



**TOPSECTOR ENERGIE**  
Empowering the new economy

# Systemintegratie

Naar een holarchisch  
energiesysteem!?

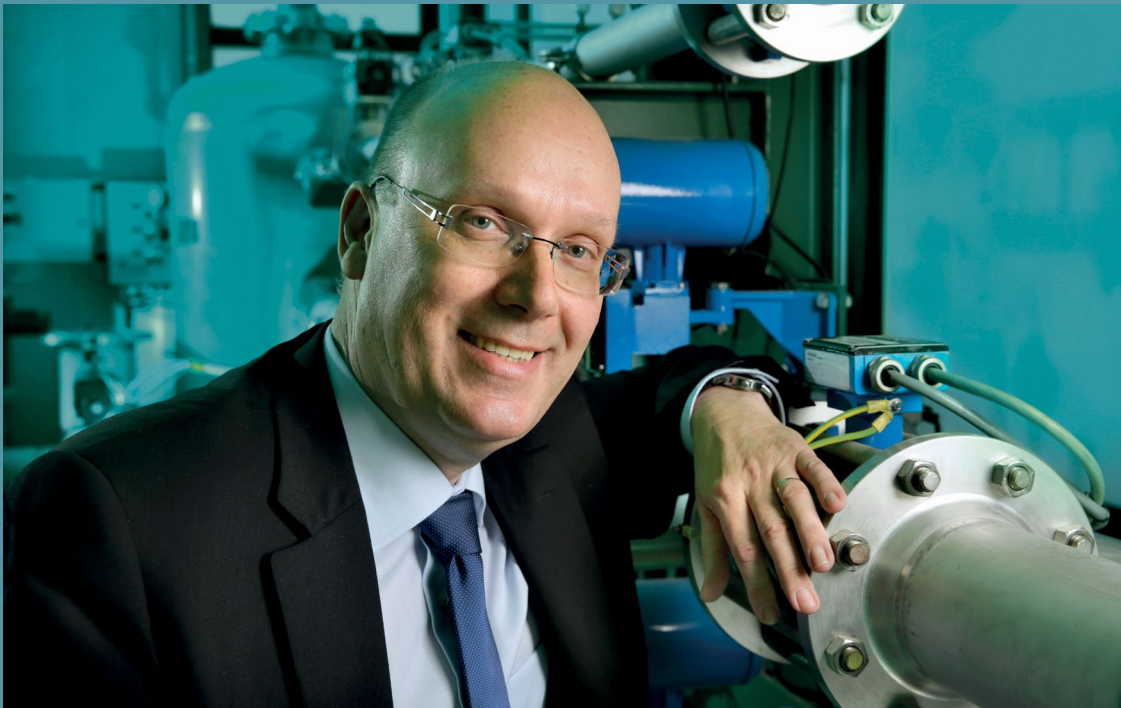


# Voorwoord

De energietransitie verandert fundamenteel onze energiehuishouding. Deze veranderingen zijn niet alleen technisch van aard, maar hebben ook economische, beleidsmatig, ecologische en sociale dimensies. De ontwikkeling van het energiesysteem vraagt daarom om een integrale aanpak met een adequate vorm van regie. In deze notitie worden enkele gedachten en beelden over dit toekomstige energiesysteem gepresenteerd. Daarmee willen we partijen die zijn betrokken bij of verantwoordelijk voor de energietransitie inspireren. Inspireren en uitnodigen om met hun kennis, inzichten en expertise te komen tot innovatieve visies en integrale ontwikkelconcepten voor de transitie van ons energiesysteem van morgen.

*Mart van Bracht*

Directeur Programma Systeemintegratie



# Trends

Het energiesysteem van de toekomst zal moeten voldoen aan de kernwaarden van het systeem van vandaag: betrouwbaar, veilig, betaalbaar en met een breed maatschappelijk draagvlak. Het nieuwe energiesysteem functioneert echter fundamenteel anders dan het huidige. Deze verandering ontstaat doordat het aandeel van duurzame bronnen in de energiemix zeer fors zal toenemen, terwijl ook de vraag naar energie niet meer hetzelfde zal zijn. Denk bijvoorbeeld aan de elektrificatie van de industrie en transport.

