



# Elektriciteitssysteem Groene Hart

Oktober 2022  
Generation.Energy

# Inhoud

- Elektriciteitsvraag Groene Hart
  - Huidig
  - Toekomstig
- Mogelijke toekomstige energieproductie
- Mogelijke ruimtelijke varianten voor het energiesysteem
- Wat valt op?

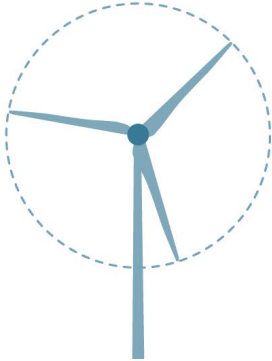
# Het Groene Hart



# De Elektriciteitsvraag

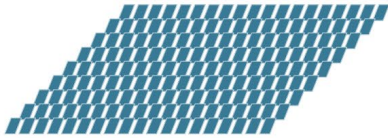
# Wat is 1 TWh?

1 TWh =



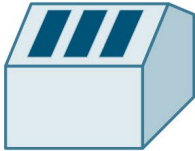
**60**  
(5,0 MW)

=



~ **1000 - 1800**  
HA ZONNEVELD

=



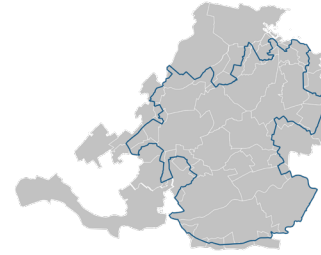
~ **350.000**  
WONINGEN MET  
ZONNEDAKEN

De hoeveelheid elektriciteit wordt in dit onderzoek uitgedrukt in GWh of TWh.

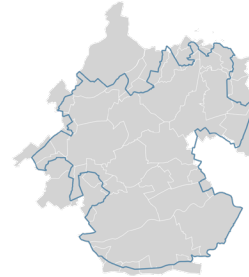
1 TWh = 1.000 GWh. De figuur hiernaast laat zien hoe veel windturbines, hectare zonneveld of woningen met zonnepanelen nodig zijn voor 1 TWh.

# Huidige elektriciteitsvraag (excl. industrie)

Huidige elektriciteitsvraag<sup>1</sup> 17 TWh  
(incl. grote randgemeenten):



Huidige elektriciteitsvraag<sup>1</sup> 8 TWh  
(excl. grote randgemeenten)<sup>2</sup>



Huidige elektriciteitsvraag<sup>1</sup> 4 TWh  
(alleen deel binnen GH):



Voor deze studie is het elektriciteitsgebruik in kaart gebracht per gemeente. Het groene hart gebruikt in totaal 8 TWh.

Wanneer alleen het deel van de elektriciteitsvraag **binnen de grenzen van het groene hart** wordt meegerekend, is het elektriciteitsgebruik ongeveer de helft. Wanneer de vier grote randgemeenten mee worden genomen dan verdubbelt deze vraag.

Hierbij is gekeken naar het elektriciteitsgebruik van de sectoren **gebouwde omgeving, mobiliteit** en de **landbouw**. In deze studie focussen we ons op het Groene Hart excl. de grote randgemeenten.

1) *Klimaatmonitor (CBS)*

2) *Exclusief Amsterdam, Utrecht, Rotterdam en Den Haag*

# Huidige elektriciteitsvraag (excl. industrie)

- Huidige elektriciteitsvraag<sup>1</sup> (excl. grote randgemeenten)<sup>2</sup>: 8 TWh
  - Gebouwde omgeving 7,5 TWh
  - Landbouw 0,8 TWh
  - Mobiliteit 0 TWh

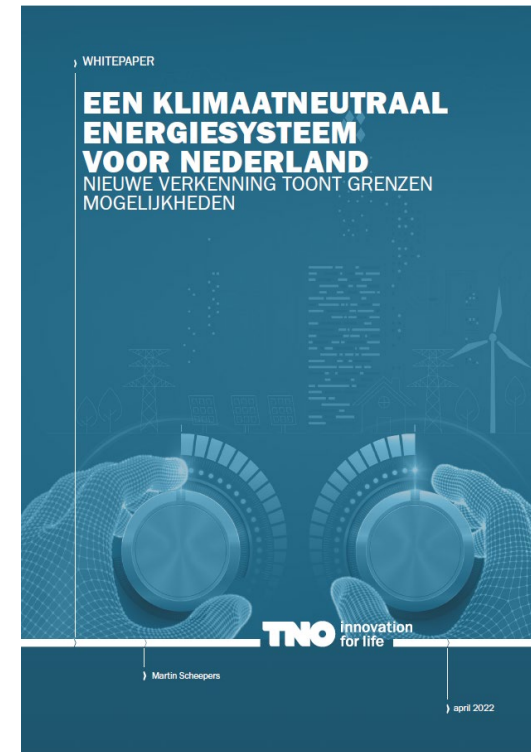


1) *Klimaatmonitor (CBS)*

2) *Exclusief Amsterdam, Utrecht, Rotterdam en Den Haag*

# Toekomstig energiesysteem Nederland

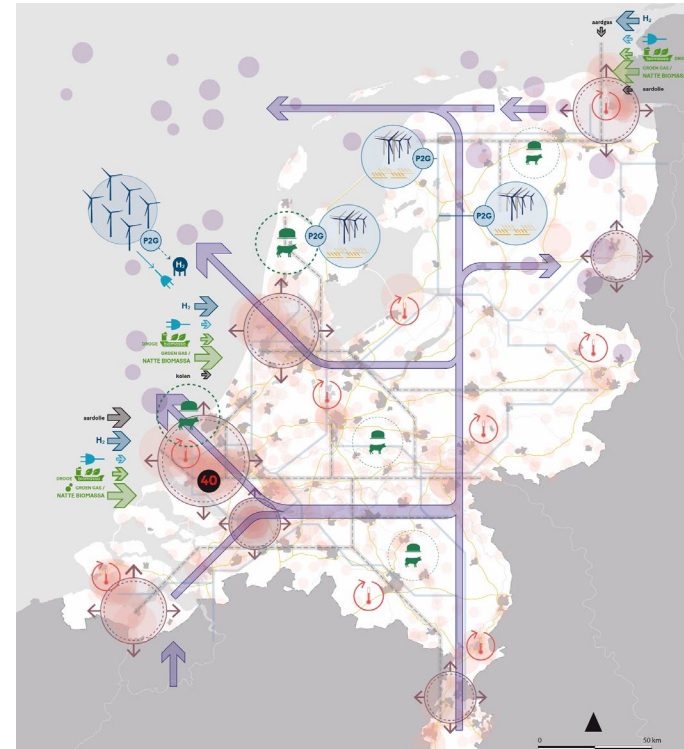
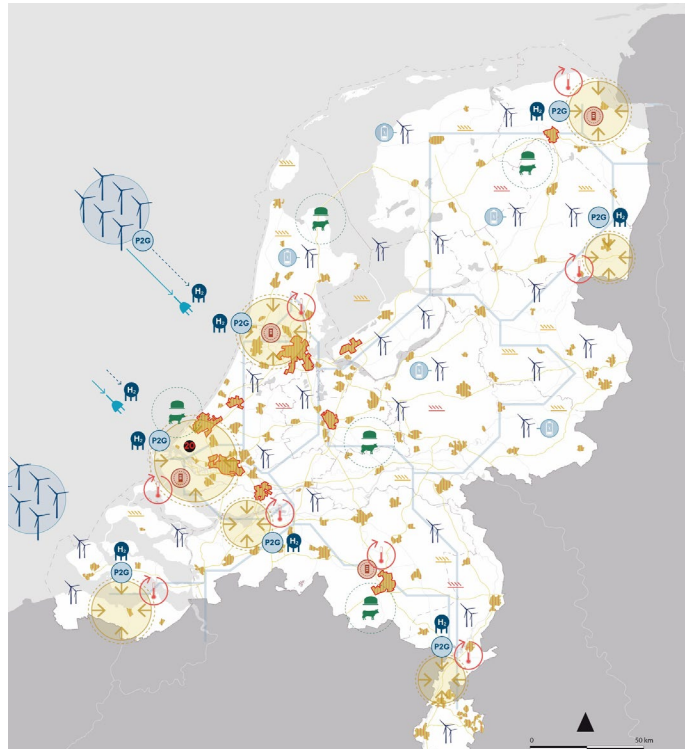
- De verwachte Nederlandse energievraag en -aanbod in 2050 is beschreven in onderstaande studies. Voor het berekenen van de toekomstige energievraag en energieproductie van het Groene Hart baseren wij ons op deze landelijke studies.





# Toekomstig elektriciteitsaanbod Nederland

- De mate van elektriciteitsvraag en productie in Nederland verschilt per scenario
  - *Energiesysteem van de toekomst, Netbeheer Nederland*: 4 scenario's op basis van governance – Regionaal, Nationaal, Europees en Internationaal
  - *Een klimaatneutraal energiesysteem, TNO*: het ADAPT-scenario bouwt de Nederlandse economie voort op de bestaande sterktes met behoud van de huidige levensstijl, maar met een aanzienlijke vermindering van de CO<sub>2</sub>-uitstoot. In het TRANSFORM-scenario kiest de Nederlandse samenleving voor een structurele verandering naar een meer duurzame economie, waardoor Nederland minder energie-intensief wordt.



