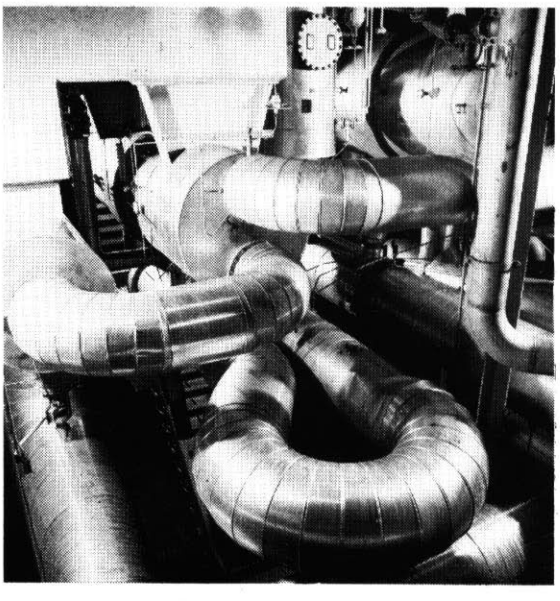
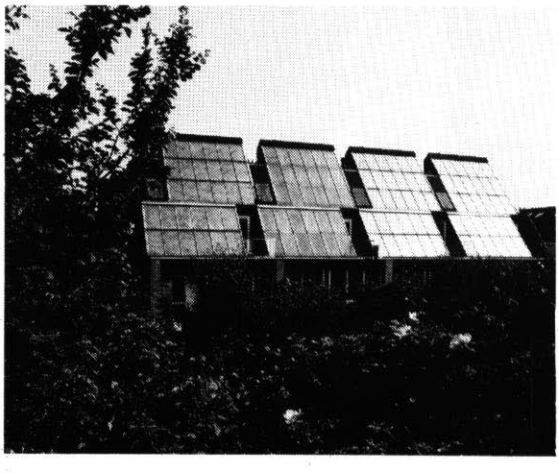
ENERGIE EN KWALITEIT





PLON

Vakgroep Natuurkunde-Didactiek
Rijksuniversiteit Utrecht

bovenbouw
HAVO

energie en kwaliteit

Samengesteld door de projectgroep van het PLON in samenwerking met de Vakgroep Natuurkunde-Didactiek van de Rijksuniversiteit Utrecht

voor de 4e klas HAVO

Experimentele uitgave

Tweede druk, 1985

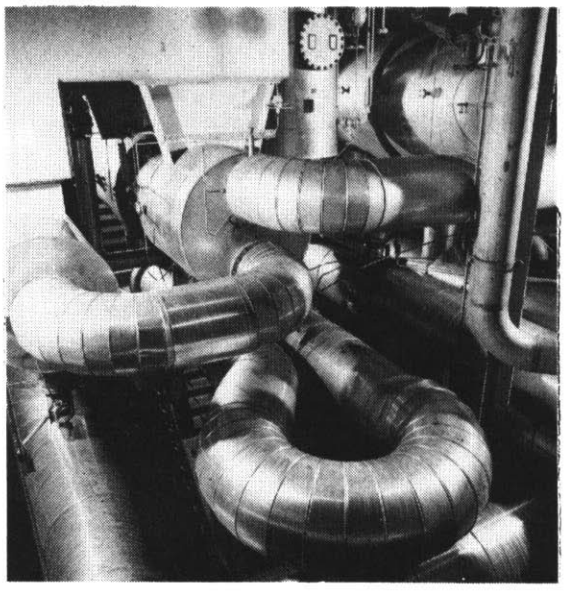
PLON

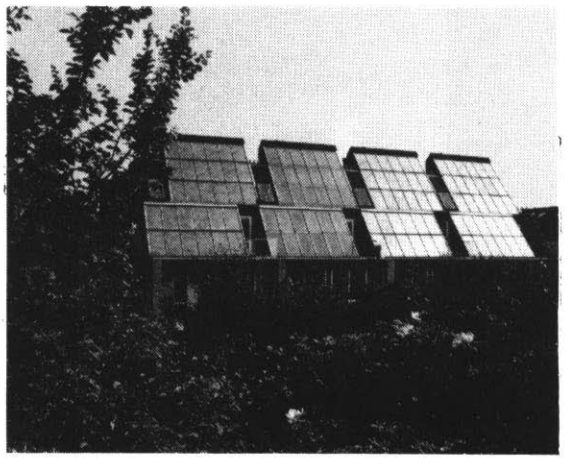
* Het Project Leerpakket Ontwikkeling Natuurkunde (PLON) is in 1972 begonnen onder auspiciën van de Commissie Modernisering Leerplan Natuurkunde (CMLN). De opdracht was: het ontwikkelen en door middel van onderzoek evalueren van leerpakketten voor natuurkundeonderwijs op mavo, havo en vwo, en het ontwerpen van een plan voor goede begeleide introductie daarvan in de scholen.
* Het PLON werkt onder toezicht van een stuurgroep waarin vertegenwoordigers uit het onderwijs, de vervolgopleiding, didactische instellingen, onderwijsondersteuningsinstituten, lerarenopleidingen en het Ministerie van Onderwijs en Wetenschappen vertegenwoordigd zijn.
* Het PLON is ondergebracht bij de Vakgroep Natuurkunde Didaktiek van de Rijksuniversiteit Utrecht. Deze vakgroep participeert tevens in de activiteiten ten behoeve van havo-bovenbouw. Ten behoeve van vwo-bovenbouw bestaat een samenwerkingsverband met de universiteiten van Amsterdam (GU) en Groningen, en groepen leraren die werken aan de ontwikkeling van lesmateriaal.
* Het adres van het PLON is:
  PLON, lab. Vaste Stof, Postbus 80.008, 3508 TA, de Uithof, Utrecht, Tel. 030-532717

© 1984 Rijksuniversiteit Utrecht Project Leerpakket Ontwikkeling Natuurkunde

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotocopie, microfilm of op welke andere wijze ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.
No part of this book may be reproduced in any form by print, photoprint, microfilm or any other means without the prior permission of the publisher.

ENERGIE EN KWALITEIT





PLON
Vakgroep Natuurkunde-Didactiek
Rijksuniversiteit Utrecht

bovenbouw
HAVO

inhoud

		blz
1	oriëntatie	5
2	energie-omzettingen	11
3	rendement	22
4	kwaliteit van energie	37
5	orde en chaos	48
6	energie en kwaliteit in de praktijk	55
7	verstandig met energie naar keuze	72
	index	78

hoofdstuk 1

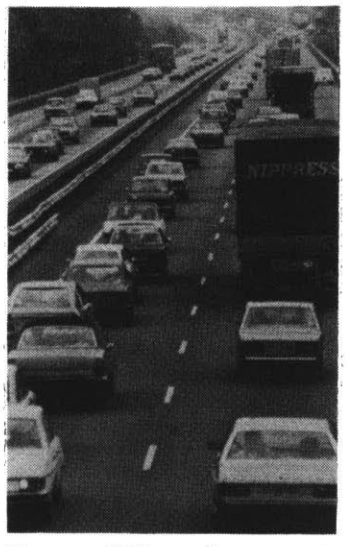
ORIËNTATIE

inhoud blz

1.1	energie en wij	5
1.2	energie en de maatschappij	7
1.3	kennis en keuze	8
1.4	doel en inhoud van het thema 'Energie en Kwaliteit'	8
1.5	de opbouw van het thema 'Energie en Kwaliteit'	10

1.1 ENERGIE EN WIJ

Energie is belangrijk voor ons leven. Nog veel meer dan we vaak in de gaten hebben.
In het jaar 1973, het jaar van de eerste 'oliecrisis', ging er een schok door ons land. Ineens bleek dat het welvarende leven dat wij hier in Nederland hadden opgebouwd, op pijnlijke wijze afhankelijk was geworden van de beschikbaarheid van energiebronnen.
Tot die tijd had niemand eigenlijk nagedacht over ons energiegebruik. Energie wás er gewoon, in grote hoeveelheden en zeer goedkoop.

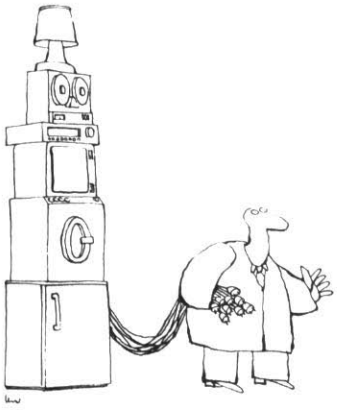


Ongeveer 30% van alle aardolie die in Nederland wordt verbruikt, is bestemd voor het verkeer. Automotoren hebben een tamelijk laag rendement. Een reden te meer om er zo verstandig mogelijk gebruik van te maken.

Tot het begin van de jaren zeventig leek de energievoorziening probleemloos. De oliecrisis van 1973 maakte plotseling duidelijk dat een probleemloze energievoorziening geen vanzelfsprekendheid is. In deze crisis werden verschilllende maatregelen genomen, zoals benzinedistributie en autoloze zondagen.

Ook gedrag en levenswijze beïnvloeden de hoogte van het energiegebruik. Het toegenomen gebruik van warm water is mede oorzaak van de stijging van het energiegebruik. Vroeger moest men vaak warm water kopen op straat.

Daarna is alles anders geworden. De energieprijzen stegen schrikbarend, met een sterk negatief effect op de economie. Ons 'luxe' leventje bleek sterk gekoppeld aan ons energiegebruik.
Langzaamaan werden we er ons van bewust dat de voorraden fossiele brandstoffen op deze wereld (olie, gas, kolen) eindig zijn. En dat we daarom, om ook in de verre toekomst te kunnen overleven, misschien wel heel andere energiebronnen moeten leren gebruiken.
Zonne-energie bijvoorbeeld, of wind-energie, of aardwarmte, enz. Vandaar ook dat we ons sinds die tijd pas goed zijn gaan afvragen of ons aller energie-gedrag eigenlijk wel zo verstandig is. En wat we er eventueel voor over hebben om dat te verbeteren. Kunnen we bijvoorbeeld niet allemaal veel meer energie sparen, als we dat maar zou-



den willen? Of is dat onzin en eist de economie juist een toename van ons energiegebruik?
Voordat we ons in dit thema nu gaan bezighouden met wat 'ZE' allemaal wel of niet zouden moeten doen, is het zinvol eerst even stil te staan bij ons eigen energie-gedrag.

1.

- Bedenk op wat voor manieren je zelf of samen met anderen zoal energie gebruikt.
- Sta je er dan ooit bij stil *dát* je energie gebruikt?
- En vraag je je dan ooit af of het wel zo zuinig mogelijk gebeurt?
- Hoe zou je op energiegebruik kunnen besparen? Zou je dat er ook voor over hebben?
- Vind je het belangrijk dat iedereen zich zou afvragen of hij energie kan besparen, of maakt dat tóch niets uit?

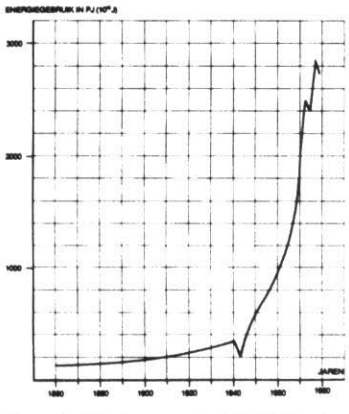
2.

Stelling: *Energie* is een belangrijke factor voor de *kwaliteit* van ons *dagelijks leven.*

- Bestudeer de drie illustraties hieronder en bediscussieer bovenstaande stelling.

Bedenk daarbij dat er vaak een onderscheid gemaakt wordt tussen 'welvaart' en 'welzijn'. Onder 'welvaart' wordt dan vooral de beschikbaarheid van veel materiële goederen verstaan. Onder 'welzijn' voor iedereen verstaat men dan of dit de mensen ook 'wel' doet 'zijn'; met andere woorden: of ze daardoor ook gelukkiger worden.

- Wat zou je in dit verband onder 'kwaliteit van het dagelijks leven' willen verstaan?



De ontwikkeling van het Nederlands energiegebruik sinds 1860. (Bron: BMD-tussenrapport, 1983.)

huishouden	*1900 - 1925*	*1925 - 1950*	*1950 - heden*
- verwarming	1 of 2 kamers verwarmd door een kachel of open vuur (turf, hout, kolen). Verwarmingsperiode beperkt (voorjaarsschoonmaak). Kil voor- en najaar geaccepteerd. Onverwarmde slaapkamers, wollen ondergoed, koud.	Zelfde patroon met toepassing van gas of electrische verwarming. Eerste toepassing van centrale verwarming voor de gegoede burgers (kolen en later olie).	Oliekachels, gas, cv na 1965. Veranderen aantal personen per woning van 5 naar 2,8 Verhoging gemiddelde kamertemperatuur
- verlichting	Gaslamp en later elektriciteit. Nog volop gebruik kaarslicht.	Elektrisch, 1 lamp per kamer.	Elektrisch in het hele huis.
- koken	Turf, kolenfornuis later in de steden.	Gas en electrische kookplaten.	Electrisch, gas en aardgas (na 1965).
- huisarbeid	Stofzuigers voor gegoeden.	Veelvuldig gebruik stofzuigers en electrische apparaten.	Veelvuldig gebruik ijskasten, wasmachines, fruitpersen enz.
transport			
- land	Te voet, paarden in de stad, dan electrische tram, bakfiets. Gebruik van fiets, stoomtrein, boot, tram, in een enkel geval de bus.	Fietsen, motoren, bussen, electrische tram, electrische trein, diesellokomotief enz.	Bromfiets, auto, bussen. Voorkeur voor particuliere auto in plaats van openbaar vervoer. Dieselmotoren voor bus en vrachtwagens. Toenemende aantallen.
- zee	Stoomschip, vervanging kolen door olie.	Stoomturbine op olie en diesel.	Hogere snelheden. Toename aantal schepen.
- lucht	Pioniers (militair).	Start luchttransport.	Enorme expansie, nu tienduizenden passagers per dag.
telecommunicatie	Postservice, telegram en enkele telefoons via centrale.	Verbreiding telefoon, radio.	Geautomatiseerd telefoon en telegraafverkeer, satelieten, radio, televisie.
recreatie	Woord onbekend. Beperkt tot regio, vakantiehuis en vakantie in de stad.	Geleidelijk introductie van korte uitstapjes: kamperen, fietsvakanties, gemotoriseerde vakanties door gegoede burgers.	Toename actieradius en lengte van vakantietrips. Vakantie naar zonnige (verre) streken over land en via de lucht. Wintersport.

De effecten van het gebruik van fossiele brandstoffen op het 'dagelijks' leven in Nederland. (Bron: Energy Conservation Ways and Means, 1976.)

Hebzucht

Iedereen klaagt dat-ie moet inleveren, maar hebben we vroeger niet te veel verdiend? Het kon niet op: een auto, een televisie, kleren bij de vleet, vakantie in het buitenland, een huis als een paleis. Maar die dingen heb je niet nodig om gelukkig te zijn: welvaart maakt een mens ziek, hebzuchtig, egoïstisch. We zouden moeten protesteren tegen de armoe in andere landen, en pas tevreden moeten zijn als men het overal zo goed heeft als bij ons: het geluk ligt in je hart, niet in je bezit. Niet wij krijgen te weinig, maar zij!

Ingezonden brief in 'de Volkskrant', oktober 1983.

1.2 ENERGIE EN DE MAATSCHAPPIJ

ENERGIE
Te belangrijk om alleen aan de deskundigen over te laten.

De laatste jaren wordt er in Nederland regelmatig gediscussieerd over het toekomstig energiebeleid. Die discussie wordt gevoerd in kranten, op tv en radio, op bijeenkomsten enz. Daarbij gaat het om de vraag: *welke energiebronnen in welke hoeveelheid voor welk energiegebruik in de toekomst.* Bij het zoeken naar een antwoord op die vraag spelen zaken mee als: al of niet loonmatiging, arbeidstijdverkorting, werkloosheid, milieubeheer, al of niet economische groei enz. Daaruit blijkt dat de toekomst van onze maatschappij nauw samenhangt met ons aller visie op het energie-vraagstuk. En trouwens: wie beslist er eigenlijk over die toekomst? Het 'kapitaal'? De 'deskundigen'? Of wij allemaal?

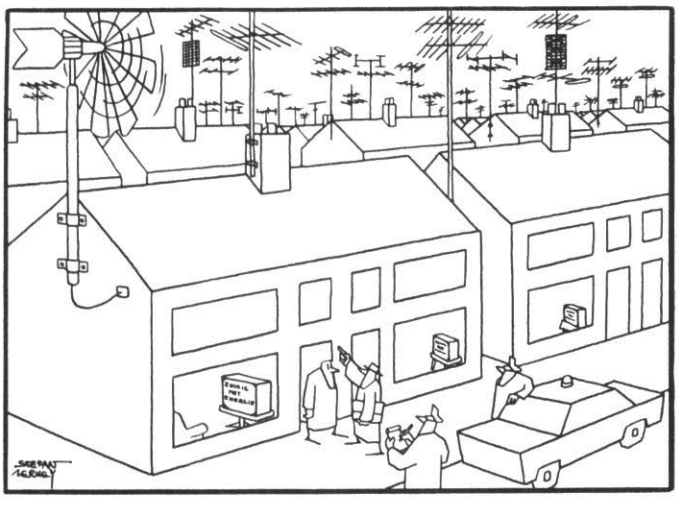
In alle vier scenario's zijn gelijk:
1. De omvang, samenstelling en groei van de (beroeps)bevolking. 2. De technische ontwikkelingen. 3. De economische ontwikkelingen in het buitenland, inclusief de prijsontwikkeling van energie.
4. Het financieringstekort van de overheid. 5. Een voldoende betalingsbalansoverschot voor het geven van ontwikkelingshulp.

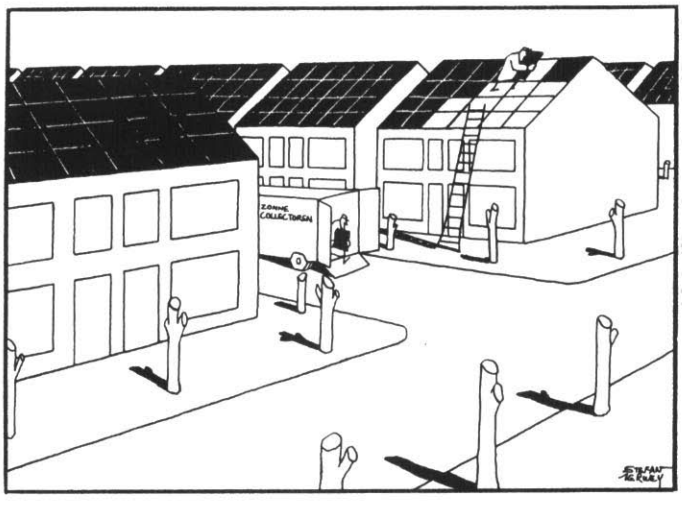
	REFERENTIE	INDUSTRIEEL HERSTEL	ARBEIDSDELING	BEHOUD VAN MILIEU EN WELVAART
WELKE MAATREGELEN WORDEN GENOMEN VOOR:				
SOCIAAL-ECONOMISCH BELEID	1. Loonstijging niet groter dan in het buitenland. 2. Arbeidstijdverkorting, in mindere mate bedrijfstijdverkorting. 3. Matige stijging loonbelasting. 4. Instandhouding rendementspositie van bedrijven. 5. Stimulering van exportbedrijven. 6. Matige groei van bedrijfsinvesteringen. 7. Beperking groei collectieve sector.	1. Loonmatiging van 2% per jaar. 2. Minder arbeidstijdverkorting dan in het referentie-scenario. Grotere bedrijfstijdverkorting. 3. Matige daling van de loonbelasting. 4. Verbetering van rendementspositie van bedrijven. 5. Versterkte stimulering van kennisintensieve exportbedrijven. 6. Van 1985 - 2000 extra investeringsstimulering van 30 miljard gulden. 7. Beperking groei collectieve sector.	1. Loonmatiging van 1,25% per jaar. 2. Grotere arbeidstijdverkorting dan in het referentie-scenario. Grotere bedrijfstijdverkorting. 3. Lichte daling van de loonbelasting. 4. Enige verbetering rendementspositie van bedrijven. 5. Enige stimulering van exportbedrijven. 6. Geen extra investeringsstimulering. 7. Beperking groei collectieve sector.	1. Geringe loonmatiging. 2. Iets meer arbeidstijdverkorting dan bij het referentie-scenario. Verlenging bedrijfstijd. 3. Verlaging BTW voor consumptieve diensten, verhoging BTW voor andere diensten en goederen. 4. Verbetering rendementspositie kleinschalige bedrijven die consumptieve diensten voortbrengen (horeca, winkels). 5. Beperkte extra stimulering woningbouw. Geen extra stimulering exportbedrijven. 6. – 7. Extra uitbreiding ambtenarenapparaat met 50.000.
ENERGIEBELEID	1. Voortzetting bestaande energiebesparingsbeleid. 2. Voortzetting bestaande diversificatiebeleid. 3. Voortzetting selectief gebruik van aardgas. 4. Kerncentrales of kolencentrales voor de extra benodigde elektriciteit.	1. Voortzetting bestaande energiebesparingsbeleid. 2. Voortzetting bestaande diversificatiebeleid. 3. Voortzetting selectief gebruik van aardgas. 4. Kerncentrales of kolencentrales voor de extra benodigde elektriciteit.	1. Voortzetting bestaande energiebesparingsbeleid. 2. Voortzetting bestaande diversificatiebeleid. 3. Voortzetting selectief gebruik van aardgas. 4. Kerncentrales of kolencentrales voor de extra benodigde elektriciteit.	1. Subsidie voor energiebesparing. Belasting op energieprijs. Tot 2000 - 16 miljard extra investering in energiebesparing. 2. Bij diversificatie méér duurzame energiebronnen, warmtekrachtkoppeling en stadsverwarming. Meer windmolens. 3. Procentueel grotere inzet van aardgas, vooral bij warmtekrachtkoppeling. 4. Geen extra centrales.
MILIEUBELEID	1. Voortzetting bestaande milieubeleid. 2. Bestrijding van vervuiling die boven bestaande normen uitgaat.	1. Voortzetting bestaande milieubeleid. 2. Bestrijding van vervuiling die boven bestaande normen uitgaat.	1. Voortzetting bestaande milieubeleid. 2. Bestrijding van vervuiling die boven bestaande normen uitgaat.	1. 15 miljard méér overheidsinvesteringen in milieubeschermende maatregelen. Afremming grootschalige land- en tuinbouw. 2. Strengere milieunormen. Verder: stimulering openbaar vervoer en beperking privé autogebruik.
WELKE EFFECTEN ZIJN ER VOOR:				
ECONOMISCHE GROEI	Ongeveer 1,25% per jaar (tussen 1980 en 2000).	Ongeveer 2,5% per jaar (tussen 1980 en 2000).	Ongeveer 1,5% per jaar (tussen 1980 en 2000).	Ongeveer 1% per jaar (tussen 1980 en 2000).
WERKGELEGENHEID IN HET JAAR 2000	Blijvend hoge werkloosheid.	Vermindering van de werkloosheid met 400.000. Minimaal 200.000 werklozen.	Vermindering van de werkloosheid met 400.000. Minimaal 200.000 werklozen.	Vermindering van de werkloosheid met 400.000. Minimaal 200.000 werklozen.
ONTWIKKELING PARTICULIERE CONSUMPTIE	Stijging met 6,4% (tussen 1980 en 2000).	Stijging met 16,1% (tussen 1980 en 2000).	Stijging met 11,8% (tussen 1980 en 2000).	Stijging met 4% (tussen 1980 en 2000).
GEMIDDELDE WERKWEEK IN HET JAAR 2000	31 uur.	33 uur.	28,5 uur.	30 uur.
MILIEU	Iets grotere milieuvervuiling (die wel binnen de gehanteerde normen blijft).	Grotere milieuvervuiling (die binnen de op dit moment gehanteerde normen wordt gehouden).	Iets grotere milieuvervuiling (die wel binnen de gehanteerde normen blijft).	Aanzienlijke beperking van de milieuvervuiling.
BRONNEN VOOR DE OPENBARE ELEKTRICITEITSOPWEKKING IN 2000	zonder kernenergie / met kernenergie steenkool 74% / 45% aardolie 8% / 8% aardgas 12% / 11% windenergie 6% / 5% kernenergie 0% / 31%	zonder kernenergie / met kernenergie steenkool 81% / 59% aardolie 5% / 5% aardgas 9% / 8% windenergie 5% / 4% kernenergie 0% / 24%	zonder kernenergie / met kernenergie steenkool 80% / 55% aardolie 5% / 5% aardgas 10% / 9% windenergie 5% / 5% kernenergie 0% / 26%	zonder kernenergie steenkool 33% aardolie 9% aardgas 44% windenergie 14% kernenergie 0%
TOTAAL ELEKTRICITEITSGEBRUIK IN 2000	Stijging met 36% vergeleken met 1980.	Stijging met 62% vergeleken met 1980.	Stijging met 40% vergeleken met 1980.	Stijging met 3% vergeleken met 1980.
BRONNEN VOOR DE TOTALE ENERGIEVOORZIENING IN HET JAAR 2000	zonder kernenergie / met kernenergie steenkool 33% / 27% aardolie 35% / 34% aardgas 26% / 26% biogas 1% / 1% zonne-energie e.d. 1% / 1% wind- en waterenergie 1% / 1% kernenergie 0% / 7% overige 3% / 3%	zonder kernenergie / met kernenergie steenkool 31% / 26% aardolie 35% / 35% aardgas 28% / 28% biogas 1% / 1% zonne-energie e.d. 1% / 1% wind- en waterenergie 1% / 1% kernenergie 0% / 6% overige 3% / 2%	zonder kernenergie / met kernenergie steenkool 33% / 26% aardolie 35% / 35% aardgas 27% / 27% biogas 1% / 1% zonne-energie e.d. 1% / 1% wind- en waterenergie 1% / 1% kernenergie 0% / 7% overige 2% / 2%	zonder kernenergie steenkool 22% aardolie 38% aardgas 30% biogas 2% zonne-energie e.d. 1% wind- en waterenergie 2% kernenergie 0% overige 5%
TOTAAL ENERGIEGEBRUIK IN 2000	Stijging van het energiegebruik met ongeveer 14% vergeleken met 1980.	Stijging van het energiegebruik met ongeveer 25% vergeleken met 1980.	Stijging van het energiegebruik met ongeveer 12% vergeleken met 1980.	Daling van het energiegebruik met ongeveer 19% vergeleken met 1980.

De vier energie-scenario's die een rol speelden tijdens de zogenaamde 'Brede Maatschappelijke Discussie' (BMD) over het toekomstig energiebeleid in Nederland tot het jaar 2000. (Bron: BMD-tussenrapport, 1983.)

Een scenario laat zien, uitgaande van bepaalde veronderstellingen, welk effect een bepaalde maatregel op lange termijn kan hebben. Je moet dat niet zien als echte toekomstvoorspelling. Bij het rekenen aan een scenario maak je veronderstellingen, maar in werkelijkheid heb je veel dingen totaal niet in de hand. De werkelijkheid kan dus heel anders uitvallen dan je bij het rekenen aan een scenario had gedacht. Scenario's kunnen echter wel helpen om meer inzicht te krijgen in de effecten die bepaalde maatregelen zouden kunnen hebben. Vooral in vergelijking met elkaar.

1.
Stelling: *energie* is ook een belangrijke factor voor de *kwaliteit* van onze *maatschappij.*
- Bediscussieer deze stelling, mede aan de hand van de BMD-scenario's op blz. 7.
- Wat zou je in dit geval onder 'kwaliteit' willen verstaan?





1.3 KENNIS EN KEUZE

Voorgaande activiteiten laten zien dat in principe het thema 'Energie en Kwaliteit' zeer veel omvattend is. Zoveel dat je je kunt afvragen wat je daar in de rest van dit thema nu verder aan kunt doen. De volgende activiteit wil dit duidelijker maker.

1.
Op een apart blad krijg je een aantal stellingen over *energie*, *energiegebruik* en het *energie-probleem.*
Geef op dat blad bij elke stelling aan:
– in hoeverre je het met deze stellingen al of niet eens bent (of nog niet weet);
– of je verwacht in dit thema iets te leren dat je verder kan helpen bij je oordeel over die stelling. (Controleer dit na afloop van het thema!)

De stellingen uit activiteit 1 zijn erg verschillend van aard. Sommige zijn erg globaal, andere veel gedetailleerder. Van sommige (welke?) zou je de juistheid kunnen nagaan aan de hand van metingen en berekeningen. Andere echter (welke?) zijn typisch gebaseerd op meningen, zodat je eigenlijk nooit kunt zeggen of ze goed of fout zijn.
Verstandig omgaan met energie betekent steeds het doen van keuzes. Vaak kan *kennis* je daarbij helpen, maar vaak niet genoeg. Dan spelen ook heel andere overwegingen een beslissende rol. Doel van deze oriëntatie is je hiervan opnieuw bewust te laten worden. Maar ook van het feit dat vergroting van kennis wel degelijk kan helpen bij althans een deel van de problemen!

1.4 DOEL EN INHOUD VAN HET THEMA 'ENERGIE EN KWALITEIT'

Uit de vorige paragraaf volgt al dat het doel van dit thema niet anders dan *beperkt* kan zijn, en wel:
het leren van natuurkundige en technische aspekten, die te maken hebben met 'verstandig omgaan met energie'.

De activiteiten in dit thema kun je rangschikken naar de volgende vier vragen, die duidelijk maken hoe je in de praktijk energie-zuinig kunt handelen. Uiteindelijk komen deze vier vragen allemaal op hetzelfde neer, namelijk: energiebesparing. Maar het zijn vier verschillende invalshoeken van waaruit je daaraan kunt werken.

richtvragen

1. *hoe kun je een bepaalde taak zó inrichten, dat ze zo weinig mogelijk energie kost?*
Bijvoorbeeld: Als je theewater aan de kook wilt brengen, moet je niet teveel water opzetten. Verlichten moet je niet met teveel lampen doen en deze niet onnodig laten branden. Verwarmen kan zo zuinig mogelijk door goed isoleren en een graadje minder warm stoken. Je per auto verplaatsen kan zuiniger met een goede stroomlijn.

2. *hoe krijg je de energie die je nodig hebt uit zo weinig mogelijk brandstof (of andere energiebronnen)?*
Met andere woorden: hoe kun je het *rendement* van de apparaten die je gebruikt zo hoog mogelijk maken?

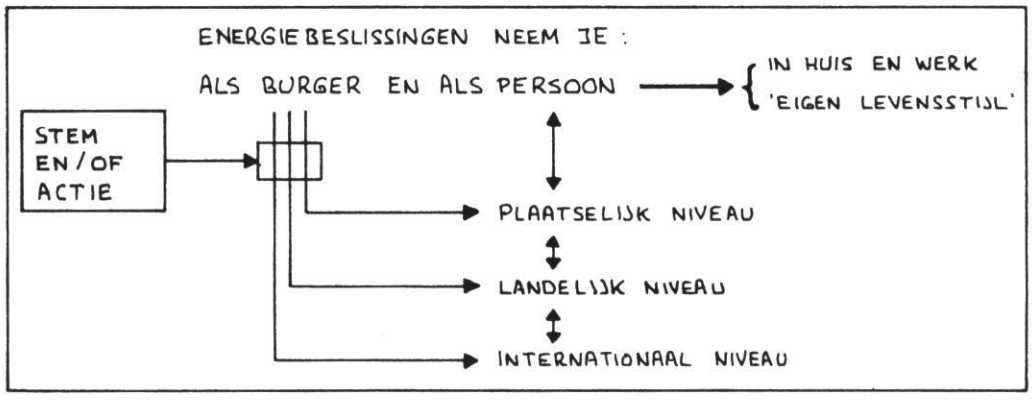
3. *welke brandstof/energiebron kun je het beste gebruiken voor welke taak?*
Hierbij gaat het om de zogenaamde *kwaliteit van energie.* Elektrisch verwarmen zal bijvoorbeeld blijken een ongewenste manier van verwarmen te zijn.

4. *hoe kun je je totale energiesysteem zo verstandig mogelijk organiseren?*
Bijvoorbeeld: Laat je het warme douche- en afwaswater zomaar weglopen, of gebruik je via een warmtewisselaar deze warmte nog voor huisverwarming? Net zoals dat op grote schaal geldt voor het warme koelwater van elektriciteitscentrales, waar we nog hele stadswijken mee kunnen verwarmen.

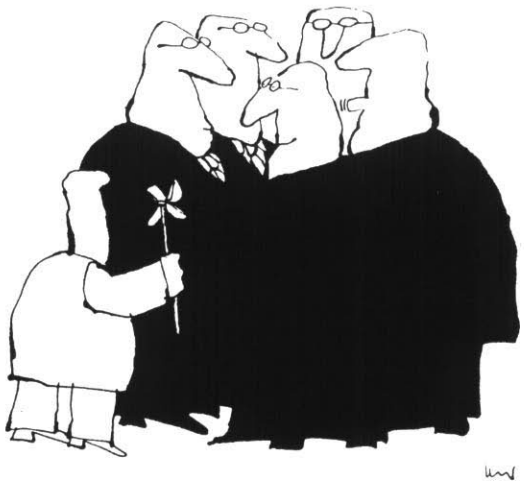
niveaus

Hoe het preciese antwoord op deze vier richtvragen er uitziet, hangt nog sterk af van het *niveau* (of de *schaal*) waarover we praten. Dat geldt ook voor wat je er zelf aan kunt doen. Immers, hoe kom je met energiegebruik in aanraking? In ieder geval als *persoon*, in je eigen dagelijkse gedrag, nu en in de toekomst. Maar ook als *staatsburger*, die moet meebeslissen over de energie-toekomst van Nederland.

Schematisch kan dat als volgt worden weergegeven.



In dit schema zijn vier 'niveaus' onderscheiden. Hoe 'groter' het niveau, hoe complexer de situatie en hoe kleiner je invloed!
Toch wil dit thema informatie bieden, die je op verschillende niveaus kunt gebruiken. We zullen ons daarbij echter wél beperken tot Nederland, en niet over de internationale politiek praten. Dit vanwege het doel van dit thema om vooral aandacht te besteden aan natuurkundig-technische aspecten.



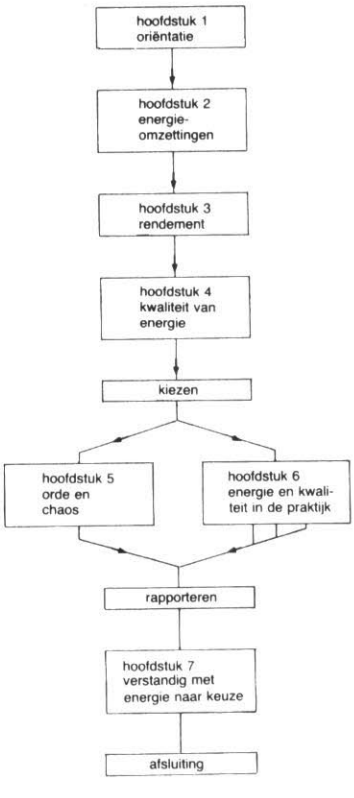
De overheid, nutsbedrijven en vooral technische deskundigen hebben soms grote moeite zich in te leven in de – uiteraard vaak emotioneel gekleurde – oordelen, vooroordelen en maatschappelijke opvattingen die vanuit de samenleving naar voren worden gebracht. Zij (de deskundigen) slagen er niet altijd in te onderkennen dat ook hun eigen standpunten mede ingegeven worden door emoties gebaseerd op waarden en normen.

(BMD-eindrapport, febr. 1984.)

1.
Geef voorbeelden van energie-beslissingen die horen bij de vier niveaus.

2.
Maak een keuze voor het niveau van je grootste interesse. Verzamel tijdens dit thema informatie over energiegebruik en -beslissingen op dat niveau. Die informatie kun je gebruiken bij het maken van de eindopdracht (hoofdstuk 7).

1.5 DE OPZET VAN HET THEMA 'ENERGIE EN KWALITEIT'



De opzet van het thema 'Energie en Kwaliteit'

In deze oriëntatie (hoofdstuk 1) heb je je beziggehouden met de relatie tussen het energiegebruik en de *kwaliteit van je dagelijkse leven* en de *kwaliteit van de maatschappij.*
Hierna ga je eerst een aantal berekeningen en proeven doen (hoofdstuk 2 en 3) rond omzettingen van energiesoorten in elkaar, en rond het begrip *rendement.* Daarna volgt een theorie-hoofdstuk (hoofdstuk 4) over *kwaliteit van energie.* Het zal dan blijken dat 'kwaliteit onherroepelijk verloren gaat'.
Energie-verstandig handelen betekent dus: sparen op kwantiteit en kwaliteit!
In hoofdstuk 5 wordt nader ingegaan op de vraag waarom 'kwaliteit verloren gaat'; in hoofdstuk 6 hoe je in de praktijk energie-verstandige maatregelen kunt nemen. Uit deze beide hoofdstukken moet je een keuze maken. Na afloop rapporteer je over wat je gedaan hebt.
In hoofdstuk 7 moet je opnieuw kiezen. Nu op grond van het 'invloedsniveau' waar je interesse naar uitgaat.

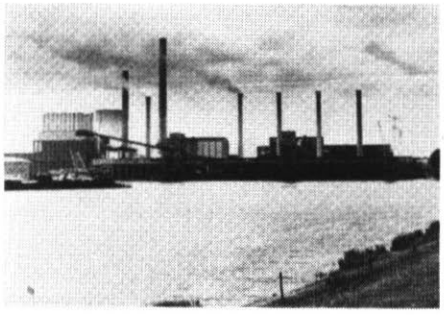
hoofdstuk 2

ENERGIE-OMZETTINGEN

inhoud blz.

2.1 het energiegebruik in Nederland 12
2.2 het apparaat als energie-omzetter 14
2.3 arbeid 15
2.4 energie-soorten 16

energie-omzettingen
In dit hoofdstuk bekijken we eerst het gebruik van energie in Nederland en in huis. Daarbij gebruiken we energie-stroomdiagrammen als een handig hulpmiddel om snel een overzicht te krijgen van wat er met de energie gebeurt. Bij het bestuderen van die stroomdiagrammen blijkt al snel dat er heel veel energie 'verloren' gaat. Als we daar iets aan zouden kunnen veranderen, zou het energieprobleem zo goed als opgelost zijn. Om dat energieverlies aan te pakken heb je natuurkundige kennis nodig, en die wordt in dit hoofdstuk dan ook herhaald en waar nodig uitgebreid.

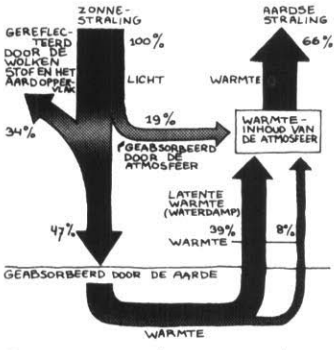


De Amercentrale in Geertruidenberg: energie-'verlies' 64%.

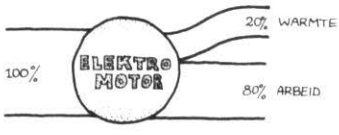
Gloeilampen: energie'verlies' 91%.

Autoverkeer: energie'verlies' 70%.

2.1 HET ENERGIEGEBRUIK IN NEDERLAND



Energie-stroomdiagram van de aarde.



Energie-stroomdiagram van een elektromotor.

