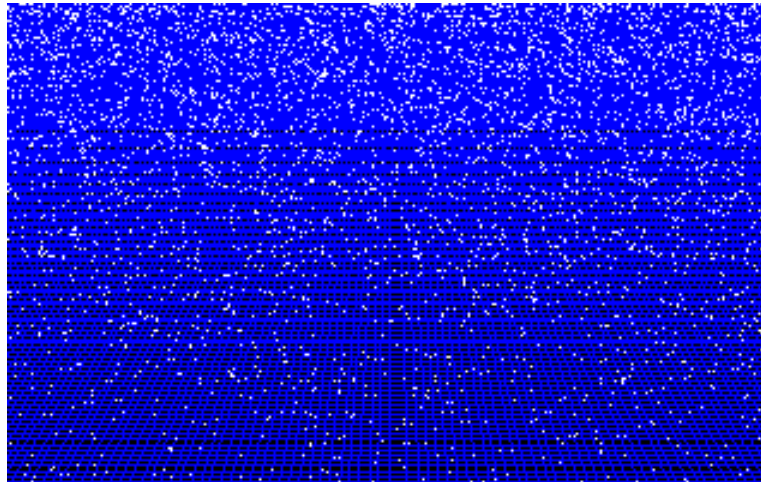


Kernenergie

FEW cursus



Jo van den Brand en Roel Aaij

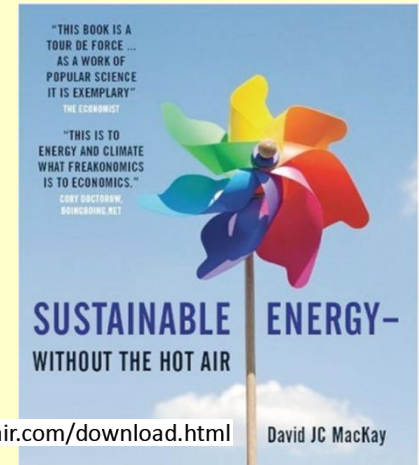
www.nikhef.nl/~jo/energie

2 april 2012

Inhoud

- **Jo van den Brand**
 - Email: jo@nikhef.nl URL: www.nikhef.nl/~jo/energie
 - 0620 539 484 / 020 598 7900, Kamer T2.69
- **Roel Aaij**
 - Email: raaij@nikhef.nl
- **Dictaat**
 - Werk in uitvoering
- **Boeken**
 - Energy Science, John Andrews & Nick Jelley
 - Sustainable Energy – without the hot air, David JC MacKay
 - Elmer E. Lewis, Fundamentals of Nuclear Reactor Physics
- **Inhoud van de cursus**

- Week 1 Motivatie, exponentiële groei, CO2 toename, broeikaseffect, klimaat
 - Energieverbruik: transport, verwarming, koeling, verlichting, landbouw, veeteelt, fabricage
- Week 2 Kernenergie: kernfysica, splijting
- Week 3 Kernenergie: reactorfysica
- Week 4 Kernenergie: maatschappelijke discussie (risico's, afval), kernfusie
- Week 5 Energie, thermodynamica
 - Entropie, enthalpie, Carnot, Otto, Rankine processen, informatie
 - Energiebronnen: fossiele brandstoffen (olie, gas, kolen), wind, zon (PV, thermisch, biomassa), waterkracht, geothermisch
- Week 6 Fluctuaties: opslag (batterijen, water, waterstof), transport van energie, efficiëntie
 - Energie: scenario's voor Nederland, wereld, fysieke mogelijkheden, politiek, ethische vragen, economische aspecten

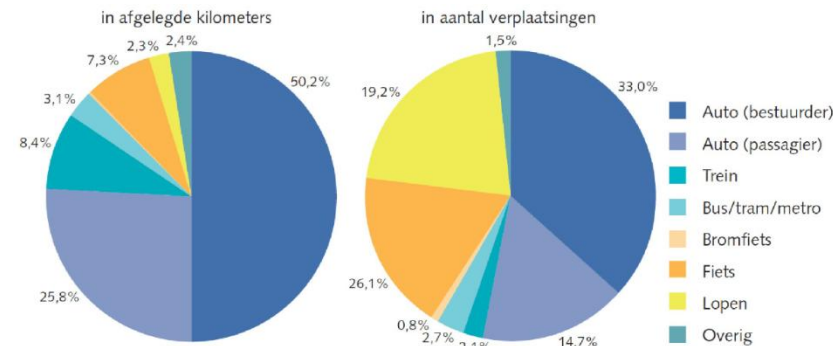


Gratis te downloaden

Auto's in Nederlands

- Er zijn 8.002.579 personenauto's geregistreerd (31-12-2010)
 - Voor 16.6 miljoen mensen
 - Bijna iedereen gebruikt het
 - Voor de meeste mensen is de auto het standaard vervoersmiddel
 - Voor veel mensen is de auto onderdeel van “lifestyle”
- Hoeveel energie verbruikt een normale auto?
 - We hebben een eenvoudige manier nodig om uit te rekenen wat een auto gemiddeld per dag gebruikt
 - Er zijn verschillende opties
 - Neem het totale benzinegebruik in NL en deel dit door het aantal dagen per jaar en door de NL populatie (mogelijke fouten?)
 - Schat de gemiddelde afstand die per dag wordt afgelegd en vermenigvuldig dit met de gemiddelde energie die nodig is om die afstand af te leggen (mogelijke fouten?)

$$\text{energieverbruik per dag} = \frac{\text{afstand per dag}}{\text{verbruik auto per km}} \times \text{energieinhoud brandstof}$$



Hoeveel energie verbruikt een auto?

- Totale vervoersafstand in NL is 189 miljard personen-kilometers per jaar (in 2008)
 - Dat komt op 30 km / (dag x persoon)
 - Er zijn twee keer zoveel mensen in NL als auto's
 - De gemiddelde autorijder rijdt dus 60 km / (dag x persoon)
- Laten we voorzichtig zijn en 50 km pppd nemen
 - Dat geeft 50 km x 365 dagen = 18000 km per jaar
 - Dat lijkt redelijk

energieverbruik per dag = $\frac{\text{afstand per dag}}{\text{verbruik auto in km per liter}} \times \text{energieinhoud brandstof}$

- Gemiddeld verbruik in NL (2005)
 - 8.6 liter per 100 km (dat is 1:12, of 33 miles per gallon)
 - Deze waarde verbetert niet met de nieuwe generatie auto's
 - Voorbeeld: Alle Honda's in 2005 verkocht in de USA verbruikte 35 mpg
 - Er zijn auto's die 3 liter per 100 km verbruiken
 - Dat is 80 mpg

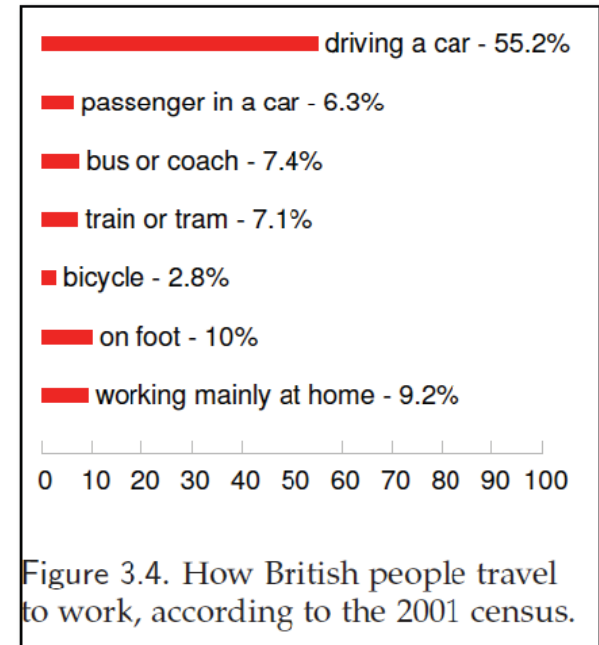


Figure 3.4. How British people travel to work, according to the 2001 census.

DIESEL VEHICLES WITH 110g/km OR LESS

Make	Model	Engine Capacity cc	Transmission	CO ₂ g/km	Fuel Consumption (mpg)	Fuel Cost of driving 12000 miles
SMART	fortwo cabrio	799	AM5	88	85.6	720
SMART	fortwo coupé	799	AM5	88	85.6	720
VOLKSWAGEN	Polo	1199	M5	89	83.1	742
FORD	Fiesta	1560	M5	98	76.3	808
SEAT	Ibiza	1422	M5	98	76.3	808
VAUXHALL	Corsa 3 Door	1248	M5	98	76.3	808
CITROEN	New C3	1560	M5	99	74.3	830
CITROEN	DS3	1560	M5	99	74.3	830
FORD	Focus	1560	M5	99	74.3	830
PEUGEOT	207	1560	M5	99	74.3	830
SEAT	Leon	1598	M5	99	74.3	830
VOLKSWAGEN	Polo	1422	M5	99	74.3	830



Hoeveel energie verbruikt een auto?

- Brandstof (benzine, diesel) zijn koolwaterstoffen
 - Boter is ook een koolwaterstof
 - Energieinhoud: 900 kCal per 100 gram (3080 kJ per 100 g)
 - Dat is 8 kWh / kg (met 1 J = 1 Ws)
 - De dichtheid is ongeveer 0.8 kg/liter
 - Dan vinden we 8 kWh/kg x 0.8 kg /l = 7 kWh per liter
 - De echte waarden zijn
 - Benzine 9.7 kWh/l
 - Diesel 10.7 kWh/l
 - Kerosine 10.4 kWh/l
- Onze keukentafel schatting was zo slecht nog niet
- Invullen levert

Type brandstof	MJ/l	MJ/kg
Normale benzine (min. RON 91)	34.8	47
Super benzine (min. RON 95)		46
LPG (60% propaan en 40% butaan)	25.5 - 28.7	51
Ethanol	23.5	31.1
Methanol	17.9	19.9
Gasohol (10% ethanol en 90% benzine)	33.7	45
E85 (85% ethanol en 15% benzine)	33.1	44
Diesel	38.6	48
BioDiesel	35.1	39.9
Plant aardige olie (met 9.00 kcal/g)	34.3	37.7
Vliegtuig benzine (propellor)	33.5	46.8
Vliegtuigbrandstof, nafta (Jets)	35.5	46.6
Vliegtuigbrandstof, kerosene (Jets)	37.6	47
Vloeibare aardgas	25.3	55
Vloeibare waterstof	9.3	130

$$\text{energieverbruik per dag} = \frac{\text{afstand per dag}}{\text{verbruik auto in km per liter}} \times \text{energieinhoud brandstof}$$

$$= \frac{50 \text{ km/dag}}{12 \text{ km/liter}} \times 10 \text{ kWh/liter} = 40 \text{ kWh/dag}$$



Consumptie Productie

Auto:
40 kWh/d

Productiekosten van auto

- Productie van een nieuwe auto vereist energie
 - Verwerking van materialen
 - Productie van componenten
 - Assemblage
- Energiebehoefte naar schatting 76 000 kWh
- Is het zinvol om mijn oude “dorstige” auto te vervangen door een moderne auto?
- Reken uit hoelang nadat ik de auto koop ik break-even rijd (neem aan dat ik 50 km per dag rij)
 - Dat is opgave 3 voor de komende week!



Saab 9.5, 10 l/100km

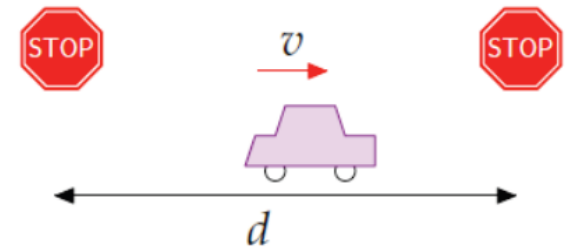


Volvo V60, 6 l/100 km



Waar blijft de energie in een auto?

- Voor een typische auto op fossiele brandstof
 - Optrekken en afremmen
 - Luchtweerstand
 - Rolweerstand
 - Warmte (ongeveer 75% van de energie wordt weggegooid als warmte, omdat de energieconversie inefficiënt is)
- Optrekken en dan afremmen
 - Auto's hebben meestal geen constante snelheid
 - Stoplichten, verkeersborden, etc.
 - Massa van de auto m wordt versneld tot snelheid v
 - Auto rijdt gemiddeld afstand d en remt dan af
 - De kinetische energie wordt dan in warmte omgezet
 - De cyclus duurt typisch $t = d/v$
 - Snelheid waarmee energie de remmen in gaat
 - De energie wordt in warmte omgezet



$$\frac{\text{kinetische energie}}{\text{tijd tussen remmen}} = \frac{\frac{1}{2}mv^2}{d/v} = \frac{mv^3}{2d}$$



Luchtweerstand

- Auto met snelheid v creëert een “draaikolk” lucht

- Frontaal oppervlak auto A_{front}
- Drag coefficient c_d
- Effectief oppervlak $A = c_d \times A_{\text{front}}$
- Massa van draaikolk is $m_{\text{lucht}} = \rho A v t$



- Kinetische energie van draaikolk
- Snelheid waarmee kinetische energie in energie van de draaikolk wordt omgezet
- Snelheid van energieverlies in auto (vermogen)

$$\frac{1}{2} m_{\text{lucht}} v^2 = \frac{1}{2} \rho A v t \cdot v^2$$

$$\frac{\frac{1}{2} \rho A v t \cdot v^2}{t} = \frac{1}{2} \rho A v^3$$

$$\text{vermogen in remmen} + \text{vermogen in luchtweerstand} = \frac{1}{2} m v^3 / d + \frac{1}{2} \rho A v^3$$

- Energiedissipatie schaal met v^3
 - Als we de snelheid halveren, neemt het energieverlies met een factor 8 af, terwijl de rijtijd verdubbelt. We reduceren de consumptie met een factor 4
- Vraag: wat is groter? Luchtweerstand of remmen?
- Antwoord: dat hangt af van de verhouding

$$(m / d) / (\rho A)$$



Remmen en luchtweerstand

- De afstand d^* tussen rem-acties
 - Voor $d < d^*$ is dissipatie gedomineerd door remmen
 - Voor $d > d^*$ is dissipatie gedomineerd door luchtweerstand
- Frontaal oppervlak van de auto $A_{\text{front}} = 2 \text{ m breed} \times 1.5 \text{ m hoog} = 3 \text{ m}^2$
- Neem aan $c_d = 0.33$ en $m = 1000 \text{ kg}$, dan

$$d^* = \frac{m}{\rho c_d A_{\text{front}}} = \frac{1000 \text{ kg}}{1.3 \text{ kg/m}^3 \times \frac{1}{3} \times 3 \text{ m}^2} = 750 \text{ m}$$

- Totale dissipatie van een auto $\approx 4 \left[\frac{1}{2} m v^3 / d + \frac{1}{2} \rho A v^3 \right]$
 - Hoe kun je energie besparen bij “in de stad” rijden
 - Reduceer de massa van de auto
 - Installeer regeneratieve remmen (halveren de remverliezen)
 - Rij minder snel
 - Hoe kun je energie besparen “op de snelweg”?
 - Reduceer de drag coefficient
 - Reduceer het frontale oppervlak
 - Rij minder snel
 - Merk op dat op de snelweg de verbruikte energie niet afhangt van het aantal passagiers

DRAG COEFFICIENTS	
CARS	
Honda Insight	0.25
Prius	0.26
Renault 25	0.28
Honda Civic (2006)	0.31
VW Polo GTi	0.32
Peugeot 206	0.33
Ford Sierra	0.34
Audi TT	0.35
Honda Civic (2001)	0.36
Citroën 2CV	0.51
Cyclist	0.9
Long-distance coach	0.425
PLANES	
Cessna	0.027
Learjet	0.022
Boeing 747	0.031
DRAG-AREAS (m ²)	
Land Rover Discovery	1.6
Volvo 740	0.81
Typical car	0.8
Honda Civic	0.68
VW Polo GTi	0.65
Honda Insight	0.47



Rolweerstand

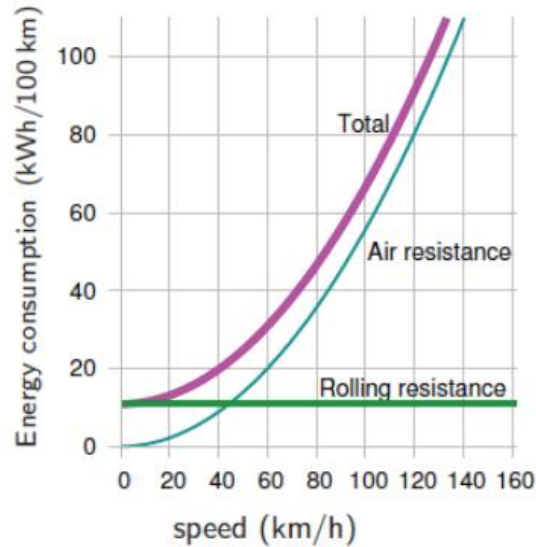
- Energie gaat verloren in de rolweerstand van
 - Kogellagers en banden van de auto
 - Schommelen van de auto (remsporen en geluid)
- Aanname: de kracht van de rolweerstand is evenredig met gewicht van de auto en onafhankelijk van de snelheid
- C_{rr} is de coefficient van rolweerstand: $F_{cc} = C_{rr} \times m \times g$
- Voorbeeld: auto van 1000 kg met snelheid van 31 m/s
 - Vermogen nodig om rolweerstand te overwinnen
 $\text{kracht} \times \text{snelheid} = (100 \text{ Newtons}) \times (31 \text{ m/s}) = 3100 \text{ W}$
 - Voor welke snelheid zijn rol- en luchtweerstand gelijk?

$$C_{rr}mg = \frac{1}{2} \rho c_d A v^2 \rightarrow v = \sqrt{\frac{2C_{rr}mg}{\rho c_d A}} = 7 \text{ m/s} = 25 \text{ km/uur}$$

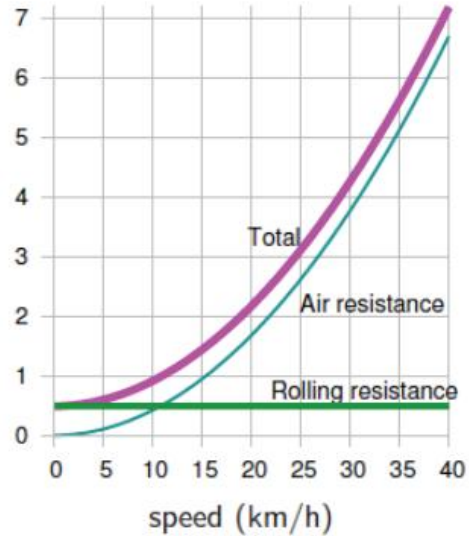
wheel	C_{rr}
train (steel on steel)	0.002
bicycle tyre	0.005
truck rubber tyres	0.007
car rubber tyres	0.010



