

Mkba energiehubs

Maatschappelijke waarde van twaalf
archetypes voor 2.500 energiehubs
in Nederland

Kernrapport



Mkba energiehubs

Maatschappelijke waarde van twaalf archetypes
voor 2.500 energiehubs in Nederland

Dit rapport is geschreven door:
Martijn Blom, Michiel Bongaerts, Lucas van Cappellen,
Florian Hesselink en Ward van Santen

Delft, CE Delft, November 2025

Publicatienummer: 2025.240439.177

Opdrachtgever: Rijkdienst voor Ondernemend
Nederland en Topsector Energie Systeemintegratie

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

Meer informatie over de studie is te verkrijgen bij de
projectleider Martijn Blom (CE Delft)

© copyright, CE Delft, Delft

CE Delft – Committed to the Environment

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

Inhoud

	Samenvatting	4
1	Inleiding	8
	1.1 Inleiding	8
	1.2 Achtergrond en doel van de studie	8
	1.3 Aanpak in vogelvlucht	8
	1.4 Probleemanalyse: Waarom energiehubs?	10
	1.5 Projectalternatief en referentie	12
	1.6 Effecten in scope	13
	1.7 Uitgangspunten mkba	15
	1.8 Duiding resultaten en beperkingen	16
2	De twaalf archetypes energiehubs	19
	2.1 Definitie van energiehubs	19
	2.2 De twaalf archetypes: Potentie voor 2.500 hubs	20
	2.3 Regionale potentie energiehubs	24
3	Mkba-resultaten	25
	3.1 Inleiding	25
	3.2 Overzicht resultaten	25
	3.3 Inzichten mkba-casussen	29
	3.4 Resultaten voor Nederland	30
	3.5 Gevoeligheidsanalyses	31
4	Aanbevelingen	36
	Literatuurlijst	38
A	Potentiële energiehubs buiten scope	39

Samenvatting

Deze studie presenteert de uitkomsten van een maatschappelijke kosten-batenanalyse (mkba) van twaalf verschillende typen energiehubs. De resultaten van deze studie helpen bij het identificeren van kansrijke energiehubs: bij het lokaal opzetten door ontwikkelaars en het ondersteunen ervan door beleidsmakers. Deze studie kan gezien worden als een bouwblok in het beter begrijpen van de rol van energiehubs in het energiesysteem.

Indeling in twaalf archetypes

Energiehubs zijn lokale samenwerkingsverbanden waarin meerdere partijen (bedrijven, instellingen en/of huishoudens) vraag en aanbod van energie afstemmen via opwek, opslag, conversie en vraagsturing. In deze studie zijn twaalf archetypes energiehubs geïdentificeerd om energiehubs te kunnen indelen en te onderzoeken op de kosten en baten. Deze studie is daarmee een vervolg op de studie van Haskoning over families van energiehubs¹. Een archetype kan gezien worden als een typische uitwerkingsvorm van een energiehub, bijvoorbeeld gericht op een specifieke doelgroep (bedrijventerreinen, industriële bedrijven terreinen en woonwijken) en met specifieke energetische eigenschappen/maatregelen (bijvoorbeeld een warmtenet, laadinfrastructuur voor logistiek, warmtepompen en aanwezigheid van RWZI of restwarmte). In sommige van de archetypes is gekozen voor uitwisseling van één commodity (elektriciteit), in andere voor uitwisseling van meerdere commodity's (elektriciteit, warmte, waterstof).

Methode en afbakening

De methodologie bestaat uit drie stappen:

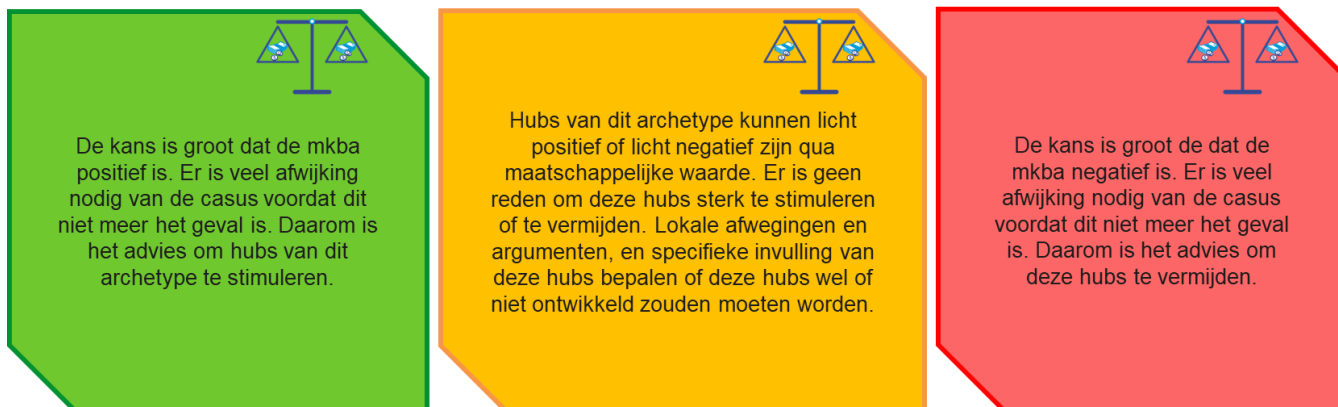
1. **Vaststellen van twaalf archetypes:** In samenwerking met stakeholders zijn twaalf archetypes vastgesteld. Vervolgens zijn alle woonwijken en bedrijventerreinen in Nederland in kaart gebracht om te beoordelen of zij aan één van deze archetypes voldoen. Op basis van de eigenschappen van alle geïdentificeerde energiehubs is een data-analyse uitgevoerd om per archetype één representatieve casus te bepalen.
2. **Uitvoeren van een mkba:** Voor deze twaalf archetypes is een mkba uitgevoerd, waarbij de resultaten zijn gebaseerd op waarderingskentallen en energiemodelering van energiestromen in de periode 2025-2050.
3. **Extrapolatie resultaten:** De resultaten van de mkba zijn geëxtrapoleerd naar het totaal aantal potentiële energiehubs (inclusief CO₂-reductie en netimpact).

¹ Haskoning, 2024. [De Families van Energy Hubs in Nederland](#)

Een belangrijke aanname is dat het verkrijgen van extra contractvermogen tot 2035 door netcongestie **niet** mogelijk is. Door slimme energiesturing en samenwerking van deelnemende partijen, blijft de totale netafname van de energiehub altijd onder de grenswaarde van dit contractvermogen. Dankzij de *collectieve* afstemming tussen opwek en vraag kan, met inzet van de batterij en aggregaat, een groter deel van de lokaal opgewekte energie direct worden benut en wordt het elektriciteitsnet minder belast². In de referentiesituatie gaan we er vanuit dat bedrijven³ tot 2035 batterijen en aggregaten inzetten voor *individuele* afstemming van vraag en aanbod. Dit stelt hen in staat om uitbreidingsinvesteringen te doen zonder gehinderd te worden door netcongestie. Er zijn gevoeligheidsanalyses uitgevoerd voor scenario's waarin deze uitbreidingen niet mogelijk zijn, de congestie pas in een later jaar wordt opgelost of waarin de elektriciteitsvraag sterk groeit⁴.

De mkba is per archetype bepaald aan de hand van een representatieve casus. Dit geeft een richtgetal voor vergelijkbare cases van hetzelfde archetype. Praktijkcases zullen daarvan afwijken, en hoe groter de afwijking hoe minder zeker het is dat het betreffende mkba-resultaat geldt. Om die reden hebben we de uitkomst per archetype vertaald naar categorieën groen (positief), oranje (licht positief of negatief) of rood (negatief) om een duiding te geven van uitkomsten van mogelijke praktijkcasussen.

Duiding resultaat maatschappelijke waarde



² Nadat netcongestie is opgelost, wordt de energiehub nog steeds ingezet om netimpact te verminderen door lokaal energie uit te wisselen. Dat betekent dat een energiehub niet gemodelleerd is als een tijdelijke oplossing tot 2035, maar ook daarna bijdraagt aan het beperken van zowel CO₂-emissies als netimpact.

³ Voor woningbouw hebben we aangenomen dat dit alleen kan met een batterij. Dit betekent dat de mogelijkheden om uit te breiden ook een stuk beperkter zijn dan bij bedrijventerreinen.

⁴ Individuele flexibele contracten met de netbeheerder zijn ook opties om flexibiliteit te ontsluiten, en zouden op een zelfde manier voor het systeem kunnen functioneren als energiehub voor het elektriciteitssysteem. Dit soort contracten zijn echter geen onderdeel van deze studie.

Resultaten per archetype

De mkba-uitkomsten per archetype energiehubs verschillen. Energiehubs kunnen vooral meerwaarde bieden indien deze extra woningbouw mogelijk maken (nieuwbouwwijk), bijdragen aan het lokaal verwaarden van verschillende energieproducten (RWZI-locaties) en helpen om kosteneffectieve collectieve oplossingen in gang te zetten (glastuinbouw, MT-restwarmtenet). Op gemengde bedrijventerreinen met veel kleinere bedrijven en bij bestaande bouw is de uitkomst negatief. De belangrijkste drivers voor de uitkomsten van de drie groepen zijn:

- **Positieve waarde** als een energiehubs leidt tot grote vermeden investeringen in duurdere warmtetechnieken (glastuinbouw, MT-warmtenet) en nuttige inzet van lokale restwarmte en waterstof (RWZI). Het extra mogelijk maken van nieuwbouwwoningen is een specifieke casus met grote maatschappelijke waarde.
- **Neutrale waarde** als de baten (zoals extra CO₂-reductie) in dezelfde orde zijn als organisatiekosten en additionele investeringen. Onze studie laat zien dat een energiehubs-samenwerking niet vanzelf gaat, en dat baten van meerdere archetypes grofweg gelijk zijn aan de investeringen in de energiehubs.
- **Negatieve waarde** waar de investeringskosten voor collectieve installaties en organisatiekosten voor de energiehubs (door beperkte schaalvoordelen) hoger zijn dan uitgespaarde net- en energiekosten. Dit geldt voor hubs gericht op netcongestie op gemengde bedrijventerreinen.

Uit gevoeligheidsanalyses blijkt dat deze resultaten behoorlijk robuust zijn voor het jaar dat congestie opgelost (tussen 2030 en 2040), de mate van groei van de elektriciteitsvraag en of bedrijven in de referentiesituatie wel of niet investeren in individuele batterijen en aggregaten. Wanneer we aannemen dat er een sterkere groei in de elektriciteitsvraag zal zijn én bedrijven in de referentie geen individuele batterijen en aggregaten aanschaffen, zien we dat meer casussen een positieve maatschappelijke waarde hebben.

Resultaten van extrapolatie

Op nationaal niveau zijn de mkba-effecten ingeschat met verschillende effecten waaronder de netimpact. Voor de onderzochte archetypes concluderen we dat er 2.500 potentiële energiehubs zijn, waarvan ongeveer 900 met een verwachte positieve maatschappelijke waarde. De resultaten *per archetype* en voor *Nederland* (extrapolatie) zijn samengevat in Figuur 1.

Figuur 1 – Mkba resultaat voor referentie casus én totale geschatte potentieel – totaal 2025 tot 2050

Type en archetype energiehubs		Aantal energiehubs	Eén casus: mkba resultaat 2025- 2050 (mln. €) t.o.v. referentie	Extrapolatie NL: mkba resultaat 2025- 2050 (mld. €) t.o.v. referentie
 Bedrijven- terrein	Gemengd bedrijventerrein met: • Elektrificatie • ZLT-warmtenet • Duurzame elektriciteits-productie	347 bedrijventerreinen	• -2,1 mln. • ~ 0,0 • -4,3	• -0,6 tot -0,8 mld. • ~ 0,0 • -0,3 tot -0,6
	Logistiek bedrijventerrein	151 bedrijventerreinen	-2,6	-0,4 tot -1,6
	Glastuinbouw	17 clusters	+28	+2,2 tot +4,4
	RWZI locaties	55 locaties	+25	+1,4 tot +3,8
 Industriële bedrijven- terrein	Elektrificatie	105 bedrijventerreinen	+3,5	+0,2 tot +0,4
	Multi-commodity	19 bedrijventerreinen	-3,5	-0,0 tot -0,1
 Gebouwde omgeving	Bestaande buurt all-electric	932 wijken	-3,9	-4,6 tot -5,3
	ZLT-warmtenet	114 wijken	-9,0	-1,0 tot -1,4
	Nieuwbouwwijk	38 gebieden	+72	+3,3 tot +6,6
	MT-restwarmtenet	699 wijken	+24	+3,4 tot +3,8

De totale maatschappelijke waarde als alle potentiële energiehubs gerealiseerd worden is € 3,4 tot 11,9 miljard van 2025 tot 2050. Als alleen de casussen met een positieve maatschappelijke waarde gerealiseerd worden, is de waarde zelfs € 10,5 tot 20,4 miljard.

