

An iceberg floating in the ocean. The visible tip is small and jagged, while the vast, submerged part is hidden below the surface. The sky is blue with light clouds, and the water is a deep blue.

DE REKENING VOORBIJ

*ons energieverbruik voor
85% onzichtbaar*

DE REKENING VOORBIJ

*ons energieverbruik voor
85% onzichtbaar*

Een uitgave van de Stuurgroep Energie van het
Koninklijk Instituut Van Ingenieurs (KIVI)



voorwoord

Wanneer precies de maatschappelijke discussie over de energievoorziening is begonnen, is op zich al een kwestie van discussie. Was het in 1973 ten tijde van de eerste oliecrisis? Of was het tien jaar later toen zalen en achterkamers in Nederland het toneel vormden van de Brede Maatschappelijke Discussie? Of was het nog eens tien jaar later toen het Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) zijn eerste rapport uitbracht?

Hoe het ook zij, de maatschappelijke discussie over energie duurt al gauw een generatie. Met dit boekje wil het Koninklijk Instituut Van Ingenieurs KIVI NIRIA antwoord geven op een aantal vragen. Hoeveel energie gebruiken we eigenlijk? En wat zijn de mogelijkheden en beperkingen om daar met fossiele c.q. duurzame bronnen in te voorzien?

Bij het antwoord op die vragen hebben we ons laten inspireren door het boek van David Mackay 'Sustainable energy without the hot air'. Op basis daarvan heeft Chris Hellinga van de TU Delft indertijd een 'quick scan' voor Nederland gemaakt, die weer als basis voor dit boekje dient. Gezien de aard van het onderwerp en het doel van het boekje is het gebruik van getallen onvermijdelijk. Veel getallen zelfs. Even slikken misschien voor sommige mensen, maar het zet

de wensen en meningen die in het debat worden geuit wel in perspectief.

In het eerste deel schetsen we de huidige energiebehoefte en de wijze waarop daarin wordt voorzien met diverse energiedragers. Startpunt is het gemeten energiegebruik van een gemiddeld gezin, dat, zoals we zullen zien, slechts het topje van de ijsberg blijkt te zijn.

In het tweede deel schatten we de behoefte in 2050 en gaan we na wat de gevolgen zijn als we alleen fossiele of alleen duurzame bronnen (biomassa, wind, zon) gebruiken om in die behoefte te voorzien.

Twee extreme – en daarmee zeer onwaarschijnlijke – scenario's, maar ze maken wel duidelijk welke uitdagingen ons te wachten staan.

In het derde en laatste deel gaan we in op de mogelijke aanpassingen en veranderingen van het systeem, die nodig zijn om die uitdagingen het hoofd te bieden.

Ir. Kees de Groot,
voorzitter van de Stuurgroep Energie van
het Koninklijk Instituut Van Ingenieurs

‘De rekening voorbij; ons energieverbruik voor 85% onzichtbaar’
is een uitgave van het Koninklijk Instituut Van Ingenieurs, Den Haag.

tekst > Joost van Kasteren, Voorburg
figuren > Jacqueline Elich, Amsterdam
vormgeving > Odette Koldewey, Amsterdam
adviezen > Chris Hellinga, Delft; Ineke Bonenschansker, Delft
foto omslag > Tip of the iceberg ©iStockphoto.com/paulkline

Disclaimer

De in dit boekje getoonde informatie is door KIVI en de auteur met zorg samengesteld, doch voor de juistheid en volledigheid daarvan kan niet worden ingestaan. KIVI verstrekt door middel van dit boekje louter informatie over producten en diensten van derden. KIVI en de auteur kunnen niet verantwoordelijk worden gesteld voor eventuele fouten, onjuistheden en onvolledigheden voortkomend, uit het gebruik van de in dit boekje opgenomen informatie. Derhalve ziet KIVI af van welke aansprakelijkheid dan ook, binnen de grenzen van de Nederlandse wet.

Copyright

De uitgever heeft getracht de rechten met betrekking tot de illustraties volgens de wettelijke bepalingen te regelen. Zij die desondanks menen zekere rechten te kunnen doen gelden, kunnen zich alsnog tot de uitgever wenden.

© KIVI, Den Haag 2014

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere wijze, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

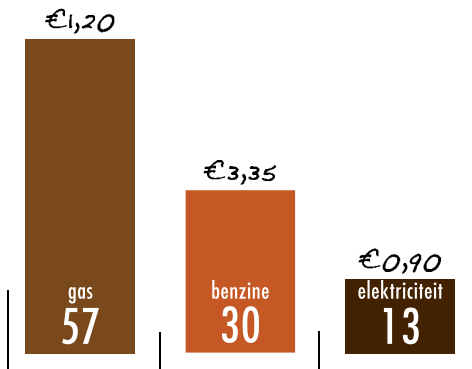
Koninklijk Instituut Van Ingenieurs
Prinsessegracht 23
Postbus 30424
2500 GK Den Haag
070 391 98 00
info@kivi.nl
www.kivi.nl

Mede mogelijk gemaakt door 

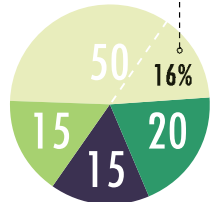
DE IJSBERG	07
Intermezzo I, Eenheden	12
DE DRAGERS	15
Intermezzo II, Autoritje	18
DE ENE DRAGER IS DE ANDERE NIET	21
Intermezzo III, Hoofdwetten	28
TOEKOMSTIG ENERGIEGEBRUIK	30
FOSSIEL VERSUS HERNIEUWBAAR	35
GEVOLGEN FOSSIEL	40
GEVOLGEN HERNIEUWBAAR	43
SYSTEEMAANPASSINGEN	50
SYSTEEMVERANDERINGEN	53

ENERGIEGEBRUIK PER NEDERLANDER

Het geregistreerde energiegebruik (waarvoor je een rekening krijgt) is 27 kWh per persoon per dag en is slechts 16 procent van het totale energieverbruik per persoon (193 kWh).



Het geregistreerde energiegebruik bestaat voor meer dan de helft uit gas (57 procent), voor 30 procent uit benzine en voor 13 procent uit elektriciteit. Per dag kost het geregistreerde energiegebruik ons 3,39 euro. Het meeste gaat op aan benzine (1,65 euro). Gas kost ons per persoon 92 cent en elektriciteit 82 cent.



193 kWh per dag

- conversie verliezen
- internationaal transport
- energie afnemers
- grondstoffen

Het totale energiegebruik (inclusief geregistreerd gebruik) is 193 kWh per persoon per dag. Daarvan wordt de helft nuttig gebruikt binnen Nederland in de vorm van elektriciteit, warmte en transportbrandstof. De andere helft is bestemd voor internationaal transport (20%), als grondstof voor de chemische industrie (15%) of gaat verloren door omzetting van brandstof in elektriciteit voor binnenlands gebruik (15%).

- Per kilowattuur (kWh) betaal je het meest voor elektriciteit (22,5 cent). Gas kost omgerekend een kleine 7 cent per kWh en benzine ruim 17 cent. Allemaal inclusief belasting.
- Dus je bent een stuk goedkoper uit als je een CV-ketel zou hebben die ook elektriciteit maakt. Zijn die er?
- Ja, dat heet microwarmtekracht. Maar die zogeheten HRe-ketels zijn nog meer dan tien keer zo duur als een HR-ketel.

DE IJSBERG

Een beetje rare vergelijking misschien, maar ons energiegebruik heeft wel wat weg van een ijsberg. Het grootste deel van zo'n drijvende ijsklomp (85 procent) bevindt zich onder water. Je ziet het niet.

Hetzelfde geldt voor ons energiegebruik. Slechts een klein deel daarvan zien we terug op de afrekening van het energiebedrijf en de bonnetjes van de pomp. De rest – ook ongeveer 85 procent – blijft voor ons onzichtbaar.

familie Modaal

Laten we eens kijken naar de energierekening van de familie Modaal. Niemand kent die familie, want het is een gemiddeld gezin en niemand is gemiddeld, gelukkig. Maar zo'n familie is wel handig om mee te rekenen. Laten we aannemen dat de familie bestaat uit drie personen.

Samen gebruiken ze ongeveer 4000 kWh (kilowattuur) aan elektriciteit. Een groot deel daarvan is bestemd voor de wasmachine en de droger en voor de vaatwasser, maar ook computers, mobieltjes, televisies, en (spaar) lampen vragen stroom.

Bij een kWh-prijs van 22,5 cent bedragen de kosten 900 euro per jaar. Zeventig procent daarvan bestaat overigens uit energiebelasting en BTW.

Op de jaarlijkse afrekening van het energiebedrijf staat ook 1500 kubieke meter aardgas per huishouden. Voor het overgrote deel worden die kubieke meters gebruikt om het huis in de winter warm te houden. Een klein deel wordt gebruikt voor douchen en koken.

Bij een gasprijs van 67 cent per kubieke meter bedragen de jaarlijkse kosten 1005 euro. Daarvan is iets minder dan de helft (45 procent) belasting in de vorm van energiebelasting en BTW.

tweedehands auto

Onze familie Modaal beschikt ook over een leuke tweedehands auto van vijf jaar oud. Het brandstofgebruik is 1 op 12,5. Hoger dan in de folder, maar dat komt omdat ze meestal kleine stukjes rijden. Bij 13.000 kilometer per jaar kost hen dat ongeveer 1050 liter benzine.

Bij een literprijs van 1,77 euro (prijsniveau januari 2012, Euro 95) betalen ze daarvoor jaarlijks 1808 euro, waarvan bijna zestig procent aan accijns en BTW.

