

Introductie in Energie- & Industriesystemen

TB141E – Hoorcollege 4 – Elektriciteitstransport

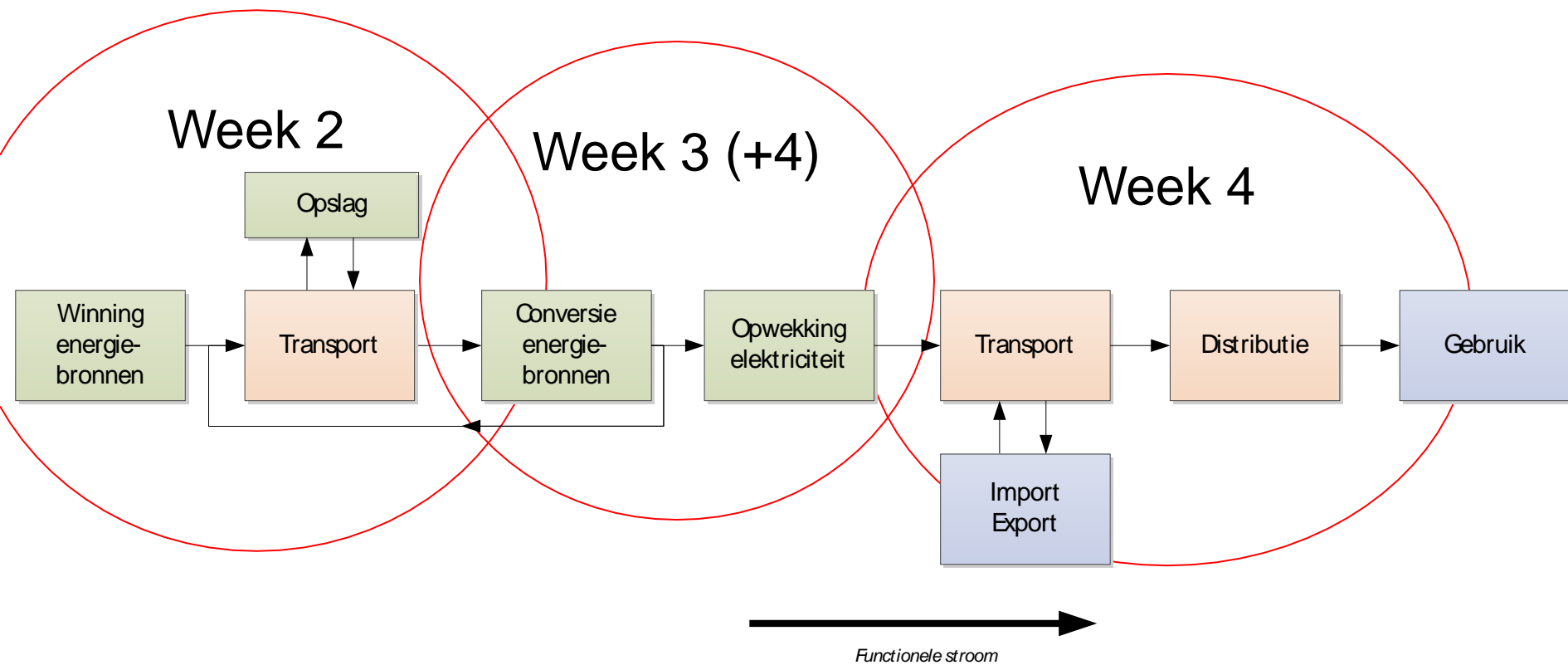
Dr. ir. Émile J. L. Chappin

Werkcollege 3 energiebalansen - reflectie

Resultaat week 3:

- Voorbereidingen veel beter dan week 2
- Op Blackboard: alle uiteindelijke stukjes. Leuk om te lezen
- Stukje over India wordt deze week toegevoegd aan webdictaat.

Elektriciteitsvoorziening



Energieconversie – efficiëntie en inzet

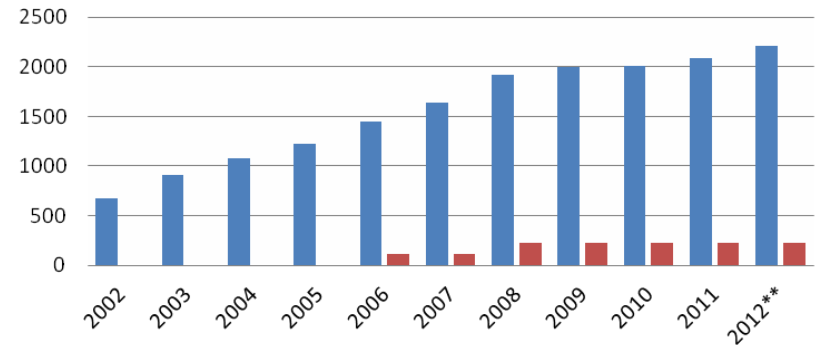
- Efficiëntie thermische centrales bepaald door theoretische beperking.
 - Gas hoog, kolen en kern lager. Biomassa afhankelijk van opstelling en kwaliteit. Zon pV relatief laag. Wind afhankelijk van opstelling.
- Inzet afhankelijk van
 - Brandstofkosten. Gas duur, kolen/uranium goedkoop.
 - Wind, zon zijn gratis dus draait wanneer mogelijk
 - Water: afhankelijk van opzet (pumped bij hoge prijzen, nabij rivier zoveel mogelijk).

