



Impact van de warmtetransitie op het lokale elektriciteitsnet

Inzicht en advies voor gemeenten



Committed to the Environment

Impact van de warmtetransitie op het lokale elektriciteitsnet

Inzicht en advies voor gemeenten

Dit rapport is geschreven door:

Thijs Scholten, Lucas van Cappellen, Nina Voulis, Emma Koster, Katja Kruit en Jasper Schilling

Delft, CE Delft, mei 2023

Publicatienummer: 23.220430.070

Opdrachtgever: VNG

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

Meer informatie over de studie is te verkrijgen bij de projectleider Thijs Scholten (CE Delft)

© copyright, CE Delft, Delft

CE Delft

Committed to the Environment

CE Delft draagt met onafhankelijk onderzoek en advies bij aan een duurzame samenleving. Wij zijn toonaangevend op het gebied van energie, transport en grondstoffen. Met onze kennis van techniek, beleid en economie helpen we overheden, NGO's en bedrijven structurele veranderingen te realiseren. Al meer dan 40 jaar werken betrokken en kundige medewerkers bij CE Delft om dit waar te maken.



Inhoud

	Samenvatting	4
1	Inleiding	7
	1.1 Aanleiding	7
	1.2 De warmtetransitie en het elektriciteitsnet	7
	1.3 Doel van dit rapport	8
	1.4 Hoofdvragen en methodiek	9
	1.5 Afbakening	9
	1.6 Leeswijzer	10
2	Elektriciteitsnet in een notendop	11
	2.1 Het elektriciteitsnet: spanningsniveaus en onderdelen	11
	2.2 Netcongestie en congestiemanagement	12
	2.3 Netverzwaring	13
3	Groeiend elektriciteitsgebruik vraagt om netaanpassingen	14
	3.1 Ontwikkeling elektriciteitsvraag en -aanbod	14
	3.2 Profielen van de netbelasting van verschillende apparaten	16
	3.3 Bepalen van de netimpact	19
4	Netimpact in drie buurten	21
	4.1 Uitleg van de analyse	21
	4.2 Niet-stedelijke buurt	23
	4.3 Hoogstedelijke buurt	26
	4.4 Suburbane nieuwbouwwijk	29
	4.5 Conclusie	31
5	Impact lokale netverzwaring vergeleken met hogere netvlakken	34
	5.1 Ontwikkelingen op verschillende netvlakken	34
	5.2 Impact van 1 MW extra vermogen	35
	5.3 Conclusie	36
6	Uitdagingen en adviezen	37
	6.1 Planning en afstemming	37
	6.2 Technische en organisatorische uitdagingen en oplossingen	39
	6.3 Ruimtelijke uitdagingen en oplossingen	41
7	Bronvermelding	43
A	Methode analyse belastingsprofielen buurten	44
	A.1 Analyse verschillende type buurten	44
	A.2 Selectie van drie type buurten	44



	A.3 Analyse netbelasting profielen	45
B	Netimpact in perspectief	46
	B.1 Methode	46
	B.2 Effecten	47
C	Gebruikte afkortingen	50



Samenvatting

De lokale warmtetransitie is momenteel één van de grote opgaven waar gemeenten voor staan en heeft een grote impact in (woon)wijken, buurten en dorpskernen. In deze studie is onderzocht welk effect de warmtetransitie heeft op de elektriciteitsvraag en welke impact dat heeft op het elektriciteitsnet. Deze studie geeft gemeenten daarnaast enkele handvatten om de uitdagingen op het elektriciteitsnet in woonwijken het hoofd te bieden.

Energietransitie vraagt om netverzwaring

De komende jaren neemt de vraag naar en de productie van elektriciteit door woningen toe als gevolg van de energietransitie. Dat komt door verschillende ontwikkelingen, zoals elektrisch koken, het opladen van elektrische voertuigen, zonnepanelen op daken en (hybride) warmtepompen. Deze ontwikkelingen hebben grote impact op het lokale elektriciteitsnet.

Het huidige laagspanningsnet en de transformatorhuisjes ('middenspanningsruimtes') zijn niet berekend op de toename van elektriciteitsvraag en -productie. Netverzwaring zal daarom praktisch in alle buurten, wijken en dorpen noodzakelijk zijn. Dat betekent dat er tijdig nieuwe transformatorhuisjes en kabels aangelegd moeten worden door de netbeheerder. Voor deze netverzwaring moeten gemeenten en netbeheerders tijdig ruimte in de boven- en ondergrond vinden, want het hele proces van vergunning tot aanleg kost tijd.

De omvang en de urgentie van de netverzwaring zal van buurt tot buurt verschillen. De benodigde netverzwaring is afhankelijk van veel lokale factoren, zoals de toename in elektrisch laden, zon-pv en warmtepompen, de grootte en isolatiegraad van de woningen, en de huidige status van het elektriciteitsnet.

Warmtetransitie van grote invloed voor netverzwaring

In deze studie is een indicatieve profielanalyse uitgevoerd voor drie verschillende voorbeeldbuurten. Daarmee is bepaald welke ontwikkelingen zorgen voor piekbelasting op het elektriciteitsnetwerk en hoe groot de effecten van verschillende ontwikkelingen zijn. Dit hebben we gedaan voor drie scenario's voor de warmtetransitie: 1) elektrische warmtepompen, 2) hybride warmtepompen of 3) warmtenet. In alle drie de voorbeeldbuurten zorgen elektrische warmtepompen voor de piekbelasting in dat scenario. In het geval van hybride warmtepompen zorgt elektrisch laden voor de piekbelasting. Bij een warmtenet komt de piek soms door elektrisch laden en soms door zon-pv. Hoe dan ook zorgen alle drie deze ontwikkelingen voor een toename in de netbelasting.

De keuze voor het warmtealternatief is dus één van de meest bepalende factoren voor de omvang van de benodigde netverzwaringen. Met name volledig elektrische warmtepompen zorgen voor een fors grotere omvang van de piekbelasting.

Ook de netimpact is voor deze voorbeeldbuurten doorgerekend. Hoewel deze buurten onderling sterk verschillen in kernmerken, zoals gebouwgrootte, energievraag, autobezit en dakoppervlakte voor zonnepanelen, leveren de drie voorbeeldbuurten globaal voor elk van de situaties hetzelfde beeld op:

1. Bij maximale elektrificatie met warmtepompen, elektrische auto's en zonnepanelen ontstaan veel knelpunten op het net.
2. Bij gematigde elektrificatie met (hydride) warmtepompen, minder elektrische auto's en zonnepanelen ontstaan minder knelpunten.
3. Bij verwarming met een warmtenet of gasketel ontstaan de minste knelpunten.

Disclaimer

Deze studie geeft globale inzichten, de daadwerkelijke situatie op het lokale net verschilt van buurt tot buurt. Het is altijd noodzakelijk om samen met de regionale netbeheerder de praktijksituatie, de plannen en de uitdagingen per gebied nader te bekijken.

Lokale netverzwaring heeft grote impact vergeleken met hogere netvlakken

Om de impact van de warmtetransitie in de gebouwde omgeving op de netverzwaring in perspectief te plaatsen ten opzichte van de impact van andere grote ontwikkelingen, hebben we het effect van 1 MW netverzwaring op verschillende netvlakken vergeleken. We hebben de vereiste netinvesteringen en werkzaamheden in fte bepaald. Hieruit blijkt dat de vereiste investeringen en werkzaamheden veroorzaakt door vermogensvraag op het laagspanningsnetwerk in buurten (LS-net) ongeveer twee tot vier keer groter is dan een gelijke vermogensvraag op respectievelijk het middenspannings- en hoogspanningsnetwerk. Het investeringsbedrag is significant hoger voor de netbelasting van woningen en dit vertaalt zich ook door naar de vereiste personele inzet, ruimtevraag en doorlooptijden.

Daarmee heeft de warmtetransitie in potentie *per MW* meer impact op de opgave voor de netverzwaringen en netuitbreidingen dan andere ontwikkelingen die op hogere netvlakken spelen. Tegelijkertijd is de warmtetransitie voor netbeheerders complex, omdat deze speelt bij huishoudens en er veel stakeholders bij betrokken zijn. De daadwerkelijke impact is uiteraard afhankelijk van werkelijke vermogensgroei op de verschillende netvlakken, de netsituatie ter plaatse en de doorwerking daarvan.

Aanbevelingen voor gemeenten

Om ervoor te zorgen dat de energietransitie in wijken soepel kan verlopen, zijn er een aantal acties die gemeenten kunnen ondernemen. We identificeren drie categorieën:

1. Planning en afstemming:
 - Breng samen met de netbeheerder de actuele situatie op het lokale net in beeld. Geef duidelijkheid over de keuzes van de gemeente. Laat de ontwikkelingen, zoals de transitievisie warmte, doorrekenen door de netbeheerder.
 - Stem de verschillende ruimtelijke en energetische opgaven (zoals de warmtetransitie, woningbouwopgave, hernieuwbare opwek en mobiliteitsplannen) af met de netbeheerders. Plan en prioriteer gezamenlijk. Maak in samenspraak met de netbeheerder uitvoeringsplannen per wijk om netverzwaring zo efficiënt mogelijk te laten verlopen.
 - Communiceer snel en proactief met partners als plannen wijzigen.
2. Technisch en organisatorisch:
 - Houd bij de keuze van een warmte-alternatief, laadpleinen en opwek rekening met doorlooptijden voor nieuwe infrastructuur.
 - Optimaliseer samen met netbeheerders de vergunnings- en uitvoeringsprocedures voor netuitbreidingen, bijvoorbeeld door te zorgen voor voldoende en deskundig



personeel, werkzaamheden op elkaar af te stemmen (meekoppelkansen benutten) en inspraakmogelijkheden bij netbeheerders te gebruiken.

- Kies voor laadpleinen en slim gestuurde laadpalen om de netimpact te beperken. Stuur hier bijvoorbeeld op via vergunning- en aanbestedingseisen.

3. Ruimtelijk:

- Reserveer proactief ruimte voor nieuwe infrastructuur, zoals extra transformatorhuisjes.
- Bepaal locaties van nieuwe energievraag, zoals laadpleinen, in overleg met de netbeheerder.

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Gemeenten krijgen steeds vaker van netbeheerders te horen dat het elektriciteitsnet overbelast dreigt te raken door nieuwe ontwikkelingen, zoals duurzame opwek, elektrificatie van de warmtevraag en elektrische mobiliteit. Daardoor dreigen projecten vertraging op te lopen, doordat ze niet tijdig op het elektriciteitsnet kunnen worden aangesloten.

De Vereniging Nederlandse Gemeenten (VNG) wil meer inzicht krijgen in de aard van dit probleem. Om deze reden is tijdens de algemene ledenvergadering van de VNG op 29 juni 2022 een motie van de gemeente Veldhoven aangenomen. De motie roept de VNG op om de Tweede Kamer en de betrokken ministeries:

- op deze probleemsituatie te wijzen;
- te verzoeken om de probleemanalyse te verbreden en ook onderzoek te doen naar de gevolgen hiervan op de economie, de woningbouwopgave én op de verduurzaming van bestaande woningen, bedrijven en bedrijventerreinen;
- de reeds lopende inzet uit te breiden, waarin ook versneld wordt toegewerkt naar oplossingen voor de afnameproblematiek.

Naar aanleiding van deze motie heeft de VNG dit onderzoek laten uitvoeren. Het onderzoek heeft als doel om na te gaan welke impact de warmtetransitie heeft op de netcapaciteit, in relatie tot andere ontwikkelingen in de gebouwde omgeving.

1.2 De warmtetransitie en het elektriciteitsnet

De lokale warmtetransitie is één van de grote opgaven waar gemeenten nu voor staan. Deze opgave speelt tegelijk met andere opgaven zoals de woningbouwopgave, de verduurzaming van de mobiliteit en het vergroten van duurzame opwek, zoals met zonnepanelen.

Deze verduurzamingsopgave vraagt veel van het lokale elektriciteitsnet. Het bestaande elektriciteitsnet is niet ontworpen op de vraag naar elektriciteitstransport die voortkomt uit de verschillende verduurzamingsopgaven. Voordat de verduurzaming grootschalig kan versnellen, is daarom een uitbreiding van het elektriciteitsnet in de wijk noodzakelijk. Op veel plekken hebben netbeheerders al een stop uitgegeven op het uitbreiden van de capaciteitsvraag voor bedrijven als gevolg van congestie, Maar ook door andere ontwikkelingen kan die congestie optreden.

Het elektriciteitsnet moet daarom op veel plekken, zowel op lage als op hoge netvlakken, verzaagd en uitgebreid worden. De regionale netbeheerders geven dit hoge prioriteit, maar hebben als gevolg van de grootte van de verzwaringsopgave hun werkplanning voor de komende jaren reeds gevuld. Nieuwe projecten moeten daarom rekenen op lange doorlooptijden. Het onderwerp netcapaciteit blijft de komende jaren dan ook een aandachtspunt binnen het gemeentelijke beleid en samenwerking met netbeheerders is daarom erg belangrijk.

Het elektriciteitsnet is één van de energie-infrastructuren in Nederland. Door de energietransitie zal het belang van het elektriciteitsnet in ons energiesysteem verder toenemen. Het onderstaand kader schetst deze systeemcontext.

Tekstkader 1 - Het energiesysteem verandert

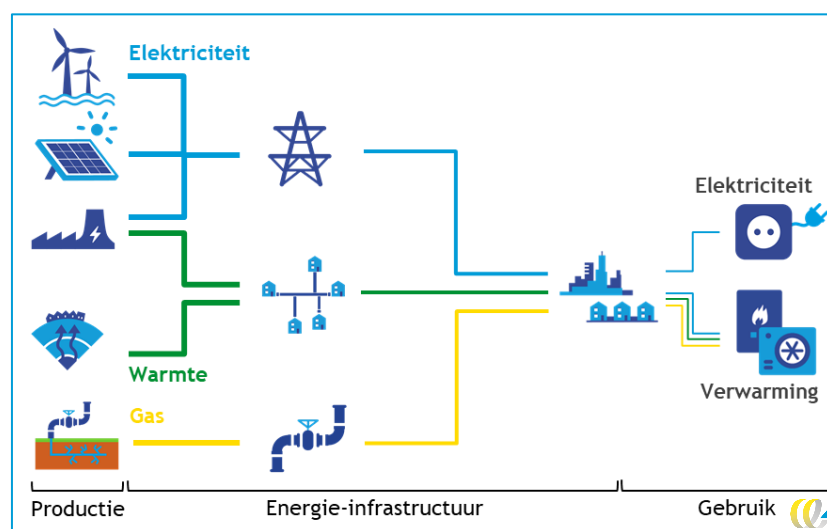
Met het *energiesysteem* bedoelen we het geheel van opwek, transport en gebruik van energie. In Nederland gebruiken we met name elektriciteit, warm water voor warmtenetten, en gas (aardgas, groengas en waterstof). Dit noemen we energiedragers.

De *energietransitie* brengt veranderingen mee in de manier waarop energie opgewekt wordt, en daarom ook in de infrastructuur. Door de energietransitie veranderen de bronnen waaruit energie opgewekt wordt.

Van fossiele bronnen stappen we over naar duurzame bronnen. Daardoor stijgt het belang van elektriciteit, warmte en mogelijk in de toekomst waterstof als energiedragers ten opzichte van aardgas, benzine en diesel. Aangezien elke energiedrager zijn eigen infrastructuur heeft, vereist deze verschuiving een uitbreiding van elektriciteitsnetten, en mogelijk ook van warmte- en waterstofnetten.

Het *elektriciteitsnet* zal aanzienlijke veranderingen moeten ondergaan. Aansluiting van zonnepanelen op daken gebeurt achter de meter, via het laagspanningsnet. Daar is het net niet op ontworpen. Daarnaast zal de energie die vervoerd werd via de gasleidingen in veel grotere mate over het elektriciteitsnet moeten worden vervoerd. Tot slot vraagt elektrisch vervoer ook capaciteit van het elektriciteitsnet. Door al deze ontwikkelingen zijn er aanpassingen en verzwaringen van het lokale elektriciteitsnet nodig.

Figuur 1 - Overzicht voor productie, transport en gebruik van elektriciteit en gas



1.3 Doel van dit rapport

Deze studie geeft gemeenten een beeld van de impact van keuzes op gebied van de warmtetransitie, elektrisch vervoer en zon op dak op het elektriciteitsnet. Het biedt inzicht in uitdagingen op technisch, financieel, ruimtelijk en organisatorisch vlak en op doorlooptijden. Hiermee krijgen gemeenten een beter beeld van hoe zij netcapaciteit mee kunnen nemen als onderdeel van de energietransitie.

We schetsen in deze studie ook een kwalitatief beeld van hoe de uitdagingen binnen de gebouwde omgeving op de lokale netten zich verhouden tot andere verduurzamingsopgaven. Denk hierbij aan de verduurzaming van de industrie en de opkomst van groot-schalige duurzame opwek op land. Dit inzicht dient om de onderlinge verhoudingen en uitdagingen beter te begrijpen, zodat netbeheerders, gemeenten en andere overheden beter rekening gaan houden met lokale ontwikkelingen op het net.

De daadwerkelijke situatie op het lokale net en de impact van verschillende ontwikkelingen daarop is altijd buurtspecifiek. Om een inschatting te kunnen maken van de impact van een bepaalde keuze of ontwikkeling is het essentieel om in een zo vroeg mogelijk stadium samen met de regionale netbeheerder de praktijksituatie, de plannen en de uitdagingen per wijk nader te bekijken.

