



Slimme
Energiemanagementsystemen
voor Bus- en Truckbedrijven

Met steun van



Flexibiliteit in elektrische energiesystemen

Infovergadering | 30 januari 2025



Elektrische energienetten

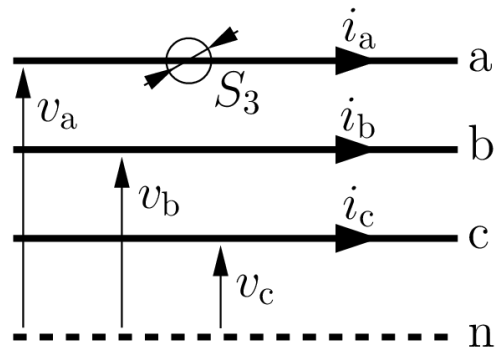
Driefasige wisselspanning



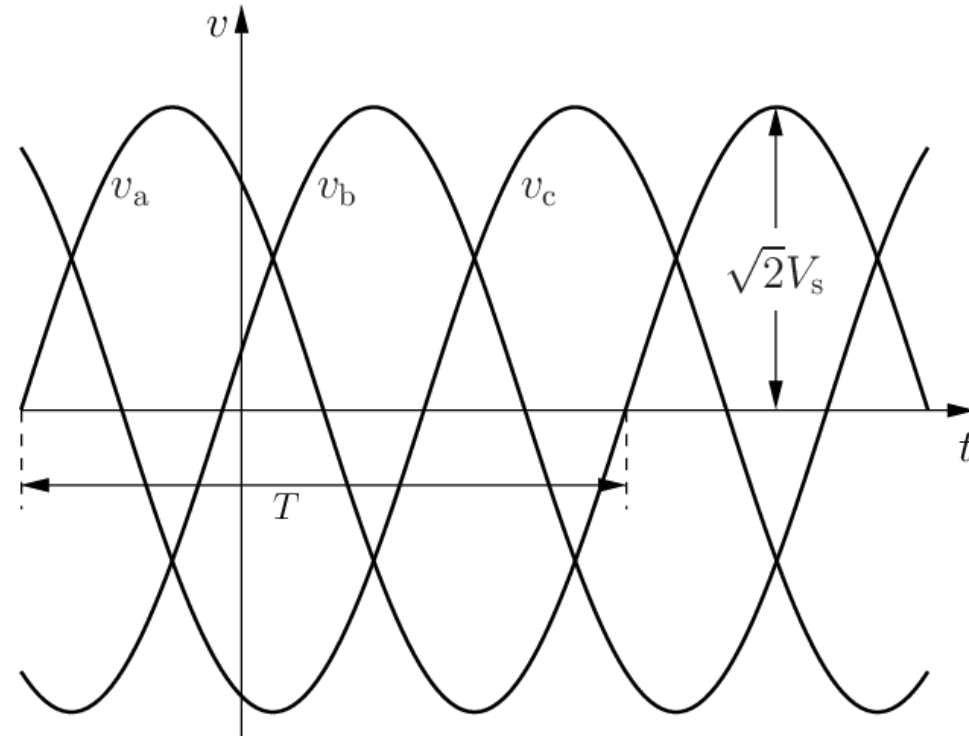
Elektrische energienetten



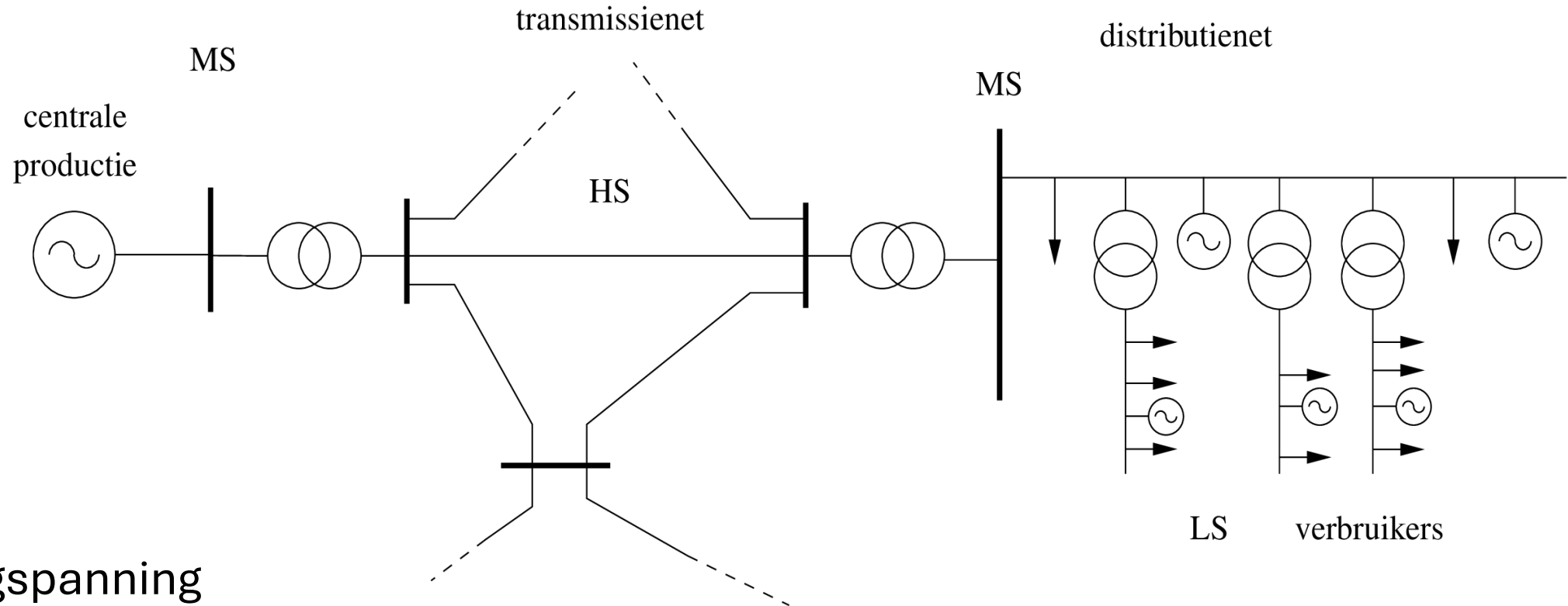
- Driefasige wisselstroom / wisselspanning