Illustratieve scenariokaarten afkomstig uit de ruimtelijke uitwerking van het energiesysteem van de toekomst: Regionaal (links) en Europees (rechts).

# Toekomstige elektriciteitsvraag (excl. Industrie)

*Toekomstige elektriciteitsvraag in  
(excl. grote randgemeenten)<sup>2</sup>*

- Gebouwde omgeving
- Landbouw
- Mobiliteit

*16 - 17 TWh*

9,0 - 9,6 TWh

1,0 - 1,5 TWh

6,0 - 6,5 TWh

Op basis van de studie Energiesysteem van de toekomst is de huidige elektriciteitsvraag van het Groene Hart (excl. grote randgemeenten) geëxtrapoleerd naar 2050.

## **Verdubbeling elektriciteitsvraag richting 2050!**

Voornameijk door:

- Elektrificeren warmtevraag gebouwde omgeving (1 - 3 TWh)
- Elektrificeren mobiliteit (6 - 6,5 TWh)

*2) Projectie huidig elektriciteitsgebruik naar 2050 o.b.v. scenario's energiesysteem van de toekomst. Bandbreedte is de minimale en maximale waarde uit deze scenario's*

# Elektriciteitsproductie

# Toekomstig energiesysteem Nederland

- De studie van TNO met de scenario's Adapt en Transform gaan uit van hogere elektriciteitsproductie dan beschreven in de studie Energiesysteem van de toekomst.
- Bandbreedte Nederlandse productie op land van zonne- en windenergie is 51 – 133 TWh
  - Bovenstaande is excl. wind op zee en zon op dak
  - Bandbreedte van zonne- en windenergie op land inclusief zon op dak is: 67-150 TWh

In de studie: 'Het energiesysteem van de toekomst' en een 'Klimaatneutraal energiesysteem voor Nederland' is de verwachte productie van zonne- en windenergie voor Nederland berekend.

# Toekomstig elektriciteitsaanbod Groene Hart

- Het energiegebruik van het Groene Hart exclusief grote gemeente is 11% t.o.v. Nederland
- Deel van de Nederlandse opgave in het Groene Hart<sup>3</sup>
  - 6 – 15 TWh (*bandbreedte scenario's*)
- Voor het verbeelden van de impact van de energietransitie op het Groene Hart nemen we het midden van de bandbreedte van 6-15 TWh: **11 TWh**

De verwachte productie van windenergie op land en zon op veld afkomstig van de genoemde studies wordt geschaald op het Groene Hart (11%). De bandbreedte voor het Groene Hart is dan 6-15 TWh, dit is 11% van de Nederlandse bandbreedte van 51-133 TWh.

*3) Productie elektriciteit 2050 o.b.v. 11% van scenario's Energiesysteem van de toekomst en TNO (ADAPT en TRANSFORM). De bandbreedte is de minimale en maximale waarde uit deze scenario's*

# Voorstel voor elektriciteitsaanbod in varianten

## Midden van de bandbreedte: 11TWh

Onderverdeeld in:

- Windturbines<sup>4</sup>                      5,5 TWh = ~300 turbines 5MW (1,5 GW)
- Zonneveld<sup>5</sup>                              5,5 TWh = ~55 km<sup>2</sup> zonneveld (5,5 GW)

Er is gekozen voor een gelijk aantal in zonne- en windenergie. **Zonnepanelen** leveren overdag de meeste elektriciteit als de zon volop schijnt onder invloed van een hogedrukgebied. **Windturbines** produceren de meeste elektriciteit bij meer bewolkt weer en onder invloed van een lagedrukgebied.

Een **combinatie van zon en wind** is erg geschikt: doordat ze elkaar aanvullen wordt het elektriciteitsnetwerk beter benut. In deze studie is geen voorkeur uitgesproken voor een energietechniek.

4) Windturbines 5MW; 3500 vollasturen

5) Zonneveld 0,1 TWh/ km<sup>2</sup> (gemiddelde uit veldopstellingen TKI potentieelstudie Zonnestroom Nederland)

# Aansluiting van wind en zon

Het installeren van zonnepanelen en windturbines betekent dat er ook moet worden geïnvesteerd in het netwerk, en dat deze moet worden uitgebreid. Zo leveren 1,5 GW aan windturbines en 5,5 GW aan zonnepanelen samen een vermogen van 7 GW. Dat is bijvoorbeeld ~2x het grootste hoogspanningsstation van Nederland (Vierverlaten in Groningen).



# **Samenvatting energieaanbod 2050 Groene Hart**



# Keuzes om beeld te krijgen van energie-aanbod in het Groene Hart



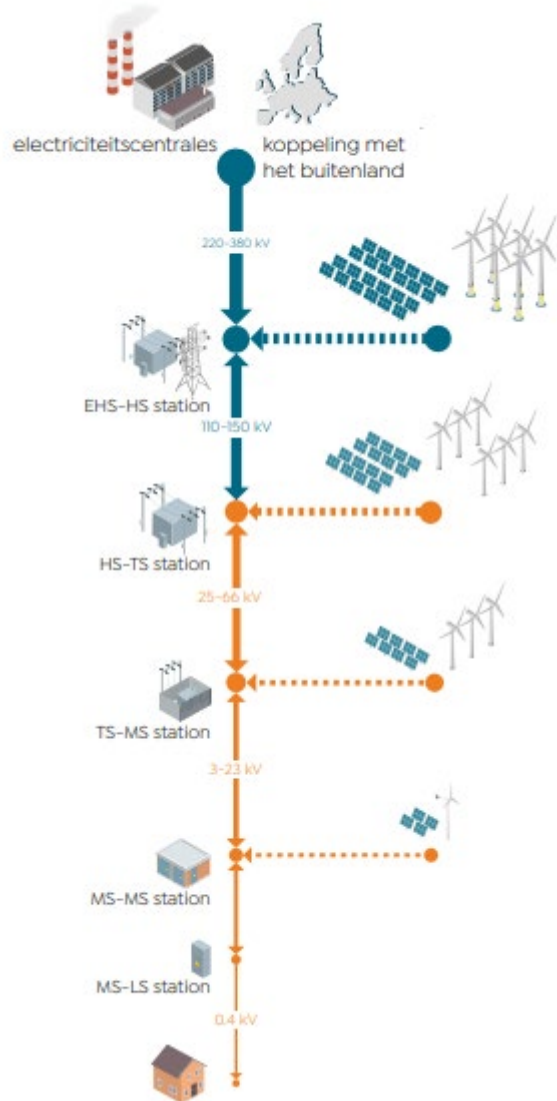
De energievraag van Groene Hart gemeente exclusief de grote randgemeente uitgaande van de gebouwde omgeving, mobiliteit en landbouw is naar verwachting 16-17 TWh in 2050.

De benodigde productie van elektriciteit voor het Groene Hart als 11% t.o.v. Nederland loopt van 6 TWh –15 TWh. Dit is berekend op basis van de scenario's van 'Energiesysteem van de toekomst' en 'Een klimaatneutraal energiesysteem voor Nederland'. We gaan uit van het gemiddelde van deze range.

Opgave elektriciteitsproductie Groene Hart: 11 TWh

# Energienetwerk

# Energienetwerk



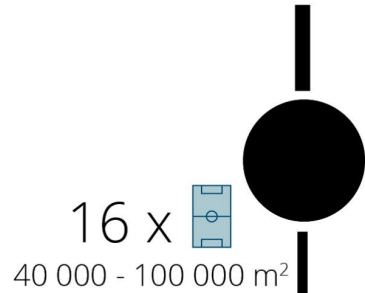
EHS = Extra Hoogspanning  
HS = Hoogspanning  
TS = Tussenspanning  
MS = Middenspanning  
LS = Laagspanning



Basisdocument over energie- infrastructuur,  
Netbeheer Nederland, 2019

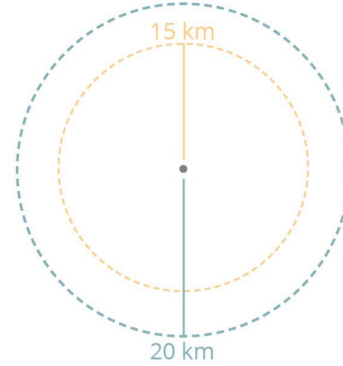
Elektriciteit uit elektriciteitscentrales en het buitenland wordt via bovengrondse lijnen en ondergrondse kabels naar afnemers van elektriciteit getransporteerd. Op verschillende plekken in het net wordt elektriciteit omgezet naar lagere spanningsniveaus. Windturbines en zonnepanelen kunnen op al deze stations worden aangesloten. Hoe groter het energieproject is (meer MW), hoe hoger het spanningsniveau waar het project op is aangesloten.

