JANUARI
2026



NETBEWUST RENOVEREN EN ELEKTRIFICEREN

Handelingsperspectief op basis van praktijkdata

COLOFON

Datum
20 januari 2026

Versie
1.4

Auteurs
Simon Verduijn, Marten Witkamp, Nicolas Dickinson,
Petra Izeboud, Zeno Cramwinckel

Vormgeving
Bas van Mourik

Opdrachtgevers
Werkgroep Netbewust Installeren

Opdrachtnemer
Vereniging de BredeStroomversnelling

Partners
Ministerie van Volkshuisvesting en Ruimtelijke Ordening,
Ministerie van Klimaat en Groene Groei, Aedes, Stedin, Liander, Techniek NL,
Provincie Utrecht, Provincie Gelderland, Provincie Flevoland,
Rijksdienst voor Ondernemend Nederland, Netbeheer Nederland

Deze publicatie is beschikbaar onder de Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International License.

Je mag deze publicatie en delen uit deze publicatie kopiëren, delen en aanpassen, zolang je de oorspronkelijke auteur(s) vermeldt, het niet voor commerciële doeleinden gebruikt en eventuele wijzigingen onder dezelfde licentie deelt.

Ministerie van Volkshuisvesting en Ruimtelijke Ordening

Ministerie van Klimaat en Groene Groei

aedes

PROVINCIE UTRECHT

STEDIN NET

provincie Gelderland

Liander

PROVINCIE FLEVOLAND

Techniek Nederland

Rijksdienst voor Ondernemend Nederland

Netbeheer Nederland

stroom versnelling

INHOUDSOPGAVE

SAMENVATTING	4
ACHTERGROND	6
DEEL A RAPPORTAGE	7
1. PROBLEEMSTELLING, FOCUS & AANPAK	8
2. DEFINITIES EN ACHTERGROND	13
3. NETBELASTING BESTAANDE BOUW	17
4. MAATREGELEN OM NETBELASTING TE BEPERKEN	23
5. PRESTATIEKADER NETBEWUST RENOVEREN	30
6. CONCLUSIES	35
7. AANBEVELINGEN	40
DEEL B VERANTWOORDING	43
B1. ENERGIETRANSITIE DATASET	44
B2. KLIMAATCORRECTIE	53
B3. MODELLEREN MAATREGELEN NETBELASTING	63
Bijlage 1: Dagprofielen Zomer	65
Bijlage 2: Dagprofielen Winter	66
Bijlage 3: Woningen en warmtebehoefte	67
Bijlage 4: Warmtestrategieën van de Startanalyse 2025	70
Bijlage 5: Geconsulteerde experts	71
Bijlage 6: Afkortingen	72





SAMENVATTING

Aanleiding en doel

Het verduurzamingsproces bij woningcorporaties is een complexe puzzel, waarin technische, sociale, financiële en beleidsmatige belangen voortdurend met elkaar botsen én elkaar nodig hebben. Voor een van de puzzelstukjes is dit rapport opgesteld: toenemende netcongestie in Nederland belemmert steeds vaker de uitvoering van renovatieplannen door woningcorporaties. Het doel van dit rapport is, zoals is afgesproken in de Nationale Prestatie-afspraken 2025-2035, "een leidraad (op te stellen) om woningcorporaties te helpen met netbewust verduurzamen". Daarbij hoort het geven van inzicht in de huidige netbelasting van verduurzamingsstrategieën en maatregelen om die netbelasting te verlagen.

Dit rapport beoogt met adviezen op basis van praktijkdata het gesprek tussen partijen – met elk hun eigen uitdagingen en randvoorwaarden – te faciliteren en het wederzijds begrip te vergroten, zodat de energietransitie niet vastloopt door een gebrek aan een integrale blik, maar gedragen keuzes mogelijk worden.

De scope van het rapport is primair gericht op all-electric woningen, omdat daarvan de meeste praktijkdata beschikbaar zijn en daar ook de grootste problemen ontstaan. Tegelijkertijd is het een nadrukkelijke wens om in de toekomst ook de werkelijke netbelasting van collectieve systemen (zoals warmtenetten) op basis van monitoringdata inzichtelijk te maken, zodat het handelingsperspectief verder verbreed kan worden.

Netbelasting van woningen met een warmtepomp

De elektrificatie van woningen met gebruik van individuele elektrische warmtepompen (strategie S1 uit de Startanalyse) en elektrisch koken, leidt tot een toename van de netbelasting ten opzichte van verwarmen met aardgas. Uit praktijkdata, geanalyseerd in deze studie, blijkt dat de totale piek afnamevraag van een woning met individuele warmtepomp – gemiddeld over een groep woningen en per 100 m² – naar verwachting 1,7 kW bedraagt in een koud klimaatjaar (1991, met een minimum effectieve dag-gemiddelde temperatuur van -12.3°C), wat overeenkomt met 17 W/m². Klimaatcorrectie laat zien dat de piek in het koude jaar 1991 beperkt hoger lijkt uit te vallen (+3 tot 8%) dan in het gemeten jaar.

De netbelasting is daarmee significant lager dan eerdere verwachtingen van PBL, maar blijft een aandachtspunt voor het elektriciteitsnet, vooral bij grootschalige woningverduurzaming. De woningen in de praktijkdataset hebben een gemiddelde warmtevraag van circa 51 kWh_th/m²/jaar, oftewel ze zijn goed geïsoleerd. Dit is het gemiddelde over alle gemonitorde projecten, waarbij de warmtevraag varieert van 18 tot 126 kWh_th/m²/jaar, afhankelijk van isolatieniveau en woningtype.

Effect en omvang van de onderzochte maatregelen

Er zijn vier relevante maatregelen onderzocht om de netbelasting te beperken:

A Verlagen warmtebehoefte (isolatie, kierdichting, ventilatie):
- Verlaagt de piekbelasting met ca. 10-15%.
- Vraagt een aanzienlijke investering, maar levert ook comfort en lagere energiekosten op.

B Prioriteren inductiekookplaat boven warmtepomp (load balancing):
- Verlaagt de piek met ca. 5-10% tijdens de spits.
- Lage kosten, technisch relatief eenvoudig.

C Spitsmijden warmtepomp (slimme sturing):
- Kan de piek tijdens de spits tot 40% verlagen.
- Lage kosten, maar vereist goede afstemming en kan comfort beïnvloeden.
- Nader onderzoek nodig op comfort effecten.

D Kiezen voor bodemwarmtepomp in plaats van lucht-water warmtepomp (hoger rendement tijdens koude dagen):
- Verlaagt de piek met 10-20%.
- Middelmatige tot hoge kosten, lastige inpassing in bestaande bouw.

Het cumulatieve effect van deze maatregelen kan de toename van de netbelasting in een wijk tot 50% beperken ten opzichte van een standaard all-electric aanpak zonder aanvullende maatregelen.

Kosten versus opbrengsten voor gebouweigenaar en netbeheerder

Het belangrijkste bezwaar tegen het toepassen van netbelastingbeperkende maatregelen is dat ze extra geld kosten, terwijl ze voor de gebouweigenaar (woningcorporatie of particulier) op dit moment weinig directe (financiële) opbrengsten opleveren. Dit maakt het voor gebouweigenaren lastig om deze maatregelen grootschalig toe te passen zonder aanvullende financiële prikkels of beleid.

Aanbevelingen

- Structurele monitoring van energiegebruik door woningeigenaren (woningcorporaties) en netbelasting door netbeheerders en daar transparant over communiceren.
- Verdere ontwikkeling en normering van maatregelen zoals spitsmijden.
- Beleidsmatige stimulering om de toepassing van netbewuste maatregelen aantrekkelijker te maken voor gebouweigenaren.

Netbewust renoveren is essentieel om de energietransitie ook ten tijde van netcongestie zoveel mogelijk door te zetten. Praktijkdata tonen aan dat de netbelasting lager is dan eerder gedacht, maar nog steeds zal verduurzaming door middel van elektrificatie veel netcapaciteit vragen. Maatregelen om de netbelasting te beperken zijn technisch mogelijk en effectief, maar vragen om extra investeringen die voor gebouweigenaren nu onvoldoende aantrekkelijk zijn. Structurele monitoring, (beleidsmatige) stimulering en verdere normering zijn nodig om de toepassing van deze maatregelen te versnellen en de maatschappelijke baten te realiseren.

ACHTERGROND

Waarom dit rapport?

In oktober 2024 heeft de werkgroep netbewust installeren, vertegenwoordigd door het ministerie van Volkshuisvesting en Ruimtelijke Ordening (VRO), aan Stroomversnelling gevraagd om haar kennis en expertise in te zetten voor het opstellen van een rapport over netbewust renoveren. Aanleiding hiervoor is de toenemende netcongestie in diverse regio's, die de uitvoering van renovatie-plannen door woningcorporaties vertraagt of zelfs blokkeert. In de nationale prestatie-afspraken tussen het Rijk en Aedes is daarom afgesproken dat een leidraad opgesteld zou worden om woningcorporaties te helpen met netbewust verduurzamen. Dat is dit rapport.

De urgentie is met name voelbaar in de FGU-regio (Flevoland, Gelderland en Utrecht), waar de problematiek vroeg om een gezamenlijke aanpak, maar inmiddels speelt netcongestie in vrijwel het hele land. In samenwerking met de genoemde werkgroep – bestaande uit vertegenwoordigers van netbeheer-ders, provincies, belangenverenigingen en de ministeries VRO en Klimaat en Groene Groei (KGG) – is dit rapport tot stand gekomen.

Deze eerste versie biedt een handelingskader voor het netbewust renoveren van woningen in de bestaande gebouwde omgeving. Het doel is om woning-corporaties, lokale overheden en netbeheerders te ondersteunen in het gesprek over netbelasting en congestie. Dit rapport is niet bedoeld als een in steen gebeitelde norm, maar als een hulpmiddel dat meegroeit met nieuwe inzichten en praktijkdata, bijvoorbeeld uit andere warmtestrategieën.

Doorlopen proces

Dit rapport is ontwikkeld in de periode januari – september 2025. In deze periode zijn meerdere werksessies georganiseerd met betrokken partijen, zowel uit de FGU-regio als landelijk actieve partijen. De inhoud is gebaseerd op monitoringsdata, praktijkervaringen, technische analyses en beleidsmatige inzichten. De samenwerking tussen overheden, netbeheerders, corporaties en kennisinstellingen stond hierbij centraal.

DEEL A
RAPPORTAGE

Hier zijn de belangrijkste conclusies en onderbouwing te vinden.
Vanaf pagina 6

DEEL B
VERANTWOORDING

Hier is te lezen hoe tot de conclusies is gekomen.
Vanaf pagina 40

Bericht van de auteurs

Met dit rapport hopen wij bij te dragen aan een constructieve dialoog over de toekomstbestendige renovatie van de bestaande woningvoorraad. Wij nodigen alle betrokken partijen uit om deze eerste versie te gebruiken, aan te vullen en te verrijken met op praktijkdata gebaseerde inzichten en ervaringen.

A RAPPORTAGE

1. PROBLEEMSTELLING, FOCUS & AANPAK

Inleiding

De energietransitie stelt het Nederlandse elektriciteitsnet voor grote uitdagingen. De elektrificatie van de gebouwde omgeving — zoals de overstap van aardgas naar duurzame warmte oplossingen — leidt tot een toenemende vraag naar elektriciteit. Deze ontwikkeling vergroot het risico op netcongestie, ook voor kleinverbruikers. In hoofdstuk 2 staat uitgebreid toegelicht wat onder 'netcongestie' en 'netbelasting' wordt verstaan. In dit document wordt verkend hoe woningen op een duurzame manier gerenoveerd kunnen worden, met specifieke aandacht voor het beperken van de bijdragen van deze woningen aan belasting van het elektriciteitsnet. Door gebruik te maken van bestaande warmtestrategieën en gedetailleerde monitoringsdata wordt inzicht verkregen in de impact van verschillende renovatiekeuzes op het elektranet.

Probleemstelling

De toenemende elektrificatie van de gebouwde omgeving zet het elektriciteitsnet in Nederland onder aanzienlijke druk. Waar netcongestie tot voor kort vooral een uitdaging was voor grootverbruikers, dreigt deze problematiek zich nu ook uit te breiden naar kleinverbruikers. Dit betekent dat de doelstelling voor 2050 – een CO_2-neutrale en aardgasvrije gebouwde omgeving – alleen tijdig en op een betaalbare wijze gerealiseerd kan worden als de netbelasting van woningen met een duurzame warmtevoorziening zoveel mogelijk beperkt blijft.

De centrale vraag voor dit rapport luidt:

Hoe kunnen woningen duurzaam worden gerenoveerd, waarbij de bijdrage van deze woningen aan belasting van het elektriciteitsnet zo beperkt mogelijk blijft?

Daarnaast is natuurlijk nog veel meer nodig voor een CO_2-neutrale en aardgasvrije gebouwde omgeving. Dit rapport beperkt zich tot het kijken naar de netbelasting.

Context

Op dit moment vinden veel activiteiten plaats om de toekomstige netbelasting te verminderen. Veel daarvan valt direct of indirect onder het Landelijk Actieprogramma Netcongestie (LAN) of het Actieplan Netcongestie FGU. Dit rapport netbewust renoveren komt voort uit beiden: de werkgroep netbewust installeren, opdrachtgever voor dit rapport, doet dat om de doelstellingen voor "netefficiënte installaties in de bestaande bouw" te realiseren, die zowel in het LAN als het Actieplan Netcongestie FGU benoemd staan.

Doelgroep

De primaire doelgroep voor dit document bestaat uit woningcorporaties, in het bijzonder de beleidsmedewerkers en projectleiders die verantwoordelijk zijn voor de keuze welke duurzame warmtevoorziening ingezet gaat worden voor een groep woningen. Secundair is dit document ook bedoeld voor lokale overheden (gemeenten) die werken aan warmteprogramma's en uitvoeringsplannen en daardoor betrokken zijn bij lokale planvorming én voor regionale netbeheerders die intensief samenwerken met deze partijen.

Doel

Het doel van dit rapport is, zoals is afgesproken in de Nationale Prestatieafspraken 2025-2035, "een leidraad (op te stellen) om woningcorporaties te helpen met netbewust verduurzamen". Daarbij hoort het geven van inzicht in de huidige netbelasting van verduurzamingsstrategieën en maatregelen om die netbelasting te verlagen. De manier waarop geprobeerd is om dit te bereiken is door het geven van inzicht in elkaars problematiek en handelingskaders en het ontwikkelen van een gedeelde taal en kennis.

Scope

Deze publicatie richt zich specifiek op de gevolgen van de warmtetransitie in bestaande woningen — de overstap van aardgas naar duurzame alternatieven — en de bijbehorende toename in de vraag naar transportcapaciteit van elektriciteit. Dit gaat over zowel de voorziening voor ruimteverwarming en warm tapwater als over elektrisch koken. De scope van het rapport is primair gericht op all-electric woningen, omdat daarvan de meeste praktijkdata beschikbaar zijn en daar ook de grootste problemen ontstaan. Tegelijkertijd is het een nadrukkelijke wens om in de toekomst ook de werkelijke netbelasting van collectieve systemen (zoals warmtenetten) op basis van monitoringdata inzichtelijk te maken, zodat het handelingsperspectief verder verbreed kan worden.

> Om de impact van deze transitie op het elektriciteitsnet te structureren, is gekozen voor een indeling op basis van de warmtestrategieën uit de PBL Startanalyse (ASA2025, zie bijlage 4). Deze strategieën (S1 t/m S4) vormen het kader voor het inschatten van de netbelasting:
>
> - Referentie: Verwarming op aardgas
> - S1: Individuele elektrische warmtepomp
> - S2: Warmtenet op middentemperatuur (MT)
> - S3: Warmtenet op (zeer) lage temperatuur (ZLT)
> - S4: Klimaatneutraal gas in combinatie met een hybride warmtepomp

Gegeven dat in dit rapport gebruik wordt gemaakt van monitoringdata in plaats van modeldata en dat vooral monitoringdata beschikbaar was van woningen die de S1 strategie hebben gevolgd, betekent dit dat dit rapport met name relevant is daar waar woningcorporaties strategie S1 willen toepassen. Dit betekent niet dat S1 in alle gevallen de beste strategie is. Het kiezen van een strategie vraagt om een breed afwegingskader. Dat valt buiten scope van dit rapport.

In dit rapport wordt inzichtelijk gemaakt welke maatregelen woningcorporaties kunnen toepassen om netbewust of netvriendelijk te verduurzamen. Er wordt geen voorstel gedaan over hoe de meerinvesteringen daarvoor kunnen worden bekostigd. Dit is onderwerp voor verder overleg.

Voor woningcorporaties die strategie S2 t/m S4 willen toepassen en daar willen sturen op een lage netbelasting geeft dit rapport wel aanknopingspunten, maar geen cijfermatige onderbouwing vanwege het ontbreken van toegankelijke monitoringdata. Dat vraagt vervolgonderzoek.

Verder wordt niet expliciet gekeken naar de netbelasting veroorzaakt door zonnepanelen, ook omdat de spitsperiode op het elektriciteitsnet in de winter tussen 17 en 21u ligt, wanneer de zon al onder is. Zonnepanelen kunnen weliswaar leiden tot teruglevercongestie, maar voor netbeheerders is dit type congestie van minder groot belang dan afnamecongestie, omdat de gevolgen minder groot zijn. Indien meer elektriciteit wordt teruggeleverd dan het net aankan, leidt dat tot het afschakelen van de omvormers van individuele huishoudens voordat het hele net uitvalt. Daardoor lopen huishoudens opgewekte stroom mis, maar is er niet direct sprake van een stroomstoring.

De focus ligt op bestaande bouw. Voor nieuwbouw is eind 2025 een Handreiking Netbewuste Energieconcepten verschenen.

Tenslotte wordt niet expliciet gekeken naar de invloed van elektrische mobiliteit op netcongestie. Dit komt doordat het hebben van privé laadpalen in de sociale huursector vrijwel niet voorkomt. In de gebruikte monitoring dataset was geen enkele woning met laadpaal.

Aanpak

In vier lijnen is gewerkt aan meer inzicht en afstemming binnen de werkgroep:

- Definities: gezamenlijk definiëren van de diverse begrippen rond netbelasting en netcongestie;
- Huidige belasting: beeld krijgen van de huidige gemeten netbelasting van aardgasvrije woningen;
- Kansen voor verlaging belasting: inzicht krijgen in hoe de netbelasting verlaagd kan worden;
- Rapportage: samenbrengen van de verschillende lijnen en tot handelingsperspectief komen.

In de afgelopen periode zijn verschillende bijeenkomsten en gesprekken georganiseerd met de betrokken partijen om invulling te geven aan deze vier lijnen. Deze publicatie is de weerslag van die gezamenlijke reis.

Gebruik van monitoringsdata

Waar mogelijk is, zoals gezegd, de inschatting van netbelasting per warmtestrategie verrijkt met monitoringsdata. Indien dergelijke data ontbreken, zijn aannames gebruikt. Dit staat dan vermeld. De beschikbare meetgegevens zijn bewerkt om tot bruikbare inzichten te komen. De belangrijkste bewerkingen betreffen klimaatcorrectie en de analyse van maatregelen die de netbelasting kunnen reduceren. De methodologie hiervan wordt in de verantwoording (Deel B) toegelicht.

Energietransitie Dataset

De Energietransitie Dataset (ETD) vormt een unieke en omvangrijke bron van meetgegevens over de energieprestaties van verduurzaamde woningen in Nederland. Deze dataset is ontwikkeld door Stroomversnelling in samenwerking met onder andere Watch-E en bevat inmiddels meer dan een miljard meetpunten van circa 250 woningen, verdeeld over op moment van schrijven 6 projecten.

De kracht van deze dataset ligt in:

- Schaal en detailniveau: meetdata op 5-minuten niveau over een volledig jaar, niet alleen van de slimme meter maar ook van warmtepomp, zonnepanelen en meer;
- Diversiteit: uiteenlopende woningtypen, installaties en renovatie-concepten;
- Toepasbaarheid: direct bruikbare inzichten voor ontwerp, uitvoering en beleid.

De projecten in de dataset hebben de volgende kenmerken:
In hoofdstuk B1 staat deze dataset uitgebreider toegelicht.

Project	Warmte-behoefte NTA8800	Warmte-opwekker	Ventilatie-systeem	Vloer-oppervlak (GO)	Woning-type
# (aantal woningen)	kWh_th / m^2 / jaar	type	type	m^2	type
1 (n=100)	30	Lucht-water warmtepomp	Type D	115	Rijwoning
2 (n=28)	54	Lucht-water warmtepomp	Type D	87	Rijwoning
3 (n=29)	35	Bodem-warmtepomp	Type D	91	Rijwoning
4 (n=26)	18	Bodem-warmtepomp	Type D	85	Rijwoning
5 (n=25)	33	Lucht-water warmtepomp	Type D	78	Rijwoning
7 (n=50)	126	Lucht-water warmtepomp	Natuurlijk + type C	99	Rijwoning

Tabel 1: Projectkenmerken in de Energietransitie Dataset

Tussen najaar 2024 en april 2025 is intensief gewerkt aan het uitbreiden van de dataset met nieuwe databronnen, waaronder metingen van collectieve warmtebronnen/systemen (S2 en S3). Hoewel dit geleid heeft tot enkele partijen die in principe en onder voorwaarden bereid zijn dat te willen delen, is dit niet tijdig gerealiseerd voor opname in dit onderzoek. In de analysetabellen zijn S2 en S3 wel opgenomen voor het overzicht, maar (nog) niet op basis van meetgegevens ingevuld. Waar mogelijk zijn theoretische aannames gebruikt. Voor vervolgonderzoek is het wenselijk om deze data alsnog te integreren en daarmee een completer overzicht te krijgen. Voor S1 en S4 zijn ook aanvullende databronnen gevonden, die binnen de beschikbare tijd voor dit rapport niet verwerkt konden worden.

Van data naar informatie

Om van ruwe monitoringsdata tot betrouwbare en vergelijkbare inzichten te komen, zijn twee essentiële bewerkingen toegepast: klimaatcorrectie en maatregelensimulatie, in deze volgorde:

1. **Klimaatcorrectie**
   Deze correctie standaardiseert de invloed van weersomstandigheden en seizoensvariaties op het gemeten energieverbruik. Zo wordt bijvoorbeeld het effect van een warme winter gecorrigeerd, waardoor trends over meerdere jaren beter vergelijkbaar zijn. Dit maakt het mogelijk om de worst-case impact op het elektriciteitsnet inzichtelijk te maken.

2. **Maatregelensimulatie**
   Deze bewerking maakt het effect van genomen maatregelen — zoals verbeterde isolatie of gedragsveranderingen — zichtbaar in de data. Hierdoor kan het daadwerkelijke effect van beleidsmaatregelen of technische ingrepen op de netbelasting beter worden geïsoleerd en beoordeeld.

De aangepaste dataset op basis van klimaatcorrectie vormt daarbij het startpunt voor de vervolganalyses naar de potentie van maatregelen om de netbelasting te beperken. In sectie B staat toegelicht hoe dit is gedaan.

De manier waarop met de grote diversiteit van bewonersgedrag is omgegaan is door eisen te stellen aan het aantal woningen met dezelfde aanpak waarvoor monitoringdata beschikbaar moet zijn. Zo is bij elk project van tenminste 25 woningen data beschikbaar, waardoor extremen worden gedempt.

2. DEFINITIES EN ACHTERGROND

Netcongestie

We spreken van netcongestie als de verwachte transportcapaciteit kleiner is dan de verwachte transportbehoefte. Dit kan op een aantal niveaus plaatsvinden:

1. **Hoogspanningsnet**
   Dit net van 110-380 kV wordt beheerd door TenneT. Dit net verbindt regio's met elkaar.

2. **Middenspanningsnet**
   Dit net van 10-50 kV wordt beheerd door de regionale netbeheerders, waaronder Stedin, Liander en Enexis. Tussen het hoogspanningsnet en het middenspanningsnet zitten verdeelstations.