De optelsom van elektriciteit, gas en brandstof geeft het daadwerkelijk gemeten energiegebruik van de familie Modaal. Omdat je appels en peren niet bij elkaar mag optellen, moeten we de verschillende energiedragers omzetten naar één

maat. In dit geval gebruiken we daarvoor de hoeveelheid kilowattuur (kWh) per persoon (zie Intermezzo 1).

top van de ijsberg

Het elektriciteitsgebruik is makkelijk, voor drie personen komt dat neer op 1333 kWh per persoon per jaar. Een kubieke meter gas komt – ongeveer – overeen met 10 kWh. Per persoon is het gebruik 500 kubieke meter per jaar, ofwel ruim 5000 kWh. Dat is – tussen haakjes – bijna vijf keer zoveel als elk gezinslid aan elektriciteit gebruikt.

Een liter benzine tenslotte heeft eveneens een energie-inhoud van ongeveer 10 kWh. Bij een gebruik van 1050 liter per jaar voor het hele gezin, komt dat neer op 350 liter per persoon ofwel 3500 kWh.

Alles bij elkaar opgeteld gebruikt elk gezinslid 9.833 kWh per jaar. Per dag is dat 27 kWh per persoon. Let wel; dat is het geregistreerde energiegebruik, de top van de ijsberg (figuur 1).

wat zit er onder water?

Om de rest van de ijsberg uit te rekenen beginnen we helemaal aan de andere kant. Niet bij het energiegebruik van de familie Modaal, maar bij

dat van heel Nederland. Niet van een persoon dus, maar van 16,4 miljoen personen.

Uit de gegevens van het Centraal Bureau voor de Statistiek blijkt dat we met zijn allen jaarlijks ruim 1150 TWh (terawattuur) aan energie gebruiken in verschillende vormen, voornamelijk aardgas, aardolie en steenkool. Een TWh is een miljard kWh.

meer dan je ziet

Verdeeld over 16,4 miljoen mensen en 365 dagen komt dat neer op een kleine 193 kWh per persoon per dag, ofwel 70.000 kWh per persoon per jaar. Dat is dus ruim zes maal de hoeveelheid geregistreerde energie die ons in rekening wordt gebracht door het energiebedrijf en aan de pomp.

Uiteindelijk komt die 'energie' ook ons huishouden in, maar dan in de vorm van apparaten, voedsel, verpakkingen en allerlei andere vormen. Ook de energie die de bus gebruikt om dochter Modaal dagelijks naar school te vervoeren zit verstopt in het onzichtbare deel van de ijsberg.

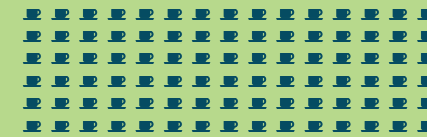
Een TWh is een miljard kWh.

EENHEDEN

Energie meten we officieel in Joules, maar in dit boekje houden we het bij watt en kilowatt. Niet helemaal correct, want een watt – zoals gedefinieerd door zijn naamgever James Watt – ja, diezelfde als van de stoommachine – is de eenheid voor vermogen. 1 Watt is 1 Joule per seconde. Voor verbruik rekenen we in (kilo)wattuur (kWh).

Een kilowatt-uur (kWh) is gelijk aan:

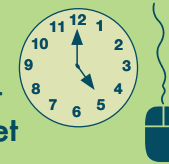
90 kopjes koffie zetten



1 verjaardags
taart
bakken



5 uur
surfen
op het
internet



3 keer
je haar
föhnen



-  Ik weet er nog een: 193 kWh per dag zijn 80 gloeilampen van 100 watt die continu branden.
-  Met diezelfde hoeveelheid energie kun je 300 kilometer autorijden.
-  Kun je niet beter fietsen? Nog gezonder ook.
-  Ja, maar 300 kilometer is wel een beetje ver. Meer iets voor wielrenners.

EENHEDEN

In de energiewereld worden nogal veel verschillende eenheden gebruikt om hoeveelheden energie aan te geven. In het eerste hoofdstuk hebben we aardgas en benzine teruggerekend naar kWh (kilowattuur).

Lampen

Een kilowattuur is de energie die nodig is om tien gloeilampen van 100 watt een uur te laten branden. Een bonte was doen kost ongeveer 4,5 kWh; een witte was (hogere temperatuur) ongeveer 6 kWh.

Officieel is de kWh niet bedoeld als algemene eenheid van energie. Het is een maat voor het vermogen, dat wil zeggen de hoeveelheid energie die een installatie per seconde levert of gebruikt. Vermogen wordt uitgedrukt in Watt, kilowatt (kW, 1000 Watt) of megawatt (MW, miljoen Watt).

De officiële eenheid voor energie is de Joule, het product van vermogen en tijd (in seconden). 1 Watt is gelijk aan 1 Joule per seconde. en 1 kWh komt dus overeen met 3.600.000 Joule ofwel 3,6 megajoule.

Het Nederlandse energiegebruik van 1151 TWh per

jaar vraagt dus 4144 PJ aan energie (petajoule; peta is 10¹⁵, een 10 met 15 nullen ofwel een biljard).

volkorenbrood

In de warmteleer (en in de voeding) komen we daarnaast nog de eenheid Calorie (Cal) of kilocalorie (kcal) tegen. Ook die is terug te rekenen naar Joule. Een Calorie is 4,19 Joule.

De energie-inhoud van een volkorenbrood van 800 gram is 2000 kcal ofwel bijna 8400 kJ. Dat is ruim 2,4 kWh. Die 2000 kcal is ook ongeveer de dagelijkse energiebehoefte van een vrouw. Voor een man is dat ongeveer 2300 kcal per dag.

arbeid

Als energiecentrale is de mens niet bijster efficiënt. Viervijfde van de dagelijks opgenomen energie is nodig om het lichaam in stand te houden. Voor het leveren van arbeid (ook een wandelingetje is arbeid in dit verband) resteert een vijfde.

*Een kWh = 3,6
megajoule*

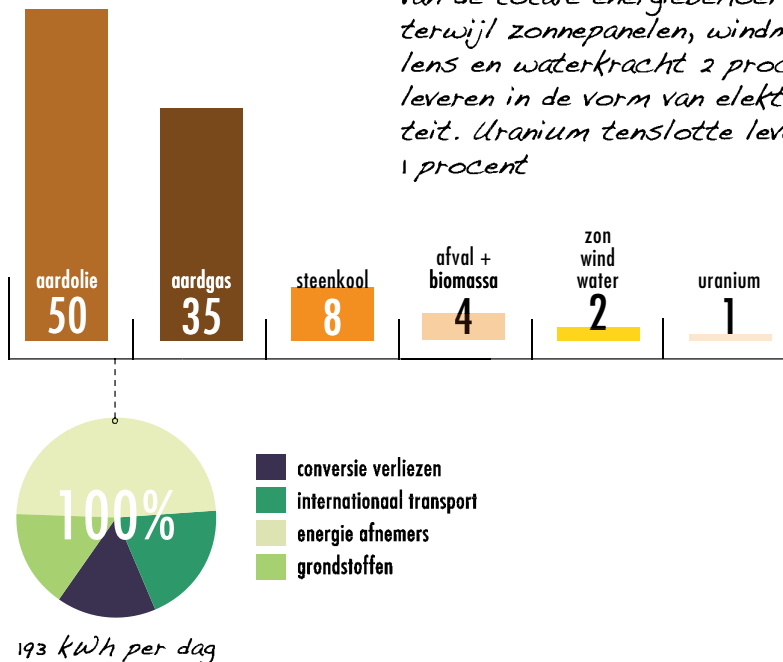
*Een Calorie
= 4,19 Joule*

ENERGIEDRAGERS

De totale hoeveelheid energie - dus inclusief verliezen, grondstoffen en internationaal transport - wordt voor 50 procent geleverd door aardolie en voor 35 procent door aardgas.

Steenkool, dat vrijwel alleen wordt gebruikt voor het maken van elektriciteit (en staal), levert 8 procent van alle energie.

Het verbranden van afval en biomassa voorziet in 4 procent van de totale energiebehoefte, terwijl zonnepanelen, windmolens en waterkracht 2 procent leveren in de vorm van elektriciteit. Uranium tenslotte levert 1 procent



Als alle gezinnen hun eigen elektriciteit opwekken (4000 kWh per jaar) met zonnepanelen of windturbines, dan wordt 2 procent van de totale energiebehoefte gedekt.

Geen zonnepanelen op mijn dak dan maar?

Jawel hoor. Het is erg leuk om de meter te zien teruglopen op een zonnige dag.

En je bespaart een hoop op je elektriciteitsrekening.

DE DRAGERS

De hele 'ijsberg' uit het vorige hoofdstuk is de hoeveelheid energie die alle Nederlanders met elkaar in een jaar gebruiken. Nu is energie een tamelijk abstract begrip; je kan het niet op je tenen laten vallen. Aan de andere kant is het overigens ook weer niet zo abstract dat je je er niet aan kunt branden of dat je er niet door geëlectrocuteerd kunt worden.

grondstoffen

Hoe dan ook, in discussies en berekeningen gaat het dan ook meestal over de 'grondstoffen' die de energie leveren: de energiedragers. In volgorde van belangrijkheid zijn dat voor Nederland (figuur 3): aardolie, aardgas en steenkool. Bij elkaar vormen ze meer dan negentig procent van alle energiedragers. De restposten zijn biomassa en afval, elektriciteit en warmte uit stromingsbronnen (zon, wind en buitenlandse waterkracht) en uranium voor onze enige kerncentrale in Borssele.

Ongeveer tweederde van de energiedragers is bestemd voor binnenlands gebruik in de vorm van elektriciteit, warmte en transport. We komen daar zo op terug. Van de resterende een derde wordt ongeveer de helft gebruikt als grondstof in de chemische industrie, onder meer voor het maken van kunstmest en plastics.