# Aansluitmogelijkheden

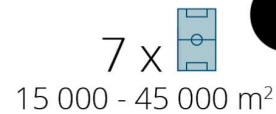
**EHS - HS station**  
380-220 kV ↔ 150-110 kV  
> 500 MVA





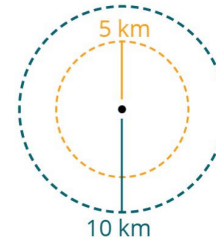
←  > 100 x 5 MW  
of  > 500 ha



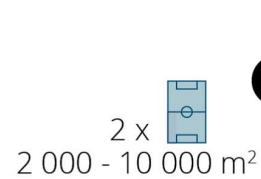
**HS - TS station**  
150-110 kV ↔ 66-25 kV  
100 - 300 MVA





←  20 x 5 MW  
of  100 ha



**TS - MS station**  
66-25 kV ↔ 23-3 kV  
20 - 100 MVA



←  4 x 5 MW  
of  20 ha

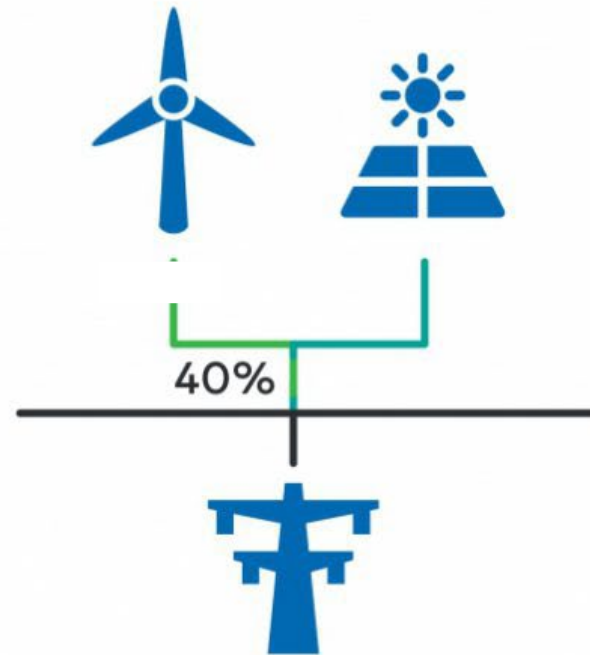
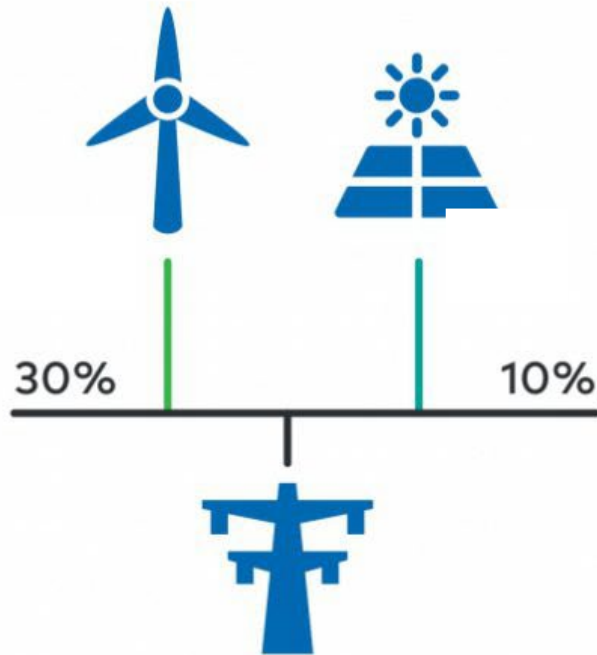


Deze figuur laat verschillende typen onderstation (zwarte cirkel) zien met het bijbehorende oppervlak (voetbalveld).

Op deze onderstations kunnen energieprojecten worden aangesloten: hoe groter het project hoe hoger het spanningsniveau.

De cirkels in blauw (wind), geel (zon) laten een vuistregel zien van de maximale (rendabele) afstand van het energieproject tot het onderstation.

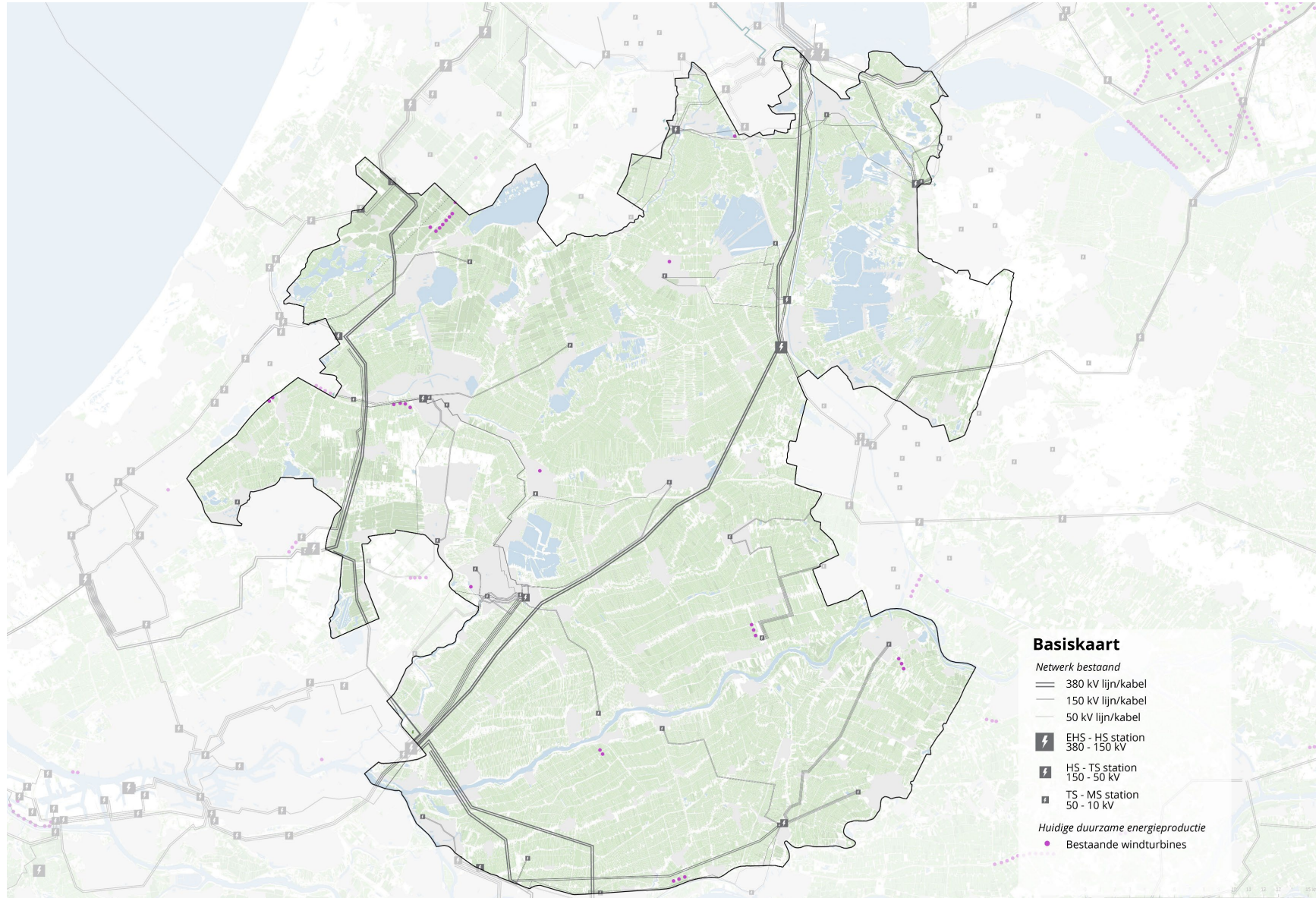
# Cablepooling



Windturbines en zonnepanelen leveren vaak niet op hetzelfde moment elektriciteit. Als de wind waait, schijnt de zon vaak niet. En als de zon schijnt, waait het meestal niet. Wind- en zonneparken die dicht bij elkaar liggen kunnen daarom prima op één kabel worden aangesloten. Dat wordt cablepooling genoemd. Dit betekent dat er efficiënter met het elektriciteitsnet wordt omgegaan en daarom minder in het elektriciteitsnet hoeft te worden geïnvesteerd.

