



De energietransitie als ruimtelijke ontwerpopgave

Hoe verminderen we de ruimtelijke impact van energie-infrastructuur?

Colofon

<i>Datum</i>	15 juni 2026
<i>Contact</i>	Carla Roghair
<i>E-mail</i>	carla.roghair@dep.nl
<i>Tel</i>	+31615356271
<i>Onderwerp</i>	De energietransitie als ruimtelijke ontwerpogave Hoe verminderen we de ruimtelijke impact van energie-infrastructuur?
<i>Gecontroleerd door</i>	Maarten van Blijderveen
<i>Opdrachtgevers</i>	Alliander, Corporate Strategy; contact Alexander Woestenburg
<i>Auteurs</i>	Bright: Gerjan Streng, Miriam van Eck, Ruby Schaap DEP: Maarten van Blijderveen, Carla Roghair, Roos Salomons Generation Energy: Anubhuti Chandna, Akhilesh Shisodia Urban Synergy: Laura de Bonth, Basia van Rijt, Tjitske Hartstra
www.dep.nl contact@dep.nl	

*Duurzaam Energy Perspectief is een handelsnaam van Qirion B.V.
Qirion B.V. is onderdeel van Alliander N.V.*

Samenvatting

Slimme wijkaanpak vermindert het ruimtebeslag van de warmtetransitie drastisch



De energietransitie loopt meer en meer tegen ruimtelijke grenzen aan. Bij de bouw van nieuwe windturbines, zonneparken, hoogspanningsmasten, onderstations en transformatorhuisjes ontstaat publieke weerstand en de projecten hebben te maken met langdurige en complexe ruimtelijke procedures. Die weerstand en procedures zijn er niet voor niets. Naast de energietransitie zijn er vele andere maatschappelijke uitdagingen die om ruimtelijke voorrang strijden. We hebben de ruimtelijke kwaliteit met elkaar te borgen om Nederland leefbaar te houden. Dat betekent dat de energietransitie niet zondermeer ruimtelijk in te passen is, en ook niet zomaar “door te duwen” is zonder consequenties voor andere maatschappelijk belangrijke transitie zorgvuldig af te wegen.

In dit onderzoek onderzochten we de relatie tussen de warmtetransitie in de wijken en de ruimtelijke impact daarvan op het schaalniveau van zowel de wijk, de stad als de regio. We concluderen dat de ruimtelijke impact van de benodigde energie-infrastructuur voor de warmtetransitie in de gebouwde omgeving enorm is, niet alleen op het wijkniveau zelf, maar vooral ook in de stad en de regio. Gelukkig is er goed nieuws. Onze conclusie is dat **als we de energietransitie echt beschouwen als ruimtelijke ontwerpogave en op een slimme manier wijken verduurzamen, dat we dan de ruimtelijke impact van de benodigde energieinfrastructuur enorm kunnen verminderen.**

Op basis van de energieplanologische analyse van zes archetype wijken kunnen we de volgende lessen trekken en aanbevelingen doen:

Les 1: De warmtetransitie in een bestaande wijk zal altijd zorgen voor een ruimteclaim voor benodigde verzwaring van energie-infrastructuur buiten die wijk, op stedelijk of regionale schaalniveaus. Dat noemen we ruimtelijke afwenteling.

Les 2: Als we circa 1% van de groenruimte in een wijk benutten voor energieopslag verkleint dat de ruimtelijke afwenteling op het stedelijke en regionale schaalniveau exponentieel. Deze ruimtelijke hefboom laat zien dat het “opofferen” van een beetje ruimte in de wijk een veel grotere ruimtewinst in de regio oplevert.

Aanbeveling: Maak een klein beetje ruimte in de wijk voor energieopslag, dit voorkomt een grotere hoeveelheid ruimtebeslag op het niveau van de stad en van de regio.

Les 3: Optimalisatie en planning op stadsniveau is dus nodig. Het benutten van 1% van de groenruimte in een wijk voor energieopslag gaat ten koste van de leefbaarheid in dichtbebouwde wijken. Sterkste schouders dragen de zwaarste lasten. Wanneer wijken met een lage dichtheid en veel groen wat extra ruimte inzetten voor energieopslag compenseren zij voor dichtbebouwde wijken, en neemt de totale ruimte vraag voor de warmtetransitie alsnog af.

Aanbeveling: Beschouw de warmtetransitie niet per wijk maar op het niveau van de hele stad. Ruimer opgezette wijken kunnen ruimte bieden voor energieopslag aan dichter bebouwde wijken zodat de leefbaarheid van de hele stad op orde blijft.

Les 4: Verregaande isolatie en energiebesparing reduceren de vraag naar energie en daarmee de vraag naar energie-infrastructuur. Als er minder energie-infrastructuur geplaatst moet worden dan vermindert ook de vraag naar ruimte. Isolatie en energiesparing hebben dus niet alleen een financiële waarde, maar ook een ruimtelijke waarde. Wanneer woningen verregaand geïsoleerd worden, daalt de energievraag voor ruimteverwarming tot op het niveau van een zogenaamd “passief-huis”. De studie laat zien dat in sommige gevallen er zelfs helemaal geen extra ruimtebeslag in én buiten de wijk nodig is voor aanvullende energie-infrastructuur en opslag wanneer woningen tot passief-niveau gerenoveerd worden.

Aanbeveling: Renoveer woningen en kijken tot op een vergaand isolatieniveau om het ruimtebeslag van noodzakelijke aanvullende energie-infrastructuur zo beperkt mogelijk te houden.

Les 5: Het gebruik van groene, duurzame restwarmte en geothermie is vanuit het verkleinen van de ruimtelijke impact van energie-infrastructuur vrijwel altijd een goed idee. Het bovengrondse ruimtebeslag van duurzame groene restwarmte en geothermie is minimaal. Bovendien verkleint het de behoefte aan aanvullende elektriciteitsinfrastructuur.

Aanbeveling: Beschouw groene duurzame restwarmte en geothermie als warmtebron waar mogelijk. Neem de ruimtelijke baten mee in de afweging voor het ontwikkelen van warmtenetten.

Les 6: De inpassing van energie-infrastructuur in de ruimte kan op een slimme manier, waardoor het de ruimtelijke kwaliteit kan behouden of zelfs vergroten.

Beschouw de energietransitie als een ruimtelijke ontwerpogave. Verduurzaam wijken op een slimme manier en verminder daarmee de ruimtelijke impact van de warmtetransitie.

Samenvatting

Slimme wijkaanpak vermindert het ruimtebeslag van de warmtetransitie drastisch



De lessen en aanbevelingen in dit onderzoek zijn gebaseerd op zes wijktypen: de historische binnenstad, de hoogstedelijke stadswijk, het OV-knooppunt, de naoorlogse stempelwijk, de laagstedelijke woonwijk en lintbebouwing. Voor elk van deze wijktypen is een representatieve tegel van 250 bij 250 meter uitgewerkt, waarin de feiten en cijfers die ten grondslag liggen aan de berekeningen, zijn gevisualiseerd.

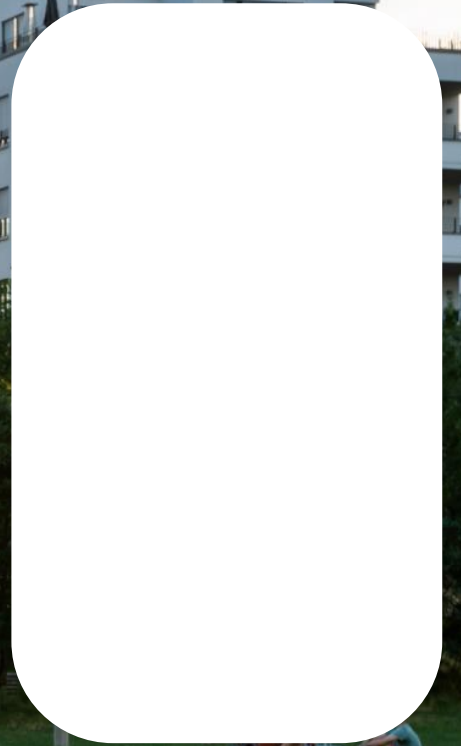
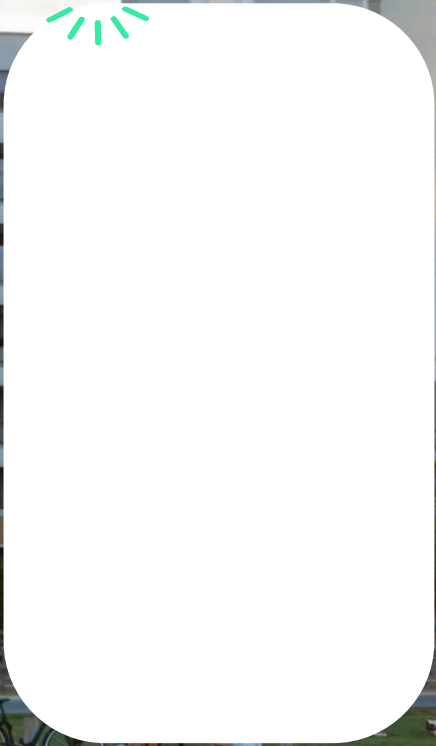
In dit document brengen we voor deze zes typisch Nederlandse wijken in beeld wat de ruimtevraag is van verschillende energieoplossingen, zowel binnen als buiten de wijk. Bij de all-electric oplossingen is ook gezocht naar ruimte voor energie-opslag binnen de wijk. In het onderzoek is de ruimte voor batterijen beperkt tot respectievelijk 1%, 3% en 10% van de groenruimte in de wijk. Groenruimte speelt een belangrijke rol in de wijken, die niet zo maar inzetbaar is voor energieopslag. De aanname van deze percentages is dat zij, in combinatie met een slimme ruimtelijke inpassing, voldoende ruimtelijke kwaliteit van de wijken waarborgen.

Voor iedere wijk is zowel de huidige situatie als een toekomstbeeld uitgewerkt. Daarnaast is per wijk een beeld gemaakt van de ruimtelijk uitwerking.

Dit onderzoek sluit af met een aantal reflecties op de bredere betekenis van de resultaten. Zo blijkt dat ruimtelijke ordening en duurzaamheid vragen om de ontwikkeling van een gezamenlijke taal, waarin energie niet als sluitpost maar als integraal onderdeel van ruimtelijke afwegingen wordt meegenomen. Daarnaast laten de uitkomsten zien dat slimme, samenhangende keuzes kunnen leiden tot een significante vermindering van ruimtedruk, mits de meerwaarde daarvan ook daadwerkelijk wordt verzilverd. Tot slot maken de analyses duidelijk dat collectieve oplossingen vaak ruimtelijk efficiënter zijn, maar een andere vorm van sturing en samenwerking vereisen dan nu gebruikelijk is.

Tijdens het onderzoek zijn bovendien vragen naar voren gekomen die binnen de scope van dit traject niet beantwoord konden worden. Deze zijn gebundeld met het doel om richting te geven aan vervolgonderzoek en verdere verdieping van het samenspel tussen energie en ruimte.

Inhoud



1.0 Introductie

De energietransitie legt een groot beslag op de ruimte

1.1 Aanleiding: Energietransitie een ruimtelijke opgave



Vrijwel alle transities hebben ruimte nodig, zo ook de energietransitie. Eeuwenlang hebben we fossiele energie gebruikt. Fossiele energiedragers hebben een hoge dichtheid aan energie en nemen daardoor relatief weinig ruimte in beslag dat ook nog eens in de vorm van turf, kolen en gas opgeslagen lag in onze bodem. De winning ervan vindt meestal ver van ons bed plaats en heeft een grote impact op het landschap. In de energietransitie vervangen we fossiele energie door duurzame vormen van energie zoals zon en wind. Om deze vormen van energie te kunnen gebruiken is relatief veel ruimte nodig. Niet alleen voor de opwek zelf maar ook voor het transport van energie. Het elektriciteitsnet vraagt om uitbreiding om deze energie van de plaats van opwek naar die van het gebruik, te transporteren. Daarbij hoort ook het fenomeen seizoensopslag wat eveneens veel ruimte in beslag neemt. De energietransitie legt daarmee een groot beslag op de “beschikbare” ruimte waardoor de ruimtelijke kwaliteit onder druk komt te staan. Deze ruimtevraag maakt de energietransitie samen met de andere noodzakelijke transitities (eiwittransitie, mobiliteitstransitie, circulaire transitie, woningbouwtransitie en klimaatadaptatie) tot een ruimtelijke opgave, waarbij keuzes moeten worden gemaakt over de verdeling van schaarse ruimte.

Niet alleen de vervanging van fossiele door duurzame, elektrische energie maakt dat we de transportnetten moeten uitbreiden of “verzwaren”, ook het feit dat we als samenleving steeds meer elektriciteit gebruiken, denk aan de opkomst van AI, maakt dat de elektriciteitsnetten verzaamd moeten worden. Uitbreiding van de netten is echter niet ongelimiteerd mogelijk. Naast schaarse ruimte zijn ook de beschikbare benodigde materialen en arbeid begrensd. Van zowel de markt als de overheid wordt er opgeroepen tot ruimtelijke oplossingen die de principes volgen van de Nationale Omgevingsvisie en Nota Ruimte: Uitgaan van de identiteit van de plek, niet afwentelen en op zoek gaan naar hoe we ruimteclaims kunnen ‘combineren boven enkelvoudig’. “Wanneer de opgaven uit de NOVI sectoraal worden

geadresseerd, zal de claim te groot zijn op ruimte, geld, tijd, maar ook het gevraagde incasseringvermogen van ons landschap, onze steden en hun inwoners. De opgaven kunnen daarom alleen in samenhang opgepakt worden. Ze zullen met een onderzoekende en ontwerpende aanpak tot een oplossing gebracht moeten worden.” (bron: Marleen de Ruiters, De ruimtelijke opgaven van nu vragen om ontwerpkracht, Gebiedsontwikkeling.nu, 2021).

In dit energieplanologisch onderzoek hebben we gezocht naar relaties tussen het energiesysteem en ruimte, op de schaalniveaus van wijk, stad en regio. Hierbij lag de focus op het ruimtebeslag van de warmtetransitie in bestaande wijken. Binnen verschillende typen wijken hebben we gezocht naar een optimaal (toekomstig) energiesysteem met verbetering van de ruimtelijke kwaliteit op de verschillende schaalniveaus. Daarbij hebben we op hoofdlijnen ook rekening gehouden met klimaatadaptatie, mobiliteitstransitie, woningbouwtransitie en de leefbaarheid. Energieplanologie is een werkveld waarin we elkaars taal nog moeten leren spreken en waar een ontwerpende benadering van ruimte de technische benadering van energie ontmoet. De onzekerheden van de energietransitie en de waarderende benadering van het ruimtelijk ontwerp ontmoeten elkaar in het vakgebied van de energieplanologie. Dit rapport is een eerste stap om de warmtetransitie als een ruimtelijke opgave te benaderen. We hebben in een integrale benadering, ontwerpend en energetisch onderbouwd, een duurzaam energiesysteem voor de warmtetransitie gemaakt. Dit hebben we voor zes archetypische wijken gedaan.

Een verdere integrale aanpak volgt. Een (meer) sturende positie van energie in de verstedelijkingsopgave heeft zeer grote gevolgen. Het vraagt om een aanzienlijk andere benadering met grote impact. Los van de energetische component is de verstedelijkingsopgave al verre van eenvoudig: ruimtelijk, financieel en bestuurlijk, niet in de laatste plaats gezien de vele betrokken partijen. De opgaven die een ruimtebeslag hebben kunnen daarom alleen in samenhang opgepakt worden.



1.2 Inleiding: De uitdagingen van vandaag vragen steeds meer ruimte van de wijk, stad en regio



De ruimtelijke grenzen van het landschap, steden en wijken voor de energietransitie lijken bereikt. Nieuwe windturbines, zonneparken en hoogspanningsmasten in het landschap, onderstations in de stad en trafohuisjes in de wijk hebben allemaal te maken met publieke weerstand en langdurige en complexe ruimtelijke procedures.

De energietransitie is nog maar net begonnen en legt nu al een groot beslag op de ruimte waardoor de kwaliteit van die ruimte nog meer onder druk komt te staan. Dat begint in elke straat, in elke wijk. De energietransitie vraagt om lokale opwek van energie, warmte en andere vormen van mobiliteit. Een grote uitdaging die we op verschillende manieren aan kunnen pakken. De huidige manier, iedereen een eigen warmtepomp, een laadpaal en zonnepanelen, betekent dat vier tot vijf keer zoveel nieuwe stroomhuisjes en veel zware kabels nodig zijn. In de toekomst komen daar waarschijnlijk nog extra buurtbatterijen bij, die ook via kabels aangesloten worden. Dit gaat nu vaak ten koste van voetgangersgebied, plantsoenen en speelruimte. Met het oog op klimaatadaptatie en ruimtelijke kwaliteit, is de groenruimte in de wijk geen sluitpost waar we zonder meer vanaf kunnen snoepen voor andere functies. De VNG heeft om die reden een Handreiking Ruimtelijke inpassing van energie-infra (2023) opgesteld.

De vraag die voorligt: Hoe kunnen we de energietransitie vormgeven zonder vermindering van ruimtelijke kwaliteit op verschillende schaalniveaus?

De opgave: energie en ruimte op verschillende schaalniveaus

In dit traject kijken we met name naar de ruimtelijke kant van de warmtetransitie in de wijk. Energie en ruimte speelt natuurlijk ook op andere schaalniveaus én er is interactie tussen de schaalniveaus.

We kijken in dit onderzoek naar de consequenties van keuzes op wijkniveau, voor hoger gelegen schaalniveaus als de stad en de regio. Kunnen we daar een relatie vinden? En stellen stad en regio voorwaarden aan wat er op wijkniveau kan gebeuren in de warmtetransitie?

De start: warmtetransitie op wijkniveau

We starten met de warmtetransitie in de wijk, omdat daar de grootste urgentie en de meeste beweging is nu. Aan de hand van wijktypologieën verkennen we kwantitatief en ruimtelijk wat in welke wijk kan, met behoud van voldoende ruimtelijke kwaliteit. Daarnaast onderzoeken we of er een optimale situatie is, zowel voor een individuele wijk, als voor de schaalniveaus van stad en regio. We sluiten af met aanbevelingen voor vervolgonderzoek.

Autonome groei op schaal van de stad



Per vijf wijken een wijk aan ruimte erbij

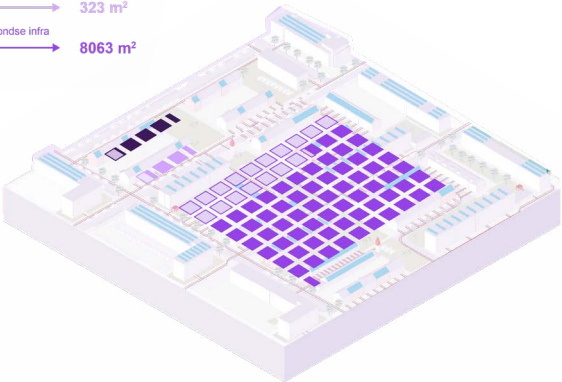
Ook buiten de wijk is ruimte nodig voor onderstations en infrastructuur boven- en ondergronds. Een onderstation verlaagt de hoogspanning naar middenspanning zodat de stroom geschikt wordt voor distributie naar wijken en bedrijven. Als de warmtetransitie in elke wijk autonoom plaatsvindt – dus zonder regie en zonder samenhang tussen de wijken – dan is in de toekomst vijf keer zoveel ruimte nodig voor energieinfrastructuur in stad en regio.

Bij een autonome groei van de vraag naar warmte in een wijk neemt met name het ruimtebeslag van energie-infrastructuur buiten de wijk toe. Er zal dan meer energie naar de wijk gebracht moeten

worden, dus ook meer aangevoerd vanuit de regio (of verder weg) via onderstations en bovengrondse elektriciteitslijnen. Hier is als voorbeeld een naoorlogse stempelwijk genomen met gemixte woningvoorraad. Dit kunnen we doorvertalen van één wijk naar een totale stad. Elke stad kent verschillende soorten wijken. Het voorbeeld hier is fictief, maar gebaseerd op een gemiddelde Nederlandse stad, met ongeveer 100.000 inwoners. De woonwijken hebben elk hun eigen energieprofiel, afhankelijk van bebouwingsdichtheid, isolatie van de gebouwen, etc. In elke wijk is ruimte nodig voor de energieinfrastructuur.

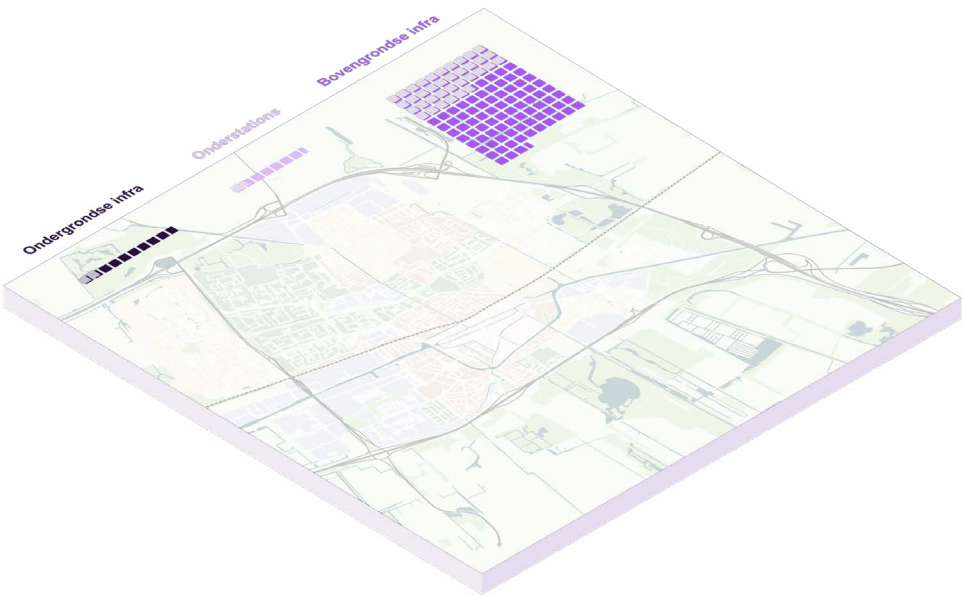
We verwachten dat deze inzichten van toepassing zijn op de meeste steden en dorpen in Nederland.

HUDIGE SITUATIE	→	AUTONOME GROEI
Netcapaciteit 0,46 MW		Netcapaciteit 2,15 MW
92 m²	Ondergrondse infra	430 m²
69 m²	Onderstations	323 m²
1725 m²	Bovengrondse infra	8063 m²



ruimtebeslag voor energie voor de wijk

	Ondergrondse infra	Onderstations	Bovengrondse infra
HUDIGE SITUATIE	1,9 ha	1,4 ha	35,8 ha
AUTONOME GROEI	9,9 ha	7,5 ha	111,4 ha



ruimtebeslag voor energie op stadsschaal

1.3 Methode en werkwijze



Zes representatieve wijken

Om breed toepasbare inzichten te genereren, zijn alle analyses en ontwerpen uitgevoerd op basis van zes representatieve woonwijken in Nederland. Deze wijken zijn geselecteerd door stedenbouwkundigen. Het doel van deze analyses is om inzichten te bieden die relevant zijn voor vrijwel alle wijken in Nederland. De gekozen wijken zijn de historische binnenstad, hoogstedelijke stadswijk, OV-knooppunt, naoorlogse stempelwijk, laagstedelijke woonwijk en lintbebouwing. Voor het onderzoek is elke archetypische wijk “vertaald” in een tegel van 250 x 250 meter. De tegel is gevuld met aantallen woningen en utiliteiten uit specifieke bouwjaren. Deze ontworpen tegel vormt de start voor het integrale onderzoek waarbij in interactie een duurzaam energiesysteem is berekend en een nieuw ruimtelijke ontwerp is getekend voor deze wijktegel.

