

Ruimte voor woningverduurzaming op het volle stroomnet

Netimpact, slimme sturing en de rol
van warmtenetten



Ruimte voor woningverduurzaming op het volle stroomnet

Netimpact, slimme sturing en de rol van
warmtenetten

Dit rapport is geschreven door:
Marianne Teng, Lucas van Cappellen,
Arthur Groot Zevert en Laurens Vergroessen

Delft, CE Delft, september 2026

Publicatienummer: 26.260276.128

Opdrachtgever: Natuur en Milieu

Alle openbare publicaties van CE Delft zijn
verkrijgbaar via www.ce.nl

Meer informatie over de studie is te verkrijgen bij de
projectleider Marianne Teng (CE Delft)

© copyright, CE Delft, Delft

CE Delft – Committed to the Environment

CE Delft draagt met onafhankelijk onderzoek en advies bij aan een duurzame samenleving. Wij zijn toonaangevend op het gebied van energie, transport en grondstoffen. Met onze kennis van techniek, beleid en economie helpen we overheden, NGO's en bedrijven structurele veranderingen te realiseren. Al sinds 1978 werken betrokken en kundige medewerkers bij CE Delft om dit waar te maken.

Inhoud

	Samenvatting	5
	De verduurzaming van woningen kan prima doorgaan	5
	Netbelasting kan worden beperkt	5
	Warmtepompen en warmtenetten vragen ook investeringen	7
	Effect bij utiliteitsbouw	7
	Aanbevelingen	8
1	Inleiding	9
	1.1 Achtergrond en aanleiding	9
	1.2 Doel en onderzoeksvragen	9
	1.3 Afbakening	10
	1.4 Leeswijzer	10
2	Methode	11
	2.1 Aanpak en scenario's	11
	2.2 Netimpact warmtepompen	13
	2.3 Netimpact warmtenetten	13
	2.4 Impact van isolatie op de piek warmtevraag	14
3	Vermeden investeringen door een netbewuste warmtetransitie	15
	3.1 Vermeden piekvermogensvraag	15
	3.2 Vermeden netverzwaring	18
	3.3 Vermeden investeringskosten	20
	3.4 Utiliteit	20
4	Verduurzamingsmogelijkheden met netcongestie	22
	4.1 Netcongestie en elektriciteitsaansluitingen	22
	4.2 Vermogensvraag uit kwantitatieve analyse	23
5	Conclusies	24
6	Aanbevelingen	28
	Communiceer laagdrempelig over de mogelijkheden van verduurzaming ook als er netcongestie is	28
	Maak slimme sturing de standaard	28
	Weeg de netimpact mee bij de keuze voor warmtenetten	29
	Neem de elektrische piekvraag mee in het ontwerp van warmtenetten	30

A	Methode modellering	32
B	Modelinvoer	37
C	Analyse effect van isolatie op warmteprofielen en piekbelasting	41
D	Analyse mogelijkheden verduurzaming binnen één-faseaansluiting	43
	Literatuur	46

Samenvatting

Voor de verduurzaming van de gebouwde omgeving speelt ruimte op het elektriciteitsnet een belangrijke rol. Huishoudens kunnen als gevolg van de netcongestie (een overbelast elektriciteitsnet) hun elektriciteitsaansluiting niet altijd verzwaren, waardoor de vraag relevant is welke verduurzamingsmaatregelen binnen de bestaande aansluiting mogelijk zijn. CE Delft heeft daarom in opdracht van Natuur & Milieu onderzocht in hoeverre beperkingen van de elektriciteitsaansluitingen de verduurzaming van woningen belemmeren. Vervolgens is ook gekeken in hoeverre slimme keuzes bij de verduurzaming van de warmtevoorziening in de gebouwde omgeving de belasting van het elektriciteitsnet en de benodigde netinvesteringen kunnen beperken.

De verduurzaming van woningen kan doorgaan

Dit onderzoek wijst uit dat ook zonder het verzwaren van elektriciteitsaansluitingen, de verduurzaming van de warmtevoorziening in woningen goed kan doorgaan. Warmtepompen kunnen over het algemeen binnen een éénfaseaansluiting (een kleine aansluiting die in veel bestaande woningen de standaard is) worden toegepast. Wanneer meerdere elektrische toepassingen worden gecombineerd, bijvoorbeeld een warmtepomp en een laadpaal voor een elektrische auto, wordt slimme sturing belangrijk om te voorkomen dat de capaciteit van de aansluiting wordt overschreden.

De warmtetransitie kan daarmee doorgaan, ook als niet iedere woningaansluiting kan worden verzwared.

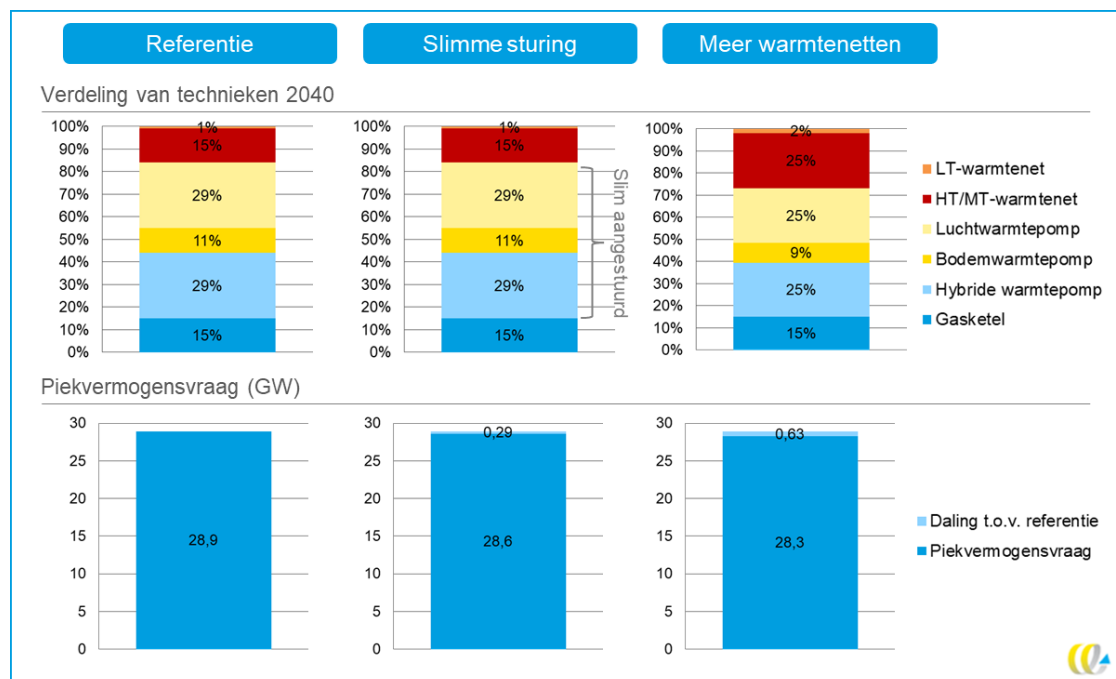
Netbelasting kan worden beperkt

Elektrificatie verhoogt wel altijd de belasting van het elektriciteitsnet. We hebben daarom twee oplossingen onderzocht voor het beperken van de gezamenlijke piekvraag en benodigde netinvesteringen:

1. Slimme sturing van warmtepompen, waarbij de warmtepomp op basis van elektriciteitsprijzen wordt aangestuurd en het elektriciteitsverbruik zoveel mogelijk wordt verschoven van dure piekmomenten naar momenten met lagere prijzen en een lagere belasting van het elektriciteitsnet;
2. Een groter aandeel warmtenetten, waarmee de warmtevraag 'niet elektrisch' wordt geleverd.

Figuur 1 laat zien dat beide oplossingen leiden tot een lagere belasting van het elektriciteitsnet.

Figuur 1 – Overzicht van de scenario's met techniekverdeling per scenario, de totale gelijktijdige piekvermogensvraag van huishoudens en de daling ten opzichte van de referentie



Slimme sturing van warmtepompen vermindert de benodigde netbelasting

Volgens deze analyse verlaagt slimme sturing van warmtepompen, bijvoorbeeld door een energiemanagementsysteem, de totale piekvraag van huishoudens op nationaal niveau in 2040 van 28,9 GW (de referentie) tot 28,6 GW, een daling van 0,29 GW. Hierdoor zou minder geïnvesteerd hoeven worden in het elektriciteitsnet. De bovengrens van de besparing door slimme sturing bedraagt € 290 miljoen, oftewel circa € 39 per woning. Een lagere piekvermogensvraag leidt echter niet één-op-één tot minder investeringen in het elektriciteitsnet, daarom zal de besparing in de praktijk lager uitvallen.

Meer warmtenetten kunnen de netbelasting verminderen

Meer warmtenetten kunnen ook helpen om de piekvraag lager te houden. Een toename van het aandeel warmtenetten van 16 naar 27% (1,9 miljoen meer aansluitingen) kan de vraag verlagen met 0,63 GW in 2040 van 28,9 GW in de referentie naar 28,3 GW, als deze warmtenetten in plaats van hybride en all-electric warmtepompen komen. Ook hierbij leidt de lagere piekvermogensvraag niet volledig tot lagere netinvesteringen. De bovengrens van de besparing is € 637 miljoen, oftewel zo'n € 100 per woning. De in dit scenario veronderstelde toename van het aantal warmtenetaansluitingen tot 2040 is

echter ambitieus, en vraagt een verzeenvoudiging van de groei van warmtenetten ten opzichte van de huidige realisering.

Warmtepompen en warmtenetten vragen ook investeringen

De resultaten van dit onderzoek geven inzicht in de effecten van verduurzaming van de warmtevoorziening in woningen op de investeringen in het elektriciteitsnet. Voor het installeren van warmtepompen en de aanleg warmtenetten zijn ook flinke investeringen nodig. In de keuze voor een warmtetechniek kan het effect op de netinvesteringen worden meegewogen, maar moet dit integraal gedaan worden, samen met de investeringen voor de warmtetechnieken zelf en andere maatschappelijke effecten.

Effect bij utiliteitsbouw

Dit onderzoek richt zich op woningen, maar ook in de utiliteitsbouw kunnen slimme sturing en warmtenetten de benodigde netinvesteringen beperken. Een doorvertaling van de resultaten op basis van vloeroppervlak wijst op een maximale besparing van circa € 142 miljoen door slimme sturing en € 369 miljoen door meer warmtenetten; vanwege verschillen in energiebehoefte tussen woningen en utiliteitsgebouwen zijn deze bedragen nadrukkelijk indicatief.

Aanbevelingen

Op basis van de bevindingen doen we de volgende aanbevelingen om de impact van de warmtetransitie op het elektriciteitsnet en de netinvesteringen te beperken:

- **Communiceer laagdrempelig over de mogelijkheden van verduurzaming ook als er netcongestie is:** Netcongestie kan bij bewoners en andere betrokkenen het beeld oproepen dat zij moeten wachten met het verduurzamen van hun woning totdat het elektriciteitsnet is verzwakt. Ook zonder verzwaring van de elektriciteitsaansluiting in de woning kunnen de meeste woningen overstappen op een warmtepomp. Communiceer daarom duidelijk welke verduurzamingsmaatregelen binnen de bestaande aansluiting mogelijk zijn en onder welke omstandigheden slimme sturing nodig is, bijvoorbeeld wanneer een warmtepomp wordt gecombineerd met een laadpaal. Zo kan worden voorkomen dat onzekerheid over netcongestie leidt tot onnodig uitstel van de verduurzaming van woningen.

- **Maak slimme sturing de standaard:** Zorg dat apparaten slim aangestuurd kunnen worden en stimuleer netbewust gebruik. De voorgenomen eisen aan slimme aansturing van warmtepompen binnen de ISDE zijn daarvoor een belangrijke eerste stap, maar kunnen niet garanderen dat warmtepompen ook daadwerkelijk netbewust wordt gebruikt. Zorg daarom ook voor aansturing die eenvoudig te gebruiken of te automatiseren is én voor financiële prikkels, die huishoudens stimuleren om het elektriciteitsgebruik op piekmomenten te beperken.
- **Neem het positieve effect van warmtenetten op de toekomstige netbelasting mee bij het bepalen van de maatschappelijke waarde van warmtenetten:** Warmtenetten kunnen toekomstige knelpunten op het elektriciteitsnet voorkomen en daarmee investeringen in het elektriciteitsnet beperken. Neem 'vermeden net-investeringen' daarom mee in de integrale afweging tussen individuele en collectieve warmteoplossingen. Zorg vervolgens dat warmtenetten daadwerkelijk uitgerold worden, onder andere door sterkere uitvoeringskracht van publieke warmtebedrijven en gemeenten, voldoende- en langjarige financiering van de onrendabele top, een betaalbaar aanbod voor huishoudens, het beperken van het volloopprijs (het risico dat minder aansluitingen op het warmtenet worden gerealiseerd dan verwacht) en het voeren van stabiel beleid.
- **Neem de elektrische piekvraag mee in het ontwerp van warmtenetten:** Houd bij de keuze voor warmtebronnen, piekvoorzieningen en warmteopslag expliciet rekening met het beperken van de elektriciteitsvraag op piekmomenten, omdat deze voorzieningen ook elektriciteit gebruiken. Ondersteun dit met beleid, door bij subsidies eisen te stellen aan netbewuste inzet, zoals binnen de SDE++ al gebeurt voor e-boilers.