## De consequenties van de nieuwe energiemix

1. Er moet voldoende duurzame energie worden geproduceerd.
2. Vraag en aanbod moeten in evenwicht gehouden worden.
3. De netcapaciteit moet toereikend.

Duurzame energie komt uit enkele centrale (bijvoorbeeld windparken op zee) en uit zeer vele decentrale bronnen. Door technologische ontwikkelingen wordt het steeds makkelijker en goedkoper om gedistribueerde lokale energiebronnen te benutten. Door zoveel mogelijk energie lokaal te produceren en te gebruiken, kan het systeem lokaal het in evenwicht worden gehouden. Dat maakt dat de transportinfrastructuur minder verzwaard hoeft te worden. Dit heeft niet alleen financiële voordelen, maar zorgt ook voor ook minder inbreuk op de ruimtelijke inrichting.

Naast deze technologische ontwikkelingen zijn er ook economische trends waarneembaar. De energieprijz wordt meer en meer dynamisch. Zo is de verwachting dat de prijs hoger wordt bij een klein (duurzaam) aanbod en/of grote vraag en omgekeerd bij een groot duurzaam aanbod en/of kleine vraag. De energieprijz zal naar verwachting ook direct gekoppeld worden aan het gebruik van infrastructuur. Veel gebruik, dus over lange afstanden, wordt duurder. Beperkt gebruik, over korte afstanden, wordt goedkoper.

Bovenop de technische en economische ontwikkelingen hebben ook sociale trends een uitwerking op het energiesysteem. Steeds meer bewoners en bedrijven zijn actief bezig met verduurzaming, wat leidt tot vele lokale initiatieven. Deze trend, die door de overheid wordt gestimuleerd, is ook zichtbaar in EU beleid. Dat beleid beoogt te stimuleren dat burgers en bedrijven invloed hebben op hun eigen energievoorziening.

Al deze trends leiden er steeds meer toe dat initiatieven, invloed en beslissingsbevoegdheden in de haarvaten van het energiesysteem terechtkomen. Deze ontwikkelingen vragen om nieuwe concepten, waarbij verschillende type energiesystemen op verschillende schalen, passend bij de lokale situatie, in grote zelfstandigheid kunnen functioneren. Die nieuwe concepten dienen wel de huidige kernwaarden in zich te dragen, namelijk te zorgen dat het totale systeem betrouwbaar, veilig en betaalbaar blijft en bewoners en bedrijven betrokken zijn en veranderingen actief steunen.

Bij deze ontwikkelingen past een innovatief stelsel van semi-autonome energiesystemen, die binnen een zogenaamd 'Holarchisch' concept functioneren.

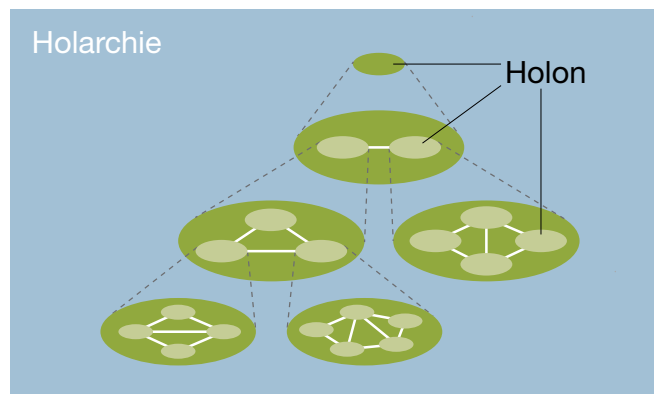
## Karakteristieken toekomstig energiesysteem

- Meerdere geïntegreerde energiedragers
- Centrale en gedistribueerde bronnen
- Maximaal gebruik van flexibiliteit bijvoorbeeld middels sectorkoppeling
- Verschillende businessmodellen
- Werkend binnen een holarchisch systeem