3. **Laagspanningsnet**
   Dit net van 230-400 V wordt ook beheerd door de regionale netbeheerders. Tussen het middenspanningsnet en het laagspanningsnet zitten transformatorhuisjes. Deze zijn zichtbaar in de wijk.

Er is sprake van *acute netcongestie* als de **daadwerkelijke transportbehoefte** groter is dan de beschikbare transportcapaciteit. Dit kan ertoe leiden dat transformatorstations vanuit veiligheid afschakelen of in uitzonderlijke gevallen zekeringen of kabels smelten, waardoor een deel van het net uitvalt.

Op dit moment is het nog nauwelijks voorgekomen dat delen van het net uitvallen door acute netcongestie. Er is vooral sprake van dat de geplande groei van de transportcapaciteit door geplande netuitbreidingen de verwachte groei van de transportvraag niet bij kan houden.

Er zijn veel oorzaken voor de verwachte groei van de transportvraag, waaronder ook elektrificatie van mobiliteit en industriële processen. De focus in dit rapport is op de gebouwde omgeving en de bijdrage daarvan aan de netbelasting op laag-, midden- en hoogspanningsniveau.

Netbelasting

Er is (nog) geen gestandaardiseerde eenheid met bijbehorende definitie waarin "netbelasting" van een woning wordt uitgedrukt. In de praktijk wordt het vaak vertaald naar de benodigde transportcapaciteit op het piekmoment (in MW of kW) die een aansluiting (lees een woning of gebouw) vraagt van het elektriciteitsnet, of naar de mate van druk die een gebruiker legt op bestaande netcapaciteit. Bij woningen lijkt daarbij de $W_{elektrisch}$ per m^2 gebruiksoppervlak een goede indicator. De relatie tussen de netbelasting en het aantal m^2 verliesoppervlak van de woning (= gebruiksoppervlak x compactheid) lijkt nog sterker te zijn, maar er is gekozen om gebruik te maken van het gebruiksoppervlak omdat die relatie ook sterk is en omdat het gebruiksoppervlak op veel meer plekken bekend is en gebruikt wordt. Daarbij wordt ook gekeken naar de netto warmtebehoefte van de gebouwen, waar het verliesoppervlak in verwerkt zit.

Voor dit rapport bleek het noodzakelijk om met grotere precisie te definiëren wat onder netbelasting verstaan wordt.

De definitie van netbelasting die hier is gebruikt, is:

> *Netbelasting is de maximale transportvraag (in dit geval afnamevraag) in Watt$_{elektrisch}$ per vierkante meter gebruiksoppervlak die, bezien over alle tijdsintervallen van 1 uur in een jaar, wordt gevraagd door een groep verbruikers, in dit geval woningen, uitgaande van de effectieve temperatuur in 1991 in De Bilt.*

Prestatieindicatoren

De hiernaast staande definitie voor netbelasting is voor dit rapport geconcretiseerd naar de prestaties op onderstaande twee indicatoren:

Piek vermogensvraag	Het hoogste gezamenlijke afnamevermogen van een groep woningen, gedeeld door het aantal woningen, in Watt$_{elektrisch}$ (ofwel W_e) per m^2 gebruiksoppervlak (uit NTA8800). Dit betreft één interval van 1 uur per jaar. Alle andere 8759 uur in het jaar hebben deze woningen een lager gelijktijdig vermogen. Hierbij is uitgegaan van: › de vermogensvraag van de gehele woning, inclusief huishoudelijk gebruik, standaardverbruik (bijdrage woning aan basislast), exclusief elektrisch laden van de auto, › bij klimaatjaar 1991, › bij een woning met warmtebehoefte die voldoet aan de Standaard voor woningisolatie, › een groep van tenminste 25 woningen die op hetzelfde transformatorhuisje zijn aangesloten. Bij een groter aantal woningen zal de piek beperkt lager zijn.
Piek vermogensvraag tijdens de spits	Hetzelfde als piek vermogensvraag, maar dan tijdens de spitsuren van 17 tot 21 uur. Deze indicator biedt inzicht in de effectiviteit van maatregelen om de piek te verplaatsen.

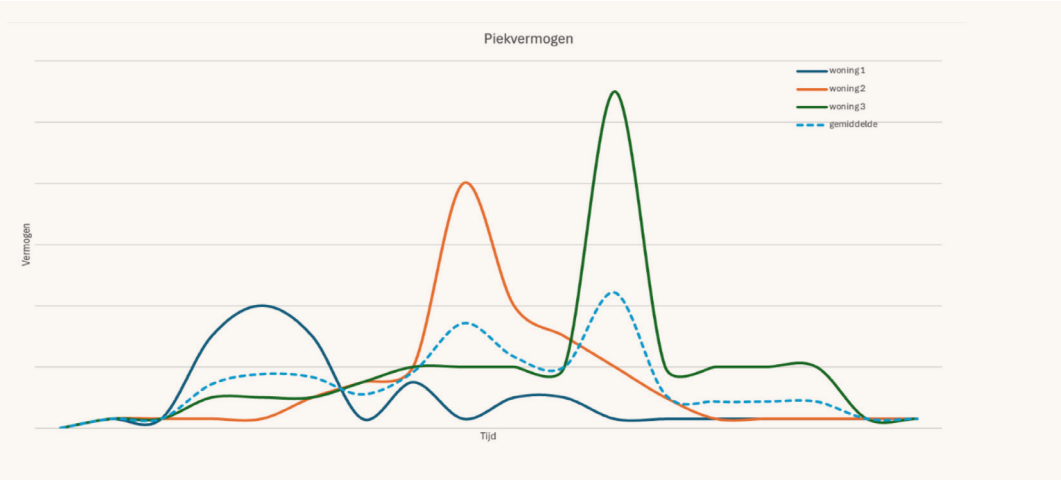
Tabel 2: twee belangrijkste prestatieindicatoren

Gelijktijdigheid

Gelijktijdigheid in het kader van netcongestie verwijst naar de mate waarin verschillende gebruikers of installaties op hetzelfde moment elektriciteit afnemen van of terugleveren aan het elektriciteitsnet. Hoe hoger de gelijktijdigheid, hoe groter de piekbelasting op het elektriciteitsnet, wat kan leiden tot congestieproblemen. In de praktijk betekent dit bijvoorbeeld dat als meerdere woningen in een wijk of buurt gelijktijdig hun elektrische kookplaat of warmtepompen gebruiken, de gezamenlijke belasting op het net tijdelijk de beschikbare capaciteit kan overschrijden.

Gelijktijdigheid wordt gebruikt als een rekenfactor bij het ontwerpen en plannen van netinfrastructuur. Netbeheerders gebruiken gelijktijdigheidsfactoren om in te schatten hoeveel capaciteit daadwerkelijk nodig is, omdat niet alle aangesloten gebruikers op elk moment het maximale vermogen gebruiken. Tegelijkertijd is het beheersen van gelijktijdigheid ook een strategie om netcongestie te verminderen, bijvoorbeeld door middel van flexibiliteitsdiensten, slimme sturing of tijdgebonden contracten die gebruikers stimuleren om hun verbruik te spreiden.

Het gelijktijdig piekvermogen is uiteindelijk het totale gevraagde vermogen van alle verbruikers (woningen) samen, gedeeld door het aantal verbruikers. Dit kan op elk moment van het jaar bepaald worden.



Figuur 1: Relatie tussen de gevraagde vermogens van individuele woningen (dichte lijnen) en het gelijktijdige gevraagde vermogen van de drie woningen gemiddeld (stippellijn).

Tijdsinterval

Monitoringdata is in de Energietransitie Dataset in tijdreeksen verzameld op 5 minuten basis. Wanneer het energieverbruik gemeten wordt in intervallen van 5 minuten, ziet men korte, scherpe pieken in het verbruik — bijvoorbeeld als iemand een waterkoker of oven aanzet. Deze pieken zijn vaak van korte duur. Als diezelfde data geaggregeerd wordt naar een uurgemiddelde (60 minuten), dan worden die korte pieken gemiddeld met lagere verbruiken in de rest van het uur. Daardoor wordt de piek afgevlakt en lijkt het alsof de maximale piek lager is. Andersom geldt dit ook: binnen die gemeten 5 minuten zullen er ook hogere en lagere pieken zitten op secondenniveau. Onderstaande tabel geeft een indicatie van het gevolg van het vergroten van het tijdsinterval waarover netbelasting wordt vastgesteld. De percentages zijn afkomstig uit de Energietransitie Dataset.

Piek op 5 minuten	Piek op 15 minuten	Piek op 60 minuten	Piek op 24 uur
100%	≈10% lagere piek	≈20% lagere piek	≈50% lagere piek

Tabel 3: Relatie tussen de gemeten piek op projectniveau en het tijdsinterval waarover die piek wordt vastgesteld ten opzichte van 5 minuten niveau.

Door het vergroten van het tijdsinterval gaat detail verloren. Dit betekent dat extreme waarden minder zichtbaar worden. Om voldoende inzicht te hebben is na overleg met de netbeheerders gekozen voor een tijdsinterval van 60 minuten. Dit geeft voldoende inzicht zonder dat de korte scherpe pieken een te groot effect (afleidend) hebben. Een belangrijke reden voor deze keuze is dat netcongestie problemen vooral van thermische aard zijn: er vindt oververhitting plaats in kabels en transformatoren."

Warmtebehoefte

Warmtebehoefte is een fundamenteel begrip binnen de NTA 8800, de Nederlandse bepalingsmethode voor de energieprestatie van gebouwen. Daarin wordt warmtebehoefte gedefinieerd als de hoeveelheid warmte die nodig is om een gebouw warm te houden. Deze behoefte wordt bepaald door warmteverliezen via de gebouwschil (zoals muren, ramen en daken), ventilatie- en infiltratieverliezen, en wordt gecorrigeerd voor interne- en zonnewinsten. Kortom, de warmtebehoefte fungeert als een indicator voor de energetische en bouwtechnische kwaliteit van een woning.

In de context van bestaande woningen speelt warmtebehoefte een belangrijke rol bij het bepalen of een woning voldoet aan de Standaard voor woningisolatie, zoals vastgesteld door het Rijk. Deze standaard geeft aan welk isolatieniveau nodig is om een woning 'toekomstklaar' te maken voor een aardgasvrije warmtevoorziening. De warmtebehoefte vormt hierbij een toetsingscriterium: woningen met een te hoge warmtebehoefte voldoen niet aan de Standaard en komen in aanmerking voor aanvullende isolatiemaatregelen. Zo helpt het begrip warmtebehoefte om beleidsmatig richting te geven aan de verduurzaming van de bestaande woningvoorraad.

De warmtebehoefte komt tot stand door een combinatie van maatregelen. Door isolatiemaatregelen, maar ook kierdichting en een duurzaam ventilatiesysteem met warmteterugwinning heeft een groot effect op de uiteindelijke warmtevraag.

3. NETBELASTING BESTAANDE BOUW

Rol van netbelasting bij het kiezen van een warmtestrategie

De warmtestrategieën die PBL heeft opgenomen in de Startanalyse (zie bijlage 4 voor een volledig overzicht) zijn voor veel woningcorporaties het startpunt bij het nadenken over welke strategie te kiezen voor het aardgasvrij maken van hun vastgoed. Bij het maken van een dergelijke keuze speelt een breed afwegingskader wat zich uitspreidt over techniek, financiële en sociaal maatschappelijke argumenten.

De invloed van een warmtestrategie op netcongestie is daarin één van de overwegingen. Gezien de hoge kosten en lange proceduretijden die gemoeid zijn met het vergroten van de capaciteit van het elektriciteitsnet en de beperkingen in aansluitcapaciteit die door netcongestie veroorzaakt worden, is het een belangrijke factor om vroegtijdig inzicht in te hebben.

Belangrijk om te beseffen is dat het elektriciteitsnet in alle warmtestrategieën een uitbreiding van de transportvraag met zich meebrengt, bijvoorbeeld door het omschakelen van koken op aardgas naar elektra. Maar ook door andere factoren zoals de transitie naar elektrisch vervoer.

In dit hoofdstuk wordt netcongestie in de context geplaatst van een warmtestrategie waarbij inzicht wordt gegeven vanuit verschillende bronnen. Met name voor strategie S1 - individuele elektrische warmtepomp, zijn nu twee belangrijke informatiebronnen beschikbaar, de Energietransitie Dataset en Netimpact woningen met warmtepomp (gebaseerd op de Installatiemonitor). De inzichten hieruit geven ook een eerste blik op netbelasting bij strategie S4. Voorlopig zijn er nog geen bronnen met monitoringdata beschikbaar voor warmtestrategieën S2 en S3. De focus van dit onderzoek ligt daarmee op het verlagen van de (toename van) netbelasting bij warmtestrategie S1 en, in mindere mate, S4.

Systeemgrenzen

PBL beschrijft in hoofdlijnen vier warmtestrategieën. Door de bril van netcongestie gekeken valt op dat bij een aantal van die strategieën alleen kleinverbruikersaansluitingen voorkomen, terwijl bij andere strategieën (o.a. S2, S3) ook gebruik gemaakt wordt van grootverbruikersaansluitingen voor het collectieve deel van de energievoorziening. In het geval van een MT warmtenet kan dat een al bestaande aansluiting bij de industrie zijn of een groot WKO-doublet met industriële pompen. Bij het beschrijven van de netbelasting van een warmtestrategie worden niet altijd dezelfde systeemgrenzen gehanteerd. Soms, bijvoorbeeld bij de Startanalyse van PBL, wordt de netbelasting van deze grootverbruikersaansluitingen buiten beschouwing gelaten, zoals in de onderstaande tabel te zien is. Uiteindelijk zorgt het gehele systeem voor een bepaalde netbelasting op woning, buurt, wijk en uiteindelijk MS- en HS-niveau.

Warmtestrategie volgens Startanalyse PBL	Wel meegenomen door PBL (IN SCOPE)	Niet meegenomen door PBL (OUT OF SCOPE)
Referentie (aardgas)	Alle installaties in de woning.	N.v.t.
S1 - Individuele elektrische warmtepomp	Alle installaties in de woning.	N.v.t.
S2 - Warmtenet MT	Alle installaties in de woning.	Grootverbruikersaansluiting van de collectieve oplossing, inclusief pompenergie en bijstook.
S3 - Warmtenet (Z)LT type a, b, e, g (individueel opwaarderen)	Alle installaties in de woning, inclusief een individuele warmtepomp.	Grootverbruikersaansluiting van de collectieve oplossing, inclusief pompenergie.
S3 - Warmtenet (Z)LT type c, d, f, h (collectief opwaarderen)	Alle installaties in de woning.	Grootverbruikersaansluiting van de collectieve oplossing, inclusief pompenergie en bijstook.
S4 - Klimaatneutraal gas met hybride warmtepomp	Alle installaties in de woning.	N.v.t.

Tabel 4: wat binnen en buiten scope valt bij het bepalen van netbelasting bij verschillende warmtestrategieën

Netbelasting uit diverse bronnen

Voor dit rapport is niet alleen gekeken naar monitoringdata in de Energietransitie Dataset. Andere bronnen met relevante informatie op dit vlak zijn de Actualisatie Startanalyse 2025 van PBL en de eerdergenoemde publicatie “Netimpact woningen met warmtepomp” (2025). Daarnaast hebben netbeheerders Stedin en Liander voor dit rapport inzicht gegeven in de netbelasting waar zij vanuit gaan voor hun prognoses. Die zijn in lijn met de in tabel 4 genoemde getallen uit de Installatiemonitor en de Energietransitie Dataset, en significant lager dan waar PBL vanuit gaat. Uit monitoring van het midden- en hoogspanningsnet blijkt dat woningen die koken en verwarmen op aardgas een bijdrage van circa 3 W_e/m^2 leveren aan de basislast. Tabel 5 vat de conclusies van de verschillende bronnen samen.

Warmtestrategie (zie bijlage 4 voor meer details per strategie)	**Startanalyse PBL**	**Netimpact woningen met warmtepomp** Installatiemonitor (BDH)	**Energietransitie Dataset** (Stroomversnelling)
Referentie (aardgas)	1,5 kW	nvt	0,9 kW (inductiekoken)
S1 - Individuele elektrische warmtepomp	3,5 kW	schatting bij -10°C: 2,3 kW schatting bij 100 m2: 1,8 kW	1,6 kW gemeten schatting 1987: 1,9 kW schatting 1991: 1,7 kW
S2 - Warmtenet MT	1,5 kW	nvt	nvt
S3 - Warmtenet (Z)LT individueel opwaarderen	3,5 kW	nvt	nvt
S3 - Warmtenet (Z)LT collectief opwaarderen	1,5 kW	nvt	nvt
S4 - Klimaatneutraal gas met hybride warmtepomp	2 kW	schatting bij -10°C: 1,7 kW schatting bij 100 m2: 1,3 kW	nvt
Toelichting	*Hierbij is rekening gehouden met 50% gelijktijdigheid.*	*Betreft de hele woning. Gebaseerd op slimme meterdata van 6.000 woningen. Bij circa 130 m^2 vloer- en 250 m^2 verliesoppervlak.*	*Betreft de hele woning. Piek vermogensvraag bij 100 m^2 vloeroppervlak, bij tijdsinterval van 1 uur, bij een groep van tenminste 25 woningen. Gebaseerd op meetdata van 300 woningen.*

Tabel 5: overzicht van conclusies uit diverse bronnen aangaande de netbelasting per warmtestrategie

Netbelasting S1 - Individuele elektrische warmtepomp

Een momentopname – één hoogste piek in het jaar – geeft maar beperkte informatie over de netbelasting door het jaar heen. Voor warmtestrategie S1, de individuele elektrische warmtepomp, is veel meer inzicht te geven uit de bijna 300 woningen en 6 projecten in de Energietransitie Dataset (zie hoofdstuk B1). Hiervoor is de monitoringsdata onderzocht en waar nodig bewerkt om tot bruikbare inzichten te komen. Een belangrijke stap is een klimaatcorrectie (omzetting van gemeten jaar, naar een klimaatjaar die door netbeheerders als maatgevend wordt aangehouden in het bepalen van netbelasting).

Invloed van klimaatcorrectie op de hoogste piek

De energieprestaties van de woningen in de dataset zijn gemeten in 2019 en 2023. Middels klimaatcorrectie (zie hoofdstuk B2) is die meetdata gecorrigeerd voor klimaatinvloeden. Daarbij zijn twee jaartallen gebruikt: het zeer conservatieve 1987 en het conservatieve 1991, beiden vanwege de koude winters.

Project	*Piek gemeten*	*Piek 1987*	*Piek 1991*
1	1.5	1.8	1.6
2	1.9	2.3	2.0
3	1.3	1.4	1.4
4	1.4	1.4	1.4
5	1.4	1.8	1.4
7	2.1	2.4	2.2
Alles	**1.6**	**1.9**	**1.7**
		+16%	**+3%**
	Piek vermogensvraag, in kW per 100 m², per uur.		

Tabel 6: invloed van een koude winter op netbelasting

De geringe toename van de hoogste piek in 1991 betekent dat a) de geïnstalleerde warmtepompen ook in een koudere winter meestal voldoende vermogen hebben om de woningen te verwarmen zonder het elektrisch element in te zetten, en b) dat de gelijktijdigheid van de vermogensvraag slechts gedeeltelijk werd veroorzaakt door het gebruik van de warmtepomp.

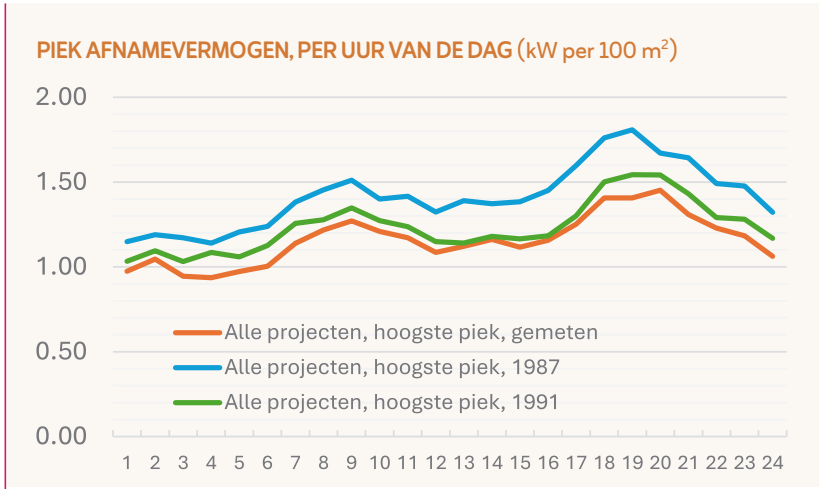
Invloed van klimaatcorrectie op de hoogste piek in de spitsperiode

Naast de hoogste piek in het jaar, is het ook zinvol om te weten wat de hoogste piek is tijdens de spitsuren op het net, van 17 tot 21 uur in de winter.

Project	*Spitspiek gemeten*	*Spitspiek 1987*	*Spitspiek 1991*
1	1.5	1.8	1.6
2	1.9	2.3	2.0
3	1.3	1.4	1.4
4	1.0	1.4	1.3
5	1.4	1.8	1.4
7	2.0	2.4	2.2
Alles	**1.5**	**1.9**	**1.6**
		+23%	**+8%**
	Piek vermogensvraag tijdens de spits, in kW per 100 m², per uur.		

Tabel 7: invloed van een koude winter op netbelasting tijdens spitsuren

Het dagprofiel met uurlijkse pieken [kW] voor alle woningen in de dataset ziet er als volgt uit:



Figuur 2: hoogste piek van het jaar, per uur van de dag

Daaruit is zichtbaar dat de ochtend- en avondspits ook bij de woningen in de Energietransitie Dataset een rol speelt.

Gelijktijdigheid

De gelijktijdigheid van het elektrisch verbruik van de woningen is in de wintermaanden november t/m februari gemiddeld 30%. Tijdens de avondpiek komt die gelijktijdigheid iets hoger uit, namelijk tot net onder de 40%. Daarbij valt op dat project 3, met een bodem warmtepomp (met klein vermogen), en project 7, dat slecht geïsoleerd is, een hogere gelijktijdigheid kennen dan de andere projecten, nameljk rond de 35% tegenover 25%. Bij project 3 komt dat omdat de warmtepompen langer op hetzelfde (lage) vermogen blijven draaien én omdat de tapwaterinstelling slecht is afgesteld: alle warmtepompen in de straat gaan op hetzelfde moment, net na 23u, tapwater maken. Bij project 7 komt de hogere gelijktijdigheid vermoedelijk door de combinatie van een lage buffercapaciteit in het afgiftesysteem en door hoe de warmtepomp aangestuurd wordt, al is dit niet helemaal uit de meetdata af te leiden.

Invloed van elektrisch koken

Een inductiekookplaat kan grote vermogens vragen. De gelijktijdigheid daarvan op HS-niveau is echter volgens netbeheerders niet hoog, Toch zorgt ook de installatie van alleen een inductiekookplaat al voor hogere gelijktijdige pieken bij een groep woningen op LS-niveau dan bij woningen waar nog op aardgas wordt gekookt.

Project	*Referentie: basislast, koken op gas*	*Gemeten piek huishoudelijk gebruik*	*Gemeten piek hele woning (inclusief warmtepomp)*
1	0.3	0.7	1.6
2		1.4	2.0
3		0.8	1.4
4		0.8	1.4
5		0.8	1.4
7		0.9	2.2
Alles	0.3	0.9	1.7
	Piek vermogensvraag, in kW per 100 m², per uur. De inductiekookplaat valt onder het huishoudelijk gebruik.		

Tabel 8: toename van netbelasting door plaatsing kookplaat en warmtepomp

De stap van koken op aardgas naar koken op een inductiekookplaat zorgt dus al voor een toename van de maximale gelijktijdige piek van gemiddeld 0.6 kW. De extra gelijktijdige netbelasting die een warmtepomp dan nog veroorzaakt is gemiddeld 0.8 kW, zoals bovenstaande tabel laat zien. Beide installaties zorgen voor een hogere piek vermogensvraag.

