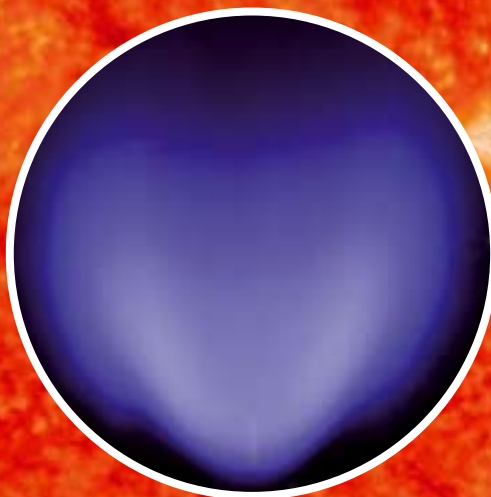


Kleine Energieatlas

Ruimtebeslag van Elektriciteitsopwekking



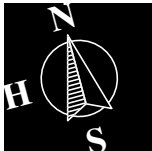






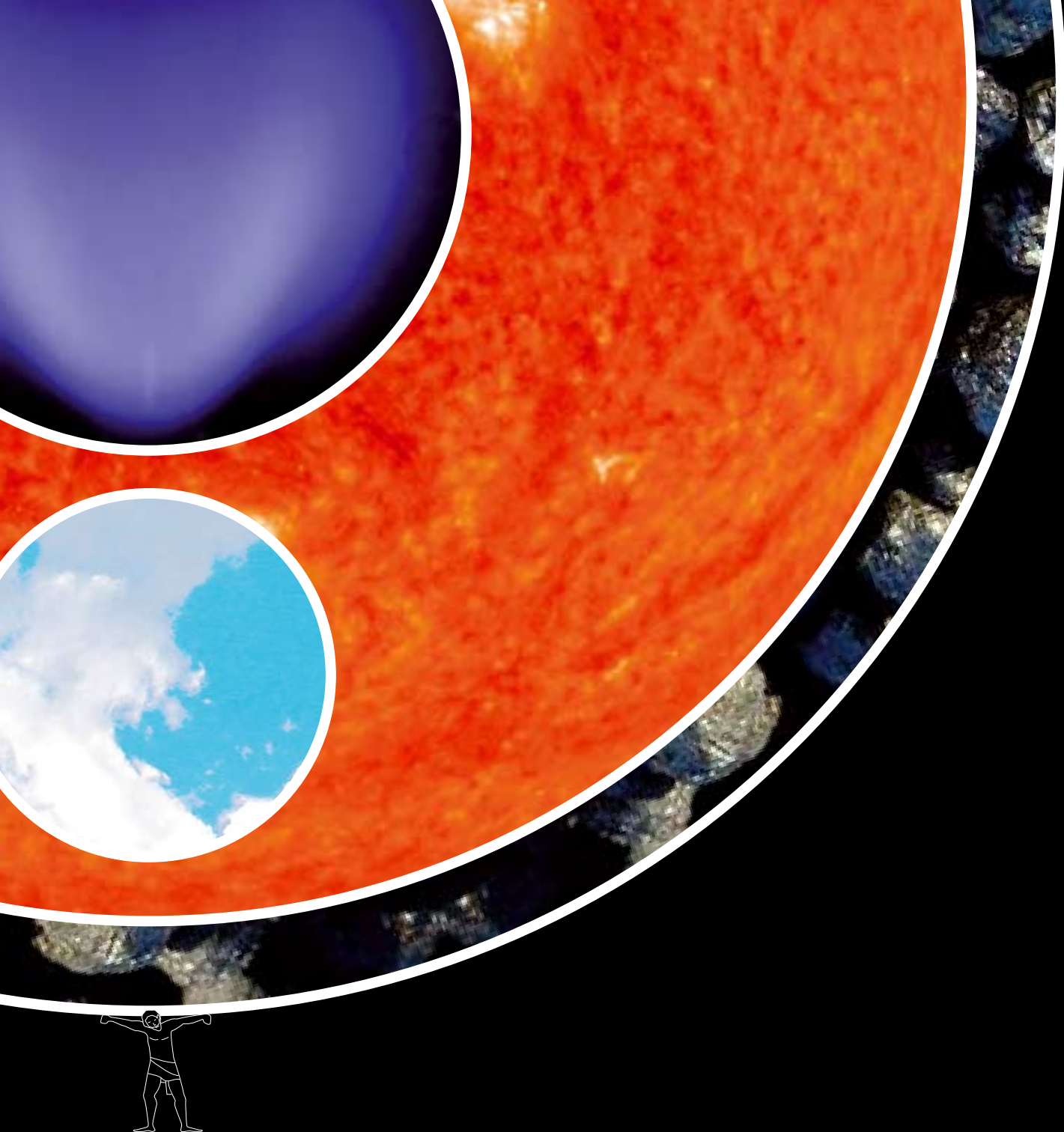
Kleine energieatlas

Ruimtebeslag van elektriciteitsopwekking:
de voetafdruk van 3.387 GWh



In opdracht van Ministerie van VROM
Utrecht, @ augustus 2008





Inhoudsopgave

I Inleiding	
1.1 aanleiding	0
1.2 opzet van de Kleine Energieatlas	0
1.3 werkwijze Kleine Energieatlas	0
2 Energiebalansen	0
1. Zon-Aarde-Maan	0
2. Het mondiale jaarlijkse energiebudget	0
3. Energiebalans USA 2003	0
4. Energiebalans Europa 2005 (op schaal)	0
5. Energiebalans Nederland 2007 (op schaal)	0
6. Energiebalans Nederland 2007 (volle spread)	0
7. De opgave	0
3 Ruimtebeslag per modaliteit	0
3.1 bruinkool	0
3.2 steenkool	0
3.3 olie	0
3.4 gas	0
3.5 kernenergie	0
3.6 afval	0
3.7 biobrandstof	0
3.8 wind	0
3.9 zon	0
3.10 hydro	0
4 Synthese	0
4.1 vergelijkingstabel	0
4.2 footprints	0
4.3 constatering	0
Literatuurlijst en bronnen	0
Colofon	0

Inleiding

1.1 Aanleiding

Discussies over windenergie hebben vaak een hoog 'langs elkaar heen praat' gehalte. Voor- en tegenstanders brengen moeilijk met elkaar te vergelijken argumenten in die allebei 'waar' zijn of in elk geval legitiem zijn. De argumenten van de een lijken daardoor af te glijden als water langs een eend ten opzichte van het betoog van de ander. Er is een argumentatielijn die start vanuit de vooronderstelling dat CO₂ reductie inzet van schone energiebronnen noodzakelijk maakt en windenergie in ons windrijke land de meeste kansen biedt. En er zijn mensen die argumenteren dat windmolens een nieuwe vorm van horizonvervuiling zijn. Daardoorheen, maar wel in wisselwerking met de eerst genoemde lijnen, zijn er verhitte debatten over de economische merites van windenergie en de rol die wind wel of niet zou moeten spelen in onze toekomstige energievoorziening. Duidelijk is in elk geval wel dat de perceptie van de ruimtelijke effecten van windturbines op het landschap sterk verschillen. Het gaat niet alleen over mooi en lelijk. Als je het idee hebt dat deze nieuwkomers in het landschap nog niet voldoende energie opwekken om onze elektrische tandenborstels aan te drijven of je kijkt naar apparaten die met iedere omwenteling weer een smak subsidiegeld er door draaien dan neem je het woord horizonvervuiling makkelijk in de mond. Als je het besef hebt dat de windenergie ons onafhankelijker maakt van vervuilende fossiele bronnen of je weet dat alle molens die er nu al staan meer dan 1 miljoen huishoudens van

stroom voorzien ben je eerder geneigd de windparken zelfs mooi te vinden. Er zit dus ook een semantische laag onder de discussie. Welke betekenis ken je toe de turbines en wat betekenen ze voor de beschouwer? Op deze semantische laag kan je tot vreemde ontdekkingen komen. Bijvoorbeeld hoe cultuurgebonden onze discussie is. Het woord horizonvervuiling kent bijvoorbeeld geen vertaling in het Duits, Frans of Engels. Het is in het Nederlandse discours geïntroduceerd door de milieubeweging in de jaren zeventig in het (ook) toen woedende debat over hoogbouw in de stad. Dit endemische woord heeft natuurlijk alles te maken met de vlakke horizon van ons land. Of de ontdekking dat samenlevingen over de hele wereld en van alle tijden verschillende strategieën hebben ontwikkeld om bedreigende verschijnselen te temmen, te domesticeren en in te passen in de maatschappij.

Maar wat wordt er nu als bedreigend ervaren? Het is misschien vooral wennen aan veranderingen. We leven in een tijdperk waar mensen de productie van elektriciteit als vanzelfsprekend ervaren. Stroom komt gewoon uit een stopcontact. Hooguit wordt het geassocieerd met ver weggelegen grote centrales waaraan alleen grote rookpluimen aan de horizon ons herinneren. We willen in ons geësthetiseerde wereldbeeld eigenlijk liever niet herinnerd worden aan deze reuzeninstallaties die ons van energie voorzien en al helemaal niet aan de hele keten van zaken die er aan te pas komen. Maar de opwekking van elektriciteit

is veel zichtbaarder geworden en komt dichterbij de mensen. Windturbines lijken een vast attribuut van het landschap te worden maar je ziet ze ook boven bedrijventerreinen uittorenen of zelfs vastgeklonken aan gebouwen. We zien ook geleidelijk meer en meer zonnepanelen blinken op plekken waar vroeger dakpannen domineerden. Eigenlijk moeten we wennen aan twee nieuwe fenomenen tegelijk. We zien voor het eerst het ruimtelijke gevolg van een decentrale elektriciteitsopwekking en met een historische bril op zien we de ruimtelijke expressie van het letterlijk boven de grond komen van energiebronnen die in het verleden altijd in de vorm van fossiele voorraden diep onder het aardoppervlak verborgen lagen. Kortom we zien energieopwekking die aftapt van de energiestroom die zon, aarde en maan ons dagelijks levert maar voelen die tegelijk ertijd als de bedreigende totems zijn van het gestadig naderbij komen van het einde van het fossiele tijdperk.

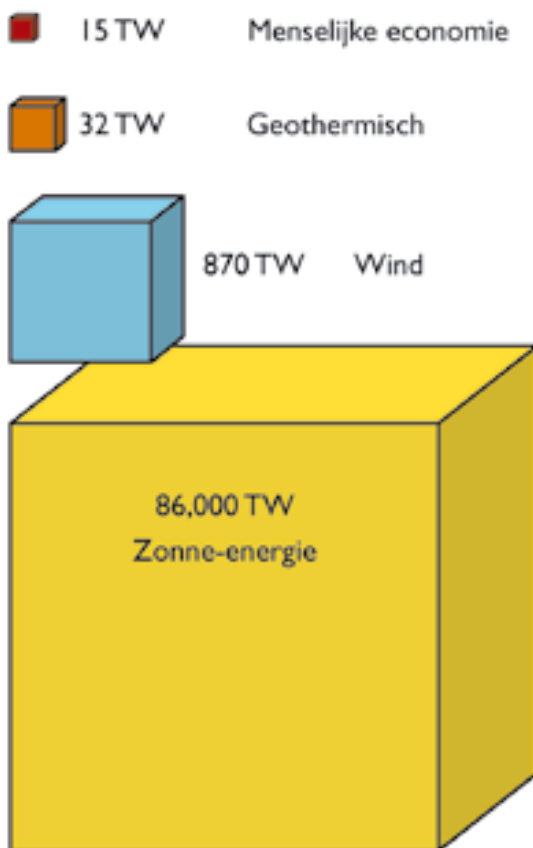
Het idee voor deze atlas is geboren op een van de rondetafelconferenties over windenergie die worden georganiseerd door de minister van VROM, Jaqueline Cramer. Tijdens de tweede conferentie heb ik geconstateerd dat los van alle interessante semantische bespiegelingen de discussie kon worden verbreed door de ruimtelijke effecten van windenergie eens te vergelijken met andere modaliteiten van elektriciteitsopwekking. Niet onder het borrelpraat adagium 'dat zijn ook geen lievertjes' maar in een zakelijke vergelijking waarin

voor en nadelen naast elkaar kunnen worden gezien. Dat maakt voor veel mensen het onzichtbare ook zichtbaar. Wij willen door het uitbrengen van deze Kleine Energieatlas het signaal afgeven dat de ruimtelijke aspecten in het energiedebat, weliswaar geen hoofdrol zullen spelen, maar toch terdege moeten worden meegewogen. Bepaling van de meest gewenste (mix van) modaliteiten in het energiebeleid kan daarmee ook een bewustere ruimtelijke keuze zijn. Wij hebben gekozen voor de vorm van een atlas en spreken – uiteraard op basis van cijfers - vooral met beelden.

1.2 Opzet van de Kleine Energieatlas

De 'Kleine Energieatlas' beperkt zich tot de elektriciteitsproductie en is speciaal gericht op Nederland. We nemen echter een ruime aanloop naar het ruimtelijke gezicht van de Nederlandse elektriciteitsproductie. Zoals het hoort in een atlas werken we van groot naar klein. We beginnen met het zonnestelsel, het aarde-maan systeem en de energiebalans van onze gehele planeet. Het hoopvolle begin is dat onze zon jaarlijks onze aarde bestraald met een equivalent van de bijna niet te bevatten hoeveelheid energie van 174.260 Terawatt ($1 \text{ TW} = 10^{12} \text{ Watt}$). Daarnaast is er ook nog een niet misselijke hoeveelheid jaarlijkse geothermische energie van 40 TW die door de hete kern van de aarde wordt geproduceerd. Dan is er nog de energie die door de omwentelingen van de maan om de aarde wordt geproduceerd. Dit spel van zwaartekracht en de zee levert jaarlijks 3 TW aan getijdenenergie op.

Opgeteld 174.303 TW aan energie-input terwijl de totale menselijke economie 'slechts' jaarlijks 14 Terawatt vereist. Uiteraard is deze enorme hoeveelheid energie maar voor een klein deel winbaar.



We laten dat zien in een Sankey-diagram van de mondiale energiehuishouding. In dit schema is in een oogopslag duidelijk dat veel van de inkomende straling gereflecteerd wordt in de hoge atmosfeer of op wolken en dat van het gedeelte dat in warmte op het aardoppervlak wordt omgezet weer een deel als laagfrequente straling het heelal in verdwijnt. De straling die het aardoppervlak feitelijk bereikt is zo'n $168 \text{ W/m}^2 = \text{ca. } 85.000 \text{ TW}$ als theoretisch maximum aan winbare energie uit de zon). Interessant in deze mondiale energiebalans zijn ook de cijfers over convectie. Stromingen van (opgewarmde) lucht zijn verantwoordelijk voor verschillen in luchtdruk die het windpotentieel van 600 TW ontketent en op haar beurt voor een klein deel op de oceanen wordt omgezet in golf-energie van 4 TW. Een andere, mogelijk af te tappen, bron wordt eveneens indirect door de zon geleverd, namelijk evapotranspiratie (de som van evaporatie en van transpiratie door planten. Evaporatie staat voor de beweging van water naar de atmosfeer). Dit water komt in de vorm van regen ook hoog in de bergen terecht en vertegenwoordigt dan (potentiële) energie van 5 TW in de vorm van bijvoorbeeld bovenlopen van rivieren en hooggelegen gletsjers die via waterkrachtcentrales door de mens kan worden omgezet in elektriciteit.

Dat wij duidelijk nog niet zo behendig zijn in het aftappen van deze duurzame bronnen blijkt uit de Sankey-diagrammen op de volgende bladzijden die

respectievelijk de energiebalansen van de USA, Europa (27) en Nederland laten zien. We zijn in die figuren overgeschakeld van de energie-eenheden van de mondiale energiehuishouding, de TeraWatt naar de wat aardser maar toch nog heel omvangrijke eenheid van de Petajoule ($1 \text{ PJ} = 10^{15} \text{ J}$ en $1 \text{ TW} = 3.6 \times 10^{15} \text{ J}$) ons deel van de geïndustrialiseerde wereld komt zo'n 80% van de energie uit fossiele bronnen en slechts 20% uit CO_2 -arme bronnen als geothermie, wind, zon, biomassa en kernenergie. Elders is de verhouding nog meer in het voordeel van de klassieke fossiele bronnen als kolen, olie, gas en bruinkool. De schema's bevatten een grote hoeveelheid informatie. Interessant is bijvoorbeeld de verhouding tussen bruikbare energie en het enorme energieverlies. Vooral bij elektriciteitsproductie is het uiteindelijke rendement door verliezen bij opwekking en transport opvallend. Dat zijn deels onvermijdelijke 'lekken', maar duidelijk is wel dat hier een wereld te winnen is door opvoeren van rendementen en beperken van warmteverliezen bij transport. Vergelijking van de drie schema's maakt ook duidelijk dat in de USA ongeveer twee maal zoveel energie per inwoner wordt gebruikt. Door ca. 304 miljoen inwoners wordt 98.000 PJ gebruikt terwijl het Europa van de 27 lidstaten met ca. 488 miljoen 75.000 PJ gebruikt. Kijken we weer naar alleen Nederland met 16,5 miljoen inwoners om 3.100 PJ dan zitten we een stukje dichter bij de USA dan het Europees gemid-

delde.

De laatste bladzijde van het algemene hoofdstuk is gewijd aan de opgave die we hebben om de CO_2 -uitstoot terug te dringen om de klimaatdoelen te halen. Grafisch is weergegeven hoe in Europa de verschillende mogelijkheden om reducties te bereiken ingezet moeten worden om kostenefficiënt een verlaging van de uitstoot te realiseren die de mondiale temperatuurstijging niet laat uitkomen boven de 20°C ten opzichte van het pre-industriële tijdperk. Dit is de grens die door klimaatwetenschappers in de IPPC wordt aangegeven waarboven extra risico voor grootschalige ontregeling van het klimaatstelsel zou worden gelopen. Het is overigens een buitengewoon moeilijk haalbare doelstelling zoals uit de figuur al moge blijken. Hoe het ook zij het is alle *hands* aan dek. De keuzevrijheid is eigenlijk tamelijk beperkt, het zal een en-en-verhaal worden waarbij alle ter beschikking staande CO_2 -arme bronnen zullen moeten worden ingezet.

De hoofdmoot van de Kleine Energieatlas is gewijd aan het in beeld brengen van het ruimtebeslag van elektriciteitsopwekking. De verschillende modaliteiten die in de Nederlandse stroomvoorziening een rol spelen worden op een rijtje gezet: bruinkool, olie, aardgas, kolen, wind, biomassa, huisafval, waterkracht, zonne-energie en kernenergie. In dit rijtje komen bruinkool en waterkracht op het eerste gezicht een beetje vreemd over maar omdat Nederland via koppelnetten

een flinke netto-importeur is van elektriciteit (volgens de NMa Energiekamer zo'n 15%-20% van onze totale behoefte) spelen deze 'exotische' energiebronnen ook in onze stroomvoorziening een (bescheiden) rol en horen ze er in de vergelijking dan ook echt bij.

Om de lezer een indruk te geven van het ruimtebeslag en de indirecte ruimtelijke effecten van de verschillende modaliteiten levert de atlas per modaliteit van elektriciteitsproductie een zestal ingangen. Iedere paragraaf begint met een luchtfoto van een opwekkingseenheid en zijn omgeving in een uitsnede van 1.000x1.000 meter met daarnaast een tekstuele toelichting over die specifieke wijze van elektriciteitsproductie. De volgende pagina's tonen kaarten. Kaarten van Nederland en waar noodzakelijk van geheel Europa laten zien waar de voorkomens, productiecentra, potenties, transportassen, restricties, voor deze modaliteit liggen. Slaat u de pagina om dan ziet u een fotocollage die in 18 beelden een impressie geven van de gehele productieketen. Van de bron via winning van de grondstof, transport naar de centrale, opslag van de grondstof en opwekking tot de neveneffecten en (mogelijke) gevolgen bij ongelukken. Daarna volgen *infographics* over twee pagina's die het directe ruimtebeslag van de opwekking van 1.500 MW in hectares en de CO₂ uitstoot visualiseren. Om een indruk te geven van het landschappelijk gezicht leveren de volgende twee pagina's inzicht in het contrast van een landschap zonder en met de modaliteit in kwestie. De laatste

pagina's laten tenslotte zien hoe de een concentratie van de gehele keten van productie van 1.500 MW, dank zij de mogelijkheden van het *Photoshop*-tijdperk zou kunnen landen in de Wieringermeer. Deze oudste Zuiderzeepolder heeft de juiste maat voor dit experiment en houdt zich, zoals u zult zien, krانig onder al deze beproevingen. Omdat het transport van elektriciteit bij alle modaliteiten een grotere of kleinere rol speelt hebben we aan de hoogspanningsportalen recht gedaan door de verschillende bestaande typen op te nemen in de binnen- en de buitenschutbladen van de atlas.

In het laatste deel van de atlas zetten we in een spreadsheet alle cijfers van de modaliteiten op een rij. We proberen ten slotte de sterk uiteenlopende footprints van het bonte gezelschap elektriciteitsopwekkers nog in een overzicht bijeen te brengen. De atlas besluit met een nawoord waar een aantal observaties over deze exercitie zijn opgenomen en met een overzicht van de door ons benutte bronnen en een uitgebreid colofon waarin iedereen die een bijdrage heeft geleverd wordt genoemd.

1.3 Werkwijze Kleine Energieatlas

Om een min of meer objectieve vergelijking mogelijk te maken is het ruimtegebruik van de modaliteiten steeds gerelateerd aan een vaste hoeveelheid jaarlijks geleverde energie. Als uitgangspunt is hierbij de, reeds in mei 2007 gehaalde, doelstelling van het

BLOW akkoord genomen: 1.500 MW opgesteld vermogen aan windenergie op het Nederlandse vaste land. (BLOW staat voor Bestuursovereenkomst Landelijke Ontwikkeling Windenergie). Deze 1.500 MW is als eenheid gekozen omdat eenieder wel ongeveer een beeld heeft van de huidige hoeveelheid windturbines. Dat biedt een aardige vergelijkingsbasis als het om ruimtelijke gevolgen van andere manieren van opwekking van elektriciteit gaat. Dit vermogen is bij het huidige windaanbod in Nederland in staat om jaarlijks 3387 GWh (één Giga-Watt-uur is gelijk aan één miljoen kilo-Watt-uur) aan elektrische energie te leveren, genoeg om 952 duizend huishoudens van elektriciteit te voorzien. Dit getal wordt verkregen door het vermogen te vermenigvuldigen met de tijd (aantal uren in een jaar) en het gemiddelde vermogen dat in deze tijd wordt geleverd. Voor de laatste helft van 2007 en de eerste helft van 2008 komt dat neer op het equivalent van 2.258 uur draaien op vol vermogen (bron: Wind Service Holland, 2008), ofwel 2.258 zogenaamde 'vollast-uren'.

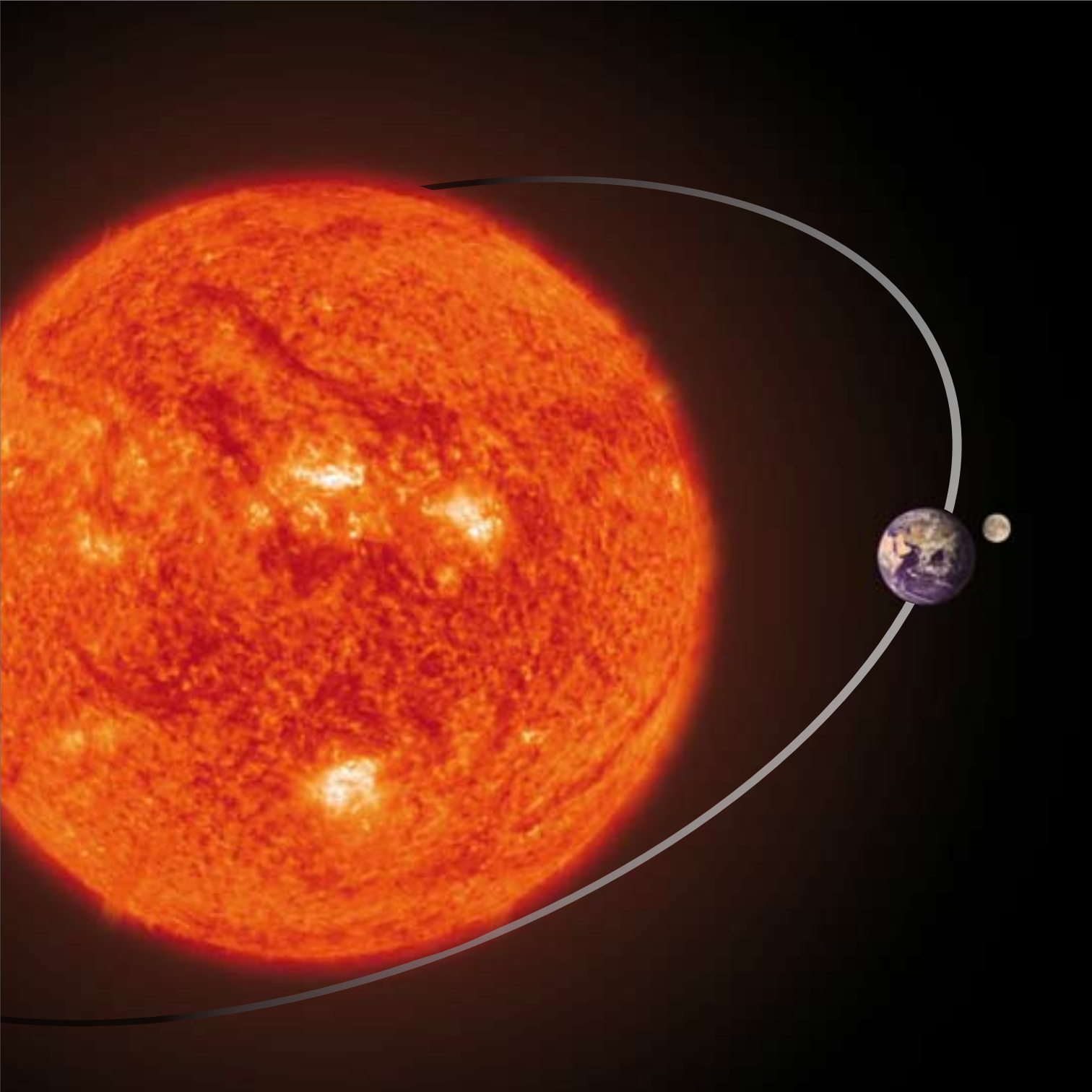
De aldus berekende 3.387 GWh aan jaarlijks geleverde elektrische energie is gebruikt als basis voor de berekening van het ruimtebeslag van alle hier gepresenteerde modaliteiten van energieopwekking. Hiervoor zijn zowel de statistieken van het CBS als die van EnergieNed geraadpleegd. Allereerst is uit deze statistieken afgeleid hoeveel elektrische energie jaarlijks door de verschillende modaliteiten is geleverd. Hierbij

zijn steeds de meest recente data bekeken, doorgaans uit het jaar 2007. Vervolgens is beschouwd hoeveel opgesteld vermogen aan generatoren is ingezet voor deze elektriciteitsopwekking en hoeveel massa aan grondstof hiervoor nodig was. Hier hielden de statistieken doorgaans op en werd het ruimtelijk onderzoek gestart.