De andere helft wordt ook gebruikt als transport-brandstof, maar dan voor de internationale luchtvaart en scheepvaart. Nederland Transportland is dus geen loze kreet. Omdat we ook profiteren van de internationale luchtvaart en scheepvaart, nemen we die enorme plas aan kerosine en bunkerolie ook mee in ons totale gebruik (figuur 4). Daar staat tegenover dat we de energie die nodig is voor het maken van goederen die van elders worden geïmporteerd niet meerekenen. Voor onze berekeningen strepen we beide posten tegen elkaar weg.

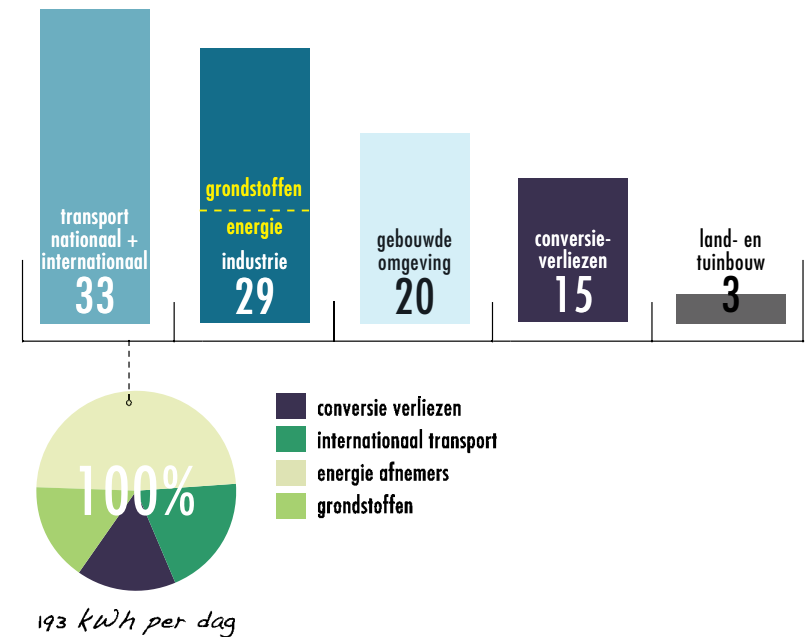
omzettingsverliezen

Van het totaal aan energiedragers gaat ongeveer vijftien procent verloren bij de omzetting van aardgas en steenkool in elektriciteit. Het rendement van die omzetting ligt rond de vijftig procent. Dat wil zeggen dat van de 100 kWh energie-inhoud van aardgas of steenkool er 50 worden omgezet in elektriciteit.

De zogeheten conversieverliezen – de andere 50 kWh- bestaan vooral uit warmte. De jaarlijkse hoeveelheid komt overeen met ongeveer 15 miljard kubieke meter aardgas, ofwel anderhalf maal zoveel als nodig is voor het verwarmen van de 7 miljoen woningen in Nederland. Een klein deel van die warmte wordt gebruikt voor het verwarmen van woningen en gebouwen

ENERGIEBERUIK PER SECTOR

Van de 193 kWh per persoon per dag wordt 3 procent gebruikt in de land- en tuinbouw, 20 procent in de gebouwde omgeving. De industrie neemt 29 procent voor zijn rekening, waarvan iets meer dan de helft (53 procent) in de vorm van grondstoffen. Transport vraagt 33 procent, verdeeld over nationaal (40 procent) en internationaal transport (60 procent). 15 Procent van de totale hoeveelheid aangevoerde energie gaat verloren in de vorm van warmte.



- Veel warmteverlies bij opwekken elektriciteit. Een kwart van de binnenlandse vraag. Kan dat niet beter?
- Ja hoor, stadsverwarming. In Zweden is de helft van alle huizen aangesloten op stadsverwarming; de rest ligt te ver weg.

AUTORITJE

We kunnen het energiegebruik ook anders laten zien. Zoals gezegd, gebruikt iedere Nederlander, jong en oud, gemiddeld 193 kWh per dag. Die hoeveelheid energie komt overeen met een autorit van 300 kilometer per dag.

Laten we aannemen dat onze auto een taxi is met verschillende passagiers die omstebeurt een stukje meerijden.

Degene die het kortste meerijdt, 10 kilometer, is de land- en tuinbouw. De volgende passagier is het nationale transport met 38 kilometer, gevolgd door het internationaal transport dat 60 kilometer blijft zitten.

De gebouwde omgeving maakt een respectabele rit van 61 kilometer, maar de sector die het langst in de taxi zit, is de industrie met maar liefst 86 kilometer. Daarvan is 41 kilometer energie en 45 kilometer grondstoffen.

De resterende 45 kilometer rijdt de taxi helaas leeg rond; dat zijn de omzettingsverliezen.

via stadsverwarming. Het overgrote deel gaat verloren aan het verwarmen van de buitenlucht en vooral van onze rivieren – via koelwater. In een warme zomer met weinig water in de rivieren, moet soms de lozing van koelwater worden gestopt omdat anders het water in de rivier te warm wordt. Maar dat terzijde.

afnemers

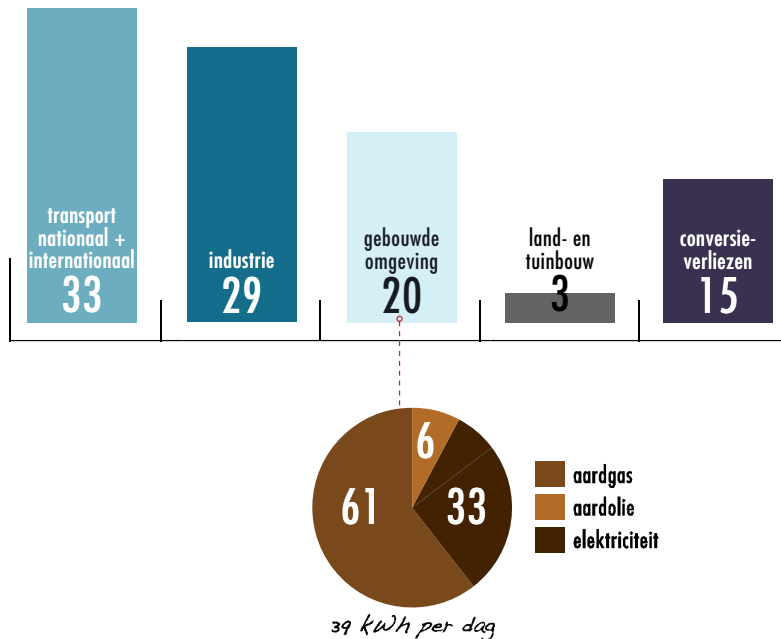
Als we die conversieverliezen even buiten beschouwing laten, is de grootste afnemer het vervoer (van goederen en personen), gevolgd door de industrie en de gebouwde omgeving. De twee laatstgenoemde zijn goed voor respectievelijk dertig en twintig procent van het gebruik. De land- en tuinbouw (vooral de glastuinbouw) is de kleinste afnemer.



De zogeheten
conversieverliezen (=50%)
bestaan vooral uit
warmte.

ENERGIEGEBRUIK GEBOUWDE OMGEVING

De energie in de gebouwde omgeving wordt voor het overgrote deel geleverd door aardgas voor verwarming (61 procent). Elektriciteit is goed voor een derde (33 procent), terwijl zes procent wordt geleverd door andere bronnen, zoals aardolie en restwarmte.



DE ENE DRAGER IS DE ANDERE NIET

Tijdens het intermezzo in de taxi hebben we vooral gekeken naar de behoefte aan energie als zodanig. Dat is maar een deel van het verhaal.

Weliswaar kun je alle energiedragers herleiden naar de hoeveelheid energie die ze bevatten in kWh, maar in de praktijk branden onze lampen en draaien onze apparaten toch vooral op elektriciteit; rijden onze auto's voornamelijk op benzine en diesel – en een beetje LPG – en verwarmen we onze huizen en gebouwen vooral met aardgas.

gebouwde omgeving

Om met het laatste te beginnen; twintig procent van de energiedragers wordt ingezet voor de gebouwde omgeving, dat wil zeggen woningen en kantoor- en fabrieksgebouwen (figuur 5).

Ruim zestig procent daarvan wordt geleverd door aardgas, dat wordt gebruikt voor verwarming, warm water en om op te koken – hoewel er ook steeds vaker elektrisch wordt gekookt en gestookt.

Elektriciteit voorziet in een derde van het energieverbruik van de gebouwde omgeving, met name voor verlichting, voor apparaten en – zoals gezegd – ook steeds vaker om op te koken.

Tot slot wordt er (steeds vaker) restwarmte van bijvoorbeeld elektriciteitscentrales gebruikt voor verwarming en warmwatervoorziening en leveren ook olie- en houtkachels c.q. de open haard nog een bescheiden bijdrage aan de energievoorziening van de gebouwde omgeving.

vervoer

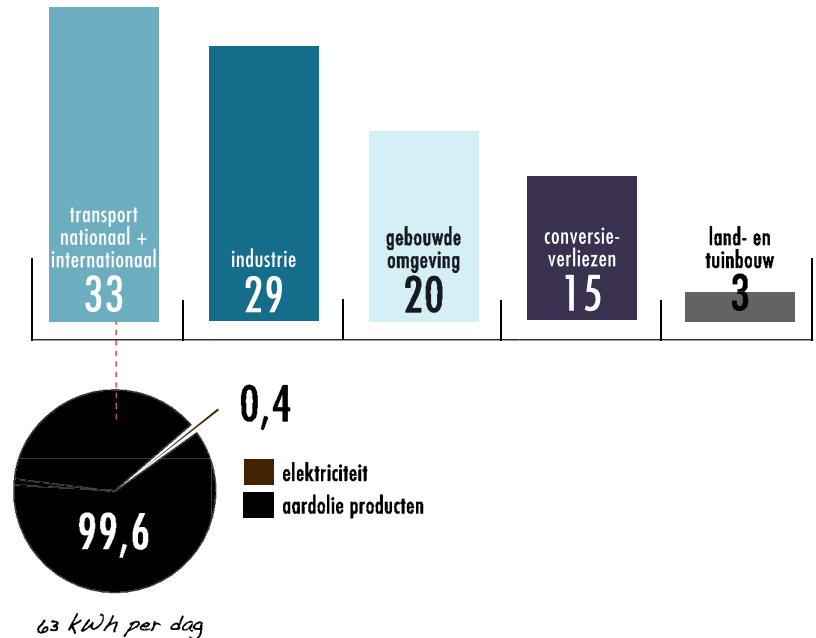
Met ruim dertig procent van het totaal is vervoer (nationaal + internationaal) de grootste energiegebruiker (figuur 6). Het overgrote deel van die energie wordt geleverd door aardolieproducten, zoals benzine, dieselolie, LPG, kerosine en stookolie.