Hoogste piek per woning

Voor het aansluiten van een warmtepomp en een inductiekookplaat wordt vaak netverzwaring aangevraagd, naar een driefase (3x25A) aansluiting. Dit heeft ook de voorkeur van netbeheerders, omdat op die manier het elektriciteitsverbruik beter gebalanceerd kan worden over de verschillende fases. De aanvraag voor een netverzwaring is echter vaak het moment waarop een renovatieproject vertraging oploopt omdat die vanwege gebrek aan uitvoeringscapaciteit niet altijd tijdig kan worden gerealiseerd. Een valide vraag vanuit het perspectief van woningeigenaren is daarom: volstaat een 1x35A aansluiting niet gewoon? Dat wil zeggen: komt het wel eens voor dat alle installaties in de woning tegelijkertijd meer elektriciteit afnemen dan door een 1x35A aansluiting geleverd kan worden, oftewel circa 8 kW? Belangrijk om hierbij aan te stippen is dat er geen woningen met eigen laadpaal in deze dataset zitten en dat het gaat om de vermogensvraag van individuele woningen.

Project	*Hoogste piek vermogensvraag PER WONING*	*Hoe vaak komt de piek boven de 8 kW uit? (in minuten)*
1	12.2	1 per miljoen
2	12.6	1 per 15.000
3	10.2	1 per 100.000
4	11.7	1 per 100.000
5	9.5	1 per 125.000
7	16.2	1 per 1.000
	Hoogst gemeten vermogensvraag van alle woningen gedurende de ruim 100.000 intervallen van 5 minuten per jaar, in kW per 100 m^2 in 1991.	

Tabel 9: hoogste pieken per woning

Zonder maatregelen om de afnamepiek te beperken is bij al deze projecten wel eens een woning die een 3x25A aansluiting nodig heeft. Bij de aanpak van projecten 2 en 7 komt dat het vaakst voor. De momenten waarop dit gebeurt is circa 80% bij lage buitentemperaturen in de winter en 20% op momenten in de herfst of het voorjaar.

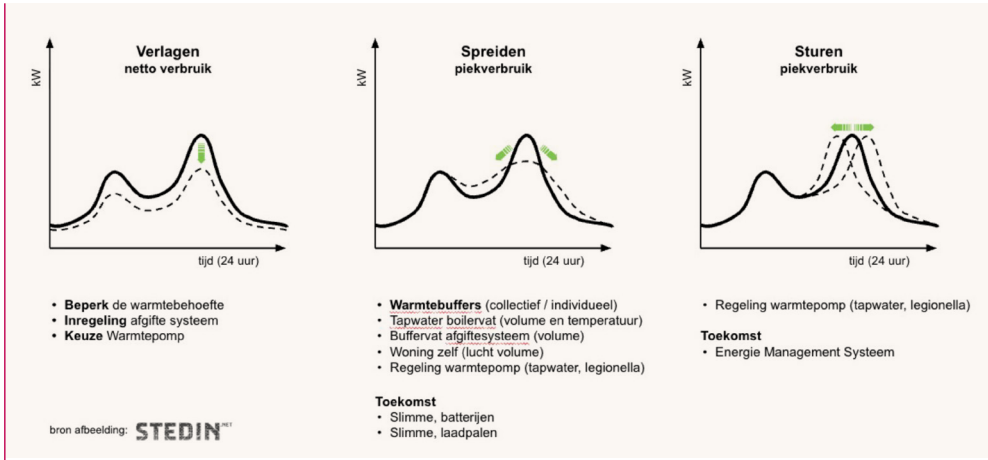
Een belangrijke kanttekening is dat de aansluiting zelf (1x35A of 3x25A) geen wezenlijk verschil uitmaakt voor de bijdrage van een woning aan de netbelasting. Hoe die bijdrage verlaagd kan worden, staat beschreven in het volgende hoofdstuk.

4. MAATREGELEN OM NETBELASTING TE BEPERKEN

Onderzochte maatregelen voor S1

Om inzicht te krijgen in de mate waarin de netbelasting van renovaties met warmtestrategie S1 (individuele elektrische warmtepomp) kan worden verkleind, is door middel van simulaties geanalyseerd hoe verschillende maatregelen invloed uitoefenen op het energieverbruik van woningen en daarmee op de belasting van het elektriciteitsnet.

De maatregelen die in deze modellering zijn meegenomen, zijn geselecteerd op basis van hun relevantie en toepasbaarheid binnen renovatieprojecten van woningcorporaties. Ze sluiten aan bij de oproep van netbeerders om energiegebruik te 'verlagen, spreiden of sturen'.



Figuur 3: drie mogelijke routes om netbelasting te verlagen (bron: Stedin)

De maatregelen die voor dit rapport zijn onderzocht zijn:

A	**Verlagen warmtebehoefte** (verlagen)	Verbeteren van de thermische kwaliteit van de woningschil tot het niveau van de Standaard. Te bereiken door een combinatie van isoleren, kierdichting en efficiënt ventileren.
B	**Prioriteren inductiekookplaat boven warmtepomp** (sturen)	Een vorm van load balancing, namelijk het uitzetten van de warmtepomp (inclusief boilervat en elektrisch element) op het moment dat het huishoudelijk gebruik (inclusief inductie-kookplaat) gedurende 5 minuten meer energie gebruikt dan 3680 W, binnen het dagdeel 17-21u. Dit is een vorm van Home Energy Management Systems (HEMS).
C	**Spitsmijden warmtepomp** (spreiden/sturen)	Het softwarematig verlagen van het maximale gebruik van de warmtepomp (inclusief boilervat en elektrisch element) tijdens de spitstijden op het elektranet (7-11u en 17-21u). Dit is opgesplitst in twee opties: 1) het gebruik van de warmte-pomp beperken tot 50% van het max gebruik of 2) beperken tot 0% van het max gebruik. Dit is ook een vorm van HEMS.
D	**Kiezen voor een bodem warmtepomp** (verlagen)	Het kiezen voor een warmtepomp met bodembron in plaats van een lucht-water warmtepomp. Dit is niet gemodelleerd, maar projecten 3 en 4 hebben een bodem warmtepomp en hebben verder een vergelijkbare aanpak aan projecten 1, 2 en 5, wat een directe vergelijking mogelijk maakt.

Door deze maatregelen te modelleren, ontstaat een beter beeld van de potentiële bijdrage aan het verminderen van netbelasting en het voorkomen van congestie. Dit vormt een belangrijke basis voor het handelingskader dat in dit rapport wordt gepresenteerd.

De manier waarop deze maatregelen zijn gemodelleerd staat in de verantwoording toegelicht.

Niet geanalyseerde maatregelen

- Ondanks een rijke dataset zijn er nog diverse maatregelen die onvoldoende zijn onderzocht of geanalyseerd in de context van efficiënte en flexibele systemen om netcongestie te verminderen. Dat betekent niet dat ze niet effectief kunnen zijn, alleen dat er nog geen cijfermatige conclusies aan verbonden kunnen worden.
- Het effect van het toevoegen van thermische massa, bijvoorbeeld als extra buffercapaciteit in het afgiftesysteem voor inzet tijdens een ontdooicyclus, is niet in kaart gebracht. Dit zou kunnen bijdragen aan het vergroten van de flexibiliteit van de elektriciteitsvraag.
- Het potentieel van LT-afgiftesystemen om de systeemrendementen te verhogen vraagt om nadere analyse.
- Er zijn nog meer manieren van slimme sturing te bedenken dan de twee die zijn onderzocht (B en C), zoals het uitstellen van het laadmoment van het boilervat.
- Een goed ontwerp, correcte installatie en het nauwkeurig inregelen van het verwarmingssysteem kan veel verschil maken. Dit is buiten scope voor dit rapport.
- Er is nog weinig bekend over hoe de keuze voor een specifiek type warmtepomp – zoals het regelbereik, het type koudemiddel of de regelstrategie – het systeemgedrag en -rendement beïnvloedt.
- Een douche-wtw zorgt ervoor dat een warmtepomp minder vaak warm tapwater hoeft te bereiden, wat voor een lagere gelijktijdigheid zou moeten zorgen. Woningen met een douche-wtw zitten niet in de huidige dataset.
- Kiezen voor een hybride warmtepomp kan gezien worden als maatregel om netbelasting te beperken (hoewel het ook strategie S4 is uit de Startanalyse). In de Energietransitie Dataset zitten geen woningen met hybride warmtepomp, waardoor die in dit traject niet onderzocht kon worden met dezelfde methode. Wel zijn inzichten uit de Installatiemonitor meegenomen.
- Tot slot is het verwachte effect van een elektrische batterij niet gemodelleerd. De belangrijkste reden om deze maatregel niet te modelleren is dat de complexiteit van afwegingen vraagt om een uitgebreider onderzoek naar het hoe en waarom dan voor dit rapport mogelijk was. Bijvoorbeeld: wordt de batterij op woningniveau of buurtniveau geplaatst? De software die gebruikt wordt bij batterijen is ook vaak ingesteld om de batterij terug te verdienen en niet om netbelasting te verminderen.

Realisme en uitvoerbaarheid van de gekozen maatregelen

Deze maatregelen sluiten allemaal aan bij de werkwijze van woningcorporaties.
Enige toelichting op het geschatte realisme is:

Maatregel	Wat moet er gebeuren?	Opmerkingen
A Verlagen warmtebehoefte	In de uitvraag moet worden opgenomen dat de woning na renovatie tenminste moet voldoen aan de Standaard voor naoorlogse woningen. *Dit kan tijdens de projectontwikkelings-fase, voor de uitvraag.*	Het renoveren naar een warmtebehoefte conform de Standaard ten opzichte van circa 130 kWh_th / m^2 / jaar (label B) zijn de meerkosten aanzienlijk. Dit is contextafhankelijk, N.B. deze investering biedt ook veel andere voordelen, zoals een lagere energierekening en hoger wooncomfort.
B Prioriteren inductiekookplaat boven warmtepomp	Er moet een fysiek apparaat worden geïnstal-leerd in de meterkast dat wordt aangesloten op zowel de warmtepomp als de inductiekookplaat. *Dit gebeurt idealiter bij renovatie, maar het kan vaak ook achteraf.*	Naar verwachting gemiddelde tot lage kosten voor het apparaat. Het goed instellen en laten communiceren met andere apparaten vraagt aandacht. Check of de installatie geschikt is voor een HEMS. N.B. als het apparaat niet goed kan communiceren met de warmtepomp kan de regelmatige harde afschakeling van de warmtepomp ook voor een kortere levensduur en extra onderhoudskosten zorgen!
C Spitsmijden warmtepomp	De instellingen van de warmtepomp moeten worden aangepast. *Dit gebeurt idealiter bij renovatie, maar het kan vaak ook achteraf.*	Soms kan dit op afstand, vaak moet een installateur fysiek bij de warmtepomp kunnen. Kosten van deze ingreep zijn naar verwachting laag. N.B. Het vermogen van de warmtepomp moet voldoende zijn om de woning buiten de spitsuren warm te kunnen krijgen! En het dient niet te leiden tot comfort-problemen. Dit vraagt nader onderzoek.
D Kiezen voor een bodem warmtepomp	In de projectvoorbereiding moet worden opgenomen dat een warmtepomp met bodembron gewenst is. *Dit kan tijdens de projectontwikkelings-fase, voor de uitvraag.*	Ten opzichte van een lucht-water warmtepomp is een bodem warmtepomp (veel) duurder, maar leidt wel tot een lagere energierekening N.B. de inpassing in de bestaande bouw (inclusief tuinen) is vaak uitdagend. Een kansrijke oplossing lijkt een collectief bronnet, waarbij op wijkniveau geïnvesteerd wordt in een bron. Dit vraagt nadere uitwerking.

HEMS

Een Home Energy Management System (HEMS), die een rol speelt bij maatregelen B en C, is een kastje in de woning dat het energieverbruik, de opwekking en opslag in een woning monitort, analyseert en optimaliseert. Het verbindt apparaten zoals zonnepanelen, thuisbatterijen, warmtepompen, laadpalen en huishoudelijke apparatuur met elkaar, zodat ze efficiënt samenwerken. Hierdoor kunnen pieken in stroomverbruik worden voorkomen, kan het energieverbruik worden afgestemd op dynamische stroomprijzen, en kan het zelfverbruik van opgewekte energie worden gemaximaliseerd. Wat betreft standaarden en interoperabiliteit, is er nog geen breed gedragen internationale standaard die volledige compatibiliteit tussen alle HEMS-componenten garandeert. In Nederland werken organisaties aan het verbeteren van interoperabiliteit door het ontwikkelen van open source software en het beperken van het aantal communicatieprotocollen tot een kernset (zoals Modbus en OCPP). Dit moet leiden tot schaalbare, praktische oplossingen die steeds breder toepasbaar zijn. Voor woningcorporaties is maken van een keuze voor een bepaald HEMS systeem mogelijk van strategisch belang. Aspecten als betaalbaarheid van de toekomstige energierekening, dataveiligheid en comfort en gebruiksgemak maken daar dan onderdeel van uit.

Effect van de maatregelen op S1

Effect van maatregelen op de hoogste piek

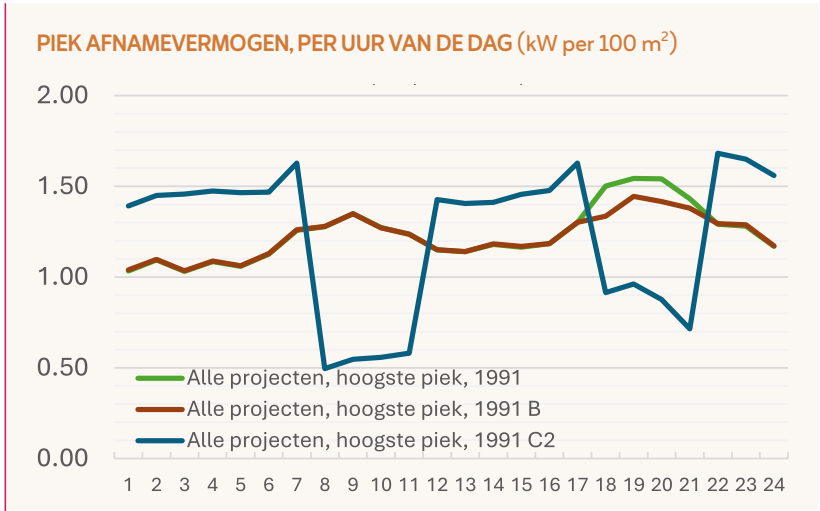
Maatregel A (verlagen warmtebehoefte) is alleen toegepast op project 7, omdat de andere projecten al een lage warmtebehoefte hadden.

Maatregel D is niet gemodelleerd. Het effect daarvan is beoordeeld door projecten met verschillende installatietypen met elkaar te vergelijken. Daarbij is project 7 juist uitgezonderd vanwege de afwijkende warmtebehoefte.

Project	*Hoogste piek na maatregelen*					
	Zonder maatregelen	*A (isoleren)*	*B (kookplaat)*	*C1 (spitsmijden 50%)*	*C2 (spitsmijden 100%)*	*D (bodembron)*
1	1.6	n.v.t.	1.4	1.5	1.8	n.v.t.
2	2.0	n.v.t.	1.8	2.0	2.2	n.v.t.
3	1.4	n.v.t.	1.2	1.3	1.2	n.v.t.
4	1.4	n.v.t.	1.4	1.4	1.5	n.v.t.
5	1.4	n.v.t.	1.3	1.4	1.7	n.v.t.
7	2.2	1.9	2.1	2.2	2.5	n.v.t.
Verschil		-11%	-6%	-1%	+9%	-13%
	Piek vermogensvraag in kW per 100 m^2, per uur in 1991.					

Tabel 11: effect van de maatregelen op het piek afnamevermogen

De maatregelen hebben dus beperkte invloed op dé hoogste piek in het jaar. In de data is echter een duidelijke verschuiving te zien in wanneer de pieken optreden. Hieronder is dat gevisualiseerd aan de hand van de uurlijkse pieken [kW] voor alle woningen in de dataset;



Figuur 4: piek afnamevermogen per uur van de dag

Invloed van maatregelen op de hoogste piek in de spitsperiode

Naast de hoogste piek in het jaar, is het ook zinvol om te weten wat de hoogste piek is tijdens de spitsuren op het net, van 17 tot 21 uur in de winter.

Project	*Hoogste piek na maatregelen*					
	Zonder maatregelen	*A (isoleren)*	*B (kookplaat)*	*C1 (spitsmijden 50%)*	*C2 (spitsmijden 100%)*	*D (bodembron)*
1	1.6	n.v.t.	1.4	1.5	0.8	n.v.t.
2	2.0	n.v.t.	1.8	2.0	1.5	n.v.t.
3	1.4	n.v.t.	1.2	1.3	0.9	n.v.t.
4	1.3	n.v.t.	1.1	1.3	0.9	n.v.t.
5	1.4	n.v.t.	1.3	1.3	0.9	n.v.t.
7	2.2	1.9	2.1	2.2	1.1	n.v.t.
Verschil		-14%	-8%	-2%	-39%	-18%
	Piek vermogensvraag in kW per 100 m² tijdens de spitsuren van 17 tot 21u.					

Tabel 12: effect van de maatregelen op het piek afnamevermogen tijdens de spits

Daaruit is zichtbaar dat, hoewel de absolute pieken door maatregelen B en C niet of nauwelijks lager worden, ze wel vaker buiten de spitstijden vallen.

Invloed van maatregelen tijdens een nog koudere winter

Hoewel is afgesproken om klimaatjaar 1991 als ijkpunt te nemen voor een zeer koude winter, is ook berekend wat er zou gebeuren als het nóg kouder zou zijn, namelijk in 1987. Hoewel dan de exacte cijfers en percentages zouden verschillen, zijn de soorten effecten hetzelfde.

Hoogste piek per woning

Bij de bemeten woningen komt in elk project wel een woning voor die af en toe meer dan 8 kW gebruikt en dus inderdaad een 3x25A aansluiting nodig zou hebben. Hoe zit dat na toepassen van de netbelastingbeperkende maatregelen?

Project	*Hoogste afnamepiek PER WONING*				
	Zonder maatregelen	*A (isoleren)*	*B (kookplaat)*	*C1 (spitsmijden 50%)*	*C2 (spitsmijden 100%)*
1	12.2	nvt	12.1	12.2	12.3
2	12.6	nvt	11.8	11.8	11.8
3	10.2	nvt	9.4	10.2	9.6
4	11.7	nvt	10.2	11.6	10.8
5	9.5	nvt	9.1	10.3	9.4
7	16.2	16.2	15.9	15.7	15.9
Verschil		0%	-5%	-1%	-4%
	Hoogst gemeten vermogensvraag per woning uit de hele dataset, gedurende de ruim 100.000 intervallen van 5 minuten per jaar, in kW per 100 m^2 in 1991.				

Tabel 13: hoogste pieken per woning na toepassing maatregelen

De maatregelen om de netbelasting op wijkniveau te verminderen dragen dus ook, zij het beperkt, bij aan de vermindering van de hoogste pieken op woningniveau. Desondanks zijn er bij elk project nog steeds een aantal momenten in het jaar dat tenminste één van de woningen meer dan 8 kW vraagt en dus een 3x25A aansluiting nodig heeft. Daarbij gaat het, project 7 uitgezonderd, om circa 10 op de 1 miljoen minuten, allemaal bij slechts enkele van de ruim 200 woningen.

Effect op netcongestie bij warmtestrategie S1

Samenvattend zijn de verwachte effecten van de verschillende maatregelen op woningniveau voor de netbelasting van een groep woningen:

Geschat effect van de maatregelen op woningen met een individuele warmtepomp					
Effect op	*A (isoleren)*	*B (kookplaat)*	*C1 (spitsmijden 50%)*	*C2 (spitsmijden 100%)*	*D (bodembron)*
Piek vermogensvraag in het jaar	10% lager	5% lager	Geen	10% hoger	10-20% lager
Piek vermogensvraag tijdens de spits	15% lager	10% lager	Geen	40% lager	20% lager
Kosten / moeite	Hoog	Laag	Laag	Laag	Middel
Effect op energierekening	Lager	Geen*	Geen*	Geen*	Lager
Effect op comfort	Positief	Geen	Geen	Geen**	Geen
Aan te raden	**Ja**	**Soms**	**Nee**	**Ja**	**Ja**

Tabel 14: Geschat effect van de maatregelen op woningen met een individuele warmtepomp

* *Uitgaande van een elektriciteits- en transporttarief dat niet gedifferentieerd is op basis van netbelasting.*

** *Hier zit een risico (C2). Een woning die in de winter vier uur lang helemaal niet kan verwarmen zal merkbaar afkoelen. Afhankelijk van de isolatiegraad kan dit om enkele graden gaan. Deze maatregel moet daarom verder worden ontwikkeld. Dit overzicht geeft aan dat er veel potentie zit bij deze maatregel.*

Dat de piek vermogensvraag (buiten de spits) bij maatregel C2 hoger wordt, komt doordat vermogensvraag van tijdens de spits naar buiten de spits wordt verplaatst. Typisch is dan zichtbaar dat net voor en vooral net na de spitsperiode een nieuwe (hogere) piek zichtbaar is, omdat alle warmtepompen dan aan de slag moeten met een afgekoelde woning.

Effect maatregelen op gebiedsniveau

Voor de FGU-regio is uitgerekend wat het cumulatieve effect van gedeeltelijke toepassing van deze maatregelen zou kunnen betekenen voor de voorspelde toename van netbelasting de komende 10 jaar. Daarbij is een inschatting gemaakt van hoe snel renovatieplannen uitgevoerd worden en welke netbelastingbeperkende maatregelen hoe vaak toegepast zullen worden. Daarnaast moet bekend zijn wat het vloeroppervlak van alle betreffende woningen is en welke warmtebehoefte die woningen hebben.

Vertaald naar een generieke wijk of buurt van 1000 woningen die voor 2035 all-electric zou moeten worden is dat bijvoorbeeld, bij isolatie naar de Standaard (maatregel A) en het spitsmijden van de warmtepomp (maatregel C2):

Voorbeelwijk met: 1000 woningen van 100 m^2 met warmtebehoefte rond de 130 kWh_th/m^2/jaar, die binnen 10 jaar all-electric worden	*Verwachte netbelasting tijdens de spits (17-21u) (klimaatjaar 1991)*		
	Totaal nu	*Toename nu-2035*	*Totaal 2035*
Door renovatieplannen	*0.3 MW*	*1.9 MW*	*2.2 MW*
Door renovatieplannen, bij toepassing aanvullende maatregelen	*0.3 MW*	*0.7 MW*	*1.0 MW*

Tabel 15: inschatting toename in netbelasting voor een all-electric woonwijk van 1000 woningen (exclusief mobiliteit)

Hoewel het effect op de verwachte netbelasting tijdens de spits dus aanzienlijk is, gaat het daadwerkelijk toepassen van deze maatregelen niet vanzelf. Dat vereist aanvullend beleid en afspraken.

Effect van de maatregelen op S2 t/m S4

Van de onderzochte maatregelen die aanbevelenswaardig zijn, zijn er twee – C (spitsmijden warmtepomp) en D (bodemwarmtepomp) – die met name relevant zijn voor Warmtestrategie S1, ofwel de individuele elektrische warmtepomp. Deels kunnen die ook relevant zijn voor de S3 varianten b, e, g, waarbij warmte in de woning wordt opgewaardeerd, maar dat is nog niet verder onderzocht vanwege een gebrek aan meetgegevens.

De derde maatregel – A (verlagen warmtebehoefte) – is relevant voor alle warmtestrategieën, van collectieve systemen tot de hybride warmtepomp met klimaatneutraal gas. Naast positieve effecten op de piekvraag naar warmte, zorgt het ook voor een hoger comfort in woningen en lagere energierekeningen.