1.4 Hoofdvragen en methodiek

In deze studie beantwoorden we vier hoofdvragen:

1. Wat is de impact van de warmtetransitie, de groei van zon op dak en elektrisch rijden op het elektriciteitsnet op wijk- en buurniveau? Hoe verhouden deze ontwikkelingen zich tot elkaar?
Deze vraag beantwoorden we door een illustratieve profielanalyse van deze ontwikkelingen voor 100 woningen.
2. Wat kunnen we hieruit concluderen over de noodzaak tot uitbreiding van de middenspanningsruimtes?
Deze vraag beantwoorden we met een doorrekening door Stedin van drie casussen voor drie typen buurten. Voor heel Nederland is deze vraag niet zomaar te beantwoorden, omdat de benodigde netverzwaring afhangt van vele factoren, waaronder de situatie op het lokale net (waar alleen de desbetreffende netbeheerder aan kan rekenen).
3. Hoe verhoudt de netimpact van ontwikkelingen in woonwijken, buurten en dorpskernen zich tot de impact van andere ontwikkelingen, zoals grootschalige opwek, verduurzaming van de industrie en verduurzaming van bedrijventerreinen? Hoe verhouden de werkzaamheden om het midden- en laagspanningsnet te verzwaren zich tot de benodigde inspanningen op de onderstations en het hoogspanningsnet?
We beantwoorden deze vraag door een vergelijking van de kosten van 1 MW additionele vermogensvraag op het elektriciteitsnetwerk op laagspanningsniveau (bijvoorbeeld warmtetransitie), middenspanningsniveau (bijvoorbeeld zonnepark) en hoogspanningsniveau (bijvoorbeeld grote industrie).
4. Welke uitdagingen worden hierbij gezien op technisch, financieel, ruimtelijk en organisatorisch vlak, en wat kunnen gemeenten doen?
Deze vragen beantwoorden we in een hoofdstuk met handelingsperspectief voor gemeenten.

1.5 Afbakening

De warmtetransitie speelt zich af in de gebouwde omgeving. Hiermee ligt de focus in deze studie op de lokale laagspanningsnetten en transformatorhuisjes (middenspanningsruimtes, MSRs) in de wijk. Deze voorzien de kleinverbruikers, zoals woningen en (kleine) utiliteitsgebouwen, van elektriciteit. Op dit niveau kan goed gekeken worden naar de impact van de warmtetransitie in de gebouwde omgeving op de elektriciteitsinfrastructuur.

In deze studie richten we ons op buurten, wijken en dorpskernen en laten we bedrijventerreinen en industriegebieden buiten beschouwing. Ook richten we ons hier op de bestaande bouw; uiteraard moeten nieuwbouwplannen worden meegenomen in de planvorming bij gemeenten en netbeheerders.

Rekenen aan het lokale net

Om specifieke inzichten te krijgen over de impact van ontwikkelingen op het elektriciteitsnet, zijn lokale netimpactanalyses nodig. Voor partijen buiten de netbeheerders om is het echter niet mogelijk om netimpactanalyses te doen. Dit komt omdat daarvoor de gegevens over het lokale elektriciteitsnet nodig zijn, en



deze gegevens kunnen netbeheerders niet openbaar delen. Daarom is in deze studie gekozen om met voorbeeldbuurten te werken.

Wel zijn er nuttige informatiebronnen voor gemeenten, met name:

Netimpact van warmtealternatieven: Vuistregels voor gemeentelijke planvorming (Netbeheer Nederland, 2022b). Dit document geeft een algemene indruk van de impact van warmte-alternatieven op het elektriciteitsnet in een referentiewijk.

Startanalyse van PBL op basis van het Vesta MAIS model (PBL, 2020). In de kostenberekening is rekening gehouden met de huidige capaciteit van het elektriciteitsnet, zoals aangeleverd door de verschillende netbeheerders. Dit aspect van de berekening is echter niet apart in te zien.

1.6 Leeswijzer

Dit rapport begint in Hoofdstuk 2 met een algemene beschrijving van het elektriciteitsnetwerk en verklaringen voor veel voorkomende vaktermen. Lezers die zich vertrouwd voelen in deze materie kunnen direct starten bij Hoofdstuk 3.

Hoofdstuk 3 beschrijft hoe de toename van elektrische en hybride warmtepompen, elektrisch laden van voertuigen en zonnepanelen resulteert in de noodzaak tot netverzwaring.

Hoofdstuk 4 laat voor drie voorbeeldbuurten zien hoe dat uitpakt: voor deze drie buurten laten we zien hoe de vraag en opwek van woningen gemiddeld verandert, wat de impact daarvan is op het elektriciteitsnet en hoeveel extra middenspanningsruimtes de buurt nodig heeft.

Hoofdstuk 5 vergelijkt de kosten van netverzwaring op het laagspanningsnetwerk met de kosten op het midden- en hoogspanningsnetwerk.

Hoofdstuk 6 beschrijft tenslotte de uitdagingen waar gemeenten voor staan bij de energietransitie in buurten, wijken en dorpen met een elektriciteitsnetwerk dat verzwraagd moet worden en wat zij daaraan kunnen doen.

2 Elektriciteitsnet in een notendop

Deze studie analyseert de elektriciteitsinfrastructuur en gebruikt een aantal vaktermen. Daarom geven we in deze paragraaf een korte introductie van de elektriciteitsinfrastructuur en de gebruikte vaktermen.

2.1 Het elektriciteitsnet: spanningsniveaus en onderdelen

Het elektriciteitsnetwerk is *trapsgewijs* opgebouwd. Figuur 2 laat dit zien.

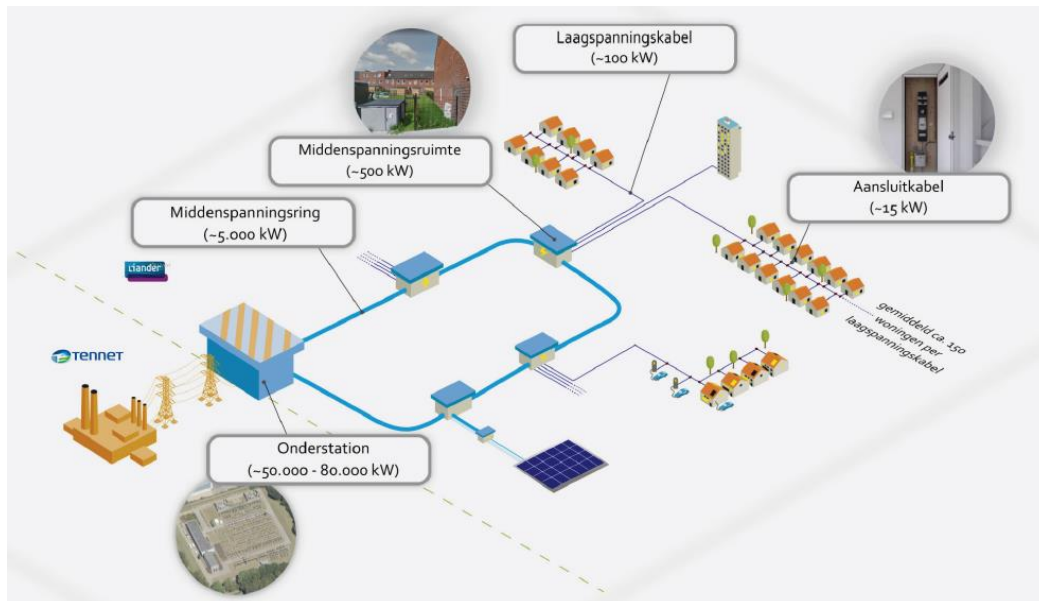
De oranje lijnen in het figuur zijn het **hoogspanningsnet** of **transportnet**. De netten vervoeren elektriciteit over grote afstanden op een hoge spanning (bijvoorbeeld 150 of 380 kV). Deze spanning zorgt voor minder energieverlies onderweg. TenneT beheert deze netten. Grote producenten en afnemers zoals grote wind- en zonneparken en grote industrie zijn direct aangesloten op het hoogspanningsnet. De verbindingen van het hoogspanningsnet zijn vaak bovengronds. Dit zijn de elektriciteitsmasten die op verschillende plekken in het landschap te zien zijn.

De meeste eindgebruikers kunnen de energie op hoge spanning niet gebruiken. Daarom wordt dicht bij de gebruikers de elektriciteit in **onderstations** naar lagere spanning gebracht (minder dan 50 kV). Vanaf dit punt heten de netten **distributienetten**. Dit zijn de blauwe en paarse lijnen in het figuur. De distributienetten worden beheerd door regionale netbeheerders, afhankelijk van de regio is dat Liander, Enexis, Stedin, Coteq, Rendo of Westland Infra.

Ook binnen de distributienetten zijn verschillende spanningsniveaus. Het middenspanningsnetwerk brengt de elektriciteit de wijk in. Sommige grote producenten en afnemer zijn direct aangesloten op het middenspanningsnetwerk. **Middenspanningsruimtes (MSRs)** brengen de spanning verder omlaag naar 230 V (**laagspanning**). De 'middenspanningsruimten', heten ook wel **LS/MS stations of distributiestations** en worden in de volksmond ook wel **transformatorhuisjes** genoemd.

Huishoudens gebruiken elektriciteit op laagspanningsniveau. Op dit spanningsniveau zijn er in buurten ook vele **laagspanningskasten** (verdeelkasten). Op een MSR zijn zo'n 40 verdeelkasten aangesloten. Deze zijn niet in Figuur 2 weergegeven.

Figuur 2 - Illustratie van de positie van MSRs en MS-ringen in het elektriciteitsnet



Bron: (Liander, 2023).

2.2 Netcongestie en congestiemanagement

Zowel de verbindingen (elektriciteitskabels) als de transformatorstations hebben een bepaalde capaciteit, net als de capaciteit van treinen en treinstations. Als de capaciteit overschreden wordt, ontstaat er een knelpunt in de vorm van **congestie**. Op een gegeven moment is het niet meer veilig om méér reizigers in een trein of treinstation toe te laten. Net zo is het niet meer veilig om méér elektriciteit door een verbinding of transformatorstation te laten stromen.

Op dit moment is er op verschillende locaties in Nederland sprake van congestie, dat heeft vrijwel altijd betrekking op hogere netvlakken (onderstations en hoogspanningsstations) en speelt nu nog niet op grote schaal op het lokale elektriciteitsnet. De gevolgen van netcongestie zijn voor kleinverbruikers tot op heden beperkt.

Het oplossen van netcongestie via verzwaring en uitbreiding is een gangbare oplossing, maar dit vergt veel tijd en ruimte. Op hogere netvlakken wordt daarom soms (tijdelijk) **congestiemanagement** ingezet. Dat houdt in dat de netbeheerder afspraken maakt met grootzakelijke klanten in een congestiegebied om op piekmomenten tegen betaling minder elektriciteit af te nemen of aan het net te leveren. Bij distributienetten worden nu de eerste ervaringen opgedaan met congestiemanagement. Bij kleinverbruikers is dat veel complexer: er zijn veel meer aansluitingen op het net en de contracten tussen kleinverbruiker en netbeheerders zijn anders. Netverzwaring is hier de gangbare en meest structurele oplossing. Op termijn is de verwachting wel dat ook vraagsturing in woonwijken een plek krijgt

2.3 Netverzwaring

De elektrificatie van energievraag en de uitrol van hernieuwbare energie vraagt om uitbreidingen van het elektriciteitsnet op alle spanningsniveaus. Netverzwaring kan bestaan uit het aanpassen van bestaande stations, het bouwen van extra stations, het leggen van extra kabels en/of de netstructuur aanpassen (ontmazen¹).

Netverzwaring is de wettelijke taak van de netbeheerders. Zij zijn de initiatiefnemer en kostendrager. De gemaakte kosten worden uiteindelijk via de nettarieven doorbelast aan iedereen met een aansluiting op het elektriciteitsnet. De gemeenten zijn betrokken bij het vinden van de benodigde ruimte en het vergunningsproces voor nieuwe stations en verbindingen.

De stations hebben een forse ruimtelijke impact. In wijken, buurten en dorpskernen gaat het met name om middenspanningsruimtes (MSRs). Nieuwe MSRs hebben een ruimtelijke impact van 2x2 meter voor het station zelf, plus ruimte eromheen voor veiligheid en om het huisje te kunnen betreden bij onderhoudswerkzaamheden. De totaal benodigde ruimte is 10 tot 35 m² per MSR (Netbeheer Nederland, 2019). Bij elke MSR moet er daarnaast voldoende ruimte beschikbaar zijn voor het veilig plegen van onderhoud (Bright et al., 2022). De ruimtelijke inpassing hiervan kan problemen opleveren: vooral in bestaande buurten kan de ruimte schaars zijn en de keuzevrijheid voor geschikte locaties beperkt. De gemeente moet bij haar plannen rekening houden met de benodigde ruimte voor nieuwe MSRs in deze buurten. De gemeente en de netbeheerder moeten in gesprek gaan om samen geschikte locaties te zoeken.

¹ Afhankelijk van de netstructuur in een bepaalde buurt kan extra capaciteit verkregen worden op het laagspanningsnet door over te gaan van een vermaasde (waarin een LS-net wordt gevoed door meerdere MSRs) naar een niet-vermaasde netstructuur (waarin een LS-net door één MSR wordt gevoed).



3 Groeiend elektriciteitsgebruik vraagt om netaanpassingen

Dit hoofdstuk beschrijft hoe de totale vraag naar en aanbod van elektriciteit in woonwijken, buurten en dorpskernen de komende jaren groeit en welke gevolgen dat heeft voor het elektriciteitsnet. Ook vergelijken we de impact van lokale netverzwaring met die van netverzwaring op hogere netvlakken.

3.1 Ontwikkeling elektriciteitsvraag en -aanbod

Tussen nu en 2050 zal de vraag naar elektriciteit in woonwijken, buurten en dorpskernen stijgen. Het huidige elektriciteitsgebruik bestaat voornamelijk nog uit de vraag van apparaten en verlichting in woningen en utiliteitsgebouwen. In de toekomst komt hier de elektriciteitsvraag van een groeiend aantal elektrische personenauto's, zonnepanelen, elektrisch koken, airco's en (hybride)warmtepompen bij.

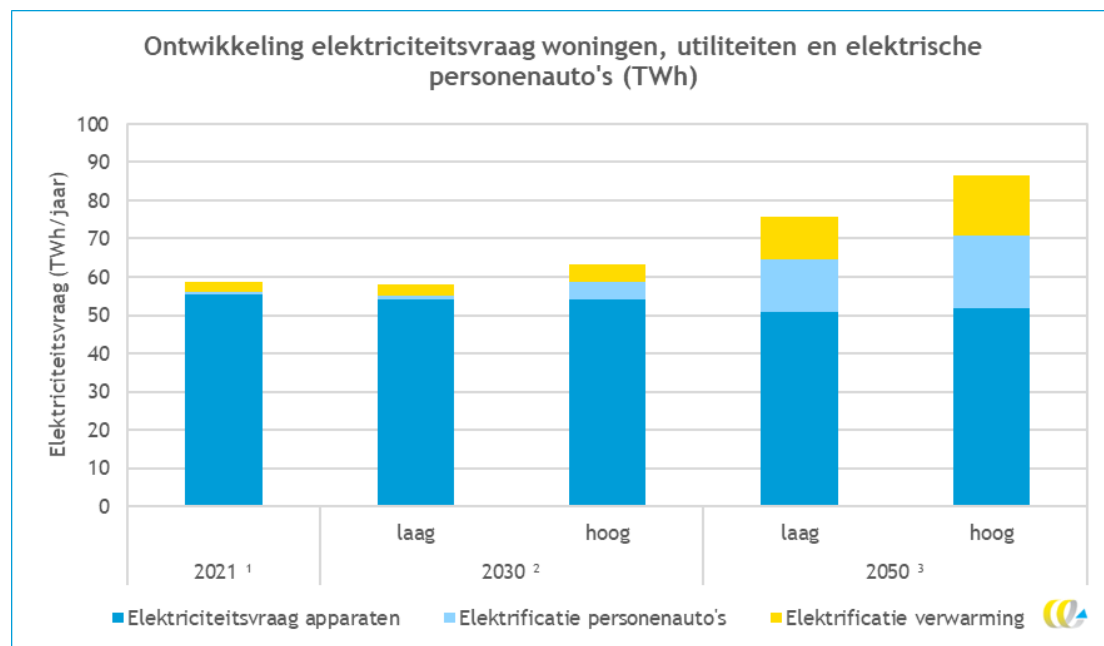
Hoe deze elektriciteitsvraag zich precies gaat ontwikkelen is nog onzeker. In verschillende studies is met scenario's² een beeld geschetst van de te verwachten elektriciteitsvraag in 2030 (CE Delft, 2021a) en 2050 (Netbeheer Nederland, 2021) (Netbeheer Nederland, 2021) (Quintel, 2021). Figuur 3 geeft een beeld van de verwachte de ontwikkeling van de totale elektriciteitsvraag van de gebouwde omgeving (woningen en utiliteitsbouw) in heel Nederland. Voor 2030 en 2050 zijn de laagste en hoogste scenario's weergegeven uit de genoemde studies.

In 2030 en 2050 gaan elektrisch vervoer en elektrische verwarming de elektriciteitsvraag meer en meer bepalen, het elektriciteitsgebruik hiervan stijgt fors, terwijl de vraag van apparaten licht daalt richting 2050 doordat apparaten steeds efficiënter worden. Hoewel de elektriciteitsvraag fors toeneemt, daalt de totale energievraag wel doordat elektrische voertuigen en elektrische verwarming met warmtepompen veel efficiënter worden dan de huidige brandstofvoertuigen en gasketels.

² Het is goed om te realiseren dat dit scenario's zijn van hoe de toekomst zich zou kunnen ontwikkelen in bepaalde wereldbeelden. Het zijn geen verwachtingen of prognoses van hoe de toekomst eruit zal zien op basis van huidige trends en ontwikkelingen.