Er zijn hier en daar bussen en auto's die op aardgas rijden, maar dat is (nog) verwaarloosbaar. De elektriciteit die nodig is voor treinen, trams en de enkele elektrische auto of hybride is eveneens verwaarloosbaar met 1 procent van de binnenlandse energievraag, 0,4 procent van de totale energievraag.

Overigens gebeurt 26 procent van de verplaatsingen in Nederland te voet of met de fiets. Dat is goed voor ruim 7 procent van alle afgelegde kilometers, ofwel jaarlijks 14 miljard kilometer (het totaal aantal afgelegde kilometers is 200 miljard). De energie die daarvoor nodig is, via onze boterham met (pinda-) kaas, indirect afkomstig van de zon.

ENERGIEGEBRUIK TRANSPORT

Transport, nationaal en internationaal, is veruit de grootste energievrager met 33 procent van het totale verbruik. Verreweg het grootste deel (99,6 procent) is aardolie. Elektriciteit voorziet in 0,4 procent.

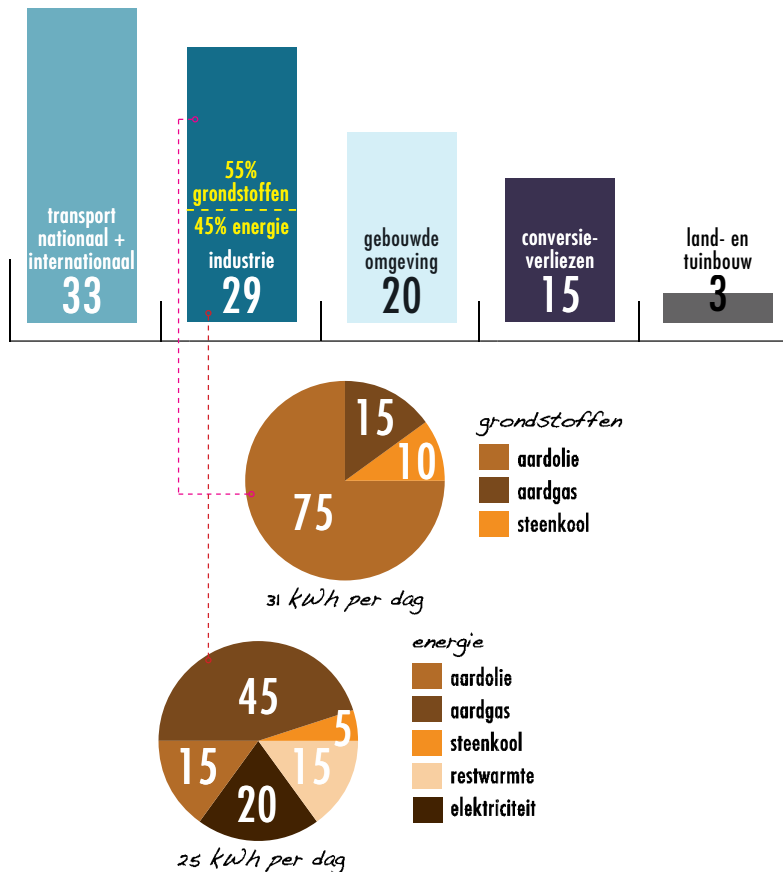


GEBRUIK INDUSTRIE

In de industrie worden energiedragers voor 55 procent gebruikt als grondstof en voor 45 procent voor energievoorziening.

De grondstoffen bestaan voor driekwart uit aardolie en voor 15 procent uit aardgas. De resterende 10 procent is steenkool.

In de energiebehoefte van de industrie wordt voor 45 procent voorzien met aardgas en voor 20 procent met elektriciteit. Aardolie en restwarmte voorzien beide voor 15 procent in de behoefte en steenkool sluit de rij met 5 procent.



industrie

De vervoerssector wordt, wat energiegebruik betreft, op de voet gevolgd door de industrie, die 29 procent van de geleverde energiedragers afneemt. Voor iets meer dan de helft worden ze gebruikt als grondstof en voor iets minder dan de helft voor de productie van energie (figuur 7).

De belangrijkste grondstof is aardolie voor de petrochemische industrie. Daar worden onder meer plastics van gemaakt, maar ook een hele hoop andere stoffen. Aardgas als grondstof is vooral belangrijk voor de productie van kunstmest, waterstof en methanol. Steenkool tenslotte was vroeger ook een belangrijke grondstof voor de chemische industrie, maar wordt nu eigenlijk alleen nog maar gebruikt voor de productie van ijzer en staal (en norit).

samenvattend

Van de voornaamste energiedragers gebruiken we aardolie vooral voor transport en voor ongeveer een kwart als grondstof voor de chemische industrie, met name voor de productie van plastics.

Aardgas gebruiken we voor ongeveer de helft voor verwarming, terwijl ruim een kwart wordt gebruikt voor het opwekken van elektriciteit.

Het restant wordt gebruikt als grondstof voor de chemische industrie.

Steenkool tenslotte gebruiken we vooral voor het opwekken van elektriciteit en nauwelijks meer als grondstof.

De andere energiedragers (zon, wind, biomassa, kernenergie) worden vooral gebruikt voor het opwekken van elektriciteit. Biomassa wordt ook als grondstof gebruikt voor de chemische en farmaceutische industrie en een beetje als transportbrandstof in de vorm van ethanol.

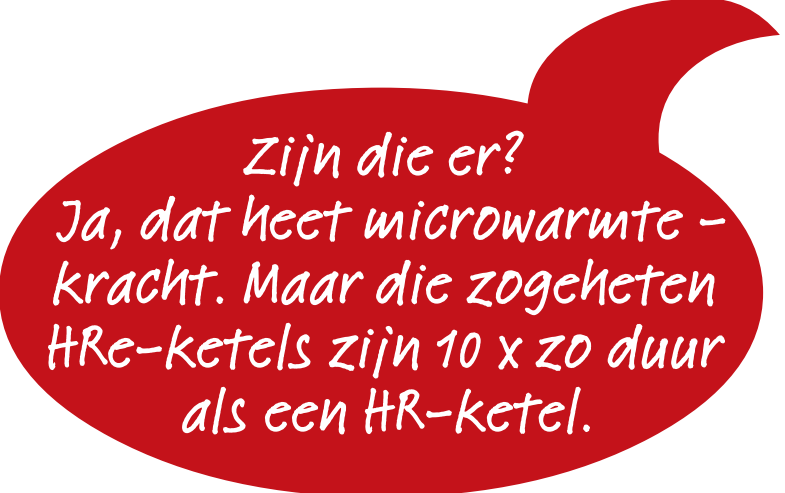
Het overgrote deel van de biomassa wordt gebruikt als voedingsmiddel. Ook een energiebron natuurlijk, maar daar gaat dit verhaal niet over.

Wat verder opvalt aan ons energiegebruik is, dat we een hoogwaardige energiebron, zoals aardgas voor een belangrijk deel 'verspillen' (zie Intermezzo III) door er laagwaardige warmte van te maken voor onze woningen en gebouwen en voor de glastuinbouw.

Sommige tuinders bestrijden die verspilling door het aardgas eerst te gebruiken voor de productie van elektriciteit (warmtekrachtkoppeling), maar in woningen en gebouwen gebeurt dat niet of nauwelijks.



Je bent een stuk goedkoper uit als je een CV-ketel zou hebben die ook elektriciteit maakt.



*Zijn die er?
Ja, dat heet microwarmte -
kracht. Maar die zogeheten
HRe-ketels zijn 10 x zo duur
als een HR-ketel.*

DE HOOFDWETTEN

Als we het over energie hebben moeten we altijd rekening houden met de eerste en de tweede hoofdwet. Samen vormen ze de grondwet voor de thermodynamica. Anders dan onze Grondwet kunnen ze echter niet met tweederde meerderheid van stemmen worden veranderd.

De eerste hoofdwet is de wet van behoud van energie. Anders gezegd: er gaat nooit energie verloren; energie wordt alleen omgezet van de ene in de andere vorm.

Die eerste hoofdwet heeft honderden, misschien wel duizenden knutselaars geïnspireerd om op zoek te gaan naar een 'perpetuum mobile'; een apparaat dat eenmaal in beweging gezet, blijft bewegen en zo energie opwekt uit niets.

Hoewel sommige constructies buitengewoon ingenieus zijn, blijkt bij nadere analyse dat er altijd een externe energiebron aanwezig is. Het perpetuum mobile is per definitie onbestaanbaar. Helaas!