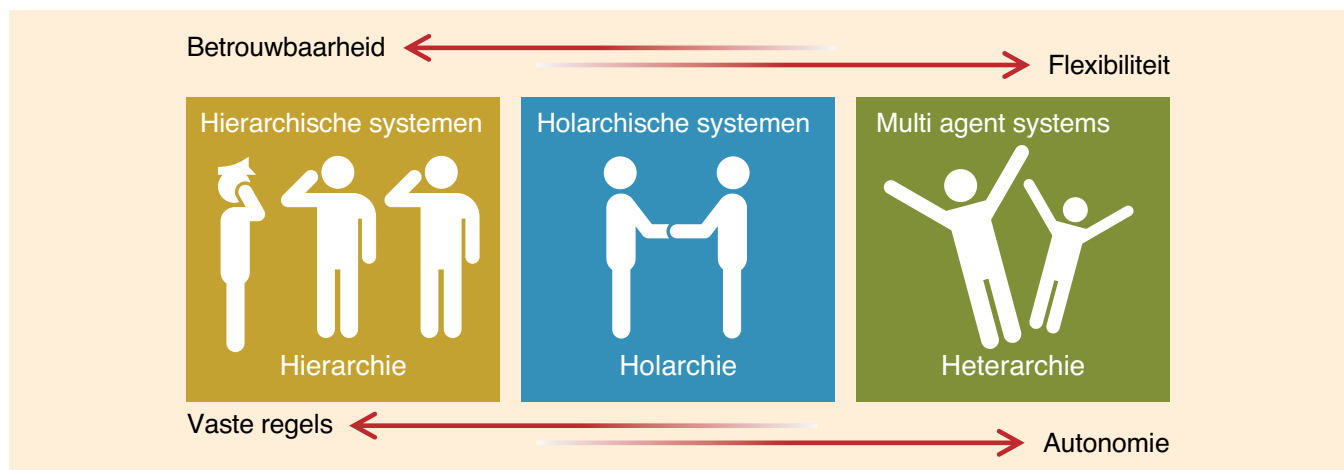
# Holarchie

De term 'holarchie' is bedacht door Arthur Koestler in zijn boek *The Ghost in the Machine* (1967). Een holarchie is een systeemmodel die gebaseerd is op 'holonen' (Grieks: ὅλον, holon onzijdige vorm van ὅλος, holos 'geheel'). Een holon is een entiteit die tegelijkertijd zelfstandig is én onderdeel van een geheel. Holonen zijn zelfstandige eenheden die een zekere mate van autonomie bezitten, maar tegelijkertijd ook onderhevig zijn aan controle vanuit een of meer hogere niveaus. Een holarchie is een hiërarchie van zelfregulerende holonen die op de eerste plaats functioneren als autonome gehelen (eventueel ondergeschikte holonen aansturend), op de tweede plaats als afhankelijke onderdelen in ondergeschiktheid aan controles van holonen op hogere niveaus en ten derde in coördinatie met hun lokale omgeving (zie figuur 1).



Figuur 1. Holarchie.

Een holarchie is een systeemconcept die eigenschappen heeft van zowel een hiërarchisch model, met vaste regels met grote betrouwbaarheid als een autonoom opererend multi-agent systeem met veel flexibiliteit.



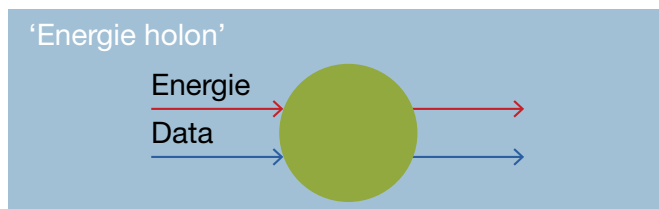
Figuur 2. Hierarchie-Holarchie-Heterarchie.





