

An aerial photograph of an industrial park. A large white wind turbine stands prominently in the center-left. To its right, a long industrial building features a roof covered in blue solar panels. The park is situated next to a body of water on the left. In the background, there are more industrial buildings, trees, and a residential area under a blue sky with scattered clouds.

EIGEN

Effecten van energy hubs

**van ontwerp naar maatschappelijke waarde aan
de hand van een causaal diagram**

Auteur(s): A. L. Kooijman

Datum: 10 juli 2025

Inhoud

1	Inleiding.....	4
1.1	Aanleiding voor een studie over effecten en maatschappelijke waarde van energy hubs.....	4
1.2	Leeswijzer	5
2	Van ontwerp van een energy hub naar maatschappelijke waarden- aanpak in dit rapport.....	7
2.1	De complexiteit van werkelijke effecten van energy hubs.....	7
2.2	Aanpak in dit rapport.....	7
3	Causaal diagram van werkingsprincipes naar effecten van een energy hub ...	9
4	Contextfactoren- verschillende startsituaties.....	12
4.1	Bestaand bedrijventerrein of nieuw bedrijventerrein.....	12
4.2	Met en zonder netcongestie voor vraag naar elektriciteit	13
4.3	Met en zonder overschot van duurzame elektriciteitsproductie	13
5	Werkingsprincipes van een energy hub	14
5.1	Organisatorische werkingsprincipes.....	14
5.2	Fysieke middelen die ingezet worden als basis voor de werking van een energy hub.....	16
5.3	Sturing.....	17
6	Uitkomsten	19
6.1	Hogere benutting van geproduceerde duurzame energie.....	19
6.2	Extra opwekcapaciteit voor duurzame elektriciteitsproductie mogelijk maken	20
6.3	Uitbreiding van energievraag mogelijk maken.....	20
6.4	Lagere energiekosten	21
6.5	Inkomsten van energiediensten.....	22
6.6	Afname netcongestie.....	22
6.7	Mogelijke negatieve uitkomsten: toename netcongestie	23
6.8	Mogelijke negatieve uitkomst: Verlaagde benutting lokaal geproduceerde duurzame elektriciteit.....	23

6.9	Hoe groot zijn uitkomsten en is dat bepalend voor de grootte van effecten?.....	23
7	Effecten op het niveau van een bedrijf	25
7.1	Voor welke actoren?	26
7.2	Van het gas af.....	26
7.3	Uitbreiding of vestiging van een of meerdere bedrijven	27
7.4	Elektrisch/duurzaam vervoer opladen	27
7.5	Verhoogde afhankelijkheid	27
7.6	Bedrijfsvoering meer winstgevend en minder (of meer) onzeker	28
8	Effecten op het niveau van een gemeente	29
8.1	Ontwikkeling naar een toekomstbestendige energie infrastructuur.....	30
8.2	Uitbreiding energievraag voor gebruikers buiten de energy hub	30
8.3	Werkgelegenheid en lokale economische groei	31
8.4	Werkomstandigheden	31
9	Effecten op nationaal en bovennationaal niveau	33
9.1	Vervanging gebruik van fossiele energiebronnen, mitigatie van klimaatverandering en nationale en internationale klimaatdoelen.....	33
9.2	Economische groei.....	34
9.3	Toekomstbestendige energie infrastructuur	34
9.4	Overige effecten met maatschappelijke waarde	35

1 Inleiding

1.1 Aanleiding voor een studie over effecten en maatschappelijke waarde van energy hubs

Als onderdeel van de energietransitie wordt een steeds groter aandeel van de elektriciteit in Nederland opgewekt met duurzame energiebronnen. Het energiesysteem verandert omdat de productie van elektriciteit dichterbij de gebruikers plaats vindt en minder continu of voorspelbaar is. Dit leidt ertoe dat er steeds vaker een verschil optreedt tussen de vraag naar elektriciteit en het aanbod, vooral in lokale delen van het elektriciteitsnet. Met een infrastructuur voor het transport van elektriciteit die niet is ontworpen voor deze nieuwe en meer decentrale energievoorziening, is er de afgelopen jaren congestie ontstaan in het elektriciteitsnet.

Om netcongestie tegen te gaan en ook om de verdere uitbreiding van de productie van duurzame elektriciteit mogelijk te maken, zijn verschillende maatregelen nodig. Naast versterking van de capaciteit van het elektriciteitsnet en energiebesparing is afstemming tussen vraag en aanbod van elektriciteit nodig om efficiënter gebruik te maken van het beschikbare elektriciteitsnet. Dit is gedeeltelijk mogelijk achter de meter van een aansluiting, maar bij samenwerking tussen gebruikers en aanbieders van elektriciteit en met gebruik van opslag zijn grotere effecten te realiseren. Zo'n samenwerking in vraag, aanbod en opslag noemen we een energy hub.

Energy hubs waarin bedrijven lokaal energievraag en -aanbod op elkaar afstemmen kunnen veelvoudige en veelzijdige meerwaarden realiseren, meer dan alleen financieel (Bunda 2023, Van Capellen 2024). Voorbeelden van de mogelijke meerwaarden vanuit verschillende perspectieven zijn:

- Voor de betrokken bedrijven met energievraag: het verlagen van netcongestie kan ruimte bieden voor nieuwe elektriciteitsvraag (voor groei en/of elektrificatie voor verduurzaming), en deelname aan een energy hub kan de kosten van energievoorziening verlagen.
- Voor producenten van lokaal duurzaam opgewekte elektriciteit: het voorkomen of verlagen van de noodzaak tot aftoppen van de levering van elektriciteit.
- Voor netbeheerders: verlagen van netcongestie draagt bij aan het beperken van kosten van de infrastructuur voor het transport van

elektriciteit en het vermijden van afname van de kwaliteit van elektriciteitsvoorziening.

- Voor gemeenten: het behoud en de vestiging van gezonde bedrijven is positief voor lokale werkgelegenheid, terwijl een toename van opwekcapaciteit voor duurzame elektriciteit bijdraagt aan klimaatdoelstellingen. Ook zijn er mogelijke maatschappelijke effecten voor de energievoorziening buiten de energy hub zoals voor woonwijken of elektrisch vervoer. (Pennings et al 2024).

Ook op nationaal niveau worden de mogelijke maatschappelijke waarden van energy hubs erkend: de ontwikkeling van energy hubs is opgenomen in de nationale plannen voor de ontwikkeling van het energiesysteem (Jetten, 2023). Energy hubs zijn nodig voor de realisatie van ambities die nu worden beperkt door netcongestie van belang op het gebied van economie en duurzaamheid. Minister Hermans van Klimaat en Groene Groei beschrijft netcongestie als: *'een urgente uitdaging voor economische groei en werkgelegenheid, de verduurzaming van bedrijven, organisaties en mobiliteit, en de bouw van woningen. Het is een knelpunt op weg naar een betrouwbare, veilige en betaalbare energievoorziening, waarbij we minder afhankelijk zijn van andere landen en die duurzaam en schoon is.'*) en benoemt reductie voor netcongestie als randvoorwaarde voor het behalen van reductiedoelen voor klimaatemissies (Hermans, 2025).

Hoewel er dus brede steun is voor energy hubs als middel, is het niet zeker te stellen dat de genoemde effecten ook werkelijk zullen optreden, vooral niet op de schaal van een enkele energy hub. Zo kan gebrek aan regie leiden tot suboptimale oplossingen waarin ieder eigen belangen nastreeft (Bunda, 2023) en maatschappelijke waarde verloren gaat, of voordelen vooral op korte termijn spelen. Omdat de effecten van energy hubs erg afhankelijk zijn van de lokale context, hoe ze werken en wat ze vervangen, is het erg lastig algemene uitspraken te doen over het werkelijk voorkomen of de schaal van effecten. Voor partijen die overwegen deel te nemen aan de ontwikkeling van een energy hub is het nuttig basisbegrip te hebben van de realisatie van mogelijke effecten. Voor zulk begrip is inzicht in de werking van energy hubs nodig die volgt uit het ontwerp van de hub en van de relatie tussen uitkomsten en de daaropvolgende effecten om te komen tot maatschappelijke waarden.

1.2 Leeswijzer

Dit rapport geeft inzicht in de manier waarop effecten van energy hub tot stand kunnen komen.

Na de beschrijving in hoofdstuk 2 van de aanpak voor dit rapport, presenteert hoofdstuk 3 een causaal diagram als visueel overzicht op hoofdlijnen voor de samenhang tussen context, ontwerp en werkwijze van een energy hub en de effecten op het niveau van bedrijven, gemeenten en (boven) nationale maatschappelijke effecten. In hoofdstuk 4 tot en met 9 worden vervolgens de verbanden in de tekst toegelicht, steeds aan de hand van het causaal diagram. Hoofdstuk 4 geeft het belang van de context aan als startsituaties of referentie voor de effecten die kunnen optreden. Daarna volgt in hoofdstuk 5 een korte uitleg van hoe een energy hub werkt- de zogenaamde werkingsprincipes. Aan de hand van deze werkingsprincipes volgt een uitwerking van mogelijke uitkomsten (hoofdstuk 6) en effecten op het niveau van een bedrijf (hoofdstuk 7) en een gemeente (hoofdstuk 8). Tot slot worden in hoofdstuk 9 op nationaal en boven-nationaal niveau geselecteerde belangrijke effecten uitgelicht, zoals klimaatemissie -reductie en kostenverlaging van het energiesysteem.



De analyse is met name van toepassing in vroege fasen van de ontwikkeling van de energy hub op bestaande of nieuw in te richten bedrijventerreinen. Het is gericht op partijen zoals ondernemers, parkmanagers van een bedrijventerrein, procesregisseurs of medewerkers van een gemeente met basiskennis van energy hubs die meer willen weten over de knoppen waaraan gedraaid kan worden voor de realisatie van bepaalde effecten. Hiermee biedt dit document inzichten en aanknopingspunten om daarmee de positieve mogelijke effecten van energy hubs te versterken.

Figuur 1 hoogspanningsmast en zonnepark bij energy hub Ecofactorij (foto: A. Kooijman)

2 Van ontwerp van een energy hub naar maatschappelijke waarden- aanpak in dit rapport

2.1 De complexiteit van werkelijke effecten van energy hubs

Zoals hierboven beschreven is de potentiële meerwaarde van energy hubs groot, zowel voor individuele bedrijven als voor het behalen van effecten van maatschappelijk belang. Er zijn echter ook mogelijk negatieve effecten, en daarnaast is het bekend dat werkelijke effecten of het potentieel haalbare effecten afhangen van lokale context. Op een grotere schaal kunnen sommige effecten van energy hubs samengenomen worden tot een gemiddelde of typisch effect. Zo verkennen Kusnetova et. al. (2025) en Van Cappelle et.al. (2024) een breed scala van mogelijke baten van energy hubs op maatschappelijk niveau. Omdat meerdere ontwikkelingen invloed uitoefenen op werkelijke veranderingen, die zowel positief als negatief kunnen zijn ten opzichte van de effecten van energy hubs, is het effect van energy hubs voor sommige effecten meer significant dan voor andere. Zo is de invloed op nationale netcongestie groter dan die op klimaatverandering.

