

# Integraal energiesysteem van de KIVI Klankbordgroep Ingenieurs & Energietransitie



Auteurs: Teus van Eck & Jan Bekkers

Datum: 17-06-2021

Versie: definitief

## **Inhoudsopgave**

### **1 Inleiding**

### **2 Samenvatting en conclusies voor 2030/2050 inclusief aansluiting op rapport Energie 2050**

### **3 Het Nederlandse energieverbruik**

3.1 Het Nederlandse energieverbruik 2018

3.2 Groei energieverbruik

3.3 Besparingsopties binnen de 7 energieverbruiksposten

3.3.1 Elektriciteit

3.3.2 Transport binnenland

3.3.3 LT warmte (o.a. gebouwde omgeving)

3.3.4 HT warmte

3.3.5 Conversieverliezen

3.3.6 Grondstoffen

3.3.7 Internationale lucht en scheepvaart

3.4 Het Nederlandse energieverbruik 2030/2050

3.5 De bestaande infrastructuur voor elektriciteit, aardgas en waterstof

### **4 Aanbodopties CO2 emissiearme energie**

4.1 Opties en potenties

4.2 Centraal versus decentraal

4.3 Potentieel totaal aanbod van CO2 emissiearme opties

### **5 (On)balans vraag en aanbod energie, de statische/capaciteit beschikbaarheid.**

5.1 Algemeen

5.2 Vaststelling volume van de onbalans

5.2.1 Onbalans bij uitsluitend zon en wind

5.2.2 Verminderen onbalans door verhoogd aanbod van basislast CO2

5.3 Opslag van energie.

5.4 Gascentrales en CCS

5.5 Import/export van CO2 arme elektriciteit

5.6 Welke infrastructuur en waar is nodig?

### **6 (On)balans vraag en aanbod energie, de dynamische/stabiliteit beschikbaarheid.**

6.1 Frequentie vermogensregeling

6.2 Spanningshuishouding

6.3 De aardgas-, waterstof-, CO2- en warmtenetten

### **7 Ruimtebeslag**

### **8 Situatie 2030 versus 2050**

## 9 Marktwerking

### 10 Maatschappelijke aandachtspunten

---

#### 1 Inleiding

In deze notitie wordt een aanzet gegeven voor de bouwstenen van een mogelijke transitie van het Nederlandse energiesysteem van de concrete situatie 2018 naar een CO<sub>2</sub> arme situatie 2050 met als tussenstation 2030. Hierbij is o.a. gebruik gemaakt van het rapport *Energy 2050* van de KIVI-afdeling Elektrotechniek. De overige gebruikte rapporten zijn:

- "Bestemming Parijs: Wegwijzer voor Klimaatkeuzes 2030, 2050"
- Eindrapport Studiegroep Klimaatopgave Green Deal

Deze notitie beoogd tevens om de belangrijkste knelpunten te benoemen die een transitie naar een CO<sub>2</sub> arme 2050 in de weg staan.

Het is en blijft een brede en moeilijke materie waar nog hard aan moet worden gewerkt.

De intentie is: *"Hoe kunnen de KIVI-afdelingen elkaar versterken?"*

#### 2 Samenvatting en conclusies voor 2030/2050 inclusief aansluiting op rapport *Energy 2050*

Deze notitie geeft een aanzet voor de bouwstenen die nodig zijn om in Nederland te komen tot een CO<sub>2</sub> vrij energiesysteem.

Allereerst wordt in [3] een prognose gemaakt van het energieverbruik in 2050, gebaseerd op het huidige energieverbruik, de groei daarvan ten gevolge van economische groei en een inschatting van de besparingsmogelijkheden. Bijzondere uitdagingen zijn:

- De wijze waarop de huidige verwarming van woningen met gas wordt omgezet in een CO<sub>2</sub> arme methode van verwarmen en
- De beoogde besparing in de industrie.

Vervolgens wordt in [4] geïnventariseerd welke CO<sub>2</sub> arme energieopwekkingsopties er zijn en in welke mate zij kunnen bijdragen aan de energievoorziening in 2050. Tevens wordt daarin aangegeven in welke mate deze bronnen centraal dan wel decentraal kunnen worden ingezet.