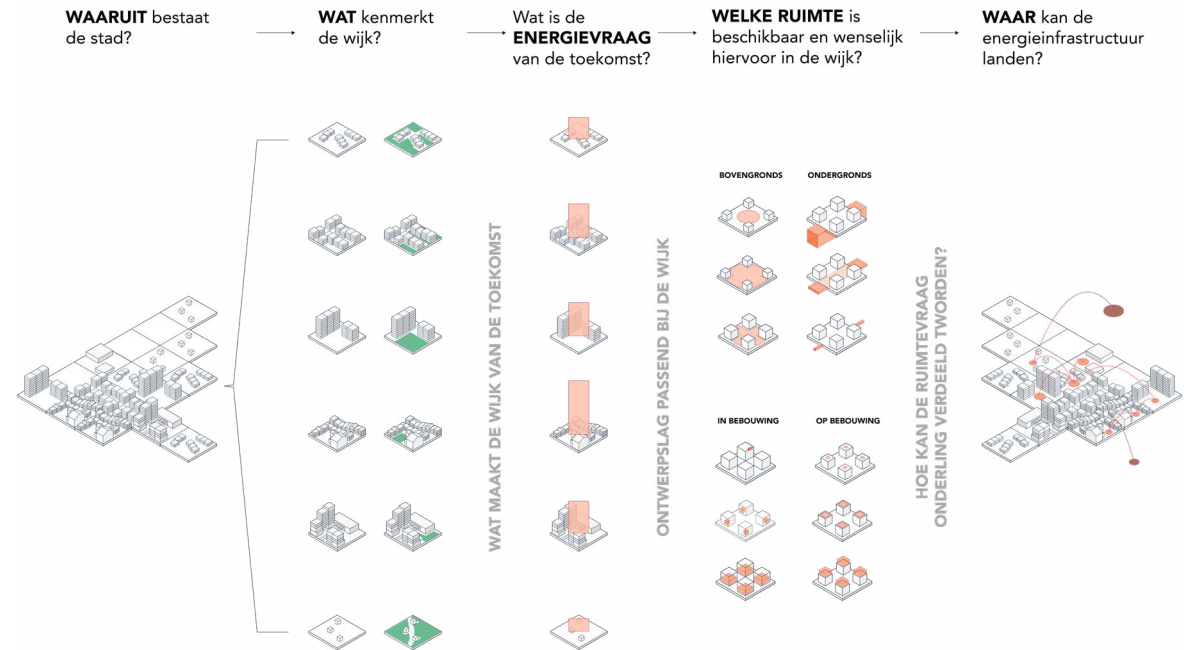
Wat is er berekend?

In bestaande wijken is er vaak een beperkte hoeveelheid ruimte voor energieoplossingen. Eerder onderzoek (Verstedelijking en energie: hoe gaat dat samen? - Duurzaam Energie Perspectief – DEP) heeft aangetoond dat de warmtetransitie bij het ontbreken van netcapaciteit leidt tot een aanzienlijk ruimtebeslag binnen de wijk. Daarom is er gekeken naar een potentieel haalbare hoeveelheid ruimte voor energie in de wijk. De huidige beschikbare ruimte voor energie (middenspanningsruimten of elektriciteitshuisjes) bedraagt doorgaans ongeveer 0,5% van het aandeel groen in de wijk. Dit is als uitgangspunt genomen.

Er is berekend hoe groot de netcapaciteit voor een wijk moet zijn bij 2x, 6x en 20x zoveel ruimte voor energie in de wijk als nu, respectievelijk 1%, 3% en 10% van het aandeel groen. Bij de berekeningen is voornamelijk uitgegaan van de beschikbare ruimte voor energieopslag (batterijen). De benodigde ruimte voor lokale energieopwekking (PV) is niet in de berekeningen meegenomen omdat er vanuit wordt gegaan dat deze ruimte op daken en gevels wordt gevonden.

Op basis van deze berekeningen zijn verschillende vervolganalyses uitgevoerd.

- Voor alle zes wijktypologieën is de benodigde ruimte voor energieinfrastructuur buiten de wijk (in de stad en regio) berekend bij 1%, 3% en 10% ruimte voor opslag in de wijk.
- Aanvullend is gekeken naar de impact van externe warmte via geothermie of groene restwarmte.
- Aanvullend voor de stempelwijk: impact van verschillende isolatiestappen.



1.4 Kanttekeningen bij de resultaten



Groenruimte is misschien wel de meest waardevolle ruimte in de wijk

We zijn in het onderzoek uitgegaan van een bepaald percentage groenruimte dat we kunnen besteden aan opslag. Met het oog op klimaatadaptatie en ruimtelijke kwaliteit, is de groenruimte in de wijk geen sluitpost waar we zonder meer vanaf kunnen snoepen voor andere functies. Het opgeven van andere ruimtevragers zoals parkeerplaatsen of zelfs binnenruimte in woningen, is met het oog op het veranderend klimaat misschien wel verstandiger dan groenruimte. En in het geval er uiteindelijk toch netverzwaringen gaan plaatsvinden waardoor minder batterijen nodig zijn, dan is er snel een extra parkeerplaats gemaakt. Groen heeft een paar jaar nodig voordat dat z'n waarde heeft in de wijk.

Containers met batterijen maken de opgave inzichtelijk, maar zijn niet zonder meer een goed idee

De doorrekeningen hebben we gemaakt op basis van zeecontainers met Li-ion batterijen. Dit rekent makkelijk, is (vooralsnog) de meest compacte opslagvorm op deze schaal en is universeel toepasbaar. Maar: functiecombinaties zijn moeilijk en ondergronds kan niet vanwege veiligheid, het vraagt zeer veel schaarse materialen en is kostbaar. Andere (opslag)technieken hebben daarom de voorkeur. Denk hierbij aan warmteopslag die ook ondergronds kan.

Netcapaciteit

Netcapaciteit is de hoeveelheid vermogen die het net kan transporteren. In dit onderzoek hebben we gekeken naar oplossingsrichtingen voor de wijken die zo min mogelijk verzwaringen (uitbreidingen) van het bestaande net vragen. We hebben gerekend met vraagprofielen op uurbasis voor de elektra- en warmtevraag van de verschillende type woningen en voorzieningen. We hebben hierbij standaard rekenregels voor netverzwaringen voor huishoudens niet meegenomen, omdat deze geen rekening houden met het effect van opslag of isolatiegraad.

Ondergronds ruimtebeslag niet meegenomen

In dit onderzoek is de opgave inzichtelijk gemaakt met indirect en direct ruimtegebruik van de bovengrondse energie-assets (opslag en elektriciteitsinfrastructuur). De benodigde ruimte buiten de wijk voor bijvoorbeeld pompinstallaties bij externe warmte zijn buiten beschouwing gelaten omdat dat afhankelijk is van het systeem en ruimtelijke impact erg klein is in vergelijking met andere ruimtevragers.

Pompenergie bij warmtenetten en gedeelde elektriciteitsopwek bij WKK's niet meegenomen in scenario externe warmte

Omdat de elektriciteitsvraag voor het verkrijgen van externe warmte afhangt van de warmtebron is die hier buiten beschouwing gelaten. Naar verwachting is de impact beperkt, de COP (Coëfficiënt of Performance) van geothermie is bijvoorbeeld 1:15-20. Bij gebruik van restwarmte bij WKK's (elektriciteitscentrales) is er gedeelde elektriciteitsopwek. Ook dat is hier buiten beschouwing gelaten.

Meervoudig ruimtegebruik voor bovengrondse infrastructuur soms mogelijk

Het ruimtebeslag voor bovengrondse infrastructuur buiten de wijk is groot. De ruimte onder hoogspanningslijnen is hier meegewogen als ruimtegebruik buiten de wijk. Er zijn echter wel mogelijkheden voor meervoudig ruimtegebruik in deze situatie. Denk aan agrarisch gebruik van de grond of aan natuur met een beperkte hoogte.



2.0 Wijkanalyse



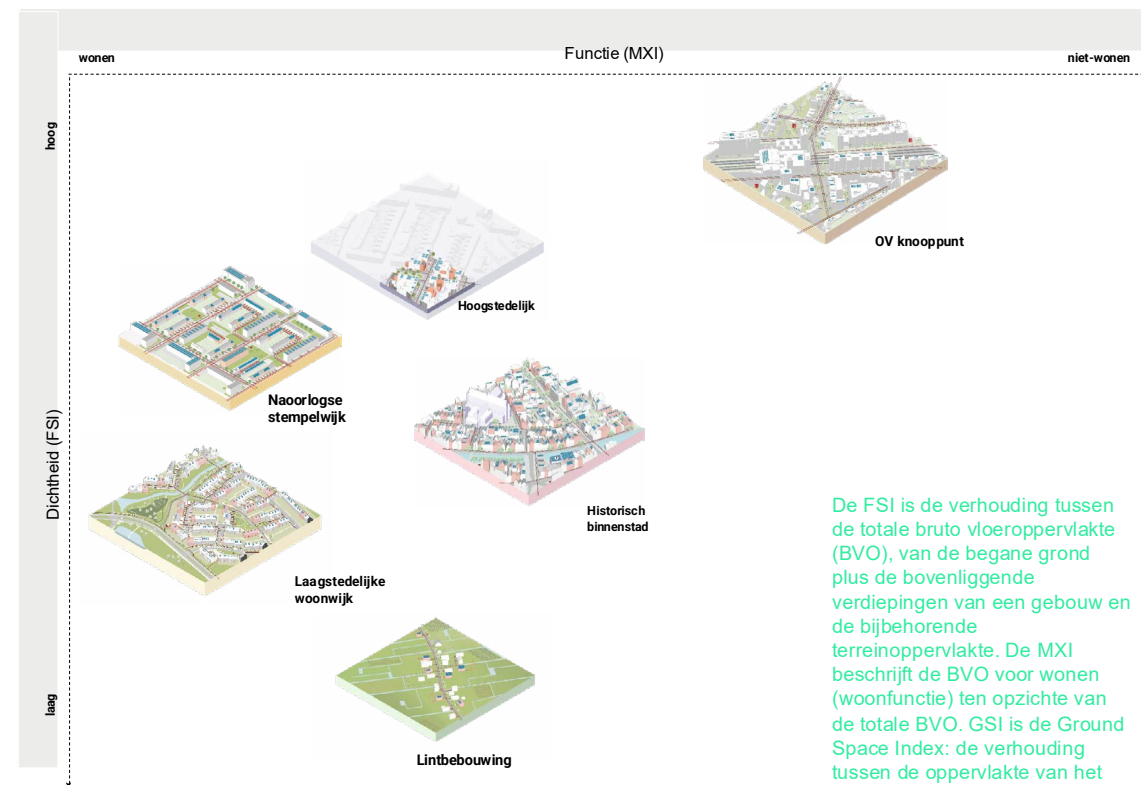
2.1 Zes verschillende wijken

Bepalen van wijktypologieën

De impact van de ruimtevraag die voortkomt uit de warmtetransitie is niet in elk wijk hetzelfde. De stedenbouwkundige opzet van wijken is daarop van invloed. De dichtheid van het aantal woningen, aanwezigheid van andere voorzieningen en het energie-label van de bebouwing bepalen de energievraag. De structuur en maat van de straten, het groen en water bepalen de fysiek beschikbare ruimte. Ruimte die ook ingezet moet worden voor andere ruimtevragers. Om het verschil voor verschillende wijktypes inzichtelijk te maken zijn we gekomen tot 6 voorbeeld wijken, die gezamenlijk de verschillende woongebieden in een stad vertegenwoordigen. Voor elk van deze wijktypes is een tegel van 250 bij 250 meter uitgewerkt, waarvoor feiten en cijfers die de basis waren voor de berekeningen in beeld zijn gebracht.

De wijken zijn geclusterd binnen een matrix van MXI (mixed use index/ functie) en FSI (floor space index/ dichtheid). Deze twee indicatoren zijn, o.a., kenmerkend om de energievraag en de ruimtelijke consequenties ervan te bepalen. Een naoorlogse stempelwijk heeft een lagere FSI dan een hoogstedelijke wijk. Hieruit kunnen we opmaken dat een stempelwijk meer onbebouwde oppervlakte heeft. Onbebouwde oppervlakte is van belang omdat de energie infrastructuur ruimte nodig heeft boven- en ondergronds. Ook biedt dit ruimte voor het oplossen van andere vraagstukken naast het energiesysteem.

Omdat de energievraag verschilt voor verschillende functies, helpt de indicator MXI in het bepalen van het tijdsgebonden verbruik en energiespreiding. Zo heeft een historisch centrum een lager aandeel van wonen dan een laagstedelijke woonwijk. Woningen hebben vaak 's ochtends en 's avonds een hogere energievraag terwijl een basisschool overdag een hogere energievraag heeft maar 's avond (bijna) geen.



De FSI is de verhouding tussen de totale bruto vloeroppervlakte (BVO), van de begane grond plus de bovenliggende verdiepingen van een gebouw en de bijbehorende terreinoppervlakte. De MXI beschrijft de BVO voor wonen (woonfunctie) ten opzichte van de totale BVO. GSI is de Ground Space Index: de verhouding tussen de oppervlakte van het grondvlak van gebouwen en het totale terreinoppervlak.

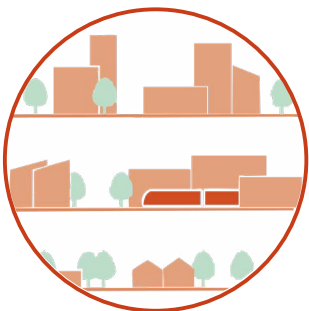
2.2 Scenario's voor netbewuste warmtetransitie



De warmtetransitie in de gebouwde omgeving is cruciaal voor het reduceren van de CO2 uitstoot in Nederland. Er is een waaier aan mogelijkheden voor de warmtetransitie. Van allerlei individuele oplossingen zoals infrarood-panelen, zonnecollectoren, (hybride)warmtepompen tot gecoördineerde all-electric renovatie en grootschalige warmtenetten gevoed door geothermie of groene (industriële) restwarmte. Al deze oplossingen vragen ruimte binnen en buiten de wijk. Van extra middenspanningsruimtes en warmteoverdrachtsstations in de wijk tot hoogspanningsinfrastructuur in het buitengebied. De ruimtevragers zijn op de volgende pagina verder toegelicht. De benodigde elektriciteitsinfra kan beperkt worden door

lokale batterijen, met name bij de all-electric oplossingen. Dat scheelt ruimte en arbeidstijd voor de uitbreiding van het elektriciteitsnet. Beide zijn schaarse middelen in de energietransitie.

We maken in dit document voor zes typische Nederlandse wijken inzichtelijk wat de ruimtevraag is binnen en buiten de wijk van de verschillende oplossingen. We beperken de beschikbare ruimte voor batterijen bij de all-electric oplossingen tot 1%, 3% en 10% van de groenruimte in een wijk. De aanname is dat met deze percentages (en slimme inpassing) de wijken voldoende ruimtelijke kwaliteit houden. Hieronder zijn de verschillende oplossingen nog verder toegelicht.



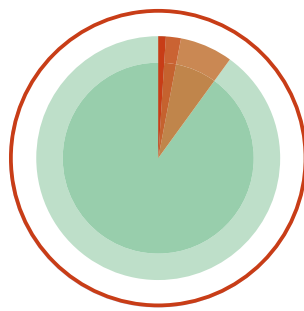
Huidige situatie

Huidige situatie met bijbehorende ruimtelijke kenmerken van het wijktype. Het vertrekpunt voor onze scenario studie.



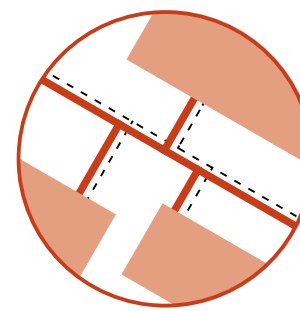
Autonome situatie

Autonome groei waarbij we omgaan met de energie-infrastructuur zoals nu gedaan wordt. Dit houdt in dat elk huishouden een individuele, ongecoördineerde maatregel neemt. Er wordt geen duidelijke keuze gemaakt en er blijven meerdere systemen naast elkaar bestaan.



All-electric met opslag

Huishoudens gaan over op een all-electric oplossing met daarbij ruimte voor opslag. De all-electric oplossing is gebaseerd op een warmtepomp op individueel of blokniveau. Voor de opslag gaan we uit van een percentage van 1%/ 3%/ 10% van de groenruimte in de wijk in de vorm van batterijen.



Warmtenet

Externe warmte waarin een groot warmtenet warmte van buiten de wijk aanvoert.



Groen gas

Groen gas als duurzamer alternatief voor aardgas. Het scenario van groen gas is niet doorgerekend maar biedt voor sommige gebieden met beperkte ruimte wel een alternatief. Groen gas is beperkt beschikbaar en wordt toegepast wanneer er geen duurzamer of goedkoper alternatief voorhanden is.

2.3 Toelichting bij analyses



In de analyses is uitgegaan van een bepaald beschikbaar oppervlak voor energieopslag als aandeel van het groenoppervlakte in een wijk. Voor opslag op 1%, 3% en 10% van de groenoppervlakte is berekend hoe groot de netcapaciteit dan moet zijn. Deze percentages zijn gekozen als de maximale hoeveelheid die een wijk kan afstaan aan energie, waarbij het toch leefbaar blijft. De maximale hoeveelheid opslag in een wijk met veel groen (lintbebouwing) is daarmee veel hoger dan de hoeveelheid opslag in een wijk met weinig groen (historische

binnenstad, OV-knooppunt).

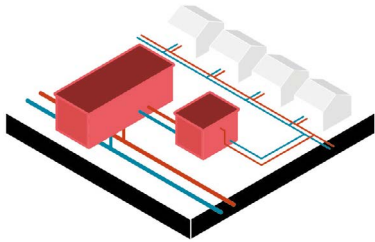
	Historische binnenstad	Hoogstedelijke buurt	Naoorlogse stempelwijk	Laagstedelijke woonwijk	OV-knooppunt	Lintbebouwing
Aandeel groen [m ²]*	6.250	12.500	25.000	25.000	6.250	43.750

*totale oppervlakte per tegel: 62.500 m²

In elk scenario is rekening gehouden met een mate van energiebesparing door labelsprongen:

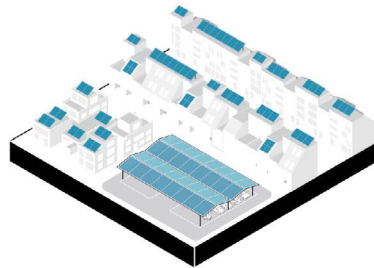
	Labelsprong	Voorbeeld warmtevraag jaar historische wijk (MWh)	Voorbeeld historische wijk	kWh/m ²	Aandeel woningen per energielabel voor labelsprong (%)	Aandeel woningen per energielabel na labelsprong (%)
1 Huidige situatie	Geen	4.559	A++++	15		
2 Autonome groei	Geen	4.559	A+++	25	3%	3%
3 1% ruimte voor energie	Volledig	3.452	A++	50	0%	16%
4 3% ruimte voor energie	Volledig	3.452	A+	82	16%	20%
5 10% ruimte voor energie	Volledig	3.452	B	91	11%	34%
6 Externe warmte	Half	4.006	C	100	15%	27%
			D	111	9%	
			E	115	7%	
			F	116	12%	
			G	124	27%	

Bovengrondse ruimtevragers warmtetransitie



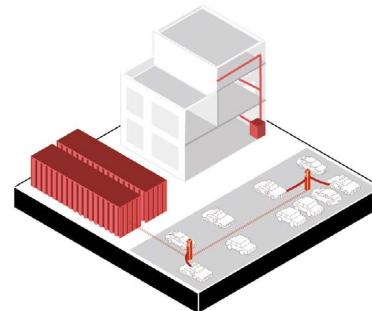
Warmteoverdrachtstation

De Warmteoverdrachtstations (WOS) vereisen ruimte, meestal in de buurt van woonwijken of commerciële zones die van warmte voorzien moeten worden. Vanaf een warmtebron lopen ondergrondse leidingen naar de WOS en vervolgens naar de eindgebruikers. Het station bevat pompen en andere mechanische onderdelen die geluid kunnen produceren en tot overlast kunnen leiden. Het station moet goed bereikbaar zijn voor onderhoud.



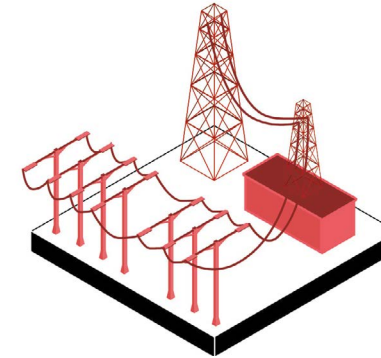
Zonnepanelen

Door middel van zonnepanelen wordt energie van de zon omgezet in elektriciteit die gebruikt kan worden. Zonnepanelen zijn goed te combineren met andere functies die ruimte vragen. Toepassingen hiervoor in de wijk zijn panelen op het dak, panelen op de gevel en panelen boven parkeervoorzieningen.



Batterij

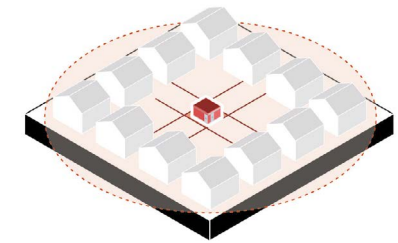
Een batterij is een locatie waar energie kan worden opgeslagen. Batterijen verschillen in formaten en kunnen helpen het energienetwerk te ontlasten. Een buurtbatterij wordt gebruikt om elektriciteit op te slaan voor een specifieke wijk of buurt. Deze batterijen helpen om lokaal opgewekte energie, zoals van zonnepanelen, op te slaan en later te gebruiken. De batterij volumes worden vaak in containers geplaatst. (3 x 2,5 m of 6 x 2,5 m). De containers moeten bereikbaar blijven voor onderhoud.



Hoogspanning

Het hoogspanningsgedeelte bestaat uit twee onderdelen. De onderstations (OS) zetten hoogspanning om in middenspanning. De grootte is afhankelijk van de energievraag van een totaal aan wijken. Een OS moet voldoen aan strikte technische en veiligheidseisen. Een OS is tussen de 1,5 en 10 ha groot.

Het andere onderdeel zijn de hoogspanningsverbindingen voor transport. Een bovengrondse verbinding is 50-100 meter breed en wordt in de lucht gehouden met masten. Onder een hoogspanningsverbinding kunnen sommige functies geplaatst worden.



Middenspanningsstation

Middenspanningsstations zijn er in verschillende maten en spanningsniveau. De meest bekende en veel voorkomende zijn de elektriciteitshuisjes (MSR) die de stroom geschikt maken voor woningen door middenspanning om te zetten naar laagspanning. Ze zorgen er tevens voor dat opgewekte stroom door bijvoorbeeld zonnepanelen het stroomnet op gaat. 1 elektriciteitshuisje kan gemiddeld 100 woningen voorzien. Het stroomnet is het stabielst wanneer de afstand tussen huisje en woning zo kort mogelijk is. Om het huisje heen moet ruimte zijn in verband met onderhoud.

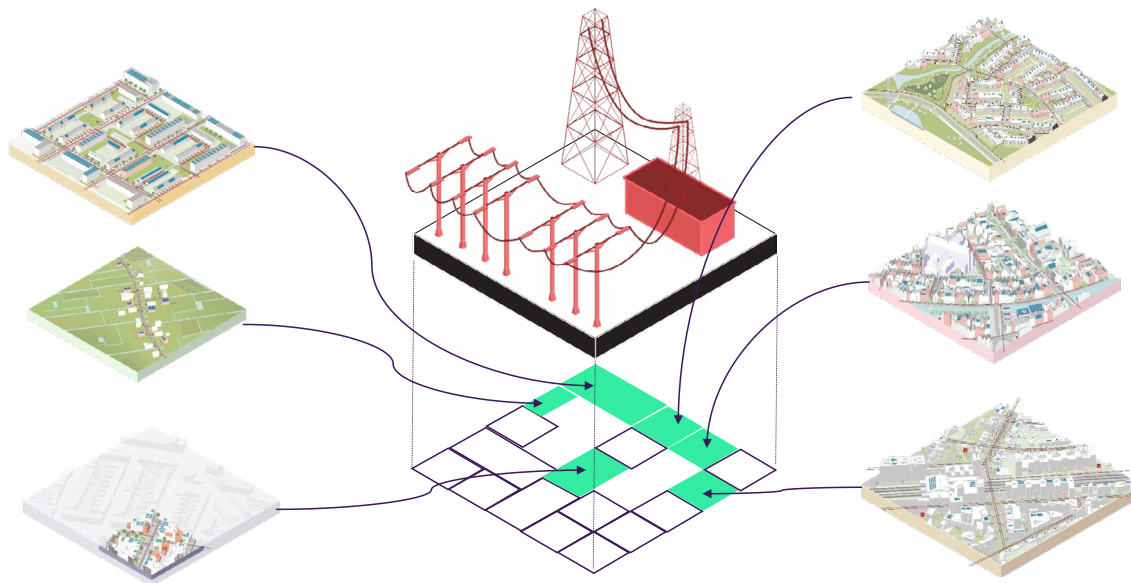
Toelichting bij de footprint van ruimtegebruik van hoogspanning



Toerekenbare footprints buiten de wijk

Het directe ruimtegebruik van warmtestations en middenspanningsruimten in de wijk is goed toe te wijzen aan het energiegebruik van de wijk zelf. Voor met name hoogspanningsinfrastructuur die door een groot gebied gebruikt wordt, is dat moeilijker. In deze studie rekenen we al het ruimtegebruik terug naar m^2/kW . In de praktijk is deze resolutie veel te klein voor individuele woningen, buurten en zelfs wijken. Ter illustratie: Voor een wijk van 500 woningen wordt bijvoorbeeld niet 1/100e hoogspanningslijn gebouwd.