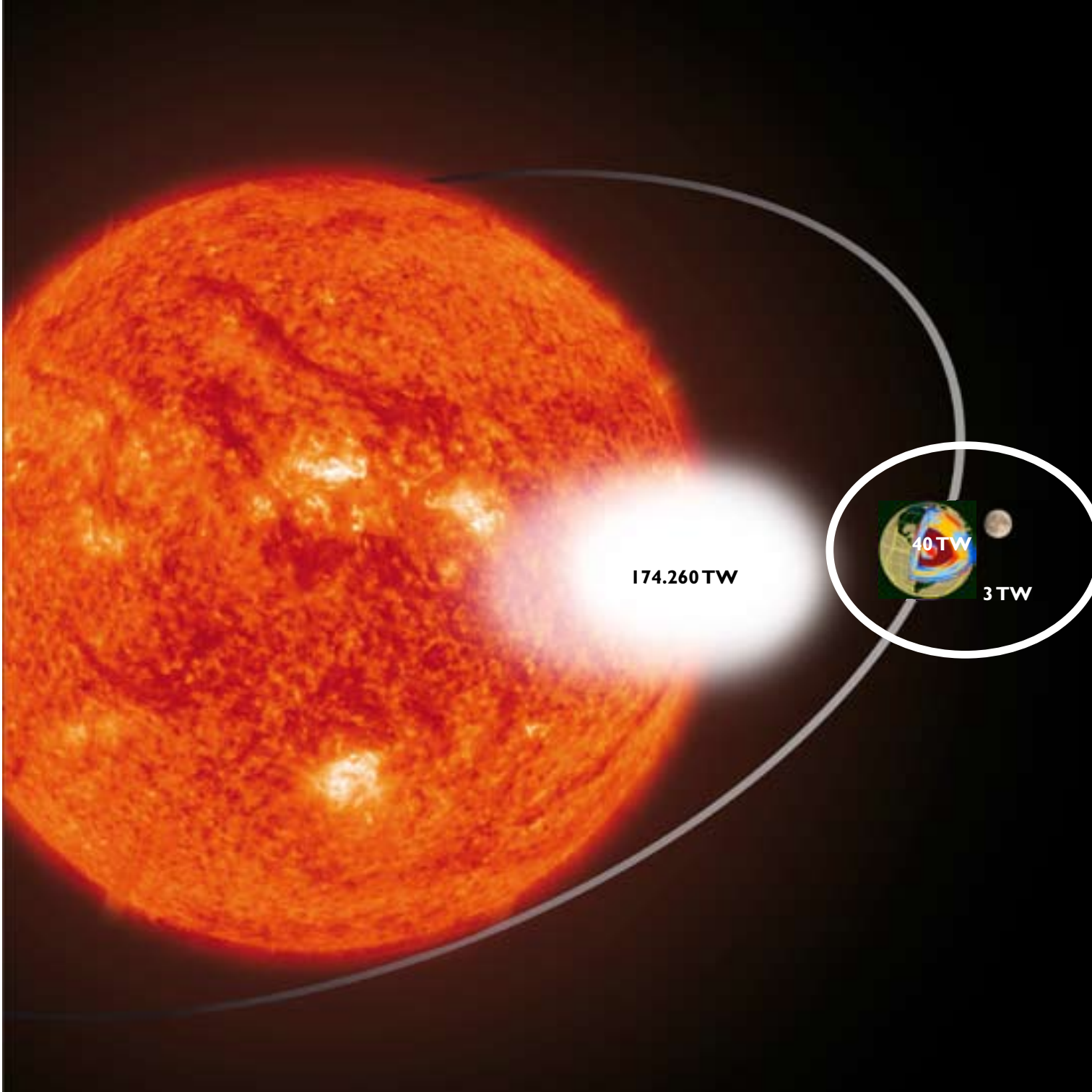
Om het ruimtebeslag van de gehele energieketen te kunnen bepalen is het van belang om exact te weten waar de elektriciteit wordt opgewekt en waar de grondstof wordt gewonnen. Hiervoor is een groot aantal verschillende bronnen geraadpleegd, variërend van informatiebrochures over bruinkoolwinning door RWE Power tot aan internetsites als Wikipedia. Met behulp van deze bronnen was het uiteindelijk mogelijk om de gehele energieketen fysiek te lokaliseren en van de verschillende onderdelen uit de keten (mijnbouw of delven, transport en opslag van grondstoffen, opwekking van elektriciteit in turbinehallen, verwerking van restafval en ontsluiting van terreinen) het ruimtebeslag te bepalen. Het ruimteslag van de verschillende onderdelen is grotendeels bepaald door terreinen en installaties op te zoeken en op te meten in de internet database Google Earth. Daarnaast is waar mogelijk ook gebruik gemaakt van door energieproducenten gepubliceerd kaartmateriaal. Alle opgemeten oppervlakten zijn uiteindelijk weer teruggerekend naar het deel van het oppervlak dat nodig is om een jaarlijkse hoeveelheid elektrische energie van 3387 GWh te produceren.

energiebalansen

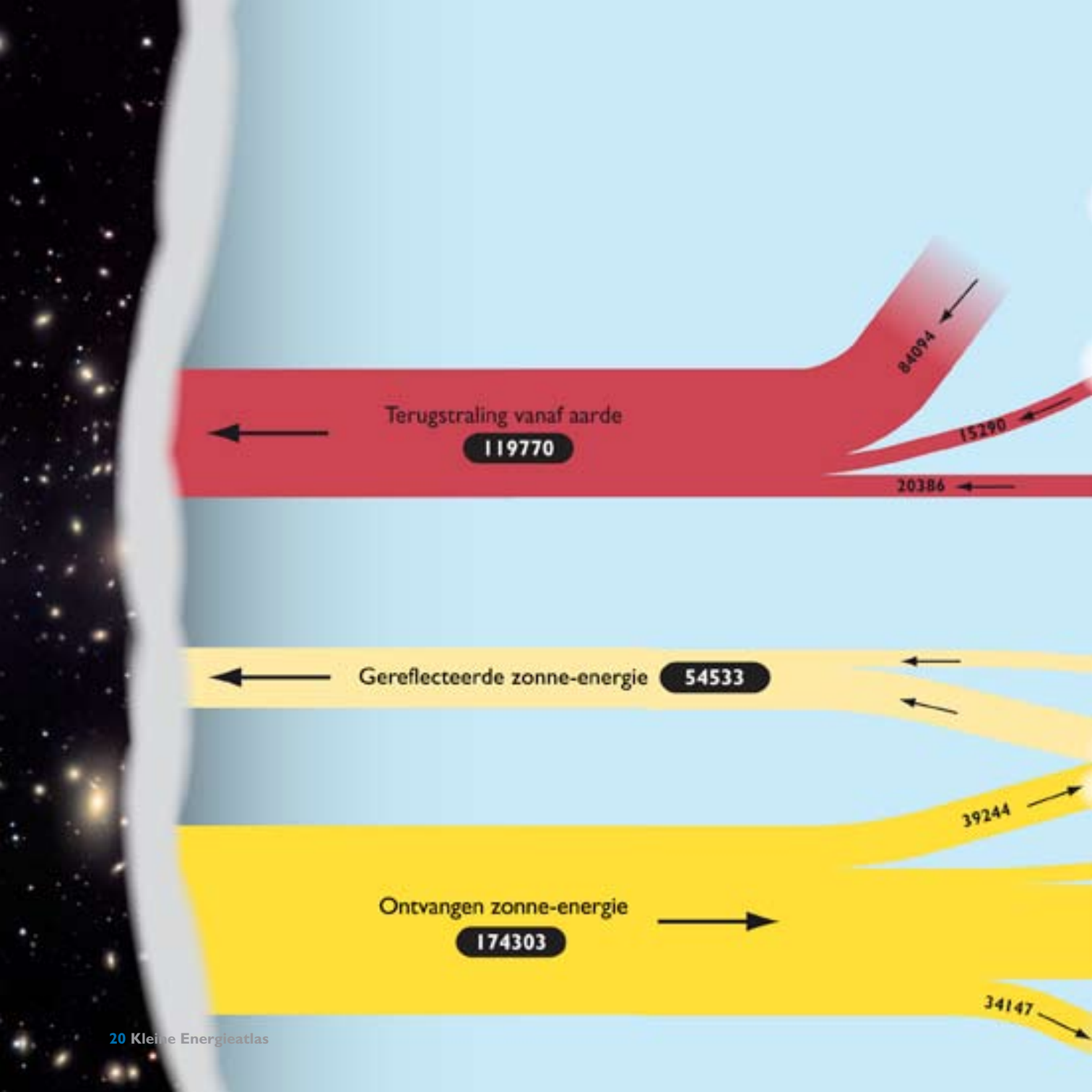


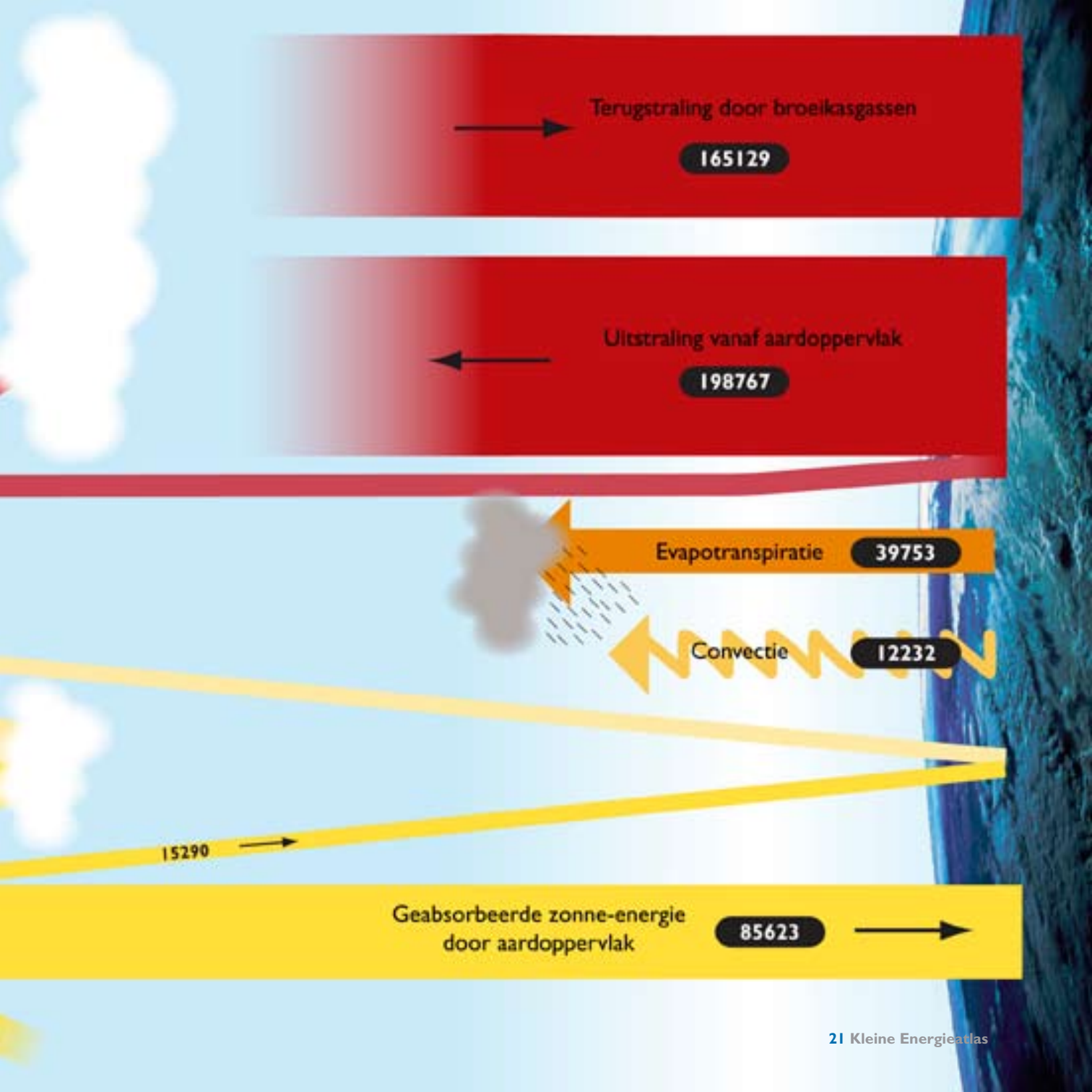


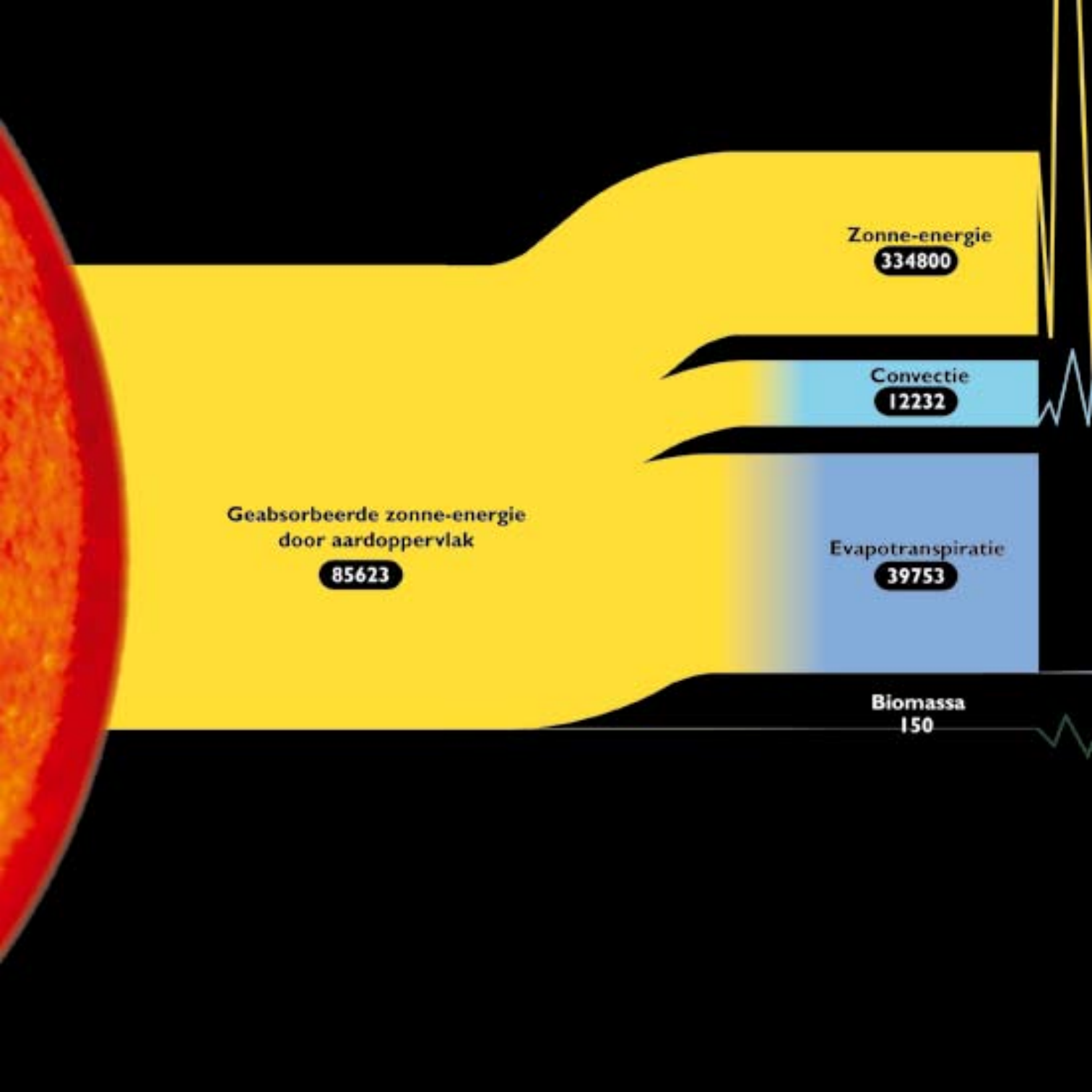
Zon-aarde-maan

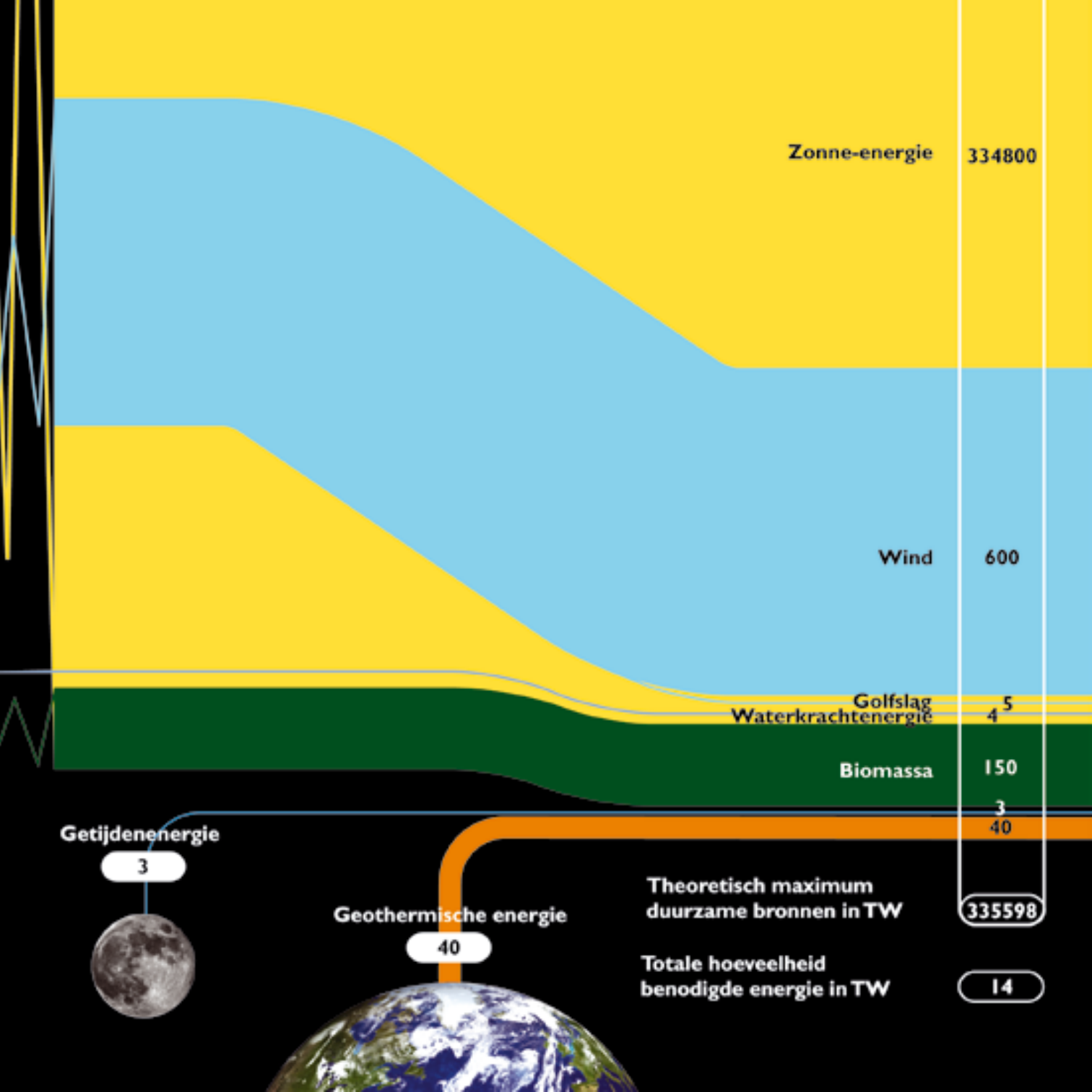


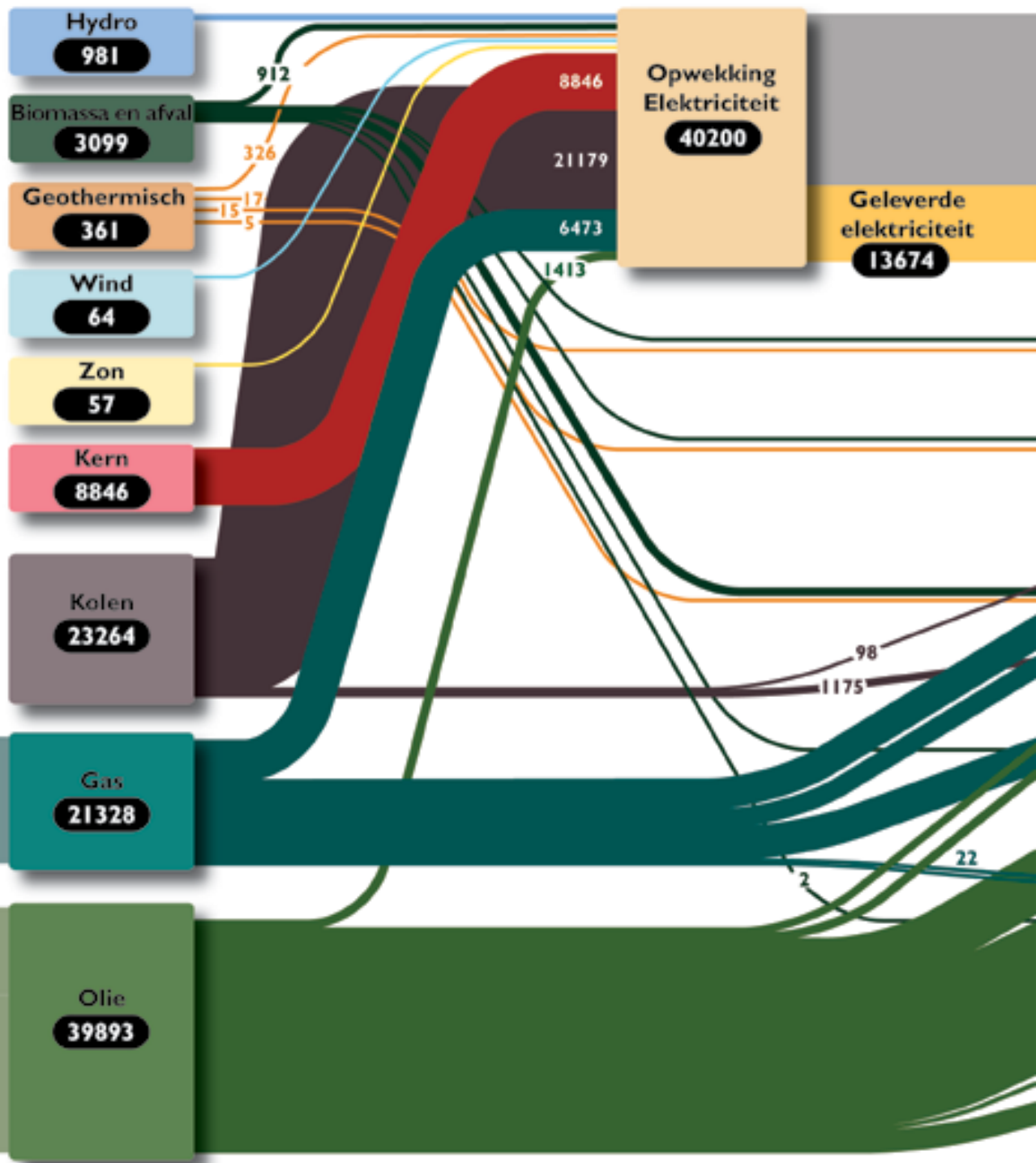
174,303 TW Op de aarde ontvangen straling
40 TW Geothermische energie
3 TW Getijdenenergie
14 TW Menselijke economie