1 Inleiding

1.1 Achtergrond en aanleiding

De afgelopen jaren zijn problemen van transportschaarste steeds prominenter aan het licht gekomen. Netbeheerders kunnen het elektriciteitsnet momenteel niet snel genoeg uitbreiden, waardoor wachttijden ontstaan voor nieuwe of zwaardere aansluitingen. Tegelijkertijd zijn flinke investeringen in de energie-infrastructuur nodig, naar verwachting € 235 miljard tot en met 2040 (Netbeheer Nederland, 2026c) waarvan € 212 miljard voor het elektriciteitsnet, om te voldoen aan de toekomstige vraag, nieuwe vraagpatronen en de uitrol van (de)centrale duurzame elektriciteitsopwekking.

In de IBO Bekostiging Elektriciteitsinfrastructuur 2025 (Rijksoverheid, 2025) zijn tal van maatregelen opgenomen om deze investeringsopgave te beperken. In totaal wordt met behulp van onderbouwde aannames geschat dat de kosten met circa € 9 tot € 33 miljard gedempt kunnen worden door onder andere inzet op flexibilisering van stroomopwekking en gebruik, energiebesparing, energiehubbs en benutten van redundantiecapaciteit. Het IBO kijkt daarbij breed naar mogelijkheden om de investeringsopgave voor het elektriciteitsnet te beperken, maar werkt de rol van woningverduurzaming en keuzes in de warmtetransitie slechts beperkt uit.

Natuur & Milieu wil meer inzicht in de wisselwerking tussen de warmtetransitie in de gebouwde omgeving en het elektriciteitsnet. Enerzijds is de vraag in hoeverre netcongestie de verduurzaming van woningen belemmert, bijvoorbeeld wanneer huishoudens hun aansluiting niet kunnen verzwaren. Anderzijds kunnen keuzes binnen de warmtetransitie juist bijdragen aan het beperken van de piekbelasting en de benodigde investeringen in het elektriciteitsnet. Daarom is onderzocht welke verduurzaming mogelijk is met netcongestie en wat de invloed is van een netbewuste warmtetransitie op de netbelasting en de totale investeringen in het elektriciteitsnet tot en met 2040.

1.2 Doel en onderzoeksvragen

Het doel van dit onderzoek is om inzicht te geven in de wisselwerking tussen de warmtetransitie en het elektriciteitsnet. We onderzoeken zowel in hoeverre netcongestie een belemmering vormt voor de verduurzaming van woningen als de invloed van een netbewuste warmtetransitie voor huishoudens op de netbelasting en de totale investeringen in het elektriciteitsnet tot en met 2040.

Onderzoeksvragen

In dit onderzoek staan twee onderzoeksvragen centraal:

1. Is netcongestie een belemmering voor de warmtetransitie in de gebouwde omgeving?
2. Hoeveel kunnen kosten voor netverzwaring, zoals berekend in FIEN26, gedempt worden door op een netbewuste manier in te zetten op isolatie, slimme aansturing van netvriendelijke warmtepompen en uitrol van netvriendelijke warmtenetten?

1.3 Afbakening

Voor deze studie hanteren we de volgende afbakening:

- We beschouwen de investeringen in het Nederlandse elektriciteitsnet tot en met 2040.
- We kijken naar de vermindering van een netbewuste warmtetransitie voor woningen. Utiliteit is buiten scope.
- We berekenen het effect op de netimpact van:
 - meer warmtenetten met bijbehorende warmtebronnen en opslag;
 - slimme aansturing van warmtepompen.
- We beschouwen het effect van isolatie op de netimpact, maar nemen dit niet integraal kwantitatief mee in de doorrekening.
- Investerings in de verduurzamingsmaatregelen zijn geen onderdeel van de in beeld gebrachte kosten.

1.4 Leeswijzer

Dit rapport is als volgt opgebouwd:

- **Hoofdstuk 2** beschrijft de methodiek en uitgangspunten die zijn gehanteerd voor het onderzoek, inclusief de gekozen scenario's. Deze staan verder toegelicht in Bijlage A.
- **Hoofdstuk 3** presenteert de resultaten van de vermeden kosten voor netverzwaring en de vermeden netimpact door het netbewust inzetten en slim aansturen van warmtepompen en warmtenetten.
- **Hoofdstuk 4** beschrijft welke verduurzaming mogelijk is met netcongestie.
- **Hoofdstuk 5** bevat de conclusies en discussie.
- **Hoofdstuk 6** geeft aanbevelingen.

| 2 Methode

2.1 Aanpak en scenario's

Drie scenario's

In deze studie hebben we berekend welke investeringen mogelijk vermeden kunnen worden ten opzichte van de circa € 212 miljard aan netinvesteringen uit FIEN26 (Netbeheer Nederland, 2026c). Hiervoor hebben we de kosten voor drie scenario's in beeld gebracht. Het referentiescenario vormt daarbij het uitgangspunt. Twee alternatieve scenario's verkennen twee oplossingen om de netbelasting te verlagen. Door de netbelasting en de bijbehorende netkosten van het referentiescenario te vergelijken met die van de twee alternatieve scenario's, bepalen we welk deel van de in FIEN26 geraamde netinvesteringen mogelijk kan worden vermeden.

De scenario's zijn als volgt opgebouwd

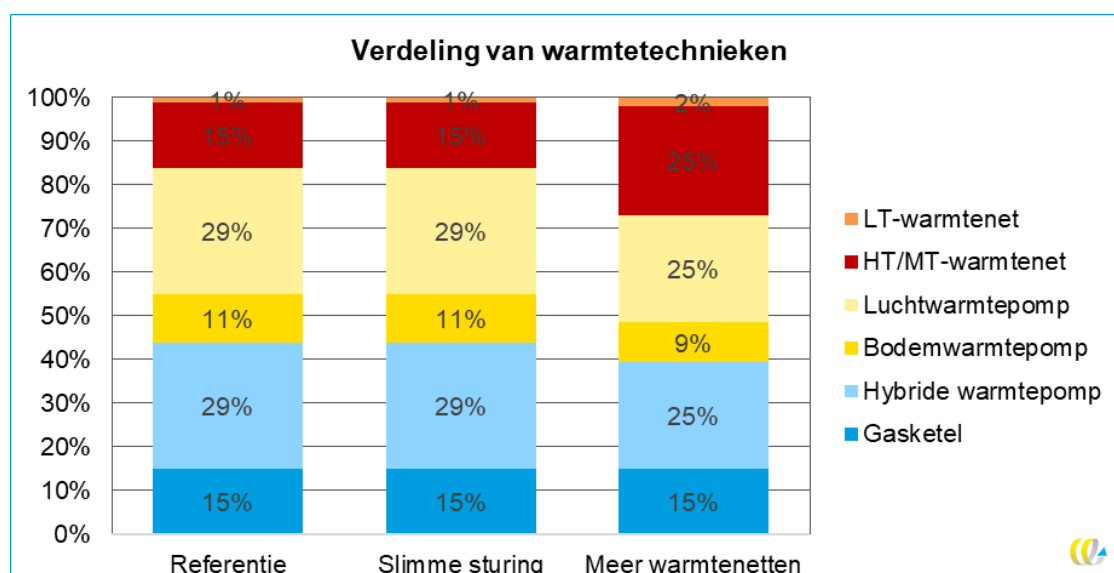
- **Referentiescenario:** We hanteren dezelfde uitgangspunten als in FIEN26. Voor de verdeling van warmtetechnieken gebruiken we het NBNL-scenario Koersvaste Middenweg (zie Tekstkader 1).
- **Slimme sturing:** Hierin gebruiken we dezelfde verdeling van warmtetechnieken als in het referentiescenario, maar worden warmtepompen slim aangestuurd. Hierbij wordt de warmtepomp op basis van elektriciteitsprijzen aangestuurd en het elektriciteitsverbruik zoveel mogelijk verschoven van dure piekmomenten naar momenten met lagere prijzen en een lagere belasting van het elektriciteitsnet;
- **Meer warmtenetten:** Hierin worden meer woningen aangesloten op een warmtenet dan in het referentiescenario. Deze extra warmtenetaansluitingen komen in de plaats van hybride en volledig elektrische warmtepompen.

Tabel 1 geeft het aantal woningen per warmtetechniek in de verschillende scenario's. Figuur 2 laat de verdeling van warmtetechnieken per scenario zien. In Bijlage A is verder toegelicht hoe we een nationaal profiel hebben opgebouwd voor de verschillende scenario's.

Tabel 1 – Aantal woningen per warmtetechniek in 2040 voor de verschillende scenario's (miljoenen)

	Referentie	Slimme sturing	Meer warmtenetten
Gasketel	1,36		1,36
Hybride warmtepomp	2,70		2,31
Bodemwarmtepomp	0,97		0,83
Luchtwarmtepomp	2,72		2,32
HT/MT-warmtenet	1,45		2,37
LT-warmtenet	0,07		0,17

Figuur 2 – Verdeling van de warmtetechnieken per scenario



Tekstkader 1

Netbeheer Nederland-scenario's

De scenario's gemaakt door Netbeheer Nederland (2025) vormen de basis voor de verdeling van het aantal woningen dat gebruik maakt van een bepaald soort warmtesysteem. Deze scenario's worden verder toegelicht in Bijlage A.2. Netbeheer Nederland heeft vier mogelijke toekomstbeelden voor het Nederlandse energiesysteem uitgewerkt:

- Koersvaste Middenweg (KM);
- Eigen Vermogen (EV);
- Gezamenlijke Balans (GB);
- Horizon Aanvoer (HA).

Koersvaste Middenweg geeft de meest realistische balans van warmtetechnieken. Dit scenario vormt daarom de basis voor de referentie.

Eigen Vermogen bevat het grootste aandeel warmtenetten, echter is hier ook het aandeel elektrische warmtepompen groter dan in het referentiescenario. Om deze reden hebben we het Meer warmtenettenscenario samengesteld uit twee NBNL-scenario's, Koersvaste Middenweg en Eigen Vermogen. We hebben het aandeel warmtenetten gelijk gesteld aan het aandeel warmtenetten in Eigen Vermogen en we houden de verhouding tussen hybride, lucht- en bodemwarmtepompen gelijk aan de verhouding in Koersvaste Middenweg. De extra warmtenetaansluitingen komen dus evenredig bij de verschillende warmtepompen vandaan.

2.2 Netimpact warmtepompen

Het profiel van een warmtepomp wordt in het model bepaald aan de hand van verschillende factoren, en resulteert in een elektrisch profiel gekoppeld aan de warmtevraag van de warmtepomp. Dit profiel is gebaseerd op data uit de Open Slimme Meter-dataset van Liander. In combinatie met het weerjaar dat bij het scenario hoort wordt dan per uur bepaald wat de efficiëntie is van de warmtepomp, en hoeveel kWh elektriciteit deze nodig heeft voor het opwekken van de gevraagde warmte. De werking van een warmtepomp en de berekeningen worden verder in detail toegelicht in Bijlage B.

2.2.1 Netbewuste sturing

Naast de keuze voor de warmtetechniek zelf, bepaalt ook de manier waarop een warmtepomp wordt aangestuurd de impact op het elektriciteitsnet. We onderscheiden hierbij twee varianten: Standaard verbruik, waarbij de warmtepomp ongestuurd draait op basis van de warmtevraag van de woning, en slimme sturing, waarbij de warmtepomp prijsgestuurd wordt ingezet. Bij prijsgestuurde aansturing verschuift een deel van het elektriciteitsverbruik naar momenten met lagere prijzen, wat in de praktijk vaak samenvalt met momenten van lagere netbelasting. Hierdoor kan de piekbelasting op het net worden gedempt zonder dat de totale warmtevraag van de woning verandert. In onze analyse is de warmtepomp de enige asset die aangestuurd wordt op prijs, andere elektrische apparaten zoals thuisbatterijen en elektrische auto's doen dit dus niet.

2.3 Netimpact warmtenetten

De impact van een warmtenet op het elektriciteitsnet berekenen we met conversiefactoren die de gasvraag naar een vermogen vertalen, per type warmtenet verschillend in temperatuurniveau (hoge temperatuur (HT), middentemperatuur (MT) en lage temperatuur (LT)). Voor deze conversiefactoren hebben we gebruikgemaakt van kengetallen die we vertrouwelijk hebben verkregen, deze zijn daarom in dit rapport niet weergegeven. Omdat in de Netbeheer Nederland-scenario's geen verdeling is opgenomen tussen HT- en MT-warmtenetten, hebben we hiervoor een gelijke verdeling aangenomen: 50% van alle woningen op een HT/MT-warmtenet valt onder HT, de overige 50% onder MT.

Er wordt een verschuiving verwacht in netimpact tussen de huidige en toekomstige situatie. In de huidige situatie heeft een LT-warmtenet relatief de grootste netimpact: LT-warmtenetten zijn doorgaans al volledig elektrisch uitgevoerd waardoor de het elektrisch vermogen nu al relatief hoog ligt. HT- en MT-warmtenetten leunen in de huidige situatie daarentegen nog grotendeels op gasgestookte piekvoorzieningen, wat resulteert in een lagere elektrische netimpact.

In de toekomstige situatie verschuift dit beeld. Naarmate gasgestookte piekvoorzieningen bij HT- en met name MT-warmtenetten worden vervangen door elektrische alternatieven, neemt het benodigde elektrische vermogen van MT-warmtenetten sterk toe. Hierdoor krijgt het MT-warmtenet in de toekomstige situatie de grootste elektrische piekbelasting van de drie typen, terwijl de netimpact van LT-warmtenetten gelijk blijft, omdat deze al volledig elektrisch zijn. De netimpact verschuift dus in tijd van LT naar MT, als gevolg van de elektrificatie van de piekvoorziening bij MT-warmtenetten.