Dat heeft te maken met de tweede hoofdwet. Die luidt dat de kwantiteit, de hoeveelheid energie (en massa, weten we sinds Einstein), weliswaar gelijk

blijft, maar dat de kwaliteit afneemt. De hoeveelheid bruikbare energie neemt af en de hoeveelheid onbruikbare energie neemt toe.

Een schoolvoorbeeld is de auto. Van de energie-inhoud van een liter benzine, ongeveer 10 kWh wordt slechts 15 procent daadwerkelijk omgezet in beweging. De resterende 8,5 kWh aan energie-inhoud, waarvoor je toch al gauw 1,40 euro hebt betaald, verdwijnt voor een relatief klein deel als wrijvingswarmte van zuigers, assen en lagers.

Het overgrote deel van de energie verdwijnt echter als gevolg van de tweede hoofdwet. In de verbrandingsmotor zelf wordt chemische energie omgezet in warmte van (zeer) hoge temperatuur. Zo'n verbrandingsmotor heet daarom ook wel een explosiemotor.

Op zijn beurt wordt een deel van die hoogwaardige warmte omgezet in 'arbeid', ofwel de beweging van de zuiger en daarmee van de nokkenas en de rest van de 'trein' tot en met de voor- of achterwielen. Of alle vier de wielen, natuurlijk.

De resterende warmte van hoge temperatuur verdwijnt grotendeels naar de buitenlucht.

TOEKOMSTIG ENERGIEVERBRUIK

Elke Nederlander gebruikt 193 kWh aan energie, die voor het overgrote deel afkomstig is van energiedragers zoals aardolie, aardgas en steenkool. Van die energiedragers gaat 15 procent als grondstof naar de chemische industrie en nog eens 15 procent gaat verloren door de omzetting van aardgas en steenkool in elektriciteit.

Van de resterende 133 kWh besteden we iets minder dan de helft aan vervoer, ruim een kwart aan de productie van (laagwaardige) warmte voor verwarming en nog eens een kwart aan de productie van hoogwaardige warmte – waarvan ongeveer een derde deel wordt omgezet in elektriciteit.

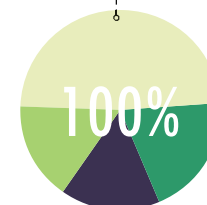
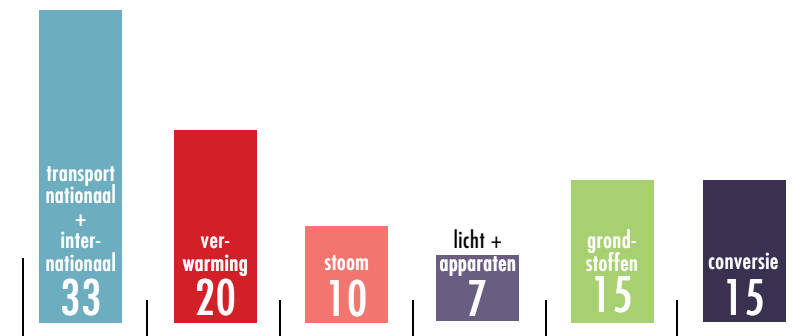
energiefuncties

Voor de toekomstige energiebehoefte moeten we onze blik iets kantelen. Stel dat de behoefte aan energie de komende veertig jaar – tot 2050 – groeit met 20 procent. Dat wil niet zeggen dat onze behoefte aan aardgas, aardolie en steenkool evenredig groeit.

In plaats van onze blik louter te richten op de energiedragers als zodanig, is het beter om te kijken naar de energiefuncties. Ons vertrekpunt is niet hoeveel aardgas we nodig hebben in 2050,

TYPE ENERGIEBEHOEFTE IN 2010

De energiebehoefte in 2010 laat zich onderscheiden in vier categorieën: transport (nationaal + internationaal); laagwaardige warmte voor verwarming (minder dan 70 graden); hoogwaardige warmte voor industriële processen (meer dan 70 graden) en elektriciteit voor licht en apparaten. Van het totale energieverbruik van 193 kWh per persoon is 33 procent bestemd voor transport; 20 procent voor verwarming, 10 procent voor hoogwaardige warmte en 7 procent voor licht en apparaten.



193 kWh per dag

conversie verliezen
internationaal transport
energie afnemers
grondstoffen

- Lijkt of licht en apparaten maar weinig energie kosten. Moet je daar eigenlijk niet die conversieverliezen bij optellen?
- Vermoed van wel. Dan kom je uit op 22 procent, meer dan er nodig is voor verwarming.
- Maar die conversieverliezen kun je gebruiken voor verwarming. Daar kun je dus nog een hoop verdienen.

maar wat onze behoefte is aan elektriciteit, verwarming (warmte van minder dan 70 graden), hoogwaardige warmte (stoom, hoger dan 70 graden) en transport (figuur 8).

Die elektriciteit kan evengoed afkomstig zijn uit kernenergie of windmolens. Evenmin hoeven we te weten hoeveel aardolie we nodig hebben voor benzine en diesel, maar wel wat onze behoefte is aan transportbrandstoffen. Die kunnen voor een deel ook gemaakt zijn uit maïs of olifantsgras.

over veertig jaar

Voor onze toekomstige behoefte kunnen we uitgaan van een 'business as usual'-scenario, waarbij de verwachte economische groei in de komende veertig jaar zich vertaalt in meer vervoerskilometers, meer licht, meer gebouwen, meer apparaten, meer airco's, kortom in meer gebruik.

Op basis van de CBS-cijfers van het recente verleden zouden we uit kunnen gaan van een groei van 0,4 procent per jaar, ofwel een stijging van ruim 18 procent voor de komende veertig jaar.

Dat zou betekenen dat onze dagelijkse energiebehoefte stijgt van 193 naar 227 kWh per persoon. 'Business as usual' is echter niet erg waarschijnlijk. Om te beginnen kan de economische groei – en daarmee ook de groei van de energiebehoefte –

nog jarenlang op een laag pitje blijven. Afgezien daarvan dwingen hoge energieprijzen ons tot het efficiënter gebruiken van energiebronnen.

referentie

De warmtevraag van woningen en gebouwen is in de periode tussen 1990 en 2010 met ruim dertig procent verminderd onder meer door betere isolatie en super hoogrendements ketels.

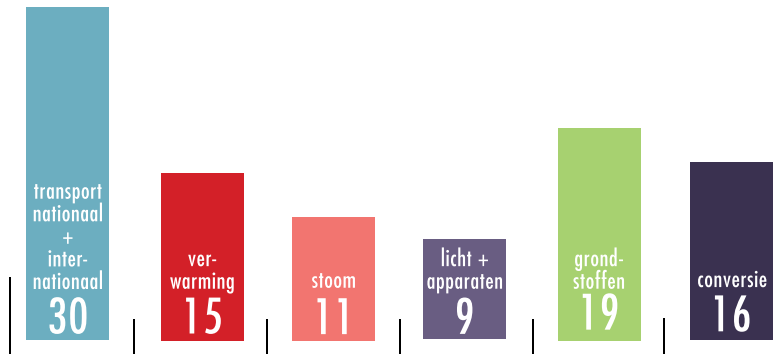
Ook in de industrie, in het vervoer en in de land- en tuinbouw zien we dat energiedragers efficiënter worden gebruikt: tuinders produceren meer tomaten, fabrikanten produceren meer plastic per liter aardolie en we rijden meer kilometers per liter benzine.

Aannemende dat die trend zich doorzet, zal de behoefte aan energie dalen en in 2050 lager zijn dan nu. Voor dat jaar gaan we daarom uit van 177 kWh per dag, een daling met acht procent. Dat noemen we het 'referentiescenario' (figuur 9).

Daarbij moeten we nadrukkelijk aantekenen dat scenario's geen voorspellingen zijn. Voorspellen is moeilijk, vooral als het om de toekomst gaat. Wie had dertig jaar geleden de opkomst van het mobieltje of internet durven voorspellen?

TYPE ENERGIEBEHOEFTE IN 2050 (REFERENTIESCENARIO)

In 2050 is de behoefte aan laagwaardige warmte flink gedaald en wordt er in verhouding iets meer brandstof als grondstof voor de industrie gebruikt. Van het totale energieverbruik van 177 kWh per persoon is 30 procent bestemd voor transport; we rijden zuiniger. De behoefte aan laagwaardige warmte is gedaald van 20 naar 15 procent, terwijl de behoefte aan elektriciteit iets is gestegen naar 9 procent. De behoefte aan hoogwaardige warmte is in verhouding ook iets gestegen naar 11 procent. Grondstoffen en conversieverliezen vragen respectievelijk 19 en 16 procent.



100%

177 kWh per dag

- #conversieverliezen. Je ziet dat de behoefte aan laagwaardige warmte vermindert in 2050, terwijl we wel meer elektriciteit gaan gebruiken. Dus meer conversieverlies... Behalve natuurlijk als je meer elektriciteit uit zon en wind haalt ;-)
- Ja, klopt. Maar dat moet je weer ergens opslaan in batterijen of zo en dan heb je ook weer 30 procent omzettingsverlies.
- Aha, daar is ie weer: De wet van behoud van ellende.

FOSSIEL VERSUS HERNIEUWBAAR

Het referentiescenario (figuur 9) geeft onze energiebehoefte weer in termen van functies. De vraag is met welke energiedragers we die functies in 2050 gaan vervullen. Daarbij gaan we uit van twee extreme varianten, die geen van beiden werkelijkheid zullen worden. Het zijn gedachte-oefeningen.

In de ene variant voorzien we geheel in onze energiebehoefte met fossiele energiedragers inclusief een bescheiden percentage kernenergie. In de andere variant gaan we uit van honderd procent hernieuwbaar, dat wil zeggen, zon, wind en biomassa.