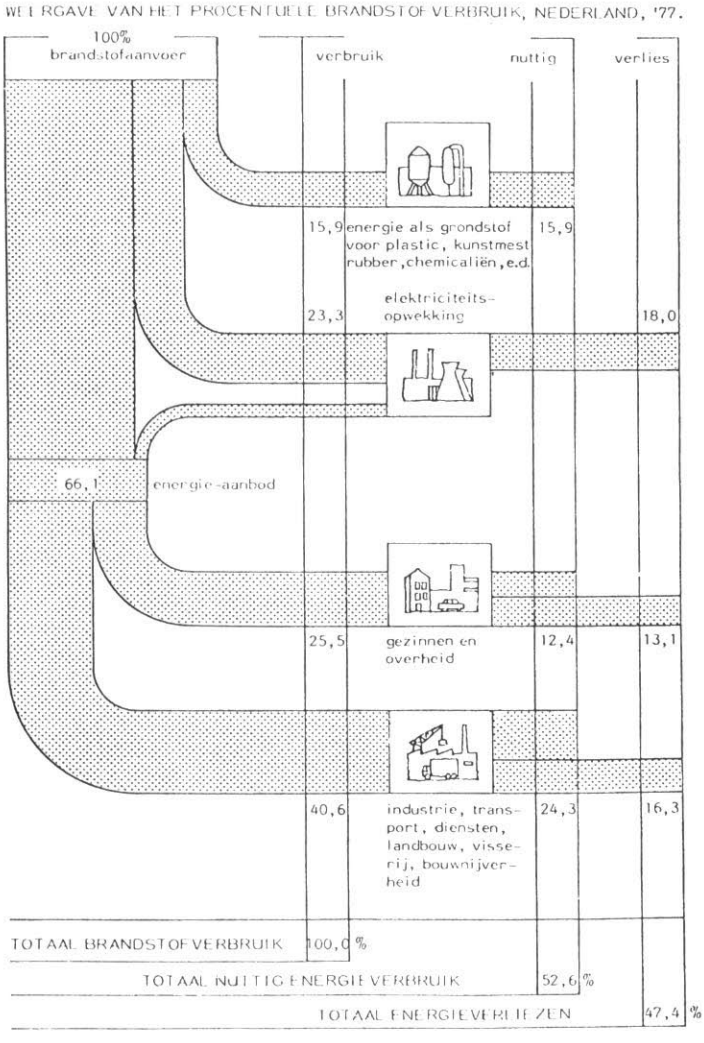
We bestuderen het energiegebruik in Nederland en in huis aan de hand van *energie-stroomdiagrammen.* Dergelijke diagrammen heb je al eerder gezien in de thema's 'Weersveranderingen' en 'Elektrische Machines', zoals bijv. die van de elektromotor in de figuur hiernaast. Meestal kan het *rendement* direkt uit het diagram worden afgelezen. Het rendement η geeft aan hoeveel procent van de energie E (of vermogen P) uiteindelijk nuttig gebruikt wordt:

$$\text{rendement} = \frac{\text{nuttig gebruikte energie}}{\text{totaal energiegebruik}} \cdot 100\%$$

$$\eta = \frac{E_{uit}}{E_{in}} \cdot 100\% = \frac{P_{uit}}{P_{in}} \cdot 100\%$$

In de thema's 'Verkeer' en 'Elektrische Machines' is dit al eerder aan de orde gekomen. Een elektriciteitscentrale heeft een rendement van ongeveer 35%. Dat betekent dat 35% van de energie die erin gaat, uiteindelijk als elektrische energie de centrale verlaat. De rest van de energie gaat 'verloren'. Dat energie'verlies' zal in dit en in de komende hoofdstukken een belangrijke rol spelen.

Waaraan besteden we in Nederland onze energie en hoe hoog is het rendement daarvan?

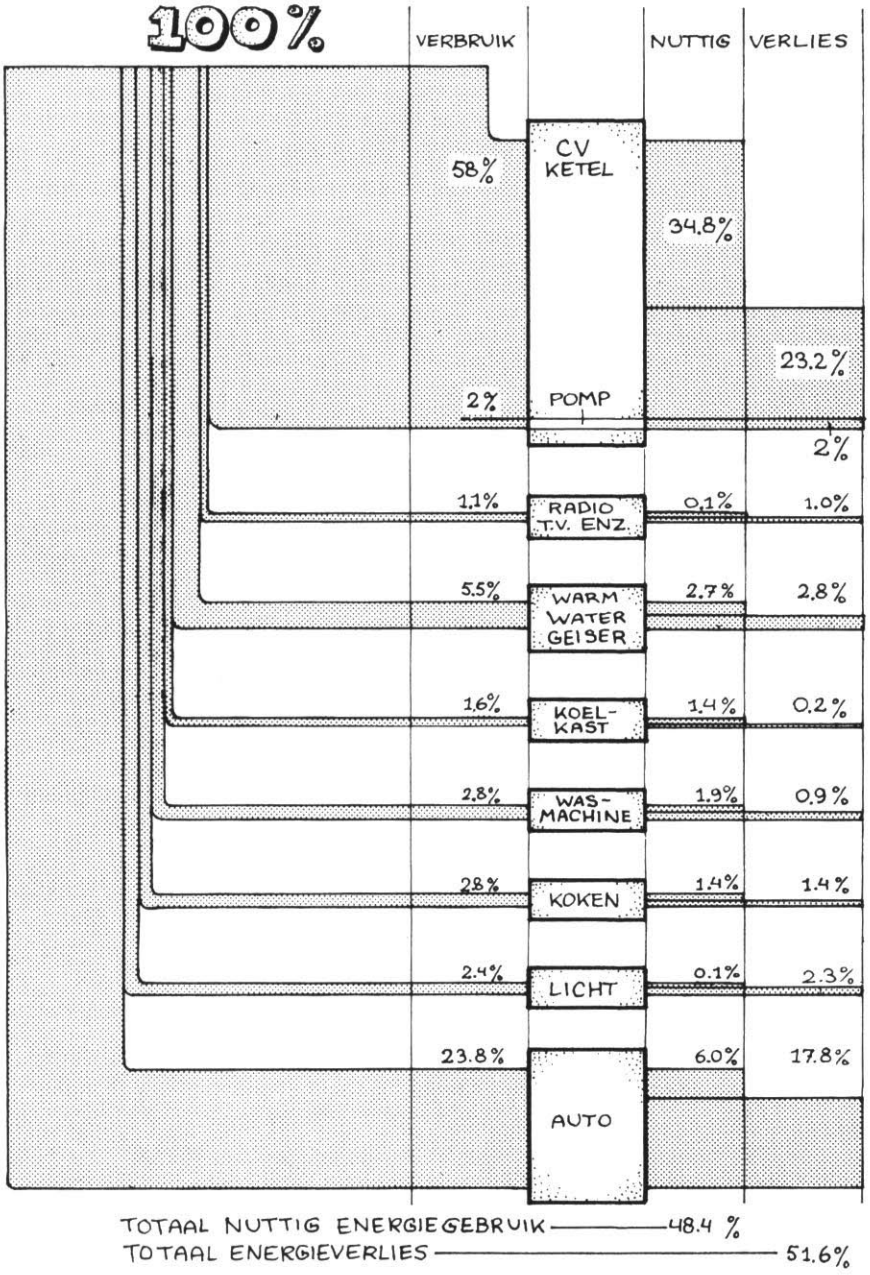


Energie-stroomdiagram van Nederland in 1977. (Bron: Klein Vademecum van de Algemene Energieraad, Staatsuitgeverij 1980.)

1. HET ENERGIE-STROOMDIAGRAM VAN NEDERLAND.

Hiernaast vind je het energie-stroomdiagram van Nederland in 1977. (Helaas waren er geen recentere gegevens voorhanden.)

- In dit schema zijn vier aparte sectoren getekend. Leg bij elke sector uit waarvoor de brandstof gebruikt wordt.
- Bereken het rendement van de elektriciteitsproduktie volgens deze gegevens. (Andere bronnen geven vaak een hogere waarde aan).
- Hoe groot is het rendement van het energiegebruik in Nederland volgens het schema? Waar blijft het 'verlies' aan energie?
- Er is iets merkwaardigs in dit schema. Leg uit waarom je eigenlijk het rendement van het brandstofgebruik bepaald hebt. Let daarbij op de eerste sector.
- Bereken nu het rendement van het energiegebruik in Nederland.



Energie-stroomdiagram van een 'gemiddeld' Nederlands gezin in 1977.

2. HET ENERGIEGEBRUIK IN HUIS

In het schema hiernaast vind je het energiegebruik van een 'gemiddeld' Nederlands gezin in 1977. (Ook hiervan waren geen recentere gegevens beschikbaar.) We gaan ervan uit dat er een CV-installatie en een auto aanwezig is.

In huis wordt gas en elektriciteit gebruikt. Die kun je niet zomaar in één schema zetten. Elektriciteit wordt in een centrale gemaakt door verbranding van bijv. gas. Dat proces heeft een vrij laag rendement. Alle gebruik van elektriciteit is in dit schema dan ook teruggerekend naar het gebruik van gas.

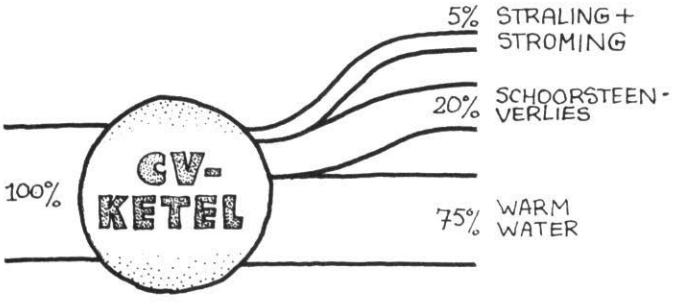
- Lees uit het diagram af hoeveel procent van de energie nuttig wordt gebruikt.
- Kies drie voorbeelden van energiegebruik, en bereken bij elk het rendement. Geef ook aan op welke wijze er energie 'verloren' gaat.
- Bereken het rendement van de CV-ketel. Waarom moet de pomp daarbij als verliespost genoteerd worden? Waar is de 'verloren' gegane energie gebleven?
- Kun je het rendement van de CV-installatie verhogen door het huis te isoleren?
- In welke sector zou jij maatregelen nemen als je energie zou willen besparen? Welke maatregelen dan?
- Bereken hoeveel procent van de energie gebruikt wordt voor:
  - verlichten;
  - verwarmen;
  - arbeid verrichten door motoren;
  - diversen (alles wat niet onder de eerste drie valt).
- Wat vind je nu van de tekst van de hiernaast afgebeelde affiche over 'stroom besparen'?

Bij elk energiegebruik gaat er kennelijk energie 'verloren'. Zowel in heel Nederland als in elk huis apart blijkt dat ongeveer de helft te zijn. In de volgende paragraaf en in hoofdstuk 3 bekijken we de apparaten die de energie gebruiken nauwkeuriger, in de hoop de oorzaken van dat verlies te ontdekken.

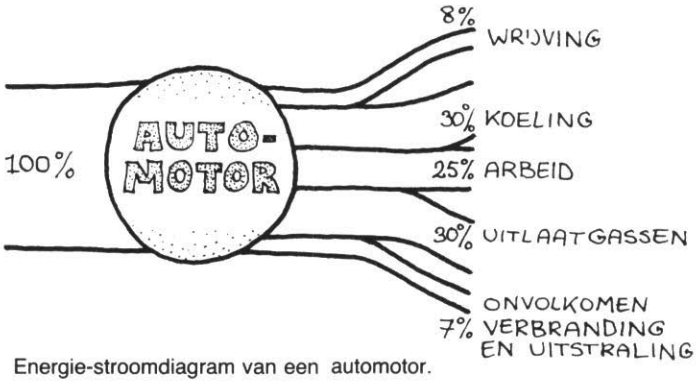
2.2 HET APPARAAT ALS ENERGIE-OMZETTER

Het grootste deel van de energie in huis wordt gebruikt voor verwarming, verlichting en voor arbeid van motoren. We bekijken dan ook achtereenvolgens de CV-installatie, de gloeilamp en de automotor. Op nationaal niveau wordt een vrij groot deel van de energie gebruikt voor de produktie van elektriciteit, en we voegen de elektriciteitscentrale aan het rijtje te bespreken 'apparaten' toe.

In een CV-installatie wordt gas verbrand in de ketel. De vrijkomende warmte wordt voor een deel via een warmtewisselaar aan het CV-water overgedragen.



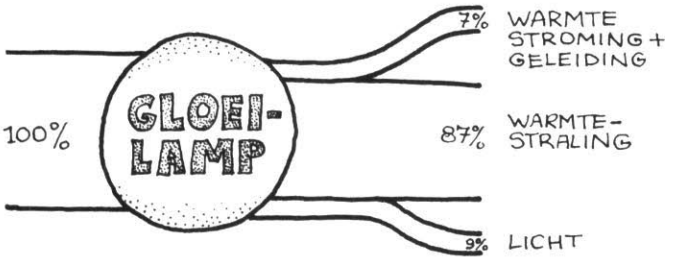
Energie-stroomdiagram van een CV-ketel.



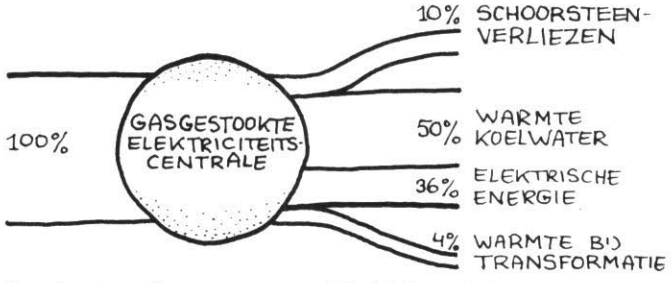
Energie-stroomdiagram van een automotor.

In de cilinder van een automotor wordt benzine verstoven en tot ontbranding gebracht. Daardoor wordt de zuiger met kracht naar beneden geduwd en kan de motor arbeid verrichten.

In een gloeilamp loopt een elektrische stroom door een gloeidraad. Door de weerstand van de draad wordt deze heet en gaat warmte en licht uitstralen.



Energie-stroomdiagram van een gloeilamp.



Energie-stroomdiagram van een elektriciteitscentrale.

In een elektriciteitscentrale wordt stoom van hoge temperatuur gevormd door verbranding van gas of een andere brandstof. De stoom drijft een turbine aan, en wordt vervolgens gekoeld om weer te condenseren. De turbine verricht arbeid en drijft een generator aan. Met een transformator wordt de vrijkomende elektrische energie naar een hogere spanning gebracht.

1. ENERGIE-OMZETTER

Beantwoord voor elk van de hierboven genoemde apparaten de volgende vragen.

- Welke energiesoort gaat erin, welke soorten komen eruit? Welke energiesoort is in dit geval als nuttig te beschouwen?
- Hoe groot is het rendement?
- Kun je maatregelen bedenken waarmee het rendement verhoogd wordt?
- Bij welke apparaten zal een verhoging van het rendement tot 100% zeker niet mogelijk zijn?

Obsessies rond het perpetuum mobile

Met door goudkoorts aangetaste zenuwen en een werktekening die verbazend veel op een prent van Escher lijkt, wordt er al sinds 1200 gezocht naar een constructie die aan een enkel magneetje of aan de zwaartekracht voldoende heeft om eeuwig in beweging te blijven.

Menig eerzaam burger en adellijke maecenas heeft kapitalen gestoken in de ontwikkeling van deze goedkope krachtbron. Het Britse parlement loofde nog in het begin van de 19e eeuw een prijs van tienduizend pond uit voor de gelukkige uitvinder. Ook de Franse Academie van Wetenschappen had tot 1775 nog 500.000 francs beschikbaar voor een functionerend model

Toch werd er ook al vroeg ingezien dat het perpetuum mobile een natuurkundige paradox was. Leonardo Da Vinci schrijft al in 1492 in *'Contra del moto perpetuo'* dat 'een levenloos ding nooit uit zichzelf kan bewegen. Als het zich toch beweegt is er sprake van (het uitoefenen) van een ongelijke kracht'. Eeuwigdurende beweging is tegen de 'ratio der dingen', aldus Da Vinci

Het perpetuum mobile bleef een mythe, een praktische onmogelijkheid. De zwaartekracht liet zich niet misleiden. Het eerste zetje dat de uitvinder z'n constructie geeft 'om 'm even op gang te brengen' vertaalt zich behalve in wat aarzelende bewegingen immers ook in trilling en wrijvingswarmte. Sinds de wet op het behoud van energie (midden 19e eeuw), wordt dit verschijnsel samengevat in de zin: de totale hoeveelheid energie bij het begin van (bijvoorbeeld) een beweging is gelijk aan de totale hoeveelheid energie bij het einde daarvan, zij kan hoogstens van vorm veranderd zijn. Dáár zit de uitvinder natuurlijk niet op te wachten; die wil beweging en liefst constante beweging.

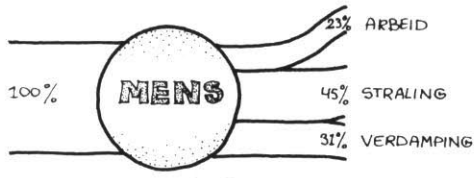
(NRC, 19-11-83).

Al deze apparaten hebben een bepaald doel, en gebruiken energie om dat doel te bereiken. Een gloeilamp zet elektrische energie om in stralingsenergie; een windmolen zet kinetische energie om in elektrische energie, enz.
Een apparaat is te beschouwen als een *energie-omzetter.* Uit het energie-stroomdiagram is na te gaan hoe efficiënt dat gebeurt.

de eerste hoofdwet

Bij alle energie-stroomdiagrammen die je tot nu toe gezien hebt, komt er evenveel energie uit als erin gegaan is. Er gaat eigenlijk geen energie verloren. Bij energiegebruik wordt een deel van de toegevoerde energie omgezet in een *niet gewenste energiesoort.* Dat deel noemen we het *'energieverlies'.*
Als je zo'n energie-stroomdiagram zorgvuldig opstelt, blijkens telkens weer dat de totale hoeveelheid energie niet veranderd is.
Of, anders gezegd:
de totale hoeveelheid energie blijft behouden; bij energie-omzettingen verdwijnt er geen energie, en kan er ook geen energie uit het niets ontstaan.
Deze uiterst belangrijke natuurwet (de *wet van behoud van energie*) staat bekend als de *eerste hoofdwet van de warmteleer.*

2. DE MENS ALS ENERGIE-OMZETTER



Energie-stroomdiagram van een mens.

Ook een mens kan worden gezien als een energie-omzetter, en misschien zelfs wel als een 'apparaat'.

- Welke energiesoort gaat erin? Welke soorten komen eruit?
- Hoe groot is het rendement bij het verrichten van arbeid?
- Is dan al die andere energie te beschouwen als onnuttig?

Om straks in opdrachten en proeven een rendement te kunnen bepalen, is het noodzakelijk dat je aan verschillende energiesoorten kunt meten en ermee kunt rekenen.
Bij het kijken naar apparaten zijn we al een aantal energiesoorten tegengekomen:
- chemische energie (dat is energie die vrijkomt bij verbranding van brandstoffen, zoals gas, benzine en voedsel);
- warmte;
- kinetische energie;
- elektrische energie;
- stralingsenergie (bijv. licht).

Daarnaast zijn we bij de motoren ook 'arbeid' tegengekomen. De arbeid en de genoemde energiesoorten, aangevuld met 'zwaarte-energie', worden in de volgende paragrafen behandeld.
De kernenergie komt in de vijfde klas aan bod in het thema 'Ioniserende Straling'.

2.3 ARBEID

Volgens het energie-stroomdiagram wordt ongeveer 28% van het energiegebruik in huis besteed aan het verrichten van *arbeid* door motoren. Arbeid is *geen* energiesoort. Wat is het dan wel?
Je kunt arbeid zien als een *tussenstap.* Als de motor draait, gebruikt hij energie en kan hij arbeid verrichten. Welke energiesoort er uitkomt hangt af van het gebruik van de motor:

– als de motor in een hijskraan gebruikt wordt om een last op te hijsen, verricht de motor arbeid en zet elektrische energie om in zwaarte-energie;
– als de motor in een auto gebruikt wordt om op te trekken, verricht de motor arbeid en zet chemische energie om in kinetische energie;
– als je met een boormachine een gat in de muur boort, verricht de motor arbeid en zet elektrische energie om in warmte.

Ook een mens kan arbeid verrichten. Wat het eindprodukt van zijn energie-omzetting is, hangt ook hier af van het doel van zijn arbeid. In het energie-stroomdiagram van een motor (en van een mens) kom je dus, naast een aantal energiesoorten, ook arbeid tegen. Van dat deel staat nog niet vast in welke energiesoort het omgezet zal worden.

In het thema 'Verkeer' stond:

Voor de arbeid W van een kracht F geldt:

kracht met de beweging mee:	$W = F \cdot \Delta s$	met F positief
kracht tegen de beweging in:	$W = F \cdot \Delta s$	met F negatief
kracht dwars op de beweging:	$W = 0$	

Er wordt dus telkens arbeid verricht als een kracht tegen de beweging in of met de beweging mee verplaatst wordt. Naast draaiende motoren en werkende mensen zijn er dus ook andere situaties waarin arbeid verricht wordt:
– bij een remmende fiets verricht de wrijvingskracht arbeid;
– bij een vallende steen verricht de zwaartekracht arbeid (trouwens ook als de steen omhoog gaat).

1.
Wordt er in de volgende situaties arbeid verricht? Geef ook de energie-omzetting.
– Je staat stil met je bromfiets terwijl de motor draait.
– De gewichten van een koekoeksklok zakken langzaam naar beneden.
– Je hart slaat.
– Een ruimtevaartuig is op weg naar een ver sterrestelsel.
– Een mixer klopt slagroom.
– Een zonnecel zet zonlicht om in elektriciteit.
– Een windmolen draait en levert elektriciteit.

2.4 ENERGIESOORTEN

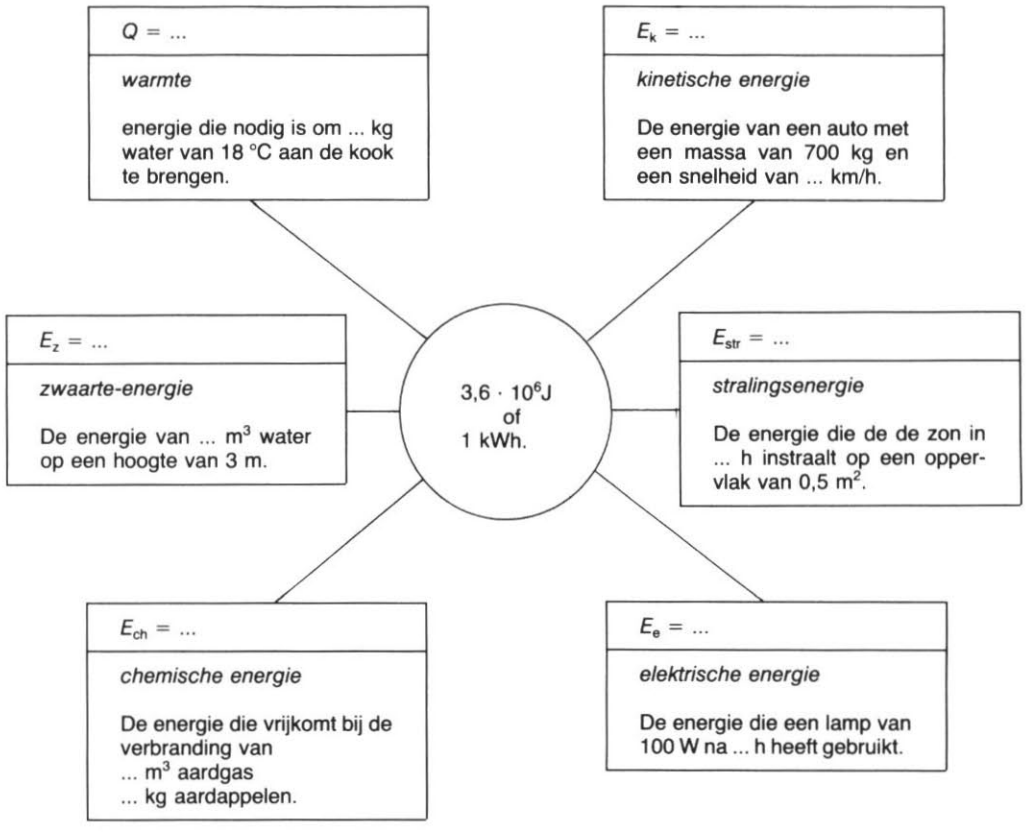
In deze paragraaf ga je bij alle genoemde energiesoorten na op welke manier je ze kunt meten en hoe je de hoeveelheid energie kunt berekenen. Die kennis heb je nodig om de experimenten en opdrachten in hoofdstuk 3 te kunnen doen.

1 kWh is de hoeveelheid energie die een apparaat met een vermogen van 1000 W in een tijd van 1 uur gebruikt.

In de loop van het werken aan deze paragraaf vul je de energieroos op blz. 17 in. In deze figuur hebben we een vaste hoeveelheid energie genomen: 1 kWh (1 kilowattuur). Bij elke energiesoort bekijken we wat je met die hoeveelheid energie kunt doen. Straks kun je dan in de figuur zien welke taken veel energie kosten, en kun je de energiebronnen onderling met elkaar vergelijken. Neem die energieroos over in je schrift.

elektrische energie
In het thema 'Elektrische Machines' heb je drie manieren gezien om het gebruik van *elektrische energie* door een apparaat te meten:
– Je meet spanning V, stroomsterkte I en de tijd Δt dat het apparaat werkt.
De gebruikte elektrische energie E_e kan dan berekend worden met:

$$E_e = V \cdot I \cdot \Delta t$$



Een kWh-meter.

– Je sluit een kWh-meter op het apparaat aan. Door het aantal omwentelingen te tellen kan het energiegebruik bepaald worden.
– Als het vermogen P van het apparaat bekend is, kan het energiegebruik berekend worden met:

$$E_e = P \cdot \Delta t$$

1.
Na hoeveel tijd heeft een lamp met een vermogen van 100 W een hoeveelheid energie van 1 kWh gebruikt? Schrijf het resultaat en de formule(s) voor E_e in de energieroos in je schrift.

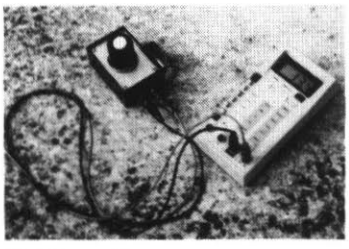
kinetische energie
In het thema 'Verkeer' heb je gezien dat een voorwerp met massa m en snelheid v een *kinetische energie* E_k heeft van:

$$E_k = \tfrac{1}{2}\, m \cdot v^2$$

Door meting van massa en snelheid kan de grootte van de kinetische energie berekend worden.

2.
Een auto met een massa van 700 kg heeft een kinetische energie van $3{,}6 \cdot 10^6$ J. (Dat komt overeen met 1 kWh.) Hoe snel rijdt die auto dan? Noteer het resultaat en de formule voor E_k in de energieroos in je schrift.

stralingsenergie
Er zijn veel verschillende soorten *straling*, zoals: licht, warmtestraling, röntgenstraling, radarstraling enz. In dit thema komen alleen de eerste twee aan de orde.
Tot nu toe heb je licht altijd gemeten met een belichtingsmeter of een luxmeter. Die meters zijn niet geschikt om de hoeveelheid *stralingsenergie* te meten. Ze zijn gecorri-



Stralingsmeter.

geerd voor de gevoeligheid van het menselijk oog, zodat het meetresultaat in overeenstemming is met de waarneming van het oog. In dit thema hebben we een ongecorrigeerde meting nodig van de stralingsenergie. De gebruikte *stralingsmeter* meet de hoeveelheid energie die er per seconde op een vlak van 1 m^2 valt. Dat noemen we de *bestralingssterkte* E_b. De eenheid daarvan is W/m^2.
De hoeveelheid stralingsenergie E_{str} die in een tijd Δt op een vlak van 1 m^2 valt, vind je dan uit:

$$E_{str} = E_b \cdot \Delta t$$

Voor een oppervlak A wordt de hoeveelheid stralingsenergie dus gegeven door:

$$E_{str} = E_b \cdot A \cdot \Delta t$$

3.
In Nederland is de bestralingssterkte van de zonnestraling op een mooie dag 700 W/m^2. Hoe lang moet de zon op een oppervlak van 0,5 m^2 schijnen, om een hoeveelheid energie van $3{,}6 \cdot 10^6$ J te ontvangen?
Schrijf het resultaat en de formule voor E_{str} in de energieroos in je schrift.

De hoeveelheid energie in een stuk appeltaart (350 cal) is gelijk aan die in 300 g TNT (trinitrotolueen). De dagelijkse hoeveelheid voedsel van een jonge man die 3.000 cal bevat, bevat evenveel energie als 2,70 kg TNT.

chemische energie

Brandstoffen als olie, kolen en gas, maar ook voedsel, bevatten *chemische energie*. Die energie komt in de vorm van warmte vrij bij verbranding. Bij olie, kolen en gas gebeurt dat in een verbrandingsketel, terwijl voedsel in het lichaam verbrand wordt. In beide gevallen is het eindresultaat koolstofdioxide en water.
Hoeveel energie er bij verbranding vrijkomt, hangt af van de soort brandstof en de hoeveelheid. De ene soort brandstof levert per kg duidelijk meer energie dan de andere. Dat verschil wordt aangegeven door de *verbrandingswarmte*. De verbrandingswarmte q van een stof geeft aan hoeveel warmte er vrijkomt bij de verbranding van 1 kg van die stof (bij vaste brandstoffen) of van 1 liter of 1 m^3 van die stof (bij vloeibare en gasvormige brandstoffen). Zo levert 1 liter benzine meer energie dan 1 liter spiritus, en 1 kg rijst meer dan 1 kg aardappelen.
In de tabellen hieronder vind je van een aantal brandstoffen en voedingsmiddelen de waarde van de verbrandingswarmte.

In de Derde Wereld vormt hout een zeer belangrijke (en soms zeldzame) energiebron.

tomaten-groentesoep

Voedingswaarde gemiddeld per 100 ml	
kJoules	90
Eiwit	0,54 g
Vet	0,32 g
Koolhydraten	3,93 g

Voedingswaarde-etiket op levensmiddelen.

VERBRANDINGSWARMTE VAN BRANDSTOFFEN

Vaste stoffen	verbrandingswarmte in J/kg
Antraciet	$29 \cdot 10^6$
Cokes	$28 \cdot 10^6$
Hout	$16 \cdot 10^6$
Vloeistoffen	**J/liter**
Benzeen	$36 \cdot 10^6$
Brandspiritus	$18 \cdot 10^6$
Benzine	$33 \cdot 10^6$
Gasolie (huisbrandolie I)	$36 \cdot 10^6$
Stookolie (licht)	$41 \cdot 10^6$
Stookolie (zwaar)	$40 \cdot 10^6$
Gassen	**J/m^3**
Waterstof	$10{,}2 \cdot 10^6$
Methaan	$34 \cdot 10^6$
Ethyn	$53{,}3 \cdot 10^6$
Aardgas (Slochteren)	$30 \cdot 10^6$
Handelspropaan	$45{,}8 \cdot 10^6$
Handelsbutaan	$46{,}6 \cdot 10^6$

VERBRANDINGSWARMTE VAN VOEDINGSMIDDELEN

Voedingsmiddel	verbrandingswarmte in J/kg
aardappelen	$3{,}6 \cdot 10^6$
bloemkool	$0{,}96 \cdot 10^6$
rundvlees	$8{,}2 \cdot 10^6$
patat frites	$10{,}0 \cdot 10^6$
rijst	$14{,}4 \cdot 10^6$
sla	$0{,}5 \cdot 10^6$
vis	$3{,}2 \cdot 10^6$
spek	$32{,}7 \cdot 10^6$
brood (bruin)	$11{,}5 \cdot 10^6$
roomboter	$31{,}4 \cdot 10^6$
margarine	$31{,}4 \cdot 10^6$
kaas (oud)	$15{,}3 \cdot 10^6$
melk	$2{,}5 \cdot 10^6$
bier	$1{,}7 \cdot 10^6$
pinda's	$25{,}1 \cdot 10^6$
moedermelk	$2{,}9 \cdot 10^6$

De energie E_{ch} die vrijkomt bij de verbranding van een stof met massa m of volume V, wordt gegeven door:

$$E_{ch} = q \cdot m$$
$$E_{ch} = q \cdot V$$

We gaan hier verder niet in op het meten van de verbrandingswarmte. De meetmethoden zijn nogal ingewikkeld, en komen in dit thema verder niet aan de orde.

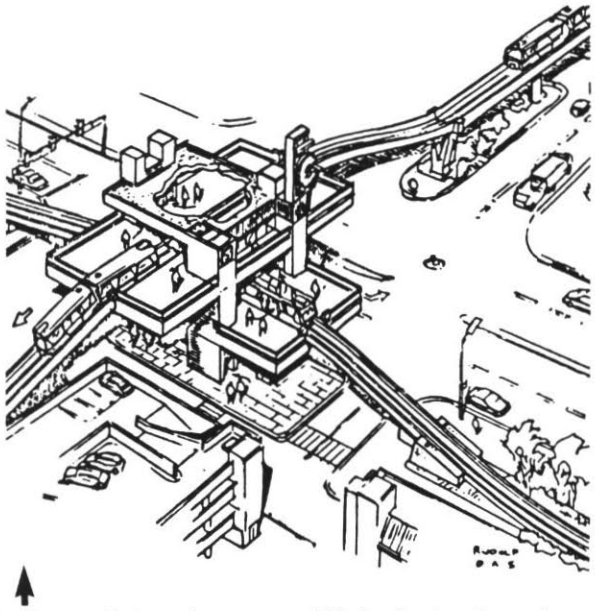
4.

- Hoeveel m^3 aardgas moet je verbranden om $3{,}6 \cdot 10^6$ J energie vrij te maken. Schrijf dat in de energieroos.
- Hoeveel kg aardappelen moet je in je lichaam verbranden om een energie van $3{,}6 \cdot 10^6$ J vrij te maken.

Noteer de resultaten en de formule(s) voor E_{ch} in de energieroos in je schrift.

zwaarte-energie

Deze energiesoort zijn we in de vorige thema's nog niet tegengekomen. Toch speelt *zwaarte-energie* vaak een belangrijke rol, zoals bij een lift, bergop fietsen, iets omhoog tillen enz. Ook in sporten als gewichtheffen, skiën, hoogspringen, kogelstoten is de zwaarte-energie van groot belang.
Bij al deze voorbeelden gaat het om voorwerpen die omhoog of omlaag gebracht worden, dus tegen de zwaartekracht in of met de zwaartekracht mee. In het thema 'Verkeer' bleek al dat er in zo'n situatie arbeid verricht wordt.
Als je over een vlakke weg fietst, verricht je arbeid en wordt chemische energie omgezet in warmte. Tegen een helling omhoog fietsen kost aanzienlijk méér arbeid. Dan wordt chemische energie omgezet in warmte én zwaarte-energie. Als je later de helling weer affietst, komt die zwaarte-energie weer vrij.



Het vrij snel achter elkaar stoppen en weer optrekken van het openbaar vervoer bij haltes kost veel energie. Hier zie je een energiebesparende oplossing. Het afremmen wordt bereikt door een bus of tram tegen een helling te laten oprijden: de kinetische energie wordt voor een groot deel omgezet in zwaarte-energie (in plaats van warmte). Bij het optrekken rijdt het vervoermiddel de helling af: de verkregen zwaarte-energie wordt omgezet in kinetische energie. Zo kost het optrekken minder chemische energie. (Bron: Elseviers Magazine, 12-8-1978.)

De extra arbeid die je moet verrichten om omhoog te fietsen wordt gegeven door:

$$\text{extra arbeid} = \text{zwaartekracht} \cdot \text{hoogteverschil}$$
$$W = m \cdot g \cdot \Delta h$$

Je kunt ook zeggen dat de zwaarte-energie van de fietser toegenomen is met $m \cdot g \cdot \Delta h$ joule.
De zwaarte-energie E_z van een voorwerp met massa m op hoogte h is gelijk aan:

$$E_z = m \cdot g \cdot h$$

Een ander voorbeeld is de waterkrachtcentrale. Het water uit het stuwmeer valt naar beneden: de zwaarte-energie van het water wordt kleiner, en het water verricht arbeid door de turbines aan te drijven. De hoeveelheid energie die het vallende water levert, kan met bovenstaande formule berekend worden.

5.
Er zijn plannen om waterkrachtcentrales te bouwen in de grote rivieren, bijv. in de Maas. Bij de stuw van Belfeld (L) valt het water over een hoogte van 3 m naar beneden. Hoe groot is de hoeveelheid water die op die hoogte een zwaarte-energie heeft van $3{,}6 \cdot 10^6$ J?
Noteer het resultaat en de formule voor E_z in de energieroos in je schrift.

warmte
Warmte speelt in dit thema een zeer belangrijke rol. Bij de meeste energie-omzettingen die je tot nu toe bekeken hebt, komt ook warmte vrij. Vaak is die warmte ongewenst, bijv. de warmte die ontstaat door de wrijving in een motor. Soms is warmte juist de gewenste energievorm, zoals bij een kachel. Bij de energie-stroomdiagrammen bleek een zeer groot deel van de energie in huis besteed te worden aan het verwarmen van water (tap- en CV-water). Hoeveel energie heb je daar nu voor nodig, en hoe zit dat bij andere stoffen? In de tabel hiernaast is voor verschillende stoffen aangegeven hoeveel energie je nodig hebt om 1 kg van die stof 1 °C (of 1 K) te verwarmen. We noemen dat de *soortelijke warmte c* van een stof.

SOORTELIJKE WARMTE VAN EEN AANTAL VASTE STOFFEN EN VLOEISTOFFEN.

Stof	soortelijke warmte bij 20 °C in J/(kg. K)
Alcohol	$2{,}4 \cdot 10^3$
Benzeen	$1{,}7 \cdot 10^3$
Ether	$2{,}3 \cdot 10^3$
Glycerol	$2{,}4 \cdot 10^3$
Kwik	$0{,}14 \cdot 10^3$
Olijfolie	$2{,}0 \cdot 10^3$
Kerosine (petroleum)	$2{,}1 \cdot 10^3$
Tetra (chloormethaan)	$0{,}84 \cdot 10^3$
Water	$4{,}20 \cdot 10^3$
Aluminium	$0{,}88 \cdot 10^3$
Goud	$0{,}13 \cdot 10^3$
Koper	$0{,}39 \cdot 10^3$
Lood	$0{,}13 \cdot 10^3$
Magnesium	$1{,}00 \cdot 10^3$
Nikkel	$0{,}46 \cdot 10^3$
Platina	$0{,}13 \cdot 10^3$
Tin	$0{,}23 \cdot 10^3$
Wolfraam	$0{,}13 \cdot 10^3$
IJzer (zuiver)	$0{,}46 \cdot 10^3$
Zilver	$0{,}24 \cdot 10^3$
Zink	$0{,}39 \cdot 10^3$

6.
- Vergelijk de soortelijke warmte van metalen met die van vloeistoffen. Wat valt je op?
- Welke stof heeft de hoogste soortelijke warmte?
- In een CV-installatie wordt water verhit, en dat warme water wordt vervolgens rondgepompt. Wat is hierbij een nadeel van de hoge soortelijke warmte van water? En wat is een voordeel?

In de tabel kun je aflezen hoeveel energie er nodig is om 1 kg stof 1 °C te verwarmen. Hoe kun je nu berekenen hoeveel energie er in andere situaties nodig is?
We mogen aannemen dat de benodigde hoeveelheid energie (warmte) evenredig is met de hoeveelheid stof (de massa m) en met de temperatuurstijging ΔT:
Om 1 kg stof 1 °C te verwarmen is nodig: c J.
Om m kg stof 1 °C te verwarmen is nodig: $c \cdot m$ J.
Om m kg stof ΔT °C te verwarmen is nodig: $c \cdot m \cdot \Delta T$ J.
De warmte Q die nodig is om een hoeveelheid stof met massa m een temperatuurstijging ΔT te geven, vind je dus uit:

$$Q = c \cdot m \cdot \Delta T$$

7.
Hoeveel water van 18 °C kan er met een hoeveelheid energie van $3{,}6 \cdot 10^6$ J aan de kook gebracht worden?
Noteer het resultaat en de formule voor warmte in de energieroos in je schirft.

de energieroos
De resultaten van de berekeningen in deze paragraaf heb je samengebracht in de energieroos. Hiermee kun je de verschillende energiesoorten met elkaar vergelijken.

8.