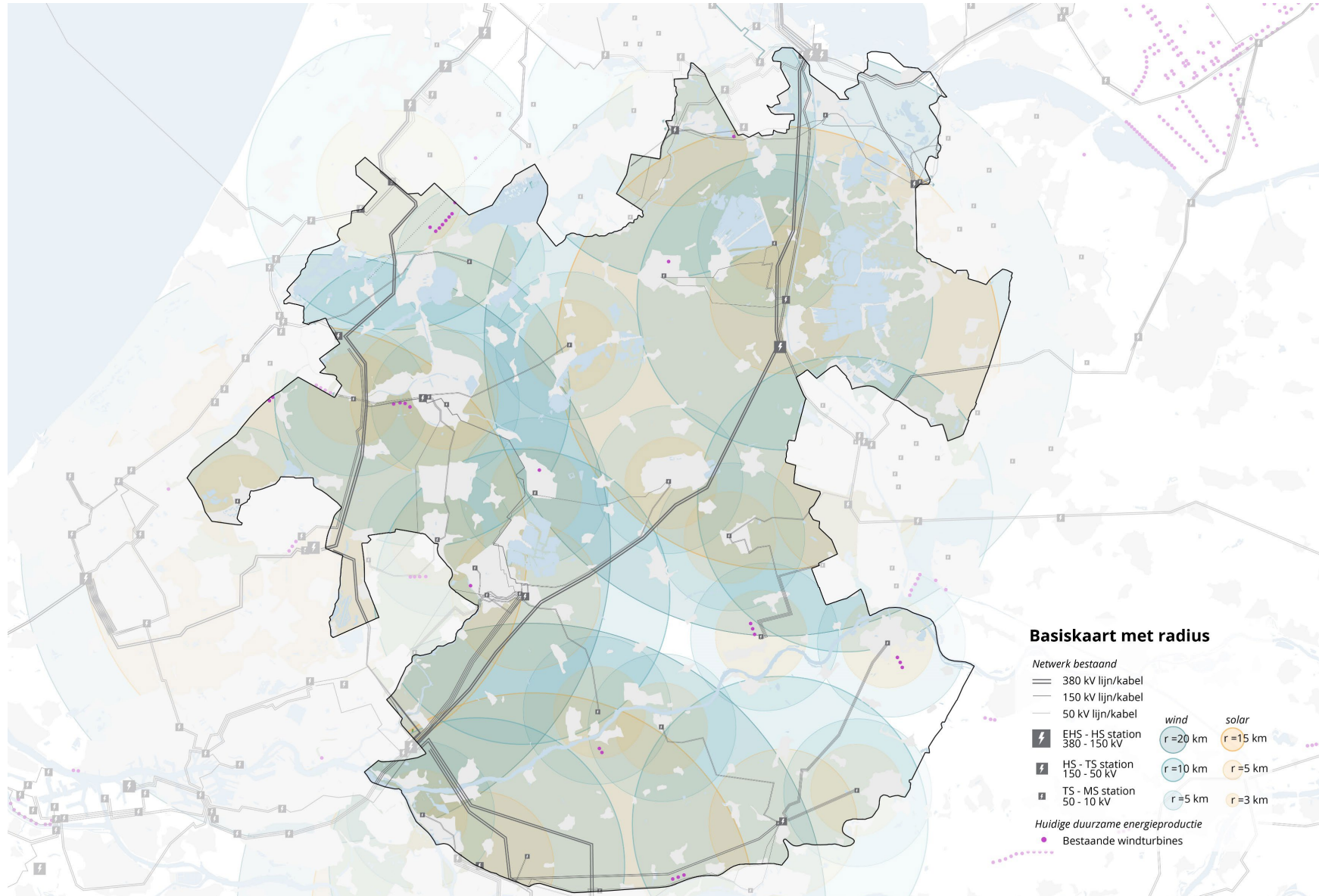
# Huidige energiesysteem van het Groene Hart

Deze kaart toont het huidige midden-, tussen- en hoogspanningsnetwerk.



# Afstand vanaf netwerkstations

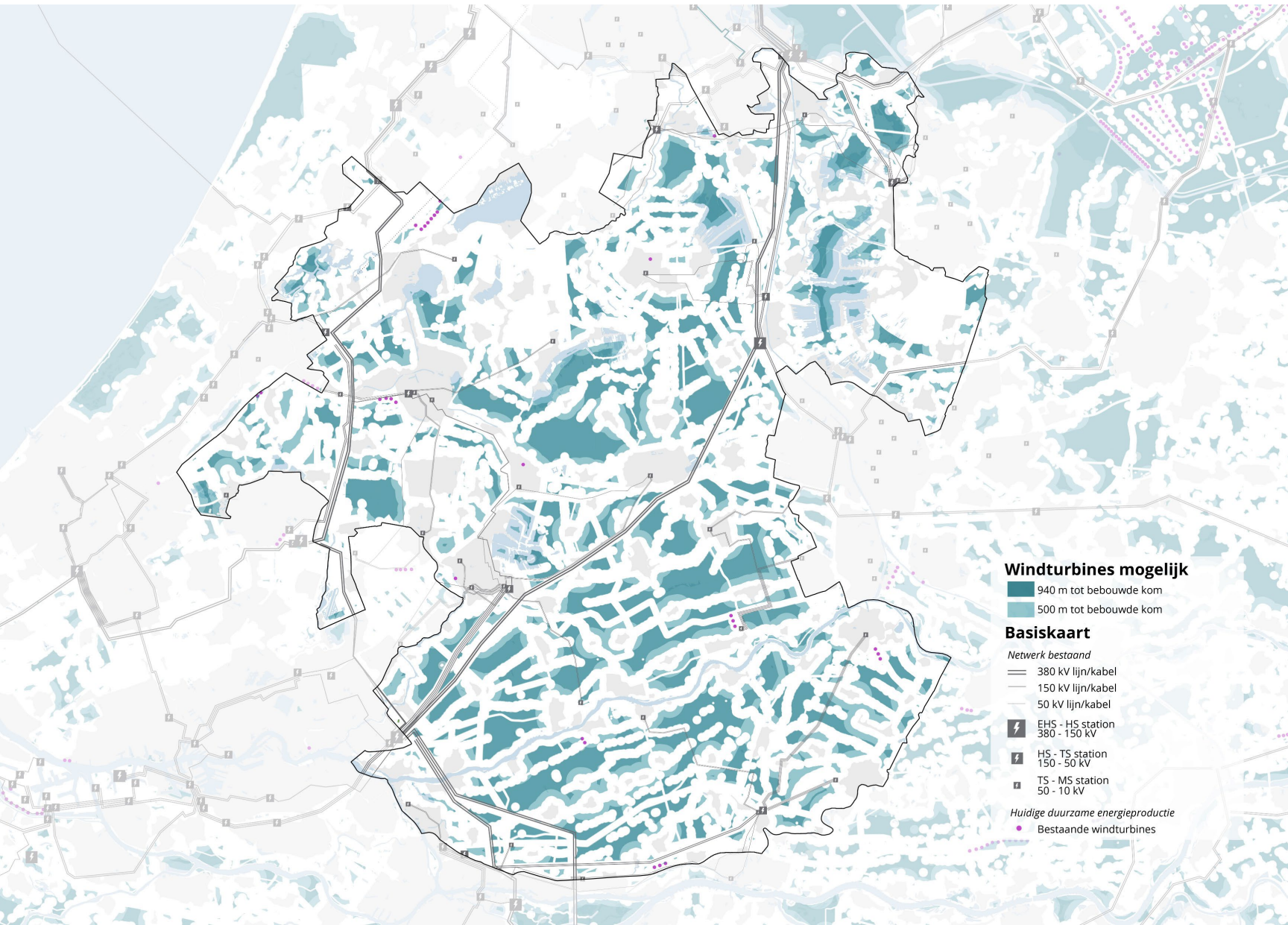
Deze kaart toont het huidige midden-, tussen- en hoogspanningsnetwerk met cirkels (op basis van een vuistregel) die aangeven wat de maximale afstand tussen een energieproject en een onderstation is.



# Ruimtelijke varianten van het energiesysteem



# Waar is windenergie mogelijk?



Deze kaart laat de technische potentie voor een 5 MW windturbine zien. Er is onderscheid gemaakt in de afstand tot de bebouwde kom van 500 m en 940 m.

- De afstand van 940 m is gebaseerd op de afstand van 4x de tiphoogte van een 5 MW referentieturbine.
- De afstand van 500 m is gebaseerd op de huidige geluidsnorm zoals beschreven in de analysekaarten van het NP RES.

# Ruimtelijke varianten

Mate van concentratie

De ruimtelijke configuratie van windturbines kan verschillen. Zo kunnen windturbines verspreid of geclusterd worden geplaatst.