Biomassa

Activiteit	Energievorm	Totaal	Via elektriciteit of warmte	Via aardgasnet	Direct verbruik
Afval-verbrandingsinstallaties	Elektriciteit en warmte	39.164	39.164		
Bij- en meestoken biomassa in centrales	Elektriciteit en warmte	26.049	26.049		
Houtketels voor warmte bij bedrijven	Warmte	2.877			2.877
Totaal houtkachels huishoudens	Warmte	12.660			12.660
Overige biomassa-verbranding	Elektriciteit en warmte	13.985	12.570		1.415
Biogas	Elektriciteit, warmte, gas	12.438	10.905	948	586
Biobenzine	Brandstof	5.172			5.172
Biodiesel	Brandstof	8.462			8.462

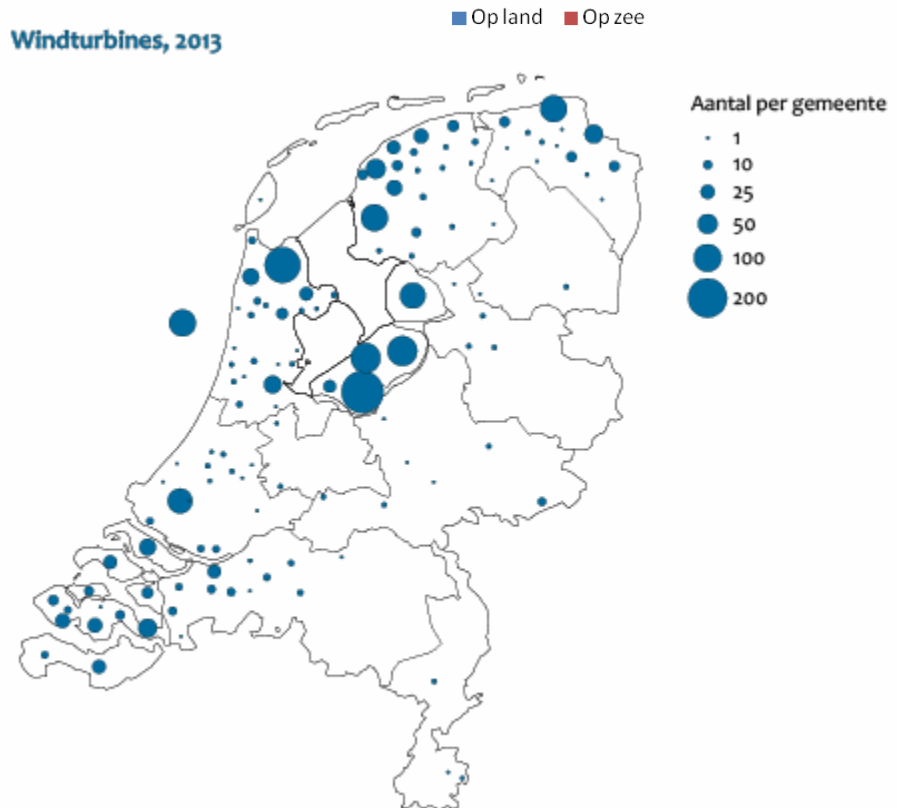
Windenergie

Opgesteld vermogen (MW) NL



Land	Nieuwe capaciteit in 2012 (MW)	Capaciteit eind 2012 (MW)
China	12.960	75.324
VS	13.124	60.007
Duitsland	2.145	31.308
Spanje	1.122	22.796

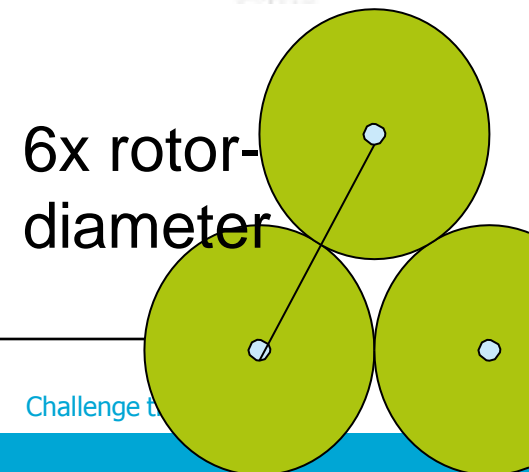
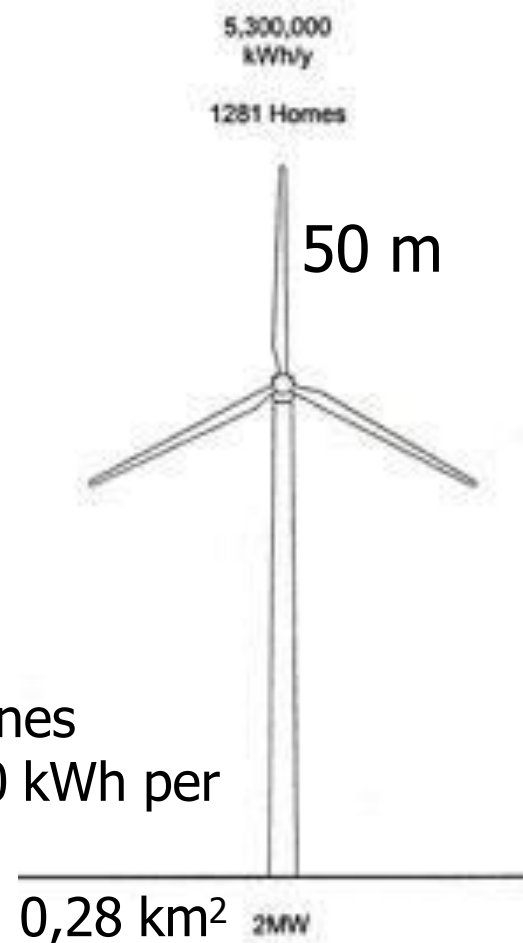
Windturbines, 2013



