

Rekenen met Energie

Introductie over energie en besparen

Voor Heide Bes,15 februari 2017
Frans Debets
Debets b.v.

Inhoud

1.	Besparen, hoe pak je het aan?.....	5
2.	Rekenen met energie: Begrippen, eenheden en rekenregels	7
2.1	Wat zijn de belangrijkste eenheden?	7
2.2	Wat is de energiewaarde van brandstoffen?	8
2.3	Wat is kilo, mega, giga, tera, peta, exa?	9
2.4	Vermogen en de relatie tussen vermogen, energie en tijd	9
3.	Hoeveel energie verbruikt ons land?	12
3.1	Primair Energieverbruik	12
3.3	Het stroomverbruik.....	13
3.4	Wat gebruikt een huishouden?.....	15
3.5	Waarom is onze energie zo duur?	16
4.2	Energie uit wind	19
4.3	Energie van de zon	20
5	Over CO ₂	24
6.	Over isoleren	26
6.1	Regels en normen voor gebouwen	28

Nederland streeft naar een duurzame energie-economie, de ontwikkeling daarvan noemen we de Energie Transitie. De overheid, bedrijven, huishoudens en VVE's kunnen een bijdrage leveren aan de transitie. Om in deze ontwikkeling tot reële keuzes te komen is kennis van enkele begrippen en enige vaardigheid in het rekenen met deze begrippen gewenst.

In deze publicatie worden een aantal basisvragen over energie beantwoord. Met voorbeelden wordt duidelijkheid gegeven over de betekenis van de begrippen en de cijfers.

De Heide Bes bijeenkomst van 15 januari is een inleiding op deze tekst.

Frans Debets

1. Besparen, hoe pak je het aan?

In dit hoofdstuk worden enkele tips gegeven over hoe je besparen kunt aanpakken.

- **De Trias Energetica**

Bij de overgang naar een duurzame energie-economie wordt wel uitgegaan van een driestappenbenadering: de Trias Energetica, hierin is besparen de eerste stap.



Besparingsopties zijn in te delen in een moeilijkheidsgraad (van eenvoudig naar moeilijk) en in een effect (weinig tot veel effect). Zo kan je alle opties een waardering geven voor deze twee kenmerken.

In een resulterende matrix zijn de eerste besparingsopties te vinden in de rechterbovenhoek.

Veel Effect	A	AAA
Weinig Effect	a	AA
	Moeilijk - duur	Makkelijk - goedkoop

Een voorbeeld van een **AAA besparing** is het wegdoen van je oude vrieskist: het is een kleine moeite en het levert veel besparing op. Een voorbeeld van een **a besparing** is het plaatsen van vloerisolatie in een onverwarmde ruimte: het kost veel moeite en geld, maar het levert weinig op.

Om de mogelijke maatregelen eerst beter in beeld te brengen zijn er 4 opties. Een hulpmiddel bij het formuleren van opties zijn de vier V's:

- 1** Verwijderen;
- 2** Verminderen;
- 3** Verbeteren;
- 4** Vervangen.

De eerste twee kosten meestal niets, twee heeft veel met gedrag te maken. Daarvoor is bewustwording en scholing belangrijk. Bij opties drie en vier worden vaak kosten gemaakt.

Denk bij **Verwijderen** aan het afsluiten van trappenhuisverlichting of een onnodig buitenlamp.

Bij **Verminderen**: minder warm stoken van het gebouw, of later de verlichting aan- en eerder uitzetten.

Bij **Verbeteren**: isoleren, beter inregelen van systemen, betere monitoring op storingen.

Bij **Vervangen**: verwarmingsketels vervangen, oude TL (T8) vervangen door moderne T5, gloeilampen voor LED vervangen, frequentieregeling op pompen en ventilatie.

Een vijfde optie, vooral voor de overheid, is **Verbieden**. De wet biedt daarvoor mogelijkheden.

De basis ligt bij een goede analyse van het verbruik. Dat begint bij de analyse van de energierekening (gas en stroom) en het identificeren van de grootste verbruikers. Voor een goede analyse moet je kunnen rekenen met energie.

2. Rekenen met energie:

Begrippen, eenheden en rekenregels

Om iets te begrijpen van de ontwikkelingen op het gebied van energie is het handig om de verschillende eenheden en termen goed te kennen. In dit hoofdstuk wordt er kennis mee gemaakt.

2.1 Wat zijn de belangrijkste eenheden?

Er worden allerlei eenheden gebruikt, maar er zit een zekere samenhang in. Bij elk begrip horen eenheden en met de rekenregels kan je met deze eenheden rekenen.

Energie is een moeilijk te doorgronden begrip. We kennen chemische energie; thermische energie; potentiële energie; mechanische energie, etc. Met energie zijn veranderingen teweeg te brengen: iets verwarmen, iets op snelheid brengen, van plaats te veranderen. Voor dit natuurkundig begrip worden verschillende eenheden gebruikt, hieronder worden er twee genoemd.

- **calorie**

Als het om voedsel gaat gebruiken we vaak de eenheid calorie. Dit is de hoeveelheid energie die nodig is om 1 gram water 1 graad Celsius in temperatuur te doen stijgen. Meestal gebruiken we de kilocalorie, dat zijn 1.000 calorieën. Daarmee kunnen we dus 1 kilogram (of 1 liter) water 1 graad Celsius in temperatuur verhogen.

Een mens heeft per seconde ongeveer 30 calorieën nodig, per uur ongeveer 100.000 calorieën, per dag (24 uur) ongeveer 2.400.000 calorieën of 2400 kilocalorieën (kcal). Hij gebruikt deze energie om zijn eigen stofwisseling op peil te houden en om zijn werk te kunnen doen, hij zet de chemische energie uit voedsel om in warmte en arbeid.

- **Joule**

De in de algemene energieleer gehanteerde eenheid is niet de calorie maar de Joule (J). 1 calorie is 4,18 Joule. 2.400 kcal is dus 10.032 kJ.

Een mens heeft dus ongeveer 10.000 kJ per dag nodig.

Op de verpakking van voedingsmiddelen staat aangegeven hoeveel energie (in calorieën én in Joule) een product bevat. In tabel 1 wordt

berekend hoeveel je van het product nodig hebt voor de dagelijkse energiebehoefte van 2.400 kcal of 10.000 kJ.