---

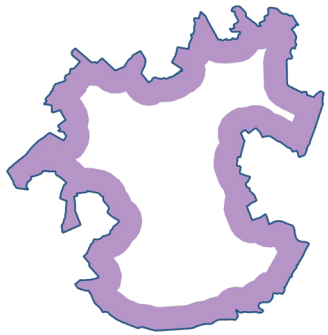
Spreading

Concentratie

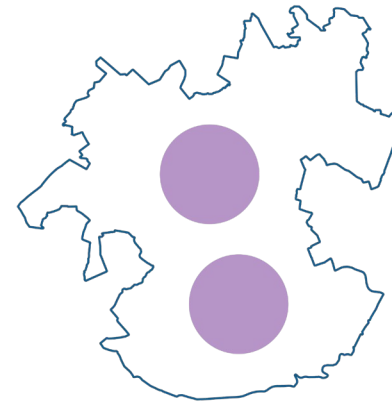
Mate van concentratie

# Ruimtelijke varianten

Locatie van concentratie



In de rand



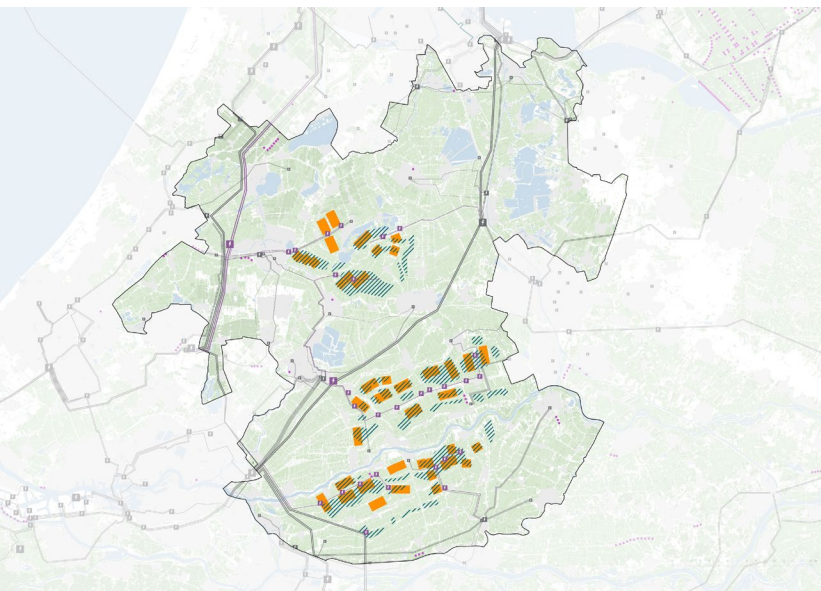
In het centrum

Locatie van concentratie

De ruimtelijke configuratie van windturbines kan verschillen. Zo kan een concentratie van windturbines in de rand of in het centrum van het Groene Hart plaatsvinden.

# Drie ruimtelijke varianten

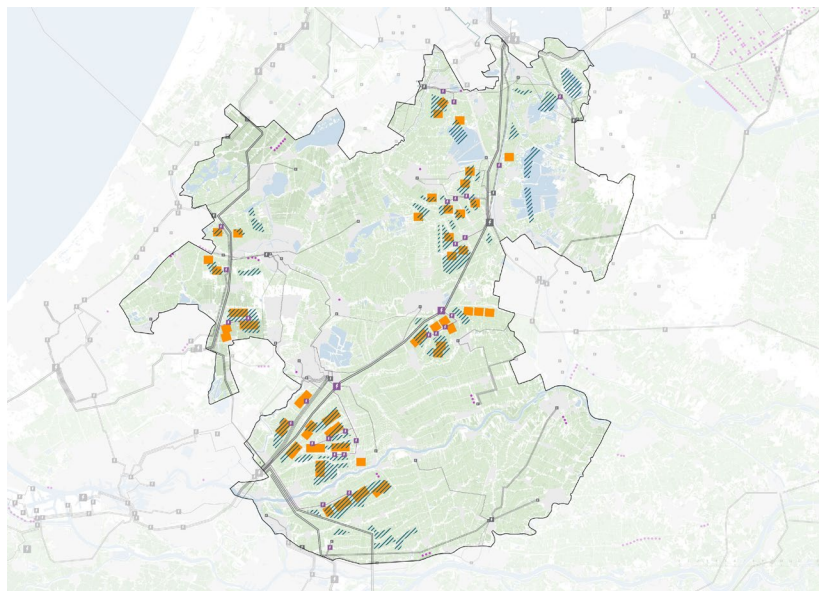
## Concentratie in het centrum



### Aantal

Windturbines	314
Zonnevelden	55 van 100 ha
Stations 100-300 MW	27
Stations >500 MW	2

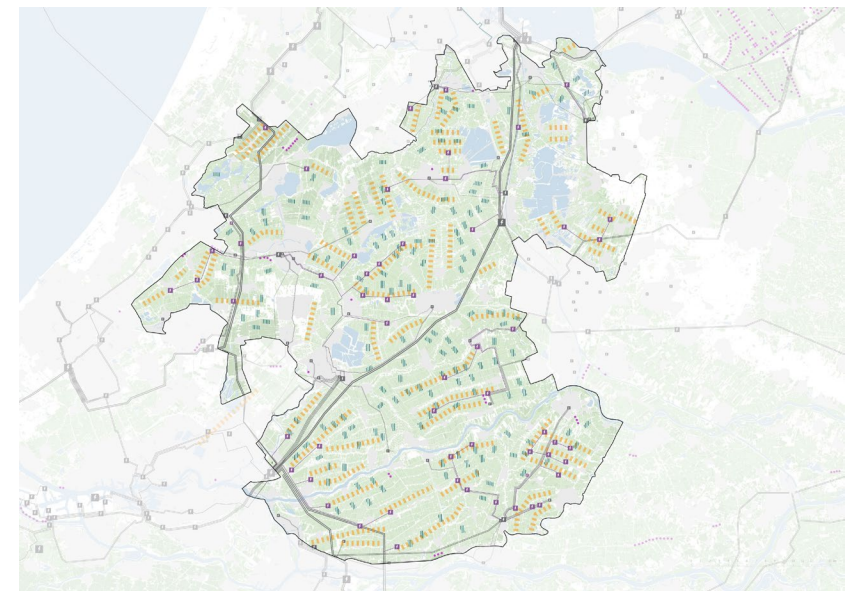
## Concentratie in de rand



### Aantal

Windturbines	314
Zonnevelden	55 van 100 ha
Stations 100-300 MW	28
Stations >500 MW	2