In beide varianten gaan we ervan uit dat Nederland, wat elektriciteit betreft, een 'eilandbedrijf' is. Dat wil zeggen dat we geen elektriciteit uit waterkracht of anderszins importeren, noch exporteren.

alles fossiel

Bij de fossiele variant zijn in 2050 alle windmolens en zonnepanelen verdwenen en wordt er ook geen biomassa meer gebruikt als brandstof voor elektriciteitscentrales en auto's. Ook de hybride en elektrische auto's zijn uit het straatbeeld verdwenen; iedereen rijdt weer op benzine, diesel

of autogas.

Wel is ons energiegebruik een stuk efficiënter geworden, zodat we niet 193 kWh per persoon gebruiken, maar 'slechts' 177 kWh – 8 procent minder – verdeeld over de energiedragers aardolie, aardgas, steenkool en kernenergie (figuur 10).

Van aardolie wordt het overgrote deel gebruikt voor transport en een kleiner deel als grondstof voor de chemische industrie. Van aardgas gebruiken we de helft voor de productie van laagwaardige warmte voor het verwarmen van woningen, gebouwen en kassen.

De andere helft wordt grotendeels gebruikt voor de productie van hoogwaardige warmte (stoom) en elektriciteit en voor een klein deel als grondstof voor bijvoorbeeld kunstmest.

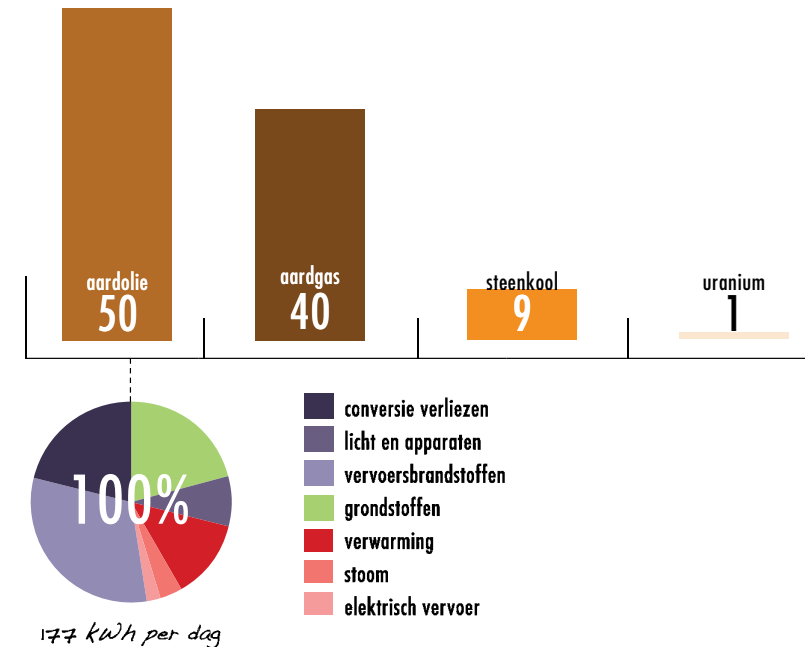
Steenkool en uranium tenslotte worden uitsluitend gebruikt voor de productie van stoom, voornamelijk voor het opwekken van elektriciteit.

alles hernieuwbaar

In de hernieuwbare variant zijn juist alle elektriciteitscentrales afgebroken, inclusief kerncentrales, worden aardgasleidingen alleen gebruikt voor groen gas en zijn alle olieraffinaderijen omgebouwd voor het raffineren van biomassa.

ALLES FOSSIEL IN 2050

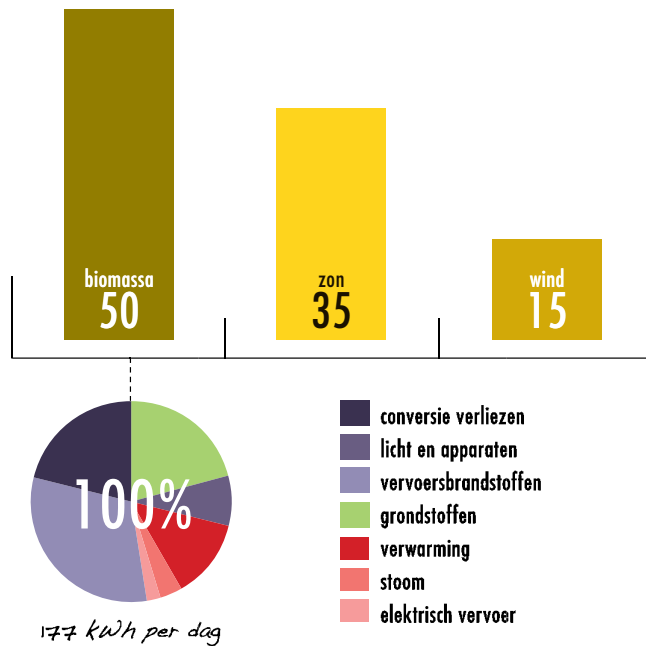
In 2050 is de vraag naar energie 177 kWh per dag. Daarvan wordt 50 procent geleverd door aardolie, 9 procent door steenkool en 1 procent door uranium. Het relatieve aandeel van aardgas is gestegen van 35 naar 40 procent.



- Dat schaliegas, wordt dat nog wat?*
- Tis maar wie je het vraagt. In Amerika gaan ze ervan uit dat ze over een paar jaar geen olie of gas meer hoeven te importeren. Ook in Polen en Oekraïne zijn ze enthousiast aan het boren.*
- En wij?*
- We zitten op een aardige voorraad, meer dan het Groningse gasveld. We weten alleen nog niet of we het kunnen winnen zonder al te veel kosten en milieuproblemen.*

ALLES DUURZAAM IN 2050

In 2050 is de vraag naar energie 177 kWh per dag. Daarvan wordt 50 procent geleverd door biomassa, waarvan een deel wordt gebruikt als grondstof voor de chemische industrie. De zon levert 35 procent, waarvan driekwart in de vorm van elektriciteit en een kwart in de vorm van warmte. Windturbines leveren 15 procent van de energiebehoefte.



Waarom zijn die windmolens altijd zo groot en lelijk?

Lelijk? Daar kun je over twisten, maar groot zijn ze wel. Hoe hoger je komt, hoe harder het waait. Bovendien leveren grotere molens meer elektriciteit per geïnvesteerde euro. Big is beautiful, dus.

Beautiful? Doe mij maar zonnecellen. Het rendement ervan stijgt ook nog eens veel harder dan dat van windmolens.

Ik denk dat we allebei nodig hebben.

Die biomassa voorziet in de helft van onze totale behoefte aan energie, met name transport-brandstoffen, en aan grondstoffen voor de chemische industrie. Die is inmiddels helemaal 'biobased' geworden. Elektriciteit uit zon en wind voorziet in de andere helft van onze energiebehoefte, met een hoofdrol voor zonne-energie (figuur 11).

Je ziet dat de behoefte aan laagwaardige warmte vermindert in 2050, terwijl we wel meer elektriciteit gaan gebruiken.

Behalve als je meer elektriciteit uit zon en wind haalt.

GEVOLGEN FOSSIEL

Beide varianten hebben gevolgen voor milieu-belasting en ruimtegebruik. Bij de fossiele variant ligt de nadruk op de milieubelasting, terwijl bij de hernieuwbare variant de gevolgen zich vooral doen voelen op het vlak van ruimtegebruik.

Bij de fossiele variant moeten we waarschijnlijk het overgrote deel van de energiedragers importeren, omdat halverwege deze eeuw onze eigen voorraden aardgas zijn uitgeput. Behalve natuurlijk als de veronderstelde reserves aan schaliegas in Nederland daadwerkelijk geëxploiteerd kunnen worden.

aardolie

In de fossiele variant voorziet aardolie voor de helft in onze totale energiebehoefte. Dat komt overeen met 44 miljoen ton olie aardolie.

Bij het verbranden ervan komt circa 135 miljoen ton CO₂ vrij. Voor het gemak gaan we ervan uit dat het overgrote deel van de producten die van aardolie worden gemaakt (plastic tasjes, auto-bumpers etc.) uiteindelijk ook worden omgezet in CO₂ in de afvalfase. Dat komt er dus nog bij.

Bij winning, transport en verwerking bestaat het risico van ongevallen met soms grote gevolgen

voor milieu en biodiversiteit. Het ruimtebeslag voor winning en verwerking van aardolie is betrekkelijk gering. Dat geldt overigens niet voor de exploitatie van teerzanden in onder meer Canada die in dagbouw worden gewonnen en waarvoor vele hectares worden afgegraven.

aardgas

De milieubelasting van aardgas is minder dan die van aardolie, zowel absoluut als relatief. Jaarlijks gebruiken we daarvan 43 miljard kubieke meter, waarmee we voorzien in 40 procent van onze totale energiebehoefte.

Per geleverde kWh is de CO₂-uitstoot lager dan die van aardolie. In totaal is dat 78 miljoen ton CO₂ per jaar (1,8 kilo CO₂ per kubieke meter aardgas). Het directe ruimtegebruik is gering. Indirect leidt de winning van aardgas in een groot gebied tot bodemdaling en (kleine) aardbevingen.

De winning van schaliegas, waarbij scheurtjes worden aangebracht in de diepe ondergrond, kan leiden tot trillingen aan het aardoppervlak. Ook geldt hier het risico van vervuiling (met name door het retourwater) en daarmee van langdurige aantasting van ecosystemen.

De vele boorputten maken de ontwikkeling van schaliegas in een dichtbevolkt land als Nederland er niet eenvoudiger op.

steenkool

Het verbranden van steenkool levert relatief veel CO₂ op. In het fossiele scenario gebruiken we nog 13 miljoen ton steenkool per jaar. Bij het verbranden daarvan komt 35 miljoen ton CO₂ vrij. Anders dan bijvoorbeeld aardgas bevat steenkool veel verontreinigingen die voor een deel als gas moeten worden afgevangen (NO_x en SO₂), maar voor een groot deel ook vrijkomen als vaste stof (as en slakken).