- Bekijk de gevonden waarden nog eens goed. Welke zijn hoger dan je gedacht had en welke zijn lager?
- In het energie-stroomdiagram van het huis bleek dat er veel meer energie gebruikt wordt voor verwarming dan voor verlichting. Verklaar dat nu met behulp van de ingevulde energieroos.

hoofdstuk 3

RENDEMENT

inhoud

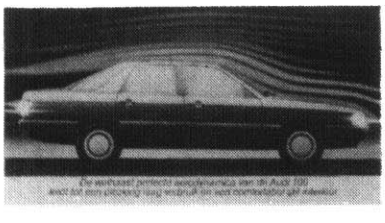
		blz
3.1	water verwarmen	23
3.2	de zonnecollector	23
3.3	de zonnecel	26
3.4	de windmolen	27
3.5	de mens als energie-omzetter	29
3.6	opgaven	30
3.7	van apparaat naar omzetting	35

rendement

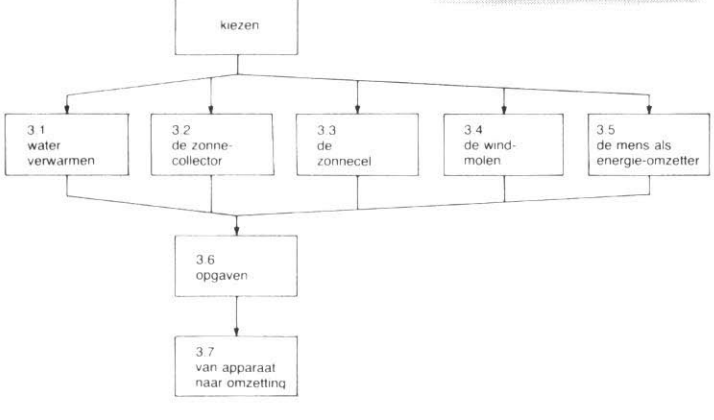
Bij energiebesparing speelt het *rendement* van apparaten een belangrijke rol. In toenemende mate wordt er geadverteerd met apparaten die een bijzonder hoog rendement hebben, zoals HR-ketels, SL-lampen en bijzonder zuinige auto's. Een verdubbeling van het rendement van zonnecellen zou de energiesituatie van Nederland drastisch wijzigen.

In dit hoofdstuk gaat het om het berekenen en meten van het rendement van een aantal apparaten. Daarmee wordt het mogelijk te bepalen wat de beste manier is om een bepaalde taak, bijv. water verwarmen, te verrichten of om apparaten te optimaliseren.

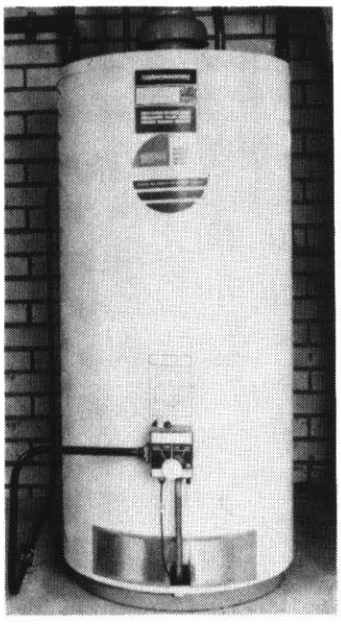
Het verhogen van het rendement blijkt in veel gevallen uiterst moeizaam te gaan en soms zelfs niet mogelijk te zijn. Aan het eind van het hoofdstuk bekijk je alle rendementen nogmaals, om zo energie-omzettingen op te sporen die altijd een laag rendement hebben.



De opzet van hoofdstuk 3: 'rendement'.



3.1 WATER VERWARMEN



Boiler.

In een huishouding heb je vaak warm water nodig. Dat warme water kan geleverd worden door een *boiler*. Bij een boiler wordt het water verwarmd met elektriciteit of door het verbranden van aardgas.

onderzoeksvraag
Heeft een elektrische boiler een groter of een kleiner rendement dan een gasboiler?

1. MEETPLAN
Je probeert een antwoord op de onderzoeksvraag te vinden door water te verwarmen met een elektrische dompelaar en met een gasbrander. Van beide processen bepaal je het rendement.
- Beantwoord zowel voor verwarming met gas als met elektriciteit de volgende vragen:
  – Welke energiesoort wordt er gebruikt? Welke komt er vrij?
  – Hoe kun je deze energiesoorten meten en berekenen?
  – Hoe ziet de proefopstelling eruit?
- Maak een meetplan om het rendement te kunnen bepalen van het verwarmen van een liter leidingwater met een gasbrander tot een temperatuur van 80 °C. Maak ook een meetplan voor dezelfde verwarming met een elektrische dompelaar. Bespreek het meetplan met je leerkracht.
- Voer het onderzoek uit.

uitwerking
2. VERWARMEN MET GAS
- Bereken de gebruikte chemische energie. (Zie de tabel op blz. 18).
- Bereken de energie die nodig was om het water te verwarmen. (Zie de tabel op blz. 20).
- Bereken het rendement.
- Het rendement van een gasboiler is ongeveer 55%.
Vergelijk dat eens met jouw metingen.

3. VERWARMEN MET ELEKTRICITEIT
- Bereken de gebruikte elektrische energie.
- Hoe groot is het rendement?
- Het rendement van een elektrische boiler bedraagt 90%. Vergelijk dat eens met jouw metingen.

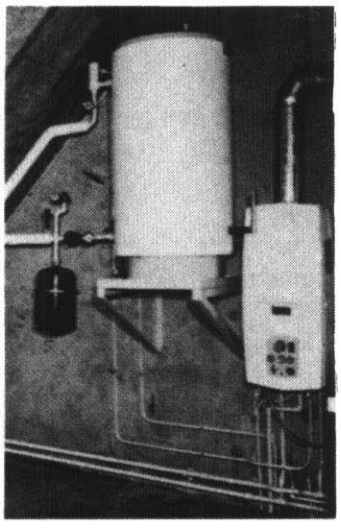
4. CONCLUSIE
- Wat is het antwoord op de onderzoeksvraag?
- Maar ... er zit een adder onder het gras. De boiler maakt gebruik van elektrische energie die in een centrale is opgewekt, meestal door verbranding van aardgas. Het rendement van zo'n centrale is 40%.
Bereken nu nogmaals het rendement van verwarmen met elektriciteit. Verandert je antwoord op de onderzoeksvraag daardoor?

3.2 DE ZONNECOLLECTOR

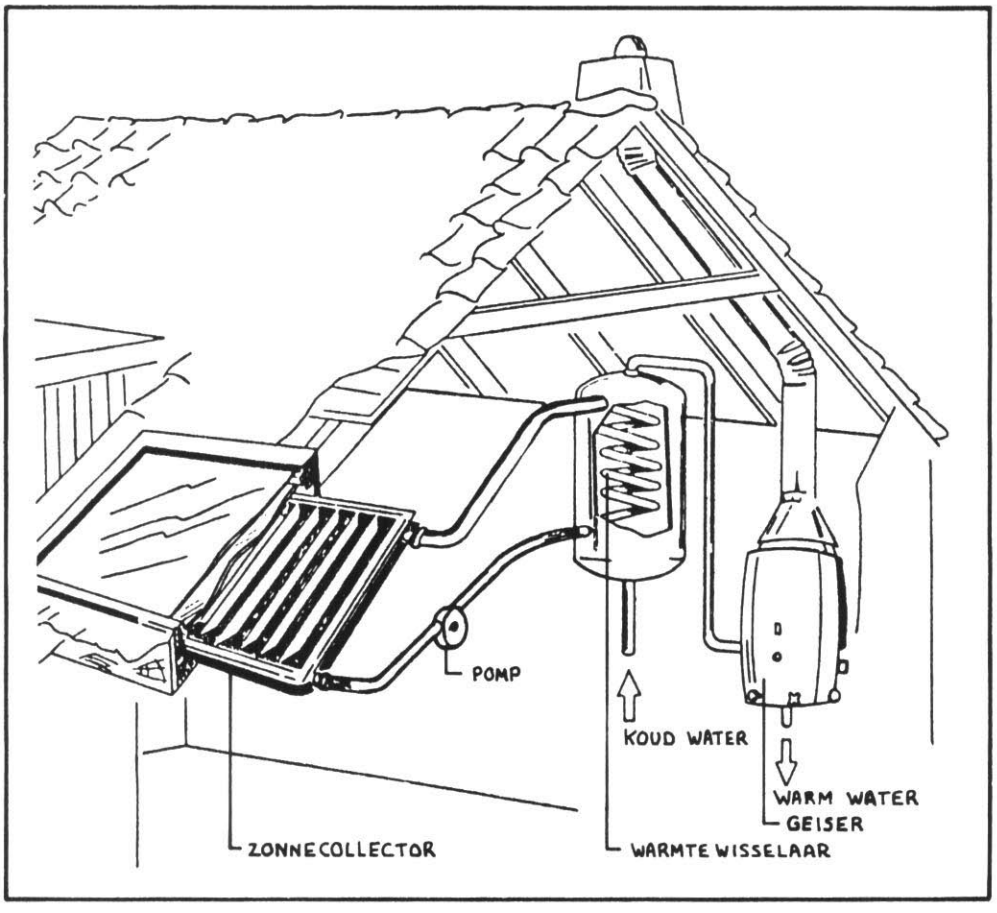
Een huis met zonnecollectoren.

Als er gepraat wordt over alternatieve energiebronnen, valt het woord *zonnecollector* al snel. Op de foto hiernaast zie je een huis dat voorzien is van een groot oppervlak aan zonnecollectoren op het dak. Het is een experimentele woning in Zoetermeer, waarin de zonnecollectoren niet alleen voor de warmwatervoorziening, maar ook voor de ruimteverwarming zorgen. Een zonnecollector die alleen voor de warmwatervoorziening gebruikt wordt, kan aanzienlijk kleiner zijn.
Om bevriezing in de winter te voorkomen wordt er vaak antivries toegevoegd aan het water dat door de collector stroomt. Een direkt gebruik in huis van dit water is daardoor niet mogelijk. Het water uit de collector stroomt door een *warmtewisselaar* in een watertank. Daarbij geeft het water uit de collector warmte af aan het water in de tank. Het afgekoelde water stroomt van de warmtewisselaar weer terug naar de collector om

opnieuw opgewarmd te worden. Het water uit de tank kan, eventueel na bijverwarming, in huis gebruikt worden.
Hieronder zie je zo'n zonnecollectorinstallatie getekend.



Zonneboiler met geiser voor bijverwarming.



Schema van een warmwaterinstallatie met een zonneboiler.

Al is zonne-energie in ruime mate voorradig, toch is het rendement van een zonnecollector belangrijk. Een installatie met een laag rendement moet groter zijn dan een installatie met een hoog rendement, en is dus ook duurder.
Het rendement van een zonnecollector hangt onder andere af van de *doorstroomsnelheid* van het water. De doorstroomsnelheid is de hoeveelheid water (de massa) die per seconde de collector in stroomt (of uitstroomt). Bij een hoge doorstroomsnelheid levert de collector veel water van een vrij lage temperatuur, bij een lage doorstroomsnelheid weinig water met een hoge temperatuur.

onderzoeksvraag
Bij welke doorstroomsnelheid van het water functioneert een zonnecollector optimaal?

Dwarsdoorsnede van een zonnecollector.

Om een zo hoog mogelijk rendement te bereiken bij de omzetting van de stralingsenergie van de zon in warmte moet de zonnecollector:
- zoveel mogelijk zonnestraling opvangen;
- zo weinig mogelijk warmte verliezen;
- de warmte goed en snel afvoeren naar de plaats waar die gebruikt wordt.

zonnestraling opvangen
Om zoveel mogelijk zonnestraling op te vangen, moet de opvangplaat veel straling absorberen en weinig terugkaatsen. Een plaat die geen zichtbaar licht terugkaatst, zal zwart zijn.

Over de drie manieren van warmtetransport (straling, stroming en geleiding) vind je informatie in het thema 'Vergelijken' (blz. 37).

In het thema 'Weersveranderingen' (blz. 83) ben je dit broeikaseffect ook al eens tegengekomen. De koolstofdioxide in de atmosfeer heeft dezelfde werking als het glas boven de opvangplaat bij een zonnecollector.

warmteverlies

Het warmteverlies van de collector bestaat uit straling die door de collector wordt uitgestraald, uit warmte die door warmtegeleiding wegstroomt naar de koude omgeving en uit warmte die verdwijnt door luchtstromingen boven de warme opvangplaat.
Het stralingsverlies van de collector beperkt men door boven de opvangplaat een glasplaat aan te brengen, die wél de zonnestraling doorlaat maar níet de straling die door de collector wordt uitgestraald (broeikaseffect).
De warmtegeleiding beperkt men door warme delen goed te isoleren.
De luchtstromingen boven de opvangplaat beperkt men door de tussenruimte tussen glasplaat en opvangplaat in vakken te verdelen.

warmte afvoeren

Het afvoeren van de warmte geschiedt meestal met water, soms met lucht. De warmtegeleiding tussen leidingen en opvangplaat moet dan groot zijn.

1. MEETPLAN

Om antwoord op de onderzoeksvraag te kunnen geven, moet eerst het verband tussen rendement en doorstroomsnelheid onderzocht worden.

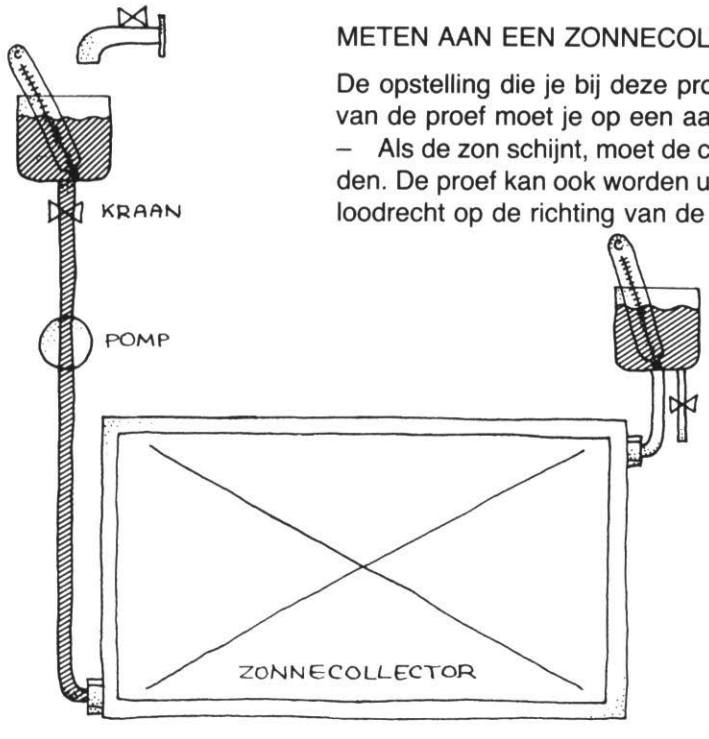
- Welke energie-omzetting vindt er plaats in een zonnecollector? Wat gebeurt er met de energie die niet nuttig gebruikt wordt?
- Het verwarmen van het water kost energie. Om die hoeveelheid energie te kunnen berekenen, moeten de doorstroomsnelheid en de temperatuurverhoging bekend zijn:

– hoe regel je de doorstroomsnelheid en hoe kun je die meten;
– hoe meet je de temperatuurverhoging;
– als de temperatuurverhoging en de doorstroomsnelheid bekend zijn, hoe bereken je dan de energie die nodig was om het water te verwarmen?

- Hoe bereken je het rendement van een zonnecollector?
- Maak een meetplan waarmee je voor drie verschillende waarden van de doorstroomsnelheid het rendement van de zonnecollector kunt bepalen. Bespreek dat meetplan met je leerkracht. Aanwijzingen voor het maken van het meetplan en het uitvoeren van het onderzoek vind je in het kader hieronder.

METEN AAN EEN ZONNECOLLECTOR

De opstelling die je bij deze proef gebruikt, is hieronder getekend. Bij het uitvoeren van de proef moet je op een aantal dingen letten.
– Als de zon schijnt, moet de collector loodrecht op de zonnestralen opgesteld worden. De proef kan ook worden uitgevoerd als de zon niet schijnt. Zet de collector dan loodrecht op de richting van de zon achter de wolken.



Meetopstelling zonnecollector.

Bij helder weer kan de proef ook binnen uitgevoerd worden.
– Laat de collector eerst geruime tijd werken voordat je begint te meten. In die tijd moet de pomp natuurlijk ook draaien. Pas nadat de collector goed op temperatuur gekomen is, kun je je metingen doen.
– Vergeet niet het energiegebruik van de pomp te meten.
– Laat bij je metingen het water tamelijk *langzaam* stromen.
– De zonne-energie kan gemeten worden met een *stralingsmeter*. Deze meter is aangesloten op een voltmeter, en is zó afgesteld dat een uitslag van 1 mV overeenkomt met een bestralingssterkte van 10 W/m^2. Een gemeten spanning van 20 mV geeft aan dat de bestralingssterkte dan 200 W/m^2 bedraagt. Dat betekent dat per seconde 200 J energie invalt op een vlak van 1 m^2.
De zonnecollector is zó opgesteld dat de zonnestraling loodrecht invalt. Zorg er dus voor dat de zonnestraling ook loodrecht invalt op de stralingsmeter. Houd de stralingsmeter tijdens de meting vlak naast de collector.
Controleer regelmatig of de waarde van de bestralingssterkte niet veranderd is, *ook al lijkt daar op het oog geen sprake van te zijn*.

uitwerking

2. RENDEMENT EN DOORSTROOMSNELHEID
Bereken het rendement van de zonnecollector bij de drie waarden van de doorstroomsnelheid. Formuleer een conclusie over het verband tussen doorstroomsnelheid en rendement.

3. RENDEMENT EN TEMPERATUURVERHOGING
Leg uit waarom de temperatuurverhoging kleiner wordt als de doorstroomsnelheid groter wordt.
Heeft de collector een hoog rendement bij een hoge of bij een lage waarde van de temperatuurverhoging? Geef daarvoor een verklaring.

4. OPTIMALISEREN
Welke praktische bezwaren zijn er tegen het gebruik van een zonnecollector op het hoogste rendement?

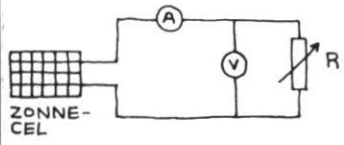
3.3 DE ZONNECEL

Zonnecellen zijn nog zeer kostbaar. Daarom worden ze maar op kleine schaal gebruikt, zoals bijv. bij sommige praatpalen langs autosnelwegen.

In een *zonnecel* wordt de stralingsenergie van de zon rechtstreeks omgezet in elektrische energie.
Zonnecellen zijn nog steeds tamelijk duur, en worden dan ook alleen dáár gebruikt waar het moeilijk anders kan, bijv. voor de energievoorziening van lichtboeien op zee. De prijs daalt echter voortdurend, zodat steeds meer toepassingen betaalbaar worden.
De energie die een zonnecel levert, hangt af van de weerstand van het apparaat dat je erop aangesloten hebt. Is deze weerstand hoog dan is de spanning van de cel hoog en de stroomsterkte laag. Bij een lage weerstand is dat andersom.

onderzoeksvraag
Bij welke belastingsweerstand levert de zonnecel zoveel mogelijk energie, en hoe groot is dan het rendement.

1. MEETPLAN
Om een antwoord op de onderzoeksvraag te vinden, bepaal je het door de zonnecel afgegeven vermogen bij een aantal waarden van de er op aangesloten weerstand. Maak een meetplan en bespreek dat met je leerkracht. Aanwijzingen voor het maken van het meetplan vind je in het kader op blz. 27.



METEN AAN EEN ZONNECEL

– Stel de zonnecel zó op dat de zonnestralen loodrecht invallen. Als er geen zon is, kan de proef óók gedaan worden. Richt de zonnecel dan op de plaats waar je de zon achter de wolken vermoedt.

– Om de benodigde metingen van spanning en stroomsterkte te kunnen doen, bouw je de hiernaast weergegeven schakeling. (Spanning en stroomsterkte gebruik je om het afgegeven vermogen van de zonnecel te berekenen.)

De variabele weerstand doet dienst als belasting van de zonnecel. Verwerk je meetresultaten tijdens het meten in een diagram, zodat je nog extra metingen kunt doen op de punten waar dat nodig is.

– Om het rendement te bepalen moet je weten hoeveel stralingsenergie er op de zonnecel valt. Daarvoor gebruik je een stralingsmeter. De stralingsmeter is zo afgesteld dat een afgegeven spanning van 1 mV overeenkomt met een bestralingssterkte van 10 W/m^2. Een gemeten spanning van 20 mV geeft aan dat de bestralingssterkte 200 W/m^2 bedraagt. Dat betekent dat per seconde 200 J energie invalt op een vlak van 1 m^2.

De zonnecel is zó opgesteld dat de zonnestraling loodrecht invalt. Zorg er dus voor dat de zonnestraling óók loodrecht invalt op de stralingsmeter. Houd de stralingsmeter tijdens de meting naast de zonnecel.

Bepaal bij elke meting van spanning en stroomsterkte opnieuw de bestralingssterkte; deze kan veranderen *zonder dat je dat met het blote oog kunt zien*.

uitwerking

2.
Teken in een diagram het verband tussen het door de zonnecel afgegeven vermogen en de belasting.

Welk vermogen kan de zonnecel maximaal leveren bij de heersende bestralingssterkte?

3.
Bepaal het oppervlak van de zonnecellen. Bereken het vermogen van de straling die op de zonnecel invalt.

4. ZONNECEL-RENDEMENT
Bereken het maximale rendement van deze zonnecel. Als je leraar de folder van de fabrikant nog heeft, kun je je resultaten daarmee vergelijken.

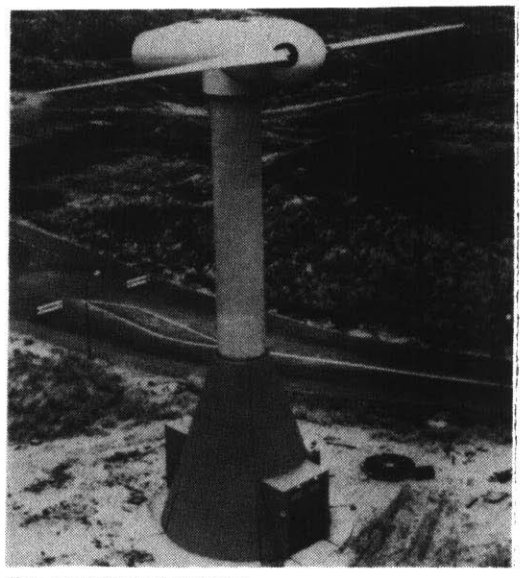
3.4 DE WINDMOLEN

Steeds meer zie je bij boerderijen en bedrijven een kleine *windmolen* staan. Die moderne windmolens zien er heel anders uit dan de vertrouwde Hollandse molen en leveren ook veel meer energie. De windturbines, zoals ze meestal genoemd worden, hebben twee of drie wieken die zeer snel ronddraaien. In dit onderzoek gebruik je een langzaamlopende molen. De windturbines met hun snel ronddraaiende wieken zijn nogal gevaarlijk voor lijf en leden. Zo'n langzaamloper hoeft helemaal niet minder energie te leveren dan een windturbine: het toerental is lager, maar de geleverde kracht is veel groter.

Al is windenergie in ruime mate voorradig, toch is het rendement van een windmolen belangrijk. Een molen met een hoog rendement kan kleiner en dus goedkoper zijn. Daardoor daalt de prijs van de geleverde energie.

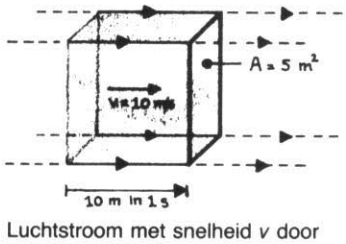
Een windmolen wordt gebruikt om een dynamo of een ander apparaat aan te drijven. Als de molen een grote kracht moet leveren, daalt het toerental; is de belasting daarentegen klein, dan is het toerental hoog.

De Hollandse molen, oerdegelijk maar met een laag rendement. Een Hollandse molen met een wieklengte van 12 m heeft een vermogen van ongeveer 40 kW.
Een moderne molen met even grote wieken (maar veel sneller draaiend) kan zo'n 400 kW vermogen leveren.



Een moderne windturbine.

onderzoeksvraag
Bij welke belasting levert de molen zijn hoogste rendement?



Luchtstroom met snelheid *v* door een oppervlak *A*.

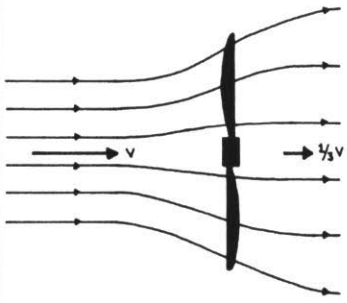
1. DE ENERGIE VAN DE WIND
Om het rendement van een molen te bepalen, moet de energie van de wind berekend kunnen worden. Nu is windenergie niets anders dan kinetische energie van lucht. Die kinetische energie kan dus met $E_k = \frac{1}{2} m \cdot v^2$ berekend worden.
De snelheid kan gemeten worden, maar hoe bereken je nu de massa? We bekijken dat met een getallenvoorbeeld. Door het vlak A, met een grootte van 5 m^2, stroomt lucht met een snelheid van 10 m/s.

- Hoeveel m^3 lucht stroomt er per seconde door het vlak A?
- Hoe groot is de massa van die hoeveelheid lucht? (1 m^3 lucht heeft een massa van 1,3 kg.)
- Hoe groot is de kinetische energie daarvan?
- Laat zien dat de kinetische energie van een luchtstroom met snelheid *v* door een vlak met oppervlak *A* berekend kan worden met: $E_k = \frac{1}{2} \cdot 1{,}3 \cdot A \cdot v^3$.

2. MEETPLAN
Maak een meetplan waarbij het rendement van de windmolen voor een aantal verschillende waarden van de belasting gemeten wordt. Bespreek het meetplan met je leerkracht. In het thema 'Elektrische Machines' vind je in paragraaf 3.2 aanwijzingen voor te gebruiken meetmethoden.

uitwerking
3. WINDMOLEN EN RENDEMENT

- Bereken bij de verschillende waarden van het toerental de door de molen verrichte arbeid.
- Bepaal, door berekening van de toegevoerde windenergie, het rendement.
- Wat is het antwoord op de onderzoeksvraag?
- Is het rendement veel lager dan het maximale rendement? (Zie het kader op blz. 29.)
- Hoe zou je het rendement kunnen verbeteren?



De wind waaiert voor de molen uiteen, waardoor het rendement daalt.

Een windmolen kan niet álle kinetische energie uit de lucht halen. Dan zou de lucht achter de molen stilstaan, en dat kan natuurlijk niet. Uit berekeningen blijkt dat een windmolen optimaal werkt als de lucht achter de windmolen nog een snelheid heeft van ⅓ *v*. Daardoor zal het rendement van een windmolen nooit 100% kunnen zijn.
Er is nog een andere en belangrijkere factor. De aanstromende lucht voelt de windturbine als een obstakel, en wijkt uit. De windsnelheid is bij de turbine daardoor lager dan ervoor.
Al deze factoren dragen ertoe bij dat het maximale windmolenrendement ongeveer gelijk is aan 59%.
Goede windturbines halen zo'n 70 à 80% van dit maximale rendement. Ze hebben dan ook een rendement van ongeveer 45%. Aan de TH Delft wordt gewerkt aan een nieuw idee, de zogenaamde *tipvanes*. Dat zijn kleine vleugeltjes aan de uiteinden van de wieken. Doordat het stromingspatroon verandert, wordt het mogelijk het rendement aanzienlijk te verhogen.

3.5 DE MENS ALS ENERGIE-OMZETTER

Je kunt ook uitzoeken of de hoogte van het rendement afhangt van de snelheid waarmee je de trap oploopt.
Als er op school een hometrainer beschikbaar is, kan ook het rendement bij het fietsen bepaald worden.

Ook een mens gebruikt energie om arbeid te verrichten. Het menselijk lichaam heeft dus ook een rendement. De hoogte van dat rendement hangt waarschijnlijk af van de taak die je moet verrichten. Het maakt nogal wat uit of je een marathon loopt of een sprint trekt. In dit onderzoek beperk je je tot één activiteit, en wel het traplopen. Bij het traplopen is de verrichte arbeid eenvoudig met de formule voor de zwaarte-energie te berekenen. Bij veel andere activiteiten (zoals bijv. hardlopen) is dat veel moeilijker.

onderzoeksvraag
Hoe groot is het rendement van een mens bij het snel oplopen van een trap?

1. MEETPLAN
Maak een meetplan en bespreek dat met je leerkracht. De informatie die je nodig hebt om dat plan op te stellen vind je in het kader hieronder.

Om een taak te verrichten heb je energie nodig. Bij dit onderzoek moet je de grootte van de benodigde energie kunnen bepalen.
De energie die je nodig hebt om de taak te verrichten, wordt vrijgemaakt door de verbranding van voedsel met zuurstof. Als je veel zuurstof gebruikt, heb je ook veel voedsel verbrand en is er dus veel energie vrijgekomen. De zuurstof wordt onttrokken aan de ingeademde lucht. De uitgeademde lucht bevat dan ook een lager percentage zuurstof dan de ingeademde lucht. Door meting van die percentages kan berekend worden hoeveel zuurstof er opgenomen wordt en dus ook hoeveel energie er door verbranding van voedsel vrijkomt.
Daarvoor bestaat de volgende vuistregel:
een liter uitgeademde lucht heeft 900 J energie vrijgemaakt

Hoeveel energie is er nodig om de trap op te lopen?
Kies een zo hoog mogelijke trap. Loop die trap op, terwijl je door je neus inademt en de uitgeademde lucht in een plastic zak blaast. Als je boven bent moet je nog geruime tijd in de plastic zak doorademen, totdat je weer normaal adem haalt. Meet de totale tijd dat je in de zak uitademt. Het volume van de lucht in de zak kun je meten door die via een gasmeter geheel leeg te laten lopen. Adem dan, terwijl je rustig op een stoel zit, even lang in deze zak en meet weer het luchtvolume met de gasmeter. Het verschil van deze twee metingen levert je de hoeveelheid extra lucht die nodig was om de trap op te lopen. Via de vuistregel kan de benodigde energie berekend worden.

uitwerking

2. RENDEMENT VAN HET MENSELIJK LICHAAM

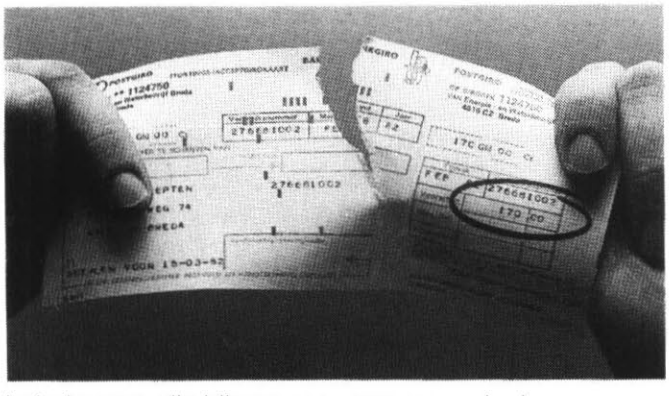
- Maak een zo nauwkeurig mogelijke schatting van de verrichte arbeid bij het oplopen van de trap.
- Bereken de hoeveelheid extra energie die je lichaam gebruikt heeft bij het oplopen van de trap.
- Hoe groot is het rendement van het menselijk lichaam in dit geval?

Vergelijk het antwoord met het energiestroomdiagram op blz. 15. Is er een redelijke overeenkomst? Zo nee, waaraan zou dat kunnen liggen?

3.6 OPGAVEN

Maak de jaarlijkse besparing tot een maandelijkse besparing.

Zodra u een AGPO HR ketel in huis heeft, is uw huidige maandelijkse voorschotbetaling aan het gasbedrijf natuurlijk te hoog. Uw installateur zal u gaarne



behulpzaam zijn bij een aanvraag om verlaging van uw voorschotnota.

Energieverbruik en rendement cv-ketels

Gemiddelde woning	Traditionele ketel	HR-ketel	Besparing
Verlies door schoorsteen in equivalent m^3 gas	960 m^3	250 m^3	
Rendement	70%	90%	22½%
Gasverbruik m^3/jaar	3200 m^3	2488 m^3	712 m^3
Oudere woning	**Traditionele ketel**	**HR-ketel**	**Besparing**
Verlies door schoorsteen in equivalent m^3 gas	1530 m^3	330 m^3	
Rendement	66%	90%	27%
Gasverbruik m^3/jaar	4500 m^3	3300 m^3	1200 m^3

1. DE CENTRALE VERWARMING

Veel huizen zijn voorzien van een gasgestookte centrale verwarmingsinstallatie. Een uitgebreid buizenstelsel verbindt de ketel met de radiatoren, en het water wordt door een elektrische pomp rondgepompt. Zo'n verwarmingsinstallatie gebruikt veel energie. Het is de moeite waard om te bekijken of daarop bezuinigd kan worden.

Het uitschakelen van de hele installatie gedurende de zomermaanden is daarvan een voorbeeld. Dan draait ook de pomp niet.

- Op de pomp staat vermeld: 24 V/4,0 A. Bereken het elektrisch vermogen van de pomp.
- Je schakelt de pomp gedurende de vier zomermaanden uit. (De pomp moet in de zomer wel af en toe even draaien, om te voorkomen dat hij na de zomer niet meer wil starten.)

Hoeveel geld spaar je daarmee uit, als de energieprijs *f* 0,25 per kWh bedraagt?

- Je kunt ook overwegen een HR-ketel (HR = hoog rendement) aan te schaffen. Zo'n ketel heeft een rendement van 95%.

Bij die overweging is het nuttig het rendement van de huidige ketel te kennen.

Uit de meterstanden bereken je dat de ketel 3,87 m^3 aardgas per uur gebruikt. Bereken het energiegebruik van de ketel per seconde.

- De pomp pompt 0,27 kg water per seconde rond. Het warme water dat uit de ketel vertrekt heeft een temperatuur van 84 °C. Het koudere retourwater heeft een temperatuur van 65 °C.

Bereken het rendement van de ketel.

- Is het de moeite waard de aanschaf van een HR-ketel te overwegen?

2. HET PLAN LIEVENSE

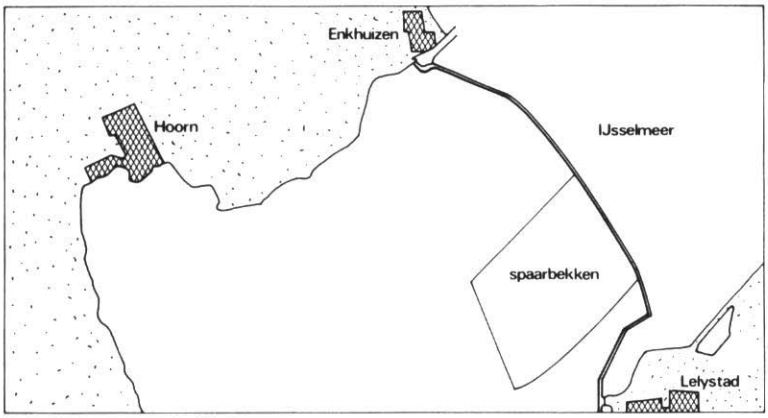
Het zou in Nederland mogelijk zijn op grote schaal windmolens in te schakelen voor het opwekken van elektrische energie. Maar een probleem hierbij is, dat deze energie niet altijd in voldoende mate beschikbaar is op tijden dat er behoefte aan is, en daarentegen soms in overmaat beschikbaar is op tijden dat er weinig vraag naar is.

Om dit probleem op te lossen stelde Ir. Lievense in 1979 voor om in perioden dat er geen behoefte is aan die met windmolens opgewekte elektrische energie, deze energie te gebruiken om water in een nieuw te bouwen 'spaarbekken' te pompen. Zo wordt als het ware de (wind)energie opgeslagen. Als men gebruik wil maken van deze opgeslagen energie, kan men het water uit het spaarbekken laten wegstromen. Dit wegstromende water brengt dan waterturbines in draaiing. Hieraan zijn generatoren gekoppeld, waarmee weer elektrische energie wordt opgewekt.

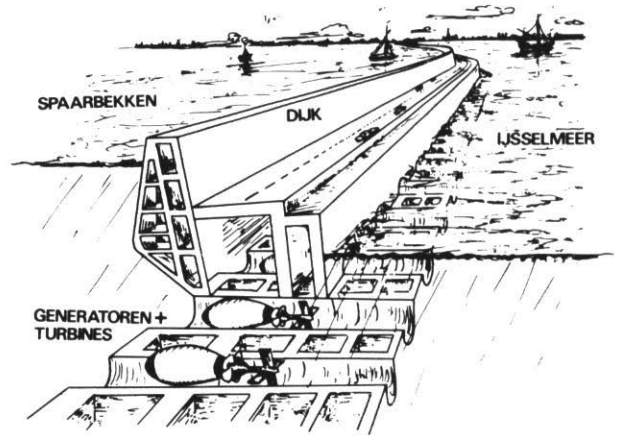
Het zogenaamde 'plan Lievense' bestaat dus in principe uit twee gedeeltes:

– een groot aantal windmolens met daaraan gekoppelde elektrische generatoren;

– een spaarbekken, waar men òf water *in* kan laten stromen door middel van elektrisch aangedreven pompen òf water *uit* kan laten stromen, waarbij elektrische energie wordt opgewekt. Het spaarbekken zou gebouwd kunnen worden in het IJsselmeer.



De plaats van het spaarbekken.



Dwarsdoorsnede van de dijk met turbines en generatoren. (De windmolens zijn niet getekend.)

In het plan wordt er van uitgegaan, dat het waterniveau in het spaarbekken niet hoger dan 23 m en niet lager dan 17 m *boven* het waterniveau in het IJsselmeer komt te staan. Het bekken heeft een oppervlakte van 55 km^2. Het water wordt uit het IJsselmeer in het spaarbekken gepompt.

Neem bij de volgende vragen aan, dat het niveau van het water in het IJsselmeer niet verandert.

• Je berekent nu hoeveel energie er maximaal in het spaarbekken opgeslagen kan worden:

– Bereken de massa van het water dat je in het spaarbekken moet pompen om de waterspiegel te laten stijgen van 17 m naar 23 m boven het water in het IJsselmeer.

– Hoeveel meter moet dat water *gemiddeld* omhooggepompt worden?

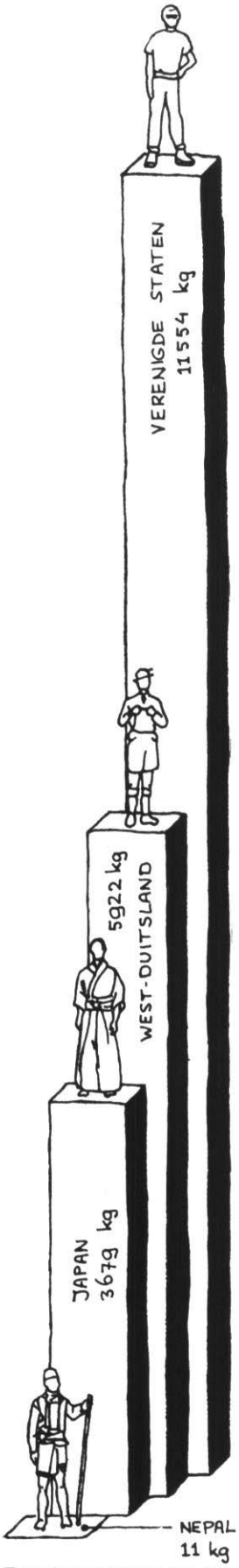
– Hoe groot is de arbeid die verricht moet worden om dat water omhoog te pompen?

– Hoe groot is de toename van de zwaarte-energie in het spaarbekken als de waterspiegel stijgt van 17 naar 23 m?

• Men wil dat het waterniveau in 20 uur van 17 tot 23 m kan worden opgevoerd. Hoe groot moet het gezamenlijke vermogen van de pompen dan minstens zijn?

