

Formation

# Verwarmen in 2023

16/11/2023



Raphaël Capart

[rc@icedd.be](mailto:rc@icedd.be)

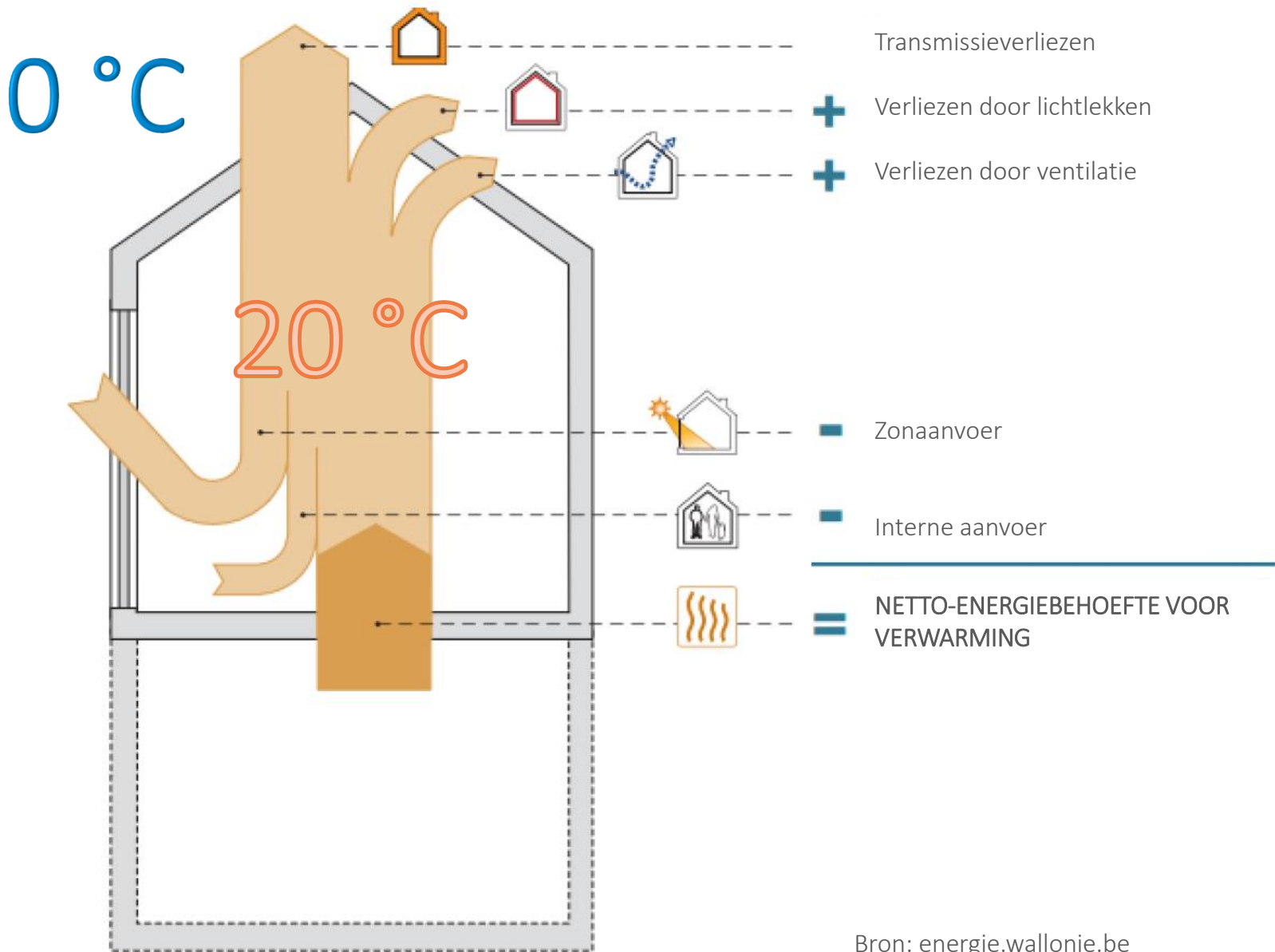


**ICEDD**





# Inleiding: waarom een verwarmingssysteem?



Om binnen te kunnen blijven met minder kleding dan buiten, moet de temperatuur hoger zijn dan buiten...

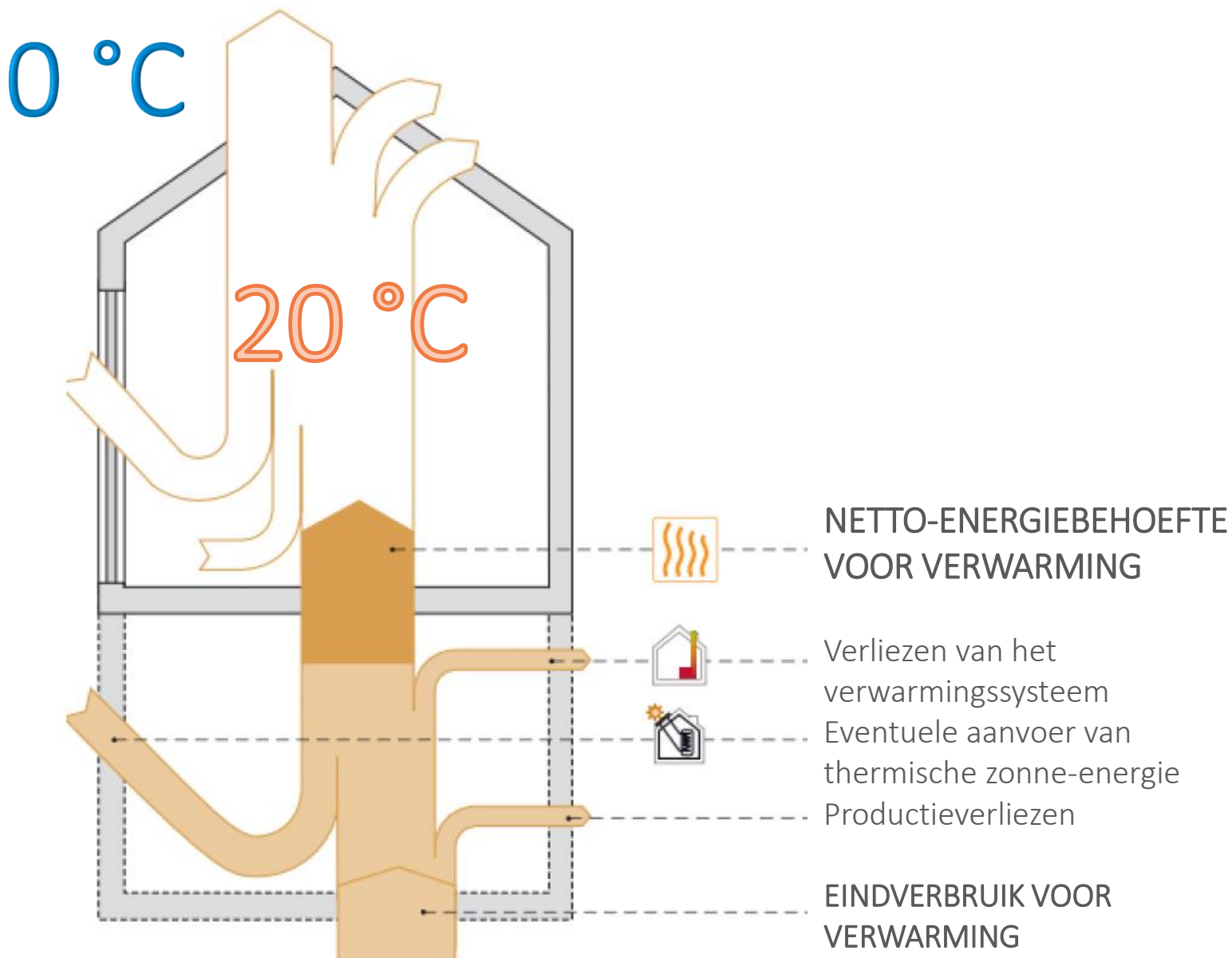
➔ Comforttemperatuur

Afhankelijk van:

- ⬢ Lichaamsbeweging
- ⬢ Kleding



# Inleiding: waarom een verwarmingssysteem?



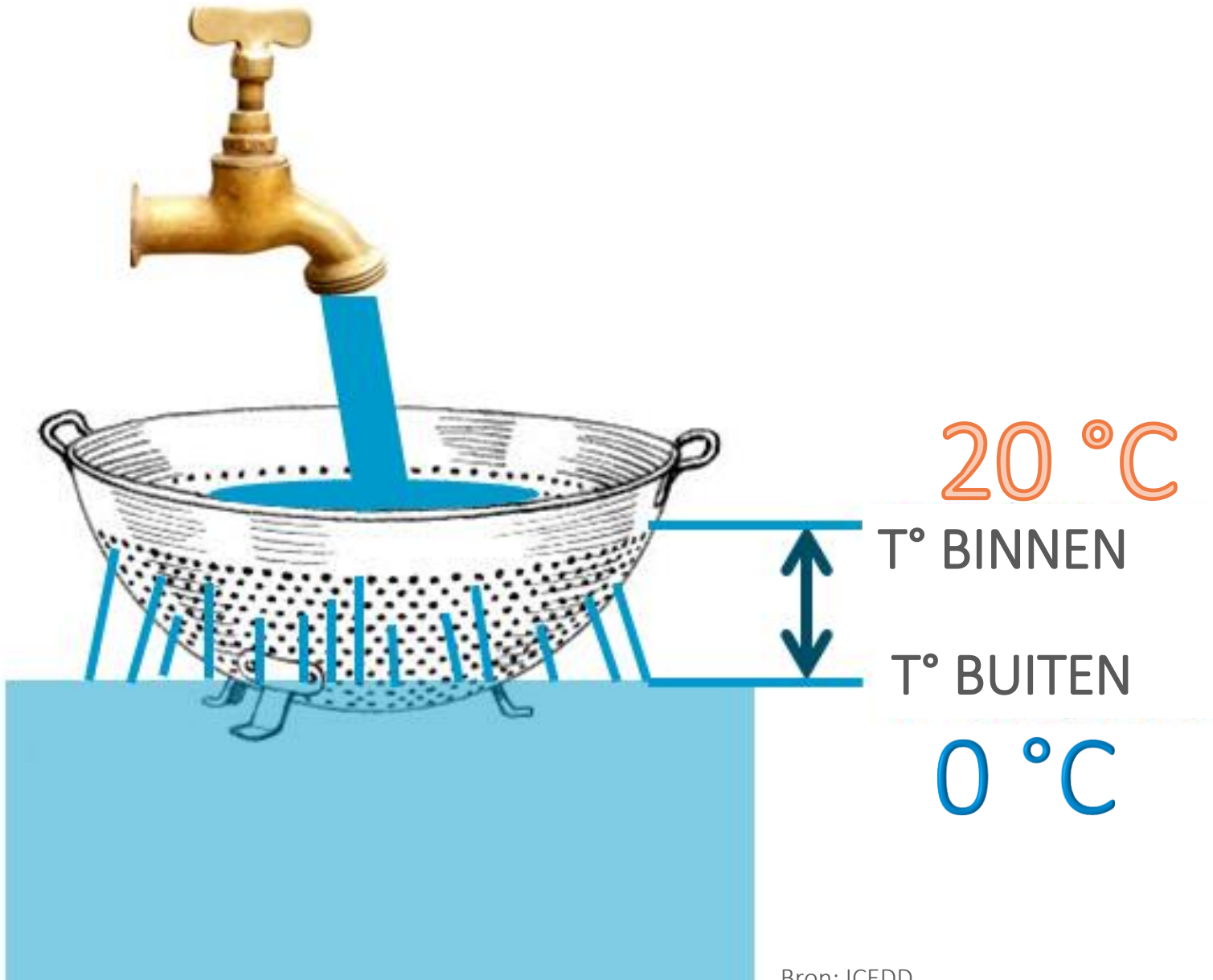
De energie die de zon en interne aanvoer niet kunnen leveren, moet worden gecompenseerd door een warmtebron...

**Mijn  
verwarmingssysteem!**





# Inleiding: waarom een verwarmingssysteem?



Bron: ICEDD

- Er moet een debiet worden aangehouden om het gewenste waterniveau te handhaven
- Er moet een verwarmingscapaciteit worden aangehouden om een gewenste temperatuur te handhaven
- De benodigde capaciteit varieert afhankelijk van het verschil tussen de binnen- en buitentemperatuur

# Condensatieketels



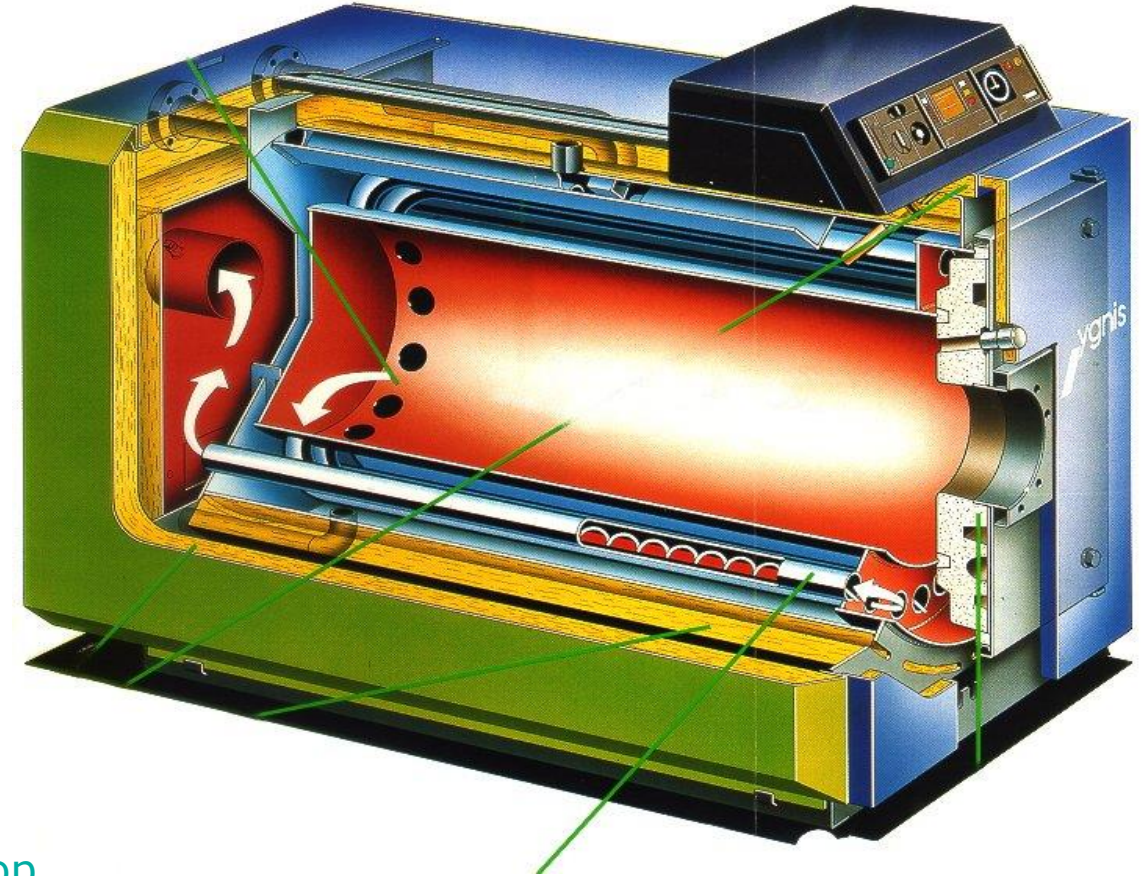
**ICEDD**



# De verwarmingsketel

Verwarmingsketel:

warmtewisselaar waar water doorheen stroomt en uitgerust met een vuurhaard waar een brandstof (gas, olie, hout, enz.) wordt verbrand



## Algemeen principe:

- de vlam brandt in een vuurhaard
  - rondom deze haard vangt water de warmte op
  - de rookgassen worden vervolgens door buizen geleid (altijd omgeven door water)
  - en gaan vervolgens aan de achterkant naar buiten
- ➔ Het water komt er warmer uit dan het erin gaat!



