

Energie in een Notendop

P. Grootjans 2021

E1: Energiebronnen	2
E2: Zonne-energie	5
E3: Opwekken van elektriciteit met turbine/generator-systemen.	9
E4: Transport, distributie, opslag en gebruik van elektriciteit.	11
E5: Verlichting	16
T1: Verwarmen: algemeen.	19
T2: Gasloos verwarmen: warmtepomp of warmtenet.....	21
T3: Koelen: koelkast, airco.	32
T4: Isolatiematerialen.....	36
T5: Ventilatie	39
R1: regelgeving en subsidies;	41
R2: Bronnen.....	42

(E) Elektrisch; (T) Thermisch; (R) Rest

E1: Energiebronnen

zon, wind, water, aardwarmte, kernenergie, gas en olie.

Zon

Veel energie komt direct van de zon. Bijvoorbeeld in de vorm van IR-straling (warmtestraling, 50%). Of in de vorm van zichtbaar licht (ook 50%; incl. 5% UV-straling). Vooral zichtbaar licht wordt doorgelaten richting aardoppervlak. Dit noemt men het lichtvenster. Naast zichtbaar licht wordt radiostraling volledig doorgelaten door de atmosfeer.

Voor ons gevaarlijke straling (UV-straling, Röntgenstraling, hoog-energetische kosmische straling) wordt door de Ozonlaag afgevangen.

Warmtestraling (infra-roodstraling) wordt grotendeels (60%) ingevangen door waterdamp en CO₂ in de atmosfeer (broeikaseffect).

Op een schuin oppervlak kan men ca. 110 W/m² aan vermogen invangen (licht en warmte). Licht wordt opgevangen door een zonnepaneel, en omgezet in elektriciteit. Warmte (infra-roodstraling) wordt b.v. opgevangen door een zgn. zonnecollector van een zonneboiler, met name voor de warm tapwater-voorziening.

Wind

Ontstaat door luchtverplaatsing van een hogedrukgebied (>1 atm) naar een lagedrukgebied (<1 atm). Verder draait de aarde om haar as; ook dit heeft windvorming tot gevolg (Corioliskracht), vooral op de evenaar. Met een windturbine (windmolen) kan windkracht in elektriciteit worden omgezet. Vooral langs de kusten of op zee.



Water

Uit **vallend water** kan men energie opwekken. Met een waterkrachtturbine kan men uit vallend water (rivier, stuwmeer) elektriciteit opwekken. Deze techniek wordt veel toegepast. Getijdenstroming in zee wordt veroorzaakt door de zwaartekracht die de maan op de aarde uitoefent. Ook hier wordt soms energie uit gewonnen. Er bestaan intussen diverse technieken om zo elektriciteit op te wekken.

Kernenergie

Het gebruik van kernenergie staat ter discussie; het levert minder CO₂ op tijdens het proces, maar de stralingsgevaaren zijn navenant, met name in de afvalfase of bij ongelukken. Bovendien is Uranium een eindige grondstof (nog 80 jaar voorradig).

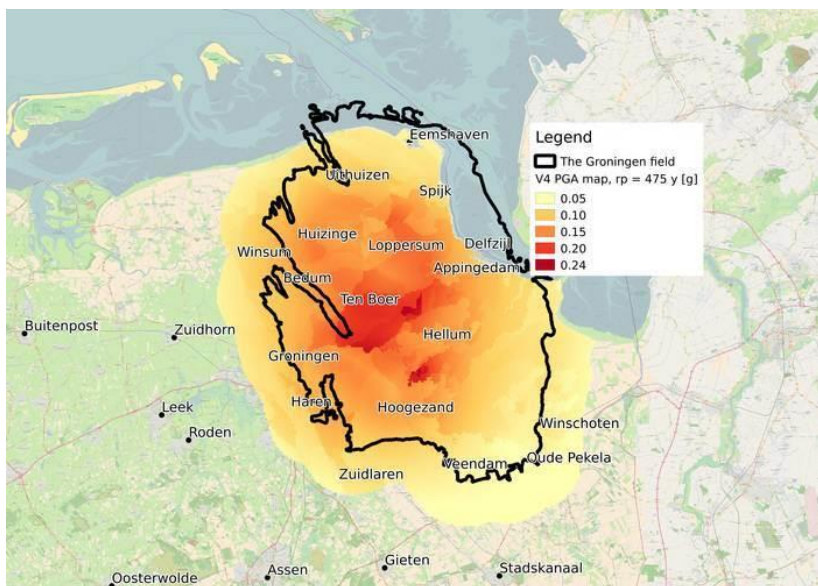
Aardwarmte

Naast kernenergie (kerncentrales) is ook aardwarmte (geothermie) gebaseerd op radioactiviteit. Door spontaan verval van bepaalde onstabiele radioactieve atomen in stabielere elementen (b.v. lood) ontstaat in de aarde warmte. Deze kan niet ontwijken, dus aardkorst warmt op in de loop van miljarden jaren. Het gesteente van de mantel is daarom vloeibaar (b.v. vulkanen). Op een diepte van 3-4 km kan men zo kokend water winnen.

Gas en olie

Gas en olie zijn afkomstig uit rottingsprocessen van organismen die in de loop van de honderden miljoenen jaren op aarde geleefd hebben. Met de opkomst van de auto-industrie honderd jaar geleden is olie een economische factor geworden. Gas en olie hebben het gebruik van hout en steenkool als brandstof verdrongen, alleen nog niet in de derde wereld. Fossiele brandstoffen beginnen schaars te worden vanwege de bevolkingsexplosie van de laatste tientallen jaren. Daarbij komt dat de opwarming van de aarde door verbrandingsgassen (m.n. CO₂) inmiddels een onbetwist feit is geworden. De 400 ppm (parts per million) -grens voor het aandeel CO₂ in de atmosfeer is intussen overschreden; dat is een kwart hoger dan tweehonderd jaar geleden (280 ppm).

In de natuur zijn aardgas en olie vrij zeldzame verschijningen; de aardgasbel in Slochteren (Groningen) was de grootste van West-Europa. Hiervan kan echter de resterende 30% (1000 miljard m³) niet meer gewonnen worden vanwege het uitlokken van aardbevingen.



Gasveld onder Groningen op 3 km diepte (rood: 20 cm verzakking).

Globaal kan men zeggen dat aardgas afkomstig is uit Siberië en olie uit de Arabische Golf. Beide vormen nog steeds een groot aandeel binnen het totale energieverbruik. Kolen is er nog in ruime mate voorradig, maar levert een relatief grote bijdrage aan het broeikas-effect. Het gebruik van fossiele brandstoffen heeft vermoedelijk zijn langste tijd gehad.

De kentering naar gebruik van duurzame, hernieuwbare energie (de energietransitie) is echter intussen een feit geworden. De opbrengst is echter nog steeds marginaal te noemen (7,5 % in Nederland). Alleen elektriciteit doet het goed met 26% duurzaam opgewekt.

E2: Zonne-energie

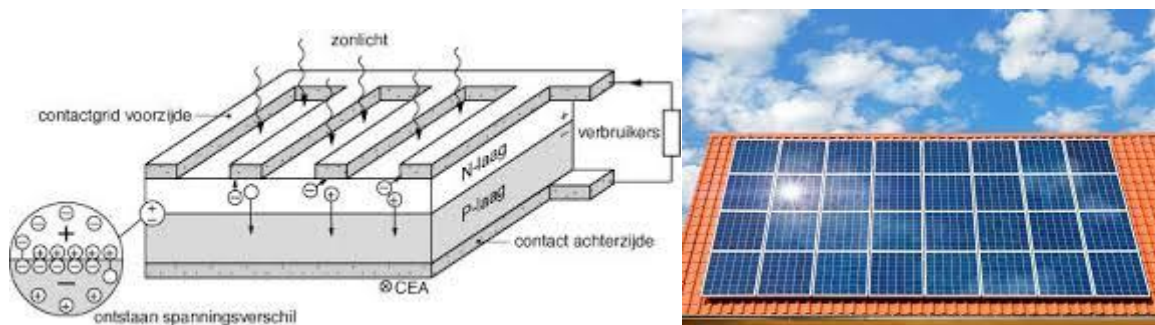
Zonnepanelen of PV-systemen (Photo-Voltaïsch); zonneboiler.

De meeste duurzame technieken werken op elektriciteit: warmtepompen (compressor-motor); inductiekookplaat; ventilatoren; IR-panelen; ledverlichting. De benodigde stroom kun je het beste zelf opwekken, bij voorkeur met PV of windenergie. Deze manier van energiegebruik noemt men wel “all-electric”, omdat er geen gas meer verbruikt wordt.

Zonnepanelen of PV-cellen kunnen zonder tussenkomst van brandstoffen elektriciteit maken. Met zonlicht kan men via deze atomaire batterij een stroom elektronen genereren, oftewel elektriciteit produceren. Elektronen zijn negatief geladen elementaire deeltjes die in schillen om de positieve atoomkern draaien. Zo houden ze elkaar in evenwicht met elektromagnetisme. Als planeten om de zon, die daarbij zwaartekracht gebruiken om in balans te blijven.

Net als een gewone batterij bestaat een zonnepaneel uit een negatieve laag en een positieve laag; de N-laag en de P-laag. De N-laag bestaat uit een laag zuivere Silicium (een metaal) met een beetje Fosfor; de laatste kan met hulp van zonlicht elektronen losmaken uit zijn buitenste elektronenschil. De P-laag bestaat uit een laag zuivere Silicium met een beetje Borium, dat juist een tekort aan elektronen heeft. Bij contact tussen beide lagen ontstaat een stroom elektronen die kan worden afgevangen: elektrische stroom. Deze atomaire batterij kan enkele tientallen jaren meegaan, al neemt de productie dan wel iets af.

Een zonnepaneel kan in een jaar genoeg elektriciteit opwekken om een grote koelvriescombi een jaar te laten draaien (280 kWh/jr). Voor een volledige warmtepomp zijn twaalf zonnepanelen nodig (ca.3300 kWh/jr); voor een hybride warmtepomp naast de CV-ketel zijn zes panelen nodig (ca.1600 kWh/jr).



Doorsnede van een zonnepaneel, met P- en N-laag.

De opbrengst van zonnepanelen is afhankelijk van het aantal zonuren; in ons land is dat ca.1000 uren per jaar (tegenover ca.3000 in Spanje). Verder zijn ze gevoelig voor de oriëntatie. Binnen het kwadrant Zuidoost-Zuid-Zuidwest is de opbrengst 100%; ca.280 kWh per jaar per paneel (1 m. x 1,65 m). Opgesteld onder een hoek van 30-45 graden, is de investering in zonnepanelen dan binnen zes jaar terugverdiend.

Met een west of oost gerichte oriëntatie is de terugverdientijd zeven jaar (opbrengst 15% minder of ca.240 kWh/jr). Op het noorden gericht is dat 8-9 jaar (30% minder opbrengst dan zuidelijk gericht; ca.200 kWh/j).

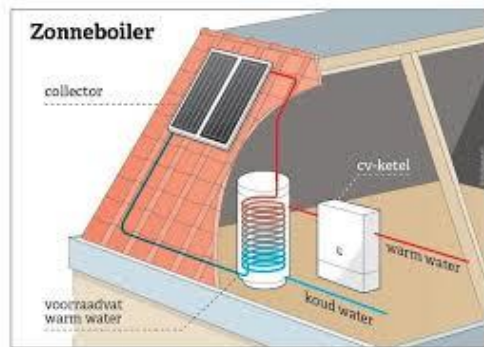
Zonnepanelen zijn gevoelig voor slagschaduw van b.v. bomen, gevels of schoorstenen. In dat geval gebruikt men per paneel een eigen omvormer, die de opgewekte gelijkstroom omzet in bruikbare wisselstroom. Zo voorkom je dat een beschaduw paneel een negatief effect kan hebben op de opbrengst van de andere panelen, die als een trein in serie staan opgesteld. Panelen met een eigen omvormer staan dan parallel geschakeld.

Overdag levert een zonnepaneel elektriciteit op, die ook direct voor eigen gebruik kan worden benut. De rest kan worden terug geleverd aan het elektriciteitsnet. Tot 2023 geldt hiervoor de Salderingsregeling voor teruglevering van te veel opgewekte stroom, tot een stroomverbruik van 5000 kWh/jr. Daarboven geldt een terugleveringsvergoeding door het energiebedrijf, die veel lager is (b.v. 1 ct/kWh). Na 2023 wordt deze regeling jaarlijks met 9% versoberd, om in 2032 te verdwijnen. Intussen neemt de zgn. 80%-regeling het dan over.