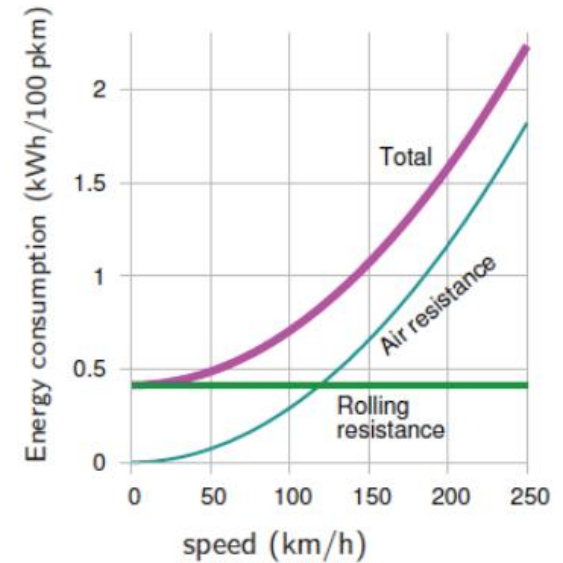
Weerstand en voertuigen



Auto: motor efficiëntie 0.25, $c_d A = 1 \text{ m}^2$, $m = 1000 \text{ kg}$ en $C_{rr} = 0.01$



Fiets: motor efficiëntie 0.25, $c_d A = 0.75 \text{ m}^2$, $m = 90 \text{ kg}$ en $C_{rr} = 0.005$

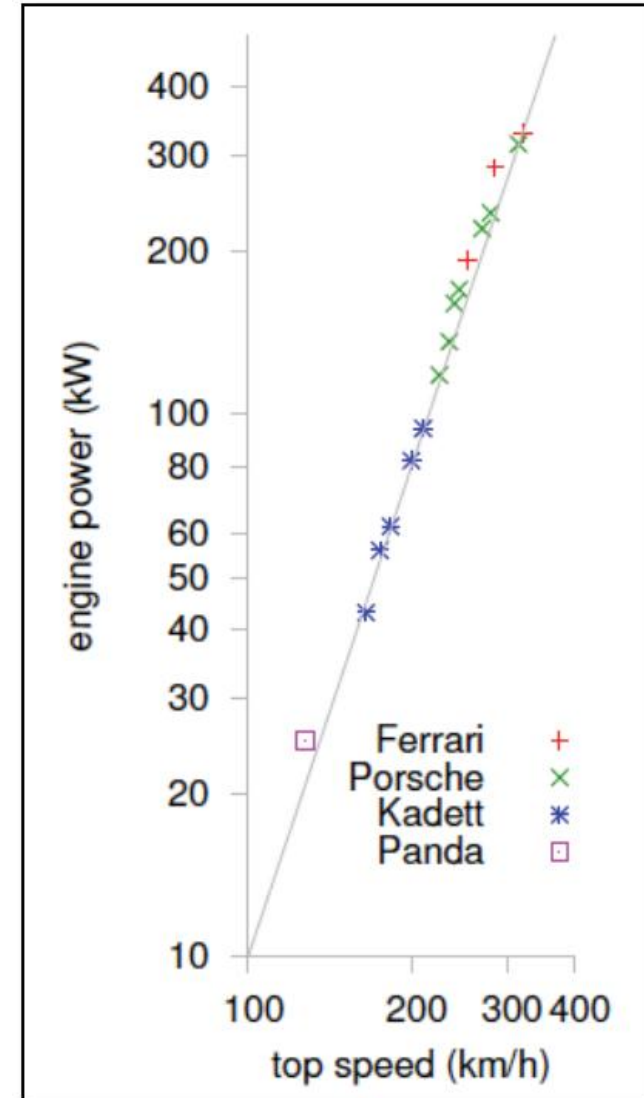


Trein (584 p): motor efficiëntie 0.9, $c_d A = 11 \text{ m}^2$, $m = 400\,000 \text{ kg}$ en $C_{rr} = 0.002$



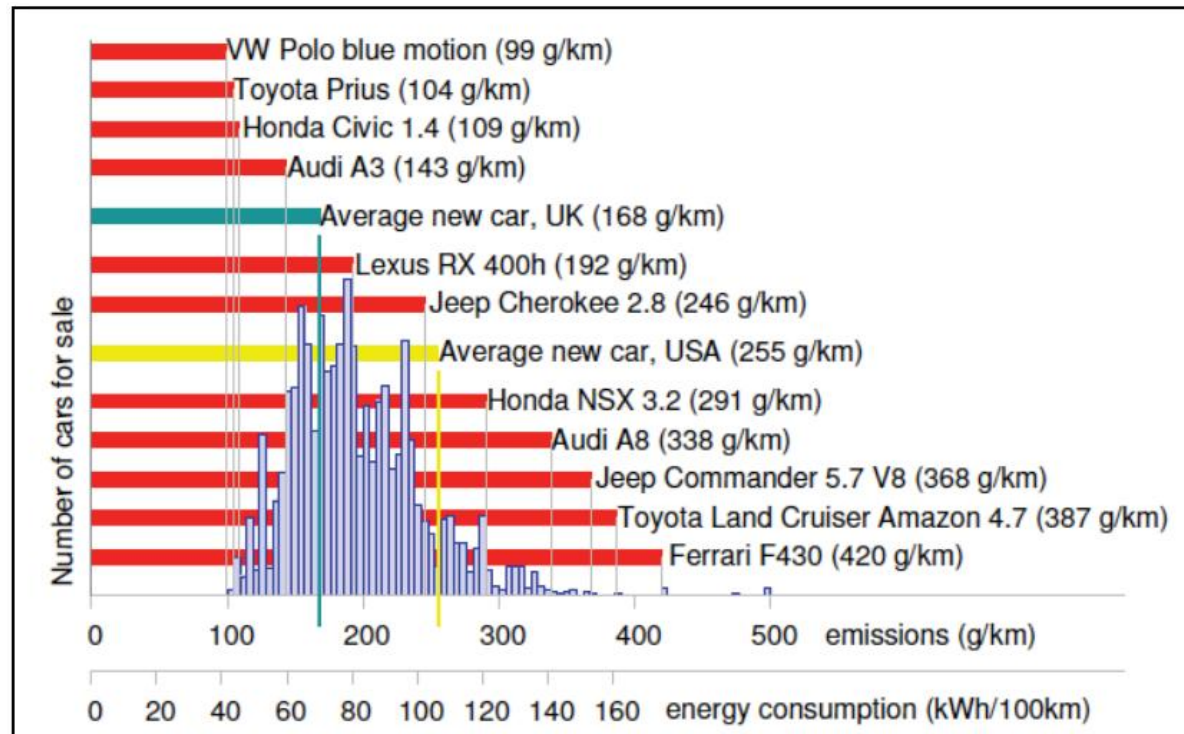
Topsnelheid en motorvermogen

- Vermogen van auto's
 - Neemt met de derde macht van de snelheid toe
 - Twee keer zo snel vereist acht keer meer vermogen
- Top Gear
 - Bugatti Veyron
 - 1001 pk
 - Topsnelheid 408 km/uur
 - Bugatti Veyron Super Sport
 - 1200 pk
 - Topsnelheid?



Efficientie van auto's

- Er zijn genoeg energie efficiënte auto's te koop
 - Iedereen moet zelf weten wat hij/zij wil
 - Politieke argumenten
 - Meer belasting op brandstof, belasting op weinig efficiënte auto's, etc
 - Is dat etisch verdedigbaar?
- Nieuwe technologie
 - Regeneratief remmen
 - Hybride auto's
 - Elektrische auto's
 - Waterstof auto's
 - Perslucht aandrijving



Nieuwe auto technologie

- Regeneratief remmen
 - Elektrische generator gekoppeld aan wielen
 - Kan een batterij of supercondensator opladen
 - Slaat ongeveer 50% van de remenergie op
 - Hydrolische motoren gekoppeld aan wielen
 - Maken perslucht en slaan die op
 - Slaat ongeveer 70% van de remenergie op
 - Energieopslag in een vliegwiel
 - Ongeveer 70% opslag van remenergie
 - Brandstof consumptie wordt minder met
 - 30% voor standaard rijgedrag
 - 50% rijden in de stad
 - Heuvelstations
- Hybride auto's
 - Niet zo efficient als sommige advertenties beweren
 - Niet zo slecht als Top Gear stelt
 - Reductie tot 30% van fossiel brandstofgebruik is mogelijk
 - Is dat voldoende?

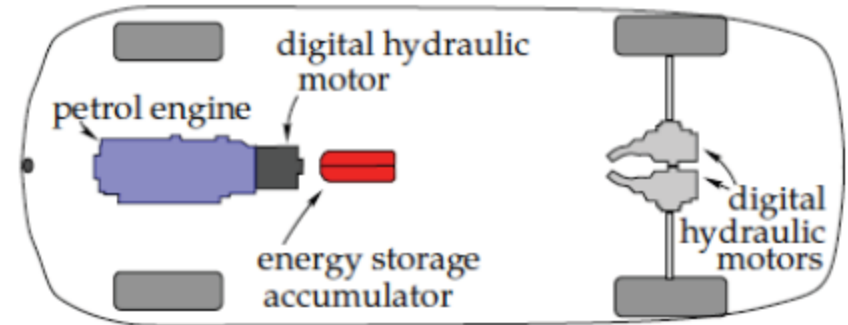


Figure 20.19. Toyota Prius – according to Jeremy Clarkson, “a very expensive, very complex, not terribly green, slow, cheaply made, and pointless way of moving around.”



Nieuwe auto technologie

- Elektrische auto's
 - Verschillende modellen leverbaar
 - Ongeveer 4 keer efficiënter dan fossiele brandstof
 - Zelfs als de elektriciteit met fossiele brandstof geproduceerd wordt, is de totale CO2 emissie slechts 100 g/km
 - Vergelijkbaar met de 3 liter Polo
 - Problemen met batterijen bespreken we later
- Waterstof en perslucht
 - Waterstof is geen energiebron, maar energiedrager
 - Huidige waterstofauto's zijn inefficiënt
 - Perslucht heeft een lage energiedichtheid

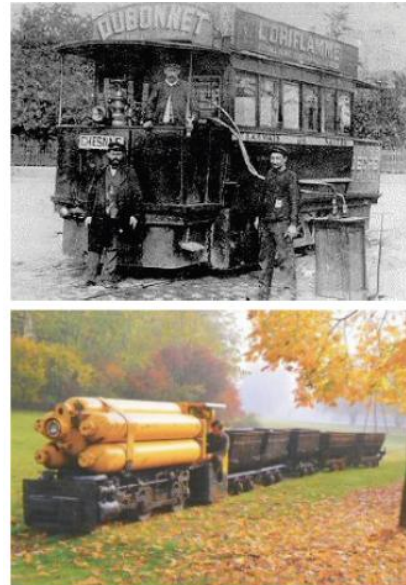


Figure 20.24. Top: A compressed-air tram taking on air and steam in Nantes. Powering the trams of Nantes used 4.4 kg of coal (36 kWh) per vehicle-km, or 115 kWh per 100 p-km, if the trams were full. [5qhvcb] Bottom: A compressed-air locomotive; weight 9.2 t, pressure 175 bar, power 26 kW; photo courtesy

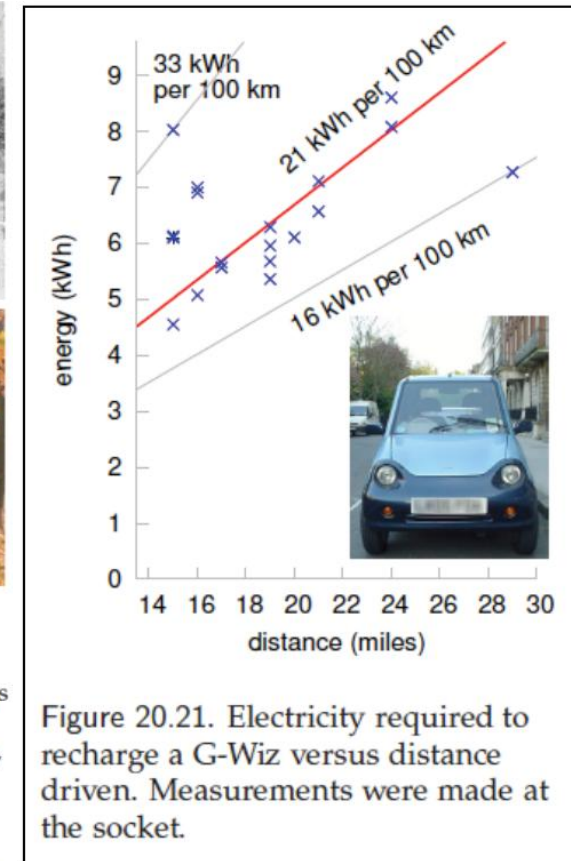


Figure 20.26. BMW Hydrogen 7. Energy consumption: 254 kWh per 100 km. Photo from BMW.

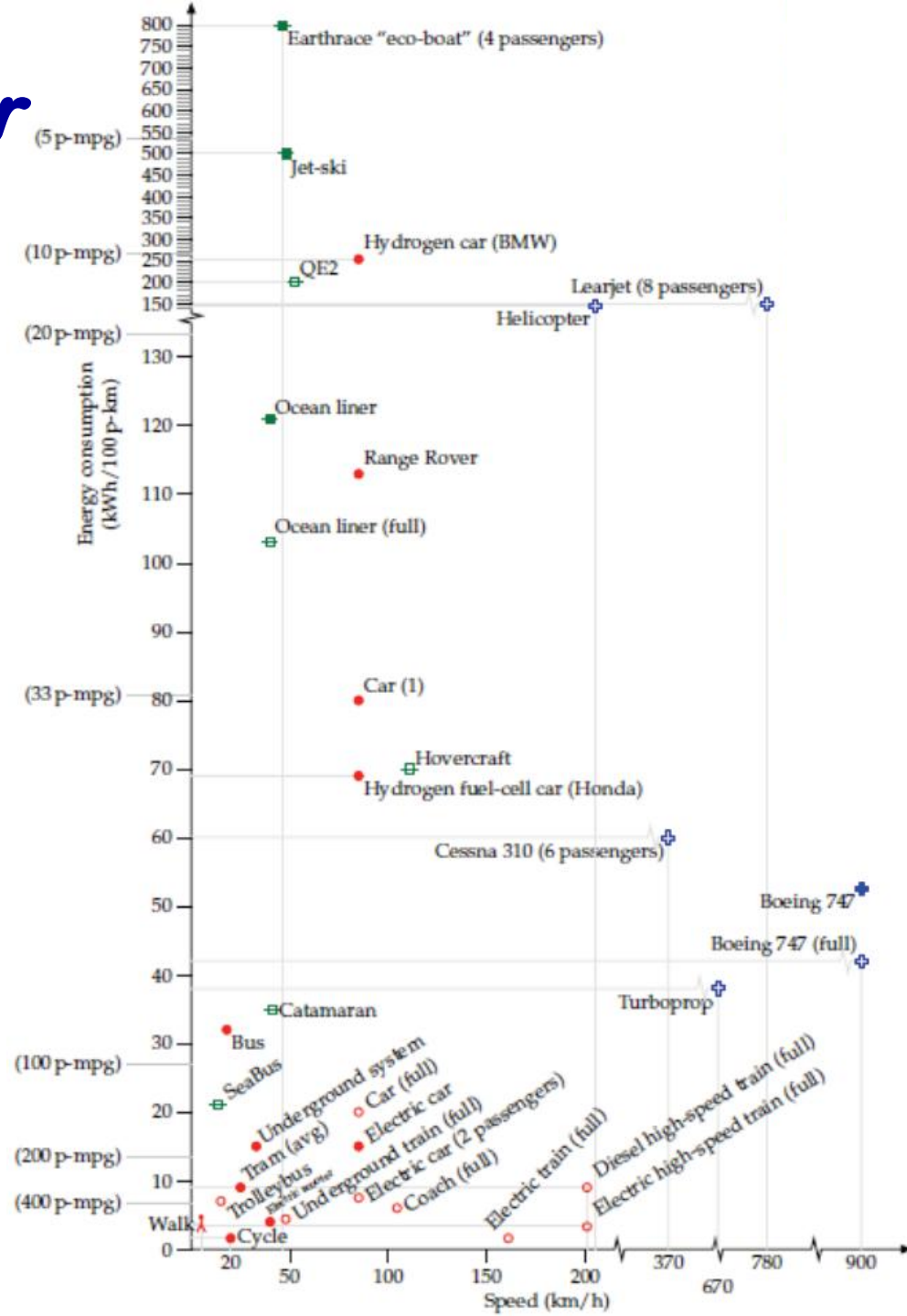
Passagier vervoer

- Verschillende vormen van transport

- Consumptie in kWh per 100 passagier-km
- Snelheid van transport in km/uur
- Car (1) is
 - Gemiddelde auto 33 mpg met 1 passagier
- Bus is
 - Gemiddelde van alle bussen in London
- Metro
 - Prestatie van London Underground system
- Catamaran
 - Diesel aangedreven boot

- Notatie

- Holle symbolen: beste prestatie
- Alle zitplaatsen vol
- Volle symbolen: actuele prestatie



Conclusies over auto's

- Energie van een auto wordt gebruikt voor overwinnen van
 - Luchtweerstand, rolweerstand
 - Voor de productie van warmte
- Stadsverkeer wordt gedomineerd door energieverlies door remmen
- Snelwegverkeer door luchtweerstand
- Snelheid verlagen levert reductie van energie consumptie
- Productie van een auto vereist forse hoeveelheid energie
- Elektrische auto's zijn veel efficiënter dan auto's op fossiele brandstof
- Voor onze boekhouding:

Consumptie	Productie
Auto: 40 kWh/d	



Vliegtuigen

- Vragen
 - Energieverbruik van een (inter)continentale vlucht
 - Waar gaat de energie naar toe?
 - Kunnen we de efficiëntie van vliegtuigen verbeteren?
- Energieverbruik van een intercontinentale vlucht
 - Stel dat we 1 intercontinentale vlucht per jaar doen
 - We gebruiken een Boeing 747-400
 - Die kan 416 passagiers over een afstand van 14000 km vervoeren
 - Verbruikt hierbij 240000 liter brandstof
 - Kerosine heeft een energieinhoud van 10 kWh/liter
 - Het energieverbruik is dan

$$\frac{2 \times 240000 \text{ liter}}{416 \text{ passagiers}} \times 10 \text{ kWh/liter} \approx 12\,000 \text{ kWh per passagier}$$

- Energieverbruik per dag is dan $\frac{12\,000 \text{ kWh}}{365 \text{ dagen}} \approx 33 \text{ kWh/dag}$
- Kan dat kloppen?
 - We overschatten afstand: Amsterdam Lost Angeles 9000 km, Cape Town 10000 km, Sydnese 17000 km
 - Realistisch zijn vliegtuigen gemiddeld 80% vol
 - Herschalen levert 30 kWh/dag



Vliegtuig:
30 kWh/d



Vliegtuigen versus auto's

- De getallen gaan over energieconsumptie
- Als we over global warming praten, dan is elke kWh van een vliegtuig ongeveer een factor 2 tot 3 erger dan een kWh van een auto
- KLM frequent flyer programme
 - Hoeveel kWh/dag verbruikt een KLM Gold member minstens?
 - $40\,000 \text{ miles} \times 1.61 \text{ km/mile} = 64\,400 \text{ km}$
 - Gebruik 53 kWh/100p km
 - $64\,000 \times 0.53 \text{ kWh/p-km} / 365 \text{ dagen} = 94 \text{ kWh/dag}$

Vliegtuig:
30 kWh/d

Auto:
40 kWh/d



Membership thresholds

Required thresholds for the rest of the world

Membership level	Number of Level Miles	Number of one-way flights**
Silver	25,000	15
Gold	40,000	30
Platinum	70,000	60

* Except for French domestic flights, travelled one way on a SkyTeam partner flight (AIR FRANCE, KLM, Aeroflot, Aeromexico, Air Europa, Alitalia, China Southern, Czech Airlines, Delta Air Lines, Kenya Airways, Korean Air, Tarom and Vietnam Airlines).