Maatregel D, het gebruik maken van een bodembron, biedt aanleiding om na te denken over het collectief toegankelijk maken van bodembronnen voor bestaande woningen. Het individueel organiseren van een bron per woning is vaak inefficiënt en kostbaar, naast de milieutechnische uitdagingen waarbij iedere woning enkele diepe lussen in de bodem krijgt. Een collectieve oplossing, zoals een wijk- of buurtgebonden bodembronnet met een constante temperatuur van circa 15°C, zou hier uitkomst kunnen bieden. Deze aanpak helpt om de piekvraag op woningniveau te dempen. In essentie gaat het om dezelfde techniek, maar met een gedeelde bron, wat schaalvoordelen en een efficiëntere benutting van de ondergrond mogelijk maakt. Deze variant van warmtestrategie S3 vraagt nader onderzoek voor bestaande wijken.

5. PRESTATIEKADER NETBEWUST RENOVEREN

Waarom een prestatiekader?

Op dit moment zijn de gesprekken tussen netbeheerders en gebouweigenaren (waaronder woningcorporaties) vaak lastig. Gebouweigenaren willen graag weten wat ze nog wél kunnen doen. Netbeheerders kijken niet naar het gebouwniveau maar juist naar het netwerk. En daaronder ligt vaak de complexiteit van verschillende (technische) talen en bedrijfsculturen. Het risico is dat daarmee willekeur en stagnatie (of, de andere kant op: een cowboymarkt) ontstaat. Het hier gepresenteerde prestatiekader moet duidelijkheid bieden over definities, realistische prestaties en waar de lat zou moeten liggen over wat een acceptabele netbelasting is. Het gaat om de vertaling tussen wat er op gebouwniveau gebeurt en wat er op het elektriciteitsnet gebeurt.

In dit hoofdstuk maken we de stap van monitoringsdata (de werkelijkheid) naar een voorschrijvend kader dat breder toepasbaar kan zijn. Daarom is gekozen om de eenheid waarin netbewust, netvriendelijk en de huidige aanpak wordt omschreven ten opzichte van de voorgaande hoofdstukken aan te passen, van kW per gestandaardiseerde woning van 100 m^2 naar W_e/m^2.

Netbewust, Netvriendelijk

In samenspraak met belanghebbenden uit de markt zijn drie relevante prestatieniveaus benoemd, die gaan over de netbelasting van de gehele woning:

Niveau	Wat betekent dit?
Huidige aanpak	Netbelasting die vergelijkbaar is met waar de netbeheerders vanuit gaan in hun prognoses. Hier is deskundig gekeken naar de installatie van de warmtepomp, maar zijn geen nadere maatregelen genomen om netbelasting te verlagen.
Netbewust	Netbelasting die lager is dan waar de netbeheerders vanuit gaan in hun prognoses, te behalen door toepassing van kosteneffectieve maatregelen om de netbelasting te verlagen.
Netvriendelijk	Netbelasting die lager is dan waar de netbeheerders vanuit gaan in hun prognoses, te behalen door toepassing van verdergaande maatregelen om de netbelasting te verlagen.

Prestatieindicatoren warmtestrategie S1

De in hoofdstuk twee gedefinieerde prestatie-indicatoren zijn toepasbaar op alle warmtestrategieën. Bij een focus op S1 - woningen met een all-electric warmtepomp - moeten de prestatie-indicatoren verder worden aangescherpt:

Piek vermogens-vraag bij S1	Het hoogste gezamenlijke afnamevermogen van een groep woningen, gedeeld door het aantal woningen, in $Watt_{elektrisch}$ (ofwel W_e) per m^2 gebruiksoppervlak (uit NTA8800). Dit betreft één interval van 1 uur per jaar. Alle andere 8759 uur in het jaar hebben deze woningen een lager gelijktijdig vermogen. Hierbij is uitgegaan van: › een woning met all-electric warmtepomp en elektrisch koken, › inclusief huishoudelijk gebruik, › inclusief standaardverbruik (bijdrage woning aan basislast), › exclusief elektrisch laden van de auto, › bij klimaatjaar 1991, › bij een woning met warmtebehoefte die voldoet aan de Standaard voor woningisolatie, › een groep van tenminste 25 woningen die op hetzelfde transformatorhuisje zijn aangesloten.
Piek vermogens-vraag tijdens de spits bij S1	Hetzelfde als hoogste piek vermogensvraag, maar dan tijdens de spitsuren van 17 tot 21 uur.

Tabel 16: twee belangrijkste prestatieindicatoren, genuanceerd voor S1

Input voor het prestatiekader

Stedin en Liander hebben inzicht gegeven in de netbelasting van een aantal woningtypen waar zij in hun prognoses rekening mee houden. De exacte cijfers zijn verschillend tussen de netbeheerders en kunnen ook locatieafhankelijk zijn. Deze cijfers zitten dicht bij de praktijkcijfers die blijken uit de Energietransitie Dataset. De netbeheerders werken aan grotere transparantie over de cijfers waarmee wordt gerekend, maar kunnen ze op deze plek nog niet delen.

Prestatiekader Netbewust Renoveren

De hoogste piek in het jaar is belangrijk, maar het is ook belangrijk wanneer die piek plaatsvindt. Daarom heeft de piek vermogensvraag tijdens de spitsuren ook een belangrijke plek gekregen bij het beoordelen of een groep woningen netbewust is. Een woning wordt geacht aan een niveau te voldoen als het aan **beide criteria** voldoet. Als een woning op één van de twee criteria lager scoort dan op de andere, krijgt die woning het laagste label.

Niveau	Piek vermogensvraag	Piek vermogensvraag tijdens de spits
Huidige aanpak	> 19 W_e/m^2	> 19 W_e/m^2
Netbewust	≤ 19 W_e/m^2	11 ≤ 19 W_e/m^2
Netvriendelijk	≤ 19 W_e/m^2	≤ 11 W_e/m^2

Tabel 17: prestatiekader netbewust renoveren

De grenswaarden zijn als volgt tot stand gekomen:

- Bij all-electric woningen die niet goed zijn geïsoleerd ligt de piek vermogensvraag vrijwel altijd boven de 19 W_e/m^2. Bij project 7 (met een warmtebehoefte van gemiddeld 126 $kWh_{thermisch}$/m2/jaar) ligt die op 22 W_e/m^2 in de koude winter van 1991. Bij woningen die nog slechter geïsoleerd zijn, zal het nog hoger liggen. Daar is echter geen meetdata voor.

- De 19 W_e/m^2 grens ligt ongeveer op dezelfde hoogte als waar netbeheerders vanuit gaan in hun all-electric prognoses.

- Bij all-electric woningen geïsoleerd naar de Standaard ligt de piek vermogensvraag gemiddeld gezien net onder de 19 W_e/m^2 bij een lucht-water warmtepomp. Het is wenselijk om voor 'netbewust' een niveau te formuleren dat weliswaar meer vraagt dan de huidige standaardaanpak, maar niet onrealistisch duur is, bijvoorbeeld door ook altijd een bodemwarmtepomp (of vergelijkbaar) te vereisen.

- Bij het toepassen van slimme sturing lijkt vooral veel te winnen wat betreft de piek vermogensvraag tijdens de spits.

Van prestatiekader naar een aanpak op woningniveau

Bovenstaand prestatiekader beschrijft de netbelasting van een groep woningen. Gebaseerd op de resultaten uit hoofdstukken 3 en 4 is een schatting gemaakt van hoe dat prestatiekader te vertalen is naar een aanpak op woningniveau. Die vertaling richt zich op drie hoofdkenmerken van een vastgoed verduurzamingsstrategie die rekening houdt met netbelasting:

1. **Warmtebehoefte** van de woning, oftewel het warmteverlies van de woning over een heel jaar, bij een standaard klimaatjaar. Dit kan worden bepaald aan de hand van NTA8800 en wordt berekend voor het energielabel. De warmtebehoefte wordt bepaald door een combinatie van isolatiegraad, ventilatieverliezen en infiltratieverliezen. Hoe lager de warmtebehoefte, des te kleiner is het warmteverlies en dus ook de hoeveelheid warmte die moet worden geleverd om een woning op temperatuur te houden. Dit leidt tot een meetbaar lagere netbelasting. Bij een milde winter is het verschil tussen een woning met hoge of lage warmtebehoefte nog te overzien. Bij een strengere winter wordt dit verschil aanzienlijk groter, zowel wat betreft de hoogste piek als wat betreft de piek tijdens de spits van 17 tot 21 uur.

2. Het toegepaste **installatietype** in de woning, in het bijzonder door het systeemrendement van de warmteopwekker en het afgiftesysteem en de mogelijkheden tot buffering van warmte. Naarmate meer meetdata beschikbaar komen kan op dit vlak beter onderscheid gemaakt worden.

3. Eventueel **toegepaste maatregelen** om netbelasting te beperken, zoals door spreiden of sturen. Dit gaat bijvoorbeeld om het prioriteren van de inductiekookplaat boven de warmtepomp en het beperken van de warmtepomp tijdens de spits (17-21u).

Gezamenlijk leidt dit tot tabel 18.

		MAATREGEL →	A Verlagen warmtebehoefte naar	
		MAATREGEL ↓	***Standaard voor woningisolatie*** (komt ongeveer overeen met <75 kWh_th/m²/jr)	***Label B*** (komt ongeveer overeen met >100 kWh_th/m²/jr)
S1	Lucht-water warmtepomp	Geen	Netbewust	Huidige aanpak
		B prioriteren kookplaat boven warmtepomp	Netbewust	Huidige aanpak
		C spitsmijden warmtepomp	Netvriendelijk	Huidige aanpak
	Bodem warmtepomp (Maatregel D)	Geen	Netbewust	Netbewust
		B prioriteren kookplaat boven warmtepomp	Netbewust	Netbewust
		C spitsmijden warmtepomp	Netvriendelijk	Huidige aanpak
S2	MT Warmtenet	Geen	Nader onderzoek nodig	
S3	(Z)LT Warmtenet - individueel opwaarderen	Geen	Nader onderzoek nodig	
	(Z)LT Warmtenet - collectief opwaarderen	Geen		
S4	Hybride warmtepomp met klimaatneutraal gas *	Geen	Netbewust	Netbewust
		B prioriteren kookplaat boven warmtepomp	Nader onderzoek nodig	
		C spitsmijden warmtepomp		

Tabel 18: overzicht van de relatie tussen woning- en installatiekenmerken en de netbelastingprestatie op buurtniveau
** = uitgaande van koken met inductiekookplaat en overschakelen van hybride warmtepomp naar cv-ketel bij -3° C*

Een belangrijke kanttekening bij dit overzicht van de verwachte netbelasting per verduurzamingsstrategie is dat individuele projectkenmerken behoorlijk invloed kunnen uitoefenen op de resulterende netbelasting. Zo kan een warmtebehoefte op papier goed uitpakken, terwijl de luchtdichtheid van een woning in de praktijk tegenvalt. Ook kan een warmtepomp niet goed zijn geïnstalleerd of ingesteld, of kunnen er in een straat bewoners wonen die een hogere thermostaatinstelling hebben dan gemiddeld. Deels is dat al opgevangen door de diversiteit van de woningen in de gebruikte dataset. Het gaat om de best mogelijke schatting die te geven is met de meetdata en andere middelen die op dit moment beschikbaar zijn.

Enkele observaties bij dit overzicht zijn:

- De hoogste gelijktijdige piekvraag van een groep woningen in een jaar is moeilijk om significant te dempen. De enige twee maatregelen die daar echt aan bijdragen zijn A (verlagen warmtebehoefte) – vanwege een lager warmteverlies – en D (bodem warmtepomp in plaats van lucht-water warmtepomp) – vanwege een hogere efficiëntie van de warmtelevering in de winterperiode. Dit zijn beide vrij kostbare maatregelen.

- Het piekvermogen lijkt echter wel makkelijker en goedkoper om te verplaatsen naar momenten buiten de spitsuren op het net. Vooral maatregel C2 (spitsmijden warmtepomp) maakt op dat vlak tot wel 50% verschil. Daar staat tegenover dat de warmte die niet aan de woning kan worden geleverd tijdens die spitsuren wél op andere momenten geproduceerd moet worden. De warmtepomp én het afgiftesysteem moeten daar voldoende vermogen voor hebben.

6. CONCLUSIES

Situatie

Ongeacht de gekozen warmtestrategie (S1 t/m S4), leidt iedere aanpak om woningen van duurzame warmte te voorzien tot een toename van de netbelasting. Dat komt hoofdzakelijk door het opwaarderen van lage temperaturen naar bruikbare temperaturen - of dat nu binnen of buiten de woning gebeurt, en door elektrisch koken. Dit betekent dat het de komende decennia steeds spannend zal blijven of het tempo waarin het elektriciteitsnet uitgebreid wordt het tempo waarin woningen (en andere sectoren) verduurzaamd worden bij kan blijven. Dat betekent ook dat woningcorporaties en netbeheerders voor lange tijd zullen moeten samenwerken: beiden hebben doelstellingen om te behalen en hebben elkaar daarbij nodig.

Dit rapport richt zich primair op het geven van handelingsperspectief aan woningcorporaties voor hoe ze kunnen werken aan hun verduurzamingsdoelstellingen en -afspraken in tijden van netcongestie.

Perspectief voor woningcorporaties

In de huidige praktijk maakt een woningcorporatie eerst een plan, vaak in afstemming met de gemeente en het warmteprogramma in ogenschouw nemend, vraagt vervolgens netverzwaring aan voor een groep woningen, en krijgt dan te horen of en wanneer realisatie mogelijk is. Daarbij doet een netbeheerder in principe twee checks: 1) Is er voldoende capaciteit[1] op de verschillende niveaus van het net? En 2) wanneer zijn de benodigde werkzaamheden uitvoerbaar? Het is daarom deels een planningsvraagstuk. Evengoed kan het jaren duren voordat die benodigde werkzaamheden uitgevoerd kunnen worden. Bij het uitvoeren van deze twee checks houden netbeheerders op dit moment geen rekening met het eventueel voldoen aan het prestatiekader 'netbewust' of 'netvriendelijk'. Dat zou mogelijk wel kunnen volgen uit nader te maken afspraken op landelijk niveau. De vraag is dan ook: wat kunnen partijen in de tussentijd doen? Ook na netuitbreiding zal transportcapaciteit schaarser zijn dan voorheen, daarom blijft effeciënt netgebruik ook in de toekomst belangrijk.

Uit de voorgaande hoofdstukken en de gesprekken die zijn gevoerd voor dit rapport komt een beeld naar voren van wat woningcorporaties kunnen doen:

- Een hoog isolatieniveau, zoals de Standaard voor naoorlogse woningen, levert een belangrijke bijdrage aan netbewust renoveren. Dat is wenselijk om netcongestie te beperken en verkleint de noodzakelijke investeringen in netverzwaring. Daar staat tegenover dat de investering die nodig is om de woning naar dit isolatieniveau te brengen hoog is, terwijl de netbelasting er slechts met 10-15% mee wordt verkleind. Corporaties kunnen deze investering niet terugverdienen via een huurverhoging. Dat betekent dat, om alle woningen naar de Standaard te kunnen isoleren, er extra middelen nodig zijn voor verhuurders om aan deze isolatienorm te kunnen voldoen.

[1] *Bij Liander is het ook mogelijk voor woningcorporaties om op portefeuilleniveau een pre-check op netcapaciteit aan te vragen.*

- Voor woningen met een elektrische kookplaat en (hybride) warmtepomp is vanuit technisch oogpunt niet altijd een driefase (3x25A) aansluiting nodig. Toch willen netbeheerders graag dat dit soort woningen zo'n aansluiting krijgen, vanuit de behoefte om de netbelasting gelijk te kunnen verdelen over de fases.

- Voor alle woningen waar een duurzame warmtevoorziening in de woning waarschijnlijk is (S1 en S4), of waarvoor het aannemelijk is dat er een warmtenet komt met opwaardering van warmte in de woning (varianten van S3), is het eindbeeld daarom dat een driefase aansluiting wenselijk is ten tijde van of voorafgaand aan de vervanging van de installatie. Dat is standaard een 3x25A aansluiting.

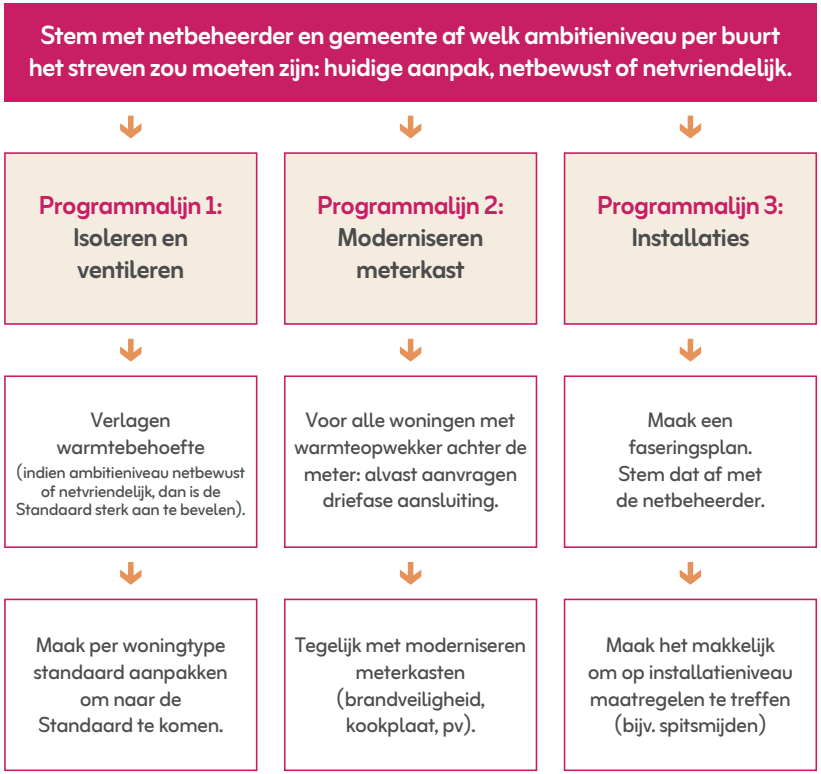
- Zo'n driefase aansluiting geldt als een verzwaring waar de netbeheerder niet altijd op korte termijn akkoord op kan geven, door gebrek aan netcapaciteit, technisch personeel of materialen.

- In het geval dat de cv-ketel in de woning vervangen moet of gaat worden, maar er niet tijdig een driefase aansluiting gerealiseerd kan worden, heeft een woningcorporatie die een duurzamere installatie wil plaatsen een aantal keuzes:
  - een hybride warmtepomp installeren die voldoende heeft aan de huidige aansluiting. Uit een combinatie van de Installatiemonitor en de Energietransitie Dataset is te concluderen dat hybride warmtepompen vermoedelijk een lagere netbelasting hebben in vergelijking met all-electric warmtepompen, vooral bij lage buitentemperaturen. Steeds meer hybride systemen blijven echter ook op koude dagen elektrisch verwarmen, waardoor dit verschil kleiner wordt. De keuze voor hybride of all-electric wordt daarnaast ook niet alleen gemaakt op basis van netbelasting, maar ook op basis van andere factoren;
  - een elektrische warmtepomp installeren die voldoende heeft aan de huidige (1x35A) aansluiting. Dit vraagt – om het doorslaan van de hoofdzekering te voorkomen – in elk geval om isoleren tot het niveau van de Standaard en goede inregeling van warmtepomp en afgiftesysteem en daarnaast, afhankelijk van de grootte van de woning, mogelijk om aanvullende maatregelen om de piek vermogensvraag uit te smeren over de dag.

- In alle gevallen is de aanbeveling om, bij het ontwerpen van renovatie-aanpakken, tenminste het prestatieniveau "netbewust" te ambiëren en, waar mogelijk, het niveau "netvriendelijk". Dit leidt op maatschappelijk niveau tot vermindering van netcongestie, lagere kosten voor de elektriciteitsinfrastructuur en versnellingsmogelijkheden voor toekomstige projecten.

Programmatische aanpak voor woningcorporaties

Een voorstel voor de manier waarop bovenstaande ingrediënten door woningcorporaties geoperationaliseerd kunnen worden is door drie programmalijnen te organiseren. Onderdeel van de drie programmalijnen is het afstemmen met gemeente en de regionale netbeheerder omtrent verduurzamingsplannen. De drie programmalijnen zijn:



Figuur 5: voorstel voor programmatische aanpak woningverduurzaming in gebieden met netcongestie

Programmalijn 1: Isoleren en ventileren

Het verlagen van de warmtebehoefte van woningen, door een combinatie van isoleren, kierdichting en efficiënt ventileren, is kostbaar, maar levert ook veel voordelen op, zoals een lagere energierekening en hoger wooncomfort. Er zijn door Aedes prestatieafspraken over gemaakt met het Rijk en er komen ook aanvullende verplichtingen over vanuit Europa. Ook kan dit onafhankelijk worden uitgevoerd van netverzwaring en heeft het een aantoonbaar effect op de netbelasting zodra de woning is voorzien van een warmtepomp.

Voor een toekomstbestendige keuze lijkt de Standaard voor woningisolatie voor naoorlogse woningen in veel gevallen passend. Voor sommige hoekwoningen zijn de grenswaarden aan de hoge kant (en zou dus beter moeten worden geïsoleerd dan de Standaard voorschrijft) en voor sommige tussenwoningen zouden de grenswaarden iets hoger mogen liggen (en zouden dus wat minder goed mogen worden geïsoleerd dan de Standaard voorschrijft).

In de programmalijn Isoleren en ventileren zou een woningcorporatie één of meerdere aanpakken voor het isoleren van zijn woningvoorraad centraal zetten – al dan niet rekening houdend met de door de gemeente gekozen voorkeursalternatieven per gebied - en dat vervolgens stap voor stap toepassen op de voorraad. Waar relevant, kan dat op projectniveau gecombineerd worden met projecten van programmalijnen 2 en 3.

Programmalijn 2: Moderniseren meterkast

In de programmalijn Moderniseren meterkast wordt getracht om voorspelbaarheid te creëren voor wanneer woningen toegang krijgen tot een moderne meterkast met driefase aansluiting die krachtig genoeg is voor een kookplaat en warmtepomp. Voor alle warmtestrategieën waarbij warmte in de woning wordt opgewaardeerd is zo'n aansluiting uiteindelijk wenselijk.

Onderdeel van deze programmalijn is in elk geval het plaatsen van een moderne meterkast die klaar is voor een driefase aansluiting, het voorbereiden op een kookplaat - inclusief aansluiting in de keuken – en warmtepomp en het aanvragen en uiteindelijk realiseren van de driefase aansluiting. Hierbij dient de verwachte vermogensvraag zo gelijk mogelijk verdeeld te worden over de verschillende fases.

Programmalijn 3: Installaties

In programmalijn Installaties staat het vervangen van installaties centraal, met name de warmteopwekker, de kookvoorziening en eventuele zonnepanelen. Per type installatie maakt de woningcorporatie een afwegingskader voor wanneer welk type wordt ingezet en welke prestatie- en kwaliteitsvereisten dan gelden. Onderdeel van het afwegingskader is hoe om te gaan met de situatie dat een cv-ketel vervangen moet worden maar er nog geen mogelijkheid is de woning aan te sluiten op een driefase aansluiting.

De installaties en de bijbehorende werkzaamheden kunnen op portefeuilleniveau, dat wil zeggen projectoverstijgend, worden ingekocht en beheerd. Op portefeuilleniveau ontstaat zo ook overzicht over de verwachte aantallen installatievervangingen per jaar. Binnen deze programmalijn valt ook de overweging om eisen te stellen aan de stuurbaarheid, bufferingscapaciteit en andere eigenschappen van het verwarmingssysteem die kunnen bijdragen aan een lagere netbelasting, om zo tot het niveau 'netvriendelijk' te kunnen komen.

Structurele monitoring van de installaties wordt sterk aangeraden. Dit is behulpzaam voor beheer en onderhoud, maar is ook input voor optimalisatie van de drie programmalijnen over de tijd.