Het overschot aan elektriciteit kan nu ook in Lithium-ion accu's worden opgeslagen (tot ca. 5kW vermogen). Een elektrische auto kan met zo'n accu als mobiele en omkeerbare elektriciteitscentrale fungeren voor je huishouden. Tijdens het rijden laad de accu zichzelf op, en kan dan terugleveren aan het net, of aan je thuisaccu.

Zonneboiler.

Een zonneboiler vangt zonnewarmte op met een opgevouwen slang die zich in een paneel op het dak bevindt; de collector. Door de slang loopt een vloeistof (glycol/water) in een gesloten circuit, welke de warmte (60-90 graden) opneemt en weer afgeeft aan water in een buffervat, dat zich vaak op zolder bevindt. Het buffervat met water van ca.40 graden, kan worden naverwarmd met de CV-ketel tot een temperatuur van minstens 60 graden (i.v.m. Legionella). Zo kan het warme water worden gebruikt als tapwater voor de douche. Dankzij de voorverwarming met zon kan 50% worden bespaard op de verwarmingskosten. Dat kan 100-200 m3 gas per jaar zijn. De rest van de warmte wordt geleverd door de CV-ketel of stadsverwarming. De investering is € 2000- € 3000; daarom is een zonneboiler niet snel terugverdiend (t.v.t.20 jr). Dit is de reden waarom ze nog niet veel geplaatst worden bij huishoudens; wel bij de zorgsector of zwembaden. Vaak is er nog subsidie voor.



Zonneboilersysteem voor warm tapwater: collector, voorraadvat en cv-ketel

Andere vormen van warm tapwaterbereiding.

Bekend is de close-in boiler (10-15 liter) in het keukenkastje. De moderne variant is de Quooker, een Nederlandse vinding die direct kokend water levert. Handig maar duur. Het bespaart ook geen energie vergeleken met een close-in boiler.

Er zijn ook grote elektrische boilers (80-120 l) voor de badkamer, maar die zijn duur in gebruik; kies liever voor gasgestookt water. Dat is twee tot drie keer goedkoper in gebruik. In combinatie met stadsverwarming komt men wel 50 liter boilers tegen (elektrisch). Het alternatief is een warmtewisselaar van de stadsverwarming voor je warm tapwatergebruik. Hiervoor betaalt men dan iets meer per afgenomen GJ.

Bedrijven met veel warm waterverbruik (slager, supermarkt, zorgsector, zwembaden, melkveehouder) gebruiken ook warmtepompboilers. Het beste is dan om een warmtebron te bezitten, bijvoorbeeld koelwater van motoren, ovens, of warme koeienmelk. De investering is hoog, maar er zijn subsidies beschikbaar (ISDE). In gebruik zijn ze iets goedkoper dan gasgestookt warm tapwater.

Douche-WTW.

Met warmteterugwinning (WTW) van douchewater kan men 30% van de energie hergebruiken om water op te warmen. De kosten beginnen bij €400,- als je het zelf installeert; anders €500,- tot €1500,-. Daarom is het niet snel terug te verdienen (8-20 jr).

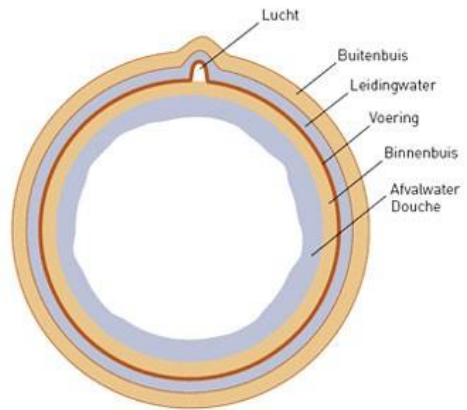
Er zijn twee typen:

1. **Douche-pijp:** verticale pijp-in-pijp systeem, wanneer de badkamer boven zit. Beneden wordt de douchepijp geplaatst, met waterafvoer in de centrale pijp en toevoer van op te warmen leidingwater er omheen. Dit is het meest efficiënte systeem, en kost € 600 incl. installeren.
2. **Douchegoot:** een bakje (25 x 25 x 80 cm) fungeert als warmtewisselaar, waarin de koperen toevoerleiding zit opgevouwen. Warm douchewater (afvoer) stroomt hier overheen en warmt de leidingen op.

Analoog hieraan kan de warmtewisselaar zich ook als een platte schijf in de bodem van een douchecabine bevinden.



douchepijp-WTW



doorsnede douchepijp



douchegoot-WTW



douchevloer/douchegoot-WTW

E3: Opwekken van elektriciteit met turbine/generator-systemen.

Elektriciteitscentrales.

In een elektriciteitscentrale wordt elektriciteit opgewekt met een generator die wordt aangedreven door een turbine. De turbine is in feite de motor achter het opwekkings-systeem (generator) dat om een as draait. Vergelijkbaar met een fietsdynamo die door een fietswiel in beweging wordt gebracht. Het binnenwerk van de dynamo draait dan ook om zijn eigen as.

Een turbine zorgt voor de aandrijving van de as van een generator. De turbine kan worden aangedreven door stoom, water, of wind. Bij gasturbines (industrie) gebruikt men rookgassen (verbrandingsgassen) om een hoger rendement te verkrijgen dan met de andere typen.

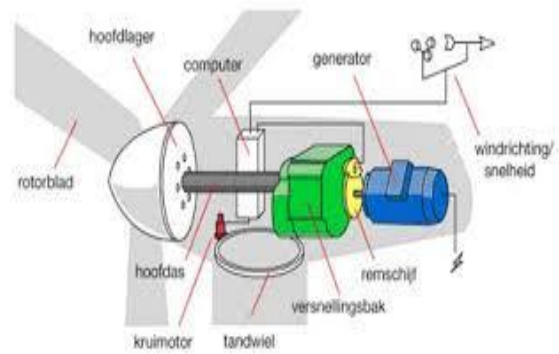
Om de as van de generator draait een anker met koperen windingen binnen een fluctuerend magneetveld. Dit veranderend magneetveld is een voorwaarde om elektronen los te krijgen uit het kopermetaal van de windingen (met een gesloten circuit). Zo levert de generator elektriciteit op; een stroom van vrije elektronen die kan worden benut als energiebron (Faraday, 1831). Dit betekent ook dat het elektriciteitsnet in huis een gesloten circuit vormt. Dat op zijn beurt weer deel uitmaakt van een groter elektriciteitsnet met de elektriciteitscentrale als spanningsbron (230 Volt).

Windmolens.

Naast zonnepanelen vormen windmolens, ook wel windturbines genoemd, de tweede belangrijke manier om stroom op te wekken zonder gebruik van brandstof.

In een klassieke elektriciteitscentrale gebruikt men de stoommachine van James Watt (1769) om een turbine in beweging te zetten. Maar om stoom te maken verbruikt men brandstof. Bij een windturbine brengt de wind de turbine (rotorbladen of wieken) in beweging, en deze brengt de erachter liggende stroomgenerator in beweging.

In de generator beweegt een koperen spoel langs magneten. Het wisselende magnetische veld dat zo wordt opgewekt kan elektronen losmaken in de koperen spoel. Deze vrije elektronen kunnen dan als elektrische stroom worden afgevoerd. Net als bij een ouderwetse fietsdynamo.



Wat nieuw is betreft het relatief grote elektrische vermogen dat kan worden opwekt met een windmolen van 80 m hoogte (zonder de wieken); namelijk 1500 kW vermogen. Deze kan 1000 huishoudens van stroom voorzien. Een windmolen van 100 m hoogte (zonder de wieken) kan zelfs 3000 kW (3 MW) aan vermogen leveren; of wel 2000 huishoudens. Dit wordt bijna verdubbeld bij een windmolen van 120 m. hoogte (vgl. de dom van Utrecht met 112m.): 5000 huishoudens. Dus hoe hoger hoe beter. Kleine windmolens (10 m) leveren daarom weinig op; net genoeg voor een paar huishoudens.

Nederland ligt aan de Noordzee. Aan de kust en op zee waait het meer dan in het binnenland. Het ligt daarom voor de hand om windmolenparken bij voorkeur in zee te plaatsen. En dan liefst zo hoog mogelijk vanwege de hogere opbrengst. In Utrecht denkt men in de polder Rijnenburg (tussen de Meern en Nieuwegein) windmolens te kunnen plaatsen.

Andere manieren om met turbines elektriciteit op te wekken zijn:

- Waterturbines: rivieren, berggrivieren of stuwmeren, getijdencentrales, zeegolfcentrales.
- WKK (warmte-kracht-koppeling). Bij WKK wordt zowel elektriciteit als warmte (als nevenproduct) opgewekt met gas.
- Kernenergie.

E4: Transport, distributie, opslag en gebruik van elektriciteit.

Transport van elektriciteit.

In Nederland staan een zeventigtal elektriciteitscentrales die stroom leveren. Dit wordt met hoogspanningsmasten vervoerd en met transformatorstations verdeeld. In huis komt elektriciteit meestal binnen bij een spanning van 230 Volt. Om de **transport-verliezen** bij de distributie van elektriciteit te beperken, wordt de stroom echter onder zeer hoge spanning (400.000 V) door het hoofdnet geleid. Dan kan men met een lage stroomsterkte toe, die minder warmteweerstand oplevert. Om diezelfde reden gebruikt men ook wisselstroom binnen het net; de stroom verandert 100 keer per seconde van richting (50 Hertz). Men beperkt zo de stroomsterkte binnen het stroomnet. En daarmee warmte-ontwikkeling.

Opslag van elektriciteit.

Opslag van elektriciteit blijft ook tegenwoordig een heikel punt; elektronen laten zich moeilijk vangen en opsluiten. Om de eenvoudige reden omdat alle materie die je aanraakt uit elektronen bestaat, en daarom altijd wel losse elektronen kan opnemen. Veel elektrische schakelingen zijn daarom voorzien van een aarding, om in geval van nood een overmaat aan elektronen te kunnen lozen in de aarde. Sommige stoffen (b.v. koper) geleiden stroom goed (stroomdraad; geleider). Terwijl andere stoffen (b.v. plastics; isolator) elektronen juist niet doorlaten. Daarom zijn alle stroomsnoeren voorzien van een kunststof-omhulling als isolatie.

- Binnen een **accu** kan men met een omkeerbaar chemisch proces de elektronen binnen houden. Net als bij een oplaadbare batterij. Voorbeelden zijn: lood/zwavelzuur-accu (startaccu auto); Nikkel-metaalhydride (NiMh); Calcium-accu, GEL-accu, AGM-accu, Lithium-ion (tractie, el.auto). Een auto-accu levert spanning, maar wordt tijdens het rijden ook weer opgeladen. Uiteindelijk wil men de accu van een elektrische auto als een huishoudelijke accu gaan gebruiken. Die zijn al verkrijgbaar, maar zijn nog duur (paar duizend euro). Het vermogen is dan al snel 2-5 kW. De verwachting is dat het gebruik van thuisaccu's gaat toenemen in de toekomst. Zie ook <https://www.duurzaambo.nl/opslag/accu-s-en-batterijen> voor een overzicht.



Thuisbatterij: Li-ion-accu.

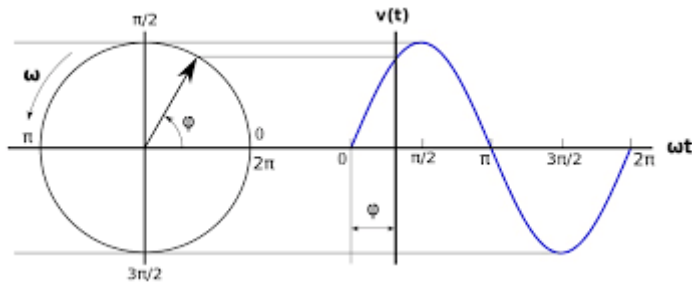
[Gebruik van elektriciteit: wisselstroom, gelijkstroom, krachtstroom.](#)

Wisselstroom versus gelijkstroom (AC/DC).