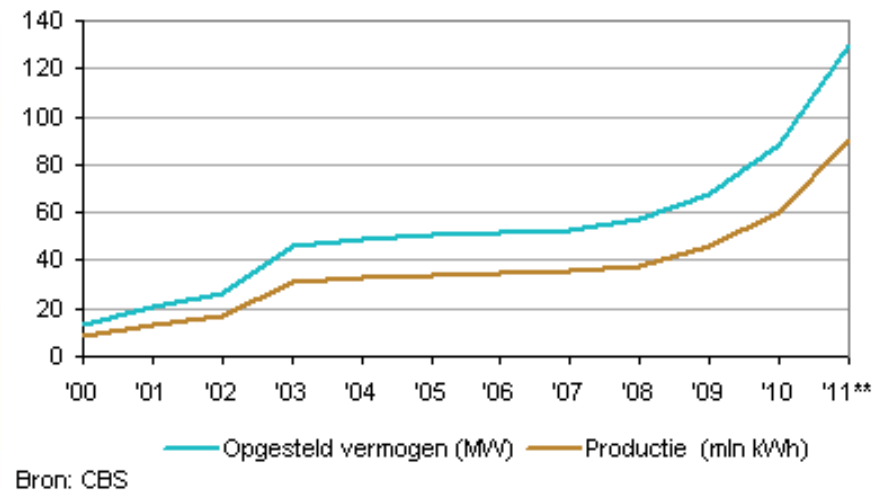
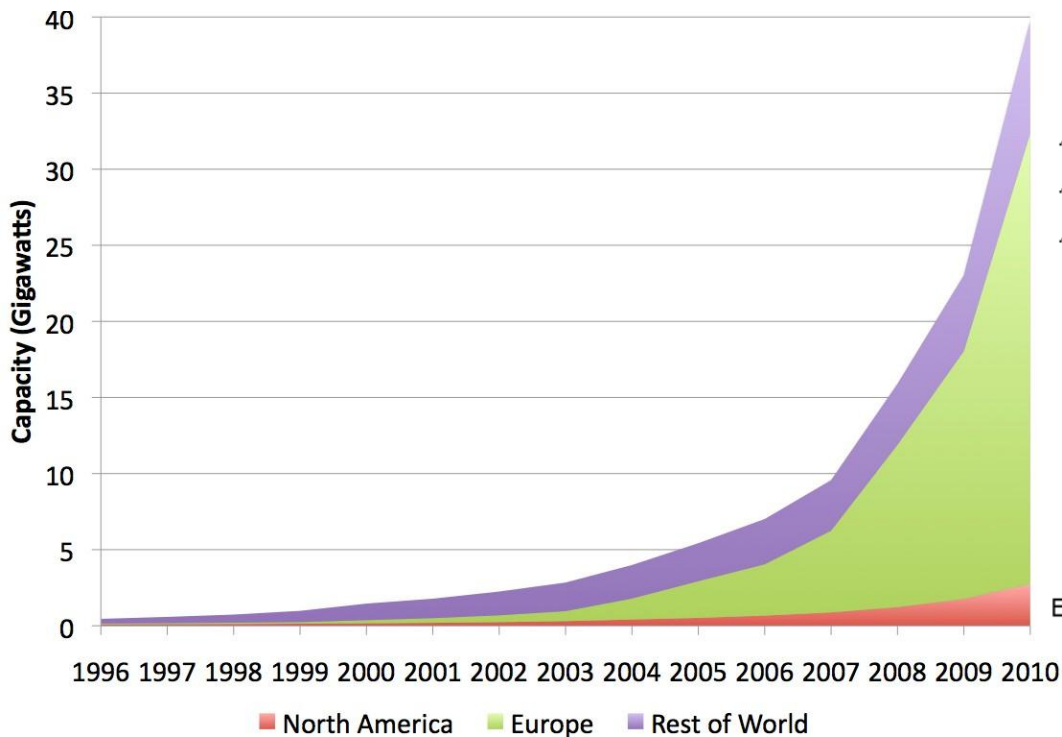
Windenergie – vermogen

<http://www.ro-web.nl/2010/12/windenergie/>

- “De beste afstand is zes keer de diameter van de rotorbladen.”
- Bepaal het ruimtebeslag bij windenergie voor alle Nederlandse huishoudens
- 6.000.000 hh / 1281 hh per turbine = 4683 turbines
- Of: 6.000.000 hh * 3480 kWh per hh / 5.300.000 kWh per turbine = 3939 turbines
- Ruimtegebruik per turbine: $\pi(3d)^2 = * \pi * 300^2 = 0,28 \text{ km}^2$
- Ruimtegebruik is $0,28 * 3939 = 1114 \text{ km}^2$



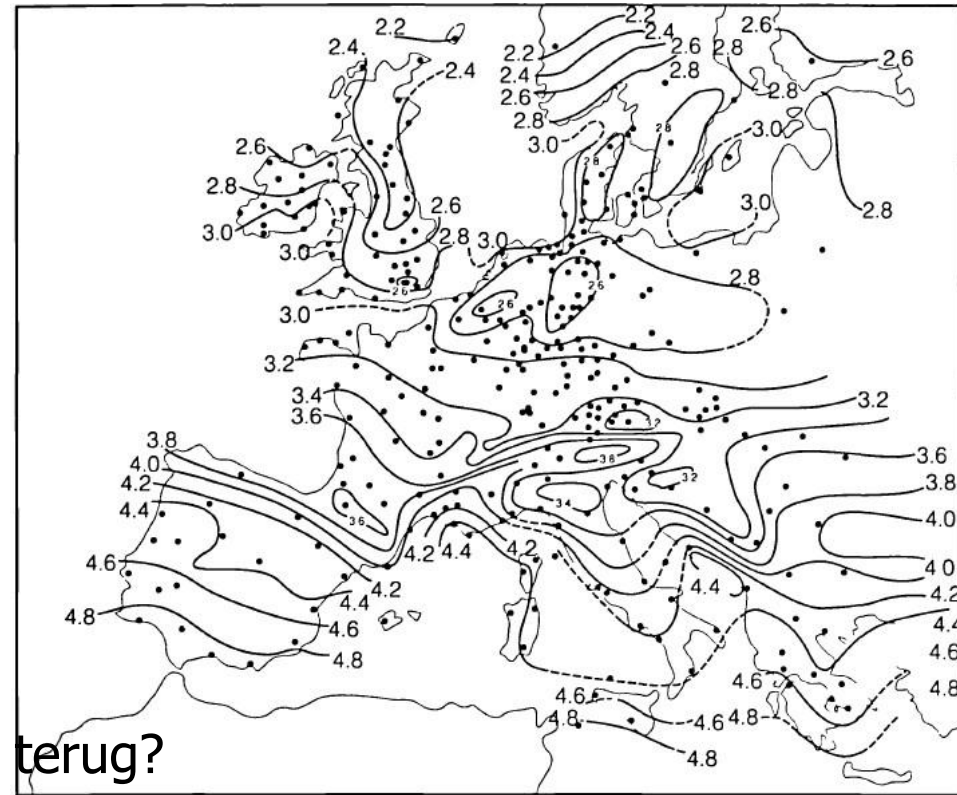
Zonne-energie



Bron: CBS

Zonne energie opbrengst

- Vermogen: 250 W piek
- 60 cellen van 156x156 mm
- Prijs € 277,09 excl installatie.
- Efficiëntie module: 15,3%
- Wat brengt deze zonnecel op?
- En hoe snel verdient deze zich terug?