Perspectief voor gemeenten

Gemeenten zetten onder andere warmteprogramma's en wijkuitvoeringsplannen in om de warmtetransitie binnen de gemeentegrenzen van sturing te voorzien. Een belangrijk onderdeel van die sturing bestaat uit het per buurt aangeven welke voorkeur er vanuit de gemeente is voor een bepaalde infrastructuur voor het voorzien in duurzame warmte. Daarnaast faciliteert de gemeente ook de dialoog tussen de verschillende belanghebbenden, zoals bijvoorbeeld tussen woningcorporaties en netbeheerders. Tegelijkertijd speelt de gemeente een cruciale rol bij alle werkzaamheden rondom de uitbreiding van het elektriciteitsnet, van het organiseren van toegang tot bouwgrond tot het verlenen van vergunningen.

Gemeenten kunnen inzichten uit dit rapport in die processen inzetten door:

- relevante informatie op woningniveau intern op een rij te zetten en beschikbaar te maken voor beleids- en projectvorming. Dit gaat om bijvoorbeeld de warmtebehoefte, de categorie elektrische aansluiting die verblijfsobjecten nu hebben, huidig energieverbruik (eventueel op postcode6-niveau) en de beoogde warmtestrategie;

- per buurt en per jaar een gemeentelijk ambitieniveau te kiezen voor de geambieerde netbelastingprestatie van verduurzaamde woningen (netbewust of netvriendelijk). Het ambitieniveau kan onder andere worden vastgesteld op basis van plaatselijk aanwezige netcapaciteit, de grootte van de woningen, de gemiddelde kwaliteit van de woningschil, en de betalingsbereidheid van de vastgoedeigenaren. Op dit moment is het meest bekend over de netbelastingprestaties van all-electric woningen (warmtestrategie S1). Voor andere warmtestrategieën kunnen die ambitieniveaus daardoor mogelijk pas later worden vastgesteld;

- gemeentelijke beleidsdocumenten en projecten af te stemmen op de gekozen ambitieniveaus voor de netbelastingprestatie en de fasering van beschikbare netcapaciteit;

- te participeren in projecten om integrale all-electric wijken te onderzoeken en ontwikkelen.

7. AANBEVELINGEN

Aanbevelingen voor vervolgonderzoek

Voor een stevig draagvlak voor de in dit document beschreven aanpak om netbewust te kunnen renoveren, is aan te bevelen:

- Door monitoring van all-electric en hybride woningen weten we inmiddels veel beter wat de daadwerkelijke netbelasting is. Die ligt een factor 2 lager dan waar PBL vanuit gaat in de Actualisatie van de Startanalyse. Netbeheerders houden in hun prognoses rekening met een netbelasting die meer in lijn is met de resultaten in dit rapport. In vergelijking tot miljardeninvesteringen en haperende of uitvallende netten, is de benodigde investering in monitoring om goede sturingsinformatie te krijgen relatief weinig moeite.

  AANBEVELING: Het is daarom aan te raden om te zorgen voor structurele monitoring van een representatieve steekproef van alle soorten woningen in Nederland die met alle relevante warmtestrategieën zijn uitgevoerd. Naar schatting betreft dit tussen de 5.000 en 25.000 woningen.

- Een verrijking van dit document op twee specifieke onderdelen is wenselijk:
  1) Van de warmtestrategieën uit de Startanalyse waarvoor nu geen monitoringdata beschikbaar was om te analyseren is bekend dat er wel degelijk monitoringdata aanwezig is in het land. Het is waardevol om die ook te kunnen analyseren en de resultaten daarvan toe te voegen aan dit document.
  2) Er zijn meer maatregelen mogelijk voor het verlagen van de netbelasting. Denk bijvoorbeeld aan een buurtbatterij of een energiehub.

  AANBEVELING: Onderzoek of er ook voor de andere hoofdstrategieën (met name S2 en S3) datasets beschikbaar zijn om een rijker en gedifferentieerd beeld te krijgen van de netbelasting van deze strategieën. Neem aanvullende maatregelen mee bij een actualisatie van dit rapport.

- Daarnaast heeft dit document zich vooral gericht op afnamecongestie, vanuit het perspectief dat teruglevering weliswaar met grote piekvermogens gebeurt, maar dat het voor minder problemen op het net zorgt omdat in theorie omvormers van zonnepanelen in woningen automatisch afschakelen bij een te hoog voltage. Vanaf 2027 zijn ook grote veranderingen te verwachten door het afschaffen van saldering.

  AANBEVELING: Overweeg om bij een volgende actualisatie van dit rapport ook terugle vercongestie mee te nemen.

- Een onderwerp dat, gezien de steeds warmere zomers, actueler wordt is de verwachte toekomstige zomerse energievraag door lucht-lucht warmtepompen, oftewel airconditioners. Daar is nu nog geen meetdata van bekend.

  AANBEVELING: Onderzoek of monitoringdata beschikbaar kan komen van woningen met airconditioners en andere koelsystemen.

- Dit rapport beperkt zich tot de relatie tussen een renovatieaanpak op woningniveau en de netbelasting die dat veroorzaakt op wijk- en hoger niveau. Op wijk- en hoger niveau spelen ook andere zaken, zoals laadpalen, utiliteitsbouw en infrastructuur.

  AANBEVELING: Verbindt verschillende onderzoeken en kennisclubs aan elkaar om tot een concreet en realistisch beeld te komen voor hoe een all-electric wijk georganiseerd kan worden, bijvoorbeeld over de vraag hoeveel opslag op wijkniveau nodig is om netvriendelijk te worden.

- De werelden van gebouw en energienetwerk komen samen in de meterkast, waar technische afspraken, vastgelegd in normen (NEN1010) en vanuit de Bbl, leidend zijn voor verdere uitwerking binnen de beide domeinen. De aansluitcapaciteit van een kleinverbruiker (kva) zijn op dit moment gedefinieerd als alles kleiner dan 3x80A. Voor woningen komt dit meestal neer op 1x35A of 3x25A. Gezien de wens van de netbeheerders om alle woningen op termijn naar een 3x25A aansluiting te krijgen neemt de theoretische maximale vermogensvraag per woning op papier toe van circa 8 kW naar 17 kW. Dit is, zoals uit de meetdata blijkt, meestal niet nodig.

  AANBEVELING: Onderzoek of er winst te behalen is door het uitdagen van partijen die op woningniveau actief zijn (installateurs, bouwbedrijven), bijvoorbeeld door ook ruimte te bieden voor andere, kleinere, aansluitvermogens. Zo kunnen in een woning die op bijvoorbeeld 3X16A of zelfs 3X10A is aangesloten andere keuzes gemaakt moeten worden die ertoe leiden dat de afnamevraag van een groep woningen beter over de dag wordt verspreid en de gelijktijdige afnamevraag dus afneemt.

Aanbevelingen voor beleid

Een aantal beleidsmatige aanpassingen die bij zouden kunnen dragen aan het beperken van netcongestie terwijl het renovatietempo en daarmee de klimaatdoelstellingen niet uit het oog worden verloren zijn:

- Voor een voorspelbaar renovatieproces en betrouwbare prognoses van toekomstige netbelasting kan niet alleen worden gevaren op een ex post analyse van gelijksoortige woningen met gelijksoortige installatietypen. De kans is groot dan de te renoveren woningen net op een aantal potentieel belangrijke punten afwijkt van de woningen in de dataset, waardoor de werkelijke netbelasting ook af zal wijken.

  AANBEVELING: Start een proces om tot een bepalingsmethodiek te komen die netbelasting kan voorspellen voor nog te renoveren woningen, vergelijkbaar met (en mogelijk aanvullend op) de NTA8800 voor de energiebalans. Onderdeel van dat proces zou ook moeten zijn om te beschrijven hoe die te ontwikkelen methodiek geijkt wordt op inzichten geleerd of nog te leren van monitoringsdata uit de praktijk.

- Maatregel C2, het spitsmijden van de warmtepomp, lijkt veel bij te kunnen dragen aan een lagere netbelasting op momenten dat het net sneller overbelast dreigt te raken. Deze maatregel kent echter nog open eindjes, zoals vragen rondom wat een acceptabele daling van de binnentemperatuur is, welk vermogen de warmtepomp nog wel mag gebruiken in die spitsuren van 17 tot 21u, hoe het het beste georganiseerd kan worden en meer.

  AANBEVELING: Zet een vervolgtraject uit om maatregel C2 verder marktrijp te maken.

› Het lijkt uitdagend om alle gebouweigenaren te bewegen om vrijwillig netbewust te renoveren, in het bijzonder omdat daar meerkosten tegenover staan ten opzichte van gangbare duurzame renovaties terwijl de baten niet altijd duidelijk zijn. Het is mogelijk makkelijker om specifieke eisen te stellen aan de warmtebehoefte en de manier waarop installaties worden ontworpen en ingeregeld, zodat uiteindelijk woningen in de praktijk vaak 'netbewust' zullen zijn.

AANBEVELING: Onderzoek de mogelijkheden voor normerende maatregelen op apparaatniveau (bijvoorbeeld bij warmtepompen) die bewezen bijdragen aan een lagere netbelasting, zoals het beperken van het elektrische vermogen tijdens de spitsuren van 17 tot 21u.

› Installateurs die een warmtepomp gaan plaatsen maken berekeningen voor het bepalen van het benodigde vermogen van de warmtepomp. Als het een goede installateur is, is een onderdeel hiervan een warmteverliesberekening en afgiftesysteemberekening per te verwarmen vertrek. Risico bij het toepassen van de ISSO 51 norm voor deze berekeningen is dat deze vaak leidt tot overdimensionering van het systeem, door voor alle parameters aan de veilige kant te gaan zitten. Maar niettemin levert het zeer waardevolle informatie op, die nu verloren gaat of belandt in een la bij de installateur. In het Verenigd Koninkrijk is het bijvoorbeeld verplicht om deze informatie te deponeren bij de lokale RVO voor het verkrijgen van de Britse variant op de ISDE-subsidie.

AANBEVELING: Onderzoek de mogelijkheid om het aan RVO aanleveren van de door installateurs gemaakte berekeningen voor het plaatsen van een warmtepomp verplicht te stellen voor het verkrijgen van de ISDE-subsidie.

› Er zijn meerdere redenen voor de hogere netbelasting bij een zeer koude winter, waaronder dat warmtepompen langer aan moeten staan om de woning warm te krijgen, dat er een ontdooicyclus plaats vindt en dat warmtepompen lang niet altijd goed ingeregeld zijn. Eén van de belangrijkste redenen is echter dat elektrische elementen nog steeds vaak worden ingezet voor het geven van een vermogensboost op koude dagen. Die hebben een slecht rendement, waardoor de elektrische vermogensvraag opeens scherp omhoog kan gaan.

AANBEVELING: Onderzoek de mogelijkheid om bij het dimensioneren van warmtepompen eisen te stellen aan de inzet van het elektrisch element, bijvoorbeeld door verplicht te maken dat de warmtepomp in de volledige warmtebehoefte van de woning moet kunnen voorzien bij een bepaalde aanvoertemperatuur, bijvoorbeeld <50° C, bij een bepaald klimaatjaar, bijvoorbeeld 1991 of conform NEN5060, en zonder inzet van een elektrisch element.

› Woningcorporaties moeten veel meterkasten vervangen. Netbeheerders moeten ook in de meterkast zijn om de aansluiting te verzwaren of slimme meters te vervangen. Nu mogen die werkzaamheden niet door dezelfde persoon gedaan worden. In het kader van een tekort aan technisch geschoold personeel en grote maatschappelijke uitdagingen lijkt dit een onnodig zelfbeperkende regel.

AANBEVELING: Onderzoek hoe het mogelijk gemaakt kan worden dat door woningcorporaties - in samenwerking met de regionale netbeheerder - een installateur gezocht wordt die tegelijkertijd een nieuwe meterkast plaatst, de slimme meter vervangt en de aansluiting mag verzegelen.

B

VERANTWOORDING

B1. ENERGIETRANSITIE DATASET

Inleiding

Voor de analyse van de netbelasting van woningen met all-electric warmtepompen is gebruikgemaakt van de Energietransitie Dataset (ETD). Deze dataset is tot stand gekomen met dank aan Watch-e, die monitoring uitvoert bij veel woningen van woningcorporaties. In deze dataset zitten ruim 250 woningen verdeeld over 6 projecten.

Sinds de introductie van de energieprestatievergoeding (EPV) in 2016 worden, met name bij sociale huurwoningen, de energetische prestaties van woningen steeds vaker goed gemonitord. Dit volgt uit de verplichting aan verhuurders die gebruik willen maken van de EPV om huurders jaarlijks inzicht te geven in de daadwerkelijke prestaties van de woning waar zij een extra vergoeding voor betalen. De monitoringapparatuur die nodig is om dat jaarlijkse inzicht te geven kan daarnaast ook ondersteunend zijn bij (preventieve) onderhoudswerkzaamheden, benchmarken van renovatieaanpakken en meer.

Deze context bood een kans voor het in een breder perspectief leren van monitoringdata van al verduurzaamde woningen. Daartoe hebben Stroomversnelling en Watch-e sinds 2024 samengewerkt om monitoringdata te anonimiseren en vervolgens samen te brengen in een dataset voor beleidsdoeleinden. Dit is de ETD geworden. Het doel is om hier ook meer partijen bij te betrekken en gezamenlijk steeds meer te leren over hoe de gebouwde omgeving op de meest verstandige manier aardgasvrij, klimaatvriendelijk en in algemene zin klaar voor 2050 gemaakt kan worden.

Variabelen in de Energietransitie Dataset

De gebouweigenaar kiest welke variabelen worden gemeten. Daardoor wordt over het algemeen niet hetzelfde gemeten in verschillende projecten. Wel is er gelukkig veel overlap, waarbij eigenlijk altijd de slimme meter wordt uitgelezen en daarnaast aparte (MID-kwaliteit) meters worden geïnstalleerd voor de warmtepomp en de zonnepanelen. Daaromheen worden soms nog heel veel andere sensoren of apparaten uitgelezen – denk aan de thermostaat, de warmtepomp of de omvormer – en soms gebeurt dat helemaal niet. In de ETD wordt een ondergrens gesteld aan welke variabelen beschikbaar moeten zijn voor woningen voordat ze kunnen worden opgenomen. Naast meetdata gaat het dan ook over metadata, die iets zegt over de woning, de kwaliteit van de woningschil, de geplaatste installaties en het lokale klimaat. Daarnaast worden overige beschikbaar meetgegevens wel opgenomen in de ETD, voor specifieke studies of het kunnen trainen van een AI-model. In het gebruikte datamodel zitten de inhoudelijke variabelen zoals beschreven in tabel 19 vanaf de volgende pagina. De laatste kolom geeft daarbij aan voor hoeveel van de woningen in de dataset deze variabele beschikbaar is. Op energietransitiedataset.nl staat uitgebreid beschreven op welke wijze met data is omgegaan.

»

Entiteit	Variabele	Eenheid	Resolutie	Definitie	Beschikbaarheid
Metadata	ProjectIdBSV	nvt	vaste waarde	code toegekend door Stroomversnelling	100%
Metadata	HuisIdBSV	nvt	vaste waarde	code toegekend door Stroomversnelling	100%
Metadata	Weerstation	nvt	vaste waarde	dichtstbijzijnde KNMI weerstation	100%
Metadata	Oppervlakte	m^2	vaste waarde	Ag, oftewel m^2 gebruiksoppervlak	100%
Metadata	Compactheid	factor	vaste waarde	Als/Ag, oftewel m^2 verliesoppervlak / m^2 gebruiksoppervlak	100%
Metadata	Warmtebehoefte	kWh/m^2/jaar	vaste waarde	kWh_th/m^2/jr, volgens NTA8800	100%
Metadata	Eigenaarschap	nvt	vaste waarde	Kiezen uit: Woningcorporatie, Particulier, Particuliere Verhuur, Overheid, Anders	100%
Metadata	Nieuwheid	nvt	vaste waarde	Kiezen uit: Nieuwbouw, Renovatie	100%
Metadata	Bouwjaar	jaartal	vaste waarde	Oorspronkelijk bouwjaar	100%
Metadata	Renovatiejaar	jaartal	vaste waarde	Jaar van renovatie	100%
Metadata	WoningType	nvt	vaste waarde	Wat voor woningbouw is het? Kiezen: EGW, MGW	100%
Metadata	WoningTypeDetail	nvt	vaste waarde	Wat voor woningbouw is het? Kiezen: Tussenwoning, Hoekwoning, 2-onder-1-kap, Vrijstaand, Portieketage, Galerij, Anders	100%
Metadata	WarmteopwekkerType	nvt	vaste waarde	Merk en productcode van warmteopwekker	90%
Metadata	WarmtepompKoudemiddel	nvt	vaste waarde	Het eventuele gebruikte koudemiddel	90%
Metadata	WarmtepompVermogenTh	kW	vaste waarde	In kW, met één decimaal. Het door de fabrikant in reclame-uitingen vermelde thermische vermogen van de warmtepomp(combinatie).	90%
Metadata	WarmtepompElElement	nvt	vaste waarde	Ja/Nee. Of de warmtepomp (inclusief boilervat/thermische opslag) een elektrisch element heeft, oftewel een booster.	90%
Metadata	WarmtepompElAansluiting	nvt	vaste waarde	Kiezen: 1) 16A, 2)2x16A, 3) Grotere aansluiting. Dit betreft de aansluiting van warmtepomp inclusief boiler/thermische opslag.	90%
Metadata	WarmtepompBron	nvt	vaste waarde	Kiezen: 1) Lucht, 2) Bodem verticaal, 3) Bodem horizontaal, 4), Bronnet, 5) PVT, 6) Anders, 7) Ventilatielucht	100%
Metadata	WarmteopwekkerCategorie	nvt	vaste waarde	Hoe wordt verwarmd? Kiezen: Hybride warmtepomp, Lucht-water warmtepomp, Water-water warmtepomp, Lucht-lucht warmtepomp, Anders	100%

Entiteit	Variabele	Eenheid	Resolutie	Definitie	Beschikbaarheid
Metadata	Warmteopwekker	nvt	vaste waarde	Hoe wordt verwarmd? Kiezen: Collectief, Individueel	100%
Metadata	BoilervatVolume	liter	vaste waarde	In liter. Volume van het boilervat of volume-equivalent van thermische opslag.	80%
Metadata	AfgiftesysteemCategorie	nvt	vaste waarde	Hoe wordt warmte aan de woning afgegeven? Kiezen: Radiator, LT Radiator, Convector, LT Convector, Vloerverwarming, Lucht, Infrarood, Anders	100%
Metadata	Ventilatiesysteem	nvt	vaste waarde	Hoe wordt geventileerd? Kiezen: Natuurlijke ventilatie, Type C, Type D, Type E	100%
Metadata	Kookinstallatie	nvt	vaste waarde	Hoe wordt gekookt? Kiezen: Gas, Inductie, Anders	100%
Metadata	PVMerk	nvt	vaste waarde	Merk van de geplaatste PV panelen.	80%
Metadata	PVType	nvt	vaste waarde	Producttype van de geplaatste PV panelen; productnummer	20%
Metadata	PVWattpiekPerPaneel	Wp	vaste waarde	Wattpiek per paneel van de geplaatste panelen.	20%
Metadata	EPV	nvt	vaste waarde	Wordt EPV geïnd? Kiezen: EPV 1.0, EPV 2.0 Basis, EPV 2.0 Hoogwaardig, Nee, Niet bekend	100%
Metadata	DakType	nvt	vaste waarde	Wat voor dak? Kiezen: Plat, Zadel of Anders	100%
Metadata Berekend	VerliesOppervlak	m^2	vaste waarde	Compactheid * Oppervlakte	100%
Prestatiedata	ReadingDate		5 minuten	Format: YYYY-MM-DD HH:MM:SS	100%
Prestatiedata	ElektriciteitNetgebruikHoog	kWh	5 minuten	kWh	100%
Prestatiedata	ElektriciteitNetgebruikLaag	kWh	5 minuten	kWh	100%
Prestatiedata	ElektriciteitTerugleveringHoog	kWh	5 minuten	kWh	100%
Prestatiedata	ElektriciteitTerugleveringLaag	kWh	5 minuten	kWh	100%
Prestatiedata	ElektriciteitVermogen	W	5 minuten	W	100%
Prestatiedata	ElektriciteitsgebruikWTW	kWh	5 minuten	kWh	80%
Prestatiedata	ElektriciteitsgebruikWarmtepomp	kWh	5 minuten	kWh (door losse MID-kwaliteit kWh meter)	100%
Prestatiedata	Elektriciteitsgebruik WarmtepompIntern	kWh	5 minuten	kWh (door interne kWh meter)	40%
Prestatiedata	ElektriciteitsgebruikBooster	kWh	5 minuten	kWh (elektrisch element in warmtepomp)	100%
Prestatiedata	ElektriciteitsgebruikBoilervat	kWh	5 minuten	kWh (spiraal in boilervat)	100%
Prestatiedata	TemperatuurBoilervat	°C	5 minuten	graden C (sensor in boilervat, vlakbij uitgang)	40%

Entiteit	Variabele	Eenheid	Resolutie	Definitie	Beschikbaarheid
Prestatiedata	TemperatuurWarmTapwater	°C	5 minuten	graden C (sensor in leiding, vlakbij uitgang boilervat)	30%
Prestatiedata	TemperatuurWoonkamer	°C	5 minuten	graden C (zoals gerapporteerd door thermostaat)	40%
Prestatiedata	TemperatuurSetpointWoonkamer	°C	5 minuten	graden C	40%
Prestatiedata	TemperatuurBinnenWTW	°C	5 minuten	graden C (zoals gerapporteerd door ventilatiesysteem)	40%
Prestatiedata	TemperatuurBuitenWTW	°C	5 minuten	graden C (zoals gerapporteerd door ventilatiesysteem)	40%
Prestatiedata	TemperatuurBuitenWarmtepomp	°C	5 minuten	graden C (zoals gerapporteerd door de warmtepomp)	40%
Prestatiedata	TemperatuurAfgifteAanvoer	°C	5 minuten	graden C	40%
Prestatiedata	TemperatuurAfgifteRetour	°C	5 minuten	graden C	40%
Prestatiedata	WarmteproductieWarmtepomp	GJ	5 minuten	GJ (=WarmteproductieRuimteverwarming + WarmteproductieTapwater)	20%
Prestatiedata	WatergebruikWarmtepomp	liter	5 minuten	Debiet, in liter (=WatergebruikWarmTapwater + WatergebruikRuimteverwarming)	40%
Prestatiedata	Mode		5 minuten	0 = idle (stand-by) 1 = warm tapwater 2 = ruimteverwarming 3 = ruimtekoeling 4 = storing 5 = ontdooicyclus 6 = legionellacyclus	40%
Prestatiedata	Zon-opwekMomentaan	kW	5 minuten	kW (momentaan)	100%
Prestatiedata	Zon-opwekTotaal	kWh	5 minuten	kWh	100%
Prestatiedata	CO_2	ppm	5 minuten	ppm (momentaan)	40%
Prestatiedata	Luchtvochtigheid	%	5 minuten	% relatieve luchtvochtigheid (momentaan)	40%
Prestatiedata	Ventilatiedebiet	m^3 / uur	5 minuten	m^3/uur (momentaan)	40%
Omgevingsdata	Windrichting	graden	1 uur	Windrichting (in graden) gemiddeld over de laatste 10 minuten van het afgelopen uur (360=noord, 90=oost, 180=zuid, 270=west, 0=windstil 990=veranderlijk	100%
Omgevingsdata	WindsnelheidUur	m/s	1 uur	Uurgemiddelde windsnelheid (in 0.1 m/s)	100%
Omgevingsdata	Windsnelheid10min	m/s	1 uur	Windsnelheid (in 0.1 m/s) gemiddeld over de laatste 10 minuten van het afgelopen uur	100%

