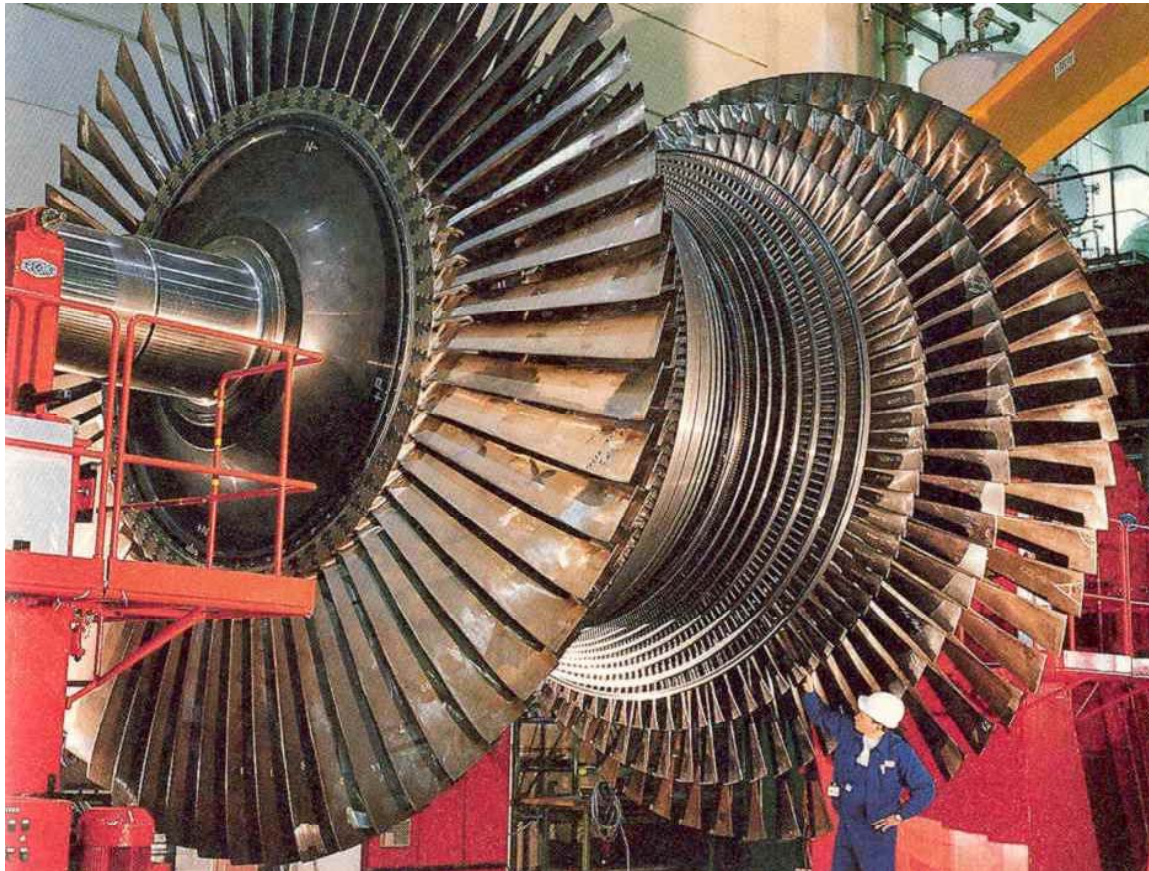


DEEL III

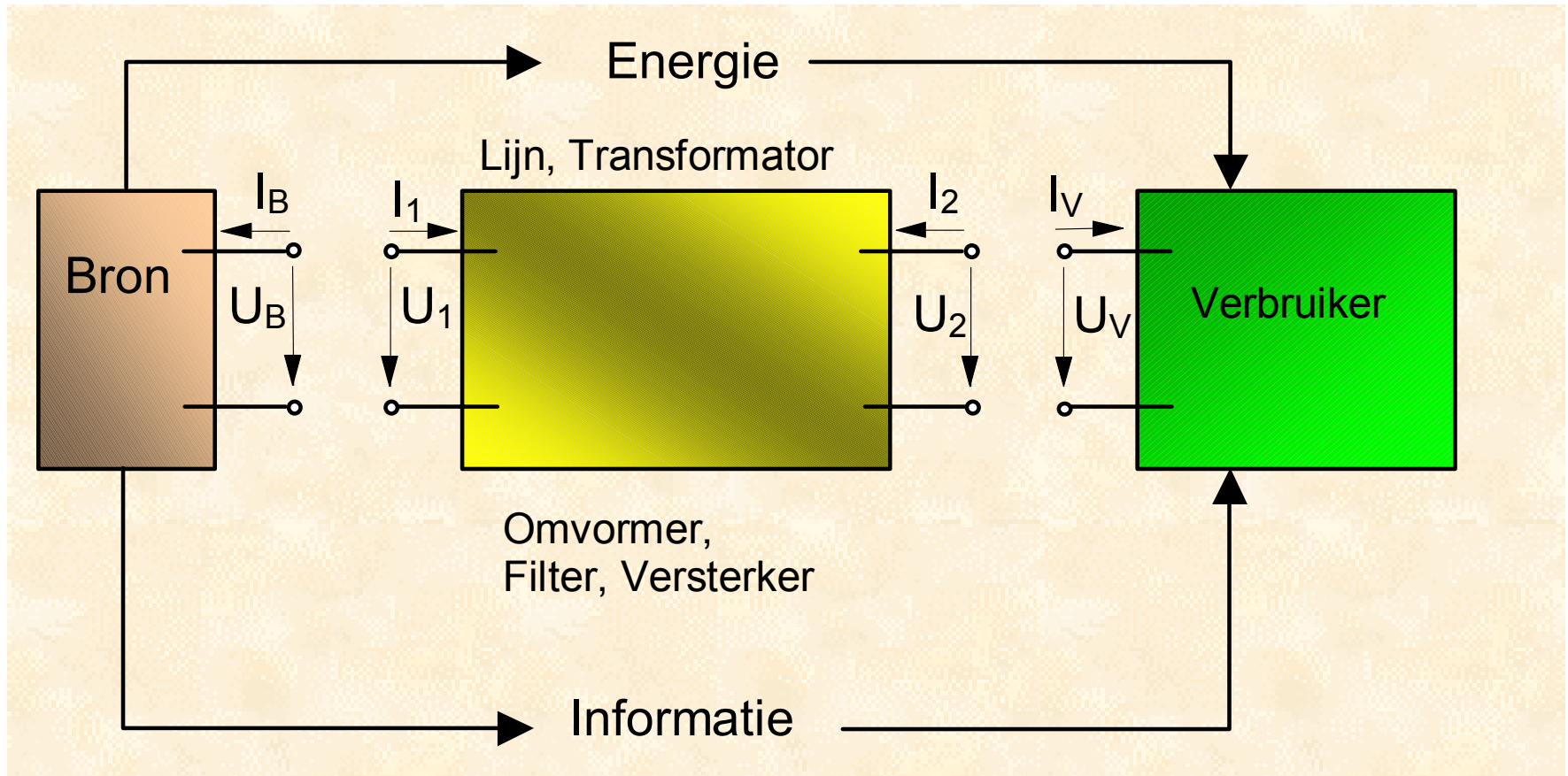
Elektrisch energiesysteem



Deel 3 Elektrische energiesystemen

Hoofdstuk 1

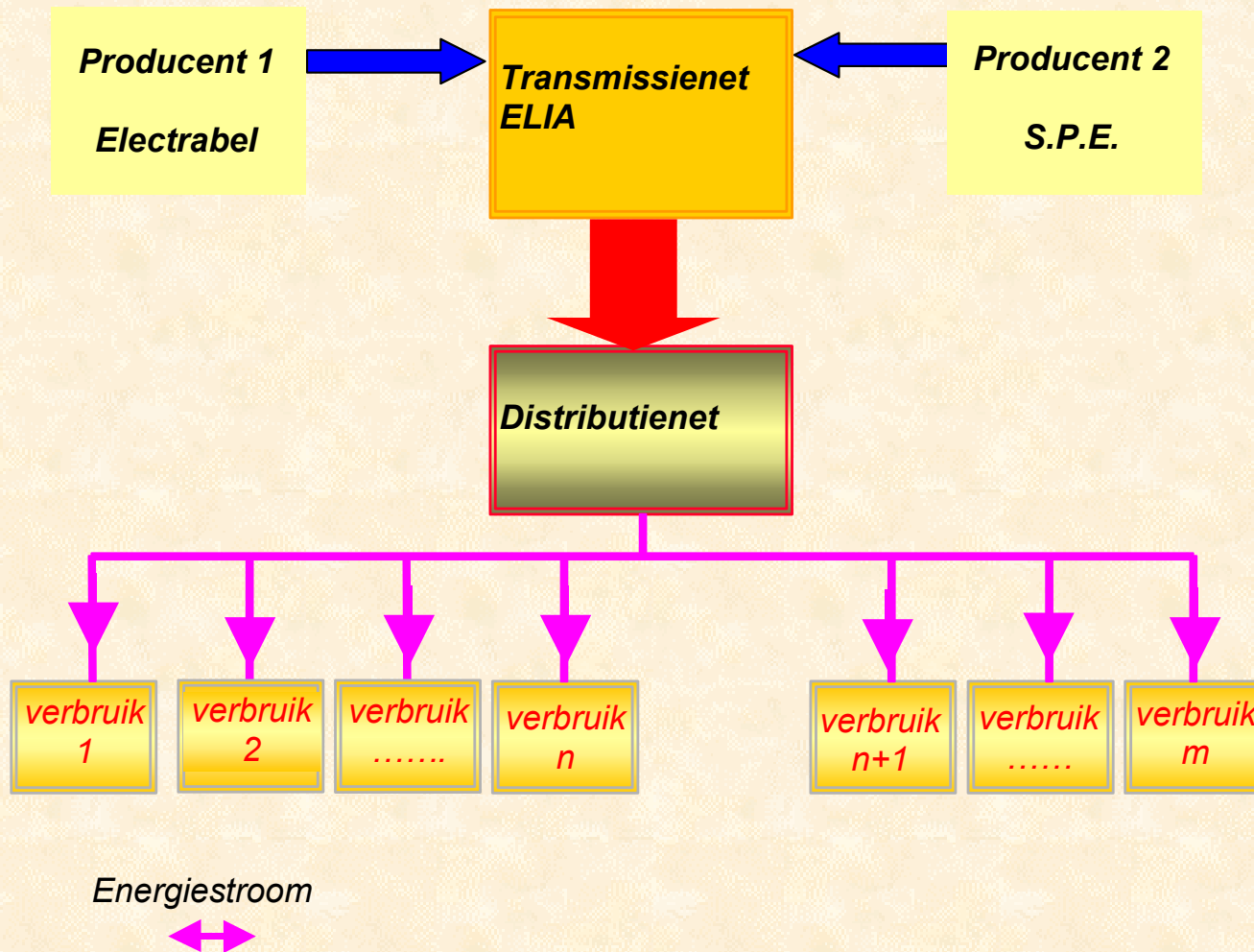
GLOBAL ELEKTRICITEITS- SYSTEM



GLOBAL ELEKTRICITEITSSYSTEEM

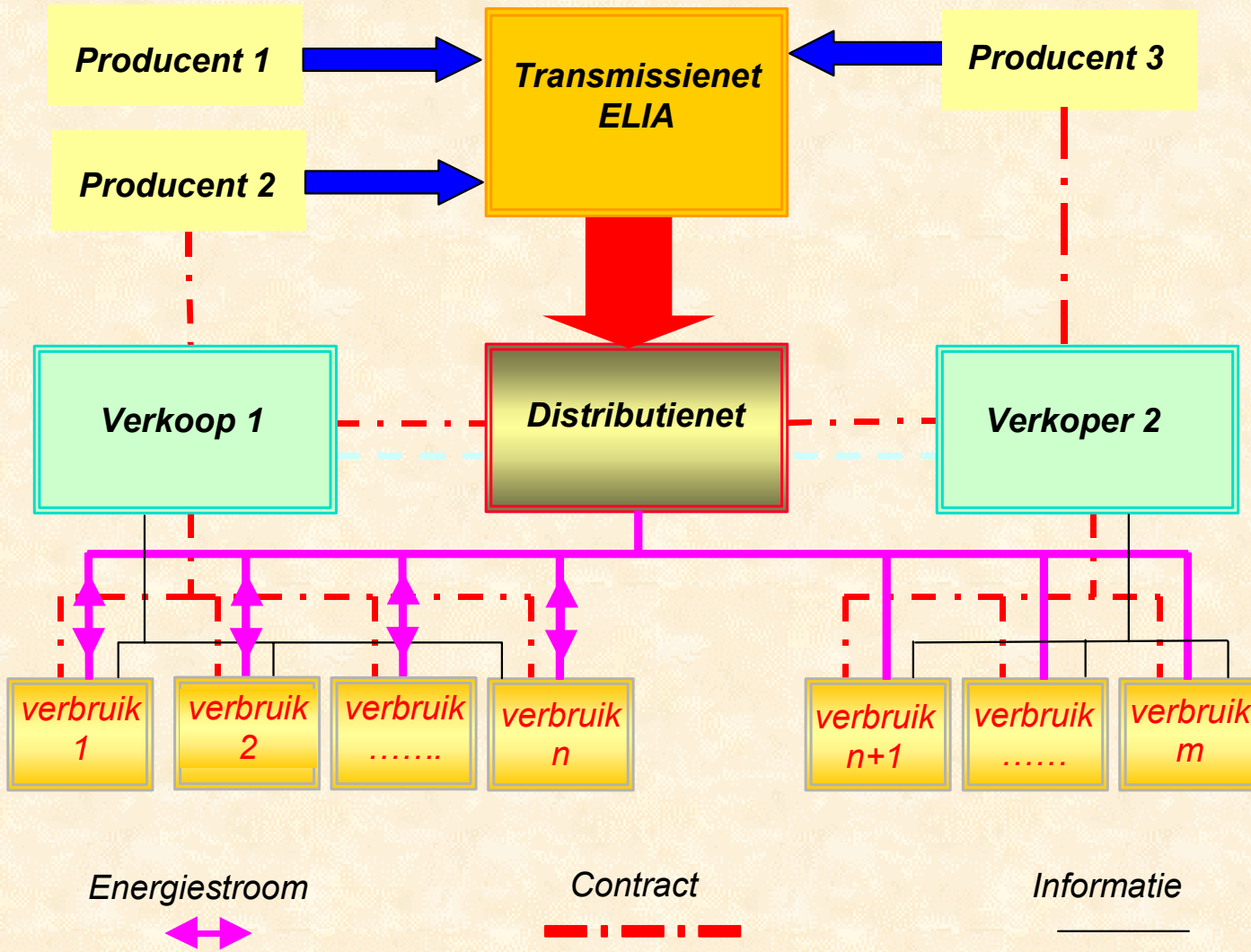