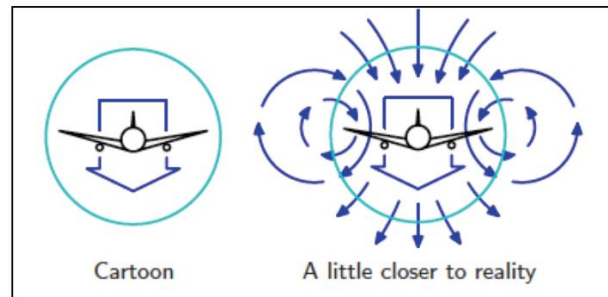
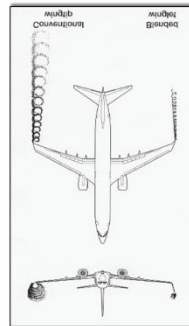
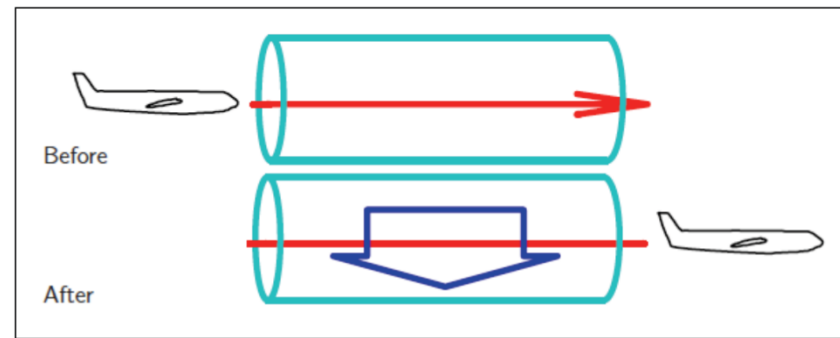
** Travelled one way on a SkyTeam partner flight (AIR FRANCE, KLM, Aeroflot, Aeromexico, Air Europa, Alitalia, China Southern, Czech Airlines, Delta Air Lines, Kenya Airways, Korean Air, Tarom and Vietnam Airlines).

energy per distance (kWh per 100 p-km)

Car (4 occupants)	20
Ryanair's planes, year 2007	37
Bombardier Q400, full	38
747, full	42
747, 80% full	53
Ryanair's planes, year 2000	73
Car (1 occupant)	80

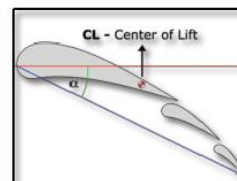
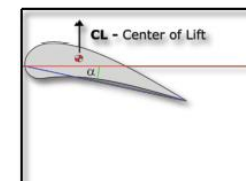
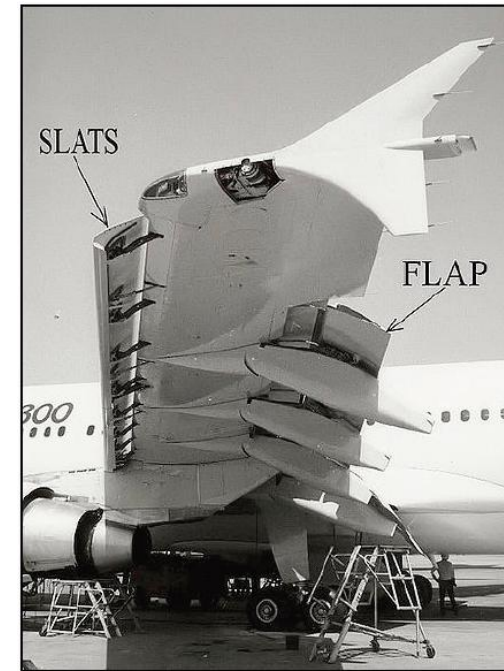
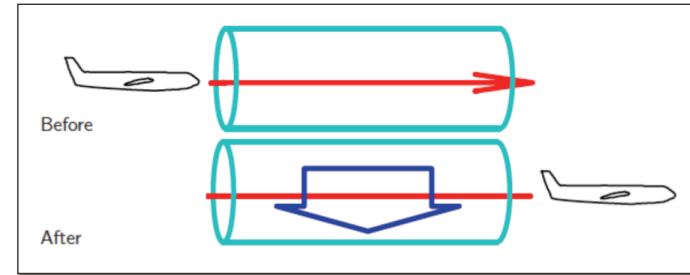
Hoe werkt vliegen?

- Auto's, treinen en vliegtuigen ondervinden een drag kracht ten gevolge van luchtweerstand
- In tegenstelling tot auto's en treinen, moeten vliegtuigen ook energie besteden om “in de lucht” te blijven
 - Ze hebben lift-vermogen nodig, P_{lift}
- Helicopter: de bladen drukken lucht moleculen naar beneden
 - Door de wet van behoud van impuls moet de helicopter dan omhoog gaan
- Ook vliegtuigen werken op basis van “lucht naar beneden gooien”
 - Eenvoudig model
 - Vliegtuig komt een stilstaande buis lucht tegen
 - Na passeren heeft het vliegtuig de lucht omlaag gegooid
 - In werkelijkheid iets gecompliceerder
 - Wervelingen bij de vleugel-tips
 - Vogels maken hier gebruik van; Ryan Air ook...



Simpel model

- Vliegtuig met snelheid v . Volume lucht is dan $v \times t \times A_L$, met A_L de doorsnede van de buis
 - Diameter van de buis is ongeveer gelijk aan de vleugel spanwijdte
 - Massa van de buis $m = \text{dichtheid} \times \text{volume} = \rho v t A_L$
- Wat is de neerwaartse snelheid u van de buis die nodig is voor voldoende liftkracht?
 - Deze kracht moet gelijk zijn aan het gewicht van het vliegtuig
- Neerwaarts gerichte impuls $\text{massa} \times \text{snelheid} = mu = \rho v t A_L u$
- Naar boven gerichte impuls (door gewicht) mgt
- Er geldt $\rho v t A_L u = mgt \rightarrow u = \frac{mg}{\rho v A_L}$
 - Snelheden u en v zijn omgekeerd evenredig
 - Bij hoge snelheid komt het vliegtuig meer lucht tegen
 - Daarom worden ook “flaps” gebruikt bij lage snelheid



Energieverbruik van vliegtuig

- Energie nodig om de lucht met snelheid u naar beneden te drukken
- Totaal vermogen nodig om het vliegtuig gaande te houden
 - Het drag vermogen hadden we al afgeleid, met A_V het frontaal oppervlak van het vliegtuig en c_d de drag coefficient
- Brandstof efficiëntie van vliegtuigen
 - Energie per afgelegde weg
 - Energie is vermogen keer tijd
 - Energie is ook kracht keer weg
- Er geldt

$$\frac{\text{energie}}{\text{afstand}} = \frac{P_{\text{totaal}}}{\varepsilon v} = \frac{1}{2\varepsilon} c_d \rho A_V v^2 + \frac{1}{2\varepsilon} \frac{(mg)^2}{\rho v^2 A_L}$$

- Jet-motoren hebben $\varepsilon = 1/3$ efficiëntie
- Er is een optimale snelheid waarbij energie per afstand minimaal is
 - Helpt vermogen nodig voor lift, andere helft om luchtweerstand te overwinnen

$$\rho v_{\text{opt}}^2 = \frac{mg}{\sqrt{c_d A_V A_L}}$$

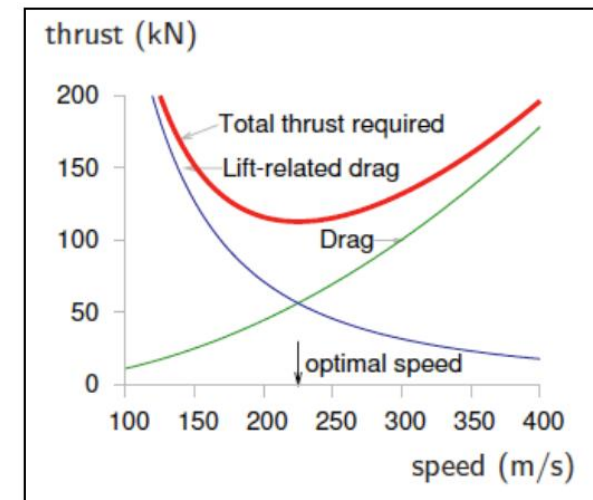
$$P_{\text{lift}} = \frac{\text{kinetische energie van buis}}{\text{tijd}}$$

$$= \frac{1}{t} \frac{1}{2} m u^2 = \frac{1}{2t} \rho v t A_L \left(\frac{mg}{\rho v A_L} \right)^2$$

$$= \frac{1}{2} \frac{(mg)^2}{\rho v A_L}$$

$$P_{\text{totaal}} = P_{\text{drag}} + P_{\text{lift}}$$

$$= \frac{1}{2} c_d \rho A_V v^3 + \frac{1}{2} \frac{(mg)^2}{\rho v A_L}$$



Cruise-snelheid voor Boeing 747

- Gebruik eenvoudig model om twee voorbeelden te bestuderen

- Boeing 747

- De lucht is ijler op grote hoogte

- Albatross

$$\exp(-mgz/kT)$$

- We zitten er niet erg naast

- 880 km/uur voor 747

- 913 km/uur op 35000 voet

- 52 km/uur voor Albatross

- 50 – 85 km/uur

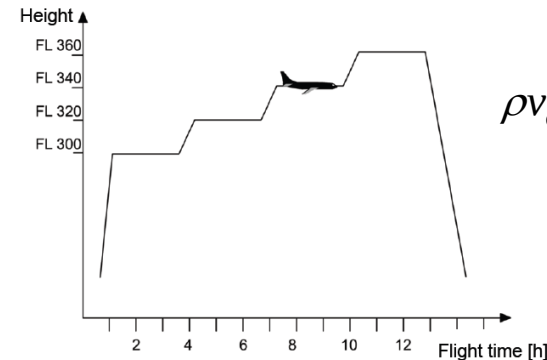
- Vliegtuigen gebruiken step climb

- Vliegtuig wordt lichter door verbruik

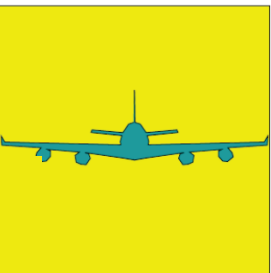
- Grotere hoogte, lagere dichtheid

- Benodigde kracht

$$\begin{aligned} \text{kracht} &= \frac{\text{energie}}{\text{afstand}} = \frac{1}{2} c_d \rho A_v v^2 + \frac{1}{2} \frac{(mg)^2}{\rho v^2 A_L} \\ &= c_d \rho A_v v_{\text{opt}}^2 = c_d \rho A_v \frac{mg}{\rho \sqrt{c_d A_v A_L}} = \left(\frac{c_d A_v}{A_L} \right)^{\frac{1}{2}} mg \end{aligned}$$



$$\rho v_{\text{opt}}^2 = \frac{mg}{\sqrt{c_d A_v A_L}}$$



Drag to lift ratio

Airbus A320	17
Boeing 767-200	19
Boeing 747-100	18
Common Tern	12
Albatross	20
Lift-to-drag ratios	

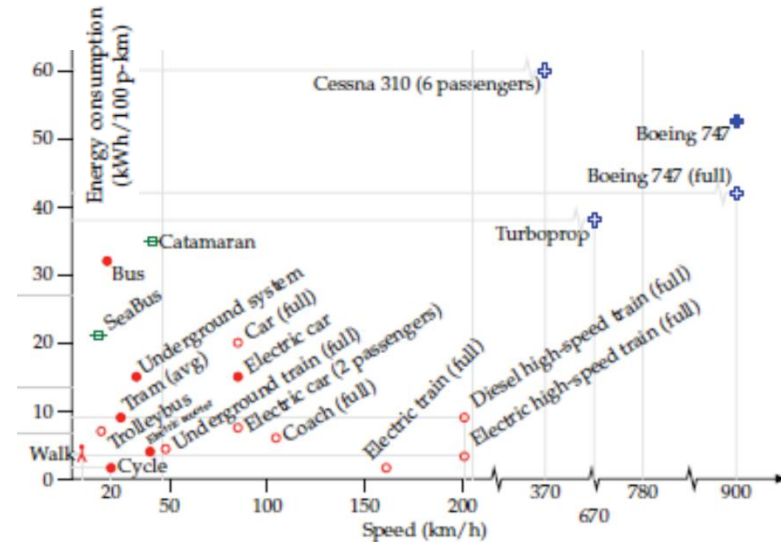
Transportkosten

- Hoeveel energie is er nodig om 1 ton over 1 km in een vliegtuig te vervoeren?

- Kracht is energie per eenheid afstand

$$\text{transportkosten} = \frac{1 \text{ kracht}}{\varepsilon \text{ massa}} = \frac{1}{\varepsilon} \frac{(c_d A_v / A_L)^{1/2} mg}{m} = \frac{(c_d A_v / A_L)^{1/2} g}{\varepsilon}$$

- De efficiëntie hangt enkel van de lift-to-dracht coefficient af en van de efficiëntie van de motor
 - Deze efficiënties zijn praktisch gelijk voor alle vliegtuigen
 - Hangen niet af van grootte van vliegtuig, gewicht of dichtheid van de lucht
 - Motor efficiëntie kan misschien met 10% verbeterd worden
 - Drag efficiëntie misschien met 10 – 20% (maar die gaat met de wortel)
 - Wat helpt zijn vollere vliegtuigen en efficiëntere air-traffic control
 - Voor de lift-to-drag ratio gebruiken we 20, voor de motor efficiëntie 1/3
 - We vinden 0.15g en dat is equivalent met 0.4 kWh/ton-km
 - Niet alle massa van het vliegtuig is vracht (cargo).
 - Dat is typisch 1/3
- We vinden voor transportkosten 1.2 kWh/ton-km
- Energieverbruik per dag 30 kWh/dag



Vliegtuig:
30 kWh/d

Verwarming en koeling

- Hoeveel energie geven we uit aan verwarming?
 - En aan koeling (air conditioning)?
 - Hoe kunnen we deze energie verlagen?
 - Hoe kunnen we de efficiëntie van warmtebronnen verbeteren?
- Energie nodig voor
 - Koken en opslag voedsel
 - Koelkast, vriezer
 - Wasmachine, droger, vaatwasser
- Warmte is het grootste deel
- Wat gebruikt het meest?
 - Een warm bad
 - Wassen en drogen van kleren
 - De koelkast en vriezer

Een warm bad

- Energie nodig voor een warm bad

- Aannamen

- Volume is ongeveer 110 liter
 - Water komt met 10 °C in huis
 - We verwarmen het tot 50 °C

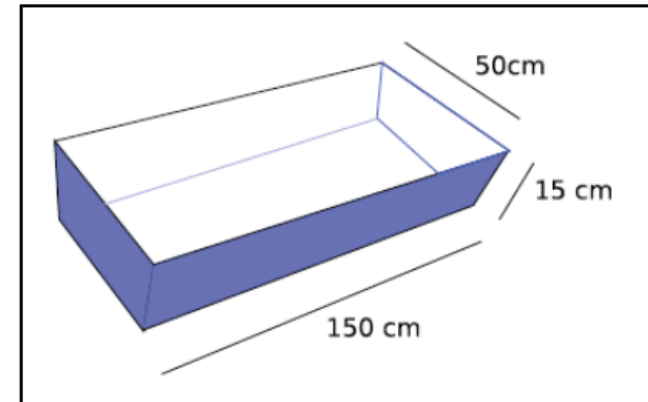
- Warmtecapaciteit van water is 4200 J/(kg x K)

$$4200 \text{ J/(liter } ^\circ\text{C)} \times 110 \text{ liter} \times 40 \text{ } ^\circ\text{C} \approx 18 \text{ MJ} \approx 5 \text{ kWh}$$

- Vergelijk dit eens met douchen

- Neem aan dat je 30 liter nodig hebt

- Dan $30/110 \times 5 \text{ kWh} = 1.4 \text{ kWh}$



Substance	c/J kg ⁻¹ K ⁻¹	Substance	c/J kg ⁻¹ K ⁻¹
Aluminium	900	Ice	2100
Iron/steel	450	Wood	1700
Copper	390	Nylon	1700
Brass	380	Rubber	1700
Zinc	380	Marble	880
Silver	230	Concrete	850
Mercury	140	Granite	840
Tungsten	135	Sand	800
Platinum	130	Glass	670
Lead	130	Carbon	500
Hydrogen	14000	Ethanol	2400
Air	718	Paraffin	2100
Nitrogen	1040	Water	4186
Steam	2000	Sea water	3900

Wassen van kleren

- We kijken naar slechts één lading kleren
 - Aannamen
 - Wasmachine heeft 80 liter nodig
 - We verwarmen het tot 40 °C
 - De energie is dan $80/110 \times 30/40 \times 5 \text{ kWh} = 2.5 \text{ kWh}$
- De droger
 - Trommeldroger = 3 kWh
 - In-huis drogen = 1.5 kWh
 - Je hebt indirect warmte nodig: de kamer koelt af
 - Verdampingswarmte bij kamertemperatuur is 2500 kJ/kg
 - Neem aan dat er 2.2 kg water in de kleren zit
 - Waslijn buiten = 0 kWh
- De totale energiekosten per lading varieert tussen 2.5 en 5.5 kWh



Koelen van voedsel

- Een koelkast gebruikt ongeveer 20 W
- De vriezer ongeveer 90 W
- Als beide in gebruik zijn, vinden
 - $0.11 \text{ kW} \times 24 \text{ h} = 2.6 \text{ kWh/d}$
- Antwoord op onze vraag
 - Een warm bad (5 kWh) gebruikt ongeveer dezelfde hoeveelheid energie als het wassen en drogen van een ladings kleren (2.5 tot 5.5 kWh), terwijl koelkast en vriezen per dag ongeveer 2.6 kWh gebruiken
- Gelukkig hebben we nog meer spullen...