Tabel 1 Energiewaarde van voedingsmiddelen

Product	Energiewaarde per product		Nodig voor 2400 kcal of 10.000 kJ
	kcal	kJ	
Koekje	50	209	48 koekjes
100 gram aardappels	75	314	32 x 100 gram aardappels
Een glas frisdrank	100	418	24 glazen frisdrank
Een glas bier	125	523	19 glazen bier
Een handje pinda's	150	627	16 handjes pinda's
Een slagroom gebakje	250	1.045	9 slagroomgebakjes

2.2 Wat is de energiewaarde van brandstoffen?

Machines verbruiken geen voedingsmiddelen maar brandstoffen. Onze moderne brandstoffen kenmerken zich door een hoge energie-inhoud.

Tabel 2 Energiewaarde (afgerond) van brandstoffen

	kJ
Aardgas	31.000 kJ per m ³ ¹
Benzine	47.000 kJ per kg (36.000 kJ per liter)
Steenkool	20.000 kJ per kg
Geperste turf	16.000 kJ per kg
Droog hout (25% vocht)	14.000 kJ per kg of 10 GJ per m ³ massief

Als een mens 10.000 kJ per dag aan voedsel verbruikt, komt dat dus overeen met het verbruik van ongeveer een kwart liter benzine of een derde kubieke meter aardgas.

Een uur hard werken op de racefiets kost ca. 800 kcal (3300 kJ) en brengt je 30 km verder. Een auto doet dat in 20 minuten, maar het kost 2 liter benzine of 72.000 kJ. De fietsende mens is dus 20 keer energie zuiniger dan de auto.

¹ bij aardgasverbranding komt waterdamp vrij die bij condensatie ook energie levert. Indien dit wordt meegerekend is de aardgas energiewaarde 35,2 MJ per m³. Dit noemen we de bovenwaarde. Ons Nederlandse gas heeft een vrij lage calorische waarde, hoogcalorisch gas heeft een energiewaarde van ca. 34 MJ (onderwaarde).

Tabel 3: Over energie in mechanische vorm

De eenheid Joule is ook gerelateerd aan massa en afstand. De formule $E=mgh$ beschrijft dit.

m is in kilogram, **h** is in meter. De **g** = de gravitatieconstante (of valversnelling), deze is $9,8 \text{ m/sec}^2$. Dit ronden we hieronder af op 10.

Als we een gewicht van 1 kg 10 cm omhoog brengen, dan is de hoeveelheid energie:

$$E = mgh \text{ dus: } 1 \cdot 10 \cdot 0,10 = 1 \text{ Joule.}$$

Stel je neemt 100 ton (100.000 kg) aan gewicht en hijst het 10 meter hoog, hoeveel energie kost dat?

$$100.000 \cdot 10 \cdot 10 = 10.000.000 \text{ J} = 10.000 \text{ kJ.}$$

2.3 Wat is kilo, mega, giga, tera, peta, exa?

Om het gebruik van te veel nullen te vermijden wordt gewerkt met voorvoegsels: kilo, mega, giga, tera, peta en zetta. Elke volgend voorvoegsel is 1.000 keer groter dan de voorgaande. Dus kilo is 1.000 en mega is 1.000 kilo. Peta staat voor een 1 met 15 nullen, of een miljoenmiljard. De afkortingen zijn: k, M, G, T, P, E.

Tabel 4 Voorvoegsels

SI voorvoegsel	SI letter	Waarde	Hoofdtelwoord	Macht van 10
kilo	k	1.000	duizend	10^3
mega	M	1.000.000	miljoen	10^6
giga	G	1.000.000.000	miljard	10^9
tera	T	1.000.000.000.000	biljoen	10^{12}
peta	P	1.000.000.000.000.000	biljard	10^{15}
exa	E	1.000.000.000.000.000.000	triljoen	10^{18}

2.4 Vermogen en de relatie tussen vermogen, energie en tijd

Eerder kwamen de eenheden voor energie calorie en Joule aan de orde. Een derde veelgebruikte eenheid voor energie is kilowattuur (kWh). Deze eenheid is afgeleid van twee andere eenheden: de eenheid voor vermogen (Watt), en een eenheid voor tijd (seconde of uur).

- **Vermogen meten we in Watt**

Een mens of een apparaat kan arbeid leveren of energie omzetten in een bepaalde tijdsduur. Dit noemen we het vermogen: $W = J/sec$
Het vermogen drukken we uit in Watt (W). De relatie tussen vermogen, energie en tijd is:

als een vermogen van 1 Watt gedurende 1 seconde energie levert, is de hoeveelheid energie 1 Joule. $1J=Ws$

Een elektrisch apparaat met een vermogen van 100 Watt zet dus elke seconde $100 Ws = 100$ Joule elektrische energie om in andere vormen van energie.

In de praktijk rekenen liever met kiloWatt (=1.000 Watt) en met uren (=3.600 seconden):

1 kilowattuur = $1.000 \text{ Watt} * 3.600 \text{ seconden} = 3.600.000 \text{ Joule} = 3600 \text{ kJ} = 3,6 \text{ MJ}$

Rekentip:

Van kWh naar kJ:	vermenigvuldigen met 3600
Van kJ naar kWh:	delen door 3600

De eenheden **calorie**, **Joule** en **kiloWattuur** zijn dus alle drie eenheden voor energie. Men gebruikt ook nog wel **TOE**: Ton Oil Equivalents, (ongeveer 42 GJ) en British Thermal Units: **BTU** (1,055 kJ).

De hoeveelheid energie die in voedsel of brandstof zit, kan dus worden uitgedrukt in calorieën, Joules, of kiloWatturen. Als het over een apparaat gaat dat energie levert of verbruikt drukken we dit ook uit in kWh (kiloWattuur).

De eerder gebruikte waarden worden in tabel 5 herhaald waarbij de omrekening van kiloJoules naar kiloWatturen is toegevoegd (delen door 3.600).