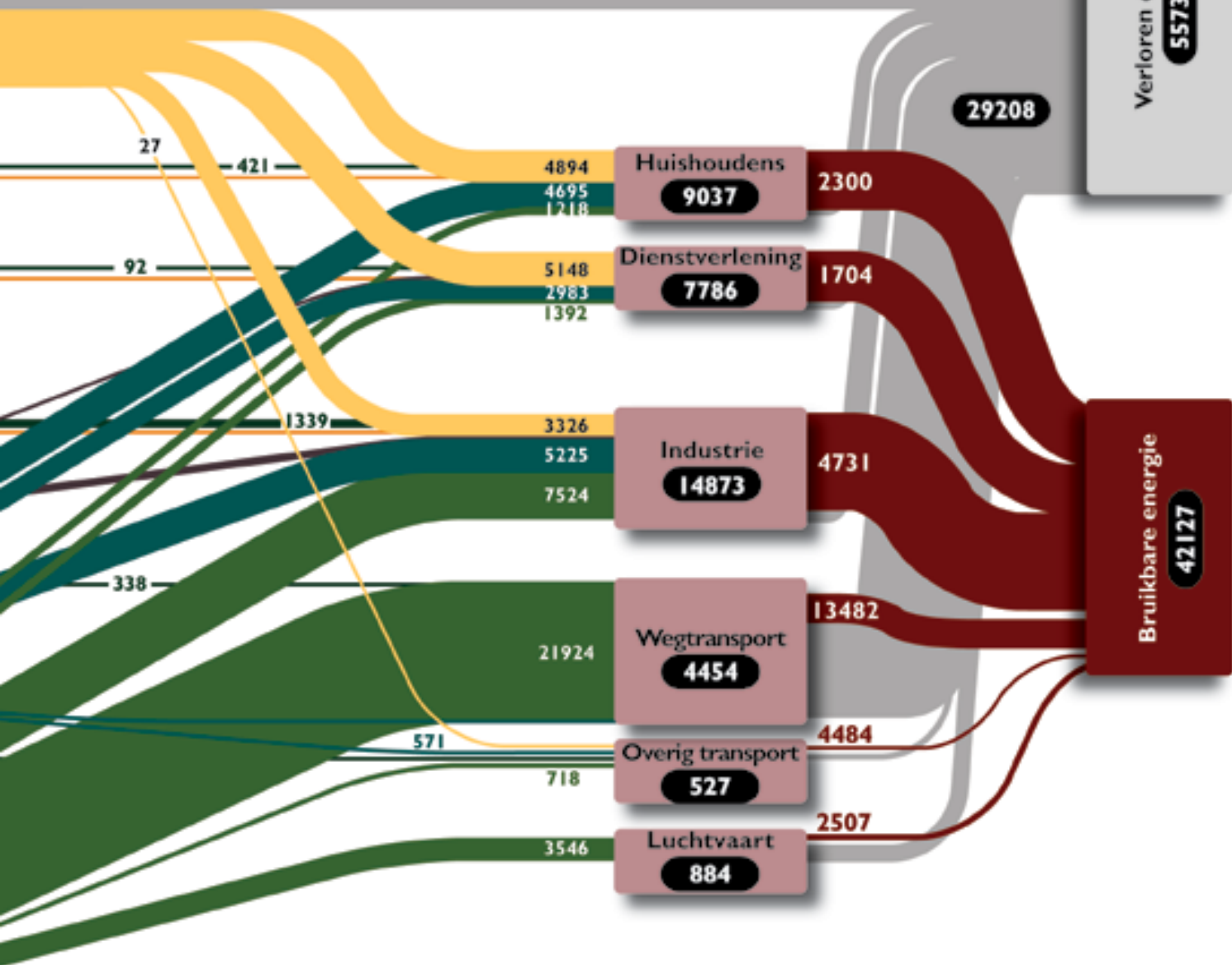
Verliezen bij opwekking en
transport van elektriciteit

26526

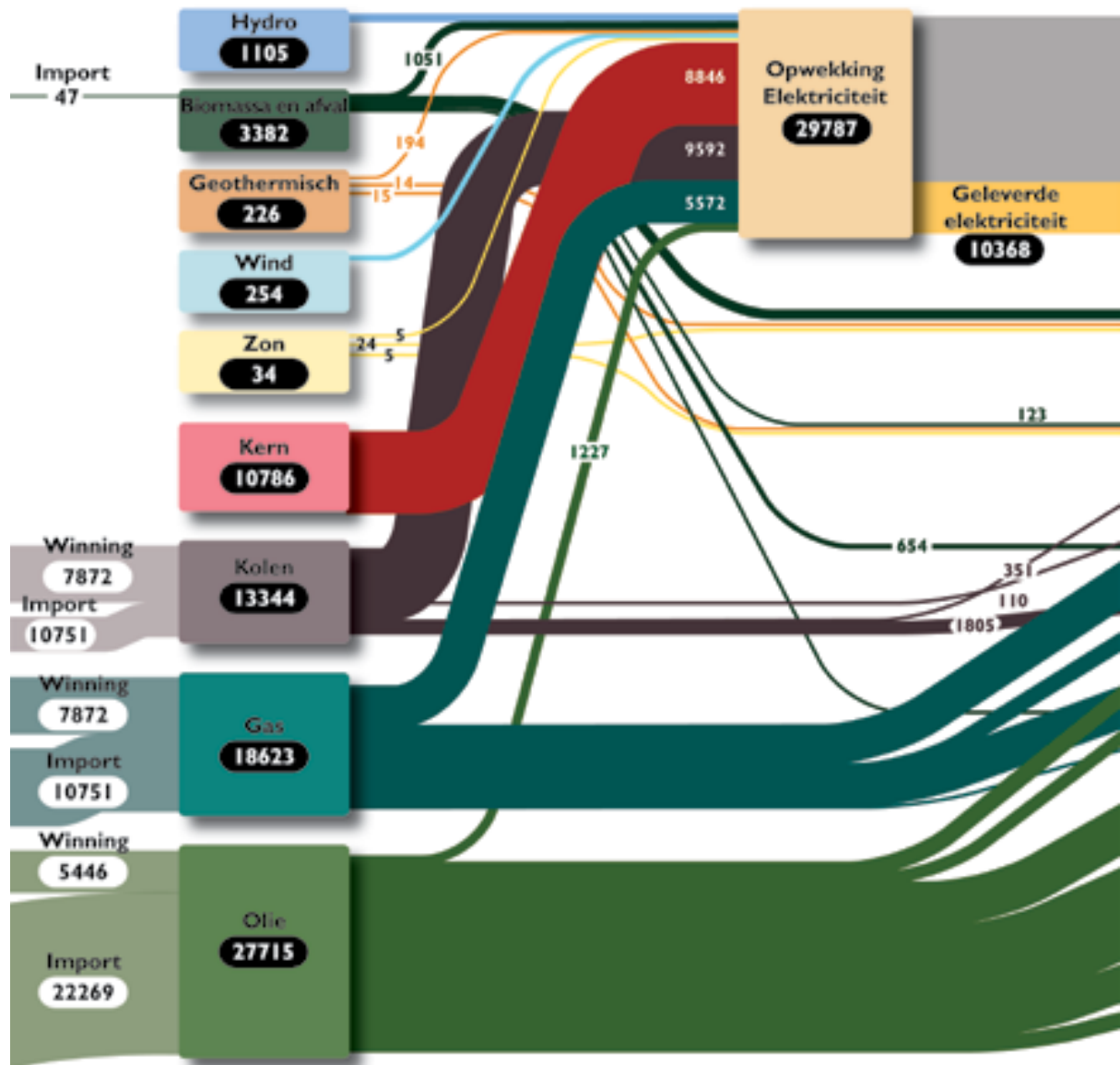
Verloren energie

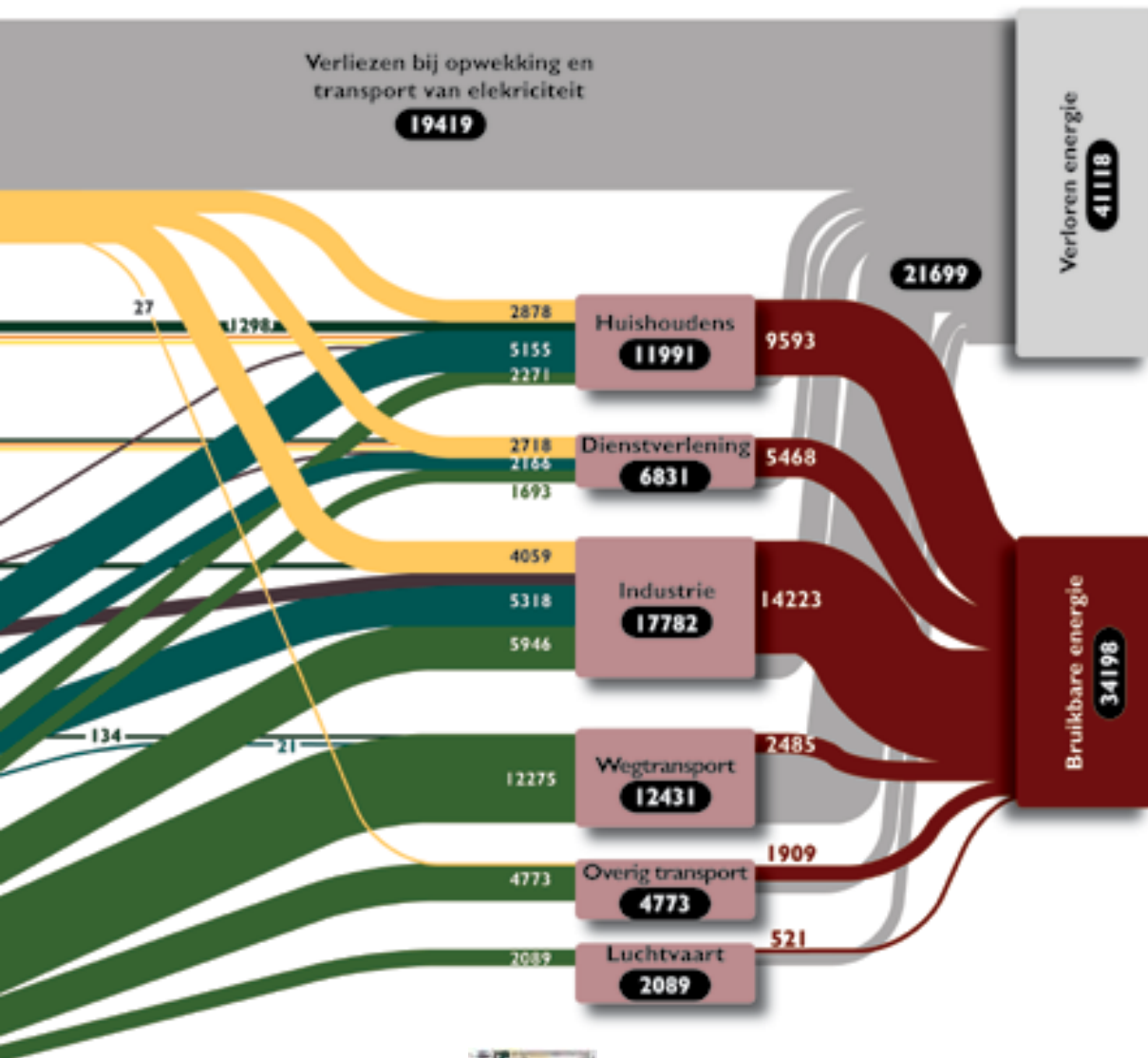
55734

29208



Stroomschema Energie USA

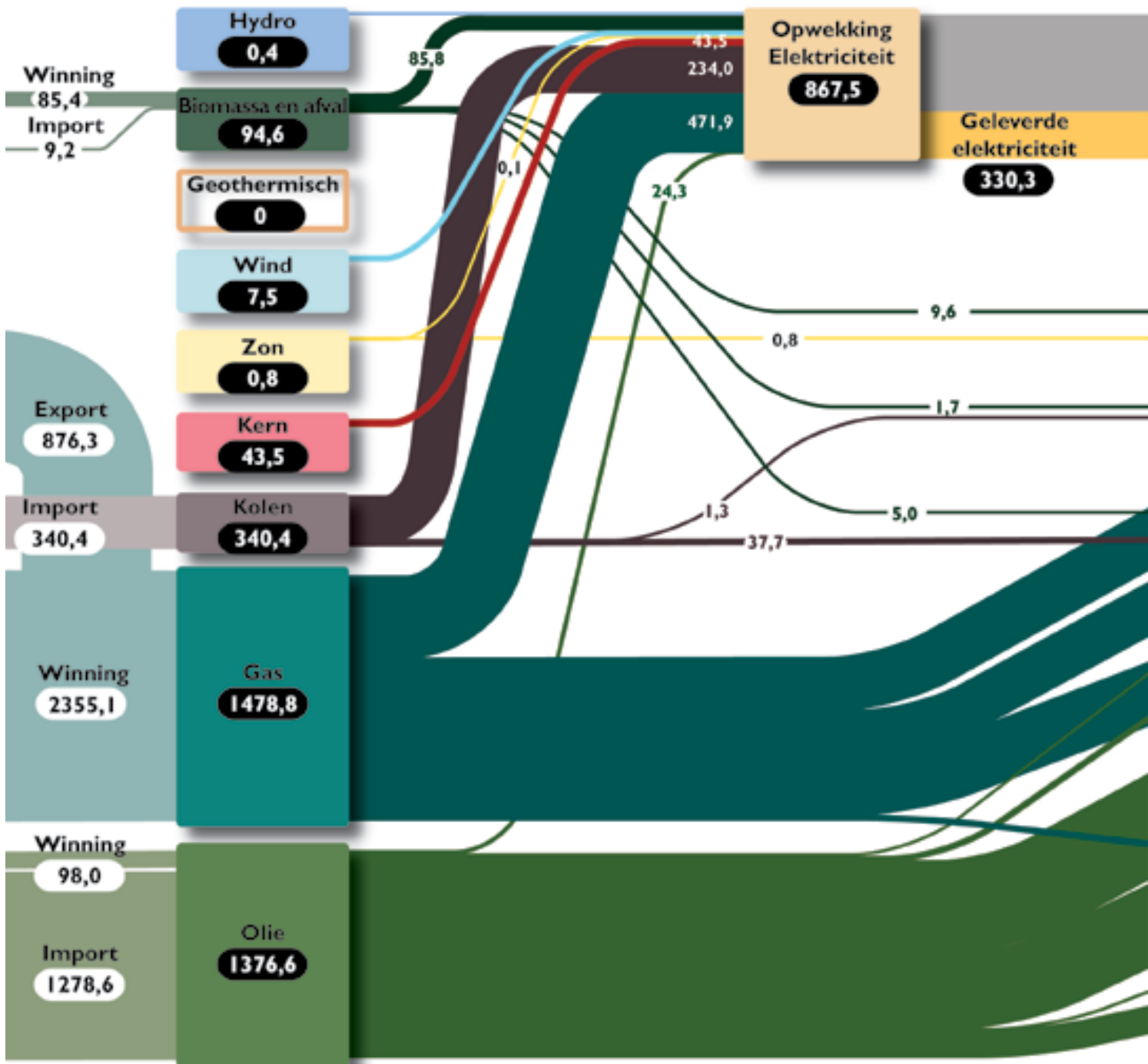


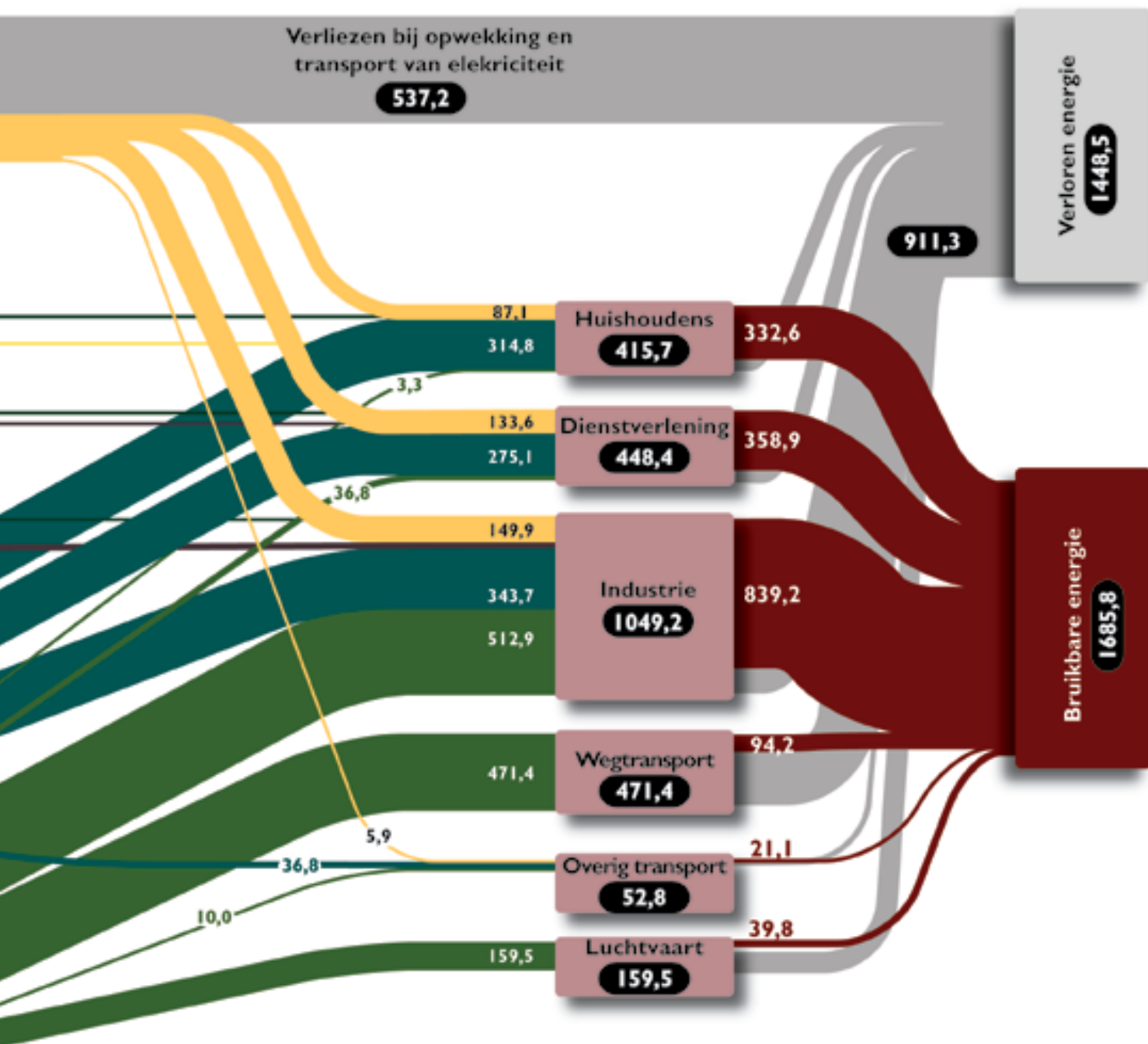


Nederland op schaal:

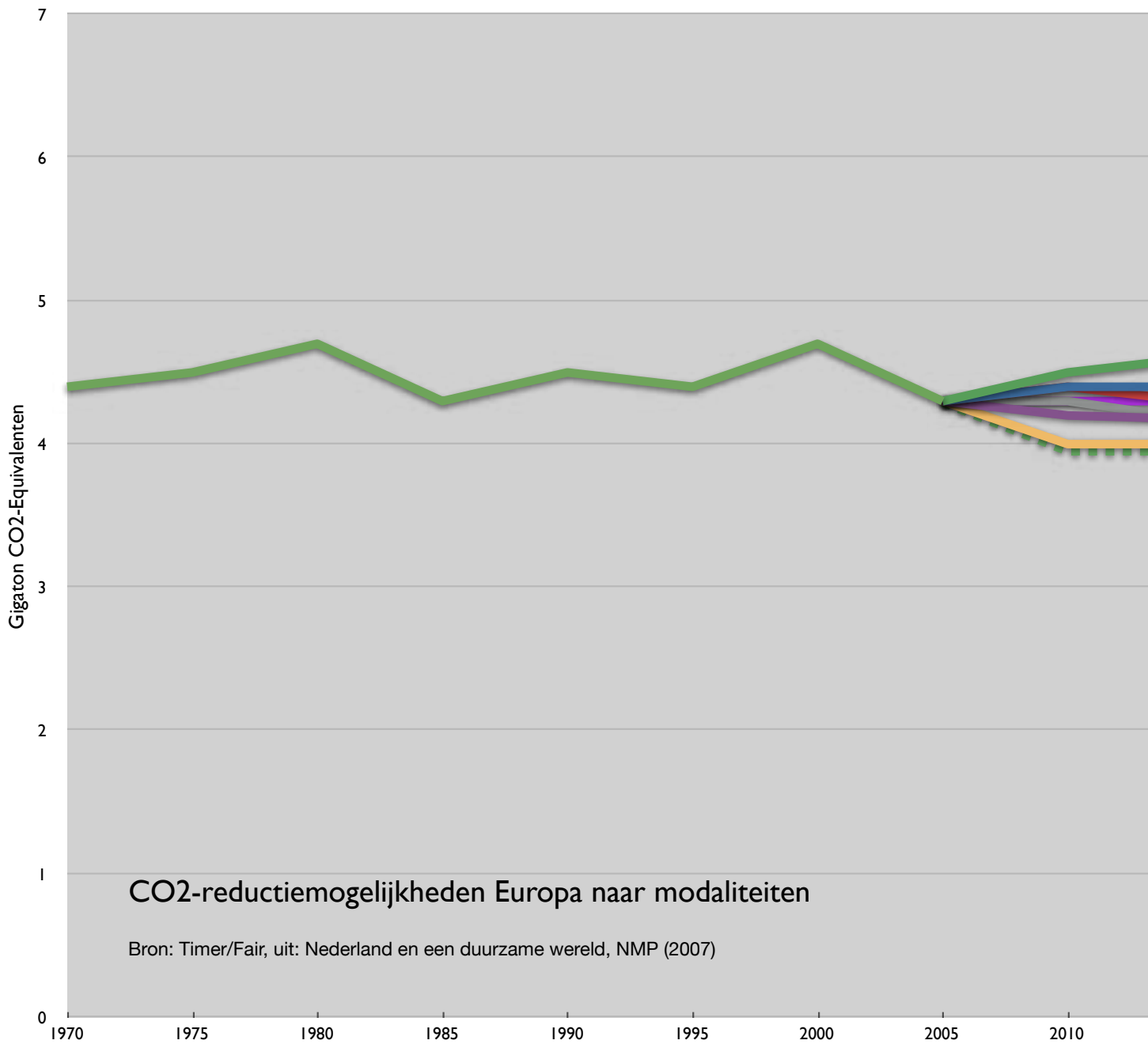


Stroomschema Energie Europa



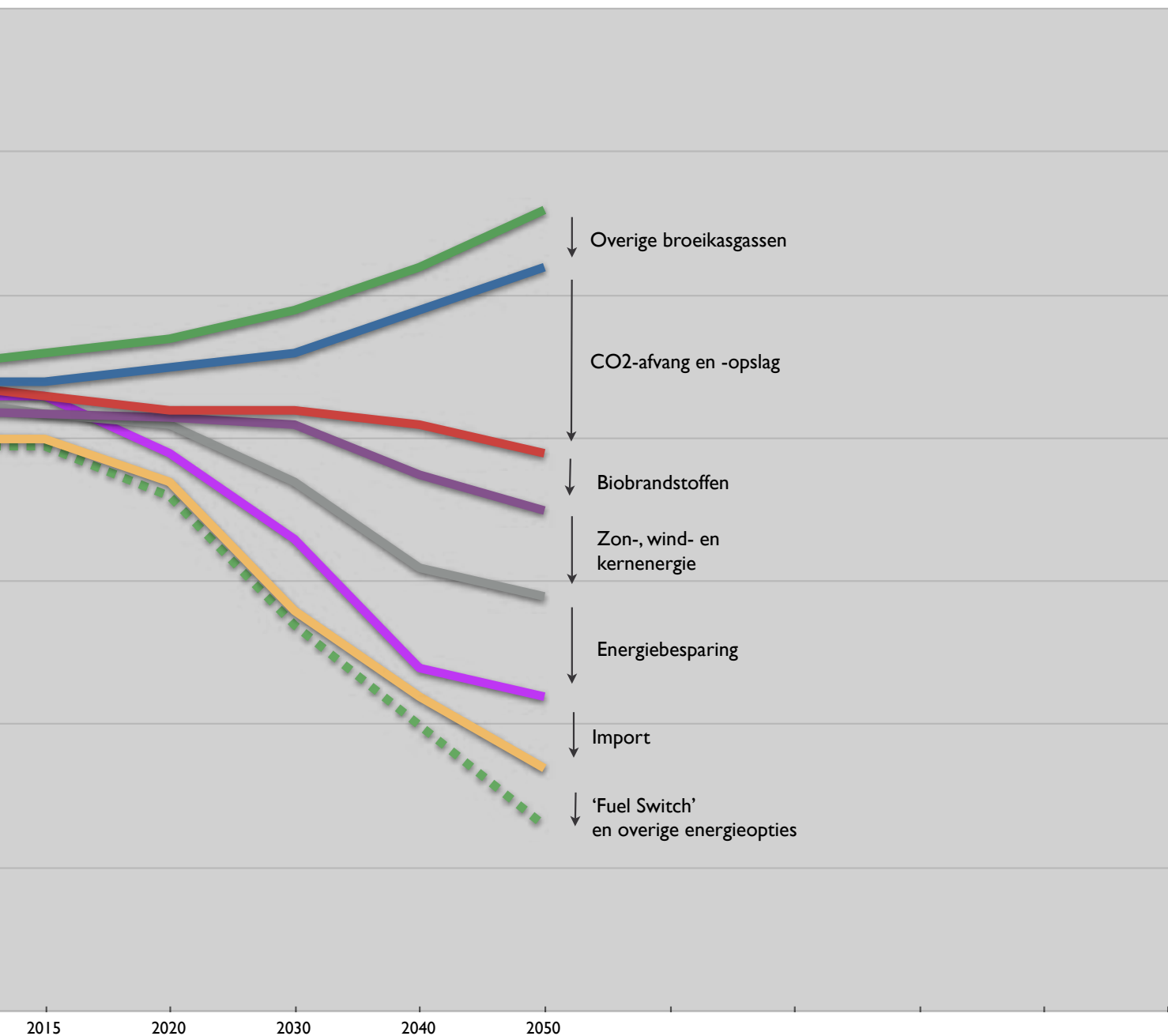


Stroomschema Energie Nederland



CO2-reductiemogelijkheden Europa naar modaliteiten

Bron: Timer/Fair, uit: Nederland en een duurzame wereld, NMP (2007)



1.2×10^{44} J, the estimated energy released in a supernova



ruimtebeslag
per modaliteit



A close-up photograph of a piece of dark brown, textured bark, likely from a tree. The bark has a rough, cracked, and layered appearance. The word "Bruinkool" is overlaid in the center in a large, white, sans-serif font. The background is a plain, light gray surface.