• Om deze opgeslagen energie te kunnen gebruiken, laat men water uit het spaarbekken wegstromen door buizen. In die buizen zit het schoepenrad van een waterturbine. Dit rad gaat daardoor draaien.

De waterturbine brengt op zijn beurt een generator in beweging, zodat elektrische energie wordt opgewekt. Veronderstel dat het rendement van een waterturbine met generator constant 93% bedraagt.



Energieconsumptie per persoon in een viertal landen, uitgedrukt in kilogrammen steenkool.

In een stad met honderdduizend inwoners wordt gemiddeld een elektrisch vermogen gebruikt van 60 MW.
Bereken hoe lang zo'n stad de benodigde elektrische energie van het spaarbekken kan betrekken, als het waterniveau in dit spaarbekken daalt van 23 tot 17 m boven het waterniveau in het IJsselmeer.

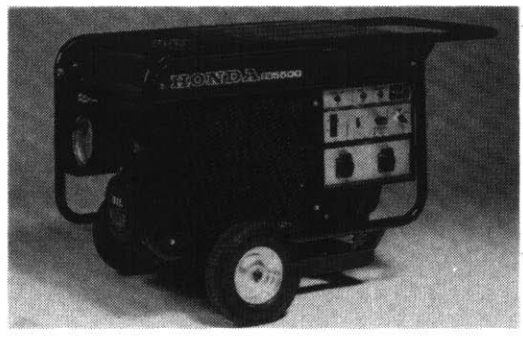
3. ENERGIEGEBRUIK

Een 'gemiddeld Nederlands gezin' gebruikt 3200 kWh elektrische energie, 3500 m^3 gas en 1200 liter benzine per jaar.

- Bereken hoeveel joule energie een Nederlands gezin per jaar gebruikt.
- Een gemiddeld Nederlands gezin bestaat uit 3,4 personen. Hoeveel energie gebruiken we in Nederland per jaar per persoon?
- Vergelijk dat eens met het energiegebruik van een 'gemiddelde' Nepalees.

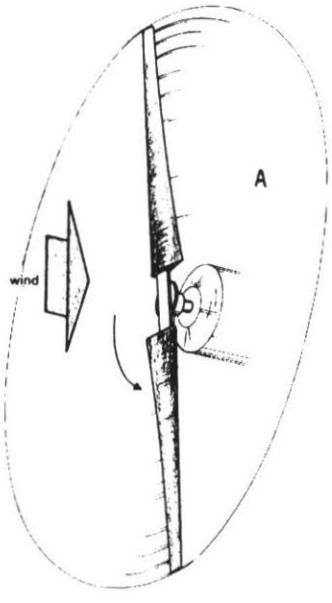
4. AGGREGATEN

In een *aggregaat* drijft een verbrandingsmotor een generator aan, die elektrische energie levert. Aggregaten worden veel gebruikt. In onze samenleving verzorgen ze bijv. de noodstroomvoorziening in ziekenhuizen en worden ze bij elektriciteitscentrales ingeschakeld bij pieken in de energievraag. In Derde Wereld landen zijn ze van vitaal belang, omdat het landelijk elektriciteitsnet daar maar heel beperkt is.
Aan de hand van de gegevens van de fabrikant bereken je de rendementen van twee vrij kleine aggregaten.



Aggregaten.

GENERATOR	EM 500	ES 5500
gelijkspanning	12 V	12 V
max. stroomsterkte	8,3 A	8,3 A
wisselspanning	220 V	220 V
frequentie	50 Hz	50 Hz
max. vermogen	400 W	5500 W
kontinu vermogen	330 W	5000 W
MOTOR	1 cil. 4-takt	1 cil. 4-takt
cilinderinhoud	59,8 cc	359 cc
max. vermogen/toeren per min.	0,9 kW/3600	7,58 kW
kontinu vermogen/toeren per min.	0,7 kW/3600	6,6 kW
max. koppel/toeren per min.	2,3 Nm/3000	
ALGEMEEN		
lengte (mm)	355	1150
breedte (mm)	250	710
hoogte (mm)	325	680
tankinhoud	2 ltr.	16,5 ltr.
brandstofverbruik per uur	ca. 0,48 liter	3,0 liter
gewicht	18 kg	129 kg
geluidsniveau bij volle belasting op 5 meter	64,1 dBA	
prijs per 01.05.83 incl. BTW	*f* 1140,—	*f* 5895,—



De windenergie wordt onttrokken aan het gehele oppervlak A.

Akkoord over bouw super-windmolen op de Maasvlakte

Van onze verslaggever

ROTTERDAM — Het Rotterdamse Energiebedrijf GEB en de Zuidholland-se elektriciteitsmaatschappij EZH hebben een akkoord bereikt over de bouw van een super-windmolen op de Maasvlakte. De „multi-windturbine" wordt een van de grootste windmolens in Nederland. De turbine wordt 68 meter hoog en krijgt zes rotorbladen met een doorsnee van elk zestien meter.

Het vermogen (0,3 Megawatt) haalt het niet bij een thermische centrale, maar het GEB heeft berekend dat de kostprijs van wind-elektriciteit niet zover ligt van de elektriciteitsprijs van een centrale: 15,7 cent tegen 11,5 cent voor een op aardgas gestookte eenheid.

De „wind-centrale" kost 1,4 miljoen gulden en kan in vier maanden worden gebouwd als alle vergunningen zijn afgegeven. Bouw en onderhoud gebeurt onder supervisie van het GEB, de EZH betaalt het hele project.

(Bron: de Volkskrant, 1-11-83).

- Geef de energie-omzetting die bij een aggregaat plaatsvindt.
- Bereken bij de EM 500 hoeveel chemische energie er per seconde gebruikt wordt.
- Zoek in de tabel het elektrisch vermogen op dat het aggregaat kontinu kan leveren en bereken het rendement.

Zoek ook het kontinu vermogen op van de motor en van de generator apart.
Is de motor of de generator de oorzaak van het betrekkelijk lage rendement van het aggregaat?

- Bereken ook het rendement van de ES 5500.
- In de Derde Wereld zorgen dorpen vaak voor hun eigen elektriciteitsvoorziening. Het ene dorp heeft een aggregaat voor het hele dorp, en bij het volgende dorp staat er een bij elk huis apart.

Noem voor- en nadelen van beide systemen.

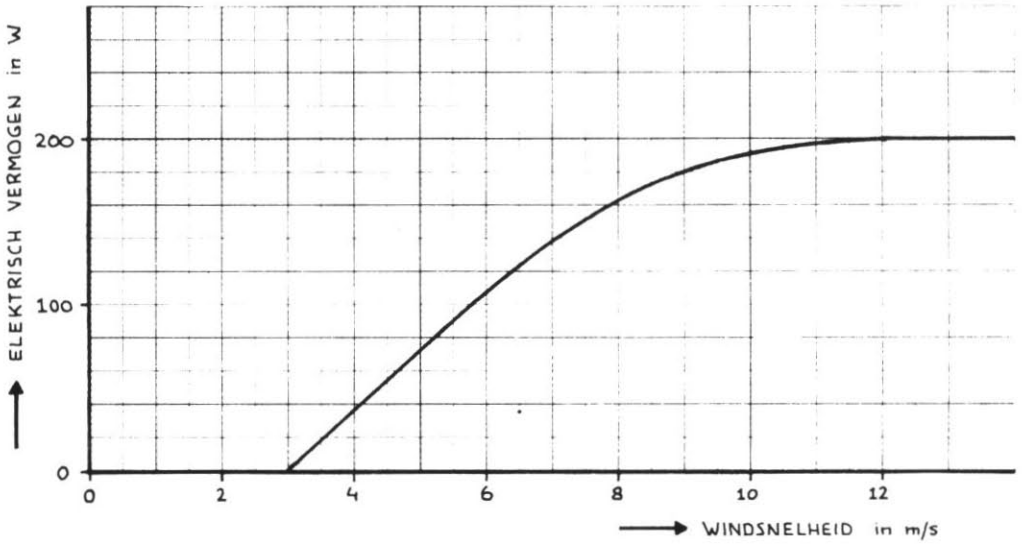
5. DE WINDTURBINE

Er wordt de laatste jaren steeds meer onderzoek gedaan naar het opwekken van elektriciteit met windturbines. Daarbij verschuift de aandacht naar steeds grotere turbines. In deze opgave vergelijk je het rendement van een kleine en een grote windturbine bij een windsnelheid van 8 m/s (windkracht 5). De windturbines hebben een zo hoog toerental dat ze hun energie ontlenen aan het hele oppervlak *A*.

- De kleine windturbine heeft een wieklengte van 0,91 m.

Bereken de grootte van het oppervlak *A*.
Hoeveel kg lucht gaat per seconde door dat oppervlak bij een windsnelheid van 8 m/s? (De massa van 1 m^3 lucht is 1,3 kg.) Hoe groot is de kinetische energie van deze hoeveelheid lucht?

- Het verband tussen het afgegeven elektrisch vermogen en de windsnelheid is bij deze molen onderzocht. Het resultaat daarvan vind je in onderstaand diagram.



Hoe groot is het vermogen bij een windsnelheid van 8 m/s?

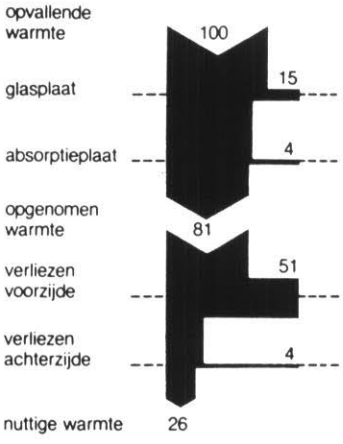
- Bereken het rendement van de kleine molen bij deze windsnelheid.
- De 16 m turbine, met een wieklengte van 8 m, van de firma Neyrpic levert bij een windsnelheid van 8 m/s een vermogen van 28,3 kW.

Bereken het rendement van deze grote molen.

- Moet windenergie in Nederland *kleinschalig* (veel kleine windmolens) of juist *grootschalig* (enkele zeer grote turbines) gebruikt worden? Bedenk voor- en nadelen van beide manieren.

6. DE ZONNECOLLECTOR

In toenemende mate worden in Nederland zonnecollectoren gebruikt voor de warmwatervoorziening in huis. Alhoewel er naast de zonnecollector ook altijd een geiser geïnstalleerd moet worden, is het systeem door de besparing op energie-



Verdeling van de warmteverliezen in % van de opvallende zonnestraling bij een vlakke plaatcollector, gemeten bij een temperatuur van 50 °C voor de absorptieplaat, 10 °C voor de omgeving en bij een bestralingssterkte van 500 W/m^2.

kosten toch de moeite waard.
De woongemeenschap 'Zes +', bestaande uit zes volwassenen en een hond, besluit een zonnecollector aan te leggen.
In deze opgave bereken je hoe groot deze collector ongeveer moet zijn.
Op blz. 23 kun je lezen hoe een zonnecollector werkt.

• Hiernaast is het energie-stroomdiagram van een eenvoudige zonnecollector getekend.
Welke energie-omzetting vindt er in de collector plaats?
Door welke oorzaken treedt er energie'verlies' op?
Hoe groot is het rendement in dit geval?

• Het rendement van de collector hangt af van de gewenste watertemperatuur en van de temperatuur buiten, zoals je hieronder kunt zien.
Waarom neemt het rendement af, als het verschil tussen de temperatuur van het collectorwater en de buitentemperatuur groter wordt?

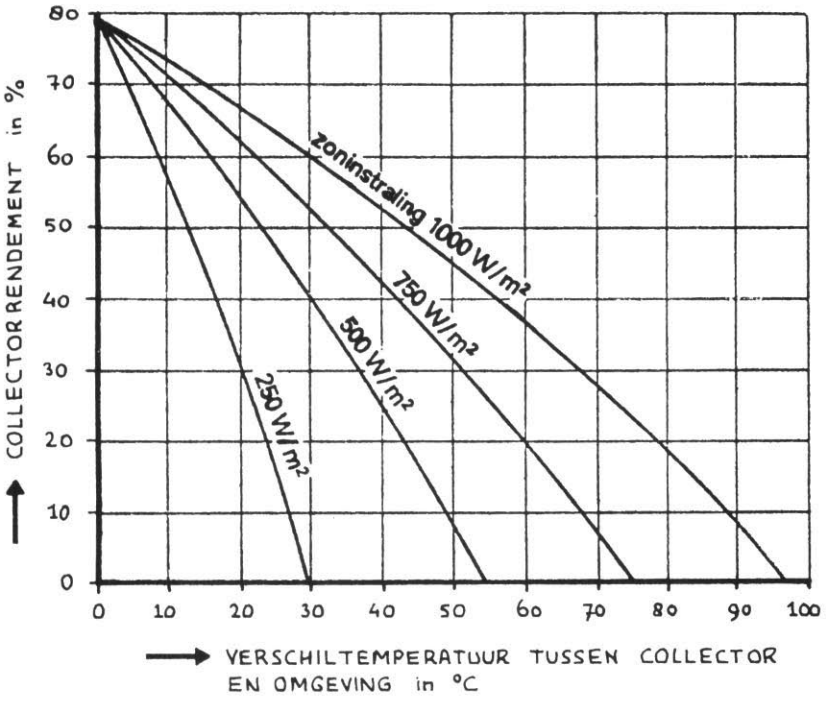
• Zes+ besluit dat op een zonnige herfstdag (E_b = 500 W/m^2) met een buitentemperatuur van 15 °C water geleverd moet kunnen worden met een temperatuur van 55 °C.

– Lees uit het diagram het rendement van de collector af onder die omstandigheden.

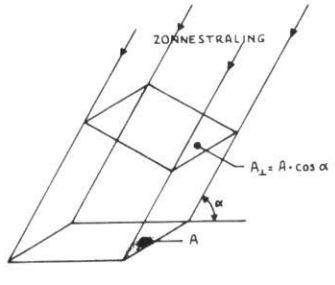
– Maak een schatting van de hoeveelheid warm water van 55 °C, die per dag nodig zal zijn. Bereken de energie die nodig is om dat water te verwarmen. De leidingwatertemperatuur is 18 °C.

– Hoeveel energie levert de zonnecollector per m^2 gedurende een dag? De zon schijnt gemiddeld 8 uur per dag.

– Hoe groot moet het oppervlak van de collector voor het huis van Zes+ zijn?



7. FIETSEN EN ZONNE-ENERGIE



De 71-jarige Alan Freeman (zie de foto op blz. 35) is een van de velen die een poging ondernemen het fietsen wat aangenamer te maken. Zijn fiets is voorzien van zonnecellen, die het opgevangen zonlicht omzetten in elektrische energie. Een elektromotor zorgt vervolgens voor de aandrijving. In deze opgave reken je na, of dat met dit oppervlak aan zonnecellen wel mogelijk is.
Een zonnecel ontvangt een maximale hoeveelheid energie als hij loodrecht op de zonnestraling staat. Vaak is dat echter niet het geval, en valt de zonnestraling onder een hoek α in. Om in zo'n geval met behulp van de bestralingssterkte (gemeten in een vlak loodrecht op de zonnestraling!) de door een oppervlak *A* opgevangen stralingsenergie te berekenen, gebruik je niet het oppervlak *A* zelf, maar het *loodrechte oppervlak* $A_\perp$:

$$A_\perp = A \cdot \cos\alpha$$

• Maak een schatting van het oppervlak van het paneel voorop de fiets.

En dan zijn er nog fantasie- en vindingrijke mensen als de 71-jarige Alan Freeman, die op de zon fietst. Met een door een paneel zonnecellen op het stuur volgeladen accu rijdt hij bijna 50 km ver weg. De snelheid is maximaal 24 km/h. Schijnt onderweg het zonnetje, dan haalt hij 13 km/h zonder de accu aan te spreken. En zonder trappers, want die zitten er niet op.

Bereken het '*loodrechte oppervlak*', als de zonnestraling onder een hoek van 60° invalt.

- Hoeveel energie valt er op de zonnecel, als de bestralingssterkte 1000 W/m^2 bedraagt?
- Het rendement van een zonnecel bedraagt 12%, en het rendement van de gebruikte elektromotor en overbrenging is 45%. Bereken hoeveel energie er per seconde beschikbaar is voor de aandrijving van de fiets.
- De fiets rijdt dan (volgens het bijschrift) met een snelheid van 13 km/h. Bereken de wrijvingskracht die de fiets volgens deze gegevens zou moeten ondervinden.

Is dat een reële waarde? Hoe groot zou het paneel volgens jou moeten zijn? (Denk aan je metingen bij het thema 'Verkeer'.)

3.7 VAN APPARAAT NAAR OMZETTING

In deze paragraaf zetten we de rendementen van de apparaten, die in dit en in het vorige hoofdstuk aan de orde zijn gekomen, nog eens bij elkaar. Je probeert daarmee energie-omzettingen op te sporen, die *altijd een laag rendement opleveren*. Die kennis is van groot belang bij het zoeken naar manieren om het rendement van het energiegebruik in Nederland te verhogen.

1. HET OVERZICHT

Neem onderstaand schema over in je schrift, en vul het samen met je klasgenoten in. Bij elk apparaat noteer je het hoogste rendement dat je bent tegengekomen. Schrijf op welke energie-omzettingen er achtereenvolgens plaatsvinden. Voor de elektriciteitscentrale is dat al gedaan. Doe dat nu ook voor:

- de automotor
- de generator
- de elektromotor
- de waterkrachtcentrale
- de boiler
- de CV-installatie
- de gloeilamp
- de zonnecollector
- de zonnecel
- de windmolen

apparaat	rendement	energie-omzettingen in het apparaat
Gasgestookte elektriciteitscentrale	36%	chemische energie → warmte → kinetische energie → elektrische energie
automotor		
generator		
elektromotor		
waterkrachtcentrale		

2. VAN WARMTE NAAR ARBEID

Op grond van de gegevens uit het schema kun je maatregelen voorstellen die tot een beter gebruik van de energie in Nederland zouden kunnen leiden.

• Waarom levert rendementsverbetering bij CV-installaties en generatoren niet veel besparing op?

En bij een waterkrachtcentrale?

• We beperken ons nu tot rendementsverbetering bij de automotor en de elektriciteitscentrale. In beide gevallen zou zo'n rendementsverbetering tot een flinke besparing kunnen leiden. Zowel bij een automotor als bij een elektriciteitscentrale is er een reeks van omzettingen. Het is nu belangrijk te weten welke omzetting het lage rendement van het apparaat veroorzaakt.

– Bekijk de omzettingen bij een automotor nog eens. Het zijn er twee. Ken je een apparaat dat met een hoog rendement chemische energie omzet in warmte? Welke omzetting zal dan waarschijnlijk de oorzaak van het lage rendement van een automotor zijn?

– Bij een elektriciteitscentrale komt er nog een omzetting bij. Welk apparaat zet met een hoog rendement kinetische energie om in elektrische energie? Welke omzetting zal hier waarschijnlijk de 'schuldige' zijn van het lage rendement van een elektriciteitscentrale?

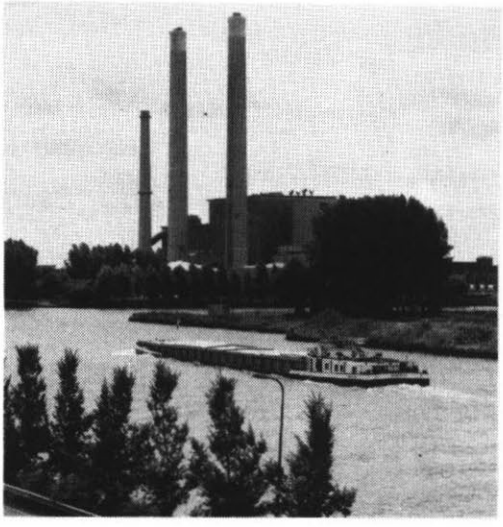
In hoofdstuk 4 zullen we deze omzetting nader bekijken, om na te gaan of het rendement ervan verhoogd kan worden.

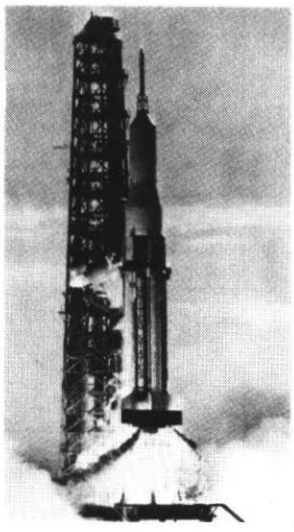
hoofdstuk 4

KWALITEIT VAN ENERGIE

inhoud blz

4.1	inleiding	38
4.2	warmte is belangrijk	38
4.3	warmte en rendementen	39
4.4	degradatie en kwaliteit	43
4.5	'sparen op energie' en 'sparen op kwaliteit'	46
4.6	energie-verstandig ... meer dan natuurkunde	47





kwaliteit van energie
In dit hoofdstuk wordt besproken hoe het komt dat rendementen van energie-omzetters vaak zo laag zijn. Er wordt ook een nieuw begrip ingevoerd: *kwaliteit van energie*. Een wat moeilijk grijpbaar begrip, dat toch aanleiding geeft om ons energiegedrag ook nog eens van een andere kant te bekijken.
Sparen dus, is het motto. Maar waarop? Op kwantiteit én kwaliteit!

4.1 INLEIDING

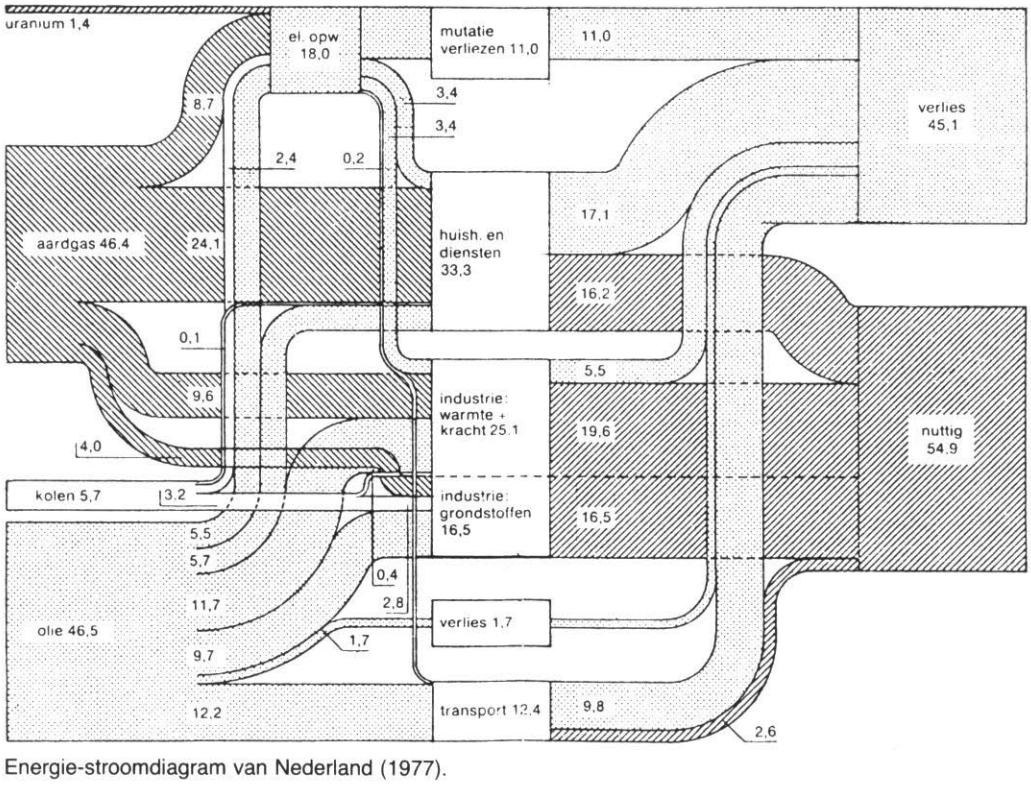
– *Hoewel de hoeveelheid energie behouden blijft, gaat bij ons energiegebruik toch een groot deel 'verloren'!*
– *Een belangrijke oorzaak hiervan is, dat het rendement van energie-omzettingen in de belangrijkste energie-omzetters vaak zo laag is.*

Dat zijn twee belangrijke samenvattende conclusies uit het vorige hoofdstuk. Op grond hiervan dringen zich minstens twee vragen op.

– *Als de hoeveelheid energie behouden blijft, wat gaat er dan eigenlijk wèl verloren?*
– *Kunnen we dat verlies dan niet beperken, bijvoorbeeld door de rendementen drastisch te verbeteren, of op een andere manier?*

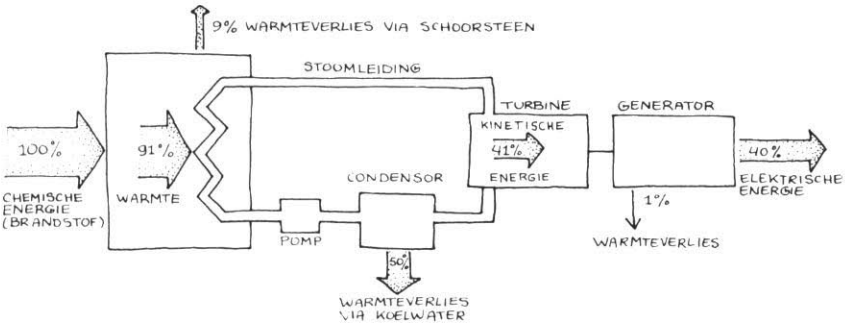
Op die twee vragen gaan we in dit (en het volgende) hoofdstuk dieper in. Daartoe bespreken we eerst de bijzondere rol van de energiesoort *warmte* in het hele energiegebeuren. Het rendement van *warmtemachines* maakt duidelijk, dat niet alle energiesoorten *gelijkwaardig* zijn. Daarom introduceren we het begrip *'kwaliteit van energie'*, om daarna te bespreken hoe we kunnen *'sparen op kwaliteit en kwantiteit'*.

4.2 WARMTE IS BELANGRIJK



Energie-stroomdiagram van Nederland (1977).

Bekijk het 'energieplaatje' van Nederland. Dan zie je dat in 1977 98,6% van ons nationale energiegebruik gedekt werd door *verbranding van fossiele brandstoffen!*
Dat betekent dat praktisch alle energie die we in onze maatschappij gebruiken, via de tussenstap *warmte* tot ons komt. En wat doen we met die warmte?
Ruw gezegd twee dingen: ons verwarmen en 'klussen' uitvoeren.



Warmte'verlies' in een elektriciteitscentrale.

1.

- Ga in het schema hiernaast nogmaals na welke energie-omzettingen er precies plaatsvinden in een elektriciteitscentrale.
- Waar en waarom treedt warmteverlies op?
- Wat is de invloed van dit verlies op het rendement?

Het omzetten van *chemische energie* uit *brandstoffen* in *warmte* gebeurt in apparaten (kachels, ovens enz.). Als het gaat om *verwarmen*, is deze omzetting tevens het eindstation. Als het echter gaat om *'het uitvoeren van klussen'*, moet die warmte ook weer omgezet worden: eerst in kinetische energie (automotor, stoomturbine) via het verrichten van *arbeid*. Daarna eventueel weer in andere energiesoorten (zoals elektrische energie in een generator). Al deze omzettingen vinden dus plaats in apparaten die een beperkt *rendement* hebben.
Hoe komt dat? Omdat bij elke omzetting een deel van de energie 'verloren' gaat! Hoezo verloren? Zijn we dat kwijt? Nee, de totale hoeveelheid energie blijft steeds hetzelfde. Er gaat evenveel energie *in* een apparaat (100%) als er *uit* komt (ook 100%!), maar een deel is onderweg omgezet in 'niet nuttige' *warmte*.
Conclusie: energie 'gaat verloren' als warmte.
En niet zo'n klein beetje ook! Voor heel Nederland gezien gaat 45,1% van de gebruikte energie verloren als warmte (zie het energieplaatje aan het begin van deze paragraaf). Dat roept de vraag op: *hoe gaat dat dan precies?* En: *kan dat niet wat minder?*

4.3 WARMTE EN RENDEMENTEN

Het rendement geeft aan dat in energie-omzetters altijd een deel van de gebruikte energie 'verloren gaat als warmte'.
We bekijken dit hier precieser in het geval van
- verwarmen;
- wrijving en weerstand;
- warmtemachines.

1. VERWARMEN EN RENDEMENT

Spouwmuurisolatie.

Een groot deel van onze energie-behoefte wordt gebruikt voor verwarming. Hoe verstandig doen we dat?

- Maak een ruwe schatting van het percentage van onze nationale energiebehoefte dat nodig is voor verwarming (in huishoudens en industrie). (Zie blz. 38.)
- Hoe groot is dat percentage voor een 'gemiddeld' gezin? (Zie blz. 13.)
- Hoe groot is het rendement van een 'gemiddelde' CV-ketel? Wat gebeurt er met de nuttig gebruikte energie en wat met de energie die 'verloren' gaat?
- Kun je maatregelen aangeven die dit rendement kunnen verbeteren? Met hoeveel procent, schat je?
- Is een rendement van 100% haalbaar voor een CV-ketel?
- Het rendement van een elektrische kachel is vrijwel 100%. Waarom? Is het dan niet verstandiger dat we voor verwarming massaal overschakelen op elektrische energie?
- Isolatie van het huis heeft geen invloed op het rendement van de verwarmingsinstallatie. Waarom? Waarop dan wel?
- Beargumenteer dat je vooral aan isolatie moet denken (meer nog dan aan rendementsverbetering), als je flink op het gebruik van energie voor verwarming wilt besparen.

Bij veel apparaten zijn *wrijving* en *weerstand* twee belangrijke oorzaken van 'warmteverlies', waardoor dus de rendementen ongunstig beïnvloed worden.

Energie'verlies' door wrijving.

2. WRIJVING

Als het gaat om apparaten met *bewegende* delen, dan is er altijd een tegenwerkende *wrijvingskracht* die gecompenseerd moet worden. De arbeid die deze wrijvingskracht verricht, gaat 'verloren als warmte'.

- Met welke formule kan deze arbeid berekend worden?
- Geef voorbeelden van warmteverlies door wrijving, bijvoorbeeld bij de in hoofdstuk 2 en 3 besproken energie-omzetters. Maak een schatting van de invloed van wrijving op de rendementen. Hoe kun je dit verlies verminderen? Ook helemaal?

Energie'verlies' door elektrische weerstand.

3. WEERSTAND

Als het gaat om *elektrische* apparaten, dan gaat ten gevolge van de elektrische *weerstand* altijd een deel van de energie verloren als warmte.

Geef voorbeelden van dit soort energieverlies (zie hoofdstuk 2 en 3). Wat is ruwweg de invloed van elektrische weerstand op de rendementen? Hoe kun je dit verlies verminderen? Ook helemaal?

Energie'verlies' door wrijving en elektrische weerstand.

4. WEERSTAND EN WRIJVING

In veel apparaten komen *beide* soorten energie'verlies' *tegelijk* voor.

Geef ook hiervan enkele voorbeelden (zie bijv. het thema 'Elektrische Machines').

warmtemachines en rendement

Er is één categorie apparaten die in het energiegebeuren een zeer bijzondere rol speelt: de zogenaamde *warmtemachines.*

Een warmtemachine is een energie-omzetter waarin warmte wordt gebruikt om arbeid te verrichten!

Die arbeid dient dan weer voor allerlei nuttige bezigheden. Hét apparaat dat nodig is om de *energie* uit *brandstoffen* te kunnen *gebruiken* voor allerlei 'klussen' is dus een warmtemachine.

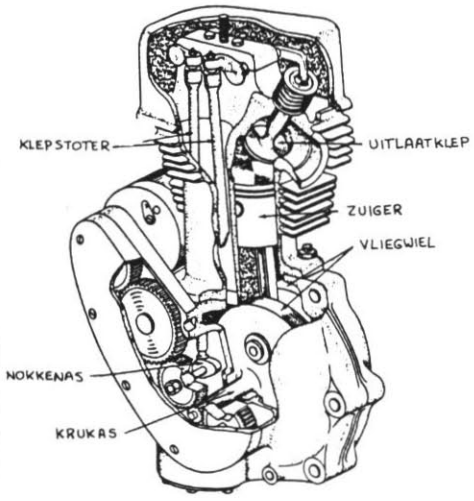
5.

- Ga na welke van de in hoofdstuk 2 en 3 bekeken energie-omzetters warmtemachines zijn, en hoe groot hun rendementen zijn.
- Maak een ruwe schatting van het percentage van ons nationaal energiegebruik, dat via warmtemachines loopt. (Zie blz. 38.)

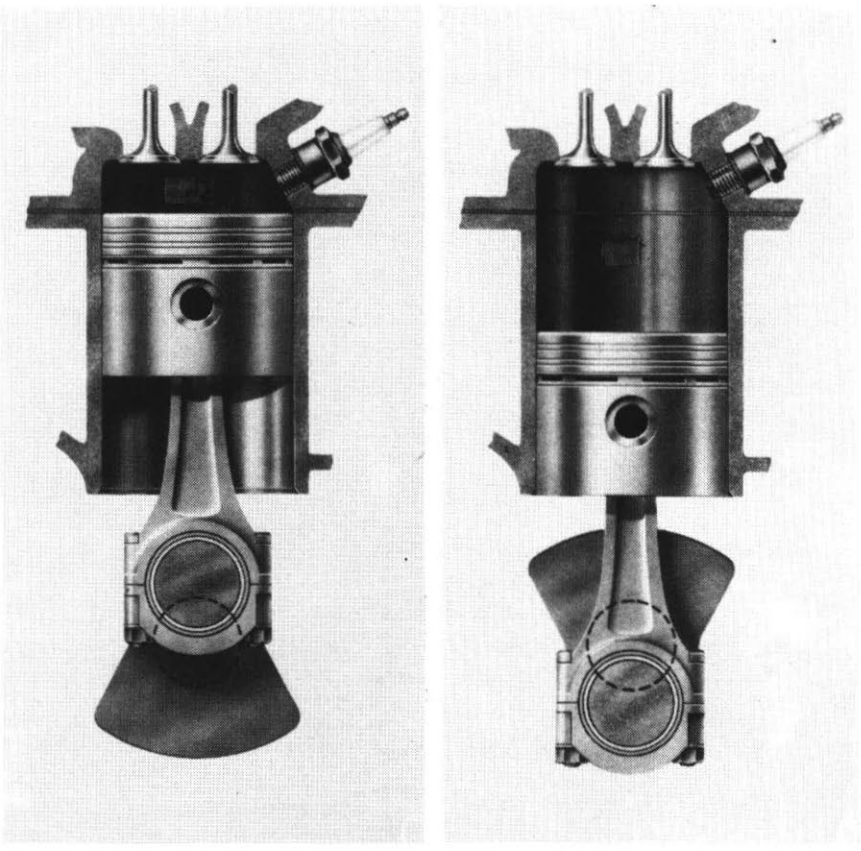
Hoe zit dat in een 'gemiddeld' huishouden? (Zie blz. 13.)

HOE WERKT EEN WARMTEMACHINE?

In een automotor wordt in de cilinders een mengsel van lucht en benzinedamp samengeperst. Door een vonk van een bougie ont*brandt* dit mengsel, waardoor de druk en de temperatuur in de cilinder sterk stijgen (tot meer dan 1500 °C). Als gevolg daarvan wordt de zuiger naar buiten gedrukt.

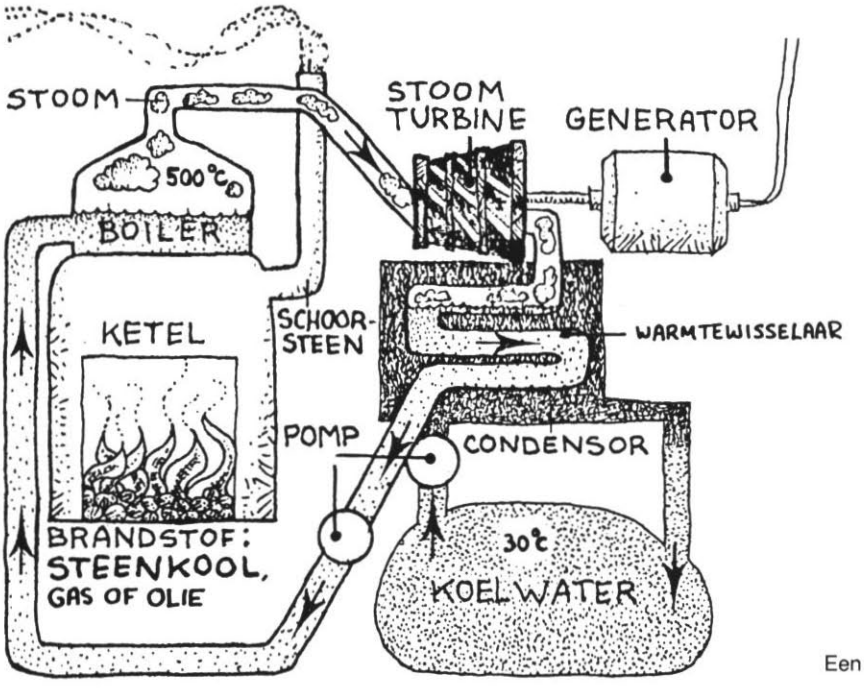


Een verbrandingsmotor (automotor) is een warmtemachine.



Door deze arbeid koelen de verbrandingsgassen af. De afgekoelde, maar nog 'hete' verbrandingsgassen (ong. 150 °C) worden via de uitlaat afgevoerd naar de buitenlucht. Daardoor gaat dus warmte verloren.

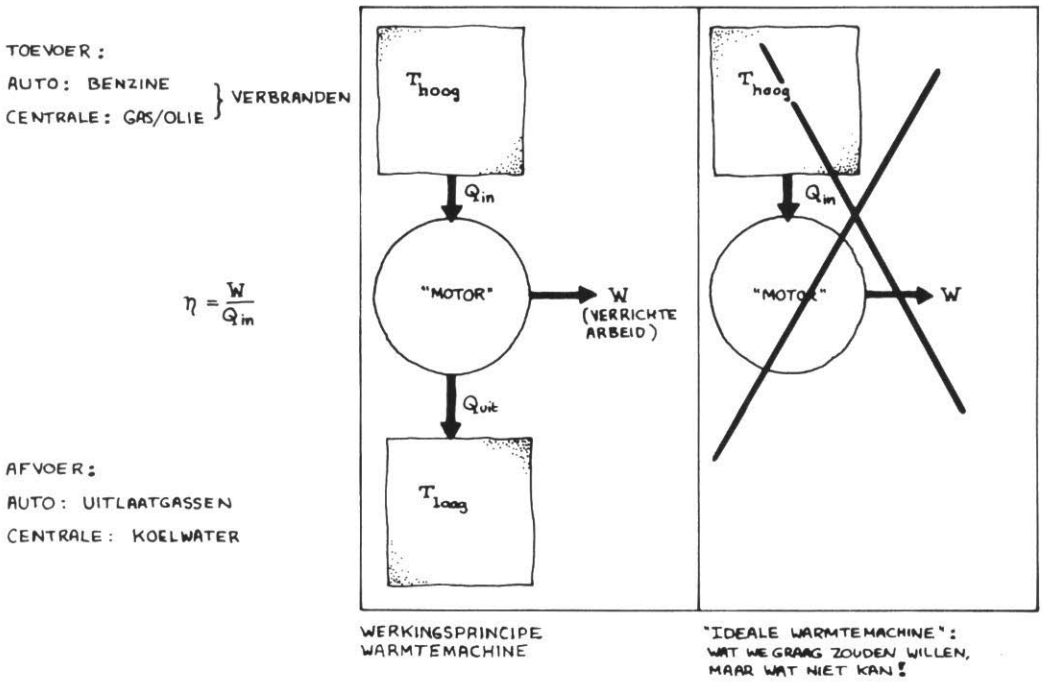
Op de werking van een warmtemachine kun je natuurlijk heel gedetailleerd ingaan. Dan zie je dat zulke machines in detail nog erg verschillend kunnen zijn.