De ruimtegebruiken buiten de wijk die we in deze studie noemen zijn daarom de footprints van de wijken in m^2 .



Aannames voor ruimtegebruik van hoogspanningsverbindingen

Van een onderstation is duidelijk hoe groot deze is en hoeveel vermogen deze kan transporteren. Voor hoogspanningslijnen is dat minder eenduidig. We doen daarom de volgende aannames:

- Een bovengronds hoogspanningstracé is 75 meter breed en 20 km lang
- Een hoogspanningslijn transporteert 400 MW aan vermogen
- Dit leidt tot een ruimtelijke footprint van $3,75 \text{ m}^2/\text{kW}$ voor bovengrondse hoogspanningslijnen
- Dit is exclusief de in de praktijk gehanteerde storings- en onderhoudsreserve. Deze verhogen de footprint naar verwachting met een factor 2 tot 3.
-

Een grove sanity-check laat zien dat deze methode acceptabel is:

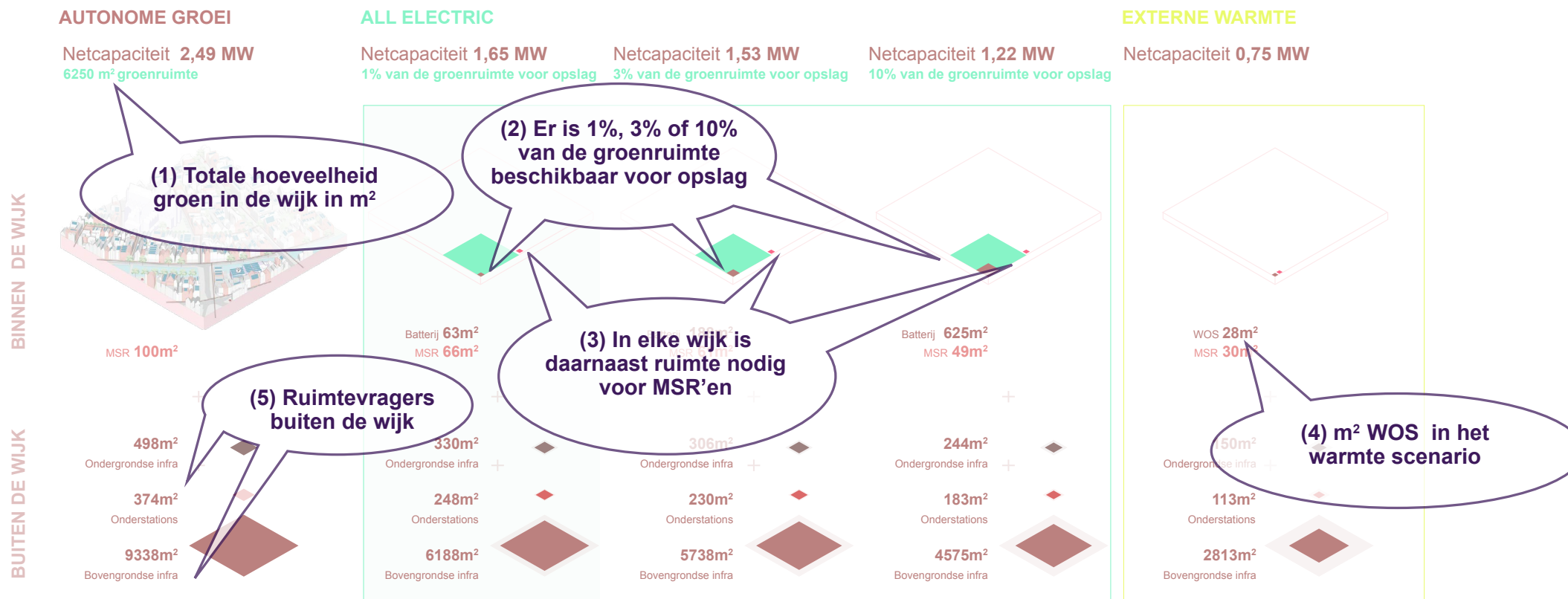
- Momenteel staat er in Nederland 5.674 km aan bovengrondse hoogspanningslijnen van ongeveer 75 meter breed. In totaal 425 km^2 aan ruimtebeslag
- Woningen vragen 20% van de totale elektriciteitsvraag in Nederland [CBS]. We alloceren 85 km^2 aan woningen
- Er staan 8.100.000 woningen in Nederland. Dus: De footprint op hoogspanningslijnen van een woning in Nederland is momenteel ruim 10 m^2 inclusief onderhouds- en storingsreserve en ontwerp margins
- De footprint van een vermogensvraag van 1kW is dus ook ruim 10 m^2 .

Leeswijzer visualisaties ruimtebeslag wijk



Onderstaande visualisatie is voor elke wijk gemaakt om het ruimtebeslag van energie-assets voor verschillende scenario's inzichtelijk te maken. Als basis voor te vergeven ruimte in de wijk voor opslag is de hoeveelheid groen (1) genomen. In de verschillende scenario's is gevarieerd met 1%, 3% of 10% van die ruimte voor opslag (2). Daarnaast is in de wijk ruimte nodig voor de middenspanningsruimtes (MSR) (3).

Bij het externe warmtescenario is naast de MSR ook het warmteoverdrachtsstation (WOS) in de wijk getekend. (4). Vervolgens wordt op dezelfde schaal getoond hoeveel ruimte de warmtetransitie van de wijk vraagt buiten de wijk. In het voorbeeld hieronder is de ruimtevrage buiten de wijk steeds groter dan de ruimte binnen de wijk (5).



2.4 Historische binnenstad

Huidige situatie

De historische binnenstad, vaak rijk aan geschiedenis, wordt gekenmerkt door een compacte, bebouwingsstructuur met smalle straatjes, grachten en pleinen met vaak monumentale gebouwen. De gebieden kennen een hoge dichtheid aan bebouwing en een mix van functies, zoals wonen, werken, winkelen en recreatie. De unieke architectuur en het straatbeeld dragen bij aan de identiteit en aantrekkelijkheid van deze gebieden. De ruimtelijke opgaven in historische binnensteden zijn complex en veelzijdig.

De ruimte voor groei van energie-infrastructuur is zowel boven als in de ondergrond beperkt. De energietransitie is echter niet de enige

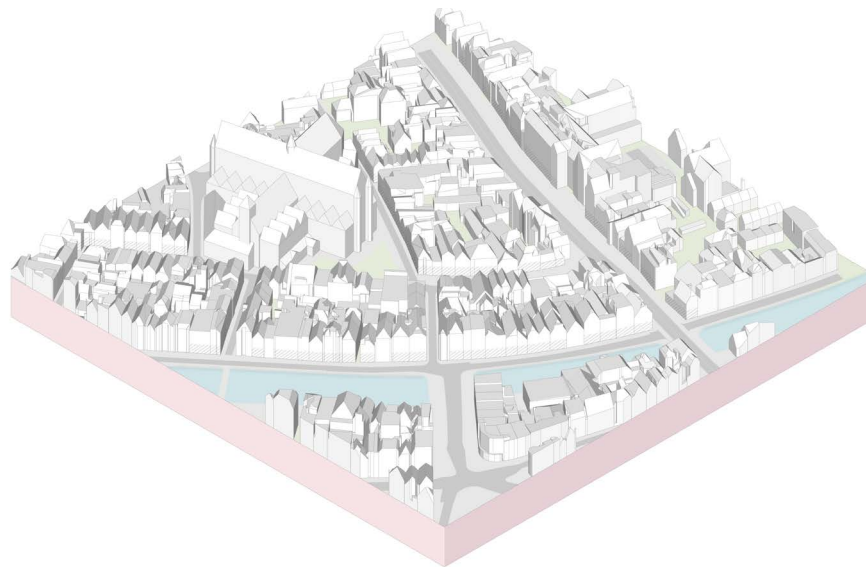
ruimte vraag. De smalle straten en beperkte parkeermogelijkheden vragen om alternatieve oplossingen voor autoverkeer, zoals autoluwe zones en verbeterde fietsinfrastructuur. Er is een groeiende behoefte aan meer groen en klimaatadaptieve maatregelen, zoals het voorkomen van wateroverlast en het creëren van koele plekken tijdens hittegolven. Historische gebouwen vragen bovendien om zorgvuldig onderhoud en renovatie, waarbij duurzaamheidsmaatregelen zoals isolatie en energiebesparing vaak moeilijk te implementeren zijn zonder afbreuk te doen aan het karakter. Tot slot is er de uitdaging om de binnensteden economisch leefbaar te houden, met behoud van een divers aanbod aan winkels en voorzieningen om leegstand te voorkomen.

WIJKPASPOORT

0,76	MXI
1,10	FSI
0,40	GSI
Beschermd	Welstandsniveau
26/17/57	% Koop/coorp/huur part.
575	Woningen
181	Parkeerplaatsen

DE WIJK IN CIJFERS

10%	% Groen per buurt
40%	% Bebouwd oppervlakte
G, C, A+	Energielabel
0.76	Huidige netaansluiting (MW)
2,0	Pv op dak in scenario's (MW)

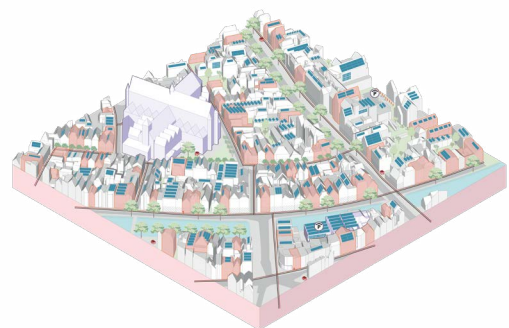


Historische binnenstad

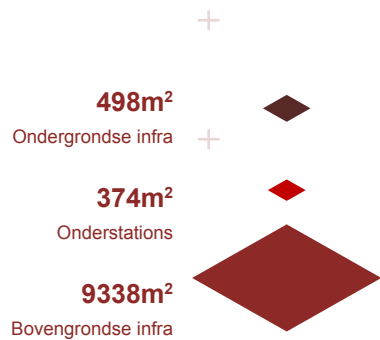
Ruimtebeslag binnen en buiten de wijk

AUTONOME GROEI

Netcapaciteit **2,49 MW**
6250 m² groenruimte



MSR **100m²**

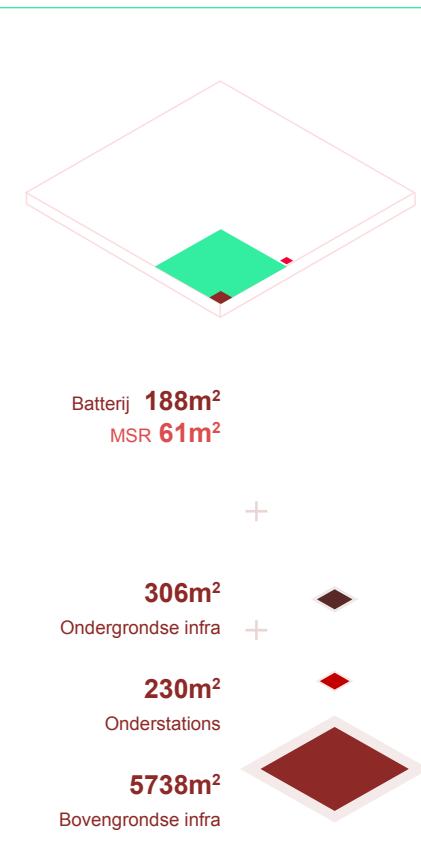


ALL ELECTRIC

Netcapaciteit **1,65 MW**
1% van de groenruimte voor opslag



Netcapaciteit **1,53 MW**
3% van de groenruimte voor opslag

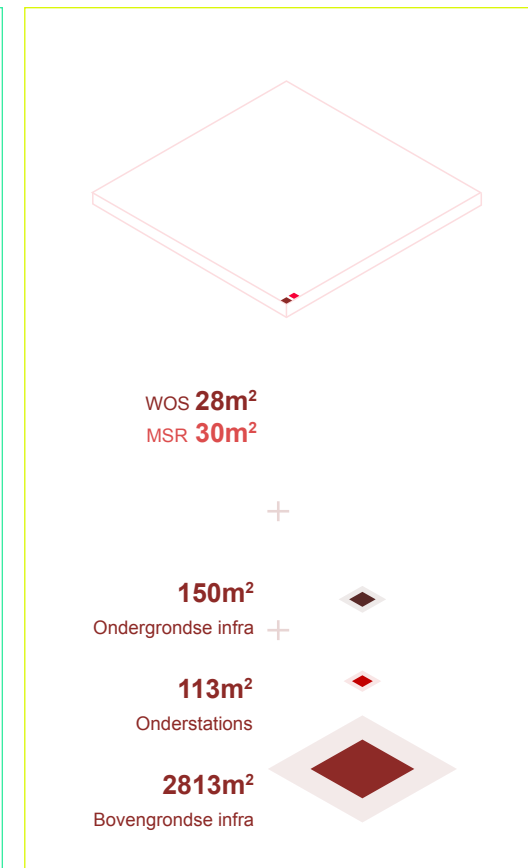


Netcapaciteit **1,22 MW**
10% van de groenruimte voor opslag



EXTERNE WARMTE

Netcapaciteit **0,75 MW**



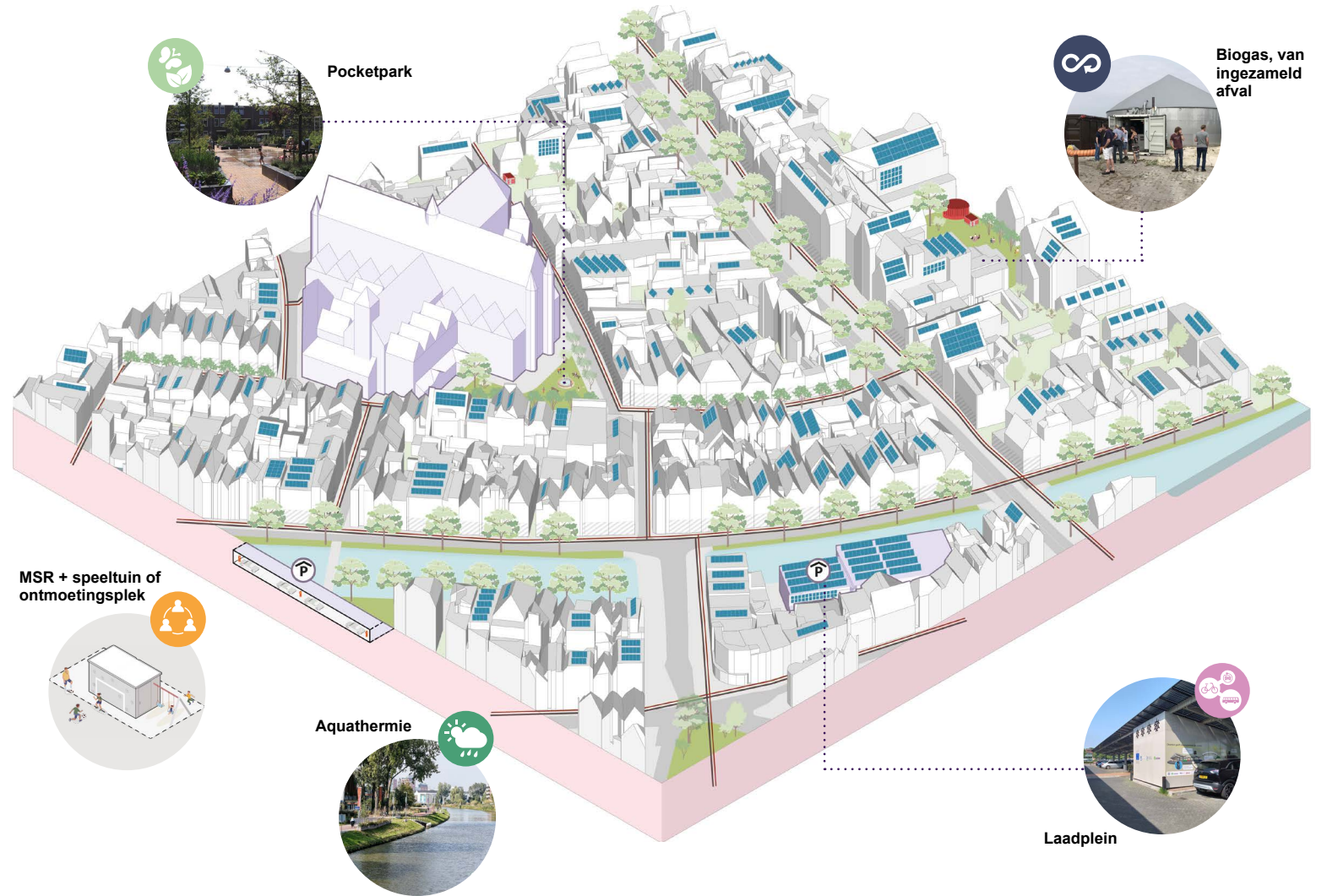
Historische binnenstad

Toekomstbeeld

De beschermde beeldkwaliteit van de historische binnenstad bepaalt veel van de (on)mogelijkheden voor de energietransitie. De verscheidenheid aan gebruik en de voorzichtigheid rondom isolatie en verduurzaming van monumentale gebouwen maken groengas als overbrugging een reële optie. Mogelijk is dit lokaal te produceren.

De schaarse ruimte in de ondergrond vraagt zorgvuldig om te gaan met de bestaande en nieuw te plaatsen infrastructuur. In de smalle straten van het historische centrum is niet veel ruimte meer waardoor er ook gekeken wordt naar verzwarende in de aangrenzende gebieden om de vraag te ondersteunen en waar mogelijk ruimte te bieden aan vergroening.

In de binnenstad is het nog belangrijker in te zetten op meervoudig ruimtegebruik. Het combineren van functies, zoals het integreren van een MSR met bijvoorbeeld speelobjecten. Met het clusteren van parkeerplaatsen van individuele voertuigen aan de rand van de binnenstad is ook het elektrisch laden geclusterd. Dit voorkomt onnodige kabels en laadpalen in smalle straten en is het te combineren met batterijopslag. Daarmee wordt ruimte in de binnenstad zelf vrijgespeeld. Om hittestress tegen te gaan moet verharding worden beperkt en groen toegevoegd, dit kan door de infrastructuur aan de juiste kant van de weg te leggen.



Isolatie
Warmteleiding
Elektra kabel

Sociale
duurzaamheid

biodiversiteit

(circulaire)
economie

Klimaatadaptatie

Mobiliteitstransitie

Verdichtingsopgave

Historische binnenstad

Ruimtelijke uitwerking



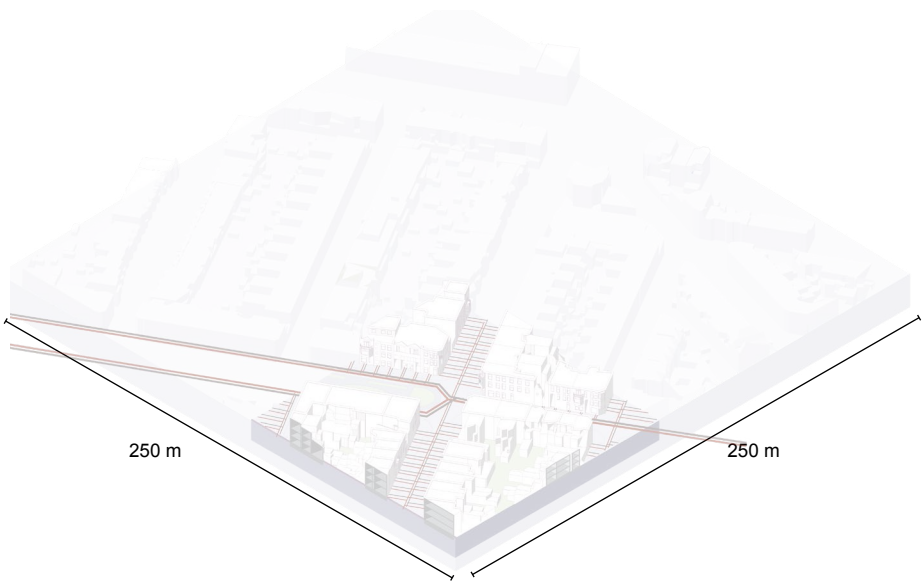
2.5 Hoogstedelijke stadswijk

Huidige situatie

Deze hoogstedelijke wijken liggen vaak centraal rondom de historische binnenstad. Dit type wijk kent een hoge bebouwingsdichtheid en is vaak (uit noodzaak) snel gegroeid, wat terug is te zien aan cohesie van de bebouwde omgeving. Door de jaren heen is dit type wijk heel flexibel gebleken. Het biedt plaats aan veel verschillende soorten woningen en bewoners. Zowel wonen als bedrijvigheid vinden plaats op een relatief kleine oppervlakte en er is vaak een gemengde indeling van (sociale) huur en eigen gebruik. De bouwkwaliteit en het onderhoud

ervan variëren enorm. De energievraag neemt steeds meer toe en daarmee ook de benodigde infrastructuur. Ook de auto en andere mobiliteit hebben een steeds grotere ruimteclaim. Kortom, een zeer levendige wijk.

