



STRATELLIGENCE

decision support



Een Laagdrempelige Energietransitie

*Hoe kan de haalbaarheid van de energietransitie
in de gebouwde omgeving worden vergroot?*

April 2020

Een Laagdrempelige Energietransitie

*Hoe kan de haalbaarheid van de energietransitie
in de gebouwde omgeving worden vergroot?*

Leiden, 3 april 2020

Opgesteld in opdracht van
Energie-Nederland

Colofon:

Samenstelling, tekst en redactie: Stratelligence, 3 april 2020

Foto voorblad: Depositphotos

Voor meer informatie over dit document:

Gigi van Rhee
Stratelligence
Rijnsburgerweg 161
Nederland
+31 71 573 08 20
info@stratelligence.nl

VOORWOORD

Energietransitie. Een woord dat op ieders lippen ligt. Nederland moet ‘van het gas af’. Forse ingrepen en miljardeninvesteringen zijn nodig. Zorg en onrust nemen toe. De transitie gaat niet vanzelf. En nu Nederland een zware crisis met grote economische gevolgen doormaakt, zullen de kosten van de energietransitie nog zwaarder gaan wegen. Kunnen we dit wel betalen? Wat is verstandig om te doen?

Vereniging Energie-Nederland, de branchevereniging van energiebedrijven en één van de ondertekenaars van het klimaatakkoord, voelt het als haar maatschappelijke plicht een voortrekkersrol te vervullen en het debat over de energietransitie te faciliteren. Zo is te lezen in de strategie *Koers 2022*. De consument staat hierin centraal.

Is het mogelijk hobbels weg te nemen en de transitie met name in de gebouwde omgeving soepeler te laten verlopen? Zijn er mogelijkheden om de burger te ontlasten? Te ontzorgen? Kan je rekening houden met het adaptief vermogen van de samenleving en toch de klimaatdoelen halen? En wat betekent dat voor de plannen en partijen die nu met de energietransitie bezig zijn? Om antwoord te krijgen op deze vragen kwam Medy van der Laan, voorzitter van Energie-Nederland, bij Stratelligence terecht, een adviesbureau o.a. gespecialiseerd in het structureren en oplossen van complexe problemen met een ‘adaptieve aanpak’. Deze denkwijze mondde eerder uit in de methode adaptief deltamanagement voor het Deltaprogramma en de versterkte aandacht voor flexibiliteit en adaptiviteit in beleidsbeslissingen van de Nederlandse overheid.

Wat betekent een adaptieve aanpak? Dat betekent dat je rekening houdt met het feit dat de overheid, de maatschappij of wie dan ook, het handelen na verloop van tijd kan bijstellen, bijvoorbeeld als de kosten van een alternatief flink veranderen of als sommige risico’s achterhaald zijn of juist werkelijkheid worden. Je betreft de factor tijd en flexibiliteit in de analyse.

Met deze blik hebben we de analyse opgepakt en het rapport *Een Laagdrempelige Energietransitie* opgesteld. Het resultaat is een tweefasenstrategie gebaseerd op de resultaten van vele studies van derden die we hebben gecombineerd en aangevuld. Op sommige punten verschillen de studies van inzicht, bijvoorbeeld over de beschikbare hoeveelheid hernieuwbaar gas of over de kosteneffectiviteit van warmtenetten. Met deze aanpak willen we laten zien dat er een manier van kijken is die rekening houdt met deze verschillen van inzicht, met risico’s en onzekerheden, daar juist op inspeelt en die tot andere betere oplossingen kan leiden. Niemand kan het verloop van de transitie volledig voorspellen, maar we kunnen wel de stappen vooraf doordenken zodat keuzes minder risicovol worden en beter gebruik gemaakt wordt van kansen die zich de komende 30 jaar zullen voordoen. Een transitie met meer effect tegen minder kosten is dan mogelijk. Deze visie is een hulpmiddel hierbij.

Energie-Nederland ben ik dankbaar voor de opdracht en de kans deze manier van denken toe te passen op een zo relevant onderwerp, en de begeleidingscommissie bestaande uit Medy van der Laan, Walter Ruijgrok en Wouter Verduyn voor het mede vormgeven en op de proef stellen van het resultaat. Op deze plaats wil ik ook Rein Dijk en Jaco Reijerkerk bedanken. Zij hebben mij van waardevolle informatie en commentaar voorzien en geholpen om de inzichten scherper te formuleren.

Dit voorjaar start Energie-Nederland met activiteiten om deze visie om te zetten in actie: een energietransitie met minder drempels. Ik wens alle betrokkenen veel wijsheid en inspiratie toe bij het vormgeven van deze transitie.

Gigi van Rhee, directeur Stratelligence

Leiden, 3 april 2020

SAMENVATTING

De Nederlandse regering heeft klimaatdoelen gesteld. Om deze klimaatdoelen te bereiken, is een efficiënte uitrol van de energietransitie nodig. Dit kan niet zonder een breed maatschappelijk draagvlak, vooral bij het verduurzamen van de warmtevraag in de gebouwde omgeving. De huidige klimaatplannen vragen echter veel van de samenleving. Zijn de burgers bereid de benodigde aanpassingen aan hun woning uit te voeren en de bijbehorende kosten te dragen of krijgen we te maken met veel weerstand? In dat geval is het de vraag of we de klimaatdoelen wel zullen realiseren.

Het doel van deze studie is om te verkennen of een 'laagdrempelige' energietransitie mogelijk is. Dat wil zeggen een transitie die rekening houdt met het adaptief vermogen van de samenleving, en die een betaalbare, schone en betrouwbare energievoorziening oplevert. Onderzocht wordt of het mogelijk is om de energietransitie als het ware *vanzelf* te laten gaan. Bijvoorbeeld door het toepassen van een adaptieve aanpak, die rekening houdt met het feit dat keuzes gefaseerd kunnen worden of bijgesteld als de kosten van een alternatief flink veranderen of als sommige risico's achterhaald zijn of juist werkelijkheid worden. Kan het betrekken van de factor tijd en flexibiliteit zoals in een adaptieve aanpak helpen de transitiedrempels te verlagen? Is er een strategie te bedenken die winst geeft voor iedereen én die de klimaatdoelen realiseert?

Principes voor een laagdrempelige transitie

Mensen meekrijgen bij een grote verandering zoals de energietransitie is lastig, zeker wanneer het een verandering betreft die ze niet zelf hebben gekozen. Je kan het proces weliswaar zo inrichten dat de medewerking toeneemt, bijvoorbeeld door mensen te helpen de hobbels te nemen, maar ideaal is een plan, dat weinig of geen drempels opwerpt. Kosteneffectiviteit en keuzevrijheid voor de burger zijn in een dergelijk plan essentiële principes. Voor de gebouwde omgeving betekent dat de volgende uitgangspunten:

1. Voor iedereen een passende oplossing die betaalbaar, duurzaam en betrouwbaar is, en:
 - a) Een overgang naar een (collectieve) alternatieve oplossing alleen wanneer voldoende zeker is dat dit de meest aantrekkelijke oplossing is.
 - b) Ruimte voor individueel en lokaal initiatief.
2. Focus op rendabele en autonome isolatiestappen van bestaande woningen.
3. Vrijheid bij het bepalen (en mogelijk faseren) van het individuele overstapmoment naar een duurzame energievoorziening.

Kansrijke verduurzamingsopties

Er zijn in principe 5 verduurzamingsopties voor de levering van warmte: 1) een elektrische warmtepomp, 2) een LT(lagetemperatuur)-warmtenet, 3) een HT(hogetemperatuur)-warmtenet, 4) een hr-ketel gestookt met hernieuwbaar gas (groen gas en waterstof) en 5) een combinatie van optie 1 en 4, een hybride warmtepomp/cv-ketel.

Voor de meeste bewoners van bestaande woningen passen optie 3 (als het verduurzaming van een bestaand HT-warmtenet betreft), 4 en 5 het beste bij het idee van lage transitiedrempels. De reden is dat deze alternatieven geen verplichting tot isolatie van of grote aanpassingen in huis vragen en de kosten en risico's relatief beperkt zijn. Voor optie 4 en 5 is de overstap individueel te plannen en verduurzaming van een bestaand HT-warmtenet vraagt geen actie van bewoners. Hierdoor worden drempels zoveel mogelijk voorkomen. Burgers zijn bovendien bekend met bestaande warmtenetten in hun huis en met gasgestookte ketels en boilers. Voor de nieuwbouw, die immers goed geïsoleerd is, liggen elektrische oplossingen voor de hand. Collectieve warmteoplossingen¹ zijn ideaal voor stedelijke of andere relatief dichtbebouwde gebieden die nu al dergelijke oplossingen hebben. Het is nodig de warmtebron te verduurzamen en de langetermijnbeschikbaarheid zeker te stellen. Bewoners merken hier weinig van zolang de watertemperatuur gelijk blijft. Voor specifieke segmenten zoals wijken met veel corporatiewoningen die nu nog geen stadswarmte hebben en waar wel een goede warmtebron beschikbaar is, kan een overstap naar een warmtenet gunstig zijn.

Probleem met deze laagdrempelige strategie waarbij het merendeel van de bestaande woningen (voorlopig) nog gas blijft gebruiken (optie 4 en 5), is het beperkte aanbod van hernieuwbaar gas. Er is simpelweg niet voldoende hernieuwbaar gas voor iedereen. Hoe kunnen we dan gedwongen keuzes voorkomen en toch de klimaatdoelen halen?

Fasering laagdrempelige energietransitie

Isolatie van de woningvoorraad kan de vraag naar hernieuwbaar gas flink reduceren. Om te passen in een laagdrempelige energietransitie moet ook isolatie een vrije keuze zijn. Kosteneffectiviteit is dan cruciaal. Isolatie tot aan energielabel C verdient zich over het algemeen terug voor bestaande woningen. Isolatie tot een hoger label is op dit moment meestal nog niet rendabel, maar dit kan veranderen. Isolatie alleen is nu niet toereikend om de gasvraag voldoende te reduceren.

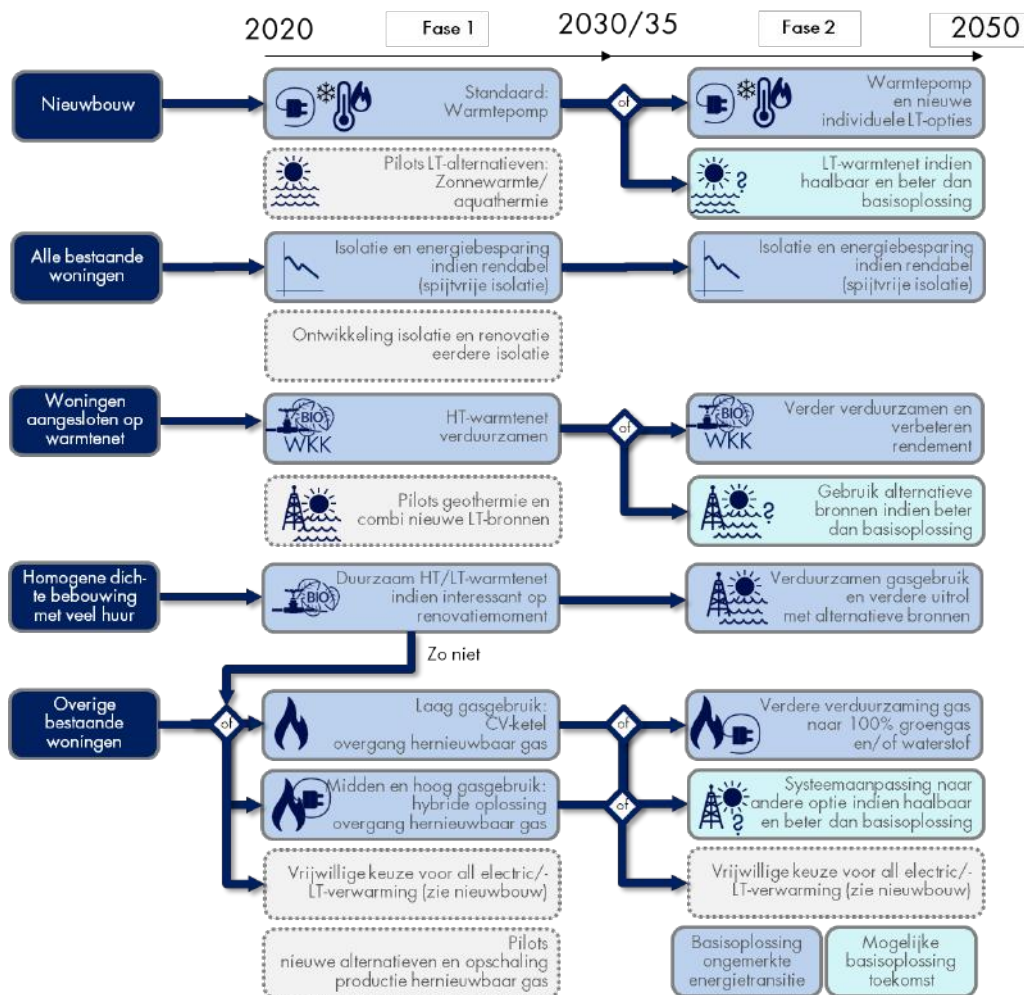
Is een laagdrempelige energietransitie wel mogelijk? Wij denken van wel. Het isolatierendement en het aanbod van hernieuwbaar gas kunnen namelijk veranderen. En er is nog tijd. Fasering kan dan verstandig zijn, mits er voldoende voortgang is om de vastgelegde klimaatdoelen te halen.

Hoe ziet deze fasering eruit? Tot 2050 zal het gemiddelde huishouden nog twee keer een vervangingsmoment van de verwarmingsinstallatie meemaken. Hierdoor kan de energietransitie per huishouden in twee stappen worden uitgevoerd (zie Figuur 1). In de eerste fase richten we het beleid en de wijkaanpak op oplossingen die al op korte termijn aantrekkelijk zijn, niet hoeven te worden afgedwongen, beperkt risico van suboptimale keuzes kennen en weinig beroep doen op het adaptief vermogen: de zogenaamde *no-regret*-keuzes. Een belangrijke *no-regret*-keuze is de overstap naar een hybride oplossing door huishoudens die veel gas gebruiken omdat dit een grote reductie in het aardgasgebruik oplevert. Daarnaast zorgen we ervoor dat in fase 2 meer te kiezen valt.

Bij het tweede vervangingsmoment is het goed mogelijk dat er inmiddels voldoende hernieuwbaar gas is om de resterende gasvraag in te vullen. Ook als dat niet zo is, dan zullen door toegenomen

¹ Er bestaan vele soorten collectieve warmteoplossingen, variërend van relatief kleine oplossingen zoals warmte-koudeopslag (WKO) voor één appartementengebouw tot grote stadswarmtenetten die tienduizenden huishoudens van warmte voorzien.

kennis en technische ontwikkeling de onzekerheden, kosten en risico's van bestaande opties kleiner zijn. Er zijn waarschijnlijk nieuwe alternatieven bijgekomen en isolatiemaatregelen zijn goedkoper geworden. Kortom de transitiedrempels liggen op dat moment lager dan nu.



Figuur 1: ontwikkelpad laagdrempelige energietransitie

Effect laagdrempelige energietransitie

De tweefasenstrategie is alleen acceptabel als het afgesproken tussendoel uit het Klimaatakkoord in 2030 kan worden bereikt. Dit betekent dat we minimaal 3,4 Mton CO₂-uitstoot moeten besparen bovenop de besparing door de vervangende CO₂-neutrale nieuwbouw. We verwachten dat deze besparing te realiseren is met een combinatie van drie elementen:

1. Warmtenetten dragen een deel van de reductie bij. De berekeningen voor dit rapport baseren we op de aannames dat in 2030 50% CO₂-reductie kan worden gerealiseerd bij de bestaande warmtenetten door verduurzaming van de warmtebron en dat 200.000 huurwoningen dan op een nieuw duurzaam warmtenet zijn aangesloten. Dit aantal volgt het streefbeeld uit de PBL-berekeningen van het ontwerpklimaatakkoord (PBL, april 2019). In een laagdrempelige energietransitie past een overstap naar een warmtenet voor veel bestaande, minder goed geïsoleerde koopwoningen minder goed. De CO₂-reductie van

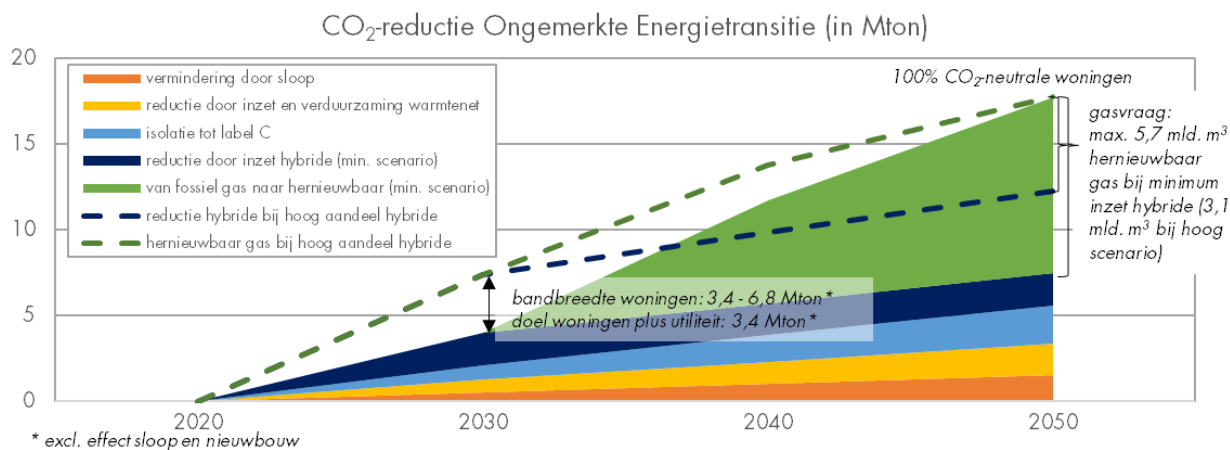
koopwoningen die volgens het streefbeeld overgaan op een warmtenet gebruiken we daarom niet in de berekeningen. Dit betekent dat met nieuwe warmtenetten – in lijn met de doelstellingen uit het Klimaatakkoord – nog een extra potentieel voor CO₂-reductie mogelijk is, bovenop onze berekeningen met de 200.000 huurwoningen.

2. Vrijwillige rendabele isolatie levert ook een bijdrage. We nemen in onze berekeningen aan dat één op de drie woningen met een laag energielabel voor 2030 overgaat naar label C. Isolatie tot label C is nu al rendabel.
3. De derde bijdrage wordt geleverd door toepassing van een hybride oplossing in een deel van de resterende woningvoorraad.

In de tweefasenstrategie zou minimaal 24% van de nu gasgestookte koopwoningen moeten overgaan op een hybride oplossing om in 2030 het tussendoel te halen. We verwachten dat dit haalbaar is. Het is zelfs mogelijk meer op de CO₂-uitstoot te besparen:

- Gemiddeld twee op de drie woningen krijgen de komende 10 jaar met een vervangingsvraag te maken. Dit betekent dat ongeveer één op de drie koopwoningen dan voor een hybride warmtepomp moet kiezen. Dit is een bescheiden percentage in vergelijking met het omslagpunt waarop een hybride oplossing voor de eigenaar kosteneffectief is. Vanaf een gasverbruik van tussen de 500 en 1000 m³ compenseert de besparing op de energiekosten de hogere investering van een hybride oplossing, ook zonder subsidie. Het gemiddelde gasverbruik per huishouden ligt tussen de 1250 en 1300 m³ en voor koopwoningen tussen de 1450 en 1500 m³. Een hoger vrijwillig overstappercentage is dus aannemelijk. Stel dat 75% van alle woningen overgaat op een hybride oplossing, dan levert dat een besparing van 6,8 Mton in 2030 op.
- De CO₂-reductie kan nog hoger uitvallen. Huishoudens die kiezen voor een hybride oplossing hebben waarschijnlijk een hoger gasgebruik dan gemiddeld. Dit vergroot de CO₂-reductie. En indien een deel van het gas bestaat uit hernieuwbaar gas, dan neemt de besparing verder toe.

De kosten van deze strategie liggen lager dan in het klimaatakkoord doordat keuzes voor maatregelen met een grote onrendabele top worden vervangen door kosteneffectieve maatregelen.



Figuur 2: indicatief verloop CO₂-reductie laagdrempelige energietransitie; na 2030 wordt aardgas geleidelijk vervangen door hernieuwbaar gas

Voor fase 2 is er veel minder gas nodig dan op dit moment (zie Figuur 2). De restvraag (het equivalent van 3,1 tot 5,7 miljard m³ aardgas) kan volgens diverse prognoses in 2050 kosteneffectief ingevuld worden met hernieuwbaar gas, mits de overheid het juiste beleid voert.

Deze strategie betekent keuzevrijheid, beperkte overlast, minder verschillen en ongelijkheid qua energievoorziening en relatief lage kosten. De kans dat de klimaatdoelen daadwerkelijk bereikt worden en het aardgasgebruik snel afneemt, is groter.

Nationaal beleid

In de tweefasenstrategie maakt men in fase 1 *no-regret*-keuzes en in fase 2 voor alle woningen een definitieve keuze.

Om de keuzemogelijkheden na 2030 te vergroten, is het aan te bevelen in fase 1 pilots uit te (blijven) voeren met nieuwe veelbelovende technieken en de kosten van deze pilots te socialiseren, zodat na 2030 meer bewezen technieken tegen een lagere prijs beschikbaar zijn.

Uitgaande van een laagdrempelige transitie is in fase 2 meer hernieuwbaar gas gewenst. Het is daarom van belang dat de overheid in fase 1 de nationale opschaling van de groengas- en waterstofproductie gaat voorbereiden. Ook snelle(re) uitbreiding van het aanbod groene stroom is essentieel.

De levering van hernieuwbaar gas heeft een organisatie nodig vergelijkbaar met de organisatie van de uitrol van aardgas destijds. Nu zijn provincies, gemeenten en industriële clusters de trekkers, maar er is nog niet gezorgd voor een organisatie die alles bij elkaar brengt en er een landelijk dekkend systeem van maakt.

In de voorgestelde tweefasenstrategie is afsluiting van het aardgasnet de komende jaren geen uitgangspunt, met dien verstande dat nieuwbouw sinds 2018 niet meer op het aardgasnet wordt aangesloten.

Wijkaanpak

Geadviseerd wordt de wijkaanpak op te delen in twee fasen en onderscheid te maken in diverse typen wijken. In fase 1 wordt de wijkaanpak onderverdeeld in:

- **Nieuwbouwwijken.** Hier wordt in principe voor elektrische verwarming gekozen of aansluiting op een LT-warmtenet. Een warmtepomp past beter bij grondgebonden koopwoningen en een LT-warmtenet beter bij meergezins- en huurwoningen.
- **Wijken met een warmtenet.** Voor bestaande HT-warmtenetten moet gezocht worden naar betaalbare, betrouwbare en duurzame bronnen, zodat het energiegebruik van de aangesloten woningen automatisch vergroent. Uitbreiding van bestaande netten is een optie als er zekerheid is over de langetermijnbeschikbaarheid van warmtebronnen, dit alternatief als collectieve oplossing brede steun geniet en kosteneffectiever is dan de alternatieven.
- **Homogene wijken.** Voor qua isolatieniveau en type woning homogene wijken waar een groot deel in eigendom van corporaties is of utiliteit betreft en sprake is van een hoge bebouwingsdichtheid, kan een collectieve warmteoplossing de meest aantrekkelijke optie zijn. Belangrijk is ook hier dat een HT- of LT-warmtenet (en dus een systeemverandering) alleen wordt gekozen als er zekerheid is over de langetermijnbeschikbaarheid van

warmtebronnen, dit alternatief als collectieve oplossing brede steun geniet en kosteneffectiever is dan de alternatieven.