In dit rapport nemen we het perspectief van de ontwikkeling van een enkele energy hub. Het is duidelijk dat de effecten die gemiddeld of typisch optreden niet per definitie gelden voor de situatie van één specifieke energy hub. Daarom moet worden gekeken naar het feitelijke ontwerp van de energy hub en de directe uitkomsten daarvan en welke effecten die hebben op stakeholders. Hier wordt echter de complexiteit duidelijk van het optreden van effecten. Voor bedrijven, en nog sterker op gemeentelijk en nationaal niveau zijn effecten geen directe gevolgen van het ontwerp en exploitatie van de energy hub, maar grotendeels afhankelijk van hoe de uitkomsten van de energy hub uitwerking hebben op bedrijven en energieproducenten. Ook zijn de effecten die optreden bij een bedrijf niet te extrapoleren naar effecten voor andere bedrijven op de energy hub, en zijn de effecten van een hub niet op te tellen of direct te vertalen naar de effecten op gemeentelijk of nationaal niveau.

Het inzichtelijk maken van deze complexiteit is dan ook de basis voor de opzet van dit rapport.

2.2 Aanpak in dit rapport

Dit rapport maakt de causale verbanden duidelijk die kunnen leiden tot effecten. Hoewel het lastig is te stellen dat effecten (zullen) optreden is wel met zekerheid

te stellen wat de voorwaarden zijn om het optreden van effecten mogelijk te maken.

Hiervoor is een causaal model ontwikkeld dat de mogelijke verbanden laat zien. Dit biedt een visuele weergave van de verbanden van oorzaak en gevolg, ontwerp, uitkomsten en effecten. De achterliggende analyse is kwalitatief en gericht op begripsvorming. De invulling van het model is gebaseerd op literatuuronderzoek, interviews met medewerkers van gemeenten en gesprekken met netbeheerders, kwartiermakers voor energy hubs en technisch ontwikkelaars leden van het consortium van het EIGEN energy hubs project.

De volgende keuzes gemaakt voor afbakening en selectie van onderwerpen.

De focus van dit rapport is op energy hubs op bedrijventerreinen waarin meerdere gebruikers en eventueel ook aanbieders van energie samenwerken om vraag en aanbod van elektriciteit beter op elkaar af te stemmen. Deze definitie bakent dit rapport op drie manieren af:

- De focus op bedrijventerreinen is gekozen omdat dit een groot potentieel effect voor energieproductie en voorloopt op energiegemeenschappen die zich volgens dezelfde principes als een energy hub kunnen organiseren en soortgelijke uitkomsten kunnen nastreven.
- De effecten die mogelijk gemaakt worden door de samenwerking staan centraal¹. Hoewel veel van de maatregelen die worden genomen in een energy hub ook inzetbaar of vergelijkbaar zijn met de maatregelen die bedrijven individueel nemen, valt dit dus buiten het kader van deze analyse.
- Ook richt het rapport zich op uitwisseling van elektriciteit, en niet op mogelijke effecten van het uitwisselen van warmte.

In de selectie van effecten is rekening gehouden met prioriteiten voor het sturen op maatschappelijke waarden en met het behoud van overzicht in het causaal diagram. Effecten zijn uitgewerkt die in de literatuur genoemd zijn als aanleiding voor de vorming van energy hubs, en effecten die daarmee samenhangen.

Met deze aanpak biedt dit rapport een vrij compleet overzicht van de wijze waarop effecten van het ontwerp van energy hubs via de werkingsprincipes vertalen naar effecten en uiteindelijk tot maatschappelijke waarde.

¹ Het is echter waarschijnlijk dat bedrijven een deel van de werkingsprincipes inzetten 'achter de meter' van het eigen bedrijf, naast het gedeelte dat wordt ingezet in samenwerking. Voor de analyse van mogelijke causale verbanden is dit niet te onderscheiden

3 Causaal diagram van werkingsprincipes naar effecten van een energy hub

In dit hoofdstuk wordt de opzet van het causaal diagram beschreven. De toelichting van de verbanden die met het causaal diagram worden aangegeven wordt gegeven in de hoofdstukken hierna.

Het causaal diagram start linksboven met een afbakening: om dit rapport ligt de focus op energy hubs. Er is dus sprake van (geplande of al gerealiseerde) samenwerking en afstemming van vraag en aanbod van elektriciteit tussen meerdere partijen die energie gebruiken of aanbieden.

Daaronder volgen in blauwe diamantvorm contextfactoren die grote invloed hebben op effecten- zowel op de mogelijkheden voor het behalen van effecten als op de referentie waartegen effecten worden afgemeten:

- -gaat het om een bestaand of een nog te ontwikkelen bedrijventerrein
- -is er sprake van netcongestie
- -is er overschot van duurzame elektriciteitsproductie?

In het groene vlak zijn de werkingsprincipes van een energy hub aangegeven. Daarbij onderscheiden we drie aspecten van het ontwerp: organisatorisch, assets (fysieke middelen) en sturing. Voor iedere categorie zijn de basisprincipes benoemd. Deze worden beschreven en uitgewerkt in het volgende hoofdstuk. In een energy hub worden meerdere werkingsprincipes ingezet, en ook vaak verschillende werkingsprincipes binnen een categorie.

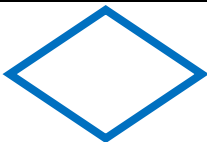
Pijlen in het diagram geven de mogelijkheden voor verbanden en de afhankelijkheden weer. Dikke pijlen geven de sterkste verbande aan. De gestippelde pijlen van contextfactor duurzame elektriciteitsproductie geven aan waar deze aangrijpt op de uitkomsten. De fijngestippelde pijlen geven aan waar verbanden competitief met elkaar zijn, of waar verbanden zwak zijn.

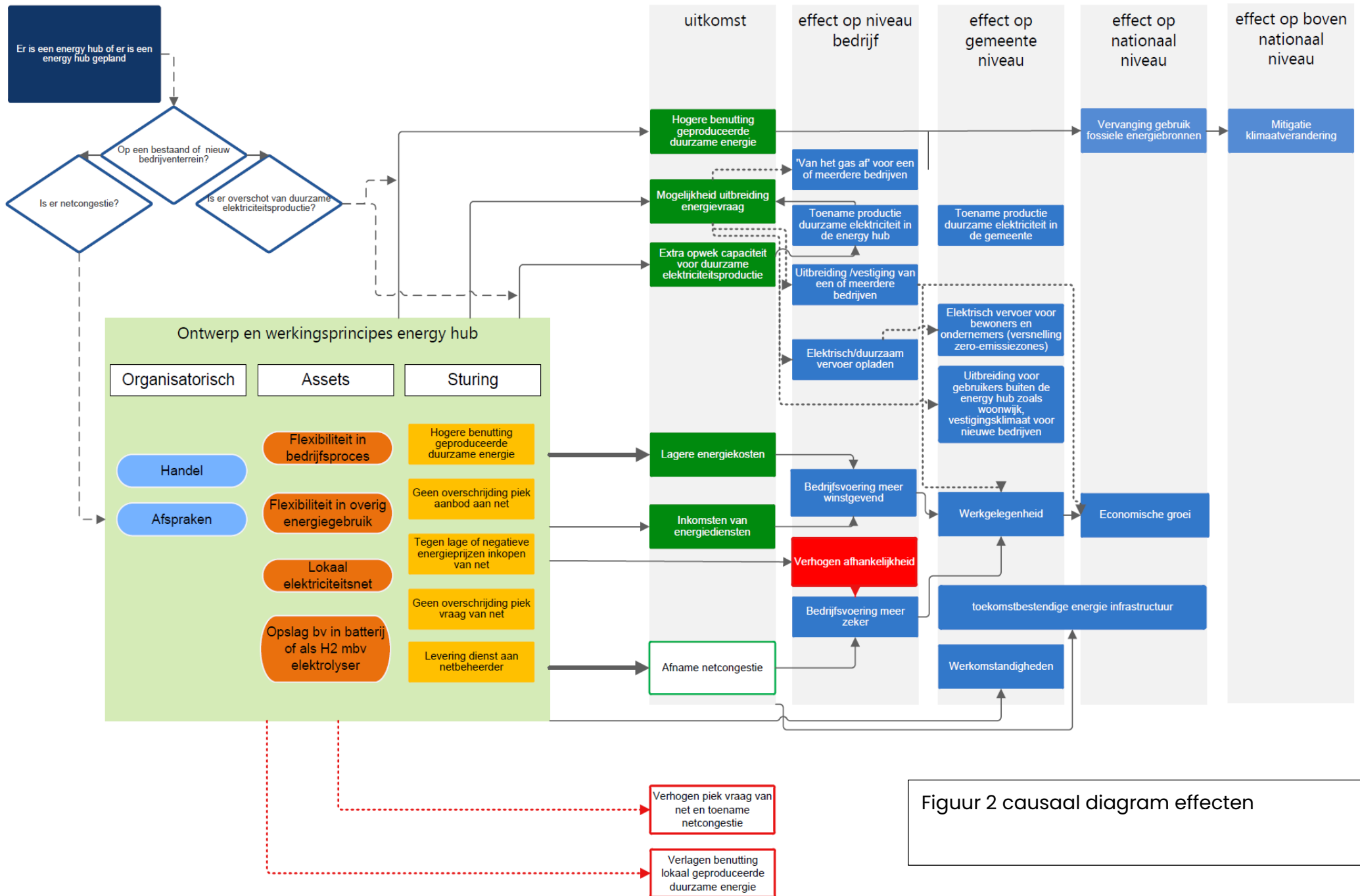
Met pijlen zijn mogelijke uitkomsten van een energy hub aangegeven die van belang zijn voor besluitvorming voor het ontwerp van energy hubs. Een uitkomst volgt direct uit het functioneren van een energy hub. De groene blokken geven positieve uitkomsten weer die plaatsvinden in de energy hub, de groenomlijnde staat voor een positieve uitkomst die niet (alleen) binnen de hub relevant is. De roodomlijnde blokken geven de mogelijke negatieve uitkomsten aan, die plaatsvinden buiten de locatie of organisatie van de energy hub.

Op basis van de uitkomsten vinden effecten plaats op verschillende schaalniveaus. In het diagram worden effecten apart weergegeven voor de

schaalniveaus bedrijf, gemeente, nationaal en boven-nationaal. De invloed op netcongestie vindt plaats op elk niveau maar is voor de duidelijkheid een keer weergegeven.

Hieronder de legenda bij het causaal diagram op de volgende pagina.