WIJKPASPOORT	
0,92	MXI
1,90	FSI
0,30	GSI
Beschermd	Welstandsniveau
26/17/57	% Koop/coorp/huur part.
575	Woningen
181	Parkeerplaatsen
DE WIJK IN CIJFERS	
20%	% Groen per buurt
30%	% Bebouwd oppervlakte
G, C, A+	Energielabel
0.79	Huidige netcapaciteit (MW)
1,5	Pv op dak in scenario's (MW)



Hoogstedelijke stadswijk

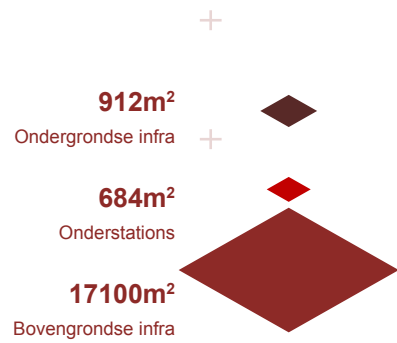
Ruimtebeslag binnen en buiten de wijk

AUTONOME GROEI

Netcapaciteit **4,56 MW**
12500 m² groenruimte

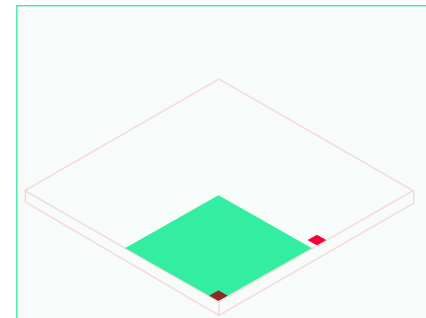


MSR **182m²**

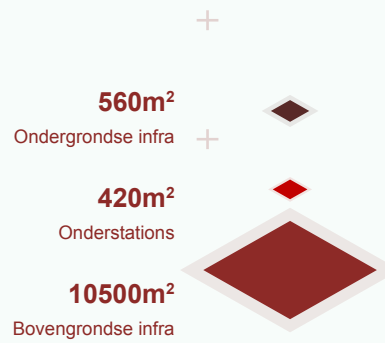


ALL ELECTRIC

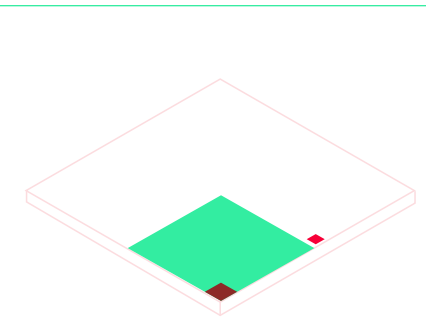
Netcapaciteit **2,8 MW**
1% van de groenruimte voor opslag



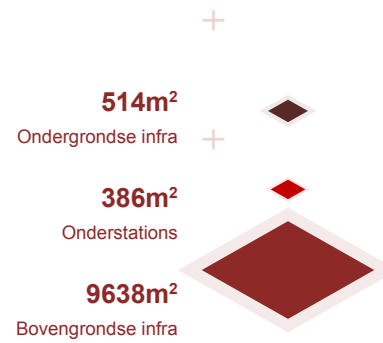
Batterij **125m²**
MSR **112m²**



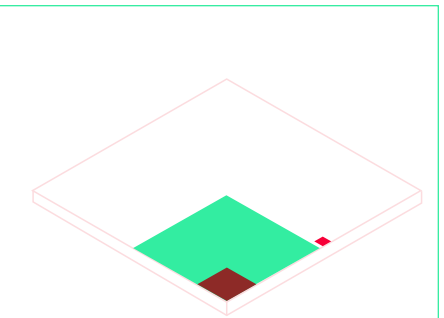
Netcapaciteit **2,75 MW**
3% van de groenruimte voor opslag



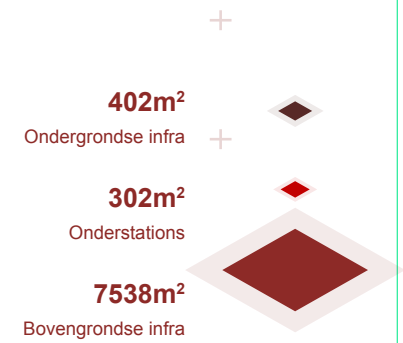
Batterij **375m²**
MSR **103m²**



Netcapaciteit **2,01 MW**
10% van de groenruimte voor opslag

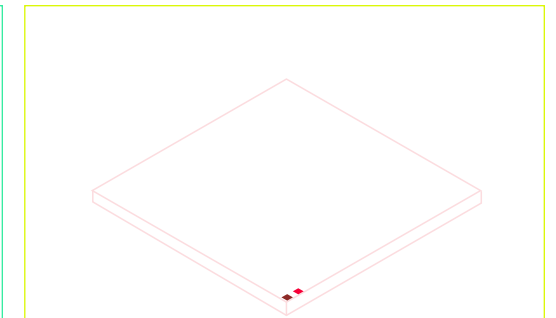


Batterij **1250m²**
MSR **80m²**

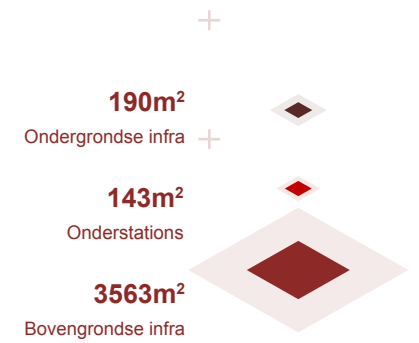


EXTERNE WARMTE

Netcapaciteit **0,95 MW**



WOS **50m²**
MSR **38m²**



Hoogstedelijke stadswijk

Toekomstbeeld

In de stadswijk gebeurt vanalles op een klein oppervlak en in zeer beperkte openbare ruimte. Meervoudig ruimtegebruik en een goede planning zijn hier absoluut noodzakelijk. In de individuele woningen is te weinig ruimte voor een uitgebreide spullenboel voor energie. De dichtheid van de wijk en de nabijheid tot een aanknopingspunt van een warmtenet maakt het financieel aantrekkelijk om het gasnetwerk te vervangen en over te stappen op een warmtenet. De straat wordt hiervoor opengetrokken, wat een kans biedt om ook andere opgaven mee te nemen. De energietransitie is een aanjager. Elke investering in de openbare ruimte betaalt zich direct uit in een toegenomen ruimtelijke kwaliteit en wooncomfort.

Niet alle woningen zullen direct verbeterd worden geïsoleerd maar dit wordt per eigenaar zelfstandig uitgevoerd waardoor het gemiddelde energielabel verbeterd in de komende jaren. In kleine mate worden PV-panelen geïnstalleerd om de energievraag te ondersteunen zonder het netwerk op piekmomenten over te belasten.

Kabels en leidingen worden gebundeld onder de doorgaande hoofdwegen. Op strategische punten worden ze verdeeld naar elk blok. Op deze kruisingen zien we collectieve voorzieningen voor energie (WOS en MSR) en mobiliteit (parkeer+hub) gecombineerd met maatregelen voor recreatie en ecologie. Deze opzet houdt de zijstraten zoveel mogelijk vrij van infrastructuur. Zo ontstaan hier echte woonstraten voor de bewoners, waar het groen de wijk verkoelt. Deze gezamenlijke aanpak is de enige manier om de complexe opgaven passend te krijgen in deze wijken.



Hoogstedelijke stadswijk

Ruimtelijke uitwerking



PVT panelen op de bebouwing om de warmte en energievraag te ondersteunen

Speelruimte en bankjes in de straat om een aangename ontmoetingsplek te creëren

Bomen aan de zonkant om schaduw te bieden en ruimte in de ondergrond

MSR+ als centrale hub op de kop van de straat met verschillende activiteiten waar de buurt kan samenkomen

Verbeterde isolatie om de energievraag laag te houden

Wateropvang om bij hevige buien wateroverlast te beperken

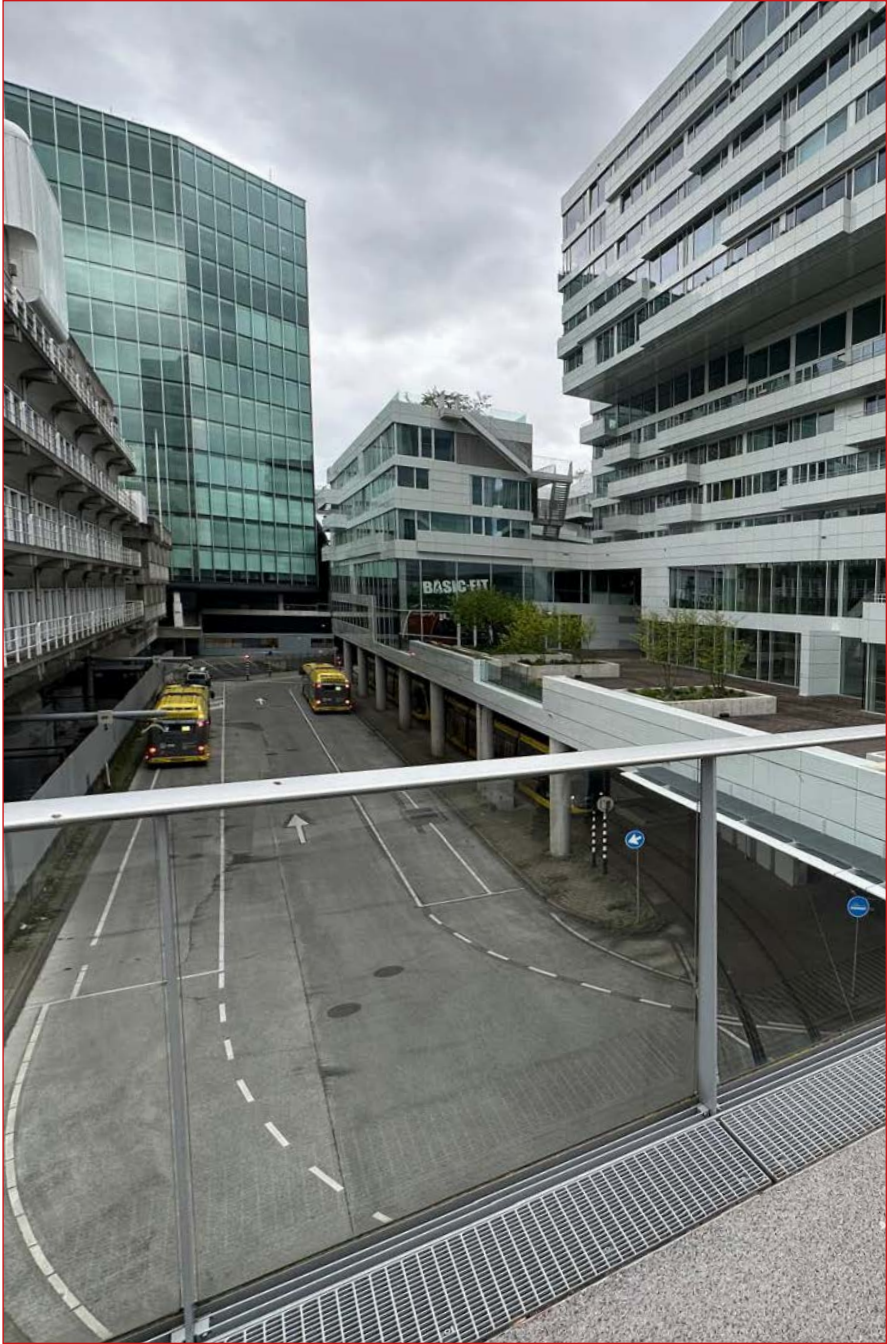
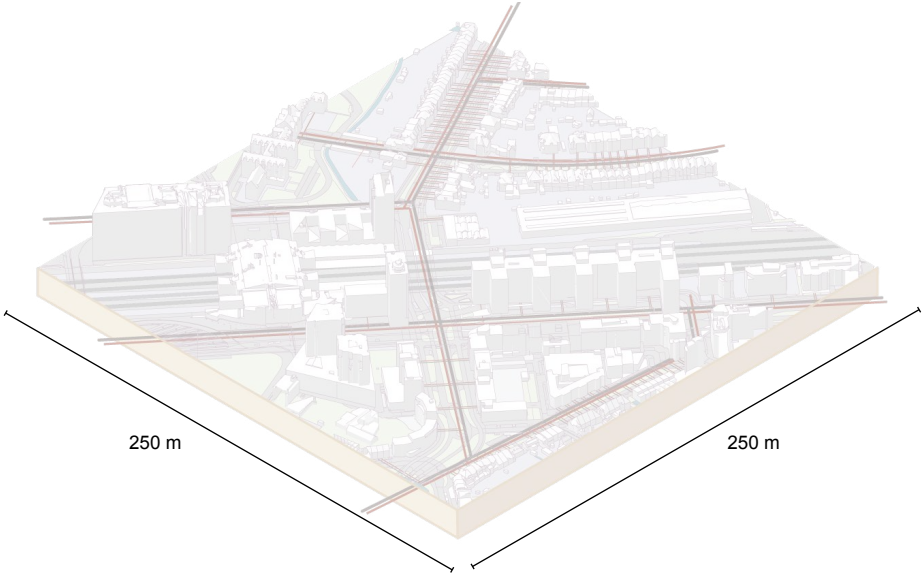
Ruimte voor boomwortels door de kabels en leidingen aan de schaduwkant van de straat te bundelen

2.6 OV knooppunt

Huidige situatie

Deze wijk vormt de entree van de stad, zowel in mobiliteit als bedrijvigheid. Door de samenkomst van mobiliteit, werken en wonen is deze dichtbebouwde buurt uniek in zijn complexiteit en potentiële inpassing. Er is een groot aandeel aan goed bereikbare kantoren en appartementen. Er is een mix van huur en eigendom maar de bereikbaarheid en werkgelegenheid is vaak gekoppeld aan bewoners met hogere gemiddelde inkomens. In de openbare ruimte heeft doorstroming vaak prioriteit boven de inpassing van groen en grotere verblijfsruimten. Er zijn hier ontwikkelkansen te pakken om de locatie als voorbeeldfunctie en visitekaartje te laten functioneren voor de ambities van de rest van de stad.

WIJKPASPOORT	
0,74	MXI
1,15	FSI
0,40	GSI
Normaal	Welstandsniveau
26/12/62	% Koop/coorp/huur part.
582	Woningen
167	Parkeerplaatsen
DE WIJK IN CIJFERS	
10%	% Groen per buurt
40%	% Bebouwd oppervlakte
A, B, C	Energielabel
0.84	Huidige netcapaciteit (MW)
2,0	Pv op dak in scenario's (MW)

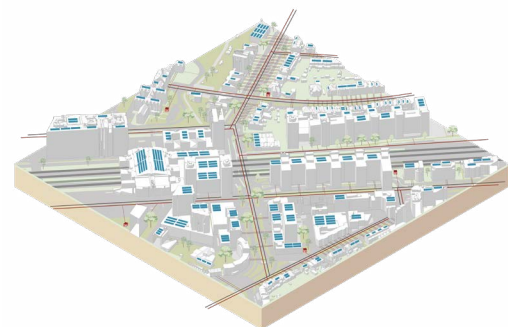


OV knooppunt

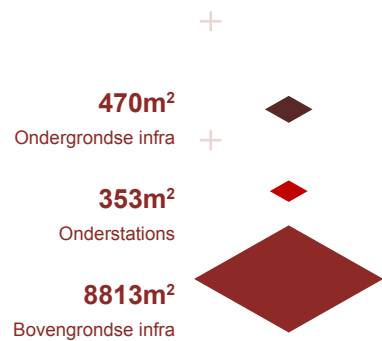
Ruimtebeslag binnen en buiten de wijk

AUTONOME GROEI

Netcapaciteit **2,35 MW**
6250 m² groenruimte



MSR **94m²**



ALL ELECTRIC

Netcapaciteit **1,5 MW**
1% van de groenruimte voor opslag



Netcapaciteit **1,38 MW**
3% van de groenruimte voor opslag

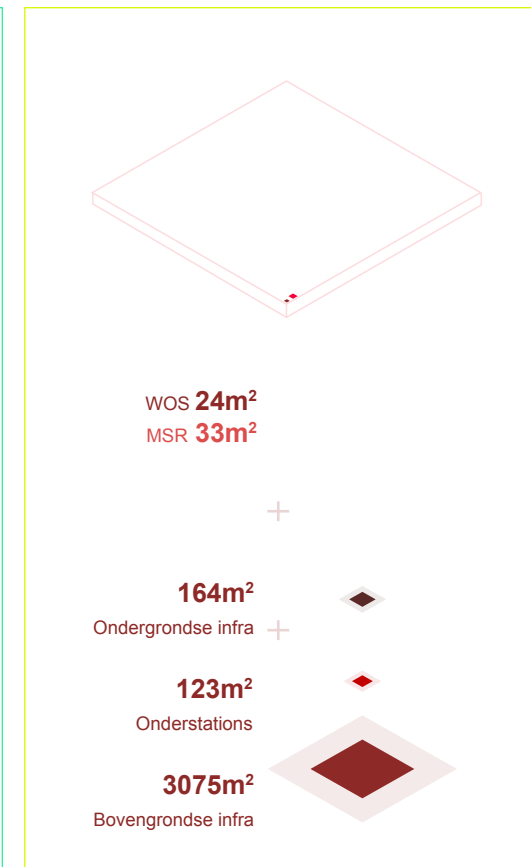


Netcapaciteit **1,13 MW**
3% van de groenruimte voor opslag



EXTERNE WARMTE

Netcapaciteit **0,82 MW**



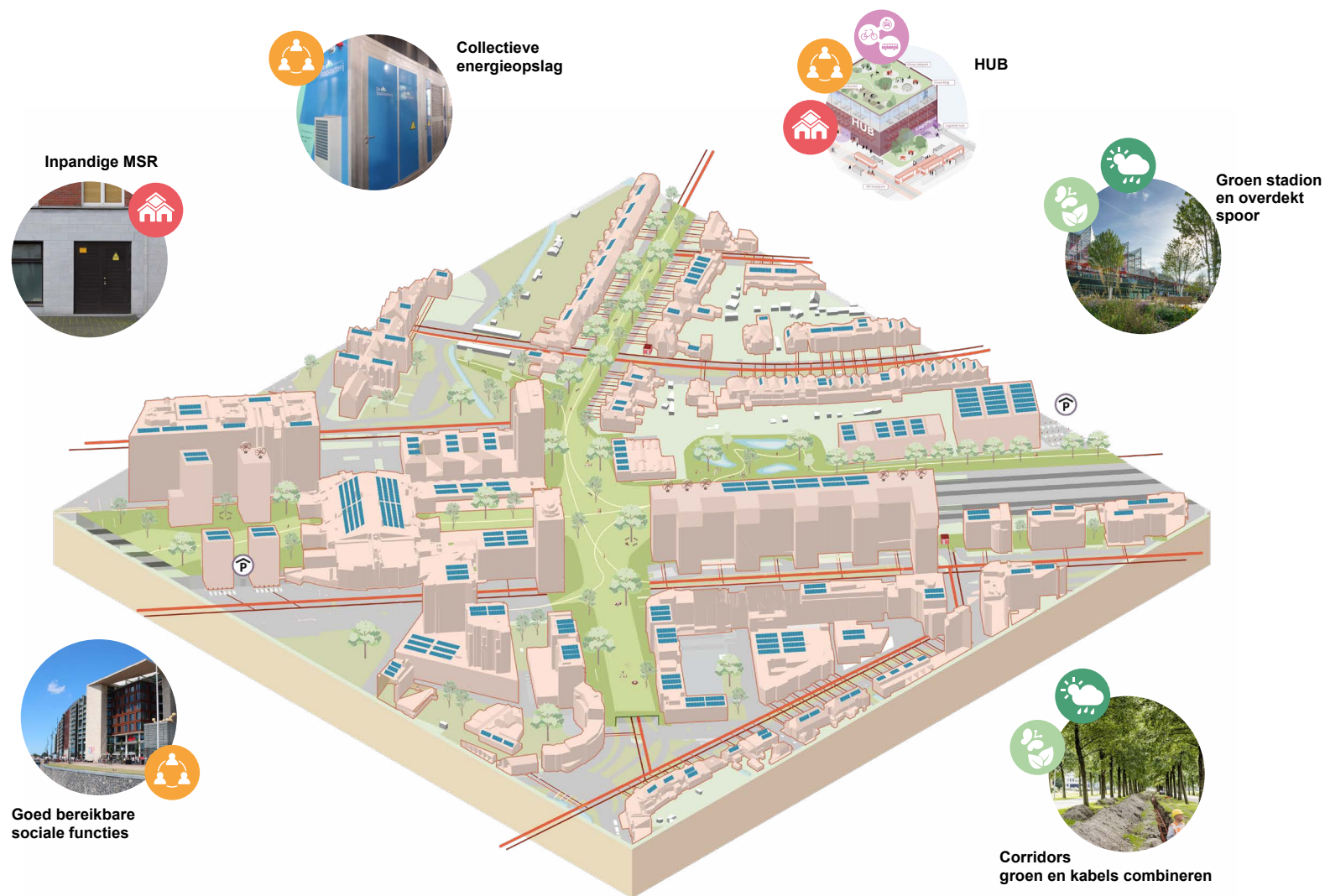
OV knooppunt

Toekomstbeeld

In de OV-knoop ligt een grote druk op de ruimte. Dat vraagt om slimme combinaties en stapelingen van functies. Deze wijk is een aantrekkelijke locatie voor veel verschillende functies. Door dit gebied meer in te zetten als een verblijfplaats kunnen voorzieningen een plaats vinden op een goed bereikbare locatie en kan verdichting op een aantrekkelijke manier gebeuren. Langzaam verkeer wordt aangemoedigd door de aangrenzende wegen autoluw te maken en de rijbanen af te schalen. Dit levert een grote besparing van energie.

De hoge dichtheid en hoge vraag naar energie verantwoorden de aanleg van een warmte- en koelnet. Deze infrastructuur is deels inpandig in te passen. Hiervoor is minder ruimte nodig dan voor all-electric oplossingen. Om ook de elektriciteitsvraag te verduurzamen, komen pv-panelen op beschikbare gevel- en dakoppervlakken. Energieopslag vindt plaats in kelders en technische ruimten, en waar mogelijk bij mobiliteitsclusters waar openbaar vervoer oplaadt.

In de ondergrond is een zorgvuldige ordening nodig. Waar mogelijk zijn kabels en leidingen gebundeld. Hierdoor komt ook ruimte vrij voor de nodige vergroening en het tegengaan van het hitte-eilandeffect.



Isolatie
Warmteleiding
Elektra kabel

Sociale
duurzaamheid

biodiversiteit

(circulaire)
economie

Klimaatadaptatie

Mobiliteitstransitie

Verdichtingsopgave

OV knooppunt

Ruimtelijke uitwerking



PV panelen op de daken en facade om de energievraag van het station aan te vullen

Bomen aan de zonkant om schaduw te bieden en ruimte in de ondergrond

Fietsenstalling om het overstappen van langzaam vervoer op OV te faciliteren

Warmte- en Energieopslag in technische ruimte

Warmte uit geothermie

Gebruik van lichte en duurzame gevelmaterialen die minder hitte vasthouden

Verhoogde semi-publieke ruimte

Auto te gast om van de rijbaan een ruimte voor iedereen te maken

Ruimte voor diverse begroeiing geeft bewoners uitzicht op groen en elkaar

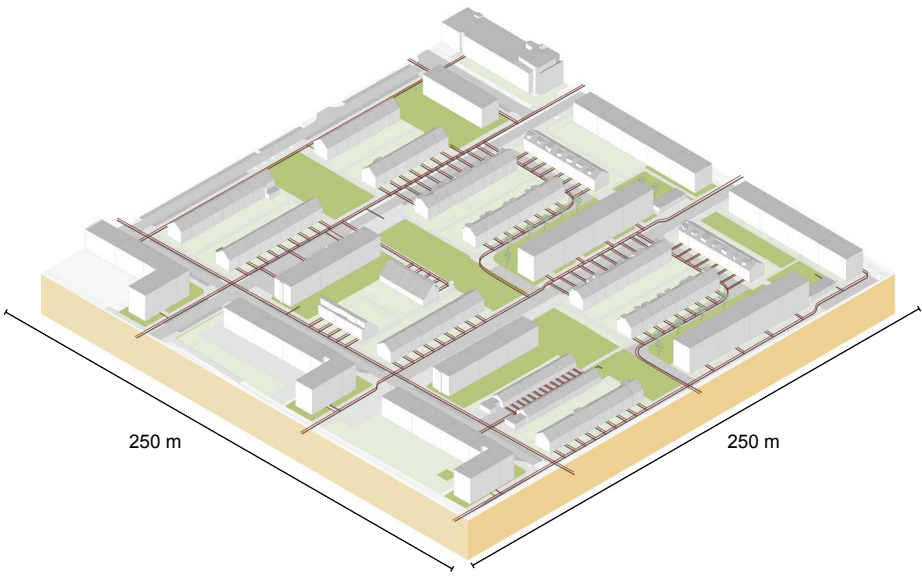
Ruimte voor waterretentie om bij hevige buien wateroverlast te beperken en de omliggende begroeiing te bewateren

2.7 Naoorlogse stempelwijk

Huidige situatie

Dit type wijk, gebouwd in het midden en aan het eind van de 20e eeuw, diende als een efficiënte, modernistische manier om tijdens een woningnood nieuwe woningen aan te kunnen bieden. Dit leverde vaak gestandaardiseerde bouw op waarvan de kwaliteit niet meer voldoet aan de huidige standaarden. Een groot deel van de woningen is sociale huur. Ondanks de hoge dichtheid zorgt de gestapelde bouw voor veel openbare ruimte. Dit biedt kansen voor de energietransitie. En ook voor klimaatadaptatie, recreatie en ecologische verbetering, al heeft het behoorlijk wat extra inzet nodig om hier ook een verblijfsplek te maken.