- **Heterogene wijken.** In qua eigendom en isolatieniveau heterogene wijken ondersteunt de wijkaanpak een vrijwillige overstap naar warmtepomp of hybride oplossing en isolatie. In deze wijken kiest men in fase 1 niet *per wijk* de beste oplossing, maar wordt gestimuleerd dat eigenaren *individueel* de beste optie kiezen bij het volgende vervangingsmoment van de installatie en dat ze isolatiemaatregelen en efficiëntiemaatregelen uitvoeren die zichzelf terugverdienen. Voor woonkostenneutraliteit zijn dan geen grote subsidiebedragen nodig. De meerwaarde van de wijkaanpak om gezamenlijk de beste oplossing te kiezen, is voor deze wijken kleiner, doordat de vervangingsmomenten van installaties en de verschillen tussen de woningen groot zijn. In deze wijken blijft het gasnet in ieder geval in fase 1 beschikbaar.

In fase 2 zijn mogelijk aanvullende stappen nodig om het elektriciteitsnet te verzwaren en de uitrol van hernieuwbaar gas te faciliteren. Ook kunnen warmtenetten voor meer huishoudens interessant worden.

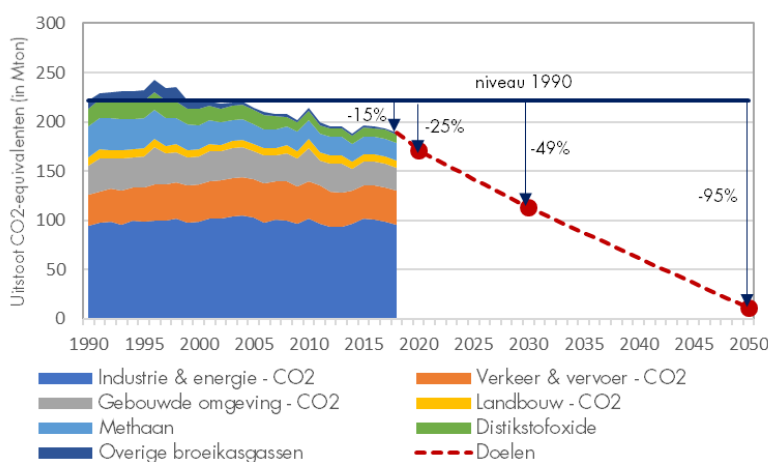
Door deze adaptieve en gefaseerde aanpak mag op minder weerstand in de samenleving worden gerekend als gevolg van meer autonomie en keuzevrijheid, lagere kosten en minder overlast en minder gedwongen ingrepen in de woning. Burgers en wijken krijgen de mogelijkheid op het basisalternatief vooruit te lopen. Anderen hoeven weinig te doen, maar kunnen kiezen voor opties die goed zijn voor hun portemonnee. Voor iedereen is er een goede en betaalbare oplossing beschikbaar. De noodzakelijke CO₂-reductie vraagt een kleinere investering en het aardgasverbruik neemt sneller af. De haalbaarheid van het bereiken van de klimaatdoelen neemt zo fors toe. En dat is winst voor iedereen.

INHOUDSOPGAVE

Voorwoord	v
Samenvatting	vii
Inhoudsopgave	xiii
HOOFDSTUK 1 De klimaatplannen: een grote opgave voor de samenleving.....	1
HOOFDSTUK 2 Principes om de samenleving te ontzien.....	3
2.1 Het adaptief vermogen en de energietransitie.....	3
2.2 Het adaptief vermogen en weerstand tegen verandering.....	8
2.3 Principes voor een laagdrempelige energietransitie	9
HOOFDSTUK 3 Een passende oplossing voor iedereen	12
3.1 Mogelijke alternatieven voor de warmtevoorziening.....	14
3.2 Verschillen in het effect op het adaptief vermogen	15
3.3 Oplossingen passend bij een laagdrempelige energietransitie	16
3.4 Optimale oplossing niet direct realiseerbaar	18
HOOFDSTUK 4 Focus op rendabele en autonome isolatie.....	20
4.1 Potentieel voor reductie van het gasgebruik	21
4.2 Isolatie tot energielabel C doorgaans kosteneffectief.....	21
4.3 Variatie door grote verschillen in het gebruik.....	23
HOOFDSTUK 5 Vrije keuze overstapmoment	25
5.1 Risico suboptimale keuze bij vroegtijdige systeemverandering	25
5.2 Reductie gasgebruik door hybride oplossing.....	27
HOOFDSTUK 6 Laagdrempelige energietransitie: een tweefasenstrategie	29
6.1 Fase 1: no-regret-keuzes.....	29
6.2 Fase 2: definitieve keuzes	33
6.3 Effecten van de laagdrempelige energietransitie.....	34
6.4 Conclusies en aanbevelingen voor de laagdrempelige energietransitie	39
6.5 De wijkaanpak bij de laagdrempelige energietransitie.....	40
Afkortingen en toelichting	43
Literatuurlijst	44
Bijlage	47

HOOFDSTUK 1 DE KLIMAATPLANNEN: EEN GROTE OPGAVE VOOR DE SAMENLEVING

De Nederlandse regering heeft klimaatdoelen gesteld. Voor het realiseren van deze doelen is een afname van de uitstoot nodig in alle sectoren: de gebouwde omgeving, mobiliteit, de industrie, landbouw en landgebruik, en de elektriciteit(sopwekking), zie Figuur 3.



In de Klimaatwet stelt Nederland dat de CO₂-uitstoot in 2030 met 49% en in 2050 met 95% ten opzichte van 1990 moet zijn verminderd. Het Klimaatakkoord bevat een pakket aan voorstellen dat het politieke reductiedoel voor 2030 moet realiseren. Daarnaast heeft het gerechtshof in Den Haag op 9 oktober 2018 geoordeeld in een procedure van Urgenda tegen de Nederlandse Staat dat eind 2020 ten minste 25% minder broeikasgas moet worden uitgestoten. De Hoge Raad heeft dit vonnis bekrachtigd.

Figuur 3: ontwikkeling uitstoot CO₂-equivalenten² sinds 1990 en reductiedoelen

De energietransitie in de gebouwde omgeving

Voor de gebouwde omgeving is het streven om de CO₂-uitstoot nagenoeg tot nul te beperken. Daartoe moeten alle Nederlandse woningen in 2050 aardgasvrij zijn. Het gaat om bijna 8 miljoen woningen die vaak beperkt geïsoleerd zijn en vrijwel allemaal verwarmd worden met aardgas. Het klimaatakkoord noemt daarnaast een tweede reden om af te stappen van aardgas. We willen zo snel mogelijk kunnen stoppen met de aardgaswinning in Groningen.

In de gebouwde omgeving geschiedt de uitvoering van de transitie via een wijkgerichte aanpak. Dat wil zeggen dat per wijk de warmteoplossingen en verbouwingen worden georganiseerd in een nauwe samenwerking tussen gemeenten, bewoners en eigenaren van gebouwen.

Uiterlijk eind 2021 zullen gemeenten een transitievisie warmte presenteren met het tijdspad voor een stapsgewijze aanpak richting aardgasvrije wijken. Voor wijken die voor 2030 aan de beurt komen, zijn dan de potentiële alternatieve energiebronnen bekend. Gemeenten moeten inzicht bieden in de maatschappelijke kosten en baten en de integrale kosten van de alternatieven voor eindgebruikers. Het is de bedoeling dat gemeenten zoveel als mogelijk kiezen voor alternatieven

² In feite gaat het om de reductie van broeikasgassen: koolstofdioxide (CO₂), methaan, distikstofoxide, fluorhoudende stoffen en ozon. Het grootste deel zal moeten worden gerealiseerd door CO₂-reductie.

met de laagste maatschappelijke kosten³ en de laagste kosten voor de eindgebruikers. Woonlastenneutraliteit is een uitgangspunt.

Een grote maatschappelijke opgave

De transitie gaat niet vanzelf en vraagt veel investeringen. Voor het slagen ervan is een zo efficiënt mogelijke uitrol essentieel. Veel bewoners van bestaande bouw zullen ingrijpende isolatiemaatregelen en aanpassingen in huis moeten (laten) uitvoeren om over te kunnen stappen op een duurzaam alternatief. Naast initiatieven die enthousiast ontvangen zijn, zijn er ook 'tegenvallers', zoals de rechtszaak tegen de gemeente Amsterdam over het warmtenet, het afzien van een dure gasvrije renovatie door een Groningse woningcorporatie en de problemen met het Rotterdams warmtenet.⁴ Er zijn weinig alternatieven die bij alle betrokkenen op steun kunnen rekenen. De aanleg is daarom kwetsbaar voor vertraging door ingewikkelde participatieprocessen of (bezwaar)procedures.

Een 'laagdrempelige' energietransitie?

Het proces naar aardgasvrij brengt een hoop onzekerheden met zich mee. Het maken van de juiste keuzes vraagt goed inzicht in en technische kennis van de mogelijkheden. Voor veel alternatieven zijn de effecten nog niet volledig te overzien. Vaak blijken de kosten op de korte termijn doorslaggevend te zijn om een bepaalde keuze voor maatregelen of technologieën te maken. Voor verschillende warmteopties nemen de technische risico's en kosten echter op wat langere termijn af. Het vroegtijdig maken van een keuze die achteraf niet de meest duurzame, betrouwbare en kosteneffectieve blijkt te zijn, kan de kosten van de energietransitie verder doen oplopen en het draagvlak verminderen. Het risico op vertraging in de verdere uitrol neemt in dit geval toe.

Te veel uitstellen is echter geen optie. De resterende tijd kan onvoldoende zijn om de woningvoorraad aardgasvrij te maken. Er is immers voor 2030 een tussendoel afgesproken. Het algemene reductiedoel van 49% voor 2030 is voor de gebouwde omgeving door PBL vertaald in 3,4 Mton minder CO₂-uitstoot ten opzichte van het referentiepado.⁵ Daartoe moeten we ongeveer 1,5 miljoen bestaande woningen voor 2030 aardgasvrij maken en de uitstoot van de utiliteitsbouw met 1 Mton terugbrengen (Klimaatpakkoord, juni 2019). Stel dat de energietransitie mogelijk is op een wijze die de kans op maatschappelijk suboptimale keuzes verkleint, en die als het ware vanzelf gaat, dan kan daarmee de slaagkans van het bereiken van de klimaatdoelen sterk toenemen.

In deze studie verkennen we of een energietransitie mogelijk is die rekening houdt met het adaptief vermogen van de samenleving en die een betaalbare, schone en betrouwbare energievoorziening oplevert. Met het adaptief vermogen bedoelen we de bereidheid van de samenleving om het gedrag aan te passen en veranderingen te absorberen. Bestudeerd wordt of het mogelijk is om de energietransitie als het ware *vanzelf* te laten gaan. Kan het betrekken van de factor tijd en flexibiliteit zoals in een adaptieve aanpak helpen de transitiedrempels te verlagen? Is er een strategie te bedenken die winst geeft voor iedereen én die de klimaatdoelen realiseert?

³ Voor de maatschappelijke kostenberekeningen wordt uitgegaan van 'nationale' kosten zonder belastingen, heffingen en subsidies. Dit is omdat de hoogten van de belastingen, heffingen en subsidies beleidskeuzen zijn die kunnen helpen de kosten te herverdelen, maar niet de basiskosten aanpakken. Voor de kosten van eindgebruikers zijn ze wel van belang.

⁴ Diverse nieuwsberichten periode oktober - november 2019.

⁵ Het referentiepado is de situatie nog zonder het effect van de afspraken uit het klimaatpakkoord.

De huidige klimaatplannen leveren onvoldoende CO₂-reductie op om de doelen voor 2020 en 2030 te realiseren (zie Tabel 1). In de gebouwde omgeving komt de energietransitie moeizaam op gang. PBL komt uit op 0,25 tot 1,1 miljoen aardgasvrije gebouwen in 2030 in plaats van de beoogde 1,5 miljoen (PBL, mei 2019). Ook nieuwsberichten over de energietransitie gaan steeds vaker over tegenvallers. Deze ontwikkelingen lijken deels verklaard te kunnen worden vanuit het adaptief vermogen van de samenleving.

Tabel 1: cijfers klimaat- en energieverkenning (PBL, oktober 2019)

Verwachting	Doel
Verwachte CO ₂ -uitstoot per jaar 2020: 171 Mton, bandbreedte 165 - 180 Mton	Doel 2020: 166 Mton
Verwachte hernieuwbare opwek 2020: 11,4%, bandbreedte 10,4% - 12,2%	Doel 2020: 14%
Verwachte hernieuwbare opwek 2023: 16,1%, bandbreedte 14,4% - 17,0%	Doel 2023: 16%
Verwachte CO ₂ -uitstoot per jaar 2030: 116 tot 126 Mton	Doel 2030: 113 Mton

In dit hoofdstuk gaan we in op factoren die de transitiebereidheid beïnvloeden. Eerst vatten we beelden en gevoelens samen die nu leven in de samenleving en die zijn geïnventariseerd in verschillende onderzoeken. Vervolgens kijken we naar algemene oorzaken die weerstand kunnen verklaren en naar de vorige energietransitie in Nederland, de overstap naar aardgas, en wat we daarvan kunnen leren. Het hoofdstuk sluit af met principes die kunnen helpen om deze energietransitie meer als vanzelf te laten gaan doordat het adaptief vermogen minder hoeft te worden aangesproken.

2.1 HET ADAPTIEF VERMOGEN EN DE ENERGIETRANSITIE

Burgers staan in meerderheid positief tegenover de energietransitie en het tegengaan van klimaatverandering (Steenbekkers, et al., 2019). Ze tonen echter weinig initiatief om met de woning aan de slag te gaan. Belangrijke redenen hiervoor zijn verwachtingen over voortschrijdende techniek, zorgen over betaalbaarheid en effectiviteit van maatregelen en onzekerheid over beleid (Steenbekkers, et al., 2019). Ook spelen de impact van de benodigde ingrepen achter de voordeur en het verlies aan controle een rol.

Weerstand tegen verplichte isolatie en aanpassing

Hoewel er een actieve opstelling van woningeigenaren verwacht wordt in de wijkaanpak voelt men zich (te) weinig betrokken bij de transitie (Steenbekkers, et al., 2019). Het aardgasvrijmaken voelt als iets wat burgers opgelegd krijgen en druist daarmee in tegen de behoefte aan autonomie. Het

veroorzaakt een gevoel van verlies aan controle. Betrokkenen zijn niet altijd bekend met plannen van de gemeente en als ze er wel van op de hoogte zijn, zijn ze het niet altijd eens met de keuzes. Dit leidt soms tot stopzetting van verduurzamingsprojecten, zoals in Amsterdam waar woningcorporatie Eigen Haard van de rechter moest stoppen met het aardgasvrijmaken van een wijk omdat niet kon worden gegarandeerd dat de bewoners niet voor de kosten van verduurzaming op zouden draaien.

Van het gas afgaan vraagt om intensieve ingrepen in huis, waar men lang niet altijd op staat te wachten als er verder geen goede reden is om te verbouwen. Verduurzamen doen Nederlanders het liefst als er toch al een verbouwing of onderhoud plaatsvindt (ABN-AMRO, oktober 2019). Bijna 31% van de Nederlanders geeft aan deze momenten het meest ideaal te vinden. Onderzoek uitgevoerd in het Verenigd Koninkrijk bevestigt dit (Department of Energy & Climate Change, november 2011). Momenten waarop men verduurzamingsmaatregelen eerder overweegt, zijn bij de aankoop van een nieuwe woning, vooral als het een langetermijninvestering of definitieve verhuizing betreft, bij een grote renovatie en bij de vervanging van een boiler of verwarmingssysteem. Dit ligt voor de hand: de woning is waarschijnlijk vrij van rommel of moet toch worden opgeruimd en de verstoring door de installatie van duurzame producten is minder belastend als er al een andere renovatie aan de gang is. Het is ook een tijd waarin vaak financiering wordt geregeld. Uitbreiding van de financiering om de woning te verduurzamen, is dan weinig werk (Cabinet Office Behavioural Insights Team, July 2011).

Hoge kosten zijn drempel

De financiële ruimte is eveneens een belangrijk thema. Van de koopwoningbezitters geeft 38% aan dat de kosten voor hen een drempel zijn (ABN-AMRO, oktober 2019). Een aanleiding om wel tot verduurzaming over te gaan is dan ook het beschikbaar komen van extra geld (zie Figuur 4). Een vergelijkbaar percentage is te vinden in onderzoek in het Verenigd Koninkrijk naar de redenen die mensen weerhouden meer te doen aan verduurzaming van het huis. Redenen zijn gebrek aan geld (35%), al voldoende gedaan (24%), te veel gedoe of overlast (15%) en gebrek aan tijd (15%).

De kosten worden door de eigenwoningbezitters hoger ingeschat dan de kosten die volgens het EIB nodig zijn (EIB, mei 2018). Het EIB geeft aan dat een investering van ongeveer € 22.000 nodig is om een slecht geïsoleerde woning goed te isoleren. De eigenwoningbezitters schatten in dat dit gemiddeld € 33.000 kost (ABN-AMRO, oktober 2019).



Figuur 4: goede momenten om de eigen woning te verduurzamen bron ABN-AMRO, PanelWizard (ABN-AMRO, oktober 2019)

Twijfel over geclaimde kostenneutraliteit

Veel mensen vragen zich af of kostenneutraliteit wel reëel is. Zijn de baten wel hoger dan de kosten en wat levert isolatie de woningeigenaar op? Investeringskosten om van een beperkte of slechte isolatie naar een zeer goed geïsoleerde woning te gaan, vloerverwarming en LT(lagetemperatuur)-radiatoren aan te leggen, lijken nu nog niet terug te verdienen zonder forse subsidies. Volgens verschillende bronnen (EIB, mei 2018) (Tigchelaar, et al., 2019), (ING economisch Bureau, oktober 2019) zijn veel isolatiemaatregelen en nieuwe technieken op dit moment nog niet kosteneffectief voor de gebruiker.

Dit beeld is vergelijkbaar met de resultaten van onderzoek in Groot-Brittannië (Department of Energy & Climate Change, november 2011). Respondenten geven aan dat ze gestimuleerd zouden worden hun huis te verduurzamen als het tot lagere kosten zou leiden (46%), als er subsidie beschikbaar zou komen (32%), als ze overtuigende informatie hadden dat de maatregelen tot een warmer huis en lagere energierekening zouden leiden (24%) en als ze informatie zouden ontvangen van een betrouwbare bron over het verminderen van het energiegebruik (19%).

Bovendien zijn kosten via heffingen en subsidie wel kunstmatig lager te maken, maar feitelijk nemen de kosten voor de energievoorziening toe. Zeker als bestaande investeringen eerder afgeschreven moeten worden vanwege de verplichte overstap naar een alternatieve energiebron. Denk daarbij aan voortijdige afschrijving van een bestaande installatie bij de overgang naar een collectieve oplossing of een eerdere renovatie die onvoldoende is door de overgang naar LT-verwarming. Ook participatietrajecten en communicatie met bewoners verhogen de kosten.

Onzekerheid over technieken en toezeggingen

Zorgen over betaalbaarheid lijken gerelateerd aan bezorgdheid over de effectiviteit van warmtebronnen en onzekerheid over toekomstige ontwikkelingen. Veel alternatieve technieken zijn nog niet uitontwikkeld. Naar verwachting zullen de prijzen voor deze technieken zakken. Dan betekent nu al investeren hogere kosten dan nodig en mogelijk last hebben van kinderziekten. Het is aannemelijk dat tot 2050 nog nieuwe technieken op de markt komen. De meerderheid is daarom geneigd een afwachtende houding aan te nemen (Steenbekkers, et al., 2019).

Er is bovendien enig wantrouwen dat de huidige plannen daadwerkelijk zullen worden doorgezet en beloftes en toezeggingen over kostencompensatie worden nagekomen (Steenbekkers, et al., 2019). Burgers hebben daarbij een beperkt vertrouwen in (informatie van) de overheid en marktpartijen. Men lijkt meer te vertrouwen op de kennis en ervaring van buurtgenoten dan op de kennis van een externe bron.

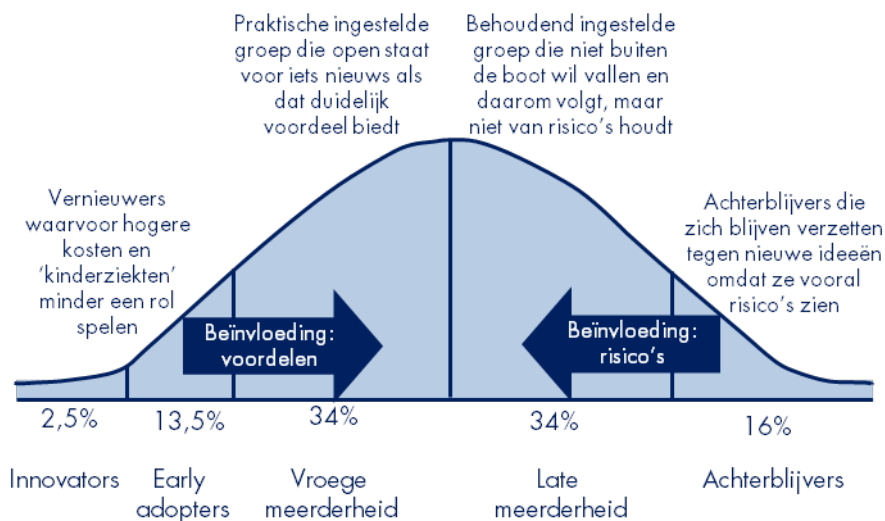
Solidariteit met mogelijke verliezers

De kosten van de transitie moeten eerlijk worden verdeeld, maar wat is eerlijk en rechtvaardig in dit verband? De energietransitie in de gebouwde omgeving zal winnaars en verliezers kennen (ECN, december 2017). Huishoudens met een laag inkomen betalen naar verhouding een groter deel van hun inkomen aan energie en wonen vaak in minder goed geïsoleerde woningen. Net als in andere landen is in Nederland de energiequote - het percentage van het besteedbaar inkomen dat nodig is om de energierekening te betalen - de afgelopen jaren gestegen en ondanks de belofte van het kabinet lijkt de hoogte van de energierekening door de verduurzaming eerder te stijgen dan te dalen. Woningen en energie-installaties van hoge en lage inkomens moeten de komende

jaren aangepast worden om de klimaatdoelen te halen en om de bewoners te beschermen tegen te hoge energierekeningen door de stijgende belasting op aardgas. De investeringen zijn echter voor hoge inkomens eenvoudiger op te brengen dan voor de lage. En niet overal zal een even kosteneffectieve oplossing beschikbaar komen. Energiearmoede en energieongelijkheid worden daardoor een groeiend probleem.

Verschillende groepen vragen een andere aanpak

Niet iedereen ervaart de energietransitie op dezelfde wijze. Er zijn verschillen die samenhangen met het type woning, het eigendom en de regio. Niet overal zijn dezelfde verwarmingsalternatieven voorhanden. Als huurder valt er minder te kiezen en te doen dan als eigenaar. Ook spelen persoonlijke factoren een rol zoals leeftijd, opleidingsniveau, inkomen, voorkeuren en attitude. Zowel de mate van autonomie als gezamenlijkheid zijn van belang. Iedereen wil graag controle houden over zijn eigen situatie, maar velen zien de meerwaarde van een collectieve aanpak waarbij kennis, kunde en kosten worden gedeeld.