Bruinkool

100m



Bruinkool is een fossiele brandstof bestaande uit voormalig plantenresten die in diepe aardlagen tot bruinkool zijn omgezet. Deze omzetting vond plaats door langdurige blootstelling aan hoge druk en temperatuur. Plantenresten transformeerden daarbij van veen in bruinkool. Duurt dit proces langer dan ontstaat steenkool en uiteindelijk antraciet en grafiet. Bruinkool bevindt zich in winbare hoeveelheden op een diepte van 100 tot 500 m onder het aardoppervlak en wordt daarom in dagbouw gewonnen. Dit is weliswaar een eenvoudigere operatie dan de winning van de doorgaans dieper gelegen steenkool met schachtbouw, maar het heeft ook veel grotere consequenties voor milieu en landschap. Om dagbouwgroeves droog te houden moet het grondwater volledig worden weggepompt. De onttrekking van water aan het gebied rond de dagbouwgroeves zorgt voor ingrijpende verdroging van landbouw- en natuurgebieden. Wanneer na de winning de grondwaterspiegel weer wordt hersteld is een waterkwaliteit met een extreme hoge zuurgraad in het achterblijvende meer vaak het gevolg. Het landschap wordt hiermee permanent beschadigd. Regelmatig moeten hele dorpen wijken voor de oprukkende bruinkoolwinning. Het Zweedse bedrijf Vattenfall exploiteert nu de groeves in Duitsland. De grootste ligt net over de grens in de richting Aken.

Het ruimtebeslag van de bruinkoolmijnen is enorm: om evenveel energie te produceren als 1.500 MW aan windmolens doen is jaarlijks een areaal van ca. 400 ha. nodig. Dit oppervlak is gebaseerd op de afmetingen van de Duitse bruinkoolmijnen en energiecentrales bij het Garzweiler. (Het is ook het areaal dat is geprojecteerd in de Wieringermeer. Elk jaar zou de put dus met deze oppervlakte toenemen!). Deze pagina's laten zien dat het landschap hier en rond andere Duitse wingebieden van bruinkool in de afgelopen decennia een ongekende metamorfose heeft ondergaan. Doordat de energiecentrales in de bruinkoolketen doorgaans dicht bij de groeves zijn geplaatst neemt het transport van bruinkool relatief weinig ruimte in beslag. Er kan gesproken worden van een sterk geconcentreerde energieproductie; alles op één plek. Het gevolg hiervan is wel dat de distributie van geproduceerde elektriciteit via hoogspanningsleidingen vervolgens weer veel ruimte in beslag neemt. Niet alleen de winning kent negatieve milieueffecten. Ook bij het verbranden van bruinkool komen grote hoeveelheden CO₂ vrij. Alleen steenkool en olie scoren op dit punt slechter.





2.7×10^{33} J, the Earth's kinetic energy in its orbit



Bron



Exploitatiepunt



Bruinkool bagger



Transport naar de centrale





Centrale



Hergebruik: cultuur



Effect: CO₂-uitstoot



Effect: Zuur water meren



Afbreken installatie



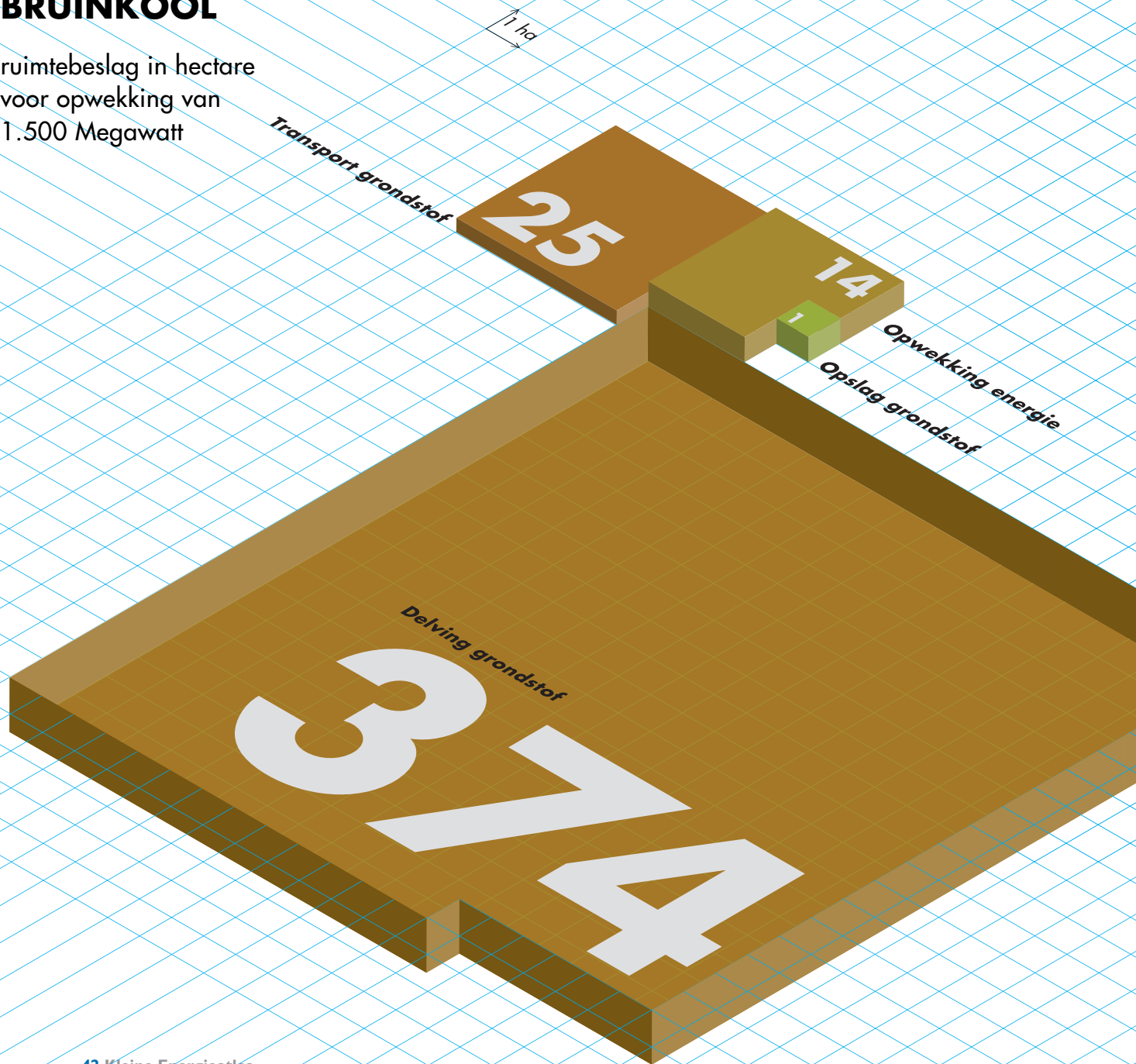
Effect: Oude put



Effect: verdwenen dorpen

BRUINKOOL

ruimtebeslag in hectare
voor opwekking van
1.500 Megawatt



CO₂-uitstoot in hm³
voor opwekking van
1.500 Megawatt

*Opslag afvalproducten
niet van toepassing*

zonder....



....met







Steenkool

100m

Steenkool is de op bruinkool volgende fase in het transformatieproces van plantenresten naar grafiet. Steenkool is een relatief goedkope bandstof die in grote afzettingen wereldwijd verbreid te vinden is en dus een belangrijke energiebron voor industriële processen en elektriciteitscentrales vormt. Ook wordt steenkool na ontgassing als cokes gebruikt in hoogovens als koolstof- en energiebron bij de productie van ijzer. Een nadeel van steenkool is dat er bij de verbranding ervan veel meer koolstofdioxide vrijkomt dan bij de verbranding van aardolie of aardgas en dat het vaak vrij sterk verontreinigd is met zwavel waardoor bij de verbranding ook het schadelijke zwaveldioxide als bijproduct ontstaat. Steenkool wordt daarom in Nederland minder vaak gebruikt als brandstof voor elektriciteitscentrales dan bijvoorbeeld aardgas. De steenkoolwinning in Nederland vond plaats in Limburg. Naast particuliere mijnen ontstonden de staatsmijnen Wilhelmina, Emma, Hendrik en Maurits. Onder het kabinet Den Uyl is in 1974 aan deze steenkoolwinning door de staat een einde gekomen. Het winnen van steenkool gebeurt zowel in dagbouw als in schachtbouw. Bij de vroegere winning in Nederland en het Verenigd Koninkrijk werd vooral schachtbouw. Maar de circa 57% van de uit Zuid-Afrika, Colombia en Indonesië geïmporteerde en door Nederland verstookte steenkool wordt vooral gewonnen in dagbouw. In de ruimtelijke effecten is dan ook gerekend met deze verhouding tussen schacht- en dagbouw. Door andere winningstechnieken is het ruimtebeslag van steenkoolwinning circa twee keer zo groot als het ruimtebeslag van bruinkoolmijnen. De

arbeidsomstandigheden in deze landen zijn doorgaans uitermate slecht. Dit verklaart voor een belangrijk deel de lage prijs van steenkool.

De uitstoot van rookgassen van deze wijze van elektriciteitsproductie is groot. Er wordt gestudeerd op mogelijkheden om de centrale opwekking in grotere kolencentrales te verbinden met het afvangen van de uitgestoten CO₂. Deze technologie wordt wel 'schoon fossiel' genoemd maar is nog niet operationeel. Op mogelijke milieueffecten of risico's is nog onvoldoende zicht. Het technisch afgescheiden CO₂ kan worden opgeslagen in lege gasvelden en watervoerende lagen. Nederland zou door zijn combinatie van beschikbare koelcapaciteit en lege aardgasvelden hierin een bijzondere rol kunnen spelen. Omdat bij verbranding niet alle SO₂ kan worden afgevangen hebben we voor het landschappelijk gezicht bij deze modaliteit gekozen voor het detail: een boombast met en zonder empiristische kostmossen die erg gevoelig zijn voor deze luchtverontreiniging.

Nederland is tegenwoordig vooral doorvoer- en overslagland voor kolen. Kolen vanuit de hele wereld worden in de Rotterdamse haven overgeslagen op de binnenvaartschepen en treinen, die onder andere het Ruhrgebied als bestemming hebben. Een deel van die immense doorvoer wordt afgetapt voor onze eigen elektriciteitsproductie die nog voor ca. 30% afhankelijk is van kolen.

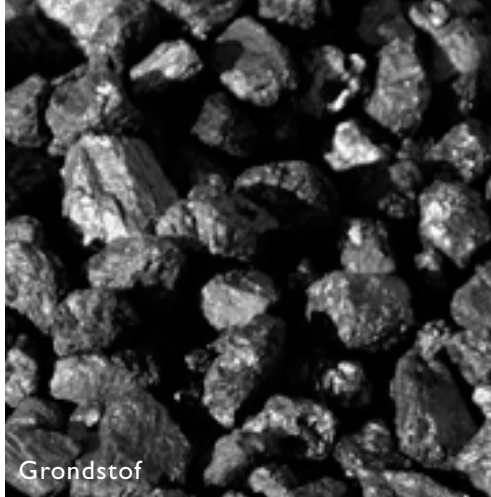




5.5×10^{24} J, the total energy from the Sun that strikes the face of the Earth each year



Bron



Grondstof



Dagbouw



Dagbouwgraafmachines



Mijnwerkers



Opslag





Transport naar centrale



Transport naar centrale



Opwekking



Luchtverontreiniging



Effect: Mijnsteenbergen

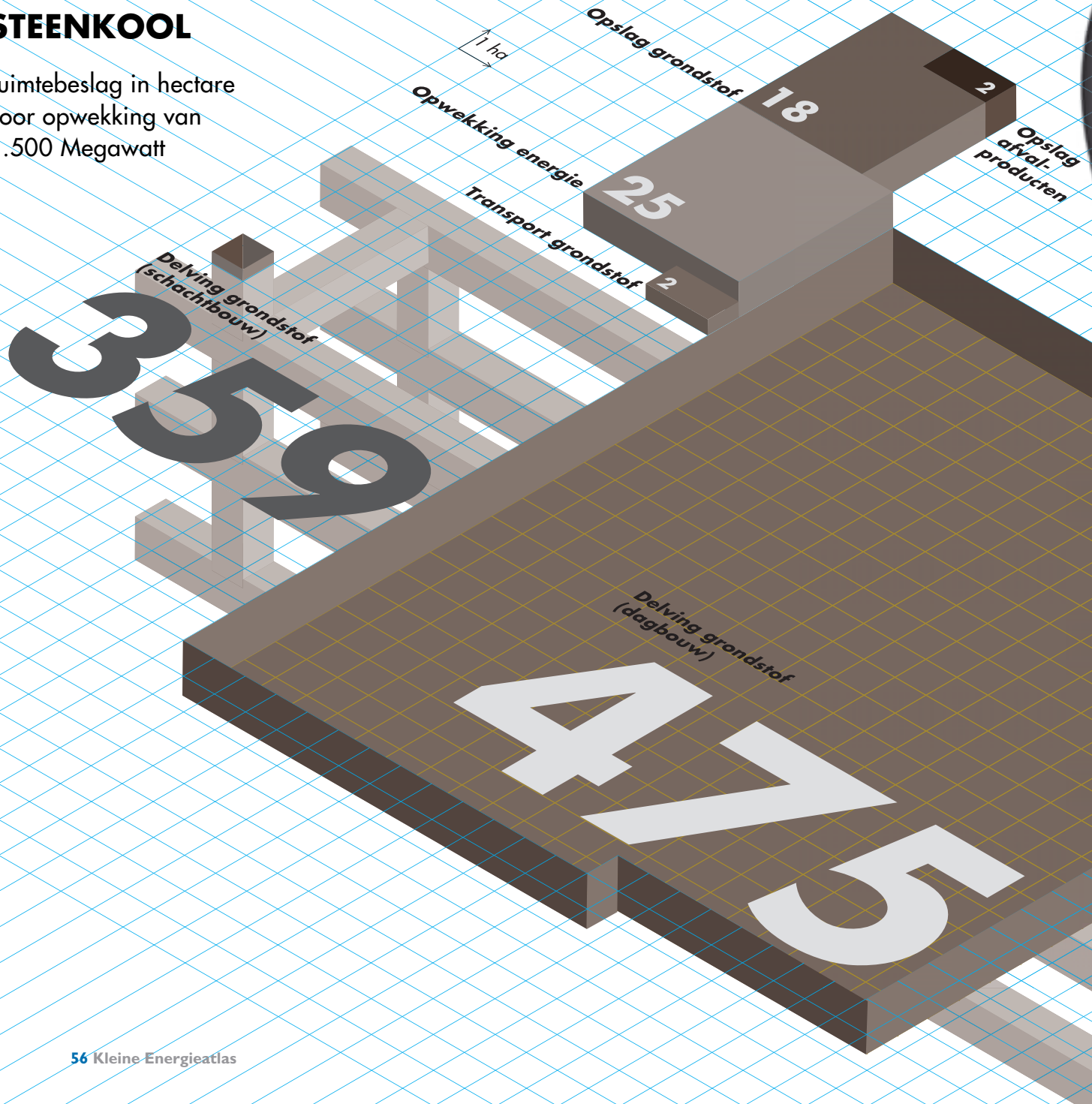


Opwekking: Koeltorens



STEENKOOL

ruimtebeslag in hectare
voor opwekking van
1.500 Megawatt



CO₂-uitstoot in hm³
voor opwekking van
1.500 Megawatt

zonder....





....met







Olie

100m



Aardolie is eveneens een fossiele brandstof, bestaande uit ketens van koolwaterstoffen. Deze zijn ontstaan uit sedimenten van diatomeeën die dus rijk zijn aan organisch materiaal die in het verleden zijn gevormd en vervolgens onder invloed van de afzetting van nieuwe sedimentpakketten zijn getransformeerd. Door de hoge druk en warmte ontstaan uit de organische bronlagen belletjes olie. Deze olie is lichter dan grondwater en beweegt zich daardoor omhoog. Het zoekt zo een weg naar een hoger gelegen reservoirgesteente waar het zich ophoopt en aangeboord kan worden. Aardolie vertegenwoordigt de zwaardere fractie van organische producten uit het proces dat vaak ook aardgas produceert. Waar aardolie wordt gevonden, bevindt zich vaak ook een aardgasbel.

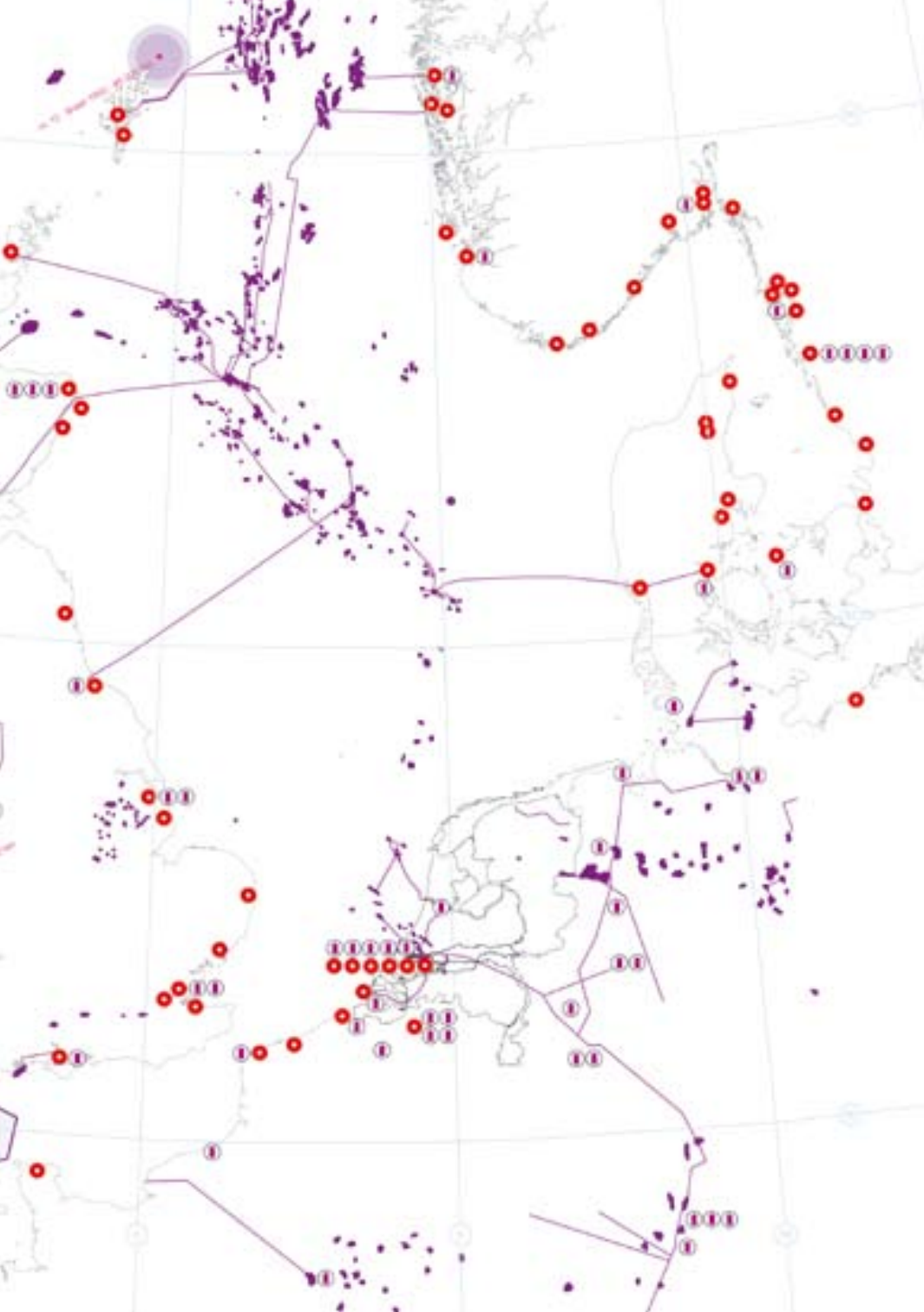
De olievoorraad is niet gelijk over de wereld verdeeld: 62% van de wereldvoorraad aardolie bevindt zich in het Midden-Oosten. Saoedi-Arabië heeft de grootste voorraad, gevolgd door Irak, Iran, Koeweit en de Verenigde Arabische Emiraten. Ook landen als Rusland, Venezuela en Nigeria hebben grote voorraden aardolie. In Europa wordt aardolie onder andere gevonden in en rond de Noordzee.

Op sommige plekken is de druk in het reservoir zo hoog dat bij het door een oliebooring doorbreken van het afsluitingsgesteente de olie vanzelf uit de grond spuit. Op de meeste plekken moet de aardolie echter worden opgepompt. Dit wordt gedaan met pompen.

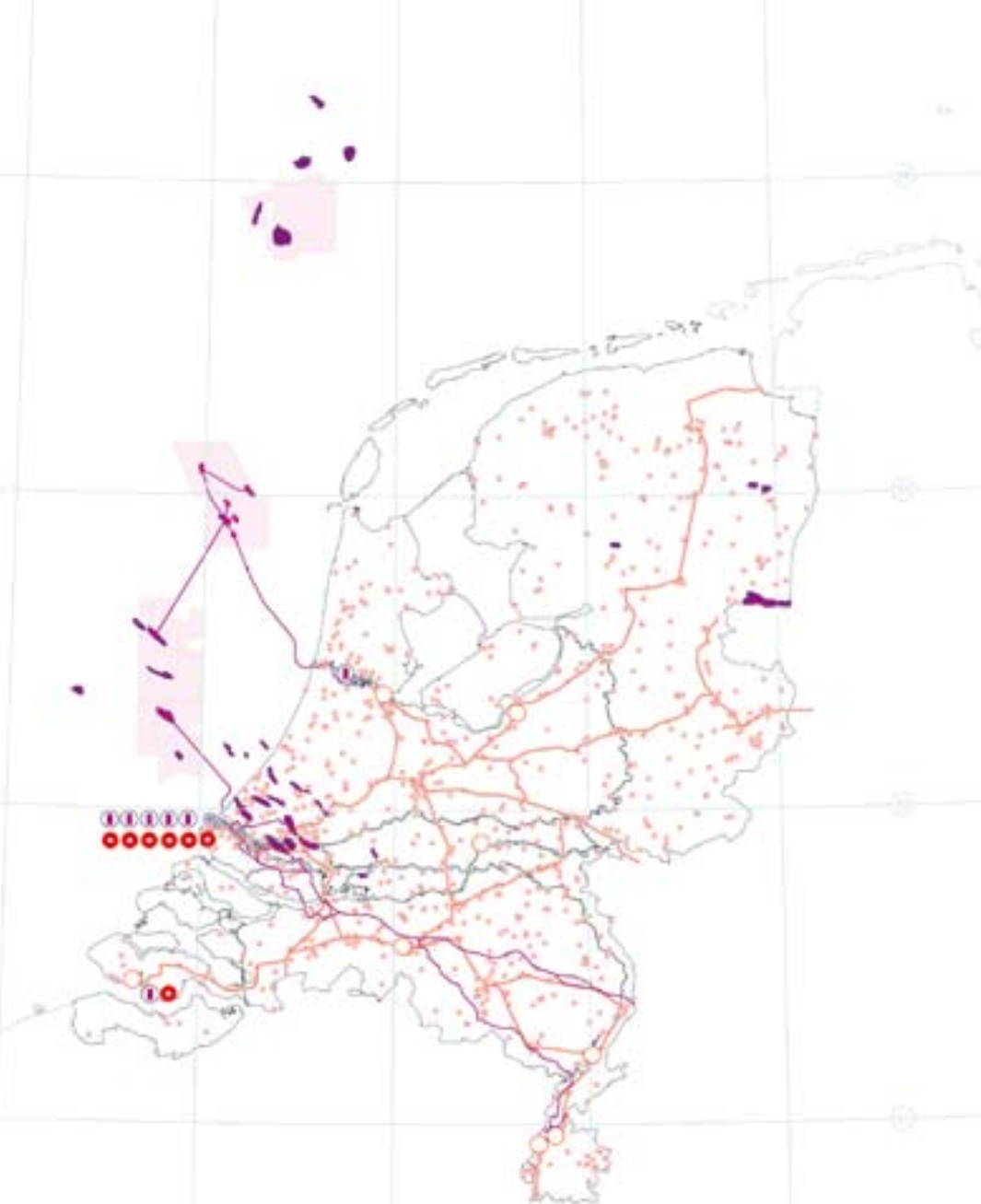
Op het land zijn dit de beeldbepalende jaknikkers. Doordat olie vrijwel uitsluitend uit de diepe ondergrond gewonnen wordt is er slechts sprake van een zeer beperkt ruimtegebruik op het aardoppervlak. Van alle in deze atlas vergeleken modaliteiten van elektriciteitsopwekking neemt olie de minste ruimte in beslag. Hierbij zijn echter de incidentele milieurampen en structurele lekken die de winning en het transport van olie van tijd tot tijd veroorzaken niet meegeteld. Zouden de vele honderden kilometers aan verontreinigde kustlijnen en de hectaren aan verontreinigde natuurgebieden worden meegeteld, dan is de ruimteclaim vele malen groter dan de nu berekende 30 ha.