## Spreiding

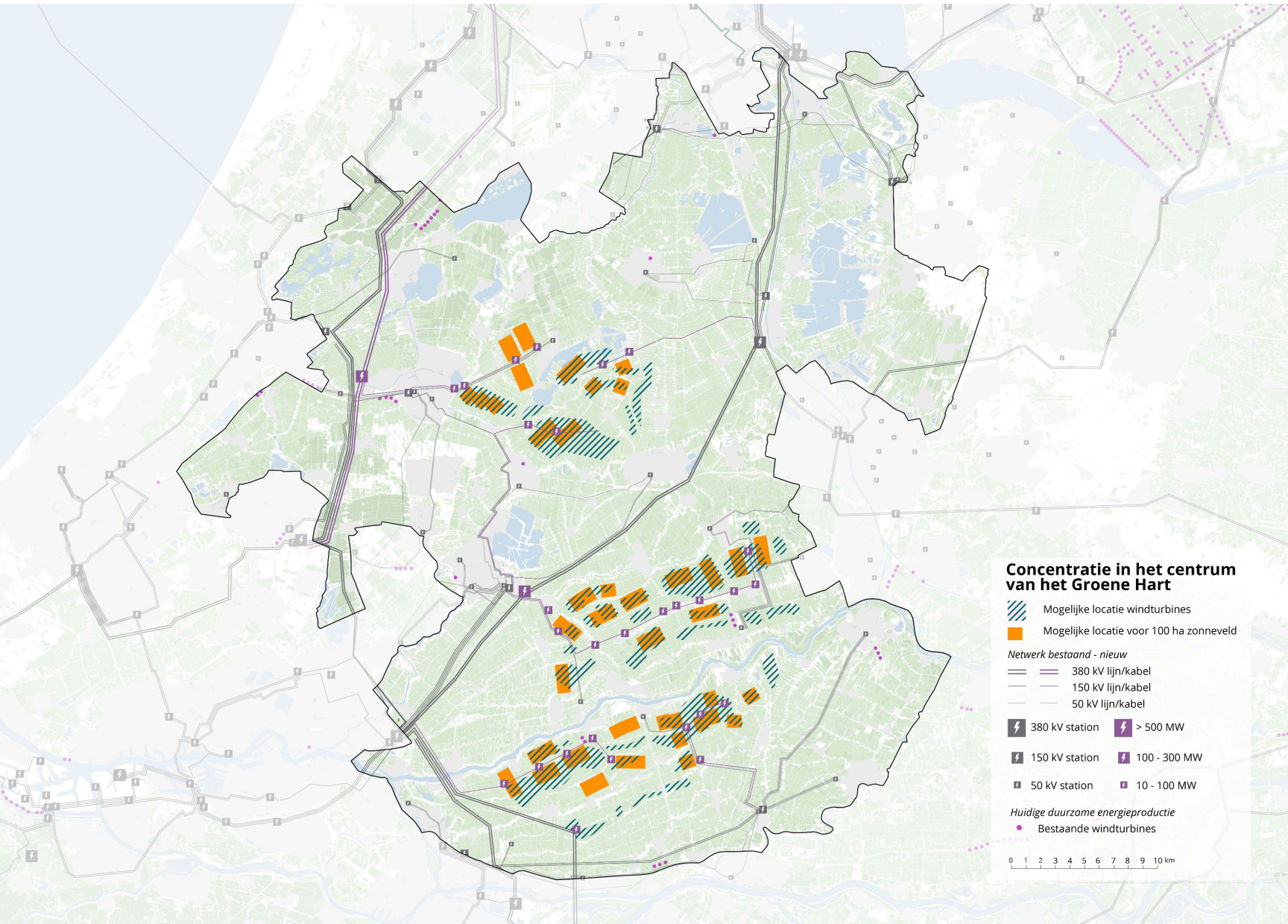


### Aantal

Windturbines	314
Zonnevelden	550 van 10 ha
Stations 100-300 MW	54

Zie bijlagen voor extra toelichting

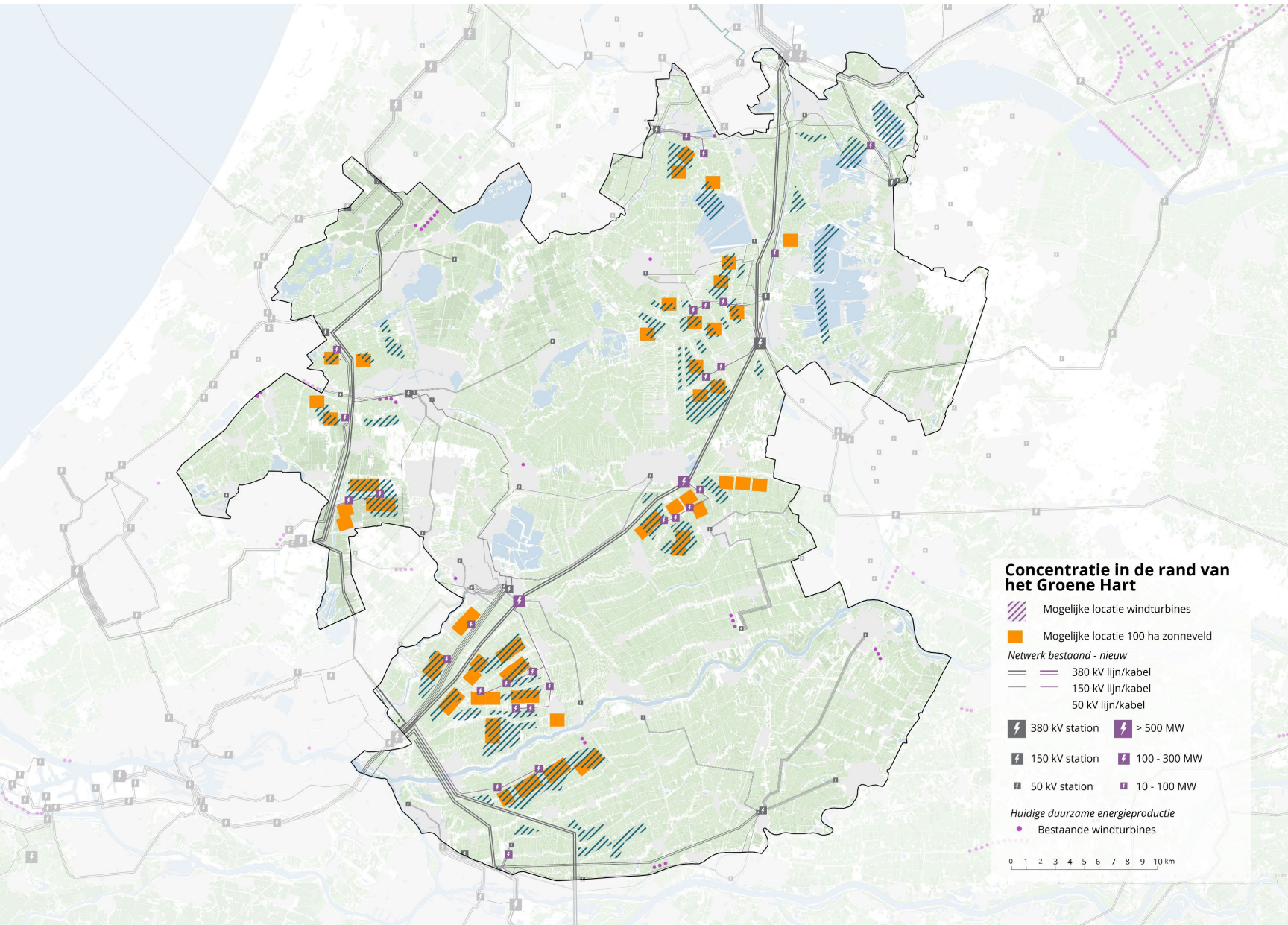
# Concentratie in het centrum



## Aantal

Windturbines	314
Zonnevelden	55 van 100 ha
Stations 100-300 MW	27
Stations >500 MW	2

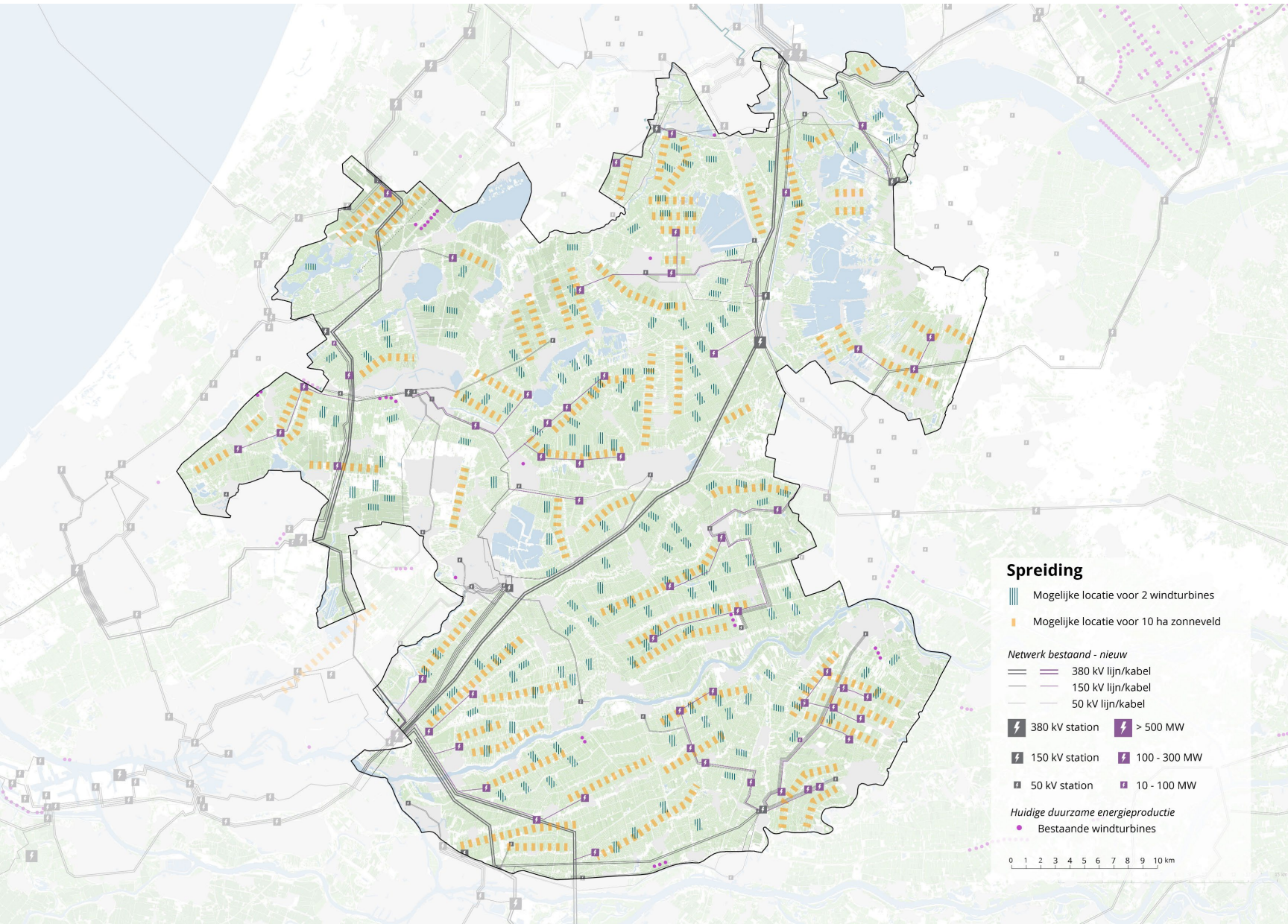
# Concentratie in de rand



## Aantal

Windturbines	314
Zonnenvelden	55 van 100 ha
Stations 100-300 MW	28
Stations >500 MW	2

# Spreiding

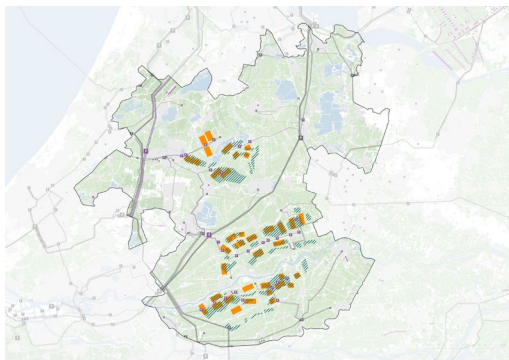


## Aantal

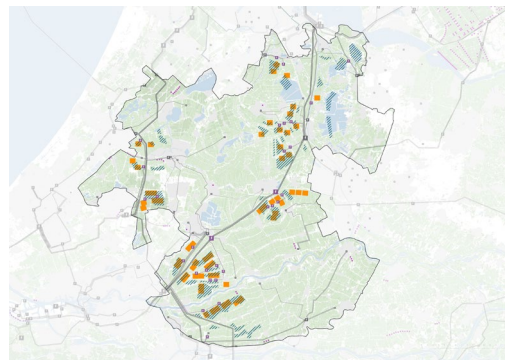
Windturbines	314
Zonnevelden	550 van 10 ha
Stations 100-300 MW	54