Figuur 5: categorieën ingedeeld naar tempo van adoptie nieuwe technieken (Rogers, 1961)

De meeste mensen willen bovendien pas meedoen als de ontwikkelingen in de energietransitie wat verder zijn en de aanpassingen duidelijk voordeel bieden. De vroege en late meerderheid zijn kostenbewust en houden niet van risico's (zie Figuur 5). Sommigen willen vooroplopen en zijn bereid voor de goede zaak meerkosten voor lief te nemen. De *innovators* en *early adopters* hebben we nodig in de energietransitie om anderen te inspireren. Koplopers die op eigen initiatief de verduurzaming van de woning of de wijk willen aanpakken, hebben nu te maken met kaders die nog onvoldoende concreet zijn en incentives die te beperkt zijn om daadkrachtig aan de gang te gaan. Bovendien wonen deze mensen niet allemaal in één wijk, waardoor een innovatieve collectieve oplossing moeilijk te realiseren is. Om de energietransitie een succes te maken, is het belangrijk met al deze verschillen rekening te houden.

Onderzoek (Department of Energy & Climate Change, november 2011) onder inwoners van het Verenigd Koninkrijk liet zien dat de groepen die het meest geïnteresseerd waren in het greendeal-aanbod jong waren, mannelijk, mensen die inkomensafhankelijke vergoedingen ontvingen, huishoudens die twee of meer energie-efficiëntiemaatregelen nodig hadden, mensen met moeilijk

te verwarmen huizen, mensen die moeite hadden om hun rekeningen te betalen, degenen die op het platteland woonden en de welgestelden. Uit het onderzoek bleek ook dat huishoudens met mensen ouder dan 70 jaar of met een uitkering, minder geneigd waren om een verduurzamingsaanbod aan te nemen.

Kader 1: 10 redenen voor weerstand en mogelijkheden om hiermee rekening te houden bij de energietransitie (gebaseerd op Moss Kanter, september 2012)

1. **Verlies aan controle.** Verandering verstoort het gevoel van autonomie. We doen vaak als eerste een beroep op ons gevoel van zelfbeschikking als we worden geconfronteerd met een (potentiële) verandering. Het ruimte laten voor eigen keuzes en mee laten praten over de verandering geeft mensen eigenaarschap. De keuze voor een wijkgerichte aanpak sluit hierbij aan. Participatie vergroot de betrokkenheid bij de uitkomst en vermindert de weerstand. Door de keuze voor de vervanging van aardgas en voor isolatie meer aan de mensen zelf over te laten, neemt de weerstand af.
2. **Te veel onzekerheid.** Mensen blijven liever ongelukkig met wat ze kennen dan dat ze het onbekende tegemoet gaan. Om mensen in beweging te krijgen, moeten ze zich veilig voelen. Dit betekent dat de verandering gepaard moet gaan met een inspirerende visie en met duidelijkheid over de te nemen stappen, anders schiet men in de weerstand. Het is belangrijk dat de onzekerheid daadwerkelijk kan worden weggenomen en dat gekozen wordt voor opties met zo min mogelijk risico.
3. **Verrassing.** Als mensen opeens geconfronteerd worden met beslissingen, zonder tijd om aan het idee te wennen of zonder tijd om noodzakelijke maatregelen te nemen op een moment dat het hen uitkomt, zorgt dat voor weerstand. Het is veel beter mensen voor te bereiden op aankomende veranderingen en voldoende tijd te geven om aan het idee te wennen. Geef hen ruimte om benodigde aanpassingen voor de afstap van aardgas in te plannen.
4. **Alles lijkt anders.** Verandering zorgt voor wijzigingen. Te veel wijzigingen tegelijk maakt mensen oncomfortabel. Beperk daarom het aantal wijzigingen dat het gevolg is van een grote verandering zoals de energietransitie. Probeer een oplossing te vinden die het aantal wijzigingen tot het minimum beperkt.
5. **Gezichtsverlies.** Reeds gedane voorstellen voor de energietransitie zijn misschien niet optimaal. Het lijkt verstandig te onderzoeken of er oplossingen zijn die meer rekening houden met het adaptief vermogen van de samenleving.
6. **Zorgen over competenties.** Kan ik dat wel? Maken we wel de goede keuzes? Mensen vragen zich af of zijzelf en de andere betrokken partijen wel de juiste kennis en vaardigheden bezitten. In deze situatie moet gezorgd worden voor het verstrekken van hulpmiddelen en informatie en in het laten bepalen van de beste aanpak door partijen met kennis van zaken.
7. **Meer werk.** Verandering gaat gepaard met meer werk. Voor een veranderingstraject moet extra capaciteit komen en is het erkennen en belonen van prestaties van belang. Geef markt en burger voldoende tijd en capaciteit om keuzes te maken en aanpassingen uit te voeren en laat ze profiteren van maatschappelijk aantrekkelijke keuzes.
8. **Rimpeleffecten.** Verandering zorgt voor beweging, overlast en gedoe. Deze 'rimpelingen' hebben gevolgen voor anderen die geen belang hebben bij de verandering. Het is verstandig de overlast voor dergelijke partijen zoveel mogelijk te beperken.
9. **Negatieve gevoelens uit het verleden.** Op het moment dat er iets verandert, gaan gevoelens en ervaringen uit het verleden meespelen. Gebrek aan vertrouwen of wantrouwen moet eerst worden geadresseerd voordat aan nieuwe uitdagingen kan worden begonnen. Houd daarom rekening met bestaande gevoelens in de maatschappij over de betrouwbaarheid van de overheid en met (negatieve) ervaringen met warmtenetten en aardbevingsrisico's.
10. **Soms is het echt een bedreiging.** Er is weerstand tegen verandering omdat het pijn doet. Door de energietransitie kunnen waardevolle elementen van de woning en eerdere investeringen verloren gaan en kan de energierekening hoger uitvallen. Als veranderingen een achteruitgang betekenen en de verandering echt noodzakelijk is, is het devies eerlijk, snel en redelijk zijn, maar het beste is om te voorkomen dat de energietransitie een bedreiging wordt door een betrouwbare, betaalbare en duurzame oplossing voor iedereen mogelijk te maken.

2.2 HET ADAPTIEF VERMOGEN EN WEERSTAND TEGEN VERANDERING

Weerstand tegen verandering is normaal en kan zich op vele manieren manifesteren: getreuzel, afwachten of actieve tegenwerking. In principe willen mensen meestal alles bij het oude laten. We vinden het moeilijk om een verandering te accepteren, zeker wanneer het een verandering betreft die we niet wensen en niet zelf hebben gekozen. Mensen meekrijgen bij een verandering is dan ook lastig. De energietransitie is wat dit betreft niet anders dan een organisatieverandering. In deze paragraaf kijken we wat we daarvan en van de vorige energietransitie kunnen leren.

Het overkomen van weerstand tegen veranderingen

Verschillende factoren verklaren weerstand tegen verandering. Anticiperen op deze factoren kan dan helpen om de haalbaarheid van de energietransitie te vergroten. Factoren die weerstand verklaren en mogelijkheden om hiermee rekening te houden, zijn op veel verschillende manieren te ordenen. Wij gebruiken de indeling van Moss Kanter (Moss Kanter, september 2012), zie Kader 1, vorige pagina. Factoren die nu terugkomen in de gebouwde omgeving zijn, ingedeeld in dit schema:

- Punt 1: 'verlies aan controle'. Dit komt terug in de weerstand tegen verplichte isolatie en aanpassing van de woning; en
- Punt 10: 'soms is het echt een bedreiging'. Doordat er geen passend alternatief is of de nadelen groter zijn dan de voordelen (hoge kosten, mogelijke verliezers).

Ook onzekerheid (punt 2), zorgen over competenties (punt 6) en negatieve gevoelens (punt 9) spelen een rol.

Hoe kunnen we hier rekening mee houden? Niet altijd is het mogelijk om alle pijn van een verandering weg te nemen. De klimaatdoelen staan vast.

Vaak ziet men dat wordt ingespeeld op factoren die helpen de boodschap te 'verkopen'. Het proces wordt zo ingericht dat het gemakkelijker is een transitiedrempel te nemen, bijvoorbeeld door participatie of een deel van de opbrengsten te laten terugvloeien naar de omgeving (zie Tabel 2). Deze aanpak zien we terug in wetenschappelijke literatuur (Devine-Wright, 2011), (Ciupuliga, et al., 2013), in de gekozen wijkaanpak met de nadruk op participatie en in adviezen die op dit gebied verschijnen (Tigchelaar, et al., 2019) (ECN, oktober 2017).

Een alternatieve aanpak is het beperken van transitiedrempels. Deze mogelijkheid krijgt in de aanpak van de energietransitie en in de literatuur minder aandacht. In het Verenigd Koninkrijk is er wel een aansprekend voorbeeld te vinden. Daar lijkt het beleid voor de gebouwde omgeving wel wat op dat van Nederland, maar zijn ze tien jaar geleden begonnen (Cabinet Office Behavioural Insights Team, July 2011). Het gaat om een proef met het in combinatie aanbieden van het opruimen van de zolder en dakisolatie om het isolatiepercentage van zolders te vergroten. Uit eerder onderzoek was nl. naar voren gekomen dat het 'gedoe' mensen ervan weerhield de zolder te isoleren (Department of Energy & Climate Change, november 2011). De resultaten van de proef laten zien dat een hoger percentage overging tot isolatiemaatregelen wanneer het 'gedoe' uit handen werd genomen. De ambitie in de Nederlandse situatie om woningeigenaren en huurders maximaal te ontzorgen, sluit aan bij deze Engelse ervaringen.

Het op dergelijke wijze diagnosticeren van de bronnen van weerstand is een eerste stap op weg naar het vinden oplossingen.

Tabel 2: twee wijze van aanpak: hulp bij het nemen van drempels of het verminderen van transitiedrempels

Maatregelen om transitiedrempels te overwinnen	Maatregelen om transitiedrempels te verminderen
Goede communicatie	Bieden van keuzevrijheid qua oplossing en timing
Meer participatie	Zorgen dat voordelen overstap groter zijn dan nadelen
Verschaffen van objectieve informatie	Verlagen kosten alternatieven
Ondersteuning met één loket	Zorgdragen voor eerlijke en rechtvaardige oplossing
Financiële oplossingen (goedkope lening)	Bieden van oplossing die past bij diversiteit in woningen, mensen en omstandigheden

De revolutie van Slochteren: lessen uit verleden

De huidige energietransitie is niet de eerste energietransitie die Nederland meemaakt. De overgang van het gebruik van steenkool, stadsgas en oliestook naar aardgas in de jaren 60 wordt beschouwd als een succesvolle transitie die Nederland in hoog tempo niet alleen een landelijk dekkende energie-infrastructuur opleverde maar ook het welvaart- en comfortniveau deed stijgen (Verbong, 2000). In enkele jaren werd een landelijke hoofdtransportleiding aangelegd en werden ongeveer 5 miljoen kook- en verwarmingstoestellen vervangen of omgebouwd. Voor dat doel was een nationale organisatie ingesteld. De totale kosten van de operatie bedroegen ongeveer 650 miljoen gulden. Van de burgers werd geen bijdrage gevraagd. Zij werden volledig ontzorgd (zie verder Kader 2, volgende pagina).

2.3 PRINCIPES VOOR EEN LAAGDREMPELIGE ENERGIETRANSITIE

De vorige energietransitie was er één die op grote medewerking kon rekenen en die Nederland vooruithelp. Wat kunnen we hiervan leren? Belangrijke succesfactoren waren het feit dat de burger er qua comfort flink op vooruitging. Het milieu werd minder belast. Ervaringsdeskundigen bereidden de implementatie goed voor en voerden deze snel en efficiënt uit. De burger werd daarbij volledig ontzorgd en hoefde niet zelf te investeren.

In de huidige transitie ontbreekt het nog aan deze succesfactoren. Op gebied van comfort is geen duidelijke verbetering zichtbaar. Qua hoogte van de energierekening gaat men -zo lijkt het nu- er eerder op achteruit dan op vooruit en van ontzorging is nu nog weinig sprake. De burger mag participeren, maar het voelt vaak als moeten meewerken aan het vinden van een goede wijkoplossing. Woningeigenaren moet hun huis isoleren en eventueel een extra hypotheek nemen als dat nodig is om alle kosten te dekken. Dit alles zonder dat men de zekerheid heeft de juiste keuze te maken en op termijn beter af te zijn. Komt er over een paar jaar niet een aantrekkelijker, goedkoper alternatief? Is het niet verstandiger te wachten? Wie betaalt de voortijdige afschrijving van de cv-ketel bij de overstap naar een collectieve oplossing? Ook wanneer de meerkosten gedekt worden uit subsidie en de gemeente of woningcorporatie de keuze maakt, twijfelt men aan de goede bedoelingen en kennis van zaken van deze partijen. Kan men straks nog wel kiezen uit verschillende energieaanbieders, of moet men verplicht meedoen aan een collectieve oplossing? Hoe zit het met de leverbetrouwbaarheid en prijs op termijn?

Kader 2: de revolutie van Slochteren (Verbong, 2000)**Comfort en welvaart namen toe, het milieu werd minder belast**

De ontdekking van de aardgasbel van Slochteren op 22 juli 1959 was een bepalend moment voor de energievoorziening in Nederland. Nederland veranderde van een delfstoffenarm naar een delfstoffenrijk land. Voor de transitie lag er een (stads)gasnet dat bijna 70% van de huishoudens bereikte, voornamelijk voor koken. In hoog tempo werd na de ontdekking een landelijk gasnet aangelegd waarmee heel Nederland van aardgas kon worden voorzien, niet alleen om te koken maar ook voor de verwarming van huizen en gebouwen, gebruik in de industrie en voor de opwekking van elektriciteit. De Gasunie begon in 1963 met het bestaande net van ongeveer 3000 kilometer. In de jaren daarna werd dit net telkens uitgebreid tot 6250 kilometer in 1975. Nederland was daarmee het land met de grootste dichtheid in gasleidingen ter wereld. Ongeveer 95% van de huishoudens in Nederland kan beschikken over aardgas.

Mede door het gebruik van het Gronings aardgas steeg het welvaartsniveau en daarmee het energieverbruik van huishoudens enorm. Aardgas leverde de gebruiker meer comfort en een hogere veiligheid op. Het betekende geen gesleep meer met kolen of een grote olietank in tuin of schuur, weinig onderhoud aan de installatie en een gemakkelijke regeling van de temperatuur. De binnenstedelijke milieuvervuiling van de stadgasfabrieken kwam tot een einde en het risico op koolmonoxidevergiftiging nam sterk af.

Landelijke coördinatie en voorbereiding

Doordat het Groningse aardgas een andere samenstelling had dan het kolengas of stadsgas, moesten in Nederland ongeveer 5 miljoen kook- en verwarmingstoestellen worden vervangen of omgebouwd. Deze operatie moest gelijktijdig plaatsvinden met de aanleg van de hoofdtransportleiding zodat direct kon worden overgeschakeld, wanneer het aardgas werd aangevoerd. Een goede coördinatie was dus noodzakelijk.

Hiervoor kwam een Commissie Planning Ombouw tot stand. Via vragenformulieren aan de distributiebedrijven, waarin werd gevraagd naar o.a. het aantal om te bouwen aansluitingen, en de planning per gemeente, vormde deze Commissie zich een beeld. Eind 1964 was een hoofdbouwplan gereed waarin de volgorde werd vastgelegd waarin de gemeenten voor ombouw in aanmerking kwamen, de aard van de werkzaamheden en de tijd die dat zou vergen. Een werkgroep had zich inmiddels beziggehouden met het opstellen van een compleet overzicht van alle circa 5000 typen kook- en verwarmingstoestellen die in Nederland in gebruik waren. Voorafgaand aan de echte ombouw gingen enquêteurs de huizen af om na te gaan welke apparatuur de bewoners in huis hadden.

Inzet van ervaringsdeskundigen

Het plan voor de transitie van het gasnet en de aanleg van de hoofdtransportleiding werd door vier medewerkers van Esso binnen twee maanden opgesteld op basis van ervaring in de Verenigde Staten. Een groot deel van het specialistische werk, zoals het buigen, lassen, bekleden en neerlaten van de pijpen en het met röntgenonderzoek controleren van de rondlassen, werd uitgevoerd door buitenlandse bedrijven die daar ervaring mee hadden. Eenvoudiger werk, zoals het vrijmaken van de strook waar de leiding moest komen, het graven en vullen van de sleuven en het in de oude staat brengen van het terrein, werd overgelaten aan Nederlandse aannemers.

Het aantal gastoestellen dat moest worden omgebouwd, bedroeg circa 3,3 miljoen. Ongeveer 1,7 miljoen oude gastoestellen werden ingevuld voor nieuwe. Bij de ombouw werd nauw samengewerkt met Amerikaanse bedrijven. Men ging er terecht vanuit dat de ombouwoperatie met gebruikmaking van de in de Verenigde Staten succesvol toegepaste conversiesets zonder veel moeilijkheden binnen vijf jaar kon worden voltooid.

Ontzorging burger

De werkzaamheden werden begeleid door een uitgebreide voorlichtingscampagne, waarin het publiek kreeg uitgelegd wat er ging gebeuren en op welke manier. De planners van de ombouw probeerden er steeds voor te zorgen dat de overgang van stads- op aardgas zo snel mogelijk plaatsvond. Wanneer er al eens iets fout ging, kon men meestal het probleem oplossen door burgers een tijdelijk alternatief te bieden. Zo bood men in Schiedam gezinnen met baby's elektrische zuigfleswarmers aan toen het aardgas een dag langer op zich liet wachten.

Geen financiële bijdrage burgers

De totale kosten van de operatie, die ruim binnen de daarvoor geplande termijn van vijf jaar werd afgerond, bedroegen ongeveer 650 miljoen gulden. Om te voorkomen dat grote aantallen mensen zouden weigeren mee te werken, was besloten dat de distributiebedrijven de kosten zouden dragen. Ter compensatie kregen die bedrijven per omgebouwde aansluiting 50 gulden van de Gasunie vergoed. Van de burger was geen financiële bijdrage nodig. De mensen kregen juist de mogelijkheid om oude toestellen in te ruilen voor nieuwe. Hiervoor werden hoge inruilpremies voor oude toestellen betaald.

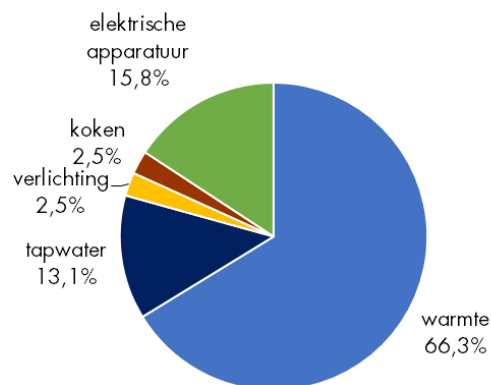
Optimaal inspelen op het adaptief vermogen en de transitiebereidheid betekent rekening houden met factoren die weerstand oproepen. Naast maatregelen om de transitiehobbels te nemen zoals een goede communicatie en informatievoorziening, zou meer aandacht gegeven kunnen worden aan het voorkomen van transitiedrempels. Er is behoefte aan een gedegen inhoudelijk plan dat uitgaat van principes van 1) *keuzevrijheid voor de burger* en 2) *kosteneffectieve maatregelen voor iedereen* én tegelijkertijd de klimaatdoelen haalt. Deze principes kunnen de belangrijkste oorzaken voor weerstand wegnemen, nl. het 'verlies aan controle' (niet zelf kunnen kiezen) en 'een daadwerkelijke bedreiging' (geen passend of betaalbaar alternatief). Uitgangspunten van het plan zijn dan:

1. Voor iedereen een passende oplossing die betaalbaar, duurzaam en betrouwbaar is. Daardoor kunnen de kosten van grootschalige participatie- en overlegtrajecten worden beperkt, en hoeven groepen zonder ervaring met energievraagstukken niet zelf het wiel uit te vinden (principes van keuzevrijheid en kosteneffectieve maatregelen). Dit betekent ook:
 - a) Een overgang naar een (collectieve) alternatieve oplossing alleen wanneer voldoende zeker is dat dit de meest aantrekkelijke oplossing is, waar iedereen achter staat.
 - b) Ruimte voor individueel of lokaal initiatief om te kiezen voor een warmteoplossing die men zelf aantrekkelijk vindt. Voor *innovators* en *early adopters* is het in dat geval mogelijk om voorop te lopen en een voorbeeld te zijn voor buurtbewoners.
2. Focus op rendabele en autonome isolatiestappen van bestaande woningen. Keuze voor isolatiemaatregelen gaat dan meer op eigen initiatief en de besparing op de energiekosten betaalt de investeringen terug (principes van keuzevrijheid en kosteneffectieve maatregelen).
3. Vrijheid bij het bepalen (en mogelijke faseren) van het individuele overstapmoment naar een duurzame warmtevoorziening. Op natuurlijke vervangingsmomenten en bij logische fasering is de investeringsbereidheid groter, de risico's kleiner en wordt het adaptief vermogen minder aangesproken (principes van keuzevrijheid en kosteneffectieve maatregelen).

Het eerste uitgangspunt om de transitiebereidheid te vergroten is het aanbieden van een goed doordachte basisoplossing voor de energievraag van de gebouwde omgeving die betaalbaar, duurzaam en betrouwbaar is. Dit betekent geen verplichte overstap naar een verwarmingsalternatief, maar wel de ruimte om een eigen keuze te maken.

Vertrekpunt huidige vraag

De energievraag in de gebouwde omgeving bestaat uit een elektriciteitsvraag en een warmtevraag.⁶ De finale elektriciteitsvraag van woningen is 82 petajoules (PJ)⁷ (CBS 2018) en de warmtevraag 324 PJ.⁸ Voor de verdeling zie de Figuur hiernaast.



bron: monitor energiebesparing gebouwde omgeving 2017, cijfers 2016

Verduurzaming elektriciteitsvraag voor gebruiker relatief ongemerkt

Richting 2050 zal de elektriciteitsvraag voor verlichting en elektrische apparatuur ongeveer gelijk blijven. De groei door de toename van de bevolking en het gebruik van elektrische apparatuur wordt naar verwachting gecompenseerd door efficiëntieverbeteringen. De benodigde elektriciteit zal in 2050 volledig hernieuwbaar moeten worden opgewekt. Achter de voordeur zijn hiervoor geen aanpassingen nodig. Uit een stopcontact komt in 2050 volledig CO₂-vrije 'groene' stroom. Het gevolg van de verduurzaming zal zijn dat de leefomgeving verandert, met meer windparken en zonneparken en meer huizen met zonnepanelen op het dak.

Verduurzaming warmtevraag doet groot beroep op adaptief vermogen

De warmtevraag bestaat voor het merendeel uit warmte voor ruimteverwarming, voor een deel uit tapwater en een klein deel uit koken. In hoeverre de vraag verandert, hangt sterk af van de isolatie-inspanning en de ontwikkeling van het aantal huishoudens en woningen.

Er zijn verschillende energiebronnen die de warmtevraag kunnen invullen. Ze kunnen worden ingedeeld naar hun vorm en temperatuurbereik (zie Figuur 6):

⁶ In het klimaatakkoord valt de warmtevraag van woningen en gebouwen onder 'gebouwde omgeving' en het elektriciteitsgebruik van de gebouwde omgeving onder 'elektriciteit'.

⁷ Dit komt overeen met 22,77 miljard kilowattuur (kWh). 1 PJ is gelijk aan 10⁹ megajoules. Een kWh is 3,6 megajoules.

















⁸ Het aardgasgebruik in PJ is afkomstig uit CBS-energiebalans. Omzetting tussen m³ en petajoules (PJ) gebeurt op basis van de lage verbrandingswaarde van Groningsgas: 31,65 MJ/m³.

1. De mogelijke **vormen van energie (energiedragers)**, nl. elektriciteit (de elektronen), warmte (via een warmtenet) en gas (de moleculen). Afhankelijk van de vorm is niet alleen een andere verwarmingsinstallatie in huis nodig maar ook een andere transport- en distributie-infrastructuur.
2. De mogelijke **watertemperatuur** waarmee de woning verwarmd kan worden. Het gebruik van sommige warmtebronnen vraagt om een lagetemperatuurwarmtesysteem. Bij warmte op 50°C of lager zijn LT-radiatoren nodig (PBL, oktober 2019) en is een hoge isolatiegraad vereist om de woning warm te kunnen stoken (minimaal energielabel B).