frequentie $f = \frac{1}{T}$
 $f = 50\text{Hz}$

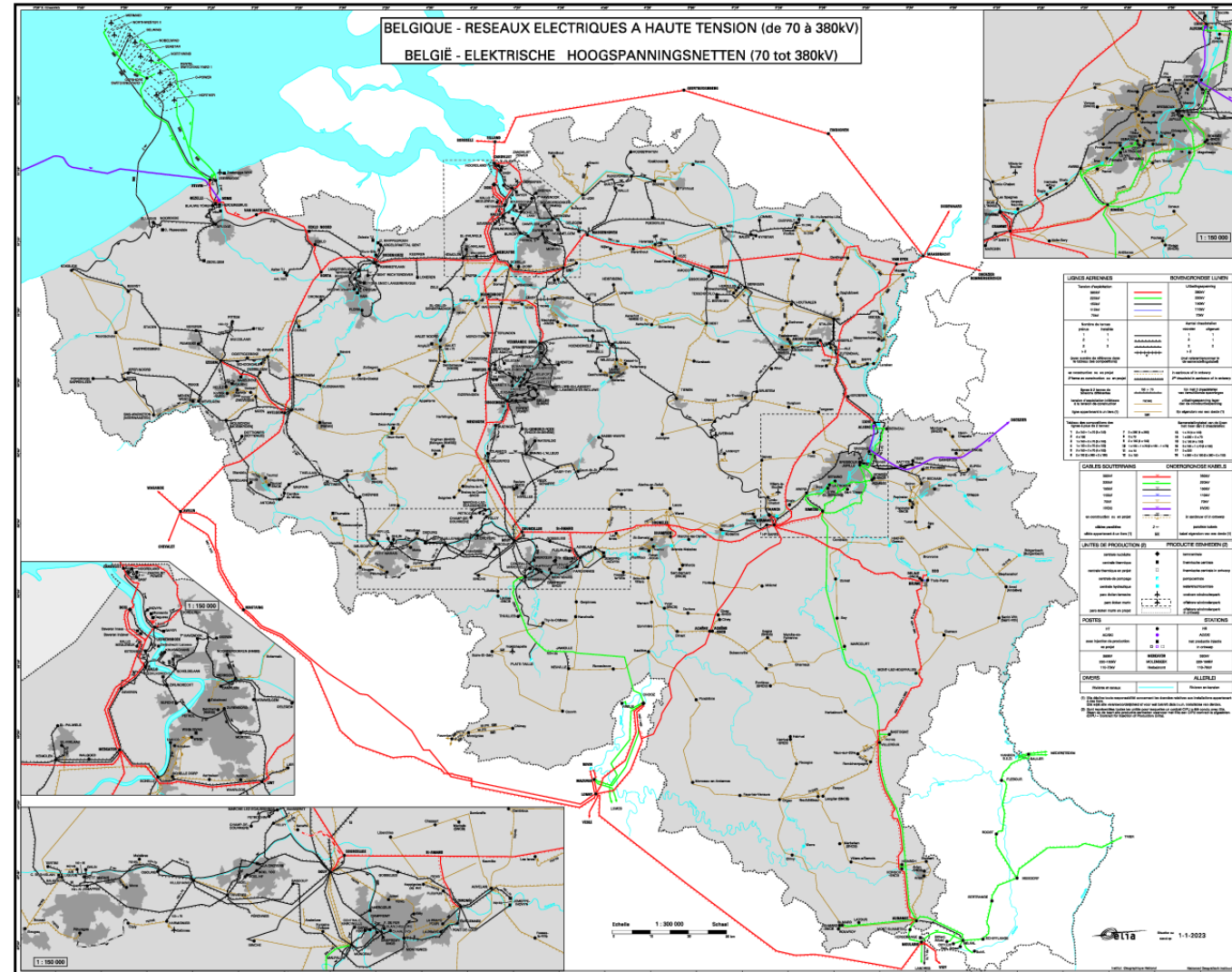


Transmissie- en distributienetten



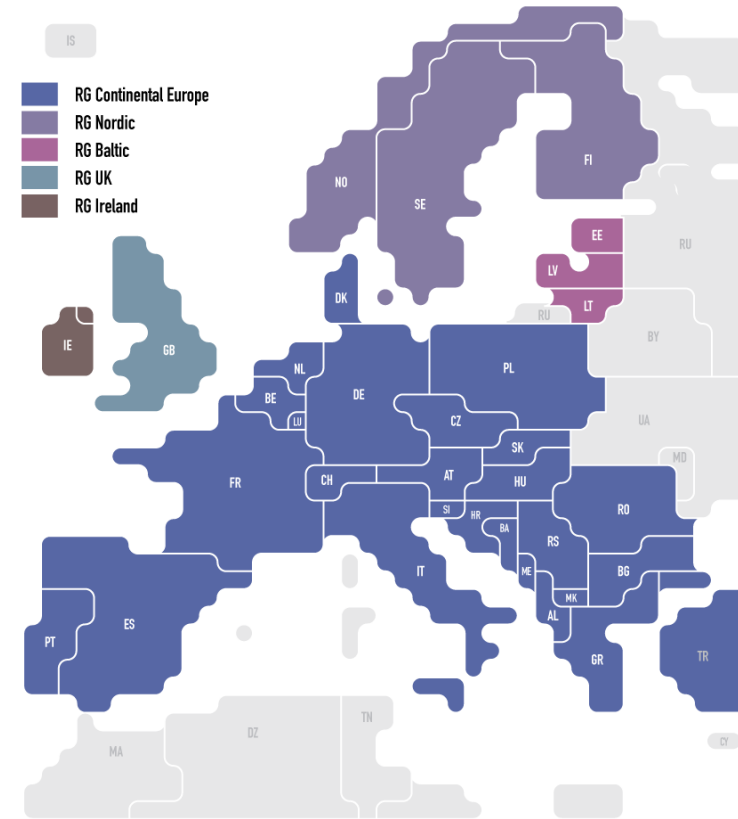
HS: hoogspanning
MS: middenspanning
LS: laagspanning

Het Belgische hoogspanningsnet

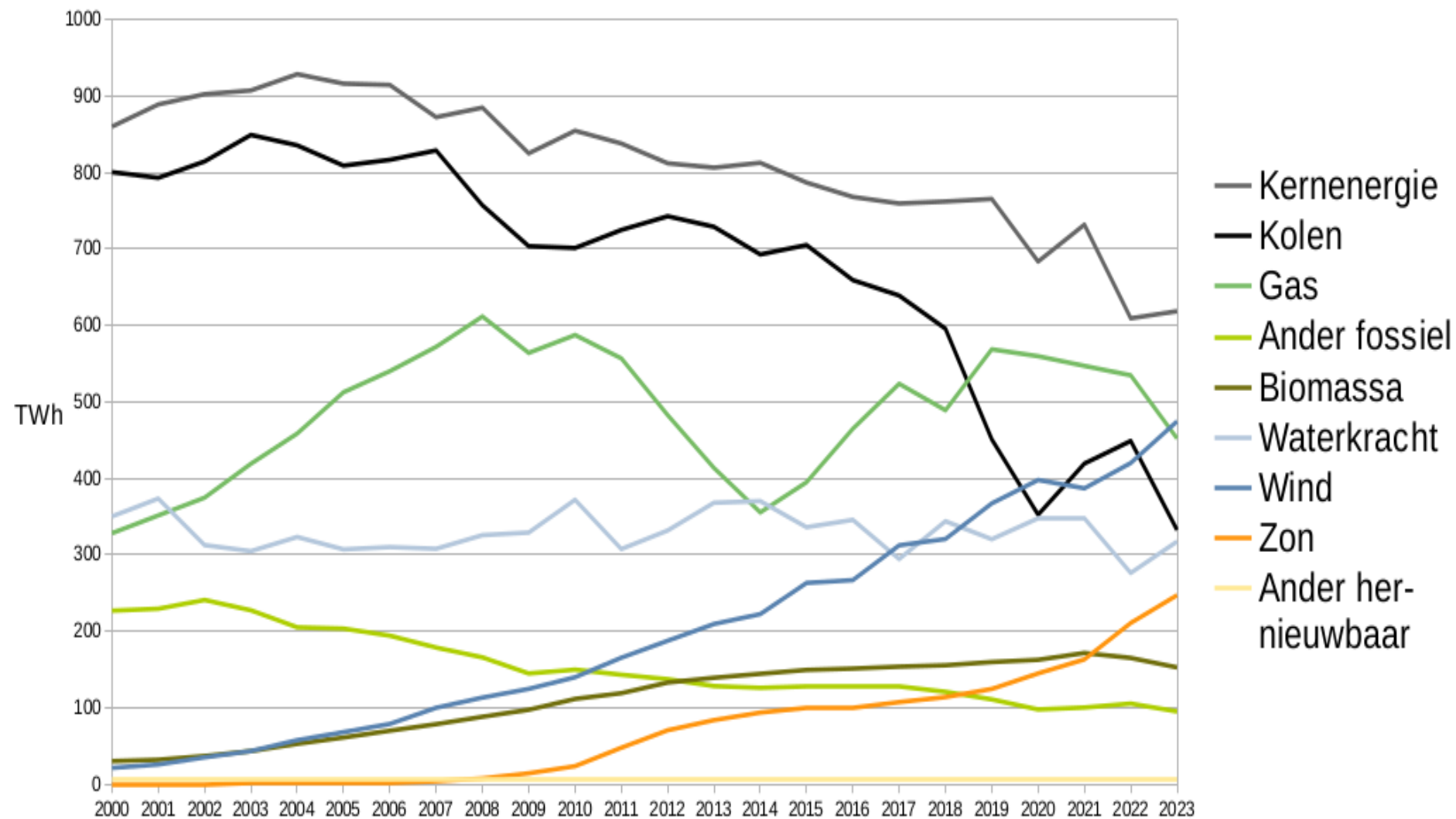


Europees netwerk

- European Network of Transmission System Operators for Electricity (ENTSO-E)
- Regional Groups (landen rechtstreeks met elkaar verbonden via wisselstroomlijnen)



Elektriciteitsproductie in de EU





Evenwicht



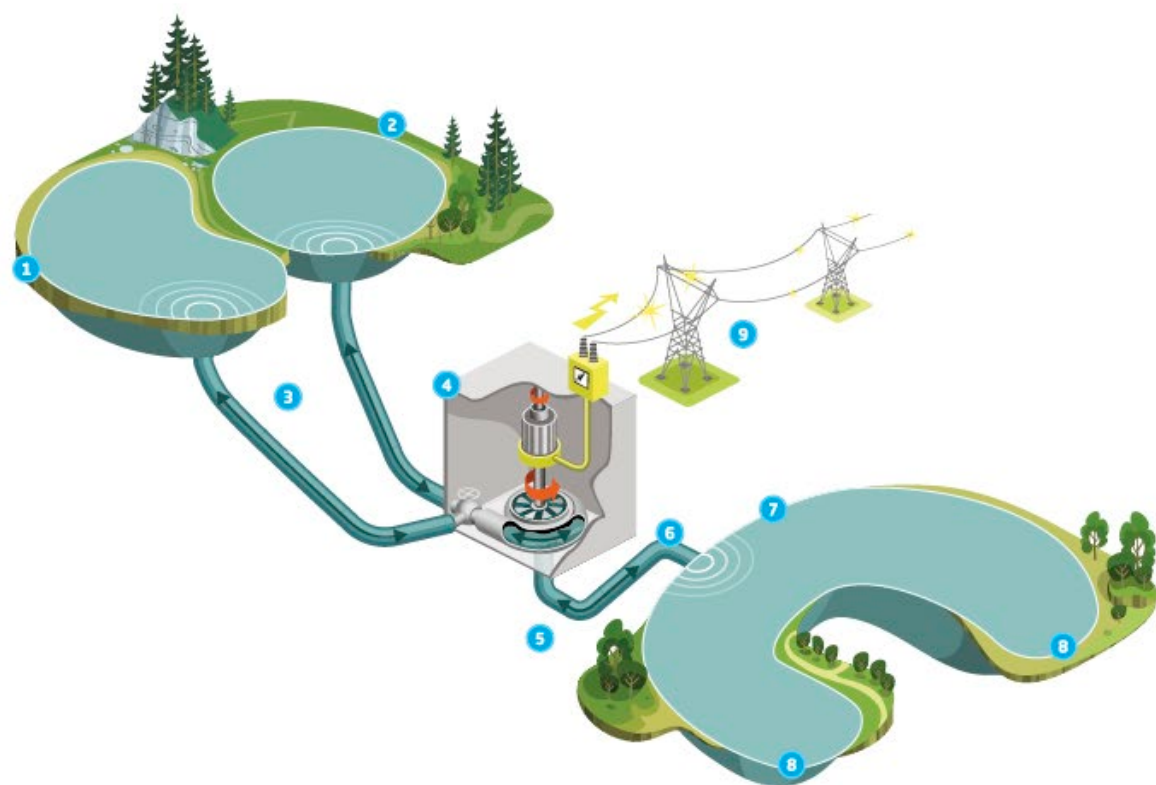
Evenwicht

- Te verwaarlozen elektrische energie-opslag in het elektrisch net
- **Productie** aan elektrische energie is **op ieder ogenblik gelijk aan** het **verbruik** aan elektrische energie en de **energieverliezen** in het net
- Op ieder ogenblik: **productie = verbruik**
- Vermogen: energie per tijdseenheid: Watt (W, kW, MW)
- Energie: Joule (J) – kWh – MWh