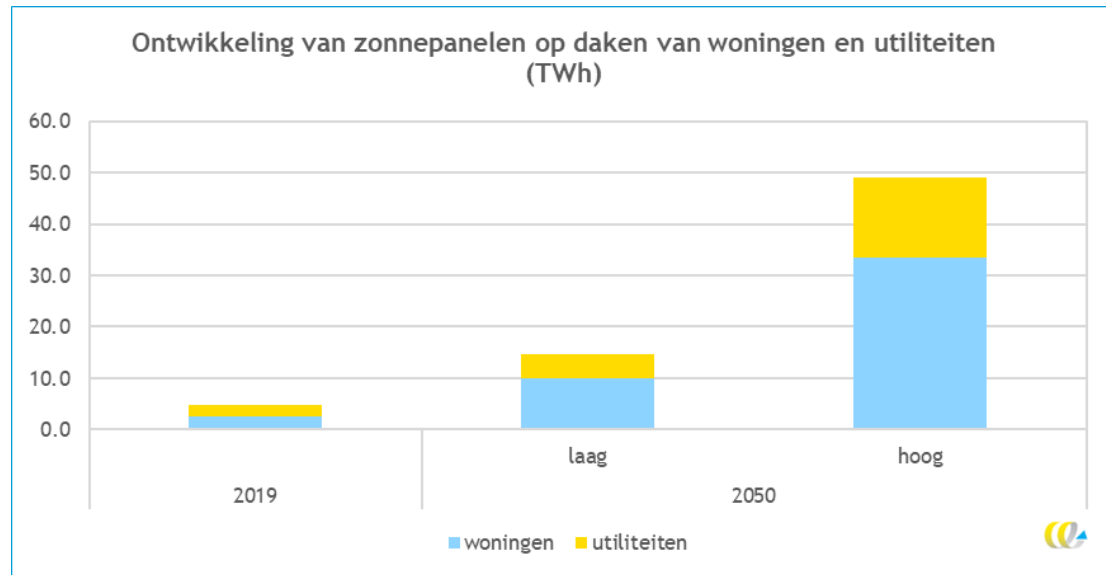
Figuur 3 - Ontwikkeling elektriciteitsvraag in woonbuurten



Opmerking: dit figuur geeft een indicatie van de ontwikkeling van de elektriciteitsvraag in van de gebouwde omgeving door enkel te kijken naar woningen, utiliteiten, elektrische personenauto's en warmtepompen. De ontwikkeling van de vermogensvraag is hieraan gerelateerd, maar die kan wel sterker toenemen doordat voor de vermogensvraag de piekvraag en niet de jaarlijkse elektriciteit vraag van belang is. De zichtjaren zijn gebaseerd op : ¹ data van het CBS (CBS, 2022) en de Regionale Klimaatmonitor (Rijksoverheid, lopend); ² data uit de studie (CE Delft, 2021a); ³ data uit de modellering van de studie (Netbeheer Nederland, 2022a) in het ETM (Quintel, 2021).

Niet alleen de elektriciteitsvraag verandert. Ook zal de opwek van elektriciteit met zonnepanelen blijven toenemen. Figuur 4 laat een forse groei van zonnepanelen zien bij woningen en utiliteiten tussen de huidige situatie en de verwachte situatie in 2050. Naar verwachting is er in 2050 ruim drie tot ruim tien keer zoveel opwek met zonnepanelen op daken van woningen en utiliteitsbouw.

Figuur 4 - Ontwikkeling elektriciteitsproductie met zonnepanelen in woonbuurten



Opmerking: de zichtjaren zijn gebaseerd op data uit de modellering van de studie (Netbeheer Nederland, 2021) in het ETM (Quintel, 2021). De ontwikkeling van de vermogensvraag is hieraan gerelateerd, maar die zal wel sterker toenemen doordat voor de vermogensvraag de piekvraag en niet de jaarlijkse elektriciteit vraag van belang is.

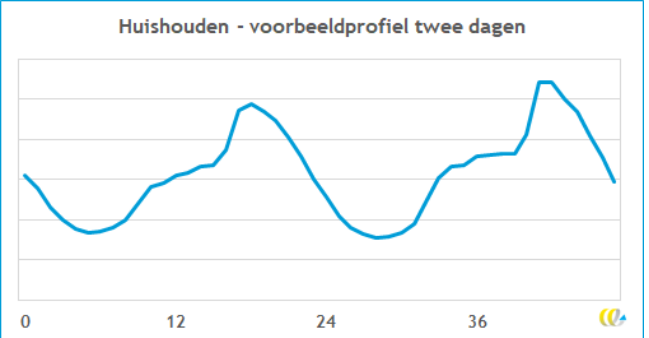
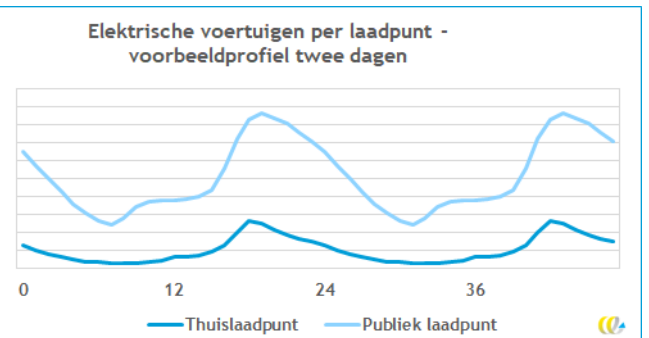
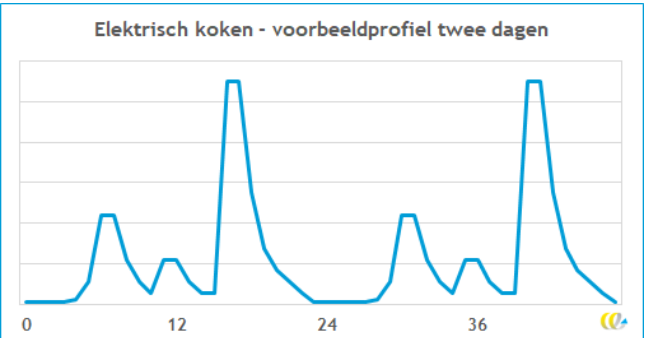
3.2 Profielen van de netbelasting van verschillende apparaten

Het extra elektriciteitsgebruik vertaalt zich in veel gevallen tot noodzakelijke netverzwaring. Hierbij is vooral het piekvermogen (bijvoorbeeld kW, MW of TW) bepalend. Om inzicht te krijgen in het piekvermogen, zijn de belastingprofielen van de verschillende apparaten van belang.

Warmtepompen, elektrische voertuigen, elektrische kookplaten en andere apparatuur zoals lampen en televisies verschillen sterk in hoeveel elektriciteit ze gebruiken, maar ook wanneer. De vraag naar elektriciteit is ook lang niet altijd gelijktijdig met de opwek van elektriciteit door zonnepanelen. Dit heeft gevolgen voor de belasting die zij hebben op het net. Belastingprofielen laten zien wanneer apparaten typisch netbelasting geven.

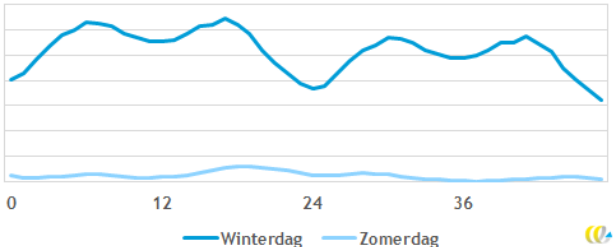

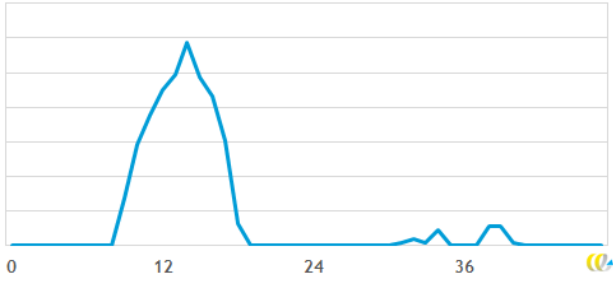
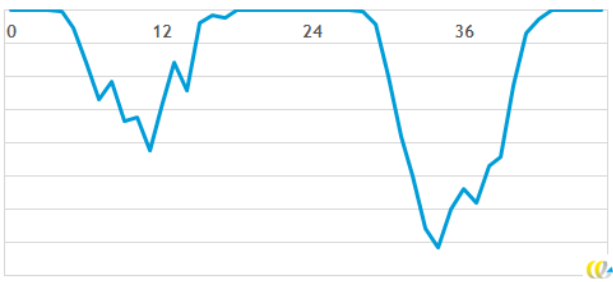
Tabel 1 geeft belastingprofielen van verschillende apparaten voor een periode van twee dagen. Op de x-as is het vermogen weergegeven en op de y-as de tijd. Per techniek zijn twee dagen gekozen met daarin het piekmoment van het jaar. Er is geen getalwaarde toegevoegd op de x-as omdat deze profielen alleen bedoeld zijn om de vorm van het profiel weer te geven. Dit is een gemiddeld profiel van 100 woningen, inclusief gelijktijdigheid. In het volgende hoofdstuk zullen we met behulp van deze individuele profielen een samengesteld profiel voor een buurt maken.

Tabel 1 - Overzicht gemiddelde belastingprofielen van apparaten voor 100 woningen. De profielen laten 48 uur typisch gebruik of opwek zien. De profielen komen uit een CE Delft studie voor TenneT genaamd 'Elektrificatie en vraagprofiel 2030' CE Delft, (2021a), tenzij anders benoemd

Belastingprofiel	Toelichting
	<p>Huishouden basisverbruik: Dit is het elektriciteitsgebruik voor de huidige elektrische apparaten. Het huishoudelijk profiel is vrij regelmatig gedurende het hele jaar. Er is een lage netbelasting gedurende de nacht. In de ochtend is er een hogere netbelasting maar de hoogste piek vindt plaats tijdens de avond. De netbelasting in de winter is vaak beperkt hoger vanwege verlichting en omdat mensen meer thuis zijn.³</p>
	<p>De twee profielen geven het opladen van elektrische auto's bij thuisladen en publiekladen weer. Per thuislaadpunt wordt volgens Elaad gemiddeld 1.800 kWh per jaar geladen en per publiek laadpunt 9.200 kWh. Aan één publiek laadpunt laden logischerwijs meerdere elektrische voertuigen. Voor beide is het profiel weergegeven van de 48 uur waarbinnen de hoogste piek valt. Thuisladen kent een hoge piek in de avond bij thuiskomst, wat doorloopt in de nacht. Publiek laden kent een relatief hogere belasting overdag waardoor de relatieve piek gedurende de avond lager is.⁴ Doordat de geleverde elektriciteit via een publiek laadpunt hoger is, is de netbelasting ook hoger.</p>
	<p>Elektrisch koken vindt voornamelijk plaats bij het ontbijt, lunch en avondeten. De grootste piek vindt plaats rond het avondeten.</p>

³ Het profiel voor huishoudelijk verbruik is afkomstig van MFF gebaseerd op meetdata van slimme meters (Mff, 2022).

⁴ Deze profielen zijn afkomstig van Elaad (Elaadnl, 2023).

Belastingprofiel	Toelichting
<p data-bbox="220 324 718 376">Warmtepomp ruimteverwarming - voorbeeldprofiel twee dagen</p> 	<p data-bbox="813 302 1345 358">De inzet van een warmtepomp hangt grotendeels af van de buitentemperatuur.</p> <p data-bbox="813 369 1345 481">De netbelasting is iets lager tijdens de nacht maar verder is het profiel vrij vlak. Tijdens de zomer is de netbelasting veel lager dan 's winters omdat de verwarming dan niet of minder aan staat.</p>
<p data-bbox="263 694 670 745">Warmtepomp tapwater - voorbeeldprofiel twee dagen</p> 	<p data-bbox="813 672 1345 862">Het opwarmen van tapwater, water voor douchen of huishoudelijk gebruik heeft dagelijks grotendeels hetzelfde patroon. In de ochtend is het tapwaterverbruik het hoogste met daarnaast een piek in de avond. Gedurende nacht is er nauwelijks warm tapwatergebruik.</p>
<p data-bbox="279 1064 654 1097">Koeling - voorbeeldprofiel twee dagen</p> 	<p data-bbox="813 1052 1345 1176">Koeling is vereist op warme dagen. Het profiel laat de grote fluctuatie zien in de vereiste koeling gedurende twee zomerdagen: toevallig een warme en een minder warme dag achter elkaar.</p>
<p data-bbox="247 1444 686 1478">Zonnepanelen - voorbeeldprofiel twee dagen</p> 	<p data-bbox="813 1433 1345 1612">Zonnepanelen produceren zonne-energie die gebruikt kan worden door het huishouden (achter de meter) of anders aan het net geleverd wordt (levering voor de meter). Het figuur toont de totale opwek van twee achtereenvolgende dagen in de zomer: één met weinig zon en één met veel zon.</p> <p data-bbox="813 1624 1345 1680">De pieken fluctueren duidelijk met de beschikbaarheid van de hoeveelheid zon.</p>

3.3 Bepalen van de netimpact

De netimpact wordt bepaald door het gezamenlijke piekvermogen van alle apparaten. Daarvoor moeten alle belastingprofielen bij elkaar worden opgeteld. Dat is echter niet zomaar te doen: daarbij moet rekening gehouden worden met de *gelijktijdigheid* van het verbruik en het *vermogen* van de individuele apparaten.

De *gelijktijdigheid* zegt iets over of de verschillende apparaten en huishoudens de pieken op hetzelfde moment hebben. Zoals Tabel 1 laat zien, komen veel pieken voor in de ochtend- en avonduren. Deze apparaten moeten dus op hetzelfde moment stroom krijgen van het net: de belasting is *gelijktijdig*. Warmtepompen en zonnepanelen pieken juist op verschillende momenten. Ook de verschillende huishoudens in een buurt belasten het net niet volledig *gelijktijdig*: niet iedereen kookt, doucht of komt thuis op precies hetzelfde moment.

De apparaten verschillen ook in het gevraagde vermogen. De laders van elektrische auto's kunnen een veel hoger vermogen hebben dan warmtepompen (afhankelijk van het type lader en auto), wel tot vier keer het vermogen van een warmtepomp (snelladers niet meegerekend) (*Netbeheer Nederland, 2019a*). Apparaten met een hoger vermogen tellen zwaarder mee in de netimpact. Ook verschilt het vermogen tussen huishoudens: een grote, minder goed geïsoleerde woning zal een grotere warmtepomp nodig hebben dan een klein, goed geïsoleerd appartement. En een woning met een groot dak kan meer zonnepanelen plaatsen dan een woning met een klein dak.

Hoe deze pieken samenvallen verschilt dus van buurt tot buurt. De *gelijktijdige* netbelasting van alle woningen, utiliteitsgebouwen en laadpunten samen geeft het piekvermogen op het elektriciteitsnetwerk. Het piekvermogen is de hoogste vermogensvraag waarop het net moet zijn uitgerust. De netbeheerder ontwerpt hier de netten op en bepaalt zo de benodigde dikte van kabels en het aantal transformatorstations.

Of er ten gevolge van deze ontwikkelingen netverzwaring moet plaatsvinden, is vervolgens ook nog afhankelijk van hoe het huidige net is ontworpen. Als er veel extra ruimte is op het huidige net, is netverzwaring niet direct nodig. Daarom moet er altijd gekeken worden naar het huidige net om te bepalen of - en wanneer - netverzwaring nodig is.

Netimpact op hoofdlijnen

Zoals hierboven beschreven, is het afhankelijk van vele factoren wat bepalend is voor de benodigde netuitbreidingen. Per gebied moet de lokale situatie bekeken worden. Om toch een indicatie te geven van de impact van de verschillende ontwikkelingen op het net, hebben de netbeheerders verschillende rapporten opgesteld (Bron: (*Netbeheer Nederland, 2019a*) en (*Netbeheer Nederland, 2022a*)), zie Tabel 2. De tabel laat zien dat de energietransitie in verschillende situaties een stijging kan betekenen van ongeveer 25% tot 100% in het aantal MSRs en ondergrondse kabels. Het verschil in netimpact tussen een scenario met warmtepompen en een warmtenet laat zien dat de toegepaste warmte-techniek een zeer grote impact kan hebben op de benodigde netverzwaringen.

Tabel 2 - Gevolgen van warmtetransitie, elektrische voertuigen (EV's) en zon-pv op het elektriciteitsnet volgens twee rapporten van Netbeheer Nederland (afgerond op 5%)

Scenario	Netimpact van warmtealternatieven <i>Referentiewijk: 1.200 woningen, 7 transformatorstations, 4 km LS-net. Vaste groei EV's en zon-pv (ca. 66%)</i>		Basisdocument over energie-infrastructuur <i>Uitgangspunt: 10.000 woningen, 60 transformatorstations, 80 km LS- en MS-kabel. Groei EV's en zon-pv hoog bij scenario warmtepompen; gemiddeld bij andere scenario's.</i>	
	Transformatorstations (toename in aantal)	LS en MS net (toename in km)	Transformatorstations (toename in aantal)	LS en MS net (toename in km)
Warmtepompen of LT-warmtenet	+85-115%	+95-150%	+50-100%	+40-75%
Hybride warmtepompen	+55-85%	+80-135%	15-65% (*)	+20-40% (*)
HT-warmtenet	+30-55%	+35-80%	+5-25%)	+5-20%

(*) In dit rapport is in dit scenario 50% warmtenet, 50% elektrische warmtepomp gehanteerd.

LS = laagspanning, MS = middenspanning.

De verschillen tussen de twee rapporten van Netbeheer Nederland komen voort uit verschillende veronderstellingen. Het rapport over de netimpact van warmtealternatieven is het meest recent en sluit het beste aan bij de scope en scenario's die we in deze studie hanteren.

Netimpact verminderen met slimme sturing

Met slimme oplossingen kan de netbelasting van apparaten dalen, en daarmee de noodzaak tot netverzwaring mogelijk ook (beperkt) afnemen. Zo kunnen elektrische voertuigen *slim laden*. Dat betekent dat niet alle voertuigen tegelijk op maximaal vermogen laden. Zo daalt de piekbelasting van elektrisch laden en is er mogelijk minder netverzwaring nodig.

Bij warmtepompen is slim sturen beperkter mogelijk dan bij laden van voertuigen. Warmtepompen werken het best als de vraag zo constant mogelijk is. Bovendien moeten alle woningen tegelijk verwarmd worden op de koude momenten in het jaar.

4 Netimpact in drie buurten

Zoals in Hoofdstuk 3 beschreven, hangt de netbelasting af van verschillende factoren die van buurt tot buurt verschillen, zoals gebouwgruotte, energievraag, aantal bewoners, autobezit en dakoppervlakte voor zonnepanelen, maar ook de situatie op het huidige net.