- NL: 2,8 kWh/(m² *dag)
- Oppervlak paneel: $0,156 * 0,156 * 60 = 1,46 \text{ m}^2$
- Gemiddelde opbrengst: $365 \text{ dag} * 2,8 \text{ kWh}/(\text{m}^2 * \text{dag}) * 1,46 \text{ m}^2 * 15,3\% = \mathbf{228 \text{ kWh/jaar}}$.
- $228 \text{ kWh/jaar} * 0,22 \text{ €/kWh} = 50 \text{ €/jaar}$. Dus **5,5 jaar**.

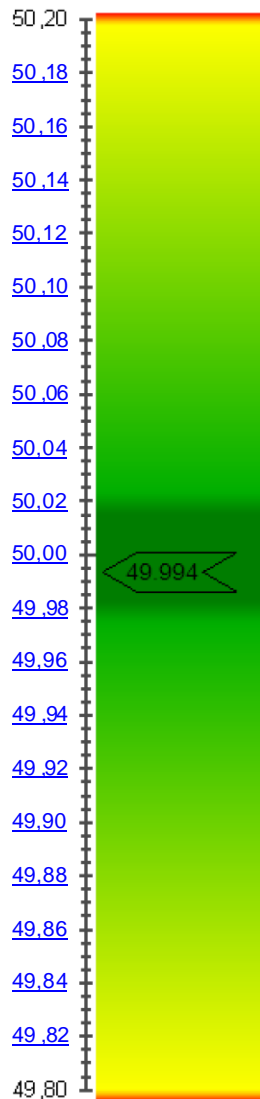
Zonne energie opbrengst

- Wat kan je op piekvermogen vervangen?
- Aannames:
 - Alle lichtinval benut
 - Opbrengst lineair met zonneinstraling
 - Opbrengst niet beïnvloed door partiele verlichting
 - Opbrengst niet beïnvloed door hoek van instraling
 - Geen kosten voor aansluiting aan net en installatie
 - Geen aanvullende verliezen/efficiëntie is een bovenschatting
- Getallen Bosatlas vd Energie pagina 65 geeft een wat hogere opbrengst: 375 kJ/cm² per jaar →
- $375/3.600 \text{ kWh/kJ} * 10.000 \text{ m}^2/\text{cm}^2 = 1041 \text{ kWh/m}^2 \text{ per jaar}$

Elektriciteitsnetwerken

- Elektriciteitsnetten verbinden producenten en consumenten
- Elektriciteit kenmerkt zich door gebrek aan opslag →
- **Vraag en aanbod moeten altijd in balans zijn**
- Wat bepaalt de vraag?
 - Consumentengedrag, grootverbruikers
- Wat bepaalt het aanbod?
 - Centrale opwek, niet-continue duurzame opwek, decentrale opwek, bijproducten

Mains frequency

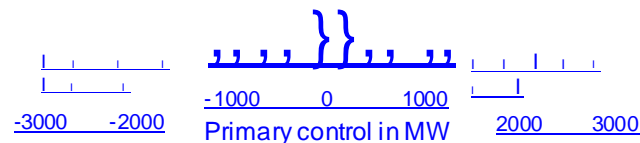


The grid frequency in the synchronous grid of Continental Europe has a nominal value of 50.0 Hz. If the deviation from the nominal value exceeds ± 20 mHz, then the primary control is activated. The 20 mHz derived from the sum of the allowable measurement error of 10 mHz and a dead zone of the control characteristic of ± 10 mHz.

From ± 20 mHz to ± 200 mHz the primary control is activated proportional from 0 % to 100%. Long-term maximum deviations of ± 180 mHz are allowed, for short periods even ± 200 mHz are ok. The allowed mains frequency range in normal operation is thus obtained at 49.800 Hz to 50.200 Hz. (ENTSO-E Operation Handbook Load-Frequency Control and Performance)

In case of the breakdown of generation capacity or large consumers, short term deviations until 800 mHz are allowed (49.200 Hz to 50.800 Hz). With higher deviations a massive grid failure is very likely. Then the first step is dropping some consumers or producers, if even this fails, then the network ceases operations (blackout) and the network built up afterwards.

The expression "utility frequency", "grid frequency", "mains frequency", "power frequency" and "line frequency" are synonyms for the frequency of the electric generators, which can be measured in electric supply networks. It is 50 Hz in Europe, USSR, India, China, Australia and Africa, and 60 Hz in USA and the northern parts of south america.