De benodigde hoge isolatiegraad heeft twee oorzaken:

- a) In tochtige woningen kan een doorsnee warmtepomp of LT-systeem niet snel genoeg warmte produceren om de woning warm te krijgen in een koude winter; en
- b) Bij slechte isolatie is het energieverbruik hoger, waardoor het snel erg duur wordt.

Er is nog te weinig ervaring met LT-verwarming in de bestaande bouw om vast te stellen hoeveel schilisolatie minimaal noodzakelijk is. In de Startanalyse neemt PBL aan dat schillabel B voldoende is (PBL, oktober 2019). Deze aanname is door deskundigen gevalideerd, maar of dat klopt, moet in de praktijk nog blijken. Mogelijk is een hoger isolatieniveau (A en hoger) noodzakelijk.

Aflevering bij huishoudens in de vorm van	Elektronen 	Warmte 	Moleculen 
	Lage temperatuur (30-50°C), Energielabel B+		Hoge temperatuur (groter gelijk 70°C) Geen labelis
Energiebronnen	Wind op zee  Wind op land  Zon PV  Getij, osmose  Biomassa ⁱⁱⁱ  Kernenergie 	Zonthermie ⁱ  Aquathermie ⁱⁱ 	Restwarmte ⁱⁱ  Geothermie ⁱⁱ  Biomassa ⁱⁱⁱ  Groengas ⁱⁱⁱ  Waterstof & synthetische brandstof ^{iv}  H ₂
Installatieopties	1. Warmtepomp	2. Lagetemperatuur-warmtenet	3. Hogetemperatuur-warmtenet 4. Ketel op hernieuwbaar gas

Figuur 6: energiedragers, duurzame energiebronnen en installatieopties

De verduurzaming van de warmtevraag gaat niet vanzelf. Om een woning bijvoorbeeld geschikt te maken voor LT-verwarming zijn stevige isolatiemaatregelen nodig. Overstap op een andere energiedrager (een systeemverandering) vereist aanpassingen aan installaties en aansluitingen. Alleen bij oplossingen waarbij het bestaande warmteafgiftesysteem gehandhaafd kan worden (zoals bij voortzetting van een HT-warmtenet en de levering van hernieuwbaar gas via het gasnet) zijn voor de meeste woningen de veranderingen beperkt. Deze studie naar een laagdrempelige energietransitie richt zich daarom vooral op de warmtevraag in woningen. De verduurzaming van de elektriciteitsvraag zal voor het grootste deel plaatsvinden zonder dat bewoners zelf actie moeten ondernemen.

3.1 MOGELIJKE ALTERNATIEVEN VOOR DE WARMTEVOORZIENING

Er zijn vier hoofdininstallatie-opties mogelijk om de woning te verwarmen (zie Figuur 6) en een combinatie van een warmtepomp (optie 1) met een cv-ketel (optie 4), de zogenaamde hybride warmtepomp. Dit zijn ook de vijf opties die PBL in zijn modellen voor de gemeenten heeft opgenomen.

Kader 3: overzicht van de beschouwde verwarmingsalternatieven

Verwarmingsalternatieven
<p>Optie 1: Warmtepomp (all electric). Een warmtepomp combineert warmte uit de buitenlucht (of bodem) met elektrische energie om zo zeer efficiënt warmte te produceren voor ruimteverwarming en tapwater. Er is geen gasaansluiting meer nodig, maar wel een zwaardere elektriciteitsaansluiting. Een warmtepomp werkt doorgaans met een verwarmingstemperatuur van maximaal 45 tot 55 °C. Dat is lager dan de afgiftemtemperatuur van een hr-ketel (80 °C). Door de lagere temperatuur van het LT-warmteafgiftesysteem (de LT-radiatoren of vloerverwarming) wordt een elektrische warmtepomp eigenlijk altijd toegepast in goed geïsoleerde woningen (minimaal schillabel B) in combinatie met een boilervat (opslag voor tapwater) en ventilatiewarmterugwinning. Koken gebeurt elektrisch.</p>
<p>Optie 2: LT-warmtenet: Optie 2 is verwarming via een warmtenet op basis van LT-warmtebronnen. De lage temperatuur houdt in een temperatuur tot 50 °C. Voor onderhoud, leveringszekerheid en piekvraag zijn centrale back-up ketels vaak noodzakelijk. Deze ketels gebruiken dan hernieuwbaar gas. Bij warmtelevering op LT-niveau zijn de distributieverliezen lager dan bij hoge temperatuur, maar komt er in elk aan te sluiten gebouw of woning een boosterwarmtepomp en opslagvat voor de warmtapwatervoorziening. Er zijn meer aanpassingen nodig in de gebouwen, zoals een LT-afgiftesysteem voor het leveren van genoeg warmte bij de lagere temperatuur en voldoende isolatie. Bij de gebruikers van een warmtenet wordt de gasaansluiting vervangen door een afleverset warmte, en is vaak een aanpassing nodig om over te kunnen gaan op elektrisch koken. Warmtenetten met een LT-bron kunnen meestal wat kleiner zijn dan met een HT-bron en lenen zich voor een aanpak binnen één wijk. Door het relatief dure distributienet is een warmtenet vooral toepasbaar bij dichte bebouwing. Er zijn talloze mogelijkheden om de LT-warmtebronnen in te zetten en te combineren of op te waarderen naar HT-warmte.</p>
<p>Optie 3: HT-warmtenet: Bij de 3^e optie wordt de warmtevraag van woningen en gebouwen geleverd via een aansluiting op een warmtenet dat warmte op HT-niveau⁹ levert vanuit een collectieve warmtebron met een temperatuur die voldoende is om bij de eindgebruiker water van minimaal 70 °C te leveren. Door deze temperatuur kan direct tapwater worden gemaakt. De gasaansluiting vervalt en voor koken moet men overgaan op elektrisch. Isolatie in de woning is niet nodig, enkel een afleverset warmte en een reguliere elektriciteitsaansluiting. Door het relatief dure distributienet is een warmtenet vooral toepasbaar bij dichte bebouwing.</p>
<p>Optie 4: Ketel op hernieuwbaar gas (4a. groen gas, 4b. waterstof). Alternatief 4 houdt in dat een reguliere hr-ketel warmte levert en het gasnet in gebruik blijft. Bij deze strategie zijn er nauwelijks aanpassingen nodig. De hernieuwbare gassen kunnen via het bestaande gasnet geleverd worden. Waterstof is voorlopig nog niet leverbaar aan de gebouwde omgeving (behalve bij enkele pilots). Na 2030 zou dit wel het geval kunnen zijn. Naast 'puur' gebruik kan waterstof worden bijgemengd bij aardgas of groen gas. Moderne cv-ketels en gasfornuizen kunnen naar verwachting zonder problemen tot 20% bijmenging van waterstof aan. Oude apparaten kunnen dit niet zomaar. Voor 100% verbranding op waterstof is een aangepaste ketel nodig. Wettelijk is bijmenging tot 0,5% toegestaan. Isolatie of andere aanpassingen in de woning zijn nauwelijks nodig. Waterstof vereist aanpassing van de gasmeter. Voor groen gas is er geen enkele aanpassing in huis nodig.</p>
<p>Optie 5: Hybride gas/warmtepomp (5a. groen gas, 5b. waterstof). Een hr-ketel op hernieuwbaar gas gecombineerd met een warmtepomp combineert de voordelen van optie 1 en 4. Met een hybride oplossing kan je de warmtevraag gedeeltelijk elektrificeren en efficiënt warmte produceren. Doordat de ketel bijspringt wanneer er tijdelijk veel capaciteit nodig is, is extra isolatie of netverzwaring niet nodig. Waterstof (optie 5b) vereist aanpassing van de gasmeter en een ketel geschikt voor verbranding van waterstof. Voor groen gas (optie 5a) is er geen enkele aanpassing in huis nodig. Isolatie is niet nodig maar vergroot wel het rendement doordat het aandeel van gas in het energiegebruik lager uitvalt.</p>

⁹ Naast HT- en LT-warmtenetten zijn er warmtenetten op een middentemperatuur mogelijk. De temperatuur ligt wat lager dan bij de meeste bestaande HT-warmtenetten. Daardoor wordt het makkelijker duurzame bronnen aan te sluiten en zijn de distributieverliezen in het warmtenet wat lager. Wel is een hogere schilisolatie nodig om de woning met de bestaande radiatoren warm te krijgen en het gewenste comfort te bereiken.

Bij optie 4 en 5 maken we onderscheid in groen gas¹⁰ (4a en 5a) en waterstof (4b en 5b). Al deze alternatieven (zie Kader 3) moeten 100% CO₂-neutraal kunnen worden voor 2050. De HT(hogetemperatuur)- en LT-warmtenetten dekken meerdere warmtebronnen en varianten af. Voor de gebruiker en de transitiebereidheid is de impact van die verschillen beperkt.

3.2 VERSCHILLEN IN HET EFFECT OP HET ADAPTIEF VERMOGEN

In Figuur 7 zijn de verschillen tussen de duurzame opties indicatief in kaart gebracht. Als een optie heel goed scoort op een bepaald aspect krijgt dit de beoordeling 'groen'. Iets minder goed wordt 'lichtgroen', enzovoorts. Hoe beter de score des te minder zal het adaptief vermogen worden aangesproken. Een korte toelichting is te vinden in Tabel 3.

Optelling van de scores per optie is niet mogelijk doordat de weging van de verschillende aspecten per woning zal verschillen. De eerste indruk kan daarom een vertekend beeld geven. Bovendien is hier alleen rekening gehouden met aspecten relevant voor bewoners. Zo zien de opties aan de rechterkant er gunstig uit, maar is er op dit moment onvoldoende aanbod. Bij de twee LT-opties vallen er 'rode' beoordelingen weg als er al goed geïsoleerd is. Ook autonomie en keuze van het overstapmoment zijn soms minder of niet relevant.

Voor bestaan- de bouw	1. Warmte- pomp	2. LT- warmnet	3. HT- warmnet	4a. Groen gas	4b. Waterstof	5. Hybride
Isolatiekosten						
Energiekosten						
Installatiekosten						
Netwerkkosten ⁱⁱⁱ						
Autonomie ⁱⁱⁱ						
Keuze over- stapmoment ⁱⁱⁱ						
Vereiste aanpassing ⁱⁱⁱ						
Ruimtegebruik in huis						
Comfort						
Risico						

i) indien nog niet goed geïsoleerd, ii) indien al goed geïsoleerd,
 iii) bij overstap vanuit bestaande gasaansluiting

Figuur 7: kwalitatieve vergelijking alternatieven adaptief vermogen

¹⁰ Groen gas is gezuiverd biogas opgewerkt naar aardgaskwaliteit. Vergisting van mest, groente- en fruitafval en tuinafval leidt tot biogas.

Tabel 3: korte toelichting beoordeling per aspect

<i>Isolatiekosten</i>	<i>Goede isolatie en een LT-warmteafgiftesysteem zijn noodzakelijk voor een warmtepomp en een LT-warmtenet.</i>
<i>Energiekosten</i>	<i>De energiekosten van een warmtepomp zijn het meest gunstig door het hoge rendement. De kosten van waterstof zijn het hoogst, gevolgd door groen gas, maar ze zullen naar verwachting dalen.</i>
<i>Installatiekosten</i>	<i>Een HT-warmtenet heeft de laagste kosten vanwege de investering en het onderhoud van enkel een afleverzet. Een reguliere cv-ketel is per jaar ongeveer even duur. Een LT-warmtenet heeft iets hogere kosten vanwege de boosterwarmte-pomp en het tapwatervat. De hoogste kosten zijn voor de warmtepomp. De kosten van een hybride oplossing liggen tussen een ketel en warmtepomp in.</i>
<i>Netwerkkosten</i>	<i>De laagste kosten zijn voor de warmtepomp doordat de meerkosten van netverzwaring meer dan gecompenseerd worden door het wegvallen van de gasaansluiting. Een warmtenet heeft de hoogste kosten. Een kleinere omvang van een LT-warmtenet betekent gemiddeld iets lagere kosten. Gasoplossingen komen op iets hogere kosten uit door kleine aanpassingen aan het gasnet.</i>
<i>Autonomie</i>	<i>De collectieve oplossingen verhinderen een individuele keuze voor een techniek.</i>
<i>Keuze overstapmoment</i>	<i>Bij collectieve oplossingen is geen individuele keuze van het overstapmoment mogelijk. Voor hernieuwbare gasen is daadwerkelijk gebruik van hernieuwbaar gas afhankelijk van de levering via het gasnet.</i>
<i>Aanpassingen en overlast</i>	<i>Bij de noodzaak voor isolatie zijn veel aanpassingen nodig, bij een warmtenet mogelijk aanpassing van leidingen, bij een warmtepomp en hybride oplossing de plaatsing van een buitenunit, bij waterstof aanpassing van de gasmeter.</i>
<i>Ruimtegebruik</i>	<i>De meeste ruimte vragen LT-oplossingen vooral vanwege het tapwatervat, de minste ruimte in huis is nodig voor een HT-warmtenet.</i>
<i>Comfort</i>	<i>Verlies aan comfort treedt op bij geluidsproductie van een warmtepomp (-), voor LT-oplossingen langzame verwarming/ tapwaterproductie (-), en niet voldoende kunnen verwarmen bij grote kou (-). Er is een voordeel van koeling bij sommige warmtepompen (+).</i>
<i>Risico</i>	<i>Warmtenetten hebben verhoogd risico door één aanbieder (prijsstijging) en wegvallen warmtebron. Risico op wegvallen warmtebron is groter bij een HT-warmtenet dan bij een LT-warmtenet. Hybride oplossing kan enigszins optimaliseren tussen elektriciteit en gas afhankelijk van de energieprijzen.</i>

3.3 OPLOSSINGEN PASSEND BIJ EEN LAAGDREMPELIGE ENERGIETRANSITIE

Het is het meest aantrekkelijk gezien vanuit het adaptief vermogen als er geen verandering optreedt in de energievorm en als de watertemperatuur van de warmtevoorziening niet dwingt tot isoleren of aanpassingen (zie Figuur 7). De energietransitie levert dan de minste transitiedrempels op. Een oplossing die weinig aanspraak maakt op het adaptief vermogen zou eruit kunnen zien als getoond in Tabel 4.

Een woning die nu al op stadswarmte is aangesloten, blijft warmte via een warmtenet gebruiken. Woningen die goed geïsoleerd zijn, zouden kunnen overgaan op LT- in plaats van HT-verwarming. Voor een bewoner die nu nog op gas verwarmt, kan een keuze voor hernieuwbaar gas (optie 4 en 5) de sociale acceptatie en implementatiesnelheid van de transitie verhogen. Burgers zijn immers al bekend met gasgestookte ketels en boilers. Er hoeft geen nieuwe infrastructuur te worden aangelegd. En de bestaande schilisolatie hoeft niet te worden aangepast. Overstap naar individuele elektrische verwarming is waarschijnlijk geen groot probleem voor reeds goed geïsoleerde bouw die al geschikt is voor LT-verwarming. Een elektriciteitsaansluiting is al aanwezig en er zijn geen aanpassingen aan de woning nodig anders dan de aanleg van de warmtepomp, maar ook het gebruik van hernieuwbaar gas blijft aantrekkelijk.

Voor nieuwbouw die immers al goed geïsoleerd moet zijn en geen gasaansluiting meer krijgt, komt naast een warmtepomp een LT-warmtenet in aanmerking. Wanneer een corporatie een groot deel van de woningen bezit, is een warmtenet aantrekkelijker dan bij een groot aandeel koopwoningen.

Autonomie en de individuele keuze van het overstapmoment wegen dan wat minder zwaar, hoewel de corporatie ook instemming van 70% van de bewoners nodig heeft.

Tabel 4: indicatief overzicht van meest aantrekkelijke optie per type woning in 2050

	Energie gebruik	Nieuwbouw tot 2050	Bestaande woningen met gasaansluiting		Bestaande woningen met aansluiting stadswarmte	
		Label A of hoger	Label B of hoger	Label C tot en met G	Label B of hoger	Label C tot en met G
Stedelijke omgeving	Laag	(1), 2	(1), 2 ⁱ , 4	3 ⁱ , 4	2	3
	Midden	1, 2	1, 2 ⁱ , 4, 5	3 ⁱ , 4, 5	2	3
	Hoog	1, (2)	1, 2 ⁱ , 5	3 ⁱ , 5	2	3
Dorpskern	Laag	(1), 2	2 ⁱ , 4	4	n.v.t.	n.v.t.
	Midden	1, 2	1, 2 ⁱ , 4, 5	4, 5	n.v.t.	n.v.t.
	Hoog	1, (2)	1, 2 ⁱ , 5	5	n.v.t.	n.v.t.
Landelijk/-vrijstaand	Laag	1	4	4	n.v.t.	n.v.t.
	Midden	1	1, 4, 5	4, 5	n.v.t.	n.v.t.
	Hoog	1	1, 5	5	n.v.t.	n.v.t.

i) met name in geval van een groot aantal corporatiewoningen, 1) warmtepomp, 2) LT-warmtenet, 3) HT-warmtenet, 4) ketel met hernieuwbaar gas, 5) hybride oplossing.

Afhankelijk van het energiegebruik en de locatie van de woning is verdere detaillering mogelijk.

Voor woningen met een laag energiegebruik kan de investering vaak niet uit in een optie met hoge installatiekosten. Hierdoor is een warmtepomp minder aantrekkelijk en weegt de energiebesparing van een hybride oplossing niet op tegen de extra investering ten opzichte van een reguliere cv-ketel. Voor woningen die veel energie gebruiken is de besparing op de variabele energiekosten juist voldoende om een hogere investering voor een (hybride) warmtepomp te rechtvaardigen. Voor grotere afnemers (met vaak grotere woningen) zijn er bovendien meer mogelijkheden om een warmtepomp te plaatsen.

Door de relatief hoge distributiekosten van een collectieve warmteoplossing en het minimumaantal afnemers zijn deze oplossingen vooral toepasbaar bij dichte bebouwing (veel aansluitingen per vierkante kilometer). Voor landelijke gebieden of vrijstaande woningen met een grote afstand tot andere afnemers zijn de netwerkkosten (te) hoog. Een duurzaam HT-warmtenet heeft een hogere minimum capaciteit dan een LT-warmtenet. Daardoor is een HT-warmtenet vooral geschikt voor de stedelijke omgeving. Een LT-warmtenet kan bij kleinere concentraties, goed geïsoleerde woningen worden toegepast.

Samenvattend zijn elektrische toepassingen geschikt voor alle woningen mits voldoende geïsoleerd. HT-warmtenetten zijn ideaal voor stedelijke gebieden die nu al stadswarmte hebben. LT-warmtenetten passen goed bij kleine concentraties, goed geïsoleerde woningen. En gasoplossingen passen bij alle locaties en isolatieniveaus, met uitzondering van nieuwbouw en woningen die al stadswarmte hebben.

3.4 OPTIMALE OPLOSSING NIET DIRECT REALISEERBAAR

Om de ideale oplossing vanuit het perspectief van de laagdrempelige energietransitie te realiseren, moet aan de volgende criteria worden voldaan:

- Het aanbod duurzame energie is voldoende om de energievraag in te vullen;
- De oplossing maakt het mogelijk om de klimaatdoelen tijdig te halen;
- De oplossing heeft een vergelijkbare prijs voor iedereen.

Potentieel aanbod

Niet voor alle energiedragers is er op dit moment voldoende aanbod. Voor de *all-electric*-optie lijkt het potentiële aanbod voor de gebouwde omgeving voldoende, ook al moet het aanbod worden gedeeld met het elektriciteitsgebruik voor verlichting en apparatuur en de vraag van mobiliteit en de industrie. In de prognoses voor 2050 is Nederland in staat meer elektriciteit op te wekken dan het hiervoor nodig heeft, mits elektriciteit efficiënt opgeslagen kan worden om de seizoenbalans op te lossen. Het potentieel van LT-warmtebronnen hoeft niet te worden gedeeld en is niet beperkt. Voor een HT-warmtenet is onzeker of er voldoende warmtebronnen zijn. Naar geothermie, restwarmte en biomassa bestaat vraag uit andere sectoren. Warmtebronnen als geothermie en restwarmte zijn niet onbeperkt en niet overal beschikbaar. Ze lenen zich vooral voor regionale toepassing.

Het potentieel aan groen gas en waterstof lijkt zonder import onvoldoende om aardgas in de industrie en de gebouwde omgeving volledig te vervangen. De huidige productie van groen gas is beperkt (0,1 miljard m³ in 2018) en waterstof is in de gebouwde omgeving alleen voor enkele pilots beschikbaar. Dit is een klein volume in vergelijking met de 10 miljard m³ aardgas die momenteel voor woningen gebruikt wordt. Wel zijn er flinke groeiambities. De realisatie van deze ambities is echter onzeker en deels gebaseerd op de doorbraak van technologieën en kostenreductie. Keuze voor een hybride oplossing kan helpen doordat minder gas nodig is dan bij gebruik van alleen een cv-ketel.

CO₂-uitstoot

In 2050 zijn alle beschouwde warmteoplossingen energieneutraal. Tot dat moment varieert de uitstoot van CO₂ tussen de opties. Dit is relevant voor het tussendoel in 2030. Doordat de elektriciteitsmix en efficiëntie van de opties verbeteren, neemt de CO₂-uitstoot per hoeveelheid energie af. Gebruik van elektriciteit levert vanaf 2030 veel minder uitstoot op en is volledig CO₂-neutraal in 2050. Een warmtepomp en hybride oplossing besparen op de uitstoot doordat ze omgevingswarmte benutten. LT-warmtenetten maken vooral gebruik van duurzame bronnen; wel gebruiken ze ook elektriciteit die nog niet volledig CO₂-neutraal is om het water rond te pompen en gas voor de piekverwarming en als back-up. Bij HT-warmtenetten is nu nog niet alle warmte duurzaam en is elektriciteit en meestal gas nodig voor de piekcapaciteit. Groen gas is CO₂-neutraal, maar voor waterstof geldt dat nog niet. De CO₂-uitstoot bij de productie van waterstof telt

mee. Pas als de elektriciteit gebruikt bij de elektrolyse van water 100% groen is, is de waterstof dat ook. Tussen 2030 en 2050 zal dat moment optreden.¹¹

Prijsuniformiteit; een vergelijkbare eerlijke prijs voor iedereen?

Afwachten totdat er voldoende hernieuwbaar gas beschikbaar komt voor de ideale laagdrempelige energietransitie is geen optie, omdat dan de tussendoelen in gevaar komen. Als woningen die nu een gasaansluiting hebben, echter worden gedwongen een andere minder optimale oplossing te kiezen, betekent dit een aanslag op het adaptief vermogen en niet voor iedereen leidt dat tot een vergelijkbare en eerlijke prijs.

Bewoners van minder goed geïsoleerde woningen bij wie vergaande isolatie niet rendabel of mogelijk is, kunnen niet overstappen naar LT-alternatieven of alleen tegen hoge kosten voor woning-aanpassing. Een rendabele aanleg van een HT-warmtenet is vaak ook niet mogelijk, wanneer deze woningen buiten de stedelijke gebieden of in stedelijke gebieden zonder duurzame HT-warmtebron liggen.

Voor woningen die wel op een warmtenet aangesloten kunnen worden, zullen de kosten variëren afhankelijk van de locatie, schaal, warmtebron enzovoorts. Zolang de meer- en minderkosten niet gesocialiseerd worden, kan dit tot grote verschillen leiden. Dit wijkt af van hoe we tot nu toe met de kosten van gas- en elektriciteitsinfrastructuur zijn omgegaan. Het is de vraag of dit gewenst is.¹² Bij overstap naar een LT-warmtenet kan men te maken krijgen met kosten van een noodzakelijke isolatie.