In dit hoofdstuk geven we voor drie typen buurten een illustratieve doorrekening van de netbelasting en welke impact dat heeft op het elektriciteitsnet. We maken daarbij gebruik van de (verbruiks)profielen van verschillende elektrische apparaten die in het vorige hoofdstuk zijn besproken.

4.1 Uitleg van de analyse

We beschouwen de volgende drie type buurten: een niet-stedelijke buurt, een hoogstedelijke buurt en een suburbane nieuwbouwwijk. Eerst maken we een analyse van de netbelasting in verschillende scenario's op basis van de profielen uit het vorige hoofdstuk. Daarna illustreren we met een casus, die door Stedin is uitgewerkt, wat dit kan betekenen voor de benodigde netverzwaringen in verschillende scenario's.

Let op: Deze voorbeeldbuurten en casussen zijn illustratief, wij kunnen op basis hiervan geen generieke uitspraak doen over de benodigde netverzwaring in individuele buurten. Sommige buurten hebben al een toekomstbestendig net, terwijl andere de netten minimaal zijn uitgelegd. De netbeheerders geven aan dat er grote verschillen zijn, door netaanpassingen, lokale ontwikkelingen en gevoerd beleid door de jaren heen.

Figuur 5 - Een illustratief beeld van een niet-stedelijke buurt, een hoogstedelijke buurt en een suburbane nieuwbouwwijk



Bron: v.l.n.r. [Wikimedia Commons \(2005\)](#), [Wikimedia Commons \(2013\)](#) en [Funda \(2023\)](#).

Voor elk van de drie voorbeeldbuurten doen we eerst een illustratieve profielanalyse van de netbelasting in drie scenario's voor de warmtetransitie. Vervolgens heeft netbeheerder Stedin voor elke casus een berekening gemaakt van de benodigde netverzwaring in de drie scenario's.

Illustratieve profielanalyse van de netbelasting

We laten de impact van de energietransitie zien aan de hand van een analyse op basis van profielen voor een gemiddelde buurt voor de drie buurttypen. De belangrijkste aannames hiervoor staan in onderstaand kader. Voor meer informatie over de analyse, zie Bijlage A.

Belangrijkste aannames in de profielanalyse:

- We kijken naar een groep van 100 woningen die het gemiddelde zijn in het type buurt, de eigenschappen zijn gebaseerd op CBS-data van alle buurten in Nederland van dit type.
- Uitgangspunt is verwarmen op aardgas, alle woningen gaan over op dezelfde warmtetechniek. Daarbij rekenen we drie scenario's door met een warmtevoorziening op basis van een:
 - volledig elektrische warmtepomp;
 - hybride warmtepomp;
 - Warmtenet op hoge temperatuur (netimpact is gelijk aan gasketel).
- 100% van de voertuigen in de wijk wordt elektrisch.
- Alle woningen die daarvoor geschikt zijn, worden voorzien van zonnepanelen.
- Alle woningen koken elektrisch.
- Koeling van woningen is niet meegenomen.

De voorbeeldbuurten verschillen van elkaar op verschillende manieren. Woningen in een niet-stedelijke buurt zijn bijvoorbeeld vaak groter en hebben daarom een hogere warmtevraag. Daarom geven ze bij elektrisch verwarmen grotere piekbelastingen op het net. Tegelijkertijd hebben deze woningen een groter dakoppervlak om zonne-energie op te wekken. In een hoogstedelijke buurt is minder ruimte voor zon op dak, maar liggen er wel meer mogelijkheden om door middel van laadpleinen slim om te gaan met elektrisch laden.

Casus voorbeeldbuurt

Vervolgens heeft netbeheerder Stedin voor elk van de drie casussen een berekening gemaakt van de benodigde netverzwaring in een concrete voorbeeldbuurt uit haar verzorgingsgebied. Deze berekening laat zien hoe verschillende scenario's voor de warmtetransitie in een specifieke voorbeeldbuurt uitpakken én wat dat betekent voor de daar benodigde netverzwaring. De berekeningen kijken naar de elektriciteitsstromen door het netwerk en geven aan welke kabels of middenspanningsruimtes overbelast raken. Een netspecialist van Stedin heeft vervolgens gekeken hoeveel extra middenspanningsruimtes die buurt nodig zou hebben per scenario.

Belangrijke disclaimers bij de analyse en figuren casussen:

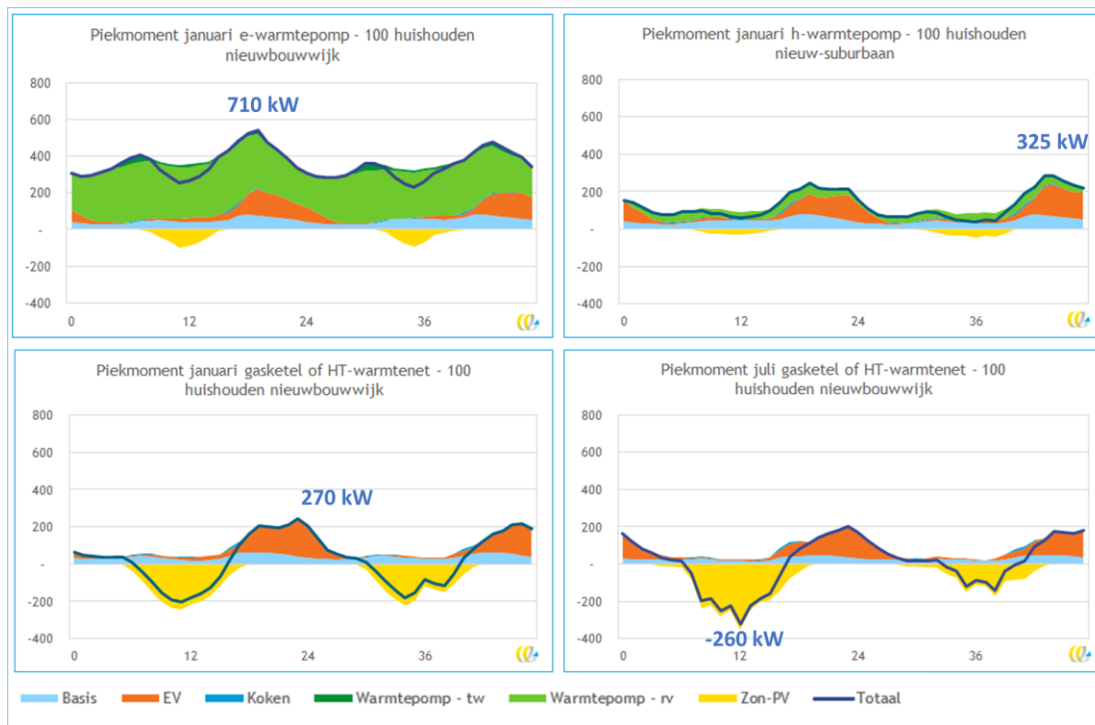
- De analyse maakt gebruik van een aantal aannames en is een eerste indicatie. In alle scenario's is uitgegaan van inductie koken.
- De gemodelleerde scenario's volgen de rationale van de scenario's van de profielanalyse, maar zijn vanwege verschillen in de modellen en de te variëren parameters niet volledig identiek:
 - Het scenario 'maximale elektrificatie' veronderstelt dat alle gebouwen gebruik maken van (volledig elektrische) warmtepompen, de volledige potentie voor zon op dak benut wordt en alle voertuigen elektrisch zullen zijn.
 - Het scenario 'maximaal EV en PV, geen warmtepompen' beschrijft een warmtevoorziening zonder warmtepompen en veronderstelt dat de volledige potentie voor zon op dak benut wordt en alle voertuigen elektrisch zullen zijn.
 - Het scenario 'gematigde elektrificatie' veronderstelt dat de helft van de gebouwen gebruikt maakt van (volledig elektrische) warmtepompen, de helft van de potentie van zon op dak benut wordt en dat een kwart van de voertuigen elektrisch zullen zijn.

- Er is alleen gekeken naar het huidige laagspanningsnet en de impact van de scenario's op dit net. Dit betekent dat er geen andere (net)ontwikkelingen zijn meegenomen die niet in de scenario's zijn gevarieerd, het is een momentopname. Dat betekent dus dat reeds voorziene netinvesteringen die mogelijk (een deel van) de problemen oplossen niet in beeld zijn, evenals als bijvoorbeeld als bekende nieuwbouw of sloop van gebouwen.
In geval van hoogbouw is het belangrijk om de stijgleidingen in de flats te schouwen, om zo te bekijken of deze toereikend zijn voor de aanpassingen. Dat is niet in deze analyse meegenomen.
- De doorlooptijd van het bijplaatsen/verzwaren van een MS/LS-transformator (middenspanningsruimte, MSR) is volgens Netbeheer Nederland typisch 0,5 tot 1 jaar (vanaf planning tot en met uitvoering) en vraagt om 10-35 m² aan ruimte (voor het huisje zelf en de rondom benodigde vrije ruimte voor onderhoudswerkzaamheden) (Netbeheer Nederland, 2019a). Dezelfde doorlooptijd geldt voor het verzwaren van LS-kabels. De kosten die de netbeheerder maakt voor een nieuwe MSR liggen tussen de 35.000 en 250.000 euro per stuk, exclusief grondkosten (Netbeheer Nederland, 2019a). De doorlooptijd kan per situatie en netbeheerder verschillen, bijvoorbeeld doordat het tijd kan kosten om een locatie te vinden.
- Transformatoren kunnen beperkt overbelast worden, mits niet structureel. Belastingen tot 130% worden in eerste instantie door de netbeheerder gemonitord en op een natuurlijk moment toekomstbestendig verzaamd. In de figuren zijn deze in oranje ingekleurd. Transformatoren die meer dan 130% belast worden vereisen naar alle waarschijnlijkheid netinvesteringen: bijplaatsen of vervangen van een transformator in bestaande middenspanningsruimte of het realiseren van een nieuwe middenspanningsruimte.
- Kabels die meer dan 70% belast worden zijn oranje of rood gekleurd en zullen volledig of gedeeltelijk verzaamd moeten worden. Het bijplaatsen van transformatoren kan deel uitmaken van de oplossing.
- De situatie zoals weergegeven in de casussen heeft alleen betrekking op de specifieke casus. De netsituatie en specifieke actie op knelpunten kan per locatie en per regionale netbeheerder verschillen.

4.2 Niet-stedelijke buurt

Figuur 6 toont de netbelasting in een niet-stedelijke buurt voor de scenario's met een volledig elektrische warmtepomp (linksboven), een hybride warmtepomp (rechtboven) en een gasketel of hogetemperatuurwarmtenet (linksonder) op twee koude dagen (48 uur) in januari wanneer er verwarmd moet worden. Daarnaast is het moment weergegeven met de meeste opwek van zonnepanelen in de zomer als er minder vraag is (rechtsonder).

Figuur 6 - Netimpact per warmtetechniek voor niet-stedelijke buurt (100 huishoudens) gedurende 48 uur. De ingekleurde vlakken geven de netbelasting per type apparaat. Zonnepanelen leveren elektriciteit en daarom is hun bijdrage negatief. De donkerblauwe lijn geeft de som van opwek en afname. Het blauwe getal is de maximale piek gedurende het jaar



De netimpact van het scenario met de volledig elektrische warmtepomp is het grootste. De grootste piek ligt in de avond, als de warmtepomp en de elektrische auto's tegelijk stroom vragen.

Het scenario met een hybride warmtepomp geeft ongeveer een 60% lagere netbelasting dan het scenario met een elektrische warmtepomp. De avondpiek wordt nu dominant veroorzaakt door de elektrische auto en versterkt door de hybride warmtepomp. De totale afname piek is hoger dan de piek voor invoeding (productie van elektriciteit door zon).

Een gasketel gebruikt vrijwel geen elektriciteit. De piekbelasting in januari valt in de avond als de elektrische auto's laden en is ongeveer 20% lager dan met een hybride warmtepomp. Overdag geven de zonnepanelen nu een piek in opwek. Op een zomerse dag is deze piek (-260 kW) zelfs bijna gelijk aan de piek van het gebruik van elektriciteit (270 kW). Een warmtenet laat hetzelfde beeld zien, mits er geen elektrische piekvoorziening in de buurt komt.

Deze profielen laten zien dat de keuze voor een warmtetechniek in deze buurt de grootste impact heeft op het elektriciteitsnet. Een hybride warmtepomp, warmtenet of gasketel vragen veel minder netcapaciteit dan een elektrische warmtepomp.

Omdat de hoge avondpiek in het volledig elektrische scenario een optelsom is van de warmtepomp én het elektrisch laden, kan *slim laden* verlichting geven. Slim laden kan relatief eenvoudig ingevoerd worden bij publieke laadpunten. Bij thuislaadpunten is dit

lastiger en zijn herziening van de kleinverbruikers nettarieven vereist of andere (financiële) prikkels. In de doorgerekende casus wordt voornamelijk thuis geladen.

Bij de scenario's met hybride warmtepompen, gasketels of warmtenetten geven zonnepanelen ook een vrijwel even grote piek als van elektriciteitsafname. Daarom moet er met beleid ook naar de afnamepiek gekeken worden omdat zon-pv mede de benodigde netcapaciteit bepaald. De gemeente kan hier op dit moment enkel op sturen door huishoudens te informeren.

In onderstaand tekstkader heeft Stedin voor een voorbeeld van een niet-stedelijke buurt uitgewerkt wat de mogelijke gevolgen kunnen zijn voor de netverzwaringen.

Casus niet-stedelijke buurt

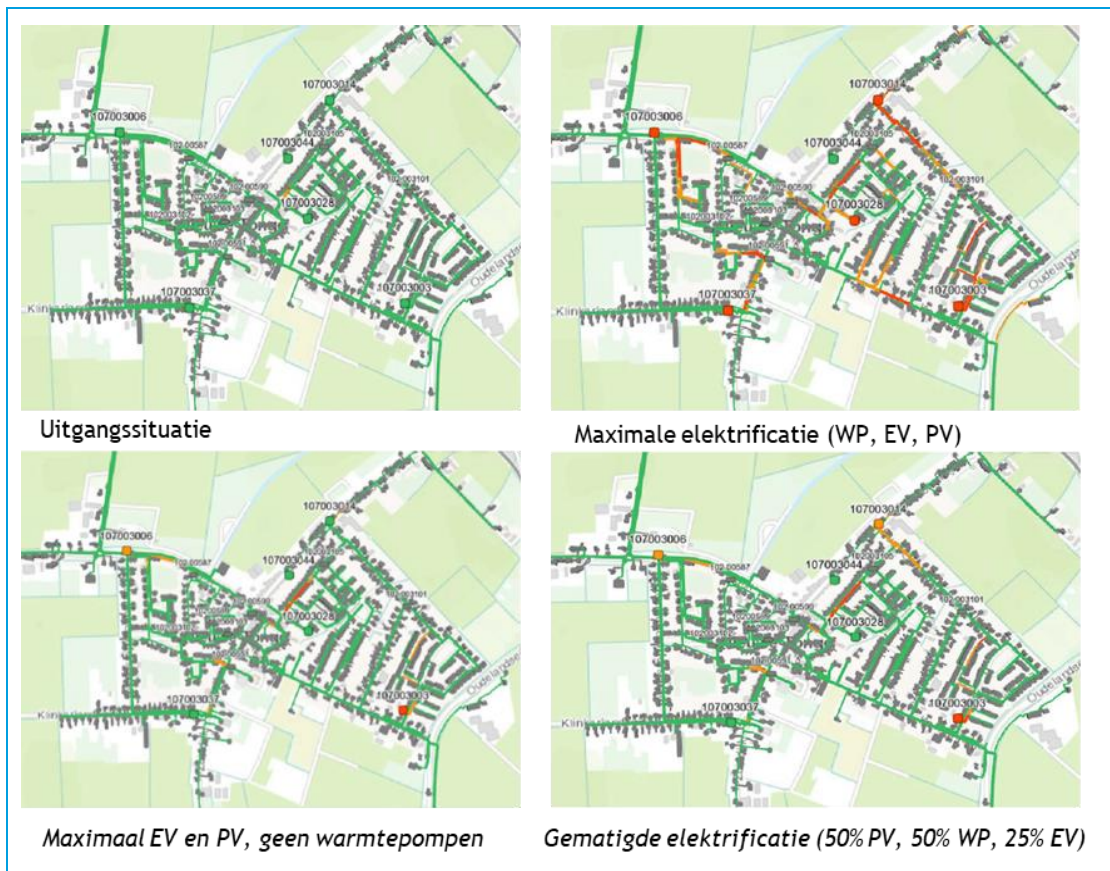
Het voorbeeld betreft een dorpskern in een landelijk gebied. In de **uitgangssituatie** (huidige situatie) zijn er **geen knelpunten** op de kabels of de transformators (enkel twee kabelstukken die gemonitord worden). De figuren in dit tekstkader tonen per scenario de kaartjes met hierop de zes middenspanningsruimtes (MSRs) in deze buurt als blokjes en de kabels als lijnen. Groene elementen zijn niet meer dan 100% belast, elementen in oranje zijn beperkt overbelast en moeten gemonitord worden, elementen in rood zijn structureel overbelast en moeten verzwaard worden.

In het scenario waarin **maximale elektrificatie** plaatsvindt - dat wil zeggen waar alle woningen zonnepanelen installeren, alle voertuigen elektrisch worden en elke woning een volledig elektrische warmtepomp krijgt - ontstaat er een fors aantal knelpunten. In totaal raken vijf MSRs dermate overbelast dat netverzwaring noodzakelijk is. Als uitbreiding binnen bestaande MSRs niet mogelijk is betekent dit een bovengronds ruimtebeslag van 10-35 m² voor elke extra MSR. Omdat de overbelasting in de avond plaatsvindt, ligt de oorzaak voor de netbelasting primair bij **elektrische voertuigen en warmtepompen**. In dit scenario raakt ook een aantal kabels te zwaar belast: deze kabels zijn oranje en rood gekleurd en worden in eerste instantie gemonitord en moeten mogelijk uiteindelijk geheel of gedeeltelijke verzwaard worden.