oud systeem

- Overzicht van het systeem



nieuw systeem

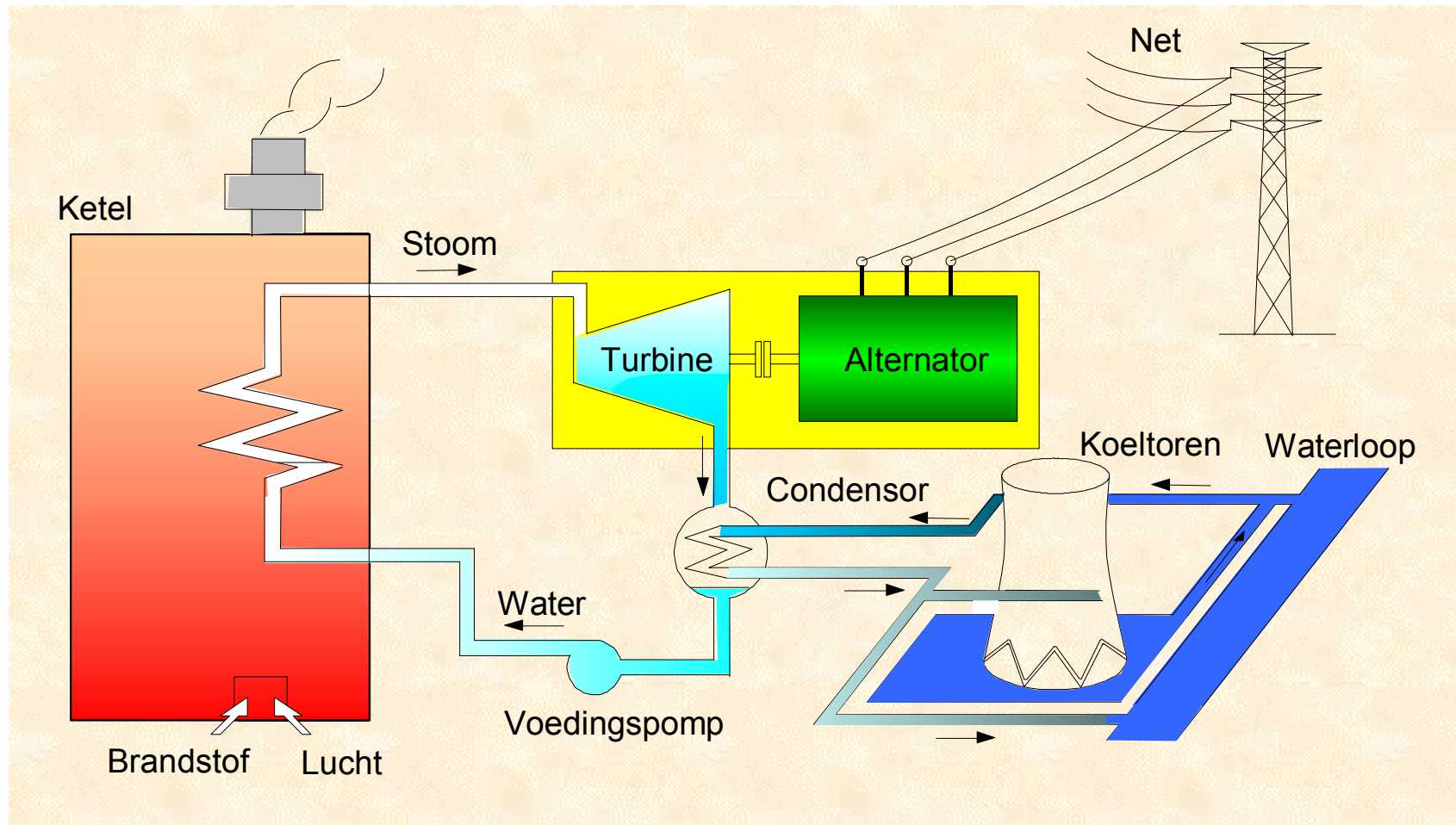
- Overzicht van het systeem

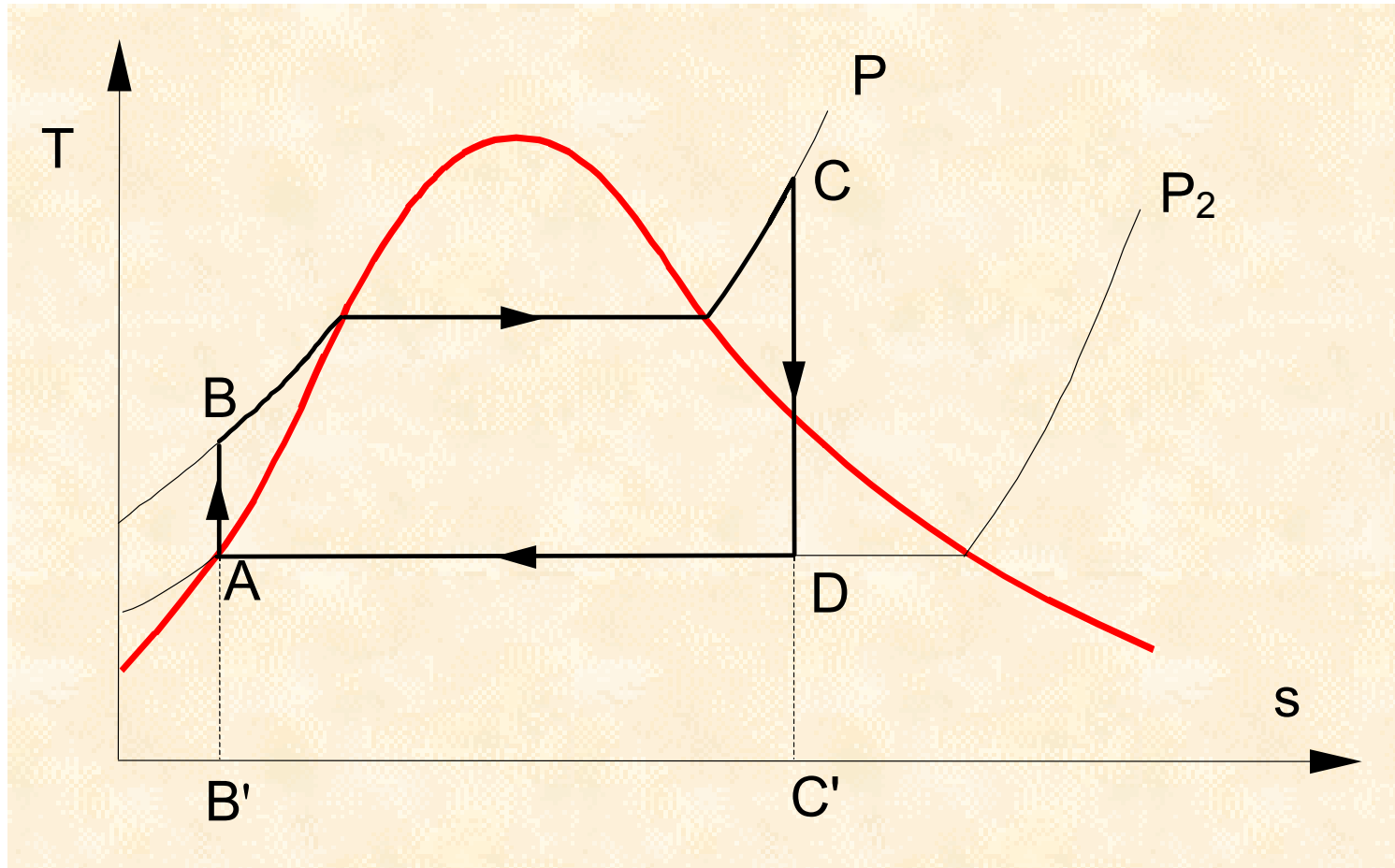


HOOFDSTUK 2

ELEKTRISCHE CENTRALES

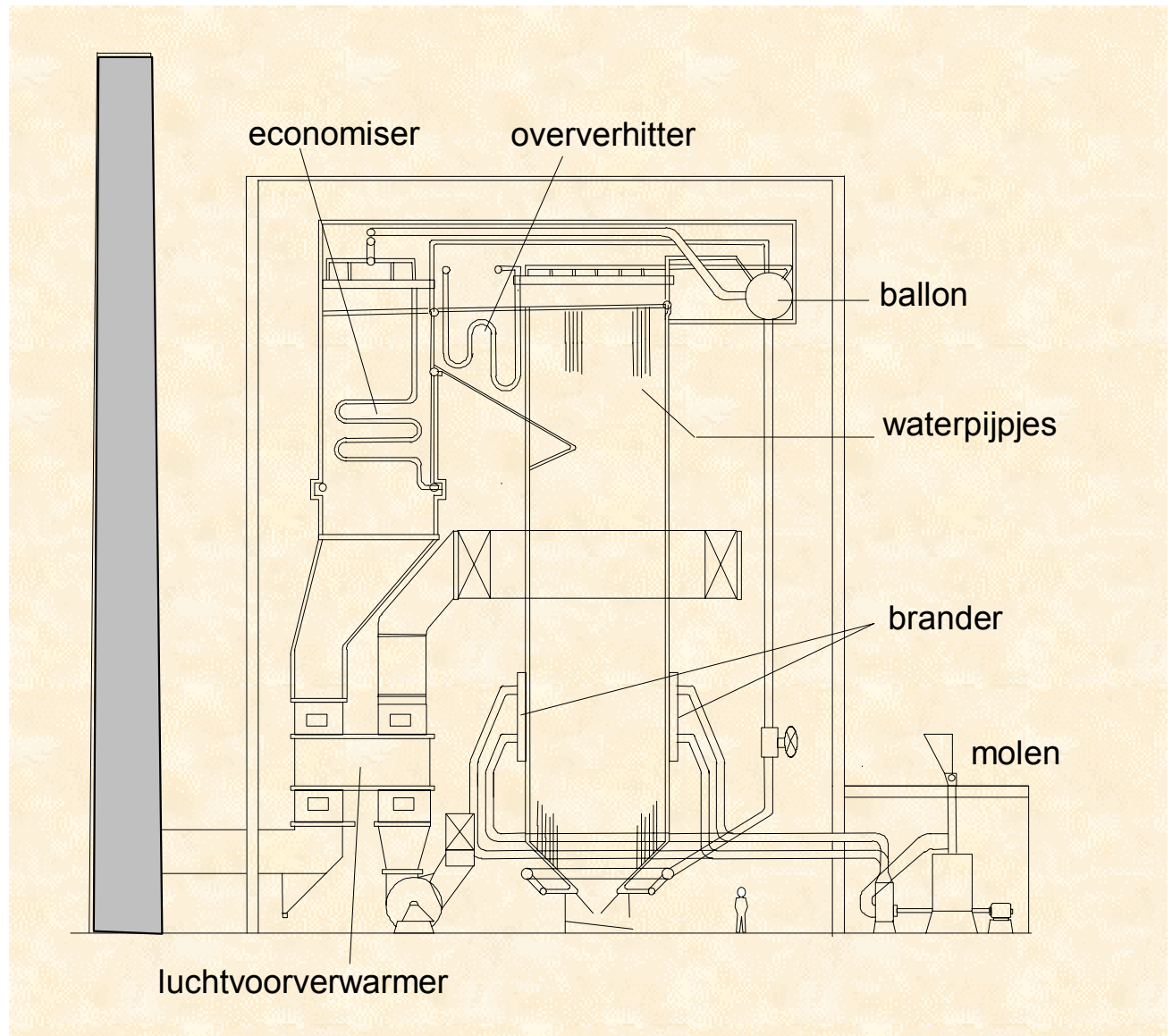
- Klassieke thermische centrale met stoomcyclus