2.4 Impact van isolatie op de piek warmtevraag

Woningisolatie kan de netimpact van elektrische verwarming verminderen. Isolatie verlaagt niet alleen het jaarlijkse energiegebruik, maar ook het verwarmingsvermogen dat op koude momenten nodig is. Hierdoor neemt het elektriciteitsverbruik van warmtepompen af en kan ook de piekbelasting op het elektriciteitsnet dalen. Het effect op de piekbelasting is echter niet evenredig met de afname van de jaarlijkse warmtevraag.

Een analyse met de Warmteprofielengenerator van TNO laat dit verschil zien. In een vergelijking tussen een matig geïsoleerde en een goed geïsoleerde wijk was de jaarlijkse warmtevraag in de beter geïsoleerde wijk circa 25% lager, terwijl de piekwarmtevraag slechts circa 5% lager was (CE Delft, 2025). De gevoeligheidsanalyse van de Renovatieverkenner laat zien dat het effect sterk per woning verschilt (Xu & P. Barthe, 2025).

Isolatie is daarmee een relevante maatregel voor het beperken van de netimpact, maar er kan geen algemene uitspraak gedaan worden over het effect op de piekvermogensvraag. Daarnaast wordt in FIEN26 al vergaande isolatie verondersteld, tot gemiddeld label A/B (zie Bijlage A.2). Alleen extra isolatie ten opzichte de aannames in FIEN26 leiden tot lagere netimpact ten opzichte van het referentiescenario. Om deze redenen hebben we isolatie niet kwantitatief meegenomen in onze netimpactanalyse.

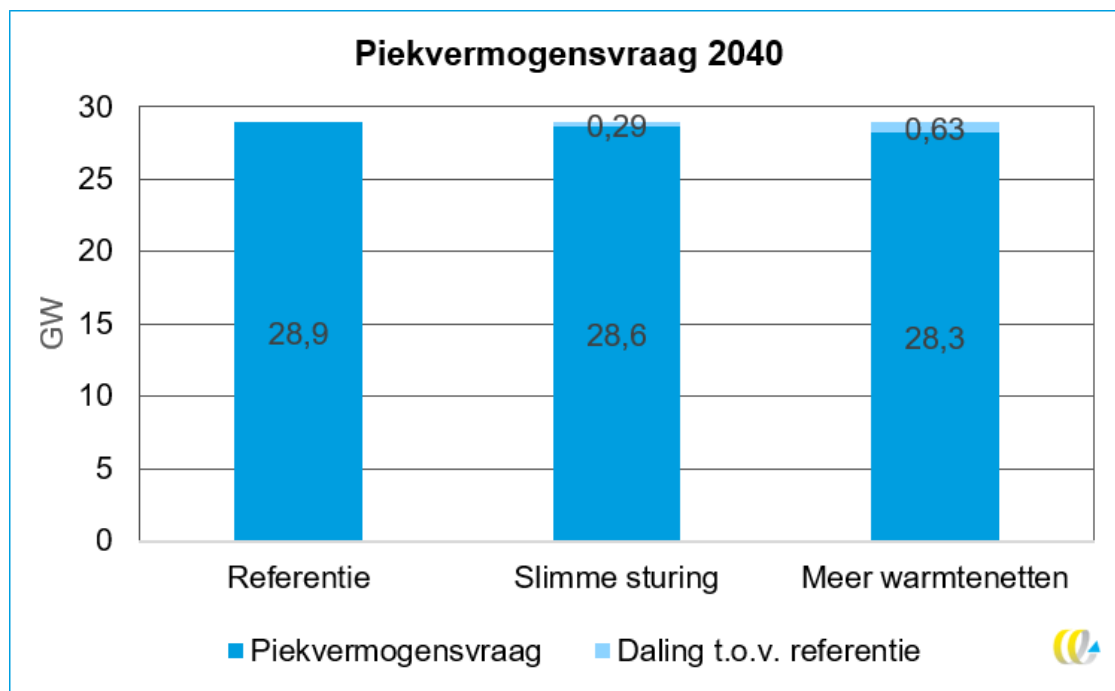
3 Vermeden investeringen door een netbewuste warmtetransitie

In dit hoofdstuk beschrijven we in hoeverre een netbewuste warmtetransitie de belasting van het elektriciteitsnet en de benodigde netinvesteringen kan beperken. We brengen voor verschillende scenario's in beeld hoe de nationale piekvermogensvraag in 2040 verandert. Vervolgens vertalen we dit naar een indicatie van de vermeden investeringskosten.

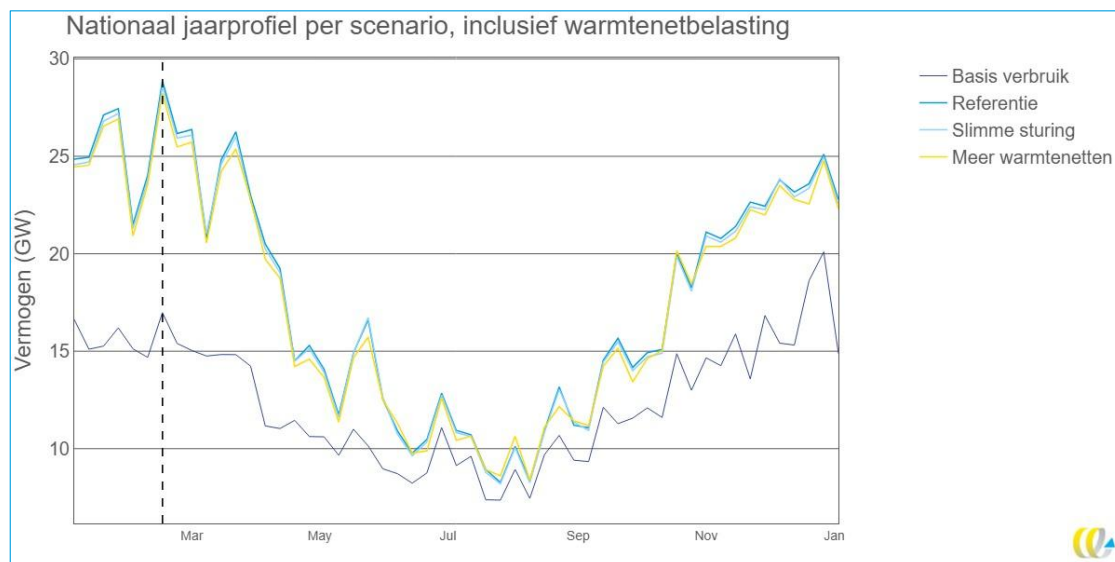
3.1 Vermeden piekvermogensvraag

Figuur 3 geeft de piekvermogensvraag per scenario weer. Figuur 4 laat het nationale vermogensprofiel voor 2040 zien voor de drie scenario's. Dit is de netbelasting van de huishoudens en van warmtenetten. De piekvermogensvraag in de slimme sturing ligt dicht bij de piekvermogensvraag van de referentie, ze zijn in Figuur 4 bijna niet van elkaar te onderscheiden. De piekvermogensvraag van het meer warmtenetten scenario ligt lager.

Figuur 3 – Piekvermogensvraag in 2040 per scenario



Figuur 4 – Nationaal profiel voor de elektriciteitsbelasting van huishoudens op basis van de archetypes en extrapolatie. Basis verbruik is al het verbruik van de woningen, niet gerelateerd aan warmte zoals witgoed en elektrische auto's. De stippellijn geeft de maximale piek over het jaar aan.



Beperkte daling piekvermogensvraag door slimme sturing warmtepompen

Het piekvermogen in de referentie is 28,9 GW in 2040. Dit is de maximale vraag op hetzelfde uur door apparaten, elektrische auto's, warmtepompen en warmtenetten. Slimme sturing van warmtepompen verschuift een deel van het verbruik naar momenten met minder drukte op het elektriciteitsnet. Dit zorgt voor een verlaging van piekvermogensvraag van 0,29 GW ten opzichte van de referentie, zie Figuur 3.

Hoewel dit effect relatief klein is ten opzichte van de totale piek, is het wel een verlaging die vrijwel geen extra kosten met zich meebrengt: slimme sturing vraagt geen aanvullende investering in infrastructuur, alleen een andere manier van aansturen.

Meer warmtenetten kunnen leiden tot een lagere piekvermogensvraag

De verandering van de piekvermogensvraag ten opzichte van de referentie voor het meer warmtenettenscenario is weergegeven in Figuur 3.

In de variant op de referentie met meer warmtenetten daalt de piekvermogensvraag met 0,63 GW. Deze daling is ruim twee keer zo groot als het effect van slimme sturing. Warmtenetten leveren een deel van de warmtevraag zonder het elektriciteitsnet verder te belasten en verlagen daarmee de elektrische piekvraag. Meer warmtenetten zorgen dus voor een lagere piekvermogensvraag wanneer de warmtenetten in plaats van hybride en all-electric warmtepompen komen.

De veronderstelde groei van warmtenetten is ambitieus

Een belangrijke kanttekening is dat de veronderstelde ontwikkeling van het aantal warmtenetaansluitingen aanzienlijk groter is dan de huidige realisatiesnelheid. Eind 2024 telde Nederland circa 526.000 warmtenetaansluitingen, dit zijn naar schatting 558.000 woningen (Stichting Warmtenetwerk, 2026). Bij een verwachte woningvoorraad van circa 9,2 miljoen woningen in 2040 (CBS, lopend), betekent een aandeel van 27% dat tegen die tijd ongeveer 2,5 miljoen woningen op een warmtenet moeten zijn aangesloten. Hiervoor moeten tussen eind 2024 en 2040 circa 1,9 miljoen woningaansluitingen worden toegevoegd, gemiddeld ongeveer 120.000 per jaar. In een extrapolatie van de huidige groei is in het Nationaal Warmtenet Trendrapport uitgegaan van ruim 17.000 extra aansluitingen per jaar. De jaarlijkse realisatiesnelheid zou daarmee grofweg zeven keer zo groot moeten worden dan de huidige snelheid om het veronderstelde aandeel van 27% in 2040 te bereiken. Het scenario veronderstelt dus een zeer sterke versnelling die nodig is om gestelde klimaatdoelen te halen, ten opzichte van de huidige praktijk.

Wanneer minder warmtenetten worden gerealiseerd dan wordt verondersteld, zal een groter deel van de warmtevraag waarschijnlijk worden ingevuld met individuele elektrische oplossingen. Dit leidt tot een hogere belasting van het elektriciteitsnet. De veronderstelde groei van warmtenetten vormt daarmee een belangrijke onzekerheid in de resultaten.

Gelijktijdigheid

Voor de belasting van het elektriciteitsnet is niet alleen het maximale vermogen van afzonderlijke elektrische apparaten of woningen relevant, maar vooral de mate waarin deze vermogens gelijktijdig optreden. Wanneer de maximale piekvermogens van alle woningen bij elkaar worden opgeteld, ontstaat een veel hogere piek dan in de praktijk optreedt. Huishoudens gebruiken hun elektrische apparaten immers niet allemaal op hetzelfde moment. De mate waarin de elektriciteitsvraag van verschillende huishoudens samenvalt, noemen we gelijktijdigheid. In de modellering gebruiken we verbruiksprofielen om deze gelijktijdigheid zo goed mogelijk mee te nemen.

Als we voor alle woningtypen binnen de groep gemiddelde gebruikers het maximale individuele piekvermogen vermenigvuldigen met het aantal woningen van dat type in het referentiescenario, komen we uit op een theoretisch maximaal piekvermogen van 67,7 GW. Dit is de piek die zou optreden wanneer alle woningen tegelijkertijd hun maximale vermogen zouden vragen.

In de gemodelleerde verbruiksprofielen bedraagt de gezamenlijke piek daarentegen 28,9 GW zoals te zien in Figuur 3. Dit komt overeen met een gelijktijdigheid van ongeveer 43%. Het grootste verschil in deze gelijktijdigheid wordt veroorzaakt door de woningtypes met een elektrische auto, waarbij bijvoorbeeld een woning een piekvermogen van 14 kW kan hebben maar in het gelijktijdige profiel deze maar 6 kW is.

De gemodelleerde verbruiksprofielen bevatten daarmee al een aanzienlijke spreiding van het elektriciteitsgebruik over de tijd. Dit helpt verklaren waarom aanvullende slimme sturing van warmtepompen de nationale piek slechts beperkt verder verlaagt. Tegelijkertijd is de gelijktijdigheid een belangrijke onzekerheid in de berekeningen. Externe factoren, zoals een langdurige koudegolf, kunnen ervoor zorgen dat de warmtevraag van veel woningen sterker samenvalt en daarmee de gezamenlijke piek verhogen. De daadwerkelijke piekbelasting is daarom mede afhankelijk van de omstandigheden waaronder deze optreedt.