Gezien de hoge inzet van zon en wind en de ten gevolge daarvan optredende structurele onbalans wordt in [5] ingegaan op mogelijkheden om deze problematiek het hoofd te bieden. Allereerst is daar de inzet van een nader vast te stellen hoeveelheid "constante" energiebronnen, vervolgens de inzet van diverse methodes van energieopslag.

In [6] komt de problematiek aan de orde van de dynamische stabiliteit, in het bijzonder frequentie- en spanningsstabiliteit en de wijzen waarop dit kan worden opgelost.

Vervolgens wordt in [7] het ruimtebeslag besproken van de in te zetten energieproductiemiddelen en de consequenties daarvan voor de beschikbare ruimte in Nederland.

Gezien het grote belang van een substantiële CO<sub>2</sub>-reductie al in de komende 10 jaar en de momentele politieke focus daarop wordt in [8] aandacht besteed aan de situatie in 2030, als tussenstap naar de CO<sub>2</sub> vrije situatie in 2050.

In [9] wordt kort aandacht besteed over de invloed van marktwerking en regulering op het voorliggende technische model.

Tenslotte wordt in [10] aandacht besteed aan de maatschappelijke, niet-technische aspecten, die een niet te verwaarlozen rol spelen in de beoogde energietransitie.

### 3 Het Nederlandse energieverbruik

#### 3.1 Het Nederlandse energieverbruik 2018

Conform EBN (www.energie in nederland.nl)

Tabel 1

Energieverbruik	In PJ	In Wh	In %
Verliezen energieconversie	729	204	19
Internationaal vervoer	<b>685</b>	<b>192</b>	<b>18</b>
Lage temperatuur warmte	581	163	15
Grondstoffen	565	158	14
Transport	482	134	13
Hoge temperatuur warmte	413	116	11
Elektriciteit	377	106	10
Totaal	3832	1073	100

**Opm. Inclusief internationaal vervoer**

Tabel 2

Energieverbruik ++	In PJ	In TWh	In %
Verliezen energieconversie	729	204	23
Lage temperatuur warmte	581	163	19
Grondstoffen	565	158	18
Transport	482	134	15
Hoge temperatuur warmte	413	116	13
Elektriciteit	377	106	12
Totaal	3147	881	100

**Opm. Exclusief internationaal vervoer**

Tabel 3

Energieverbruik --	In PJ	In TWh	In %
Lage temperatuur warmte	581	163	24
Grondstoffen	565	158	23
Transport	482	134	20
Hoge temperatuur warmte	413	116	17
Elektriciteit	377	106	16
Totaal	2418	677	100

**Opm. Exclusief internationaal vervoer en conversieverliezen**

#### 3.2 Groei energieverbruik

In het rapport *Energy 2050* is een autonome groei van het energieverbruik opgenomen van 1,5% per jaar. In werkelijkheid zijn er meer zaken van invloed zoals economische groei, bevolkingsgroei, aantal huishoudens, wet en regelgeving. Daarom is het van belang om de uitgangspunten strakker te definiëren.

#### 3.3 Besparingsopties binnen de 7 energieverbruiksposten

Voor energiebesparing/efficiëntieverbetering komt er geen aparte paragraaf. De intentie is dit uit te werken binnen de volgende 7 posten.

##### 3.3.1 Elektriciteit

Er zijn nog veel besparingen te realiseren maar omdat het product elektriciteit bijna overal bruikbaar is laten we het verbruik ongewijzigd. Wel komt er extra elektriciteitsverbruik voor nieuwe toepassingen en elektrificatie.

### 3.3.2 Transport binnenland

De verwachting is dat personenauto's allemaal elektrisch worden en dat zwaar transport met waterstof gaat rijden. Volgens deskundige Auke Hoekstra is dat zeer de vraag, hij verwacht dat ook trucks elektrisch gaan rijden. Het totale energieverbruik voor binnenlands transport is in 2018 158 TWh. Hiervan is ca. 79 TWh voor personenauto's. Er zijn momenteel ca. 8.000.000 auto's. Bij een veronderstelde 20.000 km/jr/auto en een verbruik van 6 km/kWh is er dan 27 TWh duurzame elektriciteit nodig. Dit betekent een energiebesparing van ca. 65%. Voor zwaar transport gaan we uit van dezelfde besparing, waardoor er ook voor dit deel 27 TWh duurzame elektriciteit via de groene waterstofweg nodig is. Let op: Dit is exclusief de energieverliezen in de waterstofketen.