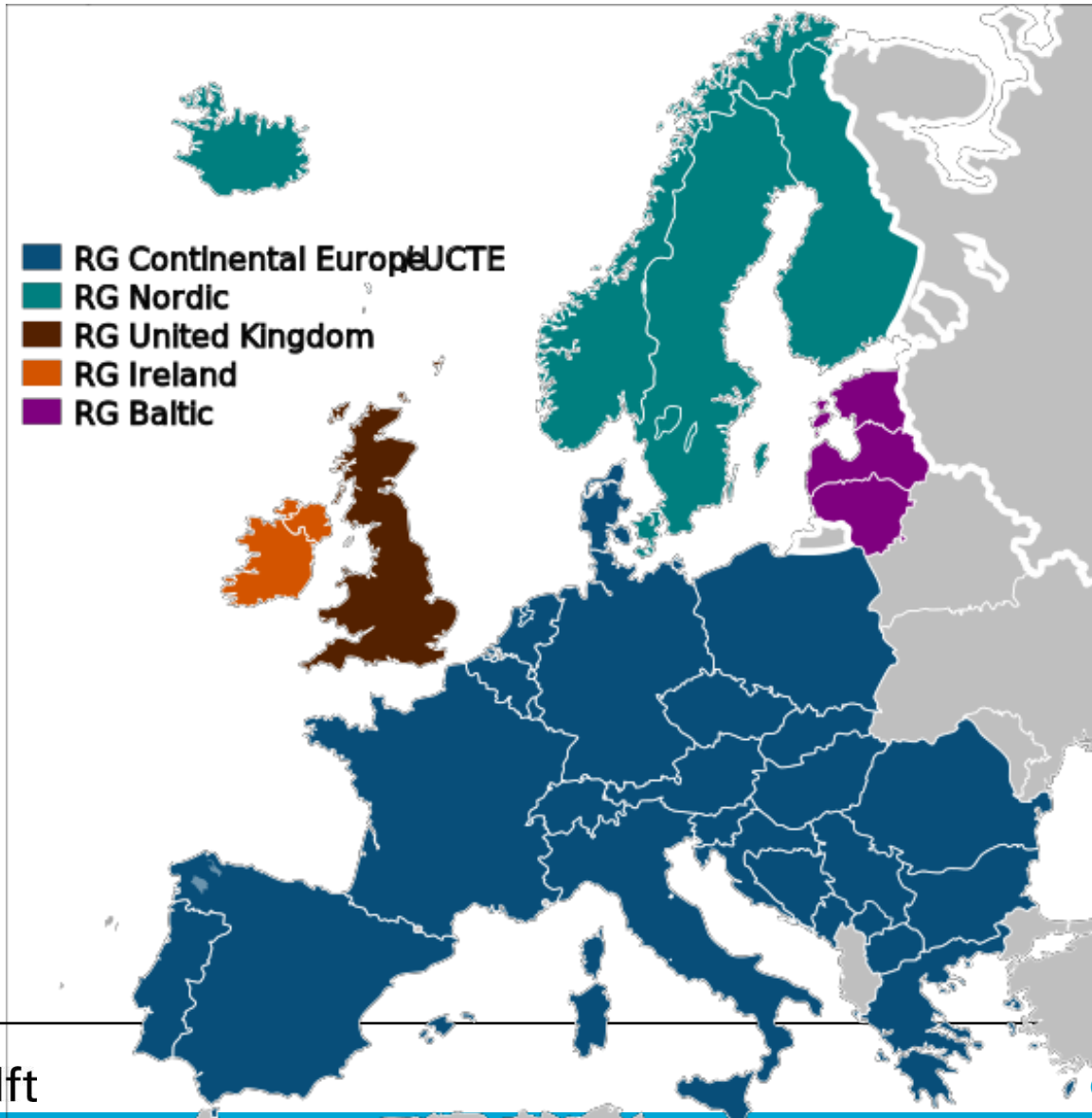


The mains frequency is in all countries, which are directly connected to the synchronous grid, the same (except short-term fluctuations). These are Belgium, Bosnia-Herzegovina, Bulgaria, Denmark, Germany, Estonia, France, Greece, Italy, Croatia, Latvia, Lithuania, Luxembourg, Macedonia, Montenegro, Netherlands, Austria, Poland, Portugal, Romania, Switzerland, Serbia, Slovakia, Slovenia, Spain, Czech

Republic and Hungary. Algeria, Morocco, Tunisia, Western Sahara and Turkey are synchronous with the European grid, too. The other members of ENTSO-E are connected via High-voltage direct current (HVDC) power lines to the synchronous grid and have therefore independent frequencies.

Utility frequency: 49.994 Hz

Synchrone gebieden in Europa

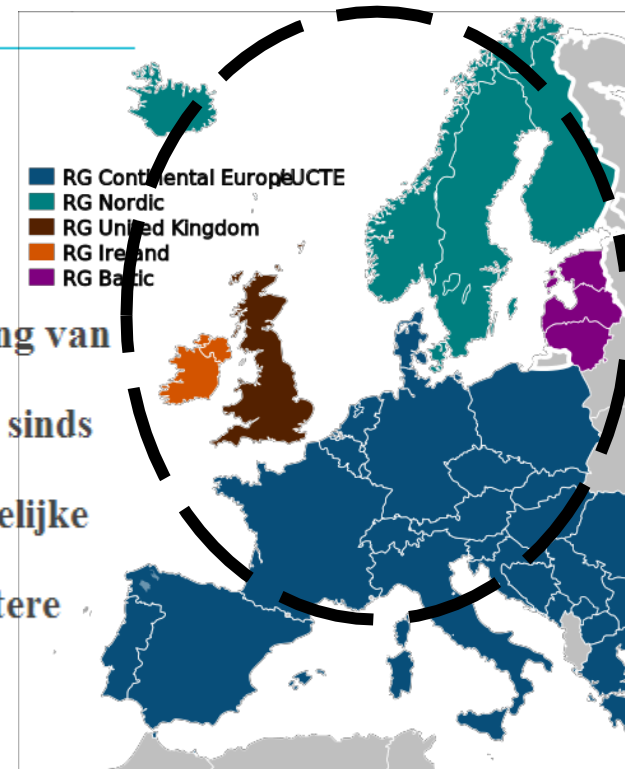


“Vijftien EU-landen smeden stroomhandel tot een geheel”

HOME » NIEUWS » VIJFTIEN EU-LANDEN SMEDEN STROOMHANDEL TOT EEN GEHEEL

14 FEBRUARI, 2014

Vijftien Europese landen, waaronder Nederland, hebben hun handel in elektriciteit aaneengesmeed tot één enkel systeem. Die koppeling van stroomhandel met levering op de volgende dag brengt de totstandkoming van één Europese energiemarkt een stuk dichterbij. De marktkoppeling, die sinds deze maand een feit is, zorgt voor een efficiëntere prijsvorming, meer gelijke stroomprijzen voor eindverbruikers, meer leveringszekerheid en een betere inpassing in de markt van de schommelende productie van zonne- en windstroom.