Entiteit	Variabele	Eenheid	Resolutie	Definitie	Beschikbaarheid
Omgevingsdata	WindsnelheidMax	m/s	1 uur	Hoogste windstoot (in 0.1 m/s) over het afgelopen uurvak	100%
Omgevingsdata	TemperatuurBuitenWeerstation	°C	1 uur	Temperatuur (in 0.1 graden Celsius) op 1.50 m hoogte tijdens de waarneming	100%
Omgevingsdata	TemperatuurBuitenMin6u	°C	1 uur	Minimumtemperatuur (in 0.1 graden Celsius) op 10 cm hoogte in de afgelopen 6 uur	100%
Omgevingsdata	TemperatuurDauwpunt	°C	1 uur	Dauwpuntstemperatuur (in 0.1 graden Celsius) op 1.50 m hoogte tijdens de waarneming	100%
Omgevingsdata	ZonDuur	0.1 uren	1 uur	Duur van de zonneschijn (in 0.1 uren) per uurvak, berekend uit globale straling (-1 for <0.05 uur)	100%
Omgevingsdata	ZonStraling	J/cm^2	1 uur	Globale straling (in J/cm^2) per uurvak	100%
Omgevingsdata	NeerslagDuur	0.1 uren	1 uur	Duur van de neerslag (in 0.1 uur) per uurvak	100%
Omgevingsdata	NeerslagHoeveelheid	0.1 mm	1 uur	Uursom van de neerslag (in 0.1 mm) (-1 voor <0.05 mm)	100%
Omgevingsdata	Luchtdruk	0.1 hPa	1 uur	Luchtdruk (in 0.1 hPa) herleid naar zeeniveau, tijdens de waarneming	100%
Omgevingsdata	Zicht	km	1 uur	Horizontaal zicht tijdens de waarneming (0=minder dan 100m, 1=100-200m, 2=200-300m,..., 49=4900-5000m, 50=5-6km, 56=6-7km, 57=7-8km, ..., 79=29-30km, 80=30-35km, 81=35-40km,..., 89=meer dan 70km)	100%
Omgevingsdata	Bewolking	nvt	1 uur	Bewolking (bedekkingsgraad van de bovenlucht in achtsten), tijdens de waarneming (9=bovenlucht onzichtbaar)	100%
Omgevingsdata	LuchtvochtigheidWeerstation	%	1 uur	Relatieve vochtigheid (in procenten) op 1.50 m hoogte tijdens de waarneming	100%
Omgevingsdata	Weercode	nvt	1 uur	Weercode (00-99), visueel(WW) of automatisch(WaWa) waargenomen, voor het actuele weer of het weer in het afgelopen uur.	100%
Omgevingsdata	WeercodeWaarneming	nvt	1 uur	Weercode indicator voor de wijze van waarnemen op een bemand of automatisch station (1=bemand gebruikmakend van code uit visuele waarnemingen, 2,3=bemand en weggelaten (geen belangrijk weersverschijnsel, geen gegevens), 4=automatisch en opgenomen (gebruikmakend van code uit visuele waarnemingen), 5,6=automatisch en weggelaten (geen belangrijk weersverschijnsel, geen gegevens), 7=automatisch gebruikmakend van code uit automatische waarnemingen)	100%

Entiteit	Variabele	Eenheid	Resolutie	Definitie	Beschikbaarheid
Omgevingsdata	Mist	nvt	1 uur	Mist 0=niet voorgekomen, 1=wel voorgekomen in het voorgaande uur en/of tijdens de waarneming	100%
Omgevingsdata	Regen	nvt	1 uur	Regen 0=niet voorgekomen, 1=wel voorgekomen in het voorgaande uur en/of tijdens de waarneming	100%
Omgevingsdata	Sneeuw	nvt	1 uur	Sneeuw 0=niet voorgekomen, 1=wel voorgekomen in het voorgaande uur en/of tijdens de waarneming	100%
Omgevingsdata	Onweer	nvt	1 uur	Onweer 0=niet voorgekomen, 1=wel voorgekomen in het voorgaande uur en/of tijdens de waarneming	100%
Omgevingsdata	IJsvorming	nvt	1 uur	Ijsvorming 0=niet voorgekomen, 1=wel voorgekomen in het voorgaande uur en/of tijdens de waarneming	100%
Prestatiedata Berekend	TerugleveringTotaalNetto	kWh	5 minuten	ElektriciteitTerugleveringLaagDiff + ElektriciteitTerugleveringHoogDiff	100%
Prestatiedata Berekend	ElektriciteitsgebruikTotaalNetto	kWh	5 minuten	ElektriciteitNetgebruikLaagDiff + ElektriciteitNetgebruikHoogDiff	100%
Prestatiedata Berekend	Netuitwisseling	kWh	5 minuten	ElektriciteitsgebruikTotaalNetto - TerugleveringTotaalNetto	100%
Prestatiedata Berekend	ElektriciteitsgebruikTotaal Warmtepomp	kWh	5 minuten	ElektriciteitsgebruikWarmtepompDiff + Elektriciteits-gebruikBoosterDiff + ElektriciteitsgebruikBoilervatDiff	100%
Prestatiedata Berekend	ElektriciteitsgebruikTotaal Gebouwgebonden	kWh	5 minuten	ElektriciteitsgebruikTotaalWarmtepomp + Elektriciteits-gebruikWTWDiff + ElektriciteitsgebruikRadiatorDiff	100%
Prestatiedata Berekend	ZonopwekBruto	kWh	5 minuten	Zon-opwekTotaalDiff	100%
Prestatiedata Berekend	Elektriciteitsgebruik Totaal Huishoudelijk	kWh	5 minuten	Netuitwisseling + ZonopwekBruto - Elektriciteitsgebruik TotaalGebouwgebonden	100%
Prestatiedata Berekend	Zelfgebruik	kWh	5 minuten	ZonopwekBruto - TerugleveringTotaalNetto	100%
Prestatiedata Berekend	ElektriciteitsgebruikTotaal Bruto	kWh	5 minuten	ElektriciteitsgebruikTotaalNetto + Zelfgebruik	100%

Tabel 19: beschikbare variabelen in de ETD

Het datamodel blijft zich ontwikkelen naarmate er meer met de data gewerkt wordt.

Woningen in de Energietransitie Dataset

Op moment van schrijven bevinden zich 259 woningen in de ETD, verdeeld over 6 projecten. Kenmerken van deze woningen zijn, in het meetjaar:

Project	**Aantal woningen**	**Warmte-behoefte NTA8800**	**Warmte-opwekker**	**Ventilatie-systeem**	**Vloer-oppervlak** (GO_gemiddeld)	**Woning-type**	**Verbruik warmte-pomp** (per 100 m^2)	**Verbruik huishoudelijk** (per 100 m^2)	**Totaal-verbruik bruto** (per 100 m^2)	**Zonopwek bruto** (per 100 m^2)	**Meetjaar**
#	#	kWh_th / m^2 / jaar	type	type	m^2	type	kWh_e / jaar	kWh_e / jaar	kWh_e / jaar	kWh_e / jaar	jaartal
1	100	30	Lucht-water warmtepomp	Type D	115	Rijwoning	1932	2427	4612	6486	2019
2	28	54	Lucht-water warmtepomp	Type D	87	Rijwoning	2043	2970	5150	6781	2023
3	29	35	Bodem-warmtepomp	Type D	91	Rijwoning	1351	2368	3882	3610	2023
4	26	18	Bodem-warmtepomp	Type D	85	Rijwoning	1640	2412	4192	5683	2023
5	25	33	Lucht-water warmtepomp	Type D	78	Rijwoning	1827	2092	3977	6858	2023
7	50	126	Lucht-water warmtepomp	Natuurlijk + gedeeltelijk type C	99	Rijwoning	2487	2583	5462	5261	2023
TOT / Gem.	259	51			100		1949	2476	4652	5910	

Tabel 20: beschikbare woningen met monitoring- en metadata in de ETD

Project 6 is afgevallen omdat van minder dan 20 woningen goede monitoringdata beschikbaar was. De meetresultaten van alle woningen - waarbij wordt bedoeld de slimme meter data, de warmtepomp en zonnepaneelomvormer meetdata en alle data die daaruit zijn berekend - zijn in de analyse en resultaten lineair genormaliseerd naar een vloeroppervlak van 100 m^2. Het is bekend dat bij kleine of juist grote vloeroppervlakken een lineaire normalisatie niet de beste voorspeller is, maar omdat alle woningen in de dataset tussen de 75 en 125 m^2 liggen, is dit als een acceptabele benadering gezien. Bij alle projecten is de oppervlakte vrijwel gelijk, behalve bij project 7. Daar zitten iets grotere verschillen tussen de woningen, en komt het gemiddelde uit op 99 m^2.

Tijdmeting

Afwijkingen in tijdmeting bij energiemonitoring kunnen optreden door verkeerd ingestelde meetapparatuur, synchronisatieproblemen tussen verschillende metingen, of een gebrek aan een uniforme tijdstandaard, wat leidt tot onbetrouwbare gegevens en inefficiënte analyse. Correcte tijdmeting is essentieel voor het nauwkeurig vaststellen van verbruikspatronen, het detecteren van onnodig energieverbruik en het implementeren van effectieve besparingsmaatregelen. Voor nadere toelichting kijk op energietransitiedataset.nl.

Gelijktijdigheid

Gelijktijdigheid in het kader van netcongestie verwijst naar de mate waarin verschillende gebruikers of installaties op hetzelfde moment elektriciteit afnemen of terugleveren aan het elektriciteitsnet. Hoe hoger de gelijktijdigheid, hoe groter de piekbelasting op het elektriciteitsnet, wat kan leiden tot congestieproblemen. In de praktijk betekent dit bijvoorbeeld dat als meerdere woningen in een wijk of buurt gelijktijdig hun elektrische kookplaat of warmtepompen gebruiken, de gezamenlijke belasting op het net tijdelijk de beschikbare capaciteit kan overschrijden.

Gelijktijdigheid wordt gebruikt als een rekenfactor bij het ontwerpen en plannen van netinfrastructuur. Netbeheerders gebruiken gelijktijdigheidsfactoren om in te schatten hoeveel capaciteit daadwerkelijk nodig is, omdat niet alle aangesloten gebruikers op elk moment het maximale vermogen gebruiken. Tegelijkertijd is het beheersen van gelijktijdigheid ook een strategie om netcongestie te verminderen, bijvoorbeeld door middel van flexibiliteitsdiensten, slimme sturing of tijdgebonden contracten die gebruikers stimuleren om hun verbruik te spreiden.

Bij het begrip gelijktijdigheid wordt vaak gekeken naar de verhouding tussen de verwachte netbelasting en een referentiebelasting, waarbij het totale energiegebruik van de woning – zowel huishoudelijk als voor verwarming – wordt meegenomen. Voor het aandeel verwarming wordt op koude winterdagen doorgaans een hogere gelijktijdigheid aangenomen, terwijl voor elektrisch koken juist een lagere waarde geldt. Op basis van aanvullende aannames, zoals het rendement van warmtepompen, wordt vervolgens een inschatting van de netbelasting gemaakt.

Gelijktijdigheid kan echter ook worden afgeleid uit monitoringsdata. Dan gaat het over de verhouding tussen de gemiddelde netbelasting van een groep woningen, bijvoorbeeld achter een transformatorhuisje, en de theoretisch maximale netbelasting van al die woningen. Die eerste component is bij de woningen in de Energietransitie Dataset gemeten op projectniveau. Voor de bepaling van de tweede component – de theoretisch maximale netbelasting – wordt in de Energietransitie Dataset het gemeten maximale gebruik van de woning met het hoogste verbruik gebruikt. Dit verschilt van moment tot moment in de tijd, dus dit is een fluctuerend maximum.

In de situatie waarbij meetdata beschikbaar is heeft de indicator 'gelijktijdigheid' weinig toegevoegde waarde, want de piek wordt gemeten en daaruit kan een gemiddelde piek over de tijd worden bepaald. Het begrip gelijktijdigheid is nodig als je gaat modelleren en er geen monitoringsdata beschikbaar is.

In dit onderzoek wordt geprobeerd uit de meetdata terug te gaan naar 'gelijktijdigheid' (ter verbetering van modellen). Dan ontstaat het probleem dat het niet duidelijk is welk 'maximum' gekozen moet worden. Als de keuze wordt gemaakt voor 'fluctuerend maximum' dan is de 'gelijktijdigheid' vrij laag. Als de keuze wordt gemaakt voor een vast maximum, is de gelijktijdigheid nog veel lager. Want dit is het maximum van één woning op een bepaald moment in de tijd.

Daarmee geeft de gelijktijdigheid afgeleid vanuit monitoringsdata zicht op de verhouding van de gelijktijdige piekvraag van de groep woningen tot het verbruik van een woning die op dat moment het meest gebruikt. Die gelijktijdigheid kan vervolgens op elk moment van het jaar worden bekeken en al dan niet worden gemiddeld over bepaalde periodes van het jaar die maatgevend zijn (bijvoorbeeld in de winter tussen 17 en 21 uur).

$$Gelijktijdigheid = P_{groep}(t) / max(P_{individueel}(t))$$

waarbij:

- $P_{groep}(t)$ = totale piek vermogensvraag van de groep woningen in tijdsperiode t
- max ($P_{individueel}$ (t)) = hoogste individuele verbruik in tijdsperiode t
- t = de tijdsperiode zelf: t = [t start, t eind]
- t start = beginmoment van de periode
- t eind = eindmoment van de periode

Het gelijktijdig piekvermogen is uiteindelijk het totale gevraagde vermogen van alle woningen samen, gedeeld door het aantal woningen. Dit kan op elk moment van het jaar bepaald worden.

Verwachte woningen in de Energietransitie Dataset

Gedurende de totstandkoming van dit document is gewerkt aan het verkrijgen van aanvullende datasets met monitoringdata. Dat heeft geleid tot een aantal partijen dat heeft aangegeven monitoringdata te hebben en onder voorwaarden bereid te zijn dat te delen. Dit betreft monitoringdata van woningen met aanpakken behorend bij warmtestrategieën S1, S3 en S4 uit de Startanalyse. Daarvan is inmiddels ontvangen:

- Ruim 120 woningen verdeeld over 4 projecten, gemonitord door O-Nexus. Dit betreft appartementen en 2-onder-1-kap woningen met respectievelijk ventilatiewarmtepompen en bodemwarmtepompen (S1 in de Startanalyse).

- Ruim 150 woningen verdeeld over 1 heterogeen project, gemonitord voor het Demonstratieproject Hybride Warmtepompen. Dit betreft verschillende soorten woningen met hybride warmtepompen (S4 in de Startanalyse).

Helaas zijn deze datasets te laat beschikbaar gekomen om ze mee te kunnen nemen bij de analyse voor deze rapportage.

B2. KLIMAATCORRECTIE

Representativiteit klimaat van gebruikte meetdata

De voor de analyse gebruikte meetdata is verzameld in 2019 en 2023. Dit waren jaren waarin geen zeer koude winter optrad. Ondanks klimaatopwarming zullen ook in de toekomst nog af en toe (zeer) koude winters plaatsvinden. Het is daarom een terechte vraag hoe representatief de gemeten data zijn voor het voorspellen van de netbelasting tijdens een zeer koude winter. Om die reden is besloten dat de gemeten data gecorrigeerd moet worden voor klimatologische omstandigheden om er relevante conclusies uit te kunnen trekken. Dit hoofdstuk beschrijft hoe dat gedaan is.

Referentieklimaat

Verschillende partijen hanteren verschillende uitgangspunten als het gaat over welke klimatologische omstandigheden als referentie genomen zouden moeten worden voor het schatten van een 'worst case' energie scenario. Daarbij is het doel om te voorkomen dat het elektriciteitsnet uitvalt juist op het moment dat iedereen dringend behoefte heeft aan warmte, namelijk bij een koudegolf. Met een beetje pech is er op dat moment ook nog sprake van een dunkelflaute, namelijk weinig zon en wind. Weinig zon werkt op twee manieren nadelig, ten eerste omdat de woning geen baat heeft van passieve warmte die de woning in straalt en ten tweede omdat er dan minder lokale duurzame opwek beschikbaar is.

In gesprek met de technische experts van Stedin en Liander is geconcludeerd dat 1991 een voldoende streng klimaatjaar is om een relevant beeld te krijgen van netbelasting in koude omstandigheden. Voor de zoninstraling wordt het jaar aangehouden waarin de metingen zijn verricht, omdat geen volledig dynamisch warmtestromenmodel van de woningen is gemaakt.

Indicator	2023 (tijdens monitoring)	2019 (tijdens monitoring)	NEN5060: 2021	1991 (gekozen als referentiejaar)
Gewogen graaddagen	2437	2648	2799	3177
Jaargemiddelde effectieve temperatuur	8.8 °C (Lokaal)	8.1 °C (Lokaal)	10.5 °C (De Bilt)	7.6 °C (De Bilt)
Laagste daggemiddelde temperatuur	-1.4 °C (Lokaal)	-2.5 °C (Lokaal)	-4,8 °C (De Bilt)	-8.5 °C (De Bilt)
Laagste effectieve daggemiddelde temperatuur	-2.8 °C (Lokaal)	-4.1 °C (Lokaal)	-7,7 °C (De Bilt)	-12.3 °C (De Bilt)
Toelichting	*Projecten 2 t/m 7*	*Project 1*	*Samengesteld jaar. Hier rekent de NTA8800 mee.*	*Inclusief koudegolf*

Tabel 21: overzicht verschillende klimaatjaren

Effectieve temperatuur

Het KNMI publiceert datasets met per weerstation in Nederland uurlijkse meetwaarden die decennia teruggaan. Een belangrijke meetwaarde die voor de berekeningen in dit documenten gebruikt is is de buitentemperatuur. Om echter een betere afspiegeling te krijgen van het effect van de buitentemperatuur op de warmtevraag in de woning is gebruikgemaakt van de effectieve buitentemperatuur. Deze effectieve temperatuur is gelijk aan de gemeten temperatuur gecorrigeerd voor de windsnelheid [2]). Een hogere windsnelheid leidt tot een sneller afkoelende woning.

De formule voor het berekenen van de effectieve temperatuur is als volgt:

$$T_{eff} = T_{gem} - \frac{2}{3} * U_{gem}$$

Waarbij:

- T_{eff} : De effectieve temperatuur (°C)
- T_{gem} : De gemiddeld gemeten temperatuur (°C) over het betreffende tijdsinterval
- U_{gem} : De gemiddeld gemeten windsnelheid (m/s) over het betreffende tijdsinterval

[2] *Wever, Nander. "Effectieve temperatuur en graaddagen." Klimatologie en klimaatscenario's. KNMI publicatie 219 (2008)*

Klimaatcorrectiemethode

Voor de bepaling van netbelasting is het niet alleen belangrijk om te weten hoeveel meer warmte een woning nodig heeft bij een koude winter, maar ook wanneer op de dag die warmte wordt opgewekt en dus elektriciteit wordt gevraagd van het net. Reguliere methoden om meetdata te corrigeren voor een ander klimaat doen daarbij een aantal aannames over:

- Verbruiksprofielen
- Warmteverlies van een aantal voorbeeldwoningen
- Opwekrendementen van de warmteopwekkers
- Gelijktijdigheid van de elektriciteitsvraag

Om een tweetal redenen is besloten om niet bij deze methoden aan te sluiten:

- Een standaardverbruiksprofiel voor een vastgesteld aantal voorbeeldwoningen is wellicht voldoende om een inschatting te maken voor grote aantallen woningen, maar doet onvoldoende recht aan de diversiteit van woningen en bewoners op straatniveau. Dit zou het ook erg moeilijk of zelfs onmogelijk hebben gemaakt om het effect van maatregelen goed door te kunnen rekenen, omdat immers per woning moet worden gekeken wat voor effect een maatregel heeft. Kortom: er was een sterke wens om als startpunt werkelijke data te hebben in plaats van standaarddata. Overigens: voor renovatieprojecten in de praktijk is het juist ook belangrijk te weten wat een bepaalde aanpak betekent voor bewoner X met zijn/haar specifieke verbruiksprofiel.

- Uit de meetdata van de ETD kwamen aanwijzingen dat de aannames over, in het bijzonder, de gelijktijdigheid niet lijken te stroken met de praktijk.

Daarom is voor dit document een nieuwe methode ontwikkeld om meetdata te corrigeren voor klimaat. Die methode kent de volgende stappen, die per stuk verder worden toegelicht:

1. De verschillende **dagen** van het referentie klimaatjaar (1991) zijn **gekoppeld** aan de dagen tijdens het verzamelen van meetdata (2019 en 2023). Ze zijn zo gekoppeld dat ze zo dicht mogelijk bij gemeten data blijven.

2. Per woning is de **'weergevoeligheid'** ofwel 'energy signature' bepaald. Deze weergevoeligheid geeft aan hoeveel meer of minder energie het warmteopwekkend systeem - dat wil zeggen de warmtepomp, inclusief boilervat en elektrisch element - naar verwachting gaat gebruiken bij een andere effectieve buitentemperatuur.

3. Per woning is per dag vastgesteld **hoeveel energie meer of minder** het warmteopwekkend systeem zou moeten gebruiken in 1991 om in hetzelfde gebruikspatroon te kunnen voorzien.

4. Per project-warmtepomp combinatie is vastgesteld welke **vier gebruiksniveaus** mogelijk zijn. Dit zegt iets over of een warmtepomp in standby staat, in normale verwarmingsmodus staat ('laag'), in tapwater- of extra verwarmingsmodus staat ('hoog') of in boostermodus staat ('booster').

5. Per woning wordt de verandering van energiebehoefte per dag voor het warmteopwekkend systeem **een plek gegeven** binnen de 288 intervallen van 5 minuten. De extra benodigde energie per dag wordt op een slimme manier verdeeld over 'partjes' van 5 minuten.

6. Daarmee ontstaat een **nieuwe dataset** met 5-minuten waarden voor de gemeten woningen, alsof het 1991 was ten tijde van meten.

STAP 1. Koppelen van dagen

Om zo dicht mogelijk bij de gemeten data te blijven, worden de dagen van het jaar niet één op één aan elkaar gekoppeld. Een specifieke datum, zoals 25 oktober, kan immers in het ene jaar warm en zonnig zijn, terwijl diezelfde dag in een ander jaar koud en stormachtig is. Een directe koppeling zou dan leiden tot een groot temperatuurverschil (delta-T), wat de nauwkeurigheid van de analyse zou verminderen. In plaats daarvan worden alle dagen binnen een maand — van laag naar hoog — gesorteerd op het 24-uurs gemiddelde van de effectieve buitentemperatuur volgens KNMI-metingen van het dichtstbijzijnde weerstation, zowel voor het meetjaar als voor het referentiejaar 1991. Vervolgens worden de dagen op basis van hun positie in die rangorde aan elkaar gekoppeld. Zo kan het bijvoorbeeld gebeuren dat 25 oktober 2019 wordt gekoppeld aan 19 oktober 1991, omdat beide dagen op dezelfde rangorde staan qua effectieve buitentemperatuur in de maand.

Deze methode wordt per maand toegepast in plaats van per jaar, om rekening te houden met de veranderende zoninstraling gedurende het jaar.