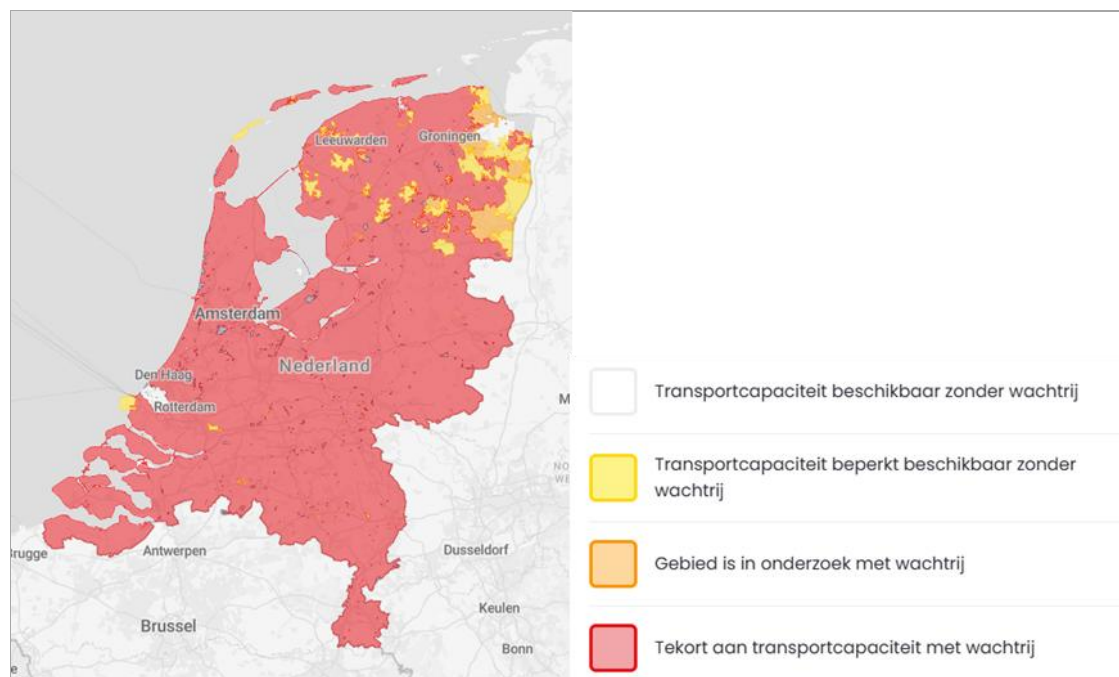
3.2 Vermeden netverzwaring

Een lagere piek op het net betekent niet automatisch minder netverzwaring. Of een netbeheerder daadwerkelijk minder hoeft te investeren, hangt af van de lokale situatie:

- hoeveel ruimte er al op het net was voordat de piek toenam;
- andere ontwikkelingen in dezelfde regio, zoals meer elektrisch vervoer of nieuwbouw, die het net ook belasten;
- of de piek van de warmtevraag samenvalt met andere piekmomenten op het net.

De informatie over de ruimte op het net is alleen bij de netbeheerders beschikbaar is. Wel laat de capaciteitskaart (Figuur 5) zien dat in de meeste gebieden in Nederland sprake is van netcongestie.

Figuur 5 – Capaciteitskaart Nederland



Bron: Netbeheer Nederland (2026a).

De vermeden netimpact uit Paragraaf 3.1 is daarom een bovengrens. In het beste geval leidt de hele vermeden piek ook tot minder netverzwaring. Waarschijnlijker is maar een deel daarvan dat echt tot minder investeringen leidt. Daarvoor zien we de volgende redenen:

- Sommige gebieden worden gedomineerd door invoedingsnetcongestie, vanwege een hoge concentratie zon op woningen of zonneparken of bij locaties met aansluiting van wind op zee en op land. Een lager vermogen voor afname zal voor die gebieden geen netverzwaring voorkomen.
- In veel gebieden is de warmtevraag een deel van de totale vermogensvraag, daardoor zal een verlaging van de piekbelasting niet direct ertoe leiden dat er een transformatorstation minder gebouwd hoeft te worden.
- Veel hogere netvlakken zullen sowieso uitgebreid moeten worden, omdat ze een grotere transportfunctie hebben. Dit geldt zeker voor de netten van TenneT.

Deze effecten zijn zonder volledige netdoorrekening niet exact te bepalen. Bovendien zijn de benodigde details per locatie niet openbaar beschikbaar, waardoor we deze doorrekening niet kunnen doen. We presenteren daarom hier de resultaten als absolute bovengrens. In de praktijk zal het effect lager zijn.

Er kan dus maximaal 0,29 GW en 0,63 GW aan netverzwaring voorkomen worden door respectievelijk slimme sturing van warmtepompen en meer warmtenetten.

3.3 Vermeden investeringskosten

Om de vermeden investeringskosten te bepalen, hebben we een gemiddeld kosten kengetal gebruikt. Dit hebben we berekend door de jaarlijkse kosten van netverzwaring per spanningsniveau (LS, MS, HS, EHS) te combineren met een gelijktijdigheidsfactor. Twee derde hiervan zijn kosten voor het LS- en MS-net en de overige één derde is voor het HS-net. Dat levert een landelijk gemiddelde op van ongeveer € 1.000 per kW aan besparing (CE Delft, 2023). Dit is dus geen locatie specifiek bedrag: de werkelijke kosten per kW verschillen sterk per net en per regio.

Met dit kengetal berekenen we de besparing van beide maatregelen. Slimme sturing levert, op basis van de piekreductie van 0,29 GW, een besparing op van maximaal € 290 miljoen. Dat komt neer op zo'n € 39 per woning.

Meer warmtenetten leveren meer op. Op basis van de piekreductie van 0,63 GW is de besparing hier maximaal € 637 miljoen, oftewel zo'n € 100 per woning.

Let op: Deze bedragen zijn de absolute bovengrens. Zoals in Paragraaf 3.2 uitgelegd, is de werkelijke besparing waarschijnlijk lager.

3.4 Utiliteit

De modelberekeningen in deze studie hebben alleen betrekking op woningen. Ook bij utiliteitsgebouwen kunnen slimme sturing en de inzet van warmtenetten echter leiden tot een lagere piekvermogensvraag. Om de mogelijke orde van grootte te illustreren, maken we een eenvoudige opschaling op basis van het vloeroppervlak. Daarbij nemen we aan dat de vermeden piekvraag per vierkante meter bij utiliteitsgebouwen gelijk is aan die bij woningen.

Nederland telde begin 2024 circa 8,2 miljoen woningen met een gemiddelde gebruiksoppervlakte van 120 m² (CBS, 2024). Het totale vloeroppervlak van woningen bedroeg daarmee ongeveer 985 miljoen m². De utiliteitsbouw omvat circa 570 miljoen m² bruto vloeroppervlak. Het vloeroppervlak van de utiliteitsbouw is daarmee ongeveer 58% van dat van woningen.

Wanneer deze verhouding tot 2040 gelijk blijft en ook de besparing per vierkante meter gelijk wordt verondersteld, bedraagt de potentiële besparing in de utiliteitsbouw ongeveer 58% van de berekende besparing bij woningen: tot € 142 miljoen door slimmer sturing en € 369 miljoen door meer warmtenetten. Ook hier geldt weer dat dit het absolute maximum is en dat de besparing waarschijnlijk een stuk lager ligt.

Deze uitkomsten zijn nadrukkelijk een grove indicatie. Utiliteitsgebouwen verschillen van woningen in onder andere gebruikstijden, warmtevraag, installaties en gelijktijdigheid. Daarnaast zijn het bruto vloeroppervlak van utiliteitsgebouwen en het gebruiksoppervlak van woningen niet volledig vergelijkbaar.

4 Verduurzamingsmogelijkheden met netcongestie

4.1 Netcongestie en elektriciteitsaansluitingen

Grote delen van het Nederlandse elektriciteitsnet hebben te maken met netcongestie (Netbeheer Nederland, 2026a). Hierdoor kunnen netbeheerders niet altijd (direct) voldoen aan aanvragen voor een zwaardere aansluiting. Met name het verzwaren van bestaande aansluitingen van één fase naar drie fasen kan hierdoor vertraging oplopen. Voor huishoudens die willen verduurzamen wordt de beschikbare elektriciteitsaansluiting daarmee een steeds belangrijkere randvoorwaarde.

In Nederlandse woningen komen vooral drie typen aansluitingen voor:

3. 1x25A: een éénfaseaansluiting met een maximaal vermogen van circa 5,8 kW.
4. 1x35A: een éénfaseaansluiting met een maximaal vermogen van circa 8,1 kW.
5. 3x25A: een driefaseaansluiting met een maximaal vermogen van circa 17,3 kW.

Veel bestaande woningen beschikken over een éénfaseaansluiting (veelal 1x25A of 1x35A). Exacte getallen ontbreken, maar het aantal wordt geschat op 5 miljoen, waarvan 1 miljoen 1x25A en 4 miljoen 1x35A (Stroomversnelling, 2026). Door de toenemende netcongestie is het echter niet vanzelfsprekend dat een aansluiting verzwaard kan worden. We verkennen daarom welke verduurzaming mogelijk is binnen bestaande aansluitingen.

Onze conclusies zijn opgenomen in Tabel 1, waarbij onderliggende informatie is opgenomen in Bijlage D. We concluderen dat ook met een éénfaseaansluiting, veel verduurzaming plaats kan vinden. De combinatie van elektrische auto, warmtepomp en/of thuisbatterij kan wel tegen de grenzen van een éénfaseaansluiting lopen.

Tabel 1 – Overzicht van verduurzamingsmaatregelen en netaansluiting

Situatie verduurzaming	1x25A (tot 5,8 kW)	1x35A (tot 8,1 kW)	3x25A (tot 17,3 kW)	Toelichting
Zonnepanelen	✓	✓	✓	Het leveren van stroom aan het net wordt gelimiteerd door de capaciteit. Echter voor de meeste woningen zijn de aansluitingen voldoende, zeker als zonne-energie ook zelf wordt gebruikt.
Hybride warmtepomp	✓	✓	✓	Het vermogen van de warmtepomp hangt af van de woning; mogelijk kan tijdens de winter niet al het vermogen geleverd worden met de woning. Dan kan de gasboiler ingezet worden.
All-electric warmtepomp	!	✓	✓	Een 1x25A-aansluiting zal mogelijk niet altijd voldoende zijn tijdens de winter, afhankelijk van de woning.
All-electric warmtepomp en elektrische auto	X	!	✓	Tijdens de wintermaanden is met slimme sturing een 1x35A-aansluiting mogelijk voldoende voor warmtepomp én elektrische auto, maar dit hangt af van de situatie. Een 1x25A-aansluiting zal vaak te weinig capaciteit kennen.

4.2 Vermogensvraag uit kwantitatieve analyse

De resultaten van de analyse van de netimpact geeft ook inzicht in het gevraagde vermogen per huishouden. We hebben voor de verschillende huishoudens geanalyseerd wat het piekvermogen is voor verschillende verduurzamingsvarianten. De huishoudens hebben we verdeeld in drie categorieën naar energieverbruik (klein, middel en groot). Tabel 2 geeft de gemiddelde piekbelasting voor een kleine en grote woning. Dit geeft een indicatie voor de range waarin het piekvermogen van veel huishoudens zal vallen, het toont geen extreme situaties.

Deze resultaten bevestigen dat de meeste warmtepompen goed binnen een éénfaseaansluiting ingepast kunnen worden. Een lucht-waterwarmtepomp kan wel boven het vermogen van een 1x25A-aansluiting komen en zal niet altijd passen binnen een 1x25A-aansluiting, maar wel binnen een 1x35A-aansluiting.

Tabel 2 – Piekbelasting per warmtevoorziening voor een kleine en een grote woning in kW

Warmtetechniek	Piekbelasting aansluiting
Gasketel	3-4,4 kW
Hybride warmtepomp	3,8-5,3 kW
Luchtwarmtepomp	4,5-6,6 kW
Bodemwarmtepomp	3,7-5,6 kW

5 Conclusies

We hebben onderzocht in hoeverre de warmtetransitie kan doorgaan wanneer huishoudens vanwege netcongestie hun elektriciteitsaansluiting niet kunnen verzwaren. Daarnaast hebben we voor twee netbewuste scenario's onderzocht in hoeverre de piekbelasting en benodigde investeringen in het elektriciteitsnet tot en met 2040 beperkt kan worden. Een overzicht van de resultaten is weergegeven in Figuur 6. Op basis van onze analyses komen we tot de volgende conclusies.

5.1 Conclusies

De warmtetransitie kan door, ook zonder verzwaring van de elektriciteitsaansluiting in de woning

De resultaten laten zien dat beperkingen aan het verzwaren van woningaansluitingen de verduurzaming van de warmtevoorziening in woningen niet in de weg hoeven te staan. Warmtepompen kunnen over het algemeen binnen een éénfaseaansluiting worden toegepast. Bij verdere elektrificering, bijvoorbeeld een laadpaal voor een elektrische auto, is slimme sturing nodig zodat de beschikbare capaciteit van de aansluiting niet overschreden wordt. Dat betekent dat apparaten technisch geschikt moeten zijn voor slimme sturing en gebruikers in staat en bereid moeten zijn om deze mogelijkheden daadwerkelijk te benutten.

Slimme sturing is laaghangend fruit

Slimme sturing van warmtepompen kan met relatief beperkte aanpassingen de piekbelasting in 2040 van geëlektrificeerde huishoudens verlagen van 28,9 GW tot 28,6 GW, een daling van 0,29 GW. De bovengrens van de besparing op netinvesteringen door slimme sturing bedraagt € 290 miljoen, oftewel circa € 39 per woning. Een lagere piekvermogensvraag leidt echter niet één-op-één tot minder investeringen in het elektriciteitsnet, daarom zal de besparing in de praktijk lager uitvallen.

De totale reductie van de netimpact is weliswaar beperkt, ten opzichte van bijvoorbeeld de keuze voor een warmtenet, maar slimme sturing is relatief snel en tegen beperkte kosten toepasbaar. Bovendien is slim energieverbruik ook financieel aantrekkelijk voor woningeigenaren, omdat het elektriciteitsgebruik wordt verschoven naar uren met lagere prijzen of nettarieven. Daarmee is slimme sturing een logische no-regretmaatregel: zij draagt bij aan het beperken van netbelasting en kan tegelijkertijd de energiekosten van huishoudens verlagen.