De winning van steenkool gebeurt via ondergrondse en bovengrondse mijnbouw. Met name dagbouw kost behoorlijk wat ruimte en leidt tot langdurige verstoring van ecosystemen. Door instortende mijngangen kan mijnbouw aanleiding zijn voor bodemdaling en aardtrillingen.

uranium

Tenslotte vervult uranium in de fossiele variant nog steeds 1 procent van onze energiebehoefte. Dat komt overeen met een kerncentrale van rond de 500 MW, iets groter dan Borssele (450 MW). Daarvoor moet uraniumerts worden gedolven en verrijkt.

Na gebruik resteert jaarlijks ongeveer anderhalve kubieke meter radioactief afval. Als dat niet wordt gerecycled tot nieuwe kernbrandstof, moet het enkele decennia bovengronds en enkele duizenden jaren ondergronds worden opgeslagen.

GEVOLGEN HERNIEUWBAAR

In de hernieuwbare variant is de helft van de benodigde energie afkomstig van biomassa. Dat is inclusief de biomassa die nodig is voor de chemische industrie. De andere helft wordt geleverd door zonnepanelen en windturbines.

biomassa

Gemiddeld over het jaar leidt de omzetting van zonlicht in biomassa tot een vermogen van 0,5 watt per vierkante meter. Als de helft van de energie (en grondstoffen) afkomstig is van biomassa, betekent dat, dat 120.000 km² ofwel drie keer de oppervlakte van Nederland moet worden beplant met energiegewassen zoals suikerbieten of olifantsgras. Die vijftig procent kan dus niet uit.

Op akkers waar biomassa voor energie wordt geteeld, kan geen voedsel worden geproduceerd. Een alternatief is het gebruik van plantenresten, zoals stengels en loof (bladeren) van voedselgewassen. Daardoor kan in ieder geval een deel van het areaal dat nu louter voor de productie van voedselgewassen wordt gebruikt, worden benut voor de productie van biomassa.

zonnecellen

Zonne-energie wordt door planten omgezet in biomassa met een rendement van hooguit 1 procent. Vergeleken daarmee zijn zonnecellen een wonder van efficiëntie. Het theoretische rendement is 85 procent, maar in de praktijk moeten we rekenen met 20 tot 30 procent, in de toekomst misschien oplopend tot 60 procent. In Nederland levert een moderne zonnecel jaarlijks 100 kWh/m² op.

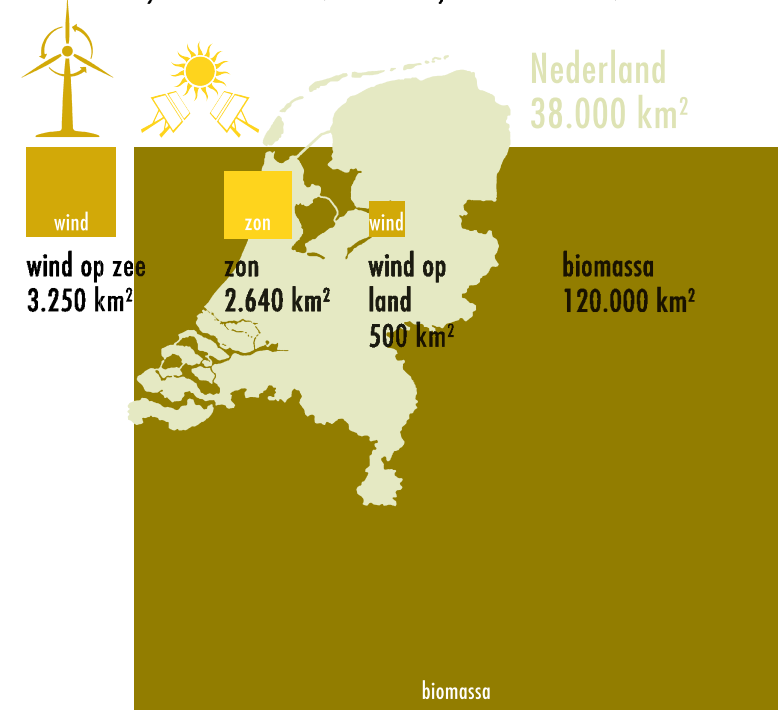
Om volgens het duurzame scenario in 35 procent van onze energiebehoefte te voorzien moeten we een oppervlakte van 2640 km² volzetten met zonnepanelen en collectoren. Dat is iets minder dan de provincie Zuid-Holland (figuur 12). Naarmate het rendement toeneemt, vermindert het benodigde oppervlak.

De milieubelasting van zonnepanelen is betrekkelijk gering. Weliswaar ontstaan bij de productie ervan potentieel riskante stoffen zoals chloor-siliciumverbindingen en bevatten dunne filmcellen het zware metaal cadmium, maar als het productieproces goed is ingericht, hoeft dat geen problemen op te leveren.

Voor de gewone siliciumzonnecellen is de schaarste aan grondstoffen betrekkelijk. Er is geen schaarste aan silicium (zand), maar de productie van zuiver silicium vergt hoge investeringen. Voor dunne

OPPERVLAKTEBEHOEFTE 'ALLES DUURZAAM IN 2050'

Alles bij elkaar is voor de productie van duurzame energie in 2050 ruim 125.000 km² nodig, meer dan drie keer de oppervlakte van Nederland. Het overgrote deel daarvan, 120.000 km², is nodig voor de productie van biomassa. Zonnepanelen en -collectoren vergen een oppervlakte van 2640 km²; windmolens op land 500 km² en op zee 3250 km².



- Zonnepanelen kunnen ook op daken en tussen de windmolens kun je koeien laten grazen. Je hebt dus niet allemaal leeg oppervlak nodig. Koeien tussen de windmolens? Als dat maar mag van de dierenbescherming. Na de plofkip de windkoe.*
- LOL. Kijk liever eens naar dat oppervlak voor biomassa. Ruim drie keer Nederland. En dan moeten we ook nog eten.*
- Een lekkere hersenkraker voor de komende jaren.*

filmzonnecellen kunnen zich wel problemen voordoen omdat daarvoor schaarse metalen nodig zijn zoals indium, tellurium en gallium.

wind

Windenergie is in het duurzame scenario goed voor 15 procent van de totale energiebehoefte. Windmolens hebben een veel groter oppervlak nodig dan zonnecellen, omdat ze op een behoorlijke afstand van elkaar moeten staan. Dat betekent dat de opbrengst per vierkante meter een stuk lager is. Waar zonnepanelen jaarlijks gemiddeld 11 watt per m² opleveren (onder Nederlandse omstandigheden) halen windmolens op land 2 watt per m² en windmolens op zee 3 watt per m².

Als we ervan uitgaan dat een zesde van de hoeveelheid elektriciteit uit wind wordt geoogst op land en vijf zesde op zee dan komt dat overeen met een areaal van 500 km² op land – zeg maar twee keer de oppervlakte van Amsterdam – en 3250 km² op zee (figuur 12).

De milieubelasting van windmolens bestaat vooral uit geluidsoverlast en horizonvervuiling. Ook klagen mensen over de slagschaduwen van de ronddraaiende wieken. Een aantal van die bezwaren kan worden opgelost door een grotere afstand tussen woningen en

windturbines. Voor Nederland geldt een wettelijk minimum van viermaal de ashoogte; bij 80 meter ashoogte is dat dus 320 meter. In Duitsland en Frankrijk is die afstand 1500 meter en in Canada en Californië zelfs meer dan 2 kilometer. Als we die afstanden ook in het dichtbevolkte Nederland zouden aanhouden, dan blijft er weinig ruimte over voor windmolens.

overwegingen

Kijkend naar de gevolgen van het fossiele scenario en het duurzame scenario in termen van milieu-belasting en ruimtegebruik dan moeten we vaststellen dat het duurzame scenario, waar de helft van de benodigde energie afkomstig is van biomassa, stuk dreigt te lopen op het gebrek aan ruimte.

In het fossiele scenario is het ruimtegebruik betrekkelijk gering, maar bedraagt de CO₂-uitstoot 226 miljoen ton, een hoeveelheid die vergelijkbaar is met de huidige uitstoot. Dat is meer dan wordt opgenomen door biomassa dan wel wordt opgelost in de zee met als gevolg dat het CO₂-gehalte in de atmosfeer stijgt.

Daarnaast zijn bij beide scenario's nog wel een paar kanttekeningen te maken. De groeiende wereldbevolking en de groeiende welvaart in combinatie met het opraken van de makkelijk beschikbare bronnen, leiden ertoe dat aardolie en

aardgas de komende decennia waarschijnlijk flink duurder zullen worden.

Een andere kanttekening is dat energiebesparing nog altijd het meest rendabel is. Technisch is het mogelijk om huizen, kantoren en kassen te bouwen die geen energie meer vragen voor verwarming of koeling, maar energie opleveren.

zeldzame aardmetalen

Tegelijkertijd moeten we vaststellen dat – vooralsnog – voor de bouw van zonnepanelen en windturbines gebruik wordt gemaakt van grondstoffen, zoals zeldzame aardmetalen, die de komende decennia ook duurder zullen worden. Niet zozeer vanwege de fysieke schaarste als wel omdat ook de vraag naar deze grondstoffen groeit en omdat sommige landen er belang bij hebben om schaarste te creëren. Iets dat trouwens ook geldt voor aardolie en aardgas.

grootschalige opslag

Het aanbod van zonne- en windenergie varieert gedurende de dag en gedurende het jaar. Zonder enige vorm van grootschalige tussenopslag om de schommelingen in het aanbod op te vangen is het onmogelijk om vraag en aanbod van elektriciteit in evenwicht te houden.