Olie speelt in Nederland een bescheiden rol voor de electriciteitsproductie (2,5%). Het kostbare zwarte goud wordt gelukkig vooral benut als grondstof in de petrochemische industrie.









3.9×10^{22} J, the estimated energy contained in the world's fossil fuel reserves



Bron



Winning: Boorplatform



Giant



Winning:



Winning: Jaknikkers



Olieveld



Opslag



Transport



Raffinage



Slopen platform



Sloep olietankers



Risico: Calamiteiten met tankers



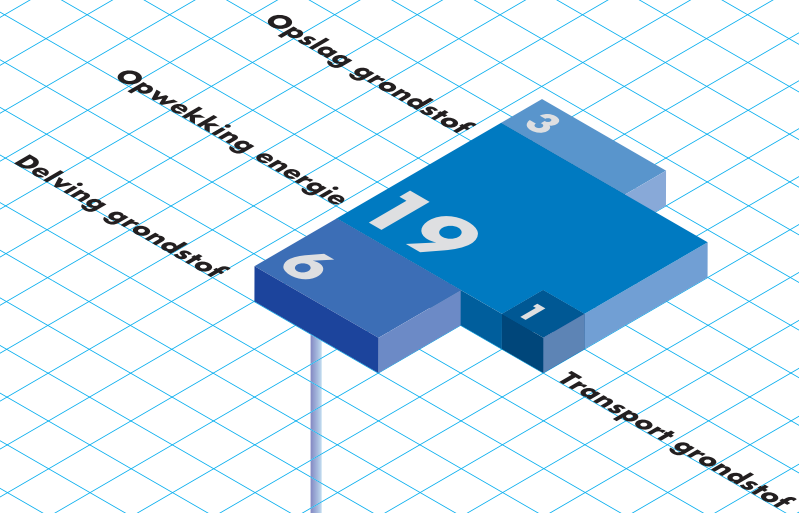
Risico: Terrorisme



Risico: Olieslachtoffers

OLIE

ruimtebeslag in hectare
voor opwekking van
1.500 Megawatt



CO₂-uitstoot in hm³
voor opwekking van
1.500 Megawatt

**Opslag afvalproducten
niet van toepassing**

met....







2.1×10^{22} J, the estimated energy contained in the world's coal reserves as of 2005



Gas

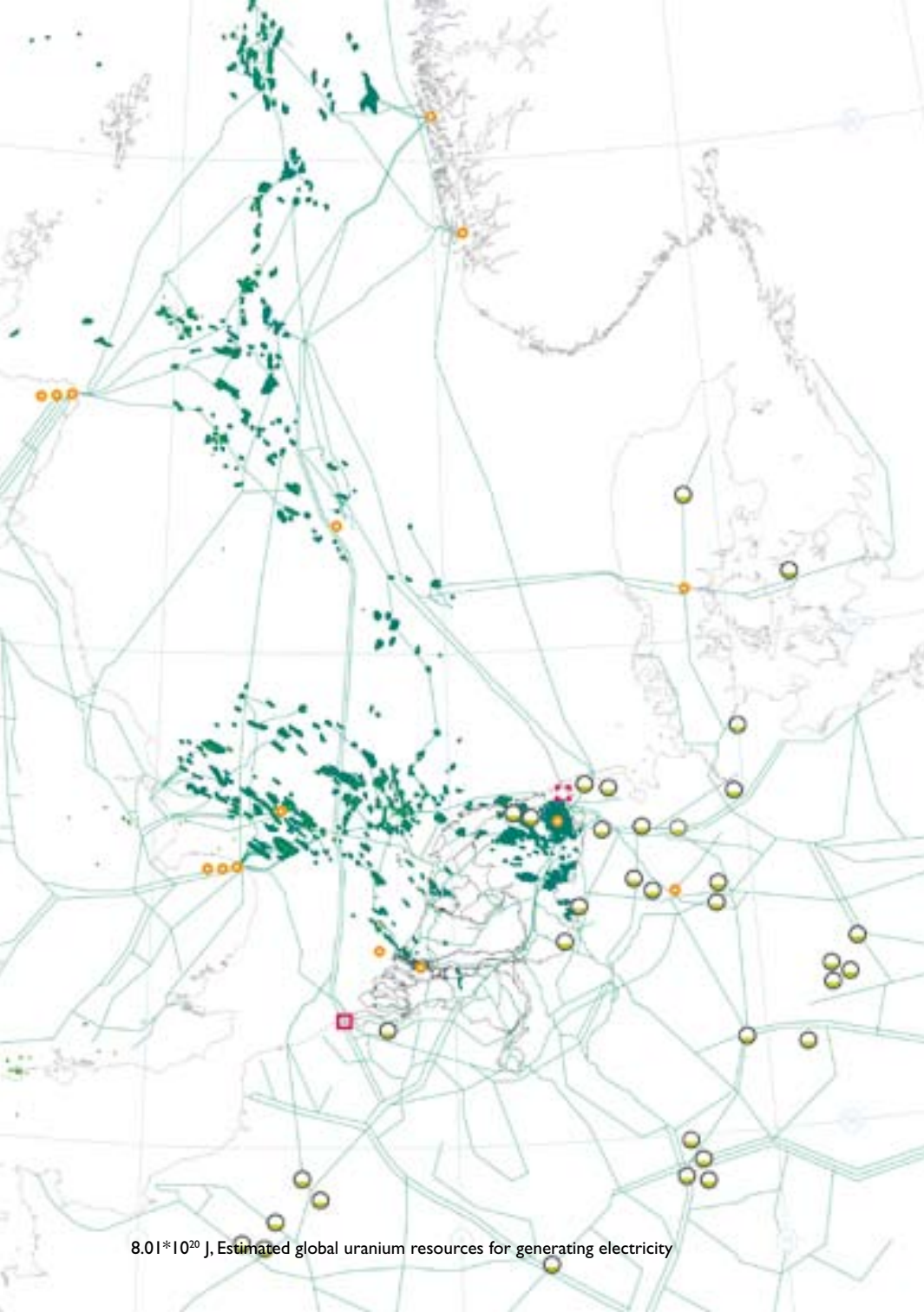
100m

Aardgas is de vierde en laatste fossiele brandstof die in deze atlas besproken wordt. Het ontstaat bij hetzelfde proces dat tot de vorming van aardolie leidt en vertegenwoordigt de lichtere fractie organische producten van dat proces. Aardgas wordt daarom vaak samen met aardolie gevonden, hoewel soms het gas kans ziet in andere aardlagen door te dringen dan de veel zwaardere olie en er zo een scheiding kan zijn ontstaan.

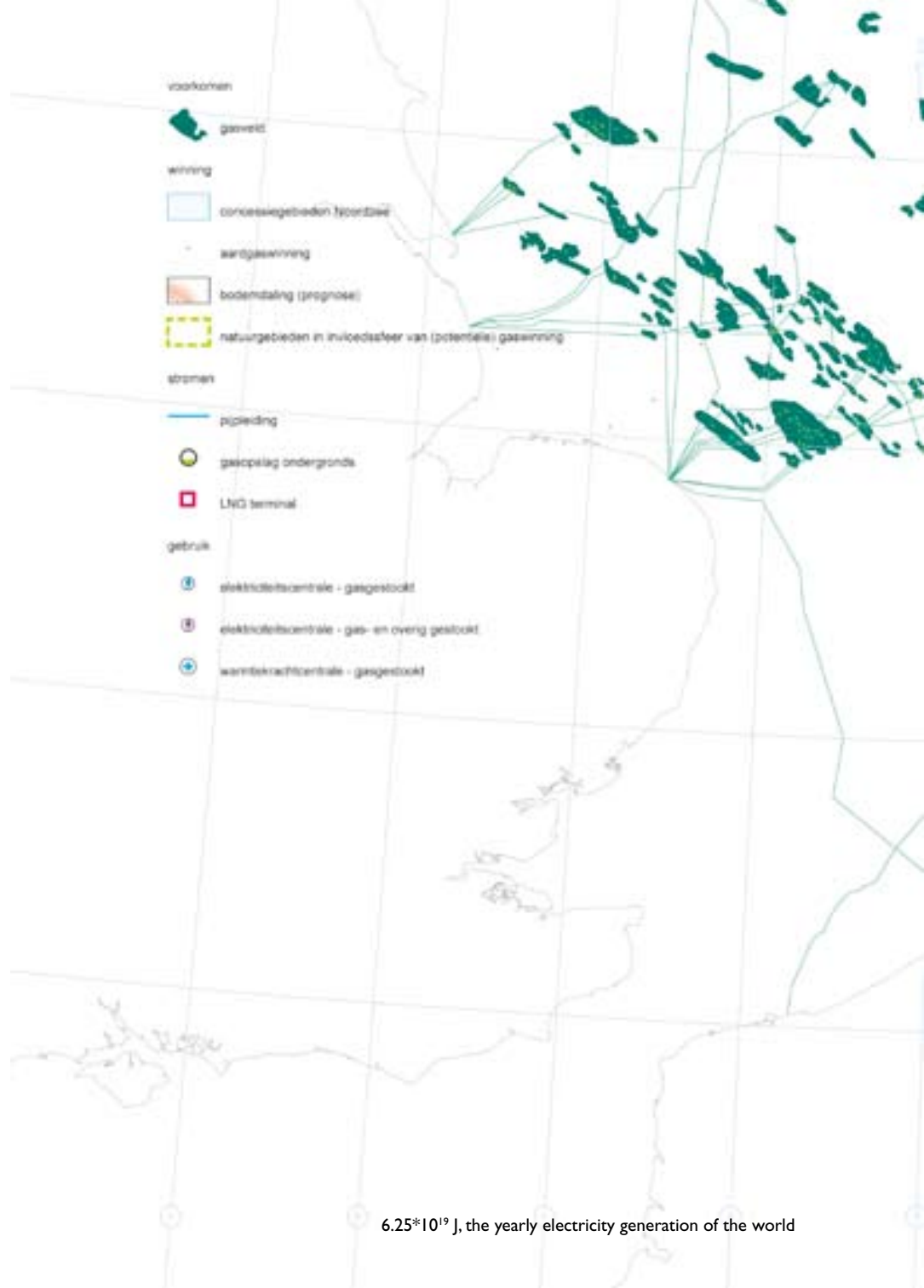
In Europa wordt aardgas vooral in en rond de Noordzee aangetroffen onder andere onder het noorden van Nederland. Bekend is de 'aardgasbel' onder het Groningse Slochteren. In het verleden is aardgas vaak als een afvalproduct beschouwd van oliewinning en eenvoudigweg afgefakkeld. Ook nu gebeurt dit nog wel als de exploitatie van het aangetroffen gas om transporttechnische redenen niet rendabel is. Dit is milieukundig gezien erg jammer omdat aardgas de 'schoonste' van de fossiele brandstoffen is. Affakkelen is echter wel beter dan het methaan simpelweg laten ontsnappen naar de atmosfeer omdat de bijdrage aan het broeikaseffect van methaan ca. 21 maal hoger is dan koolstofdioxide. Methaan levert bij verbranding dubbel zoveel water als koolstofdioxide terwijl bijvoorbeeld steenkool voornamelijk naar koolstofdioxide

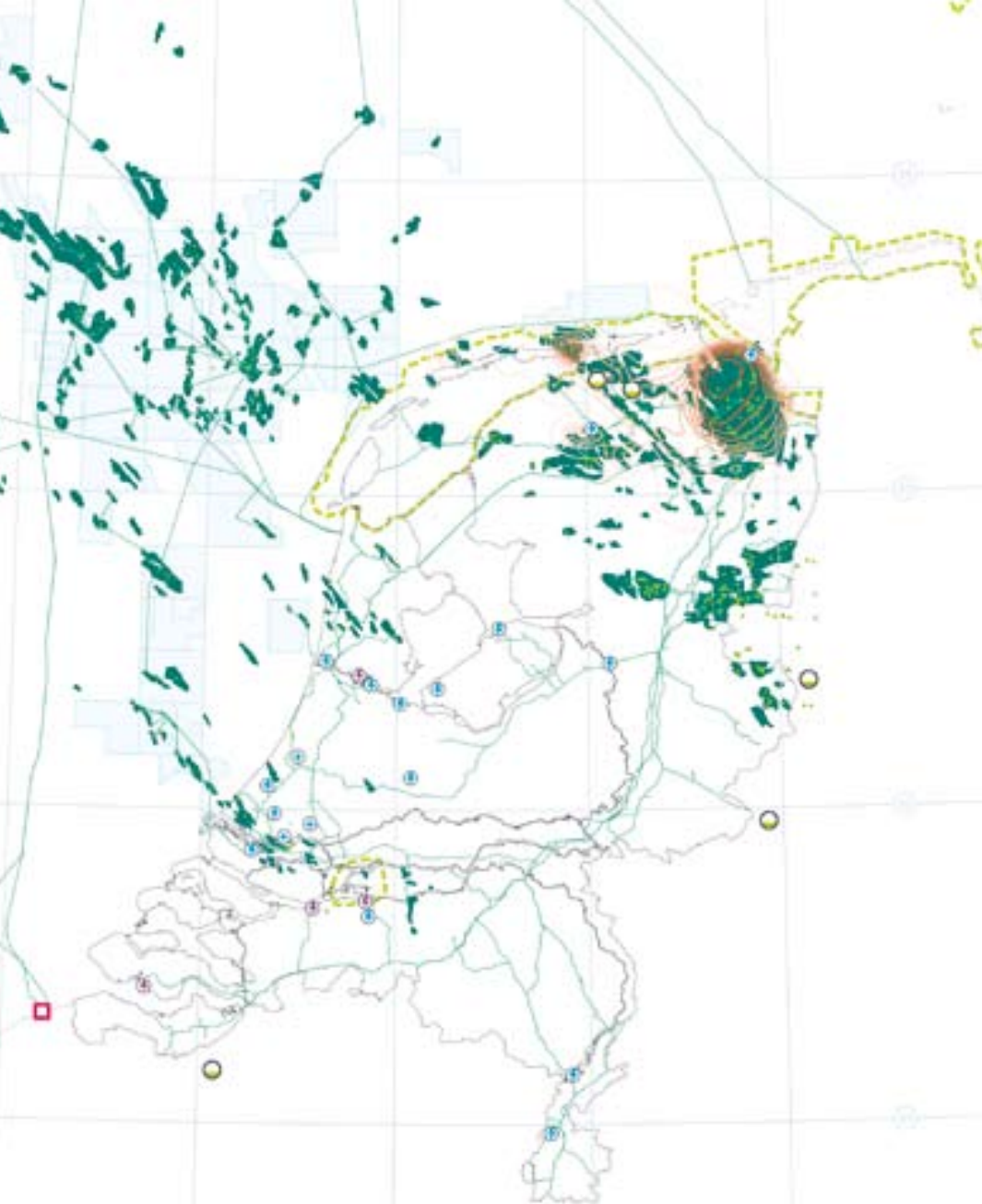
omgezet wordt. Bovendien geeft aardgas vrijwel geen roet of as. Aardgas wordt dan ook wel het fossiele tussensation naar het post fossiele tijdperk genoemd. Ook het ruimtebeslag van de elektriciteitsopwekking middels aardgas lijkt erg klein. Voor het jaarlijks produceren van 3387 GWh aan elektrische energie is minder dan 70 hectare aan ruimte nodig. Bovendien gaat het transport van aardgas via buisleidingen onder de grond. Het is echter juist dit transport en de risico's die dit met zich meebrengt dat indirect een enorm beslag op de ruimte legt. Doordat langs de transportbuizen een veiligheidszone van 50 meter breed wordt gehanteerd legt het aardgasnetwerk voor de hierboven genoemde productie indirect een beslag op de ruimte van meer dan 7000 ha. In dit gebied mag bijvoorbeeld niet gebouwd worden en gelden vele andere restricties. Het ruimtegebruik van gas is daarmee onzichtbaar, maar de invloed op de ruimtelijke ontwikkeling van Nederland is groot. Het landschap met en zonder gas als elektriciteitsproducent wordt in deze paragraaf daarom verbeeld door een luchtfoto van een gasleiding onder gronddek en de duidelijk in het grondgebruik afleesbare vrijwaringzone.





$8.01 \cdot 10^{20}$ J, Estimated global uranium resources for generating electricity