### 3.3.3 LT warmte (o.a. gebouwde omgeving)

Hierop lijkt nog een grote energiebesparing mogelijk. Voorlopig wordt uitgegaan van een besparing van 50%. Dan wordt de totale vraag in 2050 exclusief mogelijk ook beperkte inzet van groene waterstof 290 PJ (81 TWh)

### 3.3.4 HT warmte (vooral industrie)

Uitgangspunt is dat er minimaal een besparing van 20% mogelijk is. Er resteert dan 330 PJ (93 TWh)

### 3.3.5 Conversieverliezen

Verliezen bij energieconversie: Deze worden nu vooral veroorzaakt door de productie van elektriciteit en warmte met fossiele brandstoffen + netverliezen. Wanneer we in 2050 alles duurzaam produceren dan zal deze post niet geheel vervallen, denk hierbij vooral aan de net en systeemverliezen. Ik ga ervan uit dat minstens 20 % = 40 TWh blijft bestaan. Hiervan 25 % = 10 TWh als LT-warmte en 75% = 30 TWh elektriciteit. De consequenties van inzet van groene waterstof komen verder op aan de orde.

### 3.3.6 Grondstoffen

De verwachting is dat fossiele brandstoffen als grondstof volledig vervangen zullen worden door biomassa, synthetische brandstoffen en groene waterstof. Dit moet nader worden uitgewerkt om o.a. vast te stellen hoeveel energie en in welke vorm er nodig is. Wordt voorlopig als PM post opgenomen.

### 3.3.7 Internationale lucht en scheepvaart

We moeten ons beseffen dat er een redelijke kans is dat na de Corona de oude hoge groeicijfers weer nagestreefd zullen worden. Het is niet onwaarschijnlijk dat de actuele energievraag minimaal op het huidige niveau blijft. Deze hoeveelheid moet waarschijnlijk worden ingevuld met synthetische kerosine of groene waterstof. Vaak wordt gesteld dat deze posten niet volledig aan Nederland mogen worden toegerekend maar ze moeten wel in Nederland beschikbaar zijn omdat ze hier worden gebunkerd.

## 3.4 Het Nederlandse energieverbruik 2030/2050

Met bovenstaande aannames resteert er dan in 2050 het volgende duurzame energieverbruik **exclusief de energieverliezen in de waterstofketen** van:

Tabel 4

Energieverbruik	In PJ	In TWh	In %
Verliezen energieconversie	142	40	11
Lage temperatuur warmte	290	81	22
Grondstoffen	PM	PM	
Transport	193	54	14
Hoge temperatuur warmte	330	93	25
Elektriciteit	377	106	28
Totaal	1332	374	100

De omzettingsverliezen in de gehele keten vanwege waterstoftoepassing zal meer dan een verdubbeling geven.

Wanneer we de tabel 4 volledig met zon doen met een jaarproductie van 300 kWh per paneel van 1,65 m<sup>2</sup> dan vraagt dit een oppervlakte van ca. 20.000 km<sup>2</sup>.

Wanneer we dit volledig doen met wind op zee dan zijn hiervoor nodig ca. 8300 windmolens van 10 MW met een bedrijfstijd van 4500 uur.

*Wat in deze opsomming ontbreekt is:*

*Welke ontwikkelingen achter de meter bij afnemers (industrie, gebouwde omgeving, land en tuinbouw...) qua vraag en eigen opwek energie zijn te verwachten. Dit heeft een zeer hoge prioriteit.*

### 3.5 De bestaande infrastructuur voor elektriciteit, aardgas, CO<sub>2</sub>, warmte en waterstof

Nog verder uitwerken

## 4 Aanbodopties CO<sub>2</sub> emissiearme energie

4.1 Opties en potenties N.B. Criteria voor bepaling wel/niet CO<sub>2</sub> arm nog vaststellen. Welke opties ontbreken nog?