# De verbranding

Onze brandstoffen (stookolie, gas, hout, enz.) bestaan uit koolstof en waterstof.



**Door de verbranding,**  
vormt de koolstof **CO<sub>2</sub>**  
vormt de waterstof ... **water!**

Dit water is in de vorm van damp, dus je kunt het niet zien...

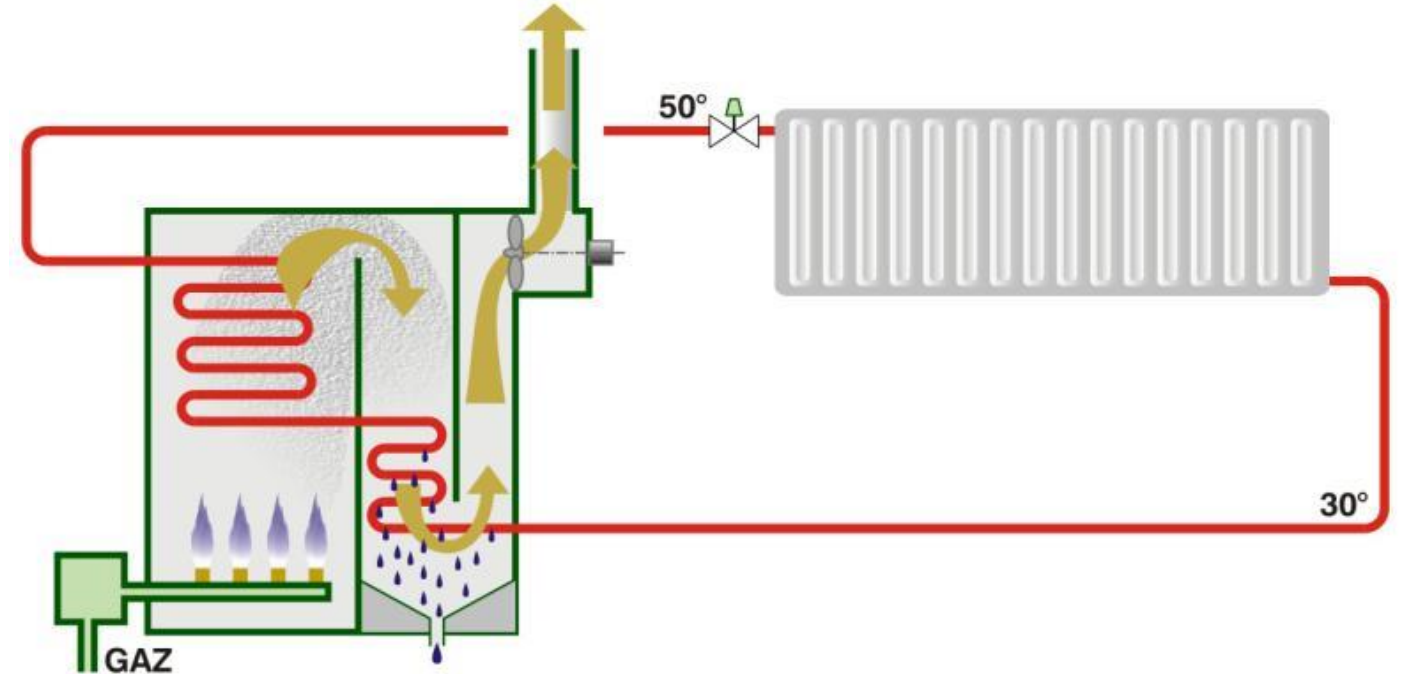
... behalve wanneer het condenseert tot witte rook  
die uit de schoorsteen komt!





# Hoe zit het met de waterdamp

Voor condensatieketels:



De ketel maakt gebruik van condensatie:

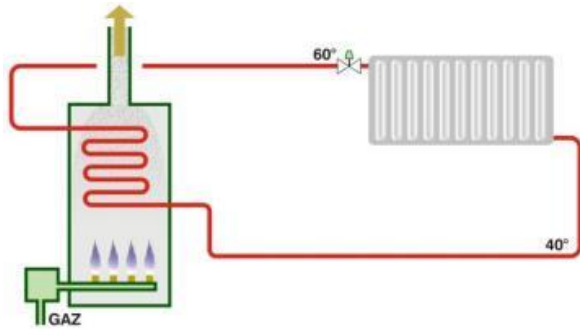
- De dampen condenseren vrijwillig
  - De rook komt koeler naar buiten
- het rendement is hoger!





# Verbrandingswaarde

Vroeger:



Als je 1 m<sup>3</sup> gas verbrandt, recupereer je ~10 kWh in het verwarmingswater.

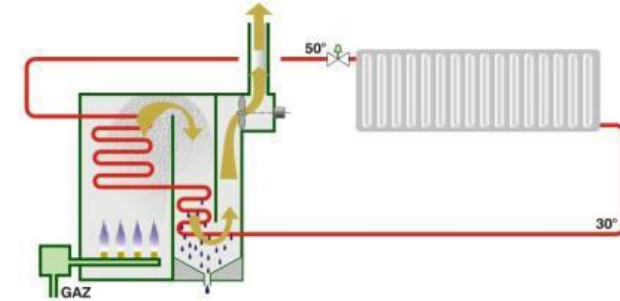
Dit is de OVW (onderste verbrandingswaarde) van het gas

Het rendement van een ketel is de hoeveelheid geproduceerde warmte in verhouding tot de hoeveelheid verbrande energie.

De hoeveelheid verbrande energie wordt uitgedrukt in kWh OVW of kWh BVW.

→ het rendement kan dus op twee manieren worden uitgedrukt!  $\eta_o$  en  $\eta_b$

Vandaag:

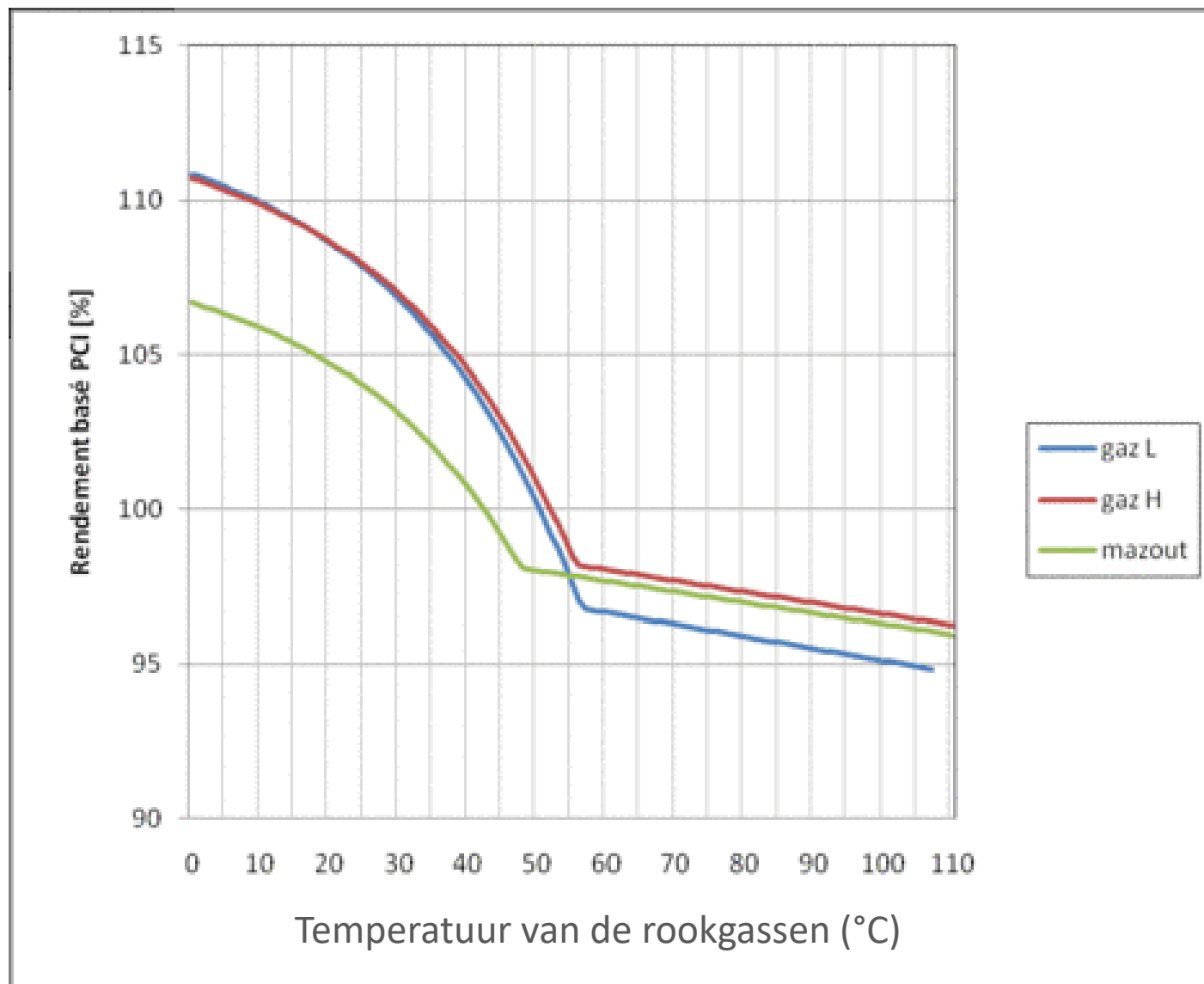


Als je 1 m<sup>3</sup> gas verbrandt, recupereer je ~11 kWh in het verwarmingswater.

Dit is de BVW (bovenste verbrandingswaarde) van het gas



# Productie: verliezen en rendementen





# Productie: verliezen en rendementen

## Seizoensgebonden rendement:

- ◆ Aanzienlijke impact van **overdimensionering** van de ketels!

### Grootteorde:

- ◆ Atmosferische gasketels: 80 ... 91 %
- ◆ Olie- of gasketels met gepulseerde brander: 86 ... 93 %
- ◆ Gascondensatieketels: 97 ... 103 %