Tabel 5 *Energiewaarde van brandstoffen in kJ en in kWh*

Brandstof	kJ	kWh
Aardappels	3.140 kJ per kg	0,872 per kg
Aardgas	31.000 kJ per m ³	8,61 per m ³
Benzine	47.000 kJ per kg	13,05 per kg
Steenkool	20.000 kJ per kg	5,55 per kg
Geperste turf	16.000 kJ per kg	4,44 per kg
Droog hout (25% vocht)	14.000 kJ per kg	3,88 per kg
Loodaccu	100 kJ per kg	0,027 kWh per kg
Lithium-ion accu	576 kJ per kg 972 kJ per ltr	0,160 kWh/kg 0,270 kWh/ltr

Energie = Vermogen * Tijd is een belangrijke regel. Als energie en vermogen bekend zijn, kan het aantal uren berekend worden. Dit noemen we het aantal **vollast-uren**: $\text{Wh}/\text{W} = \text{uren}$.

Zo kan je van alle systemen in en om het huis berekenen wat ze gebruiken, als tijd en vermogen bekend zijn. Een lamp van 35 Watt die 4 uur brandt verbruikt: $35 * 4 = 140 \text{ Wh} = 0,14 \text{ kWh}$

Hieronder wordt gerekend aan wat een windmolen oplevert, want ook daarbij geldt: **Energie = Vermogen * Tijd**.

Hieronder staan de productie (=energie) en het opgesteld vermogen van alle windmolens op land in Nederland (bron: CBS):

jaar	Productie in GWh	Vermogen MW	Aantal molens
2010	3315	2009	1877
2013	4856	2485	1977
2014	6097	2645	1989

Hiermee kunnen we berekenen wat de vollast uren waren:

2010	3315/2,009	1650 uren
2013	4856/2,485	1954 uren
2014	6097/2,645	2305 uren

2300 uren is een goede indicatie voor de moderne molen op de betere (land) locatie in een gemiddeld windjaar. Op zee halen de molens 3500-400 uur.

3. Hoeveel energie verbruikt ons land?

We gebruiken twee termen: het *primaire energieverbruik* en het *bruto energetisch eindverbruik*. Deze worden hier toegelicht.

3.1 Primair Energieverbruik

Het ***primaire energieverbruik***² wordt berekend op basis van alle energiegroondstoffen die in ons land gebruikt worden:

Energiedrager	Energie
10% steenkool	320 PJ
40% olie	1280 PJ
40% gas	1280 PJ
10% kern- en duurzame energie	320 PJ
Totaal	3200 PJ

De grootste gebruiker is de industrie inclusief landbouw en dienstverlening: 1900 PJ (60%). De overige 40% wordt ongeveer gelijk verdeeld over vervoer en de huishoudens.

Het primaire energieverbruik is de afgelopen jaren steeds gestegen: in 1960 werd nog geen 1.000 PJ gebruikt, in 1970 was het 2.000 PJ, in 1980 bijna 3.000 PJ. Na een verlaging in de jaren '80 ging het rond 1995 weer door de 3.000 PJ heen. De afgelopen jaren is het verbruik ongeveer 3200 PJ:

Jaar	Primair Energieverbruik in PJ
1995	2965
2000	3066
2010	3492
2015	3051

In de circa 3200 PJ is ook opgenomen het gebruik van fossiele brandstof voor onder andere de kunststofindustrie (het niet energetisch verbruik: circa 650 PJ) en de omzettingsverliezen in de energieproductie (circa 500 PJ). Het verbruik exclusief deze circa 1200 PJ noemen we het ***bruto energetisch eindverbruik***, circa 2000 PJ.

² Eigenlijk zouden we de uitdrukking energieverbruik niet mogen gebruiken, energie gaat niet verloren, je gebruikt het wel maar verbruikt het niet...

3.2 Bruto Energetisch Eindverbruik

Het **bruto energetisch eindverbruik** is het totale energieverbruik van alle eindgebruikers (bedrijven, burgers, overheden) van gas, stroom, benzine, diesel etc. Dit eindverbruik ligt nu rond 2000 PJ:

1990	1819 PJ
2000	2140 PJ
2005	2230 PJ
2010	2306 PJ
2014	1980 PJ
2015	2050 PJ

Dit verbruik is ruwweg verdeeld in: 40% gas, 40% transportbrandstof, 20% stroom (414 PJ of 115 miljoen MWh).

Het bruto energetisch eindverbruik is de rekenbasis voor onze duurzame energie doelstelling; het doel van 14% in 2020 is 14% van het eindverbruik:

$$14\% * 2000 \text{ PJ} = 280 \text{ PJ}.$$

Het gebruik van een gemeente is eenvoudig uit te rekenen. Bijvoorbeeld Rotterdam met ca. 620.000 inwoners:

$$620.000 / 17 \text{ miljoen} * 2050 = 75 \text{ PJ} = 21 \text{ miljard kWh}$$

3.3 Het stroomverbruik

Elektriciteit is een steeds belangrijkere vorm van energie geworden. Tussen 1950 en 2013 steeg het elektriciteitsverbruik van ruim 7 miljard kWh tot 119 miljard kWh, gemiddeld 4,5 procent per jaar. Een piek werd bereikt in 2008 met 124 miljard kWh, nu ligt het rond 115 miljard kWh.

In Nederland wordt elektriciteit vooral geproduceerd door verbranding van fossiele brandstoffen: gas en kolen (olie wordt in Nederland niet gebruikt). Het aandeel van fossiele brandstoffen in de elektriciteitsproductie daalde licht de afgelopen jaren, het aandeel duurzaam groeit (nu ca. 12% = 13 mld. kWh):

Stroom uit:	Productie 2015 in mld kWh
Wind	7,5
Zon	0,126
Biomassa	5,2
Water	0,093
Totaal	13

Bron: CBS

De bijdrage van kernenergie aan de Nederlandse elektriciteitsproductie is beperkt tot 4%, vanuit Borssele.

Het totale opgesteld vermogen steeg van 20 GW rond 2000 tot 33 GW nu. Vooral de toename van het windvermogen is daar debet aan.

Groene stroom is populair in Nederland. De afname is groter dan de eigen productie, het merendeel van de groene stroom is met certificaten geregeld (garanties van oorsprong -GVO), afkomstig uit het buitenland. Naast de eigen productie van 13 mld kWh werd er in 2015 34 mld aan GVO stroom geïmporteerd:

GVO Stroom uit:	Import 2015 in mld kWh	Vooraf uit:
Wind	7,8	Denemarken en Italië
Geothermie	0,413	IJsland
Biomassa	2,2	Finland
Water	23	Noorwegen, Frankrijk, Zweden
Zon	0,674	Italië
Totaal	34	

Bron: CertiQ.