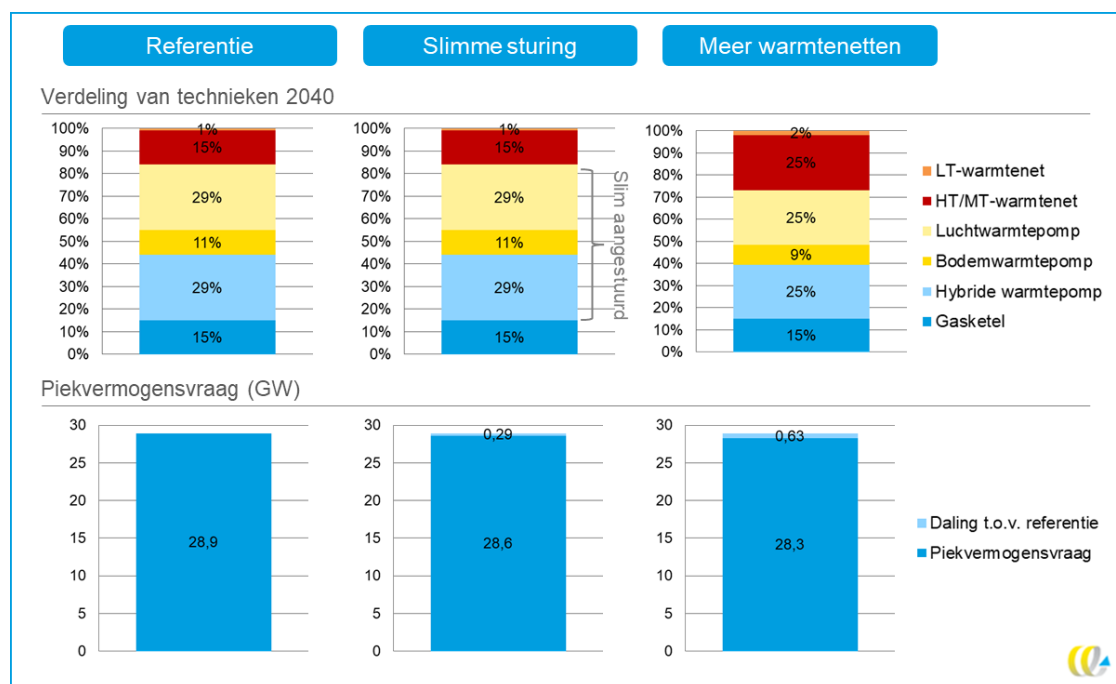
Warmtenetten kunnen de elektrische piekvraag verminderen

Meer warmtenetten kunnen de piekvermogensvraag in 2040 verlagen met 0,63 GW, als deze warmtenetten in plaats van hybride- en all-electric warmtepompen komen. Ook hierbij leidt de lagere piekvermogensvraag niet volledig tot lagere netinvesteringen. De bovengrens van de besparing op netinvesteringen is € 637 miljoen, oftewel zo'n € 100 per woning.

De netimpact van een warmtenet is echter niet per definitie laag. Ook collectieve warmte-systemen elektrificeren, bijvoorbeeld door de inzet van warmtepompen of elektrische boilers als piekvoorziening. Vooral de inzet van elektrische piekvoorzieningen tijdens koude perioden kan samenvallen met de piekvraag op het elektriciteitsnet. Hierop kan gestuurd worden, door bij het ontwerp rekening te houden met de omvang en timing van deze elektriciteitsvraag, bijvoorbeeld door warmteopslag te benutten en ruimte te behouden voor niet-elektrische piek- en back-upvoorzieningen.

Lagetemperatuurwarmtenetten hebben op termijn naar verwachting een lagere netimpact dan middentemperatuurwarmtenetten. Door de lagere aanvoertemperatuur kunnen collectieve warmtepompen efficiënter functioneren en is minder elektriciteit nodig om warmte op de gewenste temperatuur te brengen. Om de geleverde lagetemperatuurwarmte zonder extra opwaardering in te kunnen zetten om woningen te verwarmen, moeten de woningen goed geïsoleerd zijn.

Figuur 6 – Overzicht van de scenario's met techniekverdeling per scenario, de totale gelijktijdige piekvermogensvraag van huishoudens en de daling ten opzichte van de referentie



5.2 Discussie

Netinvesteringen zijn slechts een onderdeel van de totale kosten

Dit onderzoek brengt de effecten van verschillende warmteoplossingen op de investeringen in het elektriciteitsnet in beeld. De investeringen in de warmteoplossingen zelf zijn daarbij niet meegenomen. Zowel individuele warmtepompen als warmtenetten vragen aanzienlijke investeringen, bijvoorbeeld in installaties, warmtenetinfrastuctuur, bronnen en aansluitingen.

Een lagere belasting van het elektriciteitsnet betekent daarom niet automatisch dat een warmtenet ook financieel of maatschappelijk de meest aantrekkelijke oplossing is voor alle wijken. De vermeden netinvesteringen moeten worden meegewogen in een integrale afweging, samen met de investerings- en exploitatiekosten van de warmteoplossing zelf. Afhankelijk van de lokale omstandigheden is een individuele of een collectieve warmteoplossing maatschappelijk het meest aantrekkelijk.

De veronderstelde groei van warmtenetten is ambitieus

De onderzochte ontwikkeling van het aantal warmtenetaansluitingen is aanzienlijk groter dan de groei die momenteel in de praktijk wordt gerealiseerd. De jaarlijkse groei moet met een factor zeven groeien, naar 120.000 aansluitingen per jaar, om het in het meer warmtennettenscenario veronderstelde aantal aansluitingen in 2040 te behalen. In hoeverre deze ontwikkeling haalbaar is, hangt onder meer af van de beschikbaarheid van warmtebronnen, de organisatie en financiering van warmteprojecten, draagvlak onder bewoners en de snelheid van ruimtelijke en bestuurlijke besluitvorming.

Wanneer minder warmtenetten worden gerealiseerd dan in het referentiescenario wordt verondersteld, zal een groter deel van de warmtevraag waarschijnlijk worden ingevuld met warmtepompen. Dit leidt tot een hogere belasting van het elektriciteitsnet. De veronderstelde groei van warmtenetten vormt daarmee een belangrijke onzekerheid in de resultaten.

Effect van isolatie op de netverzwaring niet meegenomen

Isolatie verlaagt de jaarlijkse warmtevraag en kan ook het benodigde vermogen op koude momenten verminderen. Aan de verlaging van de piekvraag als gevolg van isolatie kan echter geen algemeen toepasbaar percentage worden gekoppeld. Het effect hangt sterk af van de woning, het verwarmingsregime, de installatie en het bewonersgedrag.

Daarnaast wordt in FIEN26 al vergaande isolatie verondersteld (gemiddeld tot label A/B). Alleen extra isolatie ten opzichte de aannames in FIEN26 leiden tot een lagere netimpact ten opzichte van het referentiescenario.

Om deze redenen is het effect van isolatie op de netverzwaring niet meegenomen in de kwantitatieve analyse.

Flexibiliteit buiten de warmtetransitie en het effect van meer hybride warmtepompen is niet onderzocht

Dit onderzoek richt zich specifiek op mogelijkheden voor een netbewuste warmtetransitie. Bij slimme sturing is daarom alleen gekeken naar het verschuiven van de elektriciteitsvraag van warmtepompen. Ook buiten de warmtetransitie ligt potentieel om de piekbelasting te beperken, bijvoorbeeld door elektrische auto's flexibel aan te sturen. Dit potentieel is in dit onderzoek niet meegenomen. De berekende effecten geven daarmee alleen inzicht in de bijdrage vanuit de warmtetransitie en niet in het totale potentieel van flexibiliteit bij huishoudens.

Ook is geen scenario onderzocht waarin nog meer hybride warmtepompen worden toegepast. Hybride warmtepompen hebben een lagere netimpact dan volledig elektrische warmtepompen.

Het technische potentieel van slimme sturing wordt niet vanzelf benut

Om het potentieel van slimme sturing te behalen is het noodzakelijk dat de warmtepompen slim aanstuurbaar zijn én dat deze ook daadwerkelijk slim worden ingezet. Voor veel consumenten is slimme sturing nog onbekend of ingewikkeld. Het is dus van belang dat consumenten gestimuleerd en geholpen worden bij het slim inzetten van hun warmtepomp. Als slimme functies niet worden geactiveerd of door bewoners worden uitgeschakeld, blijft een deel van het technische potentieel onbenut.

6 Aanbevelingen

De verduurzaming van woningen hoeft niet te wachten totdat overal voldoende capaciteit op het elektriciteitsnet beschikbaar is of alle woningaansluitingen kunnen worden verzwaard. Wel leidt de elektrificatie van de warmtevoorziening tot extra belasting van het elektriciteitsnet en daarmee tot een grotere investeringsopgave voor netbeheerders. Door de warmtetransitie netbewust vorm te geven, kan deze impact worden beperkt.

Op basis van de analyses in dit onderzoek doen we de volgende aanbevelingen.

Communiceer laagdrempelig over de mogelijkheden van verduurzaming ook als er netcongestie is

Netcongestie kan bij bewoners en andere betrokkenen het beeld oproepen dat zij moeten wachten met het verduurzamen van hun woning totdat het elektriciteitsnet is verzwaard. Ook zonder verzwaring van de elektriciteitsaansluiting in de woning kunnen de meeste woningen overstappen op een warmtepomp. Communiceer daarom duidelijk welke verduurzamingsmaatregelen binnen de bestaande aansluiting mogelijk zijn en onder welke omstandigheden slimme sturing nodig is, bijvoorbeeld wanneer een warmtepomp wordt gecombineerd met een laadpaal. Zo kan worden voorkomen dat onzekerheid over netcongestie leidt tot onnodig uitstel van de verduurzaming van woningen.

Maak slimme sturing de standaard

Zet bij verdere elektrificatie van de warmtevoorziening in op slimme sturing van warmtepompen. Daarbij zijn drie elementen van belang:

1. **Zorg dat apparaten technisch geschikt zijn voor slimme aansturing:**
Het kabinet is voornemens om vanaf 2028 binnen de ISDE eisen te stellen aan de mogelijkheid tot slimme aansturing van warmtepompen. Dit is een belangrijke randvoorwaarde: zonder de mogelijkheid om een apparaat extern aan te sturen, kan het elektriciteitsgebruik niet worden aangepast aan de belasting van het net.

2. **Zorg voor financiële prikkels voor netbewust gebruik:** Dat een apparaat slim aangestuurd kan worden, betekent nog niet dat dit ook gebeurt. Huishoudens moeten er voldoende belang bij hebben om hun elektriciteitsgebruik te verschuiven. Dit kan bijvoorbeeld via tijdsafhankelijke nettarieven, dynamische elektriciteitsprijzen of vergoedingen voor het leveren van flexibiliteit. Daarbij is van belang dat de prikkel aansluit bij momenten waarop het elektriciteitsnet daadwerkelijk zwaar wordt belast.
3. **Maak slimme sturing eenvoudig en zoveel mogelijk automatisch:** Van huishoudens kan niet worden verwacht dat zij voortdurend de belasting van het elektriciteitsnet of elektriciteitsprijzen volgen. Slimme sturing moet daarom eenvoudig te gebruiken zijn en waar mogelijk automatisch plaatsvinden.

Besteed daarbij niet alleen aandacht aan de technische mogelijkheden, maar ook aan het daadwerkelijke gebruik. Slimme apparaten leveren pas netwinst op wanneer de slimme functies worden geactiveerd en structureel worden ingezet.

Weeg de netimpact mee bij de keuze voor warmtenetten

Warmtenetten kunnen de belasting van het elektriciteitsnet beperken doordat woningen niet individueel met een (hybride of all-electric) warmtepomp worden verwarmd. Dat betekent niet dat vanuit netperspectief overal voor een warmtenet moet worden gekozen. De aanleg van een warmtenet vraagt zelf om aanzienlijke investeringen. De keuze tussen individuele en collectieve warmte moet daarom integraal worden gemaakt.

Zorg er vervolgens voor dat warmtenetprojecten die vanuit deze integrale afweging, maatschappelijk aantrekkelijk zijn, ook daadwerkelijk gerealiseerd kunnen worden. Veel projecten lopen momenteel vast doordat de businesscase onvoldoende sluit, de propositie voor bewoners niet aantrekkelijk genoeg is en investeerders onvoldoende zekerheid hebben. De volgende maatregelen kunnen helpen deze knelpunten weg te nemen:

- **Zorg voor bekostiging van de investeringsopgave voor warmtenetten:** Warmtenetten in de bestaande bouw kennen hoge investeringen vooraf, terwijl de inkomsten pas gedurende een lange exploitatieperiode worden gerealiseerd. Zorg daarom voor voldoende middelen en langjarige zekerheid over de bekostiging van warmte-infrastructuur. Instrumenten zoals de Warmtenetten Investeringssubsidie (WIS) kunnen hieraan bijdragen. Daarbij is niet alleen de omvang van het beschikbare budget van belang, maar ook de zekerheid dat ondersteuning gedurende meerdere jaren beschikbaar blijft, zodat partijen investeringsbeslissingen kunnen nemen en projecten langjarig kunnen ontwikkelen.