Gelijkstroom (direct current: DC) is een directe stroom elektronen die in beweging komen door een spanningsverschil. Zoals bijvoorbeeld in een auto-accu, huis-accu, batterij of zonnepaneel. Grafisch gezien is dit een rechte lijn, van beginpunt naar eindpunt. Nadeel is dat er grote transportverliezen kunnen optreden bij vervoer over lange afstanden, vanwege de warmte-ontwikkeling. Dit kan ook brandgevaar opleveren. Elektronen reizen namelijk met grote snelheden (honderden km per seconde) door koperdraad. En een grote hoeveelheid elektronen levert een grote stroomdichtheid en daarmee veel wrijvingswarmte op. Op kleine schaal wordt gelijkstroom wel toegepast in motoren, bijvoorbeeld in ventilatoren. Deze werken 80% zuiniger dan op wisselstroom.

Om dit te voorkomen heeft Nicola Tesla rond 1900 de wisselstroom (alternate current: AC) ontworpen, die nu overal wordt toegepast. Dit gebeurt in de elektriciteitscentrale, met een draaiende beweging van magneten rondom een koperen spoel, of andersom. Ons elektriciteitsnet heeft 50 hertz (Hz) aan frequentie. Hierbij wordt 50 keer per seconde de stroom onderbroken met een tegengestelde richting. Stroom wordt op die manier schoksgewijs doorgegeven, waardoor minder transportverlies en minder warmte-ontwikkeling ontstaat, vergeleken met gelijkstroom.

Als voorbeeld is er de fietsdynamo, die per omwenteling noordpool en zuidpool van een magneet afwisselen. Vijftig omwentelingen per seconde leveren een frequentie van 50 Hz op. Bij een fietsdynamo kan dit eerder 10 Hz bedragen. Grafisch gezien wordt een omwenteling uitgedrukt in een sinusgrafiek (blauw).



Grafiek van wisselstroom.

Verband tussen schijnbaar vermogen, effectiefvermogen en blindvermogen.

Elektriciteit bestaat uit een stroom vrije elektronen (A) welke door een spanningsverschil (V) wordt gecontroleerd. Het spanningsverschil wordt in stand gehouden door het elektriciteitsbedrijf (tweefasennet: 230 Volt; driefasennet: 400V). Meestal staat de stroomsterkte (A) op een plaatje op het apparaat vermeld. Het product $V \times A$ (of I) levert het schijnbare, maximale vermogen (W) van een apparaat. Dit schijnbare vermogen is meestal hoger dan het echte, zgn. effectieve vermogen. Het verschil tussen beide is het blindvermogen. In de optimale situatie is het blindvermogen nul.

Kortweg:

-**schijnbaar vermogen (S)** (actief of maximaal vermogen); $S = P + Q$

-**werkelijk vermogen (P)** (effectief vermogen)

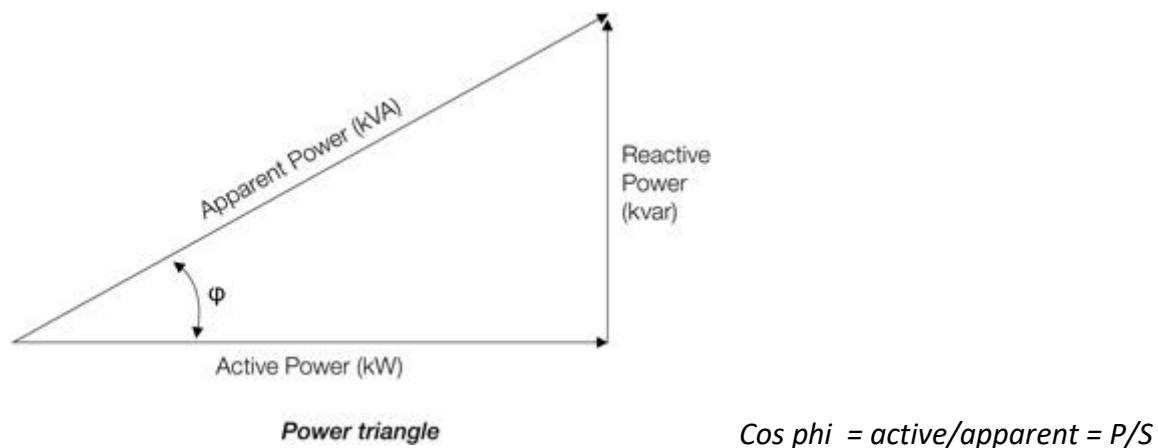
-**blind vermogen (Q)** (reactief vermogen); in dat geval is er faseverschil tussen S en P

-blindstroom is een tegenwerkende (reactieve) inductiestroom die b.v. door elektronica binnen een magnetisch veld in een spoel (van het apparaat) wordt opgewekt. En die daarmee de optimale, actieve netstroom tegenwerkt. De eenheid is VAR (volt-ampere-reactief; met $1 \text{ VAR} = 1 \text{ Watt-reactief}$).

-na-ijlend effect van de stroom ten opzichte van de netspanning, ontstaat vanwege de opgewekte inductiestroom (tegenwerkende blindstroom). De stroom (I) loopt dan uit fase met de netspanning (V), en ijlt na op de spanning. Het verband tussen beide is het vermogen (in Watt): $W = V \times I$.

-arbeidsfactor cos phi: Cos phi is een maat voor de efficiëntie van een elektriciteitssysteem. Cos phi kun je opvatten als de ratio tussen actieve netstroom en de effectieve stroom (P/S). Zie de grafiek hieronder. Als $P = S$, dan $\cos \phi = 1$; de blindstroom is dan nul. Meer blind vermogen ontstaat bij lage cos phi. Een verschil van $\cos \phi = 0,85$ wordt nog geaccepteerd in Europa. De blindstroom is dan 15% van de maximale stroom, die dan eigenlijk onnodig

hoog wordt, maar wel moet worden opgewekt. En dat kost geld. De consument betaalt (nog) niet voor blindstroom; bedrijven echter wel.



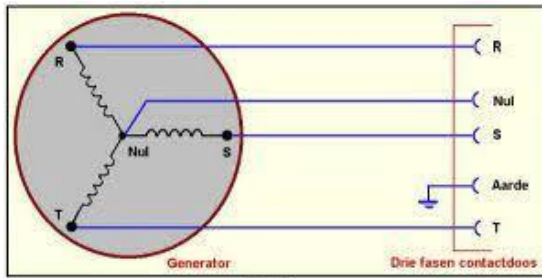
Cos phi: verband tussen schijnbaar vermogen, effectiefvermogen en blindvermogen.

Krachtstroom (draaistroom, driefasenstroom).

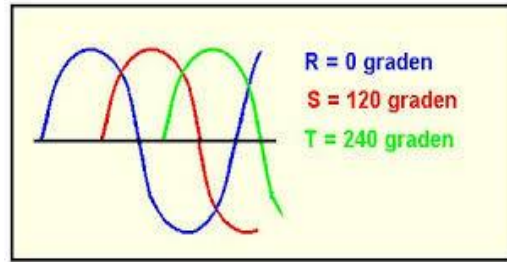
Sommige elektrische apparaten hebben een krachtige elektromotor om veel werk te kunnen verzetten. Hiervoor is ook veel elektrische stroom nodig; meer dan een gewoon stroomnetwerk aan kan. Hiervoor is de krachtstroom ontwikkeld door Nicola Tesla.

Krachtstroom kun je als volgt voorstellen: loodrecht op de as van een elektrische motor staan drie koperen spoelen; symmetrisch opgesteld, dus om de 120 graden. Dit noemt men een ster-schakeling (inductiemotor, Tesla, 1888). Wanneer de as de spoelen beweegt tussen magneten ontstaat een bewegend elektromagnetisch veld (Maxwell, 1873). Dit fluctuerende magnetische veld is in staat om elektronen los te maken binnen een gesloten koperen spoel (Faraday, 1831). Er ontstaat een stroom van vrije elektronen die kunnen worden afgevangen en getransporteerd als elektrische stroom. Dus net als in een ouderwetse fietsdynamo die een lichtje laat branden. Met krachtstroom wordt de stroom echter bijna twee keer sterker, en kan men er krachtiger apparaten mee bedienen.

Principe van krachtstroom: met drie spoelen wordt elke derde van een omwenteling (120 graden) een maximale stroom opgewekt in elke spoel. Met spreekt van drie fasen per omwenteling van 360 graden (driefasenstroom, omdat het drie spoelen per omwenteling betreft). De afgevangen elektronen worden aan het net afgestaan, waardoor een krachtstroom ontstaat (met 400 V netspanning i.p.v. 230 V). Zo kan men extra krachtige apparatuur gebruiken, die extra stroom verbruiken.



Figuur 1



Figuur 3

Grafiek van krachtstroom.

De meeste huishoudens hebben nu al een driefasennet: 3 x 25 Ampere. Hier kan men gebruik van maken wanneer men een krachtig apparaat zoals een inductiekookplaat (b.v. 1 kW) wil gebruiken. Hiervoor gebruikt men een speciale Perilexstekker, met vijf naalden. Bij gebruik van een inductiekookplaat met een laagvermogen (<400W) kan men een Perilexstekker gebruiken die slechts twee van de drie fasen gebruikt. Of wel gewone wisselstroom (bij 230 V). Bij hogere vermogens gebruikt men alle drie fasen, en komt er een aparte groep in de meterkast met een hogere netspanning (wortel drie x 230V = ca. 400 V).



Vijfpolige Perilexstekker.

E5: Verlichting.

Verlichting is een belangrijke toepassing van elektriciteit, naast b.v. bewegende elektromotoren of overbrenging van beeld en geluid (tv, telefoon), of koeltechniek (incl. warmtepomp, zie onder).

Lichtbronnen.

Er zijn drie typen lampen:

1. *Gloeilampen* (temperatuurstralers, gloeidraad); ook halogeentjes;
2. *Gasontladings-lampen* (kwikgas), (TL , spaarlamp, hoge druk kwiklampen, lagedruk natriumlampen (geel licht);
3. *Led-lampen* (licht uitstralende diodes).

Er geldt dat het verlichtingsnivo kwadratisch afneemt met de hoogte; lampen dus liefst zo laag mogelijk hangen. Verder hebben oudere mensen een hoger verlichtingsnivo nodig dan jongeren; b.v. 400 lux i.p.v. 200 lux. Waarbij 1 lux = 1 lumen per m²

Gloeilampen.

Gloeilampen bezitten een gloeidraad van wolfram (net als een fohn of el.straalkachel). Dit is het metaal met de hoogste smelttemperatuur (3400 grC; vgl. de oppervlakte van de zon met 6000 grC). Door de elektrische weerstand gloeit de draad op, en vervolgens wordt zichtbaar licht van alle golflengten uitgezonden (compleet spectrum). Nadeel is het lage rendement; 95% van de opgenomen stroom wordt in warmte omgezet, slecht 5% in licht. Daarom zijn gloeilampen intussen verleden tijd; in feite zijn het verwarmingselementen. Dit ondanks de goede kleurweergave. Ze zijn daarom ook gemakkelijk te herkennen; je kunt ze niet aanraken vanwege de hitte. Ook halogeentjes zijn gloeilampen, of de staafjes (b.v. 150W) in staande uplight lampen. Deze staafjes noemt men tweekneepslampen.

Gasontladingslampen.

Er zijn veel soorten gasontladinglampen; bekendst zijn de TL-lampen (tube light) en de compacte, opgevouwen TL-buizen (spaarlampen). Spaarlampen zijn intussen verdrongen door ledlampen in huishoudelijk gebruik. Ook al zijn ze acht keer zuiniger dan gloeilampen. De reden is vaak ook de relatief slechte kleurweergave vergeleken met ledlampen. De werking is gebaseerd op elektrische ontlading van kwikgas, dat in een spanningsveld wordt geïoniseerd door elektronen op te nemen. Hierbij wordt ultra-violet licht uitgezonden door de kwikatomen. Dit UV-licht wordt door het fluorescentiepoeder aan de binnenkant van de buis omgezet in zichtbaar licht. Vanwege het kwik vormen spaarlampen en TL-buizen chemisch afval op het einde van de levensduur.