# Een energie holarchie

Een holarchie is een systeemconcept dat goed past bij de hiervoor geschetste trend naar meer autonomie. Hierbij staat een 'energie holon' centraal. Elke holon heeft als input en output energie en data.



Figuur 3. Een energie holon

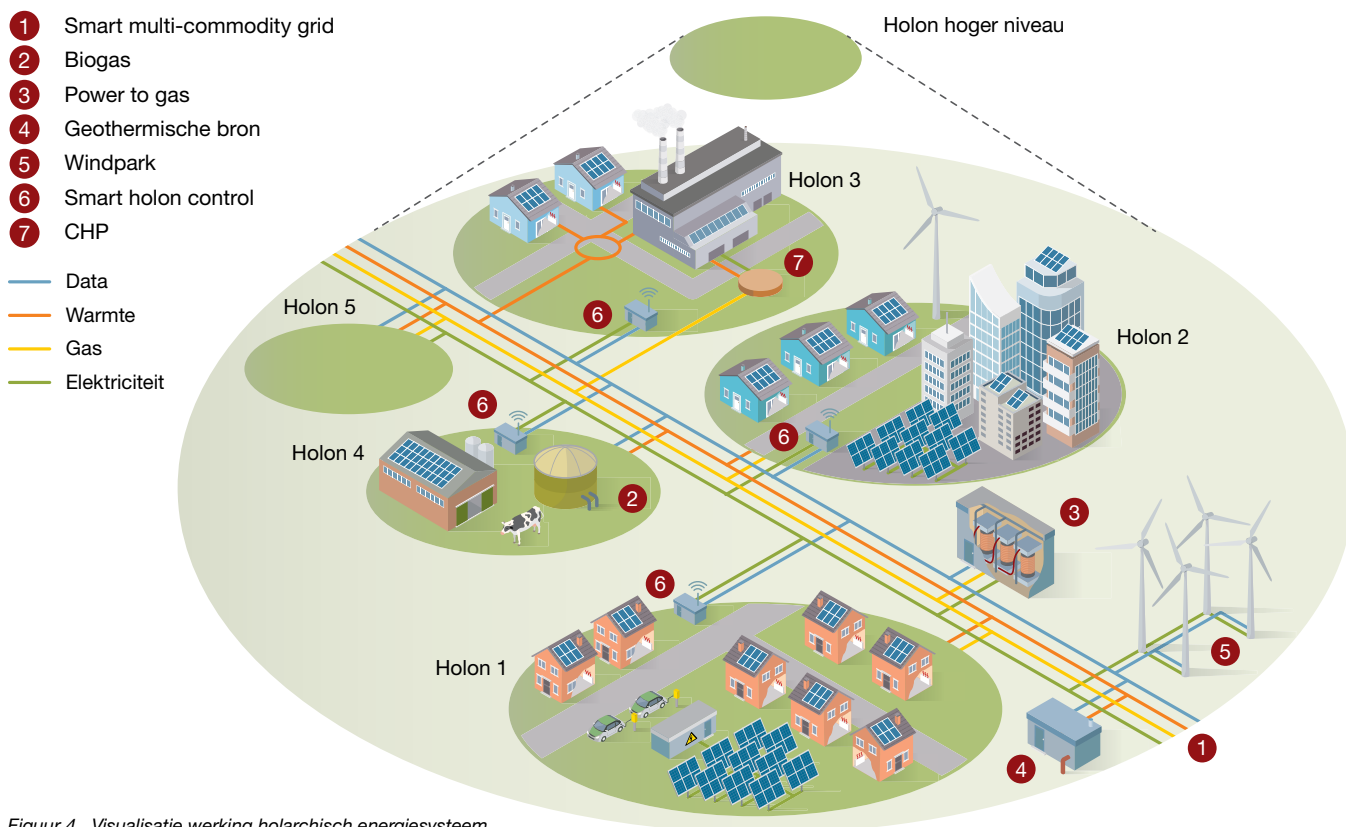
Een energie holon functioneert, wanneer mogelijk, geheel zelfstandig. Soms is dat samen met holons op hetzelfde niveau en soms is het onderdeel van een holon op een hoger niveau. Dit is afhankelijk van het aanbod en vraag naar energie. Binnen een holarchie heeft de stroom van energie geen vaste route meer. Data zijn de basis voor een intelligent besturingssysteem dat zorgt dat de holarchie binnen vastgestelde afspraken functioneert. Met deze intelligente besturing kan het energiesysteem worden aangepast aan de mogelijkheden en behoeftes, zoals beschikbare flexibiliteit, behoefte aan balancering of voorkomen van congestie. Digitalisering, waaronder algoritmes en AI, spelen hierin