6.
Geef net zo'n beschrijving van de werking van een elektriciteitscentrale, als hiervoor is gedaan voor de automotor.

Een elektriciteitscentrale is een warmtemachine.

Hier willen we ons echter juist concentreren op het *gemeenschappelijke* in alle warmtemachines: op hun *werkingsprincipe*. In de tekening hieronder is dit schematisch weergegeven.



Een *beschrijving* (let wel: geen verklaring!) van dit werkingsprincipe gaat als volgt. Aan een warmtemachine (automotor, centrale) wordt warmte bij *hoge* temperatuur toegevoerd (Q_{in}), door verbranding van benzine, olie of gas, enz. Deze warmte wordt daarna slechts *gedeeltelijk* gebruikt om arbeid (W) te verrichten (zuiger, turbine) en gedeeltelijk bij *lage* temperatuur (Q_{uit}) weer afgevoerd (uitlaatgassen, koelwater). Gewoonlijk gaat dit laatste deel als 'warmte verloren in de omgeving'.

7.

- Beschrijf de werking van een automotor en een elektriciteitscentrale met behulp van het schema hierboven.
- Leidt uit het schema hierboven af, dat het *arbeidsrendement* van een warmtemachine gegeven wordt door:

$$\eta = \frac{Q_{in} - Q_{uit}}{Q_{in}}$$

Uit deze rendementsformule blijkt, dat het verlies van warmte bij lage temperatuur het rendement nadelig beïnvloedt. We zouden eigenlijk veel liever een machine maken waarbij $Q_{uit} = 0$, zodat dan *alle* toegevoerde warmte gebruikt zou worden om arbeid te verrichten. Zo'n machine zou dus veel efficiënter zijn (η = ...?). Helaas blijkt deze wens onmogelijk te verwezenlijken. De 'ideale warmtemachine' bestaat niet. En niet alleen vanwege technische beperkingen, maar vanwege een fundamentele natuurwet die dat verbiedt. (Op deze *tweede hoofdwet van de warmteleer* gaan we nu niet verder in. Je kunt daarvoor kiezen in hoofdstuk 5.)
Het gevolg is dus, dat een warmtemachine altijd moet werken op een *temperatuurverschil* dat in stand wordt gehouden. En daarom altijd warmte bij lage temperatuur zal moeten verliezen. Jammer, maar het is niet anders! Je zult misschien denken: 'Wat een drukte om niets. Iedereen weet toch dat een automotor vastloopt als hij niet gekoeld wordt!' Inderdaad is dat zo. Maar dat is een technische beperking, die alleen nog maar een *extra* rendementsverlies veroorzaakt.

rendement van warmtemachines

Het maximale *arbeidsrendement* (dat wil zeggen: het rendement dat theoretisch maxi-

maal haalbaar is) kan ook worden uitgedrukt in een andere formule (die hier niet wordt afgeleid):

$$\eta = \frac{T_h - T_l}{T_h}$$

Daarin is T_h de *absolute* hoge temperatuur waarbij warmte wordt toegevoerd en T_l de *absolute* lage temperatuur waarbij warmte wordt afgevoerd.

8.

- Bereken het maximale arbeidsrendement van een elektriciteitscentrale. Vergelijk dit met het werkelijke rendement. Kun je de oorzaken aangeven voor het verschil?
- Doe hetzelfde voor een automotor.
- Wat is het maximaal mogelijke arbeidsrendement voor de zonnecollector uit hoofdstuk 3?
Betekent dit dat je zo'n collector niet moet gebruiken voor het leveren van arbeid?
- Er worden in de tropen elektriciteitscentrales ontwikkeld, die werken op het temperatuurverschil van oppervlaktewater en dieper gelegen water. Maak een schatting van de op die manier haalbare arbeidsrendementen. Moet je dit soort centrales dan eigenlijk wel ontwerpen?

9.

- Teken in een diagram het verband tussen het maximale arbeidsrendement van een warmtemachine en de temperatuur T_h van de toegevoerde warmte.
Neem voor T_l de omgevingstemperatuur: 300 K.
- Welke waarde moet T_h minstens hebben om theoretisch hetzelfde arbeidsrendement te halen als een elektromotor? Is dat praktisch haalbaar, denk je?

conclusies

– Warmtemachines zijn belangrijk voor ons energiegebruik.
– In een warmtemachine kan de toegevoerde warmte nooit volledig worden benut voor het verrichten van arbeid.
– Hoe hoger de temperatuur van de toegevoerde warmte, hoe groter het arbeidsrendement (bij constante temperatuur van de afgevoerde warmte).
– Door wrijving, weerstand en warmtemachines worden er fundamentele grenzen gesteld aan het opvoeren van het rendement van ons energiegebruik. Het gevolg is dat onvermijdelijk veel energie 'verloren gaat' als warmte.

4.4 DEGRADATIE EN KWALITEIT

Opnieuw kun je je de vraag stellen: waarom zo moeilijk doen over 'energieverlies als warmte'? Warmte is toch ook een vorm van energie? Dus energie gaat niet verloren. Dan moeten we die warmte toch gewoon opnieuw gebruiken! Waarom doen we dat eigenlijk niet?
Om dat te kunnen begrijpen, gaan we nu eerst kijken naar wat we zoal met verschillende energiesoorten kunnen *doen.*

1.

- Neem de tabel op blz. 44 over in je schrift.
- Geef in de tabel in je schrift bij elk van de genoemde *taken* aan, welke van de genoemde *energiesoorten* vrij gemakkelijk gebruikt kunnen worden voor het uitvoeren van die taak. Je mag daarbij gebruik maken van de mogelijkheid een genoemde energiesoort eerst om te zetten in een andere energiesoort.
- Als 'kwaliteit van energie' te maken heeft met wat je zoal met een energiesoort kunt *doen*, wat is dan je conclusie uit deze tabel?
- Wat kun je over de kwaliteit van warmte zeggen?

taak \ energiesoorten	chemische energie	elektrische energie	stralings-energie	zwaarte-energie	warmte, toegevoerd bij: 2000 °C	150 °C	30 °C	15 °C
1. auto laten rijden								
2. ijzer smeedbaar maken								
3. koken								
4. kamer verwarmen								
5. douchen								
6. trein laten rijden								
7. iets ophijsen								
8. lassen								
9. voedsel koel bewaren								
10. mensen laten leven								
11. zwembad verwarmen								
12. muziek maken								
13. plantenkassen verwarmen								
14. elektriciteit opwekken								

- En over de kwaliteit van chemische en elektrische energie?
- We zeggen wel dat 'warmte een gedegradeerde energiesoort is'. Wat wordt daarmee bedoeld?

degradatie van warmte

Het probleem met 'energieverlies in de vorm van warmte' is dat weliswaar de hoeveelheid energie behouden blijft, maar niet wat we met die energie *kunnen doen*! In onze technische maatschappij zijn veel verworvenheden gebaseerd op machines die *arbeid* verrichten. Dáár gaat het in eerste instantie om. Als we de beschikbare energie niet meer kunnen gebruiken om arbeid te verrichten, dan heeft de energie veel van haar oorspronkelijke waarde voor ons verloren. Dat laatste is nu precies wat er aan de hand is met de energiesoort warmte.

De rendementsformule geeft aan: hoe lager de temperatuur waarbij warmte beschikbaar is (ten opzichte van de omgeving), hoe minder arbeid er nog uit gehaald kan worden (met een warmtemachine uiteraard; hoe anders!). En als warmte tenslotte helemaal verloren is gegaan in de omgeving, zodat er geen *temperatuurverschil* meer over is, is die warmte tegelijkertijd 'arbeidsloos' geworden.

En niet alleen dat: ze kan dan ook niet eens meer gebruikt worden voor een 'eenvoudige' *verwarmingstaak*. Want: warmte stroomt nooit uit zichzelf van een koudere naar een warmere omgeving!

Samengevat: als warmte 'verloren gaat in de omgeving', gaat weliswaar geen warmte verloren, maar wel de mogelijkheid iets met die warmte te kunnen doen; warmte degradeert vanzelf tot waardeloze energie!

2.

Stel we hebben in een warmtemachine 1000 J warmte beschikbaar bij respectievelijk de volgende temperaturen: 2400, 1200, 600, 300 en 140 °C. Hoeveel arbeid kan deze machine daarmee maximaal leveren? (De omgevingstemperatuur is 15 °C.)
Welke conclusie trek je hieruit?

kwaliteit van energie

3.

Men spreekt ook wel van 'degradatie *tot* warmte'. Bijvoorbeeld: bij elektrische ruimteverwarming degradeert hoogwaardige elektrische energie tot laagwaardige warmte.
Welke betekenis hebben de woorden 'hoogwaardig' en 'laagwaardig' in de vorige zin?

In deze vraag worden energie*soorten* met elkaar vergeleken op hun 'kwaliteit'! Elektrische energie is een hoogwaardige energiesoort, omdat je er slordig gezegd zeer veel mee kunt doen. En bij 25 °C is warmte een laagwaardige energiesoort, omdat je er

Elektriciteit door waterkracht reële mogelijkheid

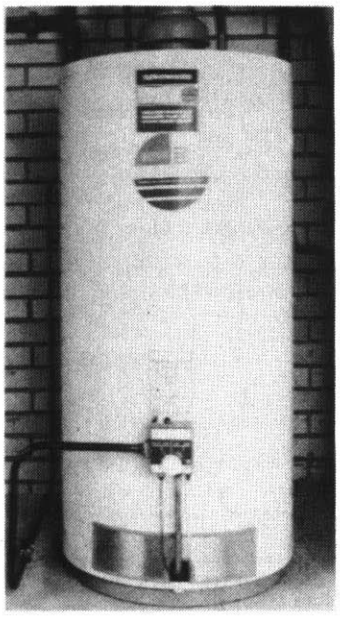
alleen maar mee kunt verwarmen (en dan nog alleen ruimteverwarming, niet eens koken of zo!).

Dit begrip *kwaliteit van een energiesoort* kunnen we ook precieser omschrijven, en wel als *de mate waarin een energiesoort gebruikt kan worden voor het leveren van arbeid.*

Elektrische energie bijvoorbeeld is zeer hoogwaardig. Een goede elektromotor kan ruim 90% van de toegevoerde energie gebruiken voor het leveren van arbeid. Ook de bewegingsenergie van vallend water (en dus ook zwaarte-energie) kan met behulp van een schoepenrad efficiënt gebruikt worden voor het verrichten van arbeid. Moderne grote waterturbines halen rendementen boven de 90%. Gas en olie zijn beide dragers van hoogwaardige chemische energie. Rechtstreeks omzetten van deze chemische energie in elektrische energie kan effectief gebeuren in zogenaamde *brandstofcellen* (rendement op dit moment 60 tot 80%, maar aan verbetering wordt gewerkt). Feit is echter dat chemische energie bijna altijd eerst wordt *gedegradeerd tot warmte*, voordat ze in andere hoogwaardige energiesoorten wordt omgezet. Energiesoorten die vervolgens ook op hun beurt uiteindelijk weer onherroepelijk 'verloren gaan als warmte'.

Dit alles voert tot de volgende uiterst belangrijke conclusie: *bij alle energie-omzettingen blijft de totale hoeveelheid energie weliswaar behouden, maar de kwaliteit van die hoeveelheid energie neemt daarbij onherroepelijk af.*

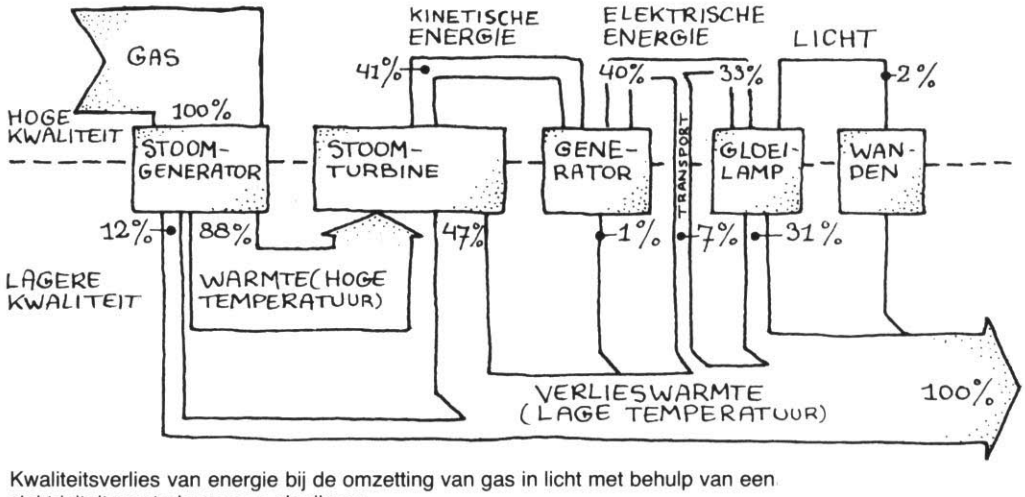
Dit is de natuurkundige achtergrond van het energieprobleem. Energie gaat nooit verloren, maar wel de mogelijkheid om die energie nuttig te gebruiken.



4.

- Ga na dat elektrische energie een hoogwaardige energiesoort is.
- 1 J elektrische energie heeft méér kwaliteit dan 1 J warmte. Is dat zo? Waarom?
- De zonnecollector uit hoofdstuk 3 levert 'laagwaardige' warmte. Waarom?
- Bij welke temperatuur kun je spreken van 'hoogwaardige' warmte?
- Het rendement van een elektrische boiler is zeer hoog. Toch treedt er een hoge mate van kwaliteitsverspilling op. Waarom?

Hoe zit dat in een gas-boiler? En in een CV-installatie?



Kwaliteitsverlies van energie bij de omzetting van gas in licht met behulp van een elektriciteitscentrale en een gloeilamp.

- Bediscussieer aan de hand van het hierboven weergegeven schema het kwaliteitsverlies in een elektriciteitscentrale. Waarom gaat uiteindelijk 100% van de energie verloren als kwaliteitsloze warmte?

5.

In het voorgaande en in zeer veel energie-artikelen wordt veel geschreven over *energieverlies*.

Omschrijf precies wat daar (natuurkundig) mee bedoeld wordt.

4.5 'SPAREN OP ENERGIE' EN 'SPAREN OP KWALITEIT'

sparen dus ...! maar waarop?

'Verstandig omgaan met energie' kan, van *natuurkundig* standpunt bekeken, dus niets anders betekenen dan 'sparen op kwaliteit van energie'. Onnodig kwaliteitsverlies moet indien enigszins mogelijk worden tegengegaan. Ofwel: *elke onnodige omzetting tot en degradatie van warmte moet worden voorkomen!*

In het dagelijks leven, in kranten en op radio en TV, wordt vaak gesproken over 'energiebesparing'. Natuurkundig is deze term niet juist. Als energie niet verloren gaat, kun je er immers ook niet op besparen. Wat bedoeld wordt met 'sparen op energie' is 'sparen op energie-*bronnen*, zoals olie en gas'. En omdat olie en gas hoogwaardige chemische energie bevatten, komt 'sparen op energie' dus neer op 'zuinig zijn met kwalitatief hoogwaardige energiesoorten'.

De elektriciteitsmaatschappij IJsselcentrale (IJC) heeft plannen om de bestaande centrale in Zwolle uit te breiden met een gasturbine. Met de voorschakeling daarvan verwacht IJC het rendement van de stroomproduktie flink op te voeren. De kosten van de uitbreiding worden geschat op 130 miljoen gulden. Het is voor de toch wel vooruitstrevende IJC niet de eerste maal dat gebruik wordt gemaakt van een energiebesparende voorgeschakelde gasturbine. De maatschappij nam vorig jaar een nieuwe elektriciteitseenheid in gebruik in Harculo bij Zwolle waar direct al bij de bouw een gasturbine werd voorgeschakeld.

Normaal drijft een gasturbine in een centrale een generator aan waarmee elektriciteit wordt opgewekt. Dertig percent van de energie in het gas wordt werkelijk in elektriciteit omgezet. De rest gaat verloren. Wanneer de gasturbine echter voor een normale elektriciteitseenheid wordt geschakeld kunnen de hete uitlaatgassen als verbrandingslucht in de vuurhaard van de stoomketel van deze eenheid worden gebruikt. In de ketel wordt stoom gemaakt waarmee eveneens een elektrische generator wordt aangedreven.

richtvragen voor besparing

Als je energiebesparing wilt nastreven, kun je daaraan nog vanuit verschillende invalshoeken werken. Uiteindelijk moeten ze natuurlijk allemaal tot hetzelfde resultaat leiden (namelijk: energiebesparing). Maar de weg waarlangs kan nog verschillend zijn. *Technisch* gezien gaat dat als volgt.

rendementsbenadering

Gegeven een energiebron en een apparaat dat daarop werkt (bijv. gas en een CV-ketel). Hoe kunnen we dit apparaat dan zo gunstig mogelijk laten werken. Antwoord: door het rendement te verbeteren.

Algemeen gesteld is de richtvraag hierbij: *hoe krijg je de energie die je nodig hebt uit zo weinig mogelijk brandstof (of andere energiebronnen).*

Deze rendementsbenadering is in het voorgaande al uitgebreid aan de orde geweest.

taakbenadering

Hierbij ga je niet uit van een energiebron of een apparaat, maar van de *taak* die verricht moet worden.

Richtvragen zijn dan:

- *hoe kun je een bepaalde taak zó inrichten, dat ze zo weinig mogelijk energie kost?* (Bijvoorbeeld: isolatie van een huis verkleint de energiebehoefte van de verwarmingstaak.)
- *welke energiesoort kun je het beste gebruiken voor welke taak?*

Aardwarmte is een energiebron die ook in Nederland perspectieven biedt. Als het om ruimteverwarming gaat zou misschien zelfs de hele Groningse aardgasbel door heet water uit de bodem kunnen worden vervangen. Er bestaat al een plan om de tuinderskassen in Delfland goedkoop van aardwarmte te voorzien. Maar de uitvoering ervan is door het gevoerde energiebeleid in Den Haag hoogst onzeker.

Bij deze laatste vraag speelt de kwaliteit van energie een belangrijke rol. Het antwoord is namelijk: de kwaliteit van de *gewenste* energiesoort (kwaliteit van de taak) moet zo goed mogelijk overeenkomen met de kwaliteit van de *gebruikte* energiesoort.

Wat is het verschil tussen de rendementsbenadering en de taakbenadering?
Een voorbeeld. Een elektrische boiler lijkt een uiterst efficiënt waterverwarmingssys-

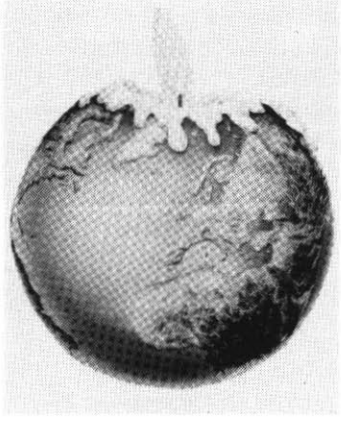
teem. Het rendement waarmee elektrische energie wordt omgezet in warmte benadert de 100% (afgezien van de 'warmte-lek'). Vanuit rendementsstandpunt gezien, lijkt dit dus een nauwelijks te verbeteren apparaat. Maar vanuit *taak*-standpunt gezien (en dat is: water verwarmen), kun je je afvragen of dat wel het beste kan gebeuren met elektrische energie. Kan dat niet beter met een gasboiler? Of met een zonnecollector? Of een warmtepomp? Want: in een elektrische boiler wordt zeer hoogwaardige elektrische energie zonder meer omgezet in laagwaardige warmte. Dat betekent onnodig kwaliteitsverlies. Elektrische energie moet je eerst gebruiken om arbeid te verrichten (een hoogwaardige taak). En voor een laagwaardige taak (water verwarmen) moet je zoeken naar een apparaat dat laagwaardige warmte levert (bijv. een zonnecollector). Als *richtlijn* geldt dan ook: hoogwaardige energie dient zoveel mogelijk *eerst* gebruikt te worden voor hoogwaardige taken. Laagwaardige taken moeten vooral worden gedaan met laagwaardige energie.

systeembenadering
In de praktijk blijken de twee vorige benaderingen, rendementsverbetering en kwaliteitsaanpassing, vaak handig en voordelig te kunnen worden gecombineerd vanuit een *systeembenadering*.
Richtvraag daarbij is:
hoe kun je je totale energiesysteem zo verstandig mogelijk organiseren.
Uitgangspunt daarbij is, dat je je niet uitsluitend richt op deelproblemen, maar energiesystemen in hun totaliteit bekijkt. Voorbeelden hiervan zijn systemen als: stadsverwarming, warmte-kracht-koppeling, total-energy-systemen, warmtepompen.
In hoofdstuk 6 kun je verder op deze systemen ingaan.

1.
- Is elektrisch koken nu wel of niet verstandig?
- Een kachel en een CV-installatie zijn geen optimale verwarmingssystemen. Waarom niet?
- Aardwarmte lijkt een goede bron van huisverwarming. Waarom?
- Een zonnecollector lijkt een goede manier van verwarmen. Is dat ook zo?
- Het verlichtingsrendement van een gloeilamp is ongeveer 5%. Het totaal nuttig rendement is 's winters echter vrijwel 100%, omdat 95% dient als nuttige warmte.

Wat vind je van deze bewering?

4.6 ENERGIE-VERSTANDIG ... MEER DAN NATUURKUNDE



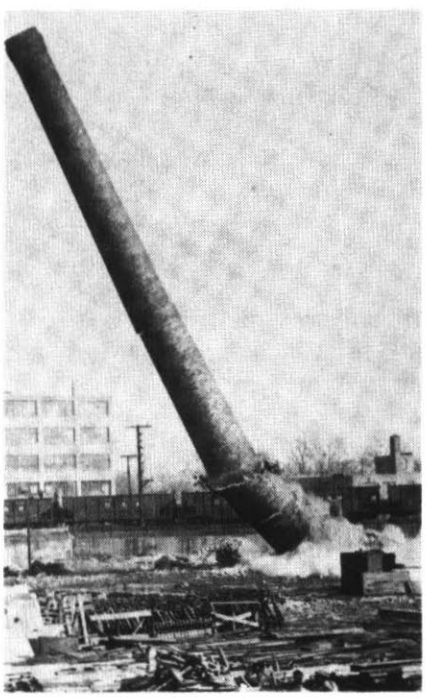
In dit hoofdstuk hebben we ons vooral gericht op de natuurkundige theorie achter het energiegebruik. Welke natuurkundige regels en begrippen bepalen wat wel en niet met energie kan gebeuren. Deze regels beschrijven de beperkingen, waar we in 'handelen met energie' niet omheen kunnen. Maar er is natuurlijk nog veel meer.
We hebben met betrekking tot het energiegebruik wél gepraat over *de natuurkundige basis en randvoorwaarden*. Maar nog nauwelijks over *de technische en economische mogelijkheden en beperkingen*. En ook niet over *de factoren die een rol spelen bij de keuze uit verschillende energiesystemen*.
In de hoofdstukken 6 en 7 wordt daarom het accent verlegd naar deze laatste twee aspecten. Verstandig omgaan met energie omvat immers alle drie!

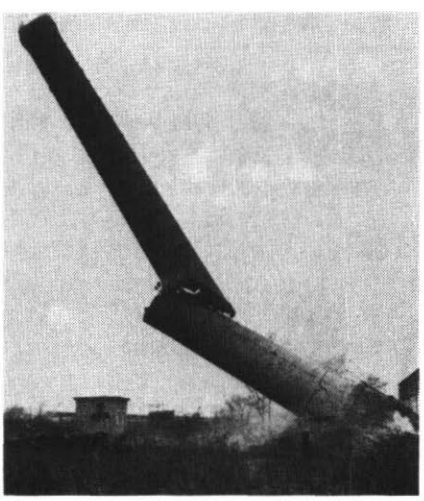
hoofdstuk 5

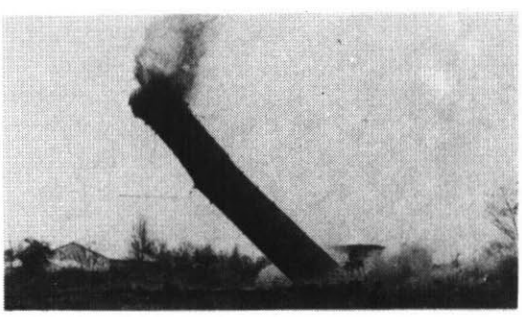
ORDE EN CHAOS

inhoud blz

5.1 warmte: chaotische beweging 49
5.2 omzetten in warmte: één-richtingsverkeer 49
5.3 waarom geen 'twee-richtingsverkeer'? 51
5.4 uit orde volgt chaos 51







orde en chaos

In dit hoofdstuk ga je dieper in op de natuurkundige verklaring van energieprocessen. Met name op de zogenaamde *'tweede hoofdwet'*. Het hoofdstuk is daardoor nogal theoretisch van aard. Meer een onderwerp dus voor de 'theoreten onder ons'.

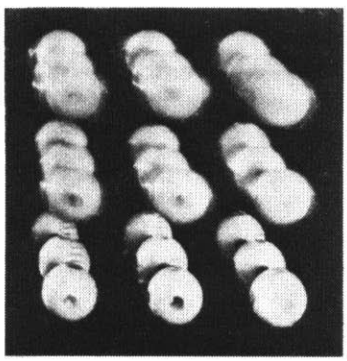
Vrijwel alle energie die we gebruiken, wordt uiteindelijk omgezet in warmte. Energie-degradatie is onvermijdelijk. Maar, waarom is dat zo? Waarom kunnen we dat degradatieproces niet stoppen? Of zelfs omkeren?

Voor een antwoord op die vraag gaan we eens precieser kijken naar wat warmte eigenlijk is. We doen dat door te kijken op moleculair niveau. Warmte blijkt dan samen te hangen met de chaotische beweging van atomen en moleculen. En uit 'chaos' kan niet zomaar 'orde' ontstaan. Dat zal blijken de achtergrond te zijn van het lage rendement van warmtemachines, en dus ook van energie-degradatie.

Aan het slot van het hoofdstuk vind je een rapportage-opdracht. Die kan je helpen bij het voorbereiden van je rapportage over dit hoofdstuk aan je mede-leerlingen.

5.1 WARMTE: CHAOTISCHE BEWEGING

In het thema 'Weersveranderingen' is de volgende conclusie getrokken: 'Als de *temperatuur* van een hoeveelheid gas toeneemt, neemt ook de *gemiddelde snelheid* van de gasdeeltjes toe.'
Die hoeveelheid gas werd daarbij voorgesteld als een grote hoeveelheid deeltjes, die *voortdurend* kriskras door elkaar bewegen, waarbij ze talloze keren tegen elkaar botsen. Een onvoorstelbare chaos, zou je het kunnen noemen.
Ook voor de deeltjes in een vaste stof en in een vloeistof geldt, dat ze voortdurend chaotisch in beweging zijn. In een vaste stof trillen ze voortdurend om een evenwichtsstand. Hoe *hoger* de *temperatuur*, hoe harder ze gaan trillen en dus hoe *meer kinetische energie* ze krijgen. Maar behalve het snellere trillen, hebben ze voor die trilling bij hogere temperatuur ook meer ruimte nodig. Een vaste stof (en ook een vloeistof) zet uit bij verwarming. Ook hierdoor neemt de energie van de deeltjes toe. Dat kun je begrijpen, als je denkt aan de aantrekkende krachten die de deeltjes bij elkaar houden. Door de aanwezigheid van een aantrekkende kracht tussen twee deeltjes (om het eenvoudig te houden) bezitten beide deeltjes energie (enigszins te *vergelijken* met de zwaarte-energie van een voorwerp boven het aardoppervlak). Als die twee deeltjes op een grotere afstand van elkaar komen te zitten (door uitzetting bij temperatuurstijging) wordt de energie die ze bezitten groter (enigszins te *vergelijken* met de groter wordende zwaarte-energie van een voorwerp als dit op grotere afstand van het aardoppervlak geplaatst wordt).



Bij temperatuurstijging neemt de beweging van de deeltjes in een kristalrooster toe.

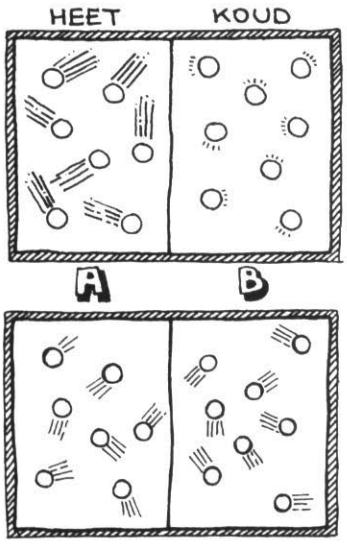
Samengevat:
– Elke hoeveelheid gas, vloeistof, vaste stof of combinatie daarvan, kortweg elk *systeem*, bezit *altijd* een zekere hoeveelheid *energie*.
– Deze *energie* is een *gevolg* van de voortdurende *chaotische* beweging van de deeltjes waaruit het systeem is opgebouwd, en van de aanwezigheid van *krachten* die de deeltjes op elkaar uitoefenen.
– Deze *energie* noemen we de *inwendige energie* van het systeem, omdat het gaat om de energie van de deeltjes (moleculen of atomen) waaruit het systeem is opgebouwd.
– Hoe *hoger* de *temperatuur* van een systeem, hoe *groter* zijn *inwendige energie*. (doordat de gemiddelde snelheid van de deeltjes groter is en doordat de deeltjes gemiddeld op een grotere afstand van elkaar 'zitten').

5.2 OMZETTEN IN WARMTE: ÉÉN-RICHTINGSVERKEER

Wat betekent het nu op 'deeltjes-schaal gezien' als we zeggen dat 'energie wordt omgezet in warmte'? Normaal gesproken zeggen we zoiets, als in een energie-omzettingssysteem (energie-omzetter) op zijn minst een deel van het systeem warm wordt; dat wil zeggen: dat het een hogere temperatuur krijgt.
Op grond van de vorige paragraaf kunnen we dat nu precieser formuleren. Kennelijk wordt dan de *beschikbare energiesoort* geheel of gedeeltelijk *omgezet* in *inwendige energie* van het systeem zelf.

1.
• Beschrijf de volgende processen met gebruik van de term 'inwendige energie'
– De motor van een auto wordt warm tijdens het gebruik.
– De lagers van een draaiend fietswiel worden warm.
– Het water op het vuur wordt warm.
• Waar komt 'warm worden' op neer?

Warmte toevoeren betekent niets anders dan dat je twee systemen met elkaar in contact brengt, waarvan het ene veel heter is dan het andere.
De moleculen van het heetste systeem, die dus bewegen met gemiddeld de meeste energie, botsen bij het contact-oppervlak voortdurend met moleculen van het koudere systeem.



Na verloop van tijd hebben beide systemen dezelfde temperatuur.

Als gevolg van deze botsingen wordt er voortdurend energie overgedragen van het hete systeem naar het koude. Dit gaat net zo lang door, totdat de gemiddelde energie van de moleculen in beide systemen gelijk is. Of, anders gezegd, totdat de *temperatuur* van beide systemen gelijk is. Dit proces van *warmte-overdracht* tussen twee systemen gaat dus net zo lang door totdat er een *temperatuurevenwicht* tussen beide systemen is ontstaan.

2.
Er is een heel belangrijke regel, die je eigenlijk allemaal kent. Deze luidt: 'Warmte stroomt vanzelf altijd van een systeem met hoge temperatuur naar een systeem met lage temperatuur, en nooit andersom.'
Interpreteer deze regel nu op 'moleculaire schaal'.

3.
Wat gebeurt er als een systeem met warmte van hoge kwaliteit in contact gebracht wordt met een systeem met warmte van lage kwaliteit?

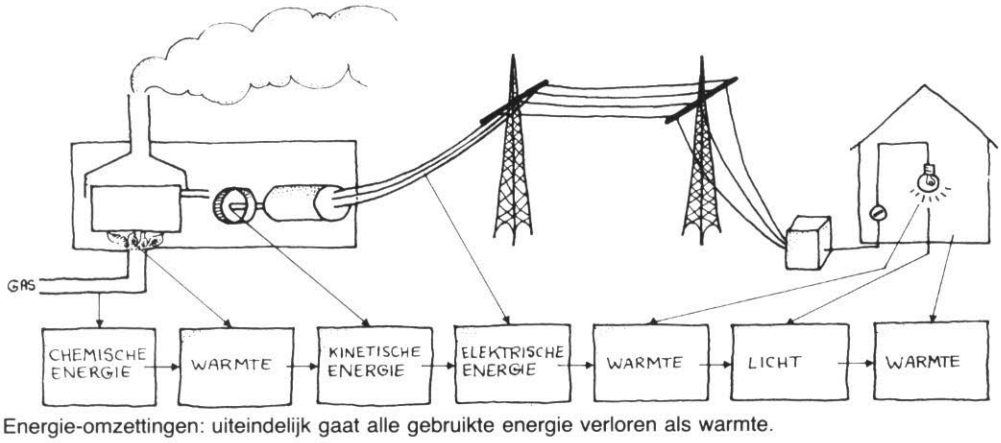
4.
Een huis verwarmen betekent: de temperatuur van dat huis op voor ons aangename hoogte brengen en houden. Waarom moet je steeds blijven verwarmen? Wat verandert hieraan als je je huis isoleert? Betrek in je antwoorden wat er gebeurt op moleculaire schaal.

5.
Kun je het proces van warmte-overdracht tussen een kouder en een heter systeem, die met elkaar in contact zijn, stoppen als je dat zou willen?

6.
Komt er ooit een einde aan de warmtebeweging van atomen en moleculen?

7.
Beredeneer dat warmteverlies van een systeem aan de omgeving net zo lang doorgaat tot beide dezelfde temperatuur hebben. Welke temperatuur zal dit zijn?

Veel energie gaat 'verloren als warmte'. 'Energieverlies' dus. Maar wat gebeurt er eigenlijk precies met dát deel van de energie dat zogenaamd 'nuttig' gebruikt wordt? In een elektriciteitscentrale bijv. wordt dat deel omgezet in elektrische energie. En in een gloeilamp in zichtbare straling. En in een rijdende auto wordt dat deel van de energie gebruikt om de wrijvingskracht te overwinnen en/of om de kinetische energie van de auto te laten toenemen. Maar daarmee zijn we er nog niet. Want wat gebeurt er vervolgens met de elektrische energie die de centrale heeft opgewekt? En met de zichtbare straling nadat de lamp die heeft uitgezonden?



Energie-omzettingen: uiteindelijk gaat alle gebruikte energie verloren als warmte.

En wat betekent overwinnen van de wrijvingskracht bij een auto, en waar blijft de kinetische energie als de auto weer tot stilstand is gekomen?

8.
Beredeneer dat alle opgewekte elektrische energie, de kinetische energie van auto's, fietsen, mensen, enz. en ook de chemische energie uit brandstoffen en voedsel uiteindelijk alleen maar als warmte 'verdwijnt' in de aarde en in het heelal.

5.3 WAAROM GEEN 'TWEE-RICHTINGSVERKEER'?

Alle energie-omzettingen waar we gebruik van maken, hebben uiteindelijk tot gevolg dat hoogwaardige energiesoorten worden omgezet in warmte. En daarmee in een vorm die tenslotte verdwijnt in het heelal, terwijl onze brandstofvoorraden wèl dreigen op te raken.
Waarom maken we dan geen machines die juist een stukje van de omgekeerde weg bewandelen? Die op hun beurt de warmte van de aarde of de atmosfeer (dus: inwendige energie) gebruiken voor het verrichten van arbeid? En dus kwaliteitsverhogend werken! En die daarmee het 'één-richtingsverkeer' uit de vorige paragraaf zouden veranderen tot 'twee-richtingsverkeer'. Want als het een probleem is dat steeds energie als warmte verloren gaat in de omgeving, dan zou dit probleem toch verdwenen zijn als we machines bouwen die deze warmte weer 'uit de omgeving' kunnen halen. Waarom doen we dat niet? Waarom is deze inwendige energie niet dé energiebron van de toekomst?

Een voorbeeld. Je kunt berekenen dat de energie die nodig is om een schip voort te stuwen, gemakkelijk kan worden verkregen door een waterlaag rond de romp een beetje af te koelen. Die waterlaag hoeft niet dikker te zijn dan zo'n 10 cm. Zo'n schip, uitgerust met een apparaat dat warmte aan het omringende water kan onttrekken, zou die waterlaag niet meer dan 1 °C hoeven af te koelen. Het schip zou dan voldoende energie toegevoerd krijgen om eeuwig over de zeeën te blijven varen zonder ooit brandstof in te nemen.
Als hetzelfde fantastische apparaat onderaan de Niagarawatervallen wordt geplaatst, en daar genoeg warmte aan het water onttrekt om het één-achtste °C af te koelen, zou het voldoende energie verkrijgen om het water weer naar boven terug te pompen. Zo'n apparaat zou een eeuwigdurende bewegingsmachine zijn.

1.
Probeer met enkele ruwe schattingen deze voorbeelden na te rekenen. En laat zien dat ze niet in strijd zijn met de eerste hoofdwet van de warmteleer (de wet van behoud van energie).

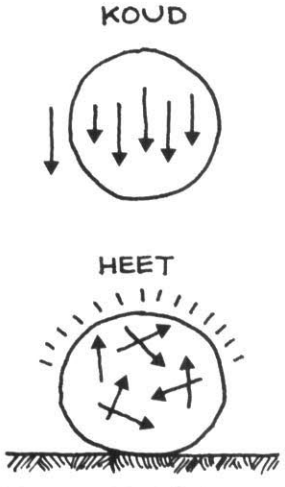
5.4 UIT ORDE VOLGT CHAOS

De achtergrond van het niet bestaan van het genoemde 'twee-richtingsverkeer', staat bekend als de *tweede hoofdwet van de warmteleer*.
In feite hebben we deze wet al twee keer eerder ontmoet in dit thema. De eerste keer toen we gezegd hebben dat het rendement van warmtemachines nooit 100% kan zijn. De tweede keer toen we zeiden dat 'warmte uit zichzelf altijd van warm naar koud stroomt' (en dus vanzelf degradeert). Deze laatste formulering geeft een heel belangrijk aspect aan. Ze zegt dat er een voorkeurs*richting* is, waarin spontane warmteprocessen verlopen. Warmte kan 'uit zichzelf wél de ene kant op, maar níet terug'. Hoe komt dat? Daartoe moeten we opnieuw op moleculaire schaal gaan kijken!

Een onwaarschijnlijk proces ...

Als je een ijsblokje in een glas lauwe cola laat vallen, smelt het ijs en de cola koelt af. Heb je ooit in een glas koude cola een ijsblokje zien ontstaan, terwijl tegelijkertijd de cola opwarmt? Zou dat kunnen volgens de eerste hoofdwet van de warmteleer?
Als je een brok klei op tafel laat vallen, worden de klei en het tafeloppervlak een beetje

Orde uit chaos? (Bron: James Frankfort in The Saturday Evening Post.)



Een vallend brok klei.