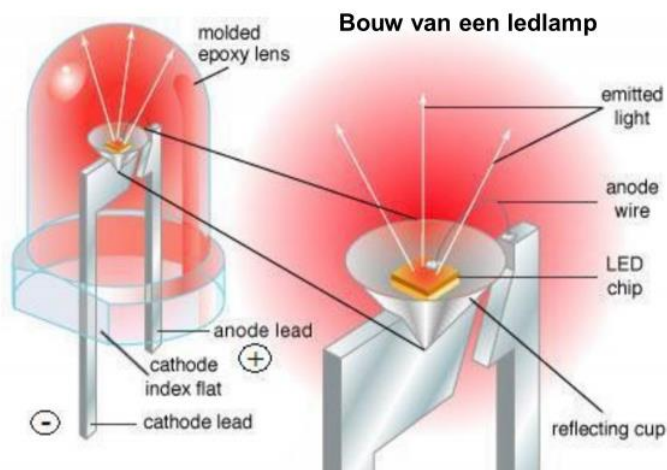
Led-verlichting.

Led staat voor light-emitting-diode; een halfgeleider die licht uitzendt wanneer er elektriciteit doorheen gaat (en wel in één richting; halfgeleidend). Afhankelijk van de soort halfgeleider wordt licht van een bepaalde kleur (of golflengte) uitgezonden. B.v. rood, groen (standby-lichtjes), blauw, oranje, geel, wit, UV, IR. Halfgeleiders bevatten vaak het element Gallium (Ga), b.v. AlGaAs (rood) of GaN (blauw).

De witte led is ontwikkeld uit de blauwe led (met oranje filter erop); een revolutie vergelijkbaar met het zonnepaneel, de warmtepomp of de elektrische auto.

Led-lampen zijn milieuvriendelijk; ze hebben een lange levensduur, en hebben een hoog rendement (leveren veel licht bij weinig vermogen). Verder ze vormen geen chemisch afval, zijn shockproof en zijn minder temperatuur-gevoelig (zoals gasontladingslampen).

Kortom: led is intussen de bewezen lamp van de toekomst.

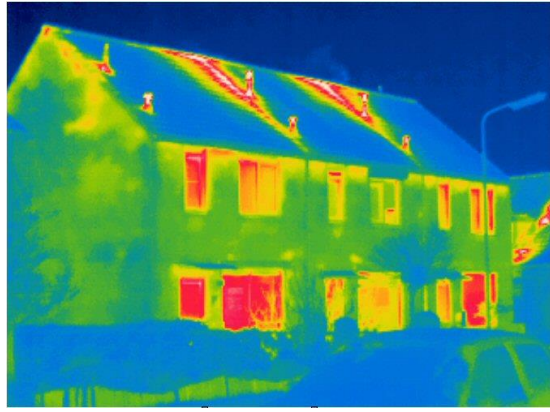


De witte ledlamp: blauw licht met oranje filter geeft koelwit licht.

Thermografie (warmte-camera's, warmtefoto's).

Infrarood-straling (IR-straling, warmtestraling) is net als zichtbaar licht een vorm van elektromagnetische straling. IR-straling is voor het menselijk oog niet zichtbaar, maar is wel voelbaar als warmte. In een warmte-camera kan IR-straling zichtbaar gemaakt worden door de golflengte van IR-straling in de camera te verkleinen. De witte en rode kleur geven hoge temperaturen aan; blauw en groen de lage temperaturen. Het temperatuurverschil tussen buiten (op straat) en binnenshuis dient minstens 10 graden te bedragen. Anders kan men de camera niet goed instellen, en geven de kleuren niet de juiste temperatuur aan. Daarom fotografeert men bij voorkeur in de (koude) nacht.

Overigens kan men met thermografie niet naar binnen kijken; de beglazing fungeert als spiegel en reflecteert de IR-straling. Om die reden kan men in ramen vaak reflecties van bomen of auto's waarnemen. Een beetje IR-camera kost al gauw een paar duizend euro.



Warmtefoto (l) met rode koudebruggen boven kozijnen.

Warmtefoto (r) met rood: enkelglas; wit: warmtelek van dakdoorvoeren.

T1: Verwarmen: algemeen.

Wat is warmte?

Verwarmen en koelen liggen in elkaars verlengde; het heeft alleen maar te maken met een verschil in **trillen van atomen** waaruit materie bestaat. Wanneer atomen harder gaan trillen, wordt materiaal warmer. Dit gebeurt door energie toe te voeren, bijvoorbeeld met een verbrandingsproces of met elektrische warmte. Vaste stof kan zelfs zo heet worden dat materiaal gaat smelten of verdampen. Dit noemt men een **fase-overgang**. De temperatuur waarop dit gebeurt is afhankelijk van het materiaal; water kookt bij 100 graden Celsius, ammoniak bij minus 33 graden onder nul, Helium (edelgas) bij minus 269 graden. In feite is er geen bovengrens voor warmte; men denkt dat er sterren bestaan met een temperatuur van miljarden graden.

Hetzelfde principe geldt voor koelen; wanneer atomen minder gaan trillen koelt materie af. Water verandert in ijs bij nul graden, en overschrijdt dan een faseovergang. Afhankelijk van de materie gaat het afkoelen door tot dat bij minus 273 graden, waarbij zelfs helium en waterstof vaste stof worden. Dat is het absolute nulpunt; kouder kan niet.

Bij koelen komt energie juist vrij; in een koelkast wordt energie onttrokken aan de opgeslagen producten. Deze energie wordt vervolgens gebruikt om een koelvloeistof te laten verdampen in de verdampers.

Een huis verwarmen.

Er zijn drie methoden om met een apparaat in huis warmte op te wekken;

1. elektrische weerstandsverwarming: dit is het verhitten van metaal met elektrische stroom. Binnen het metaal roept dit een weerstand op, waardoor het materiaal wordt verhit. Voorbeelden zijn: de gloeilamp, straalkachel met gloeidraden, elektrische oven, Infra-Rood-paneel (IR-paneel), elektrische boiler.
2. Verbrandingswarmte van gas: gashaard, gevelkachel, CV-ketel; alle hoogtemperatuur-systeem (HT), met hoog vermogen (10-24 kW).
Een HR-CV-ketel wint condensatiewarmte terug van waterdamp uit de rookgassen (10-20%), en kost ca.€ 1200.
Een CV-combiketel levert ook warm tapwater. De meeste CV-ketels zijn combitapketels, maar er zijn ook combivatketels met een gasgestookt voorraadvat (boiler) eraan. Sinds 2000 zijn alle CV-ketels HR-CV-ketels.
Een micro WKK-CV-ketel levert naast warmte ook enige elektriciteit, maar kost € 4000.
3. elektrische warmtepomp; gebruik van condensatiewarmte binnen een koelcircuit. Men onderscheidt grote, volledige warmtepompen en kleine, hybride warmtepompen. De laatste b.v. naast een CV-ketel. Een airco is ook een kleine warmtepomp; met een (omkeerbare) airco kan men soms verwarmen.

Een warmtepomp (WP) gebruikt restwarmte uit lucht (buitenlucht, ventilatielucht), bodem of water (grondwater, oppervlaktewater). Maar uiteindelijk levert een WP een veelvoud (3-5x) van deze toegevoerde energie, door gebruik van een gesloten koelcircuit.

Een moderne hybride CV-ketel bevat een kleine ingebouwde hybride warmtepomp, en kost € 8000,- (excl.ISDE-subsidie van €2000,-).

T2: Gasloos verwarmen: warmtepomp of warmtenet.

Sinds 2017 is het besef doorgebroken dat winning van aardgas in Groningen afgebouwd moet worden. De resterende 1000 miljard m³ (30%) van de gasbel kan niet meer worden gewonnen zonder aardbevingen uit te lokken. Binnenkort stopt de winning helemaal. Om aan de behoefte te voldoen moet dus meer aardgas uit b.v. Rusland en Noorwegen worden ingekocht. Dat is duur, en levert nog steeds veel CO₂-uitstoot op.

Met de forse toename van de wereldbevolking is de grens van 400 ppm aan CO₂ in de atmosfeer al gepasseerd. Maar men blijft doorgaan met “vuurtjes stoken” omdat men steeds meer energie verbruikt. Dit is in principe al 150 jaar een probleem.

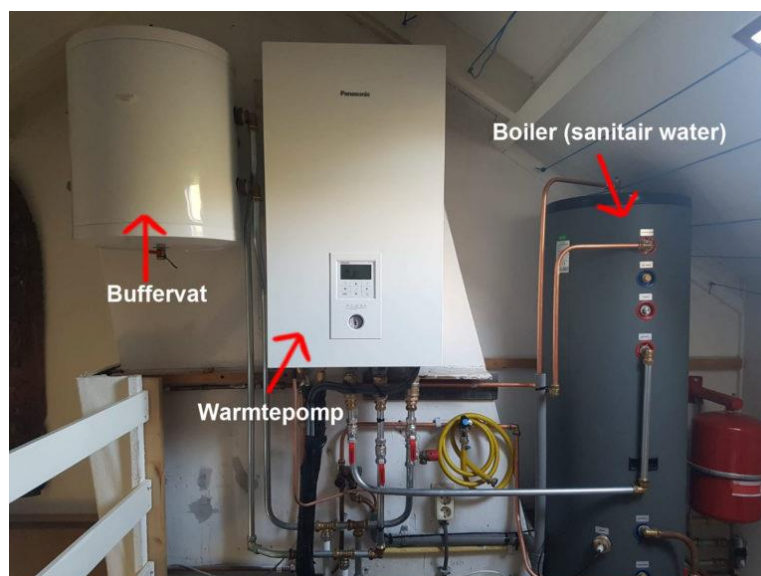
Globaal zijn er twee alternatieven; **warmtepompen** waarbij gebruik gemaakt wordt van een elektrisch aangedreven koelcircuit, of **warmtenetten** waarbij gebruik gemaakt wordt van restwarmte binnen een ondergronds warmtenet. Zoals b.v. stadsverwarming.

Warmtepompen: volledige warmtepompen en hybride warmtepompen.

Volledige warmtepompen: drie typen.

Met een volledige warmtepomp kan men een huis geheel elektrisch verwarmen in plaats van met gas of met stadsverwarming. Er zijn drie groepen:

1. *Lucht/water warmtepomp*. Deze haalt de benodigde warmte uit buitenlucht of deels uit ventilatielucht. Dit is de meest voorkomende groep voor ruimteverwarming. De term “water” slaat op de waterkringloop van de CV-ketel met radiatoren.



Volledige warmtepomp met buffervat voor ruimteverwarming, en boiler voor warmtapwater

2. *Water/water warmtepomp.* Deze haalt de warmte uit grondwater of oppervlaktewater (b.v. rivieren of meren). Dit zijn stabiele maar dure systemen; de helft van de kosten van een grondwatersysteem bestaat uit de boringen voor de sondes in de bodem. Voordeel is dat er geen buitenunit nodig is, en dat je in de zomer gratis koeling hebt. Eenvoudig door de richting van de waterstroom om te keren; je koelt het huis dan met radiatoren of vloerverwarming. Daarnaast zijn het stabielere en zuiniger systemen, dan met een lucht/water WP.



Water/water warmtepompen

3. *Lucht/lucht warmtepompen.* Dit zijn in feite de bekende airconditioners (airco), die voor ruimtekoeling worden ingezet. Het koelcircuit benut warmte uit buitenlucht om het binnenklimaat te koelen. Door de functie van verdamper en condensor om de wisselen kan men er ook mee verwarmen. Maar dan in huizen met weinig warmte vraag en een met goede isolatie. Voorbeeld: de zeshoekige Carrier-warmtepomp boven de kassa in een supermarkt. Of de tweedelige airco hieronder.



Split-system airco met aparte binnen- en buitenunit.

Algemene informatie over volledige warmtepompen.

Algemeen

Koelen en verwarmen liggen in elkaars verlengde; het verschil is alleen dat moleculen van een materiaal (steen, glas, water, lucht) bij verwarmen harder beginnen te trillen. Tot dat glas smelt, water verdampt, of gas een plasma wordt. Een plasma bestaat uit geïoniseerd gas, dat elektronen heeft opgenomen of afgestaan. Bijvoorbeeld binnenin een spaarlamp of TL-buis.