Symbool	Betekenis
	Contextfactor of startsituatie
	Weringsprincipe energy hub- organisatorisch
	Weringsprincipe energy hub-fysiek
	Parameters waarop energy hub stuurt
	Energy hub in samenhang
 	Uitkomst
 	Effect buiten hub positief/negatief
 	Causaal verband/ mogelijk of zwak causaal verband, of concurrerende effecten.
	Effect

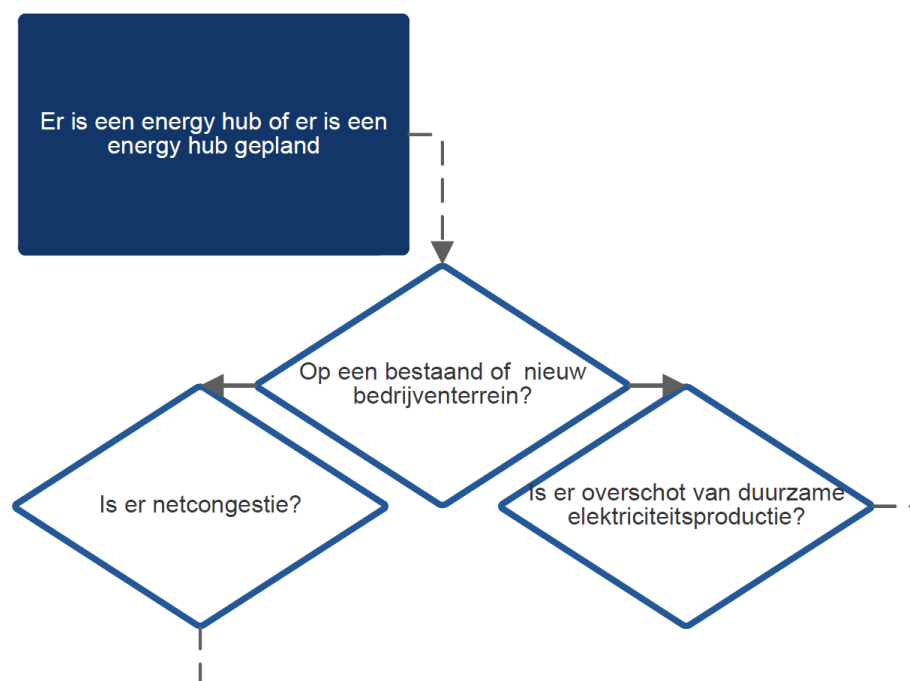


Figuur 2 causaal diagram effecten

4 Contextfactoren- verschillende startsituaties

De effecten van energy hubs hangen af van de context. Inzicht in de hoe de contextfactoren de potentiële of reële effecten beïnvloeden is van belang zowel voor de oriëntatie op mogelijke voor- en nadelen van een mogelijk op te richten energy hub, als voor de meting van effecten van een bestaande energy hub. Hieronder worden uitgelicht als contextfactoren die cruciaal zijn in het begrijpen en interpreteren van mogelijke effecten:

- Gaat het om een bestaand bedrijventerrein of een nieuw in te richten bedrijventerrein?
- Is er netcongestie voor de vraag naar elektriciteit?
- Is er overschot van lokale duurzame elektriciteitsproductie?



Figuur 3: energy hub in context

4.1 Bestaand bedrijventerrein of nieuw bedrijventerrein

In bestaande bedrijventerreinen is de mogelijkheid voor de gevestigde bedrijven hun energie vraag en aanbod af te stemmen grotendeels afhankelijk van de het type bedrijf en de bedrijfsprocessen. Hoewel sommige bedrijven productieprocessen kunnen en zullen innoveren, gaat de ontwikkeling van energy hubs meestal om het behalen van effecten van aanpassingen van vraag en aanbod die de bedrijven niet zonder andere bedrijven kunnen behalen. De effecten van een energy hub moeten beschouwd worden als het verschil met en zonder deze samenwerking.

Voor nieuwe bedrijventerreinen is de situatie anders. Het is in theorie mogelijk eisen te stellen aan te vestigen bedrijven waardoor de momenten van energievraag of energievraag en aanbod goed bij elkaar passen voor samenwerking in een energy hub- denk bijvoorbeeld aan

bedrijven die vooral overdag elektriciteit gebruiken met aanbod van zonne-energie of met bedrijven die vooral 'snachts energie gebruiken.

Het effect van een energie hub bij een nieuw bedrijventerrein kan het verschil uitmaken tussen het wel of niet totstandkoming wanneer de netcongestie hoog is.

4.2 Met en zonder netcongestie voor vraag naar elektriciteit

De meerwaarde van een energy hub is het grootst wanneer er problemen zijn met de toegang tot energie of met de verkoop van decentraal geproduceerde energie. In zulke situaties waar de bedrijfsvoering afhangt van de beschikbaarheid van energie kan deelname aan een energy hub een verschil zijn tussen al dan niet uitbreiden of verhuizen van een bedrijf. Hetzelfde geldt voor de levering van elektriciteit aan het net: in die situaties waarin door netcongestie lokale productie van duurzaam opgewekte elektriciteit niet tot stand komt zonder energy hub of wanneer de geïnstalleerde capaciteit (van zonnepanelen of windturbines) voor een significant deel niet benut kan worden zonder energy hub, is de meerwaarde van het oprichten van of meedoen aan een energy hub het grootst.

In situaties zonder netcongestie kan er nog wel een effect zijn, maar is dat lager, of treden effecten op in de toekomst. In Nederland wordt een toename van de druk op het net verwacht, waardoor maatregelen tegen netcongestie met het oog op de toekomst genomen kunnen worden. De aannames over de duur van netcongestie zijn ook bepalend voor de verwachtingen voor de toegevoegde waarde.

Wanneer een energy hub de mogelijkheden vergroot voor decentrale productie van elektriciteit is dit een belangrijke potentiële maatschappelijke meerwaarde, aangezien decentrale duurzaam opgewekte elektriciteit een essentieel onderdeel is van het energiesysteem van de toekomst.

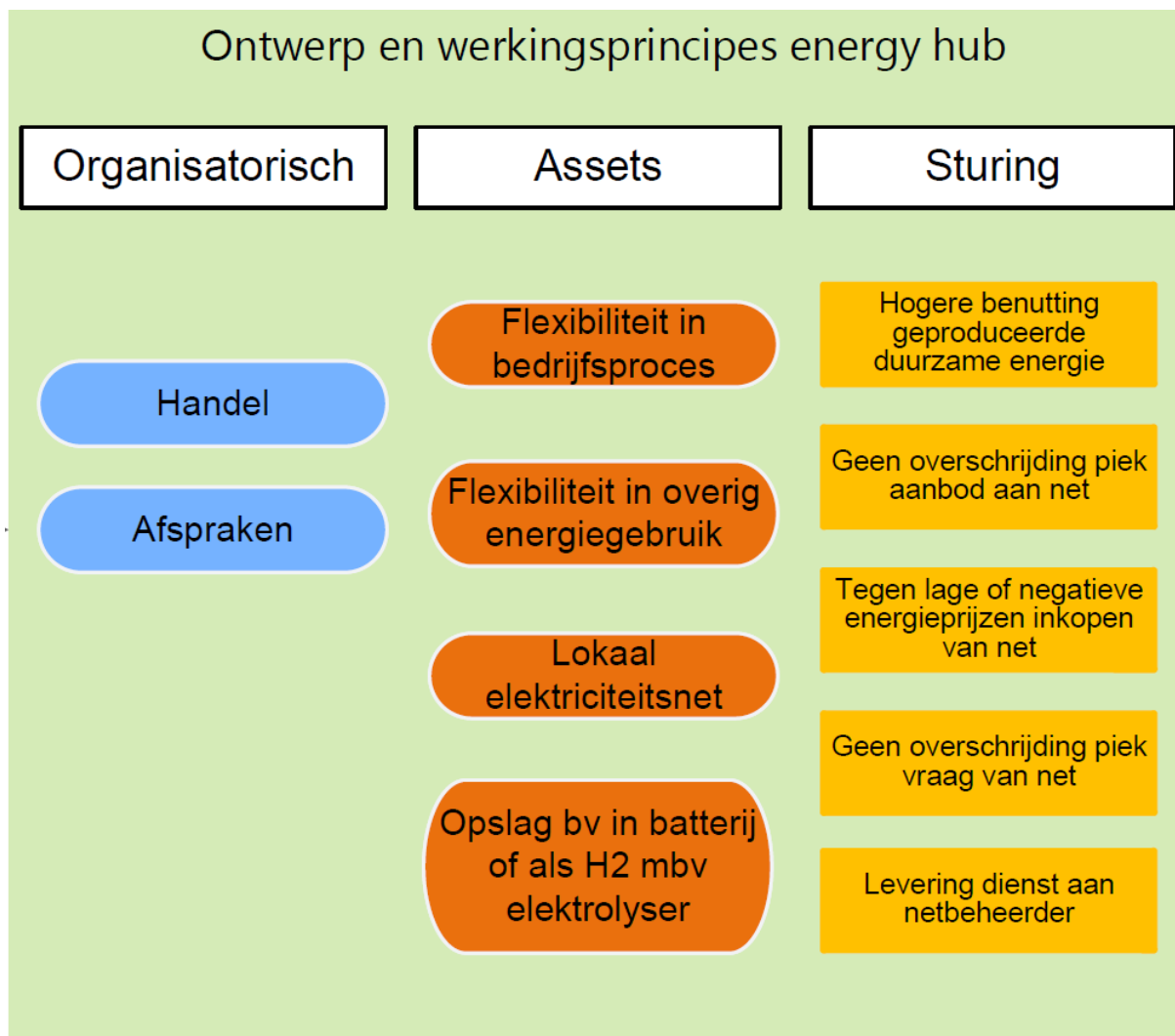
Hoe sterk de effecten van energy hubs zijn hangt onder andere af van de aannames over netversterking. Voor een lokale situatie is het daarom van belang om de plannen en verwachtingen van de netbeheerder en ook van Tennet te kennen.

4.3 Met en zonder overschot van duurzame elektriciteitsproductie

Bij de productie van duurzame elektriciteit uit zon of wind hangen de operationele kosten nauwelijks af van hoe veel energie er wordt geproduceerd: na investering is de productie min of meer 'gratis'. Dat betekent dat, wanneer de productie wordt afgeschakeld als deze hoger zou uitkomen dan een gecontracteerd vermogen, in principe 'gratis' elektriciteit onbenut blijft. Daarom is de verkoop van elektriciteit in een hub voor dit type producent relevant. Wanneer een producent van duurzame elektriciteit geen 'overproductie' heet, kan de elektriciteit worden verkocht aan het elektriciteitsnet, en is de meerwaarde om deel te nemen aan een energy hub minder groot.

5 Werkingsprincipes van een energy hub

Een belangrijk inzicht in de beschouwing van (mogelijke) effecten van energy hubs is dat de essentie van een energy hub bestaat fysieke en organisatorische werkingsprincipes en de concretisering van doelen voor sturing.



Figuur 4: werkingsprincipes van een energy hubs

5.1 Organisatorische werkingsprincipes

1. Handel op basis van energieprijzen

Handel in elektriciteit tussen de hub en het elektriciteitsnet: de deelnemers aan een energy hub kunnen (via een daarvoor ingericht of aangesteld bedrijf of aggregator) elektriciteit inkopen wanneer het goedkoop is en verkopen wanneer het duurder is. Er bestaan verschillende markten voor de handel in elektriciteit–waarin prijs en handelsvolumes bijvoorbeeld worden vastgesteld, een dag van tevoren of kort van tevoren bijvoorbeeld.

Handel tussen deelnemers aan de energy hub onderling: Bedrijven kunnen onderling energie verhandelen in zogenaamde 'peer-to-peer' trade'.

2. Afspraken

Afspraken met de netbeheerder over de limitering van de benutting van de capaciteit van het elektriciteitsnet, tegen een financiële vergoeding en met de afspraak dat bedrijven samen mogen werken om de beschikbare capaciteit gezamenlijk in te vullen.

Bij een groepstransportovereenkomst (Groeps-TO) spreekt het collectief een maximum capaciteitsniveau af dat maximaal benut mag worden. Dit maximum is lager dan de optelsom van gecontracteerde vermogens van de individuele bedrijven. Daardoor neemt de bezetting van de transportcapaciteit van het net af, zodat de (mate van) netcongestie afneemt.