een cruciale rol. Deze werkwijze kan op lokale, regionale en nationale schaal worden toegepast.

## Technische opzet

Figuur 4 geeft een schematisch overzicht van de werking van een energie holarchie. Hierin zijn als voorbeeld enkele holonen weergegeven die allen een andere configuratie hebben. Al deze holonen zijn gekoppeld aan een 'multi-commodity' netwerk van elektriciteit, gas en warmte inclusief faciliteiten waarmee verschillende energiedragers opgeslagen en geconverteerd kunnen worden.

Holon 1 is een 'all electric' wijk met energie producerende woningen, elektrisch vervoer en een buurtbatterij. Deze holon kan in grote mate in zijn eigen energievoorziening voorzien. Holon 2 is een typische stadswijk, die deels in zijn eigen behoefte kan voorzien, maar regelmatig gebruik zal maken van aanbod van andere holonen. Holon 3 is een holon in een industriële setting, waarbij gebruik wordt gemaakt van restwarmte en een warmtekrachtkoppeling WKK. Holon 4 toont een voorbeeld in het landelijk gebied met biogas als belangrijke energiebron, in combinatie met zonne-energie.



Figuur 4. Visualisatie werking holarchisch energiesysteem.

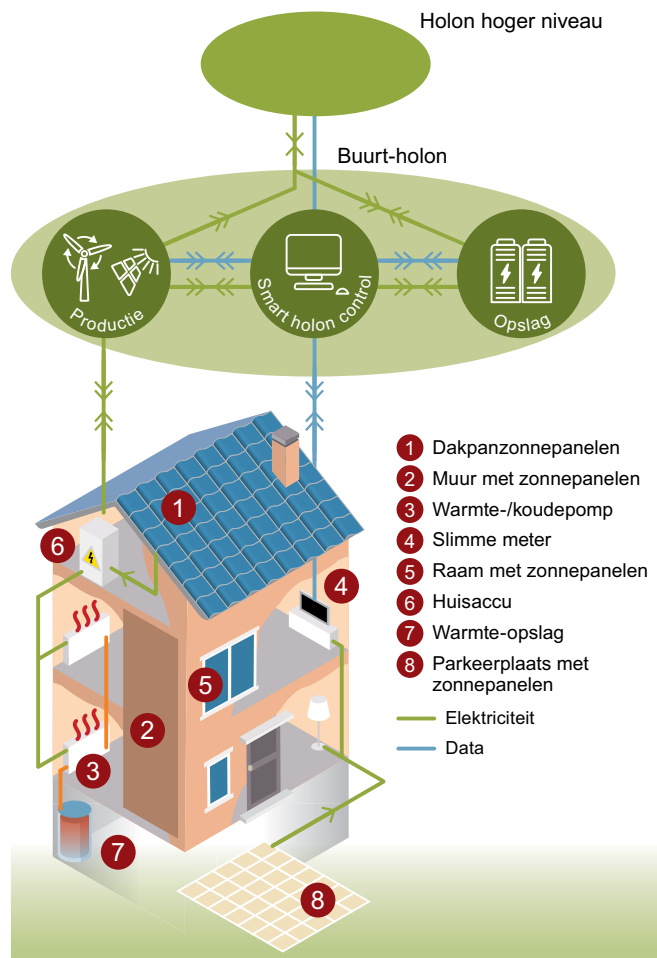


Op deze wijze kan de Nederlandse energievoorziening ingepast worden in een holarchisch model, slim gebruik makend van lokale sterktes en sectorkoppeling.