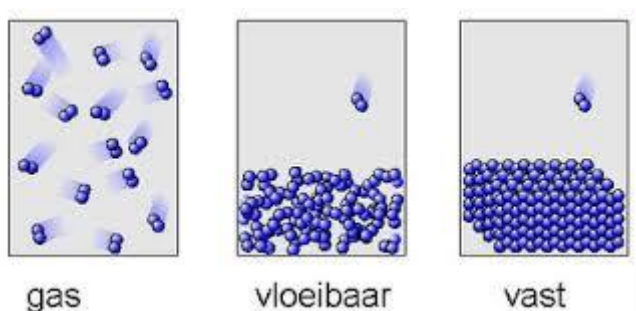
Werking van een Warmtepomp

energie opwekken met fase-overgangen binnen een koelcircuit.

Net als warmtenetten maken warmtepompen ook gebruik van restwarmte. Het verschil met warmtenetten is echter dat er gebruik gemaakt wordt van een elektrisch koelcircuit dat restwarmte opneemt. Hierdoor kan de totale warmte-opbrengst (rendement) enkele malen worden verhoogd. Simpel weg door het winnen van condensatiewarmte binnen het koelcircuit. Dat gaat als volgt:

Veel stoffen (zoals b.v. water) bezitten drie zogeheten aggregatietoestanden: vast, vloeibaar en gasvormig. In geval van water: ijs, water en waterdamp. Het kost energie om ijs om te zetten in water, of om water om te zetten in damp. Lik maar aan je hand; die wordt koud als het water verdampt.

Omgekeerd levert het energie op als je damp condenseert tot water; dit gebeurt in een condensatievat (condensor) die daardoor opwarmt. Dit is bijvoorbeeld voelbaar bij het zwarte traliewerk (condensor) achter een koelkast. Of in de stoomsauna (Turks bad), wat ook een condensatievat is; waterdamp condenseert op je huid. Om dit proces te versnellen verhoogt men de dampdruk met een compressor (drukvat); dit kost elektriciteit.

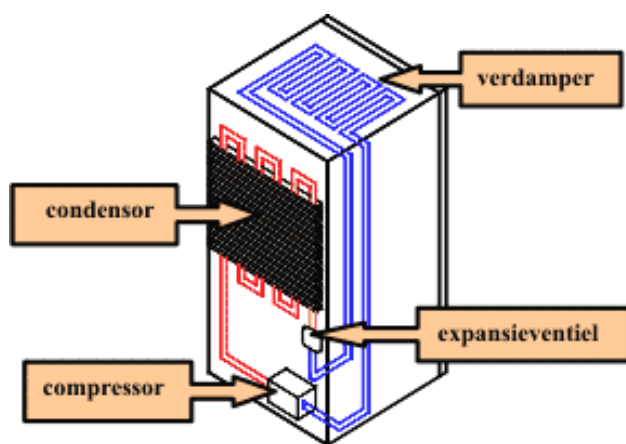


atoomsetting van de drie fasen.

Dit proces gebruikt men binnen het koelcircuit van een koelkast of warmtepomp. In de figuur hieronder staat het koelcircuit binnen een koelkast afgebeeld.

In de blauwe koelleidingen bevindt zich een koelvloeistof (b.v. een freon zoals R 134a, of ammonia: ammoniak opgelost in water) dat door de **verdamp**er stroomt (het vriesvak). Hier

onttrekt de verdamper warmte aan de opgeslagen producten die hierdoor afkoelen. De koelvloeistof verdampt en gaat gasvormig richting de compressor beneden. Door de opgebouwde druk in de **compressor** begint het gas weer te condenseren als vloeistof. Hierbij komt warmte vrij waardoor de vloeistof opstijgt richting condensor (rood). In dit zwarte traliewerk (**condensor**) achter de koelkast vindt het eigenlijke condensatieproces plaats, dat opwarmt vanwege de vrijgekomen condensatiewarmte. Deze warmte bevat drie tot vijf keer meer energie dan je elektrisch toevoert aan de compressor, en die nodig is om het koelcircuit in stand te houden. Meestal verdwijnt de warmte als ruimteverwarming buiten de koelkast. Vervolgens gaat de vloeistof door de opgebouwde druk richting het **expansieventiel**, waar het gedoseerd wordt vrijgelaten in de verdamper. Met de thermostaat in de koelkast kunt je het ventiel regelen, en daarmee de temperatuur binnen de koelkast bepalen en beheersen.



Het koelcircuit binnen een koelkast (compressiekoeling).

Verskil van een koelkast met een warmtepomp.

Het grote verschil met een warmtepomp is dat je dan de deur van de koelkast openlaat om permanent warmte toe te voeren naar de verdamper. Toevoer van energie naar de verdamper gebeurt met warmte uit de buitenlucht. De buitenunit (ventilator) zuigt deze lucht aan.

Bij een warmtepomp gaat het alleen om de opgewekte warmte van de condensor, waarmee je een huis kunt verwarmen. Daarom kan de deur ook gewoon openblijven. In de praktijk is er bij een warmtepomp daarom ook geen deur; een warmtepomp heeft een gesloten omkasting.

Je hebt alleen wel een 15 maal zwaarder koelcircuit nodig om genoeg warmte te kunnen opwekken om een huis te verwarmen. En dat kost ook 15 maal meer elektriciteit; vaak wel 3000 kWh/jr of meer.

Energieverbruik.

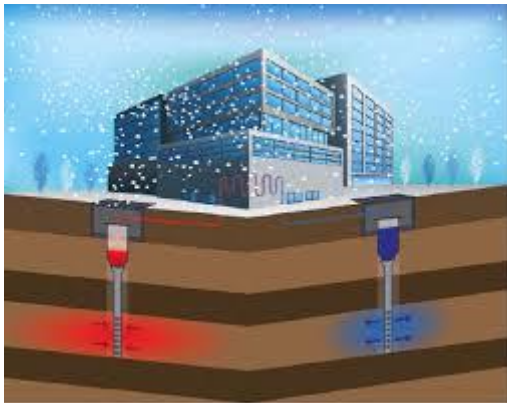
Meestal kost een individueel verwarmingssysteem op basis van een volledige warmtepomp evenveel aan elektriciteit (3000 kWh/jr = € 750), dan je kunt besparen op gas (1000 m³/jr = € 800). Tenzij je de benodigde elektriciteit zelf kunt opwekken. Bijvoorbeeld met twaalf zonnepanelen op het dak, in een zonneweide of met een (grote) windmolen. Alleen dan is de investering in een warmtepomp met toebehoren financieel zinvol.

Warmtebronnen.

Warmtepompen halen warmte uit lucht, oppervlaktewater, grondwater, bodem en tal van andere bronnen. Zoals b.v. restwarmte van motoren, warme koeienmelk die gekoeld moet worden, warme lucht uit wasdrogers (warmtepompdroger). De warmte wordt toegevoerd aan de verdampers van een elektrisch koelcircuit (vgl. een koelkast). De compressor van het circuit levert door condensatie van de koelvloeistof (dampvorm) drie tot vijf keer meer warmte op dan je aanvoert (COP = 3-5; COP: coëfficiënt of performance). Het rendement is dan 300-500% ten opzichte van puur elektrisch verwarmen. Ten opzichte van een gasgestookte HR-CV-ketel is een warmtepomp ca.130% zuiniger.

Meerdere woningen op een warmtepompsysteem.

Warmtepompen kan men individueel plaatsen per woning, maar ook per flat, per appartementencomplex, per straat of per wijk. Met een grote warmtebron kunnen dan veel woningen van warmte worden voorzien. Bijvoorbeeld met een diepe grondboring (b.v. 500 m. diep), een rioleringnetwerk, een warm wegdek etc. Het risico is echter ook dat bij storingen veel mensen in de kou kunnen komen te zitten. Bij een diepte van 500 meter pompt men water op van 25 graden Celsius; hieruit kan veel warmte worden gewonnen.



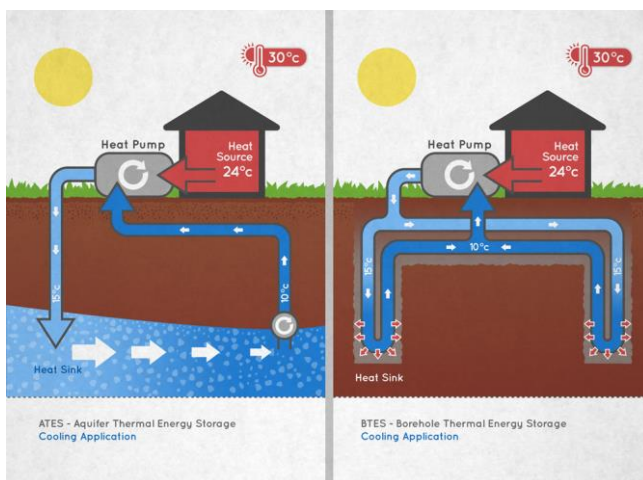
Warmtepomp voor een gebouwencomplex met twee open bronnen (ook wel: Warmte-Koude-Opslag, WKO). Rood: opgepompt warm water; blauw: teruggepompt koud water.

Water/water warmtepomp.

Er zijn open en gesloten bronnen. Een open bron is bijvoorbeeld de lucht bij een lucht/water warmtepomp (water slaat op het CV-watercircuit). Gesloten bronnen zijn b.v. gesloten sondes in de grond bij water/water warmtepompen; deze komen alleen thermisch in contact met de bodem. In feite betreft het een buis-in-buis-systeem, zoals bij een douche-WTW

(pijpvorm). Met een aparte aanvoer en aparte afvoer van de vloeistof binnen eenzelfde buis. In een gesloten systeem kan men gebruik maken van glycol (anti-vries) om bevroering van het water in de bodem te voorkomen. Water kan namelijk bevriezen in de bodem wanneer er te veel warmte aan wordt onttrokken door het koelcircuit. Dan is er geen circulatie meer van water in de buizen, en er kan dan geen warmte meer aan worden onttrokken.

Met een open systeem op grondwater kan men (gratis) koelen in de zomer. Eenvoudig door de richting van het watercircuit om te draaien. Men heeft dan ondergronds een warme bron en een koude bron. Aan de warmtebron wordt warmte onttrokken, en vervolgens wordt het koude retourwater weer in de grond gepompt. Dit noemt men ook wel Warmte/Koude Opslag (WKO). WKO kan overigens ook zonder warmtepomp worden toegepast. Men kan dan denken aan diepten van 30-300 meter.



Koelen met een warmtepomp: open en gesloten systeem.

Isolatie van een huis.

Omdat een warmtepomp (5 kW) een vijfmaal lager vermogen heeft dan een CV-ketel (25 kW), kan men niet snel even bijverwarmen zoals met een CV-ketel. Warmte dient in huis te blijven. Een goede isolatie van de gebouwschil is daarom een voorwaarde bij gebruik van een volledige pomp: vanaf het B-label (zonder zonnepanelen). Anders moet de pomp te hard werken binnen dit lage-temperatuurs-systeem (LT, 50-35 graden).

Een goed warmte-afgifte-systeem is daarom ook een voorwaarde; b.v. vloerverwarming, LT-radiatoren met groot oppervlak en weinig waterinhoud (LT-convectoren). Met zogeheten radiator-ventilatoren bovenop of onder een radiator of convector, kan er snel warmte aan worden onttrokken.

Hybride warmtepomp.

Hierboven is een volledige warmtepomp besproken, die zelfstandig een huis kan verwarmen i.p.v. een CV-ketel of met stadsverwarming. Een hybride warmtepomp is een kleine warmtepomp die naast de CV-ketel wordt geplaatst, of als aanvulling op de

stadsverwarming. Je kunt hem plaatsen op b.v. de zolder of in de meterkast. Voorbeelden zijn de Elga (Techneco) of de Ecolution (van Inventum), maar er zijn vele andere. Er wordt dan alleen met de warmtepomp verwarmd in het voorjaar en najaar. Wanneer de warmtevraag stijgt in de winter springt de CV-ketel bij.

De besparing kan ca. 30% bedragen op gas- of warmteverbruik. Daarmee is de investering van € 3000,- (incl.€ 1100,- subsidie en installeren) in 7-10 jaar terugverdiend.

Net als bij een gewone lucht/water warmtepomp komt er op het dak, aan de gevel of in de tuin een buitenunit te staan. Deze ventilator zuigt buitenlucht aan waar warmte uit wordt gewonnen. Er bestaan ook kleine hybride warmtepompen die ventilatielucht als bron gebruiken, b.v. de Duco Box Eco (van Duco). Deze heeft geen buitenunit nodig omdat hij werkt op ventilatielucht, waar de warmte uit wordt gewonnen. Vandaar dat een goed ventilatiesysteem met warmte-terugwinning (WTW) een voorwaarde is bij het gebruik van een ventilatie-warmtepomp. Dit ventilatiesysteem noemt men ook wel gebalanceerde ventilatie.