# Vergelijking van kosten netwerk

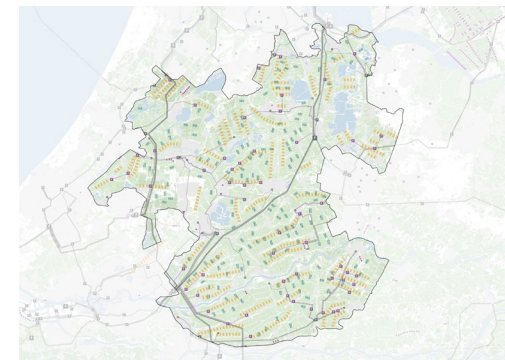
## Concentratie in het centrum



## Concentratie in de rand



## Spreiding



### Kosten

	Min.	Max.	
kabel	105	421	mln. €
Lijn (150kV)	578	2.890	mln. €
stations	875	1.750	mln. €

### Kosten

	Min.	Max.	
kabel	58	232	mln. €
Lijn	423	2.115	mln. €
stations	900	1.800	mln. €

### Kosten

	Min.	Max.	
kabel	259	1.037	mln. €
lijn	474	2.369	mln. €
stations	1.350	2.700	mln. €

	Min.	Max.	
Windturbines	1.256	2.198	mln. €
Zonneparken	3.300	5.500	mln. €

<b>Totaal</b>	<b>5.814</b>	<b>12.759</b>	<b>mln. €</b>
<b>Totaal</b>	<b>6.874</b>	<b>14.879</b>	<b>mln. €</b>
<i>(met 380kV lijn)</i>			

<b>Totaal</b>	<b>5.637</b>	<b>11.845</b>	<b>mln. €</b>
---------------	--------------	---------------	---------------

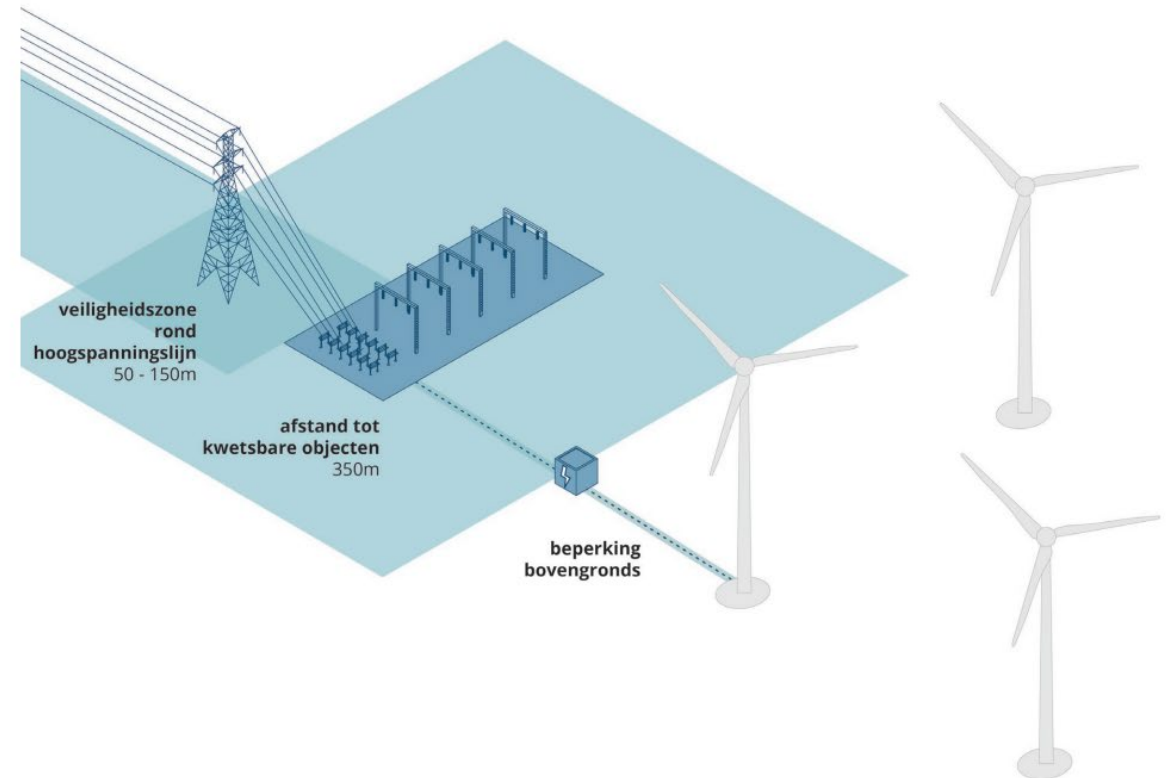
<b>Totaal</b>	<b>6.339</b>	<b>13.804</b>	<b>mln. €</b>
---------------	--------------	---------------	---------------



# Direct en indirect ruimtegebruik

Keuzes in de energietransitie hebben ruimtelijke consequenties, net als andere ingrepen in de ruimtelijke ordening. Alle onderdelen van het energiesysteem kennen een eigen ruimtegebruik. Dit is onder te verdelen in direct en indirect ruimtegebruik:

- Het direct ruimtegebruik zijn de installaties en behuizingen. Voorbeelden zijn de pompinstallatie van een geothermiebron, de paneelopstelling van een zonnepark of de voet en rotor van een windturbine.
- Indirect ruimtegebruik doelt op de belemmeringen die gelden voor de aanwezigheid van het element. Denk hierbij aan de milieucontour in verband met veiligheids- en geluidseisen, of de ruimtelijke beperkingen van interferentie tussen energiebronnen.
  - Een indirecte ruimtelijke consequentie betekent niet automatisch dat er niets mogelijk is. Sommige combinaties van ruimtegebruik zijn mogelijk, en andere niet: dit is afhankelijk van functie en ontwerp.



De afbeelding op deze pagina en de gebruikte kengetallen op de volgende pagina voor direct en indirect ruimtegebruik zijn afkomstig van:

- Ruimtelijke strategie voor het energiesysteem Generation.Energy, Bright, Groenlicht, 2021 <https://www.ruimtevoorenergie.nl/>
- Catalogus Bouwstenen energiesysteem, Energiesysteemvisie Rotterdam, 2021

Zie bijlagen voor extra toelichting

# Vergelijking van ruimtelijke claim netwerk

## Concentratie in het centrum

### Kabel 1052 km lengte

	Min.	Max.	
direct	2	2	km <sup>2</sup>
indirect	6	25	km <sup>2</sup>

### Lijn 104 km 150 kV en 53 km 380 kV circuit

	Min.	Max.	
direct	5	5	km <sup>2</sup>
indirect	6	14	km <sup>2</sup>

### Stations 28 MS-HS en 2 HS-EHS

	Min.	Max.	
direct	0,4	1	km <sup>2</sup>
indirect	20	23	km <sup>2</sup>

### Totaal

	Min.	Max.	
direct	7	8	km <sup>2</sup>
indirect	32	62	km <sup>2</sup>

## Concentratie in de rand

### Kabel 581 km lengte

	Min.	Max.	
direct	1	1	km <sup>2</sup>
indirect	3	4	km <sup>2</sup>

### Lijn 59 km 150 kV circuit

	Min.	Max.	
direct	2	2	km <sup>2</sup>
indirect	1	4	km <sup>2</sup>

### Stations 27 MS-HS en 2 HS-EHS

	Min.	Max.	
direct	1	1	km <sup>2</sup>
indirect	20	23	km <sup>2</sup>

### Totaal

	Min.	Max.	
direct	3	3	km <sup>2</sup>
indirect	5	18	km <sup>2</sup>

## Spreiding

### Kabel 2592 km lengte

	Min.	Max.	
direct	5	5	km <sup>2</sup>
indirect	16	62	km <sup>2</sup>

### Lijn 131 km 150 kV circuit

	Min.	Max.	
direct	4	4	km <sup>2</sup>
indirect	3	9	km <sup>2</sup>

### Stations 54 MS-HS

	Min.	Max.	
direct	1	2	km <sup>2</sup>
indirect	36	42	km <sup>2</sup>

### Totaal

	Min.	Max.	
direct	10	11	km <sup>2</sup>
indirect	54	113	km <sup>2</sup>

# Ruimtelijke claim opslag



Buurtbatterij Liander

Naast extra elektriciteitsnetwerk is ook opslag nodig om het elektriciteitsnet te stabiliseren.

De range van de vier scenario's van het energiesysteem van de toekomst loopt voor systeembatterijen van 3 – 6 GW / van 0,02 – 0,04 TWh voor het Groene Hart (gebaseerd op 11% van de nationaal benodigde opslag).