Wanneer in deze buurt een **warmtevoorziening zonder warmtepompen** gekozen wordt, is de impact op het elektriciteitsnet aanzienlijk lager bij gelijkblijvende ontwikkeling van elektrische voertuigen en zonnepanelen. In dit scenario raakt één MSR ernstig overbelast (rood) en nadert een andere zijn grenzen (oranje). Als uitbreiding binnen bestaande MSRs niet mogelijk is betekent dit een bovengronds ruimtebeslag van 10-35 m². Het aantal overbelaste kabels is ook aanzienlijk minder. We zien in dit scenario dat de belastingpiek in de middag wordt bereikt, daarmee zijn de **zonnepanelen** de oorzaak voor de overbelasting.

Bij een scenario met **gematigde elektrificatie**, zien we ook duidelijk dat de combinatie **warmtepompen en elektrisch vervoer** de belangrijkste factoren zijn voor netverzwaring. Ook hier zorgt namelijk een belastingpiek in de avond voor de piekbelasting. Doordat de elektrificatie een stuk minder is, moet nu één MSR verzwaard worden en zijn er twee MSRs en een aantal kabels die gemonitord moeten worden. Als uitbreiding binnen bestaande MSRs niet mogelijk is betekent dit een bovengronds ruimtebeslag van 10-35 m².

Opmerking: in dit gebied is er één middenspanningsruimte dat bij extra belasting snel gemonitord en/of verzwaard moet worden, ook bij lage elektrificatie of bij enkel ontwikkeling van zonnepanelen.

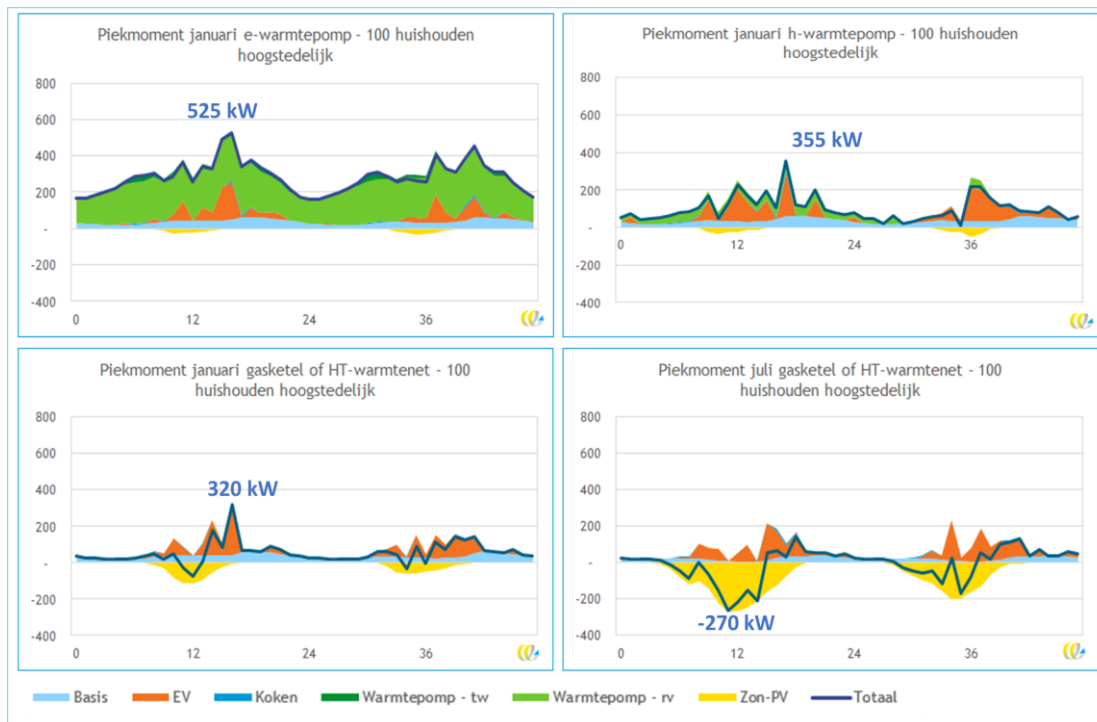


4.3 Hoogstedelijke buurt

Figuur 7 toont de netbelasting in een hoogstedelijke buurt voor de scenario's met een volledig elektrische warmtepomp (linksboven), een hybride warmtepomp (rechtboven) en een gasketel (linksonder) op twee koude dagen (48 uur) in januari wanneer er verwarmd moet worden. Daarnaast is het moment weergegeven met de meeste opwek van zonnepanelen in de zomer als er minder vraag is (rechtsonder).

Net als in de niet-stedelijke buurt levert het scenario met volledig elektrisch verwarmen de hoogste netbelasting. De piekbelasting is lager dan in de niet-stedelijke buurt, omdat de woningen kleiner zijn en het verwarmen ervan daarom minder belasting geeft.

Figuur 7 - Netimpactwarmtetechniek voor hoogstedelijke buurt gedurende 48 uur. De ingekleurde vlakken geven de netbelasting per type apparaat. Zonnepanelen leveren elektriciteit en daarom is hun bijdrage negatief. De donkerblauwe lijn geeft de som van opwek en afname. Het blauwe getal is de maximale piek gedurende het jaar



In een scenario met gasketels of een warmtenet zorgt met name elektrisch vervoer in deze buurt voor pieken (in totaal 320 kW), te zien in het figuur rechtsonder. De piek voor invoeding van elektriciteit is lager (-270 kW).

Deze profielen laten zien dat de keuze van de warmtetechniek ook in deze buurt de grootste impact heeft op het elektriciteitsnet.

Ook hier kan *slim laden* verlichting geven. Voor deze hoogstedelijke buurt biedt een laadplein mogelijk een oplossing. Een laadplein heeft meerdere publieke laadpunten. Door slimme aansturing kan het laadplein het vermogen per laadpunt laten dalen als meerdere laadpunten tegelijk in gebruik zijn. Zo daalt de netbelasting op piekmomenten. Daarnaast is een laadplein vaak aangesloten op een hoger netvlak, waardoor verzwaring van de haarvaten van het elektriciteitsnetwerk voorkomen kan worden.

Zon op dak leidt wellicht op de korte termijn tot knelpunten als hier het snelste ontwikkeling in plaatsvindt. Uit onze analyse blijkt echter dan bij volledige overstap naar elektrische verwarming en auto's elektriciteitsverbruik de netcapaciteit zal bepalen. Deze buurten zijn vooral energiegebruiker. Er is nog netcapaciteit beschikbaar voor opwek in het geval van hybride of elektrische warmtepompen, aangezien de piek voor afname veel hoger dan voor invoeding. Dit zou bijvoorbeeld kunnen met zonnepanelen op parkeerterreinen of garages.

In de tekstkader hierna heeft Stedin voor een voorbeeld van een hoogstedelijke buurt uitgewerkt wat de mogelijke gevolgen kunnen zijn voor de netverzwaringen.

Casus hoogstedelijke buurt

Het voorbeeld betreft een buurt met veel hoogbouw. In de **uitgangssituatie** (huidige situatie) zijn er **geen knelpunten** op de kabels of de transformatoren. De figuren in dit tekstkader tonen per scenario de kaartjes met hierop de zeven middenspanningsruimtes (MSRs) in deze buurt als blokjes en de kabels als lijnen. Groene elementen zijn niet meer dan 100% belast, elementen in oranje zijn beperkt overbelast en moeten gemonitord worden, elementen in rood zijn structureel overbelast en moeten verzaamd worden.

In het scenario waarin **maximale elektrificatie** plaatsvindt - dat wil zeggen waar alle woningen zonnepanelen installeren, alle voertuigen elektrisch worden en elke woning een volledig elektrische warmtepomp krijgt - ontstaat er een fors aantal knelpunten. In totaal raken drie MSRs dermate overbelast dat netverzorging noodzakelijk is, twee stations zijn beperkt overbelast en hoeven in eerste instantie alleen gemonitord te worden. Als uitbreiding binnen bestaande MSRs niet mogelijk is betekent dit een bovengronds ruimtebeslag van 10-35 m² voor elke extra MSR. Omdat de overbelasting in de avond plaatsvindt ligt de oorzaak voor de netbelasting primair bij **elektrische voertuigen en warmtepompen**. In dit scenario raakt ook een aantal kabels te zwaar belast: deze kabels zijn oranje en rood gekleurd en worden in eerste instantie gemonitord en moeten mogelijk uiteindelijk geheel of gedeeltelijke verzaamd worden.

Wanneer in deze buurt een **warmtevoorziening zonder warmtepompen** gekozen wordt, is de impact op het elektriciteitsnet aanzienlijk lager bij gelijkblijvende ontwikkeling van elektrische voertuigen en zonnepanelen. In dit scenario raakt één MSR ernstig overbelast (rood) en nadert een andere zijn grenzen (oranje). Als uitbreiding binnen bestaande MSRs niet mogelijk is betekent dit een bovengronds ruimtebeslag van 10-35 m². Het aantal overbelaste kabels is ook aanzienlijk minder. We zien in dit scenario dat de belastingpiek in de middag wordt bereikt, daarmee zijn de **zonnepanelen** de oorzaak voor de overbelasting.

Bij een scenario met **gematigde elektrificatie** zien we ook duidelijk dat de combinatie **warmtepompen en elektrisch vervoer** de belangrijkste factoren zijn voor netverzorging. Ook hier zorgt namelijk een belastingpiek in de avond voor de piekbelasting. Doordat de elektrificatie een stuk minder is, zijn er nu drie MSRs en een aantal kabels die gemonitord moeten worden.



Uitgangssituatie



Maximale elektrificatie (WP, EV, PV)



Maximaal EV en PV, geen warmtepompen



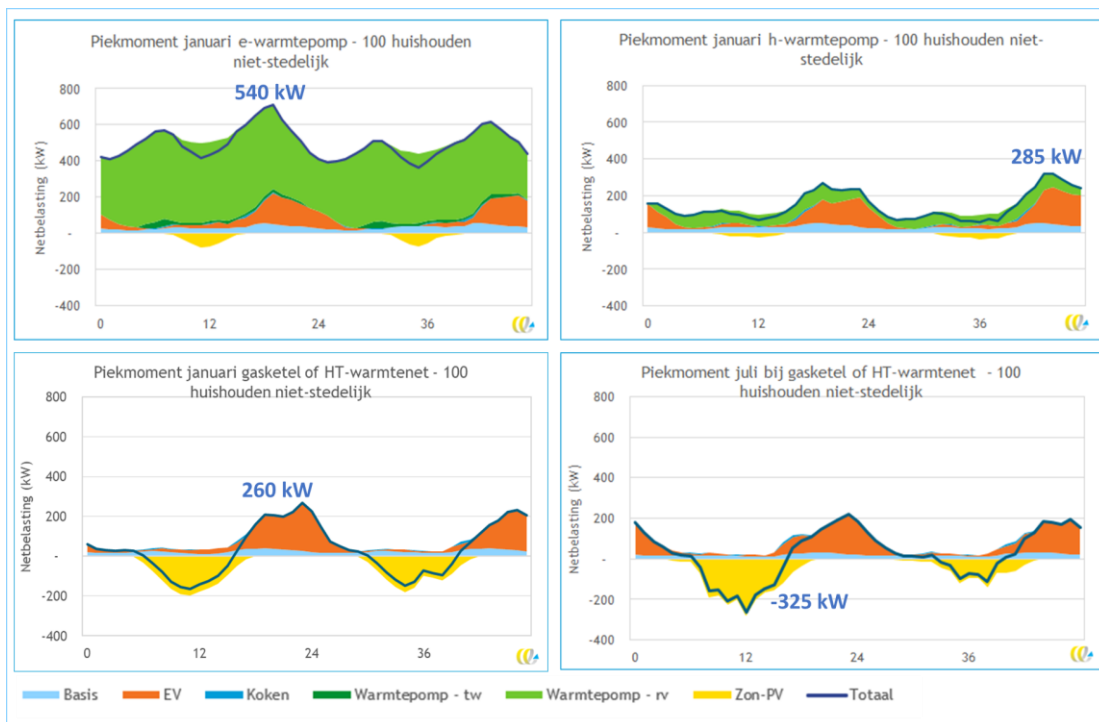
Gematigde elektrificatie (50% PV, 50% WP, 25% EV)

4.4 Suburbane nieuwbouwwijk

Figuur 8 toont de netbelasting in een suburbane nieuwbouwwijk voor de scenario's met een volledig elektrische warmtepomp (linksboven), een hybride warmtepomp (rechtboven) en een gasketel (linksonder) op twee koude dagen (48 uur) in januari wanneer er verwarmd moet worden. Daarnaast is het moment weergegeven met de meeste opwek van zonnepanelen in de zomer als er minder vraag is (rechtsonder).

De suburbane nieuwbouwwijk (nu nog aangesloten op aardgas) laat een vergelijkbaar beeld zien met de andere twee type buurten. Het scenario met elektrische warmtepompen leidt tot de hoogste benodigde netcapaciteit.

Figuur 8 - Netimpactwarmtetechniek voor nieuwbouwwijk gedurende 48 uur. De ingekleurde vlakken geven de netbelasting per type apparaat. Zonnepanelen leveren elektriciteit en daarom is hun bijdrage negatief. De donkerblauwe lijn geeft de som van opwek en afname. Het blauwe getal is de maximale piek gedurende het jaar



De netbelasting is een stuk lager bij het scenario met hybride warmtepompen (maximaal 285 kW). De piek wordt echter nog steeds bepaald door afname van elektriciteit voor elektrische auto's en de hybride warmtepomp.

De netbelasting in geval van een gasketel is weer lager (260 kW). Hierdoor worden in dit scenario de zonnepanelen bepalend in de netbelasting (-325 kW). De pieken door de productie van zonne-energie (Figuur 8, rechtsonder) zijn hoger dan de piek voor afname (Figuur 8, linksonder). Dat komt omdat er in deze buurt meer zonnepanelen mogelijk zijn door een groter dak en groter geschikt dakoppervlakte. Dit betekent dat de invoeding van zonne-energie in dit scenario bepalend is voor de benodigde netverzwaring. Per 2018 moet nieuwbouw gasloos opgeleverd worden. Recente nieuwbouwwijken verwarmen daarom vaak met elektrische warmtepompen. Ook liggen er doorgaans

zonnepanelen op de daken (BENG-norm). De netbeheerder ontwerpt nieuwe netten daarom al met een hogere capaciteit per woning en houdt rekening met de warmtetechniek. Netverzwaring is daarom minder vaak aan de orde. Toch kan het net ook in deze buurten gaan knellen, bijvoorbeeld als huishoudens meer zonnepanelen nemen dan de netbeheerder vanuit ging.

Ook in deze voorbeeldbuurt heeft de keuze voor wel of geen elektrische warmtepompen de grootste impact op de netbelasting. De avondpiek is het hoogste, omdat elektrische voertuigen dan opladen. *Slim laden* kan helpen om de avondpiek te verlagen. Dit kan bijvoorbeeld met een laadplein. Als het net voldoende capaciteit heeft voor elektrische warmtepompen, zou er ook voldoende netcapaciteit moeten zijn voor zon op dak. Bij de keuze voor hybride, gasketels of warmtenetten worden de zonnepanelen maatgevend voor de benodigde infrastructuur.

In onderstaand tekstkader heeft Stedin voor een voorbeeld van een suburbane nieuwbouwwijk (nu nog op gas aangesloten) uitgewerkt wat de mogelijke gevolgen kunnen zijn voor de netverzwaringen.

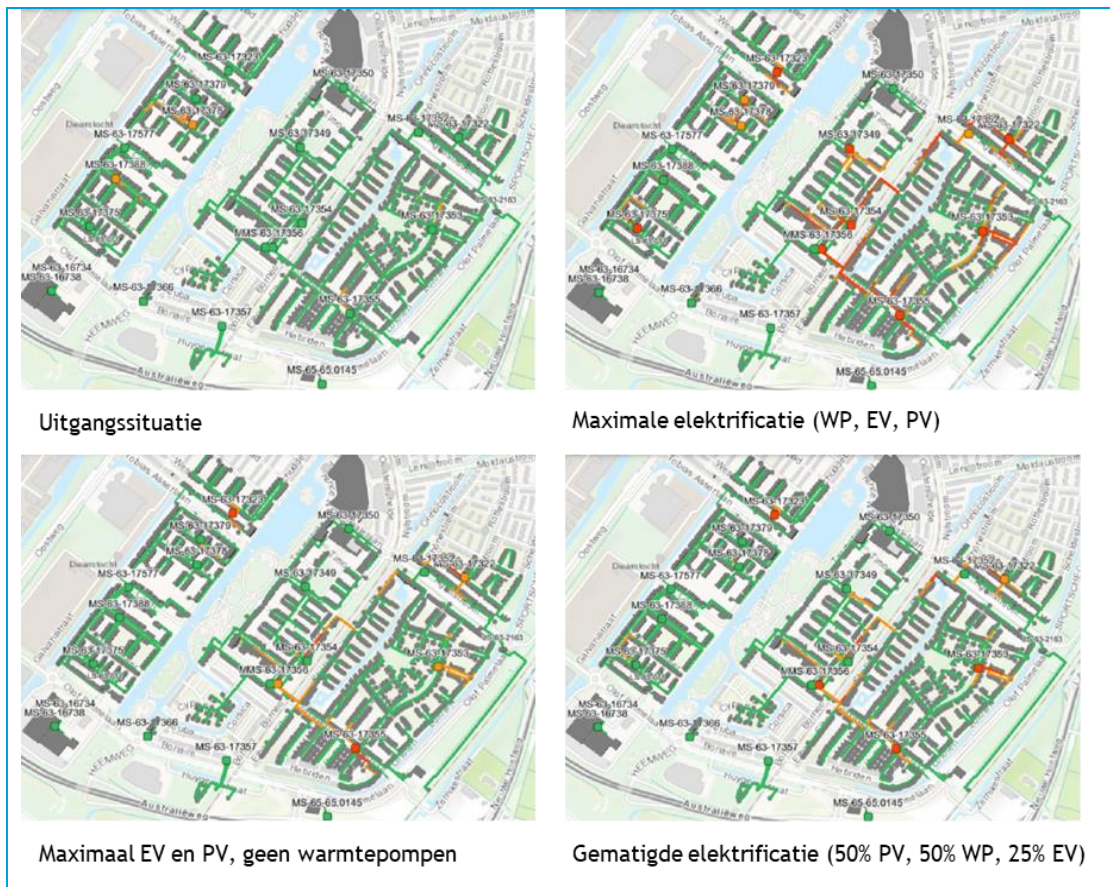
Casus suburbane nieuwbouwwijk

Het voorbeeld betreft een buurt met nieuwbouw van net vóór de periode dat gasloos bouwen verplicht werd. In deze buurt zijn momenteel de meeste woningen nog aangesloten op aardgas. In de **uitgangssituatie** (huidige situatie) zijn in het westen van de buurt een aantal kabels en middenspanningsruimtes (MSRs) al te zwaar belast in de middag. De oorzaak is hier met name de grote hoeveelheid **zonnepanelen**. De figuren in dit tekstkader tonen per scenario de kaartjes met hierop de negentien middenspanningsruimtes (MSRs) in deze buurt als blokjes en de kabels als lijnen. Groene elementen zijn niet meer dan 100% belast, elementen in oranje zijn beperkt overbelast en moeten gemonitord worden, elementen in rood zijn structureel overbelast en moeten verzwaard worden.