3.4 Wat gebruikt een huishouden?

Het gasverbruik, in 1980 nog rond 3.000 m³ per huishouden per jaar, zakte na 1980 fors. Dit is vooral te danken aan de HR-ketel en de betere isolatie van huizen. Het gemiddelde verbruik van een huishouden ligt nu rond de 1.400 m³ aardgas. In de jaren '80 lag het stroomverbruik rond de 3000 kWh, dat is de afgelopen langzaam gestegen tot 3.300 kWh elektriciteit per jaar.

Kolen en huisbrandolie werden in de vorige eeuw nog veel gebruikt, maar zijn nu vrijwel verdwenen. Houtstook is min of meer stabiel gebleven, in circa 1 miljoen huizen is een houtstook installatie. Samen zijn ze goed voor 18PJ duurzame energie.

De sterke daling van het gasverbruik in huishoudens geeft al aan wat besparing kan opleveren. Het meeste gas (80%) gaat op aan de ruimteverwarming (15% is voor warmwater en koken is 5%), dus betere verwarmingssystemen en isolatie leveren veel voordeel. De huizen die nu volgens de moderne voorschriften worden gebouwd, komen met hun gasverbruik ruim onder de 1.000 m³ per jaar. Dan is het de vraag of een gasaansluiting nog wel uit kan, veel nieuwe wijken worden daarom zonder gasaansluiting ontwikkeld. Voor de moderne woningen is het aardgastijdperk al weer voorbij, de huizen worden *all electric*. Of de warmte wordt geleverd via een warmtenet.

De stijging van het elektriciteitsverbruik naar 3.300 kWh per jaar (of 9,3 kWh per dag) is vooral te wijten aan de toename van het **aantal** apparaten. De apparaten zijn wel zuiniger geworden. De grootste verbruikers zijn doorgaans de wasmachine, verlichting en de koelkast; ieder circa 500 kWh per jaar.

Het energieverbruik is steeds de **combinatie** van **vermogen** en **tijd**. De ijskast heeft een klein vermogen (50-75 Watt), maar hij verbruikt veel omdat hij altijd aan staat. Een stofzuiger heeft een groot vermogen, 1.300 W, hij verbruikt dus in een uur 1,3 kWh. Maar met 3/4 uur stofzuigen per week (40 uur per jaar) verbruikt deze stofzuiger slechts 52 kWh per jaar.

Een modern huishouden heeft veel apparaten die voortdurend aan staan: ventilatie, de router, de elektrische klok. De *standby* functie van apparaten (televisie, computers) verbruikt per uur heel weinig stroom, maar omdat ze altijd aan staan is het totale verbruik

aanzienlijk. De diverse opladers voor telefoon, tablets, of de 1 miljoen elektrische fietsen in Nederland vragen een forse laadstroom.

Het voordeel van het besparen van elektriciteit is groot, elektriciteit is duur (ongeveer 0,20 cent per kWh voor een huishouden) en bij de opwekking en het transport gaat veel energie verloren.

Toch mag niet worden vergeten dat het energieverbruik van een huishouden vooral wordt bepaald door het gasverbruik. We verbruiken in totaal circa 16.300 kWh: circa 12.000 kWh aan gas (= 75%) en circa 3.300 kWh aan elektriciteit (= 25%). In kosten zijn de verschillen minder groot.

Tabel 8: Verbruik en kosten van een gemiddeld huishouden

	jaarverbruik	MJoule	kWh	%	€
Gas (€0,65/m ³) 31 MJ/m ³	1400 m ³	43.400	12.055	75	910
Elektriciteit (€0,20 per kWh)	3300 kWh	11.880	3.300	25	660
		55.200	15.355	100	1500

Gas kost de consument ca. €0,65 per m³ gas (=7,5 cent per kWh) en voor stroom betaalt hij €0,20 cent per kWh. Stroom is voor de kleinverbruiker dus 3,5 keer duurder dan gas per MJ of kWh!

De 6,8 miljoen huishoudens verbruiken ongeveer 375 PJ (in strenge winters is het meer), daarvan is 80PJ elektriciteit. Dat is $80/2000 = 4\%$ van het totale energieverbruik van Nederland of 20% van het totale stroomverbruik.

3.5 Waarom is onze energie zo duur?

De consumentenprijs van gas en elektriciteit wordt bepaald door de marktprijs (3-6 cent voor een kWh stroom en 2 - 2,5 cent voor een kWh gas of ongeveer 20 cent voor een m³ gas). Daar komt de marge voor de leverancier én de energiebelasting bij (circa 10 cent voor stroom en 25 cent voor gas) en vanaf 2014 de Opslag Duurzame Energie (ODE) en vervolgens de 21% BTW over het totaal. Het totaal ligt nu rond 20 cent per kWh stroom en 65 cent voor een m³ gas. Grootverbruikers betalen veel minder belasting, hun stroomprijs of gasprijs ligt daarom veel lager. De ODE zal de komende jaren sterk stijgen.

Tabel 8: de EB en ODE tarieven (excl. BTW)

	2015		2016		2017	
	EB	ODE	EB	ODE	EB	ODE
Gas <170.000 m ³	0,1911	0,0074	0,25168	0,0113	0,25244	0,0159
170.000 – 1 miljoen m ³	0,0677	0,0028	0,06954	0,0042	0,06215	0,0074
1-10 miljoen m ³	0,0247	0,0008	0,02537	0,0013	0,02265	0,0027
Stroom <10.000 kWh	0,1196	0,0036	0,1007	0,0056	0,1013	0,0074
10.000 – 50.000 kWh	0,0469	0,0046	0,04996	0,007	0,04901	0,0123
50.000 – 10 miljoen	0,0125	0,0012	0,0131	0,0019	0,01305	0,0033

N.B.: De kleinverbruiker krijgt een deel terug via belastingteruggave (dit heette tot voor kort de heffingskorting), deze teruggave wordt wel steeds minder.