- **Zorg voor een aantrekkelijke en voorspelbare propositie voor huishoudens:** Maak de totale warmtekosten concurrerend met individuele alternatieven en bied huishoudens meer zekerheid over hun toekomstige kosten. Dit kan bijvoorbeeld met een prijsgarantie, waarbij het verschil wordt gecompenseerd wanneer het kostengebaseerde tarief boven de gegarandeerde prijs uitkomt. Zorg dat er aanvullende aandacht is voor financiële ondersteuning van energiekwetsbare huishoudens.
- **Beperk het volloopriscio:** Warmtebedrijven moeten een groot deel van de infrastructuur aanleggen voordat zeker is hoeveel huishoudens aansluiten. Deze onzekerheid vergroot het investeringsrisico en daarmee de financieringskosten, waardoor de businesscase van een warmtenet verslechtert. Dit kan een vicieuze cirkel veroorzaken: onzekerheid over het aantal aansluitingen maakt een warmtenet duurder, waardoor aansluiting minder aantrekkelijk wordt en de onzekerheid verder toeneemt. De aanwijsbevoegdheid uit de Wgiw kan deze onzekerheid verkleinen. Wanneer een gemeente een gebied aanwijst waar het gasnet op termijn wordt verwijderd, ontstaat meer zekerheid dat huishoudens zullen overstappen op een alternatief voor aardgas. Als een warmtenet in dat gebied de beoogde warmteoplossing is, geeft dit het warmtebedrijf meer zekerheid over het potentiële aantal aansluitingen. De betaalbaarheidseis is daarbij een belangrijk aandachtspunt: wanneer het warmteaanbod niet aan de betaalbaarheidsvoorwaarden voldoet, kan deze bevoegdheid niet of minder effectief worden ingezet. Hierdoor kan een vicieuze cirkel ontstaan waarin onzekerheid over aansluitingen de kosten verhoogt, terwijl hogere kosten het moeilijker maken om aan de betaalbaarheidseis te voldoen. Ondersteuning van de businesscase en de betaalbaarheid moet daarom in samenhang worden gezien.
- **Bied stabiele beleidskaders:** Warmtenetten kennen lange ontwikkel- en afschrijvingstermijnen. Onzekerheid over tariefregulering, subsidieregelingen, eigendom en financiering maakt investeringsbeslissingen moeilijker. Zorg daarom voor langjarige duidelijkheid over deze randvoorwaarden en voldoende financieringsmogelijkheden voor de publieke warmtebedrijven die onder de Wcw een grotere rol krijgen.

Neem de elektrische piekvraag mee in het ontwerp van warmtenetten

Beoordeel bij nieuwe en bestaande warmtenetten niet alleen het jaarlijkse elektriciteitsgebruik, maar ook de elektriciteitsvraag op piekmomenten. Houd hier bij het ontwerp expliciet rekening mee, bijvoorbeeld bij de keuze voor warmtebronnen en piekvoorzieningen en de inzet van warmteopslag. Zo kan worden voorkomen dat juist op koude momenten, wanneer de belasting van het elektriciteitsnet al hoog is, veel extra elektrisch vermogen nodig is.

- **Ondersteun een netbewust ontwerp met beleid:** De kosten van een hoge elektrische piekvraag komen niet altijd terecht bij het warmtebedrijf, waardoor er onvoldoende prikkel kan zijn om deze te beperken. Borg de netimpact daarom in beleid en ondersteuningsinstrumenten. Stel bijvoorbeeld bij subsidies voor elektrische warmtebronnen eisen aan de inzet tijdens piekmomenten. Binnen de SDE++ gebeurt dit al voor e-boilers. Een vergelijkbare aanpak kan, waar relevant, ook voor andere elektrische warmtebronnen worden toegepast.
- **Benut warmteopslag en lagetemperatuurwarmtenetten** waar deze de piekvraag kunnen beperken. Met warmteopslag kan warmte worden geproduceerd op momenten met voldoende netcapaciteit en worden gebruikt wanneer de warmtevraag hoog is. Ook lagetemperatuurwarmtenetten kunnen door de lagere benodigde opwaardering van warmte de elektriciteitsvraag beperken. Neem deze opties daarom mee bij het ontwerp van warmtenetten en in lokale warmteprogramma's, waarbij de elektrische piekvraag van het gehele systeem leidend is.

A Methode modellering

A.1 Aanpak in hoofdlijnen

Op hoofdlijnen bestaat de modellering uit twee stappen. Eerst wordt er voor verschillende type huishoudens doorgerekend wat het elektriciteitsverbruik is op. De werkwijze voor deze doorrekening en de specificatie van de huishoudens staat beschreven in deze bijlage. Deze uurlijkse profielen worden daarna geaggregeerd en geëxtrapoleerd op basis van de nationale ontwikkelpaden om een totaalprofiel samen te stellen voor heel Nederland, wat verder toegelicht is in deze bijlage.

A.2 Netbeheer Nederland scenario's

Voor het modelleren van de warmtevraag en de bijbehorende belasting van het elektriciteitsnet is informatie nodig over de toekomstige woningvoorraad. Daarbij gaat het onder meer om de isolatiegraad van woningen en de verdeling over verschillende warmteoplossingen, zoals individuele warmtepompen, hybride warmtepompen en warmtenetten.

Voor deze informatie sluiten we aan bij de toekomstscenario's van Netbeheer Nederland (2025). Netbeheer Nederland heeft in vier mogelijke toekomstbeelden voor het Nederlandse energiesysteem uitgewerkt:

1. Koersvaste Middenweg (KM).
2. Eigen Vermogen (EV).
3. Gezamenlijke Balans (GB).
4. Horizon Aanvoer (HA).

De isolatie-aannames voor woningbouw en utiliteitsbouw zijn vergelijkbaar met de breedte van de II3050 2^e versie scenario's (Netbeheer Nederland, 2023). Tabel 3 geeft een overzicht van de isolatieniveaus en Tabel 2 de verdeling van warmteoplossingen per scenario in 2050. In onze analyse is deze techniekverdeling voor 2040 gehanteerd.

Tabel 3 – Isolatie niveau per scenario van I13050 2e versie van NetbeheerNederland

	Decentrale initiatieven	Nationaal leiderschap	Europese integratie	Internationale handel
Isolatie	Gemiddeld A/B	Gemiddeld A	Gemiddeld A-B	Gemiddeld B

Tabel 4 – Overzicht van de verdeling per warmtetechniek in 2050 voor alle vier de scenario's van NetbeheerNederland

Warmteoplossing	KM	EV	GB	HA
Warmtepomp	50%	55%	25%	25%
Hybride warmtepomp	22%	10%	55%	60%
Warmtenet	20%	30%	15%	10%
Overig	8%	5%	5%	5%

A.3 Modelling met CEnergie

CEnergie is een energiemodel dat per tijdstap het aanbod en de vraag van alle energiebronnen en afnemers binnen een netwerk registreert. Elke bron en afnemer heeft een prioriteit: afnemers geven aan hoe essentieel hun energievraag is via een 'readiness-to-pay', vergelijkbaar met een prijs per kWh. Vergelijkbaar geven energiebronnen aan tegen welke kosten te kunnen leveren, en hoeveel.

CEnergie prioriteert vervolgens de energiestromen zodanig dat de vraag met de hoogste 'readiness-to-pay' wordt ingevuld met aanbod met de laagste leveringskosten. CEnergie houdt alle energiestromen per tijdstap bij, waardoor traceerbaar is hoeveel energie van welke bron naar welke afnemer gaat.

CEnergie is ontworpen om flexibiliteit te modelleren; als een afnemer (bijvoorbeeld een elektrisch voertuig) minder energie ontvangt dan gepland, wordt het tekort doorgeschoven naar een volgende tijdstap. Omgekeerd kan energievraag ook naar voren worden gehaald als er bijvoorbeeld voldoende (goedkope) energie beschikbaar is. Dit maakt het mogelijk om dynamisch om te gaan met variabele vraag en aanbod, zonder afhankelijk te zijn van statische energieprofielen. Het framework is daardoor bijzonder geschikt voor het modelleren van flexibele energiesystemen.

A.3.1 Prijsprikkels waarop prijsgestuurde warmtepompen sturen

In deze studie is ervan uitgegaan dat prijsgestuurde warmtepompen reageren op een prijs per kWh, die per uur van de dag verschilt. Een gedetailleerde beschrijving van de manier waarop de prijsgestuurde warmtepompen zijn gemodelleerd en welke modelaannames daarbij zijn gedaan is beschreven in 'Zoveel kan met lokale flex!' (CE Delft, 2026).

De prijsprikkels voor elektriciteit kennen, de volgende vormen:

- **Elektriciteit inkoop (afname):** De inkoopprijs van elektriciteit bestaat uit meerdere kostencomponenten:
 - Day-aheadprijs voor elektriciteit (zie Bijlage B.2.1).
 - Risico- en winstmarge voor energieleverancier (zie Bijlage B.2.1).
 - Energiebelasting (zie Bijlage B.2.1): voor de huishoudens geldt dat een deel of het geheel van de energiebelasting voor elektriciteit en gas gecompenseerd kan worden via de teruggaaf energiebelasting, welke maximaal 630 €(incl. btw)/jaar bedraagt. Voor de doorrekeningen met prijsgestuurde assets wordt vooraf een netto-energiebelasting op jaarbasis geschat, die vervolgens wordt gebruikt om de totale elektriciteitsprijs per uur te bepalen.
 - Tijdsafhankelijke en vaste nettarieven voor kleinverbruikers (zie Bijlage B.2.3).
 - Btw, die 21% bedraagt voor huishoudens.
 - Congestieprikkel voor afname- en invoedingscongestie (zie Bijlage B.2.4).
 - Lokaal opgewekte elektriciteit, uit bijvoorbeeld zon-pv, wordt aangenomen als kostenloze elektriciteit.
- **Elektriciteitverkoop (teruglevering):**
 - De verkoopprijs voor elektriciteit bestaat enkel uit de day-aheadprijs exclusief btw.
 - Congestieprikkels voor invoedingscongestie (zie Bijlage B.2.4).

Bij de hybride warmtepomp wordt ook de gasinkoopprijs meegenomen in de afweging of de warmtevraag vooral door de warmtepomp of door de gasketel moet worden ingevuld. Details over de aangenomen gasprijs zijn te vinden Bijlage B.2.2.

A.3.2 Modelleren huishoudens

In deze studie zijn individuele huishoudens in verschillende configuraties op uurbasis met CEnegie energetisch doorgerekend voor een heel jaar.

Verschillende types huishoudens zijn gedefinieerd die verschillen in welke assets aanwezig zijn bij dat type huishouden. Hieronder valt een keuze voor het verwarmingsstelsel en welke assets het huis nog meer heeft. De mogelijke keuzes zijn opgenomen in Tabel 5.

Tabel 5 – De mogelijke keuzes voor verwarmingssystemen voor huishoudens en opties voor elektrische assets die een huishouden kan bezitten

Mogelijke verwarmingssystemen	Elektrische assets
Bodem warmtepomp	Elektrisch voertuig (EV)
Combi warmtepomp	Vehicle to grid
Gasboiler	Zon-pv
Hybride warmtepomp	Thuisbatterij
Lucht warmtepomp plus e-boiler	
Warmtebuffer	
HT/MT-warmtenet	
LT-warmtenet	

Voor ieder type huishouden zijn meerdere huishoudens doorrekend die onder andere verschillen in het standaard verbruiksprofiel, warmtevraagprofiel en/of opgestelde vermogen van zon-pv. Details over de verbruiksprofielen die zijn gebruikt voor deze studie zijn te vinden in Bijlage B.1.1.

A.4 Methode: Extrapolatie

De modelleringsresultaten van de huishoudens zijn geëxtrapoleerd naar het niveau van heel Nederland in 2040. Voor de ontwikkeling van het aantal gebouwen en hoeveelheid en type verwarmingssystemen is gebruikgemaakt van de instellingen van twee ETM-scenario's:

- [NBNI scenarios 2025 Koersvaste Middenweg - 2040](#)
- [NBNI scenarios 2025 Eigen Vermogen - 2040](#)

Het opstellen van een gelijktijdig profiel bestaat uit twee onderdelen: 81 klantprofielen op basis van het daadwerkelijke gas- en elektriciteitsverbruik uit de Open Slimme Meter-dataset van Liander, en een gewicht in de vorm van een percentage. In de Netbeheer Nederland-scenario's onderscheiden we vier woningformaten: appartement, rijwoning, twee-onder-één-kap en vrijstaande woning. De verdeling van deze formaten hebben we omgezet naar percentages die optellen tot 100%; deze percentages dienen als gewicht bij het berekenen van het gelijktijdige profiel.

Om voor elk van de vier woningformaten een profiel te maken, hebben we alle 81 klanten op basis van hun elektriciteitsverbruik evenredig verdeeld over de vier groepen. Per groep hebben we vervolgens het gemiddelde profiel van de klanten binnen die groep bepaald.

Met het percentage per woningformaat als gewicht en het gemiddelde profiel per groep hebben we daarna het gewogen gemiddelde berekend. Dit gewogen gemiddelde vormt het gelijktijdige profiel voor ieder archetype.