STAP 2. Bepalen van de weergevoeligheid

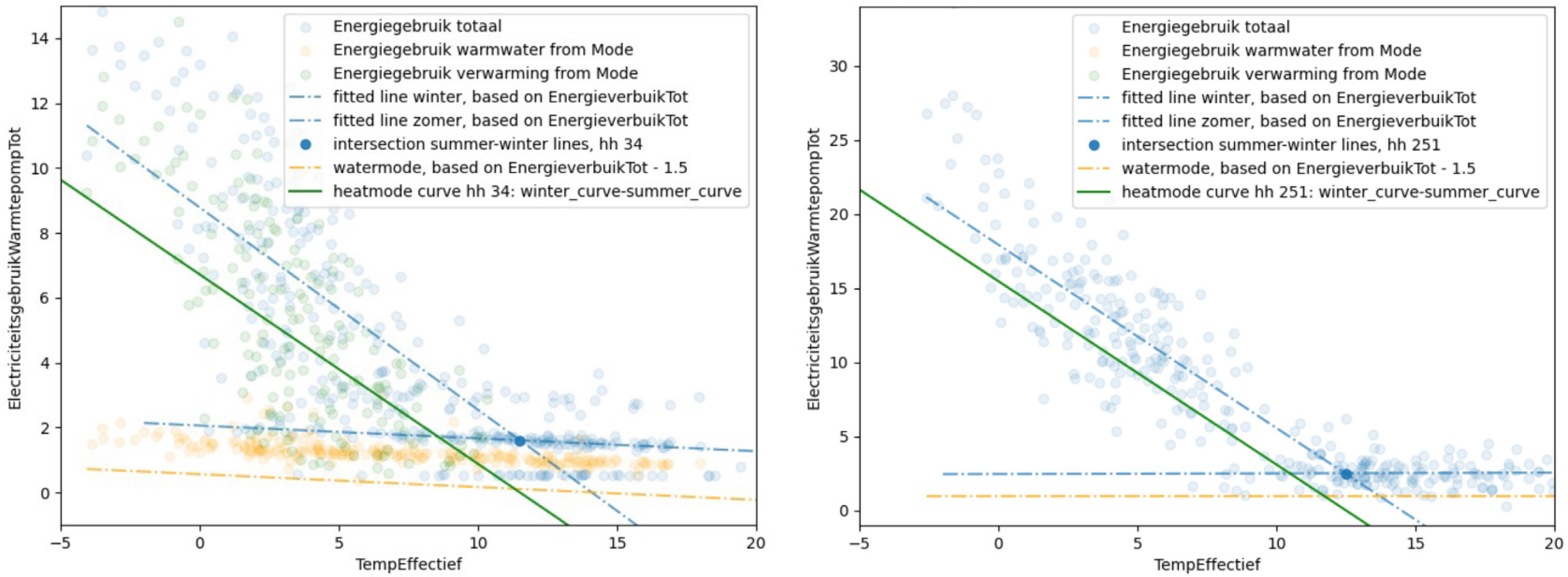
De weergevoeligheid geeft aan hoeveel extra elektriciteit (in kWh) het warmteopwekkingssysteem van een woning nodig heeft per graad Celsius daling van de effectieve buitentemperatuur. Dit geldt voor systemen zoals warmtepompen, boilervaten en elektrische elementen. Daarbij wordt onderscheid gemaakt tussen twee trendlijnen:

De weergevoeligheid wordt bepaald door in een grafiek het daadwerkelijke dagelijkse energieverbruik (24 uur) van warmtepomp (inclusief boilervat en elektrisch element) uit te zetten tegen de effectieve buitentemperatuur. Vervolgens worden twee trendlijnen getrokken:

- Voor temperaturen onder de 13 °C wordt de wintergevoeligheid bepaald via een ‘least squares’-trendlijn. Dit is de trendlijn wanneer de woning verwarmd moet worden. De temperatuur van 13°C is gekozen omdat in bijna alle woningen bij die buitentemperatuur binnen verwarmd wordt.

- Voor temperaturen boven de 13 °C wordt de zomergevoeligheid op dezelfde manier vastgesteld. Dit is de trendlijn wanneer de woning niet of nauwelijks verwarmd hoeft te worden en er praktisch alleen warm tapwater gemaakt wordt. Mogelijk zitten hier ook een aantal dagen in waarop de woning wel verwarmd wordt, wat dan zou leiden tot een zomergevoeligheid die iets hoger is dan de realiteit. Uit de berekeningen blijkt echter dat de zomergevoeligheid erg laag is en dit dus geen probleem lijkt.

Het snijpunt van deze twee lijnen geeft de temperatuur aan waarbij de woning niet langer verwarmd hoeft te worden. Ten voorbeeld de grafieken voor twee willekeurige woningen uit de dataset:



Figuur 6: twee grafieken die de weergevoeligheid van twee woningen schetst

Daarbij zijn vooral de blauwe stippellijnen belangrijk. De groene en gele lijnen zijn gebruikt voor verdere analyse, maar niet doorslaggevend voor de klimaatcorrectie.

Aan de 'koude kant' van de grafiek wordt de wintertrendlijn lineair doorgetrokken. Hierbij wordt niet volledig rekening gehouden met het afnemende rendement (COP) van warmtepompen bij lagere temperaturen. Omdat er onvoldoende data beschikbaar was voor een complexer model, is gekozen voor deze benadering. Wel trekken de lagere COP's op gemeten koude winterdagen de trendlijn aan de linkerkant naar boven, en worden eventuele onnauwkeurigheden verder gecompenseerd in stappen 4 en 5 van de methode, zoals hieronder beschreven.

Van alle woningen is de weergevoeligheid op deze manier vastgesteld.
Per project in de dataset betekent dat gemiddeld:

Project	Weergevoeligheid woning in de zomer	Weergevoeligheid verwarmingplus	Weergevoeligheid woning in de winter	Bron warmtepomp	Warmtebehoefte	Netbelasting – piek vermogensvraag	Netbelasting – piek vermogensvraag tijdens de spits (17-21u)
	kWh / dag / °C (= waterplus)	*kWh / dag / °C*	*kWh / dag / °C (= verwarmingplus + waterplus)*		*kWh_th / m^2 / jaar*	*kW / 100 m^2 in 1991, per uur*	*kW / 100 m^2 in 1991, per uur*
1	0.09	0.70	0.79	Lucht	30	1.6	1.6
2	0.07	0.72	0.79	Lucht	54	2.0	2.0
3	0.01	0.43	0.44	Bodem	35	1.4	1.4
4	0.01	0.45	0.46	Bodem	18	1.4	1.3
5	0.10	0.65	0.75	Lucht	33	1.4	1.4
7	0.09	1.25	1.34	Lucht	126	2.2	2.2
Gem.	0.06	0.70	0.76		51	1.7	1.6

Tabel 22: weergevoeligheid (gemiddeld) per project

De termen ‘waterplus’ en ‘verwarmingplus’ staan hieronder toegelicht.
Voor het leesgemak zijn aan deze tabel ook de conclusies aangaande de netbelasting toegevoegd.

STAP 3. Bepalen nieuwe energiebehoefte

De richtingscoëfficiënten van de twee trendlijnen (zomergevoeligheid en wintergevoeligheid) worden gebruikt om een voorspelling te doen voor het nieuwe energiegebruik tijdens een ander klimaatjaar. Een belangrijk aandachtspunt daarbij is de afstand op de y-as van de gemeten dagwaarde tot de trendlijn, de 'offset'. Deze afstand zegt iets over:

- Zoninstraling;
- Bewonersgedrag (thermostaatinstelling, ramen open, afwezigheid, extra douchen, enzovoorts);
- Rendement van het warmteopwekkend systeem.

Deze afstand is daarom 'meegenomen', dat wil zeggen: de trendlijn voorspelt bijvoorbeeld voor 25 oktober van het gemeten jaar een energiebehoefte van 4 kWh. In de praktijk is daar echter 2 kWh gebruikt. In 1991 was het twee graden kouder, waardoor de voorspelde nieuwe energiebehoefte 5,5 kWh wordt. De energiebehoefte waar dan mee gerekend is is 3,5 kWh. Dezelfde afstand tot de trendlijn blijft behouden. Dit is een benadering die de werkelijkheid nooit helemaal zal voorspellen – bewoners kunnen immers hun gedrag aanpassen aan een andere buitentemperatuur en daarnaast is in de klimaatcorrectie de originele zoninstraling behouden. Toch is deze methode gebruikt, omdat niet precies bekend is wat de offset veroorzaakt en het niet realistisch is dat het werkelijke gebruik de voorsprelde trendlijn precies volgt.

Daarnaast wordt de voorspelde nieuwe energiebehoefte gesplitst in twee delen:

- *waterplus:* het aandeel van de energiebehoefte dat naar verwachting nodig is voor het bereiden van warm tapwater, de legionellacyclus en een basisgebruik dat overeenkomst met de standbymodus;
- *verwarmingplus:* het aandeel van de energiebehoefte dat naar verwachting nodig is voor ruimteverwarming, ontdooicyclus en eventuele ruimtekoeling.

Deze splitsing is van belang voor de stappen 4 en 5.

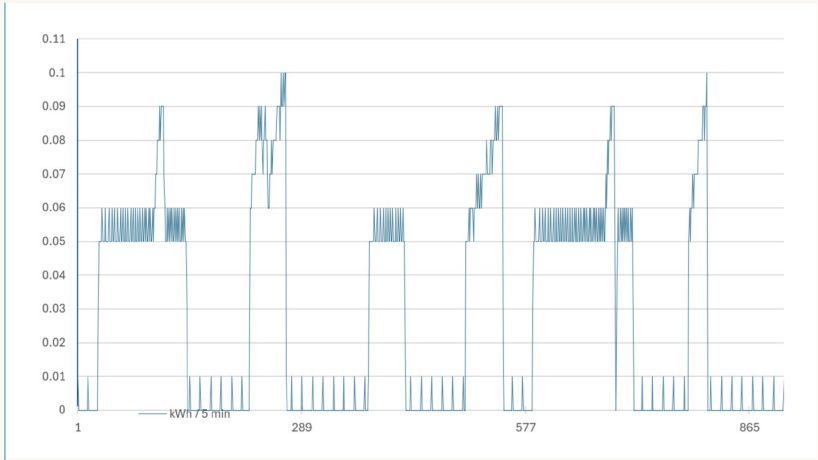
STAP 4. Verbruikniveaus bepalen

Elk warmteopwekkend systeem (warmtepomp, boilervat en elektrisch element) heeft zijn eigen 'vingerafdruk' met verbruikspatronen. Toch gelden voor all-electric systemen met warmtepomp ook een aantal algemene vuistregels:

- Bij **ruimteverwarmingsvraag** draait de warmtepomp meestal voor langere tijd op een relatief laag verbruiksniveau.
- Bij **tapwaterverwarmingsvraag** is de duur korter, maar het verbruik hoger. Er wordt ook meestal een hogere temperatuur geleverd dan voor ruimteverwarming.
- Het **standby-verbruik** ligt volgens de meting rond de 0-100 W. Per 5 minuten wordt er dan 0 tot 0.01 kWh verbruikt.
- Bij **koude winterdagen** liggen de verbruiksniveaus per 5 minuten voor ruimteverwarming en warm tapwater dicht bij elkaar.
- Voor uitzonderlijke gevallen is er een **piekverbruik** waarbij het elektrisch element inschakelt. Dit kan zijn omdat het elektrisch element wordt gebruik voor het legionellaprogramma, omdat de warmtepomp in storing staat terwijl er wel een warmtevraag is of omdat de warmtevraag hoger is dan waar de warmtepomp in regulier bedrijf in kan voorzien.

Een voorbeeld van een dergelijk verbruikspatroon is te zien in figuur 7:

De y-as geeft hier het aantal kWh weer dat per 5 minuten wordt verbruikt, de x-as het aantal intervallen van 5 minuten. Het gaat hier om het verbruikspatroon voor 3 dagen in de winter. Het verbruik tussen 0 en 0.01 is standbyverbruik. Het verbruik tussen 0.05 en 0.06 is voor ruimteverwarming. Het verbruik hoger dan dat is voor warm tapwater en legionella.



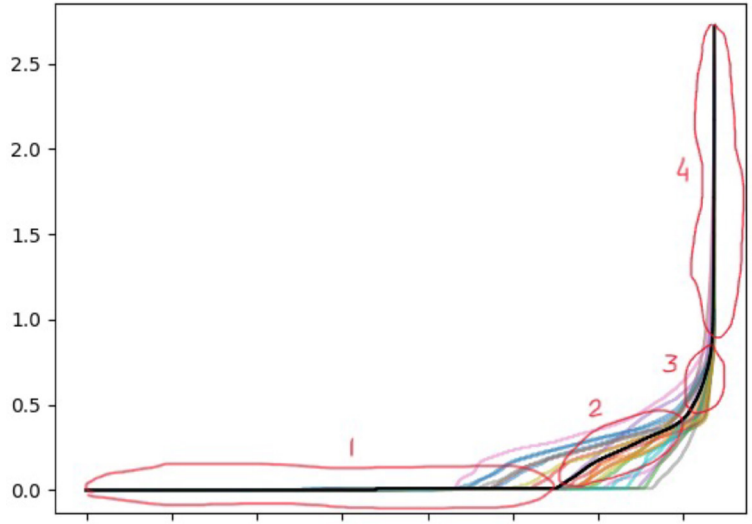
Figuur 7: verbruikspatroon van een warmtepomp gedurende drie dagen (tijdsresolutie 5 minuten)

In bovenstaand verbruikspatroon is het wel duidelijk, maar het is niet altijd met volledige zekerheid vast te stellen welke bedrijfsmodus bij welk moment van de dag hoort, met name omdat a) in de winter de niveaus voor tapwater en verwarming dichter bij elkaar liggen en b) sommige warmtepompen een veel grilliger patroon laten zien dan anderen. Handmatige toewijzing is ondoenlijk (26 miljoen tijdintervals) en machine learning bleek te veel false positives te bevatten en was in het algemeen niet betrouwbaar genoeg. Daarom is op basis van een analyse van elk van de in de dataset aanwezige soorten warmtepomp (i.e. merk en productcode) gekozen voor een indeling in vier niveaus:

1. **Standby**
2. **Laag:** vooral voor ruimteverwarming en -koeling, inclusief ontdooicyclus
3. **Middel:** vooral voor warm tapwater en legionella, ook voor ruimteverwarming op zeer koude dagen
4. **Hoog:** bij inzet elektrisch element (ook wel "booster")

De grenzen van deze vier niveaus zijn per type warmtepomp bepaald op basis van een grafiek zoals hiernaast. De zwarte lijn geeft hierbij de gemiddelden weer. Hierin zijn vier verschillende niveaus te zien, hier omcirkeld en van een cijfer voorzien dat correspondeert met de vier hierboven genoemde niveaus. Elk niveau is vervolgens voorzien van een ondergrens, bovengrens en verbruikswaarde. De verbruikswaarde is hierbij op 75% van de bovengrens gezet, namelijk bij benadering het gemiddelde gebruik binnen een bepaald niveau.

Elke warmtepomp heeft gedurende het meetjaar — zelfs in het relatief warme jaar 2023 — minstens één keer een hoog verbruik gehad (categorie 4). Het maximale verbruik is dus bekend en wordt in deze klimaatcorrectiemethode niet aangepast. Wel zal dit piekverbruik bij een koude winter vaker voorkomen, waardoor het gelijktijdige piekverbruik binnen een groep woningen vermoedelijk toeneemt.



Figuur 8: verbruikscategorieën met bijbehorende vermogensvraag per 5 minuten van een specifiek type warmtepomp

STAP 5. Toewijzen nieuwe energiebehoefte

In stap 3 is vastgesteld hoeveel energie het warmteopwekkingssysteem in 1991 dagelijks nodig zou hebben gehad, met een onderscheid tussen waterplus en verwarmingplus. In stap 4 is bepaald op welke momenten het systeem in het gemeten jaar een standby-, laag-, middel- of hoog verbruik had. In stap 5 worden deze gegevens gecombineerd, zodat alle benodigde energie uit 1991 een passende plek krijgt. Dit gebeurt in de volgende volgorde:

Meer energie nodig voor waterplus:

- Alle 5-minutenintervallen met middel verbruik en met standby verbruik worden toegewezen aan waterplus.
- 5-minutenintervallen met standby verbruik die dicht bij een moment met middel verbruik liggen, worden opgehoogd naar middel verbruik.
- 5-minutenintervallen met laag verbruik die dicht bij een moment met middel verbruik liggen, worden eveneens opgehoogd naar middel verbruik.

Meer energie nodig voor verwarmingplus:

- Alle 5-minutenintervallen met laag of hoog verbruik worden toegewezen aan verwarmingplus.
- Resterende 5-minutenintervallen met standby verbruik die dicht bij een moment met laag verbruik liggen, worden opgehoogd naar laag verbruik. Deze intervallen worden toegewezen aan verwarmingplus.
- 5-minutenintervallen met laag verbruik die dicht bij een moment met middel verbruik liggen, worden opgehoogd naar middel verbruik.
- 5-minutenintervallen met middel verbruik die dicht bij een moment met hoog verbruik liggen, worden opgehoogd naar hoog verbruik. Deze intervallen worden toegewezen aan verwarmingplus.

Onvoldoende capaciteit van de warmtepomp:

- Als na bovenstaande stappen nog steeds energie nodig is die niet kan worden toegewezen, betekent dit dat de woning in 1991 niet op de gewenste temperatuur kon worden gehouden. Dit wordt als zodanig genoteerd.

Minder energie nodig voor waterplus:

- 5-minutenintervallen met middel verbruik worden van buiten naar binnen ingekort, met een ondergrens van standby verbruik.

Minder energie nodig voor verwarmingplus:

- 5-minutenintervallen met hoog verbruik worden verlaagd naar middel verbruik.
- 5-minutenintervallen met middel verbruik worden verlaagd naar laag verbruik.
- 5-minutenintervallen met laag verbruik worden van buiten naar binnen ingekort, met een ondergrens van 0 kWh per dag.

STAP 6. Controle en nieuwe dataset

In elk van de stappen 1 tot en met 5 zijn logicatests uitgevoerd. Is de meetdata van voldoende kwaliteit om goede trendlijnen te schetsen van de weergevoeligheid? Tellen de berekende waarden op volgens verwachting? Kan alle in 1991 voor de warmtepomp benodigde elektriciteit een plekje op de dag krijgen? Lijkt de toename in de jaarverbruiken realistisch?

Tenslotte is het elektrisch verbruik door het warmteopwekkend systeem (warmtepomp en boilervat) opnieuw berekend alsof het 1991 zou zijn geweest tijdens het verzamelen van de meetdata. Hiermee worden ook de andere afhankelijke variabelen opnieuw berekend, zoals het totale bruto en netto energieverbruik van de woning, de teruglevering en het zelfverbruik.

Beperkingen klimaatcorrectiemethode

Elke methode om een klimaatcorrectie toe te passen heeft beperkingen. Het gaat tenslotte om het maken van een model van de werkelijkheid, ook als geprobeerd is om zo dicht mogelijk bij de gemeten werkelijkheid te blijven. De bekende beperkingen van de hier gebruikte methode zijn:

- Het is niet bekend of de gebruikte warmtepompen daadwerkelijk voor langere tijd op een 'hoog' verbruiksniveau (met elektrische elementen) kunnen werken.
- De weergevoeligheidgrafieken zien er voor sommige woningen minder netjes uit, waardoor de voorspellingen voor die woningen niet betrouwbaar zijn. Op projectniveau komen ze overeen met wat voor een woning met de bijbehorende kenmerken verwacht mag worden. Daarnaast is ervoor gekozen om bij woningen waar de weergevoeligheid te extreem afwijkt van 'normaal gedrag' - namelijk waarbij de richtingscoëfficiënten positief zijn terwijl ze negatief moeten zijn - het projectgemiddelde in plaats van het woninggemiddelde te gebruiken om het nieuwe energieverbruik te voorspellen.
- Als er op een dag meer energie nodig was voor ruimteverwarming dan de warmtepomp (inclusief elektrisch element) kon leveren, is het logische gevolg dat de woning afkoelt. Omdat geen thermisch model van de woning is gemaakt, is niet precies bekend hoeveel graden de woning afkoelt of voor hoelang de woning onder de gewenste temperatuur blijft. Dit komt echter praktisch niet voor in deze dataset.

B3. MODELLEREN MAATREGELEN NETBELASTING

A. Verlagen warmtebehoefte

Het grootste gedeelte van de woningen waarvoor meetdata beschikbaar is, zijn al zodanig goed geïsoleerde woningen dat het niet interessant is om te modelleren wat er zou gebeuren met deze woningen als ze nóg beter geïsoleerd zouden worden. Er is één uitzondering, namelijk project 7 met ruim 50 woningen. Voor dit project is berekend wat er zou zijn gebeurd in 1991 als de woning een lagere warmtebehoefte zou hebben gehad. Daartoe is:

- Per dag eerst het gemeten gebruik in 2023 aangepast alsof de woningen een lagere warmtebehoefte zouden hebben gehad. Dat is gedaan met de gemiddelde weergevoeligheid van projecten 1, 2 en 5, in plaats van met die van project 7. Deze projecten 1, 2 en 5 hebben allemaal een lucht-water warmtepomp (net als project 7) en een warmtebehoefte die lager ligt dan de Standaard.
- Daarna de klimaatcorrectie naar 1991 uitgevoerd.

Deze benadering is niet heel precies gericht op een specifieke warmtebehoefte, maar geeft een redelijke indicatie, omdat vooral het verschil veroorzaakt door de verlaging van de warmtebehoefte interessant is, en minder het absolute aantal kW. De onnauwkeurigheid is te duiden als:

- De gemiddelde warmtebehoefte van projecten 1, 2 en 5 ligt lager dan het grensniveau van de Standaard. Hier is desondanks mee gerekend omdat van deze projecten de weergevoeligheid op basis van meetdata is vastgesteld, terwijl die anders op basis van een aanname zou moeten worden bepaald. Dit betekent dat de weergevoeligheid hier ook lager is dan bij woningen die worden geïsoleerd naar het niveau van de Standaard. Dit zorgt vermoedelijk voor een lichte onderschatting van de netbelasting van de beter geïsoleerde variant van project 7 in 1991 ten opzichte van als de woningen naar de Standaard zouden worden geïsoleerd.

B. Prioriteren inductiekookplaat boven warmtepomp

Bij alle woningen waarvan meetdata in de ETD zit, is een inductiekookplaat geplaatst. Deze is niet apart bemeten. Wel is het huishoudelijk energieverbruik bekend, waar de inductiekookplaat onder valt. Hier valt echter ook onder: verlichting, wasmachine, droger, vaatwasser, oven, tv, computers, opladers en andere kleine elektronica in huis.

De piekbegrenzing die hier gemodelleerd wordt is een vorm van load balancing: als de 'load' oftewel het energieverbruik van één apparaat te hoog wordt, dan wordt een ander apparaat de mogelijkheid ontnomen om op hetzelfde moment ook energie te verbruiken. Dit balanceren van de vermogensvraag kan heel slim, met communicatie tussen de load balancer en de verschillende apparaten. Dit gebeurt bijvoorbeeld steeds vaker bij laadpalen, waarin een laadpaal niet helemaal wordt afgekapt, maar het vermogen dat de laadpaal mag gebruiken slechts wordt beperkt. Het kan ook minder slim, met een harde afschakeling tussen twee apparaten, waarvan er één preferent is. In de modellering die hier is uitgevoerd geldt:

»

- Er is sprake van een harde afschakeling. Als het huishoudelijk energieverbruik tussen 17 en 21u gedurende 5 minuten hoger is dan 0.7 keer 3680 W, wordt de warmtepomp (inclusief boilervat en elektrisch element) uitgeschakeld. Dit komt gemiddeld over alle woningen (inclusief in de zomer) ongeveer 9 minuten per dag voor.
- Het op die manier door de warmtepomp 'misgelopen' verbruik wordt verplaatst naar andere momenten op de dag, op dezelfde methode als dat bij de klimaatcorrectie gebeurt.

Het huishoudelijk verbruik is veel hoger dan alleen het gebruik door de inductiekookplaat. De verwachting was daarom dat het huishoudelijk gebruik vaak boven de 3680 W zou komen. Daarin is tot op zekere hoogte voorzien door alleen te kijken naar de periode van 17 tot 21u, waarin minder vaak een wasmachine, droger of vaatwasser aan zal staan en vaak gekookt wordt. Maar het gebruik van een oven, grill of waterkoker zou in deze modellering ook kunnen leiden tot het verplaatsen van energieverbruik door de warmtepomp. Uit de meetdata blijkt echter dat het maximum van 3680 W aan huishoudelijk gebruik bij deze woningen bijna nooit wordt overschreden. Vermoedelijk komt dit omdat het sociale huurwoningen betreft met relatief bescheiden kookplaten, maar dat is niet met zekerheid te zeggen.