Device	power	time per day	energy per day
Cooking			
– kettle	3 kW	1/3 h	1 kWh/d
– microwave	1.4 kW	1/3 h	0.5 kWh/d
– electric cooker (rings)	3.3 kW	1/2 h	1.6 kWh/d
– electric oven	3 kW	1/2 h	1.5 kWh/d
Cleaning			
– washing machine	2.5 kW		1 kWh/d
– tumble dryer	2.5 kW	0.8 h	2 kWh/d
– airing-cupboard drying			0.5 kWh/d
– washing-line drying			0 kWh/d
– dishwasher	2.5 kW		1.5 kWh/d
Cooling			
– refrigerator	0.02 kW	24 h	0.5 kWh/d
– freezer	0.09 kW	24 h	2.3 kWh/d
– air-conditioning	0.6 kW	1 h	0.6 kWh/d

Koelen van voedsel

- Een koelkast gebruikt ongeveer 20 W
- De vriezer ongeveer 90 W
- Als beide in gebruik zijn, vinden
 - $0.11 \text{ kW} \times 24 \text{ h} = 2.6 \text{ kWh/d}$
- Antwoord op onze vraag
 - Een warm bad (5 kWh) gebruikt ongeveer dezelfde hoeveelheid energie als het wassen en drogen van een ladings kleren (2.5 tot 5.5 kWh), terwijl koelkast en vriezen per dag ongeveer 2.6 kWh gebruiken
- Gelukkig hebben we nog meer spullen...
- Vaatwasser
 - Meeste energie is nodig om het water te verwarmen
 - Vaatwasser heeft enkel 10 liter per lading nodig
 - De Logicx gebruikt 0.97 kWh
 - Dat lukt mij nooit! Ergo...



SMS69L12GB
Dishwasher 60cm white Logixx

► Overview ► Technical specs ► Additional documents



Product features

A -10% Energy class A+ 0.97 kWh/14 place settings Timer 12+2 45 dB

FEATURELABELSTRONGSTARTPerformance
FEATURELABELSTRONGENDA Energy, A Wash Performance, A Drying
Power consumption: A-10%; 10% more economical; (0.97 kWh/14 place settings) than the standard value (1.08kWh/14 place settings) for qualifying for energy efficiency class A
Water consumption in Auto45-65 as low as 8 litres - depending on soiling.
Consumption in programme Economy 50:
10 litres water, 0.97 kWh energy, 140 min duration
Noise level: 40 dB (re 1 pW)
Capacity: 14 place settings

Click to enlarge

Green Technology inside

FEATURELABELSTRONGSTARTKey features
FEATURELABELSTRONGENDVarioflexPlus basket system
VarioDrawer on 3rd level
3 stage Rackmatic height-adjustable top basket
Silver baskets plus pullout handle with stainless steel inlay
6 foldable plate racks in top basket, 6 foldable plate racks in bottom basket
2 foldable cup shelves in top basket, 2 Foldable cup racks in bottom basket
Glass rack in bottom basket

Verwarming

- Wat gebeurt er met de energie

- Conductie: warmtestroom door wanden, ramen, deuren, plafonds en vloeren
- Ventilatie: warme lucht gaat verloren door kieren of ventilatieroosters

- Verliezen door conductie

- Conductiviteit wordt vaak uitgedrukt in de “U-waarde” met eenheid $W/(m^2 K)$

$$\text{Vermogenverlies} = \text{oppervlak} \times U \times \text{temperatuurverschil}$$

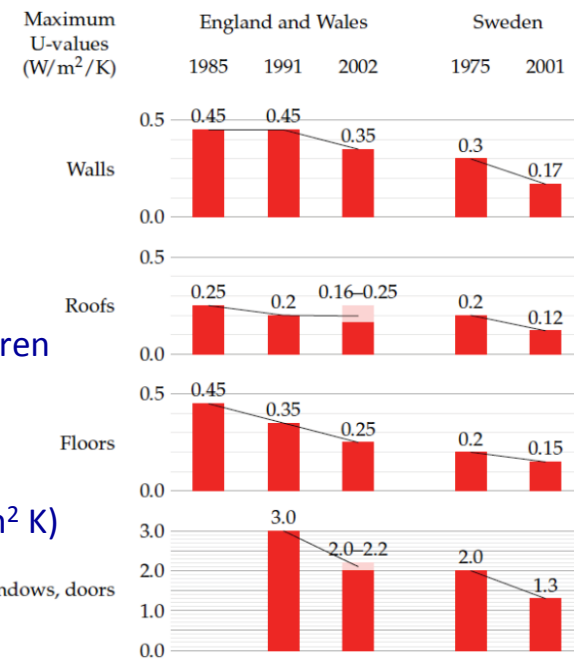
- U-waarden in serie combinatie

$$U_{\text{combinatie}} = \left(\frac{1}{U_1} + \frac{1}{U_2} \right)^{-1}$$

- Ventilatieverliezen

- Aantal luchtverversingen N per uur
 - Typisch 0.5 tot 3 per uur
- Volume van de ruimte V in kubieke meters
- Warmtecapaciteit C ($1.2 \text{ kJ}/(m^3 K)$)
- Temperatuurverschil ΔT tussen binnen en buiten

$$\text{Vermogen [W]} = C \frac{N}{1 \text{ uur}} V (m^3) \Delta T (K) = \frac{1}{3} N V \Delta T$$



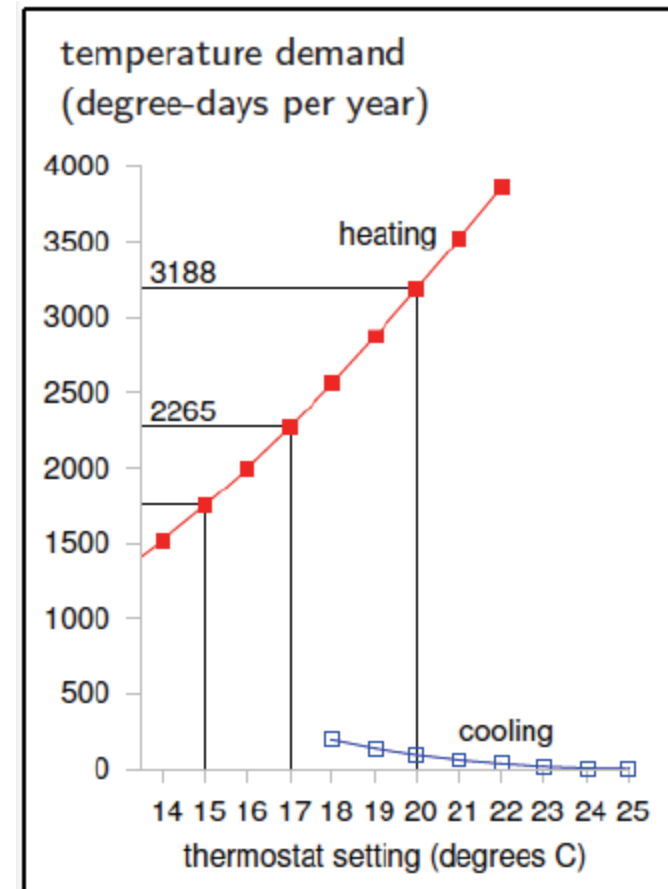
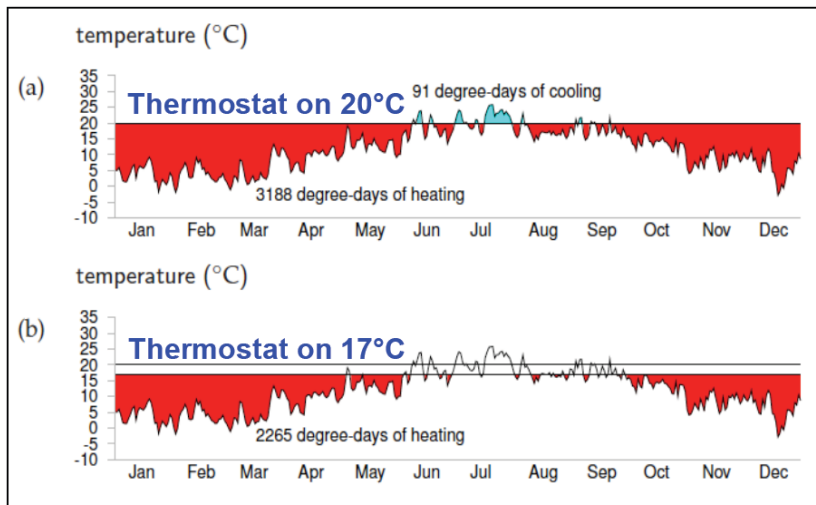
	U-values ($W/m^2/K$)		
	old buildings	modern standards	best methods
Walls		0.45–0.6	0.12
solid masonry wall	2.4		
outer wall: 9 inch solid brick	2.2		
11 in brick-block cavity wall, unfilled	1.0		
11 in brick-block cavity wall, insulated	0.6		
Floors		0.45	0.14
suspended timber floor	0.7		
solid concrete floor	0.8		
Roofs		0.25	0.12
flat roof with 25 mm insulation	0.9		
pitched roof with 100mm insulation	0.3		
Windows			1.5
single-glazed	5.0		
double-glazed	2.9		
double-glazed, 20 mm gap	1.7		
triple-glazed	0.7–0.9		

Energieverlies en temperatuur

- Energieverlies door geleiding: $\text{oppervlak} \times U \times (\Delta T \times \text{tijdsduur})$
- Energieverlies door convectie: $0.33NV \times (\Delta T \times \text{tijdsduur})$
- We tellen beide op en krijgen het energieverlies: $\text{lets} \times (\Delta T \times \text{tijdsduur})$
 - We noemen dit het warmtelek van het huis

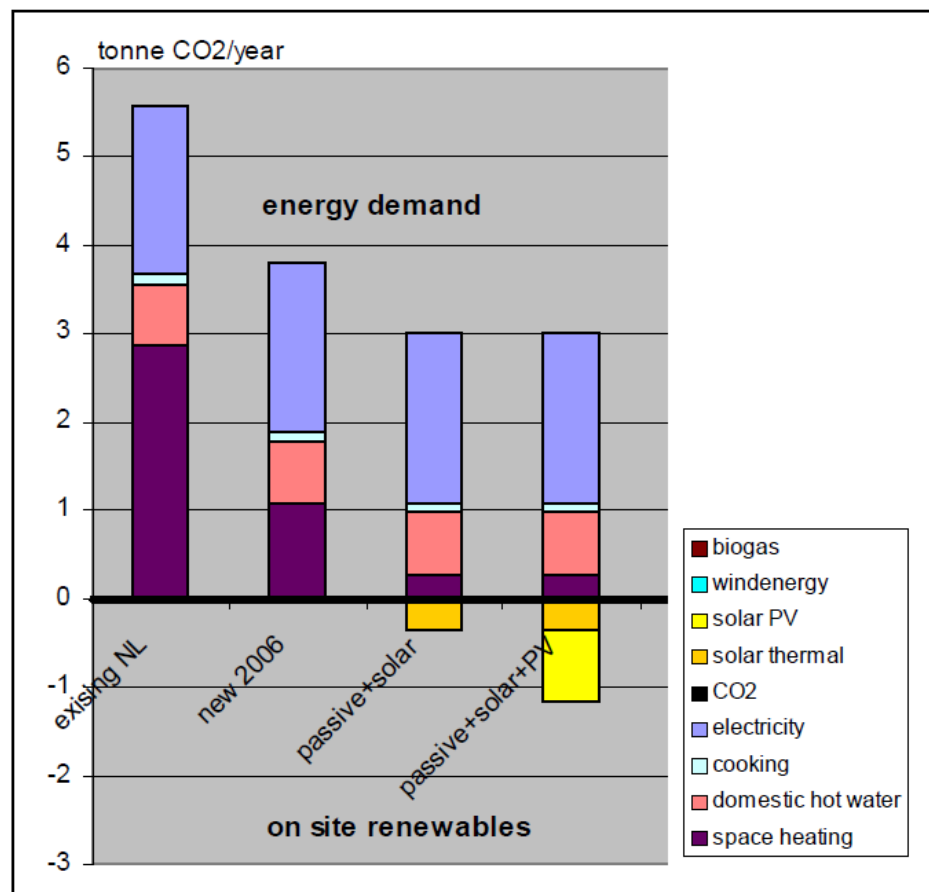
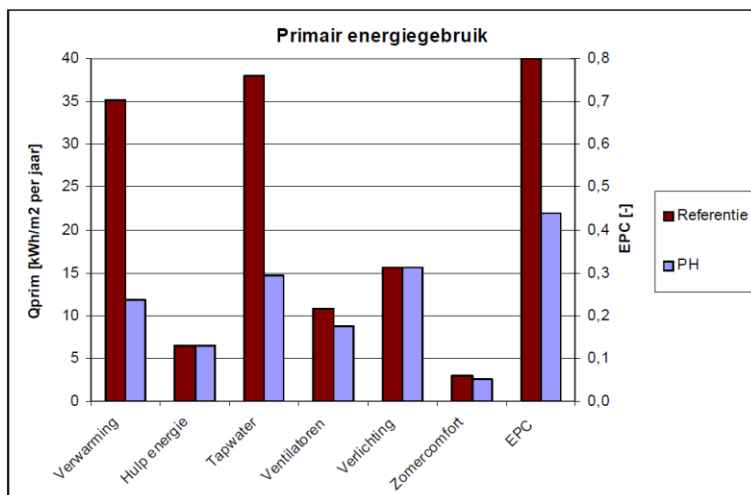
$$\text{Energieverlies} = \text{warmtelek} \times \text{temperatuurbehoefte}$$

- Temperatuurbehoefte wordt gegeven in “graden-dagen”
 - Voorbeeld: een week met 10 °C buiten en 20 °C binnen geeft 70 graden-dagen
- Temperatuurbehoefte hangt af van de buitentemperatuur
 - We kunnen besparen door de thermostaat lager te zetten



Passiefhuis

- Passiefhuis
 - Innovatiewerkgroep 2007
 - DHV, ECN en TNO
- Richtlijnen
 - Maximaal 15 kWh/m² voor ruimteverwarming/-koeling per jaar
 - Maximaal 120 kWhprimair/m² nodig totaal
- Voorbeeld: eensgezinstussenwoning versus passiefhuis



Wat zetten we op de balans?