Als we in het midden van deze range gaan zitten dan vraagt dit een **ruimtebeslag van 220 hectare** in het Groene Hart.

# Wat valt op?

## Ruimte

- De indirecte ruimte vraag is het grootst, het hangt van het object en het ontwerp af hoe deze indirecte ruimte kan worden gebruikt.
- Op dit moment is het grootste zonnepark “Vloevelden Hollandia” 65 ha groot. Wij rekenen in twee scenario’s met zonneparken van 100 ha – deze zijn voor de huidige maatstaven zeer groot.

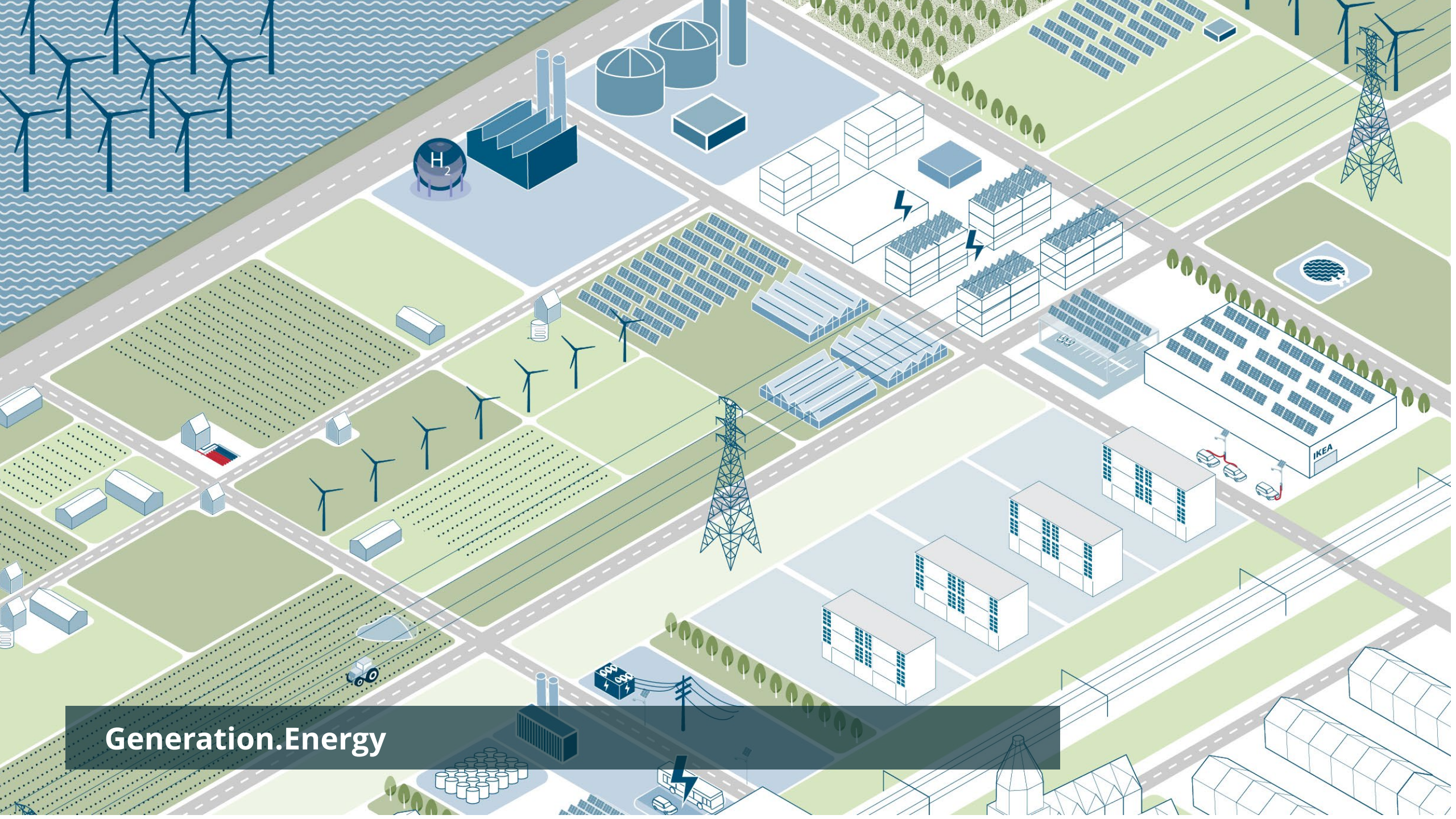
## Kosten

- De variant “Concentratie in het Rand” is de goedkoopste variant voor het netwerk

## Netwerk

- Er is een fijnmazig netwerk nodig bij variant “Spreiding”. Bij de varianten van concentratie komt een zwaarder netwerk.
- In de varianten concentratie zijn de hoogspanningslijnen (400 MVA per circuit) niet 50% redundant, deze circuits worden dus maximaal benut. Daarentegen zijn dezelfde lijnen in de “Spreiding variant” niet tot hun maximale capaciteit benut. Hier zou ook een circuit met een lagere MVA waarde gekozen kunnen worden.
- Mogelijk is een nieuwe 380 kV verbinding nodig die loopt van de Noordzee richting het Zuidoosten, om de elektriciteit die is geproduceerd in de Noordzee in het binnenland te kunnen gebruiken. Deze lijn heeft weinig relatie met het Groene Hart en zou dus in alle varianten terug kunnen komen.
- Cablepooling zorgt voor efficiëntere omgang met het netwerk.

## ➤ Grote opgave voor het Groene Hart



**Generation.Energy**

**Bijlage**

# Aannamen voor de inschatting van de kosten en de ruimte claim

- Kosten zonnepark:  
600 000 – 1 000 000 euro per Hectare investeringskosten  
<https://vlb.nl/zonneparken-hoge-opbrengsten-maar-ook-hoge-kosten-2/> (access: 19/07/22)
- Kosten windturbine: 4 – 7 mln. euro
  - Bijvoorbeeld 6 mln. voor een 5 MW windturbine.  
[https://www.daarkrijgjeenergievan.nl/veelgestelde\\_vragen/hoeveel-kost-het-om-een-windturbine-te-plaatsen/](https://www.daarkrijgjeenergievan.nl/veelgestelde_vragen/hoeveel-kost-het-om-een-windturbine-te-plaatsen/) (access: 19/07/22)
- De berekende kosten hebben uitsluitend betrekking op het nieuwe hoogspanningsnet. Netverzwaringen maken geen deel uit van de analyse en berekening.
- De kosten voor het netwerk zijn afkomstig uit het Basisdocument over energie-infrastructuur en zijn indicatief.
- Investeringskosten in elektriciteitsnetten worden verdeeld over iedereen met een aansluiting. Een deel van de aansluitkosten komt terecht bij de aanvrager, dit is niet meegenomen in de kengetallen afkomstig uit het Basisdocument over energie- infrastructuur.
  
- De verbindingen in de kaart tussen twee onderstations bestaan uit tenminste twee 2 circuits voor veiligheidsredenen (50% redundancy). Een circuit bestaat uit 3 fasesdraden.
- Voor 150 kV en 380 kV lijnen gaan we ervan uit dat ze boven de grond worden gebouwd. Het transport tussen de wind- en zonneprojecten en het 10/20/33-150kV station is een ondergrondse kabel.
- In de varianten concentratie zijn de hoogspanningslijnen (400 MVA per circuit) niet 50% redundant.

# Toelichting op de kaart

1. In de kaarten is gekozen voor zonneparken van 10ha of 100. Op dit moment is het grootste Nederlandse zonnepark “Vloevelden Hollandia” 65 ha groot.
2. Aannames voor de hoeveelheid onderstations:
  - Een zonneveld van 100 ha heeft een station van 100 MW capaciteit nodig.
  - 20 windturbines (met 5 MW elk) hebben in totaal een station van 100 MW capaciteit nodig. Deze 20 turbines hebben ongeveer een indirecte ruimteclaim van 7.2 km<sup>2</sup> ruimte nodig (20\*360.000m<sup>2</sup>).
  - Voor nieuwe stations hebben we in de meeste gevallen een station met 100-300 MW capaciteit gekozen. Dit is een MS-HS station, dus een 10/20/30 kV – 150 kV station.
  - Bij het plaatsen van de stations is het doel om de maximale capaciteit van een nieuwe station (300 MW) te vullen. Soms is dit met de ruimtelijke verdeling van de clusters niet mogelijk. Zo hebben we ook stations ingetekend die nog capaciteit hebben.
  - Voor de twee geconcentreerde varianten zijn er ook een paar HS-EHS stations ingetekend.
  - We weten niet hoeveel capaciteit van de huidige stations nog vrij is. Netverzwaringen maken geen deel uit van de analyse en berekening.
3. Uitgangspunten productie zon en wind:
  - 20 turbines met 5 MW leveren 1000 MW. Als we uitgaan van 3500 vollasturen per jaar, is dat 350 000 MWh = 350 GWh.
  - 1ha zonneveld met 1 MW en 1000 vollasturen per jaar levert 1000 MWh = 1 GWh.
  - We gaan uit van 5,5 TWh windenergie en 5,5 TWh zonne-energie.