# Wärmepumpen

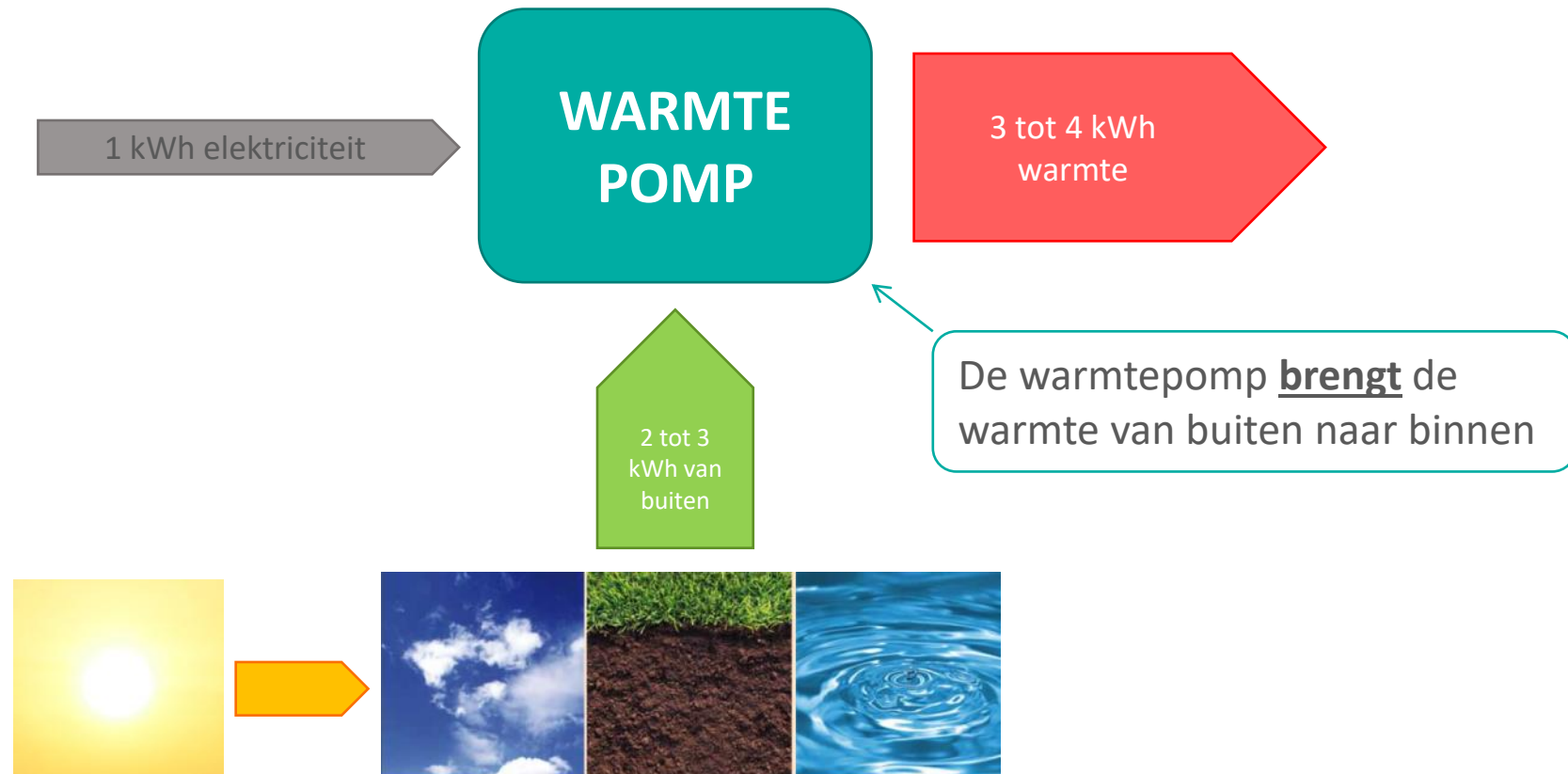




# Werkingsprincipe

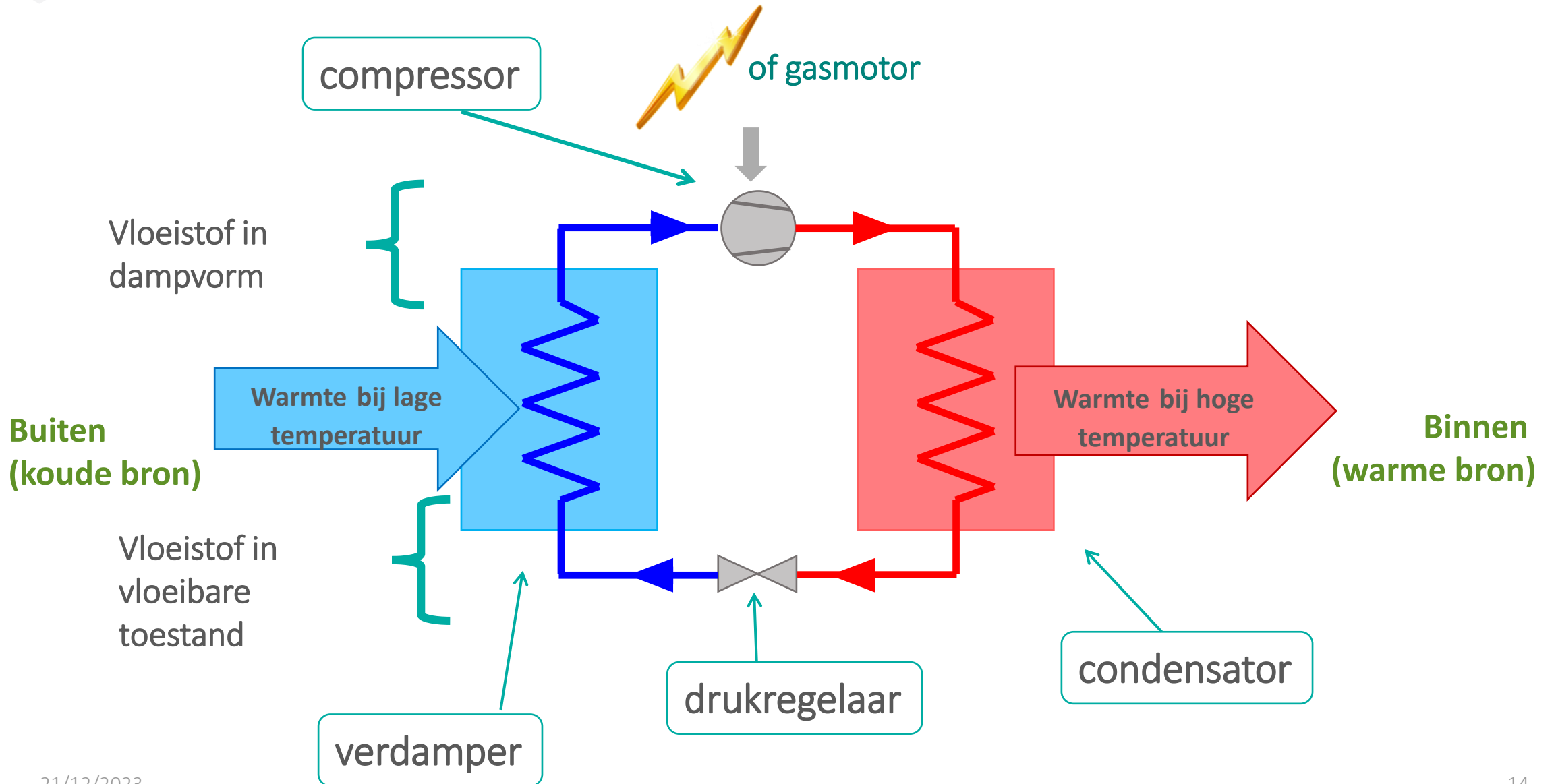
Is een rendement (COP) groter dan 1 mogelijk ???

**Nee, het is niet mogelijk om energie te "creëren" ...  
en toch wordt ons beloofd:**



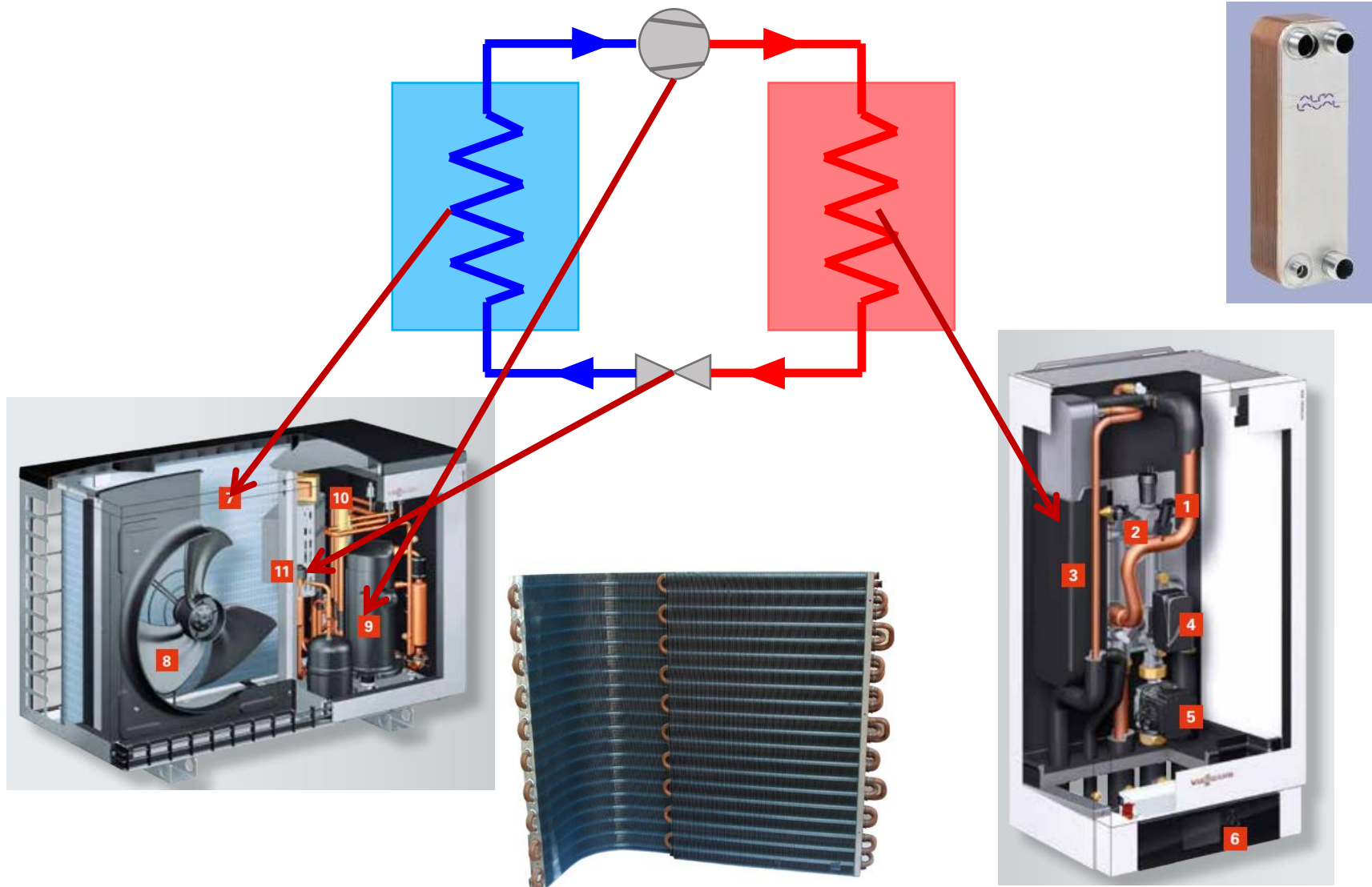


# Werkingsprincipe





# Werkingsprincipe





Hoe krijg je **warmte** uit **koude** ???





# Een beetje thermodynamica

## De warmte in materie

- Thermische **energie** is evenredig met de temperatuur uitgedrukt in **Kelvin**

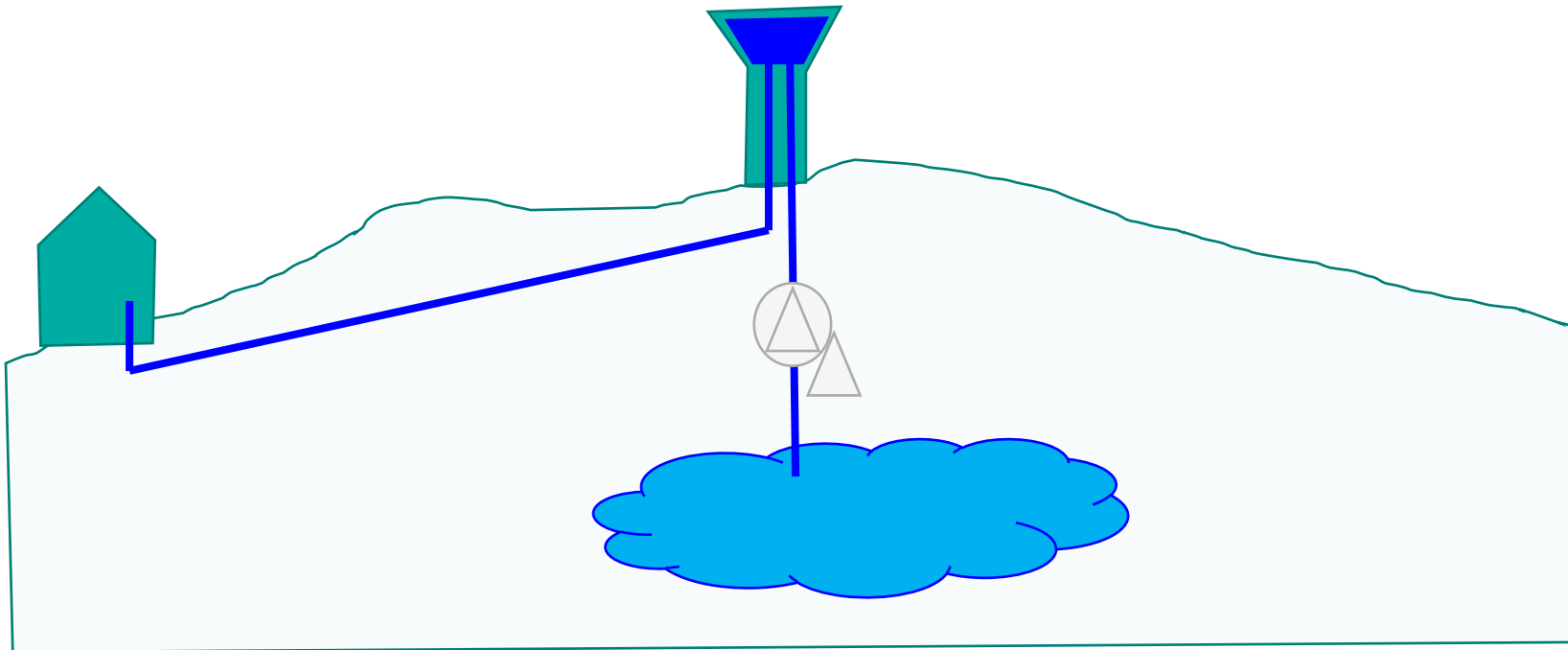
Graden Celsius	Kelvin
-273 °C	0 K
-10 °C	263 K
0 °C	273 K
20 °C	293 K



Natuurlijke elementen bevatten nog steeds veel energie, zelfs wanneer hun temperatuur lager is dan de omgevingstemperatuur in een gebouw  
-> (lucht van -10°C bevat niet veel minder warmte dan lucht van 20°C)



Warmte stroomt altijd van warm naar koud  
=> hoe krijg je die warmte in je huis?

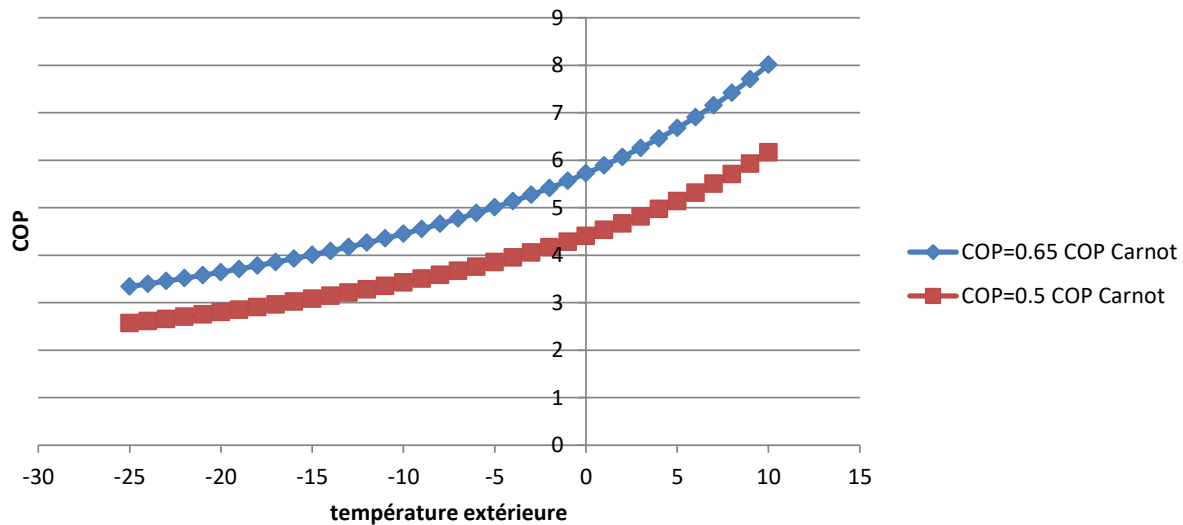


Op dezelfde manier als water dat wordt opgepompt om de druk te verhogen,  
wordt de warmte gepompt om de temperatuur te verhogen

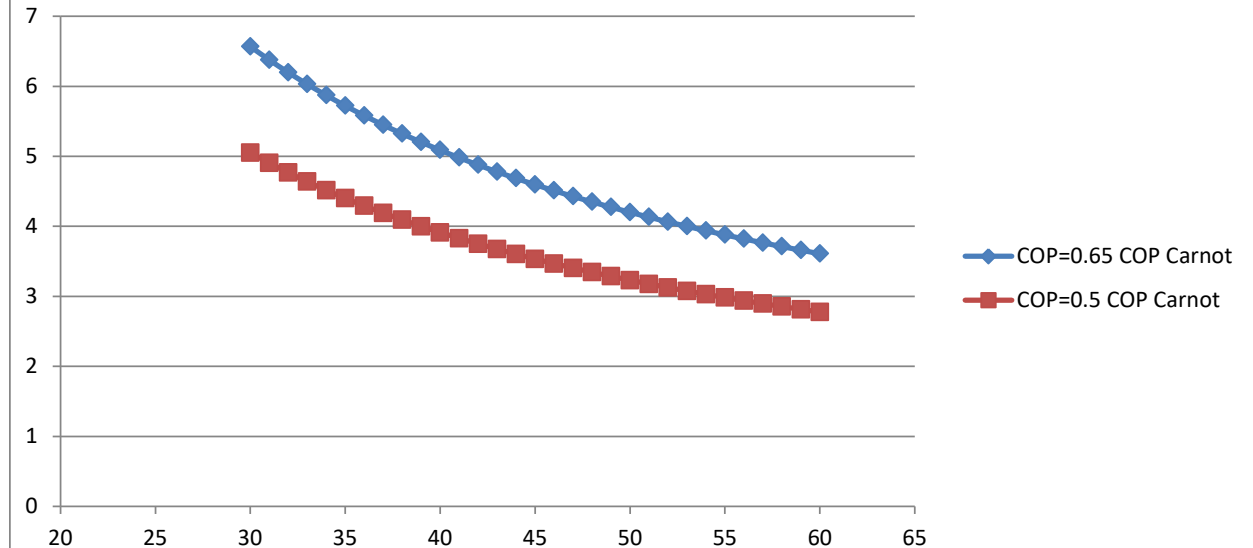


# Welke prestaties kun je verwachten?

Variatie van de COP in functie van de temperatuur aan de verdamper voor een temperatuur aan de condensator van 35°C