Oplossingen die voor iedereen beschikbaar zijn, en tegen een vergelijkbare prijs, zijn alternatieven waarin de cv-ketel blijft of vervangen wordt door een hybride systeem. Bij gebruikers met nu eenzelfde gasverbruik valt dan een duurzame energierekening even hoog uit. Echter het aanbod hiervan maakt toepassing nog niet mogelijk.



Figuur 8: kwalitatieve vergelijking algemene criteria

Een optimale oplossing vanuit het perspectief van het adaptief vermogen is dan ook niet op korte termijn voor iedereen realiseerbaar (zie Figuur 8). Maar misschien is het wel mogelijk de mogelijkheden van isolatie te gebruiken. Het volgende hoofdstuk gaat hierop in.

¹¹ De CO₂-uitsloot kan gewaardeerd worden door deze te vermenigvuldigen met de efficiënte CO₂-prijs. Deze neemt over verloop van tijd toe. In 2050 is die in het hoge WLO-scenario € 160 per ton CO₂ (CPB/PBL, maart 2016). Voor aardgas bedragen de CO₂-kosten dan € 0,29 per m³ (56,6 kg CO₂ per GJ aardgas x 0,001 GJ/MJ x 31,65 MJ/m³ x € 0,16 per kg = € 0,29 per m³).

¹² Zie o.a. motie van de Tweede Kamerleden Nijboer en Moorlag, 11 maart 2020.

HOOFDSTUK 4 FOCUS OP RENDABELE EN AUTONOME ISOLATIE

In het vorige hoofdstuk hebben we geconstateerd dat de haalbaarheid van de ideale basisoplossing voor een laagdrempelige energietransitie onzeker is vanwege het beperkte aanbod van hernieuwbaar gas. Dit betekent dat we misschien keuzes moeten maken die een groot beroep doen op het adaptief vermogen en daardoor minder gemakkelijk geaccepteerd worden. Door isolatie is het wellicht mogelijk om de energievraag voldoende te reduceren en komen de 2030-doelen toch binnen bereik. Een besparing van 25% op het fossiele energiegebruik is immers een besparing van 25% op de uitstoot van CO₂. Het potentieel hiervan beschouwen we in dit hoofdstuk.

Tabel 5: verdeling geregistreerde energielabels (bijna 50% woningen heeft energielabel)¹³

Energielabel	GJ/m ²	RVO (geregistreerde labels)
BENG/A+/A++	Minder dan 0,7	0%
A	Minder dan 1,05	20%
B	Minder dan 1,3	16%
C	Minder dan 1,6	29%
D	Minder dan 2,0	16%
E	Minder dan 2,4	9%
F	Minder dan 2,9	6%
G	Meer dan 2,9	4%

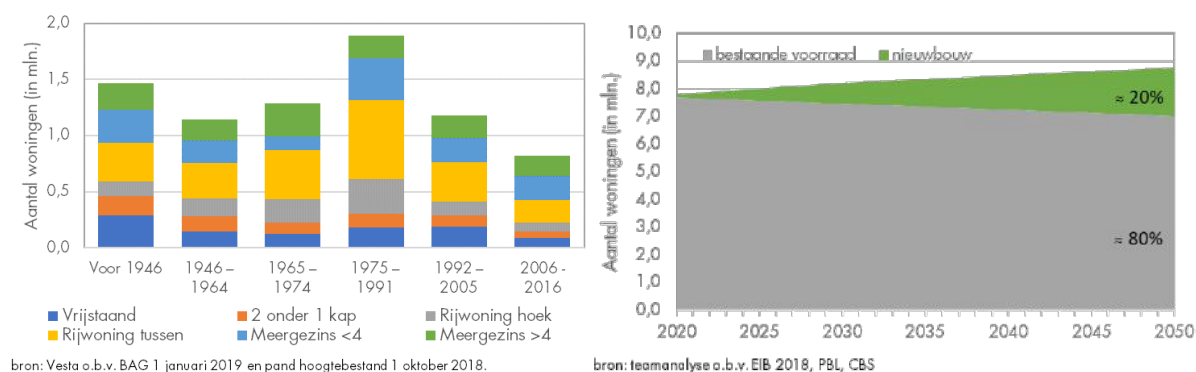
De isolatiegraad van woningen wordt uitgedrukt in het energielabel. Het energielabel is een maatstaf om te zien hoe zuinig en/of energiebesparend een gebouw of woning is.¹⁴ Een woning met een A++-label verbruikt in theorie vier keer zo weinig energie als een woning met een D-label. Een groot deel van de woningvoorraad kan nog verder geïsoleerd worden (zie Tabel 5).

¹³ Bij verkoop of verhuur van een woning is sinds 1 januari 2015 een energielabel verplicht. Doordat sindsdien nog niet alle woningen van eigenaar zijn veranderd of opnieuw verhuurd, is niet voor alle woningen een definitief label bekend. Voor deze studie gaan we uit van de meest recente geregistreerde labels. We nemen aan dat de geregistreerde verdeling representatief is.

¹⁴ Er wordt geschat hoeveel gigajoules (GJ) energie de woning elk jaar per vierkante meter gebruikt voor verwarming, warm water en verlichting. Hiervan wordt afgetrokken de geschatte warmteterugwinning uit rioolwater en ventilatie, en de geschatte energieproductie via zonnecollectoren. Er wordt uitgegaan van gemiddelde bewoning, gemiddeld buitenklimaat en gemiddeld stookgedrag. Het daadwerkelijke gebruik van iemand die 's nachts en tijdens werkuren de verwarming laag zet, is meestal veel minder dan het label suggereert.

4.1 POTENTIEEL VOOR REDUCTIE VAN HET GASGEBRUIK

Het type woning en de bouwperiode (zie Figuur 9) hebben een grote invloed op het energieverbruik. Een vrijstaande woning heeft nu eenmaal een grotere warmtebehoefte dan een appartement. En een vooroorlogse woning heeft een grotere warmtebehoefte dan een nieuwbouwwoning door de lagere isolatiegraad. Woningen uit de periode 1965-2000 zijn beperkt geïsoleerd (energielabel C en D). De woningvoorraad voor die tijd heeft vaak een lager energielabel (E t/m G). Woningen van na 2000 hebben meestal een energielabel B of hoger. Dit heeft te maken met de eisen die sindsdien zijn gesteld aan de nieuwbouw. Nieuwbouw voegt vanaf nu per definitie gasloze woningen toe aan de bovenkant van het spectrum omdat dat verplicht is.



Figuur 9: verdeling bestaande woningen naar categorie en periode (indeling Vestamodel) en verloop bestaande woningen ten opzichte van nieuwbouw

Tot 2050 zal de woningvoorraad zich uitbreiden met nieuwbouw en zal een deel van de bestaande voorraad worden gesloopt of onttrokken (zie Figuur 9). Dit wil niet zeggen dat de isolatiegraad vanzelf sterk verbetert. Het aandeel sloop is zeer beperkt. Voor huurwoningen ligt dat op 0,5% per jaar en bij koopwoningen 0,1% per jaar (EIB, mei 2018). Nieuwbouw is grotendeels nodig om de toename van het aantal huishoudens op te vangen.¹⁵ Ook in 2050 zal het merendeel van de vraag naar warmte bestaan uit warmte voor woningen die er nu al zijn. Qua aantal zijn ze in de meerderheid en de isolatiegraad ligt lager.

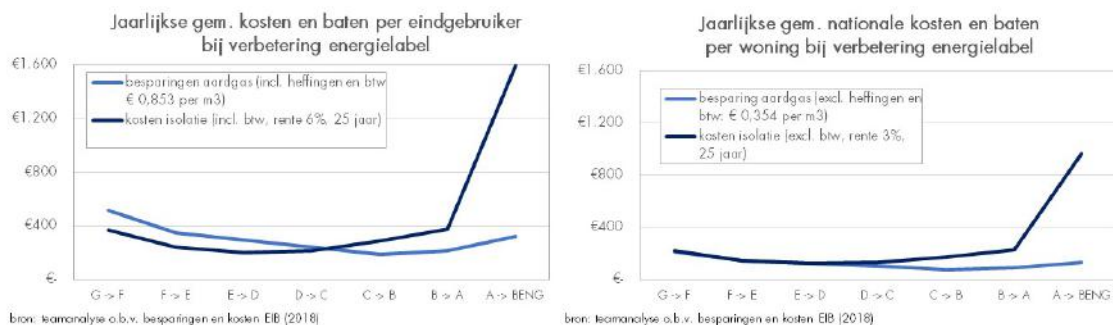
4.2 ISOLATIE TOT ENERGIELABEL C DOORGAANS KOSTENEFFECTIEF

Is isolatie rendabel en haalbaar? Isoleren zonder dat een beroep gedaan wordt op het adaptief vermogen kan alleen als isoleren direct voordeel oplevert voor de eigenaar. Daarvoor zou de besparing op de energierekening groter moeten zijn dan de jaarlijkse kosten van de benodigde investering in isolatie.

De eerste stap van een zeer energie-onzuinig gebouw naar een redelijk energiezuinig gebouw is financieel relatief gunstig voor een eigenaar-bewoner volgens onderzoek van het EIB (EIB, mei 2018), maar een verdere verbetering naar een hoge energiezuinigheid (hoger dan label C) is dat niet (zie Figuur 10, links). Een overgang naar nieuwbouwkwaliteit of een bijna energieneutraal

¹⁵ In prognoses wordt vaak uitgegaan van een gelijkblijvend aandeel sloop/onttrekking. Het is de vraag of dit reëel is. Een koopwoning zou bij 0,1% sloop, gemiddeld 1000 jaar meegaan. Dit betekent dat in de toekomst veel meer (ver)nieuwbouw nodig is om woningvoorraad op peil te houden. Deze vervanging zal het isolatieniveau en de energievraag verminderen.

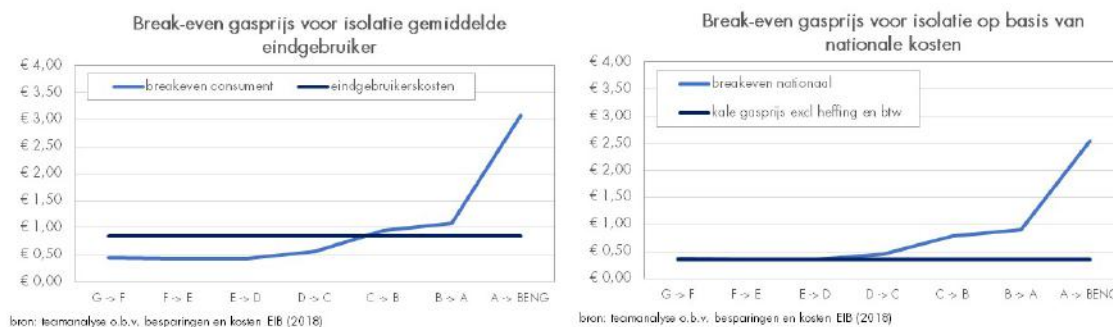
gebouw (BENG) is op dit moment onrendabel vanuit een financieel-economisch gezichtspunt. Dit maakt een overgang naar een vorm van LT-verwarming ongewenst vanuit het adaptief vermogen. Hiervoor is label A of B noodzakelijk. Dat deze investeringen zich vaak niet terugverdienen via lagere energiekosten bevestigen onderzoek van TNO (Tigchelaar, et al., 2019) en onderzoek van ING (ING economisch Bureau, oktober 2019).



Figuur 10: kosten en baten per overgang naar hoger energielabel

Het voordeel van de lagere energiekosten van bewoners is ook terug te vinden in de verkoopprijs van een woning. Een vergelijkbare woning met een hoger energielabel en lager energiegebruik heeft gemiddeld een hogere verkoopprijs dan een woning met een lager energielabel en hoger energiegebruik (Kadaster, november 2014), (Brounen, et al., 2011) (DNB, 2019).

Vanuit het gezichtspunt van nationale kosten is het rendement van isolatie iets ongunstiger (zie Figuur 10, rechts). Btw en energiebelastingen maken meer dan de helft van de gasprijs uit, maar zijn voor de samenleving een herverdeling van kosten. Er wordt niet echt bespaard.



Figuur 11: break-even gasprijs die nodig is om isolatie rendabel te maken; links voor eindgebruikers, rechts op basis van nationale kosten

Op termijn zullen de kosten van isolatiemaatregelen kunnen dalen en nemen de vermeden energiekosten van aardgas toe. Dat kan verdergaande isolatie wel rendabel maken. In 2030 is bij de verwachte nationale kosten van gas (45,6 ct. per m³) en CO₂-kosten (14,3 ct. per m³)¹⁶ isolatie tot label C maatschappelijk rendabel (zie Figuur 11). Als alle woningen naar label C zouden worden gebracht kost dat zo'n € 15 miljard (excl. btw) en besparen we per jaar 1,8 miljard m³ aardgas (zie Tabel 6). Isolatie van de bestaande woningvoorraad naar hogere energielabels

¹⁶ In 2030 is de efficiënte CO₂-prijs in het hoge WLO-scenario € 80 per ton CO₂ (CPB/PBL, maart 2016). Voor aardgas bedragen de CO₂-kosten dan € 0,14 per m³ (56,6 kg CO₂ per GJ aardgas x 0,001 GJ/MJ x 31,65 MJ/m³ x € 0,08 per kg = € 0,143 per m³).

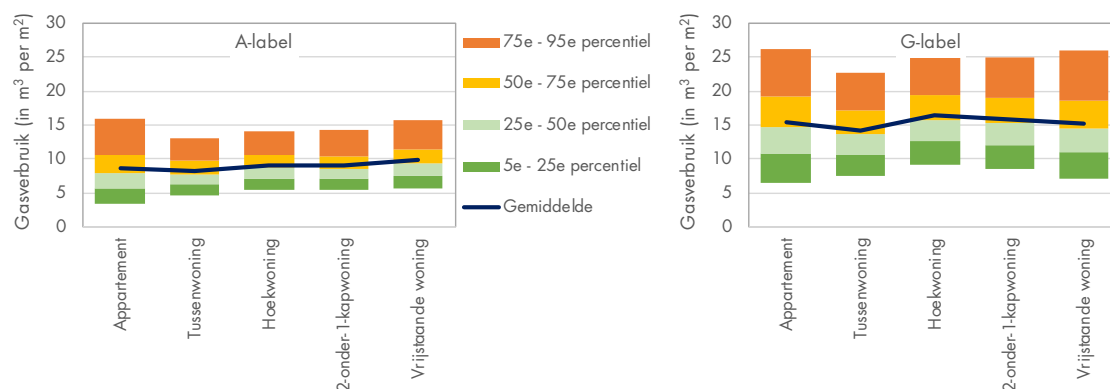
vraagt kostenreducties in de aanschaf van isolatiemaatregelen of een verdere stijging van de gas- en CO₂-prijs.

Tabel 6: nationale effecten bij omzetting woningvoorraad naar minimaal energielabel C (bron gemiddelde kosten en energiebesparing EIB 2018)

Huidig label	Aantal woningen (in mln.)	Investerings (excl. btw in mln.)	Jaarkosten in mln. ¹⁷	Energiebesparing in mln. m ³ per jaar	Energiebesparing in mln. € per jaar (45,6 ct./m ³)	CO ₂ -besparing in Mton per jaar
G	0,3	€ 4.264	€ 245	532	€ 243	1,0
F	0,4	€ 3.558	€ 204	439	€ 200	0,8
E	0,7	€ 3.823	€ 220	452	€ 206	0,9
D	1,3	€ 3.499	€ 201	361	€ 164	0,7
Totaal	2,7	€ 15.144	€ 870	1.783	€ 813	3,4

4.3 VARIATIE DOOR GROTE VERSCHILLEN IN HET GEBRUIK

Hiervoor hebben we het steeds over gemiddelden gehad. Woningen en huishoudens houden zich niet altijd aan het gemiddelde. Rondom het gemiddelde is een grote spreiding in het daadwerkelijke gasgebruik, ook als het verbruik wordt uitgedrukt in het verbruik per vierkante meter woning. Voor de meeste type woningen met een A-label heeft 90% van de woningen een gasverbruik dat ligt tussen 50% en 165% van het gemiddelde (zie Figuur 12). Bij de appartementen is de bandbreedte iets groter. Voor minder goed geïsoleerde woningen geldt in procenten een vergelijkbare bandbreedte maar is het absolute verschil groter doordat het gemiddelde gebruik hoger ligt. Het gasverbruik van een woning met G-label ligt in praktijk ongeveer 55% tot 80% hoger dan voor een A-label. Dit is minder dan de energielabelverdeling suggereert.



Figuur 12: spreiding in omvang aardgasgebruik per woning

Dit betekent dat de berekening van het energiegebruik van een gemiddelde woning lang niet alles zegt. Een deel van de bewoners van een A-label woning verbruikt per vierkante meter net zoveel aardgas als een zuinige bewoner met een G-label woning. Voor de zuinige gebruikers zal extra isolatie lang niet altijd lonen en voor de grootgebruikers juist wel.

¹⁷ Rente 3%, afschrijving 25 jaar.

In het resterende aardgasgebruik van ruim 8 miljard m³ (10 miljard m³ minus 1,8 miljard m³) kan echter nog niet worden voorzien met hernieuwbaar gas. De potentiële rendabele besparing op het aardgasgebruik is ongeveer gelijk aan het CO₂-reductiedoel voor 2030: 3,4 Mton. Het is echter niet verstandig aan te nemen dat alle huishoudens voor 2030 zullen isoleren tot energielabel C. De timing van een aanpassing moet ook een vrije keuze zijn in een laagdrempelige energietransitie. Het volgende hoofdstuk gaat in op de timing van aanpassingen.

Een natuurlijk moment om na te denken over aanpassing van de warmtevoorziening is het vervangingsmoment van de installaties. Die vervangingsmomenten slim benutten met een adaptieve aanpak, kan helpen de transitiedrempels te verlagen.

Verwarmingsinstallaties worden gemiddeld eens in de 15 jaar vervangen. Dat betekent dat tot 2050 gemiddeld per woning nog twee momenten komen waarop verduurzaming van de warmtevraag aansluit bij een logisch vervangingsmoment. Dit kunnen we gebruiken, bijvoorbeeld door bij het eerste vervangingsmoment nog geen definitieve keuze te maken als de juiste keuze nog onzeker is en die keuze bovendien onomkeerbare investeringen en (isolatie)aanpassingen met zich meebrengt.

5.1 **RISICO SUBOPTIMALE KEUZE BIJ VROEGTIJDIGE SYSTEEMVERANDERING**

De hoogste kosten voor de maatschappij en de eindgebruiker treden op bij een systeemverandering die verregaande isolatie en/of aanpassingen in huis vraagt. Een verandering van de energiedrager zou in een laagdrempelige energietransitie alleen moeten gebeuren als er zekerheid is dat dit een aantrekkelijke langetermijnoplossing betreft en er steun is voor de timing van het overstapmoment. In dat geval is er zo min mogelijk overlast en sprake van een *no-regret*-keuze. We spreken het adaptief vermogen dan zo min mogelijk aan.

- 1) Voor **nieuwbouwwoningen** is de situatie helder. Er is geen sprake van een systeemverandering maar een initiële keuze. Dit betekent dat voor nieuwbouw kan worden ingezet op LT-verwarming op individuele basis (warmtepomp), een collectieve warmtepomp bij blokverwarming, of een collectief LT-warmtesysteem. Dergelijke LT-warmtesystemen zijn er nu nog niet zo veel, maar de ervaringen vanuit diverse pilots en proefwijken nemen snel toe. Deze keuze doet geen beroep op het adaptief vermogen, met dien verstande dat aangenomen is dat in nieuwbouwwoningen in het ontwerp rekening gehouden is met de warmtevoorziening en eventuele geluidsproductie van de warmtepomp geen probleem is.
- 2) **Woningen aangesloten op een warmtenet** hoeven geen systeemverandering te ondergaan. Belangrijk is dat de warmtebron duurzaam en op de lange duur beschikbaar blijft. Onderzocht kan worden of aanpassing van de watertemperatuur haalbaar is zonder grote aanpassingen in de aangesloten woningen. Dit doet geen beroep op het adaptief vermogen. Op langere termijn als er mogelijkheden ontstaan voor goedkopere grootschalige isolatie bijvoorbeeld bij renovatie en gebiedsontwikkeling, is een lagere watertemperatuur te overwegen. Daardoor kan men uit meer warmtebronnen kiezen, het rendement vergroten en zo de energiekosten verlagen.
- 3) Voor de **meeste overige huishoudens** past het gebruik van hernieuwbaar gas het beste in een laagdrempelige energietransitie zonder hoge transitiedrempels (zie Figuur 13). Het

Naar Van	Aardgas	Warmte uit elektriciteit	LI-warmtenet	HT-warmtenet	Hernieuwbaar gas (groen gas of waterstof)	Hybride gas en elektriciteit
Bestaand aardgas (lage isolatiegraad)	Geen aanpassing	Warmtepomp, plus hoge isolatiegraad, LT- afgiftesysteem, verwijderen cv-ketel, gasleiding	Afleveret warmte, warmtenet met onderstations en hulpketel, booster-WP, verwijderen cv-ketel & gasleiding plus hoge isolatiegraad, LT- afgiftesysteem.	Afleveret warmte, warmtenet met onderstations en hulpketel, verwijderen cv- ketel & gasleiding	Gewone cv-ketel, (aanpassing meter, kleine aanpassing infrastructuur bij waterstof)	Combi cv-ketel en warmtepomp, (aanpassing gasmeter/infra bij waterstof)
Bestaand warmte uit elektriciteit (hoge isolatiegraad)	n.v.t.	Geen aanpassing	Afleveret warmte, booster- WP, warmtenet met onderstations en hulpketel, verwijderen warmtepomp	Afleveret warmte, warmtenet met onderstations en hulpketel, verwijderen warmtepomp	Niet waarschijnlijk	Extra cv-ketel en warmtepomp, nieuwe gasaansluiting, (aangepaste gasmeter/infra bij waterstof)
Bestaand LT-warmtenet (hoge isolatiegraad)	n.v.t.	Warmtepomp, verwijderen afleveret warmte	Geen aanpassing	Bijstelling afleveret	Niet waarschijnlijk	Combi cv-ketel en warmtepomp, verwijderen afleveret warmte, nieuwe gasaansluiting (aangepaste gasmeter/infra bij waterstof)
Bestaand HT-warmtenet (lage isolatiegraad)	n.v.t.	Warmtepomp, plus hoge isolatiegraad, LT- afgiftesysteem, verwijderen afleveret warmte	Hoge isolatiegraad, LT- afgiftesysteem, bijstelling afleveret, booster-WP	Geen aanpassing	Niet waarschijnlijk	Combi cv-ketel en warmtepomp, verwijderen afleveret warmte, nieuwe gasaansluiting (aangepaste gasmeter/infra bij waterstof)
Bestaand hernieuwbaar gas (lage isolatiegraad)	n.v.t.	Warmtepomp, plus hoge isolatiegraad, LT- afgiftesysteem, verwijderen cv-ketel, gasleiding	Afleveret warmte, booster- WP, warmtenet met onderstations en hulpketel, verwijderen ketel en gasleiding plus hoge isolatiegraad, LT- afgiftesysteem	Afleveret warmte, warmtenet met onderstations en hulpketel, verwijderen cv- ketel & gasleiding	Geen aanpassing	Combi cv-ketel en warmtepomp, (aangepaste gasmeter/infra bij waterstof)
Bestaand hybride gas en elektriciteit (lage isolatiegraad)	n.v.t.	Warmtepomp, plus hoge isolatiegraad, LT- afgiftesysteem, verwijderen cv-ketel, gasleiding	Afleveret warmte, booster- WP, warmtenet met onderstations en hulpketel, verwijderen warmtepomp, ketel en gasleiding plus hoge isolatiegraad, LT- afgiftesysteem.	Afleveret warmte, warmtenet met onderstations en hulpketel, verwijderen warmtepomp, ketel en gasleiding.	Cv-ketel, verwijderen warmtepomp, (aanpassing meter en kleine aanpassing infrastructuur bij waterstof).	Geen aanpassing
Nieuwbouw (hoge isolatiegraad); = geen aanpassing.	Cv-ketel, gasmeter, radiatoren, gasinfrastructuur.	Warmtepomp, LT- afgiftesysteem.	Afleveret warmte, LT- afgiftesysteem, warmtenet met onderstations en hulpketel	Afleveret warmte, radiatoren, warmtenet met onderstations en hulpketel.	Cv-ketel, gasmeter, radiatoren, gasinfrastructuur.	Combi cv-ketel en warmtepomp, gasinfrastructuur.