Stroomnetwerk Nederland

- - - 380 kV connection / substation
- - - 380 kV connection / substation project
- 380 kV interconnection
- - - 220 kV connection / substation
- - - 220 kV connection / substation project
- 220 kV interconnection
- - - 150 kV connection / substation
- - - 110 kV connection / substation
- - - 110 kV connection / substation project
- Subsea interconnector
- - - Subsea interconnector project
- Offshore connector
- - - Offshore connector project
- ⊙ Offshore wind farm
- ⊙ TenneT Head Office
- ⊙ TenneT Office
- Power plant
- Substation
- City

No rights can be derived from this map.
31 December 2012



Bron: TenneT



TenneT: systeembeheerder (TSO)

- Eigenaar van het hoofdtransportnetwerk Nederland + deel Duitsland (≥ 110 kV). Zichtbare hoogspanningsmasten/kabels

Systeemdiensten

- Veiligheid
- Handhaven energiebalans
- Storingen oplossen

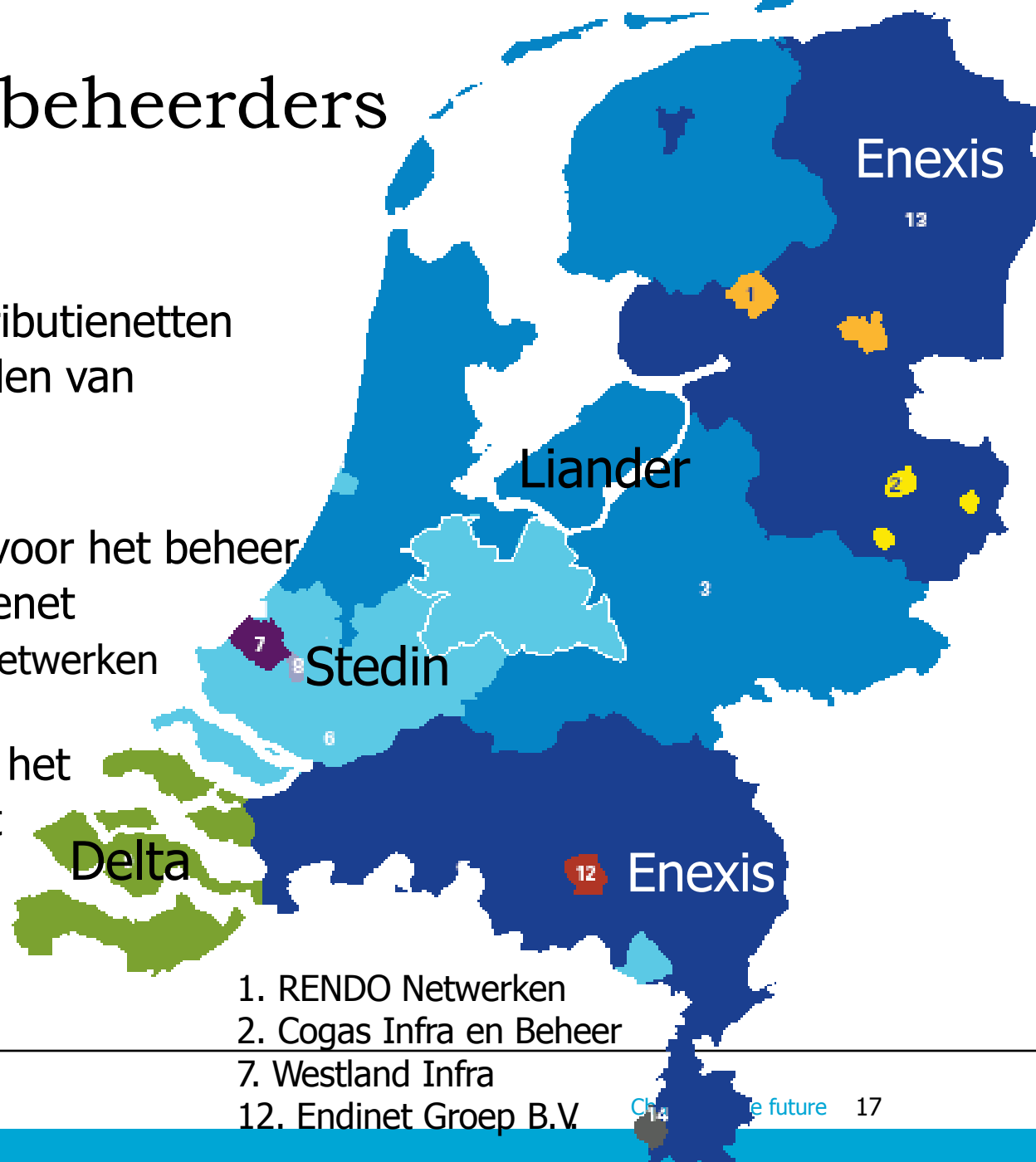
Transportdiensten

- Beheer, onderhoud, ontwikkeling net
- Oplossen van congestie
- Afstemmen met TSO's België, Noorwegen, Duitsland en Engeland



Distributiebeheerders

- Eigenaar van distributienetten (≤ 110 kV) van delen van Nederland
- Verantwoordelijk voor het beheer van hun distributienet
 - Ondergrondse netwerken
- Transporteert van het hoofdtransportnet naar de kleine gebruikers



Actoren in de elektriciteitssector

- 1 TSO (TenneT, transmission system operator)
- 4 grote distributiebeheerders (Liander, Enexis, Stedin, Delta)
- 15 meetbedrijven, vallen onder distributiebedrijven
- 7 grote bedrijven produceren elektriciteit:
 - Vattenfall/Nuon, RWE/Essent, GDF Suez/Electrabel
 - E.On, EDF/Delta, EPZ, Eneco
 - (Kleiner: Twence, Intergen, Powerbalance, Air Liquide, Aes, Cogas, BMC, Biomassa Centrale Sittard)
- 48 bedrijven leveren elektriciteit
- Decentrale opwekkers (agro, prosumers)
- Grote consumenten (staal, aluminium, raffinage, chemie)
- Kleine consumenten (MKB, huishoudens)
- Toezicht-, aandeelhouders, overheden, belangenorganisaties

Hoe handhaaft TenneT de balans?