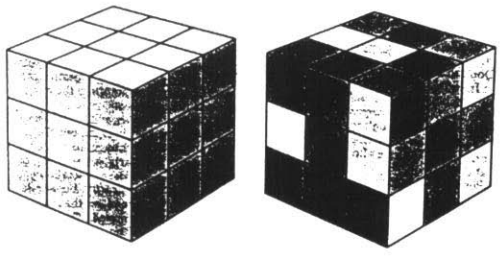
Bij de derde formulering van de tweede hoofdwet hoort de volgende kanttekening.
Eigenlijk moeten we zeggen dat de kans *op processen die de chaos laten afnemen* verwaarloosbaar klein *is.*
Om een voorbeeld te geven: de kans dat 4 J inwendige energie van een brok klei (door vermindering van de chaotische warmte-beweging van de kleimoleculen) wordt omgezet in zwaarte-energie (door de geordende beweging van het brok klei als geheel) is verschrikkelijk klein.
Groter is de kans dat een stam wilde apen, die volstrekt willekeurig op een stel type-machines zit te rammen, per ongeluk de complete werken van Shakespeare vijftien kwadriljoen (10^{24}) keer achter elkaar uittypt, zonder één enkele fout! Vandaar dat we zeggen dat zulke processen onmogelijk *zijn, en dat 'chaos alleen maar kan toenemen' (in een afgesloten systeem).*

warmer: de kinetische energie van de brok klei wordt omgezet in inwendige energie. Heb je ooit een brok klei spontaan van tafel zien opspringen, terwijl tegelijkertijd de klei en het tafeloppervlak een beetje afkoelen? Zou dat kunnen volgens de eerste hoofdwet? Kennelijk zijn er processen denkbaar, die volgens de energiebehoudswet wél mogelijk zijn, maar die in de natuur toch níet gebeuren.
Wat we nodig hebben is dus een regel die duidelijk maakt (die verklaart) *hoe het komt dat bepaalde processen wel gebeuren en andere niet.*

1.
Neem een aantal processen in gedachten, en ga na of die ook in omgekeerde richting kunnen voorkomen.

Laten we, om dit beter te kunnen begrijpen, nog eens dat net genoemde brok klei in gedachten nemen. Als dat brok klei valt, bewegen alle klei-moleculen (afgezien van hun chaotische trilbeweging) in dezelfde richting naar beneden. En ook allemaal even snel. Vergeleken met de chaotische trilbeweging van de moleculen, is die valbeweging een keurige nette, *geordende* beweging.
Maar wat gebeurt er nu als de klei de tafel raakt? Dan wordt de kinetische energie, die hoort bij de valbeweging, helemaal omgezet in inwendige energie van tafel en klei samen.
Ofwel: de keurig nette, geordende valbeweging van de kleimoleculen maakt plaats voor een *toename* van de volstrekt chaotische trilbeweging van de klei- en tafelmoleculen. Het is dus een proces waarbij '*chaos toeneemt*'.
Wat zou er gebeuren als dat brok klei spontaan van tafel omhoog sprong? Met spontaan bedoelen we hier: uit zichzelf, dus *zonder* dat er door *iets anders* energie aan toegevoerd wordt. Dan zouden de tafel en de klei iets moeten afkoelen. Dat wil zeggen: de chaotische beweging van de klei- en tafelmoleculen zou wat minder moeten worden. En in plaats daarvan zouden alle klei-moleculen er eenzelfde snelheid vertikaal naar boven bij moeten krijgen. Met andere woorden: de chaotische beweging van de tafel- en kleimoleculen zou minder worden en plaats maken voor de keurig geordende beweging van het omhoog springende brok klei. Dat zou een proces zijn, waarin de '*chaos afneemt*'.
Welnu, een derde formulering van de tweede hoofdwet zegt, dat 'in een *afgesloten* systeem (dat wil zeggen: een systeem waaraan geen energie wordt toegevoerd of onttrokken) alleen processen kunnen plaatsvinden, die de *mate van wanorde* (chaos) in het systeem *doen toenemen*.'

Je kunt van die voorkeursrichting van toenemende chaos ook zelf een idee krijgen.



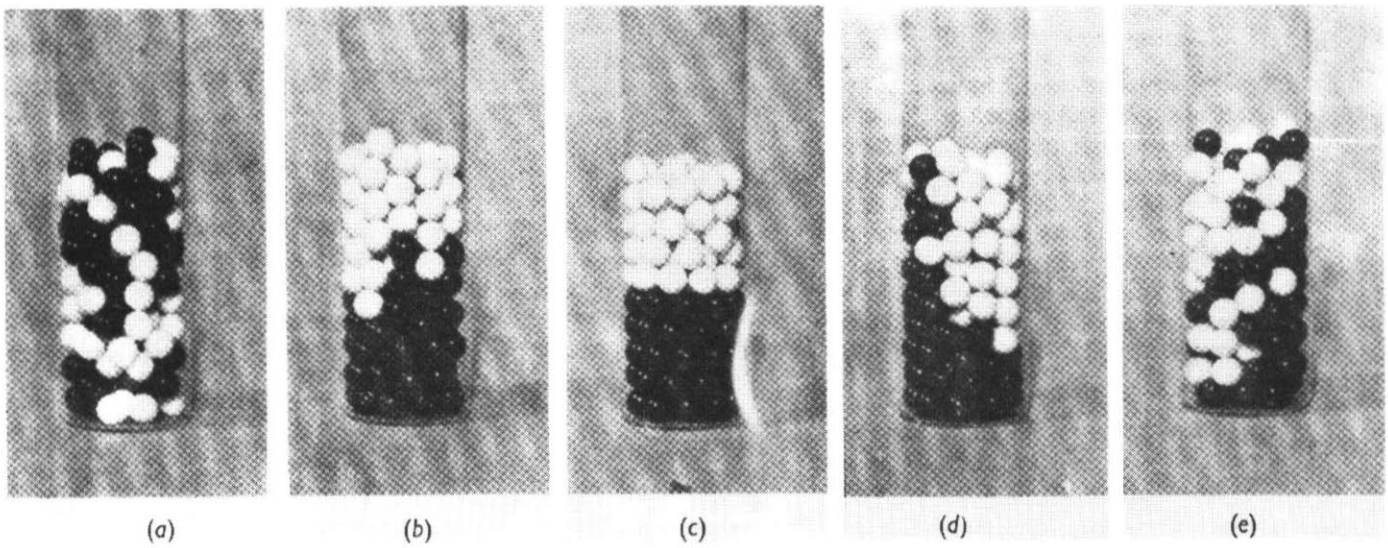
Van orde naar chaos ... en terug?

2.
Neem een 'kubus van Rubic'.
Die kubus heeft maar één geheel geordende toestand, en ontzettend veel chaotische. Stel dat je niet weet 'hoe de kubus werkt'. Begin dan met de geordende toestand blind en willekeurig te draaien. Wat gebeurt er met de 'mate van chaos' van de kubus? Hoe groot acht je de kans dat je, per ongeluk, de kubus weer 'goed' krijgt?

3.
Laat een inktdruppel in een glas water vallen. Wat gebeurt er? Hoe komt dat? Is dat een omkeerbaar proces? Waarom is dit 'chaos uit orde' (dus: toegenomen wanorde)?

4.

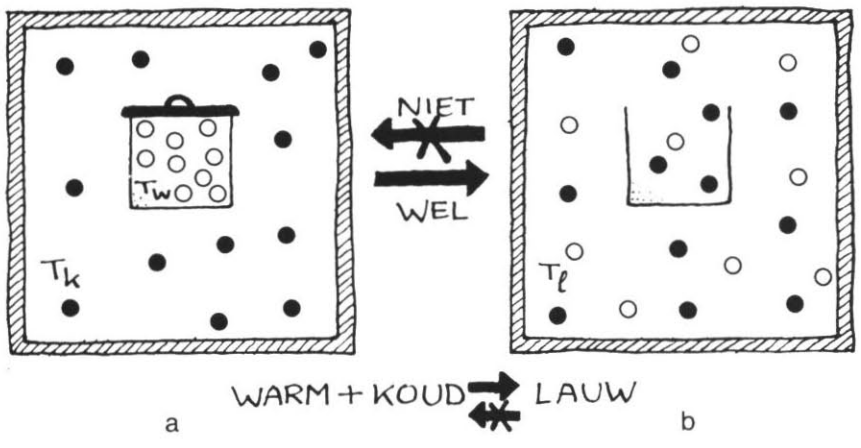
• Bekijk de foto's waarop 150 knikkers (75 zwarte en 75 witte) in een glazen pot staan afgebeeld. Tussen het maken van de verschillende foto's is de glazen pot steeds een aantal malen geschud. In welke volgorde zijn de foto's genomen? Hoe kom je aan deze volgorde? Als de pot nog eens duizend maal geschud zou worden, wat zou je dan zien? Hoe lang moet je schudden om de toestand van foto c terug te krijgen?

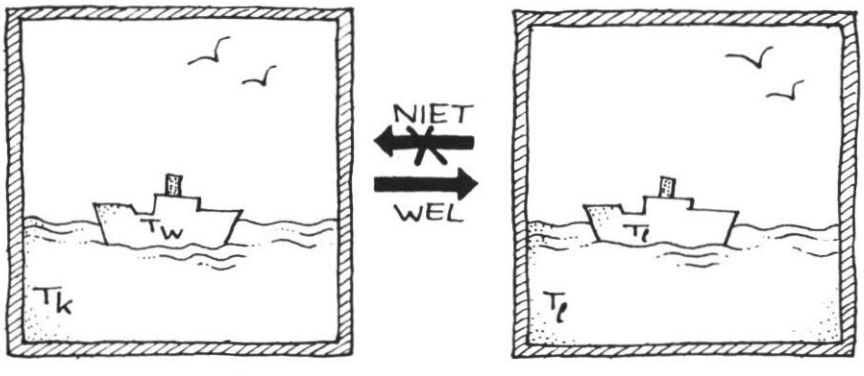


(a) (b) (c) (d) (e)

• Als het *aantal* knikkers in de glazen pot veel kleiner is, wat voor invloed zou dat hebben op de *kans* dat er *wél* 'orde uit chaos' ontstaat? Probeer dit voor verschillende aantallen (2, 4, 8, enz.).

• Hoe groot is het aantal moleculen in 1 Mol van een stof? Vergelijk dit aantal met het aantal uit de 'knikkerproef'. Welke conclusie kun je uit deze vergelijking trekken?





5.

• Stel dat je een afgesloten systeem hebt met daarin een gas. Bijvoorbeeld een kamer met koude lucht (T_k). In die kamer bevindt zich een pan, afgesloten met een deksel. In die pan zit verwarmde lucht (T_w). Als het deksel van de pan wordt gehaald, wat gebeurt er dan in het systeem?

• Je kunt de snelle luchtmoleculen vergelijken met de witte knikkers uit activiteit 4, de langzame met de zwarte knikkers, en het bewegen van de moleculen met het schudden van de knikkers. Beredeneer dan, dat het proces van toestand a naar toestand b wél vanzelf gebeurt, en omgekeerd niet.

• Als toestand a overgaat in toestand b betekent dit: toename van wanorde in het systeem. Ga dit na. En omgekeerd?

• In plaats van de kamer en de pan met lucht bekijk je nu een schip en de zee eromheen als één afgesloten systeem. Beredeneer dan, dat het niet mogelijk is een apparaat te maken, waarmee een schip zijn energie kan onttrekken aan de zee waarin het vaart.

In de natuur kan een systeem van één temperatuur niet uit zichzelf overgaan in twee deelsystemen van verschillende temperatuur, omdat er dan een ordelijker toestand zou ontstaan dan er was.
Ofwel: het twee-richtingsverkeer waarover we spraken (dat de oplossing zou zijn van een dringend tekort aan brandstoffen) is niet mogelijk. Jammer, maar waar. Zo'n 'proces-terug' zou onvermijdelijk indruisen tegen de tweede hoofdwet.

6. RAPPORTEREN

Bereid een rapportage voor over onderstaande hoofdpunten van dit hoofdstuk.

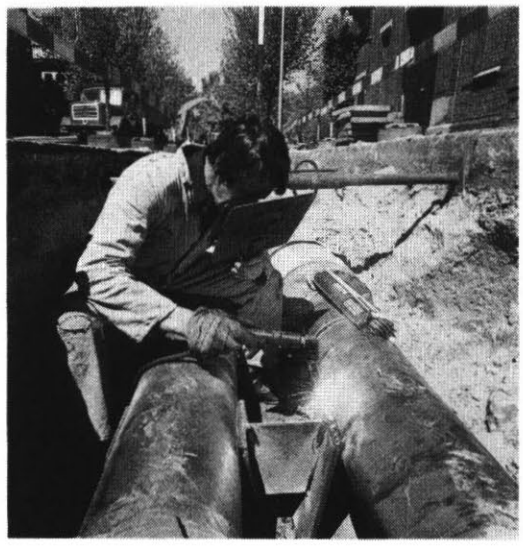
– Vrijwel alle energie die we gebruiken, wordt uiteindelijk omgezet in warmte.
– Warmte is een bijzondere energiesoort, omdat ze te maken heeft met de voortdurende chaotische beweging van atomen en moleculen.
Hoe hoger de temperatuur, hoe heftiger deze beweging is.
– Het is onvermijdelijk dat deze warmte vanzelf verloren gaat in de omgeving, en dus degradeert. Want: 'uit orde volgt chaos'.
– Omdat uit chaos niet zonder meer orde kan ontstaan, is de warmte uit de omgeving voor ons niet meer te gebruiken.
– Dat betekent dat we, vanwege de tweede hoofdwet, niet kunnen tegenhouden dat bij al ons energiegebruik de kwaliteit van energie steeds verder vermindert. En dat we dus steeds zullen moeten zoeken naar nieuwe bruikbare hoogwaardige energiebronnen.

hoofdstuk 6

ENERGIE EN KWALITEIT IN DE PRAKTIJK

inhoud blz

6.1 isolatie 56
6.2 passieve zonne-energie 57
6.3 warmtepomp 60
6.4 warmte-krachtkoppeling 63
6.5 stadsverwarming 65
6.6 opslagsystemen 66
6.7 energiesystemen 70



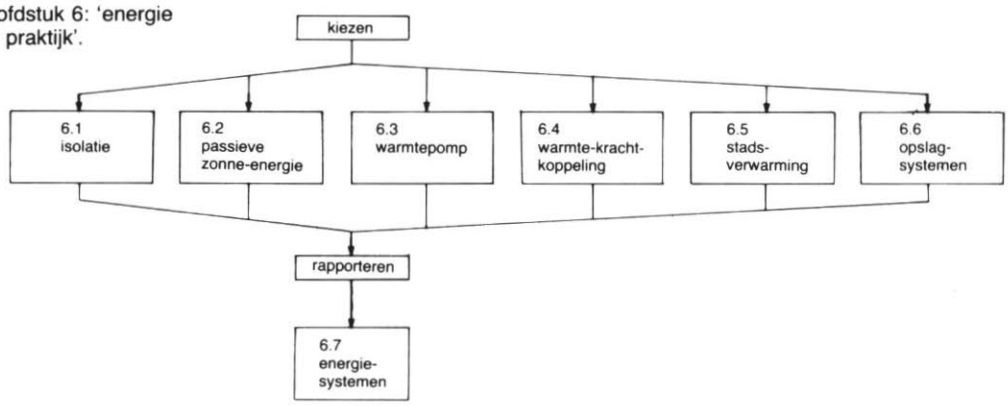
energie en kwaliteit in de praktijk

In dit hoofdstuk worden een aantal energiesystemen beschreven, waarmee je efficiënter kunt omgaan met 'kwaliteit van energie'. Daarmee kun je onderzoeken wat 'verstandig omgaan met energie' in de praktijk betekent.

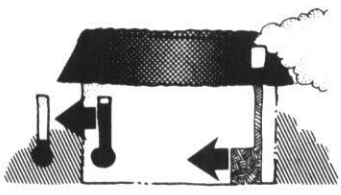
Je kiest één of twee van de paragrafen 6.1 t/m 6.6 uit dit hoofdstuk. Je rapporteert over de resultaten van je werk aan je medeleerlingen. Om je daarbij te helpen vind je aan het eind van elke paragraaf een rapportage-opdracht.

In de laatste paragraaf kijk je nog eens terug op de behandelde energiesystemen. Je doet dat vanuit de vier 'richtvragen voor energiebesparing' uit hoofdstuk 4.

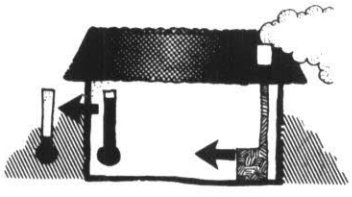
De opzet van hoofdstuk 6: 'energie en kwaliteit in de praktijk'.



6.1 ISOLATIE

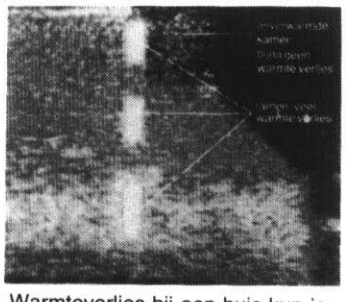


ZONDER ISOLATIE



MET ISOLATIE

Na isolatie kun je de kachel lager zetten, en toch binnenshuis dezelfde temperatuur houden. Er is weer temperatuurevenwicht, maar nu bij een kleinere warmteproductie (en een kleiner warmteverlies) per tijdseenheid.



Warmteverlies bij een huis kun je zichtbaar maken op een infraroodfoto. Op de lichtgekleurde plaatsen is het warmteverlies per m^2 het grootst (bij de ramen).

K-WAARDEN VAN BOUWMATERIALEN

materiaal	*K-waarde in* W/m^2K
enkel glas 3 mm	*6*
dubbel glas (spouwbreedte > 20 mm)	*3*
enkelsteens baksteen muur 11 cm	*3,5*
dubbele baksteen muur (spouwbreedte 5 cm)	*1,7*
kurk 5 cm	*0,7*
aluminium 4 mm	*6*
beton 11 cm	*4,5*
hout 2 cm	*4,5-5*
polystyreen 5 cm	*1,3*
polyurethaan-schuim 5 cm	*0,9*
dubbele baksteen muur (spouwbreedte 5 cm gevuld met pu-schuim)	*0,7*

Een warm voorwerp in een koude omgeving koelt af, tot het dezelfde temperatuur heeft als de omgeving. Warmte is dan van een plaats met hoge naar een plaats met lage temperatuur gestroomd.
Een lekker warme kamer zal op dezelfde manier afkoelen als we er niets aan doen. De warmte zal naar buiten weglekken, tot binnen en buiten de temperatuur gelijk geworden is. Er is dan kwaliteit van energie verloren gegaan. Hoe snel dat gaat, hangt af van de mate van *isolatie*. Een goede isolatie zorgt er voor, dat het temperatuurverschil tussen binnen en buiten langer in stand blijft. Isolatie houdt dus de kwaliteit van energie langer in stand.

warmtebalans
'Bij een slecht geïsoleerd huis gaat 60% van de warmte verloren.'
'Bij een goed geïsoleerd huis gaat 100% van de warmte verloren.'
Welke uitspraak is goed? Welke fout?

De eerste uitspraak is fout. In beide soorten huizen gaat alle warmte die opgewekt wordt verloren. Stel we hebben een niet geïsoleerd huis met een constante temperatuur. Iedere seconde gaat dus evenveel warmte verloren als de kachel produceert. Als we het huis nu isoleren, gaat er per seconde minder warmte verloren. We kunnen de kachel nu dus lager zetten. Daarmee maken we de warmteproductie weer gelijk aan het verlies per seconde. Zo is er bij dezelfde temperatuur weer evenwicht, maar bij minder warmtetoevoer per seconde.
Isolatie zorgt er dus voor, dat we de taak van ruimteverwarming kunnen verrichten met minder brandstof.

manieren van warmteverlies
Warmte lekt op verschillende manieren naar buiten:
– *stroming*
Door kieren, spleten enz. stroomt warme lucht het huis uit, en koude lucht naar binnen. Dit moet je niet helemaal vermijden, want er is frisse lucht in huis nodig. Men noemt dit ook wel *ventilatieverlies*.
– *geleiding*
Ook als een ruimte potdicht is, is er warmteverlies: de warmte wordt via het wandmateriaal getransporteerd van binnen naar buiten. Dit wordt wel *transmissieverlies* genoemd; dit is de belangrijkste verliesfactor.
– *straling*
Als van een huis een infraroodfoto gemaakt wordt, blijken slecht geïsoleerde plekken veel infraroodstraling uit te zenden. Dit is een vorm van energietransport, die niet van een tussenstof gebruik maakt.

1.
Lees in het thema 'Vergelijken' paragraaf 4.1 door, en maak de opdrachten.

de *K*-waarde
Bij isolatie gaat het erom, dat wanden de warmte zo slecht mogelijk geleiden. Het ene materiaal geleidt warmte beter dan het andere. Om verschillende muren, ramen en daksoorten op dit punt te vergelijken, kijkt men naar de *K*-waarde van een wand. Zo zegt men dat de *K*-waarde van dubbel glas 3 W/m^2K is, en van enkel glas 6 W/m^2K.

2.
Lees in het thema 'Vergelijken' paragraaf 4.2 door, en maak de opdrachten.

3. HET RESULTAAT VAN ISOLATIE
Een gemiddeld rijtjeshuis verbruikt jaarlijks voor verwarming zo'n 2800 m^3 aardgas. Door goed te isoleren kan dit sterk teruggebracht worden.

K-WAARDE
'De K-waarde van enkel glas is 6 W/m²K' betekent: door 1 m² van deze ruit gaat iedere seconde 6 J warmte verloren, als het temperatuurverschil tussen binnen en buiten 1 K is

Onderzoek hoeveel aardgas je jaarlijks kunt besparen door een gemiddeld rijtjeshuis te isoleren. Maak hiertoe opdracht 1 van paragraaf 4.3 in het thema 'Vergelijken'.

4. RAPPORTEREN
Bereid een rapportage voor, waarin minstens de volgende punten voorkomen:
– Leg uit waarom je door te isoleren, 'verstandig' om gaat met 'kwaliteit van energie'.
– Heeft isolatie ook iets te maken met het 'rendement' van een apparaat?
– Wat betekent: de *K*-waarde van dubbel glas is 3 W/m²K?

6.2 PASSIEVE ZONNE-ENERGIE

Een groot deel van onze brandstof gebruiken we om in onze warmtebehoefte te voorzien. Hoogwaardige chemische energie (olie of gas) zetten we om in laagwaardige warmte, om het in huis aangenaam te maken.
Het is de moeite waard te onderzoeken of ook andere energiebronnen aan deze warmtebehoefte kunnen voldoen. Met name bij woningen is het interessant te kijken welke bijdrage de zonnestraling kan leveren aan verwarming.

actief zonne-energiesysteem	passief zonne-energiesysteem
– aan het gebouw toegevoegd	– onderdeel van de struktuur van het gebouw
– warmtetransport met een pomp	– warmtetransport door dichtheidsverschil warm en koud water
– mogelijkheid van seizoenopslag	– langdurige opslag niet mogelijk
– regelbaar	– moeilijk regelbaar

Verschillen tussen actieve en passieve zonne-energiesystemen.

Bij het gebruik van zonnestraling voor verwarming, worden twee systemen onderscheiden: *passieve* en *actieve* zonne-energiesystemen. Een voorbeeld van een *actief* systeem is de zonnecollector. Hierbij wordt met een pomp het water door het systeem rondgepompt.
Passieve systemen maken voor het warmtetransport geen gebruik van pompen of andere hulpmiddelen, die zelf energie gebruiken.
Men onderscheidt daarbij:
– het directe systeem: de zonnestraling valt *in* de te verwarmen ruimte;
– het indirecte systeem: de zonnestraling valt *op* de te verwarmen ruimte;
– het gescheiden systeem: invang en opslag van zonnestraling vindt plaats buiten de te verwarmen ruimte.

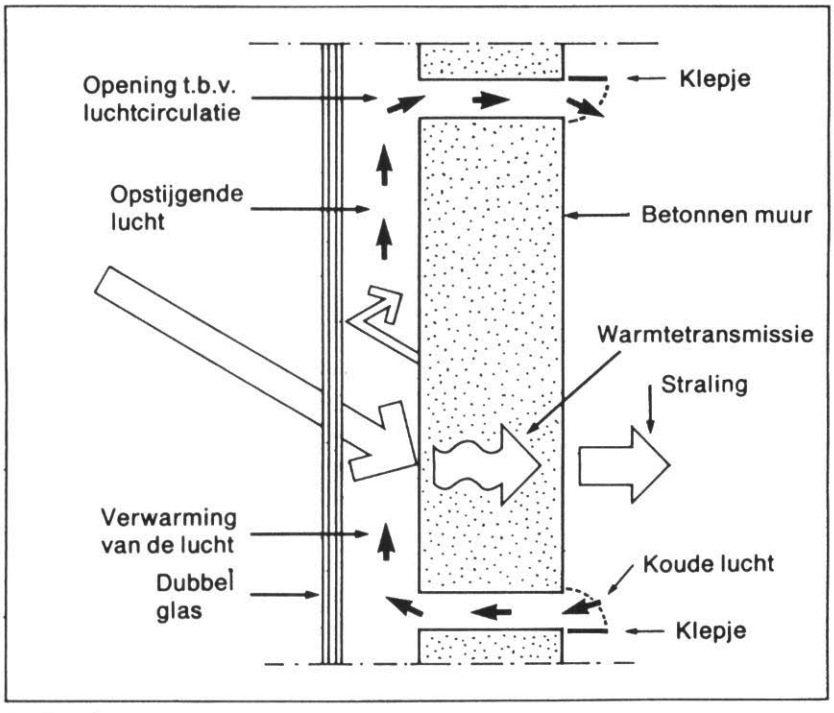
Enkele passieve zonne-energiesystemen (PZE-systemen) zullen we hier nader bespreken.

het directe PZE-systeem
De zonnestraling valt *in* de te verwarmen ruimte, en wordt door de wanden geabsorbeerd. Deze staan dan vaak ook 's avonds nog warmte af, zodat we ook dan nog profijt van de zonne-energie hebben.

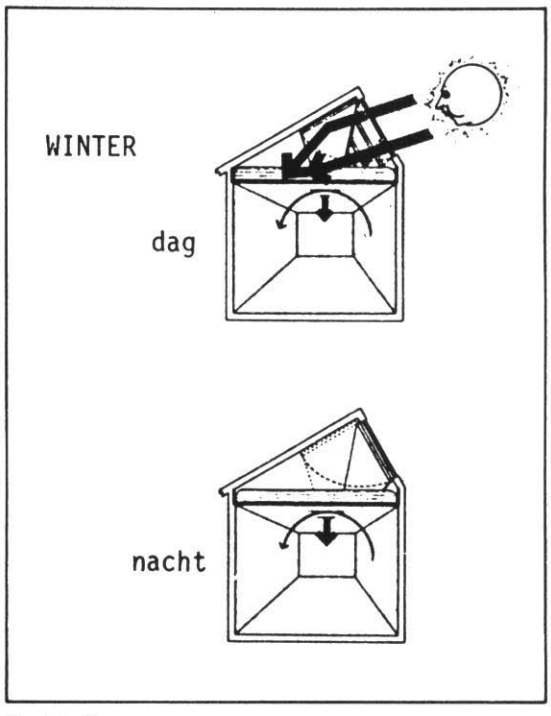
1.
Als je wilt dat een muur zoveel mogelijk van de opvallende straling absorbeert, welke kleur zou je die dan geven?

het indirecte PZE-systeem
Hierbij staat de opslagmassa tussen de zon en de te verwarmen ruimte. Voorbeelden zijn de *Trombe-muur* en de *dakvijver*.

de Trombe-muur
Dit is een massieve muur, die aan de zuid-zijde van de woning achter glas is aangebracht. De buitenkant van de muur is zwart geschilderd, om zoveel mogelijk zonnestraling te absorberen. De opgevangen warmte wordt door straling naar de kamer achter de muur afgegeven. Daarnaast kan ook stroming van warme lucht opgewekt worden, door onder en boven in de muur ventilatie-openingen aan te brengen. De wand kan nog enkele uren na het verdwijnen van de zon zorgen voor verwarming.



De Trombe-muur.



De dakvijver.

de dakvijver

De opslagmassa voor de geabsorbeerde zonnestraling kan ook op het dak aangebracht worden. Vaak wordt hiervoor water gebruikt. Het verwarmde water staat de warmte vervolgens door straling af aan de vertrekken eronder. Dit systeem is alleen rendabel in zuidelijke landen, waar de zon hoog staat en de straling vrijwel loodrecht invalt.

SOORTELIJKE WARMTE EN DICHTHEID VAN ENKELE MATERIALEN

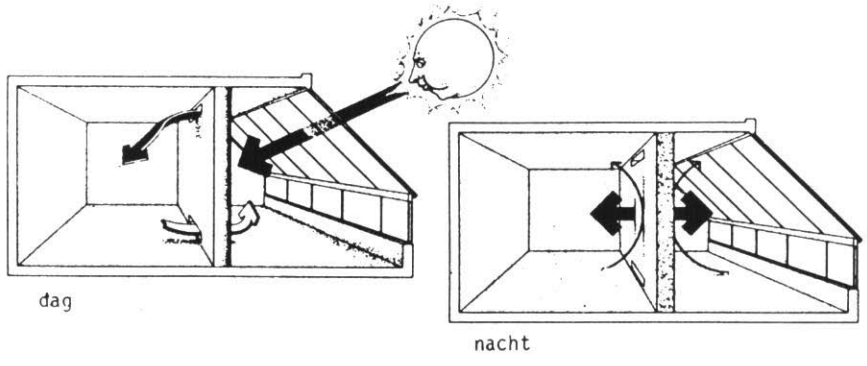
materiaal	soortelijke warmte in J/kgK	dichtheid in kg/m^3
baksteen	695	$1{,}8 \cdot 10^3$
beton	1010	$2{,}0 \cdot 10^3$
water	4200	$1{,}0 \cdot 10^3$

2.
Het nut van een Trombe-muur is, dat deze nog voor verwarming zorgt als de zon (al) weg is.
Als je wilt dat de muur zo lang mogelijk warmte afgeeft, van welk materiaal zou je de muur dan maken: van baksteen of beton? Of kun je beter een met water gevulde wand maken?

Het gescheiden PZE-systeem

Hierbij zijn de absorptie van zonnestraling en de warmte-opslag gescheiden van de te verwarmen ruimte. Voorbeelden zijn de *serre* en de *thermosyphon*.

Ook in Nederland wordt passief gebruik van zonne-energie steeds vaker toegepast, zoals bij deze woningen in Cuijk (Limburg).



De serre als passief zonne-energiesysteem.

de serre
Het gebruik van een serre werd al lang geleden toegepast. Aan de zuidzijde van een huis wordt een glazen vertrek aangebouwd. Zonnestraling dringt door het glas, wordt door wanden en vloer geabsorbeerd en omgezet in warmte. De door vloer en wanden uitgezonden warmtestraling kan niet door glas heen dringen, zodat we de zonne-energie 'ingevangen' hebben. Dit heet het *broeikaseffect*. Al gauw is het in een serre behaaglijk, ook al is de buitentemperatuur laag.
Maken we in de muur tussen serre en kamer ventilatieopeningen, dan kan deze tevens als Trombe-muur de kamer erachter verwarmen.

de thermosyphon
Dit is een zonnecollector zonder pomp. De thermosyphon maakt gebruik van stroming die ontstaat doordat warm water een kleinere dichtheid heeft ('lichter is') dan koud water. In de collector wordt het water verwarmd en stijgt daardoor naar boven, terwijl koud water van onderen aangevuld wordt. Het opslagvat moet zich dus altijd *boven* de collector bevinden.

bijdrage van een PZE-systeem aan de warmtebehoefte
Passieve zonne-energie levert pas een redelijk aandeel in de verwarming van een huis, als in het hele ontwerp hiermee rekening is gehouden:
- leefruimtes aan de zon-zijde; aan de noord-zijde: hal, garage, slaapkamers enz.;
- kleine ramen aan de noord-zijde, grote aan de zuid-zijde; luiken voor de ramen;
- goede isolatie.

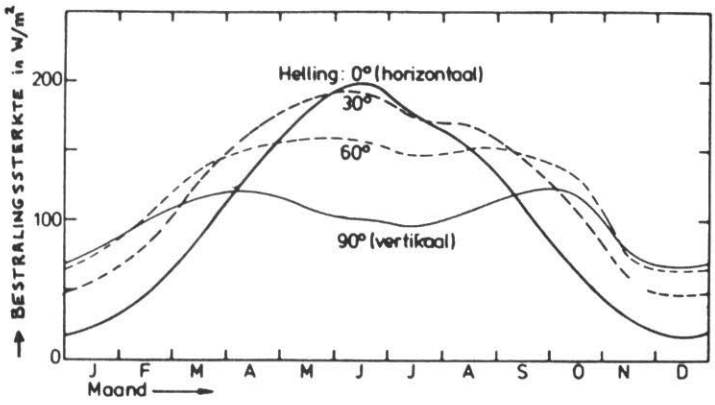
In een dergelijk PZE-huis kan de bijdrage van zonne-straling aan de warmtebehoefte oplopen tot ongeveer 60%.

Bedenk wat je verder zou willen uitzoeken over passieve zonne-energie. Hieronder volgen een paar ideeën.

3. PZE IN DE PRAKTIJK
- Bezoek een zonne-woning bij je in de buurt. Let op het ontwerp, de indeling en de ramen. Welke speciale voorzieningen zijn er in het huis getroffen? Hoeveel m^3 aardgas heeft dat huis per jaar nodig voor verwarming?
- Bekijk een oud huis met een serre. Ligt de serre op de zon-zijde? Hoe gebruiken de bewoners de serre? Hoe vroeg in het jaar is het er behaaglijk?
- Verzamel informatie over PZE-huizen.

4. WELK OPSLAG-MATERIAAL?
Vergelijk een aantal materialen op hun geschikheid om stralingsenergie te absorberen en later weer af te geven.
Welke vergelijkingspunten zijn hierbij van belang? Maak een meetplan, en voer het onderzoek uit. Enkele suggesties:
- zet een gewone en een zwart geschilderde baksteen in de zon; wat voor verschil merk je?
- vergelijk een zwart geschilderde baksteen en een zwart blikje met water: welke stijgt het meest in temperatuur, welke doet er langer over om weer af te koelen?

5. HET BROEIKASEFFEKT
- Maak een ruimte van piepschuim, die aan één kant open is. Maak de binnenwanden zwart. (Je kan ook de modelkamer uit paragraaf 4.2 van het thema 'Vergelijken' gebruiken.)
- Zet de kamer met de open zijde naar de zon, of beschijn de kamer met een sterke lamp. Meet de temperatuur bij de achterwand.
- Sluit nu de open zijde af met glas (of dubbel glas). Hoe hoog wordt nu de temperatuur bij de achterwand?



Bestralingssterkte als gevolg van de zonnestraling in Nederland, gemiddeld over een etmaal (24 h). De bestralingssterkte is afhankelijk van de tijd van het jaar en van de helling van het bestraalde vlak.

K-WAARDEN VAN GLAS

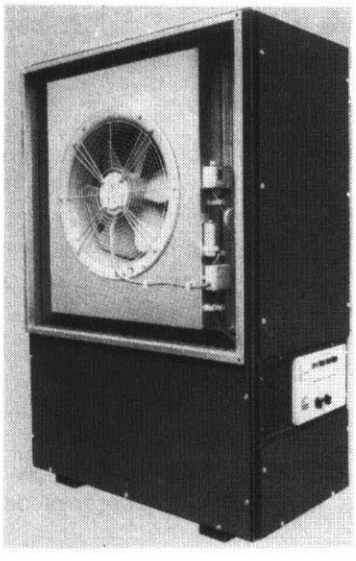
materiaal	*K*-waarde W/m²K
enkel glas	6
dubbel glas	3

6. EEN RAAM: WINST OF VERLIES?
Als je een raam op het zuiden aanbrengt, vang je zonnestraling in. Daar staat tegenover dat door een raam warmte verloren gaat. Weegt de 'zonne'-winst op tegen dit verlies?

- We gaan dit eerst na voor de maand januari.
Lees in het diagram hiernaast af hoeveel zonne-energie (gemiddeld over een etmaal) op een vertikaal vlak valt.
- Een ruit reflecteert een deel van de straling. Neem aan dat dit 30% is. Hoeveel stralingsenergie komt het huis binnen per etmaal, als we de ruit 1 m² groot maken?
- In de tabel hiernaast zijn de *K*-waarden van twee typen glas gegeven.
Wat betekent 'de *K*-waarde van glas is 6 W/m²K'? (Zie eventueel blz. 56 en 57).
- De gemiddelde temperatuur in januari is 1,7 °C. Schat het temperatuurverschil tussen binnen en buiten. Bereken hoeveel energie per etmaal door 1 m² raam (welk type kies je?) verloren gaat.
- Is er door het raam netto energiewinst of -verlies?
- Bepaal ook een netto energiewinst of -verlies voor de maand juni.

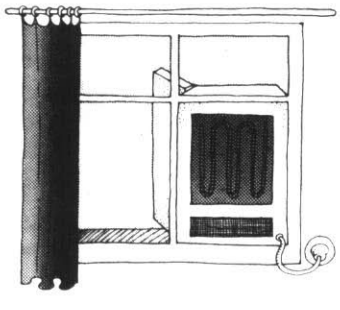
7. RAPPORTEREN
Bereid een rapportage voor, waarin minstens de volgende punten voorkomen:
– Wat verstaan we onder passieve en actieve zonne-energiesystemen?
– Noem een paar voorbeelden van passieve zonne-energiesystemen.
– Wat heeft passieve zonne-energie te maken met 'kwaliteit van energie'?

6.3 DE WARMTEPOMP

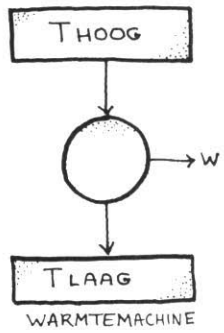


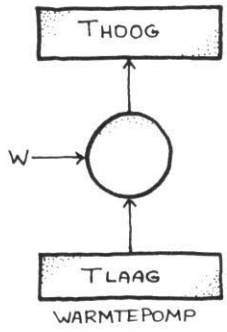
Warmtepomp.

Als je het vuur onder een pan heet water uit doet, koelt hij af. Na enige tijd heeft de pan weer dezelfde temperatuur als de omgeving. Warmte stroomt dus uit zichzelf van een plaats met een hoge naar een plaats met een lage temperatuur.
Het omgekeerde kan echter ook, maar dat gaat niet vanzelf. Een *warmtepomp* kan warmte van een plaats met een lage temperatuur naar een plaats met een hoge temperatuur brengen. Zo'n warmtepomp gebruikt daarvoor wel energie.
In vrijwel elk huis staat al één warmtepomp, namelijk: de machine van de koelkast of diepvrieskist. Binnenin de koelkast wordt warmte opgenomen, waardoor de temperatuur daar daalt. Die warmte wordt aan de achterkant van de koelkast weer aan de buitenlucht afgegeven. Dat gebeurt bij het rooster aan de achterkant. Dat rooster voelt dan ook warm aan, als de motor draait. We zouden ons huis kunnen verwarmen door een koelkast achterstevoren in een open raam te monteren en de deur eruit te halen (van



Een koelkast als warmtepomp.





de koelkast uiteraard). De koelruimte onttrekt warmte aan de buitenlucht, en het rooster geeft die warmte aan de kamer af. Dat gaat niet voor niets: de pomp gebruikt zelf ook energie. Het gaat er om dat zo'n warmtepomp méér warmte in huis kan pompen dan hij zelf aan energie gebruikt.
Een warmtepomp is eigenlijk het omgekeerde van een warmtemachine. Daar ging warmte van hoge naar lage temperatuur en werd de energie gedeeltelijk gebruikt om arbeid te verrichten. Een warmtepomp verricht arbeid en brengt warmte van lage naar hoge temperatuur.

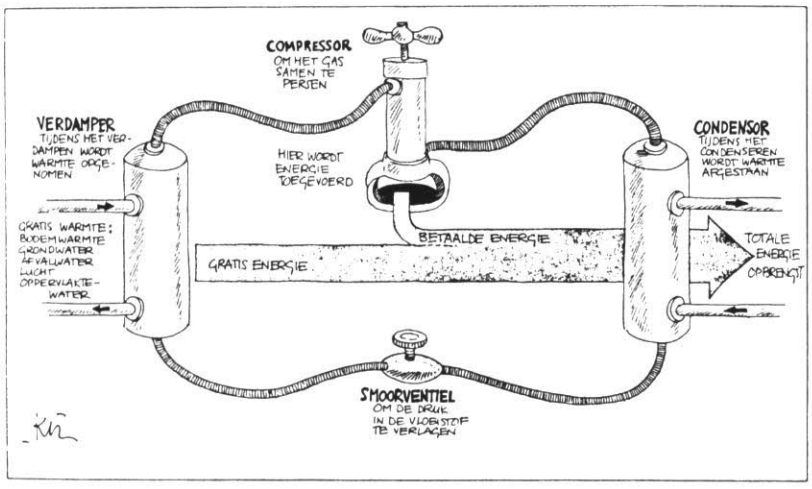
werking van een warmtepomp

1.
Doe een druppel ether of alcohol op de rug van je hand, en blaas erover. | De alcohol verdampt, en wat voel je?

2.
Houd een fietspomp dicht van onder, en pomp een aantal keer snel achter elkaar. | Wat voel je aan de onderkant van de pomp?