In totaal zijn dit 914 locaties. Daarnaast is in kaart gebracht hoeveel netimpact op nationaal niveau gerealiseerd kan worden als alle hubs tot stand komen. Dit omvat de netimpact als som van de casussen. De maximale netimpact reductie is 4,7 tot 8,6 GW in 2050, waarvan 3,3 tot 6,2 GW bij de archetypes met een positief mkba-resultaat.

Aanbevelingen

Deze resultaten met drie kleurencategorieën geven richting aan een beleidsinzet voor het ontwikkelen van energiehubs. Enkele archetypes kunnen een belangrijke bijdrage leveren als oplossing voor netcongestie, het vergroten van de flexibiliteit in het energiesysteem en het realiseren van maatschappelijke baten. Multi-commodity energiehubs zijn daarbij relevant voor creëren van maatschappelijke baten. Bij een positieve uitkomst (groen) kan verdere (financiële) ondersteuning van het archetype beargumenteerd worden. Voor een negatieve uitkomst (rood) is er geen reden dit archetype sterk te stimuleren. Individuele casussen kunnen afwijken (niet alleen voor de oranje types), en dus zijn specifieke analyses gewenst als voorbereiding voor eventuele ontwikkeling van een energiehubs. Dit geldt tevens voor kwalitatieve baten die niet gemonetariseerd (pm-posten) of niet meegenomen zijn in deze studie. Denk aan het niet-kunnen uitbreiden van een bedrijf door netcongestie, stikstofbeperkingen door aanwezigheid van Natura 2000-gebieden of het benutten van lokale samenwerking. Standarisatie van de producten voor en de ontwikkeling van energiehubs kan het opschalingspotentieel én de baten vergroten. Dit maakt grootschalige uitrol efficiënter en versnelt de realisatie van maatschappelijke waarde.

1 Inleiding

1.1 Inleiding

Dit is het **kernrapport** met de belangrijkste bevindingen van deze studie (maatschappelijke kostenbatenanalyse) over de potentie en maatschappelijke meerwaarde van energiehubbs. Het omvat een beschrijving van de geïdentificeerde twaalf archetypes energiehubbs (Hoofdstuk 2), de resultaten van de maatschappelijke waarde (Hoofdstuk 3) van deze twaalf archetypes en de aanbevelingen (Hoofdstuk 4). Het **achtergrondrapport** omvat detailinformatie per casus, additionele resultaten over de maatschappelijke waarde en een toelichting op de methodologie en aannames.

1.2 Achtergrond en doel van de studie

Energiehubbs zijn een lokale samenwerking tussen bedrijven en/of huishoudens, waarbij energiestromen lokaal afgestemd en uitgewisseld worden. Energiehubbs hebben potentie in het verlagen van de netbelasting, verlagen van energiekosten en om energievraag mogelijk te maken voor bedrijven en huishoudens ondanks netcongestie. Voor het vaststellen van beleid en lokaal ondersteunen van energiehubbs helpt deze studie door typen energiehubbs te identificeren die kansrijk zijn in termen van maatschappelijke rentabiliteit. Daarnaast is in deze studie de waarde van individuele energiehubbs geëxtrapoleerd om uitspraken te kunnen doen voor heel Nederland en specifieke regio's.

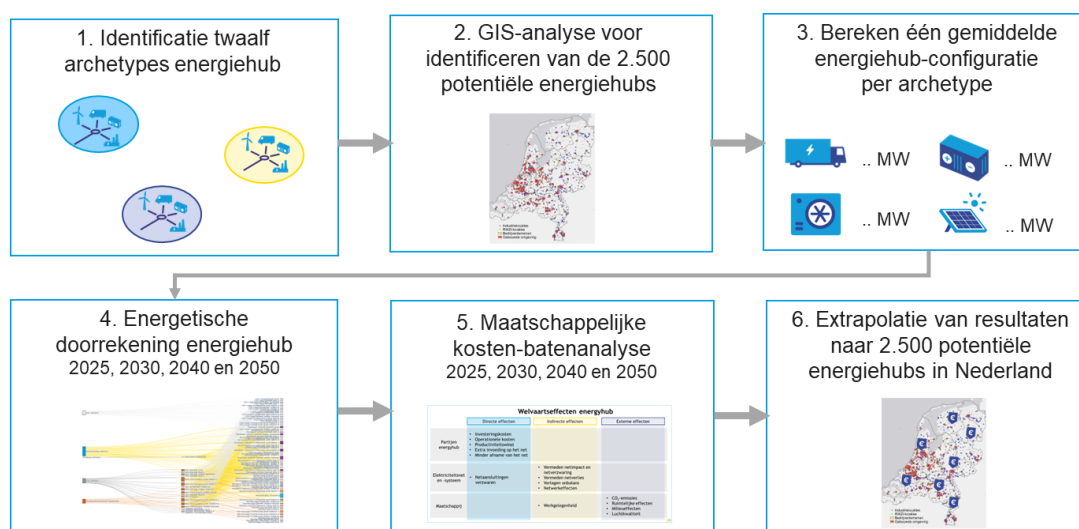
1.3 Aanpak in vogelvlucht

Een maatschappelijke kosten-batenanalyse (mkba) is een methode om de voor- en nadelen van een project (energiehub) systematisch in kaart te brengen. Daarbij worden niet alleen **financiële kosten en opbrengsten** meegenomen, maar ook **maatschappelijke effecten** zoals milieu, vermeden netinvesteringen (besparingen) en betrouwbaarheid van het energiesysteem. Alle effecten worden zoveel mogelijk in geld uitgedrukt om de totale welvaartsimpact te bepalen. Het doel is om initiatiefnemers en beleidsmakers te ondersteunen bij het nemen van goed onderbouwde beslissingen.

In Figuur 2 is de aanpak van de studie opgenomen. De archetypes zijn in kaart gebracht, gebaseerd op interviews en literatuurstudie (**Stap 1**). Vervolgens is een GIS-analyse uitgevoerd om de potentiële locaties van energiehubbs in heel Nederland in beeld te brengen (**Stap 2**).

Gebaseerd op de geïdentificeerde potentiële energiehub is bepaald hoe een representatieve energiehub eruit ziet in termen van het aantal bedrijven/woningen, de huidige en toekomstige energievraag en verwachte elektriciteitsprofielen (**Stap 3**). Daarna heeft een energetische doorrekening plaatsgevonden, waarbij de energiestromen op uurbasis zijn doorgerekend voor 2025, 2030, 2040 en 2050 (**Stap 4**). Hierop is een mkba uitgevoerd voor de twaalf archetypes (**Stap 5**) en vervolgens zijn die resultaten geëxtrapoleerd voor alle potentiële energiehub in heel Nederland (**Stap 6**).

Figuur 2 – Aanpak studie



Bron: CE Delft

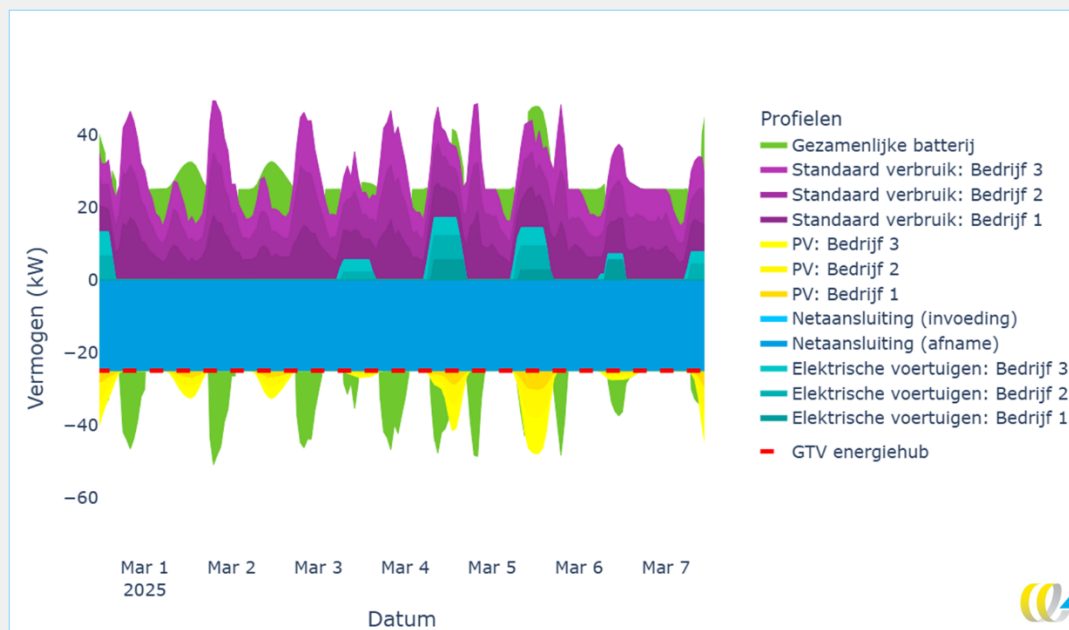
In deze studie is voor twaalf archetypes een (mini-)mkba uitgevoerd. Hierbij is voor de waardering van maatschappelijke effecten gebruik gemaakt van kentallen, zoals CO₂-prijzen en Handboek Milieuprijzen ((CE Delft, 2023). De uitwisseling van energie binnen de hub is gemodelleerd met behulp van een uitgebreid model (zie Tekstkader 1). Voor elk zichtjaar rekent het model per uur door hoe de energievraag kan worden ingevuld met de beschikbare netcapaciteit en flexibiliteit. Hiervoor is de periode 2025-2050 aangehouden. De energiehub is per archetype afgezet tegen een referentie zonder energiehub.

Tekstkader 1 – Het energie- en mkba-model

Voor deze studie is het [CEnergie-model](#) gebruikt aangevuld met een module om de maatschappelijke kosten en baten door te rekenen. Het omvat elektriciteitsvraag van gebouwen, processen, voertuigen en warmte-technieken en productie met zon, wind en wkk. Van elke bron is bepaald welke flexibiliteit er aanwezig is om elektriciteitsvraag en -productie te schuiven naast de investeringsmogelijkheid in batterijen, aggregaten en elektrolyzers. Voor elk zichtjaar rekent het model per uur door hoe de energievraag kan worden ingevuld met de beschikbare netcapaciteit en flexibiliteit. Door deze doorrekening uit te voeren voor de referentie (individuele bedrijven) én energiehub, bepaalt het model de energetische verschillen en berekend het alle relevante maatschappelijke kosten en baten.

Figuur 3 laat de kern van dit energiemodel zien, waarbij afstemming van vraag (boven de nullijn) en aanbod (onder de nullijn) is weergegeven. Door flexibele sturing en een gezamenlijke batterij wordt een groot deel van de **eigen productie nuttig ingezet** en **daarmee het net ontlast**.

Figuur 3 – Voorbeeld van een vermogensprofiel van een kleine energiehub met een gezamenlijke batterij



Toelichting: De energiehub heeft een contract afgesloten met de netbeheerder voor een gezamenlijk transportvermogen (GTV) van 25 kW (rode stippellijn). Het positieve vermogensprofiel (boven de nullijn) representeert de energievraag per tijdseenheid, en de negatieve vermogensprofiel (onder de nullijn) het energieaanbod. Boven en onder de middellijn moeten vraag en aanbod aan elkaar gelijk zijn. Door slimme energiesturing en -afstemming komt de netafname van de energiehub als geheel nooit boven het GTV van 25 kW (rode stippellijn). De afstemming met de vraag resulteert erin dat een groter deel van de opwek kan worden ingezet voor de vraag door inzet van de batterij (groen).

1.4 Probleemanalyse: Waarom energiehubs?

In Nederland lopen grootverbruikers zoals bedrijven, scholen en instellingen steeds vaker tegen de grenzen van het elektriciteitsnet aan. Door netcongestie kunnen zij geen additioneel transportvermogen contracteren voor het afnemen en/of invoeden van elektriciteit, en zelfs nieuwbouwprojecten hebben geen vanzelfsprekende toegang tot voldoende netcapaciteit. Zonder ingrijpen dreigt bovendien dat kleinverbruikers te maken krijgen met stroomuitval.



De beperkte transportcapaciteit remt daarnaast de inpassing van hernieuwbare elektriciteit, waardoor wind- en zonneparken soms worden afgeschakeld en nieuwe projecten moeilijk van de grond komen. Dit vormt een directe bedreiging voor de energietransitie en kan ontwikkeling van economische sectoren beperken.