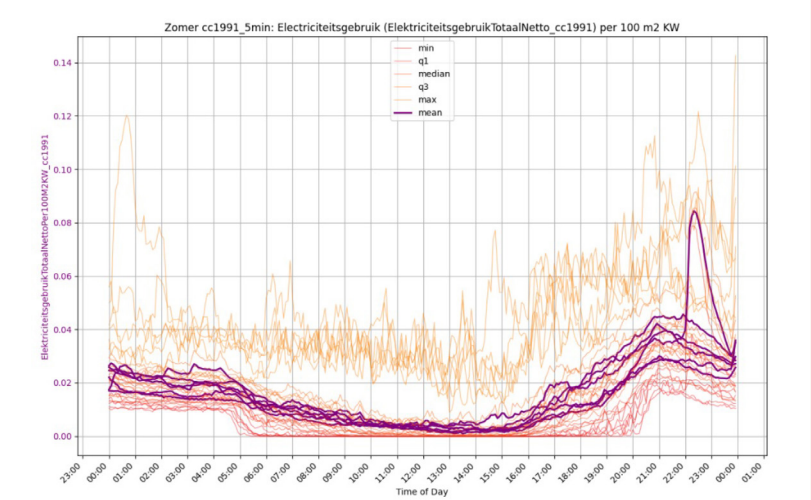
Aan de andere kant kan een kookplaat ook voor zeer korte periodes hoge pieken laten zien, die niet helemaal terug te zien zijn in 5-minuten meetdata omdat de piek precies tussen twee meetmomenten valt. Een dergelijk hoge piek, hoe kort ook, afhankelijk hoe de HEMS wordt ingesteld kan het ertoe leiden dat de warmtepomp tijdelijk wordt uitgeschakeld. Daarom, en ook omdat in de meetdata het huishoudelijk verbruik bijna nooit boven de 3680 W uitkomt, is in de analyse gebruik gemaakt van een correctiefactor van 0.7 op het niveau van 3680 W waarop de warmtepomp wordt afgeschakeld.

C. Spitsmijden warmtepomp

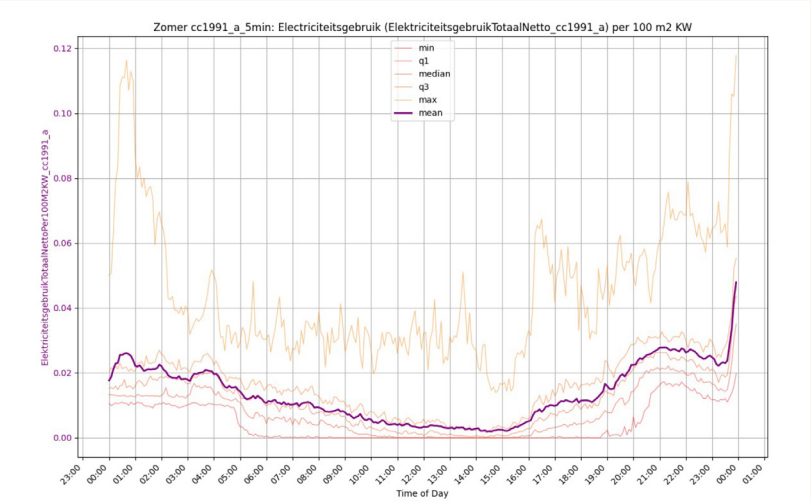
De spitstijden op het elektriciteitsnet zijn 's ochtends van 7-11 uur - deels voor woningen, maar meer nog voor kantoren en industrie - en 's middags van 17-21 uur. Dit blijkt uit metingen van de netbeheerders en is daarnaast ook te zien in de gebruikte dataset. Om te modelleren wat er met de netimpact van de woning zou gebeuren als het elektrisch verbruik van de warmtepomp tijdens deze spitstijden wordt beperkt, is het volgende gemodelleerd:

- Het gebruik van de warmtepomp (inclusief boilervat en elektrisch element) wordt tussen 7-11u en tussen 17-21u beperkt op twee niveaus:
  - 50% van het maximale gebruik van die woning (maatregel C1)
  - De basislast van die woning (maatregel C2)
- Dit is gedaan op woningniveau, hoewel het uiteindelijke effect op buurtniveau wordt bekeken. Dit kan dus niet alleen worden geïnterpreteerd als het aanpassen van de instellingen van warmtepompen die kunnen moduleren naar deze niveaus, maar ook als het op een bepaalde dag wel of niet 'toestaan' van energieverbruik door warmtepompen in de buurt, bijvoorbeeld op basis van het huisnummer.
- Het energieverbruik van de warmtepompen wordt eerst binnen deze spitsuren afgekapt, maar ook gemaximeerd op het gestelde niveau. Dit betekent dat als, bijvoorbeeld, een woning een gedeelte van de spitstijd boven en een gedeelte van de tijd onder het gestelde maximale niveau zit, eerst het energieverbruik wordt verplaatst naar momenten binnen de spits waarop de woning onder het gestelde maximale niveau bleef.
- De rest van de warmtebehoefte waarin de warmtepomp tijdens deze spitsuren niet kan voorzien, wordt buiten de spits alsnog opgewekt. Het energieverbruik daartoe wordt op eenzelfde manier verdeeld als bij de klimaatcorrectie.

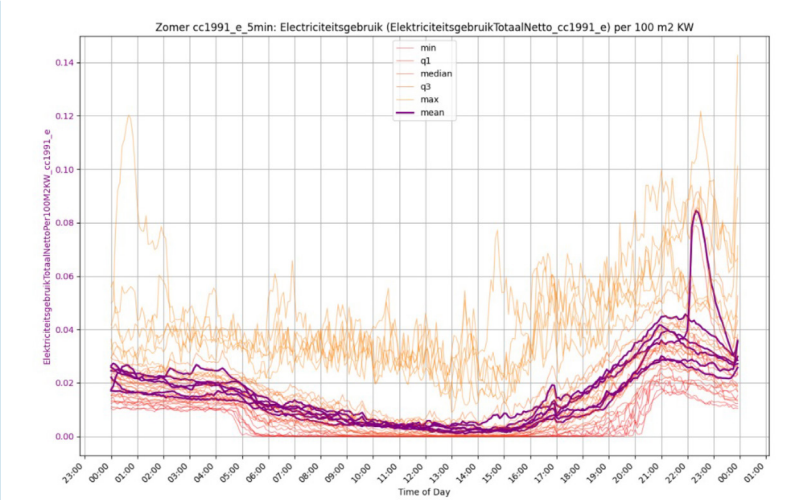
BIJLAGE 1: **DAGPROFIELEN ZOMER**



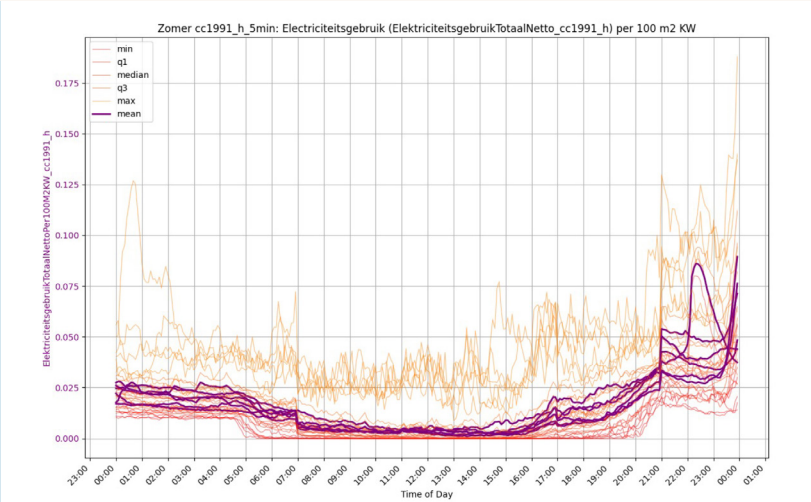
Figuur 9: Elke paarse lijn is één project.



Figuur 10: Maatregel A

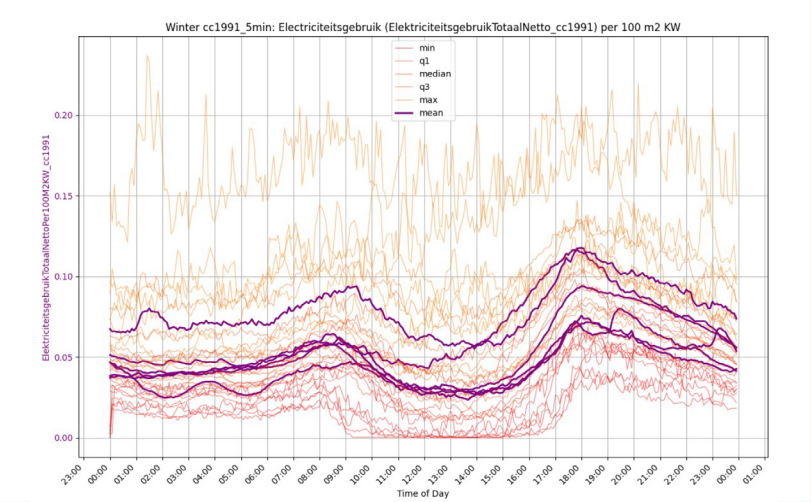


Figuur 11: Maatregel B

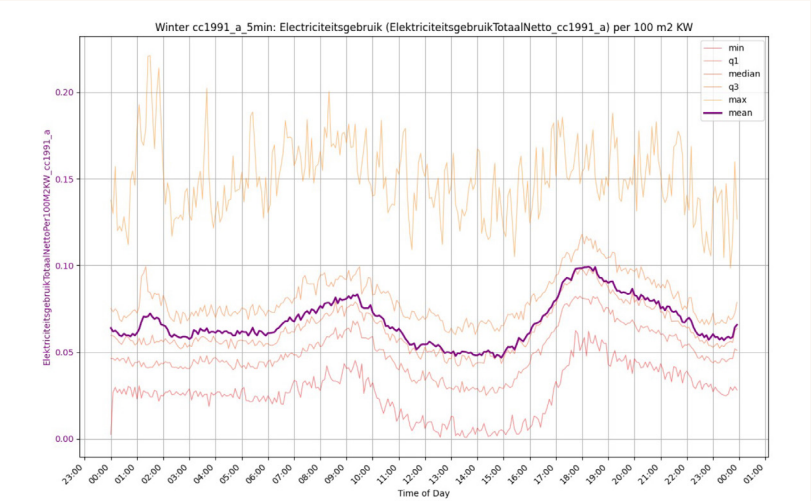


Figuur 12: Maatregel C2

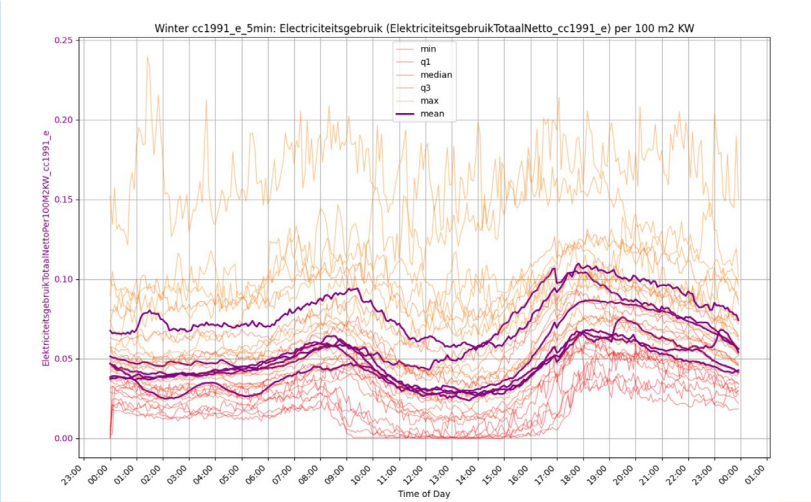
BIJLAGE 2: **DAGPROFIELEN WINTER**



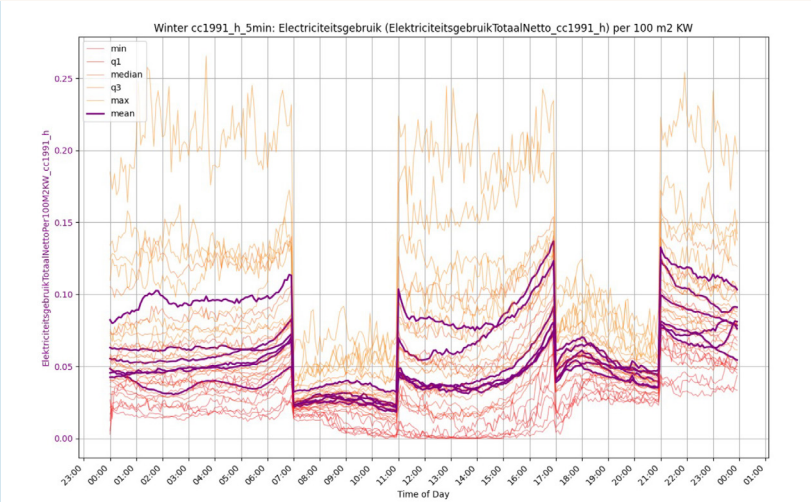
Figuur 13: Elke paarse lijn is één project



Figuur 14: Maatregel A



Figuur 15: Maatregel B



Figuur 16: Maatregel C2

BIJLAGE 3: **WONINGEN EN WARMTEBEHOEFTE**

Concretisering van warmtebehoefte

In dit document wordt veel gebruik gemaakt van de indicator 'warmtebehoefte', omdat daar een breed bekende bepalingsmethodiek voor is (NTA8800) en omdat voor heel veel woningen bekend is wat de huidige warmtebehoefte is. Maar wat betekent een bepaalde warmtebehoefte nu en wat moet er aan een woning gedaan worden om dat te bereiken?

Theorie
Over het algemeen geldt: hoe lager de warmtebehoefte, des te gunstiger het rendement (de coefficient of performance ofwel COP) van een warmteopwekker en des te kleiner het benodigde elektrisch vermogen. Dit heeft directe invloed op de elektriciteitsvraag en daarmee op de netbelasting. De samenhang van warmtebehoefte, afgiftesysteem en warmtepomp zijn uitgebreid én toegankelijk beschreven in de publicatie Strategisch Kiezen van Duurzame Installaties, totstand gekomen in samenwerking met Aedes, Techniek NL, Bouwend Nederland, Onderhoud NL en Stroomversnelling.

Praktijk
Voor twee woningtypen — een standaard rijtjeswoning en een standaard portiekwoning (bouwjaar 1946–1964) — is een analyse uitgevoerd van verschillende verduurzamingspakketten en installaties. De uitgangspunten voor de bouwkundige kenmerken, thermische isolatiewaarden en installaties zijn gebaseerd op de RVO Voorbeeldwoningen. Hierbij is onder andere gebruik gemaakt van de informatie over oppervlakten, Rc-waarden, luchtdichtheid en ventilatiesystemen.

De berekeningen zijn gemaakt in Vabi EPA, waarbij specifiek is gekeken naar de warmtebehoefte en de geschiktheid van de woningen voor toepassing van warmtepompen bij een laag temperatuur afgiftesysteem.

Er zijn drie pakketten samengesteld:

Pakket 1	Pakket 2	Pakket 3
Alleen isolerende maatregelen aan de schil	Isolerende maatregelen, gecombineerd met mechanische ventilatie Type C en kierdichting	Isolerende maatregelen, gecombineerd met balansventilatie met warmteterugwinning (WTW) en kierdichting
› Vloerisolatie Rc 3,5 › Dakisolatie Rc 6,5 › Gevelisolatie/spouwmuurisolatie: • Rc 1,7 (tussenwoning, spouwmuur) • Rc 3,5 (portiekwoning, gevelisolatie) › Vervanging glas door HR++ in bestaande kozijnen	› Alle maatregelen uit pakket 1 › Mechanische ventilatie Type C met CO_2-sturing en zelfregelende roosters › Kierdichting tot Qv10 = 1,0	› Alle maatregelen uit pakket 1 › Balansventilatie Type D met warmteterugwinning › Kierdichting tot Qv10 = 1,0
› Project 7 uit de voor deze studie gebruikte Energietransitie Dataset (zie bijlage B1) is slechter geïsoleerd dan dit niveau.		› Projecten 1, 2, 3, 4 en 5 uit de voor deze studie gebruikte Energietransitie Dataset (zie bijlage B1) voldoen aan dit niveau.

Tabel 23: drie pakketten om de warmtebehoefte te verlagen

Daarmee is gerekend met twee soorten warmtepompsystemen:

› een lucht-water warmtepomp, forfaitair
› een gesloten bodemwarmtepomp, forfaitair

De volgende tabel geeft een overzicht van de toegepaste maatregelen en maatregelpakketten en de indicatieve impact op de warmtebehoefte.

	Warmtebehoefte kWh_thermisch / m^2 / jaar	
	Standaard portiekwoning 1946-1964	**Standaard rijwoning 1946-1964**
Startpunt	171.81	156.20
Pakket 1	100.05 (voldoet niet aan de Standaard)	105.01 (voldoet niet aan de Standaard)
Pakket 2	70.92 (voldoet niet aan de Standaard)	61.65 (voldoet niet aan de Standaard)
Pakket 3	56.67 (voldoet aan de Standaard)	46.81 (voldoet aan de Standaard)

Tabel 24: effectiviteit van de verschillende pakketten om de warmtebehoefte te verlagen

Daaruit is te concluderen:

- Alleen pakket 3, waarin balansventilatie met WTW wordt toegepast, voldoet volledig aan de Standaard warmtebehoefte voor beide woningtypen.
- Pakket 2 komt dicht in de buurt van de Standaard en kan, afhankelijk van de compactheid van de woning, voldoende zijn, maar blijft zonder aanvullende maatregelen meestal tekortschieten. Wel is Type C ventilatie in principe toepasbaar, mits voorzien van CO_2-sturing en zelfregelende roosters (ZR-roosters) om ventilatieverliezen sterk te beperken. Ook is het dan cruciaal dat de dakisolatie daadwerkelijk wordt opgewaardeerd tot een Rc-waarde van circa 6,5. Wanneer een dak slechts tot Rc 3,5 wordt geïsoleerd, zoals gebruikelijk bij renovatie, zal de warmtebehoefte in combinatie met Type C ventilatie te hoog blijven.
- Alleen schilisolatie zonder verdere optimalisatie van ventilatie en kierdichting biedt onvoldoende reductie van de warmtebehoefte.

BIJLAGE 4: WARMTESTRATEGIEËN VAN DE STARTANALYSE 2025

In de Actualisatie van de Startanalyse (ASA) van voorjaar 2025 wordt rekening gehouden met de volgende warmtestrategieën:

Strategie-code	Omschrijving strategie	Variant-code	Schil-label	Omschrijving variant
S1	Individuele elektrische warmtepomp	S1a	B+	Luchtwarmtepomp
		S1b	B+	Bodemwarmtepomp
S2	Warmtenet met MT of HT warmtebron	S2a	B+	MT-restwarmte
		S2b	B+	MT-geothermie potentie contour
		S2c	B+	MT-geothermie overal
		S2d	D+	MT-restwarmte
		S2e	D+	MT-geothermie potentie contour
		S2f	D+	MT-geothermie overal
S3	Warmtenet met (Z)LT warmtebron	S3a	B+	Restwarmte, bron 15-30 °C, individueel opwaarderen tot 50 °C + tapwater
		S3b	B+	WKO, bron 15 °C, individueel opwaarderen tot 50 °C + tapwater
		S3c	B+	WKO, bron 15 °C, collectief opwaarderen tot 70 °C
		S3d	B+	WKO, bron 15 °C, collectief opwaarderen tot 50 °C, booster voor tapwater
		S3e	B+	WKO + TEO, bron 15 °C, individueel opwaarderen tot 50 °C + tapwater
		S3f	D+	Restwarmte, bron 15-30 °C, collectief opwaarderen tot 70 °C
		S3g	D+	WKO, bron 15 °C, individueel opwaarderen tot 50 °C + tapwater
		S3h	D+	WKO, bron 15 °C, collectief opwaarderen tot 70 °C
S4	Individuele hybride warmtepomp	S4a	B+	Hybride warmtepomp met klimaatneutraal gas
		S4b	D+	Hybride warmtepomp met klimaatneutraal gas

Tabel 25: de verschillende warmtestrategieën en strategievarianten waar PBL rekening mee houdt in hun analyses (bron: tabel 1 uit de Actualisatie Startanalyse (2025)

BIJLAGE 5: **GECONSULTEERDE EXPERTS**

Bij de totstandkoming van dit document is gebruik gemaakt van inbreng van de volgende experts:

Andy van der Velde	Liander
Bert Elkhuizen	Innax
Casper van Mourik	Ministerie van Klimaat en Groene Groei
Cassandra Post	Liander
Dennis Vollenga	Liander
Felix van Gemen	Huisfluisteraar
Frank Agterberg	Vereniging Warmtepompen
Frank Klinckenberg	Ministerie van Volkshuisvesting en Ruimtelijke Ordening
Harry van der Voorn	Provincie Gelderland
Hester Dijkstra	Ministerie van Volkshuisvesting en Ruimtelijke Ordening
Ivo Opstelten	PIAF Wonen
Joost Molenaar	Provincie Flevoland
Joris Pouw	Stedin
Joris Westhof	Liander
Jorrit Hoekstra	Provincie Flevoland
Maarten Hommelberg	BDH Advies
Margriet de Groot	Provincie Utrecht
Martijn van Elburg	RVO
Michiel van Gorp	Ministerie van Klimaat en Groene Groei
Morris Verlinden	Aedes
Niels Sijpheer	Sijpheer Energie
Noelle Peters Sengers	Provincie Utrecht
Rachel Marty	Liander
Robbert van der Wal	Stedin
Roelof Schuitema	RVO
Roos de Kok	Liander
Susanne van de Pest	Ministerie van Volkshuisvesting en Ruimtelijke Ordening
Thijs Poiesz	BDH Advies
Thomas Piessens	Techniek Nederland
Titus Oosterkamp	Stedin
Tjalling de Vries	Ministerie van Volkshuisvesting en Ruimtelijke Ordening
Tom van Aalten	RVO
Valeska Blok	Stedin

BIJLAGE 6: **AFKORTINGEN**

A	Ampère
ASA	Actualisatie van de Startanalyse (PBL, 2025)
COP	Coefficient of Performance (rendement)
EPV	Energieprestatievergoeding
ETD	Energietransitie Dataset
FGU	Flevoland, Gelderland, Utrecht
GJ	Gigajoule
HS	Hoogspanning
HT	Hoge temperatuur (80-90 °C)
ISDE	Investeringssubsidie duurzame energie en energiebesparing
KGG	Ministerie voor Klimaat en Groene Groei
KNMI	Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut
kton	kiloton
kV	kilovolt
kWh	kilowattuur
kWh_e	kilowattuur (elektrisch)
kWh_th	kilowattuur (thermisch)
LT	Lage temperatuur (40-50 °C)
m^2	vierkante meters
MID	Measuring Instruments Directive (kwaliteitskader voor sensoren)
MS	Middenspanning
Mt	Megaton
MT	Midden temperatuur (70-75 °C)
MW	Megawatt
MWh	Megawattuur
NPLW	Nationaal Programma Lokale Warmtetransitie
PBL	Planbureau voor de Leefomgeving
PVT	Photovoltaïsch-Thermisch (elektrisch en thermische zonnepanelen)
Qv10	Luchtdichtheid bij een drukverschil van 10 pascal tussen binnen en buiten
RVO	Rijksdienst voor Ondernemend Nederland
SDE(++)	Stimulering Duurzame Energieproductie en Klimaattransitie
V	Volt
VRO	Ministerie van Volkshuisvesting en Ruimtelijke Ordening
VVE	Vereniging van Eigenaren
W	Watt
WKO	Warmte- en Koudeopslag
WTW	Warmteterugwinning (meestal betreffende een ventilatiesysteem)
ZLT	Zeer lage temperatuur (tot 35 °C)