	Heffingskorting excl. BTW
2014	€ 385,54
2015	€ 311,84
2016	€ 310,81
2017	€ 308,54

4.1 Duurzame energie

In 2009 is de Renewable Energy Directive (RED), de EU-richtlijn, vastgesteld waarin de EU-ambitie van 20% duurzame energie in 2020 werd vastgelegd. Nederland moet in 2020 de doelstelling halen van 14% duurzaam. Het percentage is gekoppeld aan het Bruto Energetisch Eindverbruik, dat ligt in Nederland rond 2000 PJ. De 14% is dus: 280 PJ.

Nederland haalde in 2015 een percentage van 5,79%, dit was 118 PJ.

Dit was verdeeld over:

Toepassing	PJ	TWh	% D.E. van de toepassing
Elektriciteit	47,6	13,2	Circa 11
Warmte	58,6	16,3	5,3
Vervoer (circa)	25	7	5,9

N.B. bij vervoer gaat het om bijmenging van ethanol en biodiesel en toegerekend elektrisch vervoer. De feitelijke bijmenging is lager (14 PJ), maar door dubbeltelling is dit circa 22 PJ.

De 4 belangrijkste Duurzame Energie (D.E.) producenten zijn:

D.E. techniek	Productie in PJ 2015
wind op land	21,2
afval verbranden	20,3
houtkachels bij particulieren	18,6
bijmenging brandstof	25

Wind op zee en zonnepanelen zijn nu nog kleine producenten maar deze groeien snel:

	2013 in PJ	2015 in PJ
Wind op zee	2,6	3,7
Zonnepanelen (PV)	1,8	4

Wereldwijd wordt gezocht naar nieuwe energiebronnen die niet leiden tot CO₂-uitstoot en die niet ten koste gaan van de fossiele voorraden. Energie uit waterkracht of wind zijn voorbeelden van CO₂ neutrale energie uit niet-fossiele bron. Veel technieken die worden gebruikt zijn doorgaans oeroude technieken die verbeterd

zijn: windmolens, heetwaterbronnen, vergisting, verbranding en zonneboilers.

4.2 Energie uit wind

Windmolens kennen we goed in Nederland. Rond 1850 stonden er ongeveer 9.000 molens in ons land. Na de opkomst van de stoommachine en de andere moderne technieken verloor de windmolen zijn functie, er zijn nu nog 1.170 oude molens over. Zo'n oude molen ontwikkelt 40 - 50 kW. In de jaren '70 begon de windmolen terug te keren als opwekker van elektriciteit. De as van de molen werd verbonden met een generator en deze produceerde stroom. De eerste molens hadden een klein vermogen, 85 kW was in de jaren '80 al een grote jongen. De molens werden echter steeds groter en sterker. Nu zijn molens van 100 meter hoogte of meer en een wieklengte van 45 meter (van as tot tip) met vermogens tot 4 MW al normaal. Een grote molen van Vestas (www.vestas.com) heeft een rotordiameter van 164 meter en een vermogen van 7,5 MW. Het door de wieken bestreken oppervlakte is ruim 2 hectare groot! ($3,14 * 82^2 = 21.000 \text{ m}^2$).

Tabel 9: windvermogen wereldwijd

Jaar	Wereldwijd opgesteld windvermogen in MW
2000	17.000
2005	59.000
2010	198.000
2015	350.000

Het totale wereld windvermogen is inmiddels 350.000 MW gepasseerd. In Nederland is het ruim 3.000 MW.

De Nederlandse molens leverden in 2015:

	PJ	GWh
Wind op land	21,2	5889
Wind op zee	3,7	1028

Kijk op www.windstats.nl voor de dagelijkse productie. Het Nederlandse stroomverbruik is circa 110.000 GWh, dus ongeveer 6% wordt afgedekt door molens.

In overheidsnota's wordt wel gesproken over de windproductie in 2020, de meest recente *target* is: 6.000 MW op land en 4.000 MW op

zee. Daarmee kan 25% van onze elektriciteitsbehoefte gedekt worden (mits deze behoefte de komende jaren niet veel verder doorgroeit). Het wordt echter steeds moeilijker om goede windmolenlocaties te vinden.

4.3 Energie van de zon

De zon straalt elke dag voldoende energie naar de aarde om onze energiebehoefte ruim te dekken. De hoeveelheid zonne-vermogen die wereldwijd instraalt is 175 PWatt, terwijl we ongeveer 14 TWatt nodig hebben, minder dan 0,01% van wat de zon ons levert. Het probleem is echter dat het nog niet zo eenvoudig is deze energie op te vangen en te benutten.

➤ fotovoltaïsche (PV) systemen

Een methode is het gebruik van zonnecellen of fotovoltaïsche (PV) systemen. Er zijn meerdere technieken voorhanden, maar een gewone, moderne zonnecel heeft een rendement van circa 16% - 17%. Per m² wordt in Nederland tijdens de zonnige uren circa 1.000 Watt ingestraald, de oogst met PV-cellen is dan 160 – 170 Watt per m². Dit vermogen onder zonnige omstandigheden wordt het piekvermogen genoemd en uitgedrukt in Wattpiek (Wp). Het standaardoppervlak van het paneel is 1,6 m², het vermogen is: $1,6 * 160W = 256 \text{ Watt per paneel}$.

Een PV-systeem in Nederland produceert ongeveer 850 – 900 vollast uren per jaar (aan de kust wordt 1.000 uur wel gehaald)³. Een m² zonnecellen levert dus (uitgaande van bovenstaande conservatieve waarden): $160 \text{ W} * 850 \text{ uur} = 136 \text{ kWh per jaar}$ (490 MJ per m² of 0,490 GJ per m²).

Met 1 m² schiet de elektriciteitsproductie echter niet op, het moet gaan om grote oppervlakten. Om het verbruik van een huishouden (3400 kWh per jaar) te dekken is circa 25 m² nodig.

De systemen worden vaak op daken gebouwd. De 7 miljoen Nederlandse woningen hebben samen een dakoppervlakte van circa

³ Met de EU site <http://sunbird.jrc.it/pvgis/apps/pvest.php> zijn berekeningen te maken voor elke locatie in Europa.

165.000.000 m² of 16.500 hectare of 165 km², naast ongeveer 100 km² daken van bedrijven en instellingen. Niet alle daken zijn echter geschikt.