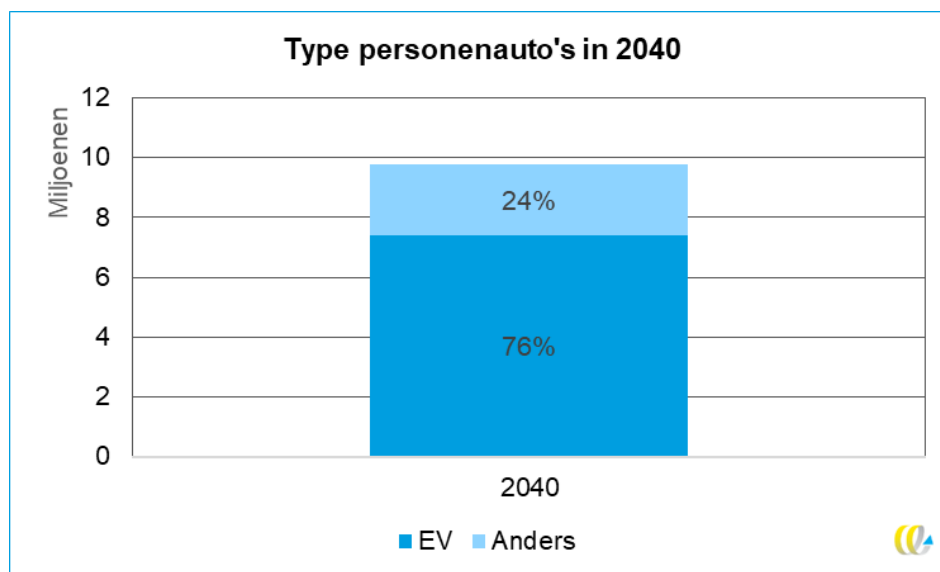
Tot slot vermenigvuldigen we het profiel per archetype met het aantal woningen per archetype per scenario, zoals bepaald in de extrapolatie. De som hiervan levert het nationale profiel op voor ieder scenario.

Voor mobiliteit is ervoor gekozen om uit te gaan van de Elaad Outlooks (scenario Midden), specifiek Outlook personenauto's 2024Q1 (Elaadnl, 2025)

A.4.1 Mobiliteit

De hoeveelheden elektrische voertuigen en de laadpunten voor 2040 zijn opgenomen in Figuur 7. Deze aantallen zijn constant over de verschillende scenario's en hebben daardoor geen impact op de verschillen in de uiteindelijke resultaten.

Figuur 7 – Extrapolatieaannames: aantallen en laadplekken voertuigen



A.5 Beperkingen van het model

- In groeiende elektrificatie in de verschillende scenario's zijn geen aannames gedaan over de groeiende elektriciteitsvraag van airco's om te koelen wegens een gebrek aan betrouwbare data. Wel is het mogelijk dat in de elektriciteitsverbruik profielen van de verschillende woningen (zie Bijlage B.1.1 voor verdere informatie) enig effect van airco's zit, echter is dit niet mogelijk om te valideren.
- Het effect van isolatie op de piekvermogensvraag is niet expliciet gemodelleerd in het model.

B Modelinvoer

B.1 Elektriciteits- en warmte profielen

B.1.1 Huishoudens

De verbruiksprofielen die we voor huishoudens gebruiken, zijn in de basis gebaseerd op de [slimme meter-verbruiksdata van Liander](#). De dataset, bestaande uit respectievelijk kwartier- en uurdata van elektriciteits- en gasmeters van 80 klanten, is door ons opgeschoond en gereduceerd tot 38 klantprofielsets. Hierbij is gefilterd op klanten zonder zon-pv, klanten die verwarmen met een gasketel, exclusie van uitschieters met zeer hoog of zeer laag verbruik, en databeschikbaarheid voor > 99,9% van de tijdstappen. De dataset komt uit het jaar 2013, een relatief koud klimaatjaar, welk we ook hanteren voor de doorrekeningen in deze studie.

De elektriciteitsvraag van de huishoudens is opgesplitst in een basislast-, middenlast- en een pieklastprofiel. Overwegend dekt de basislast het sluisverbruik, de middenlast het gebruik gedurende uren dat men thuis is (verlichting, televisie, audio, computers, ovens) en de pieklast komt qua duur en pieken veelal overeen met gebruik van apparaten als wasmachines, drogers, vaatwassers en elektrische kookplaten.

De warmtevraag van de huishoudens is opgesplitst in ruimteverwarming en tapwaterverwarming. Dit wordt gedaan op basis van de gaslevering aan woningen buiten het stookseizoen.

In deze studie maken we gebruik van de splitsing zoals die gemaakt is in 'Zoveel kan met lokale flex!' (CE Delft, 2026) voor zowel het elektriciteitsgebruik als de warmtevraag.

De 38 klanten vormen een mix van woningtypes (vrijstaand, rijwoning, hoekwoning en appartementen) en gezinssituaties (alleenstaand, paar zonder kinderen en gezin met kinderen). Voor beide doorsnedes zijn de verbruiken redelijk representatief, hoewel er relatief weinig appartementen in de dataset hebben. Voor elke woningconfiguratie, bestaande uit bijvoorbeeld een hybride warmtepomp, zonnepanelen en een thuisbatterij, rekenen we alle 38 klantprofielsets door.

De modellering van ruimteverwarming is rudimentair, vooral vanwege beperkte data voor nationale extrapolatie (zoals energieverbruik en isolatiegraad per woningtype).

B.1.2 Thuislaadprofielen

Tweehonderd thuislaadprofielen zijn gegenereerd door gebruik te maken van de Elaad profielengenerator¹, voor het jaar 2039 omdat 2040 een schrikkeljaar is. De instellingen zijn weergegeven in Tabel 6.

Tabel 6 – Instellingen voor de thuislaadprofielen uit Elaad-profielengenerator

Parameter	Waarde
Profile type	Charge point
Number of vehicle profiles	100
Simulation year	2039
Location type	Home
Charging capacity	11
Smart charging	Off
Random seed	123, 124
Datum	11-06-2026

B.1.3 Zon-pv-profielen

In deze studie is een algemeen gemiddeld zonneprofiel gebruikt, afkomstig van ned.nl. Dit profiel is per huishouden en mkb geschaald naar verhouding van het jaarlijkse standaard elektriciteitsverbruik.

B.2 Kosten kengetallen

B.2.1 Day-aheadprijzen elektriciteit

De uurlijkse day-aheadprijzen voor 2040 zijn afkomstig van het Klimaat- en Energieverkenning 2025 (PBL, 2025).

Boven op de kale leveringsprijs voor elektriciteit wordt er ook een marge voor risico en winst gerekend door de energieleveranciers. In deze studie is voor een dynamisch energiecontract aangenomen dat deze 0,03 €/kWh bedraagt.

Voor de energiebelasting voor elektriciteit in 2040 wordt 0.074 €/kWh aangenomen.

¹ <https://charging.elaad.nl/>

B.2.2 Gasprijs

In deze studie is een kale leveringsprijs (zonder energiebelasting, btw en risico- en winst-marges) voor gas aangenomen van 0,23 €/m³.

Bovenop de kale leveringsprijs voor gas wordt er ook een marge voor risico en winst gerekend door de energieleveranciers. In deze studie is aangenomen dat deze 0,19 €/m³ bedraagt.

Voor de energiebelasting voor gas in 2040 wordt 0.5837 €/m³ aangenomen.

B.2.3 Tijd- en kWh-afhankelijke (ToU-)nettarieven

Naast de algemene tariefstijging is Netbeheer Nederland voornemens een nieuw tarief-systeem te implementeren, dat huishoudens een financieel signaal geeft om hun verbruik te verschuiven. Het voorstel voor tijdsafhankelijke transporttarieven voor kleinverbruikers heeft als doel netcongestie te verminderen door piekbelasting op het net af te vlakken (Netbeheer Nederland, 2026b). Het grootste deel van de kosten (twee derde) hangt af van het verbruik per tijdsblok, met hogere tarieven in piekuren en lagere tarieven in daluren. Deze zijn weergegeven in Figuur 8. Het resterende deel (een derde) blijft afhankelijk van de grootte van de aansluiting. Het voorstel ligt ter beoordeling bij de ACM en treedt naar verwachting in 2029 in werking. Huishoudens met een warmtepomp, laadpaal of thuis-batterij kunnen met slimme aansturing profiteren van de lagere daltarieven en zo hun jaarlijkse netbeheerkosten beperken.

In de FIEN2026 is een stijging opgenomen van de nettarieven (Netbeheer Nederland, 2026c). Daarnaast is in 2026 het codewijzingsvoorstel gepubliceerd met daarin de wegingsfactoren per uur van de dag per maand (Netbeheer Nederland, 2026b). CE Delft heeft een inschatting gemaakt van de verwachte nettarieven per kWh in 2040, uitgaande van het de wegingsfactoren en geprognosticeerde gemiddelde nettarieven per klant. Dit leidt tot het schema Figuur 8.

Figuur 8 – Geprognosticeerde nettarieven in 2040 in € per kWh per uur per maand. Er zijn vier tarieven: € 0,02 (groen), € 0,10 (geel), € 0,14 (oranje) en € 0,17 (rood)

2040	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00
Januari	€ 0,10	€ 0,10	€ 0,10	€ 0,10	€ 0,10	€ 0,10	€ 0,10	€ 0,14	€ 0,17	€ 0,17	€ 0,14	€ 0,14	€ 0,10	€ 0,10	€ 0,10	€ 0,14	€ 0,17	€ 0,17	€ 0,17	€ 0,17	€ 0,17	€ 0,17	€ 0,14	€ 0,14
Februari	€ 0,10	€ 0,10	€ 0,10	€ 0,10	€ 0,10	€ 0,10	€ 0,10	€ 0,14	€ 0,17	€ 0,17	€ 0,14	€ 0,14	€ 0,10	€ 0,10	€ 0,10	€ 0,14	€ 0,17	€ 0,17	€ 0,17	€ 0,17	€ 0,17	€ 0,17	€ 0,14	€ 0,14
Maart	€ 0,10	€ 0,10	€ 0,10	€ 0,10	€ 0,10	€ 0,10	€ 0,10	€ 0,10	€ 0,10	€ 0,10	€ 0,10	€ 0,02	€ 0,02	€ 0,02	€ 0,02	€ 0,02	€ 0,10	€ 0,10	€ 0,10	€ 0,14	€ 0,14	€ 0,14	€ 0,14	€ 0,14
April	€ 0,10	€ 0,10	€ 0,10	€ 0,10	€ 0,10	€ 0,10	€ 0,10	€ 0,10	€ 0,10	€ 0,10	€ 0,10	€ 0,02	€ 0,02	€ 0,02	€ 0,02	€ 0,02	€ 0,10	€ 0,10	€ 0,10	€ 0,14	€ 0,14	€ 0,14	€ 0,14	€ 0,14
Mei	€ 0,10	€ 0,10	€ 0,10	€ 0,10	€ 0,10	€ 0,10	€ 0,10	€ 0,10	€ 0,02	€ 0,02	€ 0,02	€ 0,02	€ 0,02	€ 0,02	€ 0,02	€ 0,02	€ 0,02	€ 0,02	€ 0,02	€ 0,10	€ 0,10	€ 0,14	€ 0,14	€ 0,14
Juni	€ 0,10	€ 0,10	€ 0,10	€ 0,10	€ 0,10	€ 0,10	€ 0,10	€ 0,10	€ 0,02	€ 0,02	€ 0,02	€ 0,02	€ 0,02	€ 0,02	€ 0,02	€ 0,02	€ 0,02	€ 0,02	€ 0,02	€ 0,10	€ 0,10	€ 0,14	€ 0,14	€ 0,14
Juli	€ 0,10	€ 0,10	€ 0,10	€ 0,10	€ 0,10	€ 0,10	€ 0,10	€ 0,10	€ 0,02	€ 0,02	€ 0,02	€ 0,02	€ 0,02	€ 0,02	€ 0,02	€ 0,02	€ 0,02	€ 0,02	€ 0,02	€ 0,10	€ 0,10	€ 0,14	€ 0,14	€ 0,14
Augustus	€ 0,10	€ 0,10	€ 0,10	€ 0,10	€ 0,10	€ 0,10	€ 0,10	€ 0,10	€ 0,02	€ 0,02	€ 0,02	€ 0,02	€ 0,02	€ 0,02	€ 0,02	€ 0,02	€ 0,02	€ 0,02	€ 0,02	€ 0,10	€ 0,10	€ 0,14	€ 0,14	€ 0,14
September	€ 0,10	€ 0,10	€ 0,10	€ 0,10	€ 0,10	€ 0,10	€ 0,10	€ 0,10	€ 0,10	€ 0,10	€ 0,10	€ 0,02	€ 0,02	€ 0,02	€ 0,02	€ 0,02	€ 0,10	€ 0,10	€ 0,10	€ 0,14	€ 0,14	€ 0,14	€ 0,14	€ 0,14
Oktober	€ 0,10	€ 0,10	€ 0,10	€ 0,10	€ 0,10	€ 0,10	€ 0,10	€ 0,10	€ 0,10	€ 0,10	€ 0,10	€ 0,02	€ 0,02	€ 0,02	€ 0,02	€ 0,02	€ 0,10	€ 0,10	€ 0,10	€ 0,14	€ 0,14	€ 0,14	€ 0,14	€ 0,14
November	€ 0,10	€ 0,10	€ 0,10	€ 0,10	€ 0,10	€ 0,10	€ 0,10	€ 0,14	€ 0,17	€ 0,17	€ 0,14	€ 0,14	€ 0,10	€ 0,10	€ 0,10	€ 0,14	€ 0,17	€ 0,17	€ 0,17	€ 0,17	€ 0,17	€ 0,17	€ 0,14	€ 0,14
December	€ 0,10	€ 0,10	€ 0,10	€ 0,10	€ 0,10	€ 0,10	€ 0,10	€ 0,14	€ 0,17	€ 0,17	€ 0,14	€ 0,14	€ 0,10	€ 0,10	€ 0,10	€ 0,14	€ 0,17	€ 0,17	€ 0,17	€ 0,17	€ 0,17	€ 0,17	€ 0,14	€ 0,14

Bron: Analyse van CE Delft gebaseerd op Netbeheer Nederland (2026c) en (2026b).