Een Collectief Capaciteitsbeperkend Contract (collectief CBC) is een ander type afspraak; dit betreft een tijdelijke beperking van de benutting van de transportcapaciteit. De bedrijven aangesloten bij het collectief (de energy hub leden) spreken af de beschikbare capaciteit niet volledig te benutten—ofwel in vaste tijdvakken (zoals minder invoer van elektriciteit overdag tussen 11 en 15u en minder gebruik van elektriciteit in de avond tussen 17u en 20u) ofwel meer flexibel op momenten die de netbeheerder vooraf aangeeft (bijvoorbeeld 24 uur van tevoren). De deelnemers hebben bij deze vorm nog wel beschikking over de volledige maximale capaciteit van hun netaansluiting.

Afspraken tussen bedrijven onderling voor moment van energievraag en -aanbod

In een energy hub kunnen de deelnemende bedrijven afspraken maken om de benutting van de beschikbare netcapaciteit te verhogen—bijvoorbeeld door een dagelijks opstartpiek te verlagen door niet tegelijk de productie te beginnen, of door opladen van elektrisch vervoer af te stemmen op piek productie momenten. Dit type afspraken beïnvloedt de diensten. Deze voorbeelden zouden bijvoorbeeld aanpassingen kunnen behelzen van de werktijden van productiemedewerkers aangepast kunnen worden of van het rijschema van chauffeurs van elektrische transportmiddelen.

Bedrijven die elektriciteit aanbieden zullen onderling en als deelnemers aan een hub af moeten spreken wanneer de productie lokaal wordt gebruikt binnen de energy hub, wanneer het wordt opgeslagen en wanneer de productie moet worden afgetopt (curtailment) om te voorkomen dat de capaciteit voor aanbod aan het net wordt overschreden.

Afspraken over toekenning van vrijkomende capaciteit

Wanneer een energy hub succesvol is in het vrijmaken van capaciteit, kan de vrije ruimte (tot het afgesproken niveau) worden benut. Hoe deze ruimte wordt toegekend is afhankelijk van afspraken in de hub. In de Ecofactorij in Apeldoorn bijvoorbeeld vindt toekenning plaats in een Algemene Ledenvergadering op basis van criteria zoals urgentie voor bedrijfsvoering.

5.2 Fysieke middelen die ingezet worden als basis voor de werking van een energy hub

De fysieke middelen of assets die daarvoor kunnen worden ingezet zijn

Flexibiliteit in bedrijfsprocessen

Met de term flexibiliteit wordt bedoeld dat het tijdstip en volume van energieverbruik of geschoven kan worden, of bewust afgeschaald of opgeschaald, op die momenten dat het voor de energy hub van belang is.

In sommige bedrijven leent het productieproces zich om het tijdstip van elektriciteitsvraag aan te passen zonder dat dit grote impact heeft op het kernproces. Dit is vaak het geval bij productieprocessen met een ingebouwde 'energiebuffer'. Bij grootschalige koelhuizen of hittebaden is het vaak mogelijk een grote variatie in gebruik van elektriciteit te realiseren met slechts een klein effect op de temperatuur, waarbij het bedrijfsproces niet aangepast hoeft te worden. Een bedrijf met koeling zou dan kunnen afspreken tussen 8 en 9 de koeling af te schalen zodat andere bedrijven op dat moment meer ruimte hebben om op te starten, en om juist tussen 11 en 14u wanneer elektriciteit van eigen zonnepanelen wordt geproduceerd, relatief veel te koelen.

Daarnaast kan flexibiliteit in bedrijfsprocessen gevonden worden in het opschalen of afschalen van productie of het kiezen van productietijden bij een meer gewenst energieverbruiksprofiel. Denk bijvoorbeeld aan het wijzigen van werktijden zodat energie intensieve processen meer gespreid over de dag plaatsvinden, het bewust plannen of aansturen van het opladen van elektrische vervoersmiddelen.

Flexibiliteit in overig energieverbruik

Hoewel de bedrijfsprocessen centraal staan in de meeste energy hubs op bedrijventerreinen, kan een energy hub ook worden ingezet voor diensten zoals oplaadstations voor elektrisch vervoer (laadpalen bij de bedrijven of een elektrisch oplaadstation voor algemeen gebruik). Zulke diensten kunnen een significant zijn voor werknemers, bedrijfsduurzaamheidsdoelstellingen, en/of omwonenden, en tegelijk een (kleine)bijdrage leveren aan de inzetbare flexibiliteit in de hub. Bijvoorbeeld in een energy hub met een zonnepark, kan elektrisch vervoer van medewerkers worden opgeladen met elektriciteit uit dat zonnepark of het net afhankelijk van de zonnestraling.)

Opslag van elektriciteit

Opslag van elektriciteit vormt vaak een onderdeel van een energy hub, om de afstemming tussen vraag en aanbod te vergemakkelijken, van de deelnemers van de energy hub, of om in te kunnen spelen op elektriciteitsprijzen vanuit het net.

Batterijen spelen hierin een belangrijke rol, omdat ingezet kunnen worden bij snelle en onplanbare veranderingen. Zulke snelle veranderingen komen bijvoorbeeld continu voor bij de productie van elektriciteit door windturbines, en ook bij energiehandel op de onbalansmarkt.

Batterijen kunnen vanwege de snelle reactietijd worden ingezet voor:

- hogere benutting van geproduceerde duurzame elektriciteit lokaal,
- hogere benutting van geproduceerde duurzame elektriciteit van het net,
- tegen lage of negatieve prijzen inkopen van energie van het net,
- verlagen van het piek aanbod aan het net, en/of
- verlagen van piek vraag van het net.

Het omzetten van elektriciteit naar andere energiedragers kan ook een vorm van opslag zijn. Zo kan elektriciteit met elektrolyzers worden ingezet om waterstof te produceren dat op een later moment in brandstofcellen weer wordt omgezet naar elektriciteit voor gebruik in de energy hub. Op dit moment vormen elektrolyzers echter nog geen asset voor energy hubs op deze manier, gedeeltelijk omdat het financieel ongunstig is om een elektrolyser vaak aan-en uit te zetten, en ook omdat de met waterstof geproduceerde elektriciteit erg duur is (Eble en Weeda 2024)ⁱ – en er meer waarde van waterstof als grondstof in de (chemische) industrie. Wanneer elektrolyzers flexibel elektriciteit omzetten naar waterstof voor de productie van grondstoffen voor de industrie is dit ook een vorm van flexibiliteit in bedrijfsprocessen.

Lokaal elektriciteitsnet

De fysieke locatie van bedrijven, kabels en aansluitpunten in de hub en ook het spanningsniveau bepalen de mogelijkheid elektriciteitsvraag- en aanbod af te stemmen binnen de energy hub – achter de aansluiting van de hub met de netbeheerder. Het delen van een aansluiting heet ‘cable pooling’. Productie van elektriciteit, opslagfaciliteiten zoals batterijen en bedrijven (electriciteitsgebruikers) kunnen dan samen een aansluiting op het net delen. Cable pooling is op dit moment alleen toegestaan voor een combinatie van aanbieders van elektriciteit (zoals van zon en wind)².

5.3 Sturing

De bovengenoemde werkingsprincipes (handel, afspraken fysiek energietransport, opslag en flexibele bedrijfsprocessen) worden bereikt met handelingsafspraken en sturingssystemen zoals in Energiemanagement Systemen (EMS) die ervoor zorgen dat de inzet van fysieke assets **gestuurd** wordt op doelen:

² Wel geldt er een vermogensgrens en een maximum aantal partijen dat een aansluiting kan delen. Een aansluiting delen kan vanaf 100 kilovoltampère en met maximaal vier partijen (WOZ-objecten). Dit volgt uit het Energiebesluit. De ACM loopt vooruit op de Energiewet en het Energiebesluit en maakt de uitbreiding van cable pooling nu al mogelijk (ACM 2025).

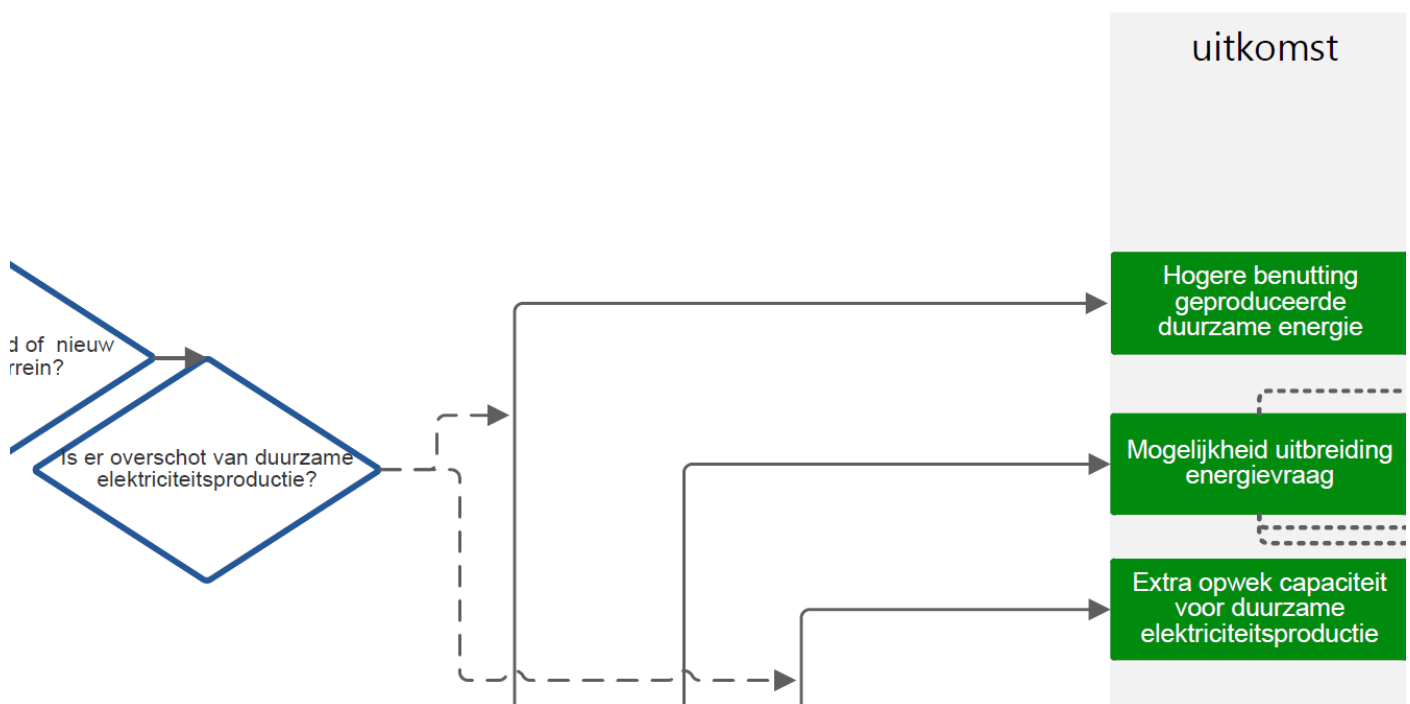
-
- Hogere benutting van geproduceerde energie (lokaal door het voorkomen van curtailment (aftoppen), of door inkoop van duurzame elektriciteit van het net op momenten van piek aanbod op het net.
 - Verlagen van piek aanbod of het voorkomen van overschrijding van de gecontracteerde piek capaciteit voor levering.
 - Tegen lage of negatieve prijzen inkopen.
 - Verlagen piekvraag of het voorkomen van overschrijding van de gecontracteerde piek capaciteit voor afname.
 - Leveren van een energiedienst (zoals stabilisatie van het net).