PV-systemen gericht op het zuiden met een goede hellingshoek leveren de meeste energie op. Om een grote productie te halen, is plaatsing op percelen van meerdere hectares in het vrije veld nodig. PV-stroom is duurder dan de vrije marktprijs van stroom. PV-stroom behoeft daarom nog subsidiegeld.

De Wp prijs zakt de laatste jaren vrij snel. Een compleet systeem voor particulieren kost nu inclusief montage circa €1,60 per Wp, dus circa €260,- per m². Of €530,- per GJ.

De vrije marktprijs van stroom ligt rond 3-4 cent per kWh, de particulier betaalt ongeveer 20 cent per kWh (vooral vanwege de belasting + BTW). De zelfgeproduceerde stroom vervangt de dure inkoop, daarmee is de investering na ongeveer 8 – 9 jaar terugverdiend. De eigen productie hoeft niet direct te worden gebruikt, het mag verrekend worden (voor de kleinverbruiker) met de gebruikte hoeveelheid (dit heet salderen).

Via de regeling Verlaagd Tarief (ook wel bekend als de Postcoderoos regeling) worden de deelnemers vrijgesteld van de energibelasting (in 2016 is dit 10 cent).

In Nederland is het opgestelde PV-vermogen nog klein, maar is gegroeid van circa 140 MW (eind 2011) naar 1500 MW (eind 2015).

Duitsland is PV-kampioen; er staat nu circa 35.000 MW aan PV vermogen opgesteld⁴. Op een zonnige dag komt in Duitsland tussen 11.00 uur en 14.00 uur dus 35.000 MW aan PV-vermogen op het net. Het valt niet mee om dat goed op te vangen. In heel de EU staat nu 60.000 MWp. In Nederland zullen ook meer parken verschijnen, bv. in **Veendam** (15,8 MW) of **Delfzijl** 7,3 MW (dankzij de SDE 2016). Deze twee zullen samen 20 GWh produceren (ongeveer gelijk aan wat 8 MW wind produceert).

➤ Zonnewarmte

Een andere manier om de zonne-energie te benutten is het opvangen

⁴ Op de site <http://www.sma.de/> is per uur de zon PV productie van Duitsland te volgen (das Leistet PV in Deutschland).

van de warmte met zonnecollectoren. In de zuidelijke landen van Europa zijn veel daken voorzien van een eenvoudige zonnecollector waarmee het warme tapwater van het huishouden wordt verzorgd. Ook in Nederland is een zonneboiler een zinvolle optie om de warmwatervoorziening duurzamer te maken (de productie is circa 1 PJ). Er zijn systemen voor het tapwater en er zijn systemen waarbij de zonnewarmte ook de centrale verwarming of de warmtepomp ondersteunt.

De systemen benutten circa 25 - 35% % van de ingestraalde energie.

Per GJ is ongeveer 0,85 m² nodig bij een vlakke-plaatcollector, of: de productie is 1,17 GJ per m² per jaar.

Een zonnewarmtesysteem van 2,5 m² vlakkeplaatcollector (= 3 GJ) en 100 liter opslagvat kost inclusief installatie en BTW ongeveer €2.800. Als vuistregel geldt dat een zonnewarmtesysteem ongeveer €950 per GJ kost. Vacuümbuiscollectoren zijn ongeveer €250 per GJ duurder. Voor de opslag van warm water kan een opslagvat geïnstalleerd worden, maar dit verhoogt de kosten.

Een opbrengst van 3 GJ vermijdt de inkoop van ongeveer 100 m³ gas. Uitgaande van een gasprijs van 60 cent is het voordeel € 60,-. Het financieel rendement is derhalve ruim 2%. In veel projecten worden subsidies toegepast om de aanschafprijs te verlagen. Gas is per GJ veel goedkoper dan stroom, dit bepaalt het terugverdien verschil met PV. Daar waar de zonnewarmte elektriciteit vervangt, wordt de rekensom gunstiger.

Er zijn systemen waarin PV (elektriciteitsproductie) en warmtebenutting gecombineerd worden. Naast de eenvoudige bovenbeschreven zonneboilers zijn er systemen die de zonnewarmte met spiegels concentreren en daarmee zo'n hitte genereren dat er stoom geproduceerd wordt waarmee een generator wordt aangedreven die stroom produceert. In Spanje staan meerdere van deze systemen die meerdere hectaren groot zijn.⁵

⁵ Zie o.a. <http://www.abengoasolar.com>.

➤ Bio Energie

Bio Energie is eigenlijk ook een vorm van energie uit de zon, het is de energie die opgeslagen is in biomassa. Denk aan het verbranden van hout of organisch afval; het vergisten van mest, oogstresten of bermgras; het gebruiken van biodiesel of ethanol als transportbrandstof of het vergassen van hout. De gebruikte biomassa bevat de energie die is opgeslagen tijdens het leven van het organisme.

Van de totale duurzame energiewaarde (2015) van 118 PJ is 80,2 PJ afkomstig uit biomassa. Daarvan werd 20 PJ opgewekt bij de verbranding van afval, dit bestaat voor ongeveer 50% uit biomassa.

Omdat de aarde veel biologische productiecapaciteit heeft en de geoogste massa weer wordt aangevuld door hergroei noemen we dit duurzame of hernieuwbare grondstoffen. De wijze waarop de grondstof omgezet wordt voor de energiewaarde noemen we de conversietechniek.

➤ Verbranden

De oermens hield zich al in leven met het verbranden van biomassa. Veel van wat de natuur produceert is brandbaar en heeft een hoge energiewaarde.