Variatie van de COP in functie van de temperatuur aan de condensator voor een temperatuur aan de verdamper van 0°C



$$COP_C = \frac{T_{source\ chaude}}{T_{source\ chaude} - T_{source\ froide}}$$

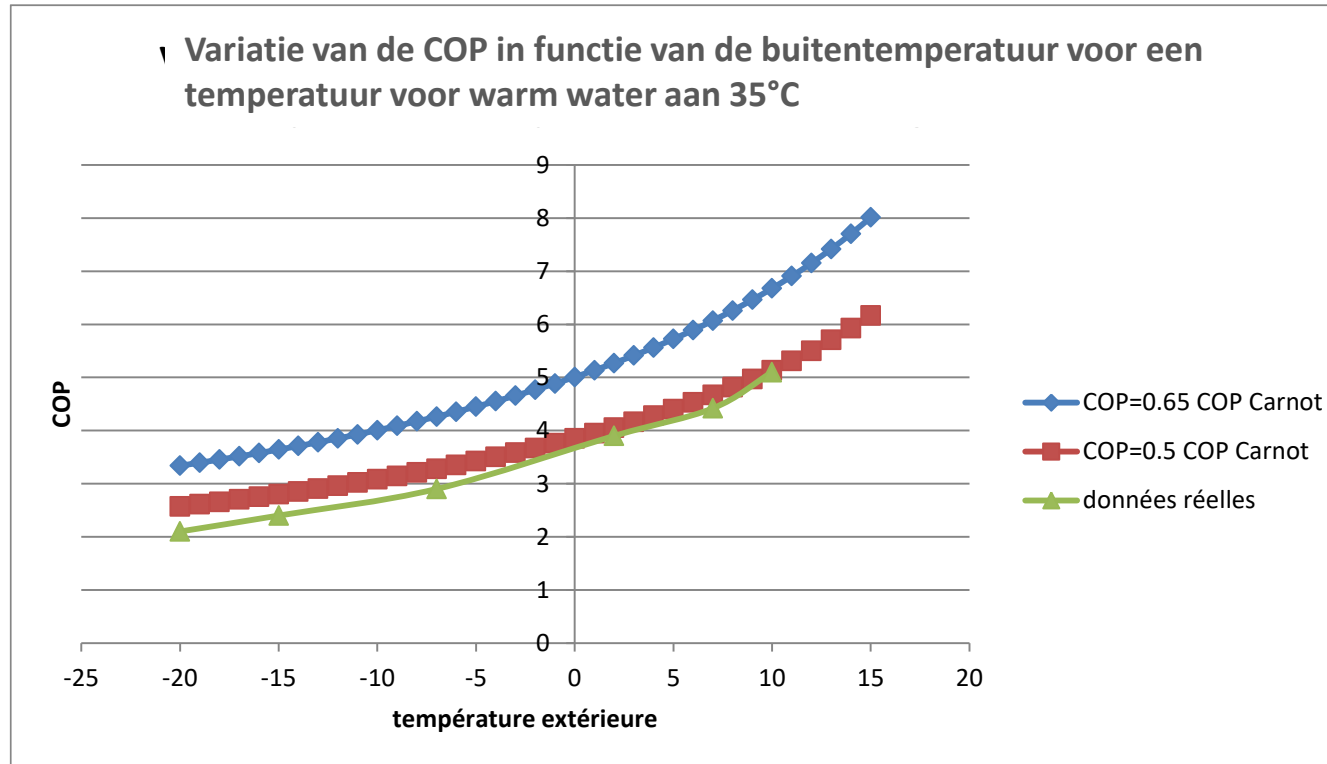
$$COP_{WP} \sim 0,5 \dots 0,65 COP_C$$

Temperatuur uitgedrukt in K !!

- Verlaging 1°C verdamper => ~ -2% COP
- Verhoging 1°C condensator => ~ -2% COP



# Welke prestaties kun je verwachten?



$$COP_C = \frac{T_{source\ chaude}}{T_{source\ chaude} - T_{source\ froide}}$$

$$COP_{WP} \sim 0,5 \dots 0,65 COP_C$$





# Gebruik van hernieuwbare energie?

- SPF = seasonal performance factor (seizoensgebonden prestatiefactor) = COP geïntegreerd over het hele stookseizoen

Waardebereiken voor SPF en primair energierendement				
	Nieuwbouw		Renovatie	
	SPF	$\eta_{\text{prim}}$ (SPF/2,5)	SPF	$\eta_{\text{prim}}$ (SPF/2,5)
LUCHT – WATER	2,8 - 3,5	112% - 140%	2,5 - 3,0	100% – 120%
BODEM – WATER	3,5 - 4,5	140% – 180%	3,2 - 4,0	128% - 160%
WATER – WATER	3,8 - 5,0	152% – 200%	3,5 - 4,5	140% - 180%

Bron SPF-waarden: OFEN

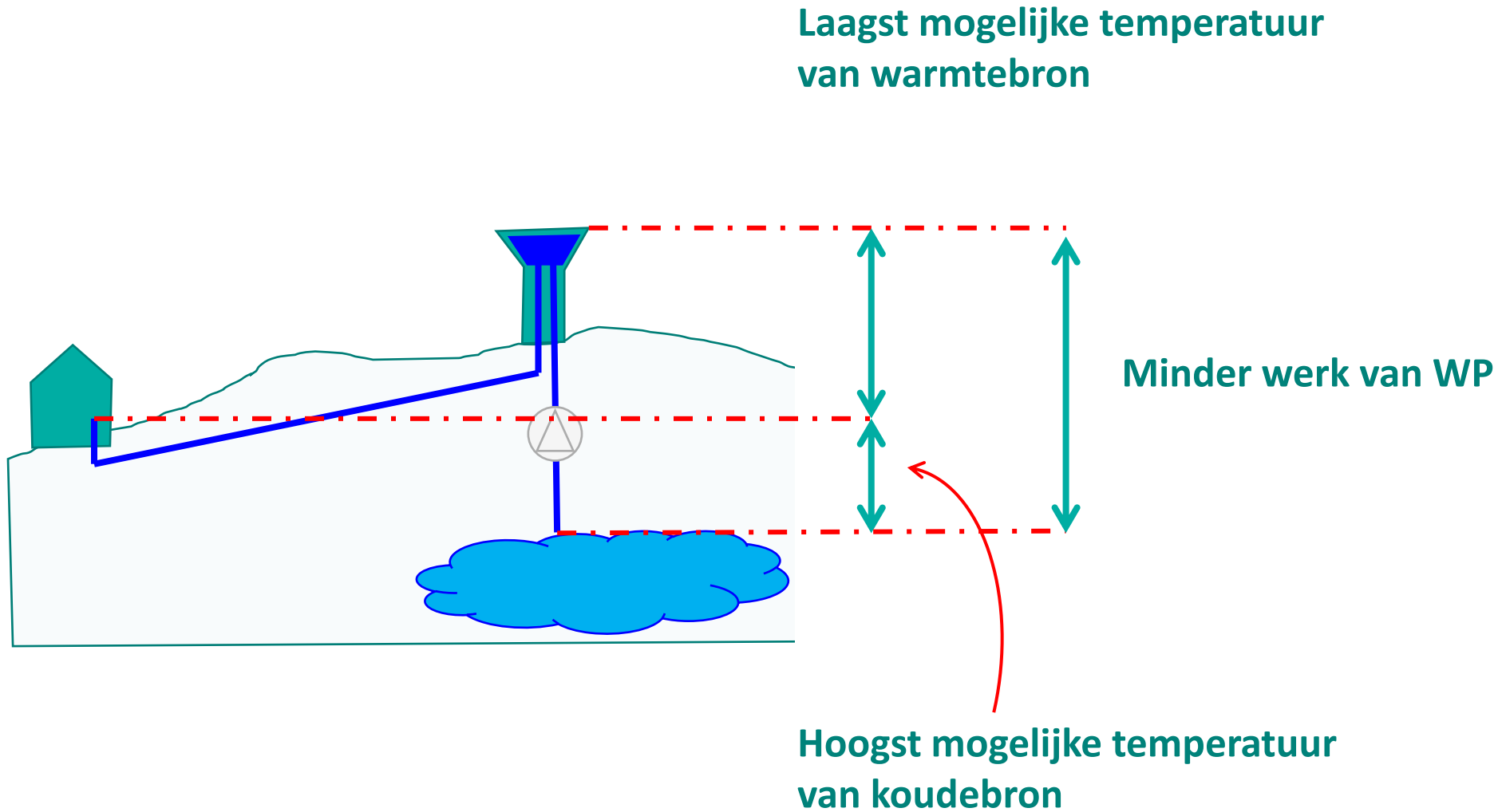
Bijvoorbeeld te vergelijken met een gascondensatieketel (rendement op HCV ~ 95%)

Richtlijn 2009/28/EG: WP beschouwd als HEB als **SPF > 1,15 \* 1/η**  
waarbij η = gemiddeld rendement voor de productie van elektriciteit in de EU  
(Eurostat-gegevens 2014: 46,6%)

**=> WP = HEB als FPS > 2,58**

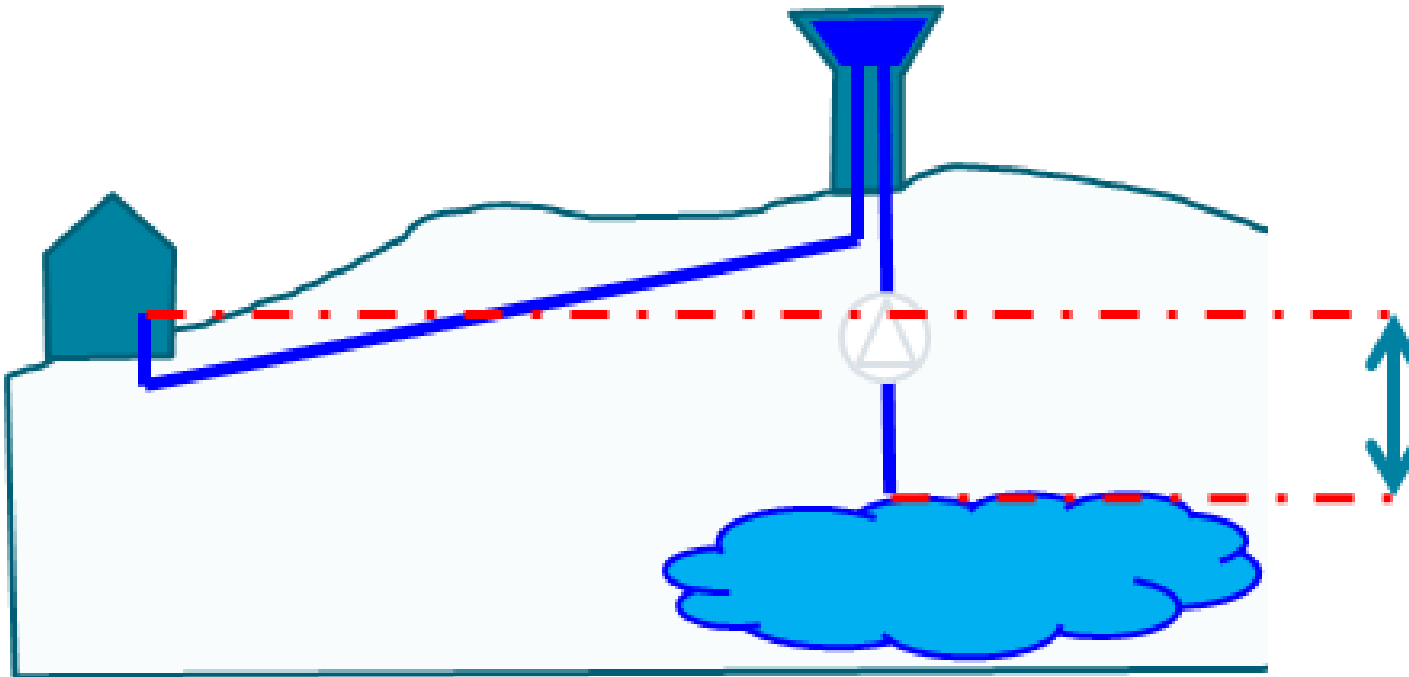


# De prestaties optimaliseren





# De verschillende koudebronnen

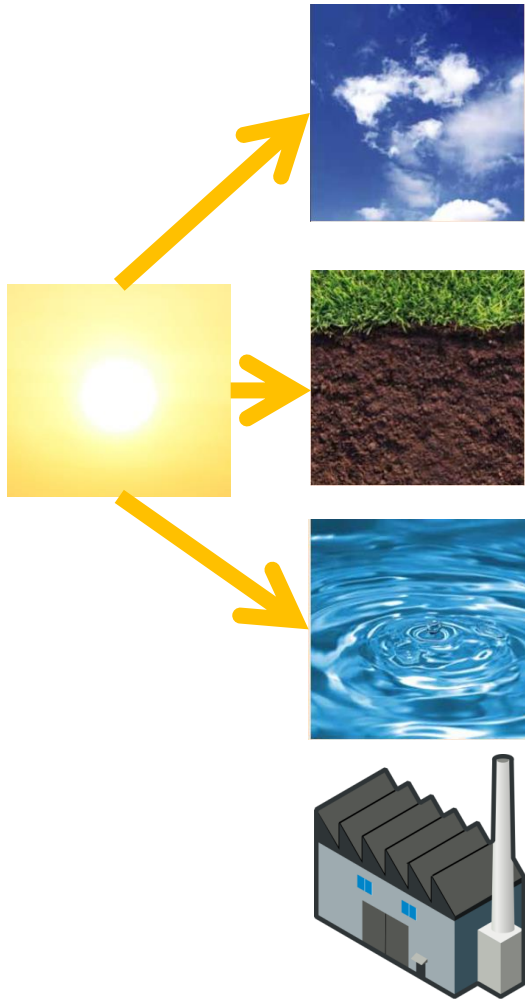




# De verschillende koudebronnen

Opslag van zonne-energie => indirecte winning van zonne-energie

## Koudebronnen



Bron DGO4

### Lucht:

- Dynamisch of statisch
- Buitenlucht of afgezogen ventilatielucht

### Bodem:

- Dicht bij het oppervlak (horizontaal)
- In diepte (verticaal)

### Water:

- Aan het oppervlak: vijver, rivier
- In diepte: freatisch vlak

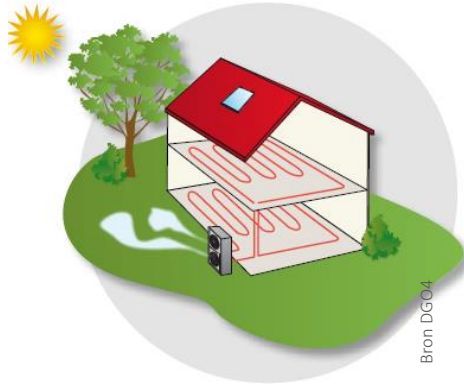
### “Fatale warmte”:

- Riolen
- Centrale, industrie ...