Eén dag vooruit

- Programma-verantwoordelijkheid
 - Producenten en afnemers geven verwachting per kwartier.
 - Retail schat afname kleine afnemers in op basis van profielen

Zeer korte termijn:

- Primair vermogen: grote centrales reageren geautomatiseerd op verschuivingen in de netfrequentie.

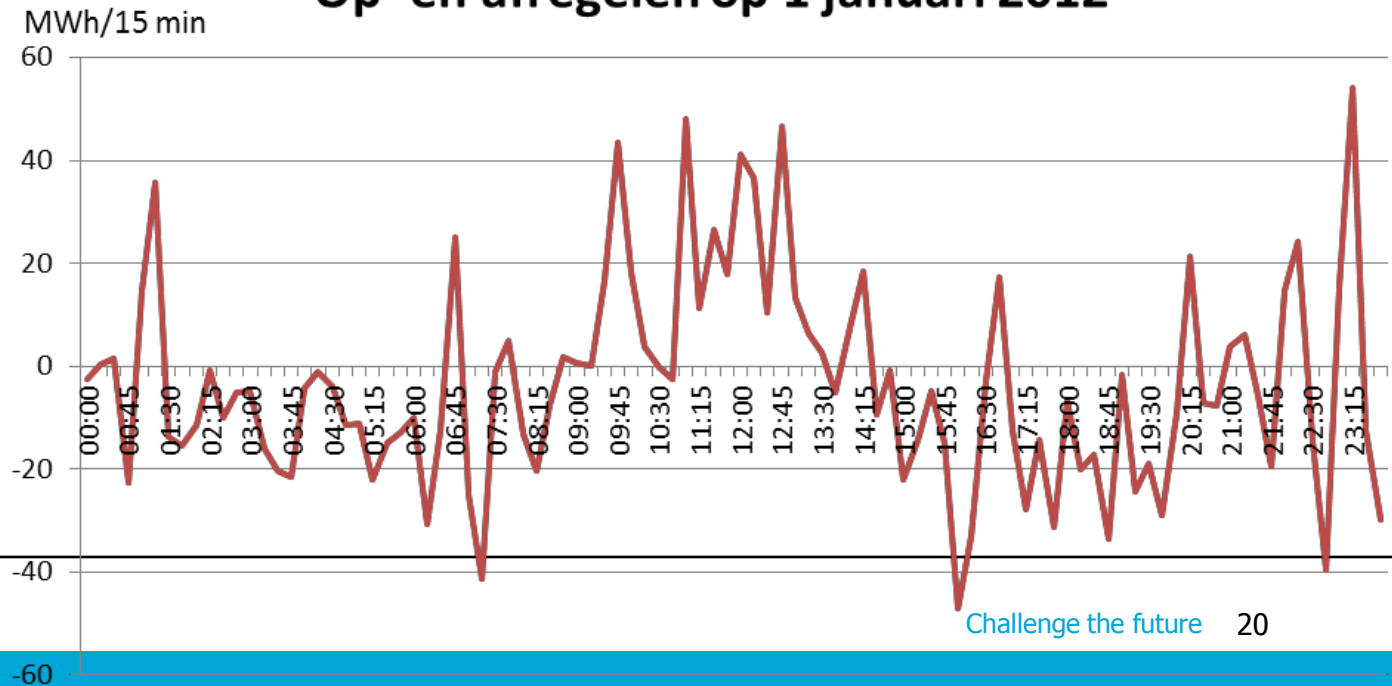
Korte termijn:

- Aanbod van regelvermogen: binnen een kwartier geleverd
- Aanbod van reservevermogen: binnen een uur geleverd
- Aanbod van noodvermogen: grotere volumes, infrequent

Balanshandhaving en -volumes

- Complexiteit neemt toe:
 - Vraag en aanbod nemen sterk toe
 - Penetratie windturbines en zonnepanelen in Duitsland
 - Centrale → decentrale opwek → terugleveren van consumenten

Op- en afregelen op 1 januari 2012



‘Wintrack’ in de Randstadring

- Ring Randstad nu compleet
- “Deze mast heeft door de ranke vormgeving minder effect op het landschap.
- “Bij Wintrack masten met een enkele 380 kV verbinding of waar een 380 kV en een 150 kV verbinding gecombineerd worden een minder groot magneetveld ontstaat.”



BritNed en NorNed kabels

- NorNed: "De volle 700 MVA moet over de twee koperen kernen ($\text{\O} 35 \text{ mm}$) in het midden van de cirkels heen."
- NorNed: een kabel twee kernen.
- BritNed: twee losse kabels.
- Blauw meet signaal en temperatuur



BritNed converter station (Maasvlakte)



Stroomwetten – batterij laden

- Oplader: 5V 1A
- Batterij: 1500 mAh 5,6 Wh 3,7 Volt.
- Hoe lang duurt het voordat de batterij geheel is geladen?
- Wet van **Ohm**: $\Delta U = IR$
- Wet van **Joule**: $P = UI \rightarrow W = VA$
- Oplader levert: 5W (5V * 1A).
- Batterijcapaciteit: 1,5 Ah * 3,7 V = 5,55 Wh
- Laadduur: 5,6Wh / 5W = 1,12 uur
1 uur en ruim 7 minuten
- Waarom duurt het toch langer?