Energiehubs bieden een oplossingsrichting door lokaal vraag en aanbod van energie slimmer op elkaar af te stemmen. Door samenwerking van meerdere partijen binnen een hub en het inzetten van flexibiliteitsopties, zoals batterijen en energie-sturing, blijft de totale netafname onder het contractueel afgesproken vermogen. Dit voorkomt extra belasting van het elektriciteitsnet en maakt het mogelijk een groter deel van lokaal opgewekte duurzame energie direct te benutten. De twaalf cases kunnen in dit opzicht gezien worden als *congestie-gedreven*, maar zijn echter breder gemotiveerd. De hubs dragen niet alleen bij aan het beperken van netcongestie, maar ook structureel aan CO₂-reductie, efficiënt gebruik van infrastructuur, stabiele energiekosten en vergroten de lokale samenwerkingskracht (zie Tekstkader 2). Dit geldt ook na 2035 wanneer uitbreiding van het net naar verwachting grotendeels gerealiseerd zal zijn⁵.

Tekstkader 2 – Waarom energiehubs?

Voor het opzetten van een energiehub is een combinatie van technische, governance en juridische kennis essentieel. Daarnaast vereisen energiehubs natuurlijk personele inzet om ze op te zetten, en jaarlijks te managen. Waarom zou men dan een energiehub willen starten? Er zijn goede redenen voor het opzetten van een energiehub:

- **Netcongestie:** Met een energiehub kan er potentieel meer energie gebruikt worden door bedrijven en woningen, met gebruik van dezelfde netcapaciteit. Daarmee kan er dus meer stroom afgenomen worden, en de groei of verduurzaming doorgezet worden. Daarmee kan het een oplossing voor netcongestie zijn. Of in de toekomst een (structureel) lagere vraag naar netcapaciteit als congestie is opgelost. Energiehubs vormen dus een efficiënte manier om met schaarse netcapaciteit om te gaan en dure netuitbreiding te voorkomen of uit te stellen.
- **Energie-optimalisatie:** Het verlagen van de energiekosten en nettarieven door slimme aansturing, aanschaffen van (collectieve) assets of inzet op specifieke energiedragers zoals waterstof en (rest)warmte. Door minder afhankelijk te zijn van inkoop en de bestaande opwekcapaciteit beter uit te nutten, kunnen de energiekosten voor deelnemende bedrijven naar beneden worden gebracht en een stabielere en voorspelbaardere inkoopprijs gerealiseerd worden.
- **Klimaat:** In het verlengde van een lager energiegebruik, kunnen energiehubs een bijdrage leveren aan de versnelling van een energietransitie naar een klimaatneutrale energiemix. Dit mogelijk door gebruik van (eigen) zon en wind, en mogelijkheden voor snellere verduurzaming. Hier staat tegenover dat inzet van extra (fossiel) piekvermogen kan leiden tot een toename van klimaatemissies.

⁵ Zie voor een overzicht van TenneT projecten: <https://www.tennet.eu/nl/projecten>. En de investeringsplannen: <https://www.netbeheernederland.nl/uitvoering/investeringsplannen-ips>.

- **Intrinsieke drijfveren:** Energiehubs worden vaak gedragen door intrinsieke motivaties zoals de wens naar energie-onafhankelijkheid en het versterken van lokale samenwerking. Deze drijfveren vergroten niet alleen het lokaal draagvlak, maar bevorderen ook vertrouwen en betrokkenheid tussen partijen. Door samenwerkingsverbanden ontstaat ruimte voor het delen van kennis, middelen en risico's, wat kan leiden tot synergievoordelen.

Energiehubs zijn één van de manieren om flexibiliteit 'achter de aansluiting' te ontsluiten en congestie op te lossen. Een vergelijking met andere oplossingen (zoals congestie-management of individuele flexibele netbeheerderscontracten) is geen onderdeel van deze studie. Mogelijk bieden deze oplossingen hetzelfde potentieel tegen lagere of hogere kosten.

Tegelijkertijd kent de inzet van energiehubs beperkingen en onzekerheden. De mate van meerwaarde verschilt per locatie en hangt sterk af van lokale afnameprofielen en het gedrag van deelnemende partijen. Samenwerking in hubs kan in de praktijk complex zijn door uiteenlopende belangen en risico's, waardoor maatwerk essentieel blijft. Een mkba voor een archetype kan een nuttige richting geven, maar kan nooit de specifieke situatie van een individuele hub volledig weergeven.

1.5 Projectalternatief en referentie

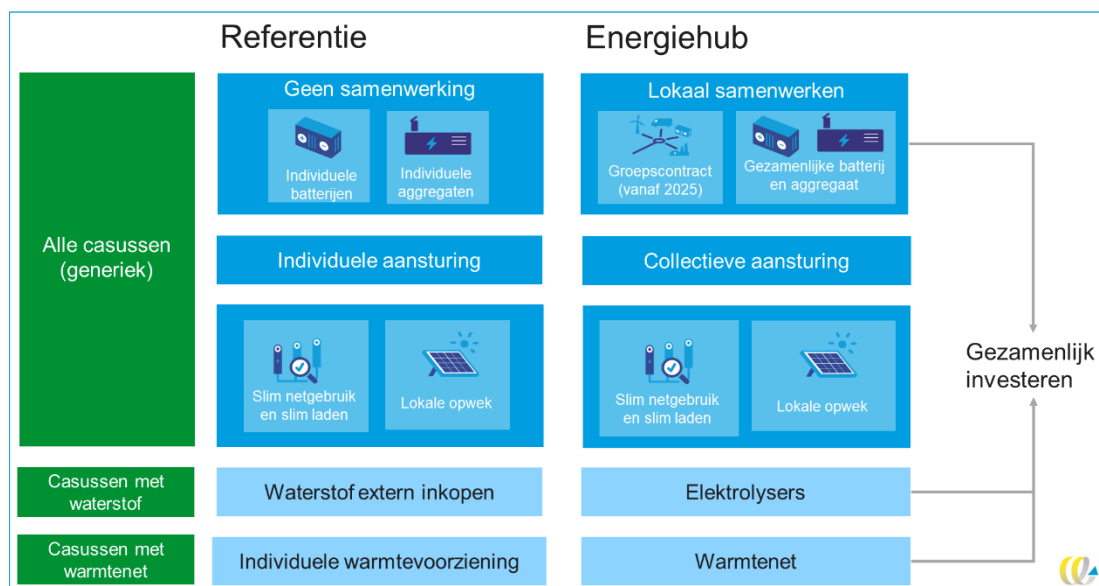
In een mkba worden alle resultaten afgezet tegen een referentie, de meest aannemelijke situatie wanneer het projectalternatief (in dit geval: de energiehub) niet zou worden gerealiseerd. Het ontwerp van en de aannames voor de referentie bepalen in sterke mate de uitkomsten van de mkba.

Het is makkelijk in een mkba alle ongunstige ontwikkelingen in de referentie te stoppen (bijvoorbeeld gebrek aan uitbreidingsmogelijkheden), en in de hub tal van kosteneffectieve oplossingen (zoals slimme sturing en opslag). Daarvoor hebben wij, in lijn met de Algemene Leidraad (CPB & PBL, 2013), niet gekozen.

In deze studie beschrijft de referentie de situatie waarin geen samenwerking tussen bedrijven en/of binnen buurten plaatsvindt en energiestromen individueel via het net worden afgenomen en geleverd. In de energiehub werken partijen juist lokaal samen om energiestromen te optimaliseren. De deelnemende bedrijven maken gebruik van een groepscontract. Dit vormt de basis om energie uit te wisselen en beter af te stemmen. Zo kan de capaciteit van een netaansluiting worden beperkt.

De energiehub gaat meteen in op 2025 en kent daardoor in de praktijk geen aanlooptijd. Een belangrijk verschil tussen referentie en projectalternatief is dus dat in de referentie de aansturing van de aanwezige batterijen en aggregaten individueel plaatsvindt, terwijl in de energiehub er sprake is van een collectieve aansturing. Figuur 4 geeft het verschil tussen de referentie en de energiehub schematisch weer.

Figuur 4 – Aanpak referentie en energiehub



Zolang er ongefaciliteerde elektriciteitsvraag is, nemen bedrijven in de referentie mitigerende maatregelen om in hun elektriciteitsvraag te kunnen voorzien. Dit betreft investeringen in individuele batterijen en aggregaten. Daarbij nemen we aan dat er ruimte en vergunningen beschikbaar zijn voor permanente plaatsing van batterijen en aggregaten. Nadat netcongestie oplost en netverzwaring heeft plaatsgevonden, zijn de mitigerende maatregelen niet meer nodig.

De aanname dat uitbreidingsplannen in de referentie niet vastlopen op congestie is dus belangrijk in de analyse. Voor de realisatie van (extra) nieuwbouw is het niet kunnen krijgen van een (grotere) aansluiting wel beperkend; hiervoor hebben we aangenomen dat op de woonlocatie geen aggregaat kan worden geplaatst. Om toch ook de effecten van het niet kunnen realiseren van deze uitbreidingen mee te nemen, voeren we in 3.4 een gevoeligheidsanalyse uit.

1.6 Effecten in scope

Een mkba brengt brede welvaartseffecten van een beleidsvariant in beeld, dat wil zeggen de directe en indirecte effecten voor de hele (Nederlandse) maatschappij:⁶

- **Directe effecten:** De voor- en nadelen van het projectalternatief (een energiehub) ten opzichte van de referentie voor de deelnemende bedrijven. Het gaat hierbij met name om investeringskosten, exploitatiekosten en opbrengsten voor de bedrijven.

⁶ Belastingen, subsidies en winstmarges zijn geen onderdeel van een mkba, omdat dit een overdracht tussen de overheid en bedrijven/particulieren betreft. Ook netkosten, die gesocialiseerd worden, vallen niet onder een mkba.

Een energiehubs kan snel 'toegang geven' tot extra energie-aanbod met het oog op de vestiging van bedrijvigheid, maatschappelijke activiteiten (nieuwe aansluitingen) en de inpassing hernieuwbare opwek. Ook deze effecten worden meegenomen in deze mkba, maar zijn logischerwijs afhankelijk van of er een niet-gefaciliteerde energievraag in de referentie is.⁷

- **Indirecte effecten:** De effecten die voortvloeien uit de directe effecten van het projectalternatief en de referentie. In deze studie kwantificeren we effecten op het elektriciteitsnet- en systeem (lokale netverzwaring, diepe netverzwaring, vermeden netverlies). Een energiehubs helpt het lokale energiesysteem te balanceren en zo om te gaan met de wisselende beschikbaarheid van duurzame energiebronnen. Die flexibiliteit (en zekerheid) heeft een waarde voor de gebruiker aangezien hij of zij beter op de toekomst is voorbereid. De kwantificeerbaarheid van deze effecten in de economische literatuur is echter beperkt.⁸ We kiezen er voor deze effecten niet in euro's uit te drukken. Deze effecten zijn als 'pro memorie' ('pm') opgenomen.
- **Externe effecten:** Dit betreffen de effecten (maatschappelijke kosten en baten) die onbeoogd zijn door de gebruiker en nog niet zijn geïnternaliseerd in de directe kosten. Deze zijn vaak moeilijk in geld uit te drukken omdat markten, en dus prijzen, ontbreken. Hieronder vallen effecten op CO₂-emissies en luchtkwaliteit, maar ook het versnellen van samenwerking en cohesie binnen energiehubs. Tot de externe effecten behoren ook samenwerking, lokaal zeggenschap en cohesie, en sociale innovatie. Aangezien dergelijke effecten moeilijk kwantificeerbaar zijn, zijn deze op 'pm' gezet.

Een uitgebreide toelichting op alle effecten is opgenomen in het achtergrondrapport.

Tabel 1 – Overzicht van effecten in scope

	Directe effecten	Indirecte effecten	Externe effecten
Deelnemende bedrijven	• Investerings- en operationele kosten assets • Organisatiekosten hubs • Lagere energiekosten of hogere opbrengsten hernieuwbare productie (CO₂, zuurstof en groene waterstof) • Productiviteitswinst bedrijven (uitbreiding bedrijven) • Woongenot (uitbreiding woningbouw)		• Samenwerking, lokaal zeggenschap en cohesie (pm)

⁷ Daarvoor is het wel noodzakelijk dat er een verschil is tussen de referentie en het projectalternatief. Als er in de referentie bijvoorbeeld afdoende vermogen is van individuele batterijen en aggregaten, is er geen ongefaciliteerde vraag. Uitbreiding leidt in dit geval niet tot extra economische toegevoegde waarde van bedrijven.

⁸ Daarvoor is het bijvoorbeeld nodig om in de referentie te bepalen hoe vaak er een black-out optreedt en welke impact hiervan uitgaat (productieverlies).

	Directe effecten	Indirecte effecten	Externe effecten
Elektriciteitssysteem	Kosten van verzwaren netaansluiting	- Besparing investeringen netverzwaring - Effect op netverlies	
Maatschappij		Werkgelegenheid	- CO₂-emissies (direct en keten) - Luchtkwaliteit

1.7 Uitgangspunten mkba

In deze paragraaf gaan we in op de belangrijkste uitgangspunten. Daarnaast gaan we in op hoe de resultaten moeten worden geduid in het licht van deze uitgangspunten.