1. **Zon.** Dit zowel PV als thermisch. Een paneel van 1,65 m<sup>2</sup> produceert ca. 300 kWh/jr en vraagt een investering van ca. 400 Euro/paneel. Bedrijfstijd ca. 1000 uren/jr. Op daken of op water/land. Zon T met zonneboiler of PVT. Zie ook gebouwde omgeving.
2. **Wind op land.** Lijkt het van wind op zee te gaan verliezen met name door slechtere bedrijfstijd (PDC, power duration curve), kostbare vergunningsprocedures en gebrek aan maatschappelijk draagvlak.
3. **Wind op zee.** Lijkt de grootste potentie te hebben. Standaard 10 MW? bedrijfstijd 4500 uren. Ruimtebeslag, infrastructuur, ruimte op zee, combineren met H<sub>2</sub>, E-verbinding naar het E-net of H<sub>2</sub> per pijp.
4. **Warmtepompen.** Warmtebronnen kunnen zijn grondwater, lucht, oppervlaktewater, rioolwater, zon T. Hoogste prestaties bij beperkt temperatuurverschil tussen bron en afgiftesysteem. COP van 4 lijkt haalbaar, maar is sterk afhankelijk van aandeel warm tapwater. De hoogste elektriciteitsvraag in de winter terwijl aanbod dan juist klein is. Beperk deze piek maximaal. Groene waterstof is mogelijk een alternatief voor oude moeilijk te isoleren gebouwen. Let op energieverlies in de waterstofketen. Voorlopig wordt uitgegaan van 50% besparing in 2050.
5. **Warmtenetten** met duurzame warmtebronnen, zie ook warmtepompen punt 4. Grootste volume bij bestaande netten is "Restwarmte" uit centrales met fossiele brandstoffen en afvalverbranders. Hier willen we vanaf. Wat blijft er dan over voor structurele duurzame warmte? Dit zijn de zon (zonneboilers, PVT, elektriciteit), echte restwarmte bijv. van datacentra en in de groene waterstofketen, geothermie, thermische energie uit oppervlaktewater (TEO), uit afvalwater (TEA), uit drinkwater ((TED), warmte/koude opslag (WKO), (ventilatie)lucht. Veel in combinatie met warmtepompen. Denk ook aan combinaties met opslag van warmte. Geothermie lijkt de grootste potentie te hebben. Groot probleem voor veel van deze projecten zijn hoge aanloopinvesteringen, hoe "Verplichten" we deelname, technische risico's.

6. **Kerncentrales.** Deze kunnen een rol spelen voor basisbelasting van het net omdat we geen continue levering van andere duurzame opties hebben. Er worden zwart/wit discussies gevoerd door voor en tegenstanders. Breng de feiten bij elkaar en neem Thorium daarin mee. Onderschat niet de maatschappelijke weerstand en overschat de invloed niet. Een kerncentrale van 1000 MW levert per jaar met een bedrijfstijd van 7000 uren 7 TWh/jr. en dat is minder dan 2% van de totale energievraag. Let daarbij ook op de recente ontwikkelingen in de Verenigde Staten, waar het bedrijf Terrapower, gesponsord door Bill Gates, onder meer werkt aan een “Travelling Wave Reactor” (TWR). Hun ambitie is hoog: “the commercialization of the TWR technology is expected to be operational in the mid-2020s, 10-20 years earlier than projections for other Generation IV technologies” (www.Terrapower.com)
  