Duco Box Eco ventilatiewarmtepomp met vier aansluitingen.

Voordeel van een hybride warmtepomp is dat deze de helft minder energie nodig heeft; met zes zonnepanelen kan het verbruik van 1600 kWh/jr zelf worden opgewekt. Verder is er geen buffervat nodig omdat de ketel dit ondervangt. Een hybride warmtepomp kan zo ook als tussenoplossing dienen op weg naar een volledige warmtepomp.



Hybride warmtepomp met CV-ketel en buitenunit (ventilator onder het raam).

Beta-factor voor rendement.

De beta-factor van een hybride warmtepomp geeft het aandeel van een hybride warmtepomp aan binnen de totale warmtevraag. Het is de ratio van vermogen warmtepomp gedeeld door totale vermogen (b.v. hybride WP met CV-ketel, met betafactor b.v. 0,3; of wel 30%). Maximaal is een beta-factor van 1 (100 %), b.v. bij een volledige warmtepomp zonder CV-ketel. Deze rendementschaal is vergelijkbaar met die van de arbeidsfactor (cos phi) bij elektriciteitsopwekking.

Aan warmtepompen gerelateerde onderwerpen:

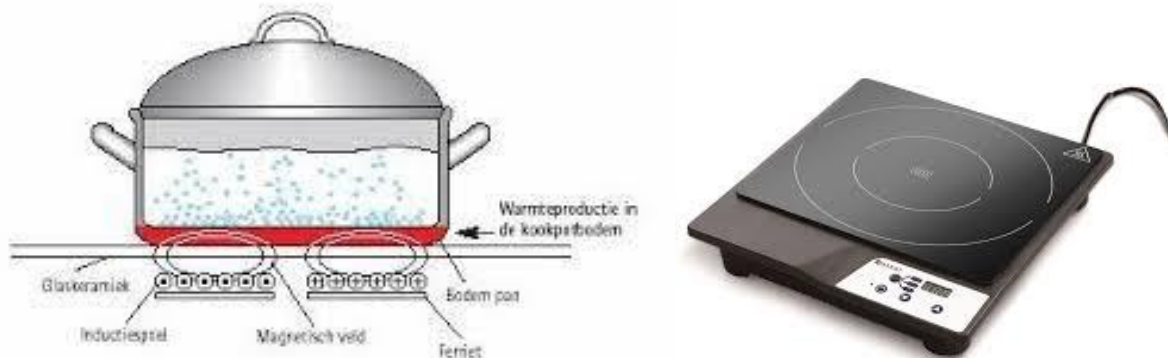
Inductiekookplaat.

Koken op gas kost 20-50 m² gas per jaar. Bij traditioneel elektrisch koken (keramisch koken) wordt verwarmd met een gloeidraad of gloeilamp, en dit is twee keer hoger in gebruikskosten dan koken op gas. Ander nadeel is dat keramisch koken gevaarlijker is omdat de kookplaat lang warm blijft (brandwonden).

Daarom is elektrisch koken met inductie nu de belangrijkste manier van elektrisch koken geworden. Koken met inductie is vergelijkbaar in gebruikskosten met koken op gas (70-170 kWh/jr). Bij gebruik van een inductie-kookplaat wordt met netstroom een hoogfrequent magnetisch veld opgewekt. De werking is op basis van een *veranderlijk* magnetisch veld waarmee op zijn beurt magnetische wervelingen worden opgewekt (geïnduceerd) in de metalen bodem van de (magnetische) kookpan. De bodem wordt dan verhit met deze magnetische wervelingen. Met een magneetje kun je testen of de pan uit magnetiseerbaar metaal bestaat. Ook een waterkoker werkt overigens op inductie.

In een gasloze toekomst is inductie de nieuwe manier van koken. Bijvoorbeeld wanneer men verwarmt met een volledige warmtepomp. De aanschafkosten van een inductie-kookplaat kunnen € 1000 bedragen. Tot een vermogen van ca. 400 W is geen extra elektriciteitsgroep

of krachtstroom nodig, maar vaak is dit wel noodzakelijk (b.v. bij 700 W vermogen). Men maakt dan gebruik van een vijfpolige Perilex-stekker.



Werking van inductieplaat.

Ventilatiesysteem met warmte terugwinning.

Gebalanceerde ventilatie is een vraaggestuurde ventilatie met een warmte-terugwinning (wtw) tussen afvoer en afvoer, die daarom dicht bij elkaar moeten liggen. Uitgaande warme lucht warmt de inkomende koude lucht op. Er zijn daarom vier aansluitingen nodig op de WTW-unit. Het systeem werkt meestal op sensoren voor waterdamp en/of CO₂. Met de WTW is tot 90% besparing op gasverbruik voor de ruimteverwarming is mogelijk. Het extra stroomverbruik voor de gelijkstroommotor kan ca. 200 kWh/jr bedragen. Nadeel: ramen en deuren moeten ook in de zomer gesloten blijven, net als bij een airco. Noodzakelijk bij gebruik van een volledige warmtepomp.

PCM: warmte-opslag door zoutkristallisatie.

Het fysische principe van verband tussen faseovergang (aggregatietoestand) en benodigde energie past men ook toe bij warmteopslag. Bijvoorbeeld met de overgang van vloeibaar gesmolten zout naar kristallijn zout, waarbij warmte vrijkomt. Dit noemt men wel PCM: Phase Change Materials. Dit is nog in ontwikkeling.

Waterstof

Steeds vaker hoort men over waterstof als vervanger van aardgas. Voor kleinafnemers zoals woningeigenaren of huurders is dit nog niet aan de orde tot 2030. Wel begint er vraag te komen vanuit de industrie, maar dat is nu nog gering.

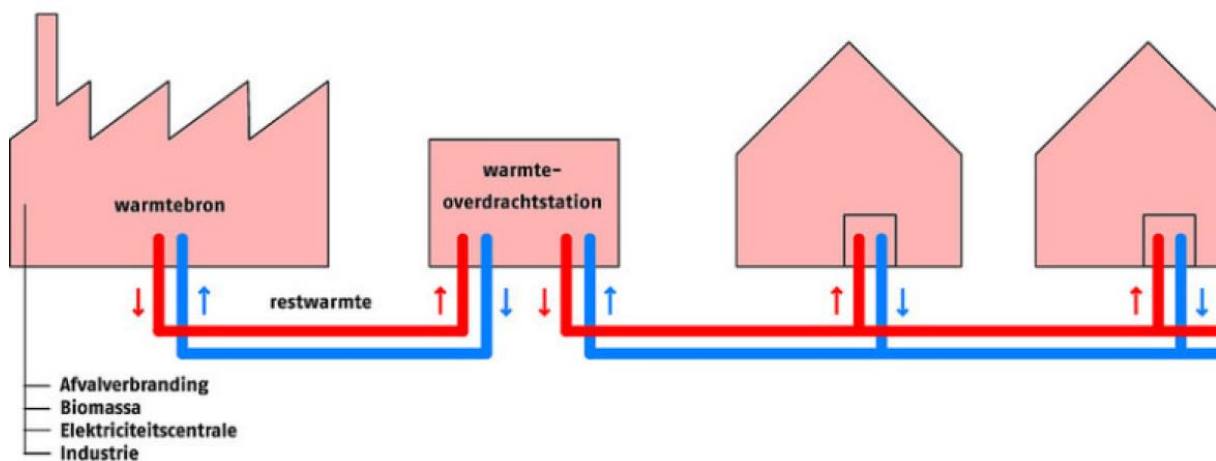
Waterstof wordt voor de industrie gemaakt uit het kraken van aardolie. Hierbij ontstaat CO₂, dat kan worden afgevangen (blauwe waterstof). Of men maakt het uit water door elektrolyse; een proces dat veel energie vraagt (groene waterstof). Bij gebruik van waterstof dienen apparaten en leidingen te worden aangepast. En waterstof dient te worden bijgemengd met stikstof, net als Russisch aardgas. Dit voor de veiligheid van de gebruikers. Zie ook *Waterstof Workingpaper* van Stedin. Of *Waterstof Economie* van J.Rifkin.

Warmtenetten.

Naast individuele warmte-opwekkers in huis (CV, WP), kent men ook een centraal aangestuurd systeem middels een ondergronds warmtenet. Dit noemt men ook wel stadsverwarming of kortweg: "Warmte". Dit wordt steeds belangrijker voor een gasloze toekomst. Meestal maakt men gebruik van restwarmte van de centrale of van de industrie (b.v. afvalverbrandingsinstallatie, AVI). In Utrecht is Eneco de leverancier van warmte. Deze is tevens monopolist, want overstappen op gas blijft moeilijk en duur.

Sinds 1923 bestaat in Utrecht, als eerste stad in ons land, een stadsverwarmingnet. Dit ondergrondse warm waternet bevindt zich daarom vooral in het oude centrum, binnen de ringvormige stadsgracht, en ten oosten daarvan (Oudwijk, Rijnsweerd). Verder zijn er nog drie nieuwbouw wijken mee voorzien; Kanaleneiland, Overvecht, en sinds kort ook Leidsche Rijn. Dat zijn in totaal ca.35.000 aansluitingen in Utrecht.

Ook (half) Nieuwegein heeft stadsverwarming met ca. 15.000 woningen. Ook deze warmte wordt vanuit de twee Utrechtse elektriciteitscentrales aangeleverd.



Stadsverwarming: een groot en log systeem met huizen die als radiator fungeren (vgl.CV-installatie).

Voor aanlevering van warmte voor de stadsverwarming wordt gebruik gemaakt van de restwarmte van de beide elektriciteitscentrales aan weerszijden van het Amsterdam-Rijnkanaal. Opgewarmd koelwater (van de motoren) wordt in de centrale verder opgewarmd van 65 graden naar 100 graden. De besparing met warmte is daarom 65% vergeleken met een gasgestookte CV-ketel. Om deze reden noemt men warmte duurzaam. Het kokende water wordt vervolgens het ondergrondse circuit in gejaagd. De consumenten kunnen er warmte onttrekken middels hun radiatoren. Ze hebben daarom geen CV-ketel in huis; de elektriciteits-centrale fungeert in feite als CV-ketel voor de hele wijk of stad.

Via een warmtewisselaar kan thuis ook in warmtapwater worden voorzien. Hiervoor rekent men dan wel enkele euro's extra per afgenomen Gigajoule.

Als verbruikseenheid hanteert men GigaJoule, (GJ); omgerekend is 1 GJ in geld ongeveer 40 m³ gas (waarden variëren van 28-49 m³ per GJ). Een verbruik van 25 GJ voor een woonhuis komt dan overeen met ca.1000 m³ gas. Dit is inclusief het hoge vastrecht voor warmte (€240,- per jaar; of €400,- incl.warm water). Ter vergelijking: voor gasverbruik is het vastrecht ca.€30,- per jaar.

Energetisch kan men rekenen met 1GJ = 30 m3 gas. Er bestaat overigens ook een verband tussen Vermogen (in Watt) en Arbeid (in Joule): $W = J/sec$.

Nadeel van stadsverwarming is dat het relatief duur in gebruik is, vergeleken met aardgas als energiedrager. In Utrecht kost een GJ € 25,- (incl.tapwaterverwarming: €30,-). Het verbruik is vaak niet goed te meten (b.v. verdampingmeters). En de vaste kosten zijn hoog met minstens € 240 per jaar.

Voordeel is dus dat er geen ketelonderhoud nodig is, en dat er minder CO2 wordt uitgestoten door hergebruik van 65% restwarmte.

Soms kan men gebruik maken van restwarmte van een lagere temperatuur; b.v. afkomstig uit de industrie, of uit aardwarmte. Dit is vaak in ruime mate voorhanden; veel meer dan hoog-energetisch kokend water (HT-net; 70-100 gr). En met een laag-temperatuurnet (LT-net; 35-60 gr) kun je ook je huis verwarmen; het duurt alleen iets langer dan met CV. Dat is dus vergelijkbaar met een warmtepomp. In Utrecht is er nog geen LT-warmtenet.

Geothermie (aardwarmte).