6 Uitkomsten

De handelingsafspraken, fysieke middelen en sturingssystemen worden in een energy hub in samenwerking van de actoren ingezet om bepaalde uitkomsten te bereiken. We onderscheiden hierbij:

- uitkomsten gerelateerd aan energievraag en aanbod: hogere benutting van geproduceerde duurzame energie, mogelijke uitbreiding van energievraag, en extra opwekcapaciteit voor duurzame elektriciteitsproductie.
- uitkomsten gerelateerd aan energiekosten of inkomsten uit energiediensten, en
- positieve en negatieve uitkomsten voor netcongestie.
- mogelijk lagere benutting van lokale elektriciteitsproductie.

Hieronder worden deze uitkomsten besproken.



Figuur 5: uitkomsten voor elektriciteitsproductie en capaciteit

6.1 Hogere benutting van geproduceerde duurzame energie

Wanneer er sprake is van een overschot van duurzame elektriciteitsproductie moet de 'overtollige' elektriciteit worden afgetopt (ofwel stopgezet of verlaagd) – dit wordt ook wel 'curtailment' genoemd. Deze situatie ontstaat wanneer het netto aanbod aan het net van productie verminderd met het verbruik op dat moment hoger is dan het gecontracteerd vermogen dat geleverd mag worden aan het net. Door het afstemmen van het moment van vraag naar elektriciteit naar het moment van productie wordt de noodzaak tot aftoppen tegengegaan. Bij samenwerking in een energy hub en sturing op de inzet van assets van

meerdere partijen draagt een energy hub bij aan de hogere benutting van deze lokaal geproduceerde duurzame elektriciteit.

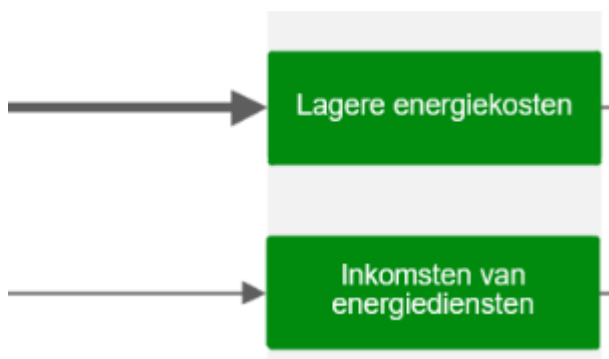
Een hogere benutting van geproduceerde duurzame energie vindt ook plaats door inkoop van duurzame elektriciteit van het net wanneer de energy hub inkoopt wanneer er veel aanbod is van duurzaam geproduceerde energie buiten de energy hub. Dit kan ook een veroorzaakt worden door hoge productie van duurzame energie uit het buitenland, zoals windenergie uit Duitsland.

6.2 Extra opwekcapaciteit voor duurzame elektriciteitsproductie mogelijk maken

- Wanneer een energie hub ruimte duurzaam opgewekte elektriciteit gebruikt binnen de hub biedt dat extra ruimte voor additionele opwekking van duurzaam geproduceerde elektriciteit.
- Deze uitkomst treedt gedeeltelijk op door het verlagen van de piek capaciteit die wordt geleverd aan het net. Bijvoorbeeld: doordat bedrijven in een energy hub elektriciteit gebruiken op de momenten dat er veel aanbod is van zonnepanelen tussen 11 uur en 14u en/of als er overdag geen wolken zijn de zon schijnt hebben
- De extra capaciteit op het net kan een het mogelijk maken dat bedrijven op het bedrijventerrein zonnepanelen installeren op eigen perceel (op dak, gevel of bijvoorbeeld boven een parkeerterrein), waar zij zonder hub onvoldoende de eigen vraag kunnen aanpassen en individueel geen of een te kleine transportovereenkomst voor teruglevering hebben.
- Bij de inzet van kabels die energieproductie en eventueel ook opslag verbinden achter de meter (cable pooling) wordt het aanbodprofiel aan het net minder discontinu.
- Mogelijk: meer productie van elektriciteit uit zon op dak door samenwerking in hub (in plaats van/eerder dan zon op land)

6.3 Uitbreiding van energievraag mogelijk maken

De mogelijkheid tot uitbreiding van energievraag is een directe uitkomst van samenwerking in een energy hub waarin onder het niveau van de gezamenlijke vastgestelde capaciteit ruimte wordt gevonden-ofwel door het schuiven in het moment van vraag ofwel door combineren van vraag en aanbod. Daarnaast ontstaat een mogelijkheid tot uitbreiding wanneer extra opwekcapaciteit voor duurzame elektriciteitsproductie is gerealiseerd en beschikbaar komt voor uitbreiding van de energievraag in de hub.



Figuur 6: uitkomsten voor energiekosten en inkomsten

6.4 Lagere energiekosten

Er zijn verschillende typen kosten voor energievoorziening die afhankelijk van de gekozen werkingsprincipes worden beïnvloed door een energy hub.

- Door verschuiving van het moment van inkoop van elektriciteit van het net en verkoop aan het net kan een energy hub (of deelnemers aan een energy hub) goedkoper inkopen en meer inkomsten krijgen uit verkoop. De mate waarin deze verschuiving plaatsvindt en flexibel is aan de prijsfluctuaties in het net hangt af van de ingezette flexibiliteit in productieprocessen en opslag³. Voor grootverbruikers is alleen de inzet van accu's een relatief klein effect op de totale energiekosten omdat de volumes van opslag typisch klein zijn ten opzichte van de totale energierekening van een energiegrootverbruiker.
- Doordat een energy hub kan helpen voorkomen dat de maximum gecontracteerde capaciteit wordt overschreden, worden hiermee boetes vermeden. Het voorkomen van boetes die worden opgelegd door een netbeheerder kan een belangrijke kostenfactor zijn die doorslaggevend is voor de wens deel te nemen aan een energy hub.
- Tot slot is het mogelijk dat door deelname aan een energy hub de noodzaak tot inzet van dure elektriciteit uit diesel aggregaten en gasgeneratoren wordt vermeden. Het rapport van Cappellen et al. (2024) neemt dit als referentiesituatie: de maatschappelijke waarde van energy hubs wordt vergeleken met de situatie waarin bedrijven batterijen en aggregaten aanschaffen (of leasen) om in hun energievraag te voldoen, gedurende een periode van netcongestie tot 2031. Ten opzichte van die situatie is de positieve business case van een energy hub evident.

Er zijn echter ook kosten verbonden aan de realisatie en exploitatie van een energy hub- zoals de investeringskosten voor batterijen, en diensten voor de dienstverlening in de energy hub zoals de energieleverancier, regeling aan aansturing. Voor inzicht in kwantitatieve gegevens over kosten en baten van energiehubs geven biedt het rapport van Van Cappellen et al. (2024) financiële kengetallen en kosten en inkomsten bij verschillende scenario's.

³ Zie de tekst over de werkingsprincipe handel, flexibiliteit en opslag in hoofdstuk 3.

6.5 Inkomsten van energiediensten

Energy hubs leveren per definitie een dienst aan de netbeheerder omdat de noodzaak tot netverzwaring afneemt. Afhankelijk van de contracten betaalt de netbeheerder voor deze energiediensten zoals in een (Collectief) Capaciteitsbeperkend Contract. Vanuit het perspectief van de deelnemers aan de energy hub is deze uitkomst dan een bron van inkomsten, terwijl dezelfde transactie als uitkomst voor de netbeheerder een kostenpost is.

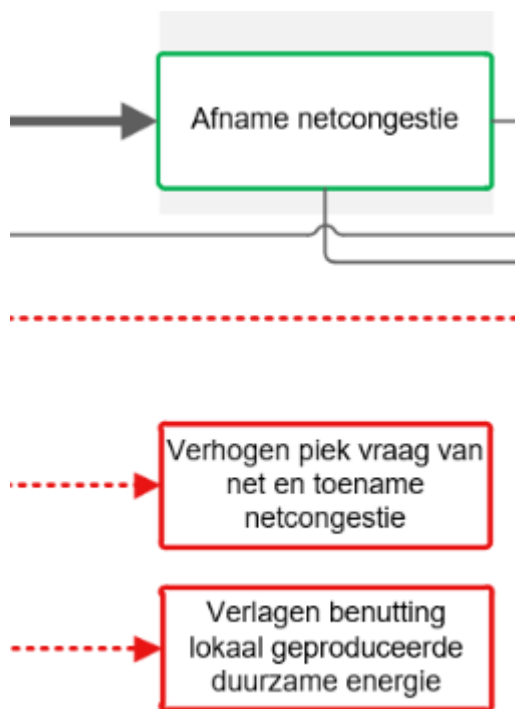
De samenwerking in de energy hub verkleint het nadeel van de capaciteitsbeperking, met name wanneer er een of meerdere deelnemers zijn in de energy hub met een significante flexibiliteit in de vraag naar elektriciteit (zie de tekst over flexibiliteit).

Mogelijk kunnen er inkomsten worden toegekend aan mogelijk verbetering van de kwaliteit van het transport van elektriciteitsvoorziening op het net (stabilisatie van het net). Door invoer van 'hoge kwaliteit' elektriciteit aan het net vanuit een energy hub waarin omvormers die elektriciteit uit zon of wind in de juiste 'vorm' (frequentie en fase) brengen, kunnen fluctuaties in het net worden verkleind. Dit type dienst is nieuw, de inzet en waarde op grotere schaal is nog onbekend.

Een andere mogelijke financiële uitkomst van een energy hub is via de inzet van de flexibiliteit in vraag of aanbod naar elektriciteit. Het creëren van waarde oftewel het 'verwaarden van flexibiliteit' is voor bedrijven die deze mogelijkheid hebben in het bedrijfsproces een mogelijke aanleiding om deel te willen nemen aan een energy hub, als nieuwe bron van inkomsten voor een kenmerk van een proces dat zonder netcongestie geen waarde had.

6.6 Afname netcongestie

Het verminderen van netcongestie wordt gezien als het voornaamste maatschappelijk effect van energy hubs op de korte termijn tot 2030. Zo is in het landelijk Actieplan Netcongestie voorzien in ondersteuning van de ontwikkeling van 60 a 70 energy hubs met een rijksbijdrage. 70) voor netbeheerders is het bereiken van afname van netcongestie op dit moment voorwaardelijk voor medewerking aan de ontwikkeling van een energy hub.



Figuur 7: uitkomsten voor netcongestie

6.7 Mogelijke negatieve uitkomsten: toename netcongestie

Wanneer een energy hub wordt ingericht op energiehandel met het net kan de situatie ontstaan dat er juist een toename van netcongestie optreedt. Een energy hub koopt dan elektriciteit in wanneer het goedkoop is, en omdat veel partijen in Nederland tegelijk hetzelfde doen, ontstaat er op dat moment een piek in de vraag. Deze uitkomst treedt vooral op bij handel op korte termijn, zoals mogelijk gemaakt door de inzet van accu's, en minder bij de inkoop van elektriciteit voor langere duur zoals voor eigen gebruik bij lage prijzen die in de nacht optreden.

6.8 Mogelijke negatieve uitkomst: Verlaagde benutting lokaal geproduceerde duurzame elektriciteit

De keuzes in sturing, met name voor de inkoop van goedkope elektriciteit van het net zoals hierboven beschreven, kunnen ook leiden tot een verlaagde benutting van lokaal geproduceerde elektriciteit. Bij zeer lage of zelfs negatieve prijzen van het net is het dan aantrekkelijker om in te kopen dan de 'eigen' elektriciteit te benutten.