7. **Biomassa.** Grootschalige verbranding van biomassa lijkt structureel geen echte oplossing te zijn. Waarschijnlijk zal het zich gaan beperken tot enkele lokale reststromen van afvalhout, slib etc. Gaan we dit bijstoken of verbranden voor WKK/warmte of vergisten of synthetisch of.... Hoe definiëren we CO<sub>2</sub> arme biomassa? Het gehele beleid t.a.v. biomassa staat momenteel ter discussie. Mogelijk is dat al onvoldoende voor de in aanbouw en in gebruik zijnde installaties. De vraag is dan hoe we de beschikbare biomassa zo zinvol mogelijk kunnen benutten. Primair is de voedselvoorziening. Daarna komen de biomassastromen die als grondstoffen kunnen worden ingezet. In dit onderzoek wordt ervan uitgegaan dat het totale actuele verbruik aan fossiele brandstoffen voor grondstoffen van 158 TWh vervangen wordt door CO<sub>2</sub> arme biomassa. Wat daarna nog overblijft is mogelijk geschikt voor vergisting en vergassing. Wanneer we bijv. vleesconsumptie stoppen dan komt er gigantisch veel extra biomassa beschikbaar. Hoe wordt het mogelijk gecombineerd met synthetische oplossingen en groene waterstof? Het wordt een stevige klus om dit verder uit te werken.
  
8. **Groene waterstof.** Omdat er een enorme onbalans is tussen energie uit zon en wind en de vraag naar energie (maak dit visueel) is er opslag en vraagsturing nodig. De mogelijkheden hiervoor lijken voorlopig beperkt. Daarom lijkt Groene waterstof voorlopig de enige grootschalige optie voor balancerings. Er moet echter nog heel veel gebeuren om dit operationeel en financieel rond te krijgen. Het boek “Een objectieve kijk op waterstof” van Jeroen Horlings lijkt een realistisch beeld te geven van de praktische stand van zaken. De belangrijkste aandachtspunten zijn: 1) Als duurzame elektriciteit beschikbaar komt dan heeft direct gebruik als elektriciteit de voorkeur, 2) De productie en verbruik van groene waterstof geeft geen energieverlies van 15% zoals een aantal deskundigen beweren maar veel meer. De gehele keten bestaat namelijk uit productie groene elektriciteit, omzetting naar groene waterstof, het op de juiste temperatuur en druk brengen, het transport naar de gebruiker en de omzetting via een brandstofcel of STEG installatie. Het lijkt erop dat dit totaal een energieverlies van meer dan 60% geeft. Bovendien is de bedrijfstijd slecht en is er grootschalige opslag nodig. Bovendien kost het veel meer wind en zonenergie waardoor het ruimtebeslag nog groter wordt. Grootschalige import van groene waterstof met zijn eigen wereldmarktprijs lijkt dan ook onvermijdelijk. Ook moeten er nog veel technische problemen worden opgelost. Een aparte discussie is in hoeverre grijze en blauwe waterstof toekomstperspectief hebben. In Nederland wordt veel grijze waterstof gemaakt waardoor we veel ervaring hebben met waterstof. Het is echter absoluut geen CO<sub>2</sub> arme optie. Blauwe waterstof kan mogelijk wel toekomst hebben in combinatie met CCS, zie volgend punt. Heeft turquoise waterstof toekomst?
  
9. **CCS,** de opslag van CO<sub>2</sub>. N.B. CO<sub>2</sub> kan ook worden omgezet in methaan/methanol. Deze omzetting kost wel veel energie. Is dit een reële optie? CCS kan ook ingezet worden in combinatie met bijvoorbeeld gascentrales, om de onbalans ten gevolge van “dunkelflaute” het hoofd te bieden. CCS kan in combinatie met diverse andere opties worden toegepast.
  
10. **Andere bronnen.** Getijdenenergie, stromend water, golfenergie, elektriciteit uit overgang zout /zoet water ect. Voorlopig lijkt een aandeel van enkele procenten van totaal gebruik haalbaar.

#### 4.2 Centraal versus decentraal

Voor en nadelen, relatie met de netten en de afnemers. Systeemoptimalisatie.

### 4.3 Potentieel totaal aanbod van CO2 arme opties

In het rapport *Energy 2050* van KIVI Elektrotechniek wordt uitgegaan van:

- 60 GW/ 269 TWh wind op zee
- 6 GW/ 14 TWh wind op land
- 77 GW/ 71 TWh PV
- 60 TWh: diversen duurzaam en import.

Deze uitgangspunten zijn alleen op elektriciteit gebaseerd en sluiten veel andere zaken uit. Deze moeten worden aangevuld en onderbouwd.