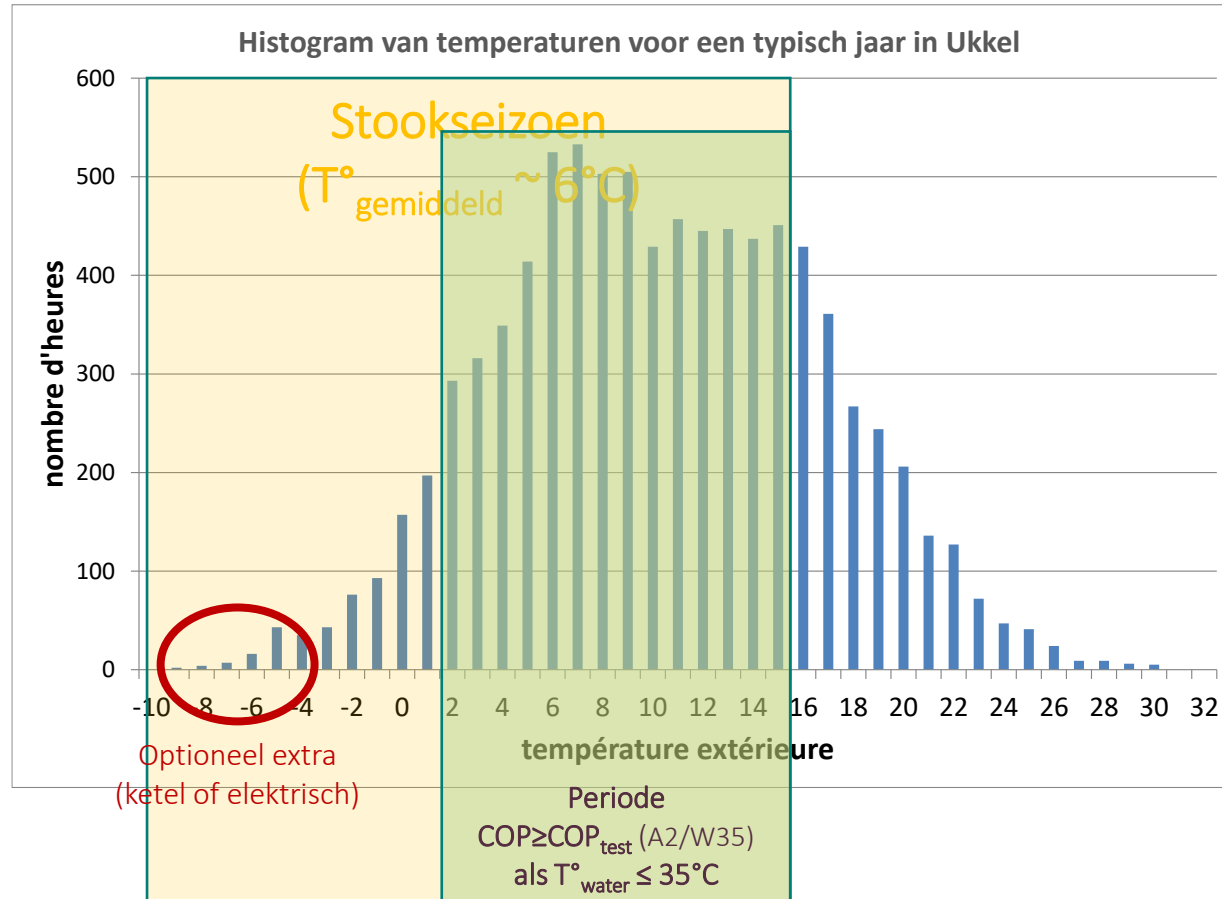


# Winning van warmte

## Dynamische lucht



Relatief hoge maar variabele gemiddelde temperatuur van koudebron en lager wanneer de behoeften het grootst zijn





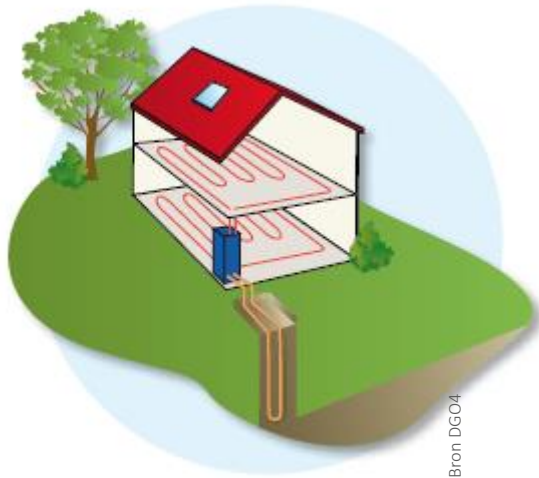
## Dynamische lucht



- **Sterke punten**
  - Directe expansie
  - Matige kosten (~ 1200-2000 € excl. btw/kWth)
- **Zwakke punten**
  - IJsvorming onder een bepaalde luchttemperatuur (< 3-4°C)  
=> ontdooicycli
  - Directe elektrische verwarming (weerstand) vaak essentieel (zie afmetingen)
  - Geluidsniveau  
(kan storend zijn indien dicht bij ramen, burens, enz.)
  - Mooi?



## Winning door verticale sonde

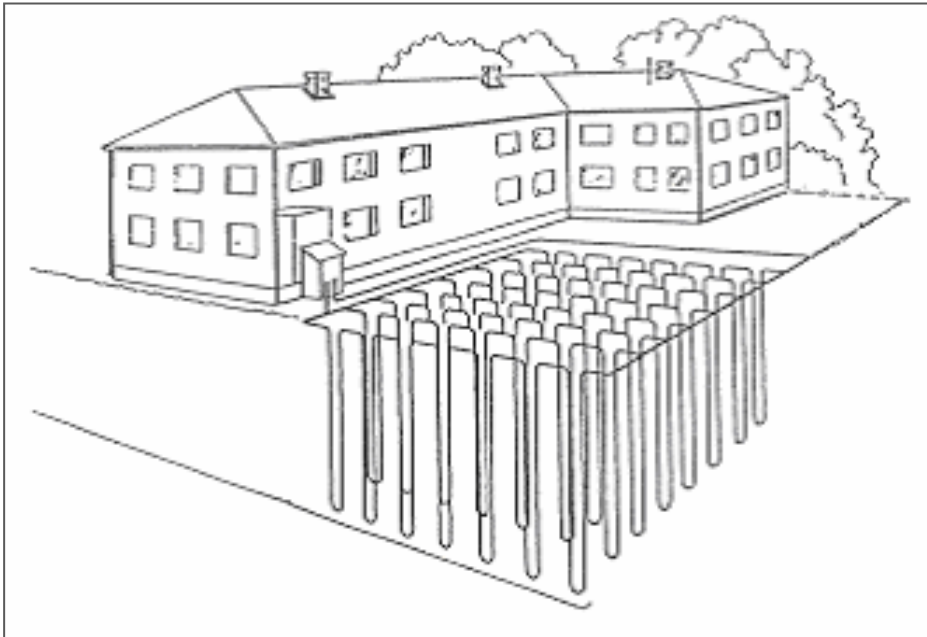


- **Sterke punten**
  - Goede, stabiele gemiddelde temperatuur:
    - 2-6°C
    - -4-0°C in hoger België bij strenge winter
  - Bodemregeneratie gestimuleerd door zomerse “free-cooling” (zie actieve koeling in de tertiaire gebouwen)
- **Aandachtspunten**
  - Onbekende samenstelling van de ondergrond beïnvloedt de prestaties
- **Zwakke punten**
  - Indirecte expansie => pompverbruik
  - Kosten van het boren
    - => totale kosten (exclusief zenders) ~ € 2500-4000 excl. btw/kWth



# Winning van warmte

## Winning door verticale sonde



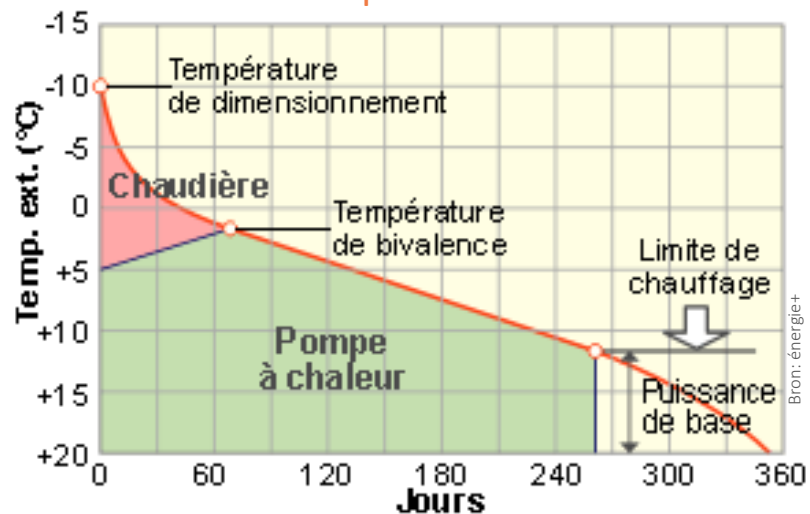
- Voor grotere gebouwen is een sondeerveld nodig
- Regeneratie van de bron door geokoeling of actieve koeling is dan noodzakelijk  
=> een oplossing die meer geschikt is voor tertiaire gebouwen





# Bivalente systemen

parallel



⇒ ketel fungeert als back-upverwarming

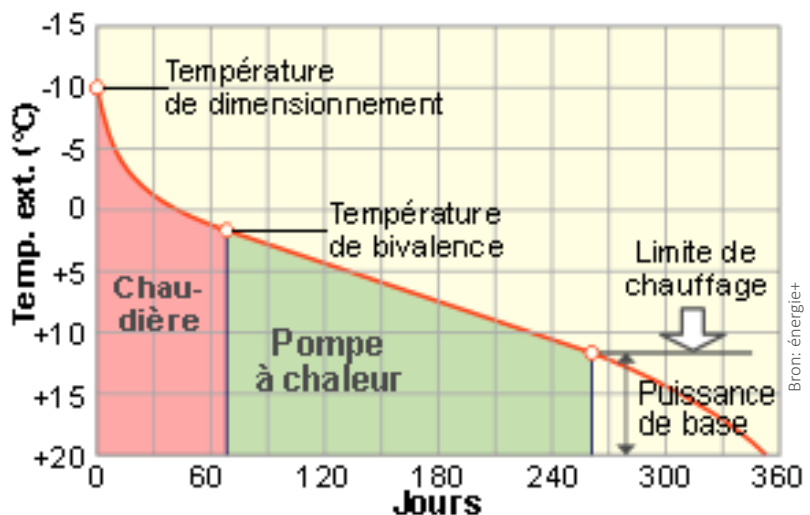
⇒ Bij koud weer moet de temperatuur zodanig zijn dat de warmtepomp nog kan werken



Moeilijke regeling

- jojo-effect vermijden
- problemen met herstart op grens van bivalentietemperatuur

alternatief



⇒ WP volledig gestopt onder bivalentietemperatuur

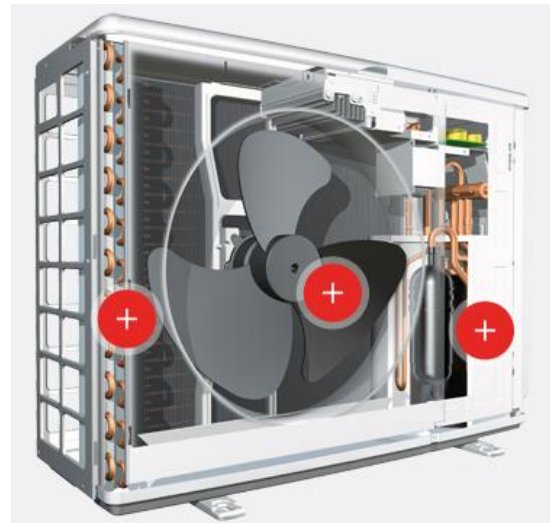
Er bestaan gecombineerde toestellen  
warmtepomp+gascondensatieketel met  
geïntegreerde, geoptimaliseerde regeling



# Bivalente systemen

- Hybride WP

- Warmtepomp + gascondensatieketel
- Door fabrikant geïntegreerde regeling zorgt voor hoge prestaties
- Naar keuze, optimalisatie
  - Kostenefficiënt
  - Milieuvriendelijk
- Geschikt voor renovatie
- Rendement op investering?

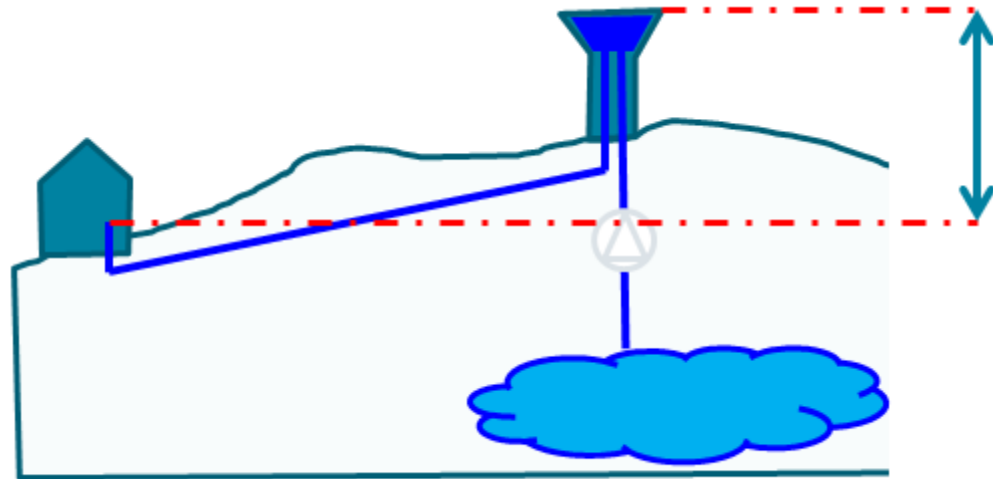


Bron: Viessmann



# Optimalisatie van de warmtebron

## Temperatuur van de warmtebron



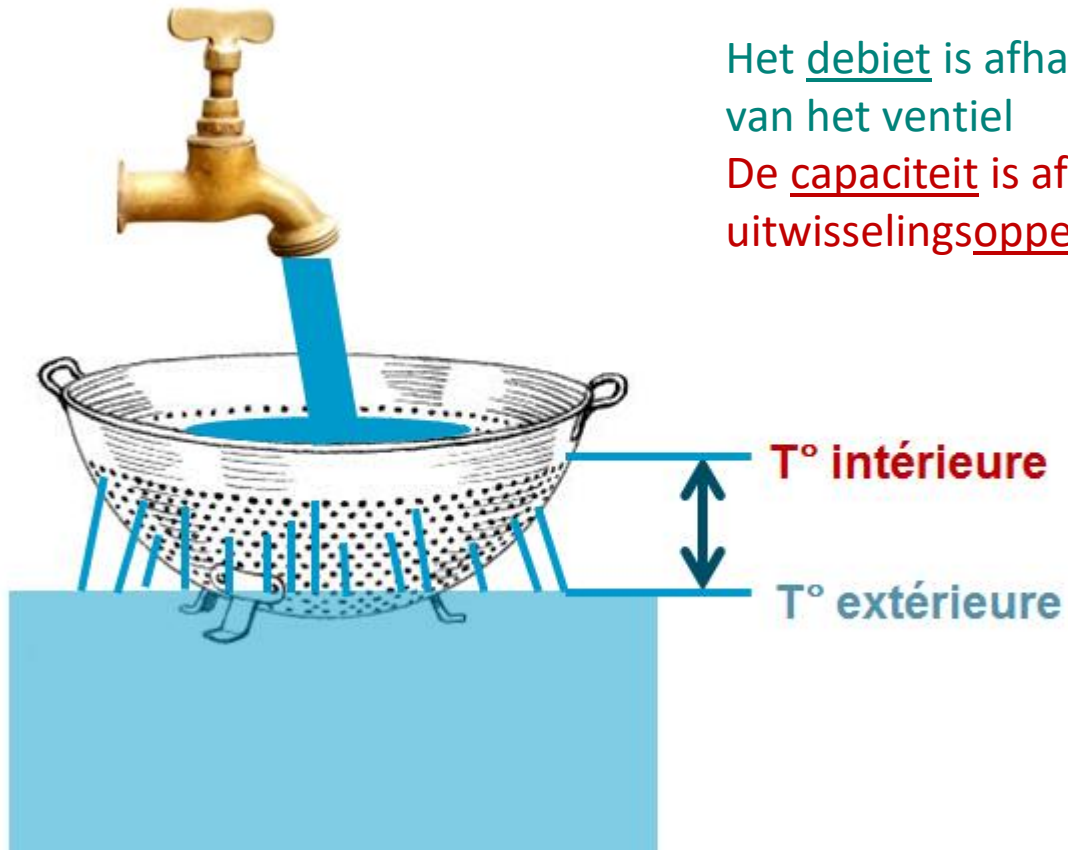
= temperatuur vereist door het emissiesysteem