WIJKPASPOORT	
0,8	MXI
1,00	FSI
0,20	GSI
Bijzonder	Welstandsniveau
25/66/09	% Koop/coorp/huur part.
479	Woningen
164	Parkeerplaatsen
DE WIJK IN CIJFERS	
40%	% Groen per buurt
20%	% Bebouwd oppervlakte
C, D, A	Energielabel
0.46	Huidige netcapaciteit (MW)
1	Pv op dak in scenario's (MW)

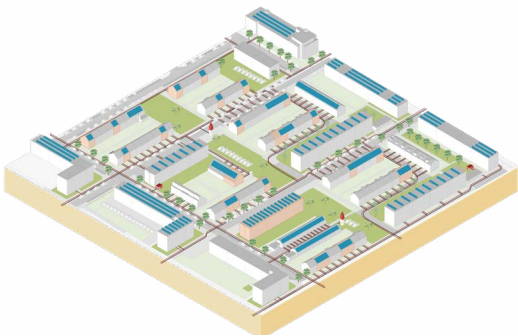


Naoorlogse stempelwijk

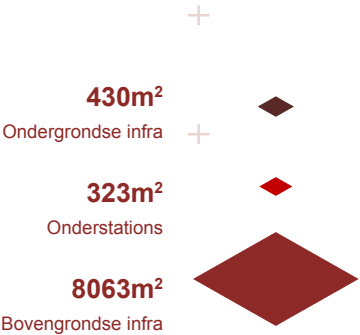
Ruimtebeslag binnen en buiten de wijk

AUTONOME GROEI

Netcapaciteit **2,15 MW**
6250 m² groenruimte



MSR **86m²**



ALL ELECTRIC

Netcapaciteit **1,25 MW**
1% van de groenruimte voor opslag



Netcapaciteit **0,93 MW**
3% van de groenruimte voor opslag

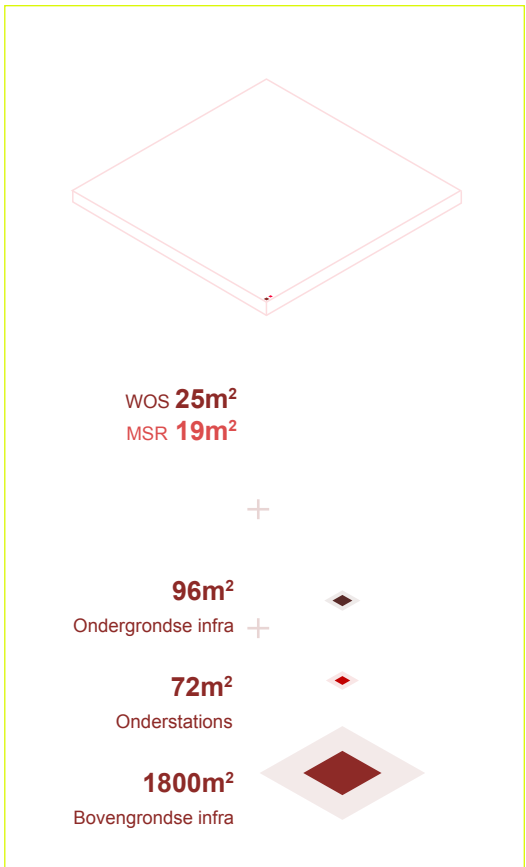


Netcapaciteit **0,79 MW**
10% van de groenruimte voor opslag



EXTERNE WARMTE

Netcapaciteit **0,48 MW**



Naoorlogse stempelwijk

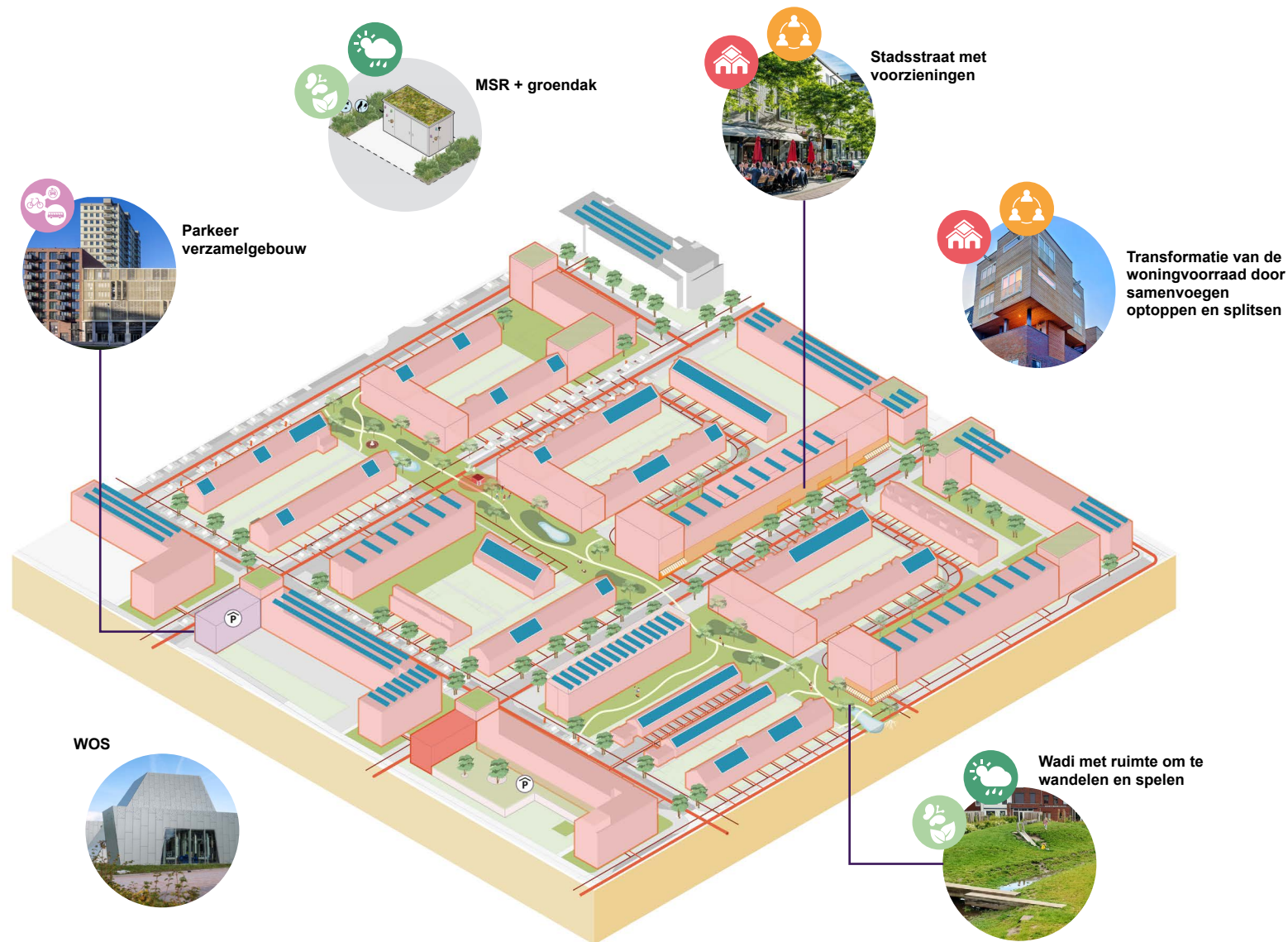
Toekomstbeeld

De stempelwijk heeft nogal wat opgaven die samenkomen. Zowel de openbare ruimte als de woningvoorraad vragen grootschalig onderhoud. Bij de woningen gaat het om een verduurzaming maar ook om de woonkwaliteit op peil te houden. Als de gemeente, woningcorporatie(s) en bewoners hier goed samenwerken, dan ontstaan veel mogelijkheden voor ruimtelijke kwaliteit. Een collectieve aanpak van de opgaven zorgt voor een betaalbare, efficiënte inrichting en een gefaseerde planning.

Isolatie van de woningen op gebouw- en blokschaal is goed te combineren met een upgrade naar een groene gevel of een energieproducerende gevel (BIPV). Voorzieningen in de plinten zorgen voor een functiemix wat ten goede komt aan de balans tussen energieopwek en -gebruik. Op de platte daken kunnen extra woningen komen. Extra inwoners helpen om het voorzieningenniveau op peil te houden.

Een warmtenet heeft verreweg de laagste maatschappelijke kosten. In de ondergrond is voldoende ruimte. Als het warmtenet efficiënt wordt aangelegd, blijft ruimte vrij voor wateropvang en bomen, zonder dat deze elkaar belemmeren. Dit is belangrijk omdat groenvoorzieningen momenteel vaak een enkelvoudig gebruik hebben. Door ze slim in te richten, kunnen ze de omgeving verkoelen en ruimte bieden voor ontmoeting tussen de bewoners. Een collectieve warmtevoorziening vraagt ook minder ruimte boven de grond. De benodigde warmteoverslagstations (WOS) zijn in pandig op te lossen in gebouwen waarin de parkeervoorzieningen zijn geclusterd.

Zo blijft de stempelwijk een betaalbare, leefbare en aangename woonwijk.



Isolatie
Warmteleiding
Elektra kabel

Sociale
duurzaamheid

biodiversiteit

(circulaire)
economie

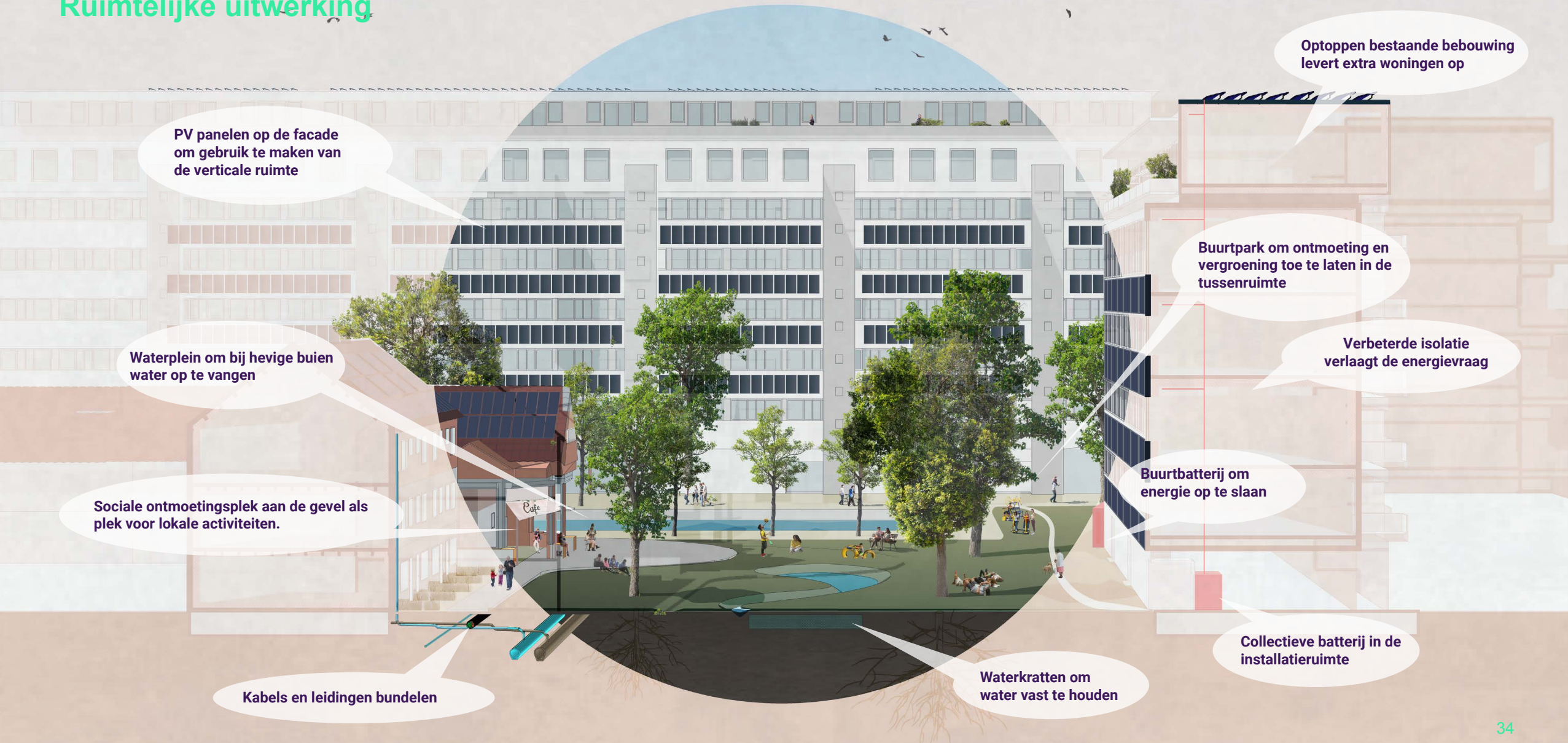
Klimaatadaptatie

Mobiliteitstransitie

Verdichtingsopgave

Naoorlogse stempelwijk

Ruimtelijke uitwerking

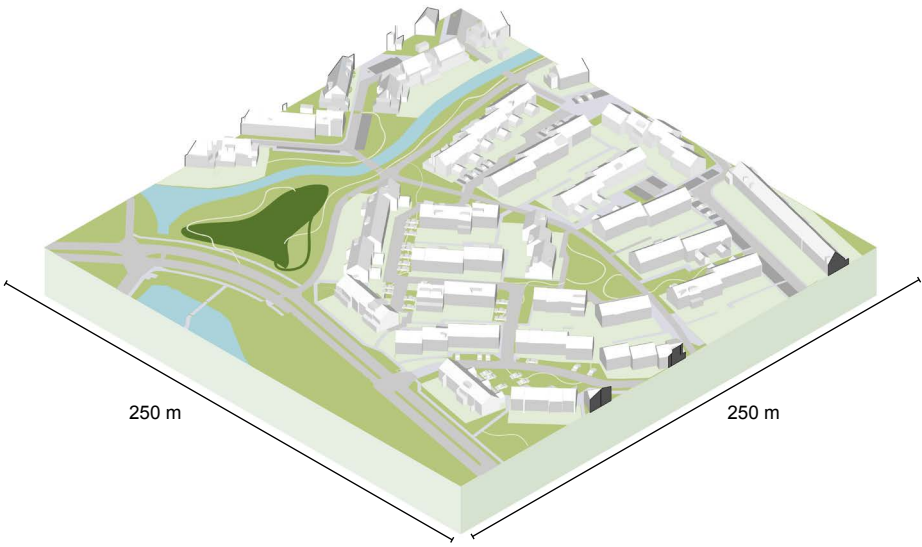


2.8 Laagstedelijke woonwijk

Huidige situatie

Deze wijk zijn door de jaren heen op verschillende plekken in de stad gebouwd: van de vroege tuindorpen tot de bloemkoolwijken van de jaren 70 en moderne Vinex-wijken. De opzet met grondgebonden rijtjeshuizen, vrijstaande woningen, twee-onder-een-kappers en incidentele appartementen in een gebied met veel ruimte voor groen zorgt voor een aantrekkelijk woonmilieu voor gezinnen en forensen. Hierbinnen vallen verschillende uitwerkingen en straatpatronen, maar met betrekking tot energie en ruimte betreffen dit ruime woningen uit de laatste eeuw waarvan de energieprestatie nogal uiteenloopt. De woningen zijn grotendeels in eigen bezit waardoor de bewoners eigenaarschap over hun woongebied (kunnen) nemen.

WIJKPASPOORT	
0,95	MXI
0,70	FSI
0,20	GSI
Welstandsvrij	Welstandsniveau
77/12/11	% Koop/coorp/huur part.
237	Woningen
149	Parkeerplaatsen
DE WIJK IN CIJFERS	
40%	% Groen per buurt
20%	% Bebouwd oppervlakte
C, B, A+	Energielabel
0.21	Huidige netcapaciteit (MW)
1,0	Pv op dak in scenario's (MW)



Laagstedelijke woonwijk

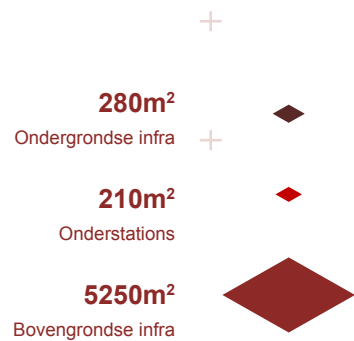
Ruimtebeslag binnen en buiten de wijk

AUTONOME GROEI

Netcapaciteit **1,4 MW**
25000 m² groenruimte

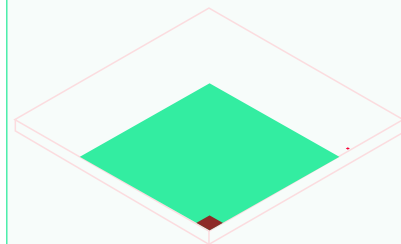


MSR **56m²**

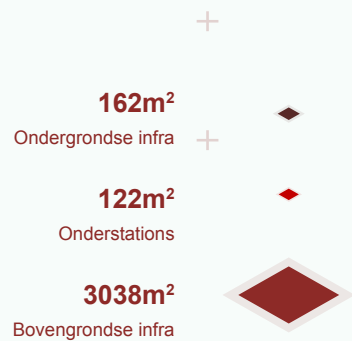


ALL ELECTRIC

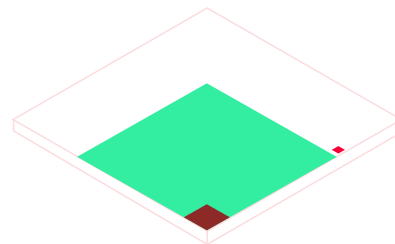
Netcapaciteit **0,81 MW**
1% van de groenruimte voor opslag



Batterij **250m²**
MSR **32m²**



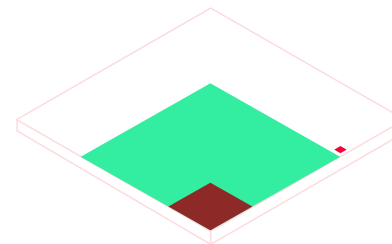
Netcapaciteit **1,53 MW**
3% van de groenruimte voor opslag



Batterij **750m²**
MSR **22m²**



Netcapaciteit **1,22 MW**
10% van de groenruimte voor opslag

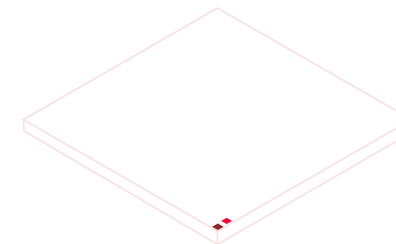


Batterij **2500m²**
MSR **20m²**



EXTERNE WARMTE

Netcapaciteit **0,75 MW**



WOS **18m²**
MSR **13m²**



Laagstedelijke woonwijk

Toekomstbeeld

De mate van particulier eigendom in deze wijken is een zegen en een vloek: bewoners zijn vaak zelf al aan de slag met de verduurzaming van hun huishouden, door betere isolatie, pv-panelen, een warmtepomp en een elektrische auto. Tegelijkertijd is de animo voor gedeelde oplossingen gering. Ook door de relatief lage dichtheid van deze wijken komen collectieve warmteoplossingen moeilijk van de grond.

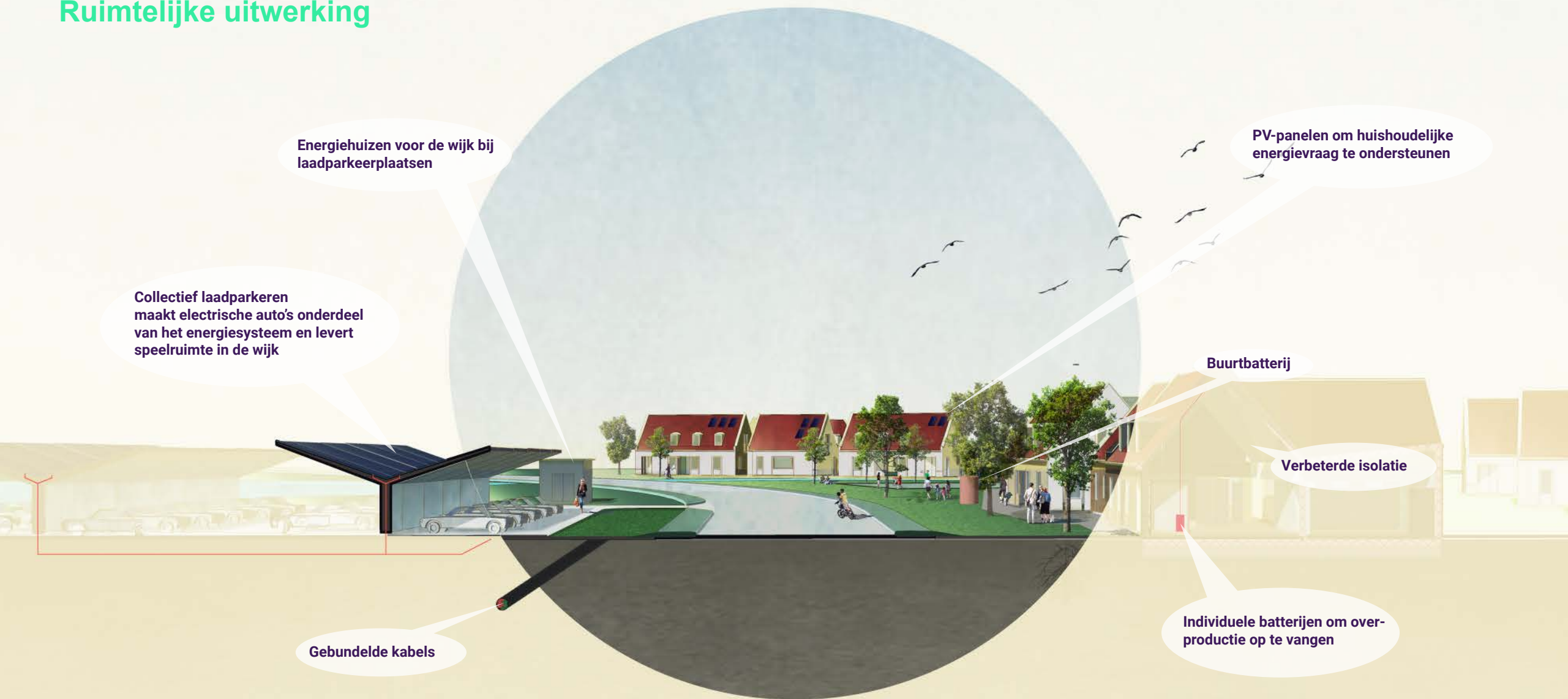
Het toekomstbeeld hiernaast is een “all electric” scenario, zonder collectieve warmtebron. Mensen hebben thuis een warmtepomp voor warmte. Woningen worden geleidelijk geïsoleerd tot een behoorlijk hoog niveau, wat nodig is bij een elektrische warmtevoorziening. De daken komen een van een vol te liggen met PV-panelen voor elektriciteit en/of PVT-panelen voor warmte en elektriciteit. Individuele aansluitingen kennen vrijwel dezelfde pieken en dalen van energieproductie en -verbruik: zonnepanelen leveren op hetzelfde moment elektriciteit en de auto's hangen allemaal rond het avondeten aan de laadpaal.

Dit betekent dat het stroomnet flink verzaamd moet worden. De groene opzet van deze wijken biedt hier wel ruimte voor. Een MSR die ook ecologische of recreatieve waarde heeft, kan onderdeel worden van de openbare ruimte. Dat geldt ook voor gestapelde batterijen in de wijk. Echt slimme oplossingen zoeken toch gedeelde waarde: een straat met een collectieve warmtepomp en WKO geeft veel minder belasting op het elektriciteitsnetwerk. Ook collectieve laadpleinen, met ruimte voor energieproductie en -opslag, verminderen het benodigde hoeveelheid kabels en andere infrastructuur, en dus de kosten. Hierdoor blijft de groene kwaliteit van de wijk behouden.