3.
Houd een cilinder met vloeibaar CO_2 (brandblusser) omgekeerd, en draai hem voorzichtig open. Wat gebeurt er? Wat voel je?

Je merkt dat een vloeistof bij verdampen warmte aan de omgeving onttrekt. Verdampen kun je bevorderen door de damp boven een vloeistof weg te blazen of weg te pompen. Omgekeerd, als een damp samengeperst wordt (en zeker als hij condenseert), staat hij warmte af aan de omgeving.



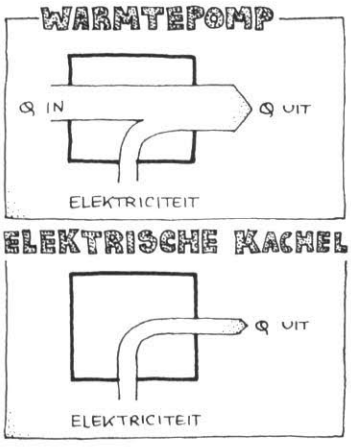
Schema van een warmtepomp.

Warmtepomp

Het toekomstige provinciehuis in Maastricht zal grotendeels worden verwarmd met Maaswater. Volgende maand wordt de eerste spade in de grond gestoken voor dit nieuwe „gouvernement" dat gedeeltelijk op een eiland en gedeeltelijk in de winterhaven van de Maas wordt gebouwd. Een centraal onderdeel van het verwarmingssysteem is de zogenaamde warmtepomp. Per uur worden 100 kubieke meter Maaswater met een gemiddelde wintertemperatuur van 6 graden afgekoeld met 3 graden. De vrijkomende warmte wordt benut via de warmtepomp.
Dat levert een besparing van 30-35 percent op. Bij een normaal centraal verwarmingssysteem moet gezien de grootte van een provinciehuis rekening worden gehouden met een verbruik van 380.000 kubieke meter gas op jaarbasis. Door de toepassing van de warmtepomp wordt hierop ongeveer 130.000 m3 bespaard. Tegenover deze bezuiniging staat wel een hogere investering. Het gekozen systeem kost exclusief een aantal bouwkundige voorzieningen 6,5 ton meer dan een normale centrale verwarming. De plannenmakers gaan er echter van uit dat deze extra investering in tien jaar wordt terugverdiend.
De pomp wordt aangedreven door een gasmotor waarvan de afvalwarmte ook wordt benut voor het centrale verwarmingssysteem. Daarna laat de pomp een koelmiddel circuleren dat door het relatief warme Maaswater verdampt. Na eerst te zijn gecomprimeerd koelt de damp weer af in een speciale condensator. De warmte die daarbij vrijkomt wordt aangewend om de centrale verwarmingsinstallatie te voeden. Ondanks het brandstofverbruik van de gasmotor is het energierendement van dit proces veel hoger. De warmtepomp levert 70 percent van de totale energie die nodig is voor de verwarming van het provinciehuis.

Eveneens zijn normale centrale verwarmingsketels ingebouwd die in noodgevallen kunnen bijspringen. De kosten van dit hele project bedragen zeven miljoen gulden.

Deze beide processen worden in een warmtepomp gekoppeld. In het hierboven afgedrukte krantenartikel wordt een voorbeeld gegeven van het gebruik van zo'n warmtepomp. De *compressor* perst een damp (meestal freon) samen tot een druk waarbij deze condenseert. Hierbij komt warmte vrij, waardoor de *condensor* in temperatuur stijgt. Als de temperatuur van de condensor hoog genoeg geworden is, wordt er warmte afgegeven aan de omgeving (in dit geval het provinciehuis).
Tegelijkertijd zuigt de compressor ook freondamp weg uit de *verdamper*. Daardoor verdampt er steeds freon, en de verdamper zal in temperatuur dalen. Er zal dan warmte stromen van het (Maas)water naar de verdamper.
In de condensor heerst dus een hoge druk en een hoge temperatuur, in de verdamper een lage druk en een lage temperatuur. Om het drukverschil in stand te houden en tóch

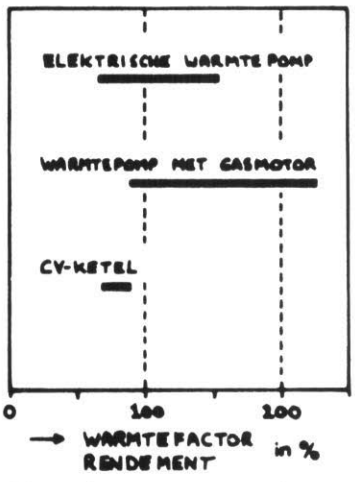


Energie-stroomdiagram van een elektrische warmtepomp, vergeleken met dat van een elektrische kachel.

vloeistoftransport van condensor naar verdamper mogelijk te maken, is een *smoorventiel* aangebracht.
Zo transporteert de warmtepomp energie van het koude Maaswater, (dat daardoor nog kouder wordt) naar het warmere Provinciehuis. We kunnen zo in onze behoefte aan ruimteverwarming voorzien met (laagwaardige) warmte van buiten. Daarmee besparen we hoogwaardig aardgas en dus ook kwaliteit van energie.
We krijgen echter niets voor niets. Om de warmtepomp te laten werken moeten we energie toevoeren aan de compressor. Is het dan wel een rendabel apparaat? Bij de beoordeling daarvan speelde bij de apparaten in hoofdstuk 3 het rendement een centrale rol. Ook bij een warmtepomp is het rendement niet onbelangrijk. Veel belangrijker echter is de *warmtefactor:*

$$\text{warmtefactor} = \frac{\text{afgegeven warmte}}{\text{benodigde energie voor de compressor}} \cdot 100\%$$

Een elektrische warmtepomp kan een warmtefactor hebben van 300%: met een klein beetje elektrische energie levert de pomp dan drie maal zoveel warmte af.



Warmtefactor van een warmtepomp met elektromotor en gasmotor, vergeleken met het rendement van een CV-ketel. De gegeven warmtefactoren hebben betrekking op de omzetting van chemische energie (aardgas) in warmte.

4.

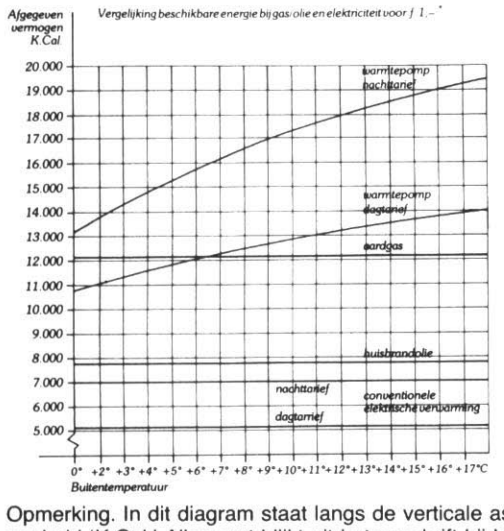
- Laat met het energiestroomdiagram het verschil tussen het rendement en de warmtefactor zien.
- Waarom kan de warmtefactor wél groter zijn dan 100%, en is dat bij het rendement níet mogelijk?
- Kun je bij een elektrische kachel ook spreken van een warmtefactor?

5.

Toch zit er nog een grote adder onder het gras.
Elektriciteit wordt in een centrale opgewekt met een rendement van 40%.

- Hoe groot is de warmtefactor van een elektrische warmtepomp met een warmtefactor van 300%, als je ook de omzetting van aardgas naar elektriciteit meerekent?
- Wat is voordeliger: aardgas direct voor verwarming gebruiken, of er een elektrische warmtepomp mee aandrijven?

Naast de elektrische warmtepomp bestaan er ook nog warmtepompen die met een aardgasmotor aangedreven worden. Die warmtepompen hebben een aanzienlijk hogere warmtefactor bij de omzetting van aardgas in warmte.



* *aardgas: 47 cent/m³ incl. o.b.*
olie : 80 cent/liter incl. o.b.
elek. : 17 cent/kW dagtarief
12¼ cent/kW nachttarief

Opmerking. In dit diagram staat langs de verticale as het 'afgegeven vermogen' in de eenheid 'K.Cal.' Allereerst blijkt uit het opschrift bij het diagram dat het niet gaat om een vermogen, maar om *energie*. Dat klopt ook beter met die eenheid 'K.Cal.': de kilocalorie. De kilocalorie is een inmiddels verouderde energie-eenheid: 1 kilocalorie ≙ $4{,}2.10^3$ J.

6. WARMTEFACTOR VAN EEN WARMTEPOMP

In een folder van een elektrische warmtepomp wordt het hiernaast afgedrukte diagram gegeven.

- Beredeneer waarom de lijn die het verband geeft tussen de beschikbare energie voor ƒ 1,— en de buitentemperatuur bij een warmtepomp niet horizontaal loopt.
- Stel het is buiten +10 °C. Hoeveel warmte geeft de warmtepomp dan binnen af voor ƒ 1,—? Bereken dit in J (zie de opmerking onder het diagram).
- In de folder wordt voor de elektriciteitsprijs 17 cent/kWh opgegeven. Hoeveel kWh gebruikt de pomp dus voor ƒ 1,—?
- Bereken de warmtefactor van deze warmtepomp.

• Elektriciteit wordt opgewekt met een rendement van ongeveer 40%. Hoe groot is de warmtefactor van de omzetting van aardgas in warmte met de warmtepomp?
• Is een elektrische warmtepomp wel zo voordelig?

Bedenk wat je verder zou willen uitzoeken over de warmtepomp. Hieronder volgen een paar ideeën.

7. EEN WARMTEPOMP IN DE PRAKTIJK

• Ga een warmtepomp in je buurt bekijken. Hoe ziet die eruit? Waarom heeft men hem daar geïnstalleerd? Hoeveel warmte levert de warmtepomp?
• Vraag meer informatie op over warmtepompen (bibliotheek, SVEN (Stichting Voorlichting Energiebesparing Nederland)).

8. DE KOELKAST-WARMTEPOMP

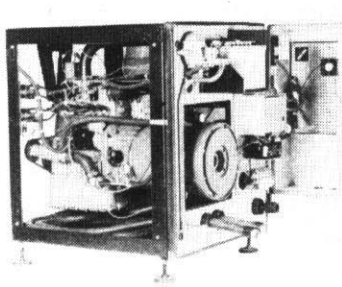
GIFTIG
Wees voorzichtig met het demonteren van het koelcircuit. Freon is een uiterst giftige stof. Zorg er dus voor dat het koelcircuit heel blijft (anders kun je trouwens het laatste deel van dit onderzoek ook niet uitvoeren).

• Demonteer uit een oude koelkast het koelcircuit, of gebruik een geopende koelkast. Waar zit de pomp? Hoe ziet het smoorventiel eruit? En de verdamper en condensor?
• Meet hoe warm de condensor en hoe koud de verdamper wordt als de pomp werkt.
• Hang de condensor (de warme kant) in een geïsoleerde bak water, of in een goed geïsoleerde ruimte. Sluit de warmtepomp aan op een kWh-meter. Bepaal de warmtefactor.

9. RAPPORTEREN

Bereid een rapportage voor, waarin minstens de volgende punten voorkomen:
– Wat kun je met een warmtepomp doen? Waar kun je hem voor gebruiken?
– Leg uit waarom een warmtepomp 'verstandig' omgaat met 'kwaliteit van energie'?
– Hoe ziet het energie-stroomdiagram van een warmtepomp eruit?

6.4 WARMTE-KRACHTKOPPELING



Total energy module (TOTEM).

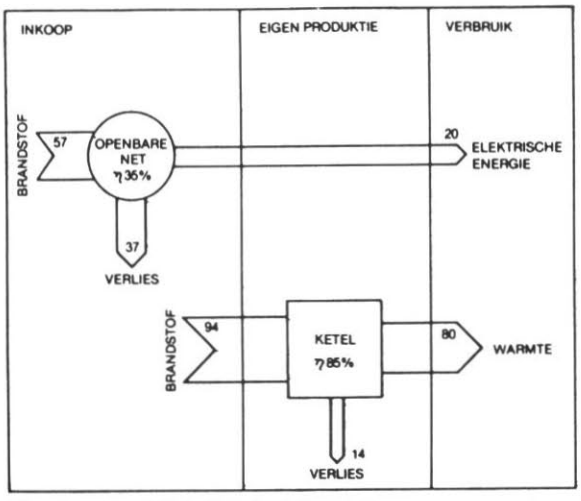
Om ons huis te verwarmen gebruiken we meestal gasverwarming of oliestook. We gebruiken hoogwaardige brandstoffen als olie en gas voor ruimteverwarming, wat een 'laagwaardige' taak is. Het rendement van een CV-ketel is 70 à 80%. Daarnaast gebruiken we thuis elektriciteit. Die elektriciteit betrekken we van een centrale, waar ze opgewekt wordt door gas te verbranden. Dit gaat met een rendement van 30 à 40%.

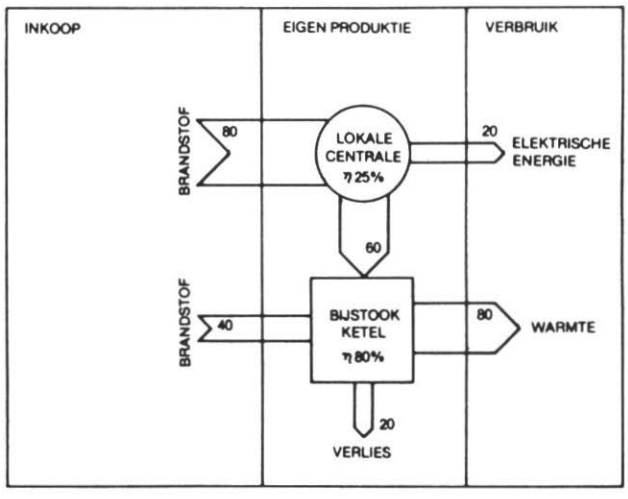
In een *total energy module* (TOTEM) worden deze processen gecombineerd. De verbranding van gas drijft een motor aan. De beweging wordt via een generator in elektriciteit omgezet, terwijl de warmte van de motor voor verwarming van lucht of water gebruikt wordt. Deze gecombineerde opwekking van elektriciteit en warmte kan een rendement van 80 à 90% hebben.
Ook in de industrie wordt veel olie en gas gebruikt voor proceswarmte (voor chemische processen) en verwarming. Ook hier zou het een 'verstandig' gebruik van energie zijn, om tegelijkertijd elektriciteit op te wekken.
Bij gelijktijdige opwekking van warmte en elektriciteit spreken we van *warmte-krachtkoppeling* (WK-koppeling).

1. RENDEMENT VAN WK-KOPPELING

Op blz. 64 zie je energie-stroomdiagrammen van een WK-installatie en een niet gekoppelde opwekking. Je kunt nu de rendementen berekenen. Er zijn ergens 20 eenheden elektriciteit en 80 eenheden warmte nodig.

Een WK-installatie wordt zó gekozen, dat hij de gewenste hoeveelheid elektriciteit levert. Dan wordt ook een bepaalde hoeveelheid warmte geproduceerd. Soms is er meer warmte nodig. Deze wordt dan door een gewone installatie geleverd.





Gangbare produktie (links): elektriciteit en warmte worden afzonderlijk opgewekt.
Warmte-krachtkoppeling (rechts): elektriciteit en warmte worden samen in één installatie opgewekt. Het rendement van de elektriciteitsopwekking is lager dan bij de gangbare produktie, maar de 'afvalwarmte' kan nu voor verwarming gebruikt worden.
(Bron: BMD-tussenrapport, 1983.)

- Hoe groot is in de gewone situatie het rendement
  - van de elektriciteitsopwekking;
  - van de warmte-opwekking;
  - van de elektriciteits- en warmte-opwekking samen?

- Hoe groot is bij de WK-installatie het rendement
  - van de elektriciteitsopwekking;
  - van de warmte-opwekking;
  - van de gecombineerde opwekking?

Produktinformatie TOTEM

Motor	:	**Fiat 127, 903 cm^3**, brandstof aardgas (of biogas)
Mechanisch vermogen	:	16,5 kW
Elektrisch vermogen	:	15 kW
Thermisch vermogen	:	39,3 kW= 33.800 kCal per uur
Verbruik	:	ca. 6,3 m^3_0 aardgas per uur
Afmetingen	:	113 x 90 x 91 cm
Gewicht	:	ca. 550 kg
De installatie is geleverd door	:	Lang Energy Systems b.v. Europaweg 212, 7336 AR APELDOORN

2. RENDEMENT VAN EEN TOTEM

Van een TOTEM-installatie, die op een Fiat-motor werkt, zijn hiernaast de specifikaties gegeven.

- Hoe groot is het elektrische en thermische vermogen, dat geleverd wordt? Hoeveel aardgas gebruikt dit apparaat?
- Bereken het rendement van deze TOTEM-installatie.
- Zoek op hoeveel warmte/elektriciteit een gemiddeld huisgezin gebruikt per jaar.

Reken uit of dit apparaat meer of minder levert. Is dit apparaat geschikt voor één huis?

3. WAT LEVERT WK-KOPPELING OP?

In 1975 hadden de in Nederland opgestelde WK-installaties een totaal-vermogen van 1304 MW. Schattingen geven aan dat in de industrie een WK-vermogen van 6000 MW mogelijk is.

- Zoek op wat het gemiddeld vermogen is, dat alle elektriciteitscentrales in Nederland samen leveren.

Je kunt ook opzoeken hoeveel elektriciteit jaarlijks in Nederland gebruikt wordt. Hoeveel is dit dan per seconde?

- Vergelijk dit met de schatting van het mogelijke WK-vermogen. Kan WK-koppeling een belangrijke bijdrage aan onze energievoorziening leveren?

4. WK-KOPPELING IN DE PRAKTIJK

Ga een WK-installatie bekijken. Hoe is zo'n apparaat geconstrueerd? Hoe werkt een WK-installatie in de praktijk? Wat zijn de ervaringen ermee?

5. RAPPORTEREN

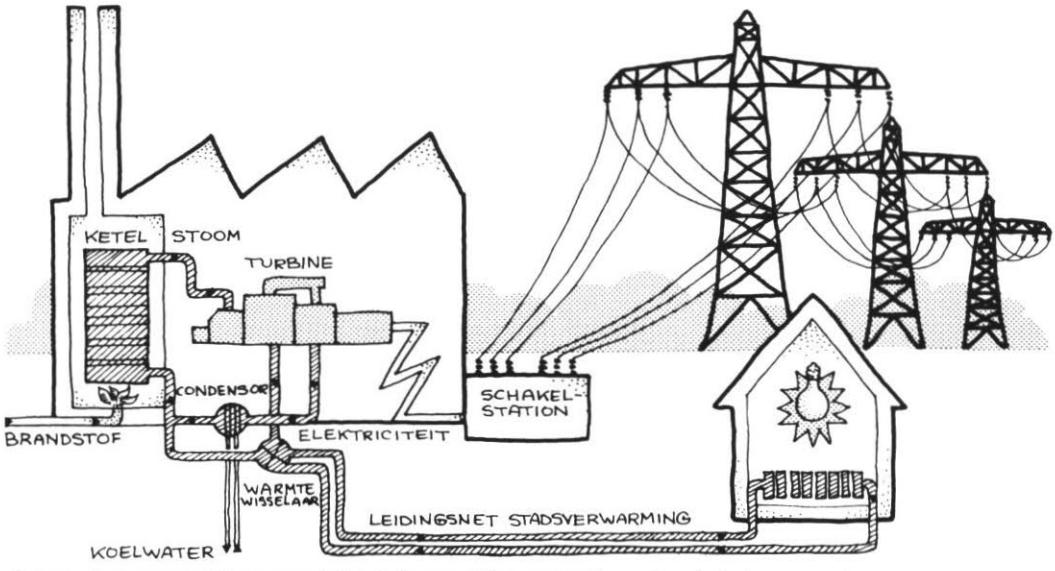
Bereid een rapportage voor, waarin minstens de volgende punten voorkomen:
- Wat is een warmte-kracht-installatie?
- Wat heeft een WK-installatie te maken met 'rendement' en/of 'kwaliteit van energie'?
- Wat is het voordeel van een WK-installatie in vergelijking met een elektriciteitscentrale en een gewone CV-ketel?

6.5 STADSVERWARMING

Vanuit het oogpunt van kwaliteit van energie is het niet verstandig voor ruimteverwarming een hoogwaardige energiesoort (aardgas of olie) te gebruiken. Daarom heeft het zin om naar andere manieren te zoeken, om in onze behoefte aan ruimteverwarming en warm water te voorzien. Zo kunnen we bijv. 'afvalwarmte' van een elektriciteitscentrale voor dit doel gebruiken. We spreken dan van *stadsverwarming*.

Aanleg van een leidingnet voor stadsverwarming.

In een elektriciteitscentrale wordt de afvalwarmte via het koelwater naar buiten afgevoerd. Het rendement van elektriciteitsopwekking is vaak laag: 30 à 40%.
In plaats daarvan kunnen we het (warme) koelwater ook via een goed geïsoleerd buizenstelsel naar woonhuizen transporteren, en zo de afvalwarmte benutten. Daarbij is er echter één probleem. Normaal heeft het koelwater een temperatuur van 30 °C. Omdat ook nog warmteverlies in het buizenstelsel optreedt, is dit koelwater niet meer geschikt voor verwarming. Om afvalwarmte te kunnen benutten, moet het een temperatuur van 75 tot 130 °C hebben. Daarom wordt de warmte eerder in het elektriciteitsproductieproces 'afgetapt'. Dit heeft tot gevolg dat het rendement van de elektriciteitsopwekking daalt. Maar daar staat tegenover, dat we de afvalwarmte nu kunnen benutten. Het totale rendement van de centrale kan stijgen tot ongeveer 80%.



Schematische voorstelling van elektriciteitsopwekking gecombineerd met stadsverwarming.

temperatuur afvalwarmte in °C	elektrisch rendement
32	40%
80	30%
100	27%
120	24%
150	20%

Verband tussen de temperatuur van de 'afvalwarmte' en het rendement van de elektriciteitsproduktie bij een centrale.

1. STADSVERWARMING EN HET RENDEMENT VAN ELEKTRICITEITSOPWEKKING

Bij een gewone centrale heeft het koelwater een temperatuur van 32 °C. Bij stadsverwarming is dat ongeveer 120 °C. Dit bereikt men door de stoom eerder uit de turbine af te tappen.

- Als het koelwater een temperatuur van 32 °C heeft, is het rendement van de centrale 40%. Bereken met de formule van het maximale rendement (zie hoofdstuk 4) hoe hoog de boven-temperatuur T_h in de centrale is.
- Als het koelwater bij een onder-temperatuur van 120 °C afgetapt wordt, bereken dan met dezelfde formule hoe groot het rendement dan is. Klopt dat met de tabel?

2. ENERGIEBESPARING BIJ STADSVERWARMING

Bij stadsverwarming gebruiken we de afvalwarmte van een centrale nuttig. Maar het rendement van elektriciteitsopwekking wordt minder. Winnen we in totaal iets?

Zonder stadsverwarming wordt elektriciteit door de centrale geleverd met een rendement van 40%. De temperatuur van het koelwater is 32 °C. Warmte wordt door een aardgasgestookte CV-ketel met een rendement van 70% geleverd.

Met stadsverwarming wordt het koelwater nu bij 120 °C afgetapt. Warmteverlies in de transportleidingen is 10%. Het energieverlies in de centrale is 10%, dus het rendement van de opwekking van elektriciteit en warmte samen is 90%.

- Zonder stadsverwarming:
  - Hoeveel eenheden aardgas zijn nodig voor 40 eenheden elektriciteit?
  - Hoeveel aardgas moeten we in huis verstoken om evenveel warmte af te leveren (denk aan het rendement van de CV-ketel)?
- Met stadsverwarming:
  - Hoeveel eenheden aardgas zijn nu nodig voor 40 eenheden elektriciteit?
  - Hoeveel eenheden warmte levert de centrale dan?
  - Hoeveel eenheden warmte wordt in de huizen afgeleverd?
- Hoeveel aardgas hebben we voor de warmte én elektriciteit dus nodig, zonder en mét stadsverwarming?
- Hoeveel % energie besparen we met stadsverwarming? Vergelijk je antwoord met de gegevens in de tabel hiernaast.

temperatuur van de geleverde warmte in °C	besparingspercentage ten opzichte van individuele CV met ketelrendement van:		
	70%	85%	95%
80	68	61	56
100	60	51	46
120	53	43	36
150	44	33	25

Energiebesparingspercentages bij stadsverwarming.

3. STADSVERWARMING IN DE PRAKTIJK

- Als er stadsverwarming bij je in de buurt is, verzamel dan informatie daarover.
- Zoek uit hoe de warmte-transportleidingen eruit zien, hoe ze geïsoleerd worden. En hoe de warmte rendabel getransporteerd kan worden.
- Informeer bij mensen die van stadsverwarming gebruik maken, naar hun ervaringen.

4. RAPPORTEREN

Bereid een rapportage voor, waarin minstens de volgende punten voorkomen:

- Waarom is stadsverwarming een vorm van 'verstandig omgaan met energie'?
- Wat heeft stadsverwarming te maken met 'rendement' en 'kwaliteit van energie'?
- Waarom wordt de elektriciteit bij stadsverwarming met een lager rendement opgewekt dan bij een gewone centrale?

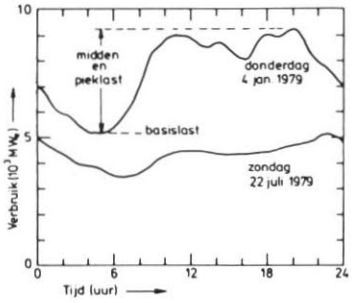
6.6 OPSLAGSYSTEMEN

Als we zon en wind willen gebruiken als energiebron is er vaak energie voorhanden op momenten dat we die juist niet nodig hebben en omgekeerd. Zouden we de energie

voor kortere of langere tijd kunnen opslaan, dan zouden we die energie later toch nuttig kunnen gebruiken.
We zullen een drietal opslagsystemen bekijken:
- een OPAC voor de opslag van elektriciteit;
- een opslagsysteem in de grond voor zonne-warmte;
- het vliegwiel voor de opslag van kinetische energie.

ondergrondse pomp accumulatie centrale
Onze behoefte aan elektriciteit varieert sterk. Het gebruik overdag is groter dan 's nachts, en in de winter groter dan in de zomer. Toch willen we dat elektriciteit steeds voorhanden is als we die nodig hebben. Daarom hebben de elektriciteitscentrales in Nederland samen een vermogen van 15000 MW.

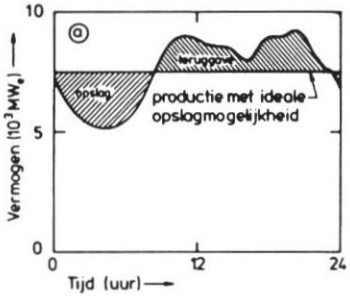
1.
Vergelijk dit gezamenlijk vermogen van de elektriciteitscentrales in Nederland met de grootte van het elektriciteitsgebruik uit het diagram hiernaast. Hoeveel vermogen wordt op een winterdag maximaal afgegeven? Hoeveel % van het maximale vermogen wordt op een zomerdag gebruikt?



Het elektriciteitsgebruik in Nederland op een typische zomerdag en een winterdag. Met name in de winter is er een groot verschil tussen *basislast* en *pieklast*.

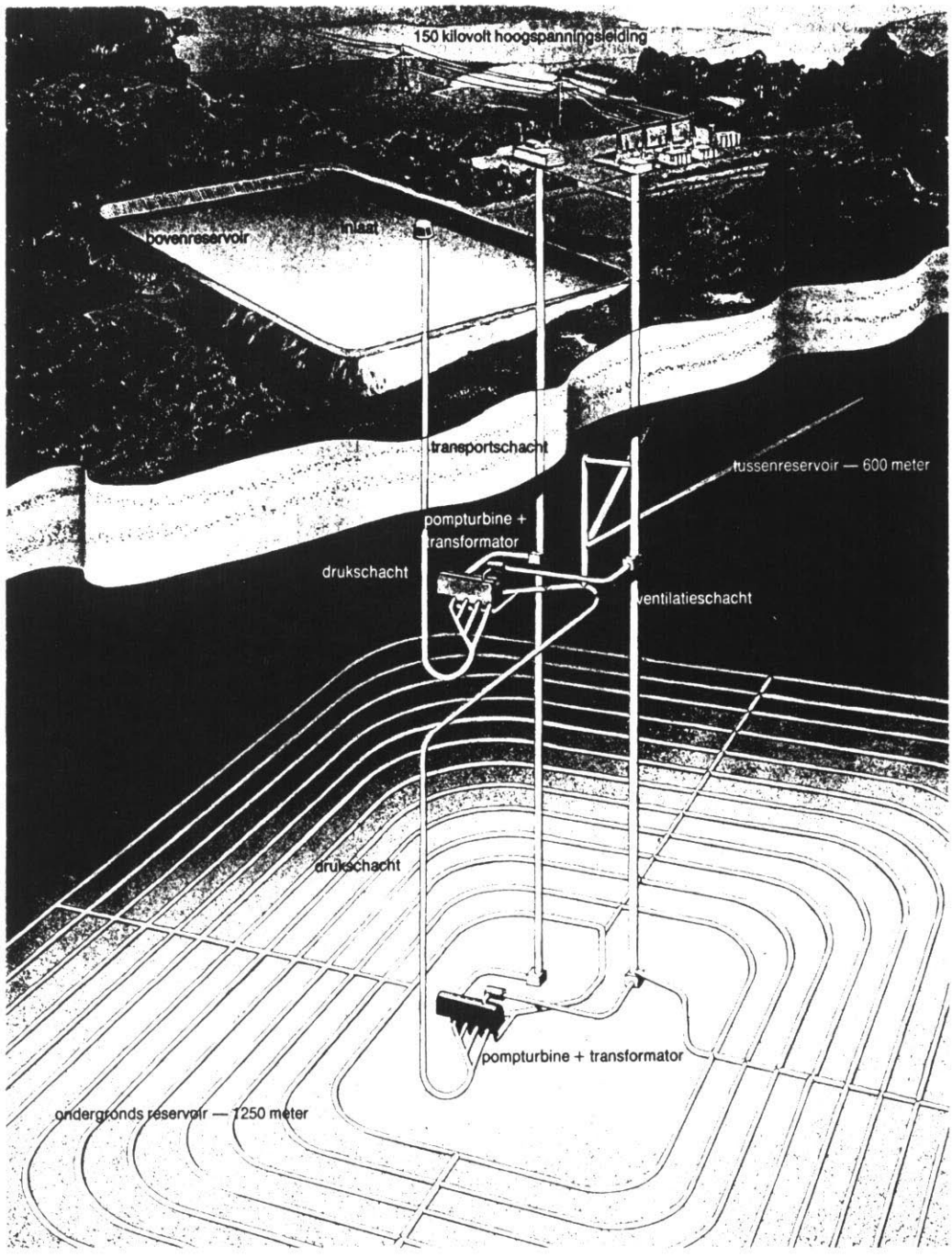
Meestal is er dus een grote overkapaciteit bij de centrales: een groot deel van de tijd zullen niet alle installaties hoeven te werken. Maar dat betekent verlies aan geld en energie, want een aantal installaties kan niet helemaal uitgezet worden. Ze moeten namelijk snel ingezet kunnen worden als de vraag naar elektriciteit weer toeneemt: ze blijven dan op deellast doordraaien.
Opslag van elektriciteit is daarom in twee opzichten interessant:
- er zijn minder centrales nodig: bij een geringe vraag wordt de elektrische energie opgeslagen en in piek-uren wordt in de vraag voorzien door de centrales en het opslagsysteem;
- de centrales kunnen continu blijven draaien: als de vraag terugloopt, wordt de overtollige energie opgeslagen.

Dit wordt wel het 'piek-scheren' genoemd.

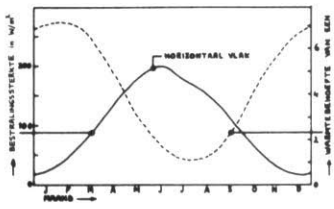


Bij ideale opslagmogelijkheden kan de elektriciteitsproduktie volledig worden gladgestreken.

Een mogelijk opslagsysteem is een *ondergrondse pomp accumulatie centrale* (OPAC). Hierbij wordt gebruik gemaakt van de zwaarte-energie van water (ook wel 'witte steenkool' genoemd). Een OPAC bestaat uit een bovengronds spaarbekken en een waterreservoir in de vorm van een tunnelstelsel onder de grond (op zo'n 1200 m diepte). Men laat het water in twee trappen van 600 m door een buizenstelsel vallen. Het vallende water drijft een turbine aan. Een aan de turbine gekoppelde generator wekt elektriciteit op.
Omgekeerd wordt met elektrische energie het water weer omhooggepompt naar het spaarbekken. Een OPAC levert dus netto geen energie. Wel maakt het systeem het mogelijk in daluren overtollige elektrische energie om te zetten in zwaarte-energie, om vervolgens in piekuren extra elektriciteit te kunnen leveren.
Een OPAC met een opslag van 1,4 miljoen liter water zou een elektrisch vermogen van 800 MW kunnen opwekken. Een gewone centrale levert een vermogen van 500 tot 1000 MW.
Andere mogelijkheden voor de opslag van elektriciteit zijn:
- een *waterspaarbekken*: hetzelfde principe als een OPAC, maar bovengronds (het 'plan Lievense' is hier een voorbeeld van);
- *persluchtopslag*: in daluren wordt lucht in ondergrondse (zout-)holtes samengeperst tot een druk van zo'n 100 atm.; in piekuren kan de perslucht een turbine-generator-combinatie aandrijven;
- *accu's* of *batterijen*;
- een *vliegwiel*.



Ondergrondse pomp accumulatie centrale (OPAC).



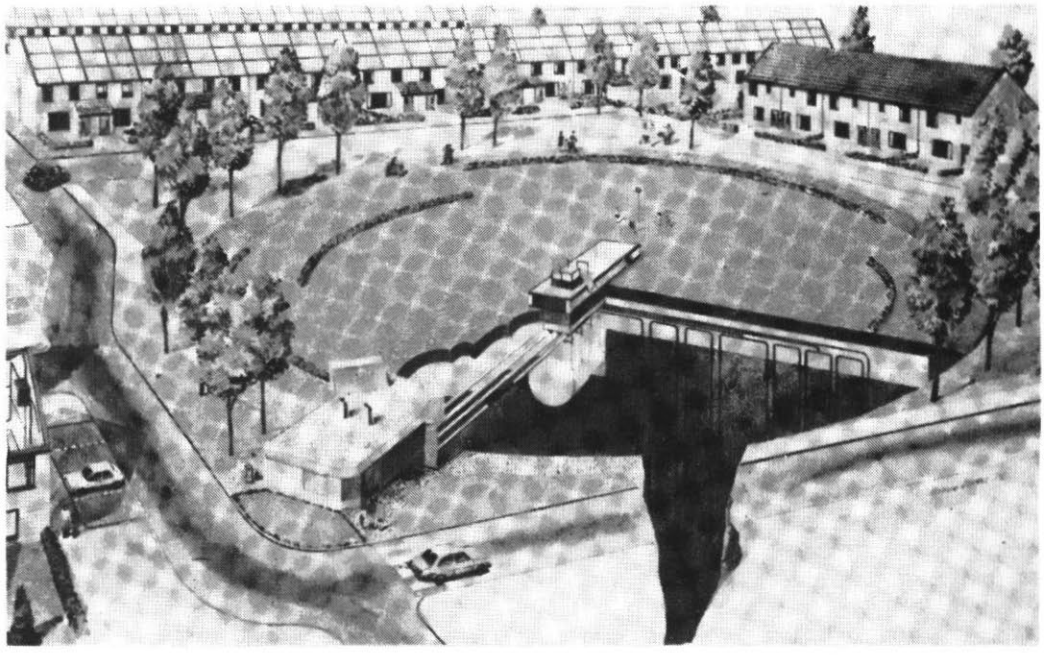
Bestralingssterkte als gevolg van de zonnestraling in Nederland, gemiddeld over een etmaal (24 h). (Zie ook het diagram op blz. 60.) De gestreept getekende lijn in het diagram geeft de warmtebehoefte in een huis, eveneens gemiddeld over een etmaal. Warmtevraag en -aanbod stemmen slecht overeen.

ondergrondse zonnewarmte-opslag

In de zomer is het aanbod van zonne-energie groot, maar onze warmtebehoefte is dan juist gering. Een effectief gebruik van zonne-energie is mogelijk als we deze zonne-energie voor een aantal maanden kunnen opslaan. Een mogelijkheid is *ondergrondse zonnewarmte-opslag*.

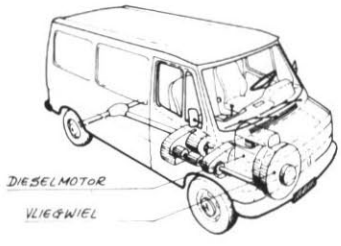
In de Groningse wijk Beijum worden 96 zonnehuizen gebouwd, ieder voorzien van 25 m^2 zonnecollector-oppervlak.

De zonnewarmte wordt verzameld in een centraal opslagsysteem: een aardkluit met een diameter van 20 m en 20 m diep. Het warme water uit de collectoren wordt door 20 km plastic slang, die in 360 verticale lussen in de aardlaag aangelegd is, door de aarde gevoerd. Daar staat het water de warmte af. De aarde wordt zo tot een temperatuur van 70 °C opgewarmd. 's Winters wordt koud water door de slang gepompt: de



Ondergrondse zonnewarmte-opslag.

warmte van de aarde wordt weer opgenomen en naar de huizen getransporteerd. De warmte kan een seizoen lang in de aarde bewaard blijven, omdat de aardlaag aan de zijkant en onderkant omringd is door een laag klei. Klei isoleert goed (46 cm klei komt overeen met 1 cm piepschuim). Ook aan de bovenkant is een isolatielaag aangebracht.
Uit proeven is al gebleken dat 70 tot 80% van de opgeslagen warmte weer uit het opslagsysteem gehaald kan worden. Op deze manier kan 60% van de warmtebehoefte met zonne-energie gedekt worden, terwijl dit zonder seizoen-opslag zo'n 30% zou zijn.



Bus met dieselmotor–vliegwiel-combinatie.

het vliegwiel
Een autobus moet regelmatig afremmen en weer optrekken. Bij het afremmen wordt kinetische energie omgezet in warmte bij de remschijven. Hier gaat dus kwaliteit van energie verloren.
Als een bus wordt uitgerust met een *vliegwiel*, kan dit vliegwiel bij afremmen van de bus kinetische energie overnemen. De kinetische energie van het vliegwiel wordt weer omgezet in kinetische energie van de bus bij het optrekken.
Het vliegwiel slaat dus voor een korte periode energie op.
Vliegwielen kunnen een breder toepassingsgebied hebben. Ook voor bijv. de opslag van elektrische energie zijn ze bruikbaar.

Een voordeel van het vliegwiel is, dat de energie er *snel* in opgeslagen en aan onttrokken kan worden. Een nadeel is, dat de opslag alleen voor korte termijn is. Door wrijving neemt de draaisnelheid geleidelijk af. Wel wordt onderzoek gedaan naar manieren om het vliegwiel zo lang mogelijk zijn snelheid te laten behouden. Hierbij denkt men aan magnetische lagering: het vliegwiel wordt door magneten in positie gehouden, in plaats van door kogellagers. Ook probeert men het vliegwiel in een vacuüm te laten draaien.

2.
Je hebt hierboven drie voorbeelden van energie-opslagsystemen gezien. Er zijn nog meer systemen. Die zie je in de tabel op blz. 70.
Van belang bij opslag is hoe lang de energie opgeslagen kan worden en hoe compact het systeem is. Een maat daarvoor is de *energiedichtheid*: de hoeveelheid energie die in een volume van 1 m^3 kan worden opgeslagen.
Ga na welk opslagsysteem de kleinste en welk de grootste energiedichtheid heeft.