- Elk huis is verschillend, het is moeilijk om een gemiddelde te bepalen
- Een ruwe benadering
 - Laten we ons huis opwarmen met een elektrische heater (1 kW)
 - We hebben voor elke persoon 1 van deze heaters continue nodig in de winter om ons warm te houden (24 kWh/d)
 - In de zomer is geen heater nodig
 - Gemiddelde per jaar is dan 12 kWh/d
 - We leven echter niet in een enkele kamer
 - We verdubbelen tot 24 kWh/d
- In totaal hebben we nu 37 kWh/d per persoon
 - 24 kWh/d voor verwarming van woning
 - 1 kWh/d voor air conditioning
 - 12 kWh/d voor warm water

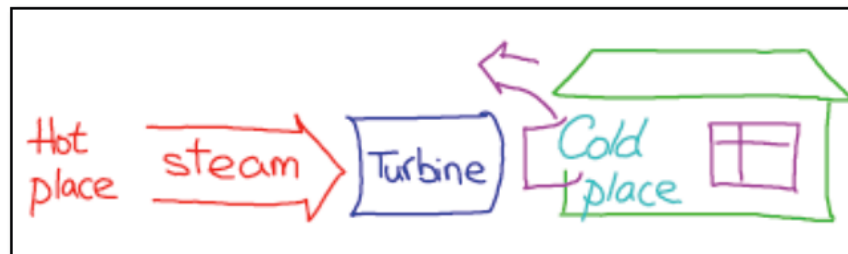
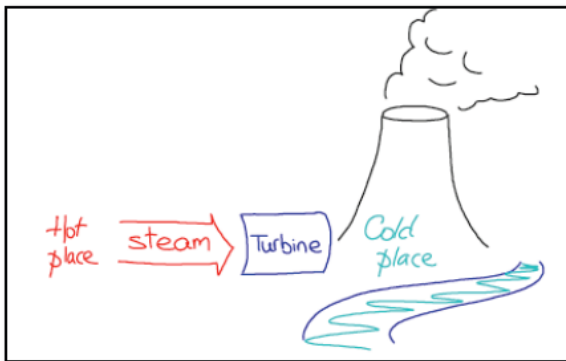
Verwarming,
koeling:
37 kWh/d

Vliegtuig:
30 kWh/d

Auto:
40 kWh/d

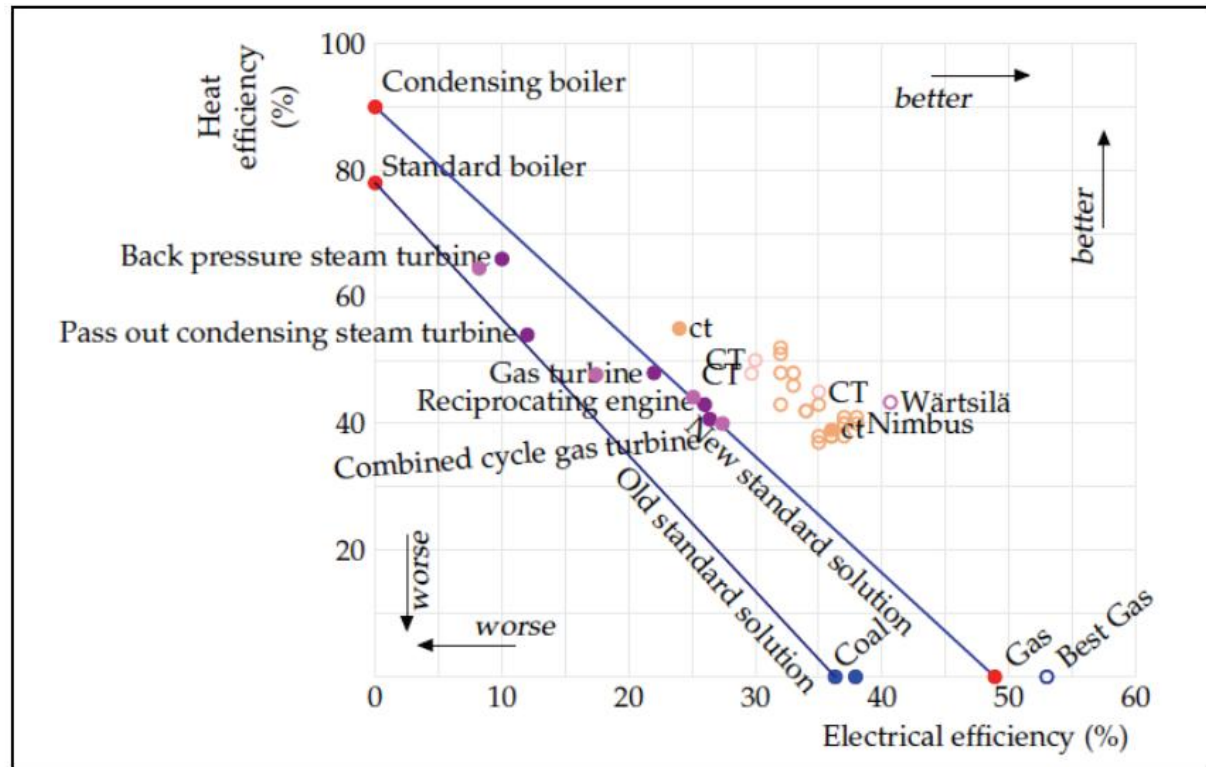
Warmtekrachtkoppeling

- Wkk is de gecombineerde opwekking, in één proces, van warmte en elektriciteit (of mechanische energie)
 - Op basis van een brandstof
- Conventionele centrale verbrandt fossiele brandstof
 - Ongeveer 40% van de energie wordt omgezet in elektriciteit
 - De rest verwarmt rivieren of de lucht
 - Kamer
- Idee: waarom maken we geen kleine centrales en gebruiken die voor een blok woningen
 - Gebruik opgewekte elektriciteit voor deze woningen
 - Gebruik de vrijkomende hitte om woningen op te warmen



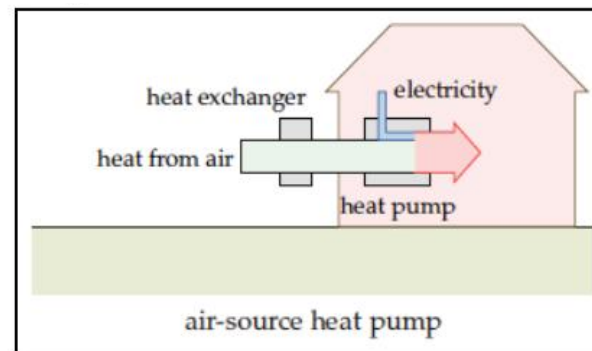
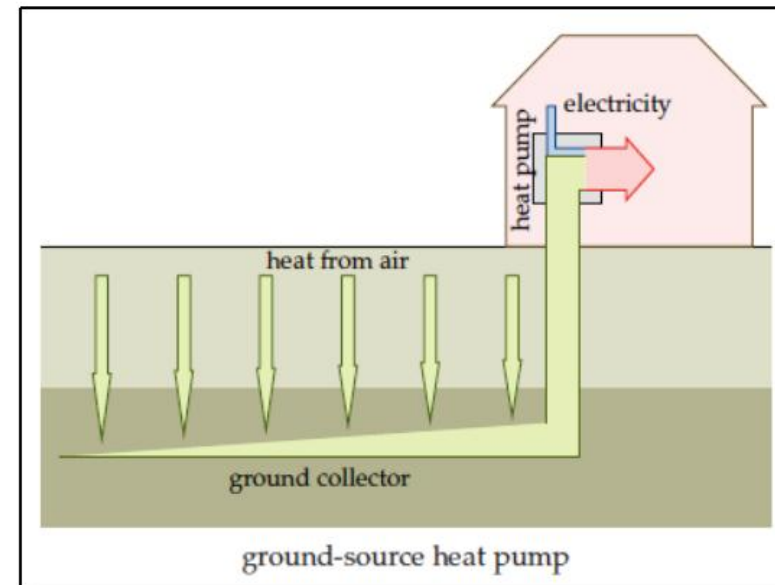
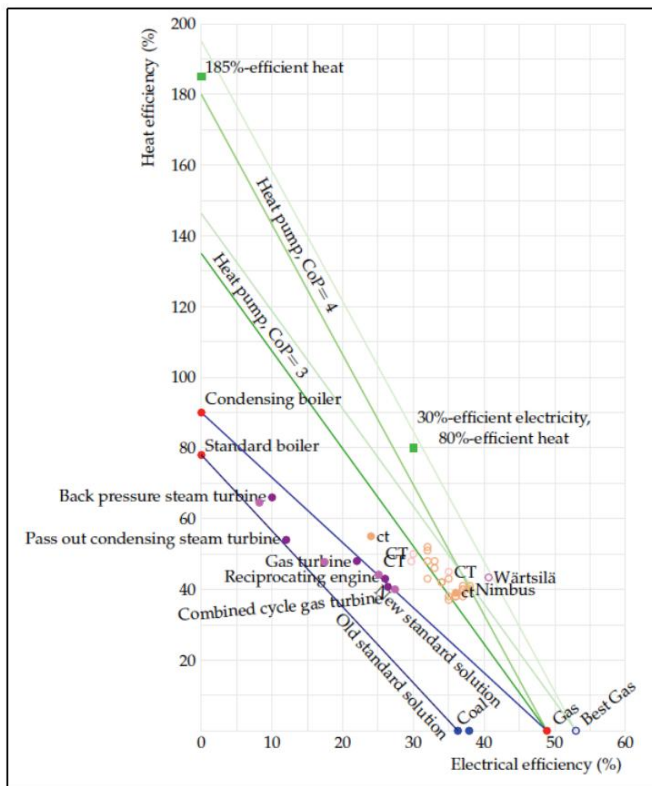
Warmtekrachtkoppeling

- Warmte versus elektrische efficiëntie
 - Als je gas enkel verbrandt om warmte te krijgen, dan kan dat ongeveer 80 - 90% efficient
 - Als je enkel elektriciteit wil opwekken, dan kan dat ongeveer 40 - 50% efficient
- Elektrische efficiëntie van Wkk
 - Slechter dan bij een goede centrale
 - Voordeel is dus beperkt



Warmtepomp

- Warmtepomp is omgekeerde koelkast
 - Neem aan dat je 1 kW elektrische energie kunt gebruiken om 3 kW warmte in je huis te pompen. Dan heb je een energie-efficiëntie van 400%
 - Veel airconditioners kunnen twee kanten op werken: verwarmen en koelen
 - Bodem is de bron van warmte voor warmtepomp



Warmtepomp

- Kunnen we allemaal warmtepompen gebruiken?

- Vergelijk de benodigde warmtestroom met de natuurlijke seizoens warmteflux
- De maximum warmteflux is 5 W/m^2 en de bevolkingsdichtheid is ongeveer $160 \text{ m}^2/\text{p}$

- De warmte die we uit de grond kunnen halen is dan
- Dat is ongeveer even groot als we in de winter nodig hebben
- Als we dat allemaal doen, dan bevriezen we de bodem!

$$5 \text{ W/m}^2 \times 160 \text{ m}^2 = 800 \text{ W} = 19 \text{ kWh/d per person.}$$

$$\frac{\partial T(z, t)}{\partial t} = \frac{\kappa}{C_V} \frac{\partial^2 T(z, t)}{\partial z^2}$$

$$T(0, t) = T_{\text{surface}}(t) = T_{\text{average}} + A \cos(\omega t),$$

$$T(z, t) = T_{\text{average}} + A e^{-z/z_0} \cos(\omega t - z/z_0),$$

$$z_0 = \sqrt{\frac{2\kappa}{C_V \omega}}$$

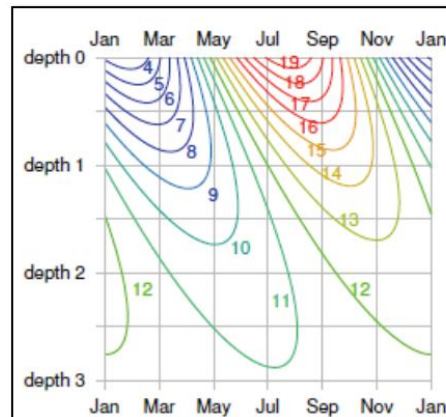


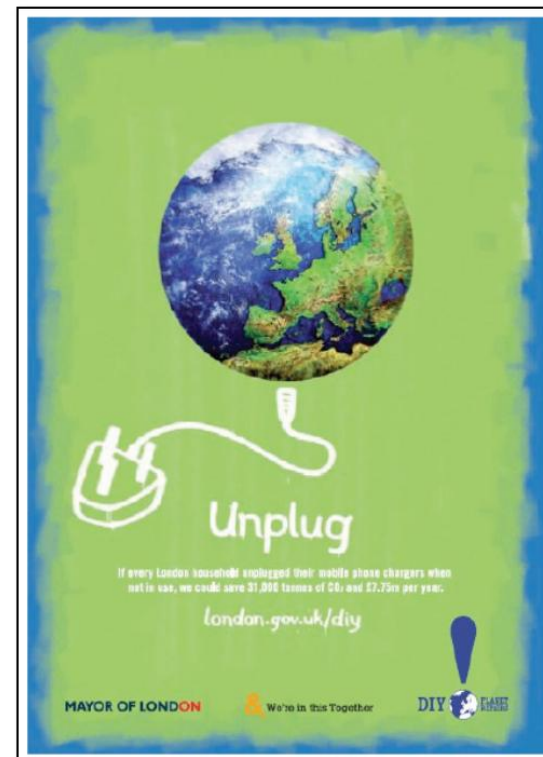
Figure E.17. Temperature (in °C) versus depth and time. The depths are given in units of the characteristic depth z_0 , which for granite and annual variations is 3 m.

At “depth 2” (6 m), the temperature is always about 11 or 12 °C. At “depth 1” (3 m), it wobbles between 8 and 15 °C.

	thermal conductivity κ (W/m/K)	heat capacity C_V (MJ/m ³ /K)	length-scale z_0 (m)	flux $A\sqrt{C_V \kappa \omega}$ (W/m ²)
Air	0.02	0.0012		
Water	0.57	4.18	1.2	5.7
Solid granite	2.1	2.3	3.0	8.1
Concrete	1.28	1.94	2.6	5.8
<i>Sandy soil</i>				
dry	0.30	1.28	1.5	2.3
50% saturated	1.80	2.12	2.9	7.2
100% saturated	2.20	2.96	2.7	9.5
<i>Clay soil</i>				
dry	0.25	1.42	1.3	2.2
50% saturated	1.18	2.25	2.3	6.0
100% saturated	1.58	3.10	2.3	8.2
<i>Peat soil</i>				
dry	0.06	0.58	1.0	0.7
50% saturated	0.29	2.31	1.1	3.0
100% saturated	0.50	4.02	1.1	5.3

Gadgets, verlichting en spullen...

- “Unplug”
 - Als elk huishouden in London zijn opladers voor mobiele telefoons uit het stopcontact zou halen, dan besparen we 31 000 ton CO2 en meer dan 8 miljoen Euro per jaar
 - Dat klinkt goed, of?
 - Wat betekenen deze grote getallen eigenlijk?
 - Plaats ze in context
- Als je meet hoeveel vermogen een oplader verbruikt als hij niet in gebruik is, dan vind je 0.5 W
 - In onze eenheden: $0.0005 \text{ kW} \times 24 \text{ uur} = 0.01 \text{ kWh/d}$
 - Vergelijk dat eens met wat we tot nu toe al hebben
- Alle beetjes helpen
 - Maar we moeten wel de juiste prioriteiten stellen...



Verwarming,
koeling:
37 kWh/d

Vliegtuig:
30 kWh/d

Auto:
40 kWh/d



Gadgets, enkele voorbeelden

- Nuttige conversie
 - 40 W continue gebruik correspondeert met 1 kWh/d
 - Neem aan dat 1 kWh je 18.65 Eurocent kost, wat kost dan 1 W continue gebruik per jaar?
 - $1 \text{ W} \times 24 \text{ uur} \times 365 \times 0.1865/\text{kWh} = 1.63 \text{ Euro}$



Laptop: 16 W



Computer: 80 W



LCD
31 W



CRT
108 W
Printer: 17 W
(on, idle)



Projector: 150 W



Digital
radio: 8 W



Gadgets, enkele voorbeelden

- Nog meer gadgets...
 - Laten we zeggen: 5 kWh/d

Gadget	Power consumption (W)			
	on and active	on but inactive	standby	off
Computer and peripherals:				
computer box	80	55		2
cathode-ray display	110		3	0
LCD display	34		2	1
projector	150		5	
laser printer	500	17		
wireless & cable-modem	9			
Laptop computer	16	9		0.5
Xbox	160		2.4	
Sony Playstation 3	190		2	
Nintendo Wii	18		2	
Answering machine		2		
Answering machine II		3		
Cordless telephone		1.7		
Mobile phone charger	5	0.5		
Vacuum cleaner	1600			

Gadget	Power consumption (W)			
	on and active	on but inactive	standby	off
Portable CD player	2			
Bedside clock-radio	1.1	1		
Bedside clock-radio	1.9	1.4		
Digital radio	9.1		3	
Radio cassette-player	3	1.2		1.2
Stereo amplifier	6			6
Stereo amplifier II	13			0
Home cinema sound	7	7	4	
DVD player	7	6		
DVD player II	12	10	5	
TV	100		10	
Video recorder	13		1	
Digital TV set top box	6		5	
Clock on microwave oven	2			

Gadgets:
5 kWh/d

Elektrische apparaten

- Leidt tot toename elektriciteitsverbruik
 - Vervijfvoudigd in periode 1950 – 2005
- Nieuwe apparaten (2004)
 - Breedbeeldtelevisie (23%)
 - DVD speler (48%)
 - CD-(re)writer (35%)
 - MP-3 speler(16%)

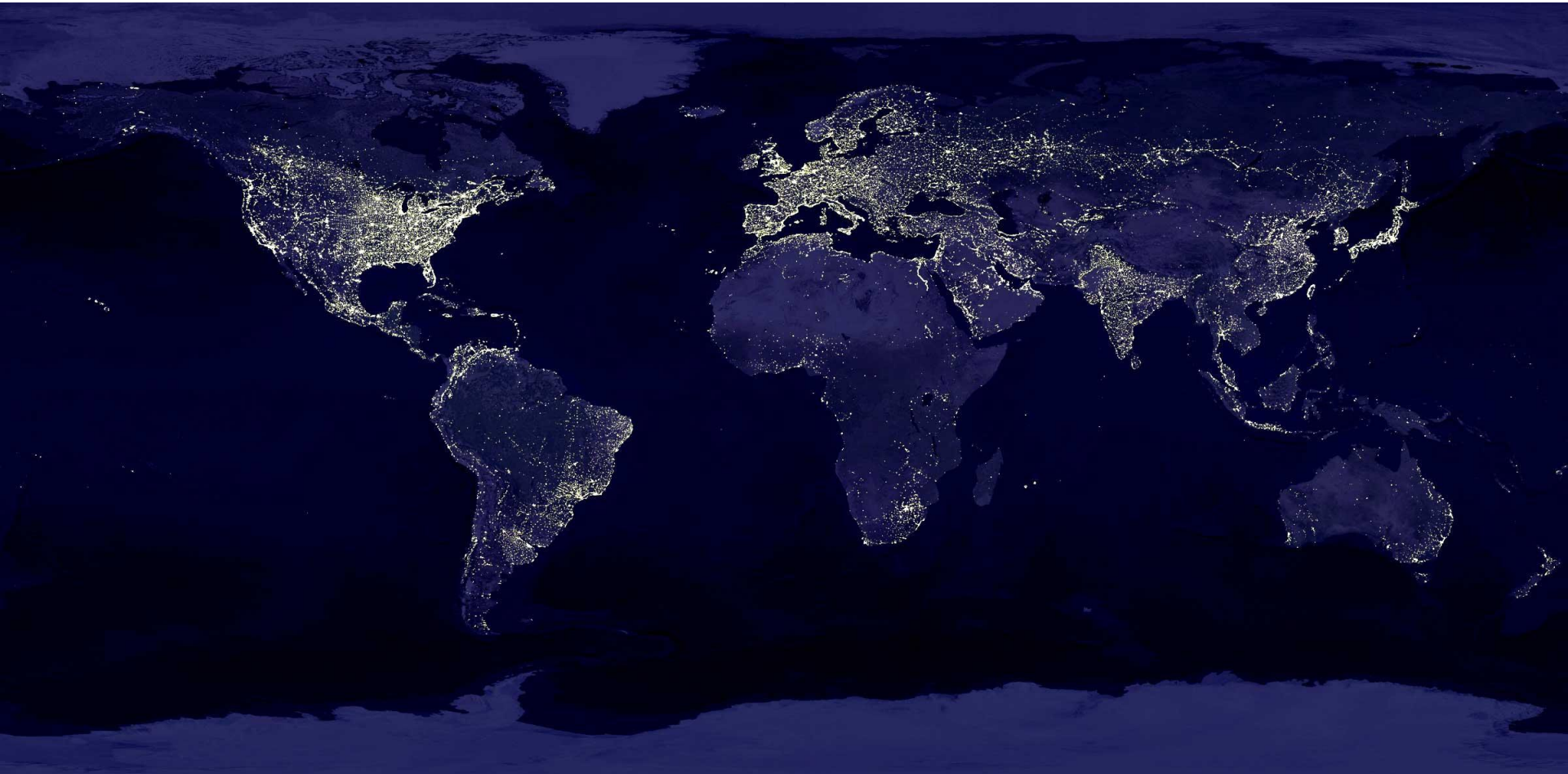
	1990	1995	2000	2002	2003	2004*
<i>% van de Nederlandse huishoudens</i>						
Diepvriezer	53	61	71	74	78	79
Magnetron en/of combi-oven	16	51	74	82	80	84
Vaatwasmachine	10	20	38	46	43	47
Wasmachine	88	92	95	97	96	96
Wasdroger	25	41	53	58	60	59
Home- en/of personal computer	21	39	60	69	71	74

Bron: CBS (2006).