figuur 2.2

Vereenvoudigde Rankine-cyclus in het $T-s$ diagram



figuur 2.3

Verbrandingsketel

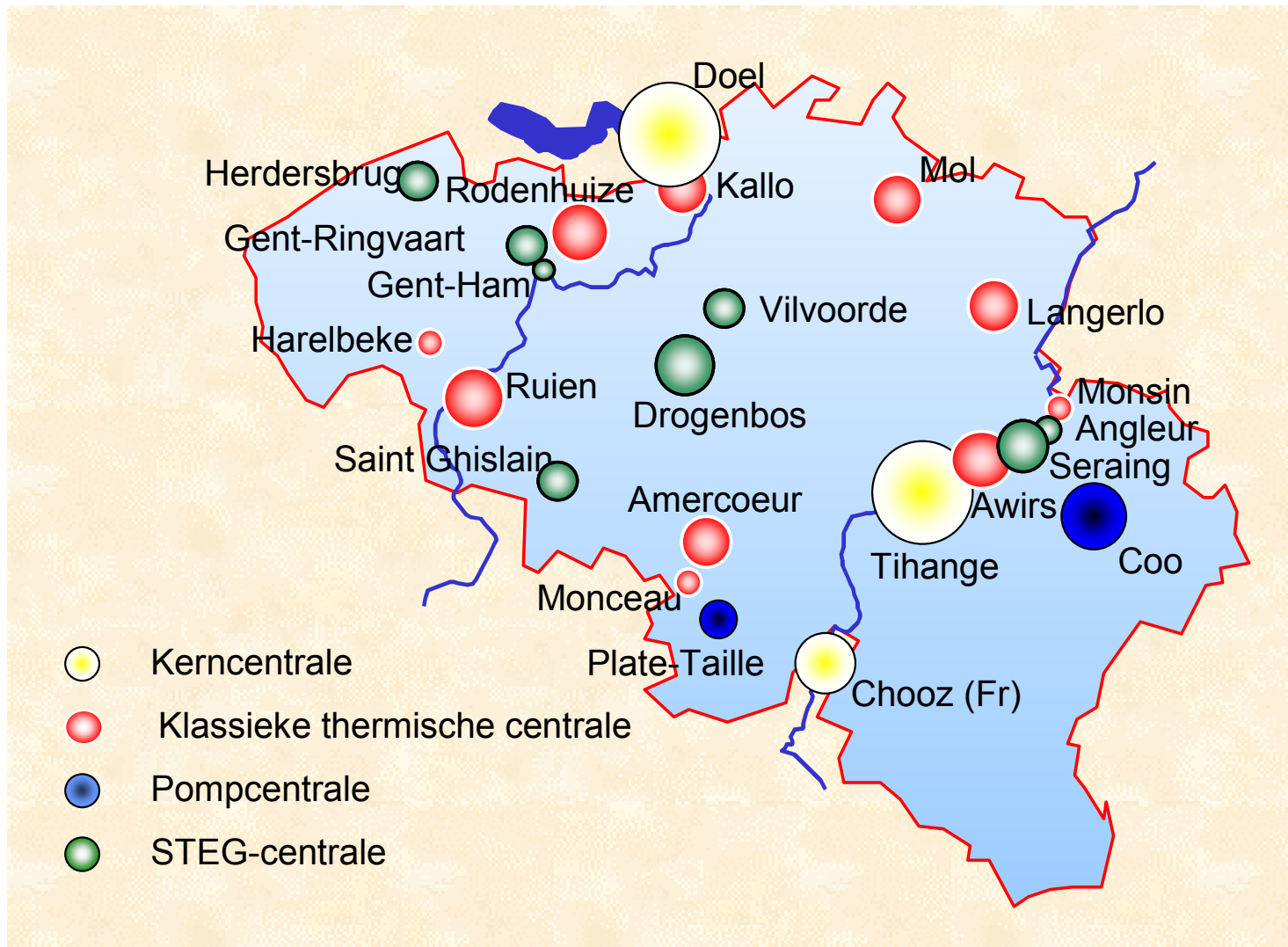
tabel 2.1

Stoomkarakteristieken van een typische klassieke centrale

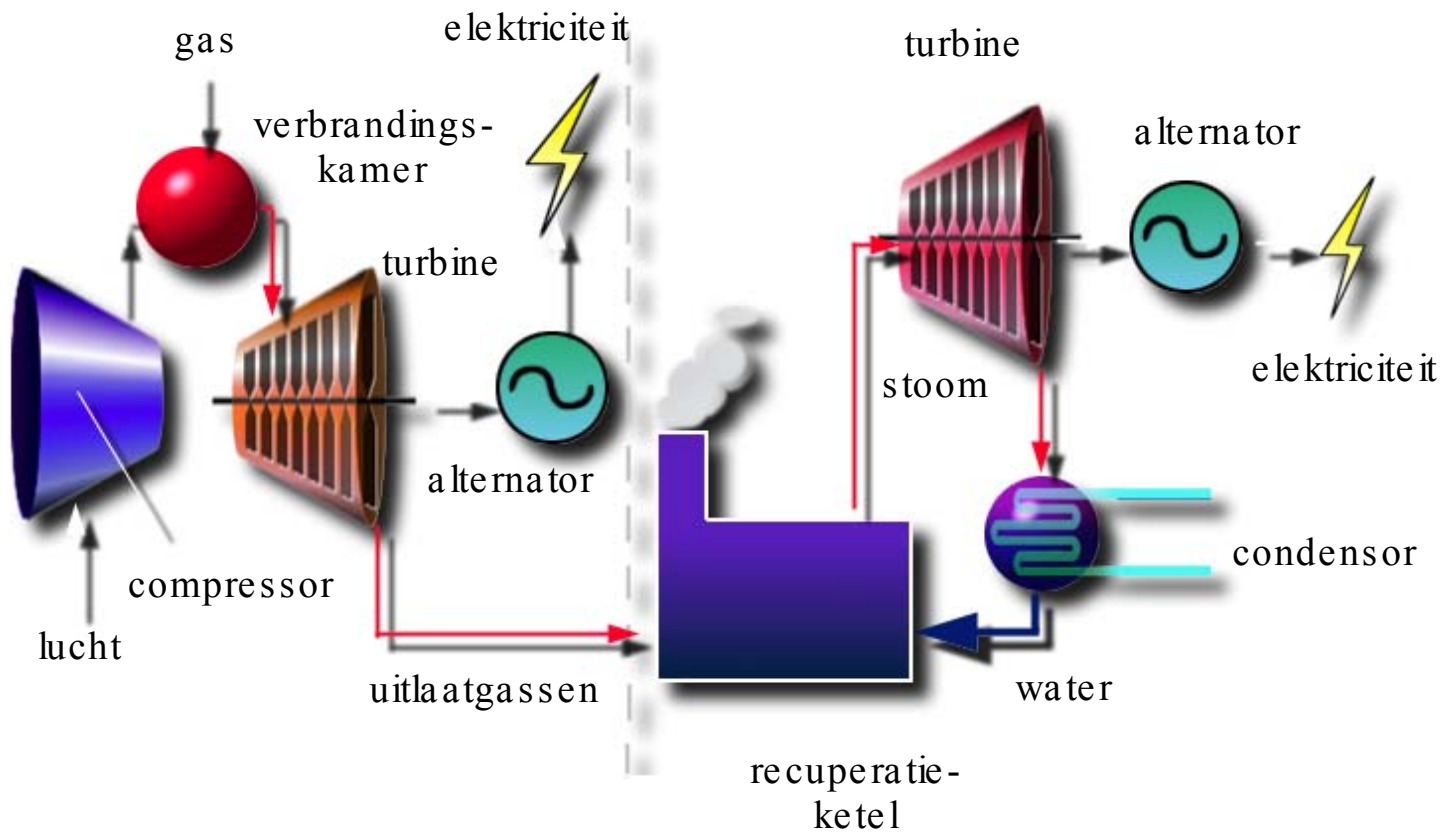
	Ingang turbine	Uitgang turbine zonder condensor	Uitgang turbine met condensor
Druk p [bar]	125	1	0,06
Temperatuur [T °C]	540	100	35
Enthalpie[kJ/kg]	3450	2390	2030

Belangrijkste klassieke productiegroepen in België en hun netto ontwikkelbaar vermogen (bron Electrabel Jaarverslag 2001)

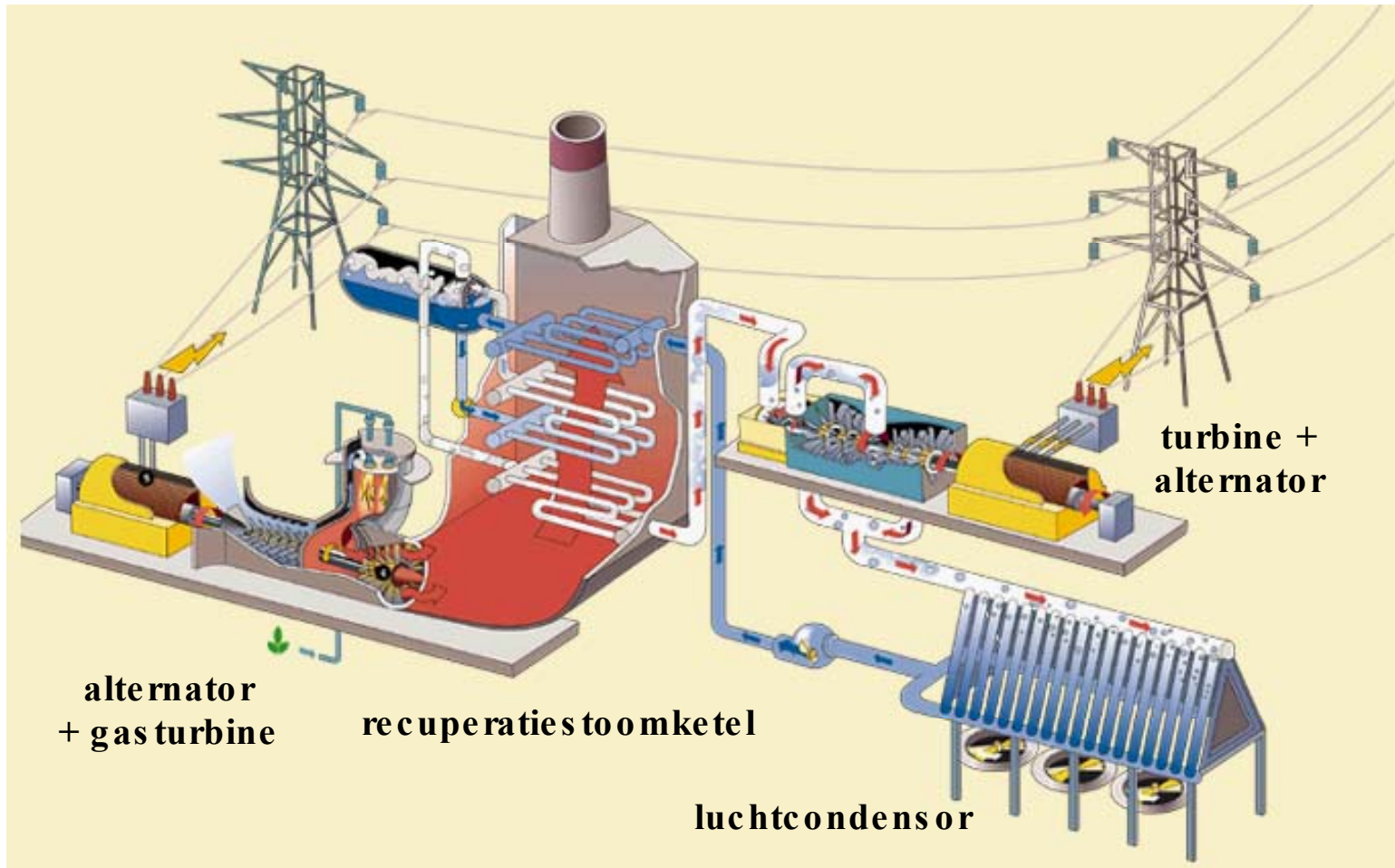
Centrales	Maximaal ontwikkelbaar nettovermogen in MW
Amercoeur	259
Awirs	416
Kallo	557
Langerlo	634
Mol	255
Monceau	92
Rodenhuize	525
Ruien	882



- *Belangrijkste centrales in België*

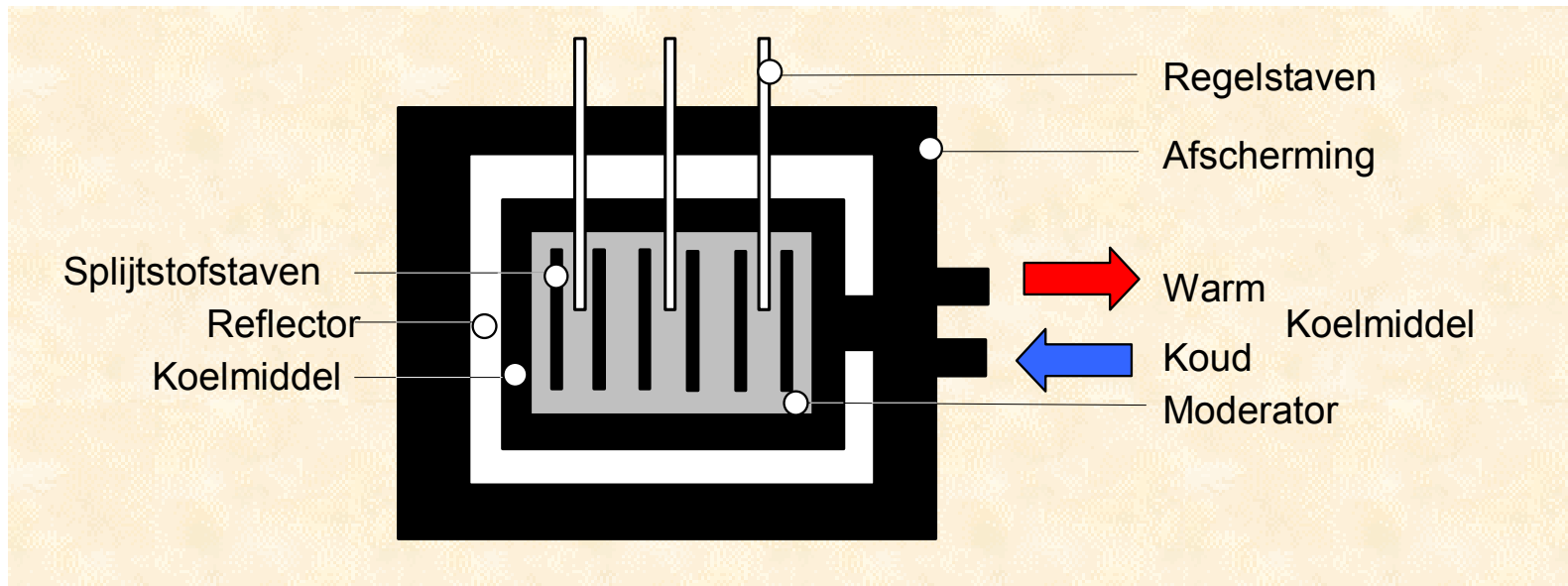


- *Schema van een STEG-centrale*

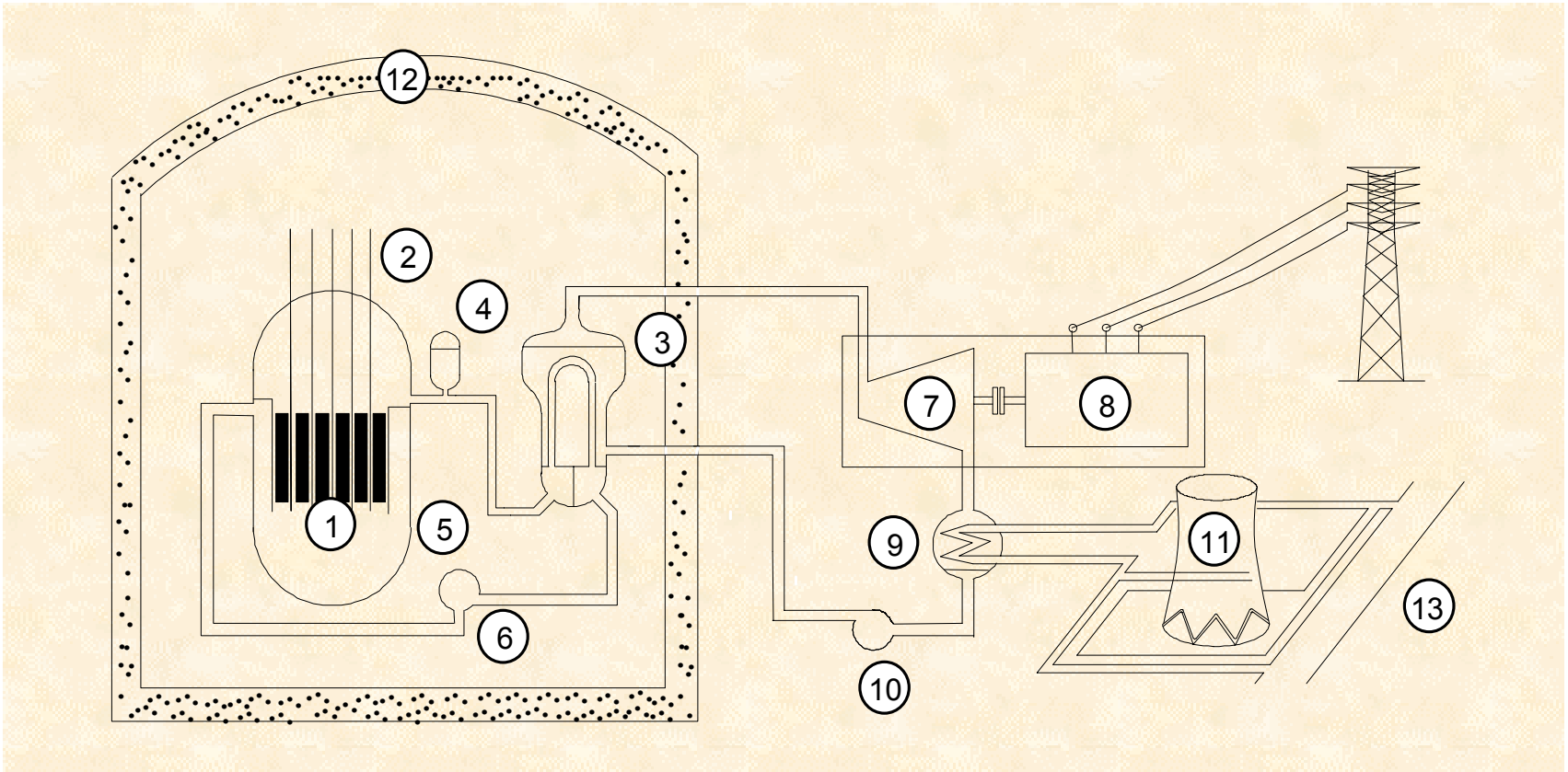


- *STEG-centrale, met luchtcondensor*

Nucleaire thermische centrale



Werkingssprincipe – Elementen van de centrale
Basiscomponenten van een kernreactor