In het scenario waarin **maximale elektrificatie** plaatsvindt - dat wil zeggen waar alle woningen zonnepanelen installeren, alle voertuigen elektrisch worden en elke woning een volledig elektrische warmtepomp krijgt - ontstaat er een fors aantal knelpunten. In totaal raken acht MSRs dermate overbelast dat netverzwaring noodzakelijk is, drie stations zijn beperkt overbelast en hoeven in eerste instantie alleen gemonitord te worden. Als uitbreiding binnen bestaande MSRs niet mogelijk is betekent dit een bovengronds ruimtebeslag van 10-35 m² voor elke extra MSR. Omdat de overbelasting in de avond plaatsvindt ligt de oorzaak voor de netbelasting primair bij **elektrische voertuigen en warmtepompen**, dit in tegenstelling tot de knelpunten in de uitgangssituatie. In dit scenario raken ook een aantal kabels te zwaar belast: deze kabels zijn oranje en rood gekleurd en worden in eerste instantie gemonitord en moeten mogelijk uiteindelijk geheel of gedeeltelijke verzwaard worden.

Wanneer in deze buurt een **warmtevoorziening zonder warmtepompen** gekozen wordt, is de impact op het elektriciteitsnet aanzienlijk lager bij gelijkblijvende ontwikkeling van elektrische voertuigen en zonnepanelen. In dit scenario raken twee MSR ernstig overbelast (rood) en naderen drie anderen hun grenzen (oranje). Als uitbreiding binnen bestaande MSRs niet mogelijk is betekent dit een bovengronds ruimtebeslag van 10-35 m² voor elke extra MSR. Het aantal overbelaste kabels is ook aanzienlijk minder. We zien in dit scenario dat de belastingpiek in de middag wordt bereikt, daarmee zijn de **zonnepanelen** de oorzaak voor de overbelasting.

Bij een scenario met **gematigde elektrificatie**, zien we ook duidelijk dat de combinatie **warmtepompen en elektrisch vervoer** de belangrijkste factoren zijn voor netverzwaring. Ook hier zorgt namelijk een belastingpiek in de avond voor de piekbelasting. Doordat de elektrificatie een stuk minder is, zijn er nu vier MSRs dermate overbelast dat netverzwaring noodzakelijk is, en moet één MSR en een aantal kabels gemonitord moeten worden. Als uitbreiding binnen bestaande MSRs niet mogelijk is betekent dit een bovengronds ruimtebeslag van 10-35 m² voor elke extra MSR.



4.5 Conclusie

Oorzaken van netimpact in drie voorbeeldbuurten

In de drie voorbeeldbuurten die we hebben geanalyseerd zien we wat de netimpact is van elektrisch laden, zonnepanelen en drie scenario's voor de warmtetransitie. Tabel 3 geeft een overzicht de oorzaken van piekbelasting die naar voren is gekomen in elk van de casussen.

Tabel 3 - Overzicht oorzaak piekbelasting per type wijk per warmteoplossing op basis van de profielanalyse

	Hoge elektrificatie: volledig elektrische warmtepomp	Gematigde elektrificatie: hybride warmtepomp	Warmtenet of gasketel
Niet-stedelijke buurt	Afname: met name warmtepomp, ook elektrische auto	Afname: met name elektrische auto, ook hybride warmtepomp	Afname en opwek (zonnepanelen) gelijk
Hoogstedelijke buurt	Afname: Met name warmtepomp, ook elektrische auto	Afname: met name. elektrische auto, ook hybride warmtepomp	Afname (met name elektrische auto)

	Hoge elektrificatie: volledig elektrische warmtepomp	Gematigde elektrificatie: hybride warmtepomp	Warmtenet of gasketel
Suburbane nieuwbouwwijk	Afname: met name warmtepomp, ook elektrische auto	Afname: met name elektrische auto, ook hybride warmtepomp	Opwek (zonnepanelen)

In alle drie de buurten is de warmtetransitie het meest bepalend voor de netimpact:

- In alle drie de voorbeeldbuurten zien we dat als een buurt volledig elektrisch verwarmt, de elektrische warmtepompen de hoogste pieken geven. De keuze voor een warmte-techniek heeft daarom de hoogste impact op de benodigde netcapaciteit. Alleen als huishoudens veel meer zonnepanelen nemen dan nodig is voor het eigen gebruik, kan de zonnepiek groter zijn dan die van elektrische warmtepompen.
- Hybride warmtepompen of beperkte elektrificatie resulteert in een veel lagere netbelasting dan volledig elektrische warmtepompen. Wanneer er dus weinig capaciteit op het net beschikbaar is, kunnen hybride warmtepompen mogelijk een tussenoplossing vormen die de noodzaak tot netverzwaring uitstelt.
- Warmtenetten of gasketels geven de laagste netbelasting, ook als de elektrificatie auto's en het zonnepanelen zich sterk ontwikkelen. In buurten die zo verwarmen kunnen het aantal elektrische auto's of de hoeveelheid zon op dak de piek bepalen.

Elektrische auto's kunnen significant bijdragen aan de piekbelasting. Elektrische auto's laden met name in de avond. Deze avondpiek valt samen met elektrisch koken en elektrisch verwarmen. Slim laden zorgt ervoor dat deze pieken lager worden of op andere momenten plaats vinden, dan is er dus minder netcapaciteit nodig.

Zon op dak heeft met name netimpact bij grondgebonden woningen. De daken van deze woningen bieden relatief meer ruimte voor zonnepanelen dan hoogbouw.

Hoogstedelijke buurten verschillen van niet-stedelijke of suburbane nieuwbouw omdat ze meer publiek kunnen laden, minder dakoppervlak hebben voor zonnepanelen en een kleinere warmtevraag per woning hebben. Deze buurten zijn vooral energiegebruikers. Extra opwek zal in deze buurten daarom minder snel tot netproblemen leiden.

In alle scenario's neemt de piekvraag op het laagspanningsnet toe. Wanneer het net daar niet voor is uitgerust, kunnen het net en de MSRs overbelast raken. Om dat tegen te gaan is tijdige verzwaring van het net en de MSRs nodig.

Gevolgen van netimpact: benodigde netverzwaring

Stedin heeft voor deze studie voor de drie voorbeeldbuurten berekend wat de gevolgen van de ontwikkelingen zijn voor benodigde verzwaring.

In alle drie de uitgewerkte voorbeeldbuurten is verzwaring nodig. Volledige elektrificatie met elektrische warmtepompen, elektrische auto's en zon op dak vraagt in de drie voorbeeldcases voor verzwaring van circa de helft tot bijna alle MSRs (verdubbeling van het aantal transformatorhuisjes). Bij een warmte-alternatief zonder warmtepompen is dit veel minder.

Het aantal overbelaste MSRs in de voorbeeldbuurten is in Tabel 4 weergegeven. Deze percentages zijn iets lager dan de benodigde netuitbreiding uit de eerdere rapporten van Netbeheer Nederland in Tabel 2, maar ze zijn niet een-op-een te vergelijken: ten eerste omdat het aantal overbelaste MSRs niet direct te vertalen is naar nieuw benodigde MSRs (bijvoorbeeld omdat overbelasting soms ook kan worden opgelost binnen de bestaande MSR), en ten tweede omdat er hier gebruik is gemaakt van specifieke casussen. Wat wel duidelijk is, is dat de mate van overbelasting van het net sterk afhankelijk is van de mate van elektrificatie.

Tabel 4 - Gevolgen van warmtetransitie, elektrisch laden en zon-pv op het aantal overbelaste MSRs in de hier uitgewerkte voorbeeldbuurten

Scenario	Voorbeeldbuurten		
	Niet-stedelijke buurt 6 MSRs	Hoogstedelijke buurt 7 MSRs	Suburbane nieuwbouwwijk 18 MSRs
Maximale elektrificatie (100% elektrische warmtepompen, 100% elektrisch laden, 100% zon-pv)	5 (83%)	3 (43%)	8 (42%)
Gematigde elektrificatie (50% elektrische warmtepompen, 25% elektrisch laden, 50% zon-pv)	1 (17%)	0	4 (21%)
Geen warmtepompen (100% elektrisch laden, 100% zon-pv)	1 (17%)	1 (14%)	2 (11%)

5 Impact lokale netverzwaring vergeleken met hogere netvlakken

Verschillende ontwikkelingen hebben impact op verschillende delen van het elektriciteitsnet. In dit hoofdstuk schetsen wat de impact is van 1 MW-netverzwaring op verschillende netvlakken.

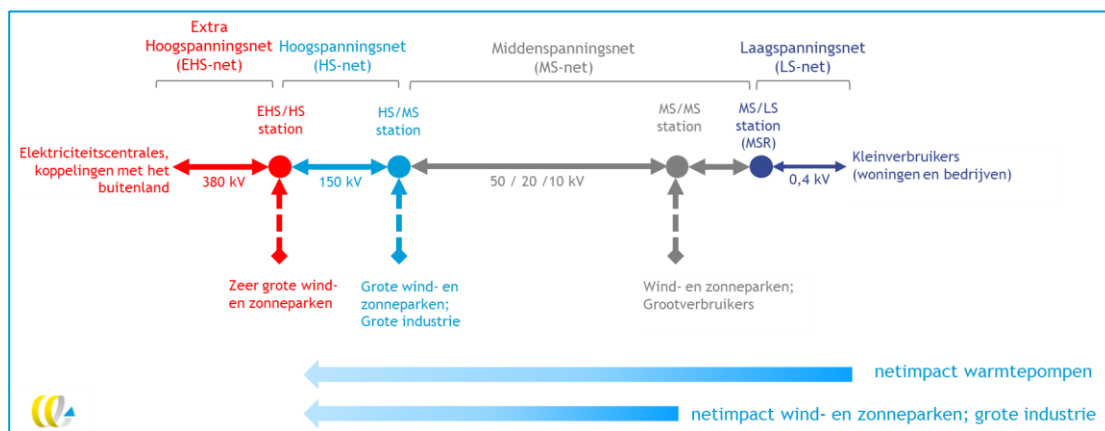
5.1 Ontwikkelingen op verschillende netvlakken

Elektrificatie en netimpact in woonbuurten vindt plaats op het lokale laagspanningsnet (kabels en transformatorhuisjes). Deze vraag naar capaciteit werkt ook door naar de hogere netvlakken en vereist dus potentieel netuitbreidingen op veel verschillende netvlakken en netcomponenten.

Figuur 9 toont schematisch de elektriciteitsinfrastructuur, met vanaf links het laagste elektriciteitsnet (laagspanningsnet waar huishoudens zijn aangesloten) tot aan het hoogste elektriciteitsnet (extra hoogspanningsnet) rechts. De verschillende netten (weergegeven als pijlen) worden onderling verbonden door transformatorstations (weergegeven als bollen). De cijfers geven het spanningsniveau aan in kilovolt (kV).

Het figuur laat zien dat de netimpact van warmtepompen doorwerkt tot in alle hogere elektriciteitsnetten, terwijl de netimpact van wind- en zonneparken of grote industrie niet doorwerkt in de lagere elektriciteitsnetten. Windturbines, zonneparken en grootverbruikers zullen direct aangesloten worden op een MS-onderstation van de regionale netbeheerder. Daarmee heeft het op een minder groot deel van de infrastructuur impact (zie de onderste blauwe pijl in Figuur 9). Grote wind- en zonneparken en grote industrie van 100 MW of meer zullen zelfs nog hoger in het net worden aangesloten.

Figuur 9 - Elektriciteitsinfrastructuur en impactgebieden van individuele warmtepompen en e-boiler



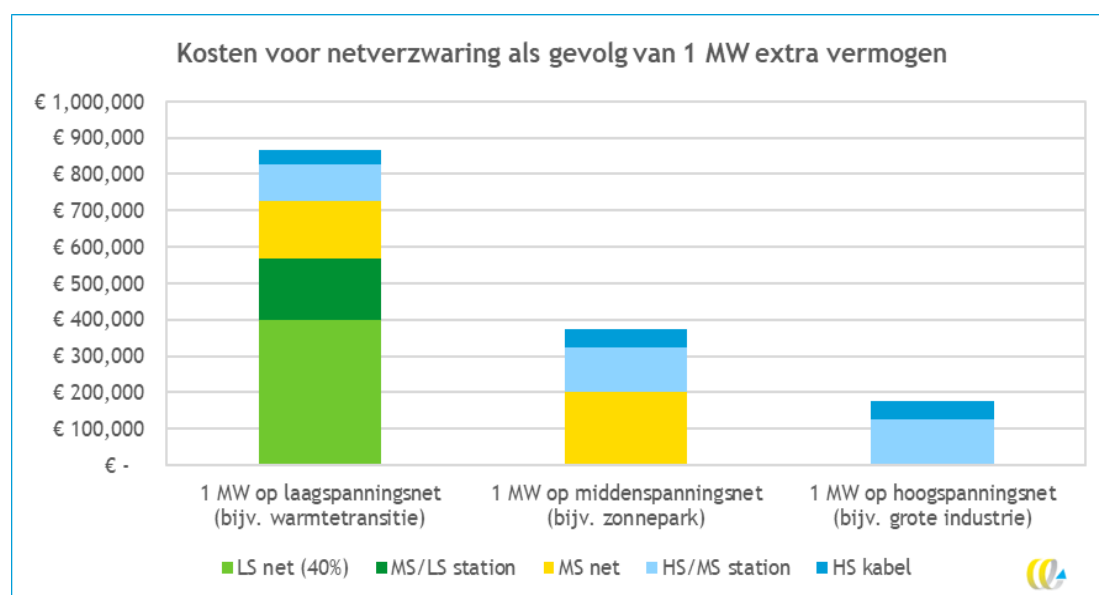
5.2 Impact van 1 MW extra vermogen

In Bijlage B beschrijven we een analyse om de netimpact van de warmtetransitie in de gebouwde omgeving in perspectief te plaatsen ten opzichte van netimpact van andere grote ontwikkelingen. We hebben daarvoor de impact van netbelasting en netverzwaring in de gebouwde omgeving vergeleken met de netimpact van grootschalige opwek en vraag. Daarvoor analyseren we het effect van 1 MW additionele vermogensvraag op het elektriciteitsnetwerk. Om een beeld te vormen: een vermogen van 1 MW is ongeveer gelijk aan het huishoudelijk verbruik van 800 woningen, óf 100 auto's die tegelijk opladen óf 200 warmtepompen op vol vermogen. Een windmolen op land is ongeveer 3-5 MW.

Voor deze analyse gaan we ervan uit dat deze vermogensvraag additioneel is en direct resulteert in additionele netverzwaring. Als er nog capaciteit beschikbaar is, zijn er natuurlijk geen netinvesteringen nodig. Echter zien we richting 2050 dat de vermogens zo sterk toenemen dat er voor alle additionele vraag naar verwachting extra capaciteit nodig is. Daarnaast hangt het af of de netverzwaring wordt gedreven door afname of opwek. Als er in een gebied bijvoorbeeld zeer veel duurzame opwek is, wordt het netwerk daarop gedimensioneerd en is beperkte extra vraag geen probleem. Zo zien we dat netcongestie in industriële gebieden vooral voor afname van elektriciteit is, terwijl dit voor andere gebieden ook kan worden veroorzaakt door duurzame opwek.

Het resultaat van deze analyse is voor de omvang van de netverzwaring, aangegeven in kosten per netonderdeel⁵, grafisch weergegeven in Figuur 10. Hogere kosten betekenen meer netverzwaringen en daarmee ook langere doorlooptijden en een grotere ruimtelijke impact.

Figuur 10 - Kosten netverzwaring als gevolg van 1 MW extra vermogen op verschillende netvlakken (indicatief o.b.v. kosten uit (Netbeheer Nederland, 2019b) en overleg Enexis in voorgaande studie (CE Delft, 2021b))



⁵ Verzwaring van het MS/MS station hangt af van het lokale ontwerp en is hier weggelaten.

5.3 Conclusie

Uit deze analyse valt te concluderen dat de impact van vermogensvraag op het laagspanningsnetwerk in buurten (LS-net) ongeveer twee tot vier keer groter is dan een gelijke vermogensvraag op respectievelijk het middenspannings- en hoogspanningsnetwerk, met de gestelde aannames. Het investeringsbedrag is significant hoger voor de netbelasting van woningen en dit vertaalt zich ook door naar de vereiste personele inzet, ruimtevraag en doorlooptijden. Daarmee heeft de warmtetransitie in potentie *per MW* meer impact op de opgave voor de netverzwaringen en netuitbreidingen dan andere ontwikkelingen die op hogere netvlakken spelen. Terwijl de warmtetransitie voor netbeheerders moeilijker voorspelbaar is, omdat deze afhankelijk is van vele kleinverbruikers.

Een belangrijke kanttekening is dat de daadwerkelijke impact sterk zal afhangen van de netsituatie ter plaatse, de doorwerking daarvan en de regionale verhouding tussen de vermogensgroei op de verschillende netvlakken. Met andere woorden: als er in een bepaalde regio bijvoorbeeld tien keer zoveel vermogen bijkomt op het middenspanningsnet dan op het laagspanningsnet door de warmtetransitie, dan is de impact van de warmtetransitie alsnog relatief beperkt.