Tabel 10: Energiewaarde van diverse brandstoffen

	kWh	MJ	
Olie	10 per liter	36 per liter	
Aardgas	8,6 per m ³	31 per m ³	
Hout: geperste pellets of briketten	4,9 per kg	17,6 per kg	
Droog hout (25% vocht)	3,88 per kg	14 kJ per kg	10 GJ/m ³ massief
Hout (30% vocht)	3,5 per kg	12,6 kJ per kg	9 GJ/ m ³ massief
Turf	4,44 per kg	16 kJ per kg	

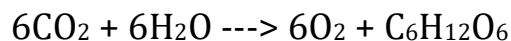
Hout is een belangrijke alternatieve brandstof. Het laat zich makkelijk bewerken en bewaren en heeft een hoge energiewaarde, 2,5-3 kg hout vervangt 1 m³ aardgas. Hout is in veel landen de belangrijkste brandstof voor ruimteverwarming. Dit geldt voor de derde wereldlanden, maar ook in landen als Duitsland, Zweden of Oostenrijk is hout een belangrijke energiebron. Ook in Nederland is hout nooit weggeweest. Volgens recent onderzoek zijn er circa 1 miljoen

houtkachels en openhaarden in particuliere woningen⁶ die samen circa 18 PJ aan energie leveren. De moderne houtstook met geavanceerde ketels en warmtedistributie groeit sterk. Vooral de middelgrote installaties van 250 kW tot 1,5 MW kunnen goed concurreren met aardgas.

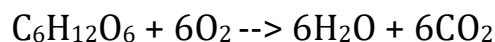
5 Over CO₂

CO₂ bevindt zich onze atmosfeer. Als een plant groeit, verbruikt hij water uit de bodem en CO₂ uit de lucht om suikers te vormen. Bij dit proces is de zon de energieleverancier. Daarbij komt zuurstof (O₂) vrij als bijproduct.

De reactievergelijking is:



Als de plant afsterft en wordt afgebroken verloopt het proces andersom:



Hierbij wordt zuurstof verbruikt en komen water en CO₂ vrij. Dit proces vindt ook plaats in ons lichaam, wij ademen de lucht in, halen daaruit de zuurstof om ons voedsel te verbranden en blazen bij het uitademen de CO₂ uit die vrijkomt bij het verbranden van het voedsel. Een mens ademt ongeveer 800 gram CO₂ per dag uit. (We verbranden ongeveer 600 gram suiker per dag).

Zuurstof is, naast stikstof, ruim aanwezig in de lucht⁷, circa 20% is zuurstof. Van CO₂ is er maar heel weinig: 0,038%. Voor zo'n lage concentratie gebruiken we de eenheid deeltjes per miljoen (parts per million = ppm). Het gehalte stijgt op dit moment met iets minder dan 2 ppm per jaar. Dertig jaar geleden was het nog 335 ppm en voor aanvang van de industriële revolutie was de CO₂ concentratie ongeveer 280 ppm. De CO₂ concentratie bij het meetstation in Hawaï kwam in april 2013 voor het eerst op 400

⁶ Statusoverzicht Houtkachels in Nederland, Ir. J. Koppejan (Procede Biomass BV) Enschede, Oktober 2010

⁷ 78% van de lucht bestaat uit stikstof, dat is 780.000 ppm

ppm.

Dit zijn gemiddelde waarden. In de zomer leggen planten CO₂ vast en omdat het landoppervlak op het noordelijk halfrond veel groter is dan op het zuidelijk halfrond ligt het CO₂ gehalte van de atmosfeer lager wanneer het zomer is op het noordelijk halfrond. In de winter als veel plantenmateriaal wordt afgebroken, ligt het hoger. De jaarlijkse variatie als gevolg hiervan bedraagt circa 7 ppm.

In tuinbouwkassen wordt het CO₂ gehalte kunstmatig verhoogd, bijvoorbeeld door het verbranden van gas, tot circa 600 ppm. Dit versterkt de groei van de planten. In slecht geventileerde ruimtes waarin veel mensen zijn, bijvoorbeeld een kantoor of schoollokaal, loopt het CO₂ gehalte snel op, 2.000 ppm is niet abnormaal in een kantoor of een klaslokaal. Bij een concentratie van 10.000 ppm treedt benauwdheid op.

Voorbeeld: Een kamer van 40 m² bevat ongeveer 100.000 liter lucht, daarin zit 0,038% of 38 liter CO₂ of 75 gram. Een persoon ademt 33 gram per uur uit. Met vier personen in de kamer verdubbelt de hoeveelheid CO₂ dus al in een half uur.

Per jaar produceren Nederlandse bedrijven en huishoudens samen circa 210 megaton (210 miljoen ton) CO₂ door de verbranding van fossiele brandstoffen. Per Nederlander (toegerekend) dus 12 ton, dat is 32 kg per dag. Heel wat meer dan de 1,7 kg huisvuil die de Nederlander dagelijks produceert.

De feitelijke uitstoot per huishouden is circa 8 ton, 22 kg per dag.

Wereldwijd is de uitstoot door fossiel brandstofverbruik circa 25 miljard ton CO₂ (circa 6 miljard ton C), circa 3 ton CO₂ per wereldburger. Het Nederlandse aandeel is 210 miljoen / 25 miljard = 0,84%

Bij de Nederlandse stroomproductie komt 500- 600 gram CO₂ per kWh vrij. Door de stijging van fossielvrije opwekking en de vervanging van inefficiënte centrales door moderne centrales met een hoger rendement zal dat nog verder kunnen dalen. De toename van kolencentrales remt deze vermindering. Kernenergie verlaagt de gemiddelde uitstoot van CO₂. In de jaren '90 lag de CO₂-emissie nog boven de 700 gram per kWh.

6. Over isoleren

Warmtegeleidingscoëfficiënt (U), warmte weerstand (R), thermische geleidbaarheid (λ).

Warmte uit een gebouw gaat verloren door geleiding (conductie), door luchtstromen (convectie) of door straling. Tocht is veel voorkomend, warme lucht verdwijnt door kieren en koude lucht stroomt binnen. Door muren en ramen verdwijnt de warmte door geleiding en straling.

Bij het zoeken naar isolatiemogelijkheden in gebouwen zijn de ruimten met de hoogste temperaturen het belangrijkste. Bij verwarmde ruimtes is het temperatuurverschil tussen binnen en buiten groot, het energieverlies is daar dus ook groot.

De geleiding van warmte door muren en ramen wordt gemeten met de **U waarde** (warmtedoorgangscoefficiënt): dit is de hoeveelheid warmte (energie) die per seconde per m² en per graad temperatuurverschil (tussen binnen en buiten) verloren gaat. Energie per seconde is J/sec en dat is het vermogen (Watt).

De eenheid voor de **U waarde** is **W/m².K**.