Energie-opslag



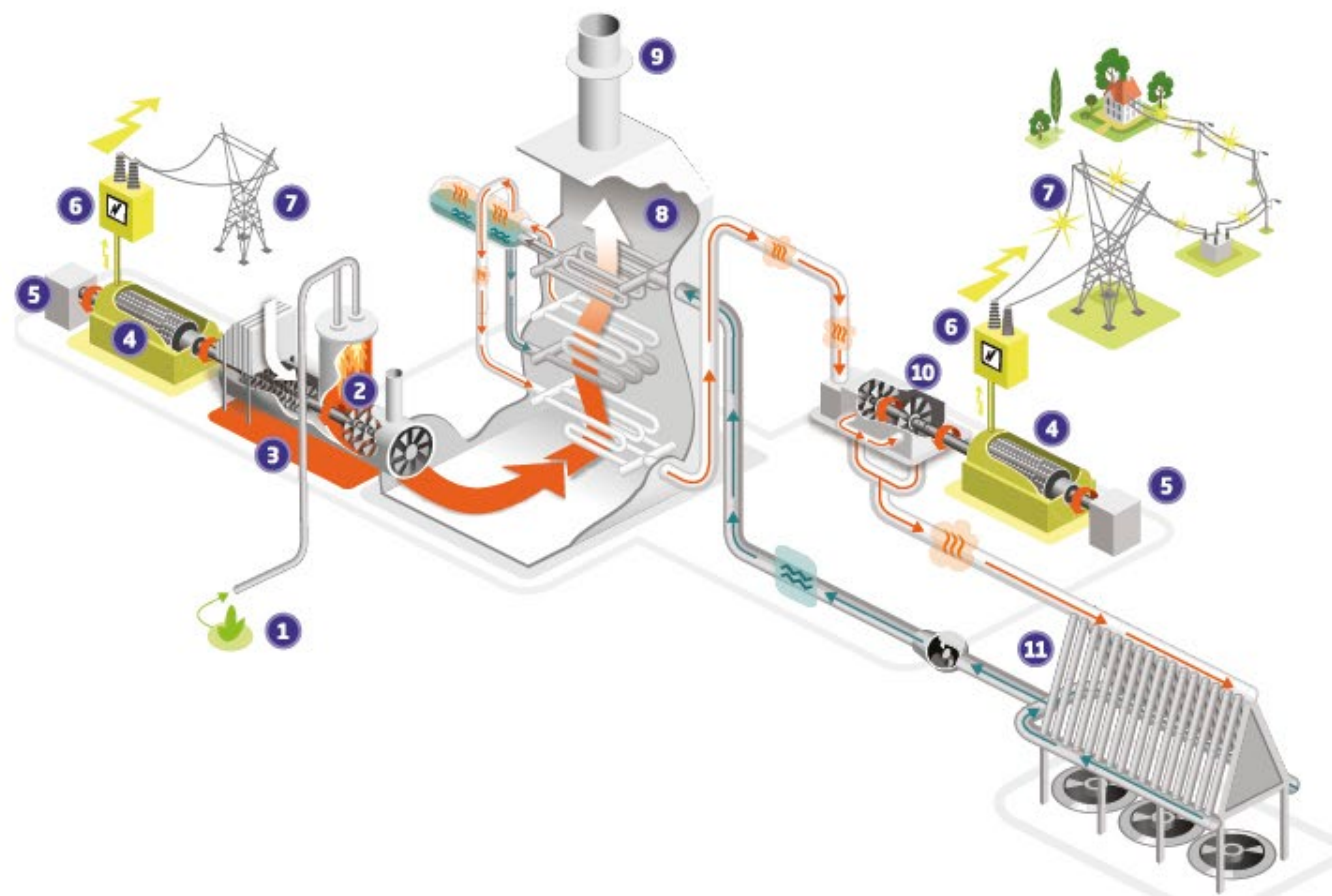
- 1 Bovenbekken
- 2 Bovenbekken
- 3 Drukleidingen
- 4 Machinezaal
- 5 Verbinding met het benedenbekken
- 6 Onderste watervang
- 7 Benedenbekken
- 8 Benedendam
- 9 Hoogspanningslijnen



“Klassieke” energieproductie | Gascentrale

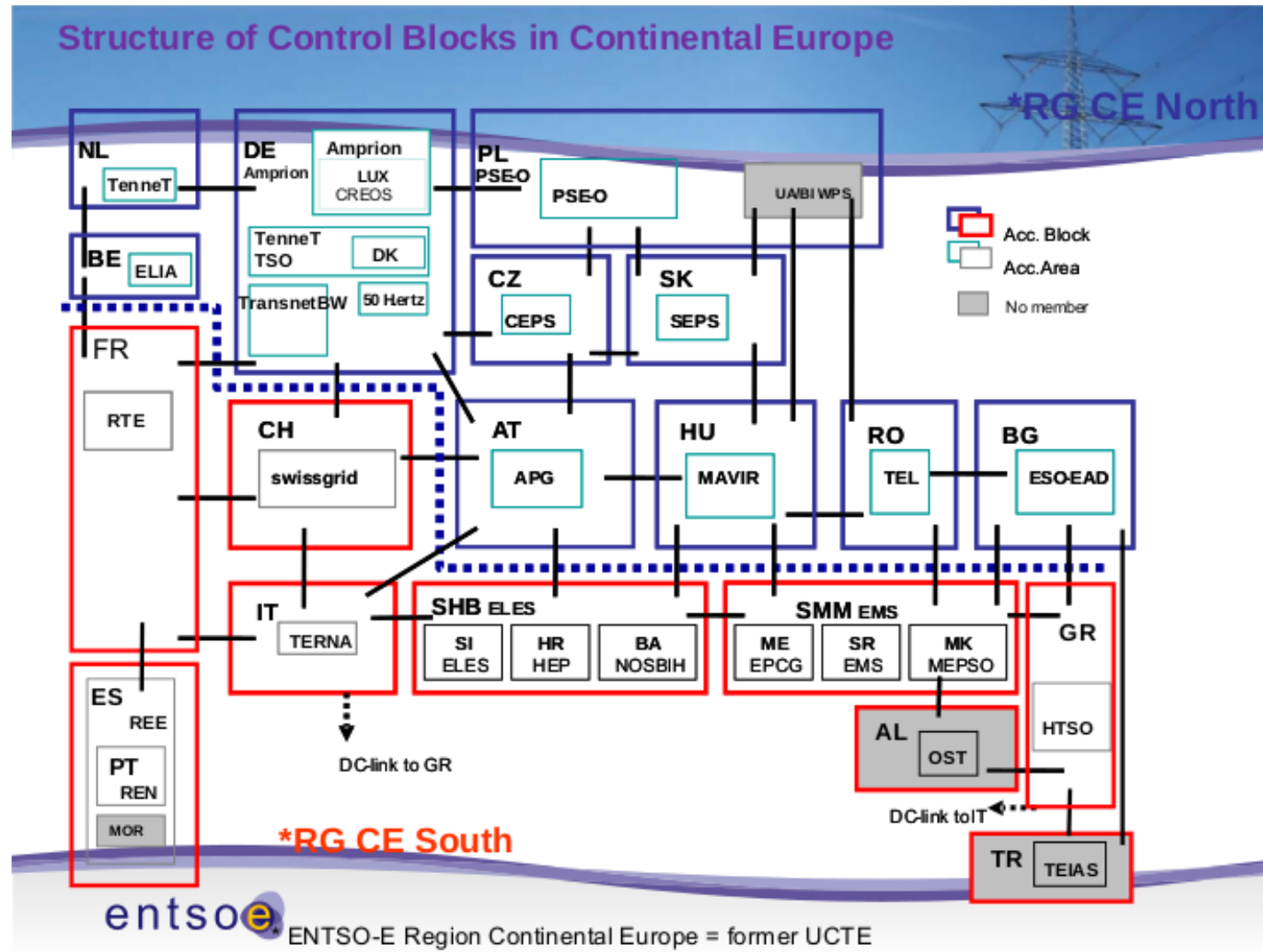


- 1 Brandstof (aardgas)
- 2 Verbrandingskamer
- 3 Gasturbine
- 4 Alternator
- 5 Bekrachtiger
- 6 Transformator
- 7 Hoogspanningslijnen
- 8 Recuperatiestoomketel
- 9 Schoorsteen
- 10 Stoomturbine
- 11 Luchtcondensor