# Emissie- en regelsystemen



# Optimalisatie van de warmtebron



Het debiet is afhankelijk van de druk en de diameter van het ventiel

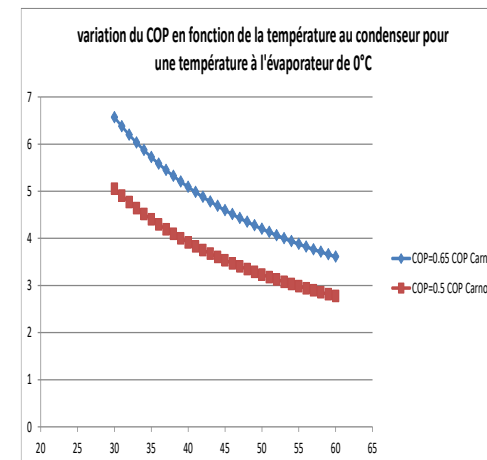
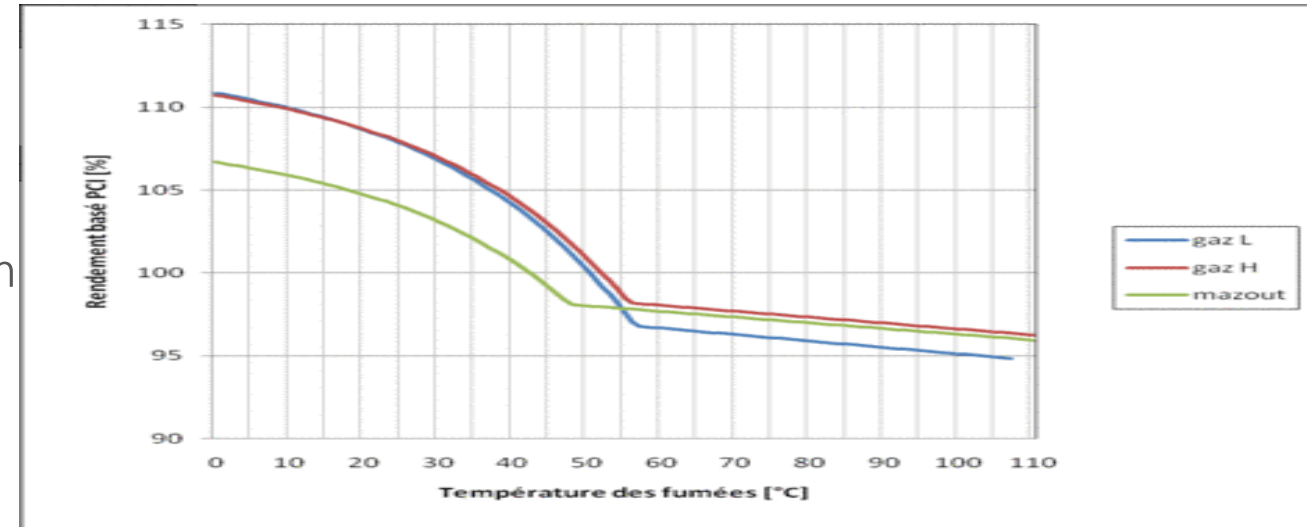
De capaciteit is afhankelijk van de temperatuur en het uitwisselingsoppervlak



# Emissie van warmte

## Slechts één sleutelwoord: lage temperatuur

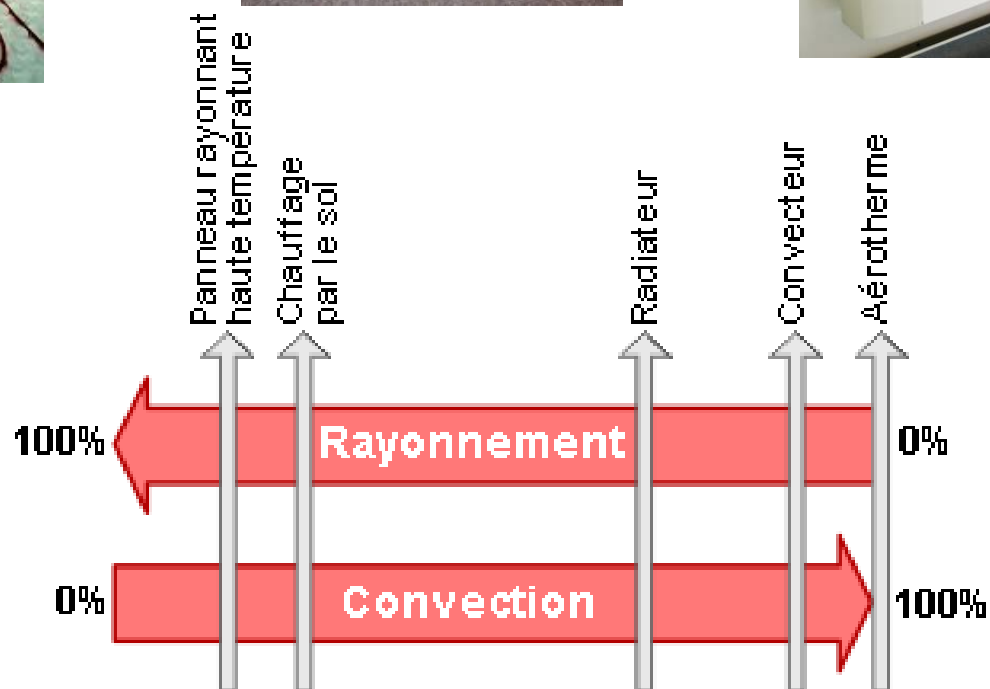
- Vloerverwarming
- Extra grote radiatoren
- Ventilatorconvectoren of gebooste convectoren
- Gepulseerde lucht
- Niet aanbevolen:
  - Standaard convector
  - Installatie met één buis





# Emissie van warmte

## De verschillende soorten zenders



Bron: opleiding tot EPB-certificeerder voor bestaande residentiële gebouwen in Wallonië

Relatieve verhoudingen van "straling" en "convectie" in het warmteoverdrachtmechanisme voor verschillende emissiesystemen



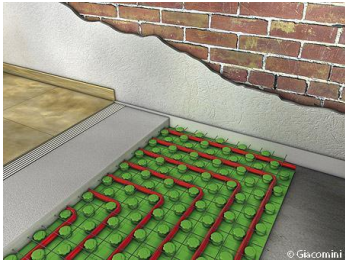
# Emissie van warmte

## Inertie van de verschillende systemen

Hoge inertie



Lage inertie



Verwarmingsbehoeften in energie-efficiënte gebouwen fluctueren snel (door de sterke invloed van incidentele inputs: intern en zonne-energie)

- Hoe groter de inertie van het emissiesysteem, hoe moeilijker het zal zijn om de omgevingstemperatuur te regelen  
→ verliezen bij regeling





# Vloerverwarming



→ Interessant:

- werkt bij lage  $T^\circ$  (straling)
- lagere binnenluchttemperatuur voor hetzelfde comfort (geen temperatuurlagen)

→ Nadelen :

- hoge inertie
  - > oververhitting
  - > moeilijke regeling
  - > minder efficiënt vertragen (of zelfs onmogelijk)



Belemmer de emissie door de vloerbedekking niet:

- Tegels: ideaal
- Parket: onder voorwaarden
- Vast tapijt: te vermijden



# Vloerverwarming

## Minimaliseren van emissieverliezen onder vloerverwarming



**Voor vloeren die in contact staan met de buitenlucht, de grond of een onverwarmde ruimte**

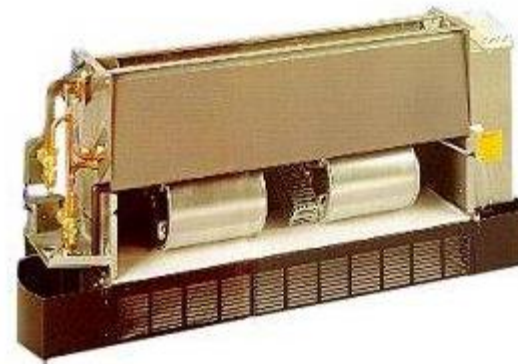
→ De onderkant van de vloer moet goed geïsoleerd zijn **om** emissieverliezen te beperken

Bron: [www.massiefpassief.be](http://www.massiefpassief.be)



# Ventilator-convectoren

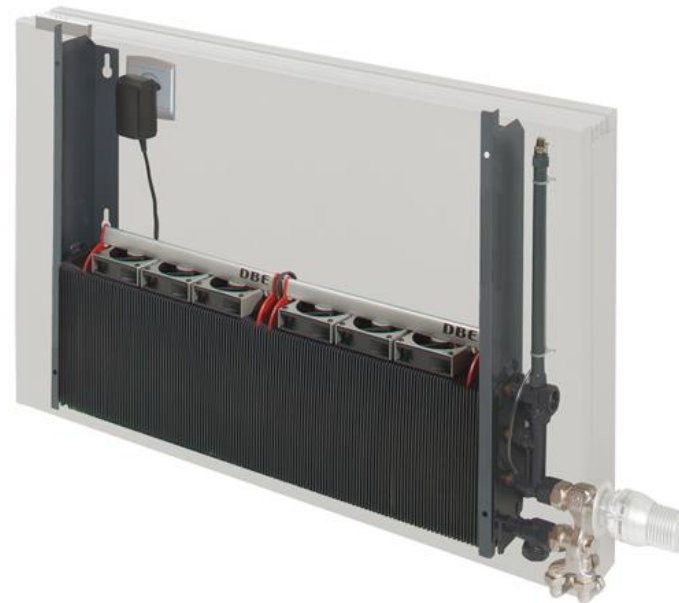
- Geforceerde convectie -> hoog vermogen, zelfs bij lage temperaturen
- Pas op voor lawaai (vereisten variëren afhankelijk van de bestemming van de ruimte: kantoor, woonkamer, slaapkamer)
  - =>Zorg dat ze geschikt zijn voor een gemiddelde ventilatorsnelheid





# Gebooste convector

- Meer vermogen bij lage temperaturen
- Erg stil (geschikt voor slaapkamers)
- Elektronische regeling van de ventilatoren





## Overgedimensioneerde radiatoren



- d.w.z. ontworpen om te werken bij lage temperaturen
  - het vermogen zien als functie van de temperatuur: informatie verstrekt door de fabrikant er bestaan correctiefactoren als de gegevens niet bestaan voor werking bij lage temperatuur
  - in geval van bestaande radiator (renovatie) en indien informatie niet beschikbaar zijn, bestaan er hulpmiddelen. Bijvoorbeeld op de website van energie+:  
[http://www.energieplus-lesite.be/fileadmin/resources/04\\_technique/05\\_chauffage/08\\_calculs/01\\_programmes\\_calcul/chaucalp\\_uissanceradiateur.xls](http://www.energieplus-lesite.be/fileadmin/resources/04_technique/05_chauffage/08_calculs/01_programmes_calcul/chaucalp_uissanceradiateur.xls)
- Bij renovatie, na isolatie van de bouwschil, zijn de radiatoren vaak voldoende overgedimensioneerd
- Nemen veel plaats in



# Emissie van warmte

## Systemen met directe expansie: Split- of multisplitsystemen

- Geen tussenliggende warmteoverdrachtsvloeistof: het koelmiddel circuleert tussen de buitenunit en een of meer binnenunits
- Binnenunits: consoles voor wandmontage (ventilatorconvectoren)
- Vaak geïnstalleerd voor airconditioning
- Geen premie want altijd omkeerbaar





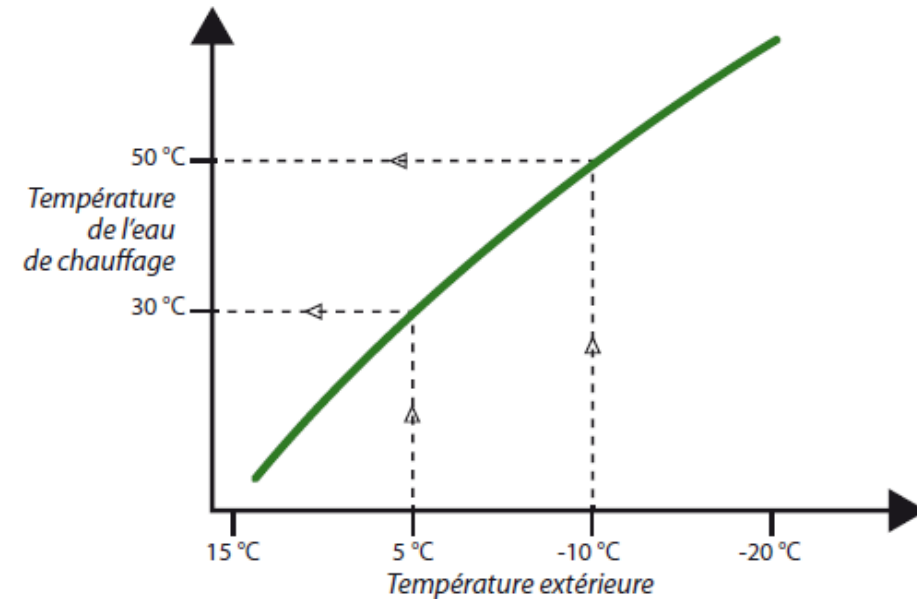
## Regeling van de watertemperatuur

Regeling met “glijdende temperatuur”:

- De watertemperatuur is afhankelijk van de buitentemperatuur
- Buitentemperatuursensor vereist (voor lucht/water-warmtepompen geïntegreerd in de buitenunit)



Bron DGO4



Bron DGO4

Zorg ervoor dat het regelsysteem correct is ingesteld (in overeenstemming met de grootte van de zenders) en effectief is (schakel niet over naar de handmatige modus !)