Laagstedelijke woonwijk

Ruimtelijke uitwerking

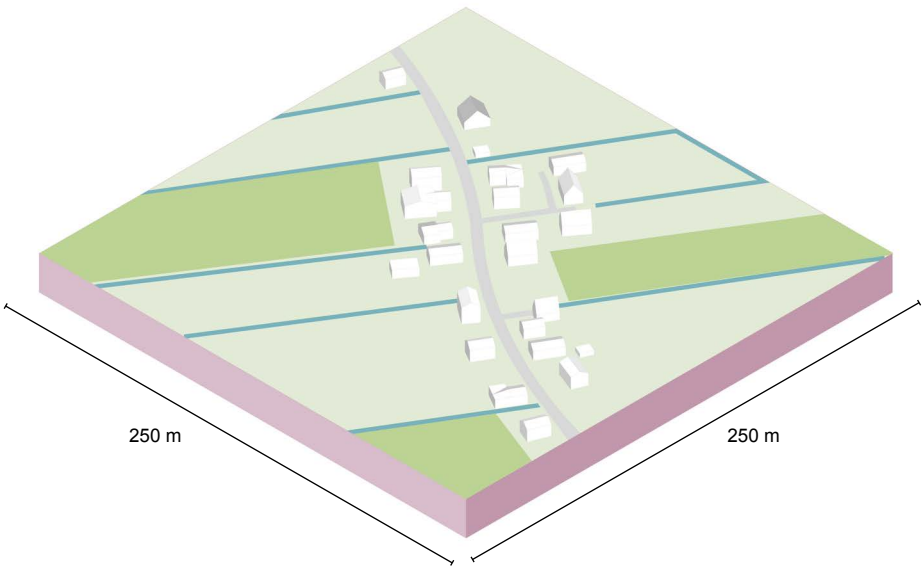


2.9 Lintbebouwing

Huidige situatie

Deze wijk kenmerkt zich door een (deels) historische vrijstaande gebouwen langs een uitgestrekte weg. Veelal bestaand uit voormalige boerderijen en landbouwbedrijven is er een erg lage dichtheid en hoge zelfbewoning. In de lintbebouwing is voldoende ruimte beschikbaar. De ligging aan de rand van de stad en dus de afstand tot de verstedelijkte en dichtbebouwde gebieden maakt het aanpassen van infrastructuur kostbaarder.

WIJKPASPOORT	
0,80	MXI
0.05	FSI
0,02	GSI
Bijzonder	Welstandsniveau
95/3/2	% Koop/coorp/huur part.
13	Woningen
11	Parkeerplaatsen
DE WIJK IN CIJFERS	
70%	% Groen per buurt
20%	% Bebouwd oppervlakte
C, B, A+	Energielabel
0.45	Huidige netcapaciteit (MW)
0,1	Pv op dak in scenario's (MW)

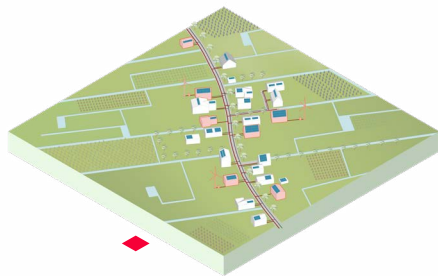


Lintbebouwing

Ruimtebeslag binnen en buiten de wijk

AUTONOME GROEI

Netcapaciteit **0,1 MW**
43750 m² groenruimte



MSR **4m²**

+

20m²

Ondergrondse infra

+

-

15m²

Onderstations

-

375m²

Bovengrondse infra



ALL ELECTRIC

Netcapaciteit **0,03 MW**
1% van de groenruimte voor opslag



Batterij **438m²**
MSR **1m²**

+

7m²

Ondergrondse infra

+

-

5m²

Onderstations

-

124m²

Bovengrondse infra



Netcapaciteit **0,02 MW**
3% van de groenruimte voor opslag



Batterij **1313m²**
MSR **1m²**

+

3m²

Ondergrondse infra

+

-

3m²

Onderstations

-

64m²

Bovengrondse infra



Netcapaciteit **0,01 MW**
10% van de groenruimte voor opslag



Batterij **4375m²**
MSR **0m²**

+

2m²

Ondergrondse infra

+

-

2m²

Onderstations

-

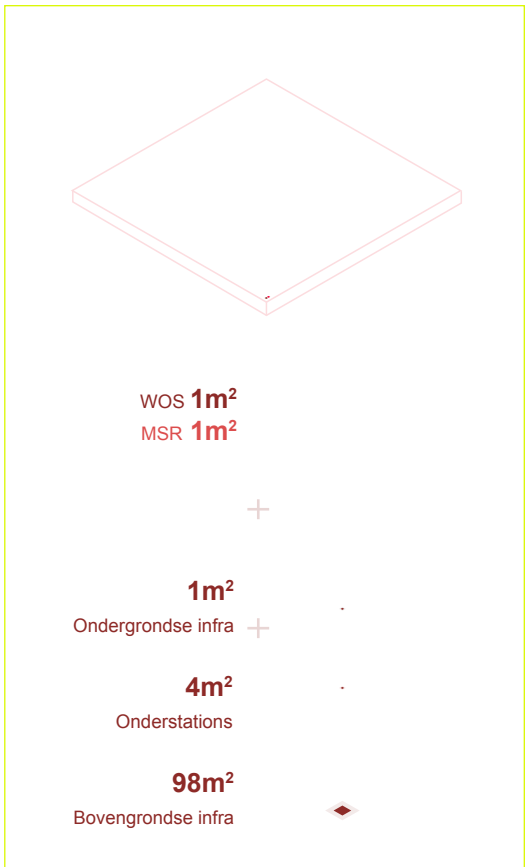
45m²

Bovengrondse infra



EXTERNE WARMTE

Netcapaciteit **0,03 MW**



WOS **1m²**
MSR **1m²**

+

1m²

Ondergrondse infra

+

-

4m²

Onderstations

-

98m²

Bovengrondse infra



BINNEN DE WIJK

BUITEN DE WIJK

Lintbebouwing

Toekomstbeeld

Door de lage dichtheid en wisselende energievraag wordt er lokaal ingezet op collectieve windmolens. Een aantal bewoners plaatst pv panelen om de energievraag op verschillende weersafhankelijke momenten bij te springen. Onder andere is het door de afstand niet efficiënt om een warmtenet aan te sluiten. Om de benodigde energie alsnog bij te springen wordt, afhankelijk van de type industrie in de omliggende velden, maaisel en mest vergist in individuele biovergisters. Dit biedt de mogelijkheid om op korte termijn aardgas met lokaal biogas te vervangen.



Lintbebouwing

Ruimtelijke uitwerking



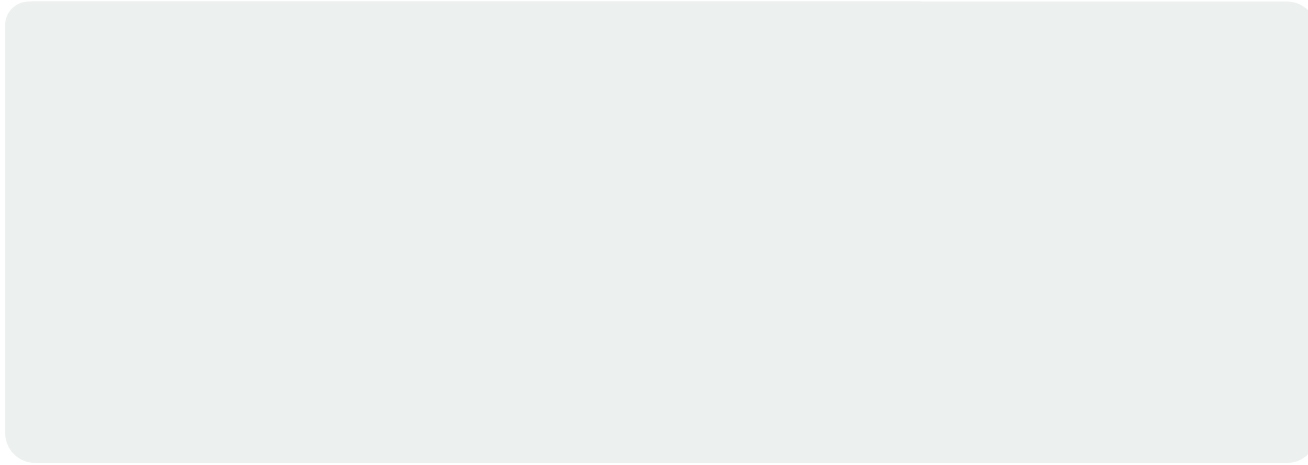
Collectieve windturbine
wekt lokaal groene energie op

Biovergister tank
zet organische stof om in biogas
om lokale piekvraag van warmte op
te vangen

Lokale oplossingen en een beetje
gas in het systeem betekent
aanzienlijk minder netverzwaring



3.0 Conclusies



3.1 Hoofdconclusies

Slimme wijkaanpak vermindert het ruimtebeslag van de warmtetransitie drastisch



De warmtetransitie vraagt ruimte in woning, straat en wijk en erbuiten. Denk aan een warmtepomp, maar ook elektriciteitsstations, kabels en energieopslag. De ruimteclaims binnen en buiten de wijk zijn verbonden en deels uitwisselbaar. Verkeerde keuzes of geen keuzes (en verkeerd ruimtegebruik) op de ene plek legt een exponentieel grote last op andere plekken. Om de leefbaarheid in wijken te behouden, is het noodzakelijk om een deel van de ruimtevraag buiten de wijk op te vangen. Afwenteling naar de regio blijft noodzakelijk, omdat de regionale voetafdruk niet evenredig daalt naarmate er meer opslagruimte in de wijk wordt gerealiseerd.

De studie leert ons ook dat de ruimtevraag beperkt kan worden door maken van slimme keuzes in de wijkaanpak. Isolatie verlaagt ruimtevraag voor energieopwekking, transport en opslag sterk, vooral bij elektrificatie van verwarming: een passiefhuis bespaart tot 70% op het verlies van openbare ruimte vergeleken met BENG-normen. Groene restwarmte en geothermie vragen veel minder elektriciteit en minder energie opslag en zijn daardoor ruimtelijk het meest geschikt, vooral in wijken met beperkte ruimte. Beschikbaarheid van warmtebronnen is echter afhankelijk van lokale factoren, waardoor inzet van warmtenetten alleen mogelijk is waar bronnen beschikbaar zijn.

Ook door de wijk op stadsniveau te benaderen kan de ruimtevraag voor de energieinfrastructuur afnemen. In dichtbebouwde wijken levert de inzet van openbare ruimte voor energieopslag beperkte netcapaciteitswinst

op, terwijl wijken met een lage dichtheid en veel groenruimte hiermee aanzienlijk meer kunnen bijdragen. Voor een optimale ruimtelijke inzet moet de warmtetransitie stadsbreed benaderd worden. Met een slimme wijkaanpak vermindert het ruimtebeslag van de warmtetransitie significant. Tegelijkertijd blijft er wel een ruimtelijke opgave over die concurreert met vergroening, klimaatadaptatie en mobiliteit. Door slim wijkontwerp volgens een aantal principes kan dit extra ruimtebeslag met behoud, of zelfs vergroting, van ruimtelijke kwaliteit zorgen.

De geleerde lessen worden op de volgende pagina's verder toegelicht.

1. De warmtetransitie in bestaande bouw zorgt altijd voor afwenteling van de ruimtevraag buiten de wijk.
2. Beperkte opslag in de wijk (bijvoorbeeld 1% van de groenruimte) verkleint de afwenteling op de regio exponentieel.
3. Door de wijk op stadsniveau te benaderen neemt de totale ruimtevraag voor energieinfrastructuur af. Een wijkaanpak kan dus niet zonder de stad
4. Verregaande isolatie is een voorwaarde voor warmtetransitie bij beperkte netcapaciteit.
5. Groene, duurzame restwarmte en geothermie is een goed idee waar mogelijk.
6. De inpassing van energie-infrastructuur in de ruimte kan op een slimme manier, waardoor het de ruimtelijke kwaliteit kan behouden of zelfs vergroten.



3.2 Les 1: De warmtetransitie in bestaande bouw zorgt altijd voor afwenteling van de ruimtevraag buiten de wijk



De warmtetransitie vraagt onvermijdelijk ruimte voor energie. De warmtetransitie in wijken vraagt ruimte voor opwek, transport, opslag en conversie. De stedenbouwkundige opzet van de wijken, dichtheid, maat en schaal van de openbare ruimte en andere ruimtelijke opgaven bepalen het maximale draagvermogen. Afwenteling van de ruimtevraag naar buiten de wijk is in alle gevallen nodig om de wijken leefbaar te houden. Een energiesysteem zonder voetafdruk buiten de wijk vraagt namelijk teveel ruimte voor opwek- en opslag van energie om binnen bestaande wijken te passen. Andersom geeft een wijk zonder ruimte voor opslag in de wijk, een te grote voetafdruk in de regio.

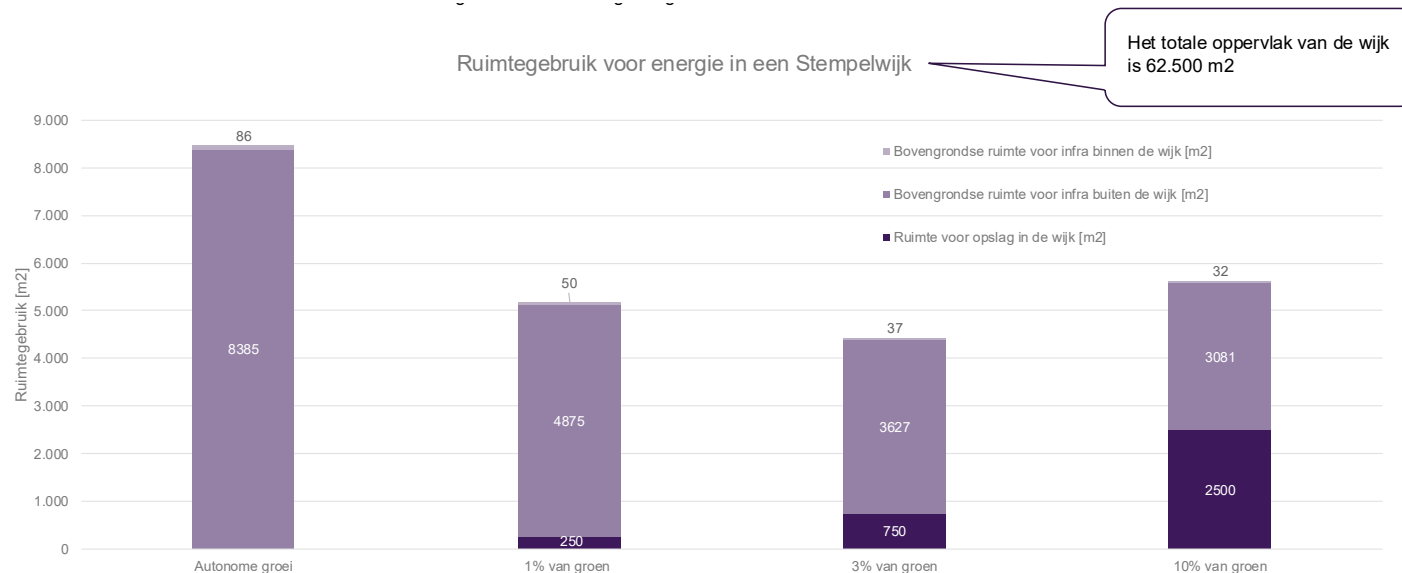
Want zelfs als we 10% van de groenruimte in een wijk voor opslag van energie gebruiken en daarmee de leefbaarheid sterk afneemt is er

nog steeds afwenteling nodig. Aan de andere kant kunnen we ook niet alles afwentelen: de regio en stad stellen voorwaarden aan hoeveel afgewenteld kan en hoeft te worden. Wijk, stad en regio zijn verbonden. Als voorbeeld noemen we een stempelwijk (de andere vijf typen wijken zijn te vinden in hoofdstuk 2). In alle geanalyseerde situaties voor de wijk, heeft de wijk ruimte in de regio nodig voor hoogspanningsinfrastructuur. Het ruimtegebruik voor infrastructuur in de wijk (distributietrafo's en warmtestations) is zeer beperkt. De analyses laten zien dat bij toenemende beschikbare ruimte voor opslag in de wijk (1%, 3%, 10% van de groenruimte) het ruimtegebruik in de wijk uiteraard toeneemt, maar dat het ruimtebeslag in de regio niet evenredig afneemt: de eerste paar procenten verminderen de regionale ruimtebehoefte het sterkst.

Niet alles kan in de wijk

Een klein rekenvoorbeeld laat zien dat de warmtetransitie niet enkel in de wijk opgelost kan worden. Er is energie (en dus ruimte!) van buiten de wijk nodig.

Een all-electric warmtepomp vraagt op een koude dag ongeveer 40kWh aan elektriciteit. De kritische periode is een periode van ongeveer drie weken in de winter waarop het koud is en weinig opwek van zon op het dak van de woning. Dat zijn ongeveer 70 powerwalls per woning. Of 21 m² aan opslag in containers. Dat is teveel om de leefbaarheid in de wijk op pijl te houden. Er is dus aanvullende energie van buiten de wijk nodig



Les 2: Circa 1% van de groenruimte voor opslag verkleint de afwenteling op de regio exponentieel



Het besteden van gemiddeld 1% van de groenruimte voor opslag van energie in de wijk, verlaagt de ruimtevrage voor infrastructuur voor de warmtetransitie in de stad en regio met ongeveer 50% met behoud van leefbaarheid (35% voor OV-knooppunt en Historisch centrum tot 65% voor Lintbebouwing).

De relatie tussen vermindering van benodigde netcapaciteit en opslag is exponentieel. Meer opslag heeft steeds minder effect op de benodigde netcapaciteit. Met energieopslag wordt energie opgeslagen om periodes van uren, dagen, weken of maanden te overbruggen. In een wijk is vaak ruimte voor opslag voor dagen, bijvoorbeeld in de vorm van een batterij of warmtebuffer.

Met een relatief kleine hoeveelheid batterijen (1% van de groenruimte) is dat vaak al mogelijk en wordt de benodigde netcapaciteit verlaagd, omdat de ergste pieken door de beperkte batterij opgevangen kunnen worden. Met een grotere batterij neemt de vermindering van de benodigde netcapaciteit relatief steeds minder af, omdat er steeds langere periodes overbrugd moeten worden voor een zelfde piekreductie op het net. Om nog meer vermindering van netcapaciteit te behalen moet opslag voor een periode van weken of maanden geplaatst worden. De omvang daarvan is vaak groter dan de 10% van het groen in een wijk.

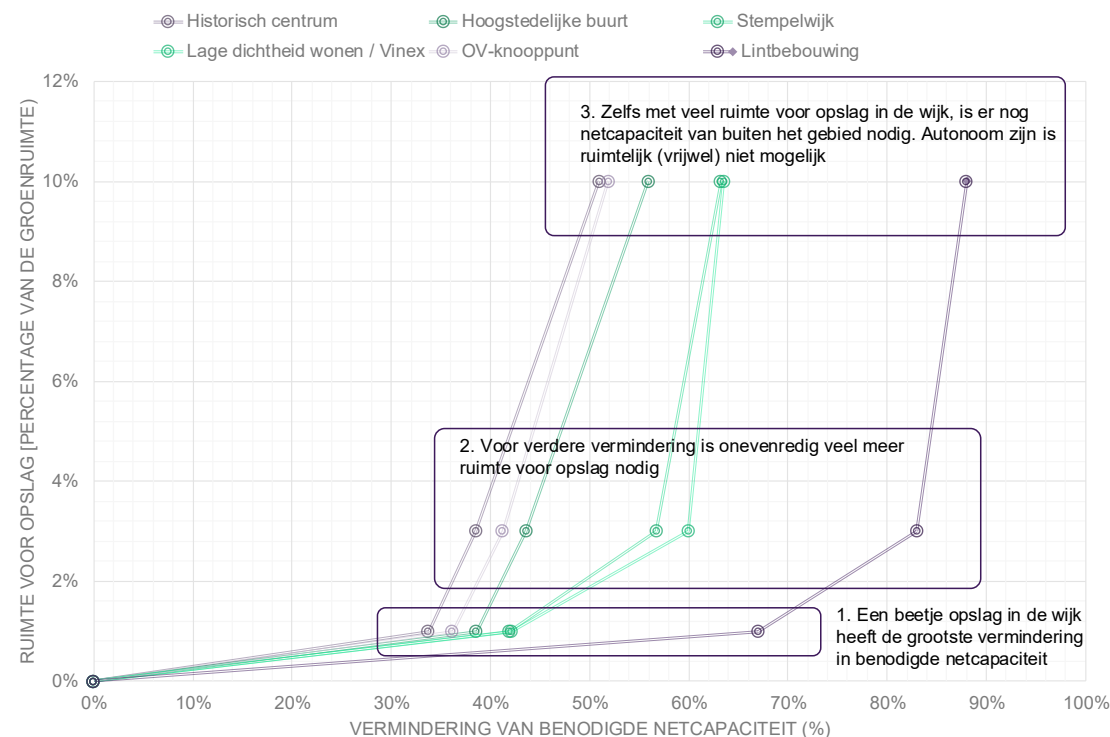
Verschillen per wijken

De analyses laten zien dat de dichtbebouwde wijken (zoals historisch centrum, OV-knooppunt en hoogstedelijke buurt) relatief minder ruimte hebben om hun netbehoefte te verminderen, terwijl dunbebouwde wijken juist meer potentie hebben. Optimaliseren op wijkniveau leidt daarom tot een sub-optimale inzet van ruimte. De wijken met veel ruimte kunnen hun ruimte inzetten om hun eigen netbehoefte nog verder te verlagen, maar het is (ruimtelijk) effectiever als deze wijken hun ruimte inzetten om dichtbebouwde wijken te helpen. De warmtetransitie is daarom een opgave die integraal op stadsniveau moet worden bekeken. Zie ook les 3.

Warmtetransitie niet enige ruimtevrager in de wijk

1% is goed inpasbaar in een wijk met behoud van leefbaarheid. De warmtetransitie is echter niet de enige ruimtevrager in een wijk. Er zijn bijvoorbeeld veel wijken waar ook woningen bijgebouwd worden. Om te voorkomen dat toekomstige ontwikkelingen niet mogelijk zijn is het van belang om daar rekening mee te houden en niet alle vrije ruimte te reserveren voor de warmtetransitie.

Voor een zelfde procentuele afname van netcapaciteit is steeds meer ruimte voor opslag nodig



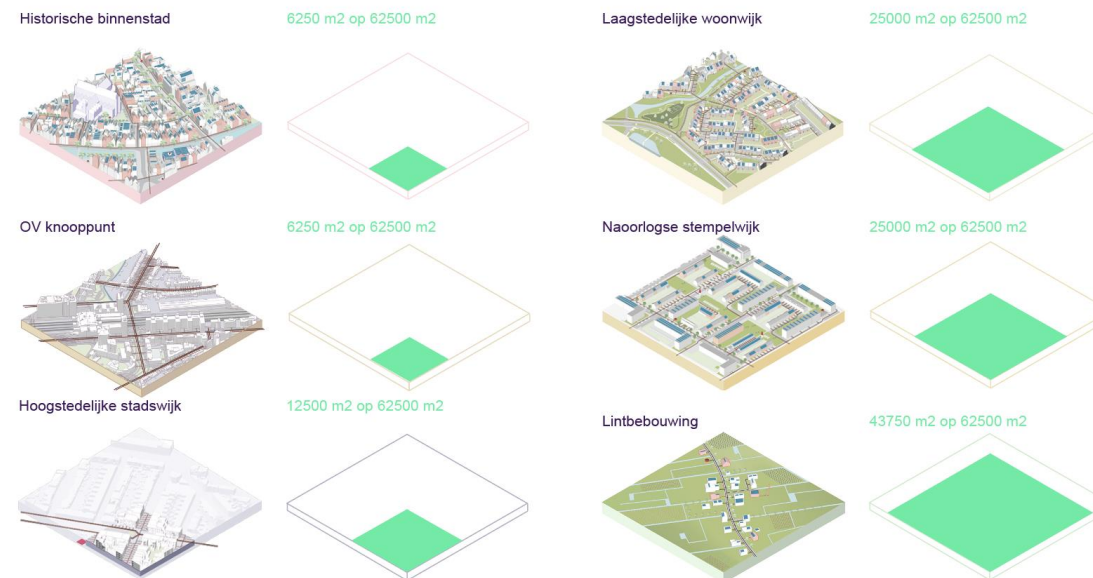
Les 3: Door de wijk op stadsniveau te benaderen neemt de totale ruimtevraag af



Bij een historische binnenstad is 1% van de groenruimte slechts een klein deel van de totale ruimte. De netcapaciteit kan in die wijk relatief weinig verminderd worden met opslag in de groenruimte. Ook heeft de aanwezige beschikbare groene ruimte veel waarde in deze dichtbebouwde wijk. In wijken met een lagere dichtheid en veel groen, zoals het laagstedelijk wonen, stempelwijken en lintbebouwing, is er juist veel groenruimte. Bij 1% van het groen in die wijk is dat al een grote batterij (18 MWh). Dit zorgt voor seizoensopslag en maakt beperkte netcapaciteit mogelijk (slechts 10% van de huidige netcapaciteit).