Figuur 13: aanpassingen bij overstap naar andere systeemoplossing (groen neutraal, geel -, oranje - -)

potentieel is echter vooralsnog onvoldoende om daarop over te stappen. Alternatieven voor gas hebben hoge transitiedrempels. Als de woning al geschikt is voor een LT-warmtesysteem, kan het voor een eindgebruiker zinvol zijn om elektrificering te kiezen, maar overstap op een warmtenet of van HT- verwarming naar LT-verwarming sluit niet aan bij de principes van een laagdrempelige energietransitie. Het lijkt verstandig in de meeste situaties een dergelijke systeemwijziging nog even uit te stellen tot het 2^e vervangingsmoment.

Wanneer men bij het eerstkomende vervangingsmoment toch kiest voor een systeemverandering, dat wil zeggen een overstap van gas naar een collectieve warmteoplossing of volledig elektrische verwarming dan zijn de voordelen beperkt en de kosten relatief hoog:

- Vaak is een grote investering nodig in isolatie om een LT-warmteoptie te gebruiken (voor energielabel C en lager), die zich maar ten dele terugverdient;
- Er zijn grote investeringen nodig in de nieuwe verwarmingsinstallaties en het warmteafgiftesysteem in de woning. De kosten liggen nu waarschijnlijk hoger dan bij een overstap op het tweede vervangingsmoment.
- Vaak zijn (soms ongewenste) aanpassingen nodig in de woning om de systemen te plaatsen.
- Op dit moment zijn er nog veel onzekerheden over de kosten en de beschikbaarheid van nieuwe technieken. Men loopt een significant financieel en overlastrisico, wanneer niet voldoende zeker is dat een keuze wordt gemaakt voor het beste langetermijnalternatief.
- De besparingen in CO₂ per geïnvesteerde euro zijn nu nog beperkt. Het kost tijd om bestaande warmtenetten te verduurzamen en elektriciteit volledig te vergroenen. Na 2030 moet dit sterk verbeterd zijn.
- Een suboptimale keuze met als gevolg opnieuw aanpassing bij een vervangingsmoment na 2030 is kostbaar. De eerder gemaakte aanpassingen moeten weer ongedaan worden gemaakt en er zijn opnieuw investeringen in de woning nodig (zie Figuur 13). Dit wil je voorkomen. Je kunt een euro immers maar een keer uitgeven. Dan is het belangrijk de juiste investeringen te doen. Dat wil zeggen gerichte pilots in nieuwe technieken en grootschalige uitrol van bewezen technieken.

5.2 REDUCTIE GASGEBRUIK DOOR HYBRIDE OPLOSSING

Als alles echter bij hetzelfde blijft voor de gasgestookte woningen kunnen de CO₂-doelen in 2030 waarschijnlijk niet worden gerealiseerd. We kunnen dit probleem echter ook relatief laagdrempelig oppakken.

- Door te stimuleren dat huishoudens met een grotere energievraag bij een volgend vervangingsmoment een hybride oplossing overwegen. Een combinatie van een kleinere warmtepomp en cv-ketel vraagt minder gas, niet per se aanvullende isolatie en een beperkte meerinvestering in de verwarmingsapparatuur. Voor grotere gebruikers vertaalt de meerinvestering zich in lagere energiekosten. Hoe hoger het gasverbruik nu, hoe groter de winst. (Rendabele) isolatie kan het voordeel nog vergroten. Voor kleine gebruikers van

gas is de besparing op de variabele energiekosten onvoldoende om de meerkosten van de investering te compenseren.¹⁸

- Door de uitbreiding van de volumes groen gas en waterstof te stimuleren en te zorgen dat het gebruikte gas steeds duurzamer wordt. Bij groen gas gaat het vooral om vergisting en vergassing van natte reststromen zodat geen conflict ontstaat met landgebruik voor natuur en voedselproductie. Voor groene waterstof gaat het om het verzekeren van voldoende groene stroom en het opbouwen van productiecapaciteit. Significante volumes worden niet voor 2030 verwacht.

(Tijdelijke) keuze voor een hybride oplossing past in een *no-regret*-ontwikkelpad. Bij een volgend vervangingsmoment kan men alsnog overgaan op *all electric*, een warmtenet of bij hernieuwbaar gas blijven. Na 2030 is er meer zicht op de haalbaarheid en het rendement van nieuwe technologieën. Uitstel van een systeemverandering levert voor een woningeigenaar weinig financieel risico op. Als de nieuwe installatie afgeschreven is, zijn de kosten van een overstap naar een andere energiedrager juist lager door innovatie en de schaalvergroting van inmiddels bewezen technieken.

De keuze voor een hybride oplossing levert ook bij het gebruik van aardgas in de cv-ketel toch al een besparing op de CO₂-uitstoot en het energiegebruik op. De bijdrage van de warmtepomp heeft immers een hoger energetisch rendement en een lagere CO₂-uitstoot. Omdat deze keuze nauwelijks aanpassingen of extra kosten met zich meebrengt ten opzichte van de huidige situatie, is het geen *lock-in*¹⁹, terwijl een overstap naar een warmtenet of LT-warmtesysteem wel feitelijk een *lock-in* betekent.

Combinatie van alle mogelijkheden die passen binnen een laagdrempelige energietransitie zou de klimaatdoelen kunnen realiseren zonder dat een (te) groot beroep gedaan wordt op het adaptief vermogen. Een dergelijke transitie kan relatief soepel verlopen doordat weinig aanpassingen nodig zijn en aanpassingen die wel gewenst zijn, voordeel opleveren. Dat realisatie van de klimaatdoelen haalbaar is, werken we uit in het volgende hoofdstuk.

¹⁸ Voor het omslagpunt tussen grotere en kleinere gebruikers zie paragraaf 6.1.

¹⁹ Een oplossingsrichting die moeilijk en duur is om terug te draaien, waardoor een keuze die in dit geval voor 15 jaar wordt gemaakt (de levensduur van installatie) een langetermijnkeuze wordt.

Het hanteren van principes voor een laagdrempelige energietransitie is goed om eventuele weerstand in de samenleving als gevolg van een geforceerde afstap van gas te beperken, maar moet wel realiseerbaar zijn en de klimaatdoelen bereikbaar maken. In dit hoofdstuk bepalen we daarom het ontwikkelpad passend bij deze aanpak, de verwachte kosten en effecten en het beleid dat nodig is om het ontwikkelpad uit te voeren.

Belangrijk punt is dat tot 2050 per huishouden nog tweemaal een aanpassing in de verwarmingsinstallatie wordt gedaan. Dit geeft de ruimte voor een tweefasenstrategie. Met een slimme (wijk)aanpak kan men risicovolle keuzes zo veel mogelijk voorkomen, liggen naar verwachting de maatschappelijke kosten lager en is de CO₂-reductie hoger dan nodig om het klimaatdoel voor 2030 in de gebouwde omgeving te halen.

6.1 FASE 1: NO-REGRET-KEUZES

In de eerste fase richten het beleid en de wijkaanpak zich op keuzes die al op korte termijn kosteneffectief zijn en weinig beroep doen op het adaptief vermogen. Daarnaast wordt in fase 1 de tweede fase voorbereid. Het ontwikkelpad houdt rekening met keuzevrijheid en kosteneffectiviteit om de transitiedrempels zo laag mogelijk te houden.

Principe van keuzevrijheid in wijkaanpak

Waarom? Onvrijwillige overstap per wijk naar een andere warmteoplossing veroorzaakt weerstand en leidt niet tot een optimale oplossing voor alle huishoudens, zeker als de overstap tegelijkertijd isolatie, aanpassing van de infrastructuur en een verandering van de warmte-installatie in huis vereist. Zowel het overstapmoment als de oplossing zullen dan voor veel partijen niet optimaal zijn.

Oplossingen die wel een koppeling van isolatie, infrastructuur en warmte-installatie vragen, passen alleen binnen een laagdrempelige energietransitie als de keuzes logischerwijs al tegelijk plaatsvinden of de woningen dezelfde optimale oplossing hebben en een klein aantal beslissers betrokken is:

- Bij nieuwbouw is de isolatie al op het niveau van label A of hoger. Gas is uitgesloten en de aanleg van een warmtenet of een passend elektriciteitsnetwerk gebeurt in samenhang met de verwarmingsoptie.
- De aanleg van een nieuw warmtenet of verwarmingsalternatief in een homogene wijk met veel woningen van een corporatie of enkele vastgoedeigenaren vraagt overleg met een beperkt aantal partijen. Vaak is al sprake van een ideaal overstapmoment, nl. bij gepland groot onderhoud of renovatie.

Overige keuzes die passen in een laagdrempelige energietransitie vragen geen tot nauwelijks coördinatie van isolatie, infrastructuur en warmte-installatie.

- Het verduurzamen van bestaande warmtenetten zonder de watertemperatuur aan te passen, vraagt enkel afstemming met de warmteleverancier.
- Vrijwillige keuze voor een warmtepomp voor goed geïsoleerde woningen, voor een hybride oplossing en voor isolatie die zichzelf terugverdient, vraagt geen coördinatie binnen de wijk of een aanpassing van de infrastructuur.

Onderscheid in een wijkaanpak voor homogene en voor heterogene wijken

Waarom? Voor homogene wijken qua eigendom, isolatieniveau en woningtype is het mogelijk om een oplossing te kiezen die optimaal is voor het merendeel van de woningen. Eventuele compensatie voor woonkostenneutraliteit is dan beperkt. In heterogene wijken zal de oplossing en het vervangingsmoment nooit voor iedereen goed passen. Een warmtenet is zo een kansrijke oplossing voor wijken met een groot deel gelijksoortige corporatiewoningen (bijvoorbeeld jaren 50 en 60 wijken met veel meergezinswoningen), maar sluit niet goed aan bij het adaptief vermogen in een ruim opgezette wijk met veel koopwoningen verdeeld over vooroorlogse vrijstaande villa's, nieuwbouwappartementen en blokken jaren 80 woningen met een tuintje. Voor een dergelijke wijk liggen verschillende individuele oplossingen meer voor de hand: elektrische verwarming voor de nieuwbouw en hybride oplossingen of 100% hernieuwbaar gas voor de overige woningen. Alleen dan sluit de verwarmingsoplossing goed aan bij de woning en kan de eigenaar autonoom keuzes maken. Mogelijk voordeel van een heterogene oplossing is dat geen of beperktere verzwarende van het elektriciteitsnet nodig is.

Focus in fase 1 op kosteneffectieve oplossingen die weinig risico kennen: de *no-regret*-keuzes

Waarom? Er is nog voldoende tijd tot 2050, mits de CO₂-reductie in 2030 voldoende is. En het is belangrijk om successen te kunnen laten zien. Keuzes die achteraf ongelukkig uitpakken, zorgen ervoor dat de verdere uitrol van de energietransitie vastloopt.

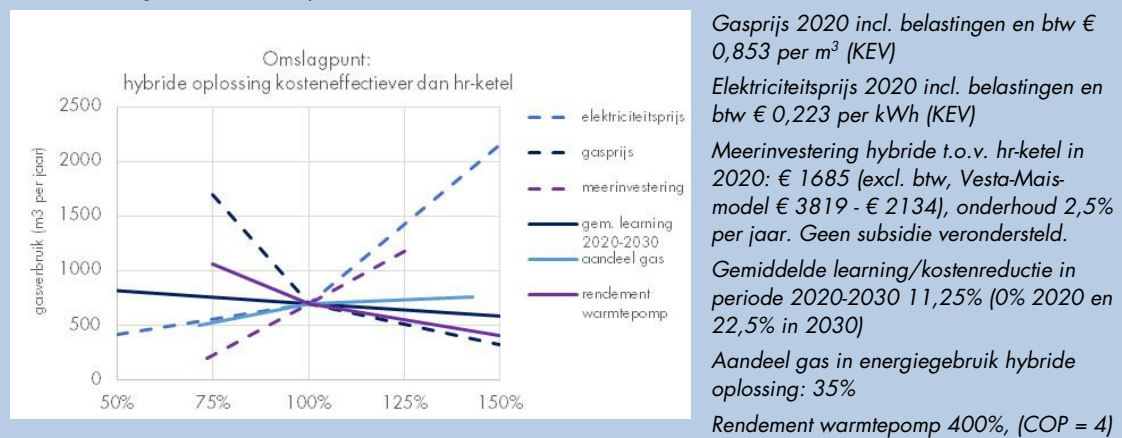
Kosteneffectieve keuzes met weinig risico zijn:

- Het verduurzamen van bestaande warmtenetten op locaties waar beschikbare warmtebronnen ook op de lange termijn de meest logische warmtebron zijn (restwarmte, biomassa). Wellicht dat op afzienbare termijn bij goede ervaringen met de proefprojecten ook nieuwe bronnen zoals geothermie of aquathermie voor deze verduurzaming mogelijk zijn.
- Het kiezen voor elektrische verwarming bij nieuwbouw. Wanneer meer ervaring ontstaat met LT-warmtenetten, komen warmtenetten in beeld bij dichtere bebouwing, maar voorlopig is het verstandig de resultaten van pilots af te wachten.
- Het overstappen van 100% gas naar het gebruik van hybride oplossingen voor grotere gebruikers. Dit bespaart op het gasgebruik en vraagt geen aanpassingen of hoge investeringen. Hybride oplossingen zijn voor de meeste koopwoningen en veel huurwoningen in fase 1 het meest aantrekkelijk. Vanaf een gasverbruik van 500 tot 1000 m³ wegen de hogere vaste kosten op tegen de besparingen op het energieverbruik (zie Kader 4). Dit betekent dat voor de meeste woningen een hybride oplossing kosten bespaart. Voor corporaties en woningen die nu al collectief verwarmd worden, kan een warmtenet voordeliger zijn en voor kleine gebruikers een cv-ketel. Bij de volgende

vervanging laat een hybride oplossing nog alle opties open. Er is geen sprake van *lock-in*. De alternatieve opties zijn in de tussentijd waarschijnlijk goedkoper geworden en men heeft kunnen experimenteren met de verhouding tussen inzet van de warmtepomp en de ketel. Hierdoor is duidelijk of en onder welke voorwaarden overstap naar 100% elektrisch aantrekkelijk is.

Kader 4: omslagpunt waarop hybride oplossing kosteneffectiever is dan enkel een hr-ketel

Een hybride oplossing vraagt een grotere investering dan een reguliere ketel. De variabele energiekosten liggen echter lager, doordat een warmtepomp zeer efficiënt een deel van de energievraag levert. Het omslagpunt voor eindgebruikers waarop een hybride oplossing voordeliger is dan een reguliere ketel ligt voor veel situaties tussen de 500 en 1000 m³ aardgasgebruik. Het omslagpunt hangt echter sterk af van de (ontwikkeling van de) prijzen van elektriciteit en gas, de energiebelastingen, de rente, de reducties in investeringskosten en het rendement van de warmtepomp en het aandeel gas in het energieverbruik van de hybride oplossing. De gebruikte aannames in de baseline berekening en de gevoeligheid ten opzichte van deze 100%-waarden staan hieronder. De gevoeligheid voor rente is niet afgebeeld, maar beperkt.



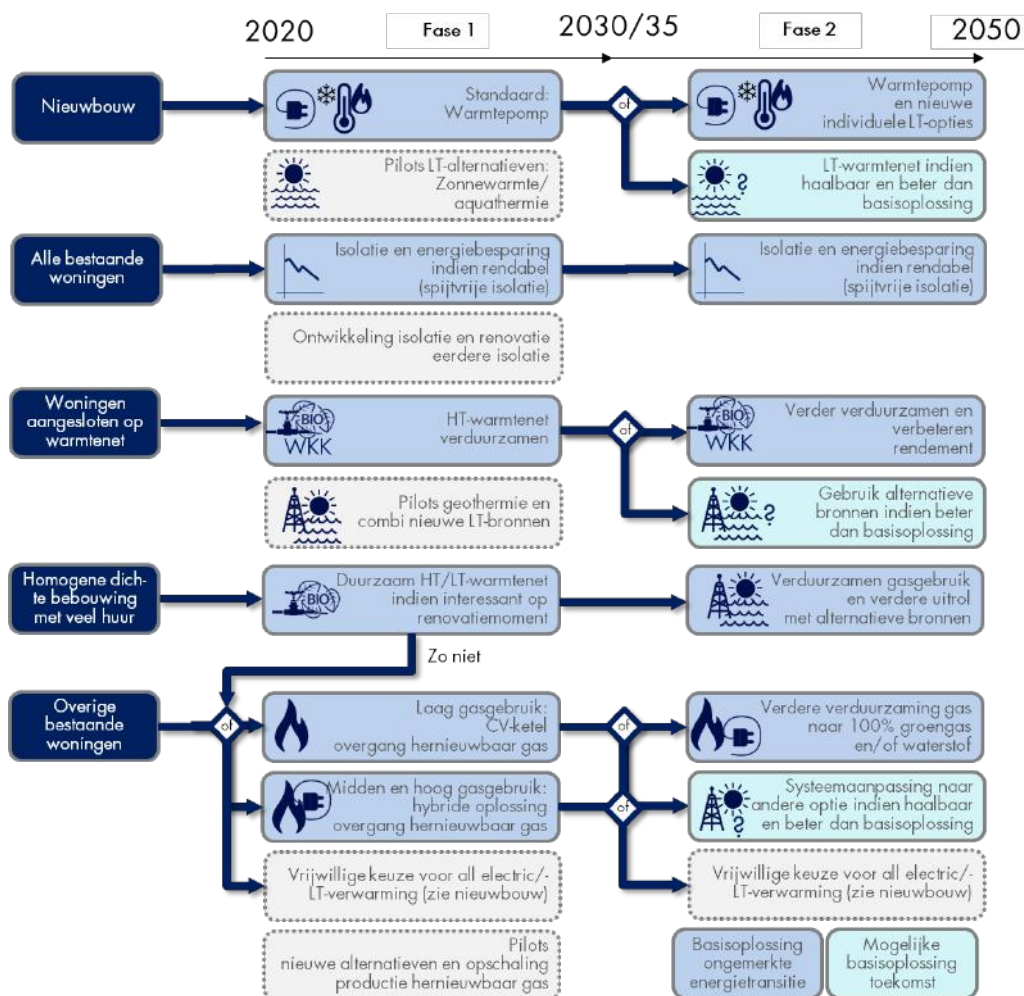
- Individuele huishoudens die een bestaande woning met energielabel A hebben en duurzaamheid belangrijk vinden, kunnen op eigen initiatief veilig overstappen op een warmtepomp. Energielabel A is voldoende voor het gebruik met een warmtepomp en als het om enkele woningen per wijk gaat, is verzwarend van het net niet nodig. Deze huishoudens kunnen als *early adopters* een voorbeeldfunctie vervullen. Een warmtepomp is vooral gunstig bij een hoog energiegebruik. Besparingen op de variabele kosten compenseren dan de hogere vaste kosten. Een hoog energiegebruik verwacht je echter niet direct bij goede isolatie.
- Aanleg van nieuwe warmtenetten kan aantrekkelijk zijn voor homogene wijken met veel corporatiewoningen en utiliteit, waar restwarmte of andere geschikte duurzame warmtebronnen beschikbaar zijn. Nieuwe netten moeten waarschijnlijk direct duurzame warmte leveren. Uitbreiding kan aantrekkelijk zijn als er al een warmtenet ligt en tegen relatief lage kosten extra aansluitingen gemaakt kunnen worden. Voor corporaties liggen de kosten van een warmtenet volgens PBL (PBL, april 2019) gunstiger dan de kosten van bijvoorbeeld warmtepompen. Afhankelijk van de kostenreducties en het gasgebruik kan een hybride warmtepomp voor corporaties concurreren met een warmtenet. Voor koopwoningen is een warmtenet gemiddeld ongunstiger.

Vorbereiding van de definitieve opties voor fase 2

Waarom? Bij het tweede vervangingsmoment moeten voor alle woningen en wijken betaalbare en betrouwbare CO₂-neutrale oplossingen beschikbaar zijn. Zo niet dan zijn er alsnog geforceerde dure keuzes nodig in fase 2 bij woningen die niet goed geïsoleerd kunnen worden en waar geen andere HT-verwarmingsoptie dan gas beschikbaar is. Vorbereiding is nodig op de volgende gebieden:

- Er is behoefte aan goedkopere mogelijkheden voor isolatie en verbetering van bestaande isolatie (bijv. spouwmuurisolatie vervangen).
- Meer ervaring met LT-warmtebronnen is nodig als alternatief voor goed geïsoleerde woningen en om het rendement van HT-warmtenetten te verbeteren.
- De kosten en risico's van andere HT-warmtebronnen zoals (diepe) geothermie moeten worden verminderd.
- De beschikbaarheid van hernieuwbaar gas moet worden uitgebreid door de productie van groen gas en groene waterstof te stimuleren.

Dit resulteert in het ontwikkelpad voor de laagdrempelige energietransitie (Figuur 14).



Figuur 14: ontwikkelpad laagdrempelige energietransitie

6.2 FASE 2: DEFINITIEVE KEUZES

Voor woningen die in fase 2 nog gas gebruiken (cv-ketel of hybride oplossing), kan een verdere aanpassing nodig zijn in geval het aanbod hernieuwbaar gas tekortschiet. Er is echter een goede kans dat de hoeveelheid hernieuwbaar gas toereikend is, zo blijkt hieronder. In dat geval kan de transitie zo goed als vanzelf plaatsvinden.

- Volgens de aannames in de Startanalyse is er voor de gebouwde omgeving op termijn 2,0 miljard m³ groen gas beschikbaar. De Green Liaisons studie (De Gemeynst, april 2018) voorziet echter in totaal de beschikbaarheid van 13,2 miljard m³ groen gas in 2050 (419 PJ). Hoeveel hiervan voor woningen beschikbaar komt, is onzeker.
- Uitgaande van autonome isolatie naar minimaal label C (spijtvrije isolatie), kan 18% worden bespaard op het gebruik van hernieuwbaar gas. Verbetering van het rendement van de warmtepomp en het rendement van de ketel door technische ontwikkeling verminderen het gasgebruik verder.
- Tussen 2030 en 2050 verwachten de Nederlandse industrie en kennisinstellingen dat er betaalbare waterstof in Nederland kan worden geproduceerd en geïmporteerd (Kalavasta, juni 2019) (TKI Nieuw Gas, maart 2018). De gemiddelde kostprijs tussen 2030 en 2050 ligt op basis van een inventarisatie van verschillende studies (H2GO, december 2019) rond de 2 €/kg, met een gemiddelde bandbreedte van ca. € 1,5 tot 2,5 per kg.²⁰ Het kostenverschil tussen groene waterstof en aardgas is op termijn te overbruggen door de energiebelasting afhankelijk te maken van de CO₂-uitstoot.²¹ Voor de eindgebruiker is een eenzelfde hoeveelheid energie in de vorm van waterstof dan even duur als in de vorm van aardgas.