6 Uitdagingen en adviezen

De warmtetransitie is één van de grote opgaven waar gemeenten nu voor staan. Gemeenten hebben daarbij de rol van regisseurs gekregen om de warmtetransitie in goede banen te leiden. Dit is een complexe taak, met veel uitdagingen. Met dit hoofdstuk doen we hiervoor aanbevelingen aan gemeenten. We maken een onderscheid in drie categorieën aan uitdagingen:

1. Planning en afstemming.
2. Technische uitdagingen.
3. Ruimtelijke uitdagingen.

Gemeenten kunnen en moeten niet alle uitdagingen zelf oplossen. Iedereen heeft eigen verantwoordelijkheden in de energietransitie. Netbeheerders zijn primair verantwoordelijk voor het oplossen van huidige en toekomstige knelpunten op hun netten. De nationale en Europese overheden bepalen de wettelijke kaders en marktkaders waarbinnen partijen moeten handelen. Gemeenten hebben een belangrijke rol bij planning en communicatie, alsook bij ruimtelijke uitdagingen. Keuzes en beslissingen die gemeenten maken kunnen daarmee andere uitdagingen vergroten of verkleinen.

6.1 Planning en afstemming

Gemeenten vullen hun rol als regisseur in de warmtetransitie onder andere in via het opstellen van plannen, met name de Transitievisies Warmte (TVW), het toekomstig warmteprogramma, de uitvoeringsplannen (Up) en het omgevingsplan. Daarnaast hebben gemeenten ook een belangrijke rol in de woningbouwopgave, het realiseren van hernieuwbare opwek en mobiliteitsplannen (zie ook kader *Samenhang plannen*). Het opstellen van deze plannen vraagt een goed proces met veel afstemming over de verschillende beleidsterreinen heen én met externe betrokkenen, zoals bewoners.

Samenhang tussen de verschillende plannen

Elke gemeente heeft een **Transitievisie Warmte (TVW)** opgesteld en zal in de toekomst iedere vijf jaar een warmteprogramma opstellen. Hierin geeft ze aan wanneer welke wijken of buurten van het aardgas af gaan. Voor de wijken of buurten die voor 2030 aardgasvrij worden, bevat de TVW ook de mogelijke warmte-alternatieven. De gemeente staat ook aan de lat om de **uitvoeringsplannen (Up)** op te stellen. De Wijkuitvoeringsplannen leggen per wijk vast hoe de uitvoering van de warmtetransitie zal plaatsvinden. Ze worden gemaakt samen met de belanghebbenden in de wijk.

De TVW en WUP hangen samen met de **Regionale Energiestrategie (RES)** en de **Regionale Structuur Warmte (RSW)**. De RES'en geeft inzicht in de (mogelijke) locaties van hernieuwbare opwek. In de wijken gaat dit om bijvoorbeeld zon op parkeerplaatsen, en op grote daken van utiliteiten zoals winkelcentra. De RSW beschrijft hoe de regio omgaat met de bovengemeentelijke warmtebronnen.

Daarnaast stellen gemeenten ook de **gemeentelijke mobiliteitsplannen** op, die op hun beurt aansluiten op de **Nationale Agenda Laadinfrastructuur**. De mobiliteitsplannen zijn ook relevant voor de netinfrastructuur omdat elektrisch vervoer een groot beslag legt op het elektriciteitsnet.

Verder hebben gemeenten ook de taak gekregen om plannen te maken voor de **versnelling van de woningbouwopgave**. Tegen 2030 moeten er ruim 900.000 nieuwe woningen bijkomen, soms op nieuwe locaties, maar ook via inbreiding in de gebouwde omgeving.



Ook zijn gemeenten verantwoordelijk voor de openbare ruimte, zowel voor continue taken zoals onderhoud van riolering als voor nieuwe uitdagingen zoals klimaatadaptatie. In beide gevallen hebben werkzaamheden impact op de grond en de ruimte, en daarmee ook op de mogelijkheden voor de energietransitie.

Al deze plannen hebben invloed op de energie-infrastructuur, zowel op lokaal gemeentelijk niveau, als op bovengemeentelijk provinciaal en nationaal niveau. Om op provinciaal niveau een prioritering te maken voor de investeringen in de regionale energie-infrastructuur, stelt elke provincie samen met gemeenten een **provinciaal Meerjarenprogramma Infrastructuur Energie en Klimaat** (pMIEK) op in het voorjaar van 2023. Op rijksniveau werkt het ministerie van Economische Zaken en Klimaat aan het **Nationaal Plan Energiesysteem** (NPE), het Programma Energie Hoofdstructuur (PEH) en het nationale Meerjarenprogramma Infrastructuur Energie en Klimaat (MIEK).

Breng actuele situatie op het net in beeld

De noodzaak van netverzwaring en -uitbreiding is zeer afhankelijk van de lokale omstandigheden, het huidige elektriciteitsnet en de ontwikkelingen en plannen in de gemeente. De gemeente en netbeheerder hebben samen het beste overzicht van deze factoren, maar staan vaak nog aan het begin van het traject van afstemmen, waardoor ze nog niet altijd op de hoogte zijn van elkaars inzichten.

Advies voor gemeenten. Breng samen met de netbeheerder de actuele situatie op het lokale net in beeld. Breng de netbeheerder op de hoogte van alle ruimtelijke plannen en zorg dat die zo concreet mogelijk zijn. Nieuwbouw, warmtetransitie, mobiliteit. Laat de ontwikkelingen, zoals de transitievisie warmte, doorrekenen door de netbeheerder. Houd daarbij ook rekening met landelijke ontwikkelingen, zoals de normering van hybride warmtepompen.

Integraal en concreet plannen

In veel gemeenten werken verschillende afdelingen aan de verschillende opgaven, waardoor het overzicht op de overkoepelende behoeftes, synergieën en knelpunten soms ontbreekt. Lokaal programmeren kan hierbij de uitkomst bieden, zo ontstaat één centrale plek voor alle plannen. Dit biedt overzicht aan de gemeente en partners zoals netbeheerders. Bovendien moet de energie-infrastructuur op alle niveaus aangepast worden. De provincie houdt via onder andere het pMIEK (zie kader Samenhang plannen) het overkoepelend overzicht en prioritering op bovengemeentelijk niveau (dus niet op het niveau van de netten in de buurten, maar wel de doorwerking van de belasting in buurten naar hogere netten). Deze plannen hebben ook directe invloeden op het gemeentelijk niveau, zowel qua planning en prioritering, technische mogelijkheden (zie Paragraaf 6.2), als ruimtebeslag (zie Paragraaf 6.3).

Advies voor gemeenten. Gemeenten kunnen processen voor netverzwaring en netuitbreiding versnellen door integraal en concreet te plannen. Hierbij gaat het vooral om gezamenlijke keuzes en plannen te maken in de tijd:

- Stem af met de netbeheerder. Bepaal samen een heldere en haalbare planning en prioriteer gebieden. Niet alles kan tegelijk, dit kan vragen om lastige keuzes. Maak samen met de netbeheerder uitvoeringsplannen. Dit helpt de netverzwaring en netuitbreiding zo efficiënt mogelijk te laten verlopen en overlast te beperken.
- Zorg ook binnen de gemeente voor afstemming over de verschillende opgaven heen, zoals de warmtetransitie, woningbouwopgave, hernieuwbare opwek en mobiliteits-

- plannen. Stem ook af met andere betrokkenen zoals woningcorporaties. Zorg dat hun verduurzamingsplannen en de aanpassingen aan het netwerk met elkaar in lijn liggen.
- Stem af met de provincie, de netten houden niet op bij de gemeentegrens. De provincie heeft een coördinerende rol met het pMIEK (zie ook kader Samenhang plannen).
 - Hou rekening met alle energiedragers samen. Betrek hierbij zowel de medeoverheden, netbeheerders, omwonenden als marktpartijen. De mogelijkheden en uitdagingen voor de aanleg van warmtenetten hebben invloed op de eisen voor het elektriciteitsnet. De verwijdering van het gasnet hangt af van de beschikbaarheid van alternatieve mogelijkheden voor de verwarming⁶.

Voortschrijdend inzicht snel communiceren

De energietransitie is een snel rijdende trein, waarbij plannen door voortschrijdend inzicht aangepast moeten worden. Het is zaak de veranderingen zo snel mogelijk te communiceren met betrokken partijen, zodat ook zij op hun beurt hun plannen kunnen aanpassen. Netbeheerders houden rekening in hun capaciteitsprognoses met bekende plannen voor nieuwbouwwoningen. Omdat niet alle plannen even concreet zijn, gebruiken sommigen een realisatiekans afhankelijk van de planstatus.

Advies voor gemeenten. Communiqueer snel en proactief met partners zoals de netbeheerder en provincie als plannen wijzigen. Zo treedt er zo weinig mogelijk vertraging op tussen de plannen van de gemeente en de bekende informatie bij de netbeheerder, de provincie of andere belanghebbenden.

6.2 Technische en organisatorische uitdagingen en oplossingen

De technische uitvoering van netverzwaring en onderhoud van bestaande netten voor gas en elektriciteit is de taak van de netbeheerders. De netbeheerders zijn wettelijk verplicht om dit zo kostenefficiënt mogelijk te doen met het publieke geld dat zij ontvangen via nettarieven.

Gemeenten hebben op dit moment weinig tot geen bevoegdheden om deze technische uitvoering te sturen. Ze hebben wel invloed op de randvoorwaarden waarin de netbeheerders het werk moeten uitvoeren. Gemeenten kunnen de uitvoering versnellen of vereenvoudigen via die randvoorwaarden.

Rekening houden met infrastructuur

De inhoudelijke keuzes in de TVWs, warmteprogramma's, uitvoeringsprogramma's, omgevingsplannen, mobiliteits- en andere plannen kunnen grote gevolgen hebben voor de mate waarin de energie-infrastructuur aangepast moet worden, en de tijd die daarvoor beschikbaar is.

De voorgaande studie laat zien dat de keuze voor warmtepompen in bepaalde wijken kan zorgen voor netcongestie. Dit betekent mogelijk dat een andere volgorde of tijdsplan voor de wijkaanpak de energietransitie juist kan versnellen, doordat het meer in de pas loopt

⁶ Waterstof zal naar verwachting in eerste instantie beschikbaar zijn voor grootverbruikers via de backbone. Het omzetten van het gasnet naar een waterstofnet voor de gebouwde omgeving vraagt een enorme logistieke operatie waarbij tijdelijk, tijdens een eventuele omschakeling, hele gebieden zonder zowel aardgas (methaan) als waterstof moeten stellen.



met het tempo waarop de benodigde infrastructuur kan worden gerealiseerd. Ook een keuze voor een laadplein of verduurzaming via zonnepanelen op parkeerplaatsen in een gebied waar al veel lokale opwek is, kan beter naar een later moment in de tijd geschoven worden als dat beter aansluit bij de capaciteit die de energie-infrastructuur kan bieden.

Advies voor gemeenten:

- Hou rekening met de doorlooptijden voor nieuwe infrastructuur, in combinatie met een eigen integrale en complete aanpak en in nauwe afstemming en tijdige afstemming met medeoverheden en netbeheerders.
- Hou bij de keuze voor een duurzaam warmtealternatief rekening met wat dat betekent voor de infrastructuur en de ruimte die daarvoor nodig is. Zo kunnen warmtepompen in een gebied waar de elektriciteitsvraag al snel groeit de netcongestie verergeren of versnellen. Een ander tijdsplan voor de wijkaanpak, of zelfs aan andere techniek (zoals een warmtenet in plaats van warmtepompen) kan de energietransitie dan versnellen, doordat het meer in de pas loopt met het tempo waarop de benodigde infrastructuur kan worden gerealiseerd.
- Hou ook voor opwek en (vergunningen en concessies voor) laadpalen rekening met de mogelijkheden voor de infrastructuur. Bijvoorbeeld, een keuze voor verduurzaming via zonnepanelen op parkeerplaatsen in een gebied waar al veel lokale opwek is, kan naar een later moment in de tijd geschoven worden als dat beter aansluit bij de capaciteit die de energie-infrastructuur kan bieden.

Vergunnings- en uitvoeringsprocedures versnellen

Bij aanleg en verzwaring van infrastructuur gaat een belangrijk deel van de doorlooptijd naar het doorlopen van vergunningsprocedures en grondverwerving. Dit is vooral een uitdaging voor onderstations, die het middenspanningsnet van de lokale netbeheerder koppelen aan het hoogspanningsnet van TenneT.

Advies voor gemeenten:

- Wees alert op de beschikbaarheid en expertise van eigen personeel. Ook gemeenten kampen met personeelstekorten. Uitvoertijden kunnen verminderd worden indien personeel beschikbaar is, trajecten goed voorbereid zijn en afstemmingslijntjes kort zijn.
- Neem de tijd om meekoppelkansen te identificeren en te gebruiken. Doorlooptijden kunnen versneld worden indien werkzaamheden die door verschillende uitvoerders gedaan worden op elkaar afgestemd zijn.
- Kijk samen met netbeheerders hoe en waar je het vergunningsproces kunt optimaliseren. Hierbij kan worden gedacht aan het verbeteren van een vergunningaanvraag zodat de aanvraag soepel verwerkt kan worden.
- Gebruik de inspraakmogelijkheden bij de investeringsplannen van de netbeheerders om waar nodig bij te sturen. De netbeheerders maken elke twee jaar een investeringsplan, daar kunnen gemeenten op meekijken en inspraak op hebben.

Slimme vraagsturing en vraagontwikkeling stimuleren

Gemeenten hebben beperkte invloed op de vraagontwikkeling op hun grondgebied. In sommige gevallen kunnen gemeenten wel een slimme aanpak of slimme oplossingen stimuleren.

Advies voor gemeenten:

- Kies waar mogelijk voor de aanleg van publieke laadpleinen in plaats van individuele laadpalen. Een laadplein kan meteen op een hoger spanningsniveau (middenspanning) aangesloten worden, daardoor hoeven laagspanningskabels niet aangelegd te worden. Dat versnelt en vereenvoudigt het proces.
- Voeg slimladeneisen toe bij vergunningverlening. Slim opladen van elektrische auto's op openbaar terrein betekent dat er rekening gehouden wordt met de momentane belasting van het net. Het lokaal elektriciteitsnet zal alsnog uitgebreid moeten worden, maar waarschijnlijk minder dan indien slim laden niet toegepast wordt.
- Zet informatiecampagnes in om slim verbruik bij burgers en bedrijven te stimuleren. Denk hierbij bijvoorbeeld aan slim laden thuis, slimme sturing van warmtepompen en van andere huishoudelijke apparaten zoals wasmachines.

6.3 Ruimtelijke uitdagingen en oplossingen

De energietransitie, en warmtetransitie als onderdeel ervan, vragen veel nieuwe ruimte. Gemeenten hebben belangrijke bevoegdheden hierin, en kunnen hierdoor ook sturen. De plannen en keuzes van gemeenten bepalen waar bijkomende vraag en/of lokale opwek zich ontwikkelt. De keuze van de locaties kunnen technische uitdagingen vergroten of verkleinen. Daarom is goed plannen en afstemmen belangrijk (zie hierboven). Door slimme ruimtelijke keuzes te maken, ruimte te reserveren en (pro)actief grondbeleid te voeren kunnen gemeenten de transitie sneller te laten verlopen.

Ruimte reserveren

De bevoegdheden van de gemeente zijn grotendeels beperkt tot de laag- en midden-spanningsinfrastructuur. Voor hoogspanningsinfrastructuur ligt de bevoegdheid bij het rijk. Dit wordt geregeld via de Rijkscoördinatieregeling (RCR).

Advies voor gemeenten:

- Reserveer proactief ruimte voor nieuwe energie-infrastructuur. Voor het midden-spanningsnet zijn vaak ruimtelijke reserveringen nodig in de ondergrond. Voor MSRs is de grootste uitdaging meestal een geschikte locatie in de openbare ruimte. Die locaties vinden vergt veel tijd, bijvoorbeeld omdat er ook weerstand kan zitten bij de omwonenden. Gemeenten kunnen de doorlooptijden van netverzwarrings- en uitbreidingstrajecten verkorten door proactief ruimte te zoeken en te reserveren in hun omgevingsplan. Dit geldt zowel voor bestaande als voor nieuwbouwbuurtten.
- Maak afspraken over het type grondverwerving (eigendom of opstalrecht voor de netbeheerder).
- Ga in gesprek met de netbeheerder om samen geschikte locaties te zoeken voor nieuwe MSRs. Bestem vervolgens de gevonden ruimte voor nieuwe MSRs.
- Maak zoveel mogelijk centraal afspraken over de stedenbouwkundige inpassingsmogelijkheden voor de MSRs (omvang, groendak, enzovoort).
- Stem goed met medeoverheden en netbeheerders af en help in de communicatie met bewoners. Bij projecten die impact hebben op het hoogspanningsnet moet de gemeente zelf of via de provincie afstemmen met het rijk om te zorgen dat de benodigde ruimte voor nieuwe stations tijdig beschikbaar is. Het is hierbij ook essentieel inwoners goed worden geïnformeerd waarom deze investeringen juist hier plaats moeten vinden.

Energievraag en -aanbod in de ruimte sturen

Locaties van nieuwe energievraag, zoals in het bijzonder laadpleinen en buurten die met warmtepompen verwarmd zullen worden, hebben een grote impact op het elektriciteitsnet.

Advies voor gemeenten:

- Stuur in overleg met de netbeheerder in de locaties en het moment van verwachte ingebruikname (zie ook eerder, Paragraaf 6.1).