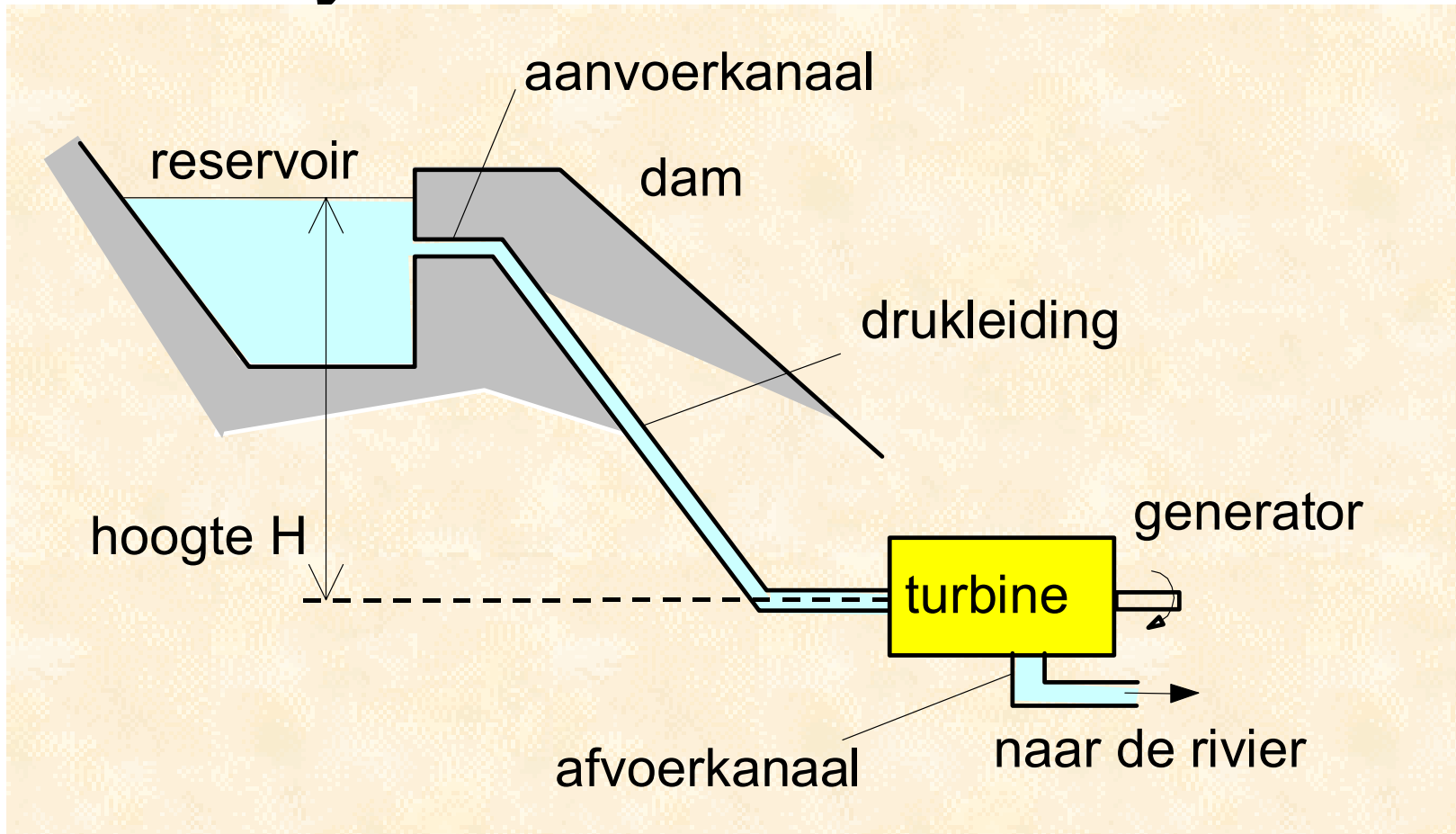


- *Principeschema van een PWR-centrale*

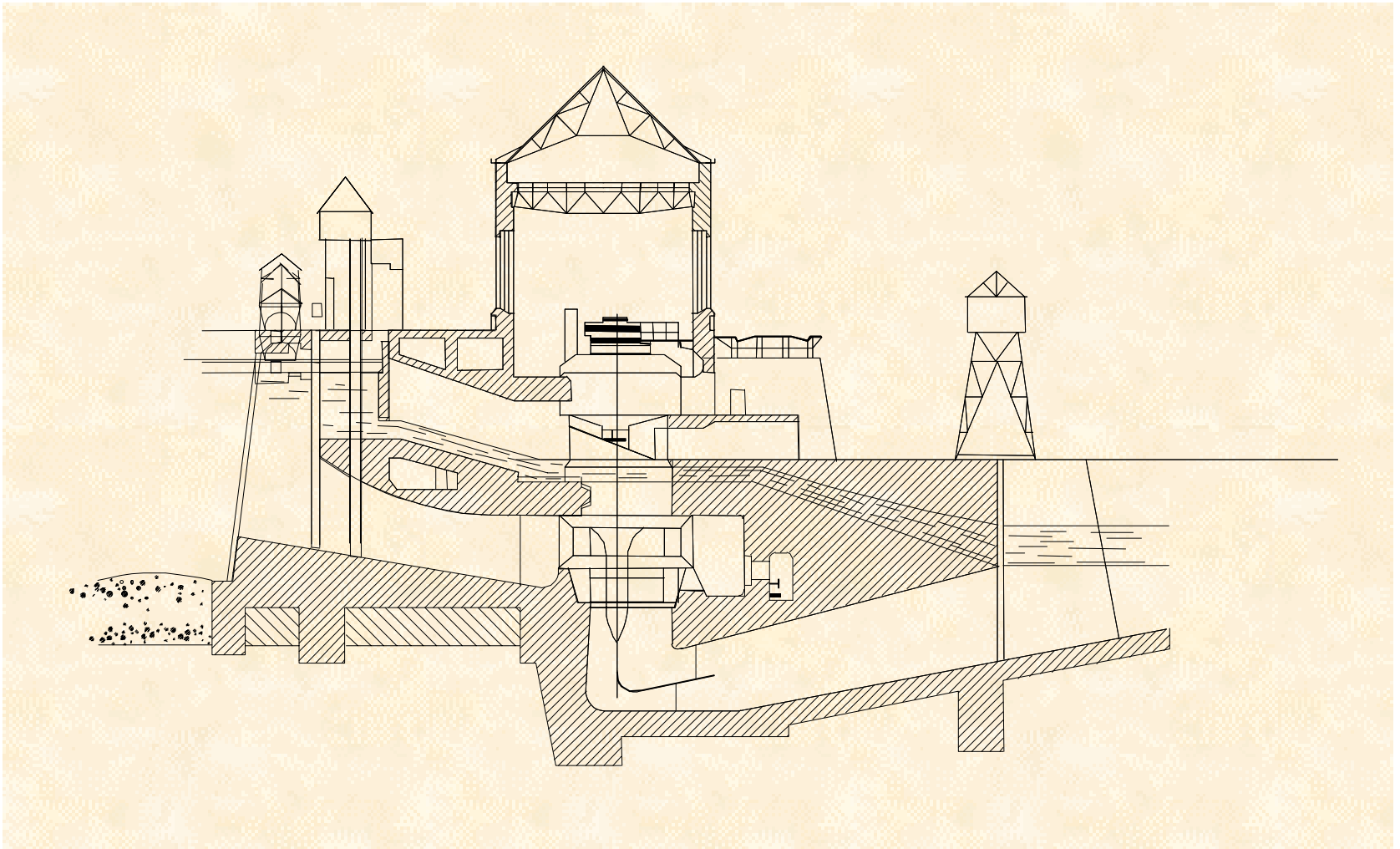
Centrale	Max. ontwikkelbaar vermogen in MW	Opmerkingen
Doel 1 + 2	2 x 392.5	Tweelingcentrale
Doel 3	1006	
Doel 4	985	
Tihange 1	962	50% Belgisch, 50% Frans
Tihange 2	985	
Tihange 3	1015	
Chooz B1 + B2 (F)	$1/4 \times 3000 = 750$	Vermogen ter beschikking gesteld van CPTÉ **
Tricastin (F)	$1/8 \times 3660 = 457,6$	Bevoorrading EURODIF (F) 12,5% Belgisch

- *Overzicht van het Belgische kernpark en participaties in buitenlandse installaties*