Rekenkundige uitgangspunten

De looptijd van de mkba's is steeds 2025-2050. Alle kosten en baten over deze periode drukken we, met behulp van de maatschappelijke discontovoet van 2,25%⁹, uit in netto contante waarde van het basisjaar (2025).¹⁰ We hanteren daarnaast voor alle kosten en baten het prijspeil 2024.

In het achtergrondrapport gaan we in op de waarderingsmethoden van de verschillende welvaartseffecten (kosten en baten) binnen de scope van deze analyse. Hierbij gaat het onder andere om de gehanteerde CO₂- en overige milieuprijzen en de waardering van energiekosten, (extra) woningbouw, productiviteitswinst (uitbreiding van bedrijven of bedrijfsactiviteiten) en netinvesteringen.

Afschrijftermijnen

Voor de investeringen (assets) zijn verschillende afschrijftermijnen gehanteerd.

De belangrijkste assets betreffen batterij (15 jaar), elektrolyzers (15 jaar), warmtepomp (15 jaar), zon-pv (15 jaar) en warmte-infrastructuur (50 jaar). Een uitgebreid overzicht kan gevonden worden in het achtergrondrapport.

Belangrijke aannames kosten

Voor elektriciteitsprijzen is gerekend met scenario Koersvaste Middenweg (Netbeheer Nederland, 2025), en de doorrekening daarvan in het ETM. Voor gas en brandstoffen zijn specifieke bronnen gehanteerd, opgenomen in het achtergrondrapport. Specifieke gegevens per techniek zijn opgenomen in het achtergrondrapport. Voor zon en wind is gerekend met SDE++-bedragen, voor aggregaten een investeringsbedrag van 400 €/kW (CE Delft, 2024), voor elektrolyse een bedrag van 2.840 €/kW (PBL, 2024).

⁹ Conform de aanbevelingen van de Werkgroep Discontovoet (Ministerie van Financiën, 2020).

¹⁰ Het saldo van kosten en baten als beide teruggerekend worden naar de waarde op het moment dat een project (in dit geval: de energiehubs- of de referentiesituatie) start.

Voor batterijen is een formule opgezet afhankelijk van de omvang van een batterij, gebaseerd op recente publieke bronnen over batterijprijzen. Voor een 1 MWh systeem is de prijs ongeveer 250 €/kWh (totaalprijs inclusief installatie), uitgaande van verwachte kostendeling (NREL, 2024).

Organisatiekosten

Voor de organisatiekosten hebben we recente data ontvangen van Liander. We zijn uitgegaan van een getal lager dan de onderkant van de gegeven range vanwege verwachte leereffecten. De kosten gaan uit van een software en hardware voor centraal energiemangement systeem (€ 30.000 per jaar voor bedrijventerrein/collectieve technieken en € 1.000 per individueel bedrijf) en 0,3 fte per jaar voor beheer, parkmanagement en beleid (€ 30.000 per jaar).

Innovatie- en leereffecten

Innovatie- en leereffecten spelen een rol bij de ontwikkeling van energiehubbs. Technologische innovatie en opschaling kunnen op termijn leiden tot kostenreducties, bijvoorbeeld door goedkopere batterijen, efficiëntere energiesturing en standaardisering van digitale systemen. Veel assets (zoals batterijen en aggregaten) worden aangeschaft in energiehub en referentie, waardoor wijzigingen in beide situaties doorwerken. Aangezien de energiehub in deze analyse vanaf 2025 start, zitten deze leereffecten niet in de berekening. Wel houden we dus rekening met iets lagere organisatiekosten.

1.8 Duiding resultaten en beperkingen

Deze studie werkt met één representatieve casus per archetype. De praktijk wijkt daarvan af en de casussen zullen niet exact zo bestaan. Het vormgeven van een lokale samenwerking tussen energiegebruikers zal altijd maatwerk zijn.

De momenten waarop energie wordt afgenomen van het net (laad- of gebruiksprofielen) verschillen in de praktijk van de aangenomen standaardprofielen, aangezien energiegedrag van bedrijven en consumenten in de praktijk van veel factoren afhangt.¹¹ Zo bezien vormen de archetypes dus een hulpmiddel bij het beschrijven en identificeren van locaties, geen absolute werkelijkheid.

Voorbeeld 1

In Arnhem is een praktische benadering toegepast waarbij bouwbedrijven meeliften op bestaande transportcapaciteit. Zo gebruikt één groot openbaarvervoerbedrijf overdag het *trolleyneet* voor het eigen busvervoer. Enkele andere bedrijven, actief in de bouwsector, koppelen 's nachts hun bouwmachines aan hetzelfde net, wanneer het openbaar vervoer tussen ongeveer 1.00 uur en 5.00 uur in de ochtend niet rijdt. Deze aanpak maakt efficiënter gebruik van het trolleyneet mogelijk. Door een zeer complementair laad- en gebruiksprofiel, in combinatie met de stringente stikstofbeperking vanuit aangrenzende Natura 2000-gebieden verwachten wij dat deze maatschappelijke baten aanzienlijk positiever uitpakken dan een doorrekening van één archetype.



Voorbeeld 2

Tegenover dit voorbeeld staat een gemengd bedrijventerrein waarin alle bedrijven hun processen in de ochtend om 7.00 uur starten en om 18.00 uur weer afschakelen als het personeel naar huis gaat. De bedrijven zien weinig kans hun personeel en machines buiten werktijden in te zetten. Door uitwisseling van een hub zijn de baten hier beperkt. De bedrijven kunnen nauwelijks van elkaars overcapaciteit buiten werktijden gebruik maken. Ten opzichte van individuele oplossingen, is er dus weinig meerwaarde van een collectieve aanpak.



¹¹ Energiegedrag kan in essentie worden opgevat als gewoontegedrag: huishoudens volgen vaak terugkerende routines (bijvoorbeeld vaste kook-, was- of laadtijden na avondspits). Toch treden er afwijkingen op door uiteenlopende factoren zoals weersomstandigheden, inkomens- en prijseffecten, technologische mogelijkheden (zoals slim laden), en onverwachte gebeurtenissen. Hierdoor zijn individuele gebruiksprofielen nooit 100% voorspelbaar.

In onderstaand tekstkader gaan we in op hoe de resultaten kunnen worden geïnterpreteerd in het licht van deze uitgangspunten en gehanteerde benadering van twaalf archetypes (zie ook Hoofdstuk 2).

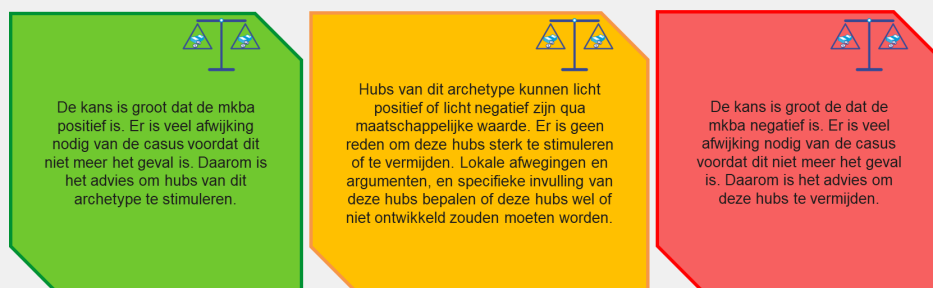
Duiding bij de resultaten:

- De resultaten zijn berekend op basis van **twaalf representatieve invullingen** van types energiehubs uit de families van Haskoning (archetypes). Er is een precieze energetische doorrekening gemaakt om te komen tot deze representatieve invullingen.
- Dat wil niet zeggen dat iedere hub van een bepaald type precies hetzelfde mkba-resultaat zou hebben. Dit ligt mede aan de hoe energiehubs zijn vormgegeven, welke en hoeveel bedrijven of huishoudens in de praktijk deelnemen, hoe hun energievraag er uit ziet, en welke mogelijkheden zij hebben deze in de praktijk te verschuiven.
- Figuur 5 presenteert hoe de resultaten globaal te duiden zijn. We verwachten dat als een mkba-resultaat **erg positief (groen)** of juist **erg negatief (rood)** is, een invulling sterk moet afwijken van het archetype om dit om te laten klappen naar een respectievelijk **negatief** of **positief resultaat**. Individuele casussen kunnen afwijken, en dus zijn specifieke analyses gewenst als voorbereiding voor eventuele ontwikkeling van een energiehubs.
- Als een mkba-resultaat **niet heel duidelijk positief** of **negatief is (oranje)** is de kans op omklappen bij een specifieke invulling waarschijnlijker. Dan is het extra interessant om voor deze casus een specifieke analyse te laten uitvoeren. Op het moment dat een **mkba matig positief** of **negatief** is, kan aanvullend naar andere overwegingen worden gekeken om de hub te ontwikkelen (versterken van lokaal ondernemerschap, cohesie en strategische autonomie).
- Op het moment dat een mkba-resultaat **erg negatief** is, verwachten wij dat type archetype **niet kansrijk** is vanuit maatschappelijke waarde. Als het mkba-resultaat **erg positief** is, luidt het advies deze te ondersteunen.
- Energiehubs zijn één van de manieren om flexibiliteit te ontsluiten; een vergelijking met andere methode (zoals congestiemanagement of netbeheerderscontracten) is geen onderdeel van deze studie. Mogelijk bieden deze oplossingen hetzelfde potentieel tegen lagere of hogere kosten.



Figuur 5 – Overzicht duiding resultaten

Duiding resultaat maatschappelijke waarde



2 De twaalf archetypes energiehubs

2.1 Definitie van energiehubs

Er is geen algemeen geldende definitie van een energiehubs. In Tekstkader 3 zetten we onze definitie van energiehubs uiteen als uitgangspunt van deze studie.

Tekstkader 3 – Gehanteerde definitie van energiehubs in deze studie

Een energiehubs is een lokale samenwerking waarbij verschillende partijen (zoals bedrijven, organisaties en/of huishoudens) hun energie-opwek, -verbruik, -opslag en/of -conversie op elkaar afstemmen om het lokale energienet efficiënter te benutten, energiekosten te verlagen en/of netcongestie effecten te verminderen.



De energiehubs kan op de energiedrager elektriciteit betrekking hebben, maar kan ook uitwisseling van andere type energie omvatten. De samenwerking kan betrekking hebben op uitwisseling van (hernieuwbare) warmte en schone gassen. Wanneer de samenwerking de afstemming van meerdere energiedragers betreft, dan spreken we van een multi-commodity energiehubs.

In een eerdere studie van Haskoning (2024) naar familieleden van energiehubs zijn vier families geïdentificeerd:

- bedrijventerreinen;
- mobiliteit;
- cluster 6 industrie;
- gebouwde omgeving.

In deze studie zijn mobiliteit-energiehubs niet als *familie* meegenomen zoals in de studie van Haskoning, maar wel als *relevante cases* binnen de familie bedrijventerreinen (Type 1, 2 en 3). Mobiliteit is vaak een integraal onderdeel, en de locaties met alleen mobiliteit kennen een beperkt aantal partijen. Een uitgebreide vergelijking is opgenomen in het achtergrondrapport.

We identificeren ten opzichte van de Haskoning-indeling nog één extra familie, namelijk duurzame opwek. Dit zijn bedrijventerreinen (locaties) die worden gedomineerd door lokale duurzame opwek, waarbij de invoedingspiek significant groter is dan de afnamepiek. Het kan ook gaan om combinaties van verschillende vormen van duurzame opwek met flexibiliteit.

In totaal zijn binnen de scope van deze studie twaalf familieleden (archetype energiehub) onderzocht.¹² We lichten in Bijlage A de geïdentificeerde archetypes toe die niet zijn geselecteerd.

Figuur 6 – Overzicht van vier families en twaalf familieleden in scope van deze studie

 Bedrijventerreinen	 Cluster 6	 Gebouwde omgeving	 Duurzame opwek
1. Gemengd bedrijventerrein – elektrificatie	6. Industrieel bedrijventerrein - elektrificatie	8. Bestaande buurt- elektrificatie	12. Gemengde bedrijventerrein - duurzame elektriciteitsproductie
2. Gemengd bedrijventerrein – ZLT - warmtenet	7. Industrieel bedrijventerrein - multi-commodity (waterstof, elektriciteit, warmte)	9. Bestaande buurt – ZLT- warmtenet	
3. Logistiek bedrijventerrein		10. Nieuwbouwwijk	
4. Glastuinbouw		11. Bestaande buurt - MT- restwarmte	
5. RWZI-locatie (en bestaande buurt)			
 <i>Buiten scope: Solitaire locaties (zoals snellaadlocaties en industrie), datacenters, groengas en waterstof-productie, locaties met alleen duurzame opwek, MT-warmtenet in bestaande wijken.</i>			

2.2 De twaalf archetypes: Potentie voor 2.500 hubs

Een archetype energiehub kan beschreven worden door het type bedrijven/woningen en energiekenmerken zoals de elektriciteitsvraag en -productie per uur en vraag naar andere energiedragers. Met een data-analyse van alle bedrijventerreinen en woonwijken in Nederland zijn de *gemiddelde* eigenschappen per archetype in kaart gebracht inclusief het aantal energiehub met deze kenmerken in Nederland. Energiehubs kunnen betrekking hebben op elektriciteit, maar ook op andere energiedragers zoals warmte, waterstof of groengas, of combinaties (multi-commodity). In Tabel 2 is een compacte beschrijving opgenomen per casus met het aantal potentiële energiehubs, in Tekstkader 4 een korte toelichting over hoe de aantallen zijn bepaald.