6.9 Hoe groot zijn uitkomsten en is dat bepalend voor de grootte van effecten?

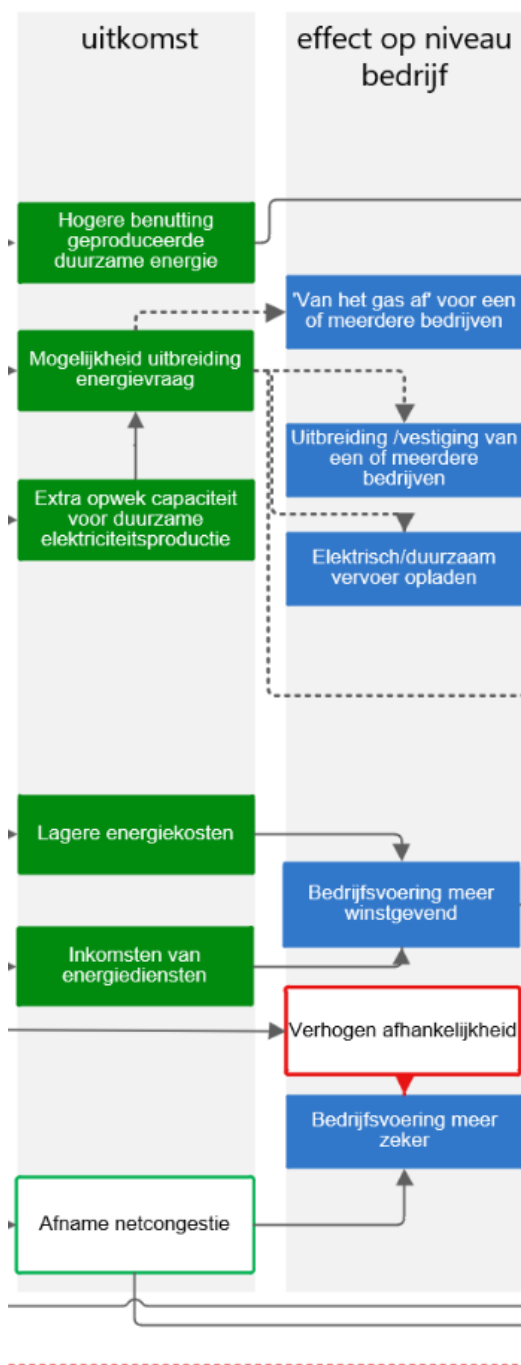
De mate van invloed die de werkingsprincipes bij volledige inzet zouden kunnen hebben hangt gedeeltelijk af van hoe groot de assets voor flexibiliteit of opslag etc. zijn (hoeveel vraag of aanbod van elektriciteit kan worden verschoven naar een ander tijdstip), maar zeker ook van de mate van flexibiliteit.

Hoewel een batterij een relatief kleine capaciteit heeft ten opzichte van het totale energieverbruik in een energy hub kan de inzet van een batterij kortdurende pieken van de

vraag naar elektriciteit van bedrijfsprocessen of aanbod van lokaal geproduceerde duurzame elektriciteit opvangen en daarmee een groot effect hebben op het voorkomen van het overschrijden van de gecontracteerde vermogens voor vraag of aanbod van het net.

Voor de uitkomsten hogere benutting geproduceerde duurzame energie en lagere energiekosten is het volume van de inzet van de fysieke infrastructuur (de assets van de energy hub) wel van belang. De handel in opgeslagen elektriciteit van een batterij met een volume van 1% of minder dan het energieverbruik van de deelnemers aan de energy hub zal geen grote invloed hebben op de totale energiekosten van de deelnemers.

7 Effecten op het niveau van een bedrijf



Op basis van de uitkomsten die volgen uit de exploitatie van een energy hub kunnen bedrijven effecten realiseren, of merken zij gevolgen. Deze effecten en de relatie met uitkomsten zijn weergegeven in de figuur. Relevante effecten op basis van een mogelijkheid tot uitbreiding van de energievraag kunnen zijn:

- een ontwikkeling 'van het gas af' bij een of meerdere bedrijven,
- Uitbreiding of vestiging van een of meerdere bedrijven,
- opladen van elektrisch vervoer (met elektriciteit uit al dan niet duurzame bronnen).

Deze effecten, en het mogelijke effect op uitbreiding van elektriciteitsvraag buiten de energy hub (op het niveau van de gemeente), zijn echter grotendeels in competitie met elkaar, afhankelijk van de mate waarop de vraagprofielen ingepast kunnen worden.

Op basis van de uitkomst dat energiekosten omlaag gaan en/of de energy hub inkomsten genereert uit energiediensten zijn er directe effecten voor bedrijven op winstgevendheid van bedrijfsvoering.

Effecten op de zekerheid van de bedrijfsvoering volgen uit de effecten van een eventuele verhoogde afhankelijkheid en de afname of toename van netcongestie.

Hieronder worden deze effecten toegelicht, nadat eerst een korte beschouwing wordt gegeven over het voorkomen van verschillen van effecten voor verschillende actoren in een energy hub.

Figuur 8: effecten op het niveau bedrijf

7.1 Voor welke actoren?

In een energy hub zijn de effecten niet hetzelfde voor alle deelnemende actoren. Zo zal sturing op het vermijden van overschrijding van piekbelasting van het aanbod aan het net voornamelijk van belang zijn voor producenten van duurzame elektriciteit. In dit geval kan het belang van (en de effecten op) bedrijven die vooral energie verbruiken tegengesteld zijn omdat op het moment dat de lokale energieproducent in de hub elektriciteit aanbiedt is elektriciteit uit het net juist meestal ook goedkoop en soms zelfs negatief geprijsd.

Wanneer een energy hub uitbreiding van de energievraag binnen de hub mogelijk maakt, is het effect afhankelijk van welke partij de uitbreiding toegekend krijgt, is dat:

- door een bedrijf of meerdere bedrijven, of
- voor verduurzaming door elektrificering: 'van het gas af', of
- voor uitbreiding van productie, of
- voordelig voor de vestiging van een nieuw bedrijf op het terrein, of
- voor het opladen van elektrisch vervoer, of
- komt er voldoende capaciteit vrij voor inzet buiten energy hub zoals voor een woonwijk?

Of de potentiële voordelen van een energy hub ook uitgebreid kunnen worden naar nieuwe bedrijven is onder andere afhankelijk van de afspraken die de energy hub leden maken. In de energy hub Ecofactorij bijvoorbeeld, besluit de ledenvergadering over wie de recht krijgt op de capaciteit die vrijkomt door de samenwerking, en hanteert daarbij criteria zoals urgentie voor de bedrijfsvoering en bijdrage aan flexibiliteit van de energy hub. De mogelijke effecten voor bedrijven buiten de hub en andere gebruikers zijn beschreven als effecten op het niveau van een gemeente.

Tot slot zijn er fysieke belemmeringen en organisatorische beperkingen vanuit de netbeheerder voor de mogelijkheden voor aansluiting bij een energy hub. De nettopologie (fysieke kabels, aansluitingen en transformatorstations) en de fysieke ligging van bedrijven is een belangrijke factor voor deelname, in ieder geval op de korte termijn. Ook stellen netbeheerders momenteel beperkingen: niet alle typen bedrijven mogen meedoen in de contractvorming die worden ondersteund door de netbeheerders. Zo geeft Liander aan dat een groeps transportovereenkomst alleen beschikbaar is voor bedrijven met een grootzakelijke aansluiting voor elektriciteit (groter dan 3 x 80 ampère).

7.2 Van het gas af

Als onderdeel van het klimaatbeleid wordt het gebruik van fossiele bronnen afgebouwd. Voor bedrijven die aardgas gebruiken betekent dit meestal elektrificatie van productieprocessen. Slechts in enkele typen processen zal waterstof een uitkomst bieden. Om deze reden, en ook met het vooruitzicht dat netcongestie op (middel)lange termijn een rol blijft spelen, is de stap om 'van het gas af' te gaan een manier om toekomstbestendige bedrijfsvoering te realiseren.

Wanneer een energy hub een mogelijkheid tot uitbreiding van de energievraag biedt, kan een bedrijf dit benutten voor een overstap van aardgas naar elektriciteit. Deze stap vereist meestal een herinrichting van het productieproces en vervangt dan de productiemiddelen met aardgas.

Voor bedrijven die koploper zijn of willen zijn in verduurzaming en innovatie zou toekenning van de capaciteit een belangrijke meerwaarde zijn voor deelname aan een energy hub.

7.3 Uitbreiding of vestiging van een of meerdere bedrijven

Wanneer een energy hub voordelig is voor de vestiging van een bedrijf of de bedrijfsvoering, is het effect van een energy hub het grootst.

7.4 Elektrisch/duurzaam vervoer opladen

De wens om via een energy hub opladen van elektrische vervoersmiddelen te faciliteren kan voortkomen uit duurzaamheidsdoelstellingen van bedrijven, van particulieren (werknemers of omwonenden) of vanuit de doelstellingen voor schonere binnensteden (zero-emissiezones).

De meerwaarde van samenwerking in een energy hub ontstaat wanneer op een (collectief) laadplein op de energy hub kan goedkoper kan worden geladen dan langs de openbare weg. Voor bedrijven in de logistiek is dit een waardevol effect voor wie het moeilijk is om eigen laadvoorzieningen terug te verdienen of die vanwege netcongestie geen uitbreiding van een aansluiting krijgen.

Wanneer collectieve laadvoorzieningen worden ingezet voor het efficiënter benutten van voertuigen (zoals door deelauto's) is dit een mogelijk vervolgeffect.

Hoewel op dit moment waterstofproductie in energy hubs nog niet gezien kan worden als een duurzame optie en de geproduceerde waterstof duur is, verandert dit wellicht in de toekomst. Voor vrachtwagens (stads)bussen en bestelbussen kan waterstof brandstof bieden voor duurzame mobiliteit, in de toekomst wanneer het aanbod van waterstof groter is dan de vraag naar waterstof in de chemie en in productieprocessen. Beleid heeft grote invloed op de mogelijke haalbaarheid en ook de effecten van zulke innovatie energy hubs. Dit wordt weerspiegeld in de modellering van De Graaf et al (2024) voor een situatie waarin in 2030 alle openbaar vervoer emissievrij is en binnensteden in 2030 of 2037 zero-emissie doelstellingen hebben behaald waardoor grootschalige elektrificatie en inzet op pilots met vervoer op biobrandstoffen en op waterstof plaatsvindt.

7.5 Verhoogde afhankelijkheid

Wanneer deelnemers in de energy hub voor de bedrijfsvoering afhankelijk zijn van het functioneren van de energy hub vormt dit een potentieel risico. De risico's op de korte termijn

zullen grotendeels vermeden worden door de afspraken en contracten in de energy hub. Als echter een essentiële fysieke asset wegvalt uit een energy hub kan dit lastig te ondervangen zijn, bijvoorbeeld omdat een bedrijf met een grote flexibiliteit in het bedrijfsproces zoals een koelhuis ofwel failliet gaat ofwel verhuist. De risico's van zulke afhankelijkheden kunnen verkleind worden wanneer binnen de energy hub voldoende vertrouwen is dat bedrijven (vertrouwelijke) ontwikkelingen met elkaar delen.