Vorm opslag	*Methode*	*Duur opslag**	Mobiel**	Energie/m^3
thermisch	temp. verhoging	2-4	−/+	4 $MJ.m^{-3}.K^{-1}(H_2O)$
	latente warmte	2-4	+	
elektrisch	batterij	2-4	+	900 $MJ.m^{-3}$
	accu	2-4	+	250 $MJ.m^{-3}$
	condensator	1-2	−	2 $MJ.m^{-3}(\frac{1}{2}CV^2)$
	spoel	1-2	−	40 $MJ.m^{-3}(B^2/2\mu_0)$
kinetisch	vliegwiel	1-3	+	400 $MJ.m^{-3}$
potentieel	gas onder druk	1-4	0	5 $MJ.m^{-3}$
	hoogteverschil water	3-4	−	< 10 $MJ.m^{-3}$(1000 m)
chemisch	olie, gas, steenkool	2-4	0/−	
	'benzines'	2-3	+ +	10^4 $MJ.m^{-3}$
	vloeibare H_2	1-3	0	10^4 $MJ.m^{-3}$
	geabsorbeerde H_2	2-4	+	10^4 $MJ.m^{-3}$
elektromagnetisch	supergeleidende spoelen	1-2	−	

* 1: kort 2: ~ dag 3: ~ week 4: ~ jaar

** + + goed + mogelijk 0 twijfelachtig − technisch onmogelijk

Energiedichtheid van verschillende opslagsystemen.

Bedenk wat je verder wilt uitzoeken over opslagsystemen. Hieronder volgen een paar ideeën.

3. ANDERE OPSLAGSYSTEMEN

Verzamel ook informatie over andere opslagsystemen. Welke systemen worden er in Nederland gebruikt? Welke niet of nog niet? Welk systeem is het meest geschikt voor opslag van elektriciteit op grote schaal? Wat zijn de voor- en nadelen van elk systeem? Waar in huis kun je opslagsystemen aantreffen? Hoe kun je het rendement van een opslagsysteem berekenen?

4. HET VLIEGWIEL

Hoe kan de meeste energie in een vliegwiel opgeslagen worden? Welke vorm is het beste? Welk materiaal is het beste? Hoe zorg je ervoor dat het vliegwiel zo weinig mogelijk wrijving ondervindt? Waar kunnen vliegwielen gebruikt worden?

5. RAPPORTEREN

Bereid een rapportage voor, waarin minstens de volgende punten voorkomen:
- Noem een paar soorten energie-opslagsystemen en geef van elk de voor- en nadelen.
- Wat is het nut van een opslagsysteem bij de produktie van elektriciteit?
- Wat is het rendement van een opslagsysteem?
- Wat heeft een opslagsysteem te maken met 'verstandig omgaan met energie'?

6.7 ENERGIE SYSTEMEN

	energiesysteem	letter
1.	isolatie	
2.	warmtepomp	
3.	WK-installatie	
4.	stadsverwarming	
5.	PZE	
6.	vliegwiel	

1.

Hiernaast staan de in dit hoofdstuk besproken energiesystemen. Neem deze tabel over in je schrift.
Hieronder staan een aantal beschrijvingen van energiesystemen. Elke beschrijving is aangegeven met een letter. Vul de letters A t/m F in op de juiste plaatsen in de tabel in je schrift (dus: zoek bij ieder energiesysteem de juiste beschrijving).

A Energie van hoge kwaliteit gebruiken we voor een hoogwaardige toepassing. De afvalwarmte gebruiken we voor een laagwaardige toepassing. Zo wordt het rendement van het systeem hoger.

B Voor een laagwaardige toepassing gebruiken we ook een laagwaardige energiesoort. We hoeven maar een klein beetje (hoogwaardige) energie toe te voeren, en er wordt veel warmte afgeleverd.

C Voor een laagwaardige toepassing gebruiken we energie van lage kwaliteit. Voor het benutten hiervan hoeven we geen arbeid te verrichten.

D Verlies aan kwaliteit van energie wordt tegengegaan. Tegelijk kunnen we

voor een bepaalde taak met minder hoogwaardige energie volstaan.
E Bij deze omzetting blijft de kwaliteit van energie behouden.
F Energie van hoge kwaliteit gebruiken we gelijktijdig voor een hoogwaardige en een laagwaardige toepassing.

In dit hoofdstuk heb je een aantal energiesystemen bekeken, waarmee je efficiënter kan omgaan met (de kwaliteit van) energie. In hoofdstuk 4 werden – meer theoretisch – een aantal aspecten onderscheiden, die van belang zijn bij het zuinig omgaan met (de kwaliteit van) energie.
Je kunt nu nagaan in hoeverre die aspecten betrekking hebben op de verschillende energiesystemen. Daarvoor zetten we eerst die aspecten op een rijtje.

De vraagstelling in dit thema is: *hoe kunnen we verstandig omgaan met energie*? Die vraag kunnen we nu scherper stellen. In hoofdstuk 2 is duidelijk gemaakt dat energie nooit verloren gaat (de eerste hoofdwet van de warmteleer). Het gaat dan ook meer om de 'kwaliteit van energie' (de tweede hoofdwet van de warmteleer). Bij energie-omzettingen gaat kwaliteit van energie verloren. En energie van hoge kwaliteit hebben we nodig om arbeid te verrichten. Maar die energie van hoge kwaliteit halen we voor het grootste deel uit fossiele brandstoffen (olie, kolen, gas). Het probleem is dat deze brandstoffen niet in onbeperkte voorraden aanwezig zijn. De vraagstelling is dan in feite: *hoe kunnen we zo verstandig mogelijk gebruik maken van fossiele brandstoffen*?

Aan deze vraag zijn in hoofdstuk 4 vier aspecten onderscheiden:
1. *Hoe kun je een bepaalde taak zó inrichten, dat ze zo weinig mogelijk energie kost?*
2. *Hoe krijg je de energie die je nodig hebt uit zo weinig mogelijk brandstof*? Met andere woorden: hoe kun je het rendement van een energie-omzetting zo hoog mogelijk maken?
3. *Welke energiesoort kun je het beste gebruiken voor welke taak?* Hier gaat het om de kwaliteit van energie.
4. *Hoe kun je je totale energiesysteem zo verstandig mogelijk organiseren?* Combineer je verschillende taken? Wat doe je met afvalwarmte? Kun je energie benutten via opslag?

2.
Neem de onderstaande tabel over in je schrift.

aspect / energiesysteem	1. energie-behoefte beperken	2. rendement verhogen	3. letten op kwaliteit	4. afval-warmte benutten	4. energie benutten d.m.v. opslag
isolatie					
passieve zonne-energie					
warmtepomp					
warmte-kracht koppeling					
stadsverwarming					
vliegwiel					

Geef in die tabel voor elk energiesysteem aan, welk(e) aspect(en) er op van toepassing zijn.
Het kan zijn dat jij jouw tabel anders invult dan je medeleerlingen. En dat toch ieder 'gelijk heeft'. Bediscussieer de ingevulde tabellen daarom met elkaar, en probeer elkaars manier van aankijken tegen de verschillende energiesystemen te begrijpen.

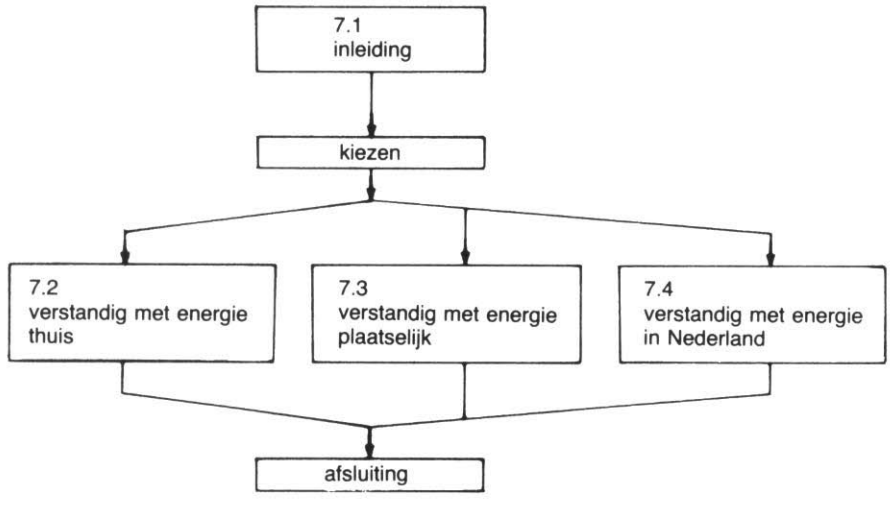
hoofdstuk 7

VERSTANDIG MET ENERGIE NAAR KEUZE

inhoud

		blz
7.1	inleiding	72
7.2	verstandig met energie thuis	73
7.3	verstandig met energie plaatselijk	74
7.4	verstandig met energie in Nederland	76

De opzet van hoofdstuk 7:
'verstandig met energie naar keuze'.



7.1 INLEIDING

'Energie' speelt op verschillende niveaus. In hoofdstuk 1 werd al onderscheiden: thuis, plaatselijk, landelijk en internationaal.
Thuis kun je tochtstrips bevestigen, of kun je besluiten dubbele ramen aan te brengen. Plaatselijk kun je met 'energie' te maken krijgen als de gemeente stadsverwarming wil aanleggen of andere energieplannen voorstelt. Landelijk lees je erover in de krant en worden energie-acties gevoerd.
Beslissingen op die verschillende niveaus kunnen elkaar aanvullen, maar soms bestaat er ook een spanning tussen. Een overheidsbeleid dat subsidie voor woningisolatie verleent, sluit goed aan bij verstandig omgaan met energie thuis. Maar een landelijk besluit om meer kolen- of kerncentrales te bouwen, wordt niet altijd met gejuich ontvangen in de gemeente waar de nieuwe centrale komt. Zo is stadsverwarming plaatselijk gezien een nuttig projekt. Maar is het dat óók voor de individuele gebruiker, of is een eigen CV-installatie toch prettiger?

In het voorgaande heb je veel aspecten van energie en energiesystemen bekeken. Je bent vast onderwerpen tegengekomen die je verder wilt uitzoeken. Ter afsluiting kun je nu zelf een onderzoek bedenken en uitvoeren.

Kies de onderzoeken zó, dat ieder niveau door één of meer groepen onderzocht wordt. Dan kun je na afloop met elkaar nagaan of plannen op het ene niveau ook vanuit de andere niveaus gezien wenselijk lijken.
Let wel: *wenselijk*. In veel situaties zal niet alleen energiezuinigheid de doorslag geven, maar zullen de andere aspecten ook een rol spelen: kosten, milieu, gewenst comfort, politiek. Deze aspecten zul je ook in een uiteindelijke afweging moeten betrekken. Van belang is dan ook wie in werkelijkheid zo'n afweging maakt. Hoe vindt de besluitvorming rond een energieplan plaats? Ook dit aspect kun je onderzoeken.

In de volgende drie paragrafen volgen voor ieder niveau (thuis, plaatselijk, landelijk) twee onderzoeksuggesties. Het betreft energieplannen, die je kunt onderzoeken op wenselijkheid, besluitvorming of wenselijkheid vanuit de andere niveaus gezien.
Maar bedenk eerst maar eens of je zélf al een onderzoek weet.

7.2 VERSTANDIG MET ENERGIE THUIS

EERSTE WONINGEN BINNENKORT KLAAR

Energie-zuinig huis spaart 80 percent op verwarming

Van onze verslaggever

SCHIEDAM- „Een architect, aannemer of opdrachtgever die met een ontwerp voor een woning komt, waarin het gasverbruik voor verwarming meer dan duizend kubieke meter bedraagt, komt er bij onze gemeente niet meer in. Ze zijn een dief in eigen portemonnee en in die van de toekomstige bewoner of huurder". Dit zei ir Chr. Zijdeveld, wethouder voor Ruimtelijke Ordening donderdag in Schiedam tijdens een studiedag over energiezuinig bouwen.

1. ONTWERP EEN ENERGIEZUINIG HUIS

Van de energie in Nederland wordt 23% in het huishouden gebruikt. Daarvan gebruiken we 80% voor verwarming, warm water en koken. Het is dus de moeite waard te onderzoeken hoe we juist op verwarming kunnen besparen. Een gemiddeld huis verbruikt jaarlijks ongeveer 3100 m^3 aardgas voor verwarming. Door bij ontwerp en bouw rekening te houden met het energiegebruik kan men dit tot ongeveer 1000 m^3 terugbrengen: het zogenaamde '1000 m^3 huis'. In deze opdracht onderzoek je hoe zo'n energiezuinig huis eruit ziet, en welke besparingsmaatregelen men kan treffen.

- *mogelijke onderzoeksvragen*

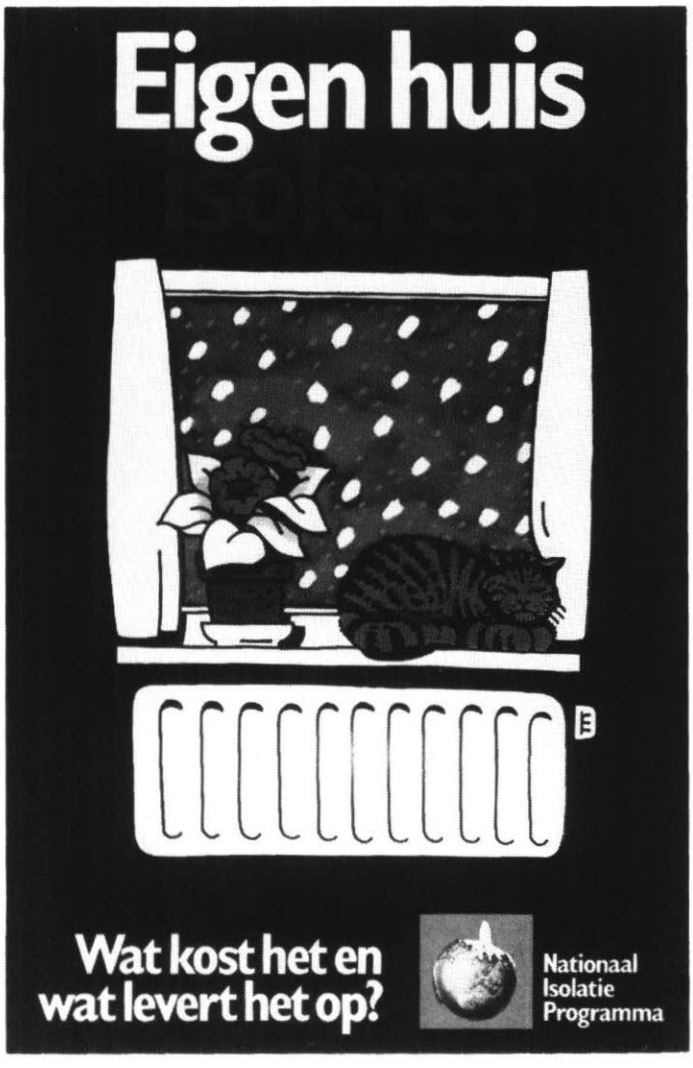
– Hoe ziet een energiezuinig huis eruit? Hoe kan men door ontwerp en bouw het energiegebruik terugbrengen?
– Wie bepaalt eigenlijk hoe (energiezuinig) huizen gebouwd worden? De bewoners, architekt, gemeente, overheid?
– Is het prettig wonen in zo'n huis? Wat zijn de voor- en nadelen? Hoeveel zou bespaard kunnen worden als alle huizen in je woonplaats of in Nederland zo gebouwd werden? Waarom worden niet alle huizen zo gebouwd?

- *suggesties voor de uitvoering*

– Je kunt zelf eens nagaan hoe je zo'n huis zou ontwerpen. Daarbij kun je letten op bijv. de ligging en indeling van het huis, het gebruik van zonnestraling, de mate van isolatie, het verwarmingssysteem.
– Je kunt informatie opvragen of gaan praten bij een architektenbureau of energie-adviesbureau.
– Je kunt een 'energie-arm' huis in je buurt bezoeken.
– Je kunt een beschrijving van een zonnewoning bestuderen (vraag deze aan je leerkracht).
– Over de besluitvorming en isolatierichtlijnen kun je met iemand van de gemeente gaan praten.

2. WELKE BESPARINGSMAATREGEL TREF JE THUIS

Van het energiegebruik thuis is zo'n 80% bestemd voor verwarming, warm water en koken. Als je thuis energie wilt besparen, is het dus zinnig juist dit gasverbruik terug te dringen.
Dit kan op verschillende manieren: je kunt het huis isoleren, een (hoog rendement) HR-CV-ketel aanschaffen, een zonneboiler installeren voor je warme water, enz. Maar geld kun je maar één keer uitgeven, en meestal kun je niet alles tegelijk doen. Aan welke maatregel zou je je geld het liefst besteden? Daar gaat deze opdracht over.



• *mogelijke onderzoeksvragen*

– Hoe kun je thuis besparen op kwantiteit en kwaliteit van energie? Welke maatregel is het voordeligst als je maar een beperkte hoeveelheid geld hebt?

– Wie bepaalt of bij jou thuis besparingsmaatregelen getroffen worden? Welke overwegingen spelen mee bij zo'n beslissing?

– Op welke manier worden besparingsmaatregelen thuis gestimuleerd door overheid of gemeente?

• *suggesties voor de uitvoering*

– Je kunt zelf een lijst met mogelijke maatregelen maken en nagaan welke maatregel het voordeligst is.

– Je kunt erover praten met een energie-adviesbureau of met het gemeentelijk energiebedrijf.

– Je kunt berekenen hoeveel iedere maatregel bespaart en kost, en zo nagaan welke het voordeligst is. Je leerkracht heeft hiervoor zonodig een gedetailleerde opdracht.

– Over hoe tot maatregelen besloten wordt, kun je praten met een woningbouwvereniging. Of bewoners enquêteren.

– Over energiebesparing-subsidies kun je met de gemeente of het energiebedrijf gaan praten.

7.3 VERSTANDIG MET ENERGIE PLAATSELIJK

Fries dorp pakt energieproblematiek aan

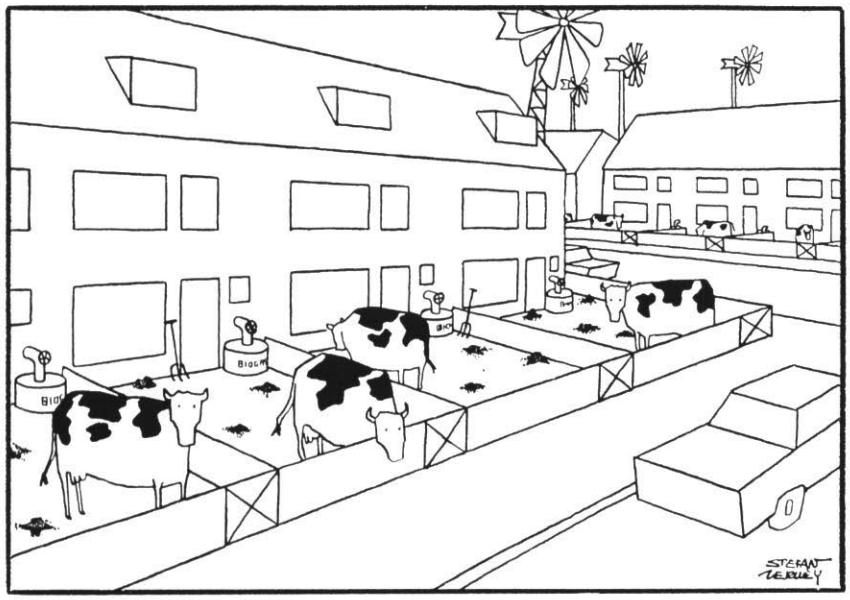
De victorie begint in Deersum

(Van een onzer correspondenten)

Door het gebruiken van koeiemest, menselijke uitwerpselen en de wind kan het Friese dorp Deersum (140 inwoners) zich volgend jaar volledig voorzien van elektriciteit. Zes tot acht windmolens en een biogasinstallatie voor het vergisten van de mest zijn volgens de initiatiefnemers voldoende voor de eigen dorpscentrale. Hierop worden 32 huizen, een kerk, een wegrestaurant en een boerderij aangesloten. De wind en het gas uit de mest drijven generatoren aan die de elektriciteit opwekken. Het gaat hier om een wereldwijd proefproject, dat later zijn navolging zal vinden in afgelegen gebieden in onder meer de ontwikkelingslanden. „De victorie begint in Deersum", zegt burgemeester mr. J. van der Meer van de Friese gemeente Rauwerderhem met trots.

1. EEN ENERGIEPLAN VOOR DEERSUM

Voor verwarming en warm water is Deersum nu nog gewoon op het landelijk gasnet aangesloten en voor elektriciteit op het landelijk elektriciteitsnet. Niets bijzonders dus. Maar Deersum wil iets nieuws op energiegebied: zelf de nodige elektriciteit opwekken met windmolens en biogasinstallaties. Is dit een goed plan voor Deersum? Of zijn er misschien betere plannen denkbaar? Daar gaat deze opdracht over.



• *mogelijke onderzoeksvragen*

– Bespaart Deersum met dit plan op de hoeveelheid gebruikte energie? En op de kwaliteit? Zou hetzelfde ook met andere plannen te bereiken zijn?

– Wie heeft dit plan bedacht? Waarom wil men dit plan uitvoeren? Wie beslist eigenlijk of dit plan uitgevoerd wordt?

– Welke voor- en nadelen heeft dit plan voor een inwoner van Deersum? Zou het goed zijn als meer plaatsen in Nederland zo'n plan uitvoeren?

• *suggesties voor de uitvoering*

– Je kunt proberen meer informatie te vinden over dit plan. Of over energieplannen in andere plaatsen.

– Je kunt dit plan bespreken met een energiedeskundige.

– Je kunt het energieplan narekenen, en besparing en kosten van dit plan vergelijken met andere plannen. Je leerkracht heeft hier gedetailleerde informatie over.

– Je kunt over de besluitvormingsaspecten gaan praten met bijv. een gemeenteraadslid of de leraar maatschappijleer.

Schipluiden gaat in 1984 over op eigen energievoorziening

Van onze verslaggever

SCHIPLUIDEN — De Zuidhollandse gemeente Schipluiden gaat zelf de energie opwekken voor haar 7.700 inwoners. In 1984 wil de gemeente zich loskoppelen van het landelijk elektriciteitsnet en overgaan op eigen energie, die twintig percent goedkoper zal zijn dan volgens het landelijk tarief.

Schipluiden gaat werken met enige tientallen kleine energie-eenheden, die zullen worden opgesteld bij tuinbouwbedrijven, waarvan er in de gemeente rond driehonderd zijn. Een deel van de winst haalt Schipluiden uit de omstandigheid dat de afvalwarmte van de kleine centrales onmiddellijk wordt gebruikt voor het verwarmen van de kassen. „Er gaat bij ons onderweg veel minder energie verloren dan normaal," zegt burgemeester A. Bruggeman. „Bovendien leveren we niet alleen stroom maar ook warmte, wat onze tuinbouwers een dubbel voordeel oplevert."

(Bron: de Volkskrant, 14-11-83.)

2. DE ENERGIEVOORZIENING VAN JE WOONPLAATS

Een stad of dorp gebruikt energie voor allerlei activiteiten: verwarming, verlichting, arbeid, verkeer. De meeste energie betrekken we van het landelijke gas- en elektriciteitsnet.

Maar het kan ook anders. Verwarming kan ook met zonne-energie of stadsverwarming. Elektriciteit kan een stad op-

Kleinere eenheden kunnen helft energie opwekken

Van onze verslaggever

DEN HAAG — Decentraal opgesteld elektrisch vermogen, waaronder warmtekrachteenheden bij de industrie, windmolens, kleine stadsverwarmingseenheden en biogasinstallaties, heeft een grote toekomst voor zich. Een mogelijk bijdrage aan de elektriciteitsvoorziening in het jaar 2000 kan zesduizend tot achtduizend megawatt bedragen, de helft van het huidige vermogen van de elektriciteitscentrales.

Tot deze conclusie komt een werkgroep met daarin vertegenwoordigers uit het bedrijfsleven, het elektriciteitswezen en de milieubeweging. De werkgroep heeft in opdracht van de stuurgroep maatschappelijke discussie energiebeleid een studie gemaakt naar de mogelijkheden in Nederland van decentraal opgesteld elektriciteitsvermogen. Het gaat daarbij vaak om kleinschalig elektrisch vermogen, dat bij industrieën kan worden neergezet.

Of het grote potentieel aan decentraal elektrisch vermogen ook werkelijk zal worden gebouwd hangt volgens de werkgroep mede af van het toekomstige overheidsbeleid. Een consistent aardgasprijsbeleid is daarbij van groot belang. De mogelijke omvang van het decentraal opgesteld elektrisch vermogen is echter dermate groot dat deze manier van elektriciteit produceren een belangrijke rol in het overheidsbeleid moet gaan spelen. Een belangrijk argument is dat deze stroomopwekmethoden over het algemeen milieuvriendelijk zijn. Een groot deel van het decentraal opgesteld elektrisch vermogen kan in de vorm van warmtekrachteenheden worden gerealiseerd bij de raffinaderijen en de chemische industrie.

In warmtekrachteenheden wordt elektriciteit geproduceerd. De vrijkomende warmte wordt nuttig gebruikt voor het maken van stoom, die in de industriële processen kan worden gebruikt. Deze manier van elektriciteit opwekken levert veel energiebesparing op. Verder is het volgens de werkgroep mogelijk veel windvermogen neer te zetten. Een eis is dan wel dat de investeringskosten van windmolens met enkele tientallen percenten omlaag worden gebracht.

wekken met windmolens of warmtekrachtkoppeling. Door isolatie en andere maatregelen is de energiebehoefte te beperken.
In deze opdracht ga je na hoe de energievoorziening van jouw woonplaats is geregeld, en hoe dat mogelijk beter zou kunnen.

- *mogelijke onderzoeksvragen*

– Hoe is de energievoorziening in je woonplaats nu geregeld? Hoeveel gas en elektriciteit wordt er jaarlijks verbruikt? En waarvoor?
– Hou zou je de energiebehoefte in je woonplaats kunnen beperken? Welke andere energiebronnen zijn toepasbaar? Denk hierbij bijv. aan zonneboilers, afvalwarmte, stadsverwarming, warmtekrachtkoppeling, windmolens.
– Wie bepaalt eigenlijk hoe de energievoorziening geregeld is? In hoeverre is de plaatselijke voorziening gekoppeld aan de landelijke? Wie beslist over eventuele veranderingen of energieplannen?
– Welke voor- en nadelen hebben veranderingen in de energievoorziening voor individuele inwoners? Wat vinden de landelijke energieleveranciers van plannen, waarbij plaatsen zelf hun energie gaan produceren?

- *suggesties voor onderzoek*

– Je kunt een globaal energieplan opstellen en dat bespreken met iemand van de gemeente of van het gas- en elektriciteitsbedrijf.
– Je kunt de besparing van een maatregel berekenen. Bijv.: hoeveel gas bespaar je als ieder huis een zonneboiler krijgt of als alle huizen goed geïsoleerd worden? Hoeveel windmolens zijn er nodig om voldoende elektriciteit op te wekken enz.?
– Met iemand van de gemeente kun je bespreken hoe de besluitvorming rond energiemaatregelen plaatsvindt.
– Je kunt inwoners enquêteren over energiemaatregelen.

7.4 VERSTANDIG MET ENERGIE IN NEDERLAND

1. ENERGIE IN HET JAAR 2000

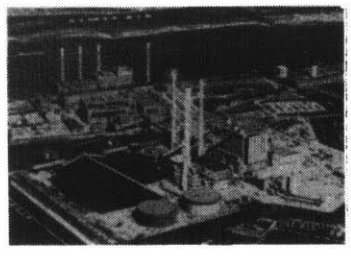
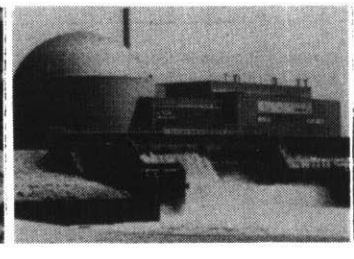
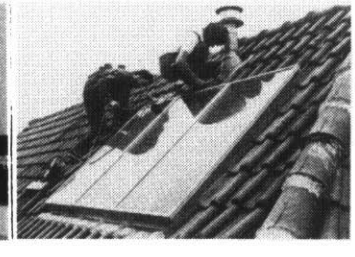
Welzijn, welvaart en energiegebruik hangen samen. De kwaliteit van ons bestaan in het jaar 2000 wordt onder andere bepaald door beslissingen die nu over energie genomen worden. Gebruiken we in het jaar 2000 meer energie? Hoe komen we aan die energie? Is ons milieu dan sterker vervuild? Zitten we met radioactief afval?
In deze opdracht ga je dit soort (energie-) toekomstbeelden vergelijken. Je vergelijkt twee *scenario's*, die uitgewerkt zijn tijdens de Brede Maatschappelijke Diskussie over Energie (BMD): *het referentiescenario* (we gaan door zoals nu) en het *CE-scenario* (we sparen energie en milieu).

- *mogelijke onderzoeksvragen*

– Wat zijn verschillen en overeenkomsten tussen de scenario's? Hoe zit het met energiegebruik, milieu en economie in het jaar 2000? Welk beleid, welke beslissingen zijn nodig? Wat houdt 'vooruitgang' in beide scenario's in?
– Wie bepaalt het energiebeleid van Nederland?
Wat was het doel van de BMD; wat is het resultaat geweest?
– In hoeverre zal het dagelijks leven in het jaar 2000 er anders uitzien bij het ene scenario, vergeleken met het andere scenario?

- *suggesties voor de uitvoering*

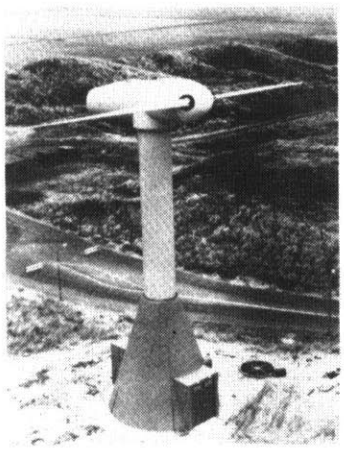
– Informatie over de scenario's vind je

in het BMD Tussenrapport, hoofdstuk 11. Probeer zelf meer informatie te vinden.
– Bedenk eerst welke punten je wilt vergelijken in de scenario's. Lees daarna de informatie door.
– Ga praten met milieugroepen, energiedeskundigen of politici.
– Beschrijf hoe het dagelijks leven in Nederland eruit zal zien in het jaar 2000 in de beide scenario's. Welke verschillen zijn er?

2. ZON EN WIND: OPLOSSING VOOR ONS ENERGIEPROBLEEM?

Windenergie kan Nederland voor eenderde van stroom voorzien



Olie, kolen en gas raken op. In de toekomst moeten we andere energiebronnen hebben. Soms lijkt het alsof de keus is: kernenergie of energie uit zon en wind. En wil je geen kernenergie, dan is zon- en windenergie de oplossing voor ons probleem.
Anderzijds zie je in de scenario's in hoofdstuk 1, dat zon en wind maar een kleine bijdrage leveren aan de energievoorziening in het jaar 2000. Wat kunnen we wel en niet verwachten van zon- en windenergie in de toekomst? Daarover gaat deze opdracht.

- *mogelijke onderzoeksvragen*

– Waarom wordt er zo weinig verwacht van zon- en windenergie? Is er zo weinig? Is het technisch moeilijk te benutten? Is het te duur? Ontbreekt de politieke wil?
– Wie beslist of zon- en windenergie benut gaan worden? Of een zonneboiler in huis aangelegd wordt, of windmolens gebouwd worden? De overheid, bedrijven, individuën?
– Zou je thuis zon- en windenergie kunnen toepassen? Welke factoren zouden op je beslissing van invloed zijn?
Is er in jouw woonplaats een beleid ten aanzien van het gebruik van zon- en windenergie?

- *suggesties voor de uitvoering*

– Je kunt in literatuur nazoeken hoe groot de bijdrage van benutbare zon- en windenergie in Nederland kan zijn.
– Je kunt zelf berekenen hoeveel zon- en windenergie er maximaal is, en hoeveel te benutten is. Je leerkracht heeft hier informatie over.
– Je kunt met energie-adviseurs of energiegroepen gaan praten.
– Over de besluitvorming kun je met energiedeskundigen, met politici of met iemand van de gemeente gaan praten.

Index

actief zonne-energiesysteem 57
aggregaat 32
arbeid 16
arbeidsrendement 42

bestralingssterkte 18
boiler 23
brandstofcel 45
broeikaseffekt 25, 59

compressor 61
condensor 61

dakvijver 58
doorstroomsnelheid 24

eerste hoofdwet van de warmteleer 15
energie (chemische –) 18
(elektrische –) 16
(inwendige –) 49
(kinetische –) 17
(stralings-) 17
(warmte-) 20
(zwaarte-) 19
energiebesparing 46
(rendementsbenadering) 46
(systeembenadering) 47
(taakbenadering) 46
energiedichtheid 69
energie-omzetter 15
energie-stroomdiagram 12

geleiding 25, 56

hoogwaardige energiesoort 45

K-waarde 56, 57
kwaliteit (van een energiesoort) 45

laagwaardige energiesoort 45

ondergrondse pomp accumulatie centrale 67
ondergrondse zonnewarmteopslag 68
opslagsystemen 66, 70

passief zonne-energiesysteem 57
(direct –) 57
(gescheiden –) 58
(indirect –) 57

rendement 12

scenario 7
serre 59
smoorventiel 62
soortelijke warmte 20
stadsverwarming 65
straling 25, 56
stralingsmeter 18
stroming 25, 56

thermosyphon 59
tipvane 29
total energy module 63
Trombe-muur 57
tweede hoofdwet van de warmteleer 51

verbrandingswarmte 18
verdamper 61
vliegwiel 69

warmte 20
warmtebalans 56
warmtefactor 62
warmte-krachtkoppeling 63
warmtemachine 40
warmtepomp 60
warmtewisselaar 23
weerstand 39
windmolen 27
wrijving 39

zonnecel 26
zonnecollector 23

Begeleidingscommissie S.V.O.-project 0213 (vooronderzoek voor het PLON, 1972-1974)

F. van de Maesen (voorzitter tot 1973); hoogleraar natuurkunde Technische Hogeschool Eindhoven
N.J. Heijkoop (voorzitter 1973-1974); inspecteur voortgezet onderwijs
W.P.J. Lignac (secr.); secretaris Commissie Modernisering Leerplan Natuurkunde
S. Auer, algemeen didacticus Universiteit van Amsterdam
F. Balkema, inspecteur voortgezet onderwijs
H.P. Hooymayers, lector natuurkundedidactiek Rijks Universiteit Utrecht
H.J.L. Jongbloed (1972-1973), mediadeskundige NIAM
J. Schweers, leraar natuurkunde havo/vwo
J. Smit, inspecteur voortgezet onderwijs
E. Warries, hoogleraar onderwijskunde Technische Hogeschool Twente
M. van Wieringen (1973-1974), mediadeskundige NIAM

Stuurgroep PLON (1974-heden)

H.P. Hooymayers (voorzitter), hoogleraar natuurkundedidactiek Rijks Universiteit Utrecht
W.P.J. Lignac (secr. tot 1978), secretaris Commissie Modernisering Leerplan Natuurkunde
A.A.M. Agterberg (secr. sedert 1978), secretaris Advies Commissie voor de Leerplan Ontwikkeling Natuurkunde in oprichting
P. Broekman (sedert 1980), hoofd afdeling Bèta en Gammavakken CITO
F. Dekkers (sedert 1979), hoofddocent natuurkunde Moller Instituut
H. Lengkeek (tot 1977), leraar natuurkunde mavo
D.A. Lockhorst (tot 1978), leraar natuurkunde havo/vwo
J. Schipper (sedert 1980), medewerker A.P.S.
M. Sjamaar (sedert 1982), rector Niels Stensen College te Utrecht
A. Snater (tot 1980), hoofddocent natuurkunde Stichting Opleiding Leraren
F.J. Steenbrink (tot 1978), leraar natuurkunde vwo
J.M.F. Teunissen (tot 1975), onderwijskundige Rijks Universiteit Utrecht
W.C. Vink (tot 1979), directeur Christelijke Mavo te Putten
R. de Vries (sedert 1980), leraar natuurkunde havo/vwo, namens de NVON
E. Warries (tot 1975), hoogleraar onderwijskunde Technische Hogeschool Twente
S.A. Wouthuysen (tot 1976), hoogleraar natuurkunde Universiteit van Amsterdam

Kerngroep PLON havo-bovenbouw

G. Buisman (sedert 1978), leraar natuurkunde hts
P.G. Hogenbirk (1981-1982), leraar natuurkunde havo/vwo
E. Holl (1982-1983), leraar natuurkunde havo/vwo
J. de Jong (sedert 1983), leraar natuurkunde havo/vwo
E. Maarschall (1978-1981), leraar natuurkunde hts
H. Poorthuis (1978-1981), leraar natuurkunde havo-top pedagogische academie
J. Scherrenburg (sedert 1978), hoofddocent natuurkunde Stichting Opleiding Leraren
W.J.G. Schraven (sedert 1978), leraar natuurkunde havo/vwo
M. van Woerkom (sedert 1982), leraar natuurkunde havo/vwo

PLON-team havo-bovenbouw

H.M.C. Eijkelhof (sedert 1981)
R. van Eyck (1981-1982)
A.C.L. van Gameren (sedert 1977)
D. van Genderen, Rijks Universiteit Utrecht
F.L. Gravenberch (1978-1983)
P.G. Hogenbirk (1981-1983)
E. Holl (sedert 1983)
T. Jörg (sedert 1982)
W.H. Kamphuis (sedert 1978)
P.T. Kloek (sedert 1983)
J. Kortland (sedert 1982)
P.L. Lijnse, Rijks Universiteit Utrecht
F.A. v.d. Loo, Rijks Universiteit Utrecht
B. Pelupessy (sedert 1978)
T. Römgens (1979-1981)
P. Verhagen (sedert 1983)
H. Vermeulen (1981-1983)
R.F.A. Wierstra (sedert 1978)

PLON-administratie

E. van den Broek (1976-1979)
R. Lindeman (1977-1980)
M. Rolff van den Baumen (1974-1979)
N. Rotteveel (sedert 1982)
A.G. Schwering (1980-1982)
B. Schillert (sedert 1980)
H. Veurink (tot 1974)

Tekeningen

A. Lurvink (Onderwijs Media Instituut, Rijks Universiteit Utrecht)
H. de Waal (Onderwijs Media Instituut, Rijks Universiteit Utrecht)

Foto's

A.C.L. van Gameren (PLON)
W.H. Kamphuis (PLON)

PLON-CITO (namens CITO)

F. Boessenkool
P. Broekman
C. Hellingman
T. Heuvelmans
H. Vonken

Proefscholen 1983-1984

Ashram College te Alphen a/d Rijn
S.G. Nijmegen Oost te Nijmegen
Chr. S.G. Revius te Deventer
S.G. Oost Betuwe te Bemmel
Hertog Jan College te Valkenswaard
Marnix College te Ede
Niels Stensen College te Utrecht
Eemland College Noord te Amersfoort
Chr. S.G. Jan van Arkel te Hardenberg
S.G. Huizermaat te Huizen
Chr. Lyceum en Havo te Veenendaal

Overzicht van PLON-thema's voor havo-bovenbouw

VOOR DE 4e KLAS

- Vergelijken
- Weersveranderingen
- Muziek
- Verkeer
- Elektrische Machines
- Energie en Kwaliteit

VOOR DE 5e KLAS

- Lichtbronnen
- Ioniserende Straling
- Elektronica
- Materie
- Repeteerthema

Tevens zijn beschikbaar:

- docentenhandleidingen (AVOL's) en apparatuurgidsen bij elk thema