¹² De twaalf archetypes vormen niet een statistisch representatief beeld van alle locaties van woningen en bedrijven in Nederland waar energiehubs kansrijk zijn, maar bieden een indeling op basis van onderliggende logische kenmerken zoals type energievraag, het tijdsprofiel van deze vraag en mogelijkheden voor hernieuwbare opwek op locatie.

Tabel 2 – Beschrijving van archetype energiehubbs en referentie, met aantal potentiële hubs in Nederland

Familie	Archetype	Aantal hubs	Beschrijving archetype bedrijventerrein/woonwijk	
			Beschrijving referentie	Beschrijving energiehub
Bedrijven- terrein 	1. Gemengd bedrijventerrein – elektrificatie	347	Gemengd terrein met diverse bedrijven. Transitie via elektrificatie van warmte, mobiliteit en lokale opwek. Gebaseerd op middelgrote terreinen (IBIS) met gemengde functies en gemiddelde energie-intensiteit.	
			<i>Individuele elektrificatie met mitigatie door eigen batterijen en aggregaten.</i>	<i>Gezamenlijke batterij en aggregaat, afstemming van opwek en verbruik.</i>
	2. Gemengd bedrijventerrein – ZLT-warmtenet	347	Zelfde basis als 1). Transitie via collectieve verduurzaming van warmte.	
			<i>Individuele warmtevoorziening met gasketel of warmtepomp, eigen batterijen en aggregaten.</i>	<i>Gezamenlijk ZLT-warmtenet met warmtepompen, gedeelde batterij en aggregaat.</i>
	3. Logistiek bedrijventerrein	151	Logistiek terrein met nadruk op opslag en transport. Transitie via elektrificatie van warmte, wagenpark en met lokale opwek. Gebaseerd op middelgrote distributieparks (IBIS) met logistieke en industriële functies en terreinen met relatief veel trucks in Elaad-prognoses.	
			<i>Individuele elektrificatie met eigen batterijen en aggregaten, beperkt door transportvermogen.</i>	<i>Gezamenlijke batterij en aggregaat, gezamenlijke benutting van netcapaciteit en opwek.</i>
	4. Glastuinbouw	17	Cluster van glastuinbouwbedrijven met diverse teelten en warmtevraag. Transitie via vermindering van gasgebruik en inzet van geothermie en warmtepompen. Gebaseerd op (CE Delft, 2025).	
			<i>Individuele verduurzaming via warmtepompen, afbouw van wkk en gasketels, externe CO₂-inkoop.</i>	<i>Collectief MT-warmtenet gevoed door geothermie, resterende warmte uit wkk's, minder gasgebruik.</i>
	5. RWZI locatie (en bestaande buurt)	55	RWZI met nabijgelegen woonwijk en bedrijvigheid. Transitie via koppeling van restwarmte en productie van waterstof en zuurstof. Gebaseerd op RWZI's (selectie met biogasproductie en toenemende elektriciteitsvraag en zuurstof-behoefte) nabij stedelijke gebieden	
			<i>Individuele warmtepompen en externe zuurstofinkoop, eigen batterijen en aggregaten.</i>	<i>Collectief MT-warmtenet met restwarmte uit elektrolyse en aquathermie, gezamenlijke batterij en aggregaat, lokale zuurstof-benutting.</i>
Cluster 6 industrie 	6. Industrieel bedrijventerrein – elektrificatie	105	Industrieel terrein met dominante verbruiker met hoge temperatuurprocessen. Transitie in elektrificatie van warmteprocessen dominant naast mobiliteit en lokale opwek. Gebaseerd op voedingsmiddelen- en papier-industrie nabij bedrijventerreinen.	
			<i>Individuele elektrificatie met eigen batterijen en aggregaten, geen samenwerking of netoptimalisatie.</i>	<i>Gezamenlijke batterij en aggregaat, gecoördineerd verbruik en gedeelde netcapaciteit.</i>
		19	Industrieel terrein met dominante verbruiker met zeerhogetemperatuur-processen. Transitie via elektrificatie, lokale waterstofproductie en benutting van restwarmte. Gebaseerd op glas en keramische industrie nabij bedrijventerreinen.	

Familie	Archetype	Aantal hubs	Beschrijving archetype bedrijventerrein/woonwijk	
			Beschrijving referentie	Beschrijving energiehub
	7. Industrieel bedrijven-terrein - multicommodity (waterstof, elektriciteit, en warmte)		<i>Individuele elektrificatie, externe inkoop van waterstof, eigen batterijen en aggregaten.</i>	<i>Lokale elektrolyser met restwarmtelevering via MT-warmtenet, gezamenlijke batterij en aggregaat, interne waterstofvoorziening.</i>
Gebouwde omgeving 	8. Bestaande buurt – all-electric	932	Gemengde woonwijk met woningen en lichte utiliteit. Transitie via volledige elektrificatie van warmte, mobiliteit en lokale opwek. Gebaseerd op bestaande buurten (PBL ASA2025 S1) met redelijke tot goede isolatie.	
			<i>Individuele hybride warmte-pompen met gasketel als back-up, geen collectieve flexibiliteit.</i>	<i>Collectieve all-electric warmtepompen met gezamenlijke batterij en aggregaat voor balancerend.</i>
	9. Bestaande buurt – ZLT-warmtenet	114	Gemengde woonwijk met woningen en veel utiliteit. Transitie via collectieve warmtevoorziening met ZLT-warmtenet en elektrificatie van mobiliteit. Gebaseerd op buurten (PBL ASA2025 S3) met gemengd isolatieniveau en hoge dichtheid.	
			<i>Individuele hybride warmte-pompen, hoge isolatiegraad, geen collectieve warmtevoorziening.</i>	<i>Collectief ZLT-warmtenet op restwarmte met wko-regeneratie, lagere isolatiegraad, gezamenlijke batterij en aggregaat.</i>
	10. Nieuwbouwwijk	38	Grootschalige nieuwbouwlocatie met beperkte netcapaciteit. Transitie via all-electric bouw, hoge energie-efficiëntie en lokale flexibiliteit. Gebaseerd op netbewuste woningbouwlocaties (NOVEX) met hoge isolatie en collectieve opwek.	
Duurzame opwek			<i>Beperkte woningrealisatie zonder collectieve energievoorzieningen, volledig individueel all-electric.</i>	<i>Volledige woningrealisatie met gezamenlijke batterij en aggregaat, collectieve flexibiliteit en netoptimalisatie.</i>
	11. Bestaande buurt – MT-restwarmtenet	699	Gemengde woonwijk met woningen en utiliteit. Transitie via collectieve warmtevoorziening op basis van industriële restwarmte. Gebaseerd op buurten (PBL ASA2025 S2) nabij industrie of RWZI met restwarmtepotentie.	
			<i>Individuele hybride warmte-pompen met gasketel als back-up, geen collectieve warmtevoorziening.</i>	<i>Collectief MT-warmtenet gevoed door restwarmte, aangevuld met centrale gasketel, gezamenlijke batterij en aggregaat.</i>
	12. Gemengde bedrijventerrein - duurzame elektriciteitsproductie	347	Gemengd bedrijventerrein met hoge opwekpotentie. Transitie via elektrificatie van warmte en mobiliteit en collectieve productie van hernieuwbare elektriciteit. Gebaseerd op middelgrote terreinen (IBIS) met ruimte voor zon- en windenergie.	
			<i>Individuele elektrificatie met eigen opwek zon-pv, eigen batterijen en aggregaten.</i>	<i>Gezamenlijke windturbine en zonnepark met gedeelde batterij en aggregaat voor lokale energievoorziening.</i>

Tekstkader 4 – Inschattingmethode aantal hubs per archetype

Inschattingmethode aantal hubs per archetype

Het aantal hubs is bepaald op basis van een ruimtelijke analyse van woonwijken, bedrijventerreinen en individuele bedrijfslocaties voor industrie en RWZI's. Daarbij zijn locatiegegevens gecombineerd met informatie over de huidige en toekomstige energievraag. De archetypehubs zijn samengesteld door de database te filteren op casus-specifieke kenmerken, zoals het aantal elektrische trucks of de hoeveelheid procesenergie. De resterende locaties vormen de basis voor de casuseigenschappen, waaronder het aantal bedrijven en het energieverbruik. Het mkba-resultaat van de casus wordt vervolgens geëxtrapoleerd op basis van dezelfde database. Dit gebeurt bijvoorbeeld door vermenigvuldiging met het totaal aantal locaties of met het momenteel ingeschatte contractvermogen.



Over deze twaalf archetypes concluderen we dat:

- Nederland kent grofweg **2.500 locaties** die voldoen aan de kenmerken van de twaalf archetypes. Voor deze locaties zijn de kosten en baten, en daarmee de maatschappelijke rentabiliteit van de investeringen in energiehub bepaald. Voor een deel vertaalt zich dit in de aanbeveling om een energiehub te ontwikkelen (positieve contante waarde).
- Er zijn **350 gemengde bedrijventerreinen** met energiehub potentieel. Voor deze bedrijventerreinen verschilt per situatie wat de meest logische route is: elektrificatie van de warmtevraag, een restwarmtenet en/of potentie voor additionele productie met zonneparken en windmolens.
- **150 logistieke bedrijventerreinen** kunnen worden geïdentificeerd met veel vrachtwagens en bestelauto's.
- Er zijn **72 specifieke bedrijventerreinen** met een sterk glastuinbouwcluster of een bedrijventerrein met nabij gelegen RWZI-locatie met groengasproductie.
- We identificeren **124 potentiële energiehub**s waarbij een Cluster 6-industrie gelegen is naast of op een bedrijventerrein, waarvan bij het grootste gedeelte de elektrificatieroute de meest logische verduurzaming is.
- In de gebouwde omgeving identificeren we **1.715 bestaande** wijken met in totaal 1,4 miljoen woningen (17% van aantal woningen in Nederland). Dit zijn wijken met minstens 100 woningen, en een duidelijk kosteneffectieve warmtetechniek. Daarnaast zijn er 38 grootschalige nieuwbouwlocaties, waar een energiehub meer woningen mogelijk kan maken als er beperkte netcapaciteit aanwezig is.

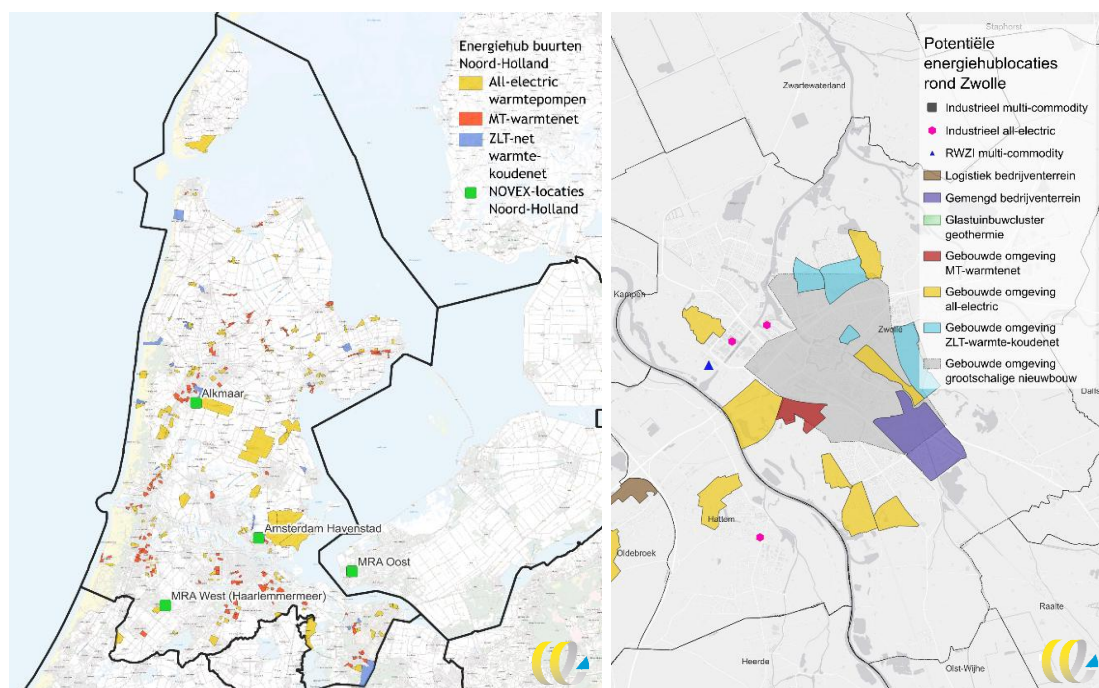
2.3 Regionale potentie energiehubs

Alle bedrijventerreinen en woonwijken van Nederland zijn onderzocht om te onderzoeken of er potentieel is voor een energiehubs. Dit biedt inzicht in de lokale potentie van energiehubs en het mogelijk verbinden van verschillende energiehubs onderling. De potentiescan kan identificeren waar energiehubs maatschappelijk kunnen bijdragen aan duurzaamheid, verlichten van netcongestie en verminderen van beperkingen voor bedrijven en woningbouw.

