). 'Factsheet elektrische warmtepomp (versie oktober 2022)'. Opgehaald van <https://www.expertisecentrumwarmte.nl/themas/technische+oplossingen/techniek-factsheets+gebouwmaatregelen/elektrische+warmtepomp/default.aspx>
- EZK. (2022a). *Kamerbrief besluit infrastructuur collectieve warmtevoorziening in publieke handen*, Den Haag: Ministerie van Economische Zaken en Klimaat.
- EZK. (2022b). *Kamerbrief over voortgang Wet collectieve warmtevoorziening*, Den Haag: Ministerie van Economische Zaken en Klimaat.
- EZK. (2023). *Kamerbrief Vormgeving instrumentarium hernieuwbare waterstof*, Den Haag: Ministerie van Economische Zaken en Klimaat.
- Hoogervorst, N. (2024). *Hoe naar een aardgasvrije gebouwde omgeving in 2050? Voorstudie voor het PBL-project Trajectverkenning Klimaatneutraal 2050*, Den Haag: PBL.
- IenW. (2020). *Kamerbrief over duurzaamheidskader biograndstoffen*, Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat.
- KNMI. (2014). 'Klimaatsscenario's voor Nederland'. Opgehaald van <https://www.knmi.nl/kennis-en-datacentrum/achtergrond/knmi-14-klimaatsscenario-s>
- Langeveld, J., van den Wijngaart, R., & Hoogervorst, N. (2023). *Start Analysis 2020: a national-cost distribution of non-fossil options for heating buildings in the Netherlands*.
- PBL, TNO, CBS en RIVM. (2022). *Klimaat- en Energieverkenning 2022*. Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.
- PBL, TNO, CBS en RIVM. (2023). *Klimaat- en Energieverkenning 2023*. Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.
- PBL. (2020a). 'Thuispagina Startanalyse aardgasvrije buurten versie 2020'. Opgehaald van Planbureau voor de Leefomgeving: <https://themasites.pbl.nl/leidraad-warmte/2020/>
- PBL. (2020b). *Startanalyse aardgasvrije buurten, versie 2020; Gemeenterapport met toelichting bij tabellen met resultaten van de Startanalyse*. Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving. Opgehaald van <https://themasites.pbl.nl/leidraad-warmte/2020/>
- PBL. (2024). *Trajectverkenning klimaatneutraal 2050. Trajecten naar een klimaatneutrale samenleving voor Nederland in 2050*, Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.
- Pothof, I., Vreeken, T., & van Meerkerk, M. (2022). *Field measurements on lower radiator temperatures in existing buildings; Manuscript for energy and buildings*. WarmingUP.
- Rossum, W. van (2022). *The impact of heat load on the business case of MT DH systems*; master thesis. Utrecht: Utrecht University.

Tigchelaar, C., Cox, E., Zwamborn, A., Rovers, V., Niessink, R., & Janssen, J. (2021). *Eindgebruikerskosten; Technische achtergrondrapportage*. Amsterdam: TNO