Stroomwetten – capaciteit stop

- Waterkoker: 2500W
- Wasmachine: 2200W
- Koffiezetter: 1000W

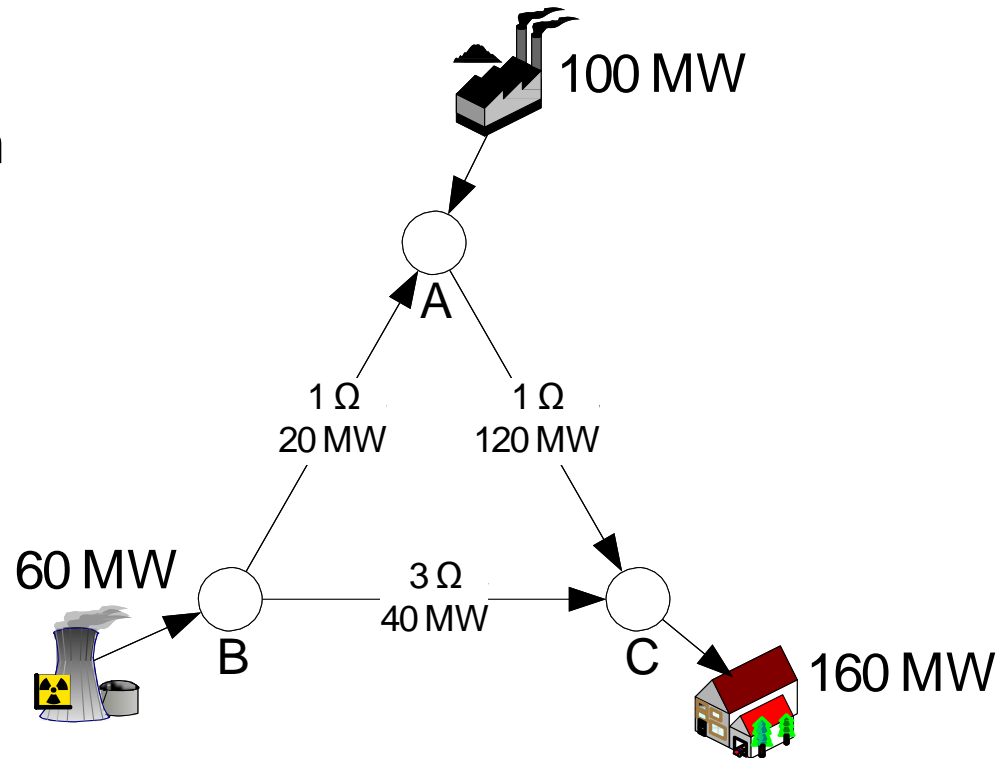
- Welke combinaties kunnen op 1 stop van 16A?

- Wet van **Joule**: $P=UI \rightarrow W=VA$
- Vermogen stop: $16A * 230V = 3680 W$
- Koffiezetter met waterkoker of wasmachine gaan samen

- Waarom slaat de stop toch niet altijd door wanneer waterkoker en wasmachine worden gecombineerd?

Behoud van elektrische stroomsterkte

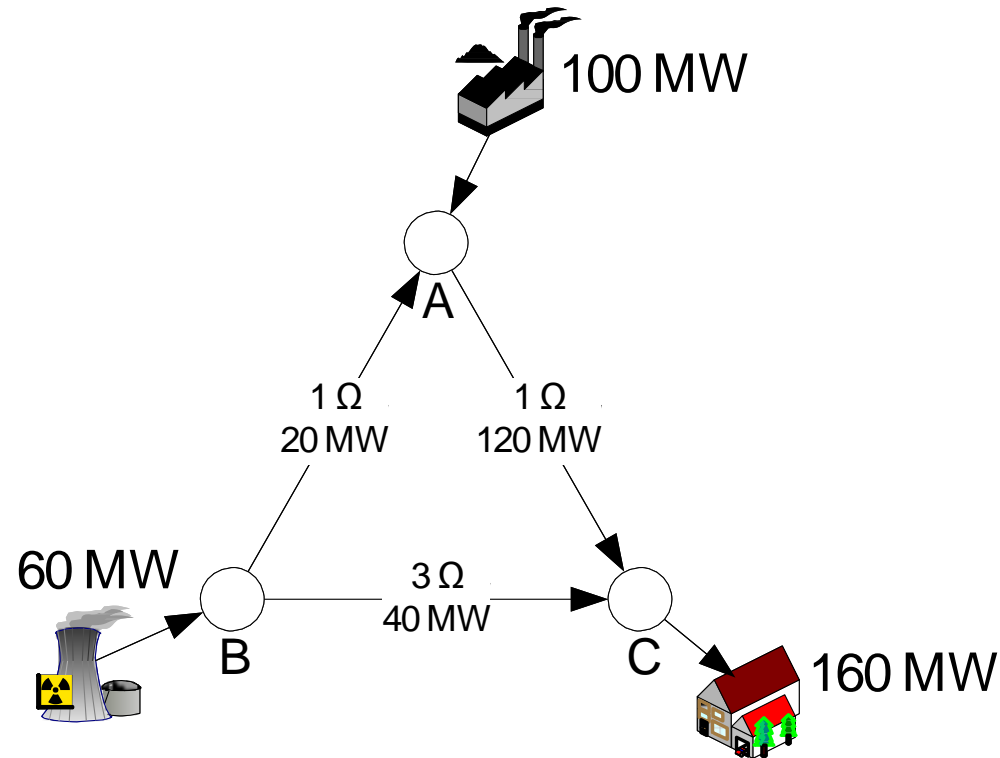
- **Kirchhoff:** het behoud van elektrische stroomsterkte. Deze wet bepaalt dat de som van de stroomsterktes die naar een node toe gaan gelijk is aan de som van de stroomsterktes die van de node weglopen.
- Klopt dit voor elke node?
- Waarom verdeelt de stroom zich zo over de routes?



Verdeling van de stroomsterkte

Ingrediënten:

- **Ohm:** Spanningsverlies is gerelateerd aan weerstand
- $\Delta U_{AC} = I_{AC} R_{AC}$
- **Kirchhoff:** De som van de potentiaalverschillen rondom een gesloten circuit is 0.
- **Afleiding:** verdeling hangt af van de weerstanden. Zie webdictaat en werkcollege



Werkcollege elektriciteitstransport

- Bestudeer de pagina's over elektriciteitstransportanalyses
- Beantwoord de volgende vragen:
 - Wat is het maximumvermogen bij zogenaamde 'krachtstroom'?
 - Waarom is er gekozen voor wisselspanning voor in huis?
 - Welke hoogspanningsniveaus (voltages) worden gebruikt in Nederland? Kun je vinden waarom deze verschillende niveaus worden gehanteerd?
 - Probeer uit te zoeken hoeveel stroomverlies optreedt over 1 kilometer hoogspanningskabel in Nederland. Laat zien wat je waar hebt gevonden.
 - Bereken de relatieve verliezen van de hoogspanningsniveaus in Nederland. Doe dat voor elke combinatie van hoogspanningsniveaus.