CBS/MNC/sep06/0034

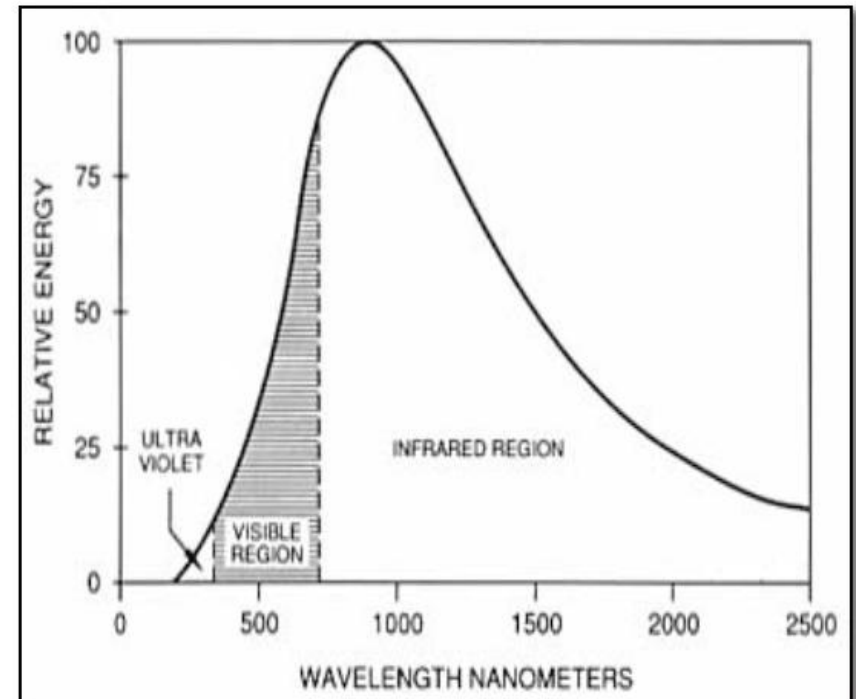
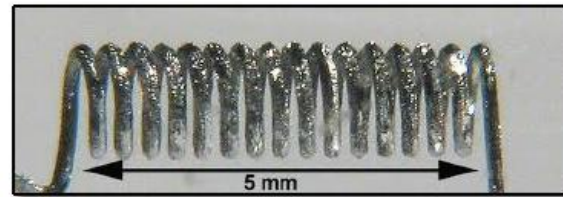
Verlichting

- Welke mogelijkheden hebben we om licht te maken?
 - Gloeilampen, halogeen, fluorescentie, natrium, LEDs, ...



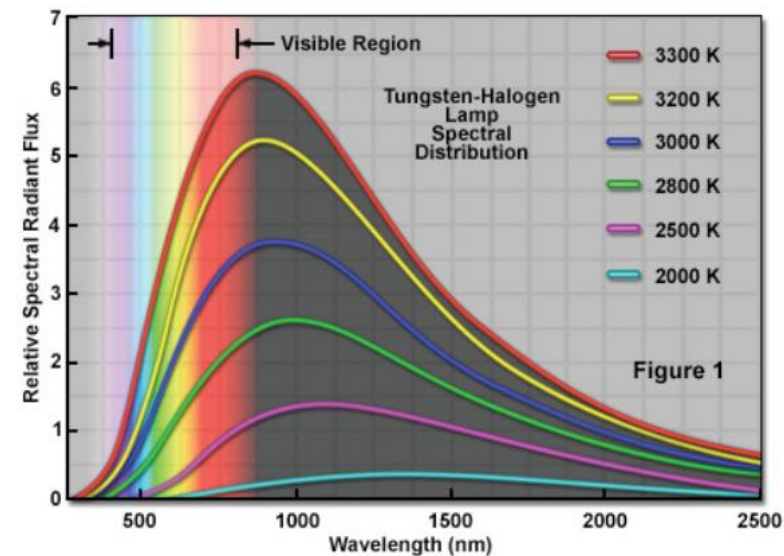
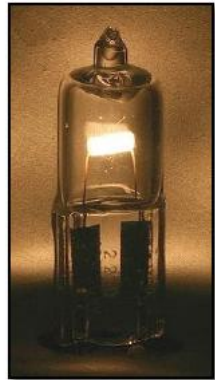
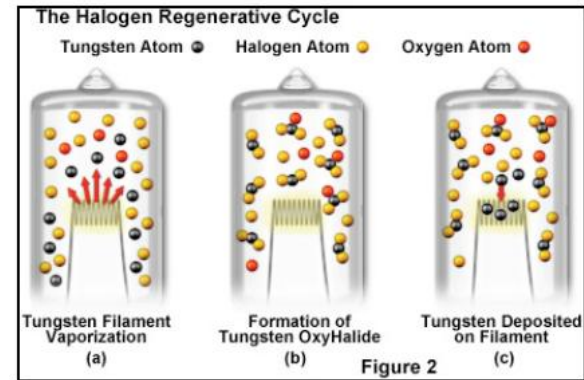
Gloeilamp

- Elektrische stroom gaat door een wolfram draad
 - De draad is in vacuum of in gas (krypton, stikstof, etc.)
- Lamp werkt als een zwarte straler
- Enkel een kleine fractie is zichtbaar licht
 - De rest gaat verloren als warmte
- Elektrische weerstand van wolfram neemt toe met de temperatuur
 - Positieve terugkoppeling
- Tijdens gebruik verdampt het wolfram
 - De gloeidraad wordt dunner en breekt
 - Wolfram slaat neer op de binnenkant van het glas



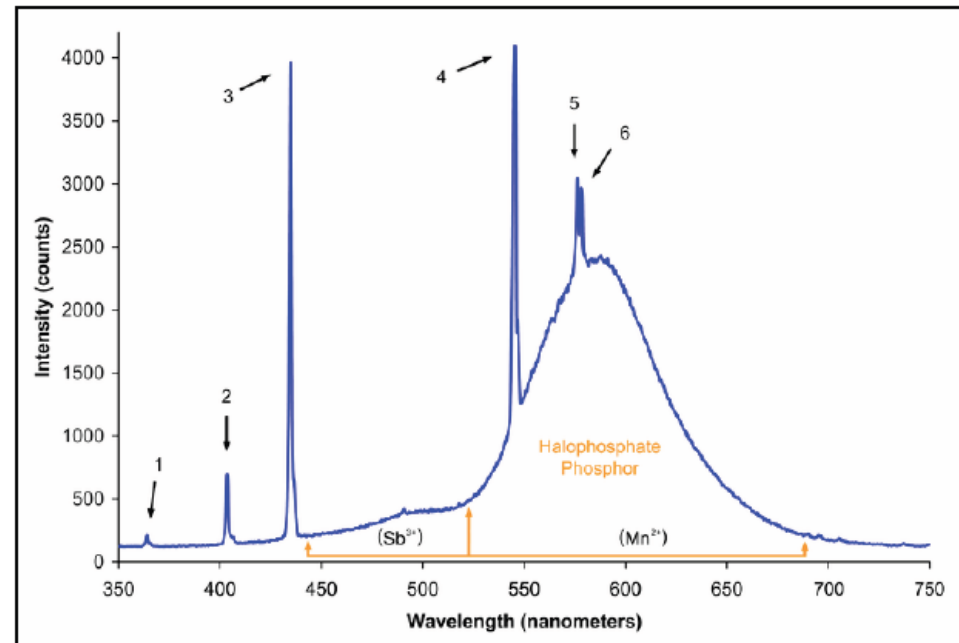
Halogeen lamp

- Voeg halogeen toe aan het gas in de lamp
 - Het verdampte wolfraam gaat een verbinding aan
 - Wolfraam Oxyhalide wordt gevormd
 - Halide reist door de lamp en splitst op bij zeer hoge temperaturen
 - Wolfraam wordt op de gloeidraad neergeslagen
- Drie voordelen
 - Het glas wordt niet zwart
 - Daarom kunnen we een kleinere lamp gebruiken
 - Langere levensduur
 - We kunnen bij hogere temperaturen werken
 - Met het maximum bij 800 nm
 - Hierdoor is de efficiëntie hoger



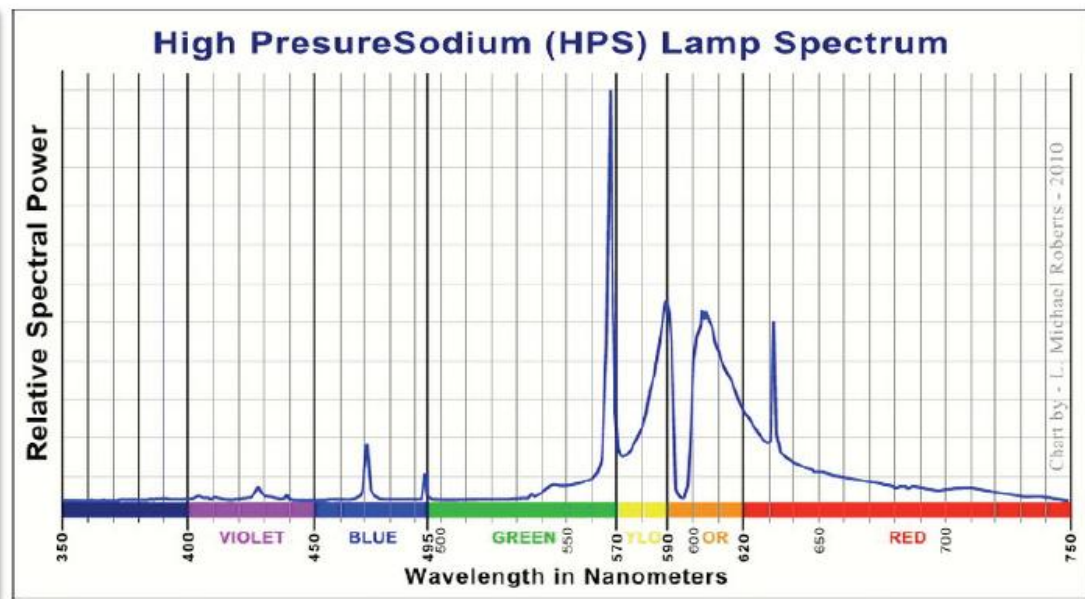
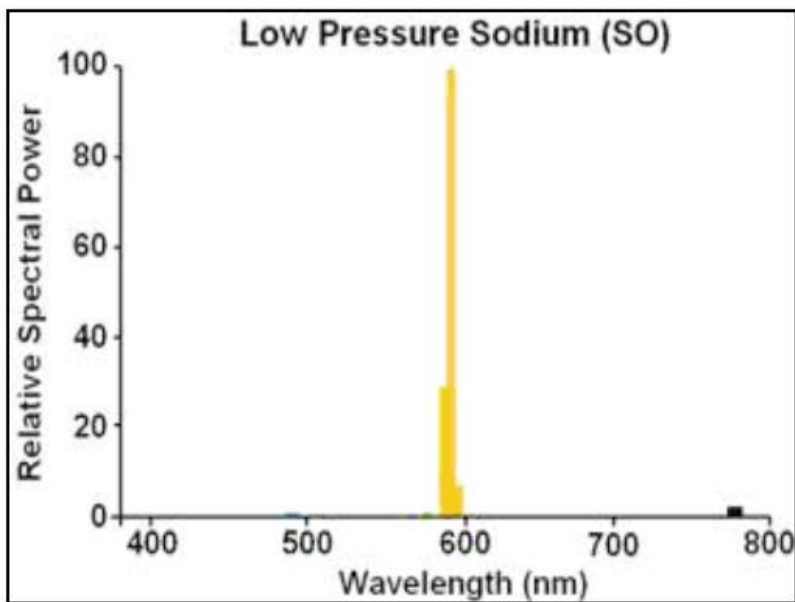
Fluorescentie lamp

- Twee belangrijke soorten
 - TL buis
 - Spaarlamp
- Gasontladingslamp
 - Inelastische botsingen van elektronen met kwikatomen
 - Kwik zendt UV fotonen uit
 - UV licht wordt door fosfor omgezet in zichtbaar licht



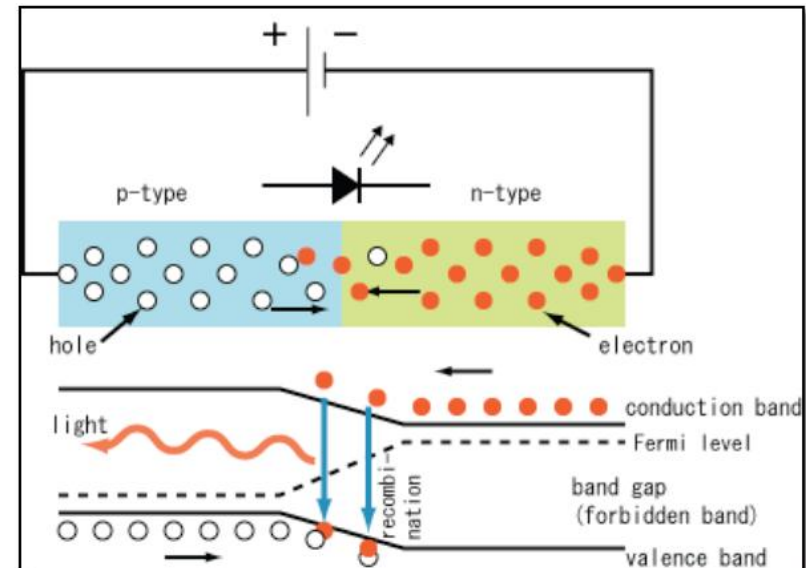
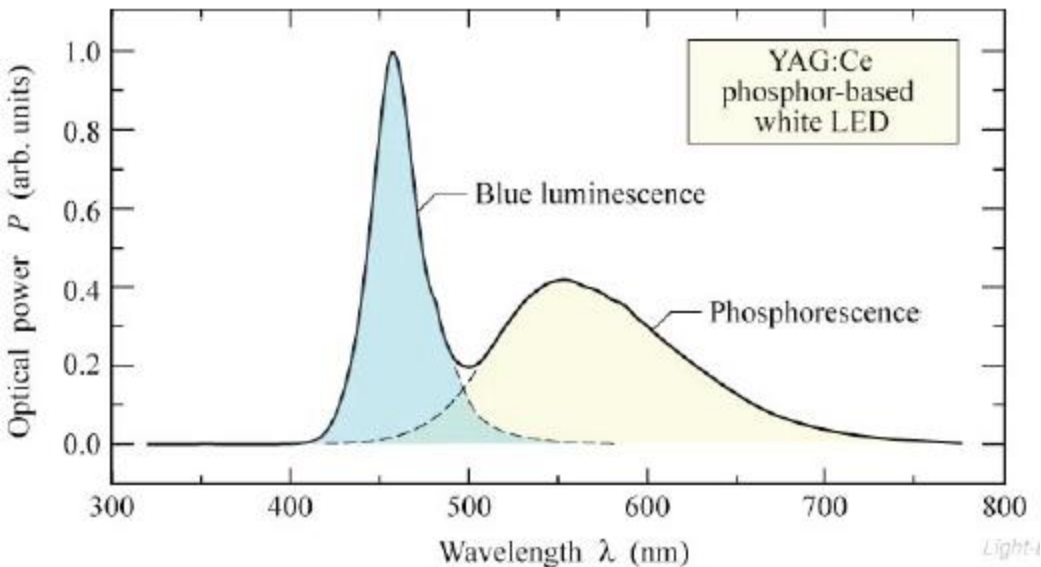
Straatverlichting

- Natriumgas-ontladings lampen
- Lage druk lampen
 - Hebben enkel oranje kleur van 2 spectraal lijnen
- Hoge-druk lampen
 - Hebben een “breder” spectrum vanwege het aanwezige kwik
- Natrium straatlampen zijn de meest efficiënte manier om met elektriciteit licht te produceren



LED lampen

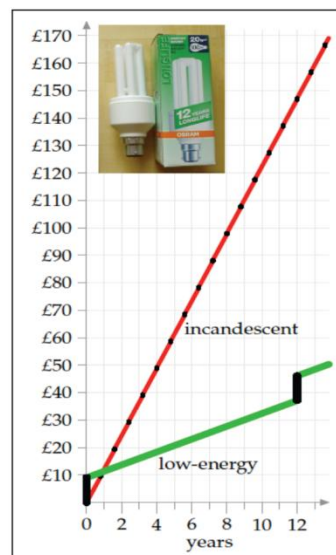
- Gebaseerd op halfgeleiders
 - Fotonen worden uitgezonden als elektronen en gaten combineren
- Aanvankelijk slechts bepaalde kleuren mogelijk
- Witte LEDs
 - Gebaseerd op blauwe LEDs waarvan de binnenkant met fosfor is gecoat
 - De korte golflengte wordt in een lange golflengte omgezet via de Stokes verschuiving



Efficientie van lampen

- Er bestaan grote verschillen in efficiëntie voor verschillende typen lampen
- Onderzoek heeft laten zien dat LEDs mogelijk zijn met tot 200 lumen/W
 - Een 100 W gloeilamp geeft een lichtstroom van ongeveer 1200 lumen
 - Videoprojector tussen de 800 en 2000 lumen
- De meeste landen faseren gloeilampen uit
- Figuur
 - Vergelijking voor 3 uur per dag

Bulb type	efficiency (lumens/W)
incandescent	10
halogen	16–24
white LED	35
compact fluorescent	55
large fluorescent	94
sodium street-light	150



LIVE LT BBC NEWS CHANNEL

Last Updated: Thursday, 27 September 2007, 11:24 GMT 12:24 UK

[E-mail this to a friend](#) [Printable version](#)

Switch off for traditional bulbs

Plans to phase out the traditional lightbulb by 2011 have been announced by Environment Secretary Hilary Benn.