In feite gaat het hier om een groot, wijkgericht warmtenetwerk, met de diepere ondergrond als energiebron. De bodem aan de oppervlakte heeft een constante temperatuur van 10 graden Celsius. Daarom zal het in de kruipruimte van een woning ook niet snel vriezen. De reden is dat de aarde warmer wordt naar mate je dieper gaat. Dit noemt men de **geothermisch gradiënt** van 3 graden Celsius per 100 m diepte. Op een diepte van 50 m is de temperatuur dus 12 graden; hieruit kun je al warmte winnen voor een warmtepomp. Op een diepte van 500 m kan men warmte winnen uit grondwater van 25 graden. En op grote diepte van 3-4 km tref je zelfs kokend water aan. Hiermee kun je een woonwijk verwarmen. Er zijn plannen om dit in Utrecht-oost te realiseren, maar ook elders in ons land. Boren is echter een dure aangelegenheid; het gaat meestal om een miljoenenproject. Naast een productieput is er bovendien een injectieput nodig, voor afgekoeld retourwater. Vanaf ca. 3000 woningen kunnen er mee verwarmd worden. In grote steden zoals Parijs wordt deze techniek al langer toegepast voor hele stadswijken.

T3: Koelen: koelkast, airco.

Koelkast

Koeling in huis bestaat uit het gebruik van **koelapparatuur om voedsel te bewaren**; koelkast, koel/vriescombinatie, vrieskast/vrieskist. Ook hierbij maakt men gebruik van een gesloten koelcircuit met een koudemiddel (gemengd met een smeermiddel). In tegenstelling tot de warmtepomp schermt men hier de verdampers af; in de koelkast onttrekt de verdampers koude aan de aanwezige levensmiddelen. De warmte die achter de koelkast ontstaat (compressormotor, condensor) gaat verloren als ruimteverwarming. Dit moet ook om het koelcircuit optimaal te kunnen laten werken. Daarom is de omhulling van de koelkast ook voorzien van isolatie. Koeling is dus in feite het omgekeerde van een warmtepomp; het gaat alleen om de opgewekte koude; niet om de opgewekte warmte. Een ander verschil betreft het vermogen; een warmtepomp verbruikt evenveel elektriciteit als vijftien koelkasten.

Airco

Een elektrisch koelcircuit kan ook worden gebruikt voor **klimaatbeheersing binnenshuis: airconditioning (airco)**. In feite is een airco een lucht/lucht warmtepomp. Zie verder boven bij T2: gasloos verwarmen met warmtepompen.

Een airco bestaat meestal uit een binnenunit en een buitenunit. De buitenunit bestaat uit een ventilator die lucht aanzuigt om hieruit warmte te onttrekken. Hiermee wordt een elektrisch koelcircuit aangedreven dat koude opwekt. Dit systeem noemt men een split system. Met een omkeerbare airco kun je ook verwarmen in de winter. Er bestaan ook airco's zonder buitenunit: monoblock systeem of mobiel airco's. De mobiele airco's maken de helft uit van het aantal airco's. Ze zijn echter minder zuinig in gebruik dan vaste airco's. Bijvoorbeeld omdat de slang met afvoer van warme lucht een open raam eist, waardoor warme lucht weer binnenkomt.

Vanwege de grote inhoud van een huis vergeleken met een koelkast, is elektrisch koelen een dure grap. Beter kan men gebruik maken van een mechanische, elektrische ventilator: dat is tien keer goedkoper in gebruik.



Split system



Mobiele airco

Koelkast, vrieskast: nadere informatie.

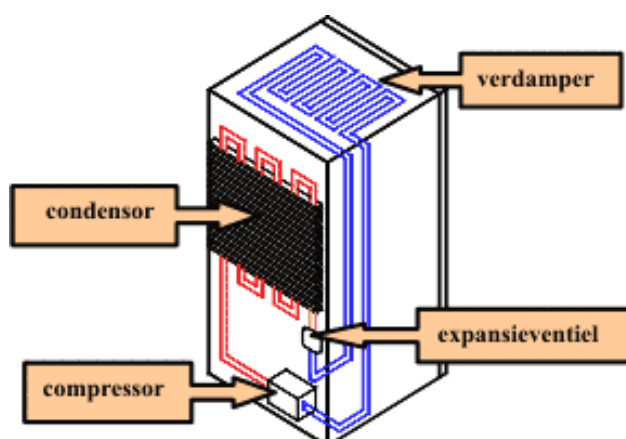
Compressorkoeling: werking

Dit proces gebruikt men soms nog als koelcircuit van een oude koelkast of vrieskast (>10 jr). Als voorbeeld staat hieronder het koelcircuit binnen een koelkast. In de blauwe koelleidingen bevindt zich een koelvloeistof (b.v. een freon zoals R 134a) dat door de **verdamer** stroomt (boven in het vriesvak). Hier onttrekt de verdamer warmte aan de opgeslagen producten die hierdoor afkoelen. De koelvloeistof verdampt en gaat gasvormig richting de compressor beneden.

Door de opgebouwde druk in de **compressor** begint het gas weer te condenseren als vloeistof. Hierbij komt warmte vrij waardoor de vloeistof opstijgt richting condensor (rood). In dit zwarte traliewerk (**condensor**) achter de koelkast vindt het eigenlijke condensatieproces plaats, dat opwarmt vanwege de vrijgekomen condensatiewarmte. Deze warmte bevat drie keer meer energie dan je energetisch (elektrisch) toevoert aan de compressor om het koelcircuit in stand te houden. Alleen verdwijnt deze energie als ruimteverwarming buiten de koelkast.

Vervolgens gaat de vloeistof door de opgebouwde druk richting het **expansieventiel**, waar het gedoseerd wordt vrijgelaten in de verdamer. Met de thermostaat in de koelkast kunt je het ventiel regelen, en daarmee de temperatuur binnen de koelkast bepalen en beheersen.

De benuttingsgraad van het koelsysteem is 60% van de tijd; dit kan soms geluidsoverlast veroorzaken. Ca. 40% van de tijd is de compressor uitgeschakeld, vanwege de goede isolatie van koelapparatuur.



Het koelcircuit binnen een koelkast: vier onderdelen.

Andere vormen van koeling

Absorptiekoeling *wint het van compressorkoeling.*

De huidige generatie koel- en vriesapparatuur maakt vrijwel geen gebruik meer van compressiekoeling maar van absorptiekoeling. Hierdoor kan de helft op energieverbruik bespaard worden, en de apparatuur werkt veel stiller door het ontbreken van een compressor.

Absorptiekoeling is de oudste vorm van kunstmatig koelen; het is al meer dan een eeuw in gebruik. En is ooit gepatenteerd door Einstein. Bij gebruik van absorptiekoeling gebruikt men bijvoorbeeld ammonia (water met ammoniak) als koelvloeistof. Andere koelmiddelen zijn b.v. CO₂, SO₂, butaan of ammoniak opgelost in water.

Werking van absorptiekoeling.

In de verdamper ontwijkt de ammoniak uit het water, waarvoor warmte van de producten in de koelkast wordt gebruikt. Vervolgens wordt de ammoniak weer opgelost in het water ('ammonia') onder toevoeging van warmte (met gas, elektriciteit etc.). Dit is een continu proces; de apparatuur slaat dus niet af zoals bij compressiekoeling. Vervolgens stijgt de vloeistof op naar de verdamper, waar het wordt afgekoeld.

Er wordt hier dus geen gebruik gemaakt van een compressor; in feite fungeert de koelvloeistof als compressor. Hierdoor is er minder geluidsoverlast, wat handig is voor kamerbewoners, hotelkamers, verzorgingstehuizen, boten of caravans.

De huidige generatie koelapparatuur voor huishoudelijk gebruik maakt weer gebruik van deze oude manier van koude opwekking. Daarom zijn deze apparaten veel stiller dan met compressiekoeling, en ook minstens de helft zuiniger dan de oude compressiekoeling. Ondanks dat het verwarmingselement permanent in gebruik is. Bij compressiekoeling is de compressor(motor) 60% van de tijd in gebruik; 40% van de tijd staat de motor stil. Bij absorptiekoeling hoor je dus nooit een compressor aanslaan of afslaan. Omdat opgewarmde koelvloeistof opstijgt naar de verdamper is bij absorptiekoeling geen circulatiepomp nodig, zoals bij een CV-circuit wel het geval is.

Verdampingskoeling.

Verdampingskoeling of Dauwpuntskoeling (DEC) of wordt toegepast bij het binnenklimaat van grote gebouwen. De werking is eveneens gebaseerd op basis van faseverschil, net als bij compressiekoeling en absorptiekoeling. Omdat er geen gebruik wordt gemaakt van een elektrisch koelcircuit, is dit een zuinige manier van koelen; maar wel minder krachtig. Door verdamping van voorbevochtigde aanvoerlucht wordt het binnenklimaat iets kouder. Dit noemt men ook wel topkoeling, omdat de bovenste vijf graden van de ruimtemtemperatuur worden weggekoeld.

sites: www.warmtepompweetjes.be, www.meneerwietsma.nl

Koelmiddelen

Een koelmiddel vormt als het ware het bloed van het koelcircuit. Het bevindt zich binnen de koelleidingen, maar manifesteert zich in twee verschillende fasen op twee verschillende plaatsen in het koelcircuit. In de verdamper is het een gas; in de condensor een vloeistof.

Er zijn tientallen koelmiddelen ontworpen (enkelvoudige freonen, of mengels hiervan). Veel antieke koelmiddelen zijn zgn. harde CFK's (met Chloor, Fluor en Koolstof, maar zonder waterstof, H). Vanwege de grote schadelijkheid voor de ozonlaag, die ons beschermt tegen zonnestraling, zijn ze alle 25 jaar geleden verboden (b.v. R12, R502 (mengsel)). Ook dragen ze sterk bij aan het broeikaseffect.

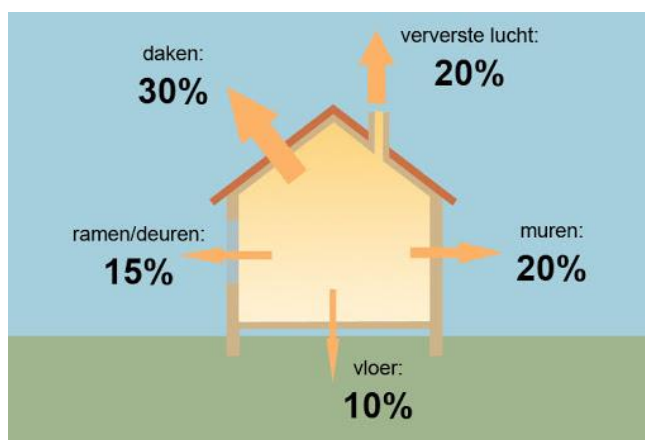
Het (zachte) HCFK koelmiddel R22 werd als alternatief ontworpen, maar is inmiddels ook verboden. Alleen de zeer zachte HFK's zoals R134a (bevat geen chloor, wel fluor) zijn nog toegestaan. Naast de natuurlijke koudemiddelen CO₂, NH₃ (ammoniak), ethaan, propaan, butaan. De laatste worden gebruikt bij absorptiekoeling, en zijn relatief milieuvriendelijk.

Tegenwoordig maakt men ook gebruik van vaste materialen als koelmiddel of adsorptiemateriaal. Zoals silica-gel of zeolieten die waterdamp kunnen opnemen of afstaan. Dit noemt men ook wel adsorptiekoeling. Vanwege het optreden van een faseverschil kan dit energie kosten of juist opleveren, net als bij absorptiekoeling.

T4: Isolatiematerialen.

Een woning bestaat uit een gebouwschil met de volgende bouwdelen; vloer, gevels, beglazing, en dak. Deze onderdelen kunnen bij oudere woningen alle vaak nog geïsoleerd worden. Bij nieuwbouw is dit sinds ca.1980 verplicht volgens de EPN (energie prestatie norm). Een laatste versie stamt uit 2015, waarbij de normen verdubbeld zijn. De warmteweerstand (Rc-waarde) bedraagt dan: dak Rc = 6,0; gevel Rc = 4,5; vloer Rc = 3,5; beglazing Rc = ca.1). Voor 2015 bedroeg de gemiddelde warmteweerstand ruwweg Rc = 2,5 per bouwdeel, behalve de beglazing.

Wanneer alle bouwdelen zijn geïsoleerd kan men 50% op de verwarming besparen ten opzichte van een ongeïsoleerd huis. Vaak ook meer.