Op deze wijze is het mogelijk een geneste energiesysteem te ontwerpen en te beheren; van woning, buurt, regio, tot nationaal niveau. Het systeem kan maximaal lokaal opgewekte energie en beschikbare flexibiliteit benutten.

Een holon op het laagste niveau kan bijvoorbeeld een woning zijn (zie figuur 5), die maximaal gebruikmaakt van lokaal aanwezige energiebronnen. Deze 'huis' holon is onderdeel van een buurt-holon, die weer onderdeel uitmaakt van een holon op een hoger niveau, bijvoorbeeld een wijk-holon. Deze woning kan autonoom functioneren zolang er voldoende lokale energie beschikbaar is. Als dit niet het geval is, wordt de buurt-holon voor een aanvulling ingeschakeld. Omgekeerd kan het zijn dat de buurt-holon behoefte heeft aan additionele energie die de woning-holon in potentie kan leveren. In dat geval grijpt de buurt-holon in en gebruikt energie van de woning-holon.

Dit proces kan in vergaande mate geautomatiseerd worden, aangestuurd op beschikbare data en met lokale intelligentie.



Figuur 5. Een woning-holon als onderdeel van een buurt-holon.



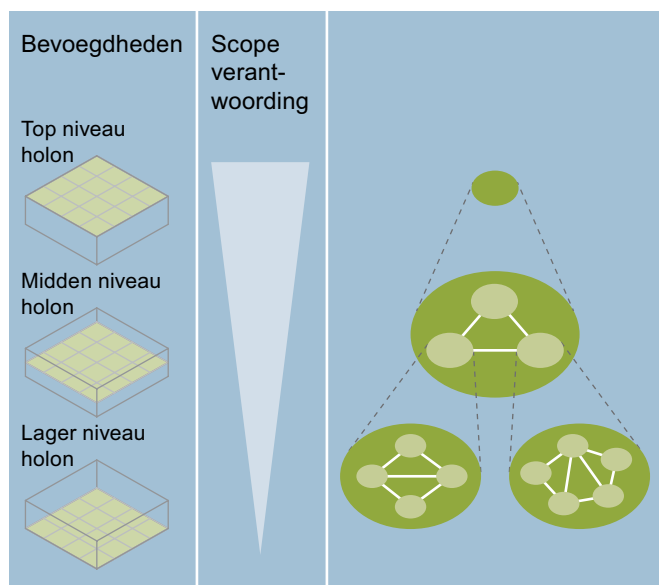


## Markt en business modellen

Een holarchisch concept is ook een model voor het gebruik van business modellen. Ook hier is het grote voordeel dat maatwerk mogelijk is, waarbij per holon of niveau in de holarchie ruimte kan worden gecreëerd voor lokale oplossingen die passen bij de specifieke situatie. Zo is een holarchisch model geschikt voor 'Peer-to-Peer' oplossingen en voor 'transactive energy'.

## Besluitvorming en regelgeving

Een holarchisch model is zeer geschikt voor inclusieve besluitvorming op maat. Ook hier is de specifieke configuratie van een holon en het hiërarchisch niveau van deze holon van belang. Zo kunnen verschillende vormen van zelfbestuur worden gebruikt. Een energie holarchie kan alleen functioneren met een helder pakket aan bevoegdheden en regels. Hierbij past een getrappt model waarbij verantwoordelijkheden van breed op een hoog niveau in de holon hiërarchie stapsgewijs naar smal op een lager hiërarchisch niveau overgaat. De hiervoor noodzakelijke regelgeving is afgestemd op deze getrapte verantwoordelijkheid.



Figuur 6. Getrapte verantwoordelijkheden in een holarchie.

Met deze set aan bevoegdheden en regelgeving is volstrekt helder hoe ver autonoom handelen mogelijk is en het systeem voor controle en handhaving kan zorgen. Dit betekent ook dat bewoners, bedrijven en andere betrokkenen, binnen een nauw omschreven set aan randvoorwaarden, direct inspraak hebben over hun eigen energievoorziening.