En wat als er uiteindelijk toch onvoldoende hernieuwbaar gas beschikbaar is? Loopt de twee-fasenstrategie dan vast? Nee, er zijn dan nog steeds oplossingen beschikbaar, de bestaande alternatieven en waarschijnlijk nieuwe nu nog onbekende alternatieven. En dan veroorzaken de bestaande alternatieven lagere transitiedrempels dan nu:

- Aanvullende isolatie zodat een warmtepomp of LT-warmtenet mogelijk is. Deze overstap gaat niet zonder transitiedrempels, maar in fase 2 zal de overstap voordeliger zijn dan in fase 1 en minder risico's kennen. Tegen die tijd zal duidelijk zijn welk isolatieniveau minimaal vereist is voor gebruik van LT-verwarming: B+ of hoger. Verschiede nieuwe LT-technieken zullen volwassen zijn.
- Een overstap naar een HT-warmtenet op geothermie of een andere warmtebron. Ook deze overstap gaat niet vanzelf, maar in fase 2 liggen de kosten lager dan in fase 1 en zijn er minder risico's.

²⁰ O.a. € 2,24 - € 2,92 in 2030 (CE Delft, juni 2018), € 2,17 - € 3,01 in 2040 (TNO & DNV GL, november 2018) en € 1,30 in 2050 (DNV GL, 2019) voor kostprijzen waterstof uit elektrolyse.

²¹ Geschatte meerkosten groene waterstof op basis van eigen (conservatievere) inschatting waterstofprijzen (in 2030 € 3,77 en in 2050 € 2,60 zie bijlage) dalen van 54 ct. (2030) naar 23 ct. (2050) per m³ aardgas (aardgas à € 45,6 ct. per m³) bij dezelfde energie-inhoud. De waarde van de vermeden CO₂ per m³ aardgas bedraagt in 2050 € 0,29 per m³ aardgas. De huidige energiebelasting op aardgas bedraagt ongeveer 35 ct. per m³.

6.3 EFFECTEN VAN DE LAAGDREMPELIGE ENERGIETRANSITIE

Het ontwikkelpad van de laagdrempelige energietransitie is alleen acceptabel als het tussendoel uit het Klimaatakkoord voor 2030 wordt gerealiseerd. Dat betekent dat de strategie in 2030 minimaal 3,4 Mton CO₂-uitstoot moet besparen bovenop de besparing door vervangende nieuwbouw. Gasloze nieuwbouw is al onderdeel van de referentie. Aangenomen is dat het energiegebruik van nieuwbouwwoningen volledig CO₂-neutraal is.²²

Deze besparing is naar verwachting te realiseren met een combinatie van warmtenetten, rendabele isolatie en hybride oplossingen (zie Tabel 7). In deze paragraaf laten we zien hoeveel gasgestookte woningen in de tweefasenstrategie minimaal moeten overgaan van een reguliere cv-ketel naar een hybride oplossing om dit tussendoel te bereiken. Daarnaast bepalen we de CO₂-reductie voor een potentieel scenario met een hoger aandeel hybride oplossingen.

Tabel 7: aannames en effect laagdrempelige energietransitie, verdeling verwarmingsopties

X 1000 woningen (afgerond op 100.000-den)	2020	Mutatie	2030	Mutatie	2050
Totaal aantal woningen (autonoom)	7800	400	8200	600	8800
Te slopen/ onttrekken woningen		200		400	
Uitbreiding met nieuwe woningen		700		1000	
Verdeling verwarmingsopties: A) minimum scenario om 2030-doel te realiseren	7800	400	8200	600	8800
Nieuwbouw elektrisch - warmtepomp	0	700	700	1000	1700
Woningen aangesloten op stadsverwarming	400	0	400	0	400
Woningen aangesloten op nieuw warmtenet	0	200	200	400	600
Woningen met cv-ketel op gas	7400	-1.600	5.800	-800	5.000
Woningen met hybride oplossing (koop)	0	1100	1100	0	1100
Verdeling verwarmingsopties: B) scenario met hoog aandeel hybride oplossing	7800	400	8200	600	8800
Nieuwbouw elektrisch - warmtepomp	0	700	700	1000	1700
Woningen aangesloten op stadsverwarming	400	0	400	0	400
Woningen aangesloten op nieuw warmtenet	0	200	200	400	600
Woningen met cv-ketel op gas	7400	-4200	3200	-2300	900
Woningen met hybride oplossing	0	3700	3700	1500	5200

Warmtenetten

Zo'n 5% van de woningen heeft een aansluiting op de stadsverwarming. Het aandeel warmtenetten zal stijgen. De uitbreiding van de warmtenetten schatten we iets lager in dan in het streefbeeld van het ontwerp klimaatakkoord PBL (PBL, april 2019). Tot 2030 nemen we de uitbreiding met 0,2 miljoen huurwoningen hiervan over en niet het veronderstelde aantal koopwoningen. Dit is omdat voor koopwoningen een warmtenet een hogere onrendabele top heeft dan de alternatieven volgens de analyse van PBL en een overstap minder goed scoort qua beroep op het adaptief vermogen. Deze aanname betekent dat met warmtenetten voor koopwoningen – in lijn met het Klimaatakkoord – een extra potentieel voor CO₂-reductie mogelijk is. Het maximumaantal aansluitingen in 2050

²² Dit is in 2030 nog niet volledig het geval. Een deel van de elektriciteit zal nog met fossiele brandstoffen worden opgewekt. De uitstoot hiervan wordt in de nationale CO₂-boekhouding aan de sectortafel elektriciteit toegerekend in plaats van de gebouwde omgeving.

hebben we gezet op 1 miljoen woningen. Dit is een derde van het aantal woningen in (zeer) sterk stedelijke gemeenten. Buiten de stedelijke gebieden zijn de netwerkkosten van een warmtenet vaak te hoog om de oplossing financieel aantrekkelijk te maken. Ongeveer 30% van alle woningen is in handen van corporaties. Voor deze woningen is een warmtenet een aantrekkelijk alternatief. Het te realiseren aantal aansluitingen is echter onzeker en afhankelijk van vele factoren.

Voor het berekenen van het (indirecte) gasgebruik dat past bij de woningaantallen en verwarmingsopties nemen we aan dat in 2030 50% CO₂-reductie kan worden gerealiseerd bij de bestaande warmtenetten door verduurzaming van de warmtebron en nieuwe warmtenetten direct duurzaam zijn met uitzondering van het gasverbruik voor piekmomenten en back-up.²³ Geleidelijke verbetering van de woningen naar energielabel C zorgt voor aanvullende reductie van het fossiele aardgasgebruik. We nemen in onze berekening aan dat een derde van alle woningen met nu nog een energielabel D of lager in 2030 minimaal een energielabel C heeft. Isolatie tot energielabel C is nu al rendabel.

Tabel 8: fossiel gasverbruik en CO₂-uitstoot per scenario

(Indirect) gasgebruik (mld. m ³ aardgasequivalenten)	2020	2030	2050
A) minimum scenario om 2030-doel te realiseren	9,9	8,1	7,0
Nieuwbouw elektrisch - warmtepomp	-	-	-
Woningen aangesloten op stadsverwarming	0,5	0,3	0,1
Woningen aangesloten op nieuw warmtenet	-	0,1	0,2
Woningen met cv-ketel op gas	9,4	7,2	6,2
Woningen met hybride oplossing (koop)	-	0,6	0,6
Effect geleidelijke isolatie tot minimaal label C ²⁴	-	-0,5	-1,3
Potentiële vraag naar hernieuwbaar gas	9,9	7,7	5,7
B) scenario met hoog aandeel hybride oplossing	9,9	6,1	3,7
Nieuwbouw elektrisch – warmtepomp	-	-	-
Woningen aangesloten op stadsverwarming	0,5	0,3	0,1
Woningen aangesloten op nieuw warmtenet	-	0,1	0,2
Woningen met cv-ketel op gas	9,4	4,1	1,2
Woningen met hybride oplossing	-	1,6	2,3
Effect geleidelijke isolatie tot minimaal label C ²⁴	0,0	-0,4	-0,7
Potentiële vraag naar hernieuwbaar gas	9,9	5,7	3,1
CO₂-uitstoot bij gebruik aardgas i.p.v. hernieuwbaar gas (Mton CO₂)	2020	2030	2050
A) minimum scenario om 2030-doel te realiseren	17,7	13,7	10,3
Reductie t.o.v. 2020 door (vervangende) nieuwbouw (CO ₂ -neutraal)		-0,6	-1,1
Reductie t.o.v. 2020 excl. nieuwbouw		-3,4	-6,4
B) scenario met hoog aandeel hybride oplossing	17,7	10,3	5,5
Reductie t.o.v. 2020 door (vervangende) nieuwbouw (CO ₂ -neutraal)		-0,6	-1,1
Reductie t.o.v. 2020 excl. nieuwbouw		-6,8	-11,2

²³ Het gasgebruik dat nodig is voor hulpketels en back-up bedraagt ongeveer 20% van energiebehoefte.

²⁴ Aanname: 33% van potentie in 2030, 67% in 2040 en 100% in 2050.

Hybride oplossing

Bestaande woningen waarvoor een warmtenet niet de meest voor de hand liggende oplossing is, zijn in fase 1 vanuit het perspectief van het adaptief vermogen het meest gebaat bij het gebruik van gas. Kiezen voor een hybride oplossing bespaart flink op het aardgasgebruik en de bijbehorende CO₂-uitstoot (aanneمة gemiddeld 65% reductie²⁵). Isolatie van de woning tot energielabel C past ook in de strategie.

Het omslagpunt waarop een hybride oplossing interessanter is dan een gewone cv-ketel ligt bij de huidige gasprijs (incl. belastingen, btw) tussen de 500 en 1000 m³. Het gemiddelde gasverbruik per huishouden ligt tussen de 1250 en 1300 m³ en voor koopwoningen tussen de 1450 en 1500 m³. Voor veel huishoudens die hun gasketel willen vervangen, is het daarom financieel aantrekkelijk om een hybride oplossing te kiezen. De beschikbare subsidie en de stijgende gasprijzen maken deze keuze nog aantrekkelijker.

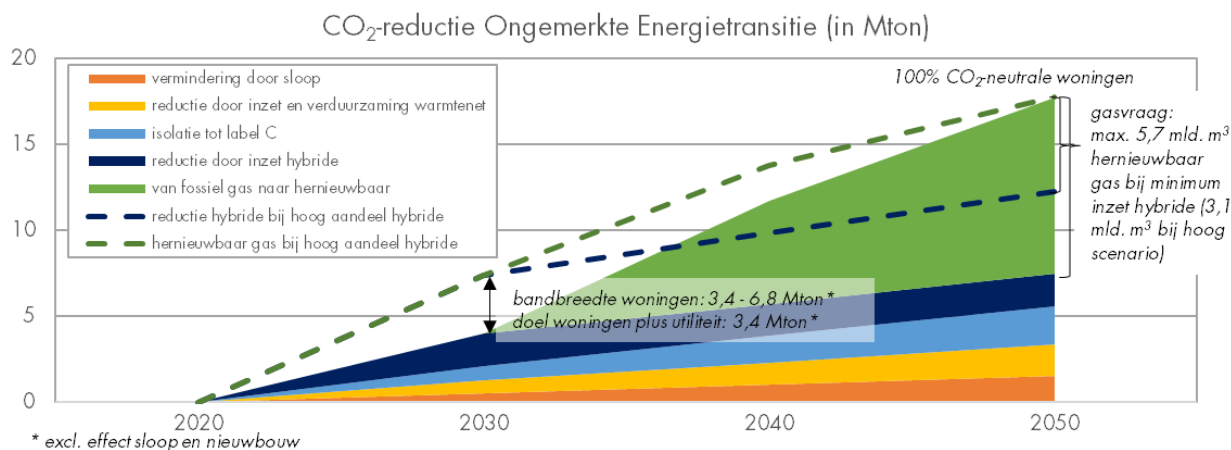
Voor corporaties/verhuurders liggen de besparingen lager omdat deze niet volledig via een hogere huur kunnen worden terugverdiend. Voor het bepalen van het minimum scenario om het klimaatdoel te halen, kijken we daarom naar de koopwoningen (≈ 60% woningen is koopwoning). Ook laten we het effect bij een hoger aandeel hybride oplossingen zien, nl. bij overstap van 75% van *alle* woningen (koop en huur) (zie Tabel 7 en Tabel 8).

Uit de analyse volgt dat minimaal 24% van de nu gasgestookte koopwoningen zou moeten kiezen voor een hybride oplossing om in 2030 een totale CO₂-reductie van 3,4 Mton te halen. We verwachten dat dit haalbaar is. Het is zelfs mogelijk meer op de CO₂-uitstoot te besparen.

Gemiddeld twee op de drie woningen krijgen de komende 10 jaar met een vervangingsvraag te maken. Dit betekent dat ongeveer een op de drie koopwoningen dan voor een hybride warmtepomp moet kiezen. Dit is een laag percentage in vergelijking met het omslagpunt waarop een hybride oplossing voor de eigenaar kosteneffectief is.

De CO₂-reductie kan nog hoger uitvallen. Stel dat 75% van alle huishoudens overstapt, dan levert dat een totale besparing van 6,8 Mton in 2030 op. Huishoudens die kiezen voor hybride hebben waarschijnlijk een hoger gasgebruik dan gemiddeld. Dit vergroot de CO₂-reductie. En indien een deel van het gas bestaat uit hernieuwbaar gas, dan neemt de besparing verder toe.

²⁵ Inschattingen diverse bronnen variëren tussen 50% en 75%. Aandeel is afhankelijk van isolatieniveau woning en verhouding tussen energiegebruik voor ruimteverwarming en warm water.



Figuur 15: indicatief verloop CO₂-reductie laagdrempelige energietransitie; na 2030 wordt aardgas geleidelijk vervangen door hernieuwbaar gas

De beschikbare volumes groen gas en waterstof kunnen de resterende gasvraag nu nog niet voorzien. In 2050 is echter de vraag naar verwachting sterk gedaald door de inzet van hybride oplossingen, warmtenetten, bestaande en nieuwe technieken, spijtvrije isolatie en vervanging van woningen door nieuwbouw. In de getoonde scenario's is voor de woningen in de gebouwde omgeving 3,1 tot 5,7 miljard m³ hernieuwbaar gas nodig (zie Tabel 8 en Figuur 15). Als de hoeveelheid groen gas voor de gebouwde omgeving dan niet uitstijgt boven de 2 miljard m³ die nu wordt ingeschat, is er nog een tekort van 1,1 tot 3,7 miljard m³ aardgas, ofwel zo'n 35 tot 115 PJ.

Om deze energievraag via waterstof in te vullen, is 4 tot 12 GW wind op zee nodig. Dit zou ook zonder import kunnen passen binnen het maximum potentieel van 40 tot 80 GW (PBL, oktober 2017).

Kosten laagdrempelige energietransitie ten opzichte van streefbeeld

In het streefbeeld uit het ontwerpklimateakkoord (PBL, april 2019) voorziet men een verdeling van 50% warmtenet, 25% hybride en 25% *all electric* bij het 'van gas los' halen van 1,5 miljoen woningen. De maatschappelijke kosten van de laagdrempelige energietransitie ten opzichte van dit streefbeeld zijn gunstig:

- Voor nieuwbouw verschilt het beleid niet en zijn de kosten gelijk.
- De verduurzaming van de huidige warmtenetten is onderdeel van het streefbeeld en maakt geen verschil.
- Er worden minder warmtenetten uitgerold, met name voor ruimer opgezette wijken met koopwoningen in stedelijke gebieden. Dit heeft waarschijnlijk een gunstig effect op de kosten omdat de alternatieven een kleinere onrendabele top hebben dan een warmtenet.
- Gemiddeld zijn er meer woningen waarbij het verwarmingssysteem voor 2030 wordt aangepast dan in het streefbeeld. Het break-even punt (in nationale kosten) op basis van de gemiddelde investeringskosten 2020-2030 en verwachte gas- en elektriciteitsprijzen in 2030 ligt bij een gasverbruik tussen de 700 en 1100 m³ gas. Een overstap is dus voor de meeste woningen maatschappelijk rendabel. Voor eindgebruikers ligt het omslagpunt door

btw en energiebelastingen lager, ook zonder ISDE-subsidie. Er lijkt weinig financiële stimulans nodig te zijn om eigenaren over de streep te halen.

- Voor de aanleg van warmtepompen in bestaande woningen en warmtenetten zijn wel subsidies nodig om de onrendabele top te compenseren. Voor een warmtepomp is goede maar dure isolatie noodzakelijk. De kosten hiervoor vervallen in de laagdrempelige energietransitie.
- Investerings in het elektriciteitsnet nodig bij *all electric* oplossingen worden beperkt. Deze investeringen zijn in de vergelijking nog niet zijn meegenomen.

De laagdrempelige energietransitie biedt in principe een betaalbare, duurzame en betrouwbare energievoorziening zonder geforceerde keuzes voor iedereen, onafhankelijk van isolatiegraad van de woning, de regio en de woonomgeving (stad of platteland). Deze strategie veroorzaakt geen groeiende ongelijkheid en kent vooral voordelen (zie Tabel 9).

Tabel 9: samenvatting resultaten laagdrempelige energietransitie**Verschillen laagdrempelige energietransitie ten opzichte van streefbeeld klimaatakkoord**

- Meer autonomie en keuzevrijheid burger.
- Minder overlast en ingrepen in de woning nodig.
- Lagere kosten energietransitie.
- Snellere afname aardgasvraag.
- Minder CO₂-uitstoot.
- Minder verschillen en minder ongelijkheid tussen burgers qua energievoorziening.
- Klimaatdoel 2030 is eenvoudiger haalbaar.

6.4 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN VOOR DE LAAGDREMPELIGE ENERGIETRANSITIE

Om een laagdrempelige energietransitie voor de samenleving mogelijk te maken, is ondersteuning door de overheid noodzakelijk. Geadviseerd wordt dat het Rijk de principes van de laagdrempelige energietransitie uitdraagt en implementeert en dat de wijkaanpak wordt aangepast (zie Tabel 10). Daarnaast wordt aanbevolen de opties voor fase 2 uit te breiden en te faciliteren, o.a. door de productie van hernieuwbaar gas te stimuleren.

Pilots om onzekerheden en risico's weg te nemen

In fase 1 zijn onderzoek naar en pilots met nieuwe technieken nodig om ervaring op te doen en de risico's te verkleinen. Regelmatige evaluatie van de beschikbare alternatieven voor aardgas en voor besparingsmogelijkheden is gewenst. Geadviseerd wordt pilots met nieuwe veelbelovende technieken te (blijven) faciliteren en de kosten van deze pilots te socialiseren.

Opschaling productie hernieuwbaar gas en groene stroom

Op landelijke schaal is het belangrijk dat er zoveel mogelijk hernieuwbaar gas beschikbaar komt. Voor de periode tot 2030 is dit niet cruciaal en zijn de kosten van het aanbod nog hoog, maar na 2030 kan steeds minder gebruik worden gemaakt van aardgas en moet er meer hernieuwbaar gas (groen gas en waterstof) komen. Voorbereiding van deze nationale opschaling van de groengas- en waterstofproductie is dan ook gewenst. Daarvoor moet het aanbod van groene stroom snel(ler) worden uitgebreid.

Landelijke coördinatie

De aardgascampagne werd destijds uitgerold door een organisatie die daarmee was belast. Ook de levering van waterstof heeft een dergelijke organisatie en principes nodig. Nu zijn provincies, gemeenten en industriële clusters de trekkers, maar er is nog niet gezorgd voor een organisatie die alles bij elkaar brengt en er een landelijk dekkend systeem van kan maken. Dit zou wel verstandig zijn. Het is goed als het Rijk de regie voert – net als in de jaren 60 - op een transitie- en bouwplan.

Stimuleren vrijwillige toepassing maatschappelijk rendabele isolatie en hybride oplossingen

Voor de huishoudens met een hoog aardgasgebruik levert een hybride oplossing met cv-ketel al snel een maatschappelijk en individueel voordeel op zelfs wanneer er nog geen hernieuwbaar gas door het gasnet stroomt. Isolatiemaatregelen zijn eerder rendabel voor gebruikers met een relatief hoge warmtevraag. Aanbevolen wordt de informatievoorziening hierop aan te passen: slim CO₂-

uitstoot verminderen in plaats van geforceerd van (aard)gas los. Afsluiting van het aardgasnet is de komende jaren dan in veel wijken niet aan de orde.

Geleidelijke overstap hernieuwbaar gas

In de markt voor de gebouwde omgeving bestaat fiscale ruimte om het kostenverschil tussen hernieuwbaar gas en aardgas te overbruggen. Daarmee kan hernieuwbaar gas al in fase 1 een aantrekkelijk alternatief worden met een hoge sociale acceptatie. Door de meerkosten van hernieuwbaar gas te socialiseren, ontstaat solidariteit door de tijd heen en een gegarandeerde afzet voor de eerste producenten van hernieuwbaar gas. De CO₂-reductie valt hierdoor hoger uit.

Tabel 10: samenvatting aanbevelingen

Aanbevelingen Rijk	Aanbevelingen wijkaanpak
<ol style="list-style-type: none"> 1. Neem ontwikkelpad laagdrempelige energietransitie over. 2. Communiceer principes van laagdrempelige energietransitie en verwerk deze in beleidsinstrumenten. 3. Forceer geen gedwongen afstap van het gas, sluit het aardgasnet voorlopig niet af. 4. Gebruik fiscale ruimte om hernieuwbaar gas al in fase 1 aantrekkelijk te maken. 5. Bereid fase 2 voor: <ul style="list-style-type: none"> • Stimuleer en start pilots nieuwe technieken t.b.v. fase 2, • Stimuleer opschaling productie hernieuwbaar gas, • Stel organisatie in belast met voorbereiding uitrol hernieuwbaar gas/waterstof, • Schaal productie groene stroom sneller op, • Socialiseer kosten van pilots. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Volg gefaseerde aanpak laagdrempelige energietransitie. 2. Geen geforceerde keuze voor afstap van gas of gedwongen isolatie in fase 1. 3. Ondersteun burgers met proeven, kleine efficiëntiemaatregelen en realiseren schaalvoordelen bij gelijktijdige installatie. 4. Maak onderscheid tussen homogene en heterogene wijken. 5. Focus in fase 1 op: <ul style="list-style-type: none"> • Nieuwbouw op LT-temperatuurverwarming, • Verduurzaming bestaande HT-warmtenetten, • Homogene wijken met veel corporatiewoningen in dichte bebouwing mogelijk een warmtenet, • Heterogene wijken individuele oplossingen. 6. Bereid stappen fase 2 voor: <ul style="list-style-type: none"> • Mogelijke uitrolstrategie hernieuwbaar gas/waterstof, • Mogelijke verzwaring elektriciteitsnet in wijken, • Aanvullende/ kleinere warmtenetten op basis van nieuwe technieken in homogene wijken/buurtten.

6.5 DE WIJKAANPAK BIJ DE LAAGDREMPELIGE ENERGIETRANSITIE

De laagdrempelige energietransitie heeft invloed op de uitvoering van de wijkaanpak. Nu zijn het instrumentarium en de plannen vooral gefocust op de korte termijn en op één alternatief per wijk, waardoor suboptimale keuzes mogelijk zijn. Onze aanpak richt zich op de korte en lange termijn en laat de keuze voor één alternatief per wijk los.

Fase 1: focus op keuzevrijheid en kosteneffectieve oplossingen

Voor fase 1 is de volgende invulling van de wijkaanpak gewenst:

- **Nieuwbouwwijken.** Voor nieuwbouw is geen gasaansluiting meer verplicht en alleen in uitzonderingen toegestaan. Elektrische verwarming of aansluiting op een LT-warmtenet ligt dan voor de hand. Aansluiting op een HT-warmtenet is over het algemeen duurder dan op een LT-warmtenet. Een warmtepomp past beter bij grondgebonden koopwoningen en een kleinschalig LT-warmtenet beter bij meergezins- en huurwoningen. Op dit moment zijn veel lagetemperatuurtechnieken nog niet uitontwikkeld. Op langere termijn zullen LT-warmtenetten naar verwachting meer in beeld komen. Regelmatig dient te worden

geëvalueerd of ontwikkelingen in nieuwe technieken (aqua- en zonthermie) deze lokaal aantrekkelijker maken.