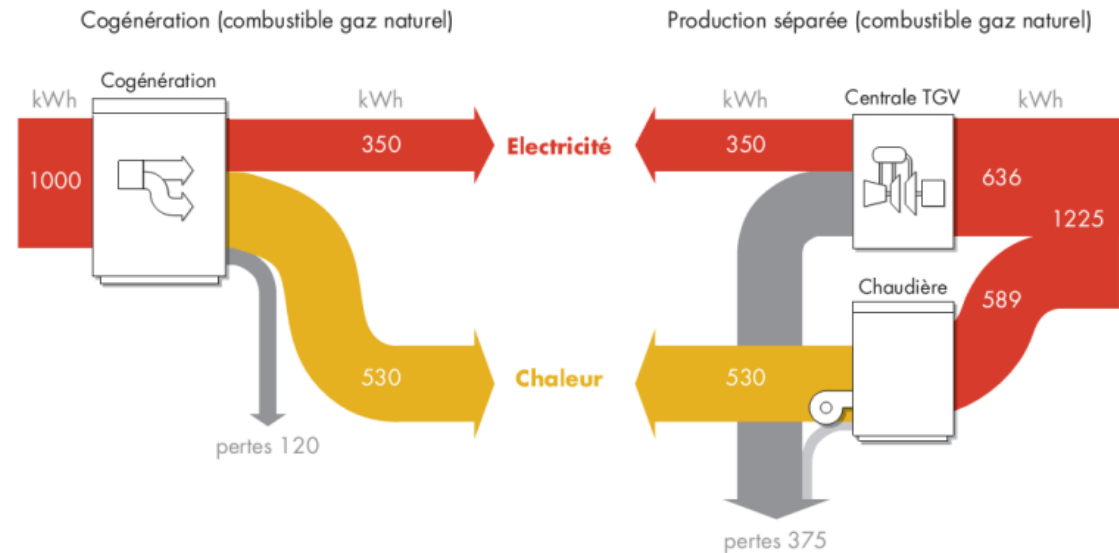
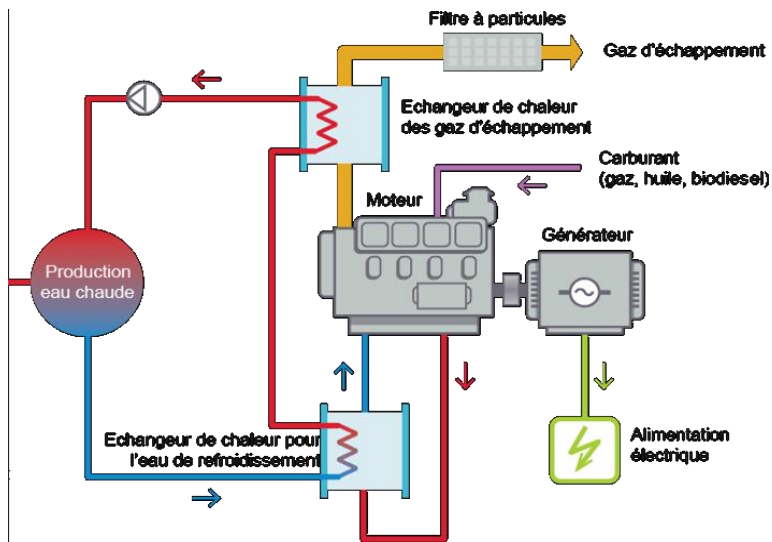
# Warmtekrachtkoppeling





# Warmtekrachtkoppeling

Warmtekrachtkoppeling staat voor het gelijktijdig opwekken van elektriciteit en warmte gevaloriseerd uit eenzelfde primaire energiebron.



Een besparing van 225 kWh aardgas (22 %)!

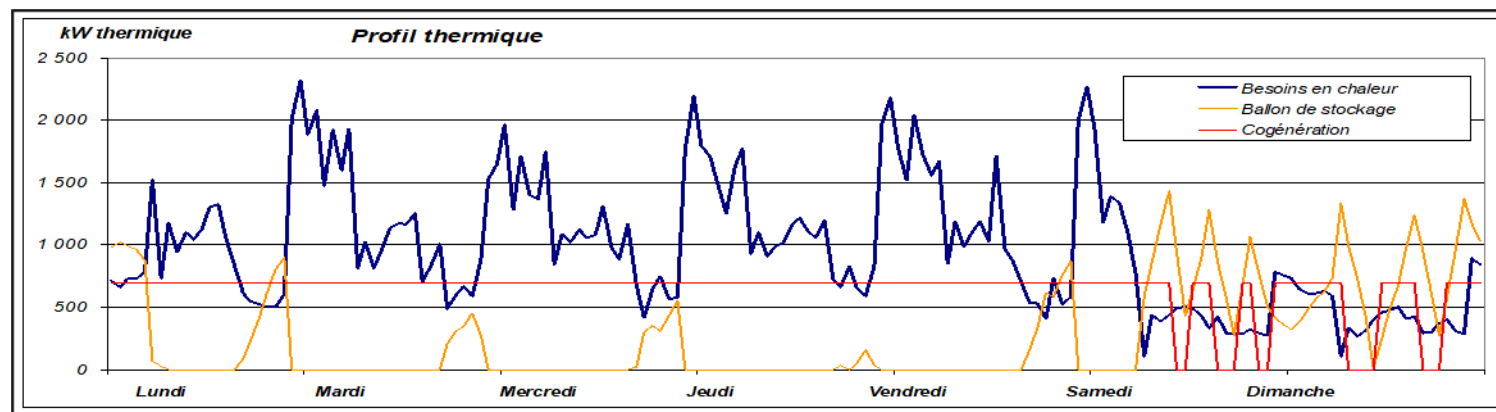
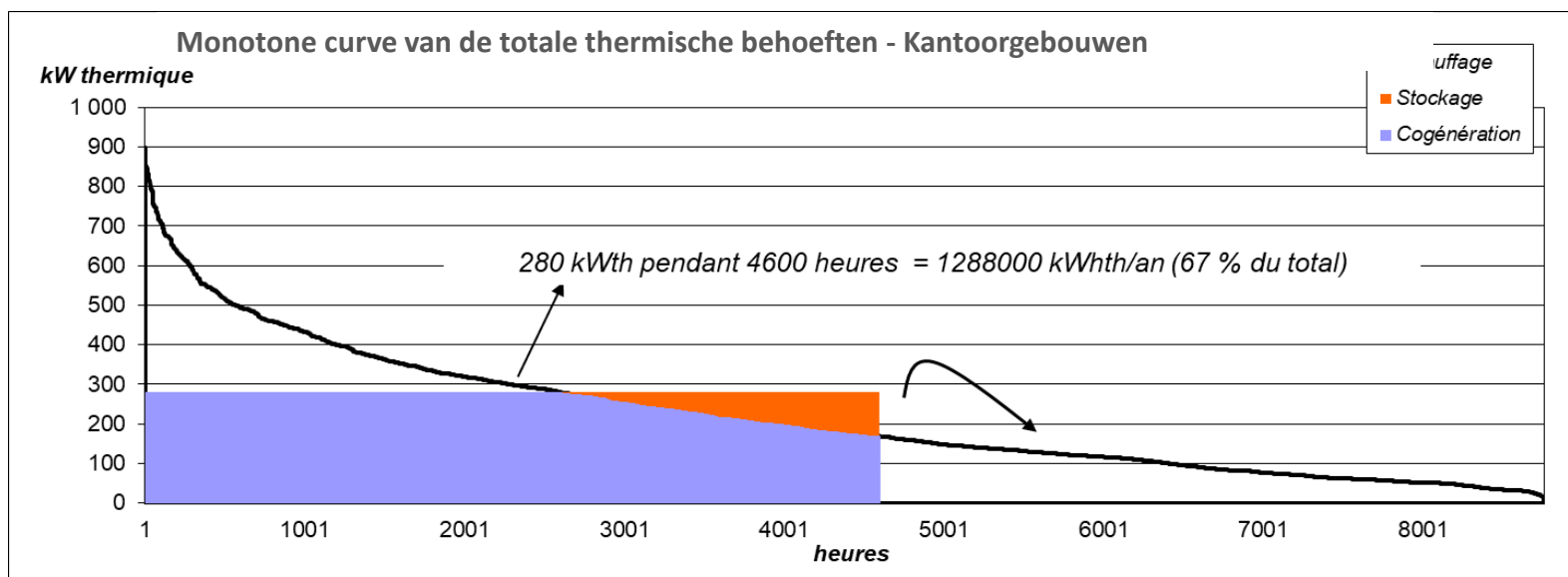
Let op: verhoging van de brandstofrekening met 411 kWh gas  $\Rightarrow$  350 kWh opgewekte elektriciteit  
 $3 \text{ tot } 6 \text{ c€} / \text{kWh}_{\text{gas}} \ll 8 \text{ tot } 21 \text{ c€} / \text{kWh}_e$



# Warmtekrachtkoppeling

Warmtekrachtkoppeling voorziet in de basisbehoefte.

Over het algemeen vertegenwoordigt dit 20 tot 35% van de maximaal benodigde verwarmingscapaciteit.





# Warmtekrachtkoppeling

1. Verlaagt de totale energierekening van een gebouw (lagere elektriciteitsrekening maar hogere brandstofrekening voor de locatie)
2. Is goed voor het milieu
3. Vereist een voorafgaande studie: LET OP voor het risico van overdimensionering!
4. Gelijktijdige behoefte aan elektriciteit en warmte, maar mogelijkheid om elektriciteit te verkopen en/of warmte op te slaan
5. Vervangt een klassieke verwarmingsketel niet volledig
6. Vereist een extra initiële investering (vergeleken met ketel)
7. Vereist regelmatig en duurder onderhoud (vergeleken met ketel)



# Stop ondersteuning met GC voor fossiele WKK 2025

Indien WKK van 35 kWel – 53 kWth met 10u werking (fictief!)

- CO2 winsten :

$$G_{CO2} = \frac{Pr_{elec} * C_{gaz}}{55\%} + \frac{Pr_{therm} * C_{gaz}}{90\%} - \frac{Pr_{elec} * C_{cogen}}{\eta_{elec}}$$

- Aantal groene certificaten (GC):

$$N_{CV} = \frac{G_{CO2}}{C_{gaz}}$$

C<sub>gaz</sub> (emissie coefficient voor gas) = 217 kgCO<sub>2</sub>/Mwh gas.

=> in dit fictief becijferd voorbeeld : aantal GC voor geproduceerde 350 kWhel = 48,9/217 = 0,22 CV  
Dus met gegarandeerde minimumprijs van 65 €/GC = 15€ voor de geproduceerde 350 kWhel.

Voor de geproduceerde 350 kWhel, besparingen op elektriciteitsrekeningen bij 100% zelfverbruik = 350 \* 0,33 kWhel = 115€

Wat de bestaande HR ketel zou hebben verbruikt = 530/100% \* 0,079 = 42€

Dit geeft een kost voor het gasverbruik van de WKK van 79€.

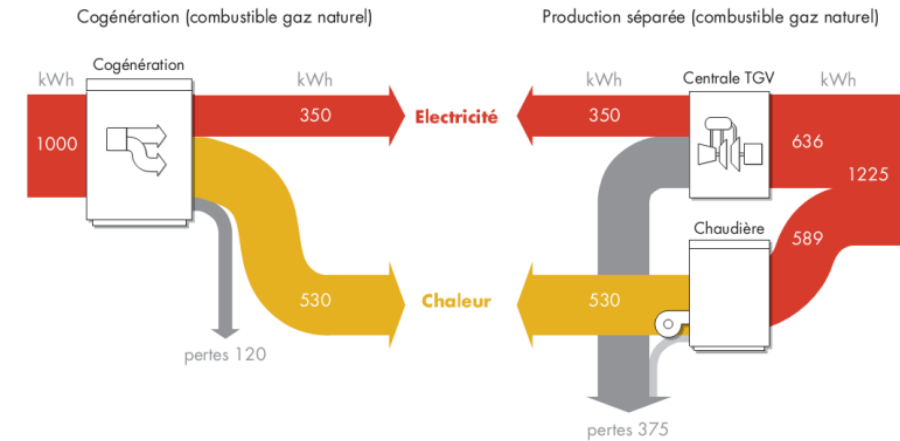
Als we rekening houden met onderhoudskosten van €1/uur in bedrijf, tellen we hier 1€x10u = 10 €

De financiële winst, zonder CV-steun, is daarom 115 + 42 - 79 - 10 = 68€

Als deze cogen 5000 uur per jaar had gedraaid, gezien de investeringskosten van de apparatuur in het voorbeeld = 3,5 jaar TVT (vergeleken met 2,3 jaar met GC-winst).

Het is nog steeds financieel de moeite waard om een goed gedimensioneerde en gereguleerde/gemonitorde/onderhouden WKK te hebben.

Pas op voor de variabiliteit van brandstofkosten en maximaliseer het eigenverbruik van elektriciteit!





# Elementen van economische rendabiliteit



# Elementen van economische rendabiliteit

Cost per kWh geproduceerde warmte (aanames : prix TVAC au détail de l'énergie d'aout 2023, source Energie Commune):

- Cost per kWh PCS aardgas te Brussel : 12,6 c€/kWh<sub>BVW</sub>
- Cost per kWh elektriciteit te Brussel : 33,0 c€/kWh

Type warmtepomp	Waarde-intervallen voor de kosten kWh geproduceerde warmte[c€]	
	Nieuwbouw	Renovatie
LUCHT – WATE	11.8 – 9,4	13.2 – 11.0
GROND – WATER	9.4 – 7.3	10.3 – 8.3
WATER – WATER	8.7 – 6.6	9.4 – 7.3

Te vergelijken bijvoorbeeld met aardgas condenserende ketel (rendement op BVW ~ 95% => **7,9** c€/kWh<sub>th</sub> )



# Elementen van economische rendabiliteit

Voorbeeld van investeringskost (informatief):

- Warmtepomp lucht/water van 10 kW : ~ 12 000 ... 14 000 €  
=> (Renolution premie van 35% van de subsidiabele kosten)
- Condenserende aardgas ketel van 10 kW : ~2000 ... 3000 €

Voor een vermogen van 10 kW, rekening houdend met 1500 uur werking bij nominaal vermogen  
=> productie van 15 000 kWh warmte

Verbruik over een période van 15 jaar (eenvoudige berekening, geen actualisatie, geen onderhoudskosten)

	PAC air-eau construction neuve max	PAR air-eau construction neuve min	PAC air-eau rénovation min	PAC air-eau rénovation max	Chaudière à condensation
Consommation finale [kWh]	80 357	64 286	90 000	75 000	236 842
Cout conso [€]	26 518	21 214	29 700	24 750	18 711
Cout total avec investissement (prime renolution 35% déduite) [€]	34 968	29 664	38 150	33 200	21 211