'Transactive Energy' (TE) is een concept voor energie management. Met TE wordt de stroming en uitwisseling van energie binnen een energiesysteem gemanaged op basis van economische en marktgebaseerde waarden van energie waarbij individuele spelers (consumenten, bedrijven, traditionele spelers) actief kunnen handelen in energie. Bij TE wordt er, in plaats van gebruik te maken van een hiërarchisch sturingsmodel, gebruikgemaakt van onderlinge interacties tussen en met gedistribueerde 'energy-nodes' (aansluitingen/gebruikers). Hierbij kunnen individuele nodes, eventueel via 'aggregators', met elkaar interacteren om op verschillende niveaus van het energiesysteem vraag en aanbod op elkaar af te stemmen en flexibiliteit te regelen. Bij TE gebeurt dit typisch geautomatiseerd, op basis van randvoorwaarden die passen binnen een holarchisch model. TE combineert daarmee economische prikkels én prikkels uit control/beheer. De aanpak zorgt ervoor dat op een veel fijnmaziger niveau controle wordt uitgevoerd op het net. Zo is met TE bijvoorbeeld het zogenaamde demand-side management op het niveau van individuele nodes mogelijk. Doordat individuele gebruikers lokaal en globaal kunnen bijdragen aan de besturing van het energiesysteem, is TE een concept dat kan worden gebruikt om de efficiëntie en betrouwbaarheid van een energiesysteem te verbeteren. De aanpak past bij een complex, interactief intelligent 'holarchisch' energiesysteem. Het netwerk is exponentieel complexer dan de traditionele aansturing van opwekkingsbronnen omdat de vraagzijde van het net in potentie zeer vele aanstuurpunten biedt, in tegenstelling tot gemiddeld 10 tot 20 energiecentrales aan de aanbodzijde.



---

# Noodzakelijke ontwikkelingen

De hiervoor geschetste ontwikkeling betekent dat oplossingen gevonden moeten worden voor een aantal belangrijke veranderingen. Omdat 'alles met elkaar verbonden' raakt en waar mogelijk flexibiliteit wordt benut, zijn energieconversie en opslagsystemen en demand-respons faciliteiten nodig die passen bij de juiste schaal en toepassing. Om alle duurzame bronnen te kunnen oogsten zijn bovendien efficiënte opweksystemen nodig.

*“Om de kansen en effecten van holarchische systemen op de juiste waarde te schatten, is onderzoek en innovatie nodig”*

Een grote opgave in de gehele energiewaardeketen is het digitaliseringproces. Dit betekent het smart maken van hardware, het inrichten van een datamanagement systeem, inclusief cyber security en privacy maatregelen en het ontwikkelen van adequate management en Control systemen, controle rooms inclusief algoritmes en AI.

Daarnaast zijn nieuwe business modellen nodig, bijvoorbeeld gebaseerd op transactive energy concepten, die in staat zijn om dit holarchisch systeem efficiënt te laten functioneren. Tot slot is een getrapt en gebalanceerd stelsel nodig van verantwoordelijkheden en regelgeving met hierbij passende besluitvormingsprocessen. Daarbij is er ruimte voor lokaal maatwerk.

Om de kansen en effecten van holarchische systemen op de juiste waarde te schatten, is onderzoek en innovatie nodig, inclusief experimenten in praktijksituaties. De Topsector Energie speelt hierin een faciliterende rol.

*Systeemintegratie draagt ertoe bij dat het nieuwe energiesysteem niet alleen duurzaam wordt, maar ook betrouwbaar, veilig en betaalbaar blijft.*

## Colofon

Dit is een uitgave van Topsector Energie – Systeemintegratie

Foto omslag:  
Lei Nuo on Unsplash

November 2020  
Versie 1

[www.topsectorenergie.nl/systeemintegratie](http://www.topsectorenergie.nl/systeemintegratie)