5.67×10^{19} J, the yearly electricity consumption of the world



Grondstof: Gas



Drillbit



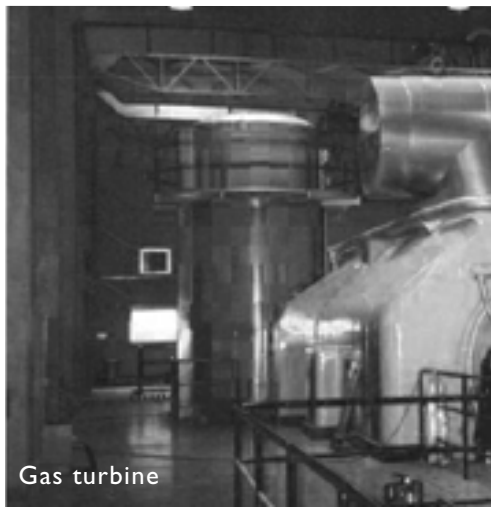
Gaswinning



Opslag



Opslag



Gas turbine





Transport



Opwekking



Transport



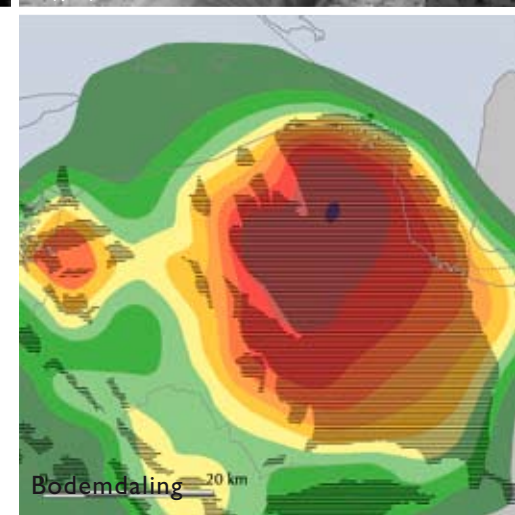
Pijplijn constructie



Calamiteit: Gasexplosie

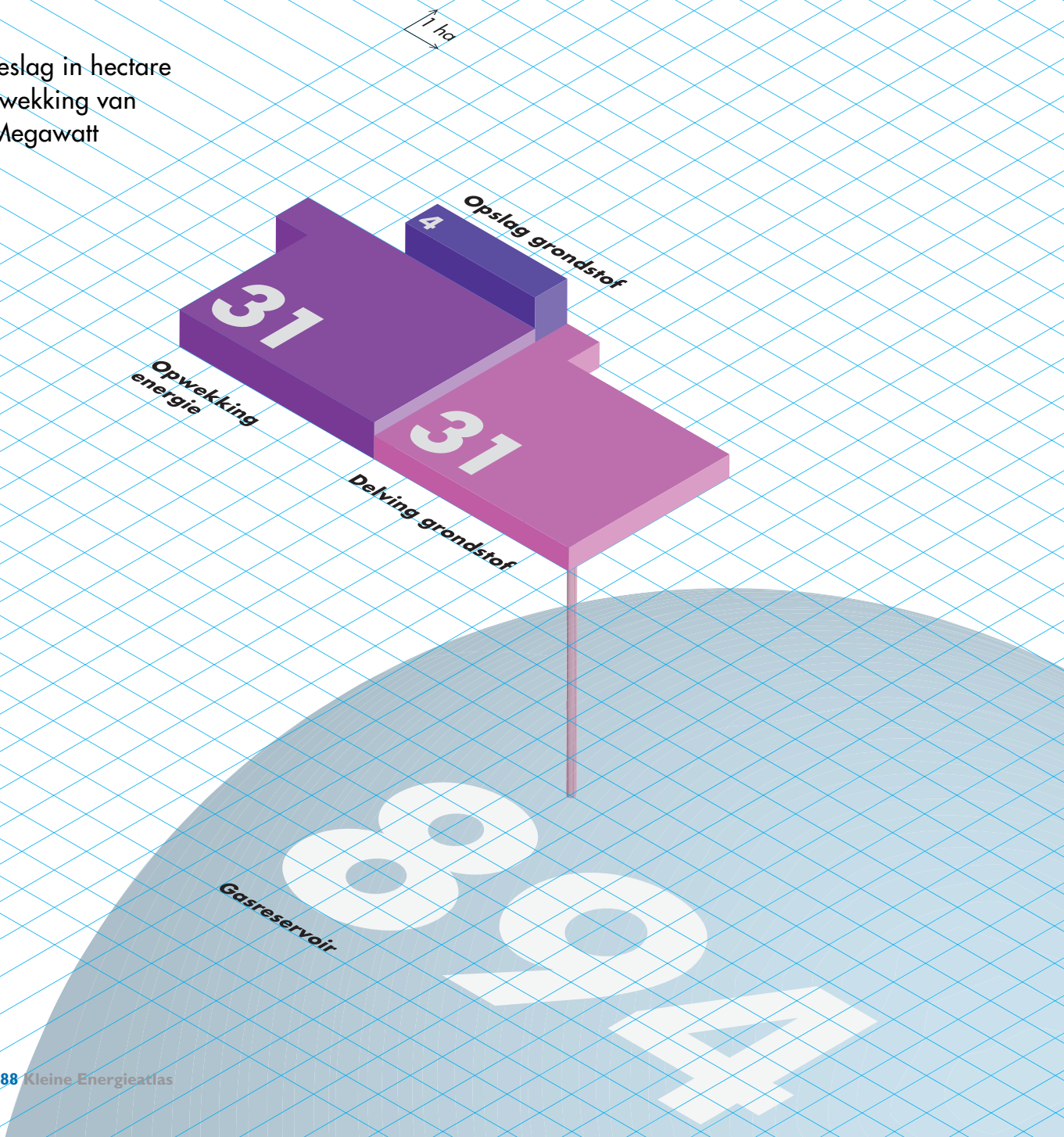


Gaspit

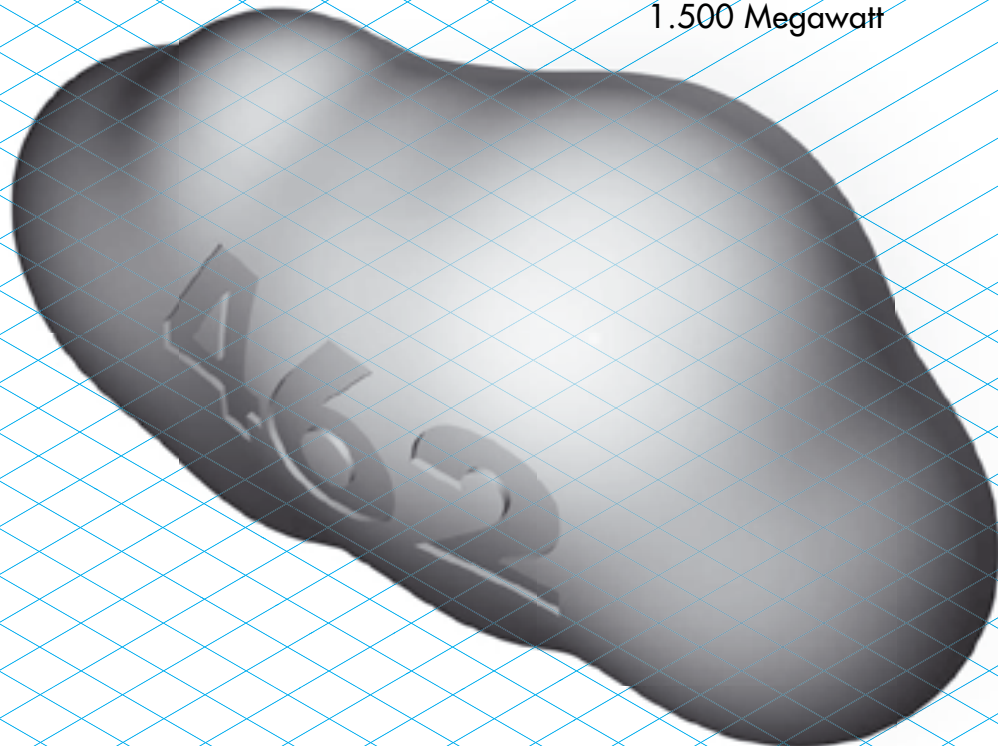


GAS

ruimtebeslag in hectare
voor opwekking van
1.500 Megawatt



CO₂-uitstoot in hm³
voor opwekking van
1.500 Megawatt

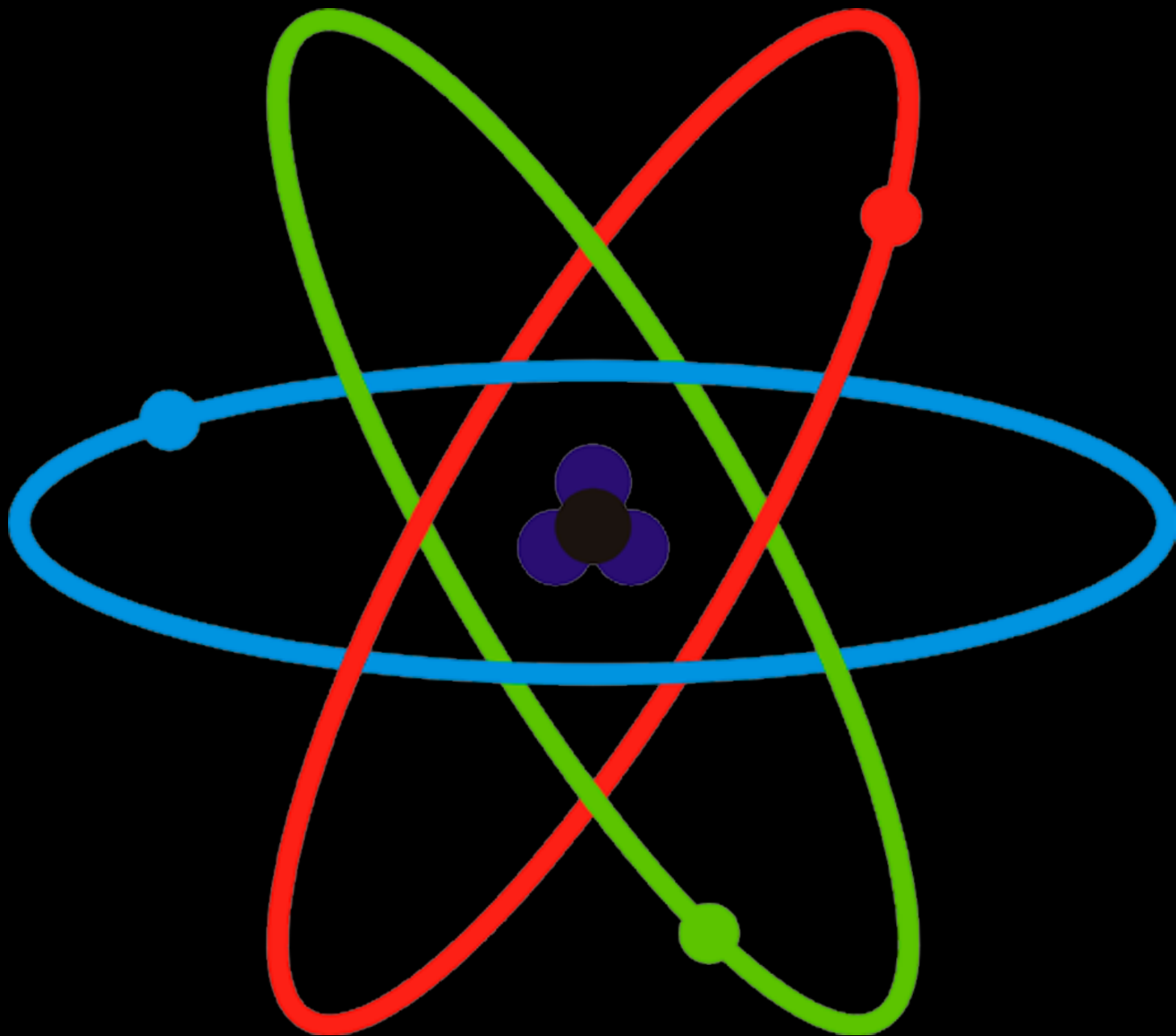


Transport grondstof
niet van toepassing
Opslag afvalproducten
niet van toepassing





1.46×10^{19} J, the yearly electricity production in the U.S.



Kernenergie

An aerial photograph of a large industrial facility, likely a power plant, situated in a rural area. The facility features several large white spherical storage tanks, numerous industrial buildings with grey roofs, and a complex network of pipes and roads. A prominent black and white scale bar is located at the top left, with the text '100m' next to it. The surrounding landscape includes green fields, a body of water on the left, and a road on the right.

100m

Kernenergie is energie opgewekt door gecontroleerde kernreacties; waarbij danwel zware atoomkernen worden gespleten waarbij zeer veel energie vrijkomt dan wel lichte kernen worden gefuseerd waarbij ook energie vrijkomt. Deze laatste weg, kernfusie, waarbij de processen in de zon worden geïmiteerd, is nog (verre) toekomstmuziek. Kernenergie komt beschikbaar in de vorm van warmte, die in een kerncentrale op een conventionele manier (via stoom, turbines en generatoren) in elektriciteit wordt omgezet. De 'brandstof' voor deze kernreacties is uranium, of thorium dat onder andere in Australië en Canada wordt gewonnen. Winning van uranium vindt voor het grootste deel plaats in dagbouwgroeves. Doordat per hoeveelheid uranium veel meer energie opgewekt kan worden dan bij bijvoorbeeld steenkool, is het ruimtebeslag van deze mijnen ook relatief gering. @ Het uitspoelen van het uranium uit het erts is echter een potentieel sterk milieuvervuilende aangelegenheid. Het ruimtebeslag van de kerncentrales is vergelijkbaar met die van bijvoorbeeld gasgestookte centrales, ook de om deze centrales gelegen veiligheidszone is vergelijkbaar. Kernenergie mag dan een direct bescheiden ruimtebeslag kennen er zit bij het indirecte ruimtegebruik een grote adder onder het gras; de opslag van het radioactieve afval.

Afvalproducten van kerncentrales blijven door de lange halfwaardetijd uiterst lang radioactief en moeten daardoor voor zeer lange periodes veilig opgeborgen worden. Ondanks dat de beperkte hoeveelheid van dit afval per opgewekte hoeveelheid energie heb-

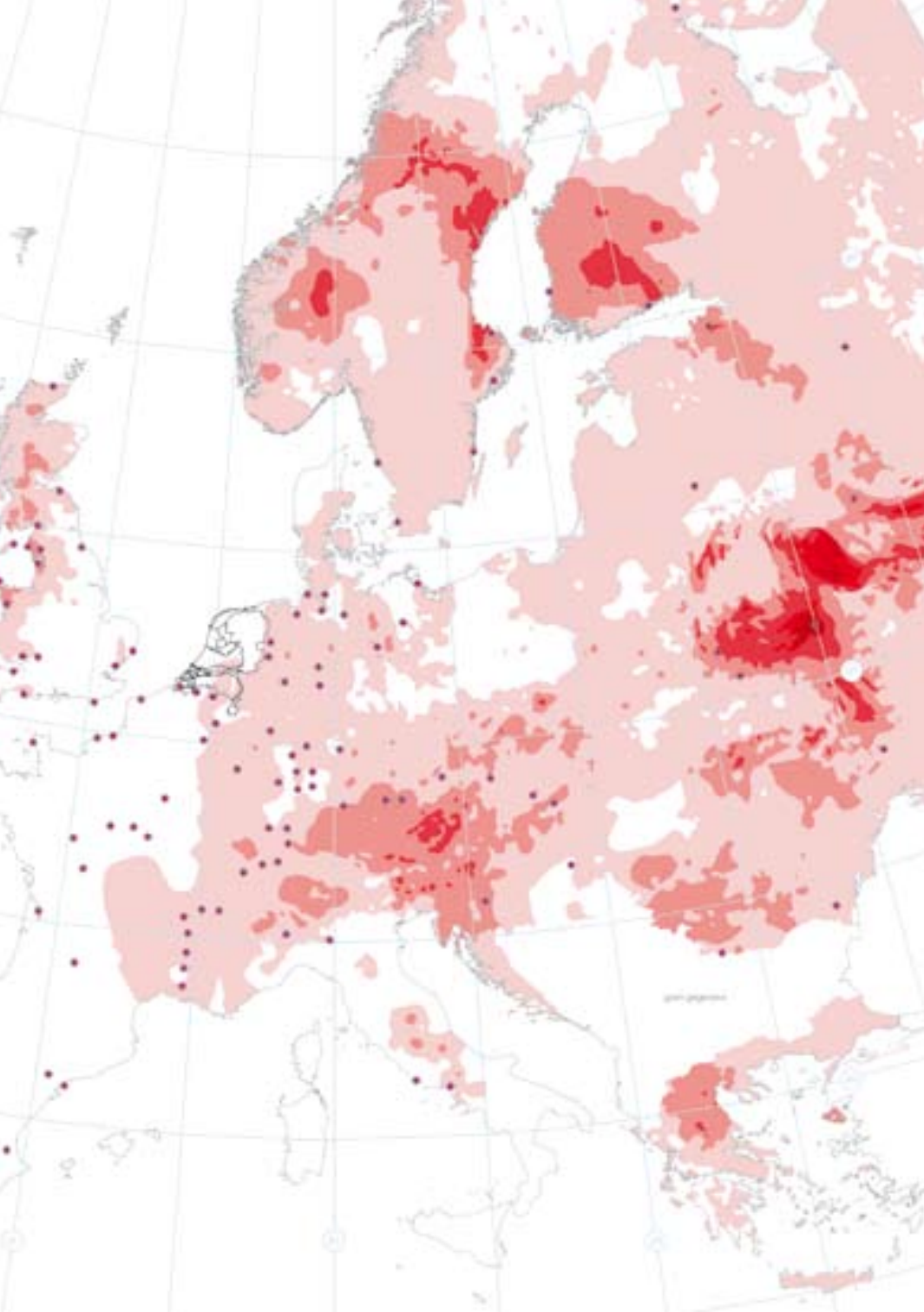
ben de opslagplaatsen voor radioactief afval (zoals bijvoorbeeld het Vlaamse Belgoprocess) toch nog een behoorlijke omvang. Daarnaast leggen deze opslagplaatsen dus voor een zeer lange tijd een claim op de ruimte. Een spectaculair voorbeeld van afwenteling van huidige problemen op volgende generaties. Bij ondergrondse opslag wordt gedacht aan zoutkoepels of andere zeer stabiele formaties in de diepere aardlagen. Een overtuigende oplossing voor dit probleem is nog niet gevonden.

Net als bij olie zijn bij de berekening van het ruimteslag van kernenergie de mogelijke calamiteiten niet meegenomen. De hier opgenomen kaart laat echter zien dat in 1986 een groot deel van Europa radioactief besmet is. Oorzaak was de ramp met de kerncentrale in Tsjernobyl (Oekraïne). Enorme arealen landbouwgewassen konden lange tijd niet gebruikt worden, om nog maar te zwijgen van de dramatische gevolgen voor de directe omgeving van de reactor.

Nederland kent één echte kerncentrale in Borssele. Daarnaast zijn er enkele kleine onderzoeksreactoren in Delft en Petten. In Almelo wordt uranium verrijkt. Opvalt dat vlak over de grens, in België en in Duitsland, ook enkele reactoren staan. Het NIMBY-effect heeft ook zijn internationale versie. Er is in ons land in het licht van het klimaatprobleem.

een oplevende belangstelling voor, en daarmee ook weer oplaaierende discussie over kernenergie, door zijn geringe CO₂ productie

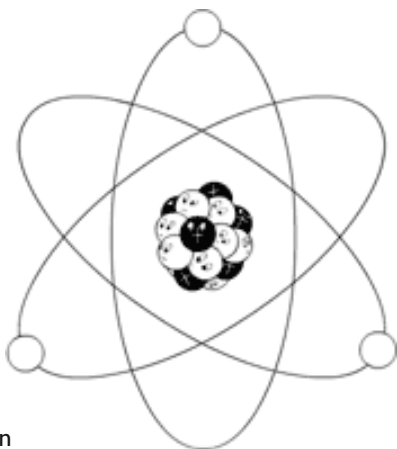








4.184×10^{17} J, 100 megatons, a potential nuclear weapon yield



Bron



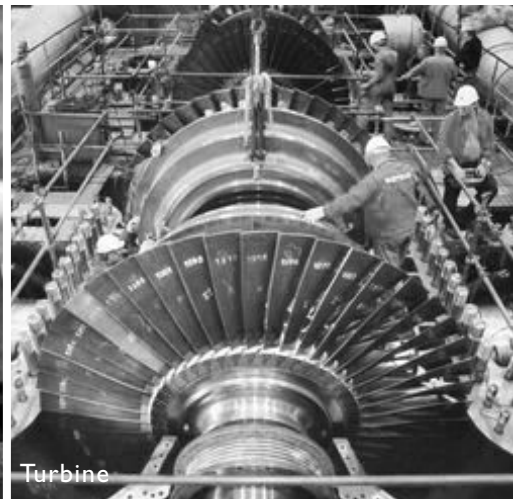
Grondstof: Erts



Splijfstofstaven



Kerncentrale



Turbine



Opweking: reactorkern



Opweking: controlekamer



Transport electriciteit



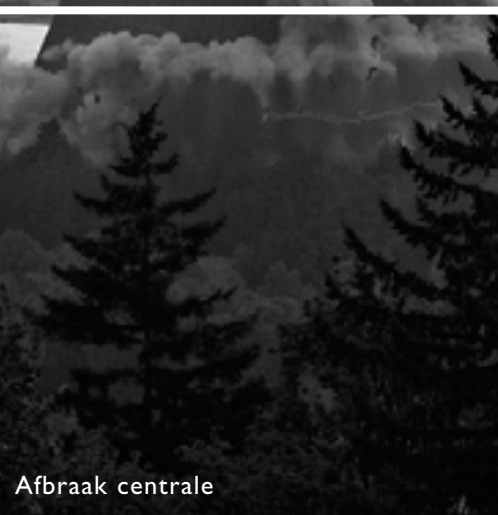
Ondergrondse opslag



Diepe ondergrondse opslag



Effect: Omgeving uraniummijn



Afbraak centrale



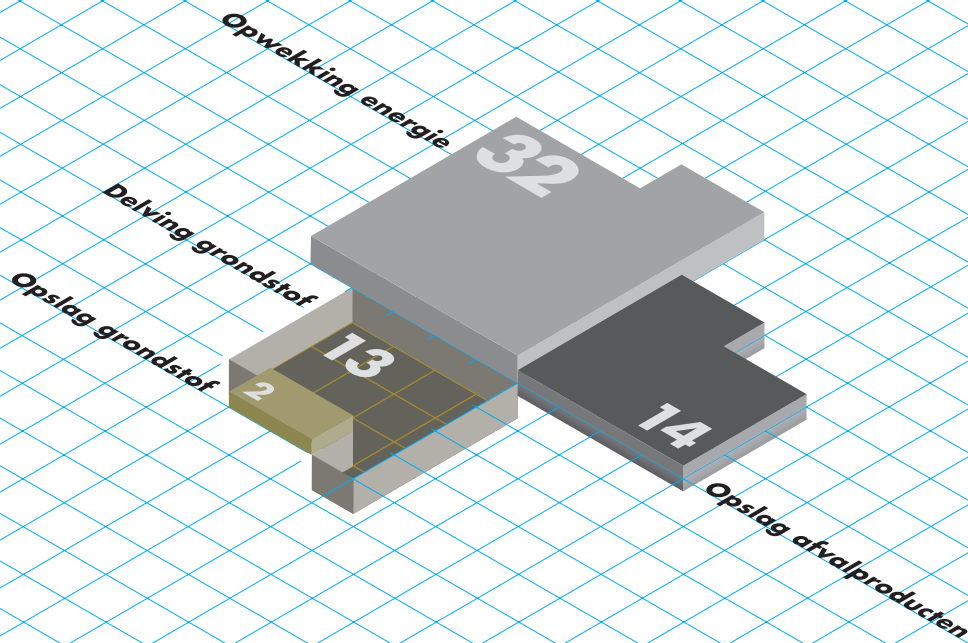
Risico: calamiteit



KERNENERGIE

ruimtebeslag in hectare
voor opwekking van
1.500 Megawatt

1 ha



CO₂-uitstoot in hm³
voor opwekking van
1.500 Megawatt

0

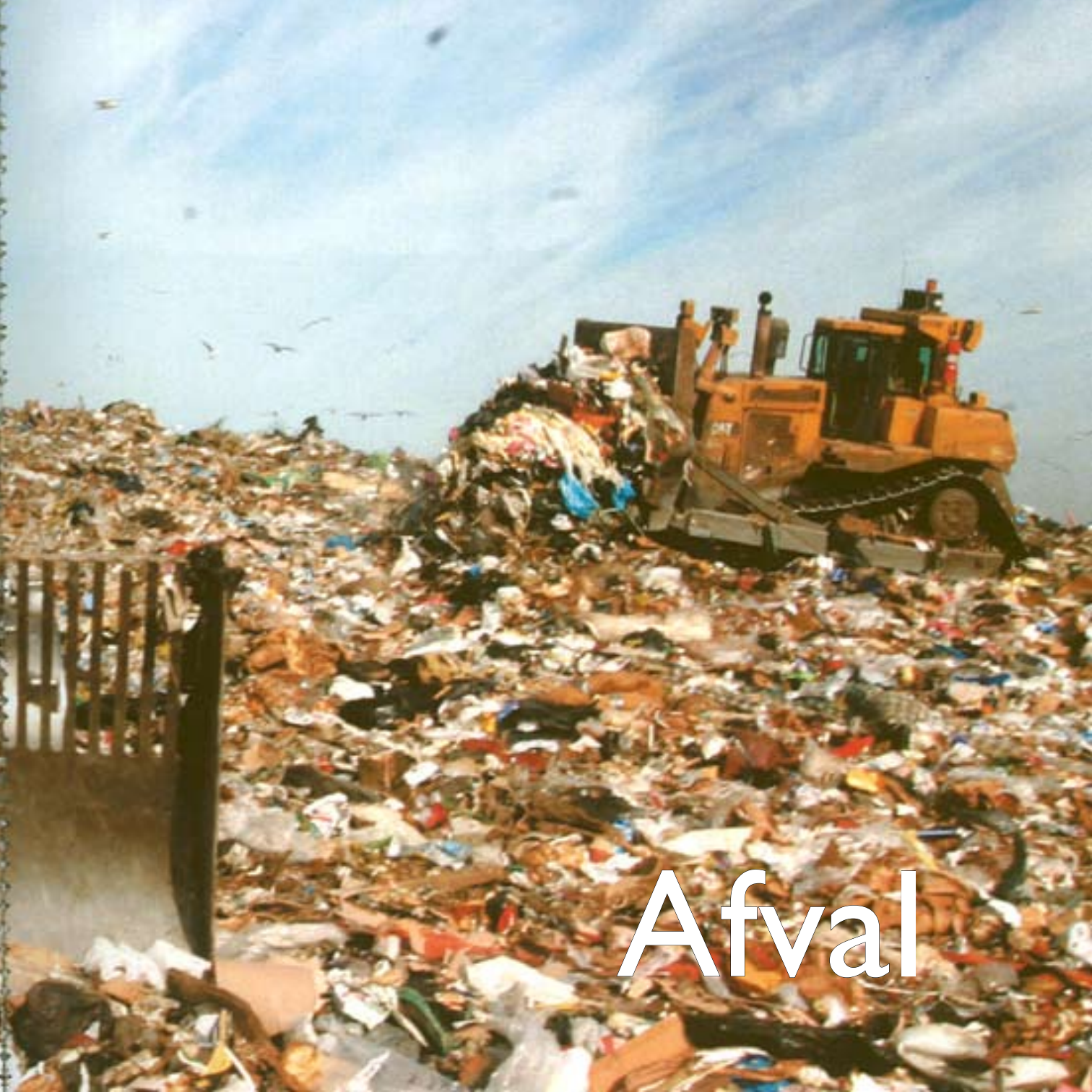
Transport grondstof
niet van toepassing
Opslag afvalproducten
niet van toepassing





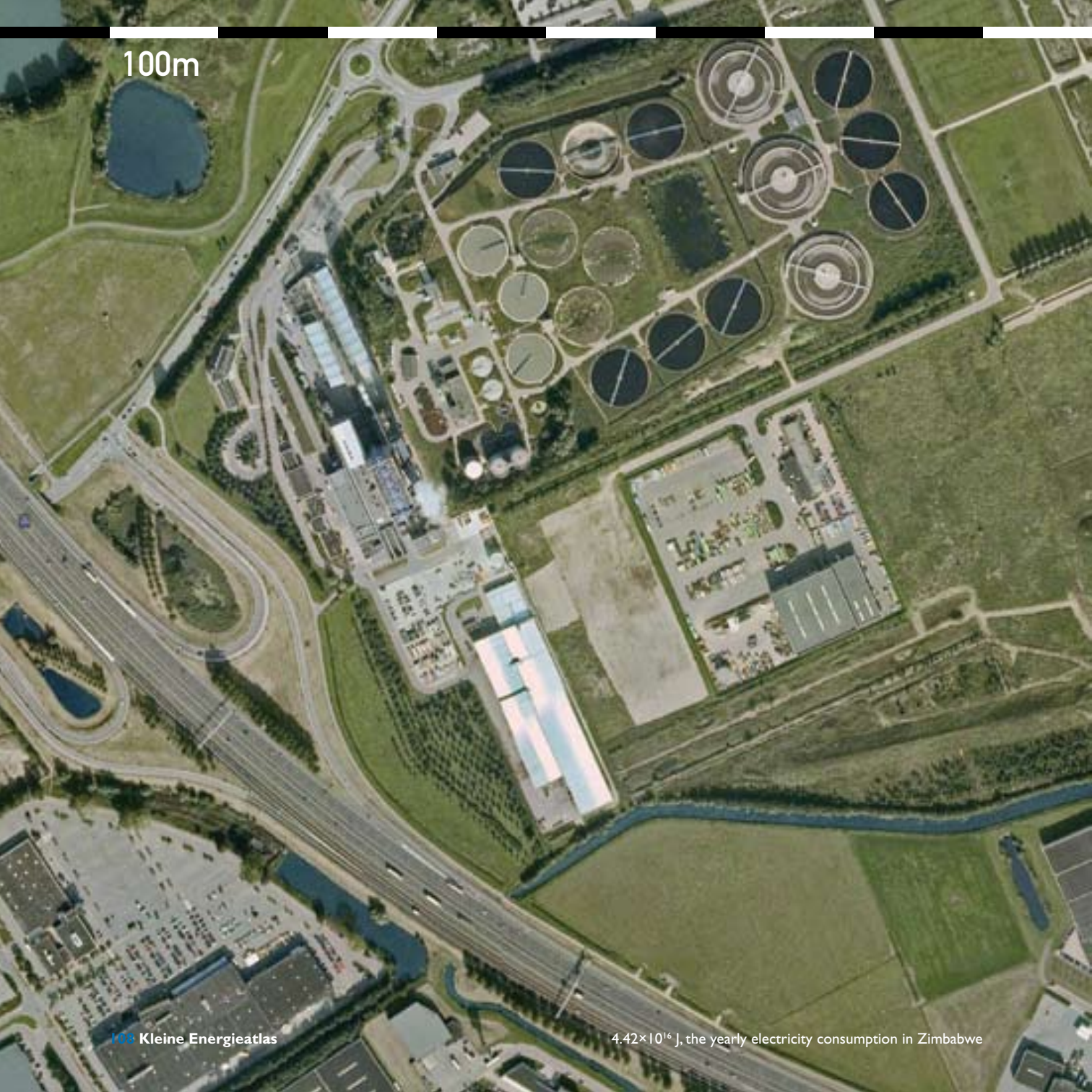
8.988×10^{16} J, the amount of energy in 1 kilogram of antimatter





Afval

100m



Jaarlijks wordt er in Nederland ongeveer 58.000 kiloton afval geproduceerd: ruim 3.600 kg. per persoon. Deze ongelooflijke hoeveelheid bestaat voor zo'n 15 % uit huishoudelijk afval. De verbranding van dit afval is een niet te verwaarlozen bron van elektrische energie. Er staan in Nederland elf afvalverbrandingsinstallaties, die ongeveer één derde van de in Nederland geproduceerde duurzame energie leveren en zelfs goed is voor ca. 10% van de elektriciteitsopwekking, voor zo'n 900.000 huishoudens dus. De warmte die vrijkomt bij de verbranding van het afval kan nuttig worden aangewend voor stadsverwarming, in de industrie of voor het opwekken van elektriciteit. Zo werkt de straatverlichting en de tram en de metro in Amsterdam op elektriciteit opgewekt uit het huishoudelijk restafval van deze stad. In afvalverbrandingsinstallaties wordt vaak ook biomassa meegestookt al dan niet afkomstig uit onze landbouw en soms geïmporteerd. Afvalverbranding lijkt op het eerste gezicht een 'no regret' vorm van energieopwekking. Waarom zou je immers geen energie winnen aan een afvalberg die toch vernietigd moet worden? De keerzijde zit hem vooral in de grote hoeveelheden CO₂ die bij de verbranding van afval vrijkomen, deze is voor onze maatgevende 1.500 MW vergelijkbaar met de uitstoot van bruinkoolcentrales. Bij het verbranden van het zeer divers samengestelde restafval ontstaan

ook andere schadelijke stoffen. Om die reden zijn de verbrandingsinstallaties uitgerust met uitgebreide rookgaszuiveringen bijvoorbeeld voor de verwijdering van zuren zoals waterstofchloride, waterstoffluoride, zwaveligzuur, stikstofoxides, stof en zware metalen zoals lood en kwik en organische stoffen zoals dioxines. Er zijn meer duurzame alternatieven dan verbranding. Zowel geredeneerd vanuit het milieu als vanuit energie efficiëntie is hergebruik van afvalmaterialen nog altijd te verkiezen boven verbranding. Vanuit het oogpunt van duurzaamheid is afvalpreventie de beste optie, gevolgd door hergebruik van producten respectievelijk materialen, recycling, verbranden met resp. zonder opwekking van warmte, en storten. Doordat de 'winning' van restafval in feite bestaat uit de afval producerende huishoudens is het op te vatten als een soort decentrale mijnbouw. Het 'onttrekkingsgebied' voor deze vorm van elektriciteitsproductie is dan ook bepaald indrukwekkend groot. Zou een vermogen van 1.500 MW moeten worden opgewekt uit huiselijk restafval dan zijn daar bijna 1,5 miljoen huishoudens nodig. Voor de projectie van een dergelijke hoeveelheid huishoudens op de Wieringermeer hebben we flinke stedelijke dichtheden moeten toevoegen om het in deze Zuiderzeepolder te passen.