Warmteverlies bij ongeïsoleerde bouwdelen.

Isolatie is zowel van belang bij verwarming als bij koeling. Isolatie is gebaseerd op het creëren van een stilstaande luchtlaag, bijvoorbeeld in hardschuim of middels de spouw van dubbelglas. Zo voorkomt men dat moleculen in het binnenklimaat kunnen botsen met die van het buitenklimaat. Want zo wordt energie doorgegeven. Zo blijft het 's winters warm in een geïsoleerd huis, en in de zomers koel. Dit is vaak een reden om platte daken te isoleren.

De andere manier van isoleren betreft reflectie van warmtestraling (IR-straling), bijvoorbeeld met radiatorfolie. Net is zichtbaar licht kan IR-straling als elektromagnetische straling worden gereflecteerd door een spiegelend oppervlak. Met moderne multifolie combineert men beide technieken; b.v. glaswol met spiegelende folie ertussen (b.v.ATI-Pro). Dit geldt ook voor gecoat HR++ dubbelglas.

Er zijn drie groepen isolatie-materialen: synthetische en natuurlijke materialen; naast anorganische materialen.

1. **Synthetisch:** Polyurethaan PU-hardschuim (PIR, PUR, UF, Resol), Icnene-PURschuim (alle urethanen); en Polystyreen (PS, EPS, XPS). De laatste kennen we als wit

piepschuim (EPS) of als blauwplaat (XPS). Ze isoleren de helft minder goed dan Polyurethanen om dat ze minder lucht kunnen bevatten.

2. **Natuurlijk:** houtwol, vlaswol, schapenwol, kurk (alle organisch)
3. **Anorganisch:** glaswol, steenwol (gesponnen basalt), perliet, foamglas, dubbelglas, Blue Dec-schuim.

Isolatiemateriaal per geveldeel:

Vloer: glaswol, PS-hardschuim (polystyreen); PIR-hardschuim (PIR, UF, Resol, PUR: polyurethaan); multifolie: dubbele isolatie m.b.v. warmtereflectie en luchtisolatie (ATI-Pro, PIF, PXA, Tonzon).

Gevel: spouwmuur: PS-parels met lijm; fijne glaswol (Knauff); Icynene-schuim (nieuw, Purfoam); Blue Dec (nieuw, Silica foam). Binnenmuur: PIR-hardschuim, multifolie, glaswol, PS-hardschuim.

Dak (binnen): PIR-hardschuim; glaswol; rockwool; PS-hardschuim; multifolie (PXA, ATI-Pro).

Dak (buiten): PS-hardschuim, multifolie (nieuw).

Beglazing: HR++ dubbelglas, tripleglas (beide met warmte-reflecterende coating), Van Ruijsdael gecoat enkelglas (monumentenglas).

Verder: radiatorfolie (achter tegen radiator); kierdichting (tochtstrippen, kitten); isolatie warme leidingen (schuimslangen).

Een groen sedumdak is geen isolatiemateriaal, maar kan wel water en warmte opnemen (buffer), naast fijnstof.

Vochtproblemen.

Een goede isolatie kan ook voor vochtproblemen (condens) zorgen bij onvoldoende ventilatie. Verder kunnen lekkage bij daken of kozijnen, of een vochtige kruipruimte, voor vochtproblemen zorgen.

Vochtproblemen kunnen als volgt worden aangepakt;

1. **spoor de bron op van het vocht;** b,v optrekkend grondwater naar de gevel of vloer; run-off van grondwater naar het laagste punt van de wijk; lekkage via dak (bovenburen), dakdoorvoer van schoorsteen, gevel-dak-aansluiting of kierende kozijnen; lekkende watermeter, cv-ketel, radiator, kraan, toilet etc.
2. **in huis meer ventileren;** b.v. badkamers, vochtige gevels, vochtige kruipruimtes. Let op voor warmteverlies in de winter. Mechanische ventilatoren verbruiken relatief weinig stroom (vooral gelijkstroommotoren), vergeleken met een airco. Evt. een raam- of muurventilator plaatsen.
3. **vochtvreters** plaatsen (hygroscopische stoffen), als het bovenstaande niet helpt.

4. **draineren van vocht in de kruipruimte;** 30 cm isoschelp aanbrengen, dompelpomp in de kruipruimte aanbrengen, doorbreken van veen-of kleilagen, omleiden van grondwater middels goten graven of drainage-buizen aanbrengen.

T5: Ventilatie

-Vuistregel is dat **elke ademtocht per seconde** dient te worden ververs; 5 liter x 3600 sec = 18 m³ lucht per uur per persoon. Binnen een woonruimte of een kantoorruimte (met drie personen) dient daarom de lucht ongeveer vijf keer per uur te worden ververs. Dat is 5 x 50 m³ = 250 m³ per uur.

-**Een huis ventileren** doe je bij voorkeur **'s ochtends** wanneer de verwarming nog uit is. Bij voorbeeld door tien minuten ramen en deuren tegen elkaar openzetten (dwarsventilatie). Zo kan ook veel vocht (10 l. per dag per huishouden) het pand verlaten. Dat hoeft dan niet meer worden opgewarmd, wat energie bespaart.

-Met **zomernachtventilatie** kun je een pand gedurende de nacht verkoelen met mechanische ventilatie. De gebouwschil (massa) wordt dan gekoeld. Dit kan overdag het gebruik van een airco voorkomen of verminderd.

Soorten ventilatie:

Ventilatie is een beheert proces, in tegenstelling tot bijvoorbeeld tocht (>20 m/sec).

Men onderscheidt vier soorten ventilatie:

1. **Natuurlijke** ventilatie, via kieren en open ramen.
2. **Mechanische** ventilatie met een afzuigende ventilator, die de gebruikte lucht naar buiten afvoert.
3. **Vraaggestuurde** ventilatie werkt op basis van sensoren (waterdamp, en/of CO₂), met mechanische aanvoer en afvoer. Dit komt vooral het wooncomfort ten goede.
Nadeel: ramen en deuren dienen gesloten te blijven, ook in de zomer.
4. **Gebalanceerde** ventilatie: vraaggestuurde ventilatie met warmte-terugwinning (WTW) tussen afvoer en afvoer, die daarom dicht bij elkaar moeten liggen. Uitgaande warmte lucht warmt de inkomende koele lucht op.
Met WTW is tot 90% besparing op gasverbruik haalbaar. Deze ventilatie kost ca. 200 kWh/jr aan extra stroomverbruik voor de motor.
Nadeel: ramen en deuren moeten ook in de zomer gesloten blijven, net als bij een airco. Noodzakelijk bij gebruik van een volledige warmtepomp.

Verder:

-Oude ventilatoren kunnen nog een wisselstroommotor bezitten; moderne **gelijkstroommotoren** kunnen tot 80% zuiniger zijn. En ze zijn bovendien geluidsarmer en beter regelbaar.

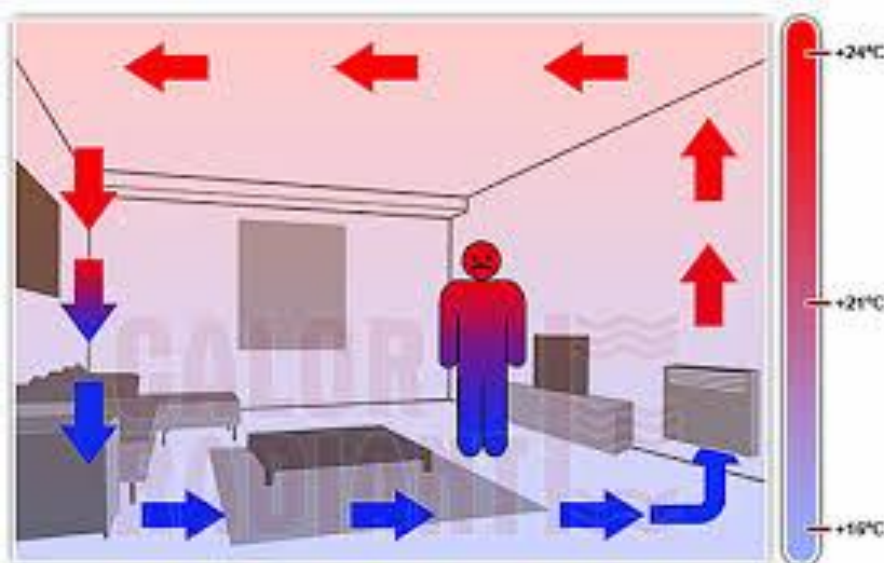
-Behaaglijkheid is subjectief; iedereen ervaart dit anders. Het is afhankelijk van de omstandigheden, zoals temperatuurverschillen, luchtbeweging, luchtvochtigheid. Onderzoek gedaan door Fanger.

-luchtvochtigheid: relatieve vochtigheid (40-60%) versus ruimtetemperatuur (18-28 grC): binnen dit gebied is er sprake van behaaglijkheid. De relatieve vochtigheid van binnenlucht dient 40-60% te zijn, voor een goed wooncomfort. Anders is de lucht te droog (keelklachten) of te nat (broeikas). Dat laatste effect treedt op wanneer transpiratievocht niet kan uitdampen.

-convectie van luchtstromen: bij een lichtsnelheid van meer dan 20 cm/s is er sprake van tocht. Koudeval via enkelglas ramen of ongeïsoleerde steensmuren verlagen de behaaglijkheid.

-warmtestraling: b.v. zoninstraling, hete radiatoren kunnen hinderlijk zijn. Zoninstraling in een serre kan 25% bijdragen aan de ruimteverwarming.

Bovengenoemde aspecten van behaaglijkheid kan men vaak ook regelen met domotica (afstandsbediening, sensoren), soms ook via wifi (o.a. thermostaten).



Convectiestroming binnen een ruimte. Met warmtedeken onder het plafond.

R1: regelgeving en subsidies;

ISDE, SDE+, SEEH, Postcoderoos, BTW-aftrek PV, EIA, VAMIL, NTA8800 (EPA). Alle Rijkssubsidies.

ISDE: langdurige Investeringsregeling Subsidie Duurzame Energie; particulier en zakelijk.

SDE+: Stimuleringsregeling Duurzame Energie, onderdeel ISDE; m.n. warmtepompen, PV; zakelijke markt

SEEH: tijdelijke Subsidieregeling Energiebesparing Eigen Huis: m.n. isolatiemaatregelen (20%); voor woningeigenaren. Nu onder de ISDE-regeling.

Postcoderoosregeling: fiscale maatregel m.b.t. energibelasting op collectief opgewekte elektriciteit; PV-coöperaties.

BTW-aftrek PV; tijdelijke fiscale maatregel investeringen in PV (21%); particulier en zakelijk

BTW-aftrek arbeidsloon: tijdelijke fiscale maatregel verlaagde BTW op loonkosten i.v.m. isolatiemaatregelen (9%); aannemers

EIA: Energie Investerings Aftrekregeling; zakelijke markt

VAMIL: Willekeurige Aftrek Milieu-investeringen; zakelijke markt

NTA8800: regelgeving uit Brussel m.b.t. uitvoering EPA (Energie Prestatie Advies); advieswereld.

Duurzaamheidslening; Gemeente Nieuwegein (alleen huiseigenaren), en tevens Gemeente Utrecht (ook huurders).

R2: Bronnen

Literatuur

- Bouwfysica*; A.C.van der Linden e.a., Thieme-Meulenhof, 283 pp, 2000 (vakliteratuur, aanrader)
- Energie Zakboek*; P.H.H.Leijendeckers, Elsevier, ca. 500 pp, 2002
- Energietips in de gebouwde omgeving*; UnetoVNI; 75pp, 2008
- Duurzame Techniek*; Wim van Nistelrooij & Rob Sars; Huis van Techniek, ca.250 pp, 2014
- 131 veel-voorkomende bouwgebreken*; studiecentrum NVM-SOM; ten HagenStam; 273pp , 2001
- Handboek Installatietechniek*; W.H.Knoll, E.J.Wagenaar; TVVL/ISSO/Novem; 2 delen; 1200 pp, 2000
- PP cursus thermografie*; R.B.Vonk, 2018

Sites

warmtepompweetjes.nl

warmtepompplein.nl

meneerwietsma.nl (you tube): ca.30 natuurkunde lessen (van 10 min.)

docenttechniek.nl;

duurzaambo.nl (b.v. opslag elektriciteit)

cursuselektriciteit.nl