## 5 (On)balans vraag en aanbod energie, de statische/capaciteit beschikbaarheid.

### 5.1 Algemeen

Dit is waarschijnlijk het grootste probleem in de energietransitie. Welke partijen zijn in staat om deze problematiek volledig in kaart te brengen en hoe brengen we die bij elkaar? Als we kernenergie afwijzen, import niet mogelijk is en nieuwe alternatieve duurzame elektriciteit marginaal blijft, dan zijn er periodes in het jaar dat er nauwelijks of geen duurzame elektriciteit wordt geproduceerd. We moeten dan wel naar een systeem met duurzame waterstof tenzij we dit kunnen ondervangen met opslag en afschakelbare contracten. Een groot deel van de energievraag zal dan direct of indirect via opslag uit de groene waterstofketen komen. Beseffen we wel wat dit technisch/energetisch en financieel betekent? Door de verliezen in deze keten zal de vraag naar zon en wind sterk toenemen inclusief ruimtebeslag.

### 5.2 Vaststelling volume van de onbalans

5.2.1 Onbalans bij uitsluitend zon en wind

5.2.2 Verminderen onbalans door verhoogd aanbod van basislast CO2 vrije energie

### 5.3 Opslag van energie

Vanwege de grote onbalans tussen vraag en aanbod, zowel voor elektriciteit als warmte, is er grote behoefte aan opslag voor warmte en elektriciteit. Zowel voor de korte als lange termijn zijn er opslagopties voor warmte en elektriciteit (in ontwikkeling).

- Korte termijn warmte: Boilers, buffervaten, ...
- Lange termijn warmte: Ondergrondse opslag, in lucht en water, faseverandering....
- Korte termijn elektriciteit: Accu's/batterijen, ...
- Lange termijn elektriciteit: Pompaccumulatie, zowel met water als perslucht.

Een specifieke opslagrol via "Opslag van brandstof" hebben:

- Fossiele brandstoffen.
- Waterstof
- Biomassa
- ...

### 5.4 Gascentrales en CCS

In combinatie met CCS kunnen gascentrales worden ingezet om de onbalans bij dunkelflaute te compenseren. Gezien het aantal draaiuren is dit waarschijnlijk een zeer dure oplossing. Deze units kunnen dan ook worden gebruikt in het kader van FV-regeling en spanningshuishouding. (Zie hoofdstuk 6)

### 5.5 Import/export van CO2 arme elektriciteit

Structureel lijken er weinig mogelijkheden voor import en zeker niet voor export. De omringende landen zijn qua beschikbaarheid van duurzame energie redelijk vergelijkbaar m.u.v. de zeer flexibele Noorse waterkracht. Uitwisseling op zich zal vanwege de onderlinge koppelingen wel veelvuldig plaats vinden. De enige



uitzondering wordt mogelijk de grootschalige productie van groene waterstof op plaatsen waar volop wind en zon beschikbaar zijn. Het wordt dan de vervanger van aardgas. De vraag is of we wel zo sterk afhankelijk willen worden inclusief technische kwetsbaarheid. Wel biedt dit Nederland grote kansen om zijn "gas" positie te behouden/uit te breiden.

## 5.6 Welke infrastructuur en waar is nodig?

De grote energievraag en de onbalans tussen vraag en aanbod heeft ook grote consequenties voor de gas/waterstof en elektriciteitsnetten. Dit betreft o.a.:

1. Optimalisatie/verdeling over direct elektriciteit, direct waterstof, waterstof via opslag, elektriciteit en warmte via opslag en warmtenetten. Dit betreft een energetische/financiële optimalisatie met veel technische randvoorwaarden.
2. Hoe kunnen we bestaande netten maximaal benutten?
3. Keuze tussen opslag, lokale/nationale/Noordzee/verder weg productie van groene waterstof.
4. Het gaat niet alleen om capaciteiten maar ook om flows en netstabiliteit/spanningshuishouding/frequentie. Zie verder paragraaf 6 Gezien de nu al optredende problemen met een nog klein deel duurzame energie zal er heel veel opgelost moeten worden. Voor de uitwerking is een strakke regie nodig, maar je moet het ook niet kapot regelen. Breng belangen en kennis bij elkaar. Het lijkt logisch dat de netbedrijven hierin een belangrijke rol gaan vervullen. Wie heeft de regierol? Het wordt een totaalafweging van lokaal/regionaal/internationaal, zowel voor elektriciteit als groene waterstof, elektriciteit en/of groene waterstof, import groene waterstof, inpassing opslag, regelbaarheid bij afnemers, ...