We zagen bij Les 2 dat de eerste paar procenten ruimtebeslag voor opslag veruit het meest effectief zijn om ruimtebeslag voor hoogspanningsinfrastructuur in de regio te beperken. De “extra” ruimte die er in wijken met een lage dichtheid is, wordt daarom ruimtelijk het meest effectief ingezet wanneer daarmee dichtbebouwde wijken ondersteund worden. Optimaliseren voor de eigen wijk levert – ruimtelijk- een sub-optimale inzet van de schaarse ruimte in de stad.

Het is daarom noodzakelijk om over de wijken heen te kijken en de warmtetransitie als een integrale opgave op stadsniveau te beschouwen. Optimaliseren van ruimtelijke inrichting van wijken begint dan ook op stadsniveau.

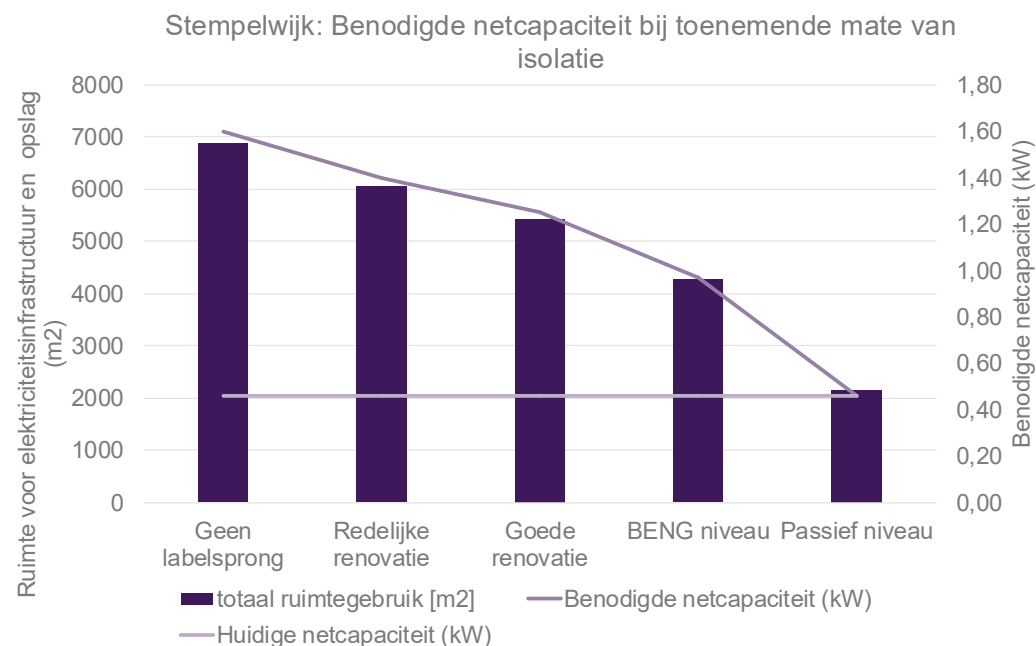


Les 4: Verregaande isolatie is een voorwaarde voor warmtetransitie bij beperkte netcapaciteit



Elke kWh kost ruimte aan opwek, transport en opslag. Isolatie is nu vooral nog een duurzame en economische afweging. Maar met de elektrificatie van de warmtevraag wordt het bovenal een ruimtelijke afweging. We hebben simpelweg de ruimte niet om “verspilling” te verduurzamen. Een passiefhuis vraagt 70% minder ruimte voor opwek, transport en opslag voor de verwarming dan een goede woning volgens BENG. Het totale ruimtegebruik voor energie binnen en buiten de wijk verlaagt met een factor 2 bij een naoorlogse wederopbouwwijk. De warmtetransitie kan in het huidige net gerealiseerd worden met passieve renovatie en opslag in 1% van de groenruimte in de wijk.

Op de volgende pagina wordt voor de stempelwijk de ruimtelijke impact van isolatie getoond.



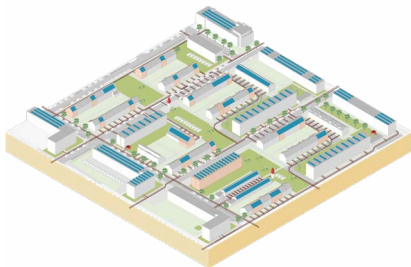
Les 4: Verregaande isolatie is een voorwaarde voor warmtetransitie bij beperkte netcapaciteit (vervolg)

BINNEN DE WIJK

BUITEN DE WIJK

GEEN ISOLATIE

Netcapaciteit **1,60 MW**
0,46 MW huidige capaciteit



Batterij **250m²**
MSR **64m²**

+

240m²
Onderstations

6000m²
Bovengrondse infra

REDELIJKE ISOLATIE

Netcapaciteit **1,40 MW**
0,46 MW huidige capaciteit



Batterij **250m²**
MSR **56m²**

+

210m²
Onderstations

5250m²
Bovengrondse infra

GOEDE ISOLATIE

Netcapaciteit **1,25 MW**
0,46 MW huidige capaciteit



Batterij **250m²**
MSR **50m²**

+

188m²
Onderstations

4688m²
Bovengrondse infra

BENG NIVEAU

Netcapaciteit **1,00 MW**
0,46 MW huidige capaciteit



Batterij **250m²**
MSR **39m²**

+

146m²
Onderstations

3638m²
Bovengrondse infra

PASSIEF NIVEAU

Netcapaciteit **0,46 MW**
0,46 MW huidige capaciteit



Batterij **250m²**
MSR **18m²**

+

92m²
Onderstations

1725m²
Bovengrondse infra

Les 5: Groene, duurzame restwarmte en geothermie is een goed idee waar mogelijk



Voor groene, duurzame restwarmte en geothermie is geen aanvullende opwek, opslag en bovengronds transport nodig¹. Dit in tegenstelling tot warmtepompen en aquathermie, waar in de winter nog aanvullende elektriciteit naartoe moet. Dit zijn juist momenten met weinig opwek uit wind en zon, waardoor er ook opslag nodig is bij beperkte netcapaciteit.

De grafiek “Bovengronds ruimtegebruik voor energie in een stempelwijk” laat zien dat externe warmte uit geothermie of een groene restwarmtebron het minste bovengrondse ruimtegebruik op alle drie de schaalniveaus heeft. Dit ruimtegebruik beperkt zich tot het huidige ruimtegebruik voor elektriciteits-infrastructuur en in beperkte mate aanvullende warmtestations in de wijk. NB: ondergronds ruimtegebruik voor warmtenetten is hierin niet meegenomen.

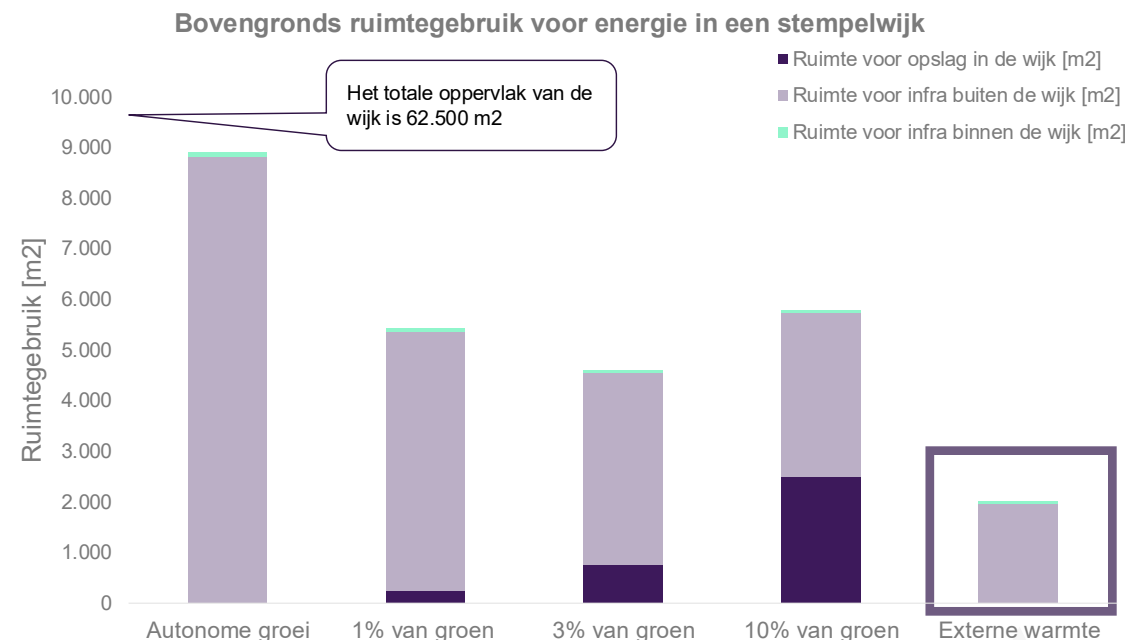
Vanuit bovengrondse ruimte gezien (binnen én buiten de wijk) is geothermie of duurzame restwarmte de meest logische oplossing. Externe groene warmte is alleen lang niet overal beschikbaar. Dit is afhankelijk van lokale factoren zoals de beschikbaarheid van bronnen en de ondergrond. Daarnaast zijn warmtenetten lastig te organiseren en kostbaar. Maar, waar mogelijk is het wel de meest effectieve oplossing, zeker in wijken waar ruimte een bottleneck is. In wijken waar geothermie of groene restwarmte beschikbaar is (én waar efficiënt gekoeld kan worden) moeten we volop inzetten om deze warmtebronnen te gebruiken.

Het gaat om de warmtebron, niet om het warmtenet

Meer dan eens tijdens gesprekken over energievoorzieningen in wijken, gaat het over warmtenetten als oplossing voor schaarse netcapaciteit. Maar niet het warmtenet, maar de warmtebron heeft de impact op de benodigde netcapaciteit (en de ruimte voor netverzwaringen). Een warmtenet met een elektrische boiler vraagt veel meer stroom dan goed ingeregelde individuele warmtepompen.

Groene, duurzame restwarmte en geothermie vragen weinig elektriciteit om te produceren en zijn dus een goed idee waar dit mogelijk is. Het nadeel van deze warmtebronnen is dat er een warmtenet voor nodig is. Verwar dit niet met dat warmtenetten een goed idee zijn.

¹In de praktijk worden er bij restwarmte en geothermie ook piekketels en/of warmtebuffers toegepast om de piekvraag in de winter te kunnen leveren.



De totale bovengrondse ruimtelijke impact van externe groene warmte is lager dan alle andere oplossingen. Met name omdat er geen ruimte gereserveerd hoeft te worden voor energieopslag in de wijk.

Ondergronds vraagt een warmtenet meer ruimte dan het elektriciteitsnet in een wijk. Voorwaarde voor een warmtenet is dat er ondergronds voldoende ruimte is.

Les 6: De inpassing van energie-infrastructuur in de ruimte kan op een slimme manier, waardoor het de ruimtelijke kwaliteit kan behouden of zelfs vergroten



Zes ontwerpprincipes voor een goede ruimtelijke inpassing

De ruimtelijke opgave van een duurzame energievoorziening engineeren we niet meer weg. Het gaat hoe dan ook ruimtelijke impact hebben, in de wijk, de stad en de regio. De energietransitie legt daarmee een ruimteclaim, die concurreert met de vraag voor vergroening, voor klimaatadaptatie, voor de mobiliteitstransitie. Als we proberen om al die opgaven los van elkaar op te lossen, als puzzeltjes op zich, dan past het niet. We kunnen de energietransitie dus niet langer als losse technische opgave zien, maar maken deze integraal onderdeel van de inrichting van de ruimte in buurten, wijken, steden en het landelijke gebied. Keuzes die op woning-, blok- en buurtniveau gemaakt worden hebben consequenties voor het ruimtebeslag op hogere schaalniveaus. Energie hoort daarom bij stadsplanning zoals andere stedelijke aspecten als mobiliteit, groen, water, bodem, erfgoed, milieu en veiligheid. Ontwerpprincipes die daarbij van toepassing zijn:



Slim positioneren

Bomen in de straat bieden niet alleen een hoogwaardiger buitenruimte, maar ook biodiversiteit en koeling. Wanneer deze bomen aan de warme zonnkant van de straat geplaatst worden, creëert dat ruimte in de ondergrond aan de koele schaduwzijde voor infrastructuur die daardoor minder snel opwarmen. Dit zorgt er tevens voor dat de zonnepanelen minder last hebben van schaduw van de bomen en dat bewoners op warme dagen in de schaduw kunnen lopen. Het slim positioneren werkt niet alleen in de wijk, maar ook op stadsniveau. Onderstations hebben een strategische rol. Ze verbeteren het vestigingsklimaat voor bedrijven. Aan de randen van de stad zorgen ze voor uitwisseling van energie met de regio. Met een goed ontwerp biedt een onderstation ruimte voor recreatie en natuur. Deze slimme keuzes op de schaal van de stad, beperken op hun beurt weer de ruimtevrage voor recreatie en natuur in de wijken.



Clustering en collectieven

In wijken met hoge dichtheden vragen collectieve warmteoplossingen zoals warmtepompen of WKO op een blokniveau minder ruimte dan individuele elektrische verwarming. Zowel op niveau van de individuele woning als in de openbare ruimte scheelt dit aanzienlijk in ruimtebeslag. Geclusterde oplossingen voor elektrisch laden, op laadpleintjes, voorkomt nodeloos veel laadpalen in de wijk en extra kabels onder de grond. Clusteren van parkeren vermindert ook de hoeveelheid verhard oppervlak. Ruimte die dus beschikbaar komt voor vergroening en verkoeling om de wijk aangenamer te maken.

Als we op een groter schaalniveau kijken, geldt hetzelfde: gebieden met verschillende energieprofielen ondersteunen elkaar. Kantoren en loodsen met grote daken wekken elektriciteit op voor wijken ernaast. Sportvelden verzamelen warmte voor de omgeving. En door energie op te slaan (in batterijen of warmtebuffers) op bedrijventerreinen ontstaan slimme hubs in het energiesysteem van de stad.



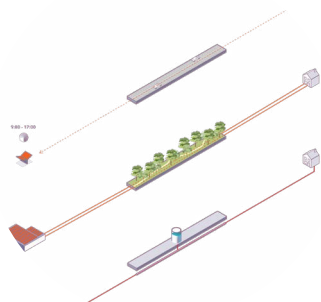
Functiecombinaties

Gecombineerde functies beperken de benodigde oppervlakte. Een transformatorhuisje met een buurtbatterij vraagt minder ruimte dan twee losse voorzieningen. Een warmteoverdrachtstation met nestkasten of vleermuisverblijven ondersteunt zowel de netwerken van energie als ecologie.

Les 6: De inpassing van energie-infrastructuur in de ruimte kan op een slimme manier, waardoor het de ruimtelijke kwaliteit kan behouden of zelfs vergroten



Zes ontwerpprincipes voor een goede ruimtelijke inpassing



Corridors

Het transport van elektriciteit en warmte gebeurt op stadsschaal doormiddel van ondergrondse en bovengrondse infrastructuur. Deze corridors, tussen productie en gebruik, hebben een grote ruimtelijke impact zowel in de bovengrond als in de ondergrond. Vaak is het onmogelijk om permanente bebouwing te realiseren onder of boven deze infrastructuur. Om deze grootschalige ruimtes meerwaarde te geven is het mogelijk ruimtelijke kwaliteit toe te voegen. Deze ruimtes zijn geschikt voor ecologische verbindingzones, infrastructuur of als opslag tussen bedrijventerrein en wijk, als uitwisselpunt. Door deze grote structuren een goede invulling te geven kan deze ruimte worden benut en heeft het ruimtelijke kwaliteit. Bij nieuwbouw, verdichting van de stad of andere transformaties in het stedelijk gebied dient ruimte gereserveerd te worden voor deze corridors.



Verticale ordening

In smalle straatjes is het echt zoeken naar mogelijkheden. Kabels en leidingen voor elektriciteit, gas, warmte, data, drinkwater en riolering hebben allemaal een eigen eisenpakket. Hier is een verticale ordening van de ondergrond noodzakelijk en afspraken tussen verschillende beheerders. Niet naast elkaar, maar met elkaar.



Reserveer ruimte voor energie-infrastructuur

Wat er precies nodig is aan ruimte in de toekomst voor de energietransitie is nog niet duidelijk, maar dat er ruimte nodig is staat vast. Reserveer daarom bij toekomstige ontwikkelingen en transformaties van gebieden bovengrondse en ondergrondse ruimte. Bijvoorbeeld verbindende groenzones waar later ruimte is voor uitbreiding van kabels. Deze gereserveerde ruimte kan ook dienst doen als ecologische verbindingzones. Door deze grote structuren een goede invulling te geven kan deze ruimte worden benut en heeft het toekomstbestendige ruimtelijke kwaliteit.

4.0 Reflecties



4.1 Reflecties



Ruimtelijk ordening en duurzaamheid vragen om de ontwikkeling van een gezamenlijke taal

Energie is nog vaak een blinde vlek bij ruimtelijke ordening. Als onderdeel van de infrastructuurlaag zou het energiesysteem voorwaardelijk moeten zijn voor de functies die we in gebieden ontwikkelen. Onbekendheid met hoe een energiesysteem functioneert maakt dat dit thema makkelijk wordt weggeschoven bij gebiedsontwikkelingen. Op een vergelijkbare wijze is er weinig beeld van de ruimtelijke eisen die horen bij de verduurzamingsambities van bedrijven, (nieuwbouw) wijken en gemeenten. Samenwerking tussen planologen en duurzaamheidsspecialisten begint bij het spreken van een gezamenlijke taal en het hanteren van gezamenlijke beelden. Daar moeten beide disciplines zich op ontwikkelen.

Verzilveren van de meerwaarde van slimme keuzes

We zien op veel plekken initiatieven ontstaan die de vraag naar verzwarende van elektriciteitsinfrastructuur verminderen. Daarmee verminderen ze dus ook de ruimteclaim van de energietransitie. We zien hier de komende jaren een spannende situatie ontstaan. Durven netbeheerders te vertrouwen op de opschaling van deze initiatieven en durven ze daarmee verzwarende investeringen uit te stellen of zelfs af te stellen? Deze vraag zal onderdeel moeten zijn van een politiek-maatschappelijk debat.

Collectieve oplossingen vragen om een nieuwe vorm van sturing

Collectieve keuzes zorgen over het algemeen voor een beperking van de ruimtevraag. Denk aan blokverwarming voor een rij huizen, gemeenschappelijke laadpleinen en een buurtbatterij in plaats van thuisbatterijen. Deze oplossingen ontstaan niet vanzelf en hebben een nieuwe vorm van sturing nodig. Zowel voor het realiseren van collectieve oplossingen als het loslaten van de vrije keuze voor energieoplossingen. Dit is nu nog nauwelijks bespreekbaar, zeker voor de bestaande bouw.



4.2 Vervolg vragen



1. We weten dat er nog veel meer ruimte vragende opgaven in de wijk liggen dan enkel de warmtetransitie. Als we het nu optimaliseren voor de warmtetransitie, creëren we een lock-in of drempel voor de opgaven die daarna komen. Hoe is de interactie tussen al deze opgaven? Hoe wegen we ruimtevragers in de wijk af?
2. De wijk heeft een onvermijdelijke footprint in de stad en regio, maar hoeveel kunnen deze opvangen? Hoe wegen we de ruimtevragers daar af? Hoe is de optimale verdeling van ruimte in wijk, stad en regio?
3. Wat is een ruimtelijk rechtvaardige verdeling van ruimtevragers tussen verschillende wijken?
4. Is er een maximaal 'leefbaar' ruimtebeslag voor energie vast te stellen?
5. De aanleiding van de verduurzaming is het voorkomen of verminderen van klimaatverandering door de uitstoot van broeikasgassen, met alle negatieve effecten die dat veroorzaakt. Maar: een energiesysteem gebaseerd op duurzame energiebronnen, heeft ook negatieve effecten. In dit geval, vermindering van de ruimtelijke kwaliteit. Daarbij komen nog bijvoorbeeld tijdsbesteding en materiaalgebruik. Hoe is deze afweging? Is een 100% duurzame energievoorziening verantwoord? Of hebben we hier nieuwe keuzes te maken?
6. Wat zijn de implicaties van de inzichten op gebied van energie en ruimte voor het omgevingsrecht?
7. Kunnen we de ondergrond ruimtelijk beter benutten, hoe doen we dat dan en wie kan hier de leiding in nemen?
8. Multifunctionaliteit is in de energiewereld, in tegenstelling tot ruimtelijke ordening, nog weinig toegepast, welke innovatieve oplossingen zijn er? Zo is het combineren van een onderstation met een bedrijventerrein bijvoorbeeld een logische match, die bij voorkeur niet wordt toegepast vanwege de hogere grondprijzen op het bedrijventerrein.
9. Energie vraagt om een andere manier van ruimtelijk denken. Energie is vaak een blinde vlek in ruimtelijke ordening en geen vanzelfsprekendheid bij projectontwikkelaars. Met de ruimtelijke afwenteling buiten de wijk of een projectgebied is de energieoplossing een complex vraagstuk geworden. Voor de vraag hoe we dit bij betrokkenen vroeg op de agenda krijgen lijkt integrale gebiedsontwikkeling de enige oplossing. Is dat ook zo? En hoe ziet dat proces er dan uit?
10. (Externe) groene warmte is ruimtelijk efficiënter dan individueel elektrificeren. Sturen op type warmteoplossing voor bewoners is nu nog beperkt mogelijk. Hoe, waar en door wie kan er gestuurd worden op deze oplossingen als dat zorgt voor leefbare wijken?

4.3 Aanbevelingen



De resultaten laten zien dat de ruimtelijke impact van de warmtetransitie aanzienlijk kan worden beperkt door bewuste en samenhangende keuzes te maken.



Het benutten van circa 1% van de groenruimte in wijken voor energieopslag blijkt een effectieve ruimtelijke hefboom: een relatief kleine ingreep op wijkniveau leidt tot een sterke vermindering van de ruimtevraag op stedelijk en regionaal schaalniveau.



Daarbij is het essentieel om de warmtetransitie niet per wijk, maar stadsbreed te benaderen, zodat wijken met meer ruimte dichter bebouwde wijken kunnen ondersteunen en de totale ruimtevraag evenwichtiger wordt verdeeld.



Verregaande isolatie en energiebesparing verminderen de energievraag substantieel en dragen daarmee direct bij aan het beperken van de benodigde energie-infrastructuur en het ruimtebeslag.



Waar mogelijk verdienen groene restwarmte en geothermie de voorkeur, vanwege hun beperkte bovengrondse ruimtelijke impact en lagere belasting van het elektriciteitsnet.



Tot slot vraagt de energietransitie om een expliciete ontwerpende benadering, waarin energie-infrastructuur niet als sluitpost maar als integraal onderdeel van het ruimtelijk ontwerp wordt meegenomen.