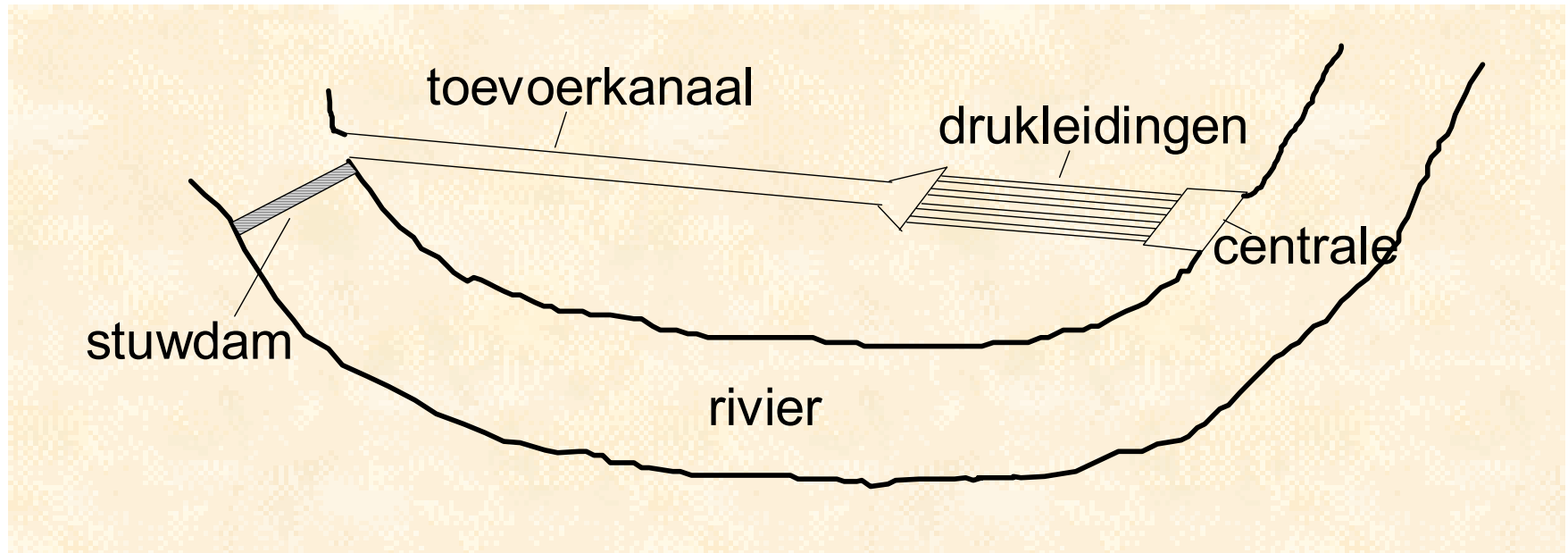
Hydraulische centrales



- *Bergcentrale*



- *Vlaktecentrale*



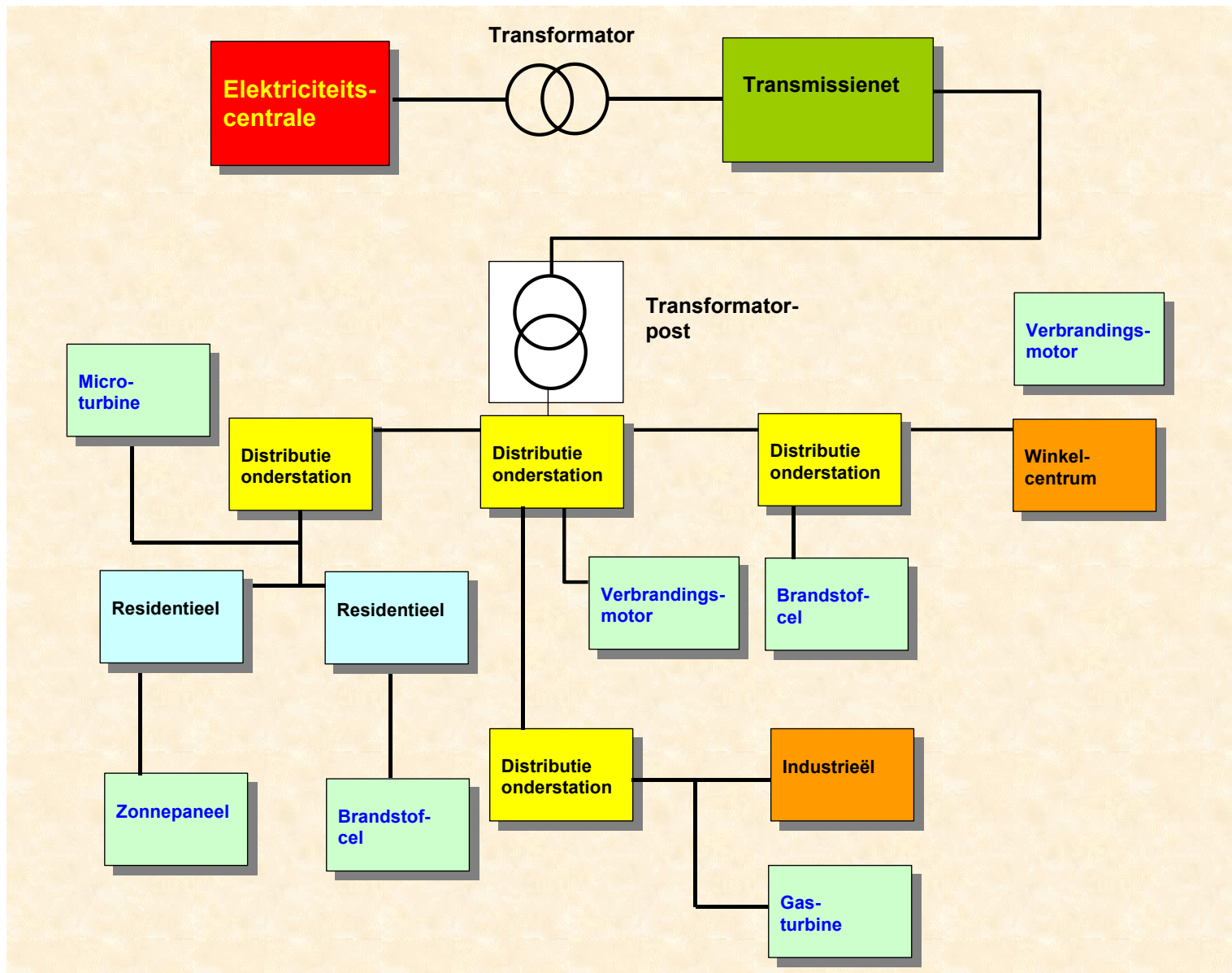
- *Vlaktecentrale met relatief groot verval dankzij een bocht in de rivier*

Recuperatie en hernieuwbare energievormen

- warmte gegenereerd uit afvalverbrandingsovens, terrils, biomassa of hoogovengas
- wervelbedcentrale
- gistingsgassen
- windenergie
- off-shore windenergie
- fotonvoltaïsche

HOOFDSTUK 3

Gedistribueerde Energieopwekking



Overzichtsdiaagramma van centrale en gedistribueerde energie-opwekking

- Terminologie
 - **Distributed Generation**
 - **Dispersed Generation**
 - **Distributed Power**
 - **Distributed Energy Sources**
 - **Decentralised Power**

Voordelen en barrières

Voordelen

- Vermijdt transmissie- en distributie kosten
- ‘Afvalwarmte’ kan nuttig aangewend worden → warmtekrachtkoppeling (WKK).
- Kan op een gecontroleerde wijze geproduceerd worden
- Eenvoudig installatie
- Het teveel aan elektrische energie of warmte kan men verkopen
- Betrouwbaarheid en “power quality” verhogen

Barrières

- Concurreren met de centraal geproduceerde elektriciteit
- Veel verschillende standaarden en aansluitregels
- Investeringskosten zijn hoog
- Voldoen aan lokaal geldende milieuregels (potentieel belastend voor het milieu)

Technologieën

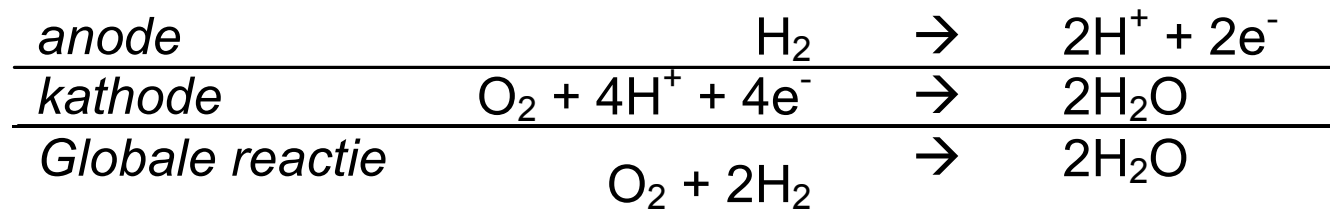
Opwekking op basis van brandstoffen

- Zuigermotoren
- Gas- en microturbines
- Brandstofcellen

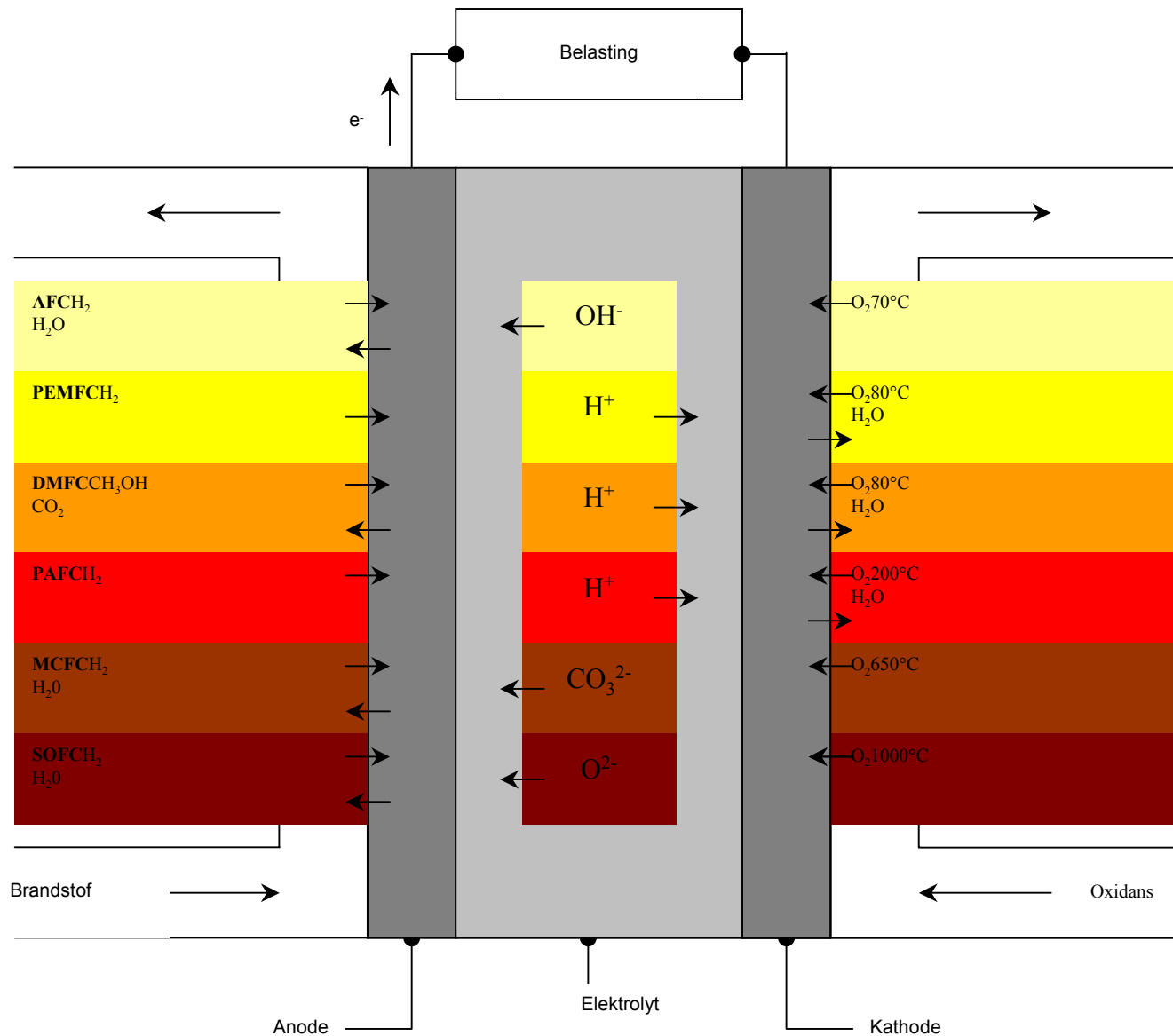


- Microturbine
(Capstone)

De chemische vergelijkingen van een brandstofcel



0



- Schema eenheidscel met reagentia voor de verschillende types brandstofcellen

Opwekking op basis van hernieuwbare energie

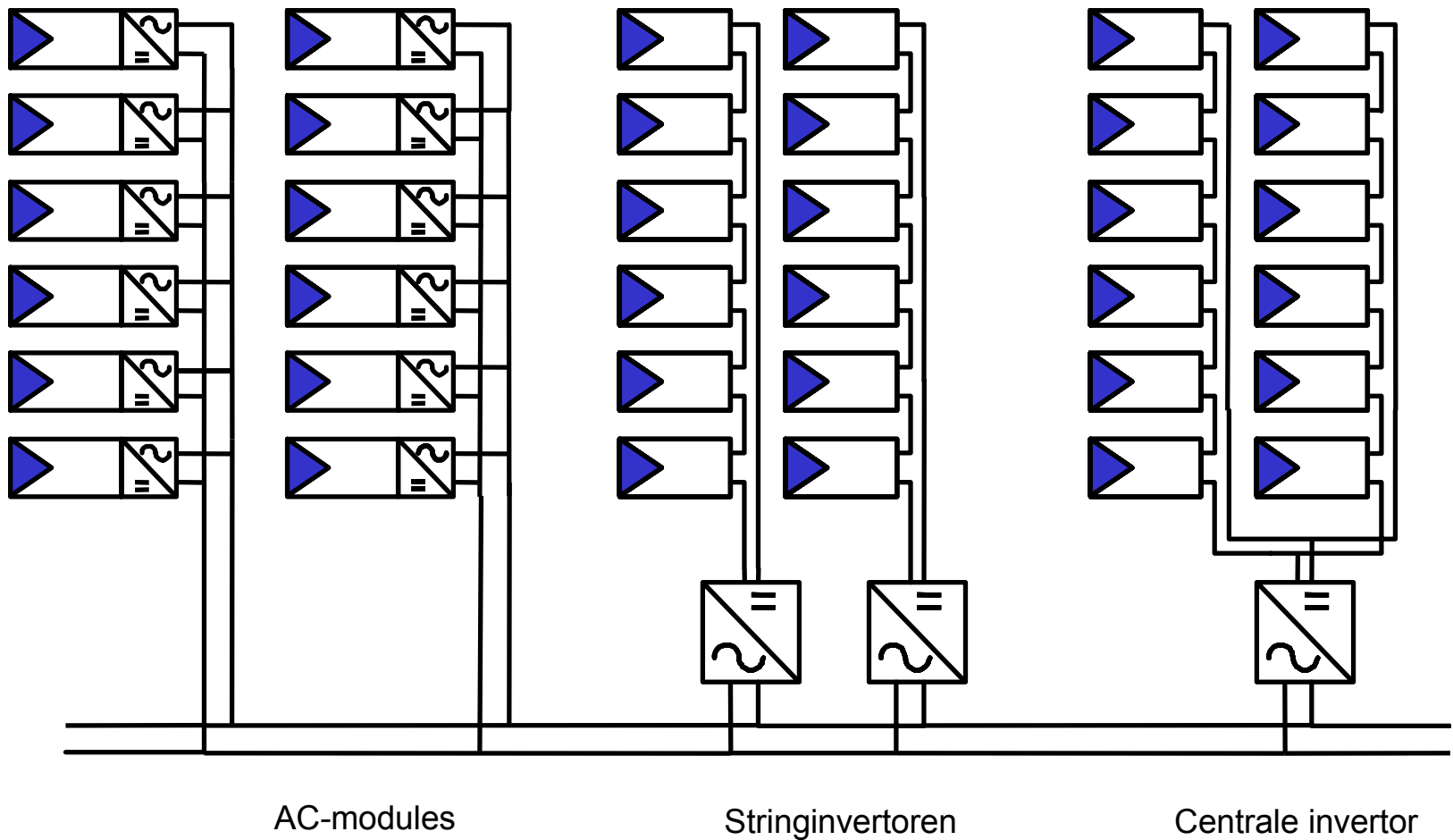
- Fotovoltaïsche systemen
- Windturbines
- Kleine waterkrachteenheden
- Warmte-Kracht-Koppeling (WKK)

Fotovoltaïsche systemen → Indeling van de toepasbare celtechnologieën

Materiaal		Structuur	Productietechnologie
Silicium (Si)		monokristallijn (m-Si)	wafers
		polykristallijn (p-Si)	
		amorf (a-Si:H)	dunne film
Koper-indium-di-selenide (CuInSe ₂) of (CIS)	III-V-verbindingen	polykristallijn	dunne film
Cadmium-telluride (CdTe)			
Gallium-arsenide (GaAs)			
Organisch materiaal (foto-elektrochemische cel)		amorf	



Dakgeïnstalleerde zonnencelinstallatie K.U.Leuven (Foto ELECTA)