7 Bronvermelding

- CBS.2021.Statline: Kerncijfers wijken en buurten 2021, June 8 2021 <https://www.cbs.nl/nl-nl/maatwerk/2021/31/kerncijfers-wijken-en-buurten-2021>.
- CBS.2022. *Warmtepompen; aantallen, thermisch vermogen en energiestromen* [Online] <https://opendata.cbs.nl/statline/?dl=2238E#/CBS/nl/dataset/82380NED/table>.
- CE Delft, 2015. *Op weg naar een klimaatneutrale gebouwde omgeving 2050*, Delft: CE Delft
- CE Delft, 2018. *Werk door groene waterstof*, Delft: CE Delft
- CE Delft, 2021a. *Elektrificatie en Vraagprofiel 2030 - Rapport experttraject TenneT E-Top*, Delft: CE Delft
- CE Delft, 2021b. *Maatschappelijke waarde groen gas*, Delft: CE Delft
- Delft, C., 2022. *Maatschappelijke waarde groengas. Casussen voor mobiliteit, industrie en gebouwde omgeving*, Delft: CE Delft
- Elaadnl, 2023. *Regulier en Netbewust laden - Outlook Laadprofielen Elektrische personenauto's*
- Liander.2023. *Het middenspanningsnet* [Online] <https://www.liander.nl/node/23479>.
- MFF.2022. *Sectordocumenten* [Online] <https://www.mffbas.nl/documenten/>.
- Netbeheer Nederland, 2019a. *Basisdocument over energie-infrastructuur*:
- Netbeheer Nederland.2019b. *Basisinformatie over energie-infrastructuur : Opgesteld voor de Regionale Energie Strategieën*, https://www.netbeheernederland.nl/_upload/Files/Basisdocument_over_energie-infrastructuur_143.pdf.
- Netbeheer Nederland.2021. *Het Energiesysteem van de Toekomst: Integrale Infrastructuurverkenning 2030 - 2050*, Netbeheer Nederland
- Netbeheer Nederland.2022a. *Het Energiesysteem van de Toekomst: Integrale Infrastructuurverkenning 2030 - 2050*, Netbeheer Nederland <https://www.tennet.eu/nl/over-tennet/publicaties/integrale-infrastructuurverkenning-2030-2050>.
- Netbeheer Nederland, 2022b. *Netimpact van warmtealternatieven. Vuistregels voor gemeentelijke planvorming*, Den Haag: Netbeheer Nederland
- PBL, 2020. *Startanalyse aardgasvrije buurten. Versie 2020*, Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving (PBL)
- Quintel.2021. *Energy Transition Model*, <https://pro.energytransitionmodel.com/>.
- Rijksoverheid. *lopend. Regionale klimaatmonitor*, Rijkswaterstaat <https://klimaatmonitor.databank.nl/>.



A Methode analyse

belastingsprofielen buurten

De methode bestaat uit drie stappen, die hieronder in meer detail staan toegelicht:

1. Analyse van verschillende typen buurten van Nederland.
2. Selectie van drie type buurten, in lijn met doorrekening van de drie geselecteerde buurten.
3. Analyse van energiegebruik voor de drie type buurten en netbelastingsprofiel per uur gedurende het jaar.

A.1 Analyse verschillende type buurten

CE Delft heeft elf typische buurten geïdentificeerd in een voorgaande studie naar een klimaatneutrale gebouwde omgeving (CE Delft, 2015). Deze analyse deelt alle buurten van Nederland in naar deze elf typen gebaseerd op de eigenschappen van het CBS van de 'Kerncijfers wijken en buurt'. De indeling en verzamelen van eigenschappen van alle buurten is opnieuw gedaan met de kerncijfers van 2021 (CBS, 2021). Alle buurten worden ingedeeld in een van de elf categorieën gebaseerd op stedelijkheid⁷, dominante bouwperiode en hoeveelheid industrie en utiliteit. De elf type buurten zijn: oude binnensteden, 1^e ring hoogstedelijk; hoogstedelijk wonen; hoogstedelijk wonen en utiliteit; matig stedelijk; suburbaan; kantorenpark; nieuwbouw hoogstedelijk en matig stedelijk; nieuwbouw suburbaan en niet stedelijk; dorpskernen; niet-stedelijk gebied en overig.

Alle buurten in Nederland zijn toegekend aan een van deze types. Het CBS heeft veel energiegerelateerde gegevens die we kunnen gebruiken voor onze analyse. Dit omvat gegevens over het huidig elektriciteitsverbruik, het huidige gemiddelde vermogen zonnepanelen, het huidig aantal auto's en de warmtevraag voor ruimteverwarming en tapwater. Voor de elf typen wordt het gemiddelde genomen van alle buurten die in deze typeringen vallen. Deze gemiddelde eigenschappen per type gebruiken we in onze analyse.

A.2 Selectie van drie type buurten

De geselecteerde type buurten zijn:

- Hoogstedelijk wonen: Deze buurten zijn gelegen in steden en veel woningen zijn gebouwd tussen 1946 en 1991. Het gemiddeld elektriciteitsverbruik is ongeveer 2.500 kWh/jaar en de warmtevraag in totaal 40 GJ voor ruimteverwarming en tapwater. Het gemiddelde aantal auto's is 0,8 per woning. In totaal wonen er 3,9 miljoen mensen in dit type buurten.
- Nieuwbouw suburbaan en niet stedelijk: Deze nieuwe woningen zijn gelegen in een weinig of niet-stedelijke omgeving en gebouwd na 1992. Het gemiddeld elektriciteitsverbruik is ongeveer 3.300 kWh/jaar en de warmtevraag in totaal 46 GJ voor ruimteverwarming en tapwater. Het gemiddelde aantal auto's is 1,1 per woning. In totaal wonen er 0,7 miljoen mensen in dit type buurten.

⁷ Stedelijkheid is gebaseerd op de definities van het CBS: www.cbs.nl/nl-nl/onze-diensten/methoden/begrippen/stedelijkheid--van-een-gebied--



- Niet-stedelijk gebied: Dit zijn niet-stedelijke gebieden met een bouwjaar voor 1992. Het gemiddeld elektriciteitsverbruik is ongeveer 3.400 kWh/jaar en de warmtevraag in totaal 66 GJ voor ruimteverwarming en tapwater. Het gemiddelde aantal auto's is 1,4 per woning. In totaal wonen er 2,4 miljoen mensen in dit type buurten.

Deze type komen overeen met de drie geselecteerde voorbeeldbuurten voor netberekening.

A.3 Analyse netbelasting profielen

CE Delft heeft in 2021 een studie uitgevoerd voor TenneT over de profielen voor vraag en afname van elektriciteit in 2030 (CE Delft, 2021a). De profielen uit die studie zijn gebruikt om de netbelasting per buurt te bepalen. Het gaat hierbij om indicatieve profielen. Lokaal kan de situatie verschillen. Er zijn twee additionele profielen gebruikt naast de eerdere studie van TenneT:

- Voor huishoudelijk standaardverbruik van voornamelijk apparaten gaan we uit van het gemeten profiel van woningen met een slimme meter. Dit komt uit MFF, type 1.01_EB (Mff, 2022). De MFF is de organisatie van de netbeheerder die onder andere data-interactie verzorgt.
- Voor het laadprofiel van elektrische auto's is de recente studie van Elaad gebruikt naar de laadprofielen van elektrische auto's (Elaadnl, 2023). Voor de hoogstedelijke buurt is uitgegaan van het publieke laadprofiel en voor de niet-stedelijke buurten van thuis-laden.

We berekenen de netbelasting voor 100 woningen die maximaal verduurzamen en elektrificeren. We gaan ervan uit dat 100% van de huidige voertuigen elektrisch worden, alle woningen één type warmtevoorziening nemen en alle woningen zonnepanelen installeren.

B Netimpact in perspectief

In deze bijlage lichten we de onderbouwing toe van de resultaten die we in Paragraaf 3.3 bespreken. De resultaten zijn in die paragraaf gevisualiseerd in Figuur 10.

Om de netimpact van de warmtetransitie in de gebouwde omgeving in perspectief te plaatsen gaat Paragraaf 3.3 en deze bijlage in op de impact van netbelasting en netverzwaring in de gebouwde omgeving ten opzichte van de netimpact van grootschalige opwek en vraag. Daarvoor analyseren we het effect van 1 MW additionele vermogensvraag op het elektriciteitsnetwerk. Om een beeld te vormen: een vermogen van 1 MW is ongeveer gelijk aan het huishoudelijk verbruik van 800 woningen, óf 100 auto's die tegelijk opladen óf 200 warmtepompen op vol vermogen.

Voor deze analyse gaan we ervan uit dat deze vermogensvraag additioneel is en direct resulteert in additionele netverzwaring. Als er nog capaciteit beschikbaar is, zijn er natuurlijk geen netinvesteringen nodig. Echter zien we richting 2050 dat de vermogens zo sterk toenemen dat er voor alle additionele vraag naar verwachting extra capaciteit nodig is. Daarnaast hangt het af of de netverzwaring wordt gedreven door afname of opwek. Als er in een gebied bijvoorbeeld zeer veel duurzame opwek is, wordt het netwerk daarop gedimensioneerd en is beperkte extra vraag geen probleem. Zo zien we dat netcongestie in industriële gebieden vooral voor afname van elektriciteit is, terwijl dit voor andere gebieden ook kan worden veroorzaakt door duurzame opwek.

B.1 Methode

In deze analyse onderzoeken we het effect van capaciteitsvraag op de verschillende netvlakken. We doen dit aan de hand van drie casussen van additionele vermogensvraag met in elke casus een aansluiting van 1 MW op een ander netvlak:

1. **Aansluiting op laagspanningsnetwerk (LS-net).** Een woning heeft nu vaak maximaal een 3x25A aansluiting (ongeveer 17 kW). Huishoudens zullen soms overstappen naar een 3x35A aansluiting (24 kW) als men een warmtepomp en elektrische auto heeft. We bepalen het effect per MW additioneel vermogen van de warmtetransitie waarvoor verzwaraard moet worden. We gaan ervanuit dat voor het voorzien van elektriciteit aan het laagspanningsnetwerk de volgende netvlakken vereist zijn: LS-net (40% verzwaring⁸), MS/LS-station, MS-net, HS/MS-station en HS-kabel.
2. **Aansluiting op middenspanningsnetwerk (MS-net).** Klein bedrijf of windmolenpark met aansluiting op het MS-netwerk via een MS-kabel. We nemen als voorbeeld een 10 MW aansluiting. We gaan ervanuit dat voor het voorzien van elektriciteit aan het middenspanningsnetwerk de volgende netvlakken vereist zijn: MS-net, HS/MS-station en HS-kabel.
3. **Aansluiting op hoogspanningsnetwerk (HS-net).** Grote industrie of groot windmolenpark aangesloten op het hoogspanningsnetwerk. We gaan hierbij uit van een 100 MW aansluiting. We gaan ervanuit dat voor het voorzien van elektriciteit aan het hoogspanningsnetwerk de volgende netvlakken vereist zijn: HS/MS-station en HS-kabel.

⁸ Enexis heeft hiervoor informatie aangeleverd in een voorgaande studie van CE Delft (Delft, 2022).

B.2 Effecten

In deze paragraaf beschrijven we globaal wat de effecten zijn van de drie beschreven casussen op de investeringskosten, doorlooptijd en de behoefte aan werkkrachten (uitgedrukt FTE banen).

Investeringskosten netbeheerder

Ten eerste bepalen we de kosten voor de netbeheerder voor het realiseren van de netverzwaring. Gebaseerd op publieke bronnen en in overleg met Enexis zijn in een voorgaande studie kengetallen ingeschat voor de kosten voor netinvesteringen in verschillende netvlakken, weergegeven in Tabel 5. We gaan ervan uit dat deze netvlakken nodig zijn om elektriciteit tot aan de eindgebruikersaansluiting te kunnen leveren. Er zijn potentieel nog andere netonderdelen, maar voor deze situatieschets gaan we uit van een relatief simpel netwerk bestaande uit extra hoogspanningsnet (EHS), hoogspanningsnet (HS), middenspanningsnet (MS) en laagspanningsnet (LS). In Figuur 2 en de toelichting daarbij is de relatie tussen de verschillende elektriciteitsnetten weergegeven, alsmede de verschillende elementen en afkortingen die genoemd worden in onderstaande tabellen.

Tabel 5 - Kosten en doorlooptijden investeringen

Investering per netvlak ⁹	Vermogen - indicatief (MW)	Investering - indicatief (€)	Investering per MW (€/MW)	Doorlooptijd (planning t/m uitvoering)
EHS/HS-station	500	100.000.000	200.000	7-10 jaar
HS-kabel	500	25.000.000	50.000	5-7 jaar
HS/MS-station	200	25.000.000	125.000	5-7 jaar
MS-net	5,0	1.000.000	200.000	0,5-3 jaar
MS/LS-station	0,6	100.000	167.000	0,5-1 jaar
LS-net (40%)	0,25	100.000	400.000	0,5-1 jaar

Bron: (Netbeheer Nederland, 2019b) en overleg Enexis in voorgaande studie (CE Delft, 2021b).

Vervolgens hebben we per casus vastgesteld welke bijdrage ze leveren aan de netbelasting. We gaan er daarbij vanuit dat de netbelasting van woningen op het laagspanningsnetwerk door ongelijktijdigheid voor 80% doorwerkt in de netbelasting op hogere netvlakken. Dit percentage is ook gehanteerd in een eerdere studie (CE Delft, 2021b). Ongelijktijdigheid betekent hier dat de piekbelasting uit het laagspanningsnetwerk resulteert in een iets lagere piek op hoger gelegen netvlakken, doordat de pieken niet precies samen vallen met pieken van andere aangesloten. In Paragraaf 1.1 geven we een nadere toelichting op wat (on)gelijktijdigheid inhoudt.

⁹ EHS = extra hoogspanning (380 kV). HS = hoogspanning (150 kV). MS = middenspanning (10 of 20 kV). TS = tussenspanning (50 kV). LS = laagspanning (400 V).

Tabel 6 - Netkosten per casus en gelijktijdigheid van het vermogen op hogere netvlakken

	Investeringskosten (€/kW)	Netimpact hogere netvlakken (%)		
		Casus 1 - Laagspanningsnet	Casus 2 - Middenspanningsnet	Casus 3 - Hoogspanningsnet
HS-kabel	€ 50.000	80%	100%	100%
HS/MS-station	€ 125.000	80%	100%	100%
MS-net	€ 200.000	80%	100%	
MS/LS-station	€ 167.000	100%		
LS-net (40% verzwaring)	€ 400.000	100%		
Totale kosten (€/kW)		€ 850.000	€ 375.000	€ 175.000

Overzicht effecten

De benodigde netuitbreidingen, doorlooptijd, netinvesteringskosten en werkzaamheden voor 1 MW zijn samengevat in Tabel 7. We rekenen hierbij met geschatte investeringskosten voor 1 MW. Dit is gebaseerd op kengetallen van onder andere Netbeheer Nederland (Netbeheer Nederland, 2019b). Voor sommige netvlakken is de verzwaring veel groter dan 1 MW, maar is de investering terug gerekend naar de kosten per MW.

We hebben in deze studie aangenomen dat voor een verzwaring op bijvoorbeeld het laagspanningsnetwerk, alle bovenliggende netvlakken ook verzward moeten worden. Dit bepaalt mede de relatief lange doorlooptijden en de additionele kosten ten opzichte van netbelasting op hogere netvlakken. Daarnaast is het investeringsbedrag vertaald naar de verwachte personele inzet, gebaseerd op een Werkgelegenheidsmodel van CE Delft. Dit model omvat de vereiste personele inzet voor een bepaalde investering voor veel verschillende sectoren en wordt in verschillende studies toegepast (CE Delft, 2018).

Tabel 7 - Overzicht effecten van verschillende casussen

Casus - verzwaring vereist op netvlak	Aangenomen benodigde netuitbreiding	Doorlooptijd	Netinvesteringskosten (€/MW)	Werkzaamheden - tijdelijk (FTE/MW)	Werkzaamheden - permanent (FTE/MW)
1. LS (1 MW)	LS-net, MS/LS-station, MS-net, HS/MS-station en HS-kabel	0,5 tot 7 jaar, afhankelijk van netcomponent	€ 850.000	7	6
2. MS (1 MW)	MS-net, HS/MS-station en HS-kabel	0,5 tot 7 jaar, afhankelijk van netcomponent	€ 375.000	3	3
3. HS (1 MW)	HS/MS-station en HS-kabel	5 tot 7 jaar	€ 175.000	2	1

Uit deze analyse valt te concluderen dat de impact van vermogensvraag op het laagspanningsnetwerk in buurten (LS-net) ongeveer twee tot vier keer groter is dan een gelijke vermogensvraag op respectievelijk het middenspanning- (MS) en hoogspanningnetwerk (HS), met de gestelde aannames. Het investeringsbedrag is significant hoger voor de netbelasting van woningen en dit vertaalt zich ook door naar de vereiste personele inzet.

Daarmee heeft de warmtetransitie in potentie per MW meer impact op de opgave voor de netverzwaringen en netuitbreidingen dan andere ontwikkelingen die op hogere netvlakken spelen. Een belangrijke kanttekening is dat de daadwerkelijke impact sterk zal afhangen van de netsituatie ter plaatse, de doorwerking daarvan en de regionale verhouding tussen de vermogensgroei op de verschillende netvlakken. Met andere woorden: als er in een bepaalde regio bijvoorbeeld tien keer zoveel vermogen bijkomt op het middenspanningsnet dan op het laagspanningsnet door de warmtetransitie, dan is de impact van de warmtetransitie alsnog relatief beperkt.



C Gebruikte afkortingen

Afkorting	Betekenis
EHS	Extra hoogspanning, met een spanning van 380 kV
EV	Elektrisch voertuig
FTE	Full time equivalent, een maat om de omvang van een baan aan te geven. Eén FTE komt overeen met de volledige werkweek van één werknemer.
GW	GigaWatt (Giga is tien tot de macht 9)
HS	Hoogspanning, met een spanning van 110 tot 150 kV
kV	kiloVolt (kilo is 10 tot de macht 3)
LS	Laagspanning, met een spanning van 0,4 kV
MS	Middenspanning, met een spanning van 3 tot 23 kV
MSR	Middenspanningsruimte, ook wel wijktransformatorhuisje genoemd. Hierin bevindt zich een transformator die de verbinding legt tussen het laagspanningsnet en het hoogspanningsnet. Bevindt zich in de openbare ruimte.
MW	MegaWatt (Mega is 10 tot de macht 6)
PV	Photovoltaic, fotovoltaïsch paneel, oftewel zonnepaneel.
TS	Tussenspanning, met een spanning van 25 tot 66 kV
TWh	TeraWattuur (Tera is 10 tot de macht 12)