2.07×10^{15} J, the yearly electricity production in Togo



Bron: Wij



Alternatief: Composter



Transport naar centrale



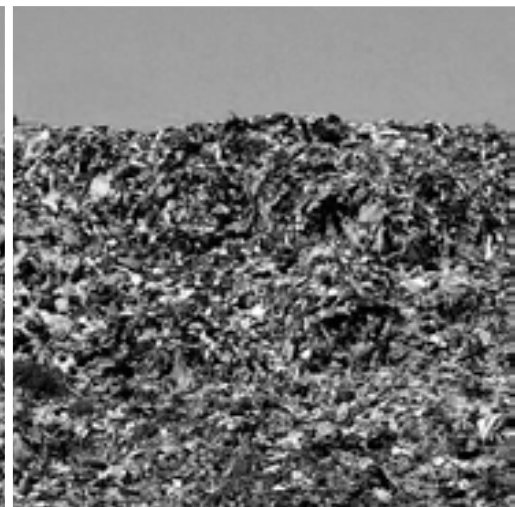
Grondstof: Afval



Vuilnis



Stort/opslag





Turbine



Centrale



AVR Rotterdam



Transport



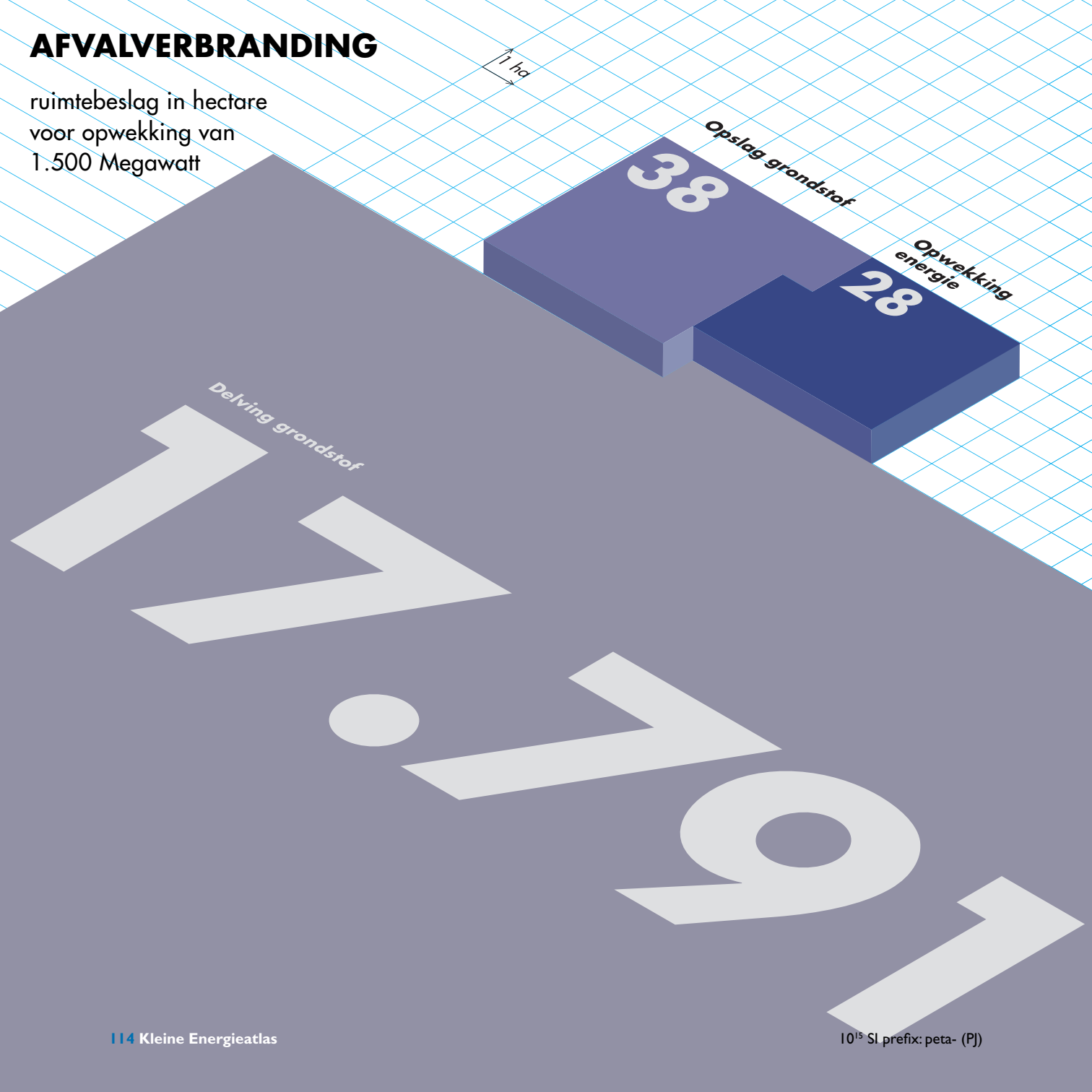
Effect: CO2 uitstoot



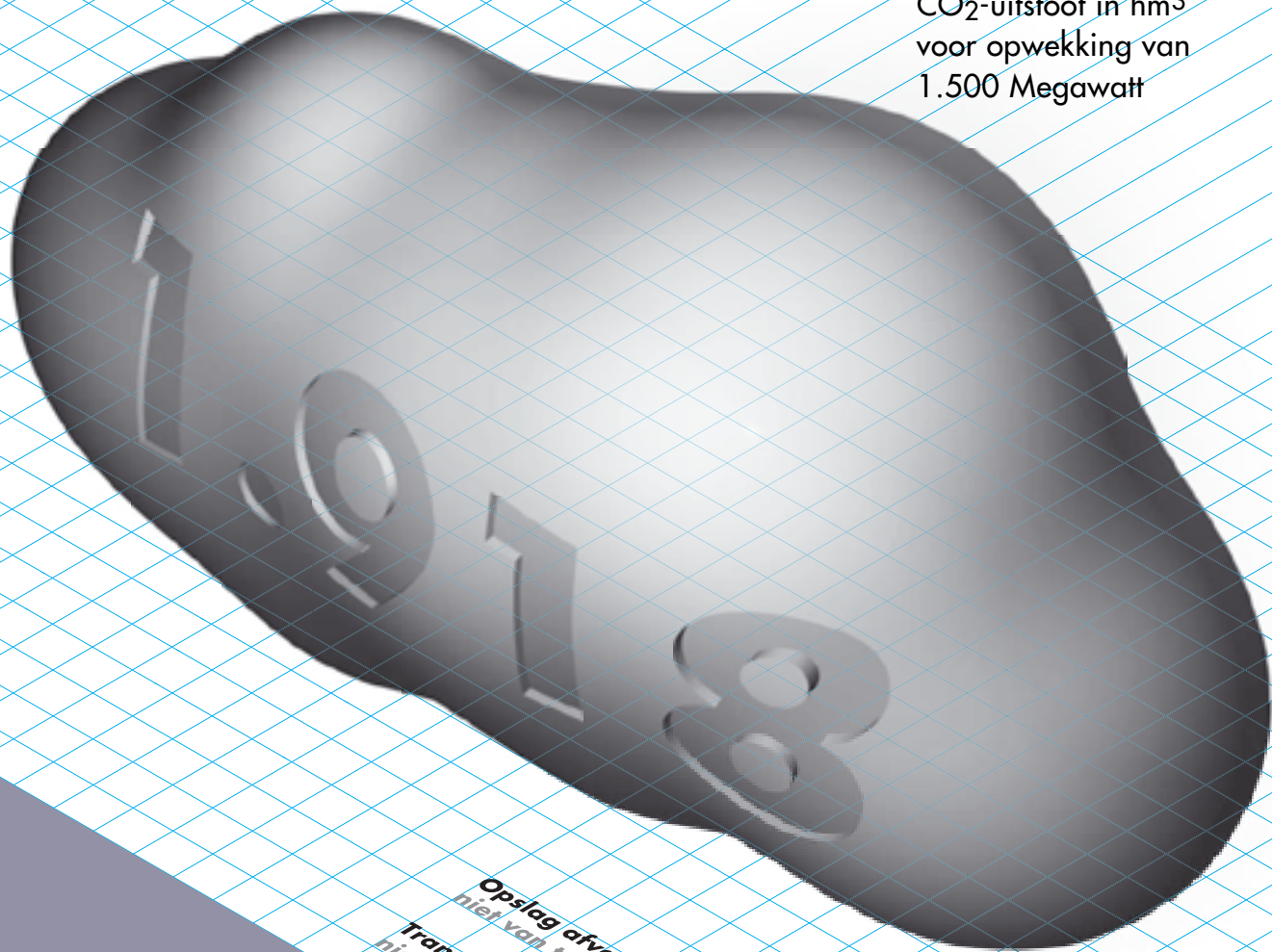
Risico: ophoping

AFVALVERBRANDING

ruimtebeslag in hectare
voor opwekking van
1.500 Megawatt



CO₂-uitstoot in hm³
voor opwekking van
1.500 Megawatt



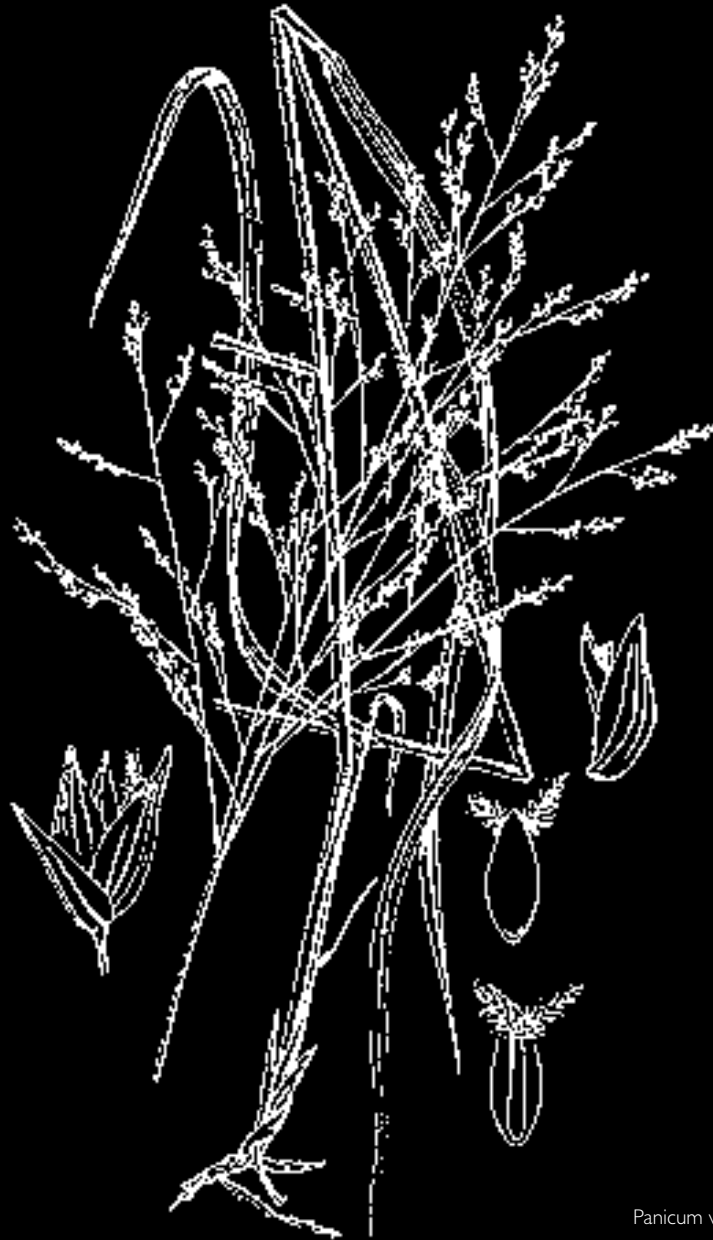
Opslag afvalproducten
hier van toepassing
Transport grondstof
hier van toepassing

6×10^{14} J, the energy released by an average hurricane in one second





8.78×10^{13} J, the yield of the Fat Man atomic bomb detonated over Nagasaki, Japan



Panicum virgatum, Switchgrass

Biobrandstof

An aerial photograph of the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant. The image shows three large, white, dome-shaped containment domes. The central dome is emitting a thick plume of white steam or smoke. To the left, there are four large, white, cylindrical storage tanks. The plant is situated in a green, rural area with a river or canal running alongside it. A scale bar at the top left indicates 100m.

100m

Biobrandstoffen staan te boek als duurzame energiedragers. Het argument is dat de brandstof 'hernieuwbaar' is en dat de hoeveelheid CO₂ die bij de verbranding ontstaat weer door de brandstof leverende vegetatie middels fotosynthese wordt omgezet in zuurstof. Dit argument gaat op als de biobrandstofplantage wordt aangelegd op bij braakliggende landbouwgronden. Helaas is de realiteit vaak anders. Met name in de tropen wordt veel regenwoud gekapt voor het opzetten van palmolieplantages. Hierbij gaat niet alleen een van onschatbare waarde zijnde ecosysteem verloren, maar wordt tevens de topscoorder op het gebied van zuurstofproductie vervangen door een zondagsamateur. Daarboven komen bij de ontginning van het tropisch regenwoud grote hoeveelheden broeikasgassen (met name methaan) in de atmosfeer. Methaan heeft een nog veel groter effect op de warmtehuishouding dan koolstofdioxide. Biobrandstoffen van de eerste generatie zoals maïs kunnen voor een prijsopdrijving op de wereldmarkt leiden. Dit kan tot verstrekende sociale gevolgen leiden. De 'tortilla-opstanden' van 2006 in Mexico-City door de snel oplopende prijs van maïs bleken de voorbode van mondiale stijging van allerlei voedselprijzen. Deze zijn overigens maar gedeeltelijk toe te schrijven aan biobrandstof. Toenemende vraag naar vlees in ontwikkelende economieën als China en India, de hoge olieprijs en speculatie waren minstens even verantwoordelijk

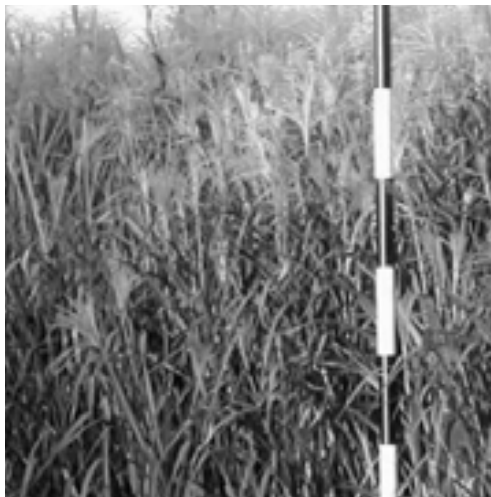
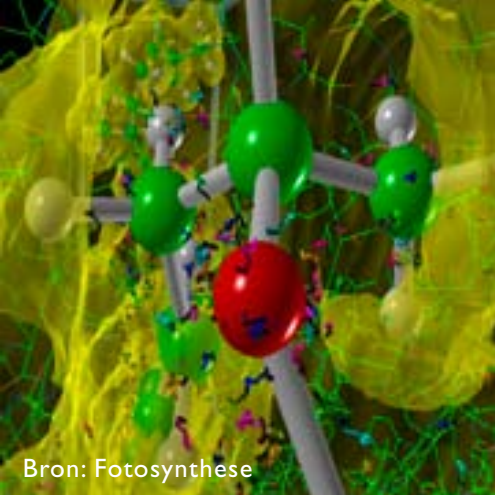
voor de stijgende prijzen. Tweede generatie biobrandstoffen, uit niet voedselgewassen met toch een hoge opbrengst, hebben deze bezwaren in mindere mate. De hoop is gericht op planten als *Switchgrass* (*Panicum virgatum*) die vrijwel zonder bemesting op arme gronden grote biomassaproductie realiseren. Wel moet bedacht worden dat ook hiervoor bestaande ecosystemen ontgonnen of herontgonnen moeten worden.

Naast de milieutechnische bezwaren die kleven aan biobrandstof, is ook het ruimtebeslag spectaculair te noemen. Dit wordt duidelijk als we de voor het opwekken van onze standaard 3387 GWh elektriciteit benodigde oppervlakte aan biogewassen proberen in te passen in de Wieringermeer. We moeten de polder maar liefst 10,5 keer inzetten! In ons land wordt onregelmatig in centrales 'bijgestookt' met biobrandstoffen als palmolie. Zo werd in de Claus-centrale in 2005 1,6 miljoen ton palmolie bijgestookt omdat de eigenaar Essent wilde voldoen aan de groeiende vraag naar groene stroom en de overheid bereid bleek daarin fors te willen meesubsidiëren. Voor kleinere elektriciteitsseenheden (tot 50 MW) geldt deze subsidie nog steeds. Door de hoge grondprijzen is er in Nederland overigens nauwelijks perspectief voor het verbouwen van energiegewassen. Wel kansrijk is het vergisten of verbranden van landbouwafval en mest.





9×10^{11} J, the energy of an Atlas rocket blasting off



Energiegewas: Switch Grass



Transport Ethanol



Biovergisting



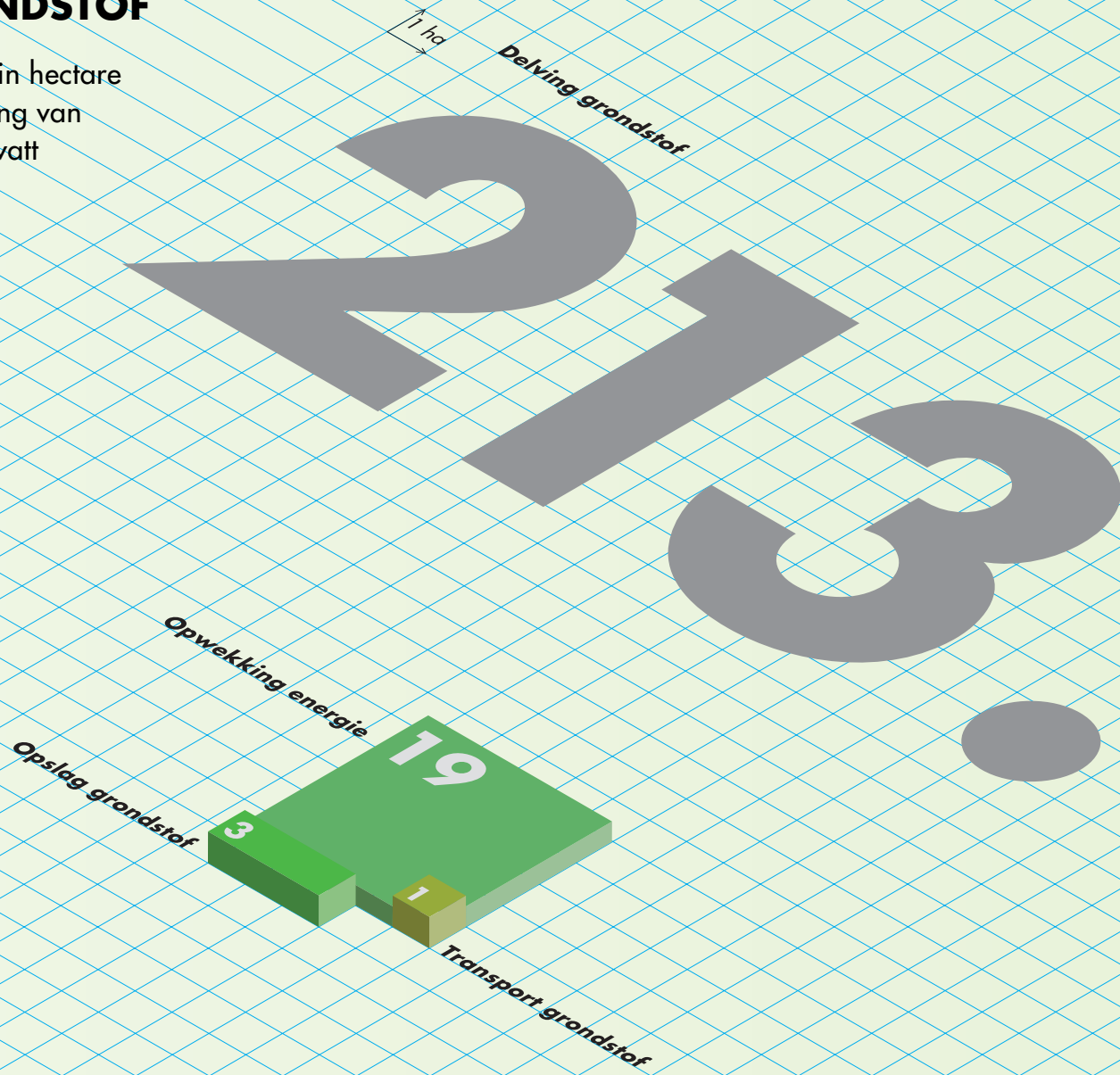
Effect: Ontbossing



Effect: verhoging voedselprijzen

BIOBRANDSTOF

ruimtebeslag in hectare
voor opwekking van
1.500 Megawatt



CO₂-uitstoot in hm³
voor opwekking van
1.500 Megawatt

0

Afmeting van deze pagina's
in verhouding tot totaal ruimtebeslag
voor delving grondstof

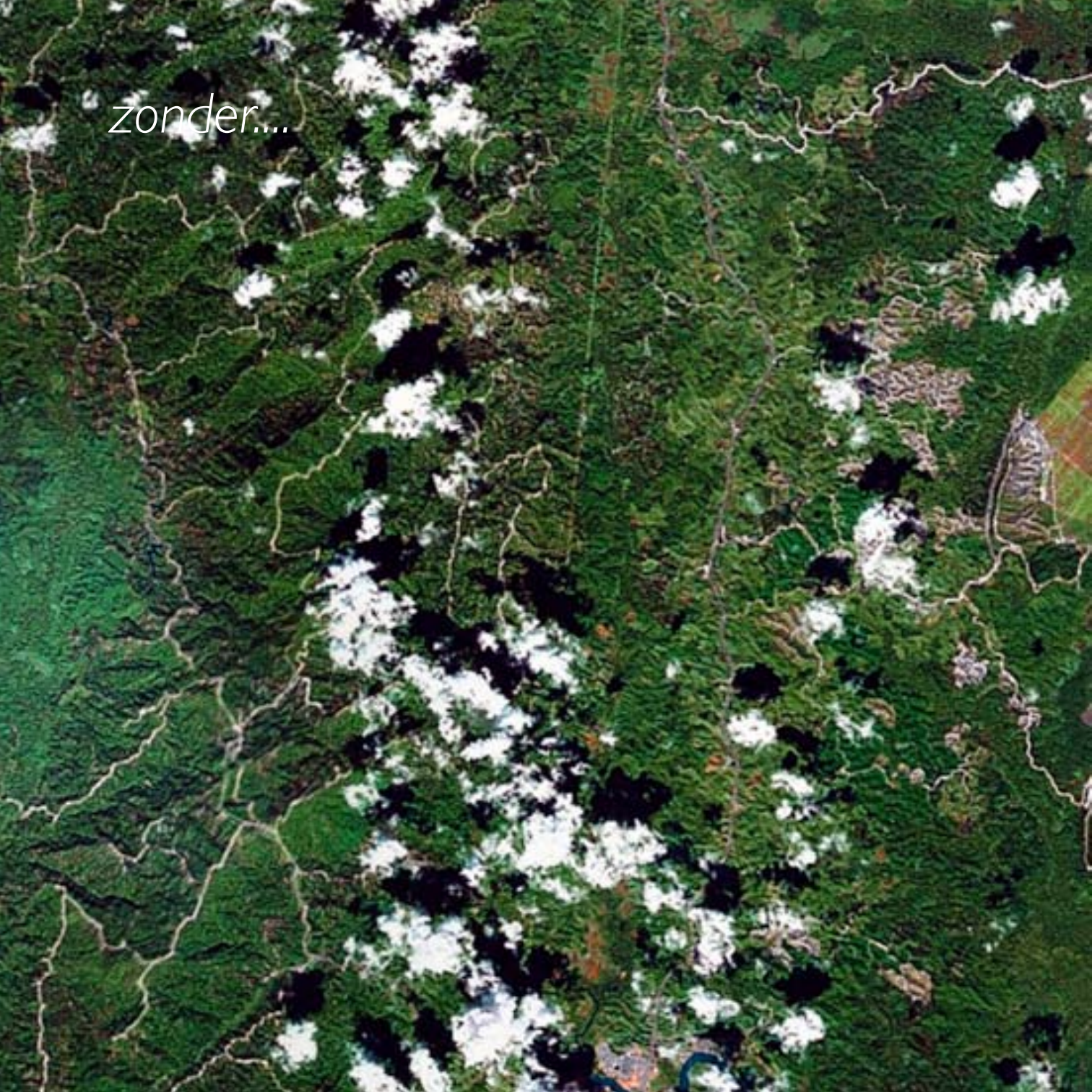


2 pagina's
Totaal ruimtebeslag
(213.309 ha)

Opslag afvalproducten
niet van toepassing

309

zonder....