Om een beeld te geven van de regionale analyses maar vooral de potentie voor synergiën tussen energiehubs zijn enkele voorbeelden uitgewerkt in Figuur 7.

In provincie Noord-Holland (linker paneel) zijn er vier grootschalige nieuwbouwgebieden met in totaal 100.000 woningen gepland, waar netbewuste nieuwbouw energiehubs toegepast kunnen worden. Daarnaast zijn er 266 potentiële hubs geïdentificeerd van meer kleinschalige woningbouwlocaties, voornamelijk all-electric en middentemperatuurstwarmtenetcasussen. Als we inzoomen in een specifiek gebied, zoals gemeente Zwolle (rechterpaneel), is er ook potentiële synergie te zien tussen verschillende hubs voor bijvoorbeeld een gebiedsgerichte aanpak.¹³

Figuur 7 – Visualisatie van energiehubs in woonwijken in provincie Noord-Holland (links) en verschillende type energiehubs in gemeente Zwolle (rechts)



¹³ Denk aan het slim combineren van infrastructuur (elektriciteit, warmte, waterstof), het gezamenlijk benutten van ruimte.

3 Mkba-resultaten

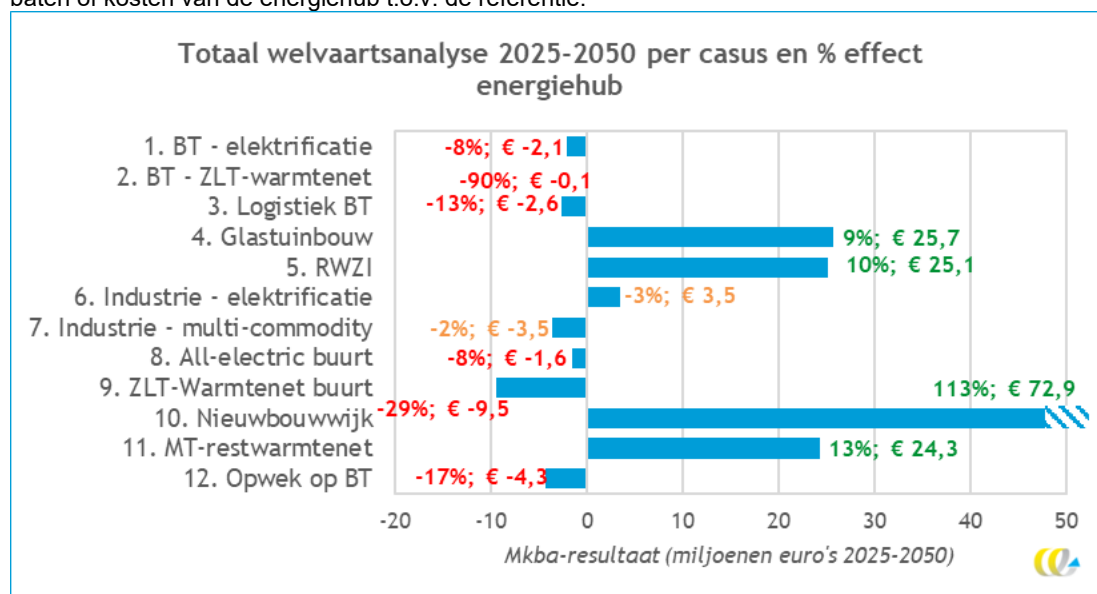
3.1 Inleiding

In dit hoofdstuk gaan we in op de voornaamste uitkomsten van onze mkba-analyse. We presenteren eerst een overzicht van de resultaten, inclusief een korte duiding van de resultaten per casus. Vervolgens gaan we nader in op de belangrijkste inzichten die verkregen kunnen worden. Nadat we de uitkomsten van de extrapolatie naar Nederland hebben gepresenteerd, sluiten we af met de gevoeligheidsanalyse.

3.2 Overzicht resultaten

Een samenvatting van de mkba-resultaten per casus staat in Figuur 8. Uitgebreide resultaten en toelichting hebben we opgenomen in het achtergrondrapport. De resultaten verschillen sterk per archetype met zowel negatieve als positieve mkba-uitkomsten. Een deel van de energiehubbs met meerdere energiedragers (multi-commodity hubs zoals archetypes 4, 5, 7 en 11) en energiehubbs die extra nieuwbouwwoningen mogelijk maken (archetype 10) kennen een positieve uitkomst. Tegelijkertijd zijn de eenvoudige hubs op gemengde bedrijventerreinen (één energiedrager, meestal elektriciteit, archetypes 1, 2 en 3) negatief in hun uitkomst.

Figuur 8 – Resultaat welvaartsanalyse per casus (zichtperiode 2025 tot 2050 in miljoenen euro's). Het percentage geeft het relatieve welvaartsverschil weer t.o.v. de totale kosten; dit is de procentuele baten of kosten van de energiehub t.o.v. de referentie.



Bedrijventerreinen (archetypes: 1, 2, 3, 12)

Resultaat: (kleine) negatieve maatschappelijk waarde.

Drivers resultaat: Casus kennen geen grote maatschappelijke baten, daardoor negatief welvaartseffect door organisatiekosten en kleine verschillen in investeringskosten assets.

De bedrijventerreinen met verschillende type mkb-bedrijven hebben een (kleine) negatieve maatschappelijk waarde. De organisatiekosten in combinatie met de investeringen in de assets zijn voor deze archetypes relatief hoog en daarmee sterk bepalend voor het mkba-resultaat. De baten die de energiehubs opleveren, wegen onvoldoende op tegen deze kosten. Daar waar aardgasverbruik in de warmtevoorziening direct kan worden vermeden (zoals bij archetype 2 met een ZLT-warmtenet), valt de maatschappelijke waarde echter positiever uit (maar is nog steeds licht negatief).

Glastuinbouwclusters (archetype: 4)

Resultaat: positieve maatschappelijk waarde.

Drivers resultaat: lagere investeringskosten assets, minder elektriciteitsafname.

Energiehubs bij glastuinbouwclusters kunnen in potentie veel maatschappelijke waarde hebben. Uit onze analyse blijkt dat dit voor een collectief warmtenet op basis van geothermie bij glastuinbouwclusters het geval is.

De belangrijkste driver voor dit resultaat is dat het warmtenet een goedkopere oplossing is dan het aanschaffen van individuele warmtepompen. Dit is een collectieve oplossing waarvoor onderlinge samenwerking noodzakelijk is. De positieve uitkomst zit met name in lagere investeringskosten en uitgespaarde kosten voor elektriciteitsafname van het net. In de energiehub ontstaan er ten opzichte van de referentie echter wel extra CO₂-emissies, doordat het cluster gebruik blijft maken van wkk's voor de (piek)elektriciteitsvraag.

RWZI's (archetype: 5)

Resultaat: positieve maatschappelijk waarde.

Drivers resultaat: vermeden aardgasverbruik, vermeden CO₂-emissies, opbrengsten elektrolyser, gunstige timing elektriciteitsafname.

Energiehubs bij RWZI's kunnen in potentie aanzienlijke maatschappelijke waarde hebben. Bij de casus met een gezamenlijke elektrolyser ontstaan substantiële CO₂-baten in de vorm van vermeden aardgasverbruik (door lokale benutting van de restwarmte van de elektrolyser) en lagere emissies in de maakfase van assets.

Daarnaast levert de elektrolyser ook opbrengsten uit de verkoop van groene waterstof en uitgespaarde kosten voor de inkoop van zuurstof bij bedrijven in de energiehub. Tenslotte zijn er lagere kosten voor elektriciteitsafname van het net doordat de energiehub op relatief gunstige momenten elektriciteit afneemt.

Industrie – elektrificatie (archetype: 6)

Resultaat: (relatief kleine) positieve maatschappelijk waarde.

Drivers resultaat: vermeden aardgasverbruik.

De analyse van de elektrificatie van een Cluster 6 industrie bedrijventerrein levert een positief mkba-resultaat op. Afgezet tegen de totale kosten en baten, is het mkba-resultaat echter relatief klein. De verwachte baten ontstaan voornamelijk door vermeden aardgasverbruik, met substantiële baten door vermeden CO₂-emissies. Ook de organisatiekosten spelen gezien het lage netto resultaat in deze casus een relatief grote rol.

Industrie – multi-commodity (archetype: 7)

Resultaat: (relatief kleine) negatieve maatschappelijk waarde.

Drivers resultaat: vermeden CO₂-emissies, opbrengsten elektrolyser, gunstige timing elektriciteitsafname.

Voor de multicommodity casus voor een Cluster 6 bedrijventerreinen zien we een klein negatief resultaat. De energiehubs kent een netto positief resultaat tot 2040, maar dit verdwijnt richting 2050. De belangrijkste driver hiervoor is de relatieve CO₂-winst van de energiehubs die over tijd afneemt. De gezamenlijke elektrolyser van de energiehubs produceert immers groene waterstof, maar omdat de beschikbaarheid van groene waterstof richting 2050 toeneemt in de referentie, neemt de CO₂-winst af.

All-electric buurt (archetype: 8)

Resultaat: (kleine) negatieve maatschappelijk waarde.

Drivers resultaat: organisatiekosten.

De all-electric buurt verschilt weinig van de referentiesituatie, waardoor het verschil in de kosten en baten laag uitvallen. De organisatiekosten zijn daarmee doorslaggevend voor het mkba-resultaat. De baten die hier tegenover staan, voornamelijk in de vorm van vermeden CO₂-emissies (voornamelijk gerelateerd aan het aardgasverbruik) en uitgespaarde netinvesteringen, wegen hier niet tegenop. Dit laat zien dat een samenwerking van veel partijen gericht op beperking van piekvraag in deze casus niet loont.

Warmtenet bestaande buurt (archetypes: 9 en 11)

Resultaat: respectievelijk negatieve en positieve maatschappelijk waarde.

Drivers resultaat: investeringskosten assets, elektriciteitsafname.

De aanzienlijke investeringen voor de energiehubs met een ZLT-warmtenet betalen zich maatschappelijk gezien niet terug, terwijl dit voor de energiehubs met een MT-warmtenet wel het geval is. Dit komt met name omdat er, in tegenstelling tot een ZLT-warmtenet, met een MT-warmtenet geen warmtepompen nodig zijn om de warmte op te waarderen, wat leidt tot lagere investeringen en minder elektriciteitsafname van het net.

Nieuwbouwwijk (archetype: 10)

Resultaat: sterk positieve maatschappelijke waarde.

Drivers resultaat: woningbouw.

De belangrijkste driver voor het sterk positieve resultaat voor deze casus is de extra woningbouw die door de energiehubs gerealiseerd kan worden. Dit weegt ruimschoots op tegen de investeringen in assets en bijvoorbeeld de CO₂-emissies van de bouw van de woningen.