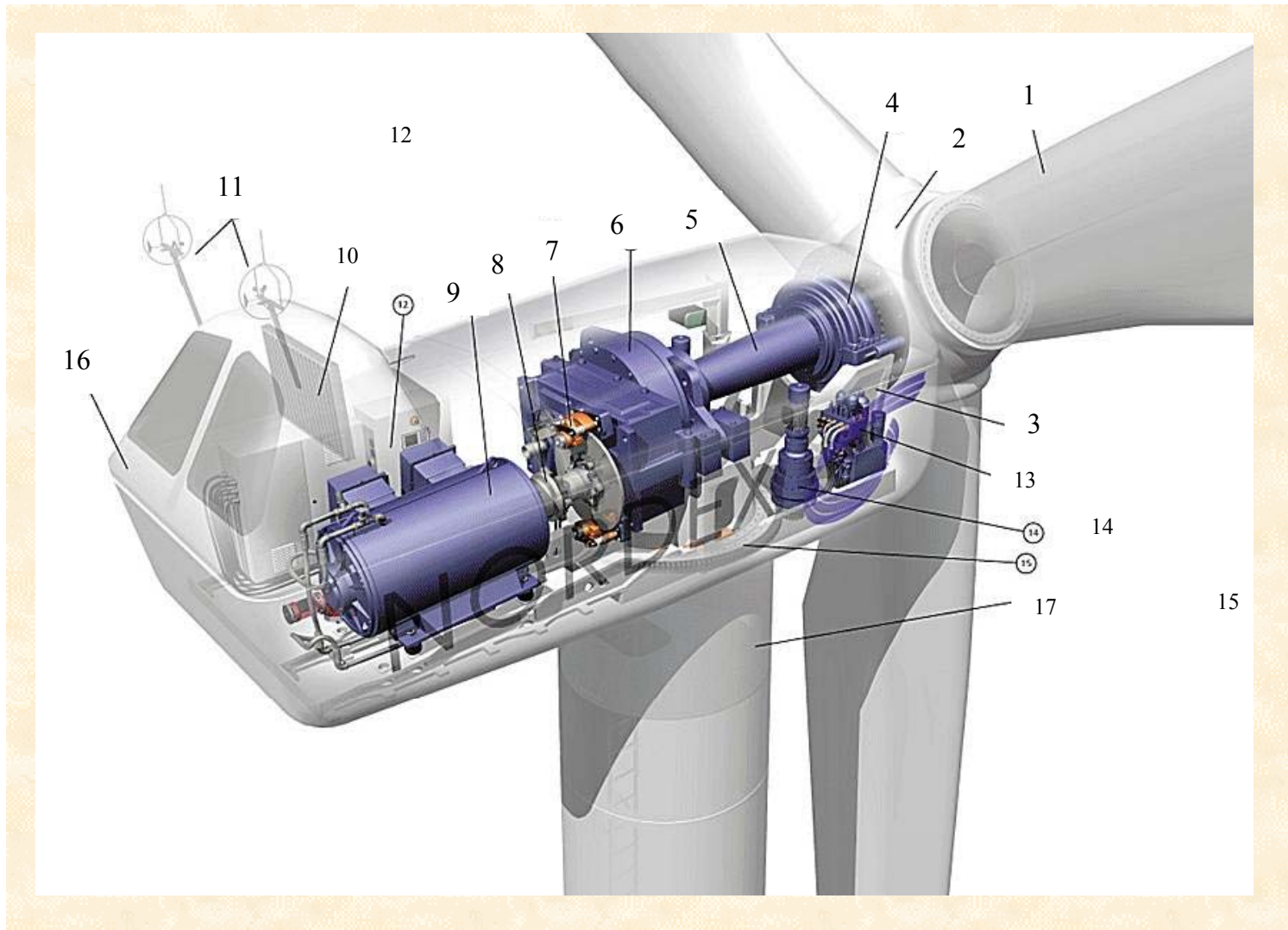


Fotovoltaïsche systeemconfiguraties (zonnecelinstallatie K.U.Leuven)

	AC-modules	Stringinverter	Centrale inverter
Inspanning voor DC-installatie	Geen DC-installatie	Geen DC-aansluitkast	Complexe DC-installatie en beveiliging
DC-spannings-niveau	34 – 70 V	170 – 550 V	65 – 550 V
DC-verliezen	Verwaarloosbaar	~ 1 % door korte DC-connecties, hoge systeemspanning en ontbreken van stringdiodes	~ 1 – 5 %, afhankelijk van systeemspanning en afstanden
Inverterverliezen	> 8 %	> 4 %	> 6 %
Generatorgedrag bij niet-homogene irradiantie-verdeling	Bijkomende verliezen door beschaduwing of variërende moduleoriëntatie minimaal	Bij geschikte schakeling bijkomende verliezen door beschaduwing of variërende moduleoriëntatie minimaal	Niet geschikt voor variërende moduleoriëntatie, bijkomende verliezen door beschaduwing afhankelijk van situatie en schakeling
Monitoring	Bij grote systemen moeilijk	Bij grote systemen moeilijk	Centraal, dus eenvoudig
Onderhoud en reparatie	Inverter soms moeilijk bereikbaar	Inverter soms moeilijk bereikbaar	Centraal, dus eenvoudig

Karakteristieke eigenschappen van systeemconfiguraties en toepasbare invertortypes

Windturbines



Torenkop van een 1000 kW-windinstallatie

$$P_{wind} = \frac{1}{2} \rho S v_{wind}^3$$

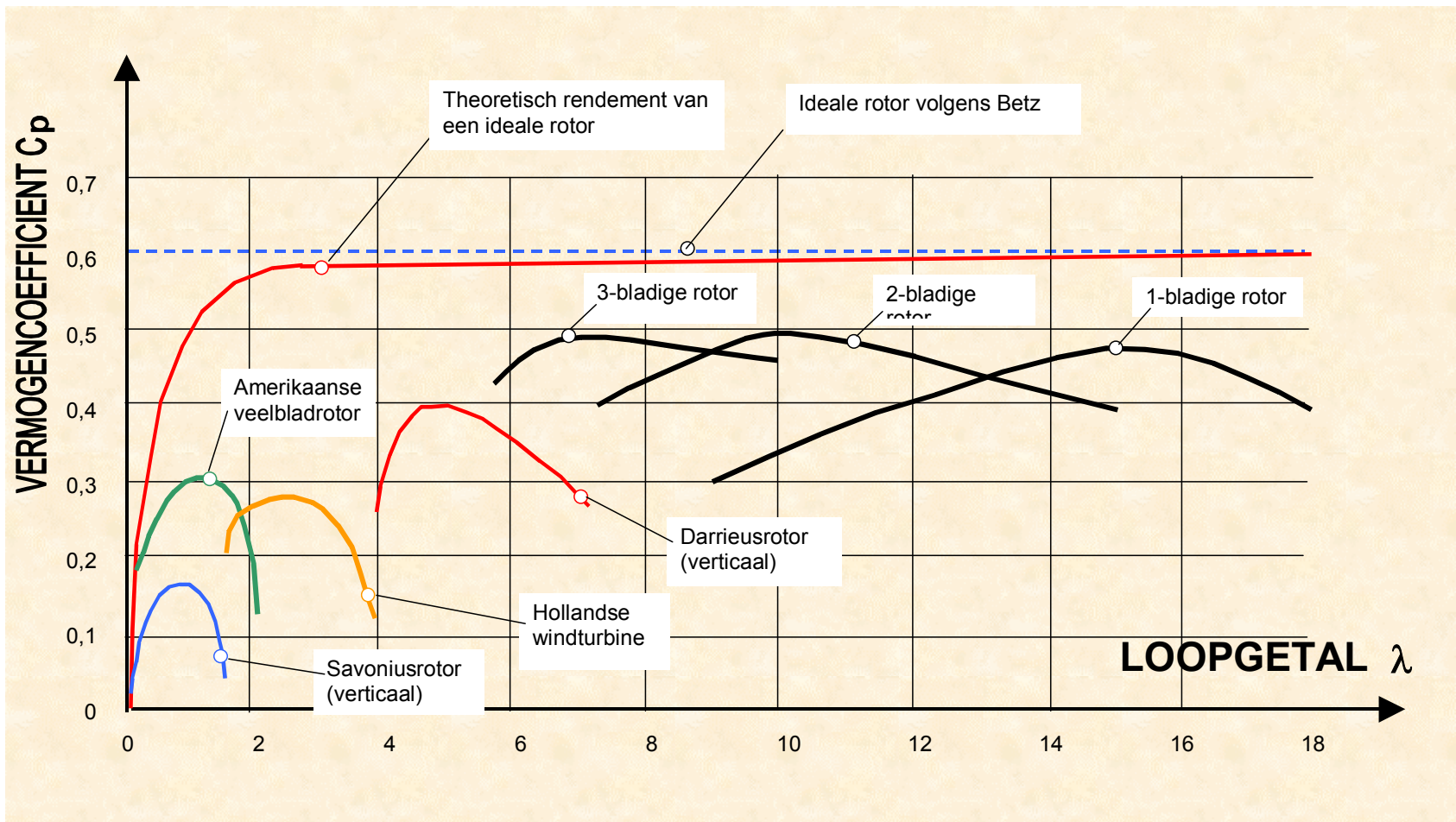
- De kinetische energie die per tijdseenheid een bepaalde oppervlakte doorstroomt

$$P_{turb} = \frac{1}{2} \rho C_p S_{rotor} v_{wind}^3$$

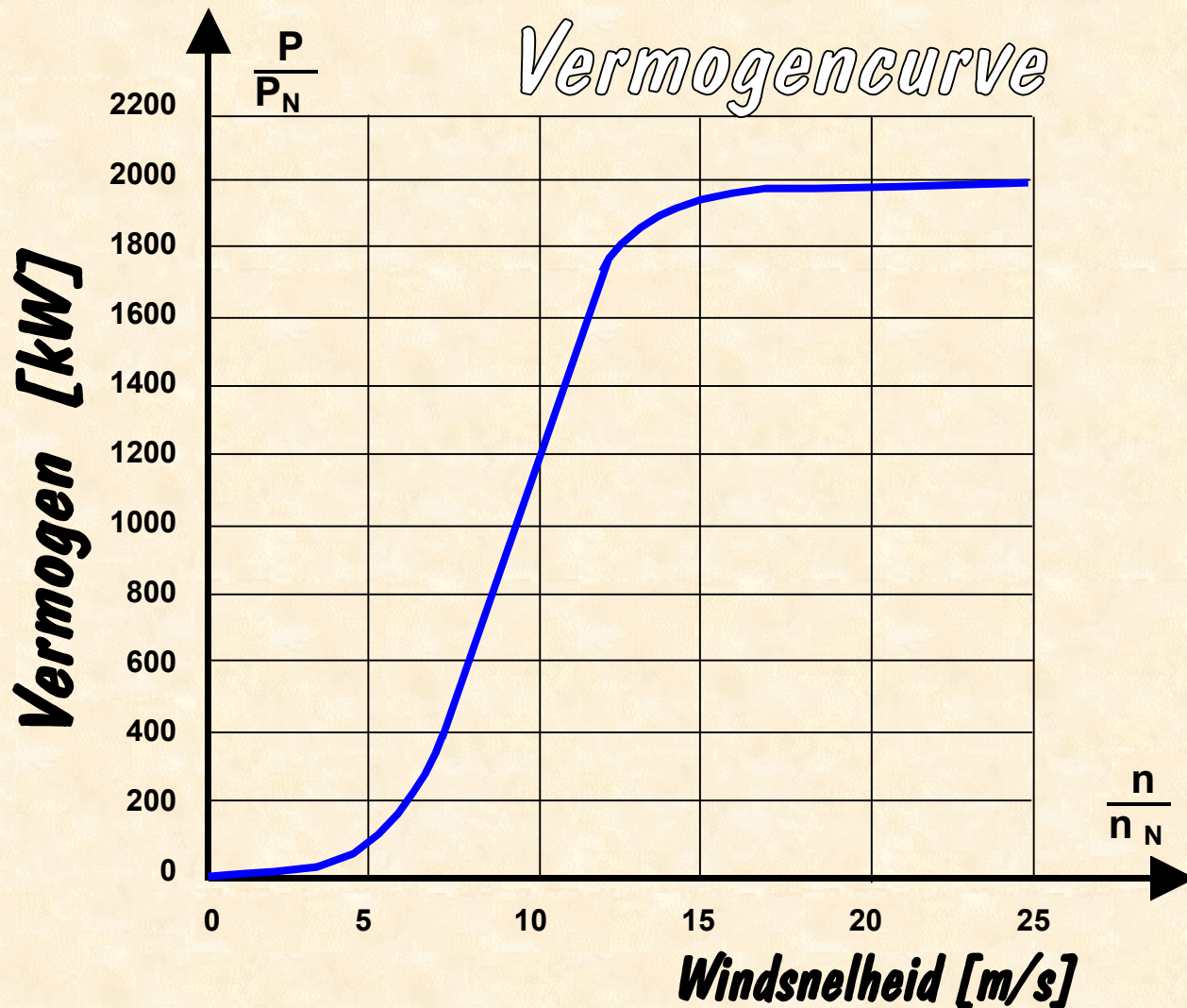
- Het mechanisch vermogen van een windturbine

C_p is de vermogencoefficient
Deze is afhankelijk van:

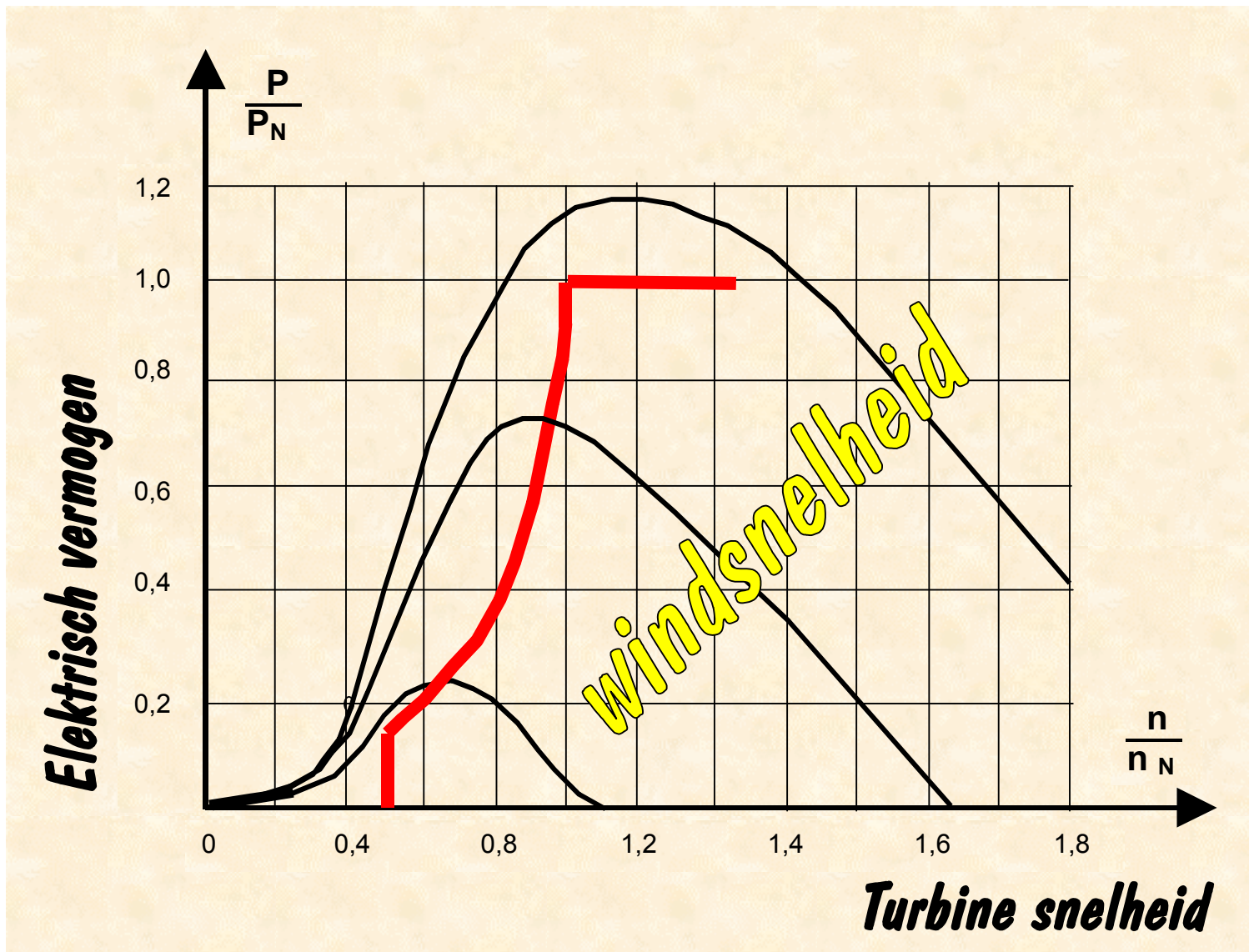
- de tipsnelheidsverhouding of het loopgetal λ
- de turbinebladhoek β (pitch)
- het type rotor