Bron: ENGIE

Regelzones | transmissienetbeheerders

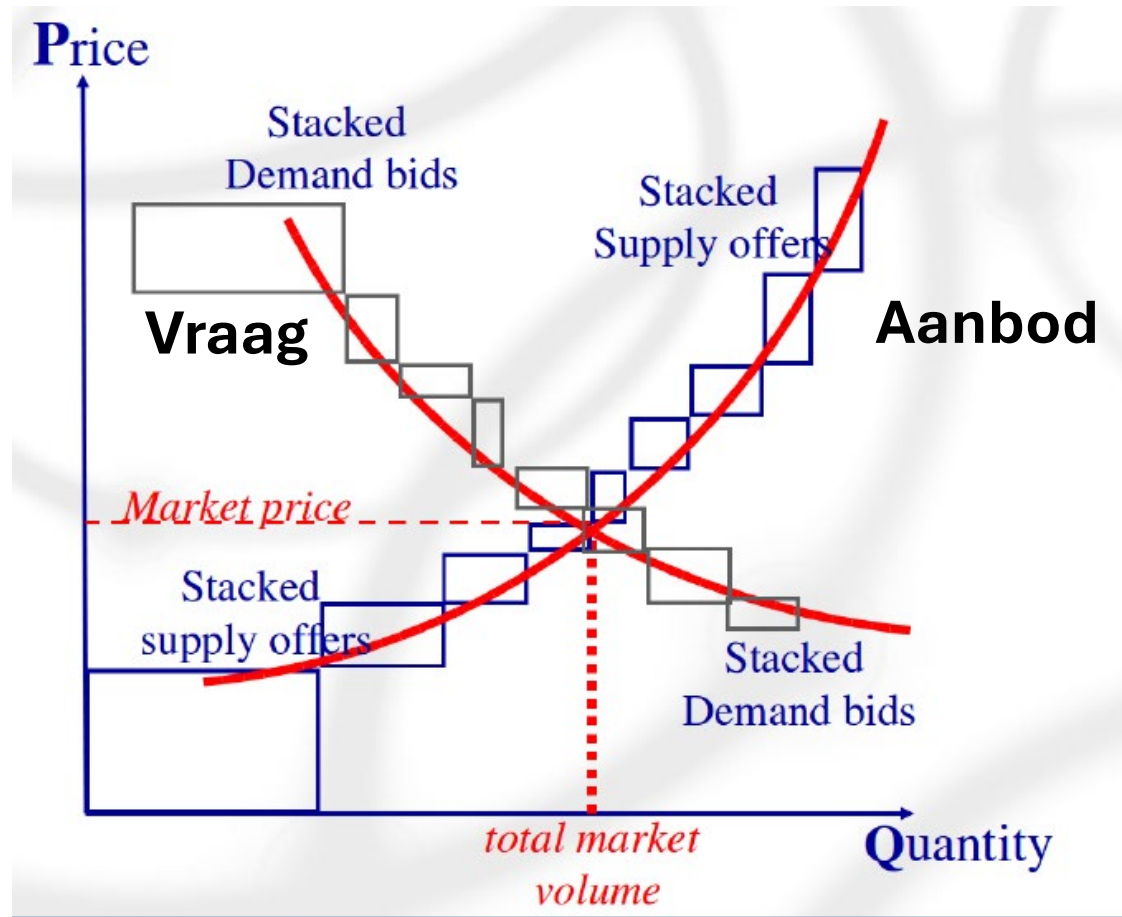




Evenwicht binnen regelzone

- Verantwoordelijkheid van **transmissienetbeheerder** (EN: *Transmission System Operator* (TSO)), **Elia** in België
 - TSO heeft zelf geen productie- en opslagcapaciteit.
 - Evenwicht via **Balance Responsible Parties** (BRP's) [Lijst BRP's](#)
 - BRP's moeten **per kwartier in evenwicht** zijn (afname=injectie) en moeten dit **aanmelden** een dag op voorhand **aan de TSO**:
 - eigen productie, etc.
 - uitwisseling tussen BRP's
 - import / export met buurlanden
 - handel via de day-ahead market
- => Belang van goede **voorspelling** verbruik & productie

Day-Ahead Market (DAM)



Vraag- en
aanbodcurves op de
DAM per uur van de
volgende dag



Frequentieregeling

Onbalansen en frequentieregeling

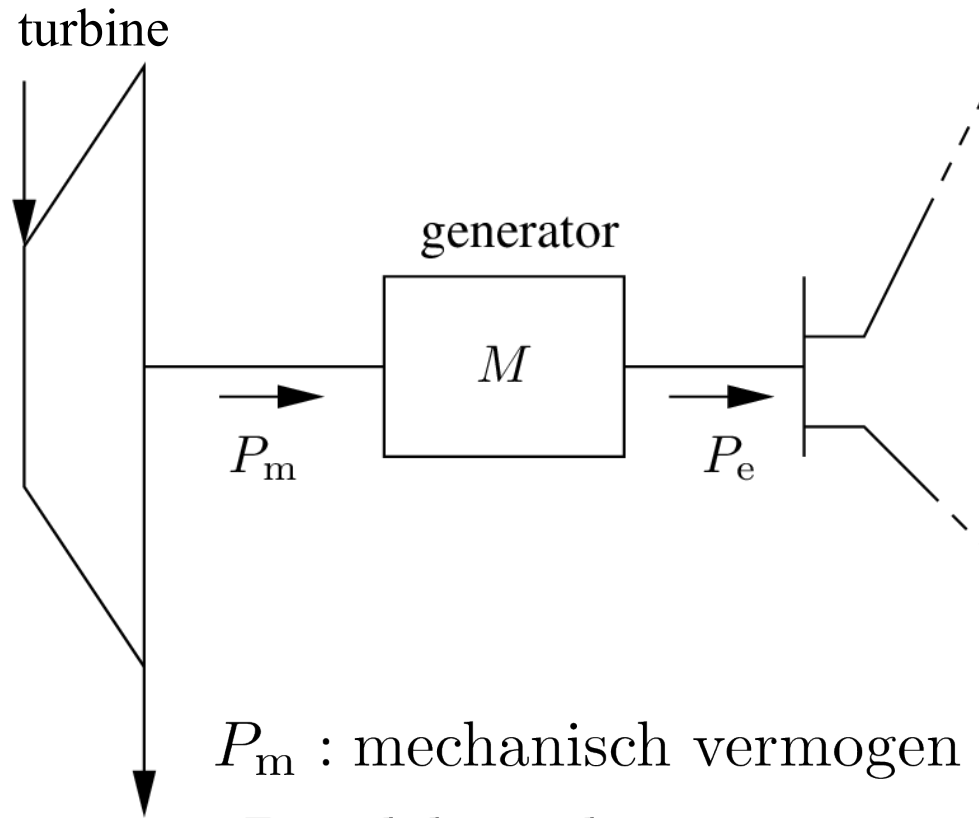


Onbalansen op de dag zelf:

- Afwijking van de werkelijke productie en/of van het verbruik ten opzichte van de voorspelling van de dag voordien => **onevenwicht** binnen het portfolio van een BRP (en binnen de regelzone)
- Herstel van het evenwicht door ***Balancing Service Providers (BSP's)***
- Kan **via productie, verbruik of opslag**
- **TSO** organiseert **reservemarkten** voor het leveren van deze balanceringsdiensten (netondersteunende diensten, EN: *ancillary services*).