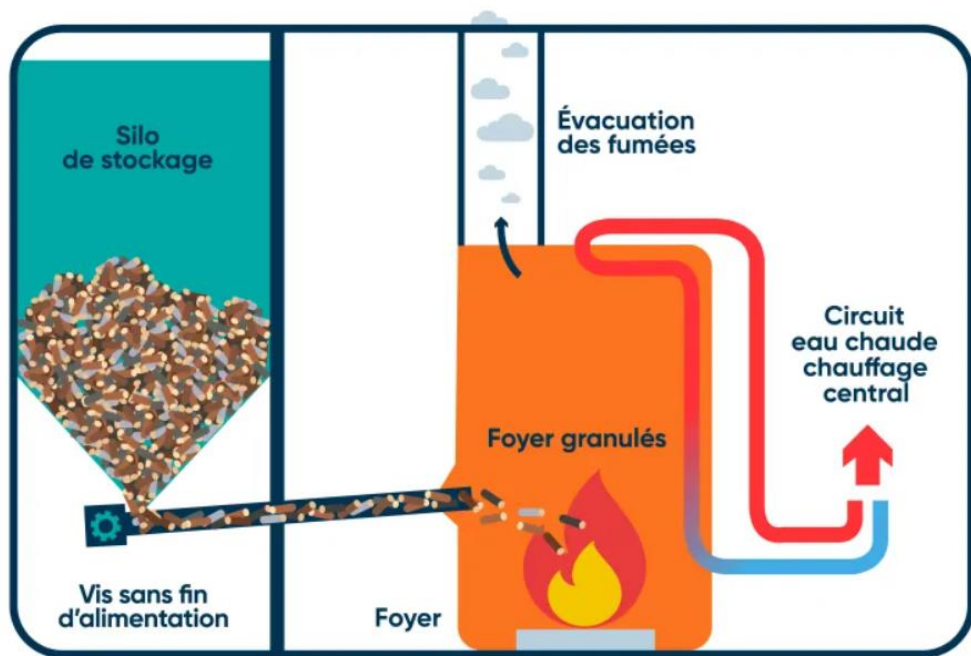
# Alternatieven: Biomassa ed





# Biomassaketels: pellet

## Pellet ketels



Source quelleenergie.fr

### Principe:

- Vaste brandstof mechanisch getransporteerd
- Regeling en automatische ontsteking (elektrisch)
- Meerdere condensatiemodellen
- Hoog rendement (>90%)



# Biomassaketels: pellet

## Pellet ketels



Source quelleenergie.fr

- **Positieve punten**
  - Mogelijk lokale hernieuwbare brandstof
  - Lage en stabielere brandstofprijs
  - CO2-neutraal (volledige cyclus) behalve voor transport

### Aandachtspunten

- Beperktere vermogensmodulatie
- Atmosferische vervuiling door fijne deeltjes
- Filtratiesysteem voor fijne deeltjes vereist

### Zwakke punten

- Groot (grote stookruimte + pelletopslag)
- Hoge installatiekosten
- Asbeheer en -verwerking



# Biomassaketels: pellet

## Prijs installatie?

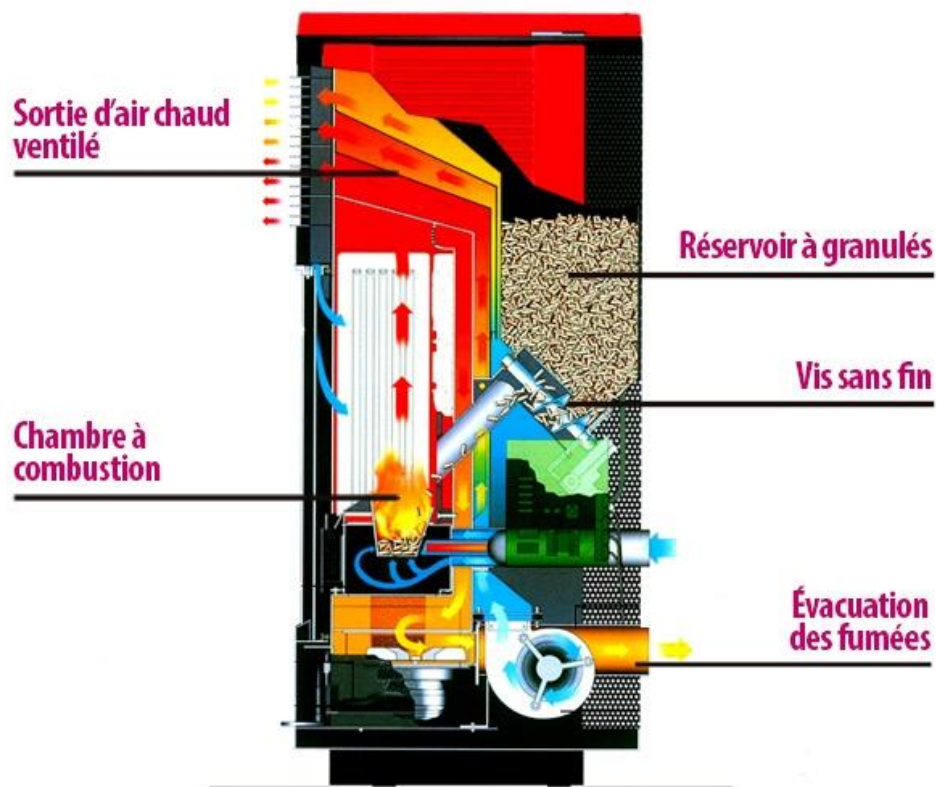
- 10.000 à 20.000€ voor een kleine installatie (ongeveer 2x duurder dan gasketel)
- Geen premie in Brussel

## Prijs verbruik?

- Stabiele pelletprijs: 0,09 € /kWh
- Onderhoud : 180-350 €/jaar (gelijkaardig voor alle technologieën)



## Gedecentraliseerde verwarming

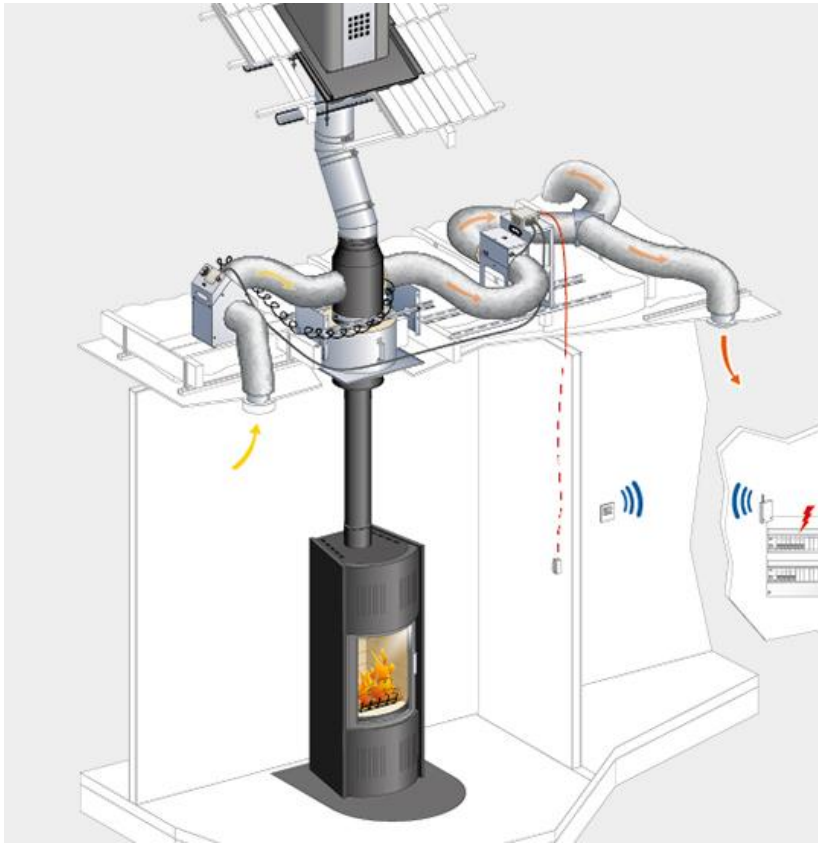


Source kbane

### Principe:

- Plaatselijke verwarming (maar uitbreidbaar)
- Geeft warmte voornamelijk af door warme lucht en straling
- Uitgerust met alle moderne regel- en automatiseringssystemen

## Terugwinning en distributie van warme lucht



Source Poujoulat

### Principe:

- Warmteterugwinning en herverdeling via een ventilatiesysteem
- Onafhankelijke regeling van aangrenzende kamers



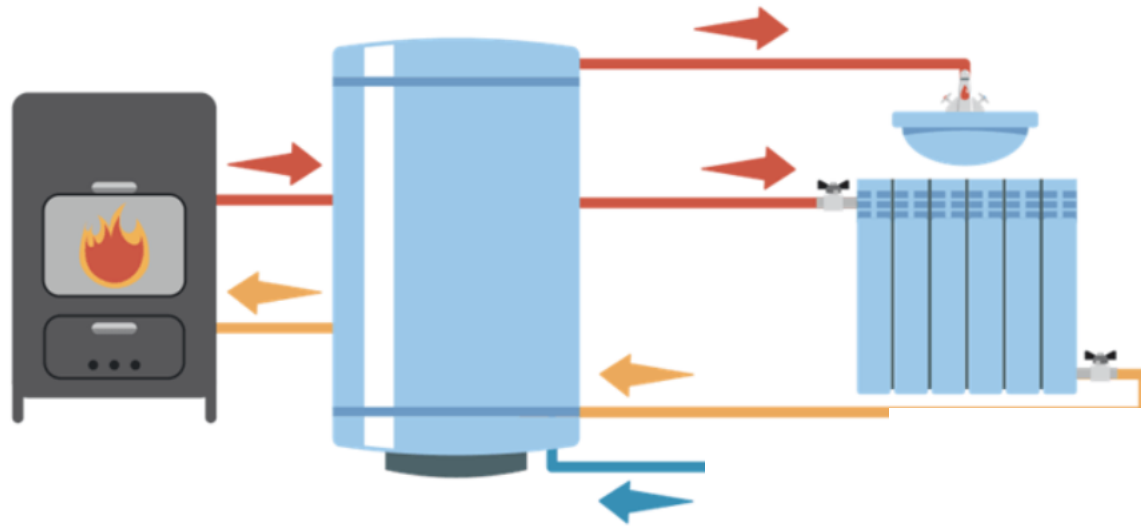
# Hydro pelletkachels

## Verwarming kan worden uitgebreid naar andere kamers

Source conseils-thermiques.org



U.S. Thermiques



### Principe:

- Secondaire verwarming via radiator(en)
- Optie voor buffervat en/of warmwaterproductie



# Pelletkachels (klassiek of hydro)

## Pelletkachels



- **Positieve punten**
  - Hernieuwbare brandstof
  - CO<sub>2</sub>-neutraal (volledige cyclus) behalve voor transport
  - Gemakkelijk instelbaar en controleerbaar
  - Gebruiksvriendelijk
- **Aandachtspunten**
  - Ongelijke temperatuurverdeling
  - Plaats van kachel en warmteverdeling
  - Atmosferische vervuiling door fijne deeltjes
  - Zorg voor een filtratiesysteem voor fijne deeltjes
- **Zwakke punten**
  - Pellet bijvullen om de 1 tot 3 dagen
  - Vrij hoge installatiekosten (afhankelijk van complexiteit)
  - Asbeheer en –verwerking
  - Beperkt tot kleine gebieden



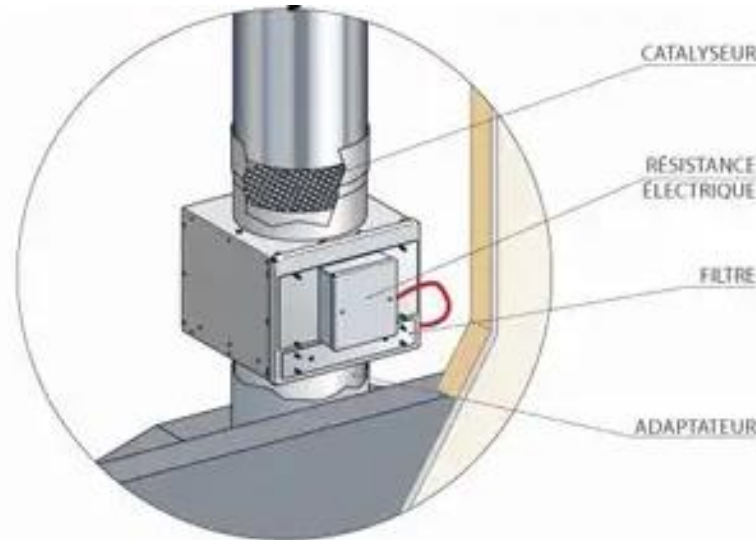
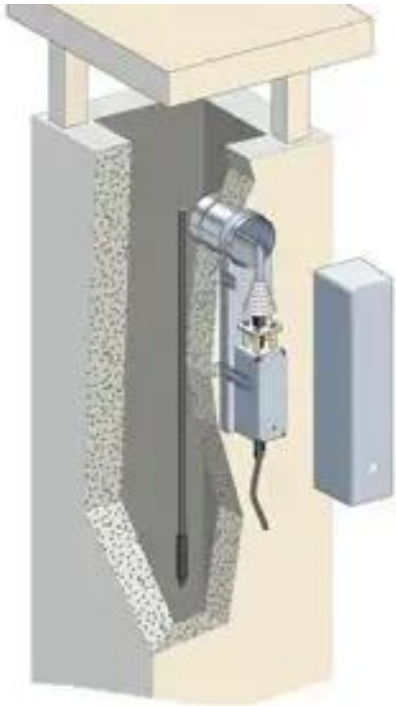
## Bijkomende slides





# Filters voor fijne deeltjes

## 2 filtertechnologien



(c) Poujoulat

Source poeleabois.com

### Principe:

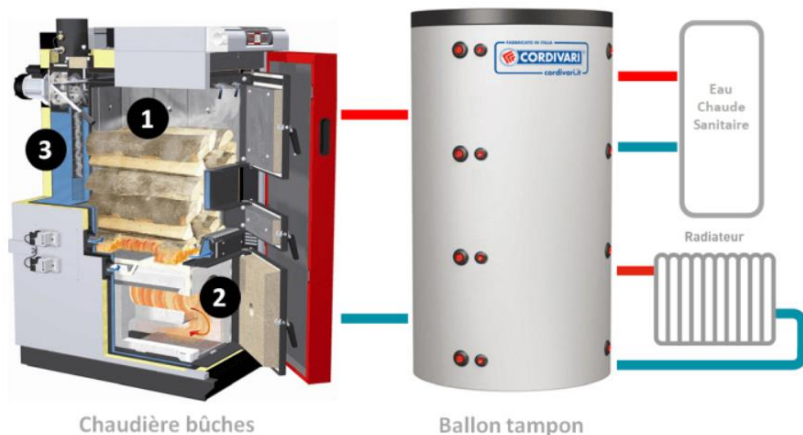
- Vermindert de uitstoot van fijne deeltjes aanzienlijk (>80%)
- Moet regelmatig worden vervangen



# Biomassaketels: houtblokken

## Houtgestookte ketels

Source Bobex,be



Source : conseils-thermiques.org

- **Positieve punten**
  - Hernieuwbare brandstof
  - Terugwinning van lokaal groenafval
  - Zeer lage brandstofprijs
  - CO<sub>2</sub>-neutraal (volledige cyclus) behalve voor transport

### Aandachtspunten

- Vermogen aanpassen aan de vereisten
- Atmosferische vervuiling door fijne deeltjes
- Zorg voor een filtratiesysteem voor fijne deeltjes

### Zwakke punten

- Zeer groot (grote stookruimte + houtopslag + opslagtank)
- Geen vermogensmodulatie!
- Hoge installatiekosten
- Houtverwerking en asbeheer



**ICEDD**

**Institut de Conseil et d'Etudes  
en Développement Durable**

4 Boulevard Frère Orban  
B-5000 Namur  
Tél : +32 81 250 480

[www.icedd.be](http://www.icedd.be)  
[icedd@icedd.be](mailto:icedd@icedd.be)



Déchets et ressources naturelles



Climat et transition énergétique



Mobilité et territoire



Bâtiment et industrie durables