## 6 (On)balans vraag en aanbod energie, de dynamische/stabiliteit beschikbaarheid

In een elektriciteit systeem zijn frequentieregeling en spanningshuishouding belangrijke regelmechanismen, die de dynamische stabiliteit van het systeem bepalen. Welke eisen moeten daarvoor worden gesteld aan de items in de voorgaande paragraaf?

### 6.1 Frequentie/vermogensregeling

Frequentieregeling, in feite vermogensregeling gebeurt momenteel in eerste instantie door de aanwezige inertia in het systeem, de roterende massa's van de generator/turbine combinaties. Een onbalans in vraag en aanbod manifesteert zich direct in een frequentieverandering, doordat dit verschil wordt gecorrigeerd via de kinetische energie van die roterende massa's. Dit is de automatische frequentie/ vermogens (FV) regeling. Via een regelsysteem wordt vervolgens het vermogen gecorrigeerd en daarmee de frequentie. Dit heet de primaire FV-regeling. Voorwaarde is daarbij ook dat de opwekunits altijd een reserve hebben om te kunnen opregelen. (is in het huidige systeem voorgeschreven)

In een energieopweksysteem dat vooral bestaat uit zon en wind, ontbreekt de roterende massa en daarmee de mogelijkheid tot automatische FV-regeling. Een windmolen kent weliswaar roterende massa, maar is via vermogens elektronica "ontkoppeld" van het net.

Er dient dus een oplossing te komen voor een automatische FV-regeling. DE sleutel ligt hier ongetwijfeld bij de vermogens elektronica. Let ook hier op het fenomeen dat voldoende reserve aanwezig is om extra vermogen te leveren, hetgeen betekent dat niet alles op maximaal vermogen gedraaid kan worden.

### 6.2 Spanningshuishouding.

Electrische verbruikers consumeren naast "echt" vermogen ook zogenaamd blindvermogen. Dit is het gevolg van de combinatie van capacatieve en inductieve belastingen, die in vrijwel alle apparatuur aanwezig is. Dit leidt tot een verschuiving in fase tussen spanning en stroom en daarmee tot blindvermogen. Dit blindvermogen wordt in het huidige systeem overwegend opgewekt door dezelfde synchrone generatoren die het "echte" vermogen opwekken, door de zogenaamde spanningsregeling.

In een energieopweksysteem dat vooral bestaat uit zon en wind, ontbreken de synchrone generatoren en daarmee de mogelijkheid tot automatische blindvermogenshuishouding. Ook hier kan vermogens elektronica uitkomst bieden.

### 6.3 De aardgas-, waterstof-, CO<sub>2</sub>- en warmtenetten

Vaststellen specifieke eisen/problemen en onderlinge beïnvloeding/relatie

## 7 Ruimtebeslag

Voor 1 TWh is een oppervlakte van 55 km<sup>2</sup> aan zon PV nodig. (1 paneel van 1,65m<sup>2</sup> levert gemiddeld 300 kWh/jr.) of 22 windmolens op zee van 10 MW en bedrijfstijd van 4500 uren/jr. Zeker als er veel gebruik wordt gemaakt van de groene waterstof optie is er een gigantisch oppervlakte nodig voor de energievoorziening. Dus toch grootschalige import groene waterstof? Voor het ruimtebeslag moet ook nog rekening worden gehouden met de benodigde netten, opslag van elektriciteit, warmte en waterstof, elektrolyzers, ect. Hiervoor een aparte "RES" opstarten

## 8 Situatie 2030 versus 2050

De EU heeft overeenstemming bereikt over verhoging van het 2030-tussendoel, van tenminste 40% reductie van broeikasgassen ten opzichte van 1990 naar netto tenminste 55%. Deze ophoging zal ook leiden tot een aanvullende reductieopgave in Nederland.