Mechanisch en elektrisch vermogen



P_m : mechanisch vermogen

P_e : elektrisch vermogen

f : frequentie

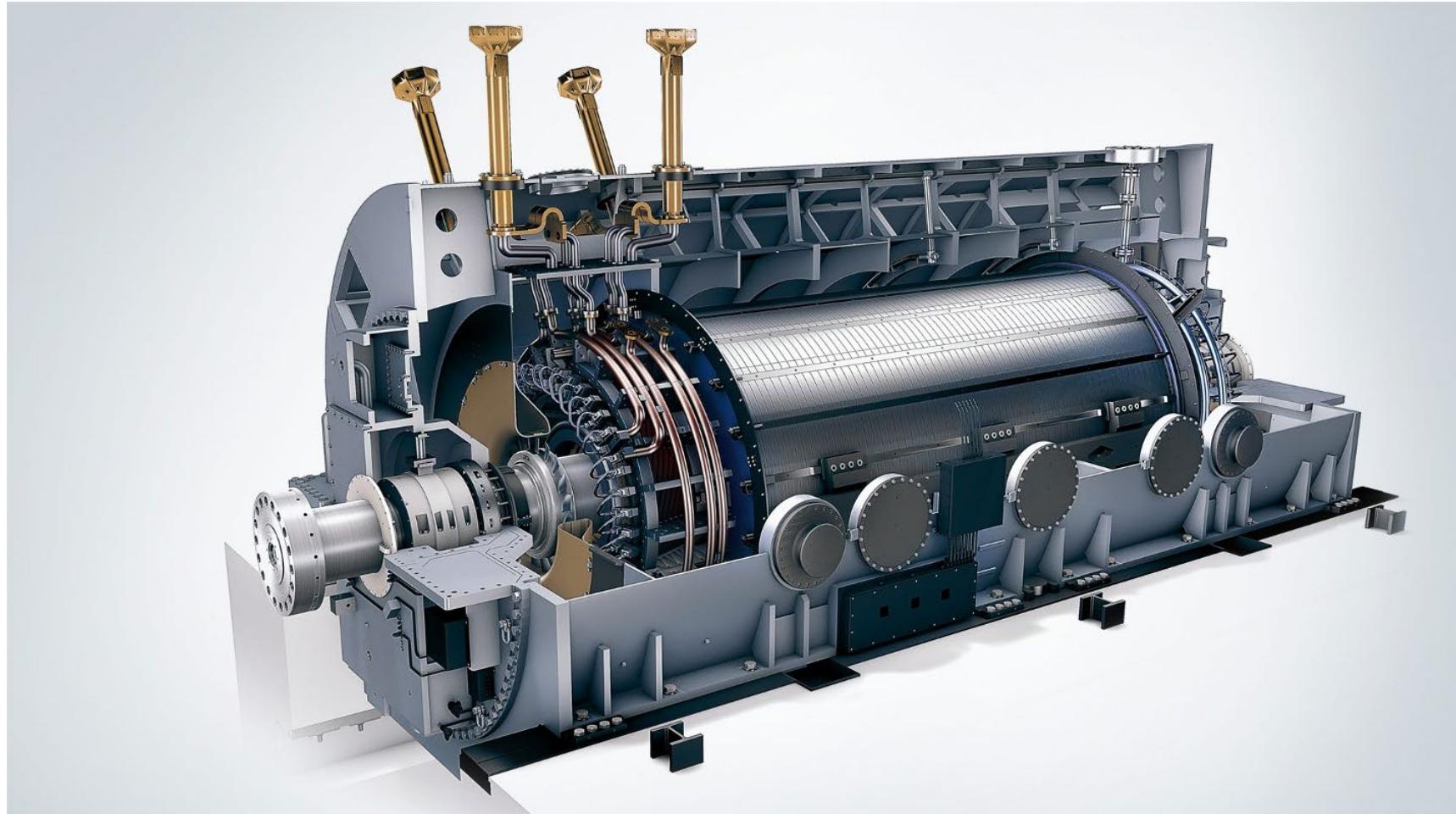
kinetische energie: $E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} M' f^2$

Een **onbalans** (= verschil tussen mechanisch en elektrisch vermogen) wordt opgevangen door de verandering van de **kinetische energie**.

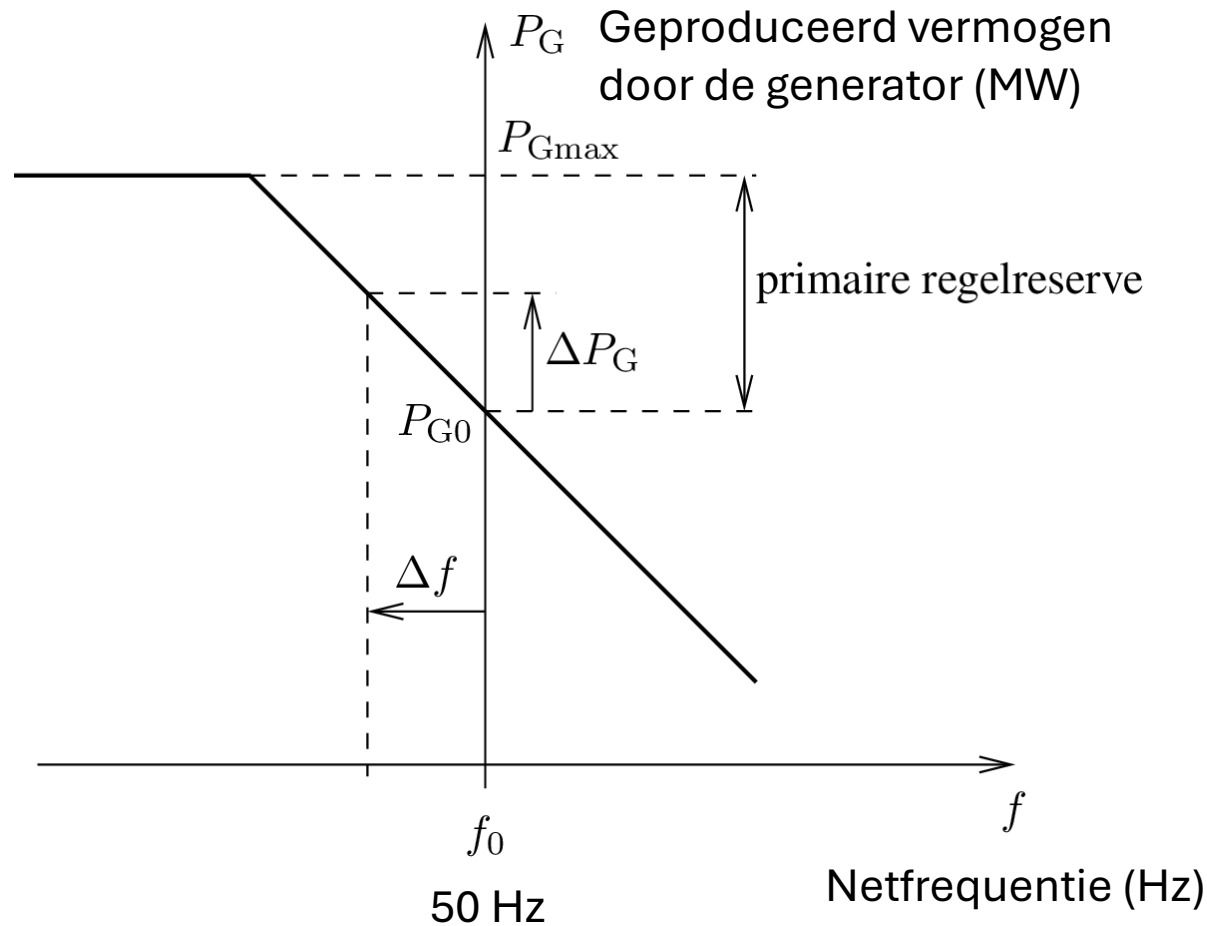
$$P_m > P_e \Rightarrow f \uparrow$$

$$P_m < P_e \Rightarrow f \downarrow$$

Synchrone generator



Primaire frequentieregeling (R1)



Frequency Containment Reserve (FCR)

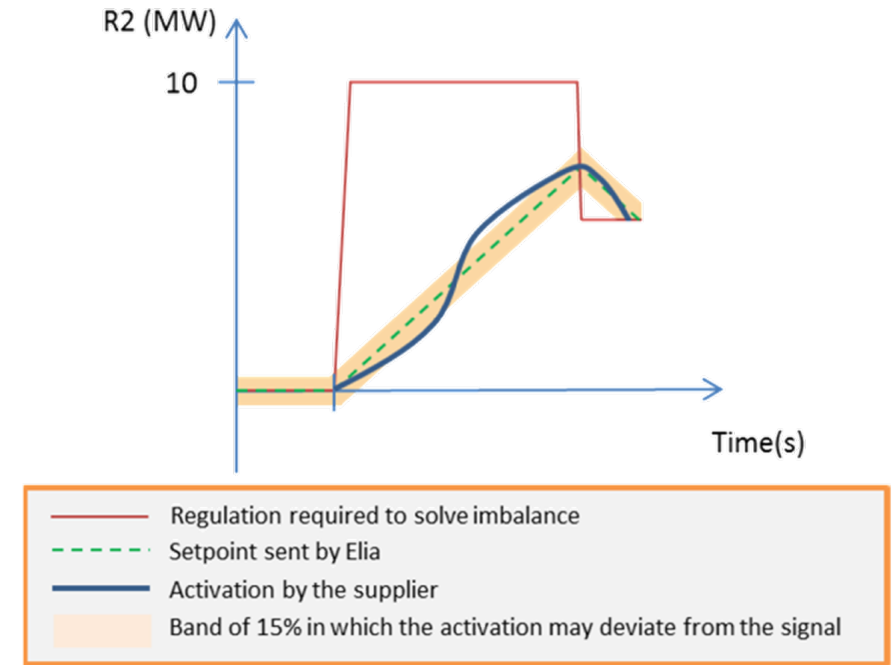
- **Snelle regeling** op basis van de **gemeten netfrequentie**
- Wordt automatisch geactiveerd in de complete synchrone zone
- Leidt tot afwijking van uitwisseling tussen regelzones (buurlanden)
- **Beperkt de frequentie-afwijking**
- Vergoeding volgens gereserveerde vermogen (MW)

Secundaire frequentieregeling (R2)