5.0 Bijlagen



Toelichting ruimtegebruik in analyses



Schaalniveau	Ruimtegebruiker	Toelichting
Wijk	Netcapaciteit [MW]	De totale benodigde netcapaciteit van de wijk in de verschillende scenario's
Wijk	Batterij [m2]	Beschikbare ruimte voor batterij bij 1, 3 of 10% van groenruimte in de wijk
Wijk	MSR [m2]	Aantal m2 nodig voor middenspanningsruimtes van de netbeheerder, schaalt lineair met netcapaciteit in wijk
Wijk	WOS [m2]	Aantal m2 voor warmte overdrachtsstation : een station waarin de druk en de temperatuur van het warmtenet geregeld wordt. Alleen nodig bij een warmtenet.
Stad	Ondergrondse infra [m2]	Benodigde ruimte voor ondergrondse middenspanningskabels van 10 kV of 20 kV
Regio	Onderstations [m2]	Terrein waar hoogspanning naar middenspanning wordt geregeld.
Regio	Bovengrondse infra [m2]	Ruimtegebruik voor bovengrondse hoogspanningskabels

Omvang van opslag bepalend voor analyse

In de analyses blijkt de omvang van opslag een erg bepalende factor te zijn. Er kan uitgegaan worden van de directe omvang van een batterij (afmetingen van container), of van de omvang van een batterij + veiligheidsmarge. In dit onderzoek is uitgegaan van de omvang + veiligheidsmarge die is toegepast met het Saticoy project. Wanneer er innovaties komen waarbij de energiedichtheid van batterijen toeneemt, of waarbij de batterijen dichter naast of op elkaar geplaatst kunnen worden kan de hoeveelheid opslag in een gebied flink toenemen met hetzelfde ruimtegebruik.

Voorbeeld:

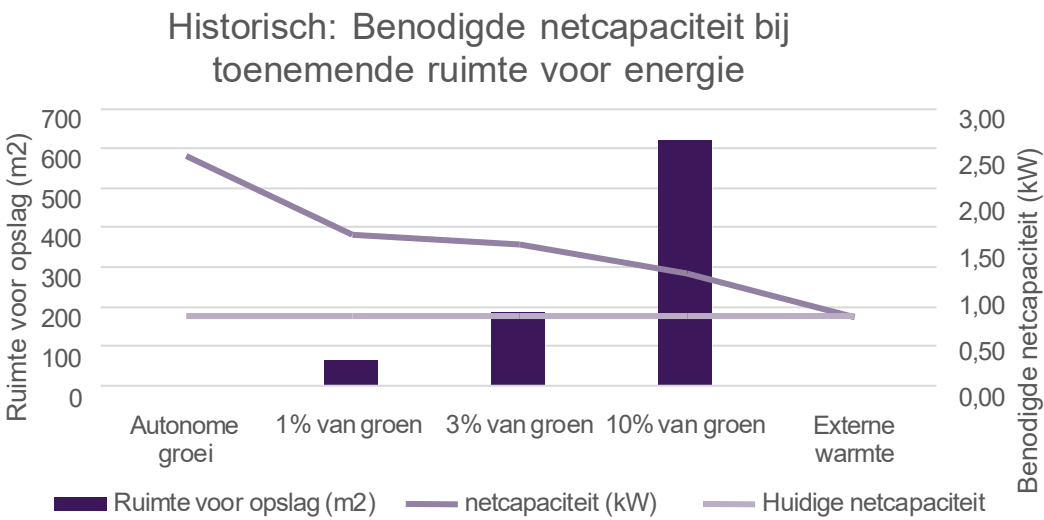
Ruimtegebruik + veiligheidsmarge Saticoy: 0.025 m2/ kWh; Ruimtegebruik container zonder veiligheidsmarge: 0.007 m2/ kWh.



Historische binnenstad

Wijkpaspoort voor Energie

Huidige netcapaciteit (MW)	0.76
Oppervlakte terrein (m2)	62500
Aandeel groen (m2)	6250
Bebouwd oppervlakte (m2)	25000
Totaal vloeroppervlakte (m2)	68750
Pv op dak in scenario's (MW)	2.00



Wijkpaspoort voor Energie

		1. huidige situatie	2. Autonome groei	3. 1% ruimte voor energie	4. 3% ruimte voor energie	5. 10% ruimte voor energie	6. Externe warmte
Wijk	Netcapaciteit [MW]	0.760	2.490	1.650	1.530	1.22	0.75
	Batterij [m2]	-	-	63	188	625	-
	MSR [m2]	30	100	66	61	49	30
	WOS [m2]	-	-	-	-	-	28
Stad	Ondergrondse infra [m2]	152	498	330	306	244	150
Regio	Onderstations [m2]	114	374	248	230	183	113
	Bovengrondse infra [m2]	2850	9338	6188	5738	4575	2813

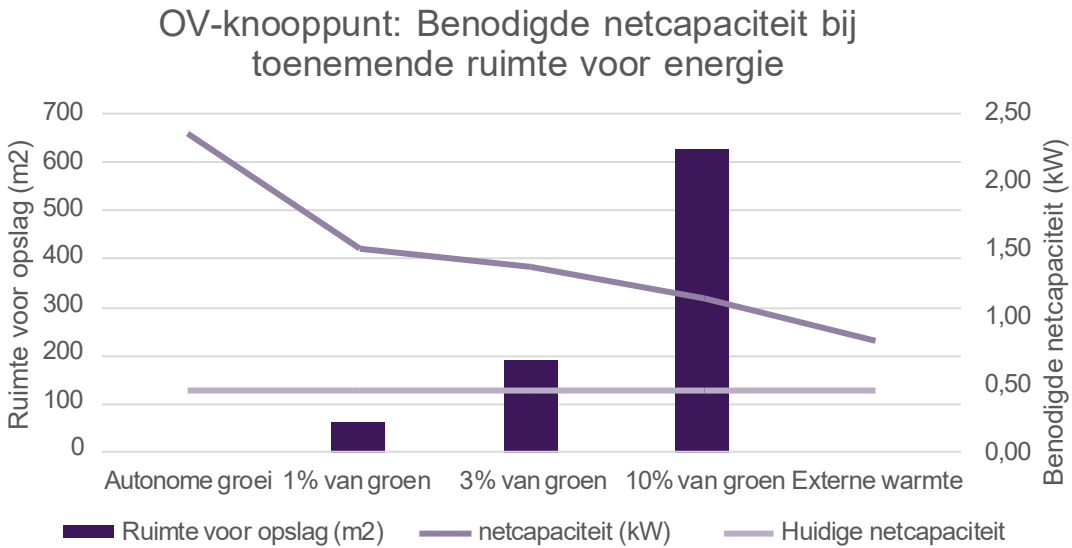
Batterijomvang bij toenemend beslag op groen

	1% ruimte voor energie	3% ruimte voor energie	10% ruimte voor energie
Batterij (MWh)	2.5	7.5	25.0

OV knooppunt

Wijkpaspoort voor Energie

Huidige netcapaciteit (MW)	0.84
Oppervlakte terrein (m2)	62500
Aandeel groen (m2)	6250
Bebouwd oppervlakte (m2)	25000
Totaal vloeroppervlakte (m2)	71875
Pv op dak in scenario's (MW)	2.00



Wijkpaspoort voor Energie

		1. huidige situatie	2. Autonome groei	3. 1% ruimte voor energie	4. 3% ruimte voor energie	5. 10% ruimte voor energie	6. Externe warmte
Wijk	Netcapaciteit [MW]	0.840	2.350	1.500	1380	1.13	0.82
	Batterij [m2]	-	-	63	188	625	-
	MSR [m2]	34	94	60	55	45	33
	WOS [m2]	-	-	-	-	-	24
Stad	Ondergrondse infra [m2]	168	470	300	276	226	164
Regio	Onderstations [m2]	126	353	225	207	170	123
	Bovengrondse infra [m2]	3150	8813	5625	5175	4238	3075

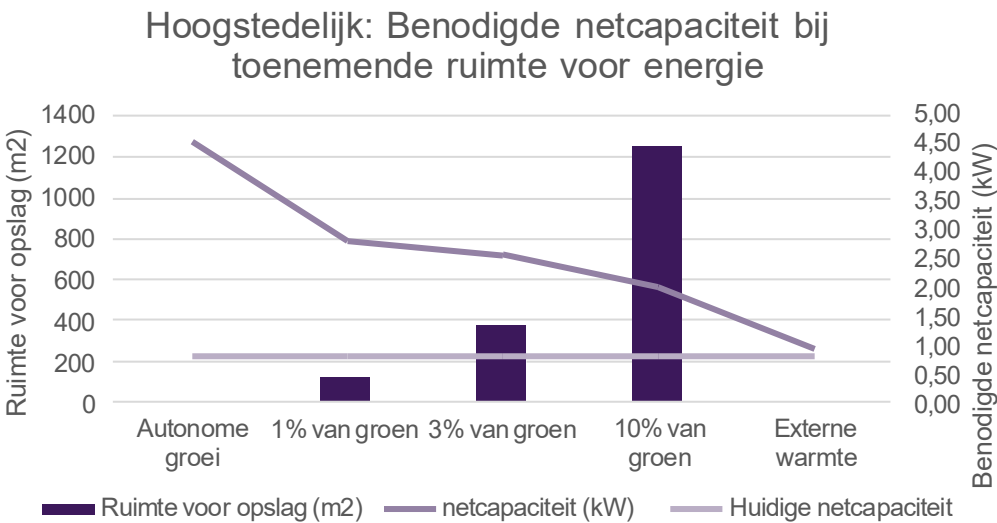
Batterijomvang bij toenemend beslag op groen

	1% ruimte voor energie	3% ruimte voor energie	10% ruimte voor energie
Batterij (MWh)	2.5	7.5	25.0

Hoogstedelijke wijk

Wijkpaspoort voor Energie

Huidige netcapaciteit (MW)	0.79
Oppervlakte terrein (m2)	62500
Aandeel groen (m2)	12500
Bebouwd oppervlakte (m2)	18750
Totaal vloeroppervlakte (m2)	118750
Pv op dak in scenario's (MW)	1.50



Wijkpaspoort voor Energie

		1. huidige situatie	2. Autonome groei	3. 1% ruimte voor energie	4. 3% ruimte voor energie	5. 10% ruimte voor energie	6. Externe warmte
Wijk	Netcapaciteit [MW]	0.790	4.560	2.800	2.750	2.01	0.95
	Batterij [m2]	-	-	125	375	1250	-
	MSR [m2]	32	182	112	103	80	38
	WOS [m2]	-	-	-	-	-	50
Stad	Ondergrondse infra [m2]	158	912	560	514	402	190
Regio	Onderstations [m2]	119	684	420	386	302	143
	Bovengrondse infra [m2]	2963	17100	10500	9638	7538	3563

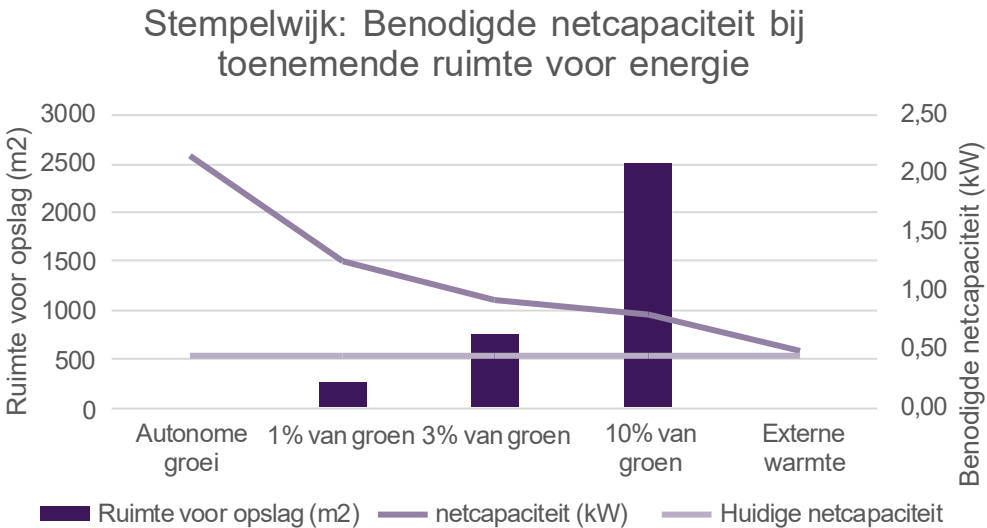
Batterijomvang bij toenemend beslag op groen

	1% ruimte voor energie	3% ruimte voor energie	10% ruimte voor energie
Batterij (MWh)	5.0	15.0	50.0

Naoorlogse stempelwijk

Wijkpaspoort voor Energie

Huidige netcapaciteit (MW)	0.46
Oppervlakte terrein (m2)	62500
Aandeel groen (m2)	25000
Bebouwd oppervlakte (m2)	12500
Totaal vloeroppervlakte (m2)	62500
Pv op dak in scenario's (MW)	1.00



Wijkpaspoort voor Energie

		1. huidige situatie	2. Autonome groei	3. 1% ruimte voor energie	4. 3% ruimte voor energie	5. 10% ruimte voor energie	6. Externe warmte
Wijk	Netcapaciteit [MW]	0.460	2.150	1.250	0.930	0.79	0.48
	Batterij [m2]	-	-	250	750	2500	-
	MSR [m2]	18	86	50	37	32	19
	WOS [m2]	-	-	-	-	-	25
Stad	Ondergrondse infra [m2]	92	430	250	186	158	96
Regio	Onderstations [m2]	69	323	188	140	119	72
	Bovengrondse infra [m2]	1725	8063	4688	3488	2963	1800

Batterijomvang bij toenemend beslag op groen

	1% ruimte voor energie	3% ruimte voor energie	10% ruimte voor energie
Batterij (MWh)	10.0	30.0	100.0

Laagstedelijke woonwijk

Wijkpaspoort voor Energie

Huidige netcapaciteit (MW)	0.21
Oppervlakte terrein (m2)	62500
Aandeel groen (m2)	25000
Bebouwd oppervlakte (m2)	12500
Totaal vloeroppervlakte (m2)	43750
Pv op dak in scenario's (MW)	1

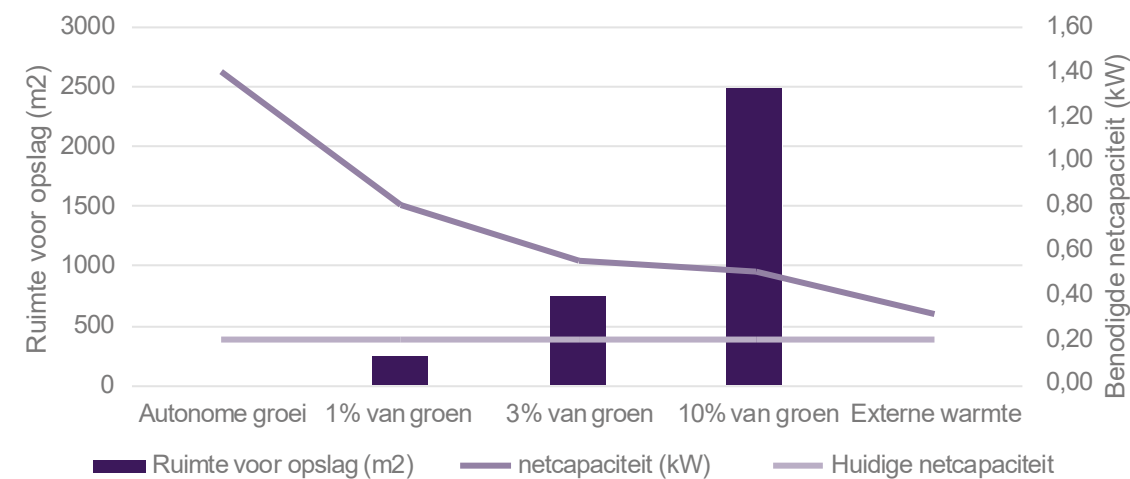
Wijkpaspoort voor Energie

		1. huidige situatie	2. Autonome groei	3. 1% ruimte voor energie	4. 3% ruimte voor energie	5. 10% ruimte voor energie	6. Externe warmte
Wijk	Netcapaciteit [MW]	0.210	1.400	0.810	0.560	0.51	0.32
	Batterij [m2]	-	-	250	750	2500	-
	MSR [m2]	8	56	32	22	20	13
	WOS [m2]	-	-	-	-	-	18
Stad	Ondergrondse infra [m2]	42	280	162	112	102	64
Regio	Onderstations [m2]	32	210	122	84	77	48
	Bovengrondse infra [m2]	788	5250	3038	2100	1913	1200

Batterijomvang bij toenemend beslag op groen

	1% ruimte voor energie	3% ruimte voor energie	10% ruimte voor energie
Batterij (MWh)	10.0	30.0	0.0

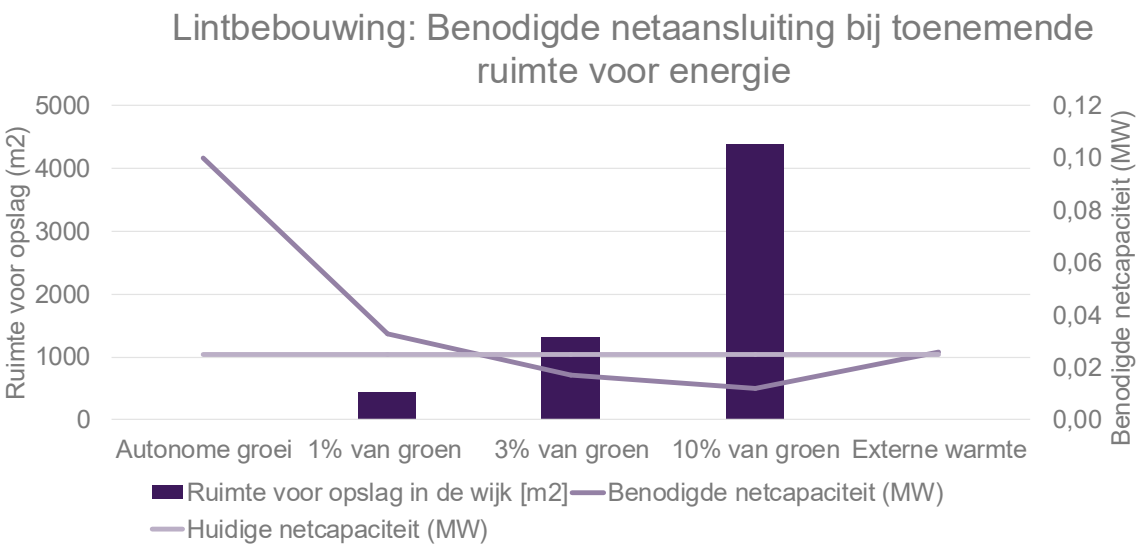
Laagstedelijke woonwijk: Benodigde netcapaciteit bij toenemende ruimte voor energie



Lintbebouwing

Wijkpaspoort voor Energie

Huidige netcapaciteit(MW)	0.45
Oppervlakte terrein (m2)	62500
Aandeel groen (m2)	43750
Bebouwd oppervlakte (m2)	1250
Totaal vloeroppervlakte (m2)	3125
Pv op dak in scenario's (MW)	0.10



Wijkpaspoort voor Energie

		1. huidige situatie	2. Autonome groei	3. 1% ruimte voor energie			
Wijk	Netcapaciteit [MW]	0,025	0.100	0.033	0.017	0.012	0.0.26
	Batterij [m2]	-	-	438	1313	4375	-
	MSR [m2]	1	4	1	1	0	1
	WOS [m2]	-	-	-	-	-	1
Stad	Ondergrondse infra [m2]	5	20	7	3	2	1
Regio	Onderstations [m2]	4	15	5	3	2	4
	Bovengrondse infra [m2]	94	375	124	64	45	98

Batterijomvang bij toenemend beslag op groen

	1% ruimte voor energie	3% ruimte voor energie	10% ruimte voor energie
Batterij (MWh)	17.5	0.052.5	175.0

Bronnen

Niets uit dit document mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt worden zonder naamsvermelding. Aan de inhoud van dit document kunnen geen rechten worden ontleend. De samenstellers van dit document hebben hun uiterste best gedaan om bronnen en rechthebbenden van beeldmateriaal dat wordt gebruikt te achterhalen en te vermelden. Wanneer desondanks beeldmateriaal wordt getoond waarvan u (mede) rechthebbende bent en voor het gebruik waarvan u niet als bron of rechthebbende wordt genoemd, ofwel voor het gebruik waarvan u geen toestemming verleent, kunt u zich in verbinding stellen met DEP.

Cover	bron:	ontwerpteam
p.5,6,12,43,53,57	bron:	stockfoto
p.7	bron:	stockfoto, <i>hoogspanningsmasten</i>
p.11	bron:	stockfoto, <i>stedelijk, groen en water</i>
p.19	bron:	Tjitske Hartstra, Leiden, <i>historische binnenstad</i>
p.21	bron:	Dagblad van het Noorden, mestvergister van boer in Koekange
	bron:	Koninklijke Ginkelgroep, <i>pocketpark, Ten Kateplein Amsterdam Amsterdam</i>
	bron:	AD.nl, <i>aquathermie Utrecht</i>
	bron:	Gerjan Streng, Dronten, <i>laadplein</i>
p.23	bron:	Tjitske Harstra, Rotterdam, <i>hoogstedelijke stadswijk</i>
p.25	bron:	Bright, <i>MSR+veermuishuis</i>
	bron:	Luuk Kramer, some architects, Amsterdam, WOS
	bron:	wikimedia, Madrid, <i>PV</i>
	bron:	Laden in de straat, Maastricht bereikbaar
	bron:	Wikimedia, Pijnacker, <i>PV dak</i>
	bron:	Ruby Schaap, Amsterdam, <i>autovrije straat</i>
	bron:	Gww bouw maat, <i>gescheiden rioolsysteem</i>
p.27	bron:	Tjitske Hartstra, Utrecht Centraal, <i>OV knooppunt</i>
p.29	bron:	Jannes Linders via: Spoorbeeld, <i>groen station en overdekt spoor Almere</i>
	bron:	Posad Maxwan, <i>HUB</i>
	bron:	Gemeente Den Haag, collectieve <i>opslag</i>
	bron:	Gerjan Streng, Rotterdam, <i>inpandige MSR</i>
	bron:	Museum ijdscript, <i>sociale functies, OBA Amsterdam</i>
	bron:	Heijmans, <i>corridors, Kabels en leidingen</i>
p.31	bron:	Tjitske Hartstra, Rotterdam, <i>na-oorlogse stempelwijk straat</i>

p.33	bron:	Wikimedia, Groningen, <i>optoppen en splitsen</i>
	bron:	Jan Bijl via Architectenweb, <i>voorzieningen Rotterdam</i>
	bron:	Urban Synergy, <i>MSR+groendag</i>
	bron:	Some Architects, foto: Luuk Kramer, <i>parkeerverzamelgebouw</i>
	bron:	Gerjan Streng, Rotterdam, WOS
	bron:	Nanda Sluijsmans, <i>wadi Veemarkt Utrecht</i>
p.35	bron:	Gerjan Streng, Heerhugowaard, <i>laagstedelijke woonwijk</i>
p.37	bron:	Moen & van Oosten architecten, WOS <i>Eneco Groenoord</i>
	bron:	Bright, <i>batterijtoren</i>
	bron:	Urban Synergy, <i>MSR buurtuintjes</i>
	bron:	Gerjan Streng, Hengelo (GLD), <i>zon+ recreatie</i>
	bron:	Gerjan Streng, Dronten, <i>laadplein+batterij</i>
	bron:	Cobouw, Alphen aan den Rijn, <i>mantelbuis</i>
	bron:	foto: Phillipe Ruault via: Architectenweb, <i>klimaathuis</i>
	bron:	Collectieve WKO via tseonline.nl
p.39	bron:	Gerjan Streng, Oudewater, <i>lintbebouwing</i>
p.41	bron:	Dagblad van het Noorden, mestvergister van boer in Koekange
	bron:	Gerjan Streng, Veendam, <i>buurtwindmolen</i>
p.44	bron:	Stockfoto, <i>snelweg</i>
p.48	bron:	Stephen Andrews Photography, <i>isolatie</i>
p.49	bron:	rawpixel.com, <i>redelijke isolatie</i>
	bron:	Gerjan Streng, Rotterdam, <i>BENG woning</i>
	bron:	e-gabi from Pixabay, Duitsland, <i>Passief huis</i>
p.51	bron:	Bright, <i>MSR+veermuishuis</i>
	bron:	Gerjan Streng, Dronten, <i>laadplein en batterij</i>
	bron:	ontwerpteam, <i>ondergrond</i>
p.52	bron:	ontwerpteam, <i>corridors</i>
	bron:	Het VKLS (Beeld: Gemeente Leiden)
	bron:	Tjitske Hartstra, Den Haag, <i>zon+groen</i>
p.54	bron:	Tjitske Hartstra, Amsterdam, <i>Overhoeks</i>
p.58	bron:	<i>batterij-opstelling Credits: Tesla/Hawaii via Change.inc</i>