- **Wijken met een warmtenet.** Het verduurzamen van de bestaande HT-warmtenetten vraagt weinig van het adaptief vermogen. Bestaande warmtenetten moeten overstappen op betaalbare, betrouwbare en duurzame bronnen, zodat het energiegebruik van aangesloten woningen automatisch vergroent. Dit levert geen spijt op, mits de alternatieve warmtebron vergelijkbare of lagere kosten heeft. Het optimale verduurzamingsmoment hangt af van de gemiddelde jaarkosten van de duurzame warmtebron. Wanneer restwarmte of gebruik van biomassa het voor de hand liggende alternatief is, ook op termijn, is overstap in fase 1 gewenst. Wanneer verduurzaming via geothermie mogelijk lijkt, is het in het algemeen verstandig nog even af te wachten totdat de techniek zich bewezen heeft. Investeren in isolatie tot label C kan aantrekkelijk zijn.
- **Homogene wijken** met een hoge bebouwingsdichtheid, een vergelijkbaar isolatieniveau die voor een groot deel in eigendom van corporaties zijn of utiliteit betreffen. Voor deze wijken kan een collectieve warmteoplossing de meest aantrekkelijke optie zijn, zeker wanneer er een meekoppelkans is met rioolvervanging of grootschalige renovatie. Belangrijk is dat een HT- of LT-warmtenet (en dus een systeemverandering) alleen plaatsvindt als er zekerheid is over de langetermijnbeschikbaarheid van bronnen, dit alternatief als collectieve oplossing brede steun geniet en kosteneffectiever is dan de alternatieven. Als een warmtepomp of hybride oplossing het beste alternatief blijkt te zijn, kunnen met de wijkaanpak schaalvoordelen worden gerealiseerd bij gelijktijdige inkoop en installatie. Ondersteuning van spijtvrije isolatie kan onderdeel van de wijkaanpak zijn. In dit geval verschilt de aanpak niet van die van heterogene wijken.
- **Heterogene wijken.** In heterogene wijken qua eigendom en isolatieniveau ondersteunt de wijkaanpak een vrijwillige overstap naar warmtepomp of hybride oplossing en isolatie. In deze wijken kiest men in fase 1 niet *per wijk* de beste oplossing, maar wordt gestimuleerd dat eigenaren *individueel* de beste optie kiezen bij het volgende vervangingsmoment van de installatie en dat ze isolatiemaatregelen en efficiëntiemaatregelen uitvoeren die zichzelf terugverdienen (dubbel glas, spouwmuur, inregelen cv etc.). Voor woonkostenneutraliteit zijn dan geen grote subsidiebedragen nodig. De meerwaarde van de wijkaanpak om gezamenlijk de beste oplossing te kiezen, is voor deze wijken kleiner, doordat de vervangingsmomenten van installaties en de verschillen tussen de woningen groot zijn. Wel zijn er schaalvoordelen mogelijk als eigenaren gezamenlijk installaties inkopen of isolatie laten uitvoeren. Particuliere initiatieven zijn mogelijk mits betaalbaarheid, betrouwbaarheid en duurzaamheid gewaarborgd zijn. Ook is het nuttig om proeven door bewoners te stimuleren die laten zien of de bestaande warmtevoorziening efficiënter kan. Bijvoorbeeld door de watertemperatuur lager in te stellen (of alleen in voor- en najaar) en te beoordelen welke woningen nu al in aanmerking komen voor verwarmingsalternatieven die met een lage of middentemperatuur werken. In deze wijken wordt het gasnet niet weggehaald tenzij deze niet meer nodig is.

Fase 2: vervolgstappen afhankelijk van ontwikkelingen

Voor fase 2 is de wijkaanpak nog indicatief, maar naar verwachting is het nodig om naast de verdere verduurzamingstappen per wijk dan de volgende wijkgerichte acties op te pakken:

- In dichtbebouwde wijken waarbij collectieve oplossingen zoals warmtenetten mogelijk en aantrekkelijk geworden zijn, deze netten uit te rollen. Dit zijn waarschijnlijk wijken met veel meergezins- en corporatiewoningen waarvoor bijvoorbeeld geothermie of aquathermie een goed alternatief is.
- In wijken met steeds meer elektrische verwarming tijdig het elektriciteitsnet te verzwaren zodat de piekcapaciteit kan worden opgevangen.
- In wijken waar veel woningen hernieuwbaar gas nodig blijven hebben het overstapmoment naar waterstof te bepalen in samenwerking met de nationale coördinatieorganisatie als blijkt dat meer dan 20% waterstof nodig is om in de totale warmtevraag te voorzien.

Door deze adaptieve en gefaseerde aanpak mag op minder weerstand in de samenleving worden gerekend als gevolg van meer autonomie en keuzevrijheid, lagere kosten en minder overlast en gedwongen ingrepen in de woning. Burgers en wijken krijgen de mogelijkheid op het basisalternatief vooruit te lopen. Anderen hoeven weinig te doen, maar kunnen kiezen voor opties die goed zijn voor hun portemonnee. Voor iedereen is er een goede en betaalbare oplossing beschikbaar. De noodzakelijke CO₂-reductie vraagt een kleinere investering en het aardgasverbruik neemt sneller af. De haalbaarheid van het bereiken van de klimaatdoelen neemt zo fors toe. En dat is winst voor iedereen.

AFKORTINGEN EN TOELICHTING

COP	Coefficient of Performance. Dit getal geeft de verhouding weer tussen de nuttige hoeveelheid geproduceerde warmte en het energieverbruik. Doordat een warmtepomp omgevingswarmte gebruikt, ligt het rendement veel hoger dan 100%.
GJ	Gigajoule
GW	Gigawatt
HT	Hoge temperatuur
IEA	International Energy Agency
ISDE	Investeringssubsidie duurzame energie
KEV	Klimaat- en Energieverkenning
kWh	kilowattuur
LT	Lage temperatuur
Mton	Megaton, miljard kg
MT	Middentemperatuur
MW	Megawatt
MWh	Megawattuur
PJ	Petajoule
SDE	Subsidie duurzame energie

- Met waterstof bedoelen we in dit rapport het molecuul diwaterstof (H_2) in plaats van het atoom waterstof.
- Voor de bepaling van de CO_2 -uitstoot gebruiken we de 2019 emissiefactor voor aardgas: 56,6 kg CO_2 per GJ aardgas.
- Omzetting tussen m^3 aardgas en MJ gebeurt op basis van de lage verbrandingswaarde van Groningsgas: 31,65 MJ/ m^3 conform de energietabellen van het CBS.

LITERATUURLIJST

- ABN-AMRO** Grote stappen nodig in verduurzaming woning, Monitor Duurzaamheid derde kwartaal 2019 [Rapport]. - [sl] : ABN-AMRO, oktober 2019.
- Berenschot** Het 'warmtescenario': beelden van een op warmte gerichte energievoorziening in 2030 en 2050 [Rapport]. - Utrecht : Berenschot, september 2018.
- Berenschot** Routekaart hybride warmtepomp [Rapport]. - Utrecht : Berenschot, maart 2017.
- Brounen D. en N. Kok** On the economics of energy labels in the housing market [Tijdschrift]. - [sl] : Journal of Environmental Economics and Management, 2011. - 2 : Vol. 62.
- Cabinet Office Behavioural Insights Team** Behaviour Change and Energy Use [Rapport]. - Londen : Crown, July 2011.
- CE Delft** Factsheets warmtetechnieken [Rapport]. - Delft : CE Delft, september 2018.
- CE Delft** Functioneel ontwerp Vesta 4.0 CONCEPT [Rapport]. - Delft : CE Delft, november 2019.
- CE Delft** Overzicht aanpassingen Vesta MAIS [Rapport]. - Delft : CE Delft, juli 2019.
- CE Delft** Waterstofroutes Nederland [Rapport]. - Delft : CE Delft, juni 2018.
- CIEP** Van onzichtbare naar meer zichtbare hand? [Rapport]. - Den Haag : CIEP, oktober 2019.
- Ciupuliga A. en Cuppen E.** The role of dialogue in fostering acceptance of transmission lines: the case of a France-Spain interconnection project [Tijdschrift]. - [sl] : Energy Policy, 2013. - Vol. 60, 224-233.
- CPB/PBL** Klimaat en Energie, achtergronddocument WLO Welvaart en Leefomgeving; toekomstverkenning 2030 en 2050 [Rapport]. - Den Haag : CPB/PBL, maart 2016.
- De Gemeyn** Green liaisons: hernieuwbare moleculen naast duurzame elektronen [Rapport]. - Klarenbeek : [sn], april 2018.
- Department of Energy & Climate Change** Removing the hassle factor associated with loft insulation: results of a behavioural trial [Rapport]. - Londen : Crown, september 2013.
- Department of Energy & Climate Change** Understanding potential consumer response to the green deal [Rapport]. - Londen : Crown, november 2011.
- Devine-Wright Patrick** Renewable Energy and the Public; From NIMBY to Participation [Rapport]. - [sl] : Earthscan, 2011.
- DNB** Energie-efficiëntie wordt goed ingeprijsd in de Nederlandse woningmarkt [Artikel] // DNBulletin. - Amsterdam : [sn], 2019. - 12 september.
- DNV GL** Hydrogen in the electricity value chain [Rapport]. - Arnhem : DNV GL, 2019.
- DNV GL** Verkenning waterstofinfrastructuur [Rapport]. - Groningen : DNV GL, november 2017.

- ECN** De derde succesfactor ontrafeld; Inzicht in gedrags-en organisatieprocessen die de transitie naar een energieneutrale gebouwde woonomgeving versnellen [Rapport]. - [sl] : ECN, oktober 2017.
- ECN** De winnaars en verliezers van de energietransitie; verkenning van problemen, visies en oplossingen [Rapport]. - [sl] : ECN, december 2017.
- Ecofys** Alternatieve bronselectie warmtestad [Rapport]. - Utrecht : Ecofys, april 2018.
- Ecorys** De financiële gevolgen van de warmtetransitie [Rapport]. - Rotterdam : Ecorys, februari 2019.
- EIB** Klimaatbeleid en de gebouwde omgeving; van ambities naar resultaten [Rapport]. - Amsterdam : EIB, mei 2018.
- Energiea** Eneco opent biowarmteinstallatie in Utrecht [Online] // www.energiea.nl. - 18 oktober 2019. - 8 november 2019.
- Energiea** Last onder dwangsom voor eerder stilgelegd geothermieproject Noord-Limburg [Online] // energiea. - 31 oktober 2019. - 8 november 2019.
- Expertise Centrum Warmte** Expertise Centrum Warmte Startanalyse Aardgasvrij [Rapport]. - Utrecht? : Expertise Centrum Warmte, oktober 2019.
- H2GO** Op de h[2g]oogte - nieuwsbrief // Op de h[2g]oogte. - Den Haag : H2GO, december 2019.
- IEA** World Energy Outlook 2019 [Rapport]. - [sl] : IEA, november 2019.
- ING economisch Bureau** Is woningverduurzaming een rendabele investering of een kostenpost? [Rapport]. - [sl] : ING, oktober 2019.
- Kadaster** Waarde-effecten van duurzaamheidsinvesteringen in corporatiewoningen [Rapport]. - [sl] : Kadaster, november 2014.
- Kalavasta** The cost implications of importing renewable electricity, hydrogen and hydrogen carriers into the Netherlands from a 2050 perspective [Rapport]. - [sl] : Kalavasta, juni 2019.
- KIVI** The future Dutch full carbon-free energy system [Rapport]. - Den Haag : KIVI, december 2017.
- Kiwa** Toekomstbestendige gasdistributienetten [Rapport]. - Apeldoorn : Kiwa, juli 2018.
- Klimaatakkoord** Klimaatakkoord [Rapport]. - Den Haag : [sn], juni 2019.
- Moss Kanter R.** Ten reasons people resist to change [Tijdschrift]. - [sl] : Harvard Business Review, september 2012.
- PBL** Achtergronddocument effecten ontwerp klimaatakkoord: gebouwde omgeving [Rapport]. - Den Haag : PBL, april 2019.
- PBL** Effecten ontwerp Klimaatakkoord [Rapport]. - Den Haag : PBL, mei 2019.
- PBL** Eindadvies basisbedragen SDE 2019 [Rapport]. - Den Haag : PBL, december 2018.
- PBL** Klimaat- en Energieverkenning 2019 [Rapport]. - Den Haag : PBL, oktober 2019.
- PBL** Startanalyse voor aardgasvrije buurten [Rapport]. - Den Haag : PBL, oktober 2019.
- PBL** Verkenning van de klimaatdoelen [Rapport]. - Den Haag : PBL, oktober 2017.

- Posad Spatial Strategies / Generation.Energy et al.** Klimaat Energie Ruimte; Ruimtelijke verkenning energie en klimaat [Rapport]. - Den Haag : Posad, januari 2018. - 978-90-828256-0-2.
- RLI** Rijk zonder CO2 [Rapport]. - Den Haag : RLI, september 2015.
- Rogers Everett M.** Diffusion of innovations [Boek]. - New York : Free Press, 1961.
- RVO i.s.m. Nieman Raadgevend Ingenieurs en Milieu Centraal** Verkenning tool aardgasvrije bestaande woningen. [Rapport]. - Utrecht : RVO, 2018.
- RVO** Monitor energiebesparing gebouwde omgeving [Rapport]. - Utrecht : RVO, 2018.
- Steenbekkers A. en Scholte S.** Onder de pannen zonder gas? [Rapport]. - Den Haag : Sociaal en Cultureel Planbureau, 2019.
- Tennet** Kwaliteits- en capaciteitsdocument 2017; deel III investeringen net op zee 2018-2027 [Rapport].
- Tigchelaar C. [et al.]** Alle bestaande woningen aardgasvrij in 2050. Wie moet wat, wanneer en hoe doen? [Rapport]. - Amsterdam : TNO, 2019.
- TKI Nieuw Gas** Contouren van een routekaart waterstof [Rapport]. - Voorburg : TKI Nieuw Gas, maart 2018.
- TNO & DNV GL** Waterstof uit elektrolyse voor maatschappelijk verantwoord netbeheer [Rapport]. - [sl] : TNO, november 2018.
- TNO** factsheets technieken [Online] // energy.nl. - TNO, oktober 2019. - oktober 2019.
- TNO** Validatie Vesta MAIS-model schilisolatie [Rapport]. - Amsterdam : TNO, juli 2019.
- Verbong G. en J. Schippers** De revolutie van Slochteren – de ombouwoperatie (p. 202-219) [Sectie van boek] // Techniek in Nederland in de twintigste eeuw. Deel 2. Delfstoffen, energie, chemie / boekaut. A. de la Bruhèze H. Lintsen, A. Rip en J. Schot (red.).. - 2000.

BIJLAGE

De kostprijzen van energie zijn deels gebaseerd op input uit het Vesta-model gebruikt voor de Klimaat- en Energieverkenning (KEV) en deels op aanvullingen uit andere bronnen (zie Tabel 11). Voor waterstof is een eigen berekening gemaakt.

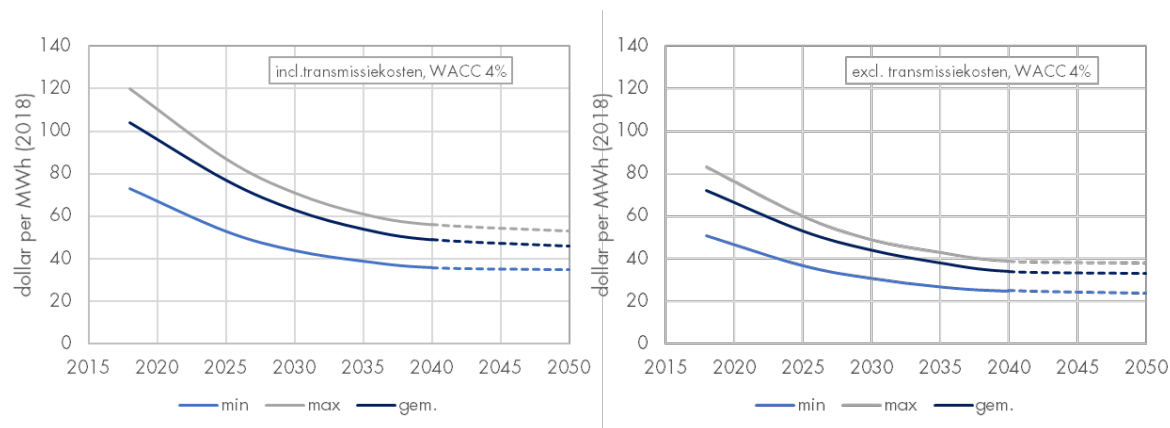
Gebruikte energieprijzen per gigajoule

Tabel 11: gebruikte kosten energie per energiedrager

Kosten energie per GJ	Nationale kosten (€ per GJ)			Eindgebruikerskosten (€ per GJ, incl. btw en belastingen)		
	2020	2030	2050	2020	2030	2050
1. Aardgas o.b.v. onderwaarde	€ 11,18	€ 14,41	€ 14,41	€ 26,95	€ 31,47	€ 31,47
2. Elektriciteit	€ 18,06	€ 23,89	€ 23,89	€ 61,94	€ 70,83	€ 70,83
3. HT-warmte	€ 11,98	€ 13,43	€ 13,43	€ 26,95	€ 31,47	€ 31,47
4. LT-warmte	€ 24,60	€ 19,07	€ 17,71	€ 26,95	€ 31,47	€ 31,47
5. Groen gas	€ 19,72	€ 16,27	€ 14,30	€ 26,95	€ 31,47	€ 31,47
6. Waterstof o.b.v. onderwaarde	€ 41,12	€ 31,39	€ 21,64	€ 42,10	€ 32,14	€ 31,47
7. Elektriciteit per kWh t.b.v. waterstof	€ 18,06	€ 15,75	€ 11,39	€ 61,84	€ 61,07	€ 55,79

- 1) Aardgasprijzen zijn overgenomen van de scenario's in de KEV en het Vesta-Mais-model en omgerekend van prijzen per m³ naar prijzen per gigajoule.
- 2) Elektriciteitsprijzen zijn overgenomen van de scenario's in de KEV en het Vesta-Mais-model en omgerekend van prijzen per kWh naar prijzen per gigajoule.
- 3) Voor HT-warmte worden in het Vesta-Mais-model diverse varianten gebruikt en doorgerekend, die afhankelijk zijn van vele variabelen. Om praktische redenen is hier gebruik gemaakt van gemiddelde prijzen van warmte uit biomassa (€ 13,9 per GJ) zoals bepaald in de TNO-studie (Tigchelaar, et al., 2019) en restwarmte. Voor restwarmte is in lijn met de SDE-berekeningen 90% van de gasprijs genomen (PBL, december 2018).
- 4) Voor LT-warmte is het gemiddelde gebruikt van warmte uit zonthermie en warmtekoelopslag uit (Tigchelaar, et al., 2019). Voor 2030 en 2050 zijn de kostprijzreducties uit het Vesta-Mais-model gebruikt.
- 5) Voor groen gas is in afwijking van het Vesta-Mais-model in 2020 het gemiddelde van de SDE-adviesbasisbedragen gebruikt. Voor 2030 en 2050 is 50% van de verwachte prijsdaling (35% tot 55% in 2030 en 2050) meegenomen uit de Green Liaisons studie (De Gemeyn, april 2018).

- 6) De kostprijzen van groene waterstof zijn bepaald met de aanname dat vanaf 2030 met name energie uit wind op zee wordt gebruikt. De gemiddelde kosten van deze elektriciteit in Europa zijn overgenomen uit World Energy Outlook 2019 (IEA, november 2019), (zie Figuur 16).



Figuur 16: prognose kosten voor elektriciteit uit wind op zee in Europese Unie (IEA, november 2019), trendlijn naar 2050 toegevoegd

Berekening prijzen waterstof en benodigd vermogen voor elektriciteitsopwekking t.b.v. waterstof

De prijs van groene waterstof hangt sterk af van de elektriciteitsprijs (80%), zie Tabel 12. Aangenomen is dat bij de verdere ontwikkeling van windparken op zee, waterstof gebruikt gaat worden om energie aan land te krijgen en op te slaan. Hierdoor kan waterstof in 2030 en 2050 profiteren van de lagere elektriciteitsstarieven van windenergie die het International Energy Agency verwacht voor Europa. De hier berekende waterstofprijs ligt boven de prijzen die in verschillende recente studies wordt geprognosticeerd. De gemiddelde kostprijs tussen 2030 en 2050 ligt op basis van een inventarisatie van verschillende studies (H2GO, december 2019) rond de 2 €/kg, met een gemiddelde bandbreedte van ca. € 1,5 tot 2,5 per kg.²⁶

Per kilogram bevat waterstof ongeveer 3,8 keer zoveel energie als een kubieke meter aardgas (120 MJ/31,65 MJ). Een prijs van 46,3 ct. per m³ voor aardgas (KEV 2030 en 2050) is zo vergelijkbaar met een prijs van € 1,73 per kg waterstof. In vergelijking met aardgas is waterstof nu nog duurder, maar dit kan dus veranderen.

Om grote volumes waterstof beschikbaar te maken, zijn voldoende windparken of import van waterstof of energiedragers nodig. Voor 100 PJ (833 miljoen kg) aan waterstof wordt bij 50 kWh elektriciteit per kg (efficiëntie in 2050) ruim 41000 GWh gebruikt. Bij 4000 vollasturen voor windparken op zee betekent dat een opgesteld vermogen van 10,4 GW aan wind op zee. Dat is bijna het verwachte opgestelde vermogen op zee in 2030 (10,7 GW). De totale potentie wind op zee wordt geschat op 40-80 GW (PBL, oktober 2017). Voor 80 GW moeten andere functies zoals visserij, scheepvaart, natuur, defensie etc. flink inkrimpen.

²⁶ O.a. € 2,24 - € 2,92 in 2030 (CE Delft, juni 2018), € 2,17 - € 3,01 in 2040 (TNO & DNV GL, november 2018) en € 1,30 in 2050 (DNV GL, 2019) voor kostprijzen waterstof uit elektrolyse.

Tabel 12: berekening prijs waterstof

Waterstof	2020	2030	2050	Toelichting
Kosten elektrolyser en installaties per MW (in € mln.)	€ 1,00	€ 0,80	€ 0,50	Teaminschatting o.b.v. industriecijfers
Productie waterstof per MW (in mln. kg)	0,14	0,14	0,14	400 kg per dag per MW, 97% beschikbaarheid
Elektriciteitsprijs voor productie (in € per MWh)	€ 65	€ 57	€ 41	IEA WEO 2019
Elektriciteitsgebruik (in kWh per kg)	60	52	50	Efficiëntie 56%, 65%, 67% o.b.v. onderwaarde
Prijschatting waterstof per kg				
Elektriciteitskosten per kg	€ 3,90	€ 2,95	€ 2,05	
Investeringskosten per kg	€ 0,41	€ 0,33	€ 0,20	4% rente, 30 jaar afschrijving en gedeeld door productie
Demiwater/ grondstoffen per kg	€ 0,04	€ 0,04	€ 0,04	9 liter per kg waterstof, tegen 0,4 ct. per liter
Onderhoud en beheer per kg	€ 0,14	€ 0,11	€ 0,07	2% totale investering en gedeeld door productie
Winst- en risicomarge per kg	€ 0,45	€ 0,34	€ 0,24	aanname 10%
Totaal	€ 4,93	€ 3,77	€ 2,60	

€ 4,93 voor een kg waterstof is vergelijkbaar met een gasprijs van € 1,30 per m³, € 3,77 voor een kg is vergelijkbaar met een gasprijs van € 0,99 per m³ en € 2,60 voor een kg met een gasprijs van € 0,68 per m³.