7.6 Bedrijfsvoering meer winstgevend en minder (of meer) onzeker

Het verlagen van energiekosten is vooral voor energie grootverbruikers van groot belang voor de winstgevendheid van de bedrijfsvoering. De business case voor investeringen die de energiekosten verlagen, zoals in batterijen, is vaak al positief (zie Van Cappellen et.al., 2024) en wordt verbeterd wanneer de fysieke middelen door samenwerking in de hub effectiever ingezet worden.

Een kanttekening bij de winstgevendheid uit het benutten van prijsverschillen op de energiemarkt, is dat de bij grootschalige inzet van energy hubs en uitbreiding van de capaciteit van het net, deze prijzen in de toekomst stabiel en handel minder winstgevend kunnen worden.

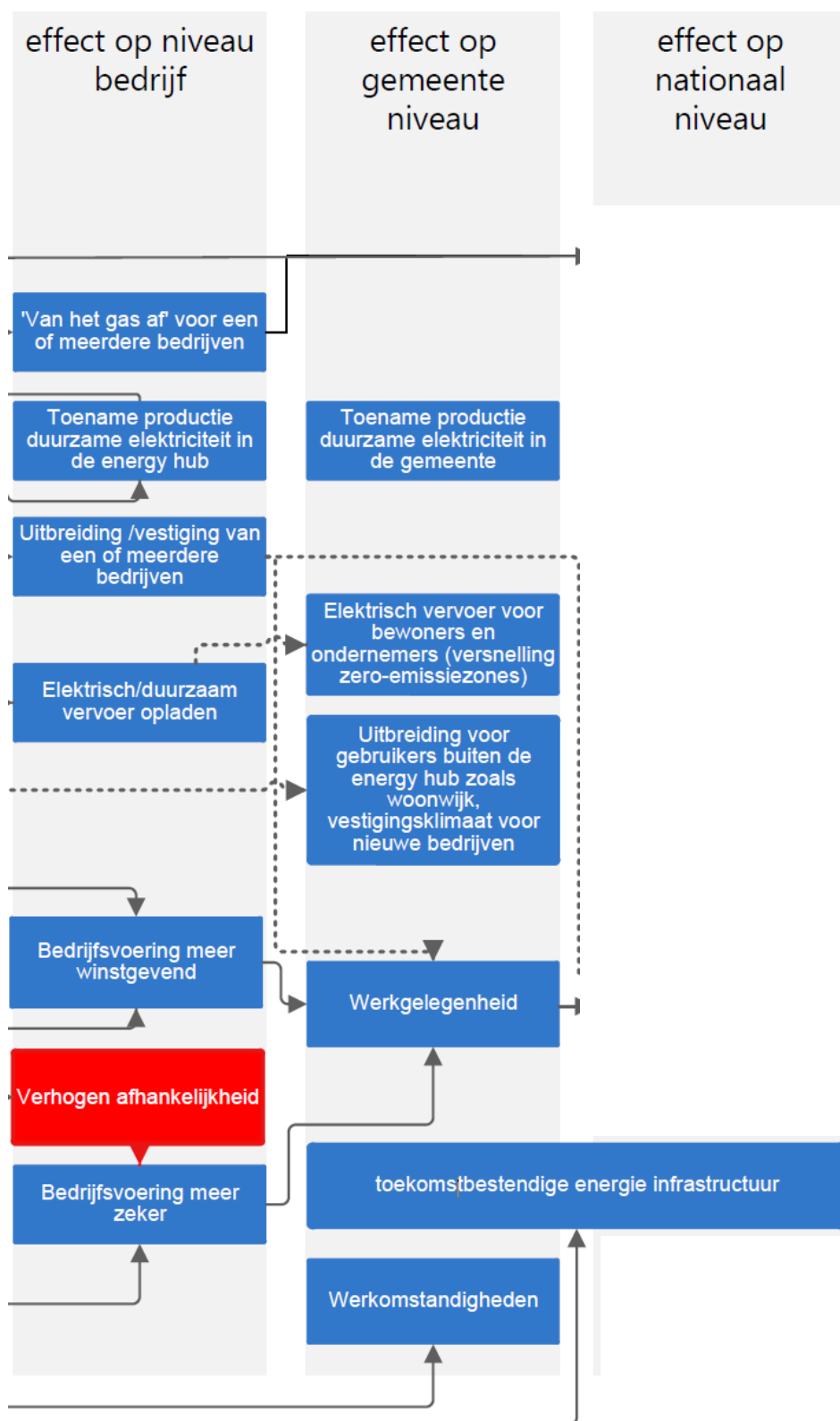
Een energy hub die voorkomt dat de capaciteitslimiet van de elektriciteitsaansluiting van een bedrijf wordt overschreden biedt zekerheid voor de bedrijfsvoering. Bij overschrijding van het gecontracteerde vermogen kan de netbeheerder de klant namelijk tijdelijk afschakelen en een boete geven, en bij meervoudige overschrijdingen kan de netbeheerder de aansluiting afsluiten of een juridische procedure starten.

De bedrijven die aansluiten bij een energy hub zullen dat doen onder voorwaarden waarin risico's in acceptabele mate worden afgedekt. Dat betekent dat de bedrijfsvoering (de kern van het bedrijfsproces) niet afhankelijk gemaakt zal worden van het functioneren van de energy hub tenzij het niet anders kan.

Waar de energy hub het mogelijk heeft gemaakt de essentiële processen in een bedrijf uit te breiden of te vestigen, is de bedrijfsvoering per definitie afhankelijk van het functioneren van de hub. Risico's treden dan vooral op wanneer essentiële partners (zoals bedrijven met grote flexibiliteit in vraag) wegvallen, bij faillissement of verhuizing, of door conflicten binnen de hub.

8 Effecten op het niveau van een gemeente

De effecten op het niveau van een gemeente volgen grotendeels uit de effecten op het niveau van de bedrijven die deelnemen aan de energy hub. In onderstaand figuur is het gedeelte van het causaal diagram afgebeeld dat die verbanden toelicht.



Figuur 9: effecten op het niveau van een gemeente in relatie tot niveau bedrijf

8.1 Ontwikkeling naar een toekomstbestendige energie infrastructuur

Als energy hubs zo worden ingericht en ingezet dat ze substantieel bijdragen aan het bij elkaar brengen van vraag en aanbod van energie binnen de hub zijn ze een belangrijk element in het decentraliseren van de energie infrastructuur, in lijn met de visie op de toekomst. Bij energy hubs die voor een groot deel zijn gebaseerd op handel met het net is deze ontwikkeling naar meer decentrale structuren niet vanzelfsprekend en kwetsbaar. Het is van belang dat de samenwerking in een energy hub bestendig is, en dat de decentrale component significant is en blijft. Grote energiegebruikers, met name energiegebruikers met flexibiliteit in de vraag, moeten dan actief blijven in de hub, ook wanneer door netversterking in de toekomst (in sommige gebieden) die mogelijkheid zal bieden. De investeringen die worden gedaan in het kader van een energy hub dragen bij aan deze ontwikkelingen- waarbij niet alleen de financiële investeringen maar ook het proces van bewustwording bij bedrijven en overheden van de veranderingen die plaatsvinden in het energiesysteem van belang zijn.

De langetermijn effecten zijn echter niet goed voorspelbaar omdat er veel onzekerheid is over de effecten van energy hubs na netverzwaring. In het rapport over de toegevoegde waarde van energy hubs uitgevoerd in opdracht van Alliander (Van Cappellen et al. 2024) wordt bijvoorbeeld uitgegaan van een situatie waarin bedrijven waarschijnlijk een groter transportvermogen kunnen contracteren na netverzwaring, en zijn conclusies en getalswaarden voor die toegevoegde waarde gebaseerd op korte termijn data.

8.2 Uitbreiding energievraag voor gebruikers buiten de energy hub

De verlaging van netcongestie door een energy hub kan capaciteit vrijmaken voor elektriciteitsgebruik of nieuwe contracten buiten de energy hub. Welke organisaties en bedrijven buiten de energy hub eventueel gebruik kunnen maken van die vrijgemaakte capaciteit hangt af van de wettelijk bepaalde mogelijkheden voor toekenning en van de locatie van ten opzichte van de netinfrastructuur.

In principe wordt de vrijgekomen capaciteit toegekend volgens volgorde van aanmelding van vraag. De regelgeving over toekenning is recent aangepast: sinds oktober 2024 wordt er prioriteit gegeven aan organisaties die de belasting op het net helpen verlagen en bedrijven en instellingen met maatschappelijke relevantie. Dit gebeurt volgens een prioriteringskader dat is vastgesteld door de ACM waarin ten eerste congestie verzachters zoals batterij systemen voorrang krijgen, ten tweede organisaties die maatschappelijk relevant zijn voor veiligheid zoals voor defensie, politie en acute gezondheidszorg, en als derde categorie instellingen die voorzien in basisbehoeften zoals drinkwater en onderwijs (RVO 2025). Voorzieningen zoals vervoershubs zijn niet opgenomen voor prioritering.

De locatie van organisaties is van belang omdat de optie tot een aansluiting en de beschikbare capaciteit en spanningsniveau afhangen van de beschikbare (of geplande) fysieke structuren van de elektriciteitsvoorziening. De mogelijkheden om de vrijgespeelde capaciteit te benutten vindt plaats in het fysiek zelfde niveau van het net- vergelijkbaar met

een (aftakking van) een tak van een boom. Zo kan capaciteit mogelijk worden gedeeld onder hetzelfde verdeelstation, middenspanningsstation of beperkt zijn tot de fysieke elektriciteitslijn achter het middenspanningsstation waarop deelnemers aan een energy hub aangesloten zijn. Deze laatste vorm zal eerder voorkomen bij energy hubs die zich buiten een bedrijventerrein plaatsvinden dan op een bedrijventerrein met een eigen energie infrastructuur. Kennis van de fysieke aansluitingen en de plannen om deze aan te passen is dus essentieel voor de inschatting van mogelijke meerwaarde buiten de energy hub.

8.3 Werkgelegenheid en lokale economische groei

Een energy hub die bijdraagt aan meer productiviteit door uitbreiding of vestiging van bedrijven heeft een positief effect op de werkgelegenheid. Het type bedrijf is daarbij vanzelfsprekend bepalend- zo heeft een datacenter minder invloed op werkgelegenheid dan een productiebedrijf. Gemeenten kijken ook naar de aard van werkgelegenheid, met vragen als: past dit bij het profiel van de bewoners in de gemeente, wat is de kwaliteit van de werkgelegenheid?

Een kwantificatie van mogelijke effecten op werkgelegenheid en economische groei is beschreven voor de casus van een Energy Hub in Eerbeek-Loenen (KPMG 2025). Hier is de redenering dat economische groei door afname van netcongestie en directe investeringen in bestaande industrie en de vestiging van nieuwe industrie, en de indicatie van effect op werkgelegenheid volgt uit deze economische groei (dus breder dan door uitbreiding van productie door vrijgekomen capaciteit) De kwantificatie geeft een totaal potentieel effect van de energy hub op economische groei van tussen de 18 en 62 miljoen euro, waarin met name door afname van netcongestie voor de vraag naar elektriciteit een groot aandeel heeft. In dit voorbeeld is het effect op behoud van werkgelegenheid berekend op 200-650 banen op basis van de aanname dat de economie met 8% groeit en met een standaard omrekenfactor van economische productiviteit per gewerkt uur. Voor het omzetten van zulke bevindingen naar een specifieke andere energy hub is het, zoals hierboven benoemd, van belang om de specifieke kenmerken van bedrijven te kennen. Bij een vertaling van effecten naar een hoger niveau, zoals de provincie of Nederland, zijn gemiddelde effecten relevant.