3.3 Inzichten mkba-casussen

Uit de resultaten van de mkba per casus hebben we de volgende overkoepelende inzichten gehaald:

- Naast een goede samenwerkingsvorm voor bedrijven en huishoudens, zijn ook de absolute investeringsbedragen relevant. **De aanschaf of aanleg van assets (warmtetechniek, batterij, aggregaat, etc.) vertegenwoordigt een aanzienlijke eenmalige uitgave. Deze eenmalige kosten zijn in hoge mate bepalend voor de mkba-resultaten.** Voor bijna alle casussen zijn de directe kosten van de assets (investeringen en operationele kosten) één van de doorslaggevende factoren. Soms verschillen de keuzes voor technieken tussen de referentie en energiehubs (bijvoorbeeld warmtenet of warmtepomp, of lokale elektrolyse of waterstofimport), of is de omvang van benodigde technieken (vooral voor batterijen en aggregaten) verschillend.
- **Samenwerking binnen de energiehubs gaat niet vanzelf en dient gefaciliteerd te worden: er is sprake van uiteenlopende prioriteiten en het levert verschillende voordelen voor de deelnemers. De organisatiekosten voor het realiseren van een energiehubs zijn in relatieve zin behoorlijk hoog voor bedrijventerreinen met verschillende typen mkb-bedrijven.** De investeringen en de baten die deze opleveren, zijn voor dit type energiehubs gemiddeld relatief laag. Hierdoor is de personele inzet voor het realiseren van een energiehubs een relatief grote kostenpost.
- **Referentie met batterijen en aggregaten aantrekkelijk alternatief voor elektriciteitscasussen:** Voor casussen zoals gemeente of logistieke bedrijventerreinen zien we beperkte verschillen tussen de energiehubs en de referentie. In de referentie bieden slimme energiesturing en individuele inzet van batterijen en aggregaten ook al een effectieve oplossing, waardoor de additionele maatschappelijke waarde beperkt is.
- **Energiehubs met verschillende energiedragers zijn veelbelovend voor creëren maatschappelijke waarde.** Bedrijventerreinen die als energiehubs inspelen op meerdere energiedragers, in onze analyse elektriciteit, groene waterstof en (rest)warmte, hebben de potentie om veel waarde toe te voegen. De RWZI- en glastuinbouwclustercasussen zijn hier goede voorbeelden van.
- **Casussen met baten buiten het energiesysteem zijn relevant.** Dit illustreert de casus van de nieuwbouwwijk als sterke uitschieter, mits extra woningen mogelijk worden. Dit zou ook mogelijk kunnen zijn bij extreme situaties waar congestie knellend is voor economische ontwikkeling (zie ook gevoeligheidsanalyses).
- **Substantiële reductie in piekbelasting, maar uitgespaarde investeringen in het elektriciteitsnet zijn beperkt.** In alle casussen zorgt de energiehubs voor een lagere netimpact en uitgespaarde netinvesteringen (behalve voor het glastuinbouwcluster, waar het geen effect heeft op de netinvesteringen), maar in geen van de casussen is dit een doorslaggevend voor het mkba-resultaat.

- **De voornaamste CO₂-effecten ontstaan door vermeden aardgasverbruik.** Vooral in casussen waar hybride warmtepompen een belangrijke rol spelen, zien we dat deze vaak doorslaggevend zijn voor een gunstig mkba-resultaat. De emissies die ontstaan in de maakfase van de assets zijn over het algemeen minder bepalend.
- **Eindgebruikerskosten voor daadwerkelijke deelnemers zullen verschillen van hier gepresenteerde kosten en baten.** Dit komt door energiebelasting, mogelijke subsidies en nettarieven. In deze mkba-analyse zijn wij uitsluitend uitgegaan van marktprijzen voor energie, en beschouwen we subsidies en energiebelasting als overdrachten. Daardoor vallen baten voor lokale initiatiefnemers hoger uit dan het maatschappelijke resultaat.
- **Lokale waterstofproductie (bij RWZI) is maatschappelijk gezien interessant.** In de casussen met een gemeenschappelijke investering in een elektrolyser, zien we dat dit substantiële baten oplevert in de vorm van verkoopopbrengsten (of vermeden kosten voor de inkoop) van waterstof, zuurstof en vermeden CO₂-emissies¹⁴.

3.4 Resultaten voor Nederland

De resultaten van deze studie zijn geëxtrapoleerd, gebaseerd op methodiek zoals beschreven in Hoofdstuk 2. De extrapolatie is uitgevoerd gebaseerd op relevante factoren: aantal vergelijkbare gebieden in Nederland, het geschatte energieverbruik, aantal voertuigen, aantal woningen, potentie zon/wind en aantal vierkante meter. Per casus zijn de meest relevante aspecten geselecteerd (2 tot 8). De laagste en hoogste indicator voor extrapolatie bepalen het interval voor inschatting van nationale resultaten. Dus stel dat de er 347 bedrijventerreinen zijn, met een totaal verbruik van 401 maal groter dan de voorbeeldcasus, is de extrapolatie uitgevoerd met een vermenigvuldigingsfactor van 347 tot 401. De resultaten zijn opgenomen in Tabel 3 per archetype. Daaruit volgt:

- **Mkba-resultaat:** De totale maatschappelijke waarde als alle potentiële energie-hubs gerealiseerd worden is netto een bedrag € 3,4 miljard tot 11,9 miljard van 2025 tot 2050. Als alleen de casussen met een positieve maatschappelijke waarde gerealiseerd worden, is de waarde zelfs € 10,5 miljard tot 20,4 miljard. In totaal zijn dit 914 locaties.
- **Vermeden netimpact betekent:** De netimpact betreft de gelijktijdige impact als optelsom van de casussen, zonder dat een netdoorrekening is uitgevoerd, en geeft inzicht in de potentiële netverzwaring die hiermee kan worden voorkomen. De maximale netimpact reductie is 4,7 tot 8,6 GW in 2050, waarvan 3,3 tot 6,2 GW een positief welvaartseffect kent.

¹⁴ In deze studie nemen we aan dat lokaal geproduceerde waterstof een (ingekochte) leveringsmix van grijs en groene waterstof vervangt. In deze mix neemt het aandeel groene waterstof geleidelijke aan toe. Als gevolg hiervan neemt de CO₂ – reductie af in de tijd.

Deze nationale resultaten laten een complexiteit zien tussen de mkba-waarde en CO₂-emissies, en in mindere mate de netimpact. De resultaten van deze drie facetten zijn niet altijd met elkaar in lijn (voor meer toelichting kunt u de resultaten per casus lezen in het achtergrondrapport). Een aandachtspunt voor beleid is dan ook waar prioriteit op gegeven wordt, en datzelfde geldt voor het ontwerp van individuele energiehub.

Tabel 3 – Overzicht van nationale geëxtrapoleerde resultaten mkba-waarde, en netimpact.

Archetype energiehub	Aantal gebieden	Mkba– geëxtrapoleerd 2025–2050 (mld.)		Netimpact reductie – geëxtrapoleerd in 2050 (MW)	
		Laag	Hoog	Laag	Hoog
1. Gemend bedrijventerrein: elektrificatie	347	-0,6	-0,8	370	480
2. Gemengd bedrijventerrein: ZLT-warmtenet	347	-0,0	-0,0	400	520
3. Logistiek bedrijventerrein	151	-0,4	-1,6	260	1.060
4. Glastuinbouw cluster	17	2,2	4,4	1.900	3.800
5. RWZI en bestaande buurt	55	1,4	3,8	350	1.050
6. Industrieel bedrijventerrein – elektrificatie	105	0,2	0,4	77	190
7. Industrieel bedrijventerrein met lokale H ₂ -productie	19	-0,1	-0,1	34	58
8. All-electric bestaande buurt	932	-4,6	-5,3	640	740
9. ZLT-warmtenet bestaande buurt	114	-1,0	-1,4	115	135
10. Nieuwbouwwijk	38	3,3	6,6	-	-
11. MT-restwarmtenet bestaande buurt	699	3,4	3,8	1.000	1.200
12. Bedrijventerrein duurzame elektriciteitsproductie	347	-0,4	-0,6	110	180
Totaal	2.477	4,0	12,9	4.700	8.600
Totaal: Positieve maatschappelijke waarde	914	10,5	20,4	3.300	6.200
Totaal: Positief CO₂-effect	2.155	-1,1	3,3		

3.5 Gevoeligheidsanalyses

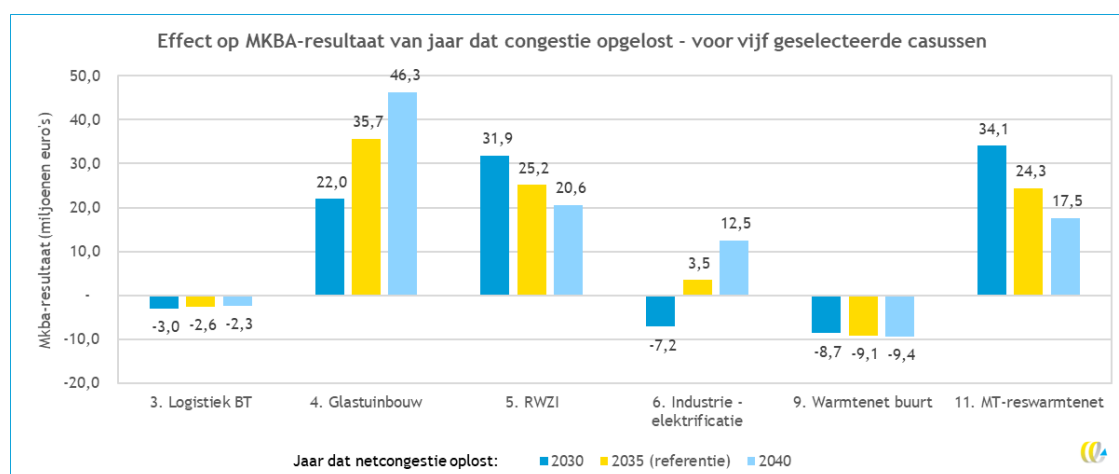
3.5.1 Netcongestie eerder of later opgelost

Een belangrijke aanname in het model betreft het moment waarop netcongestie wordt opgelost, met 2035 als basisaanname. Het tijdstip en de locatie van congestie-oplossing beïnvloeden de baten van een energiehub ten opzichte van de referentiesituatie.

Omdat hierover grote onzekerheid bestaat, is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd waarbij het jaar van congestie-oplossing varieert (2030 en 2040).

De uitkomsten van deze gevoeligheidsanalyses laten zien dat mkba-resultaten relatief robuust zijn. Figuur 9 geeft de resultaten van de gevoeligheidsanalyses weer voor een selectie van casussen (in het achtergrondrapport gaan we voor alle casussen uitgebreid in op de gevoeligheidsanalyses). Van alle (twaalf) casussen slaat slechts voor één casus het mkba-resultaat om: bij de casus industrie elektrificatie (archetype 6) heeft in basisanalyse (netcongestie lost in 2035 op) een positief resultaat van 3,5, maar negatief als congestie eerder opgelost wordt. Voor alle andere casussen slaat het resultaat niet om.

Figuur 9 – Gevoeligheidsanalyse: jaar dat netcongestie oplost



Als we de gevoeligheidsanalyses voor alle casussen gedetailleerder bekijken, zien we het volgende:

- **Gemengde bedrijventerreinen:** Maatschappelijke waarde neemt in alle vier de casussen toe naarmate netcongestie later oplost (het mkba-resultaat wordt minder negatief). Een belangrijke reden is dat de directe kosten voor de assets relatief gezien lager worden, omdat de bedrijven in de referentie langer gebruik maken van individuele batterijen en aggregaten zolang netcongestie nog niet is opgelost.
- **RWZI:** Maatschappelijke waarde neemt af naarmate netcongestie later oplost. De belangrijkste driver hiervoor is dat bedrijven in de referentie later overstappen op elektrische warmtepompen wanneer netcongestie later oplost en dus langer gebruik blijven maken van gasboilers.
- **Industriële bedrijventerreinen:** Maatschappelijke waarde neemt voor beide casussen toe naarmate netcongestie later oplost (mkba-resultaat positiever of minder negatief).

- **Glastuinbouwcluster:** Maatschappelijke waarde neemt toe naarmate netcongestie later oplost. De belangrijkste reden hiervoor is dat bedrijven in de referentie later overstappen op elektrische warmtepompen wanneer netcongestie later oplost en langer gebruik blijven maken van wkk's en individuele batterijen (leidend tot hogere directe kosten in de referentie).
- **Gebouwde omgeving:** Maatschappelijke waarde neemt in alle vier de casussen af naarmate netcongestie later oplost (mkba-resultaat minder positief dan wel negatiever). Een belangrijke reden is dat de directe kosten voor de assets relatief gezien (ten opzichte van de referentie) hoger worden, naarmate netcongestie later oplost, langer gebruik blijft maken van gasboilers en later overstapt op elektrische warmtepompen.