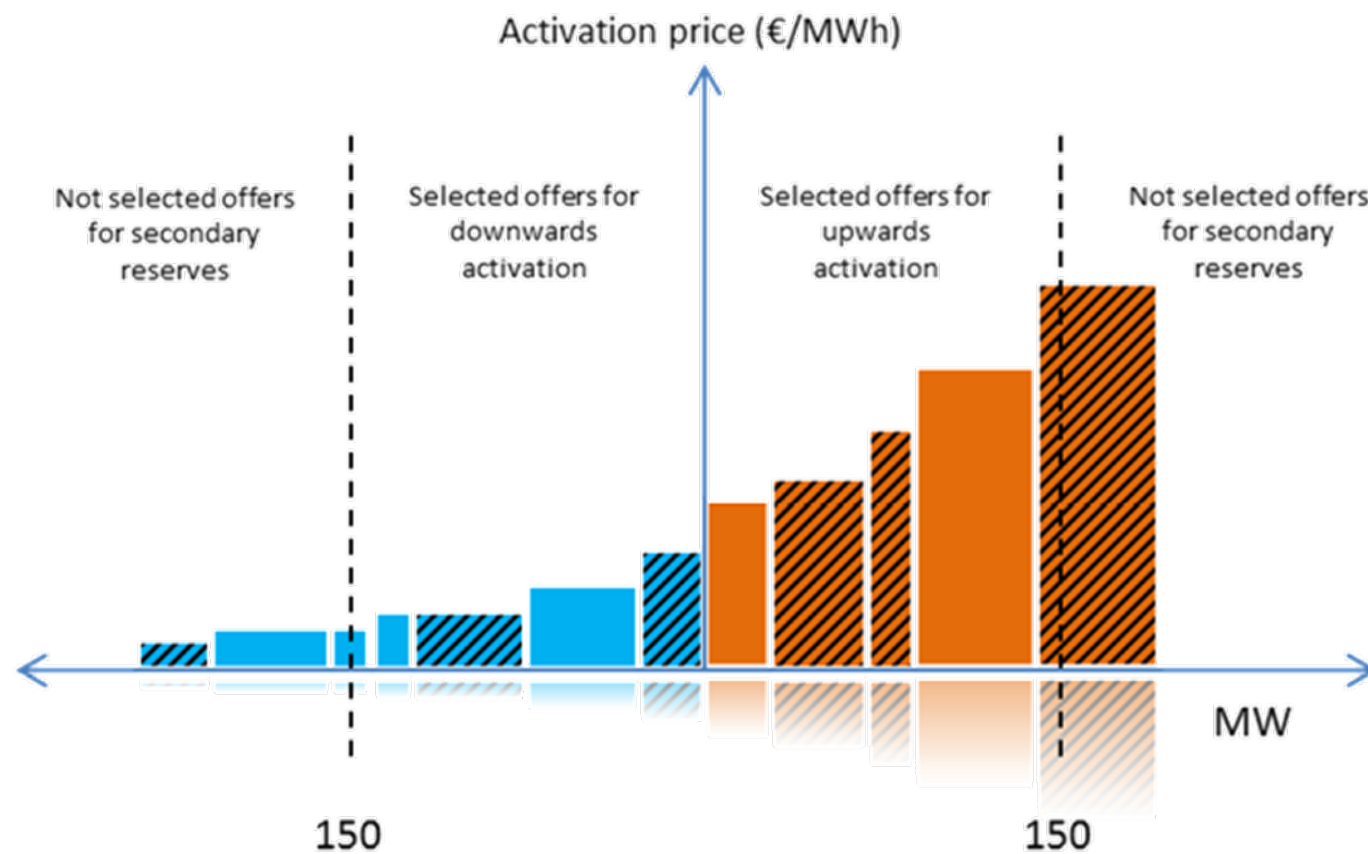


automatic Frequency Restoration Reserve (aFRR)

- automatisch signaal (van Elia)
- activatie (binnen 7,5 min.) in **de regelzone waarbinnen de onbalans veroorzaakt werd**
- opwaartse regeling bij negatieve onbalans (tekort)
- neerwaartse regeling bij positieve onbalans (overschot)
- herstel van de nominale frequentie (50Hz) en van de uitwisseling tussen regelzones
- **vergoeding/betaling op basis van geactiveerde energie (€/MWh)**



Activatieprijs voor aFRR



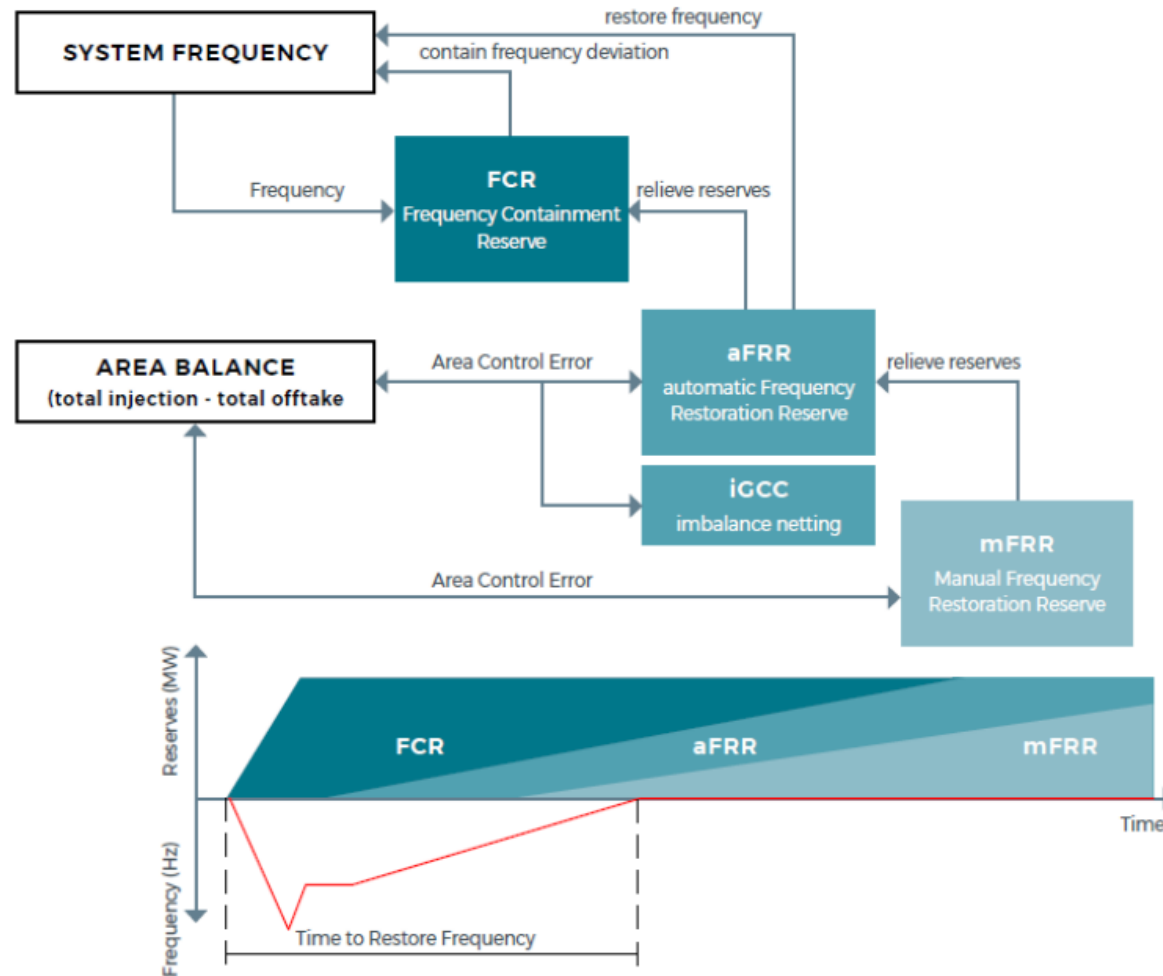


Tertiaire frequentieregeling (R3)

manual Frequency Restoration Reserve (mFRR)

- zelfde doel als aFRR, maar manuele activatie

Overzicht frequentieregeling





Onbalansmarkt

Onbalansprijs



TSO: **doorrekenen van de activatie van de reserves** (aFRR, mFRR) aan de BRP's die een onbalans vertonen => **stimulans om evenwicht te herstellen**

Toegepaste **onbalansprijs** wordt (bijna ogenblikkelijk) gepubliceerd door TSO.