Vermogencoëfficiënt voor verschillende turbintypes



Vermogencurve van een 2 MW turbine (Bonus)



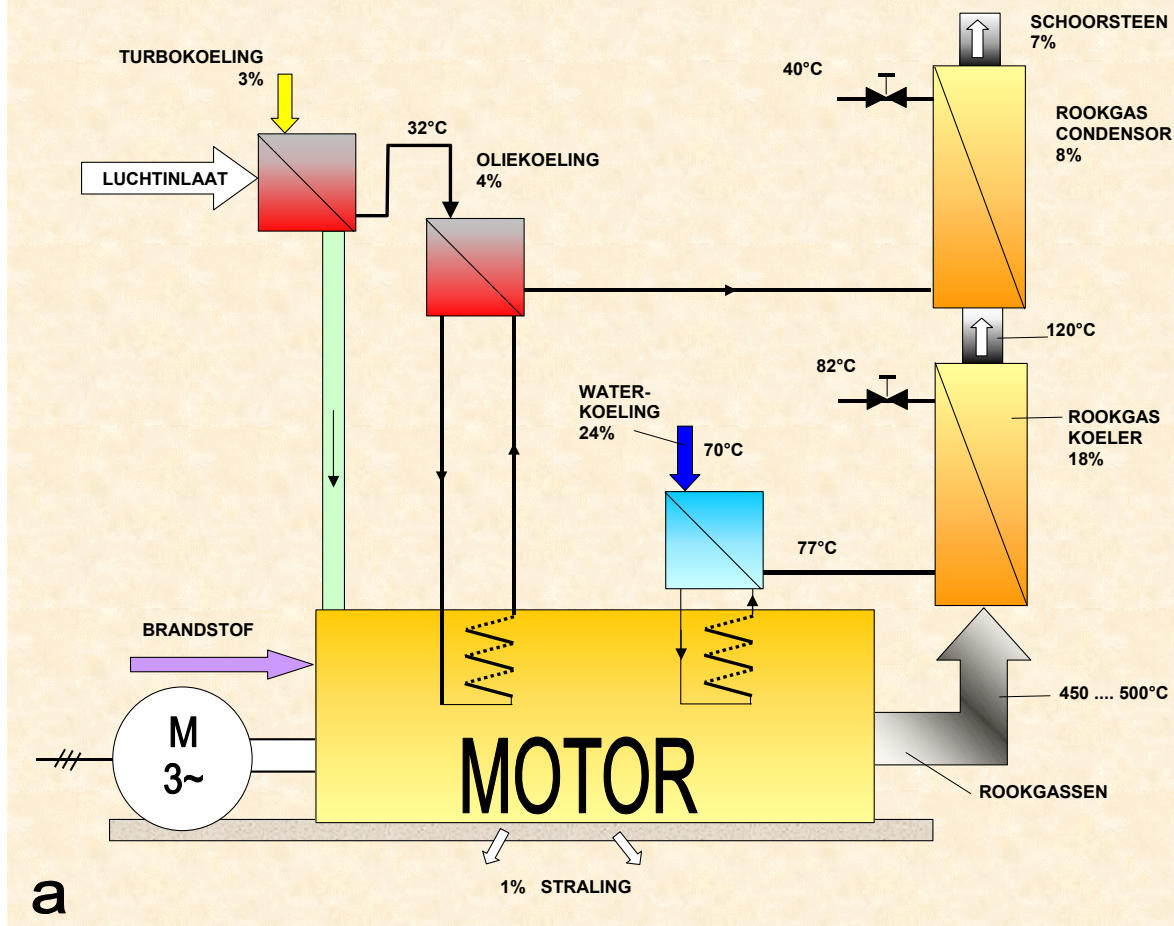
- Vermogenoutput in functie van toerental en windsnelheid



Windmolenpark in Altamont (Californië) met 100kVA generatoren

Warmte-Kracht-Koppeling (WKK)

WKK met verbrandingsmotor

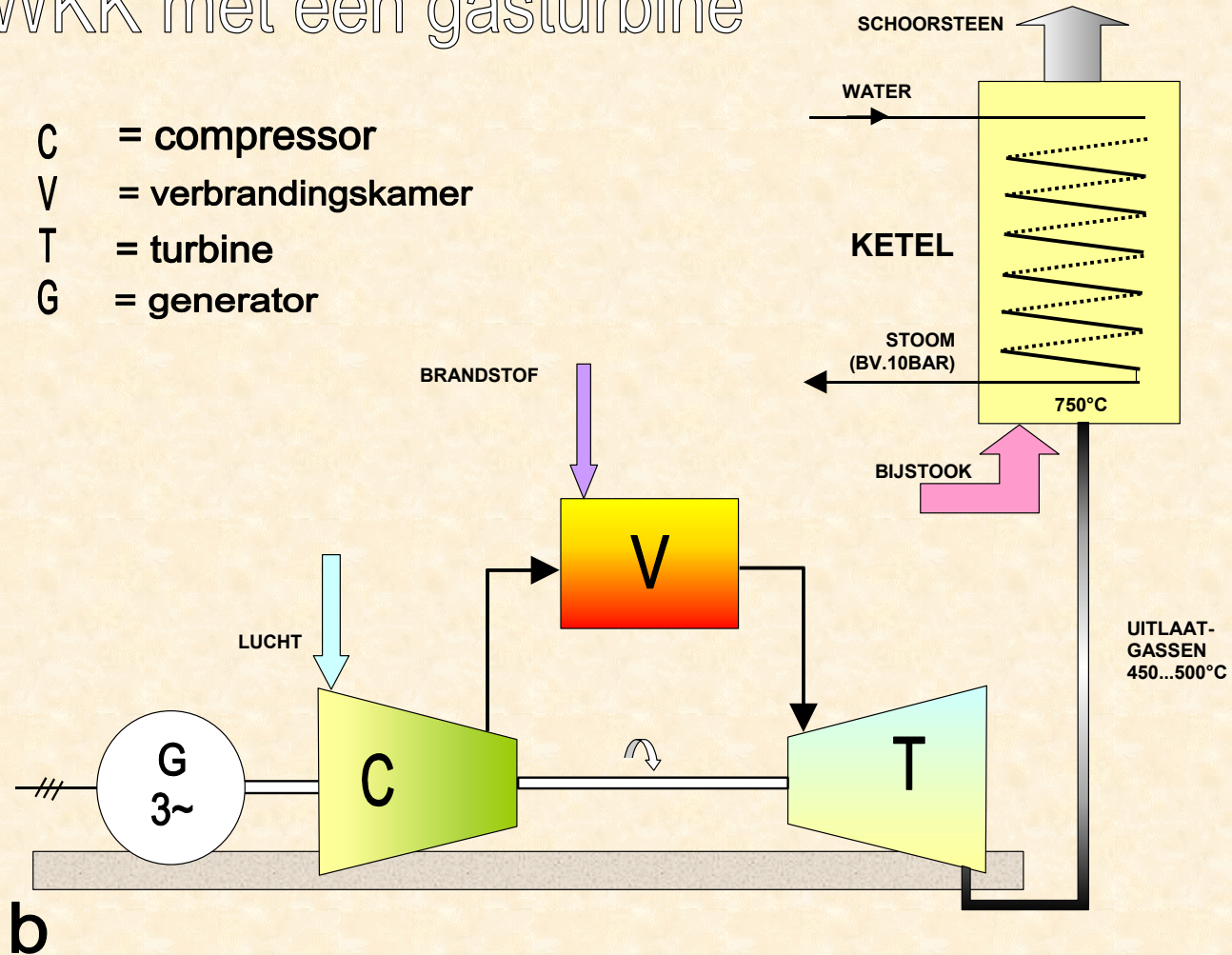


Schema's WKK toepassingen (bron: COGEN Vlaanderen)

Deel 3 Elektrische energiesystemen

WKK met een gasturbine

C = compressor
V = verbrandingskamer
T = turbine
G = generator



Schema's WKK toepassingen (bron: COGEN Vlaanderen)

Netwerkindegratie aspecten

- huidige elektriciteitsnetten → unidirectionele energiestroom
- voldoende DG →
 - bidirectionele energiestroom
 - actief de parameters van de spanning beïnvloeden
 - onvoorspelbaar en oncontroleerbaar karakter

Veiligheid

beveiliging tegen eilandwerking → automatisch
afschakelen binnen de 0.12 s

WAAROM?

- frequentie en de spanning kunnen sterk variëren in eilandbedrijf
- defaseringen bij herinschakelen
- veiligheid van het personeelzichtbaar onderbrekingsmechanisme

Power Quality

- Kortsluitvermogen
- Vermogenregeling en energiebalans
- Spanningsregeling
- Frequentiehuishouding en synchronisme

Netten van de toekomst

Energie-opslag

- *Batterijen*
- *Reversibele fuel cells*
- *Supercondensatoren*
- *Vliegwielen*
- *Supergeleidende spoelen*

Overzicht energie-opslagtechnologieën

Vorm van opslag	Rendement [%]	Energie- inhoud [J]	Energiedichth eid [J/m ³]	Aantal cycli [-]	Energie/Verm ogen [s]	Grootte [MW]
Pompcentrale ⁽²⁾	80	1,00E+13	1,00E+06	onbeperkt ⁽¹⁾	> 10 000	100 - 2700
CAES		1,00E+12	1,00E+05	onbeperkt ⁽¹⁾	10 000	25 - 350
Vliegwiel	85	1,00E+09	1,00E+08	onbeperkt ⁽¹⁾	100	0,01-2
Batterij	80	onbeperkt	1,00E+08	1,00E+03	> 1000	0,0001-20
SMES	90	1,00E+13		1,00E+06	10	1-10 (micro) 10-100
Super- condensator	80	onbeperkt		1,00E+07	tot 30	7-10 W (comm.) 10- 20 kW (prototype)
Warmte	75	1,00E+11	1,00E+09	onbeperkt ⁽¹⁾		
Waterstof ⁽³⁾	50	1,00E+12	1,00E+09	onbeperkt ⁽¹⁾		

⁽¹⁾ geen problemen binnen levensduur ⁽²⁾ voor valhoogte van 100 m ⁽³⁾ elektrolyse en gasturbine

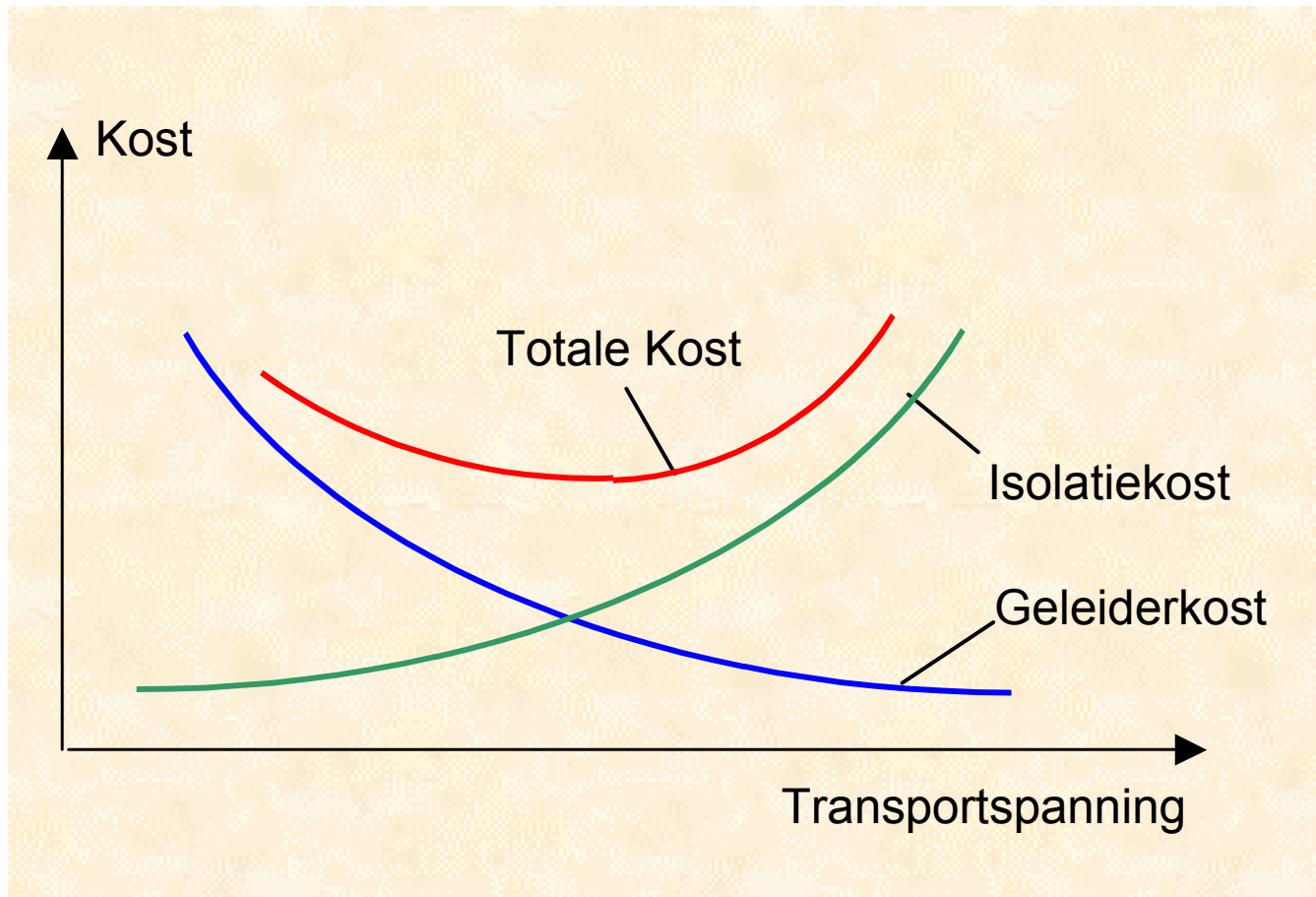
HOOFDSTUK 4

PRODUCTIE, TRANSPORT EN DISTRIBUTIE IN DE VRIJE MARKT

Transport en distributie

- Langeafstandstransport
- SPANNING BEPERKT DOOR HET ISOLATIENIVEAU
- STROOM BEPERKT DOOR TOEGELATEN STROOMDICHTHEID