De inspanningen voor de komende negen jaar bepalen in hoge mate de kans op succes in 2050.

In de politieke discussie in Nederland speelt 2030 dan ook een belangrijke rol. Een serieus plan voor 2050 dient daarom ook aan te geven welke tussenmijlpaal er in 2030 wordt bereikt.

## 9 Marktwerking

Op dit moment lijkt het uitgangspunt gehanteerd te worden dat "eerst de techniek duidelijk moet worden en dat vervolgens de bijbehorende marktwerking geregeld moet worden". Het is de vraag of dit juist is. De mate waarin je de markt zijn werk laat doen of juist strak reguleert, kan een behoorlijke invloed hebben op ook de technische ontwikkelingen en het uiteindelijke model. Vraagsturing.

Politiek is er met name voor huishoudens een grote voorkeur voor bescherming tegen te grote prijsvariaties en daarmee sterk gereguleerde prijzen, maar met contracten voor (grote) afnemers kan hier sterke beïnvloeding plaatsvinden.

Aandacht dus voor de marktinrichting.

## 10 Maatschappelijke aandachtspunten

De paragrafen 1 t/m 9 zijn vooral technisch. Daarnaast zijn er maatschappelijke vraagstukken die niet vergeten moeten worden. Dit betreft vooral:

1. CO<sub>2</sub>-emissie en gebruik/beschikbaarheid materialen gedurende de hele levenscyclus van de diverse opties.
2. Alle energievraag komt uiteindelijk van de mens. Als wij een duurzame levenswijze hebben dan gaat de energievraag drastisch omlaag en is het probleem voor een belangrijk deel opgelost.
3. Betaalbaarheid voor individuen en ook behoud concurrentiepositie.
4. Solidariteit. Nationaal en internationaal. Het argument dat wij in Nederland er in volume CO<sub>2</sub> niet of nauwelijks toedoen wordt vaak gehoord. Het argument hier is dat wij al op een hoog energieniveau zitten en dat we dat aan anderen niet willen onthouden. Wel willen we een voorbeeld geven dat dat niveau CO<sub>2</sub> vrij gerealiseerd kan worden.
5. Nemen we het klimaatprobleem serieus?
6. De politiek; regionaal, nationaal en internationaal. Hieronder vallen ook subsidies, belastingen, convenanten etc.
7. Creëren draagvlak voor lokale energieprojecten (bijv. NIMBY-gedrag) Benoem ook maatschappelijk draagvlak/ burgerparticipatie/ omgevingsmanagement als maatschappelijk aandachtspunt met link naar sociale innovaties (bijv. participatieladders, energiecoöperaties, gedragscodes)

In hoeverre de volledige verduurzaming succesvol wordt hangt bijna volledig af van de wensen en het gedrag van de individuele mens. Er circuleert in Nederland een Duurzame Bucketlijst van 8 items welke daarvoor echt bepalend zijn:

1. Duurzaam consumeren
2. Duurzaam energiegebruik
3. Verantwoord omgaan met de natuur
4. Duurzaam produceren/werken.
5. Duurzaam investeren
6. Geen afval. De circulaire economie
7. Vervoer beperken en verduurzamen.
8. Inspireer elkaar

**Verduurzaming is geen ellende maar een geweldige uitdaging.**

### **Bijlagen: Informatie per onderdeel van het energiesysteem.**

Voor alle genoemde opties voor opwek en opslag dienen, waar mogelijk, de volgende gegevens beschikbaar te komen: Investering en beheerkosten, risico's, milieuprestaties/kosten, flexibiliteit/regelbaarheid, beschikbaarheid, ruimtebeslag, mogelijkheden/beperkingen voor aansluiting en functioneren op/in de elektriciteit en/of groene waterstofnetten, wel/niet mogelijk in een vrije markt, betaalbaarheid, maatschappelijk draagvlak.....

Hier ook aan toevoegen de relevante literatuur.