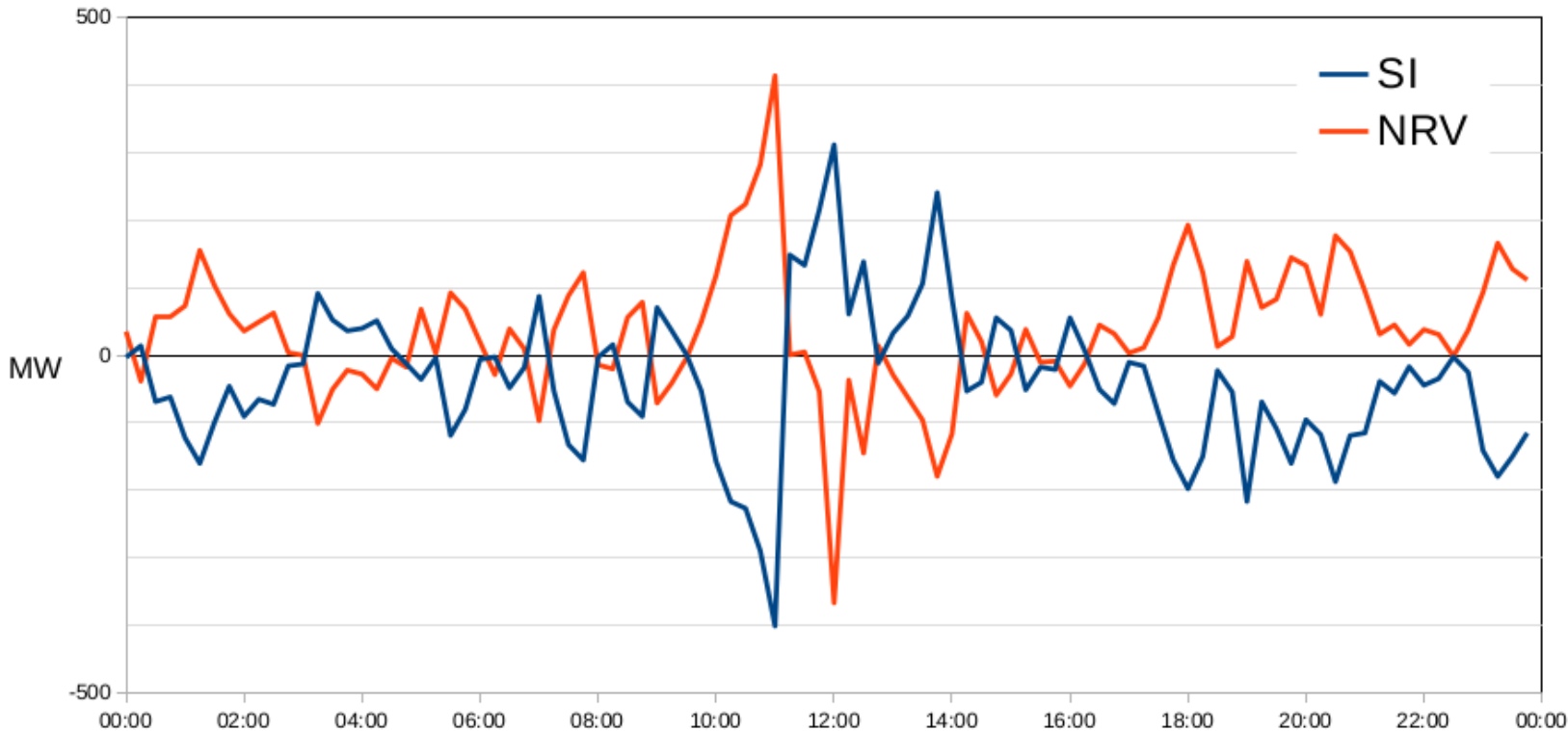
		System Imbalance	
		Positive	Negative or zero
Imbalance of the balance responsible party	Positive	$MDP - \alpha$	$MIP + \alpha$
	Negative		

- System Imbalance (SI): onbalans van de regelzone (bijv. de Elia-zone)
- Marginal Incremental Prize (MIP): hoogste prijs die de TSO moet betalen voor opwaartse regeling
- Marginal Decremental Prize (MDP): laagste prijs die de TSO ontvangt bij neerwaartse regeling

Systeemonbalans en regelvolumes



30 januari 2024



Bron: Elia

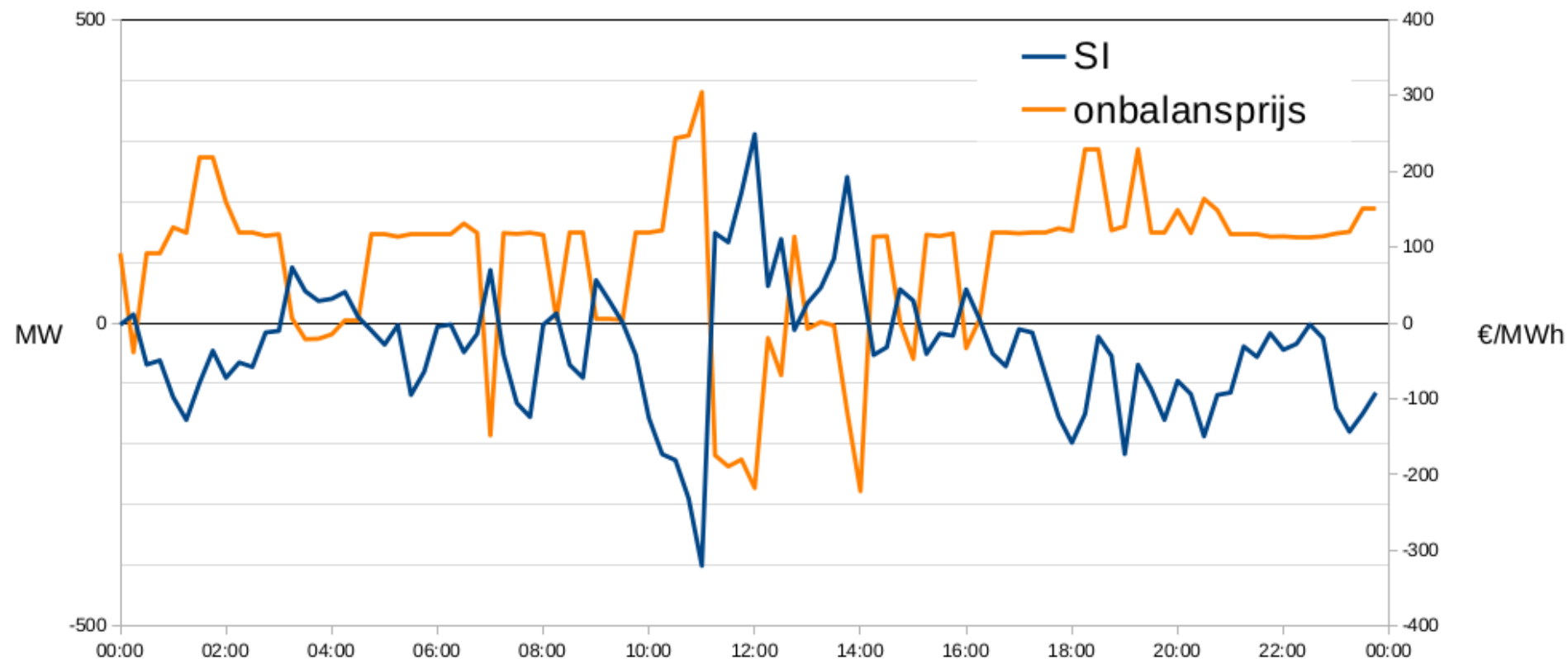
SI: *System Imbalance* – systeemonbalans (MW)

NRV: *Net Regulation Volume* – regelvolume (geactiveerde reserves) (MW)

Onbalansprijs



30 januari 2024



Herstellen van de onbalans (van een BRP)



- “Intra-day HUB” van Elia: bilaterale uitwisselingen tussen BRP’s
- Flexibiliteit via *Flexibility Service Providers*:
 - Flexibele belastingen
 - Opslag
 - Flexibele productie



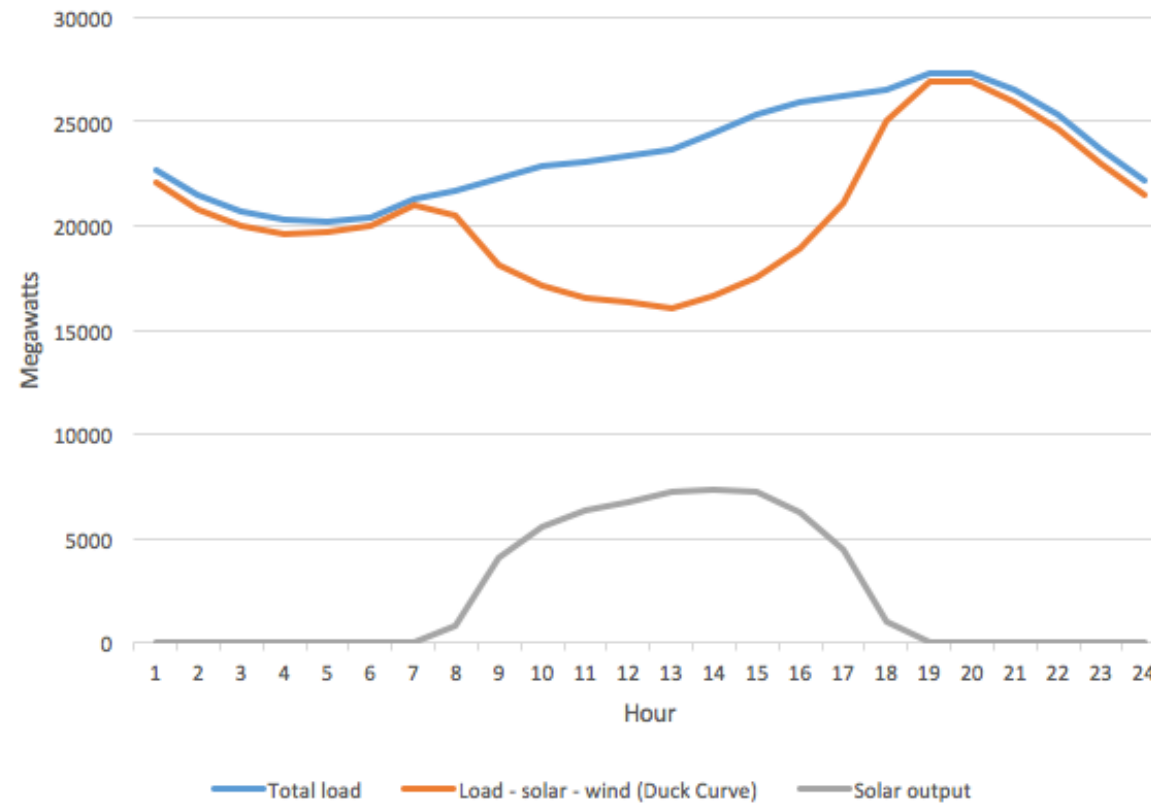
Nood aan flexibiliteit

- “Klassiek” energiesysteem: productie volgt verbruik
=> nood aan piekcentrales
- Stijgend aandeel hernieuwbare energieproductie:
 - schommelend gedrag
 - oncontroleerbaar
 - voorspelbaarheid