Voor gemeenten is een mogelijk positief effect op het vestigingsklimaat voor bedrijven een positieve meerwaarde. In de huidige situatie is het effect op vestigingsklimaat evident- vanwege netcongestie is het de vestiging van nieuwe bedrijven met grootverbruik overal in Nederland lastig. Dat betekent dat een bedrijf dat wil uitbreiden op zoek zal moeten gaan naar een locatie met ruimte- dat zal bijna altijd een locatie met een energy hub zijn, of een locatie in het buitenland, of dat het bedrijf wacht met uitbreiding tot er op de eigen locatie uitbreiding mogelijk is door versterking van het elektriciteitsnet.

8.4 Werkomstandigheden

Door netcongestie komt het voor dat bedrijven enkele processen (tijdelijk) afschalen, wat implicaties heeft voor werkomstandigheden en bij voortduring uiteindelijk ook op

werkgelegenheid. Dit zijn typisch ongeplande en zeer negatieve effecten van netcongestie waarin een energy hub een positieve bijdrage kan leveren.

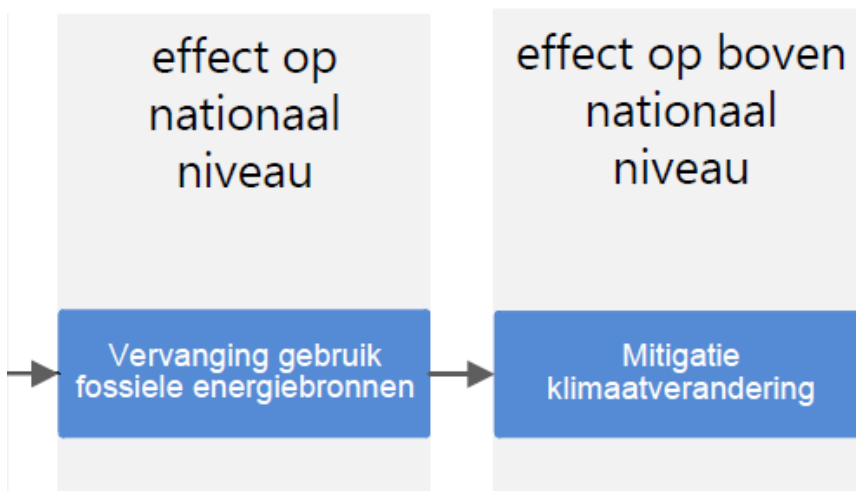
In een energy hub is het echter ook mogelijk dat bedrijven genoodzaakt zijn bedrijfstijden of bedrijfsvoering aan te passen juist om een bijdrage te kunnen leveren aan een energy hub. Wanneer een bedrijf in een energy hub bedrijfsprocessen in wil zetten die niet inherent flexibiliteit bieden, kan soms toch flexibiliteit worden behaald in het schuiven van tijd van productie- bijvoorbeeld naar andere werktijden voor werknemers. Er zijn ervaringen met een half uur eerder starten van de werkdag. Of bedrijven over zullen gaan naar andere diensten zoals avonddiensten of weekenddiensten door de ernst van de net problematiek is nog niet duidelijk. Of deze veranderingen als positief of negatief effect worden ervaren is niet eenduidig.

9 Effecten op nationaal en bovennationaal niveau

In dit deel worden de meest prominente effecten op nationaal en bovennationaal niveau die voortkomen uit de ontwikkeling van energy hubs beschreven: effecten op gebruik van fossiele energiebronnen en samenhangend mitigatie van klimaatverandering, economische groei, en toekomstbestendige energie-infrastructuur.

9.1 Vervanging gebruik van fossiele energiebronnen, mitigatie van klimaatverandering en nationale en internationale klimaatdoelen

Nationale en internationale klimaatdoelen zijn grotendeels gekoppeld aan energiegebruik: met doelstellingen voor de toename van productie van elektriciteit uit duurzame bronnen, afname van het gebruik van fossiele bronnen, en efficiënter gebruik van energie. Hieronder lichten we de verbanden toe tussen uitkomsten van een energy hub en effecten op nationaal niveau en internationaal niveau.



Figuur 10: effect op nationale klimaatdoelen en klimaatverandering

- Extra opwek capaciteit voor duurzame elektriciteitsproductie is een van de leidende argumenten om de ontwikkeling van energy hubs te steunen omdat zonder energy hubs de doelstellingen voor grootschalige productie van duurzaam opgewekte energie vast lopen tegen netcongestie. Met deze duurzaam opgewekte elektriciteit worden fossiele energiebronnen vervangen, waardoor CO₂-emissies worden vermeden, wat een essentiële mitigatie maatregel is tegen klimaatverandering. Dit effect is een significante maatschappelijke waarde van energy hubs.
- De uitkomst 'hogere benutting van geproduceerde duurzame energie' van lokale productie betekent dat deze energie de standaardlevering van elektriciteit vervangt, en voor de producent dat de business case verbetert. Daarmee leidt deze uitkomst tot

vervanging van het gebruik van fossiele energiebronnen door de lokaal geproduceerde duurzame elektriciteit.

- Wanneer een energy hub het effect heeft dat bedrijven van het gas af gaan is het effect op de vervanging van gebruik van fossiele energiebronnen afhankelijk van de samenstelling van de vervangende energie:
 - Als aardgas wordt vervangen door elektriciteit die wordt ingezet van (extra)productie door lokale duurzame bronnen betekent dit een 100% vervanging van fossiel naar duurzaam. In de praktijk zal de lokale productie van duurzame elektriciteit slechts een klein gedeelte uit kunnen maken van het totale energieverbruik in een energy hub.
 - Als aardgas wordt vervangen door elektriciteit van het net met een 'standaardmix' van elektriciteit uit fossiele bronnen, kernenergie en hernieuwbare duurzame bronnen, dan is het effect lager dan een volledige overstap naar duurzame energievoorziening. Dit effect is groter naarmate de ingekochte elektriciteit (in de toekomst) duurzamer wordt geproduceerd.
 - Wanneer een energy hub het gebruik van aggregaten (op diesel of gas) overbodig maakt of vermijdt, biedt dat niet alleen bovenstaande effecten maar ook een efficiëntieverbetering.

9.2 Economische groei

Een energy hub draagt bij aan economische groei wanneer het voordelig was voor uitbreiding of vestiging van bedrijven, en ook wanneer het bijdraagt aan winstgevendheid en zekerheid van bedrijfsvoering. Zoals de KPMG studie voor Loenen laat zien (KPMG 2025), heeft het verlagen van netcongestie van de vraag van het net potentieel een groot effect op economische groei.

Ook het vermijden van aftoppen (curtailment) heeft een positieve economische waarde voor de betrokken duurzame energieproductenten, en op grotere schaal, voor duurzame energieproductie in Nederland.

9.3 Toekomstbestendige energie infrastructuur

Bij een meer decentrale elektriciteits-infrastructuur is er minder noodzaak tot het versterken van de hoogspanningsnetten, waardoor de langdurige kosten van de energie infrastructuur zo laag mogelijk worden gehouden.

Een meer decentrale infrastructuur is voorzien als noodzakelijk voor de toekomstige energievoorziening in Nederland waarin decentraal opgewekte duurzame elektriciteit een grotere rol zal hebben. Energy hubs die leiden tot afname van netcongestie dragen hieraan bij.

Deze ontwikkeling naar een toekomstbestendig nationaal energiesysteem is typisch een maatschappelijke meerwaarde die niet direct in het belang is van individuele bedrijven, maar die toch een reden kan zijn voor interventie vanuit een (lokale, provinciale of nationale) overheid.

9.4 Overige effecten met maatschappelijke waarde

Samenhangend met de hiervoor beschreven uitkomsten en effecten volgen meerdere effecten. Zo heeft het vervangen van fossiele energiebronnen door duurzame energiebronnen effecten als NOx emissiereductie gekoppeld en verlaagd waterverbruik (KMPG 2025).

Ook kan door uitbreiding van bedrijven en zekerheid van bedrijfsvoering effect hebben op verbeterde kwaliteit van leven door het mogelijk maken van bouw van woningen en de groei en behoud van werkgelegenheid.

De effecten van energy hubs kunnen ook benaderd worden vanuit het perspectief van het verlagen van netcongestie. In het rapport van Thijssen et. al. (2024) wordt voor verschillende 'gederfde toegevoegde waarden' die veroorzaakt worden door netcongestie een maatschappelijke kostprijs in kaart besproken. Omdat energy hubs een bijdrage leveren aan het verlagen van netcongestie, zou daarmee de derving van toegevoegde waarden afnemen. Een van de nationale effecten van netcongestie die wordt uitgelicht is de belemmering voor woningbouw en de bijbehorende voorzieningen in een wijk, en ook voor verdere verduurzaming van woningen zoals voor verwarming met warmtepompen. Wanneer door de realisatie netcongestie afneemt en door het wegnemen van deze belemmering woningen gebouwd worden, komen maatschappelijke waarden als woongenot en welzijn in beeld.

Referenties

ACM (2025) *ACM geeft alvast groen licht voor cable pooling*, geraadpleegd via <https://www.acm.nl/nl/publicaties/acm-geeft-alvast-groen-licht-voor-cable-pooling> geraadpleegd op 21 maart 2025

Bunda, M., *Blauwdruk voor het realiseren van Energy Hubs op bedrijventerreinen, gericht op het inpassen van grootschalige hernieuwbare energie*, MOOI-SIGOHE EIGEN

Cappellen, L. van, M. Bongaerts, H. Groenewegen, W. van Santen, J. Vendrik (2024) *Wat is de toegevoegde waarde van energiehubs?*, CE Delft

Eble, L., M. Weeda (2024) *Evaluation of the levelised cost of hydrogen based on proposed electrolyser projects in the Netherlands*, TNO

Hermans, S., (2025, 24 maart) Voortgang aanpak netcongestie [Kamerbrief] Ministerie van Klimaat en Groene Groei, geraadpleegd via <https://open.overheid.nl/documenten/2576d27b-d7ee-4591-9217-2c80e5a4a29c/file>

Jetten, R. (2023) *Nationaal plan energiesysteem*, Ministerie van Economische Zaken en Klimaat, geraadpleegd via [Nationaal plan energiesysteem \(NPE\) | RVO.nl](#)

Pennings, R. R. van Koppen, T. Lubbers (2024) *Handelingsperspectief gemeenten voor initiatie van energiehubs*, ROCC

KPMG (2025) *True value of a Smart Energy Hub, Indicative study into the potential (indirect) economic, social and environmental benefits of realizing a Smart Energy Hub in Eerbeek-Loenen region*

Kuznetsova, N., A. Németh, M. Linnenbank (2025) *Verkenning maatschappelijke baten van energy hubs op bedrijventerreinen*, Saxion Hogeschool

RVO 2024, *Routekaart Samenwerking in energiehubs: de nulmeting*, Rijksdienst voor Ondernemend Nederland, Den Haag

RVO 2024 [Wat is netcongestie en wat betekent dit voor uw bedrijf? | RVO.nl](#)

RVO (2025) [ACM: met flexibel gebruik meer mogelijk op vol stroomnet, voorrang voor maatschappelijke projecten | ACM](#), geraadpleegd op 06-03-2025

Thijssen, M. K. Kreulen, R. Eldering, M. van Benthem (2025) *Maatschappelijke kostprijs van netcongestie*, Ecorys