Een hoge U-waarde betekent een thermisch slecht isolerende wand, een lage U-waarde betekent een thermisch goed isolerende wand.

Het warmtetransport (of energieverlies) wordt bepaald door de warmteweerstand van de constructie (bv. de muur). De warmteweerstand is afhankelijk van de thermische geleidbaarheid en de dikte van de laag. De warmteweerstand van een laag wordt bepaald met:

$$R = \frac{d}{\lambda}$$

R is de warmteweerstand in m².K/W (dus het omgekeerde van de U waarde).

d de dikte van de laag in m

λ de thermische geleidbaarheid in W/(m.K) van het materiaal van de laag.

De thermische geleidbaarheid λ van een materiaal kan opgezocht worden in tabellen met de eigenschappen van diverse materialen.

Voorbeeld: Een buitenmuur is opgebouwd uit de volgende lagen:

Laag 1: Verdicht gewapend beton, $\lambda = 2,38 \text{ W/m.K}$, dikte = 0,09 m

Laag 2: Isolatie, $\lambda = 0,0326 \text{ W/m.K}$, dikte = 0,045 m

Laag 3: Licht beton, $\lambda = 0,89 \text{ W/m.K}$, dikte = 0,15 m

De warmteweerstand van elke laag is dan:

$$\text{Laag 1: } R_1 = \frac{0,09}{2,38} = 0,0378$$

$$\text{Laag 2: } R_2 = \frac{0,045}{0,0326} = 1,3804$$

$$\text{Laag 3: } R_3 = \frac{0,15}{0,89} = 0,1685$$

Aan elke zijde van de wand blijft een dun luchtlaagje plakken. De dikte en daarmee de warmteweerstand van dit luchtlaagje is afhankelijk van de omstandigheden. Voor de buitenzijde van een wand (buitenzijde buitenmuur) wordt als rekenwaarde de waarde $0,04 \text{ m}^2.\text{K/W}$ gebruikt en voor de binnenzijde van een wand een waarde van $0,13 \text{ m}^2.\text{K/W}$.

Hiermee kunnen we de totale warmteweerstand van de constructie (R_c) berekenen.

$$R_c = 0,13 + 0,0378 + 1,3804 + 0,1685 + 0,04 = 1,757$$

Merk op dat de isolatielaag (1,3804) voor bijna 80% bepalend is voor de R_c waarde.

De U-waarde van de muur is dan:

$$U = \frac{1}{1,757} = 0,57$$

Per m^2 muur gaat dus 0,57 J per seconde verloren voor elke graad temperatuurverschil. Een buitenmuur in een woonkamer van 30 m^2 verliest op een koude dag (15 graden verschil) per dag:

$$0,57 * 30 * 15 * 3600 * 24 = 22 \text{ MJ, dat is } 0,7 \text{ m}^3 \text{ gas per dag.}$$

Per 1 januari 2015 gelden de volgende minimale Rc-waarden voor nieuwbouw:

- Vloeren $R_c \geq 3,5 \text{ m}^2 \text{ K/W}$
- Gevels $R_c \geq 4,5 \text{ m}^2 \text{ K/W}$
- Daken $R_c \geq 6,0 \text{ m}^2 \text{ K/W}$

Voor onze voorbeeldmuur met de Rc van 1,757 moet de isolatielaag drie keer zo dik zijn om deze 2015 norm te halen.

Vensters zijn zwakke plekken. Modern dubbelglas heeft een lage U waarde.

- Enkel glas: $5,7 \text{ W/m}^2\text{K}$ ($R=0,175$)
- Dubbel glas: $3 \text{ W/m}^2\text{K}$ (afhankelijk van spouw en dikte glasplaten) ($R=0,33$)
- HR glas: $1,6 - 2,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ ($R=0,625 - 0,5$)
- HR+ glas: $1,2 - 1,6 \text{ W/m}^2\text{K}$ ($R=0,833 - 0,625$)
- HR++ glas: minder dan $1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$ ($R=0,833$)

Isoleren vermindert niet alleen het energieverbruik en de kosten, maar verhoogt ook het wooncomfort. Het ventileren van de woonruimte mag echter niet vergeten worden. De norm is 0,9 liter per seconde per m^2 vloer. Dus voor een kamer van 40 m^2 moet per uur worden geventileerd: $0,9 * 40 * 3600 = 130 \text{ m}^3$.

Een moderne Warmte Terugwinningventilatie (WTW) haalt op stand 1 circa 120 m^3 per uur.

6.1 Regels en normen voor gebouwen

Vanuit de EU is er al langere tijd een eis om gebouwen te certificeren, de Energy Performance of Buildings Directive - EPBD (EU-richtlijn 2002/91/EG). Deze richtlijn werd in 2010 herzien, in Nederland werd dit verwerkt in het Besluit energieprestatie gebouwen (BEG), de Regeling energieprestatie gebouwen (REG) en het Activiteitenbesluit.

Woningeigenaren moeten bij verkoop van de woning sinds 1 januari 2008 hun woning voorzien van een energieprestatiecertificaat. Dit certificaat, later ook wel als energielabel aangeduid is gebaseerd op een inspectie van de woning. Het label is vernieuwd in 2010 (van G

tot A). Hoewel het energielabel bij verkoop of verhuur verplicht was ontbrak het aan sancties. De Europese Commissie is hierom in 2012 een juridische procedure gestart tegen Nederland. De Minister voor Wonen en Rijksdienst heeft begin 2015 een vereenvoudigd label ingevoerd, waarbij wel sanctiemogelijkheden zijn. Ontbreekt een definitief label bij verkoop of verhuur, dan riskeert de aanbieder een boete van maximaal €405,- (voor particulieren).

Alle woningen zonder label hebben in het kader van het vereenvoudigde systeem eind 2014 een voorlopig label toegewezen gekregen, wat echter geen formele status heeft. Hierover is de EU ook niet tevreden....

Voor de oudere woningen (20% van de 7 miljoen woningen is van voor '45) zijn moeilijk naar een hoger label te brengen.



Colofon en disclaimer.

Deze tekst is opgesteld door Frans Debets ter ondersteuning van de workshop Rekenen met Energie voor Heide Bes op 15 februari 2017.

Frans Debets
Debets b.v.
www.debetsbv.nl
06 51097936