Duck Curve



California hourly electric load vs.
load less solar and wind (Duck Curve)
for October 22, 2016

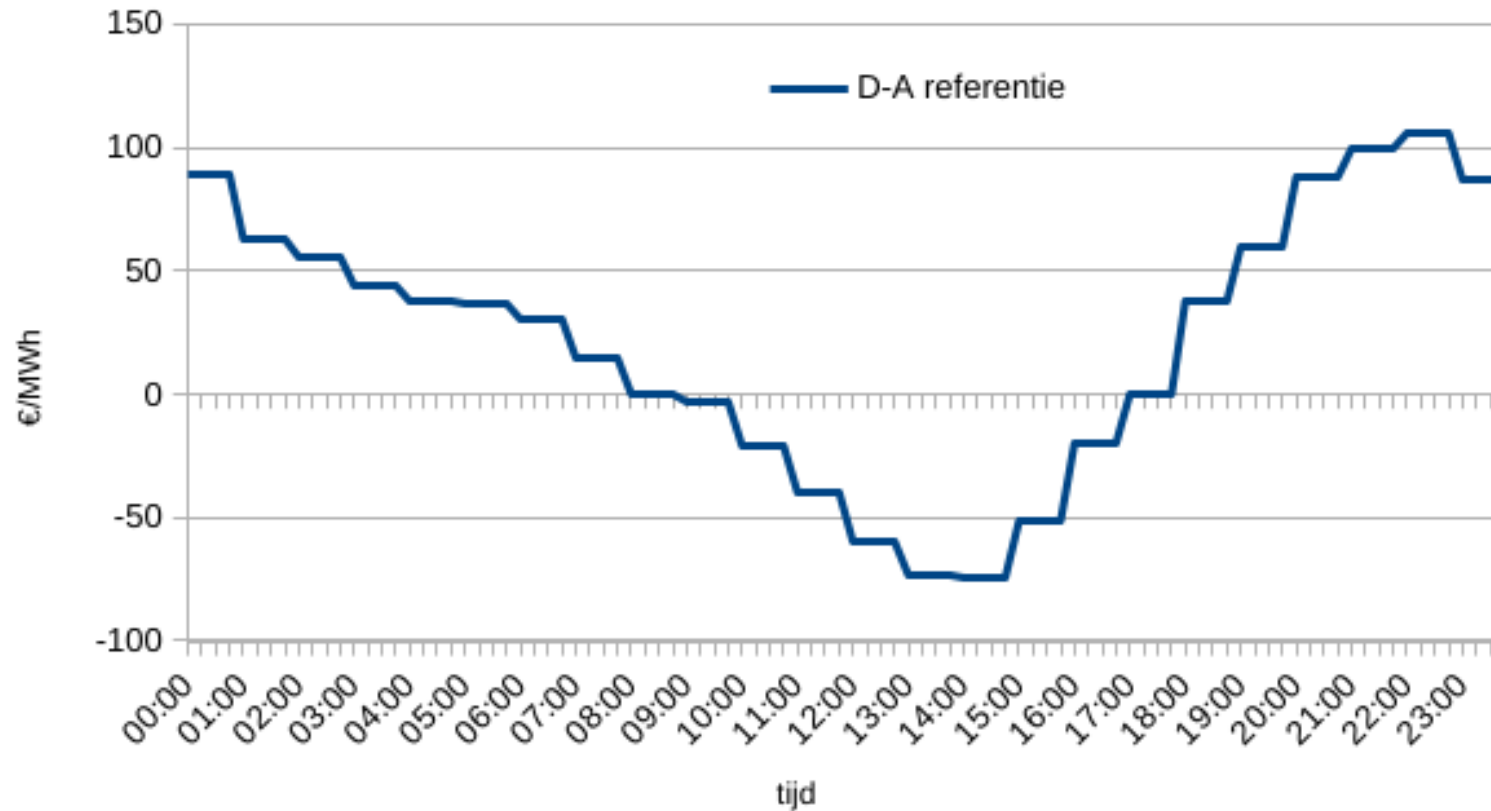




Valorisatie van flexibiliteit

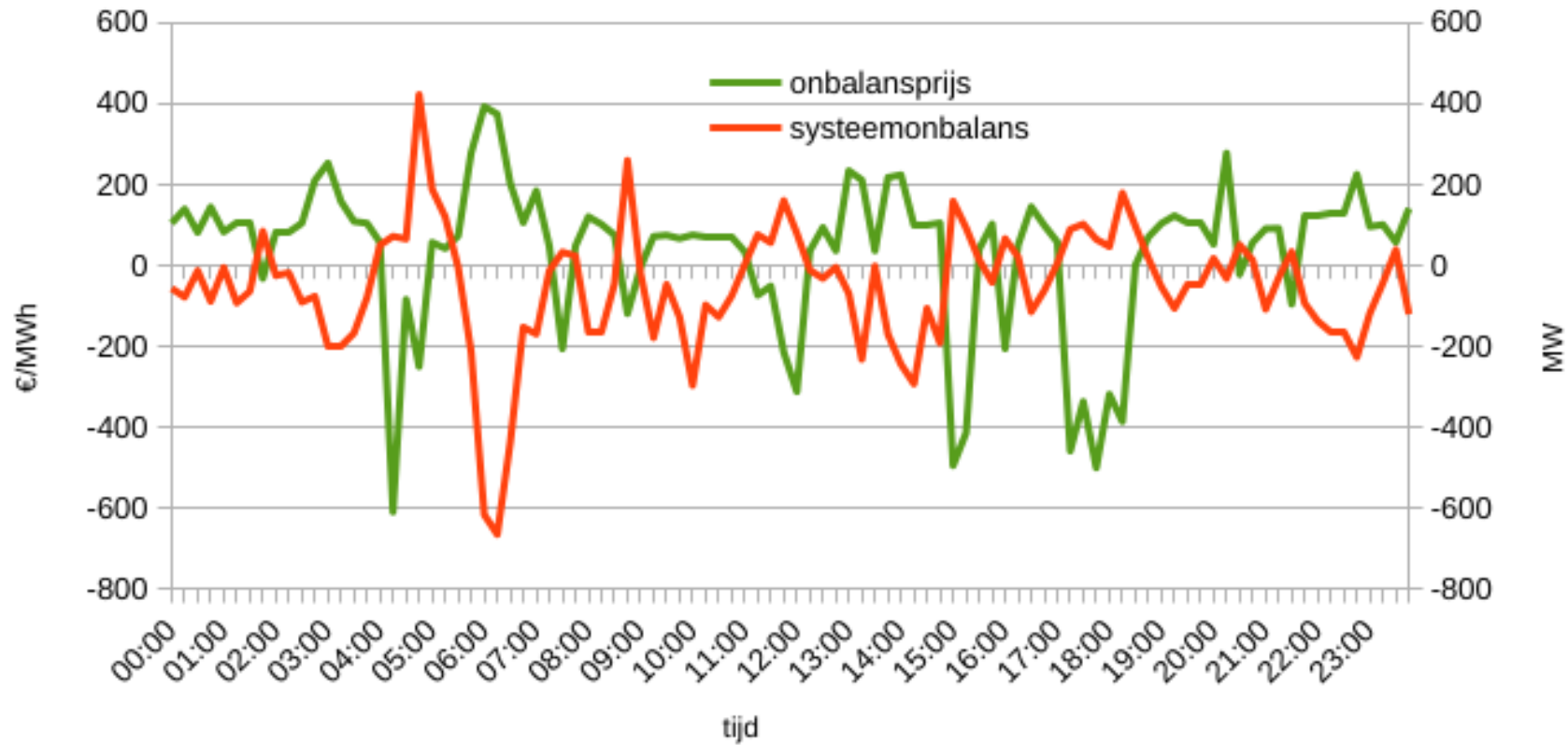
- Flexibiliteit:
 - via opslag
 - aan gebruikszijde
- Valorisatie:
 - Aankoop/injectie elektrische energie op meest geschikte moment, bijv. volgens day-ahead referentie
 - Reservemarkten
 - Onbalansprijs

Day-ahead referentieprij



14 juli 2024

Onbalansprijs



14 juli 2024

Prof. dr. ir. Lieven Vandeveld

Gewoon hoogleraar

Vakgroep Elektromechanica, Systeem- en
Metaalengineering
Laboratorium voor Elektrische Energietechniek

 lieven.vandevelde@ugent.be

 +32 9 264 34 22

 www.ugent.be
users.ugent.be/~lvdveld

 Universiteit Gent
 @ugent
 @ugent
 Ghent University