Er is nog geen echt goede oplossing gevonden voor het opslaan van elektriciteit uit wisselende bronnen. Op dit moment worden ze – de schommelingen – opgevangen door het op- en afschakelen van elektriciteitscentrales die met fossiele brandstoffen worden gestookt.



*Aardolie en aardgas
worden komende
decennia flink duurder.*

SYSTEEMAANPASSINGEN

In plaats van alleen naar het aanbod van fossiele dan wel hernieuwbare energie te kijken, loont het de moeite om ook de vraag naar energie onder de loep te nemen.

Voor de berekening van zowel het referentie-scenario zijn we uitgegaan van een besparing van 8 procent vergeleken met het huidige gebruik onder meer door betere isolatie en zuiniger apparatuur. Dat is een relatief bescheiden inspanning voor een periode van bijna veertig jaar. Zeker omdat we nu al ontwikkelingen zien die op grotere besparingen duiden.

verspilling

Een voorbeeld is de warmtevoorziening van woningen, gebouwen en kassen. Nu gebeurt die nog grotendeels met aardgas, maar om verschillende redenen is dat tamelijk verspillend. Zoals we eerder lieten zien is het zonde om een hoogwaardige energiedrager als aardgas te gebruiken voor de productie van laagwaardige warmte.

In de glastuinbouw zien we dan ook steeds vaker dat aardgas wordt gebruikt om met behulp van een gasgestookte motor elektriciteit te produceren, die vervolgens aan het elektriciteits-

net wordt geleverd. De resterende warmte en de CO₂ wordt gebruikt om respectievelijk de kas te verwarmen en de planten van voedsel te voorzien.

pompen

Naast het gebruik van restwarmte neemt ook het gebruik van warmte toe die is opgeslagen in bodem en grondwater. De temperatuur is meestal te laag om behaaglijk te zijn, maar met een elektrisch aangedreven warmtepomp kun je die naar het gewenste niveau ‘pompen’.

Een warmtepomp gebruikt een beetje elektrische energie om een veelvoud aan warmte uit het grondwater of uit de buitenlucht te halen (het principe van de koelkast, maar dan omgekeerd). Voor elke kWh hoogwaardige elektrische energie die de warmtepomp gebruikt, krijg je 7 of 8 kWh aan (laagwaardige) warmte terug.

transport

Een andere ontwikkeling is het groeiend aantal elektrisch aangedreven kilometers, hetzij in een hybride, hetzij in een volledig elektrische auto. Vergeleken met een benzineauto die 1 op 12,5 rijdt, levert een elektrisch aangedreven auto een energiebesparing op van 66 procent per afgelegde kilometer.

Die besparing is inclusief het energieverlies bij opladen en ontladen van de accu, maar exclusief het energieverlies bij de omzetting van aardolie, aardgas of steenkool in elektriciteit in de centrale. Als je dat ook meerekent komt de besparing door elektrisch rijden op ruim 30 procent.

Dat percentage is vergelijkbaar met de besparing die mogelijk is als het hele wagenpark 'hybride' wordt (geen stopcontact nodig, de accu wordt opgeladen tijdens het rijden). Een bijkomend voordeel van de elektrische auto is dat hij geen fijnstof de lucht inblaast.

daling

Als we beide ontwikkelingen meenemen in de verwachte energiebehoefte dan daalt het energiegebruik ten opzichte van het referentiescenario met 18 kWh per persoon per dag tot 159 kWh ofwel met ruim 10 procent.

Een bijkomend voordeel is dat een elektrische auto geen fijn stof de lucht in blaast.

SYSTEEMVERANDERING

Of we de energievoorziening op duurzame dan wel fossiele leest schoeien of dat we (waarschijnlijk) in 2050 nog steeds beide gebruiken, feit blijft dat we in alle gevallen een beroep moeten doen op beperkt beschikbare hulpbronnen en ruimte.

Dat gaat des te meer knellen, als we bedenken dat de wereldbevolking over veertig jaar zal zijn toegenomen van zeven miljard nu tot negen of tien miljard mensen in 2050. In combinatie met de groeiende welvaart (de middenklasse groeit wereldwijd met tien procent per jaar) wordt het beslag op de hulpbronnen alleen maar groter.

De combinatie van aardolie, aardgas en steenkool kan de wereld waarschijnlijk ook nog wel een eeuw of wat vooruit helpen, maar het verstoken daarvan kost niet alleen materialen en ruimte, maar kan ook leiden veranderingen in de samenstelling van de atmosfeer.

Zon en wind lijken gratis, maar het kost wel materialen en ruimte om zonne- en windenergie om te zetten in bruikbare vormen van energie. Ook kun je beweren dat er nog ruim voldoende uranium is voor de komende eeuwen, maar ook het winnen en omzetten ervan in elektriciteit kost grondstoffen en ruimte.

Een optimist zal zeggen dat het glas halfvol is. Een pessimist houdt het erop dat het glas half leeg is. Een ingenieur kijkt nog eens goed naar het glas en komt dan tot de conclusie dat het glas te groot is. Misschien is het tijd om met een frisse (ingenieurs-) blik naar ons toekomstig energiegebruik te kijken. Want ook dat glas lijkt te groot. We gebruiken namelijk veel meer energie dan nodig is voor een bepaalde functie.

duizend kilo

Laten we nog eens teruggaan naar het voorbeeld van de auto. Op bladzijde 27 hebben we al vastgesteld dat van de energie-inhoud van een liter benzine hooguit 15 procent wordt gebruikt voor het verplaatsen van de auto – met ons erin. De rest gaat verloren in de vorm van warmte.

In feite is een auto een kachel op wielen die vooral de buitenlucht opwarmt. Maar de verspilling is in feite nog groter. Met de resterende energie verplaatsen we 1000 kilo auto, terwijl we eigenlijk alleen 80 kilo mens plus zijn of haar aktetas of gereedschapskoffer van A naar B willen hebben.

Dat moet slimmer kunnen! Bijvoorbeeld door auto's veel kleiner en lichter te maken. Dan kunnen de wegen trouwens ook smaller worden. Ook zou je elk wiel afzonderlijk met een elektromotortje kunnen aandrijven, waarbij de elektriciteit voor

een deel wordt geleverd door zonnepanelen en voor een deel door een gasmotor of brandstofcel.

Batterijen kan ook natuurlijk, maar die maken het voertuig weer een stuk zwaarder. Bovendien verlies je ongeveer dertig procent door het opladen en weer ontladen van de batterij.

Het voordeel is wel dat je de batterijen van de auto kunt gebruiken voor de opslag van elektriciteit uit stromingsbronnen. 's Nachts bijvoorbeeld wordt er weinig elektriciteit afgenomen, terwijl de wind wel waait. Met de elektriciteit die dan geproduceerd wordt, kun je de batterijen opladen. De elektriciteit die niet nodig is voor vervoer, kan overdag weer worden teruggeleverd aan het net.

douchewater

Ander voorbeeld: De douche. In veel huishoudens wordt het douchewater opgewarmd door aardgas – een hoogwaardige energiedrager – te verbranden. De temperatuur van het water is ongeveer 36 graden. Als het in het afvoerputje verdwijnt heeft het nog steeds een temperatuur van 30 graden. Met dat warme water gebeurt verder niets; alleen het riool wordt ermee opgewarmd.

Ook dat kan slimmer. Bijvoorbeeld door een kleine gasmotor te installeren, die aardgas omzet in elektriciteit en de vrijkomende warmte te

gebruiken om het douchewater op te warmen en de CV op temperatuur te houden. Met een warmte-wisselaar in het afvoerputje kun je bovendien de warmte van het gebruikte douchewater terugwinnen en gebruiken om vers douchewater op te warmen. Of het water van de wasmachine of vaatwasser.

cascaderen

De voorbeelden van de auto en de douche laten zien dat we in principe met veel minder energie de door ons gewenste functies kunnen uitoefenen. De sleutel daarvoor is 'cascaderen'. Dat betekent dat je hoogwaardige energiedragers (aardgas, zonne-elektriciteit) inzet voor hoogwaardige toepassingen en dat je de restenergie zo goed mogelijk benut.

Om de mogelijkheden tot 'intrinsieke' besparing te kunnen benutten, moeten we, zoals gezegd, met een frisse blik naar ons energiegebruik kijken. Het is niet of duurzaam of fossiel, maar het is ook niet en, en.

Uitgangspunt moet zijn dat we in 2050 tien miljard mensen optimaal voorzien van mogelijkheden om in hun behoefte aan energiefuncties te voorzien en tegelijkertijd de gevolgen in termen van milieubelasting en uitputting van grondstoffen tot een minimum beperken. *Da's pas duurzaam.*



De gevolgen van milieubelasting en uitputting van grondstoffen tot een minimum beperken.



Da's pas duurzaam.

DE REKENING VOORBIJ

*ons energieverbruik voor
85% onzichtbaar*

Wanneer precies de maatschappelijke discussie over de energievoorziening is begonnen, is op zich al een kwestie van discussie. Was het in 1973 ten tijde van de eerste oliecrisis? Of was het tien jaar later toen zalen en achterkamers in Nederland het toneel vormden van de Brede Maatschappelijke Discussie? Of was het nog eens tien jaar later toen het Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) zijn eerste rapport uitbracht?

Hoe het ook zij, de maatschappelijke discussie over energie duurt al gauw een generatie. Het Koninklijk Instituut Van Ingenieurs wil met 'De rekening voorbij' deze discussie in een breder kader zetten. Hoeveel energie gebruiken we eigenlijk? En wat zijn de mogelijkheden en beperkingen om daar met fossiele c.q. duurzame bronnen in te voorzien?