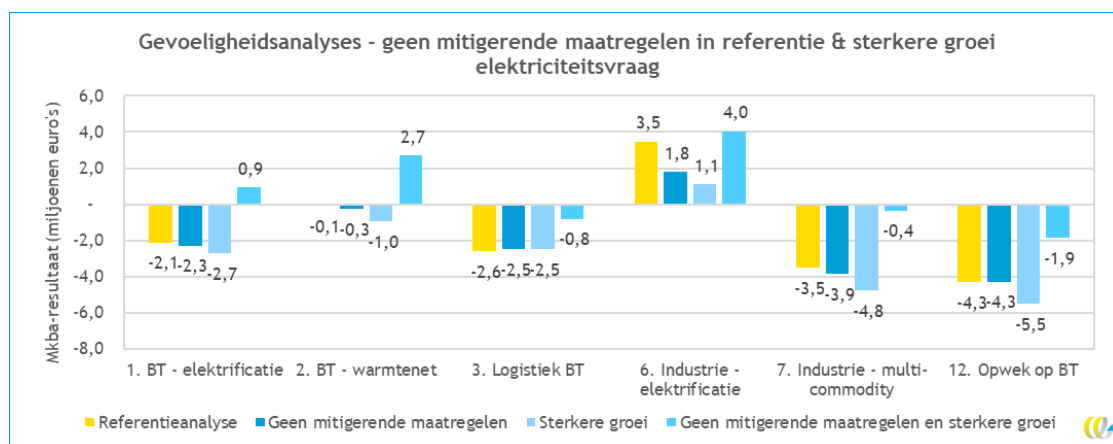
3.5.2 Bedrijven: groei en individuele maatregelen

In ons model zijn diverse aannames gemaakt over het gedrag van bedrijven in de referentiesituatie en de ontwikkeling van de elektriciteitsvraag. Voor de gemengde en industriële bedrijventerreincasussen zijn drie aanvullende gevoeligheidsanalyses uitgevoerd, die specifiek voor deze casussen relevant zijn):

- **Geen mitigerende maatregelen:** In de referentie veronderstellen we dat bedrijven bij netcongestie zelf individuele batterijen en aggregaten aanschaffen om in hun elektriciteitsvraag te voorzien. In deze gevoeligheidsanalyse nemen we juist aan dat zij dit niet (kunnen) doen. Daardoor kunnen bedrijven binnen de energiehubs sneller verduurzamen of groeien dan in de referentie, waar hun mogelijkheden worden beperkt. Het feit dat bedrijven in de referentie niet direct op harde grenzen stuiten, kan worden gezien als een conservatieve inschatting van de mogelijke baten.
- **Sterkere groei:** In de referentie gaan we uit van een beperkte groei van de elektriciteitsvraag. In deze gevoeligheidsanalyse veronderstellen we daarentegen een sterke groei. Het idee hierbij is dat wanneer de ongefaciliteerde elektriciteitsvraag groter uitvalt, de energiehubs meer toegevoegde waarde kan bieden.
- **Geen mitigerende maatregelen en sterkere groei:** Deze gevoeligheidsanalyse combineert de uitgangspunten van de twee bovenstaande gevoeligheidsanalyses.

De uitkomst van deze gevoeligheidsanalyses is te zien in Figuur 10. Alleen voor archetypes 1 en 2 (BT-elektrificatie en BT-warmtenet) slaat voor één van de gevoeligheidsanalyses (sterkere groei en geen mitigerende maatregelen) de uitkomst van de mkba om van negatief naar positief. Over het algemeen blijven de casussen die een negatief mkba-resultaat hebben negatief en de casus die een positief resultaat kent (elektrificatie industrieel bedrijventerrein) positief. Ook de mate waarin de mkba-resultaten van de gevoeligheidsanalyses afwijken van de referentieanalyse is beperkt.

Figuur 10 – Overzicht gevoeligheidsanalyses mitigerende maatregelen en groei elektriciteitsvraag



Als we dieper in gaan op de resultaten van elk van de gevoeligheidsanalyses, zien we het volgende:

- **Geen mitigerende maatregelen:** Voor vier casussen valt het mkba-resultaat ten opzichte van de referentieanalyse lager uit en voor twee casussen (logistiek bedrijventerrein en opwek op bedrijventerrein) blijft het ongeveer gelijk. Het feit dat bedrijven in de referentie niet meer investeren in batterijen en aggregaten is de belangrijkste verklaring voor het verschil; bedrijven in de energiehubs investeren nu immers relatief gezien nog meer in assets. Dit levert echter slechts beperkte productiviteitswinst op, en alleen vóór netcongestie is opgelost. Dit komt onder andere doordat de verwachte autonome groei van elektriciteitsvraag beperkt is, en daardoor knelpunt met congestie ook.
- **Sterkere groei:** Voor vijf casussen valt het mkba-resultaat ten opzichte van de referentieanalyse lager uit en voor één casus (logistiek bedrijventerrein) blijft het ongeveer gelijk. De belangrijkste verklaring hiervoor is dat de energiehubs ten opzichte van de referentieanalyse bij sterke groei in de elektriciteitsvraag nadat netcongestie is opgelost relatief gezien meer investeert in gezamenlijke batterijen en aggregaten, terwijl bedrijven in de referentie juist een groter contractvermogen afsluiten. Omdat bedrijven in de referentie voor netverzwaring mitigerende maatregelen nemen, is er voor de energiehubs geen productiviteitswinst.
- **Geen mitigerende maatregelen en sterkere groei:** Voor alle zes de casussen valt het MKBA-resultaat ten opzichte van de referentieanalyse hoger uit. De logische verklaring hiervoor is dat de toegenomen groei in de elektriciteitsvraag door bedrijven in de referentie niet wordt opgevangen met mitigerende maatregelen. Door de sterkere beperkingen van het net in bedrijfsuitbreiding ontstaat in de energiehubs productiviteitsgroei.

Merk op dat wanneer we het hier over productiviteitswinst hebben, dat dit *bruto productiviteitswinst* betreft. Deze is gebaseerd op de gemiddelde toegevoegde waarde per eenheid elektriciteitsverbruik van de sector en dus niet één-op-één kan worden overgenomen als welvaartswinst in onze analyse. Niet voor elk bedrijf zal de mogelijkheid om extra elektriciteit te verbruiken (direct) leiden tot een toename van de productie. Niet voor elk type bedrijf is de beschikbaarheid van elektriciteit in deze mate beperkend voor de productiviteit: voor (elektrische) productieprocessen is dit bijvoorbeeld heel anders dan panden met een kantoorfunctie. Daarnaast kan een productietoename binnen de energiehub ervoor zorgen dat elders in het land minder zal worden geproduceerd of zou deze additionele productie mogelijk ook door andere bedrijven verzorgd kunnen worden. De netto productiviteitswinst zal dus in veel gevallen lager uitvallen.

4 Aanbevelingen

De resultaten van deze mkba laten zien dat enkele energiehubbs een belangrijke bijdrage kunnen leveren als oplossing voor bedrijven en woningen voor netcongestie, het vergroten van de flexibiliteit in het energiesysteem en het realiseren van maatschappelijke baten. Energiehubbs met verschillende energiedragers zijn relevant voor creëren van maatschappelijke baten.

In deze studie zijn wij er conservatief vanuit gegaan dat netcongestie bedrijfsuitbreidingen niet in de weg gaat staan, omdat in de referentie ook individuele batterijen en aggregaten geplaatst worden als oplossing voor het congestieprobleem. Bij een sterke elektrificatie en als het niet mogelijk is om individuele batterijen of aggregaten te regelen, kan de energiehub een positievere maatschappelijke waarde bieden.

Op termijn is de verwachting dat de kosten van enkele assets (flexopties als batterijen) sterk zullen dalen, waardoor het saldo van kosten en baten bij een latere start van de energiehub kan veranderen. Hier staat tegenover dat bij te lang wachten netcongestie als drijfveer voor een energiehub minder urgent wordt.

Tegelijkertijd blijkt dat niet elk type hub even kansrijk is: de grootste maatschappelijke waarde ligt bij archetype met duidelijke schaalvoordelen of benutting van duurzame warmte of restwarmte, zoals RWZI's, glastuinbouwclusters en nieuwbouwwijken waar energiehubbs extra woningen mogelijk maken. Voor andere casussen, zoals all-electric bestaande wijken en logistieke bedrijventerreinen, wegen de organisatiekosten en investeringen vaak niet op tegen de baten. Dit vraagt om een selectieve beleidsinzet: ondersteuning zou gericht moeten zijn op die energiehubbs waar structureel positieve maatschappelijke effecten te verwachten zijn.

Tekstkader 5 – In deze studie komen we tot vier aanbevelingen

1. **Selectief inzetten op specifieke type energiehubbs:** Focus op archetypes met structurele positieve maatschappelijke waarde zoals bij RWZI's, glastuinbouwclusters en nieuwbouwwijken waarbij extra woningen mogelijk worden gemaakt door energiehubbs.

2. **Faciliteer samenwerking en schaalsprongen:** Opschaling en standaardisatie van energiehubs kunnen zowel de organisatiekosten verlagen als de baten vergroten. Door uniforme producten en ontwikkelprocessen toe te passen, ontstaat meer schaalvoordeel en wordt het voor betrokken partijen aantrekkelijker om de samenwerking structureel te organiseren.
3. **Blijf inzetten op ontwikkeling energiehubs:** Om de maatschappelijke waarde verder te onderzoeken en onderbouwen, zal nadere ontwikkeling van energiehubs nodig zijn. Zeker voor de energiehubs die hier geïdentificeerd zijn als “oranje” is het mkba-resultaat niet heel doorslaggevend en kunnen relatief kleine veranderingen aan de hub tot positieve resultaten leiden. Ook andere argumenten (niet-kwantificeerbare overwegingen) kunnen daarbij een rol spelen. Overwogen kan worden een maatwerkadvies financieel te ondersteunen om te beoordelen of er sprake is van duidelijke maatschappelijke waardes die afwijken van de generieke analyse die binnen deze studie zijn uitgevoerd.
4. **Verdere optimalisatie tussen maatschappelijke waarde en CO₂-reductie:** In beleid en ontwerp van energiehubs dient rekening gehouden te worden tussen een gevonden trade-off voor sommige casussen tussen netimpact, maatschappelijke waarde en CO₂-reductie. Deze gaan vaak maar niet altijd hand in hand, waardoor beleidsafweging en optimalisatie van ontwerp van belang zijn.

Literatuurlijst

- CE Delft. (2023). *Handboek Milieuprijzen 2023. Methodische onderbouwing van kengetallen gebruikt voor waardering van emissies en milieu-impacts*.
<https://ce.nl/publicaties/handboek-milieuprijzen-2023/>
- CE Delft. (2024). *Wat is de toegevoegde waarde van energiehubs?*
<https://ce.nl/publicaties/wat-is-de-toegevoegde-waarde-van-energiehubs/>
- CE Delft. (2025). *Ontwikkelingen energie-infrastructuur voor de glastuinbouw*.
- CPB, & PBL. (2013). *Algemene leidraad voor maatschappelijke kosten-batenanalyse*.
<https://www.cpb.nl/publicatie/algemene-leidraad-voor-maatschappelijke-kosten-batenanalyse>
- Netbeheer Nederland. (2025). *Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025*.
<https://www.netbeheernederland.nl/publicatie/netbeheer-nederland-scenarios-editie-2025>
- NREL. (2024). *Annual Technology Baseline*. https://atb.nrel.gov/electricity/2024/utility-scale_battery_storage
- PBL. (2024). *Eindadvies Basisbedragen SDE++ 2024*.
<https://www.pbl.nl/system/files/document/2024-03/pbl-2024-eindadvies-sde-plus-plus-2024-5040.pdf>
- Royal HaskoningDHV. (2024). *De Families van Energy Hubs in Nederland*.
https://topsectorenergie.nl/documents/1237/20240708_Eindrapport_Families_Energy_Hubs_PDF.pdf

A Potentiële energiehubs buiten scope

In deze studie zijn meerdere archetypes in kaart gebracht, In overleg met de opdrachtgevers en de klankbordgroep is daarvan een selectie gemaakt. De overige archetypes zijn niet verder onderzocht, omdat werd verwacht dat deze een beperkter aantal toepassingen en/of een geringere toegevoegde waarde zouden hebben. Het gaat om:

- **Datacenters bedrijventerreinen:** Datacenters kennen vooral vlak profiel, daardoor minder potentie verwacht dan voor andere bedrijventerrein casussen.
- **Groengasproductielocatie:** Beperkt aantal casussen, daarnaast vooral directe invoeding en weinig lokale uitwisseling verwacht.
- **Snellaadlocaties:** Rigide vraagpatroon, bepaald door wanneer er geladen moet worden. Vaak niet op locaties met meerdere afnemers/producenten.
- **Ov-depot laden:** Locaties met één partij, als laadvraag plaatsvindt op een bedrijventerrein valt het binnen locatie 'logistiek bedrijventerrein'.
- **Multi-modaliteitshub:** (Tank)stations met meerdere brandstoffen en elektriciteit, er vindt alleen weinig lokale energie-uitwisseling tussen meerdere partijen plaats.
- **Solitaire industrie elektrificatie:** Locaties waar losse fabrieken elektrificeren, niet geselecteerd voor deze studie omdat er geen energie-uitwisseling tussen meerdere partijen plaatsvindt.
- **Solitaire industrie gas:** Locaties waar losse fabrieken verduurzamen met hernieuwbaar gas, niet geselecteerd voor deze studie omdat er geen energie-uitwisseling tussen meerdere partijen plaatsvindt.
- **MT-warmtenet buurt:** Buurt waar alleen een warmtenet aangelegd wordt zonder koppeling met omgeving (zoals casus restwarmtelevering) of meer integraal systeem (zoals casus ZLT-warmtenet), zijn buiten scope gezet.