Mr Benn told the Labour conference he wanted to see an end to the sale of 150-watt

Wat zetten we op de balans?

- Neem aan dat we een twee-persoons huishouden hebben

Device	Power	Time per day	Energy per day per home
10 incandescent lights	1 kW	5 h	5 kWh
10 low-energy lights	0.1 kW	5 h	0.5 kWh

- Dat geeft 2.7 kWh/d per persoon
- Neem aan dat we ook licht hebben op ons werk, dan 4 kWh/d-pp
- Hoe zit het met straatverlichting?
 - 1 straatlamp per 10 personen
 - 100 W natriumlamp
 - 10 uur per dag
 - Dat geeft 0.1 kWh/d-pp

licht: **4**

gadgets: **5**

Verwarming,
koeling:
37 kWh/d

Vliegtuig:
30 kWh/d

Auto:
40 kWh/d

Spullen

- Verschillende fasen in de cyclus van spullen
 - Fase R: Het maken van ruwe materialen
 - Delven van mineralen
 - Smelten, zuiveren en modificatie: plastics, glassen, metalen en keramiek
 - Transportkosten
 - Fase P: Productie
 - Wikkelen van de spoelen van de motoren
 - Gieten van de plastics voor de behuizing
 - Verpakking en transport
 - Fase G: Gebruik
 - Tijdens hun gebruik verbruiken haardrogers en cruise-schepen energie
 - Fase A: Afval
 - Energie is nodig om de afval weer in de grond te stoppen
 - We kunnen ook recyclen en de ruwe materialen winnen
 - Opruimen van de vervuiling van het afval
- We kunnen e.e.a. vereenvoudigen door enkel naar het dominante proces te kijken
 - En de rest te verwaarlozen

	embodied energy (kWh per kg)
fossil fuel	10
wood	5
paper	10
glass	7
PET plastic	30
aluminium	40
steel	6

Voorbeelden van spul..

- Productie van aluminium blikje (zonder inhoud) kost 0.6 kWh
 - PET ongeveer hetzelfde
 - 5 blikjes per dag: 3 kWh/d
- Nieuwe PC kost 1800 kWh
 - Als je elke 2 jaar een nieuwe koopt, dan kost dat 2.5 kWh/d
- Junk mail en kranten weegt ongeveer 200 g per dag
 - 1 kg papier is 10 kWh. We vinden dus 2 kWh/d
- Typisch gooien we 400 g verpakking weg per dag: 4 kWh/d



Aluminium: 3 kWh/d

Chips: 2.5 kWh/d



Newspapers,
junk mail,
magazines:
2 kWh/d

Voorbeelden van groot spul..

- Neem aan dat een huis 100 jaar meegaat
 - De geschatte energiekosten zijn 2.3 kWh/d
 - Dat is ongeveer 1 kWh/d per persoon
- De productie van een auto is gemiddeld 76 000 kWh
 - Als je elke 15 jaar een nieuwe koopt, dan kost dat 14 kWh/d per persoon
- Wegen kosten 35 000 kWh per meter per 40 jaar
 - Nederland heeft 135 470 km openbare wegen (2007)
 - Rijkswegen: 5012 km
 - Provinciale wegen: 7899 km
 - Lokale wegen 122 559 km
 - Dat kost per persoon ongeveer 2 kWh/d

House-building: 1 kWh/d



Car-making:
14 kWh/d

Road-building: 2 kWh/d



Transport van spul..

- Eenheid voor transport efficiëntie: kWh/t-km
 - Container schip 0.015 kWh/t-km
 - Lucht en weg zijn ongeveer een factor 100 slechter!
- Wegtransport: 7 kWh/d
- Watertransport: 4 kWh/d
- Totale kosten

transprt: **12**

Spul:
48 kWh/d

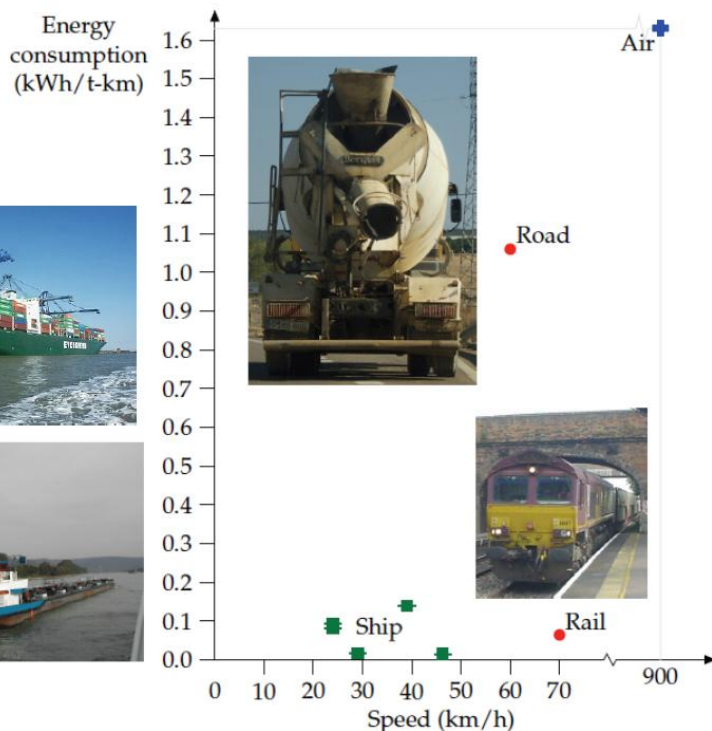
licht: **4**

gadgets: **5**

Verwarming,
koeling:
37 kWh/d

Vliegtuig:
30 kWh/d

Auto:
40 kWh/d



Voeding

- Een gemiddelde persoon van 65 kg eet voedsel met een chemische energie-inhoud van 2500 kcal
 - 1 kcal is 4.2 kJ (en 1 J is 1 Ws)
 - Dus $2500 \text{ kcal} \times 4.2 \text{ kWs/kcal} = 3 \text{ kWh/d}$ per persoon
- Deze 3 kWh/d is de minimale onontkoombare energieconsumptie van een persoon
 - Equivalent met een veganist die planten eet
- De energie die we eten wordt vooral omgezet in warmte
 - Een mens straalt ongeveer 100 W
- Hoe zit het met ander voedsel, zoals vlees en eieren?



Drinken van melk

- Neem aan dat je een halve liter melk per dag drinkt
 - Een typische melkkoe produceert 16 liter melk per dag
 - Je moet dus 1/32 van een koe “in dienst nemen”
- Hoeveel energie consumeert die koe?
 - Neem aan dat die koe dezelfde behoefte heeft als een mens en dat die koe 450 kg weegt
 - 65 kg gaf 3 kWh/d. Daarom geeft 450 kg dus 21 kWh/d
 - In werkelijkheid is dat 24 kWh/d
- Je dagelijkse melk vereist $24/32 \text{ kWh/d} = 0.75 \text{ kWh/d}$
- Je hebt 10 liter melk nodig om 1 kg kaas te maken
- Dus als je 50 g kaas per dag eet, moeten we 0.75 kWh/d bijtellen
- Zijn 200 g kaas (die 3 kWh/d vereisen) hetzelfde als de 2500 kcal vegan voedsel?
 - Nee, 200 g kaas is enkel 760 kcal
 - De productie van kaas heeft dus een energie efficiëntie van 25%



Emmental Cheese Slices			
Suitable for vegetarians.			
ALLERGEN AND DIETARY INFORMATION:			
Contains milk · Gluten free.			
GUARANTEE: If you are not entirely satisfied with this product please return it to the store where it was purchased and we will be pleased to replace it. This does not affect your statutory rights.			
For storage information see front of pack.			
Nutrition Information			
TYPICAL VALUES	Per 100g	Per slice (approx 20g)	
Energy	1579 kJ / 380 kcal	316 kJ / 76 kcal	
Protein	27.9g	5.6g	
Carbohydrate	0.1g	Trace	
of which sugars	0.1g	Trace	
Fat	29.8g	6.0g	
of which saturates	20.6g	4.1g	
Fibre	Nil	Nil	
Sodium	0.3g	0.1g	

Energiekosten van vlees

- Gemiddelde vleesconsumptie van Amerikaan is 230 g
 - Dat is een half pound
- Hoelang moeten we dieren voederen voor de slacht?
 - Kippen hebben 50 dagen nodig
 - We hebben dus 25 pounds levende kip nodig, om 0.5 pond per dag te kunnen eten
 - Varkens hebben 400 dagen nodig om slachtrijp te worden
 - We hebben 200 pounds levende varkens nodig, om 0.5 pond per dag te kunnen eten
 - Koeien hebben 1000 dagen nodig
 - We hebben 500 pounds levende koe nodig om 0.5 pond per dag te eten
- Stel we eten gevarieerd kip, varken en koe
 - Dan voeden we 8 pounds kip, 70 pounds varken en 170 pounds koe
 - Dat is in totaal 250 pounds, ofwel 110 kg vlees
- Slechts 2/3 van het dier wordt omgezet in vlees
 - We moeten dus 170 kg dieren voederen
- Stel dat deze dieren dezelfde energiebehoefte hebben als mensen, dan vinden we $(170 \text{ kg} \times 3 \text{ kWh/d}) / 65 \text{ kg} = 8 \text{ kWh/d}$
- Veganisten zijn meer energie-efficient!

	Hoekstra & Hung (2003)	Chapagain & Hoekstra (2003)	Zimmer & Renault (2003)	Oki et al. (2003)	Average
Beef		15977	13500	20700	16726
Pork		5906	4600	5900	5469
Cheese		5288			5288
Poultry		2828	4100	4500	3809
Eggs		4657	2700	3200	3519
Rice	2656		1400	3600	2552
Soybeans	2300		2750	2500	2517
Wheat	1150		1160	2000	1437
Maize	450		710	1900	1020
Milk		865	790	560	738
Potatoes	160		105		133

Food type	Production cost [kWh/d]	Calorific value [kWh/d]	efficiency
vegetables	1.5	1.5	100 %
diary	1.5	0.7	40 %
eggs	1	0.2	20 %
meat	8	0.5	6 %
TOTAL	12	2.9	25 %

Voedsel en dieren

- Tot nu toe hebben we bemesting en andere energiekosten verwaarloosd
 - 2 kWh/d per persoon voor kunstmest
 - 1 kWh/d voor tractoren, broeikassen, etc.
- We zijn ook huisdieren vergeten

 2 kWh/d



17 kWh/d



9 kWh/d

- Als we het allemaal optellen komen we op **15 kWh/d**

voeding: **15**

transprt: **12**

Spul:
48 kWh/d

licht: **4**

gadgets: **5**

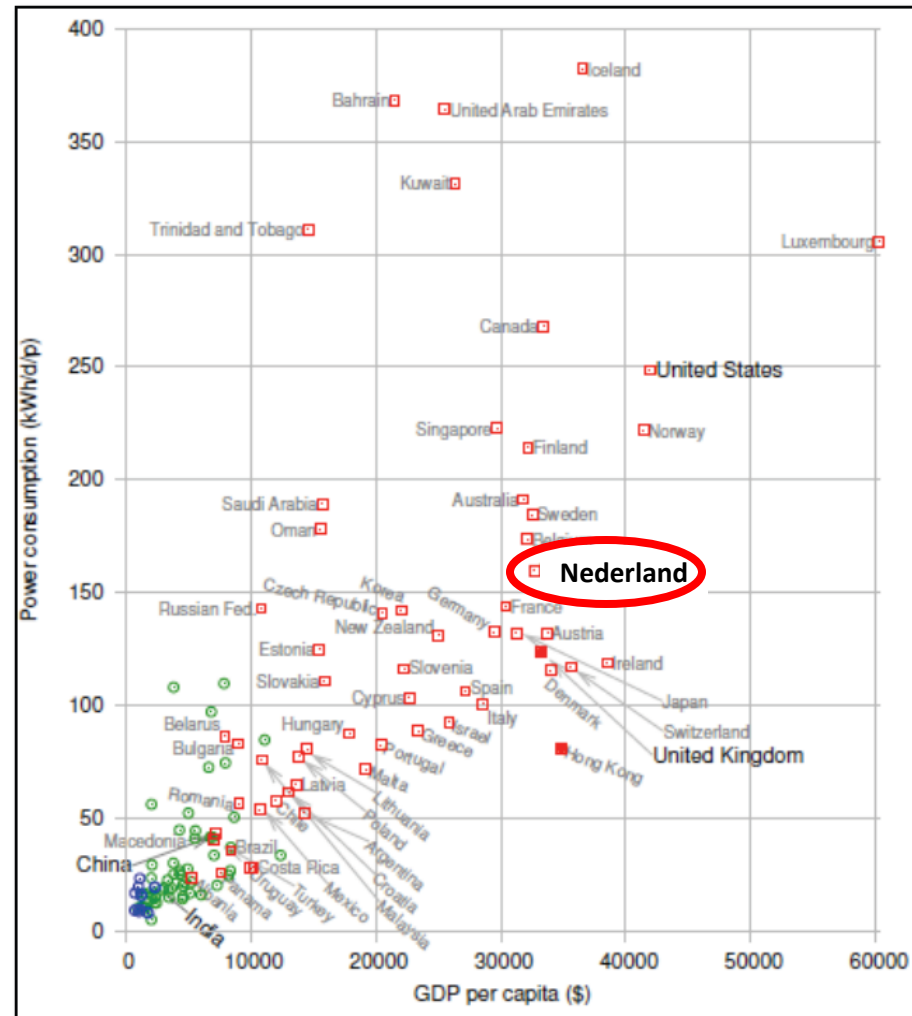
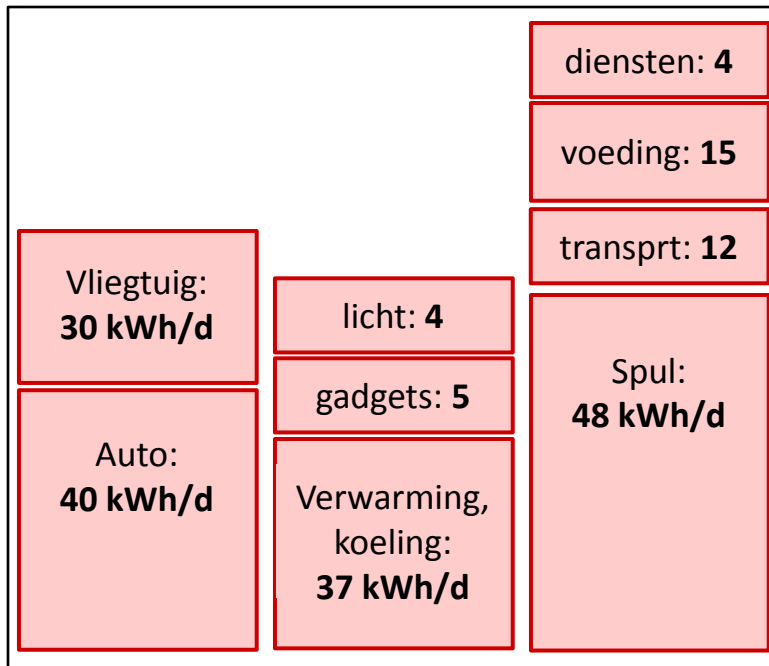
Verwarming,
koeling:
37 kWh/d

Vliegtuig:
30 kWh/d

Auto:
40 kWh/d

Conclusie

- We hebben nog wat verwaarloosd
 - Publieke diensten: militair, scholen, etc.
 - Dat levert ongeveer 4 kWh/d
- In totaal **195 kWh/d** per persoon
 - Dat correspondeert met een continue consumptie van 8 kW
- Verschil
 - Voeding en spullen uit andere landen



Aanvoer en verbruik NL

- Aanvoer
 - Slechts 1/3 wordt in NL gebruikt
 - Rest is uitvoer
 - Vooral aardolie (en gas)
 - Energiebesparende maatregelen
 - Daling van het gebruik door isolatie, HR, etc.
- Elektriciteit
 - Productie door
 - Aardgas, steenkool, kernenergie
 - Rendement centrales verbeterd van 25% (1950) tot 43.5% (2009)

	Totaal	Steenkool en steenkool- producten ¹⁾	Aardolie en aardolie -producten ²⁾	Aardgas	Stoom uit kern- energie	Elektrici- -teit	Overige energie ³⁾
<i>PJ</i>							
Aanvoer 2009							
Winning	2 661	-	73	2 363	41	17	167
Invoer	9 033	516	7 690	770	-	56	-
Onttrokken aan voorraad	-100	-77	-24	1	-	-	-
Verbruik en uitvoer 2009							
Binnenlands verbruik	3 260	313	1 238	1 466	41	35	167
w.v. door energiebedrijven ⁴⁾	659	239	117	523	41	-284	23
door energie-afnemers	2 602	75	1 122	943	-	319	144
w.v. verbruik voor omzetting ⁵⁾	37	6	9	164	-	-52	-90
verbruik als grondstof en in ovens, ketels, kachels, etc.	2 565	69	1 113	779	-	370	234
Uitvoer	7 586	126	5 753	1 669	-	38	-
Bunkers 2009							
w.v. Scheepvaart	601	-	601	-	-	-	-
Luchtvaart	146	-	146	-	-	-	-

Bron: CBS (2010).

CBS/dec10/0053

1) Onder andere bruinkool, cokesoven- en hoogovengas.

2) Onder andere petrocokes, lpg en restgassen.

3) Zoals stoom, warm water, biomassa en afval.

4) Door elektriciteit- en warmteproductiebedrijven, winningsbedrijven, vuilverbranding, distributiebedrijven, raffinaderijen en cokesfabrieken.

5) Omzetting in WKK en andere omzettingen.

NB. De negatieve getallen in de tabel duiden op het verbruik van energiedragers uit voorraden, respectievelijk de productie van energiedragers (bij energiebedrijven en afnemers grondstof).