B.2.4 Congestieprikkels

Om de slimme sturing van warmtepompen extra te stimuleren, maken we in deze studie gebruik van drie 'kunstmatige congestieprikkels'. Dit zijn:

1. Een congestieprikkel voor korte afnamecongestie: de hoogte van deze financiële prikkel bedraagt in deze studie 0,5 €/kWh. De congestieduur is tussen de 2 en 4 uur.
2. Een congestieprikkel voor lange afnamecongestie: de hoogte van deze financiële prikkel bedraagt in deze studie 1 €/kWh. In de studie komt deze eenmalig in januari voor, met een totale duur van 52 uur.
3. Een congestieprikkel voor korte invoedingscongestie: de hoogte van deze financiële prikkel bedraagt in deze studie -0,5 €/kWh. De congestieduur is tussen de 2 en 9 uur.

C Analyse effect van isolatie op warmteprofielen en piekbelasting

Over de effecten van isolatiemaatregelen op de jaarlijkse warmtevraag zijn relatief veel kengetallen en rekenmethoden beschikbaar. Empirische informatie over veranderingen in het uurprofiel en de piekwarmtevraag is veel beperkter. Bovendien zijn de beschikbare resultaten sterk afhankelijk van woningkenmerken, bewonersgedrag, weersomstandigheden en de gehanteerde definitie van een piek.

C.1 Analyse op basis van het profiel per bouwjaar

De Installatiemonitor laat zien dat de warmtevraag per vierkante meter samenhangt met het bouwjaar en daarmee indirect met de energetische kwaliteit van de woning. Oudere woningen hebben vaker een hoge warmtevraag en de hoogste waargenomen verbruiken komen vaker voor bij oudere bouwjaren. Uit de rapportage over de netimpact van warmtepompen blijkt daarentegen dat het bouwjaar binnen de onderzochte populatie weinig verklarende waarde heeft voor het elektrische piekvermogen van de warmtepomp. Een mogelijke verklaring is dat bouwjaar slechts een indirecte indicator van de isolatiekwaliteit is: oudere woningen kunnen inmiddels zijn gerenoveerd, terwijl ook woninggrootte, bewonersgedrag, installatiekeuze en elektrische bijstook het piekvermogen beïnvloeden.

Analyses van TNO-warmteprofielen voor rijwoningen geven een vergelijkbaar beeld. Het gemiddelde warmtegebruik neemt over het algemeen af bij nieuwere bouwjaren, maar de correlatie tussen bouwjaar en de hoogste uurwaarde is beperkt. Wel hebben beter geïsoleerde woningen gedurende minder uren per jaar een hoge warmtevraag. Isolatie lijkt het warmteprofiel dus vooral over een groter aantal uren te verlagen, zonder dat de absolute hoogste piek altijd even sterk afneemt.

C.2 Kwantitatieve resultaten uit beschikbare studies

Vergelijking twee wijken

Een vergelijking van twee wijken met behulp van de TNO-Warmteprofielengenerator resulteerde in een circa 25% lagere jaarlijkse warmtevraag, maar slechts circa 5% lagere piekwarmtevraag voor de beter geïsoleerde wijk (CE Delft, 2025). Dit betreft geen voor-en-na-analyse van dezelfde woningen. Verschillen in woningtype, woninggrootte en bewonersprofielen kunnen daarom mede van invloed zijn.

De renovatieverkenner

De Renovatieverkenner van de TU Eindhoven onderzoekt met een gevoeligheidsanalyse de invloed van afzonderlijke woningkenmerken op de electricity one percent peak (electricity OPP). Deze indicator is het gemiddelde elektrische vermogen gedurende de 1% uren met de hoogste elektriciteitsafname, oftewel ongeveer 88 uur per jaar bij uurwaarden. Het betreft daarmee een robuustere piekindicator dan de absolute hoogste uurwaarde.

De gevoeligheidsanalyse van de Renovatieverkenner laat zien dat beter isolerende beglazing de elektrische piekbelasting van woningen met een warmtepomp verlaagt. Voor circa 63% van de gesimuleerde woningen is het effect van HR++ of triple glas ten opzichte van enkel glas beperkt tot ongeveer 0,5 kW. Voor circa 31% bedraagt de verlaging ongeveer 2 kW en voor een kleine groep van 7% circa 5 kW. Het effect is daarmee sterk woning- en installatieafhankelijk (Xu & P. Barthe, 2025).

D Analyse mogelijkheden verduurzaming binnen één-faseaansluiting

De mogelijkheden voor verduurzaming verschillen per aansluitingstype. Daarbij geldt dat niet alleen het vermogen van individuele apparaten van belang is, maar vooral de gelijktijdigheid van verschillende toepassingen. Op basis van verschillende bronnen en de doorerekende woningen in deze studie geven we aan wat de mogelijkheden zijn binnen een éénfase- en een driefaseaansluiting. Alle netbeheerders geven echter aan dat een erkend installateur nodig is om voor een specifieke situatie aan te geven wat mogelijk is.

D.1 Mogelijkheden binnen een éénfaseaansluiting

Een éénfaseaansluiting biedt voldoende ruimte voor een beperkte mate van elektrificatie. Hybride warmtepompen kunnen doorgaans zonder problemen worden toegepast bij zowel een 1x25A- als een 1x35A-aansluiting (Liander, 2026) (Milieu Centraal, 2026).

Voor volledig elektrische warmtepompen is de situatie minder eenduidig, dan zijn er soms wel aanpassingen nodig aan de aansluiting (Liander, 2026). Dit hangt af van hoe goed je woning is geïsoleerd en welk vermogen de warmtepomp nodig heeft (Milieu Centraal, 2026). Voor de meeste warmtepompen is een 1x35A-aansluiting over het algemeen voldoende (Enexis Netbeheer, 2026). Gelijktijdige stroomafname blijft een aandachtspunt. Milieu Centraal raadt daarom aan altijd te kiezen voor een warmtepomp die goed kan moduleren (op lager vermogen werken) en die load balancing (mogelijkheid om af te schakelen op piekmomenten) heeft (Milieu Centraal, 2026).

Ook elektrisch koken, met een kookplaat geschikt voor éénfase, en het laden van een elektrische auto met een beperkt laadvermogen zijn veelal mogelijk (Milieu Centraal, 2026). Bij een éénfaseaansluiting past een laadpaal van 3,6 kW, daarmee duurt het laden wel een stuk langer dan bij een reguliere thuislaadpaal van 11 kW (ANWB, 2026).

De ANWB raadt aan overbelasting door gelijktijdig gebruik te voorkomen met dynamic load balancing. De laadpaal houdt dan bij hoe hoog het stroomverbruik in huis is en past het laadvermogen daarop aan.

Thuisbatterijen bestaan in veel vermogens, eventueel kan dat vermogen beperkt worden voor éénfaseaansluitingen. Heel vaak is een batterij van zo'n 5 kW echter gewoon voldoende voor het eigen dagelijkse verbruik en overschot van zonne-energie. De batterij die wordt ingezet voor energiehandel wordt steeds minder belangrijk, onder andere door de beleidswijzigingen met afschaffing salderingsregeling en ToU-nettarief. De batterijen gericht op de eigen woning passen ook prima binnen een éénfaseaansluiting.

Voor zonnepanelen geldt dat het net nodig is voor teruglevering van de overschotten die niet zelf worden gebruikt. Tot twaalf zonnepanelen passen sowieso op een 1x35A-aansluiting, (Enexis Netbeheer, 2026) maar met eigen verbruik of slimme sturing van de omvormer zijn meer zonnepanelen ook mogelijk. Voor veel woningen zal de aansluiting dus geen probleem zijn voor de realisatie van nieuwe zonnepanelen.

Voor huishoudens die meerdere elektrische toepassingen combineren, bijvoorbeeld een warmtepomp, elektrische auto en thuisbatterij neemt de kans toe dat een kleine aansluiting onvoldoende is. Daarbij is er vooral aandacht nodig voor vermogensmanagement. Door het gelijktijdig optreden van piekvermogens kan ook een 1x35A-aansluiting in sommige situaties knellend worden. We denken daarbij vooral aan winterperiodes waarin zowel de warmtepomp ingezet moet worden, als dat laden van de elektrische auto vereist is. Afhankelijk van de elektriciteitsbehoefte kan een 1x35A-aansluiting dan onvoldoende blijken, ook met slimme aansturing.

D.2 Rol van slimme sturing

De benodigde aansluitcapaciteit wordt niet alleen bepaald door het vermogen van afzonderlijke apparaten, maar vooral door de mate waarin deze gelijktijdig elektriciteit gebruiken. De technische mogelijkheden van een aansluiting worden in toenemende mate bepaald door slimme sturing. Een energiemanagementsysteem zorgt voor slimme aansturing van laadpalen, warmtepompen, batterijen en andere apparaten, waardoor kunnen piekvermogens worden beperkt. Hierdoor kunnen meer verduurzamingsmaatregelen binnen een bestaande aansluiting worden ingepast dan op basis van een eenvoudige optelsom van vermogens zou worden verwacht.

Pilots van Elaad laten zien dat het toepassen van dynamische laadsturing via een Home Energy Management System (HEMS) de impact van het opladen van elektrische voertuigen op het elektriciteitsnet aanzienlijk. Daarnaast wordt momenteel gewerkt aan gestandaardiseerde communicatie tussen HEMS'en en apparaten zoals laadpalen, warmtepompen en thuisbatterijen, zodat deze flexibel kunnen inspelen op beschikbare netcapaciteit en lokale opwek. Ook zijn er tests met software voor warmtepompen die rekening houden met beschikbare ruimte op het net (Warmte365, 2026).

Slimme sturing biedt daarmee niet alleen voordelen voor huishoudens, maar ook voor het elektriciteitsnet. Door laadpalen, warmtepompen en thuisbatterijen als stuurbaar vermogen

in te zetten, kan de elektriciteitsvraag worden verschoven naar momenten waarop het net minder wordt belast. Hierdoor neemt de gelijktijdige piekvraag af, kan de beschikbare netcapaciteit efficiënter worden benut en kan in veel gevallen worden voorkomen dat een zwaardere aansluiting nodig is.

Literatuur

- ANWB. (2026). *1 fase of 3 fase laden: Hoe zit dat?* ANWB.
<https://www.anwb.nl/auto/elektrisch-rijden/laadpalen/1-fase-of-3-fase-hoe-zit-het>
- CBS. (2024). *Statline: Woningvoorraad; woningtype op 1 januari, regio*. CBS.
<https://opendata.cbs.nl/#/CBS/nl/dataset/85035NED/table?dl=B5235>
- CBS. (lopend). *Huishoudens in de toekomst*. In.
- CE Delft. (2023). *Impact van de warmtetransitie op het lokale elektriciteitsnet - inzicht en advies voor gemeenten*.
- CE Delft. (2025). *Warmten(i)et vastgelopen*.
- CE Delft. (2026). *Zoveel kan met lokale flex!*
- Elaadnl. (2025). *Interactieve outlook*. ElaadNL. <https://outlook.elaad.nl/>
- Enexis Netbeheer. (2026). *Welke aansluitwaardes zijn er?* Enexis Netbeheer.
<https://www.enexis.nl/aansluitingen/welke-aansluiting-heb-ik-nodig>
- Liander. (2026). *Warmtepomp*. Liander. <https://www.liander.nl/verduurzamen/warmtepomp>
- Milieu Centraal. (2026). *Verduurzamen kan ook zonder 3-fase-aansluiting*. Milieu Centraal.
<https://www.milieucentraal.nl/nieuwsberichten/verduurzamen-kan-ook-zonder-3-fase-aansluiting/>
- Netbeheer Nederland. (2023). *Het energiesysteem van de toekomst: De ii3050-scenario's*.
- Netbeheer Nederland. (2025). *Netbeheer nederland scenario's editie 2025*.
- Netbeheer Nederland. (2026a). *Capaciteitskaart*. Netbeheer Nederland.
<https://data.partnersinenergie.nl/capaciteitskaart/totaal/afname>
- Netbeheer Nederland. (2026b). *Codewijzigingsvoorstel tijdsafhankelijke transporttarieven voor aangesloten met een kleine aansluiting op een distributiesysteem voor elektriciteit*. Netbeheer Nederland.
<https://www.acm.nl/system/files/documents/codewijzigingsvoorstel-volume-en-tijdsafhankelijke-transporttarieven-voor-kleinverbruikers.pdf>
- Netbeheer Nederland. (2026c). *Financiële impact van het energiebeleid voor netbeheerders 2026*.
- PBL. (2025). *Klimaat- en energieverkenning (kev) 2025*.
- Rijksoverheid. (2025). *Schakelen naar de toekomst: Ibo bekostiging elektriciteitsinfrastructuur*.
- Stichting Warmtenetwerk. (2026). *Nationaal warmtenet trendrapport 2026*.
- Stroomversnelling. (2026). *Kansen achter de meter - wanneer kunnen woningen verantwoord elektrificeren achter de bestaande aansluiting?*
- Warmte365. (2026, 1 juli 2026). *Aansluitstop utrecht: De warmtepomp is de oplossing, niet het probleem*. Warmte365. <https://www.warmte365.nl/nieuws/aansluitstop-utrecht-de-warmtepomp-is-de-oplossing-niet-het-probleem-66ABB2AE.html>
- Xu, L., Abbas, G. M., Cvetkov-Iliev, A., Soulios, V., Loonen, R. C. G. M., Hoes, P.-J., Havinga, L. C., & Desmedt, P. Barthe, M.C., S. Roudier, L. Sancho. (2025). *The renovation explorer - sensitivity analysis and selection of parameters report v2.0: Model verification and scenario reduction*.