In WEST EUROPA → 400KV



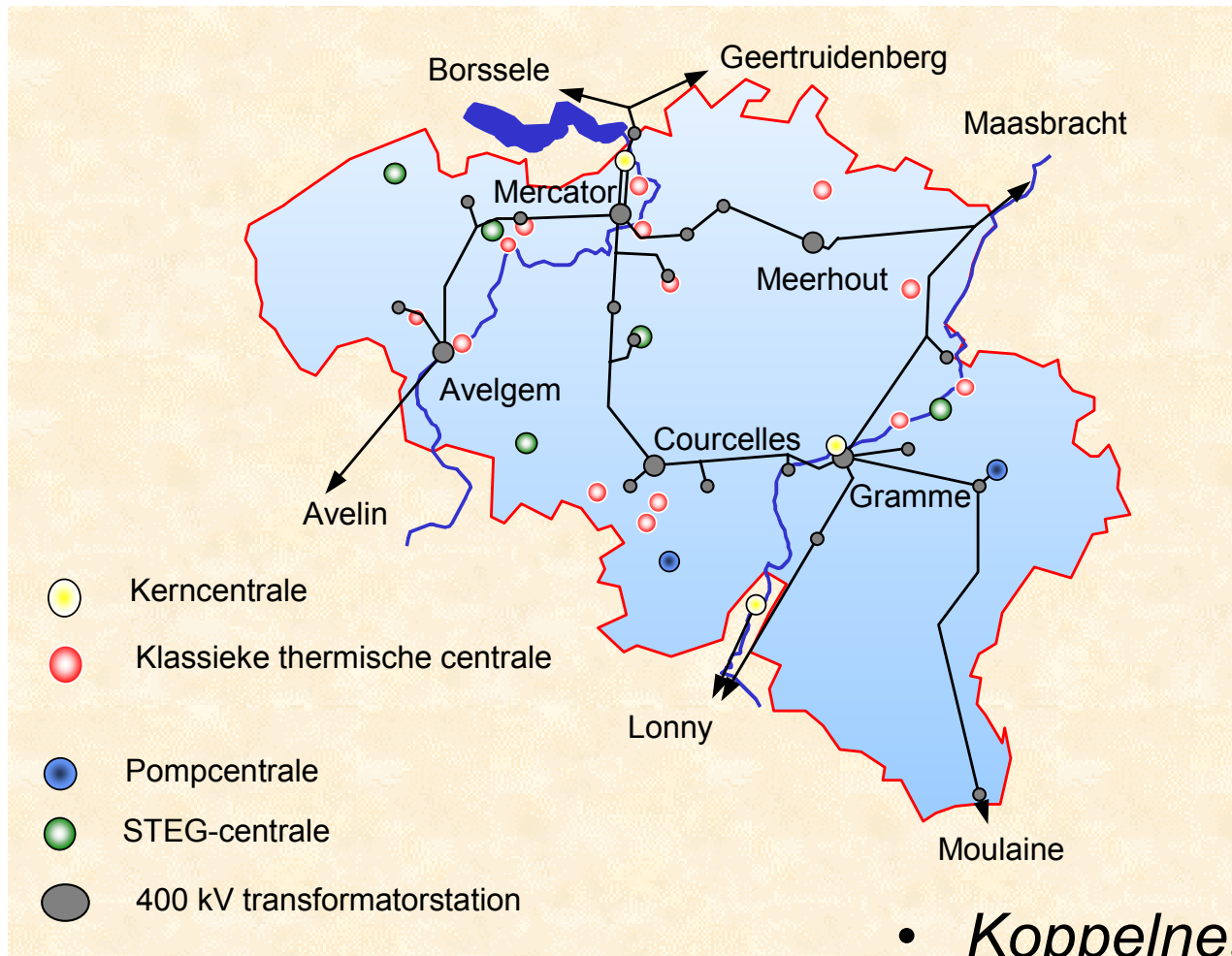
- *Materiaalkost, isolatiekost en totale kost in functie van de transportspanning voor een gegeven transportvermogen*

TRANSPORT EN DISTRIBUTIE

Doel van het hoospanningsnet

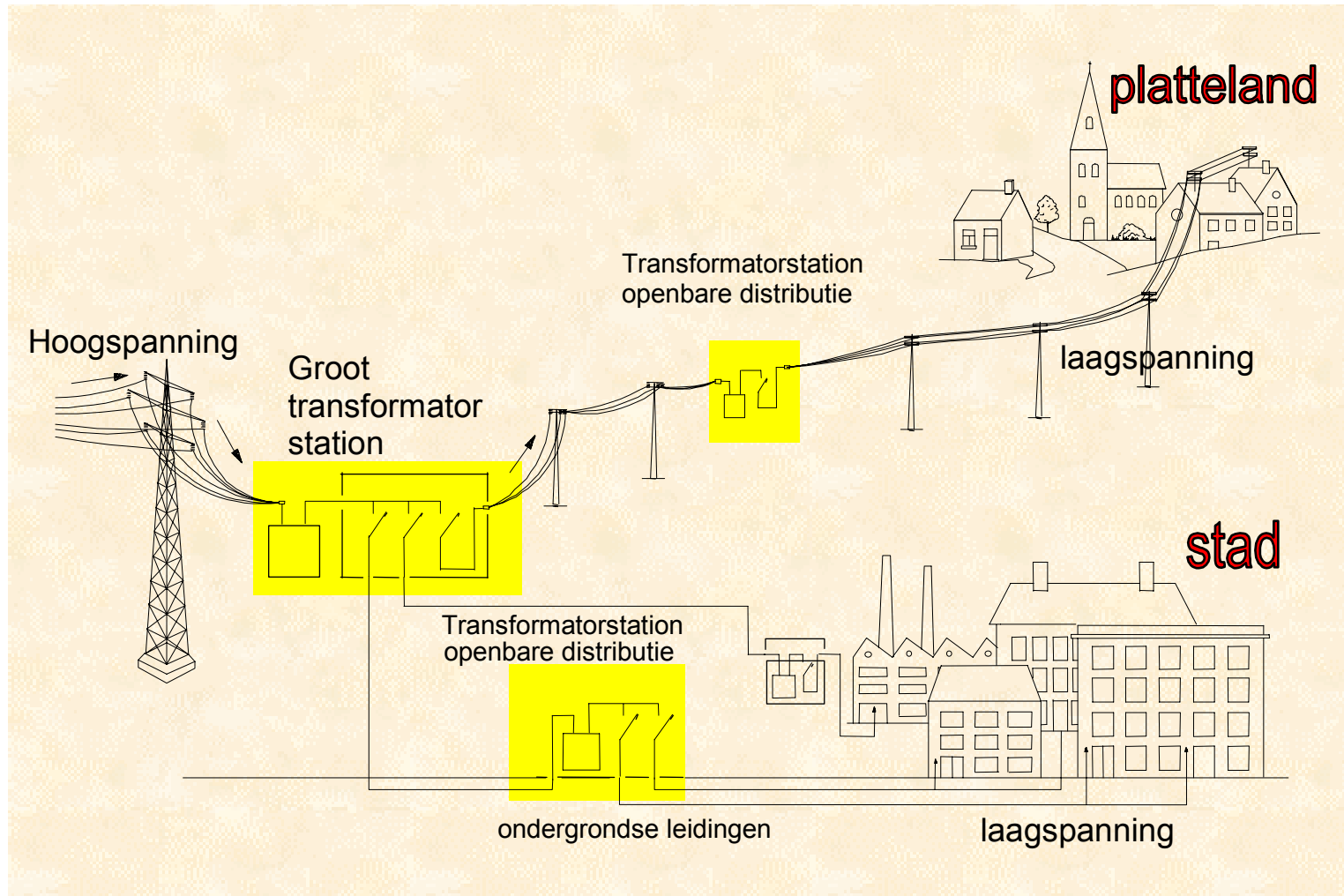
- Interconnectie tussen centrales
- Koppelnnet → indien er onevenwicht is tussen vraag en aanbod binnen België

TRANSPORT EN DISTRIBUTIE



• *Koppelnnet in België*

TRANSPORT EN DISTRIBUTIE

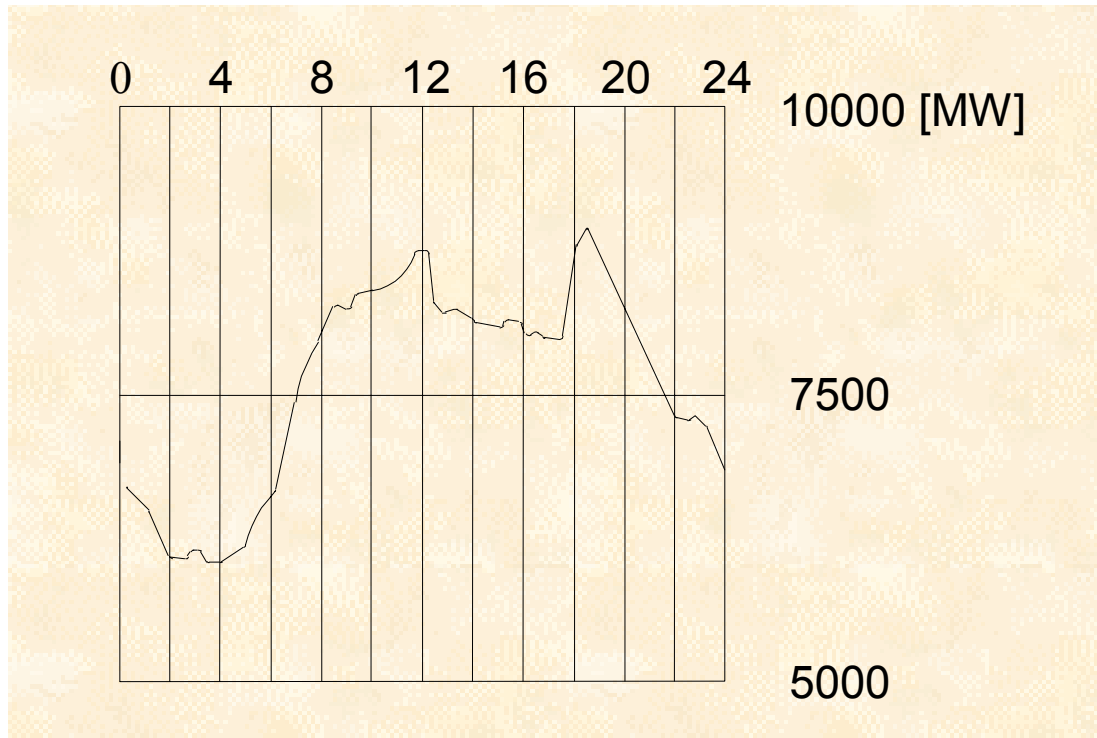


- *Elektriciteitsdistributie in de praktijk*

Vraag en aanbod

- KWALITEITSEISEN VAN ELEKTRISCHE ENERGIE
- BEDRIJFSZEKERHEID
- STABIELE FREQUENTIE
- CONSTANT SPANNINGSNIVEAU
- SPANNING EN STROOM MOETEN SINUSOIDAAL ZIJN

Kenmerken van de vraag



- ELEKTRISCHE ENERGIE IS NIET STOCKEERBAAR
- PRODUCTIE TEGEN MINIMALE KOST
- BASISBELASTING
- PIEKLASTEN

AANBOD

- CENTRALES IN BASISLAST → VB
KERNCENTRALES
- MODULERENDE CENTRALES
- PIEKCENTRALES

VRIJE MARKT

BASISWETGEVING

- 1. VRIJHEID VAN PRODUCTIE
- 2. VRIJE KEUZE VAN LEVERANCIER
- 3. VRIJE TOEGANG TOT HET DISTRIBUTIENET
- 4. PRODUCTIE, TRANSMISSIE, DISTRIBUTIE EN LEVERINGSACTIVITEITEN BOEKHOUDKUNDIG SCHEIDEN
- 5. BEPAALDE VERPLICHTINGEN GELDEN (vb. milieubescherming, kwaliteit,

Vrijheid van productie → 2 systemen

- De lidstaat bepaald hoeveel centrales + type (tendering)
- Elke onderneming mag een centrale bouwen

Klanten

- Meer dan 100GWh verbruik → vrij de producent kiezen
- 19/02/2003 → 33% van de markt mag vrij kiezen

Beheer van het transmissienet

Een of meer onafhankelijke uitbaters

- Uitbating van het net
- Beheer van de energiestroom
- Vragen aan centrales van te leveren

Toegang tot het transmissienet

- GEREGULEERDE TOEGANG
(Regulated Third Party Access)
- ONDERHANDELDE TOEGANG
(Negotiated Third Party Access

Regulator

In elke lidstaat is er controle, meestal door een onafhankelijke regulator

- **Toepassing in België**
- Electrabel → opgesplitst in afzonderlijke eenheden voor productie, transport, distributie en levering
- **NETBEHEERDER is ELIA** (dochter van CPTe)
- → electrabel → max. 30%
- → gemeenten → 30%
- → beurs → min 40%

- **REGULATOR VOOR DE VRIJE MARKT** → CREG (Commissie voor de Regeling van de Elektriciteit en Gas)
 - **TOEGANG TOT HET NET** → r-TPA
- Regionaal ↔ alles tot 70kV
- Federaal ↔ hoger dan 70kV

- Internationale handel
- Gebrekkige afspraken ! → problemen →
European Transmission System Operators

- Transmissie toegelaten i.f.v. beschikbare capaciteit
- Coördinatie tussen naburige netbeheerders
- Transmissiekost = toegangskost in het land v.d. producent + afnamekost in het land v.d.klant
- Kosten in transitlanden i.f.v. de gemeten transit ➔ via een fonds dat gespijsd wordt door exporterende landen
- In elk land verdeeld de netbeheerder de transitinkomsten over de nationale producenten en afnemers

Daarnaast bestaat een veilingsysteem voor de
transmissiecapaciteit

(Nederland $\leftrightarrow$ Duitsland)