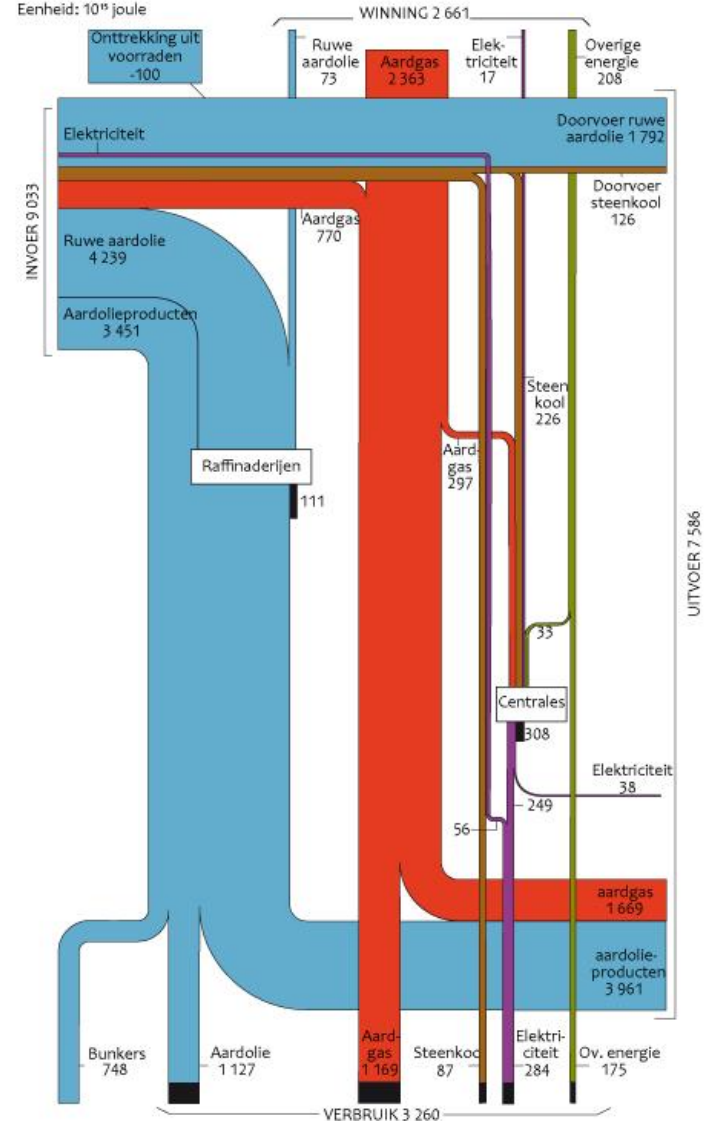


Energiebalans NL

- Grootste deel van de aardolie wordt ingevoerd
 - 1/3 wordt gebruikt
 - 2/3 wordt uitgevoerd
- Grootste deel gas uit winning
- Totaal gebruik is 3 260 PJ
 - Gemiddeld 150.5 kWh/d per persoon
 - De zwarte blokjes
- Bunkers
 - Levering brandstof aan schepen en vliegtuig op NL grondgebied
 - Eigen voortstuwing in grensoverschrijdend verkeer
 - Wordt niet in als gebruik NL meegeteld
- Kernenergie
 - Verbruik 1.3% in 2009
- Duurzame energie
 - Verbruik bijna 4% in 2009

Energiestromen, 2009

Eenheid: 10¹⁵ joule



N.B. De som van de zwarte blokjes is het totale energieverbruik. In deze figuur zijn verschillende details verwaarloosd.

Bron: CBS.

Binnenlands verbruik

- Huishoudens
 - 13.0% van totaal
 - Ovens
 - Ketels
 - Kachels
- Verbruik 2009
 - Totaal 425 PJ
 - Gemiddeld 19.6 kWh/d
- Verbruik 2010
 - Totaal 466 PJ
 - Gemiddeld 21.5 kWh/d

	1990	2000	2005	2008	2009	w.v.		
						als brandstof in	als	
						warmte- kracht- installaties ¹⁾	ovens, ketels, kachels, etc.	grondstof of als inzet voor omzetting in andere producten ²⁾
	<i>PJ</i>							
Totaal	2 723	3 065	3 311	3 334	3 260	440	2124	696
Energiebedrijven ³⁾	364	408	465	454	470	401	65	4
Industrie ⁴⁾	1 153	1 267	1 412	1 393	1 323	21	628	674
Huishoudens	.	432	425	424	425	-	425	-
Verkeer en vervoer	375	462	486	504	489	-	487	3
Overige energie-afnemers ⁵⁾	.	496	523	558	553	18	520	15

Bron: CBS.

CBS/dec10/0052

1) Voor omzetting in elektriciteit, stoom of warm water.

2) Inclusief verliezen bij omzetting.

3) Exclusief raffinaderijen en cokesfabrieken.

4) Inclusief raffinaderijen en cokesfabrieken.

5) Waaronder de land- en tuinbouw, bouw, en handel, diensten en overheid.

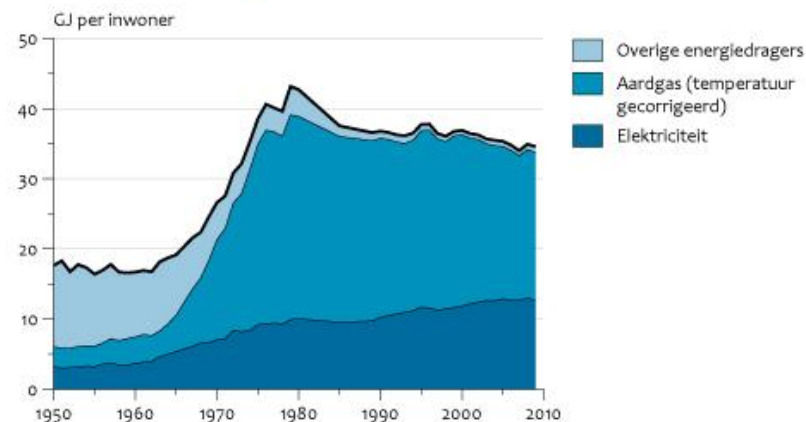
N.B. Met ingang van 2007 zijn de gegevens op een iets andere wijze berekend dan in de periode ervoor. Meer informatie geeft de technische toelichting.



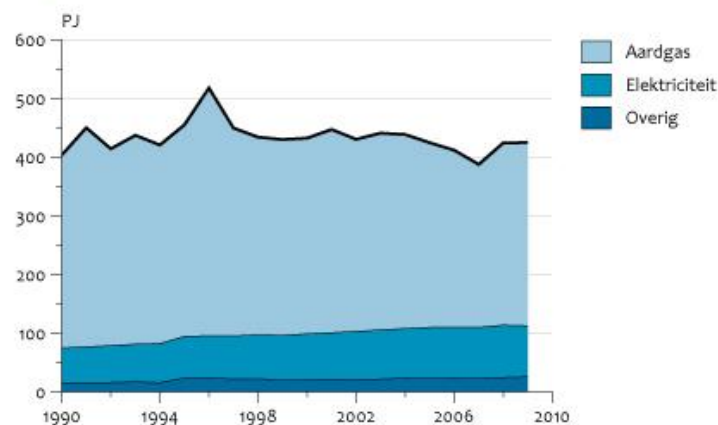
Huishoudelijk verbruik

- Aardgas
 - Verwarming 80%
 - Strengheid van winters (2009 zacht)
 - Koken 20%
 - Energiebesparende maatregelen
 - Daling van het gebruik door isolatie, HR
- Elektriciteit
 - Productie door
 - Aardgas, steenkool, kernenergie
 - Rendement centrales verbeterd van 25% (1950) tot 43.5% (2009)

Primair huishoudelijk energieverbruik



Energieverbruik door huishoudens



Verkeer en vervoer

- Wegverkeer
 - Toenemende groei
 - Personenauto's
 - Totaal verbruik
 - 566 PJ (in 2009)
 - Gemiddeld 26.1 kWh/d
 - Geen vluchten
- Personenauto's
 - 46% van verbruik
 - 263 PJ
 - Gemiddeld 12.1 kWh/d
- Bedrijfsauto's
 - 28% van verbruik
- Crisis
 - In 2009 is verbruik met 2% afgenomen
 - Scheepvaart
 - Zware bedrijfsvoertuigen

	1990	1995	2000	2005*	2008*	2009*
<i>PJ</i>						
Totaal	450	483	535	560	577	566
Wegverkeer	325	351	386	409	429	425
w.v. personenauto's	212	220	241	252	264	263
w.v. benzine	138	157	169	172	174	175
diesel	39	40	53	68	78	77
LPG	35	23	19	11	12	11
lichte bedrijfsvoertuigen	30	37	50	59	59	59
zware bedrijfsvoertuigen	79	89	91	93	100	98
motor- en bromfietsen	3,2	3,8	4,1	5,0	5,3	5,2
Overig verkeer	90	94	108	113	108	103
w.v. binnenscheepvaart ¹⁾	25	25	28	27	27	25
zeescheepvaart ²⁾	47	48	59	67	64	63
visserij ²⁾	12	13	12	8,1	5,8	5,3
luchtvaart ³⁾	4,9	6,3	8,5	9,7	9,9	9,1
railverkeer ⁴⁾	1,2	1,3	1,5	1,4	1,2	0,9
Mobiele werktuigen	35	38	40	39	40	39
w.o. landbouwwerktuigen	15	15	15	14	14	14

Bron: CBS; TNO-MEP; LEI.

CBS/CLO/mei11/0030

1) Inclusief recreatievaart.

2) Binnengaats en op het NCP.

3) Bij starts, landingen en taxiën van vliegtuigen en het gebruik van interne transportmiddelen op vliegvelden.

4) Dieseltractie.

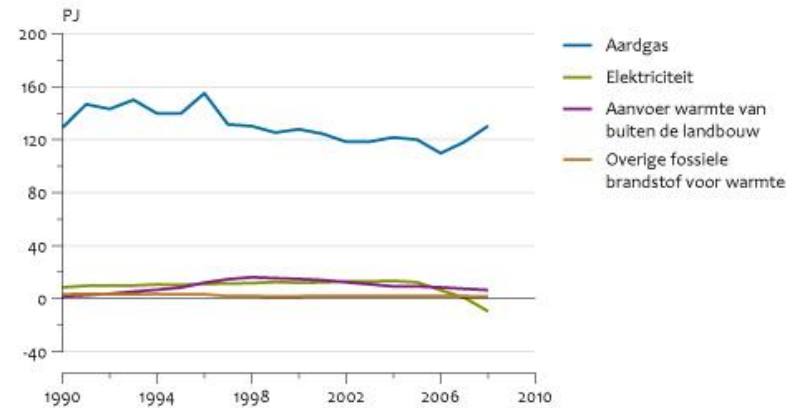
* De gegevens vanaf 2002 zijn schattingen op basis van eerdere jaren (zie ook het archief van deze indicator).



Land en tuinbouw

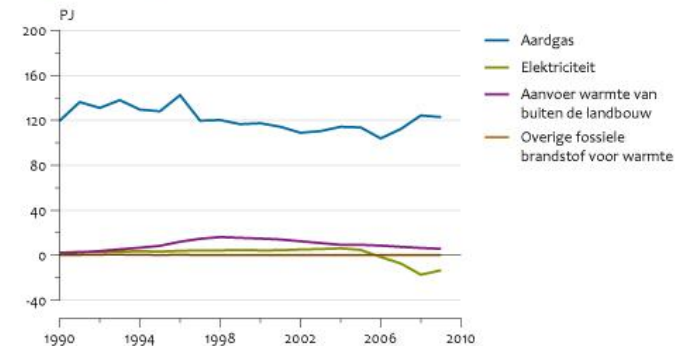
- Energie consumptie in 2008
 - Totaal 128.9 PJ (6.0 kWh/d gemiddeld)
 - Glastuinbouw domineert: 113.6 PJ
- Nieuwe kassen isoleren beter
 - Gebruik daalt tm 2006
- Vanaf 2006 verkoopt men elektriciteit
 - In 2009 in totaal 13.4 PJ (2008: 17.3 PJ)
 - Nieuwe installaties: warmtekrachtkoppeling
 - Wek warmte en elektriciteit op
- Tractoren brandstof
 - Totaal rond de 10 PJ
 - Valt onder Verkeer en vervoer

Energieverbruik land- en tuinbouw



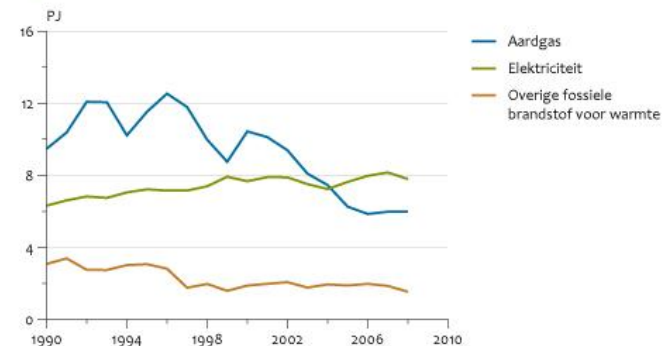
Bron: CBS, LEI.

Energieverbruik glastuinbouw



www.cbs.nl

Energieverbruik land- en tuinbouw, exclusief glastuinbouw



CBS/hov10/0013

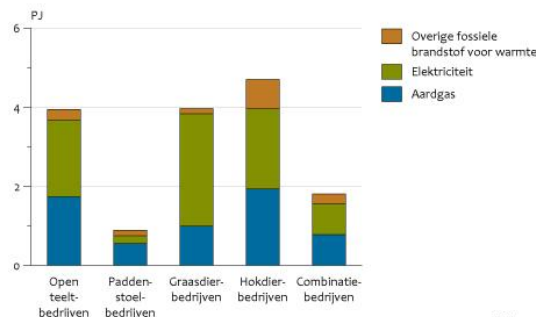
www.compendiumvoordeleefomgeving.nl

Bron: CBS, LEI.

CBS/hov10/0013

www.compendiumvoordeleefomgeving.nl

Energieverbruik land- en tuinbouw exclusief glastuinbouw, 2008

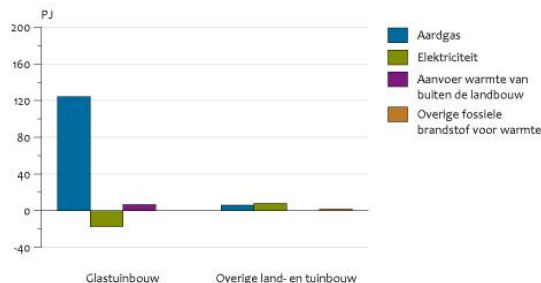


CBS/hov10/0013

www.compendiumvoordeleefomgeving.nl

Bron: CBS, LEI.

Energieverbruik land- en tuinbouw, 2008



Bron: CBS, LEI.

Industrie

- Inzet als
 - Grondstof
 - Omgezet naar andere energieproducten
- Chemische industrie is grootste verbruiker

	Totaal	Verbruik als brandstof in warmtekracht-installaties ¹⁾	Verbruik als brandstof in ovens, ketels, kachels, etc ²⁾	Verbruik als grondstof of als inzet voor omzetting in andere energieproducten ³⁾
	<i>PJ</i>			
1990	1 058	188	444	426
1995	1 022	158	423	441
2000	1 059	157	380	522
2001	1 061	153	374	534
2002	1 053	146	381	526
2003	1 100	141	387	573
2004	1 129	139	391	599
2005	1 180	137	387	655
2006	1 133	132	398	603
2007	1 261	130	418	713
2008	1 165	125	391	649
2009	1 116	103	362	650
Specificatie 2009				
Voedings- en genotmiddelenindustrie	58	25	32	0
Textiel- en lederindustrie	3	0	3	-
Papier- en grafische industrie	19	12	7	0
Raffinaderijen	157	25	98	34
Kunstmestindustrie	84	3	20	61
Overige chemische industrie ⁴⁾	633	33	128	472
Basismetallindustrie ⁵⁾	91	4	28	59
Overige industrie ⁶⁾	71	1	46	24

Bron: CBS.

CBS/CLO/dec10/0017

1) Voor omzetting in elektriciteit, stoom en warm water.

2) Energetisch finaal verbruik.

3) Niet-energetisch finaal verbruik of omzetting in andere energetische producten.

4) Organische basischemie, basischemie (geen petrochemie) + kunstvezels, overige anorganische basischemie en chemische eindproductenindustrie.

5) Basisferrometaalindustrie, basis-non-ferrometaalindustrie, met daarbij cokesfabriek.

6) Metaalproductenindustrie, hout-, kunststof-, instrumentenindustrie, glas-, aardewerk-, cement-, kalkindustrie, en industrie niet te specificeren naar industrietaak.

N.B. De gegevens hebben alleen betrekking op het verbruik van fossiele brandstoffen en zijn dus exclusief het verbruik van elektriciteit en stoom/warmte.



Back-up



Warmtepomp

- Warmteopslag in de bodem

- Stel je hebt een zonnepaneel en je wilt de warmte van de zomer in de grond opslaan
- Hoe groot moet een rots van 50 °C zijn om een huis 1 maand van warmte te kunnen voorzien?
- De warmtecapaciteit van graniet is 820 J/(kg K)
- De warmte nodig voor het huis is 24 kWh/d en de temperatuur van het huis is 16 °C

$$\text{massa} = \frac{\text{energie}}{\text{warmte capaciteit} \times \text{temp. verschil}} = \frac{24 \times 30 \times 3.6 \text{ MJ}}{(820 \text{ J/(K } ^\circ\text{C)})(50 ^\circ\text{C} - 16 ^\circ\text{C})} = 100\,000 \text{ kg}$$

- Dat is een stuk graniet van 6 x 6 x 1 m

- Zit de warmte nog wel in die rots in de winter?

- Een puntvormige warmtebron zal zijn energie spreiden volgens

- Warmtecapaciteit C
- Dichtheid van de grond ρ
- Warmtegeleidingscoëfficiënt κ

- Dat levert een Gausscurve met breedte $\sqrt{2 \frac{\kappa}{C\rho} t}$
- Invullen van de getallen voor graniet geeft 6 m

- Dus een opslaggebied in de orde van 20 x 20 x 20 m zou voldoende moeten zijn om de warmte een halfjaar vast te houden

$$\frac{1}{\sqrt{4\pi\kappa t}} e^{-\frac{x^2}{4(\kappa/(C\rho))t}}$$