....met





5×10^{10} J, the yield energy of a MOAB (Massive Ordnance Air Blast) bomb





$6.12 \times 10^7 \text{ J} \approx 1 \text{ bboe (barrel of oil equivalent)}$





1.95627185×10^9 J. Planck energy, the unit of energy in Planck units





$1.05 \times 10^8 \text{ J} \approx 1 \text{ therm}$, depending on the temperature



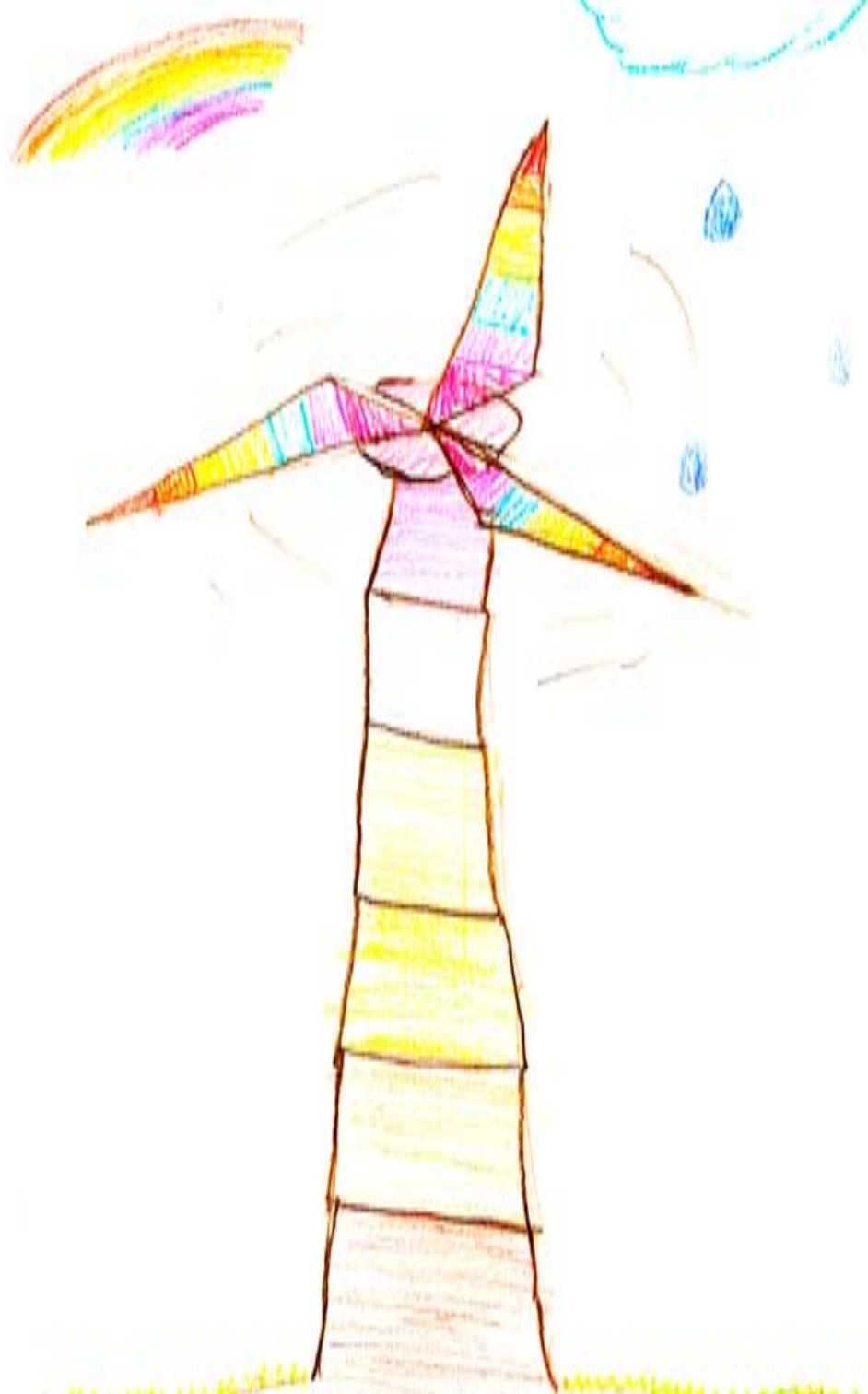


1×10^7 J, the energy of a day's worth of heavy labour





6.3×10^6 J, the recommended nutritional intake per day for a woman not doing heavy labour



Wind

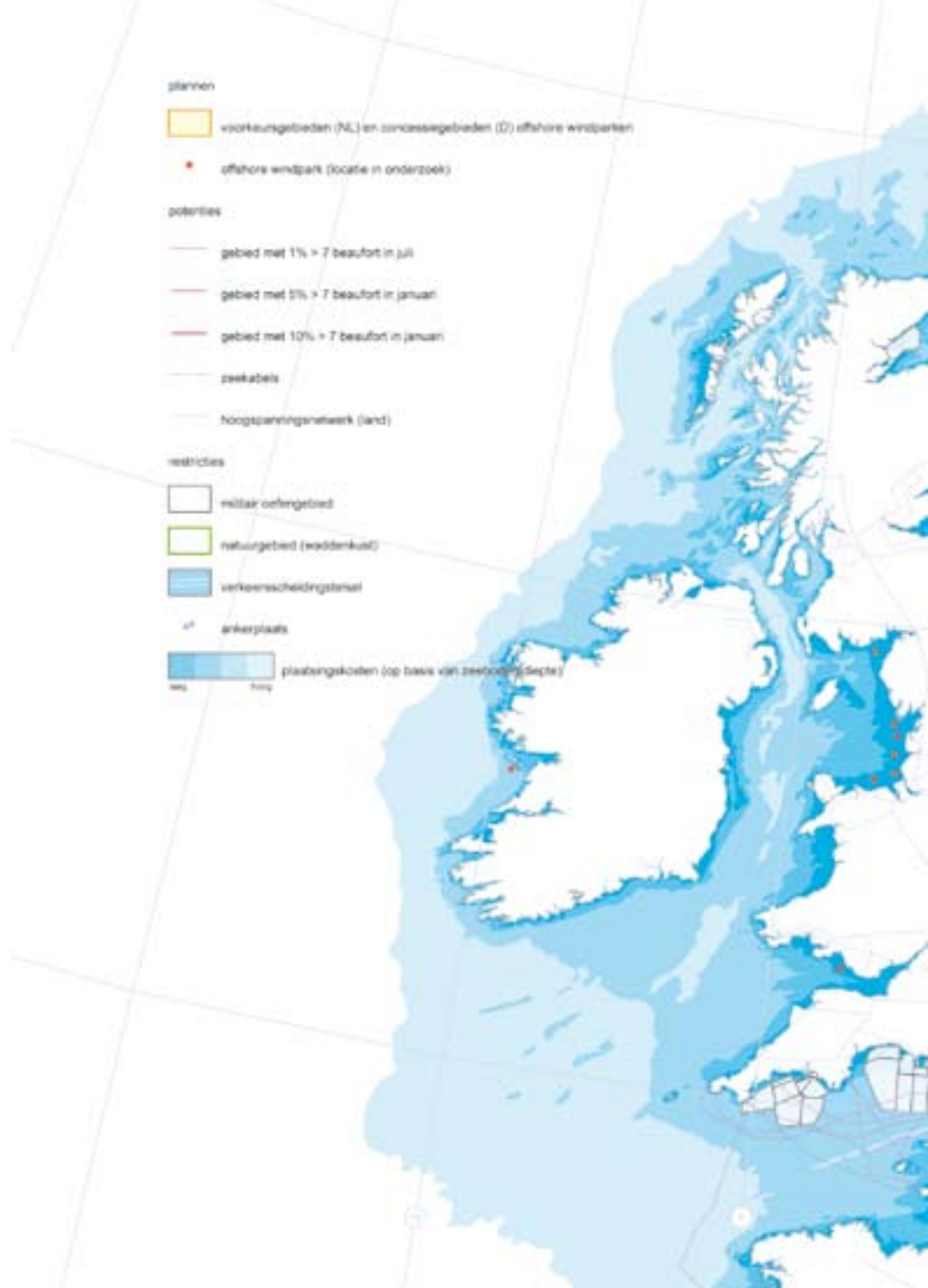


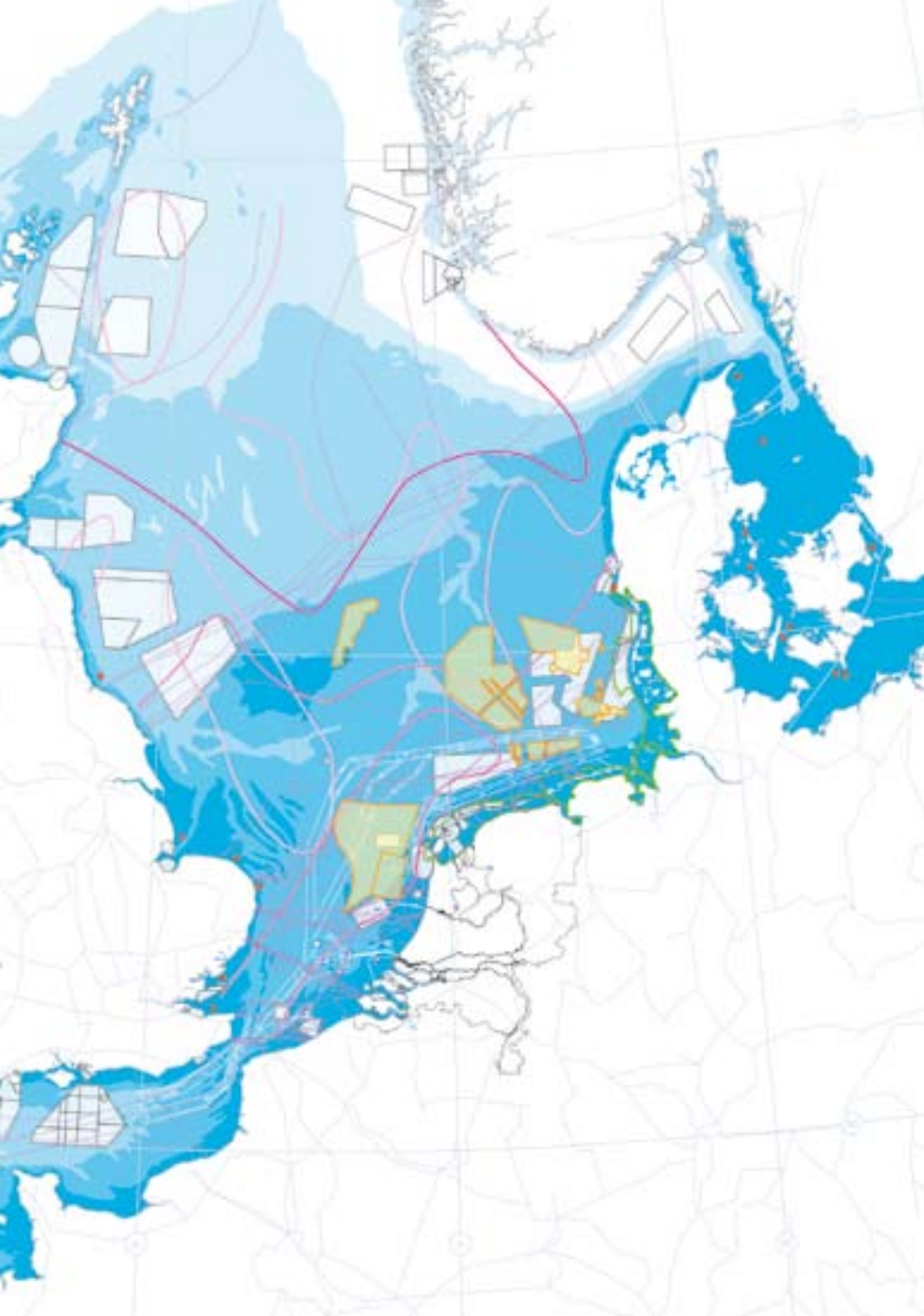
100m

Het directe ruimtegebruik van windmolens is ronduit klein. Als we alleen kijken naar de voet van de 1605 windmolens die in Nederland nodig waren om de BLOW doelstellingen (1.500 MW opgesteld vermogen op het vaste land) te bereiken, dan komen op slechts 16 hectare. Tellen we daar de toegangswegen voor periodiek onderhoud bij op, dan komen op 88 hectare. Alleen olie, gas en kernenergie hebben nog minder ruimte nodig om de vergelijkbare hoeveelheid energie te leveren. Het ruimtegebruik wordt nog kleiner als wordt uitgegaan van de nieuwste generatie turbines die tot 5 MW opleveren tegen een huidig gemiddelde van 1 MW. Deze windturbines (5 MW is het huidige topmodel) gebruiken per eenheid geleverde energie minder ruimte, en zijn door hun grotere hoogte minder afhankelijk van het lokale windklimaat. Bovendien zijn ze door hun langzame rotorsnelheid optisch rustgevender dan kleine, sneller draaiende molens. De zichtbaarheid van windmolens is de voornaamste focus van maatschappelijke discussie, nog aangewakkerd door de hoogte van de masten en de doorsnede van de rotoren van de nieuwste turbines. De ashoogte kan oplopen naar 120 meter. Er zijn sterk uiteenlopende percepties van de visuele impact van windenergie van 'horizon-vervuiling' tot voorzichtige waardering. De afstand waarop molens zichtbaar zijn is sterk afhankelijk van het landschap in kwestie. In open landschappen en over water en in de zee kan de zichtbaarheid bij helder weer oplopen tot meer dan 10 kilometer; in meer besloten landschappen kan door de barrièrewerking van houtopstanden de zichtbaarheidafstand soms slechts honderd meter

bedragen. Ditzelfde maskeringeffect doet zich ook in meer verstedelijkte gebieden voor:

Indirect gebruiken windturbines meer ruimte. Om goed te functioneren moeten ze op minimale afstanden van elkaar worden geplaatst. Gemiddeld geeft 4 a 5 maal de rotordiameter een optimale opbrengst. Een windpark met een flinke capaciteit vraagt daarmee de ruimte, die echter wel bruikbaar blijft voor andere vormen van ruimtegebruik. In een deel van dit onttrekkinggebied kan alleen niet worden gewoond. Afhankelijk van de provinciale verordeningen wordt bij vergunningverlening nog verschil gemaakt tussen aaneengesloten bebouwing en losse bebouwing. De vrijwaringafstand die wordt aangehouden wordt (van geval tot geval) bepaald door het stroboscopische effect van de slagschaduw van de wieken en door geluidshinder. Recent onderzoek van de RU-Groningen laat zien dat dit laatste als het meest hinderlijk wordt ervaren. Niet verrassend is ook het onderzoeksresultaat dat de mate waarin hinder wordt ervaren mede afhankelijk is van het al of niet economisch voordeel hebben bij de turbines. De vrijwaringafstand voor wonen vanuit licht en geluid kan oplopen tot enkele malen de rotordiameter of de mashoogte. Deze beperking hebben alleen betrekking op de functie wonen. Andere functies zijn onder wieken goed mogelijk. Windenergie en zonne-energie zijn van alle vergeleken modaliteiten kampioen meervoudig ruimtegebruik. Onze 1.500 MW is met de nieuwste turbines eenvoudig inpasbaar in de Wieringermeer in een, op de foto, nauwelijks zichtbare rand van de polder:

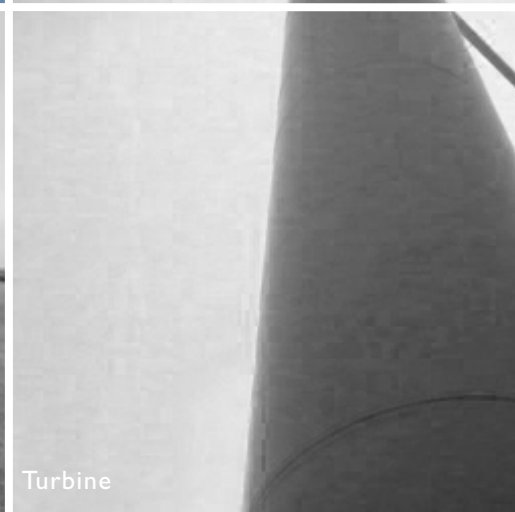
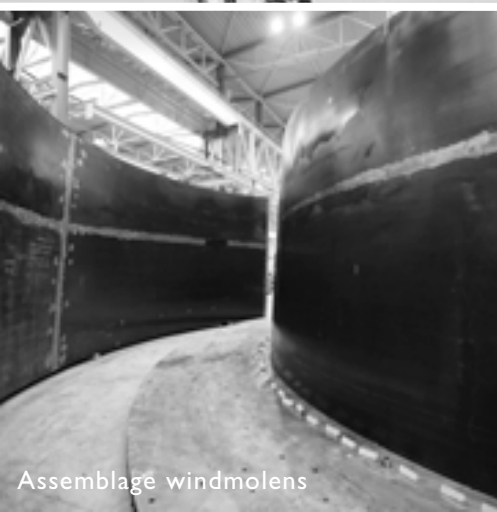
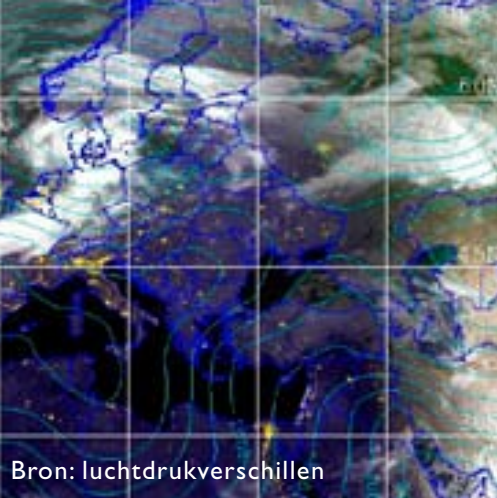






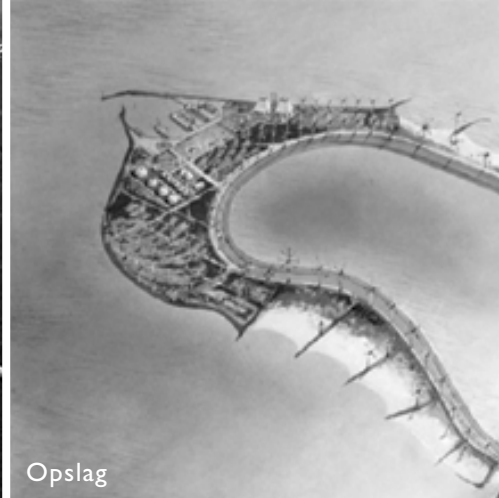


5.0×10^4 J, the energy released by the combustion of one gram of gasoline





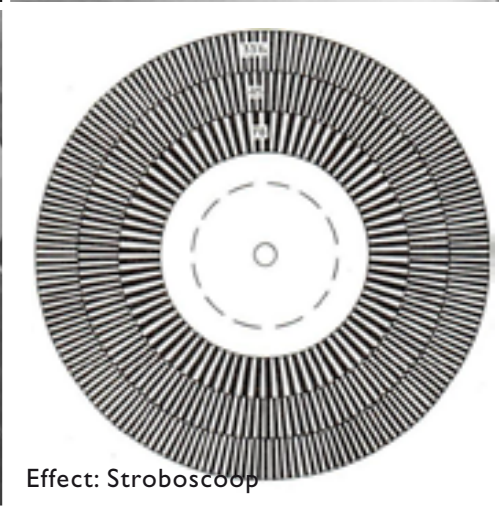
Opwekking



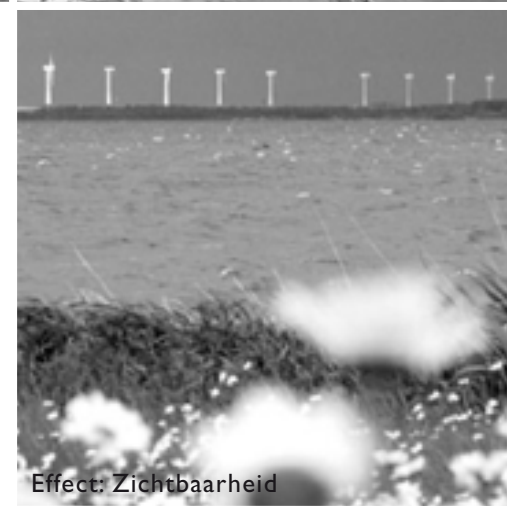
Opslag



Onderhoud turbine



Effect: Stroboscoop



Effect: Zichtbaarheid



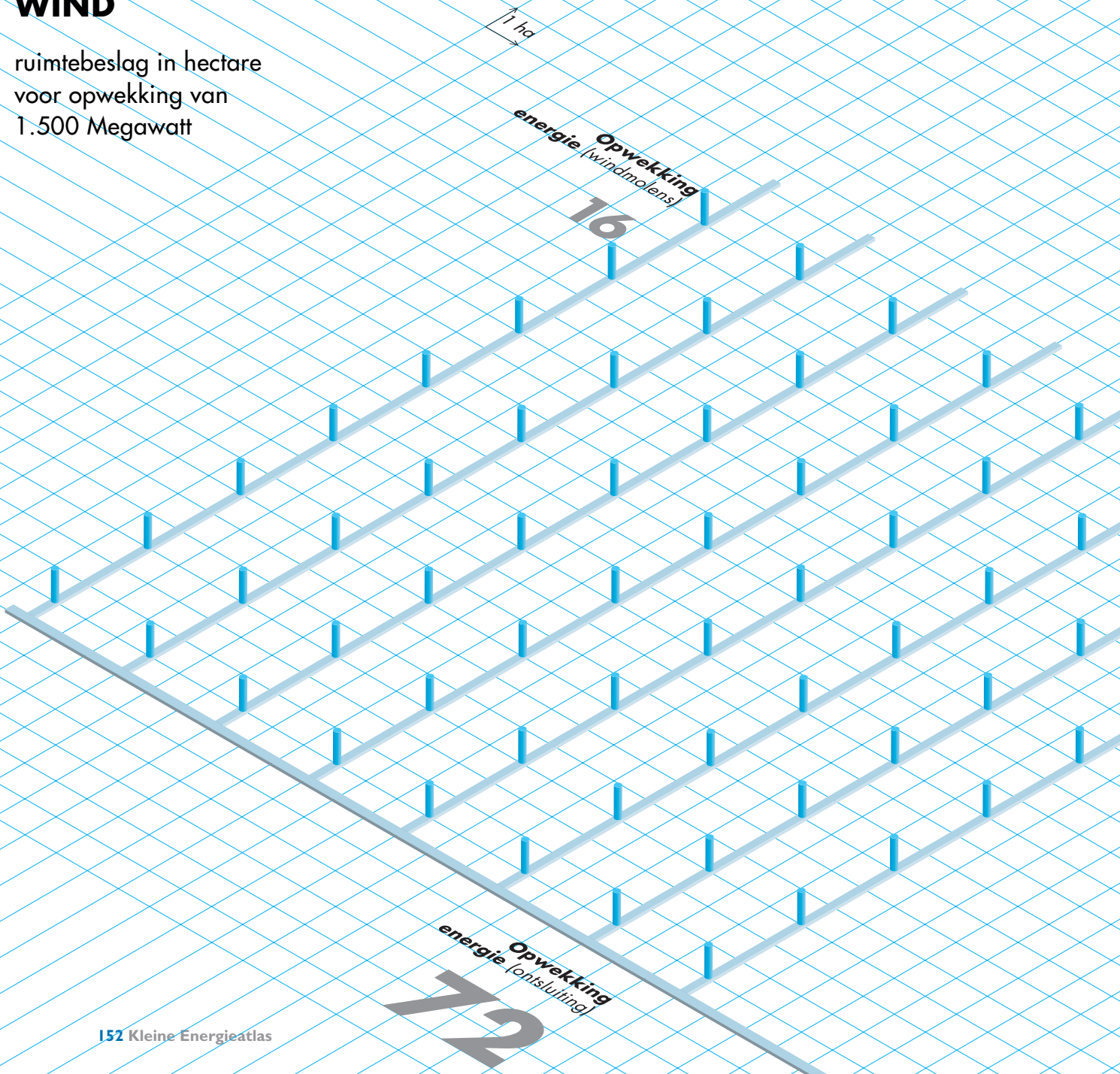
Risico: zeer zware storm



Calamiteit: doldraaien

WIND

ruimtebeslag in hectare
voor opwekking van
1.500 Megawatt



CO₂-uitstoot in hm³
voor opwekking van
1.500 Megawatt

0

Transport grondstof
niet van toepassing
Opslag grondstof
niet van toepassing
Beying grondstof
niet van toepassing
Opslag afvalproducten
niet van toepassing

zonder....

....met







1.7×10^4 J, the energy released by the metabolism of one gram of sugar or protein



Zon

100m

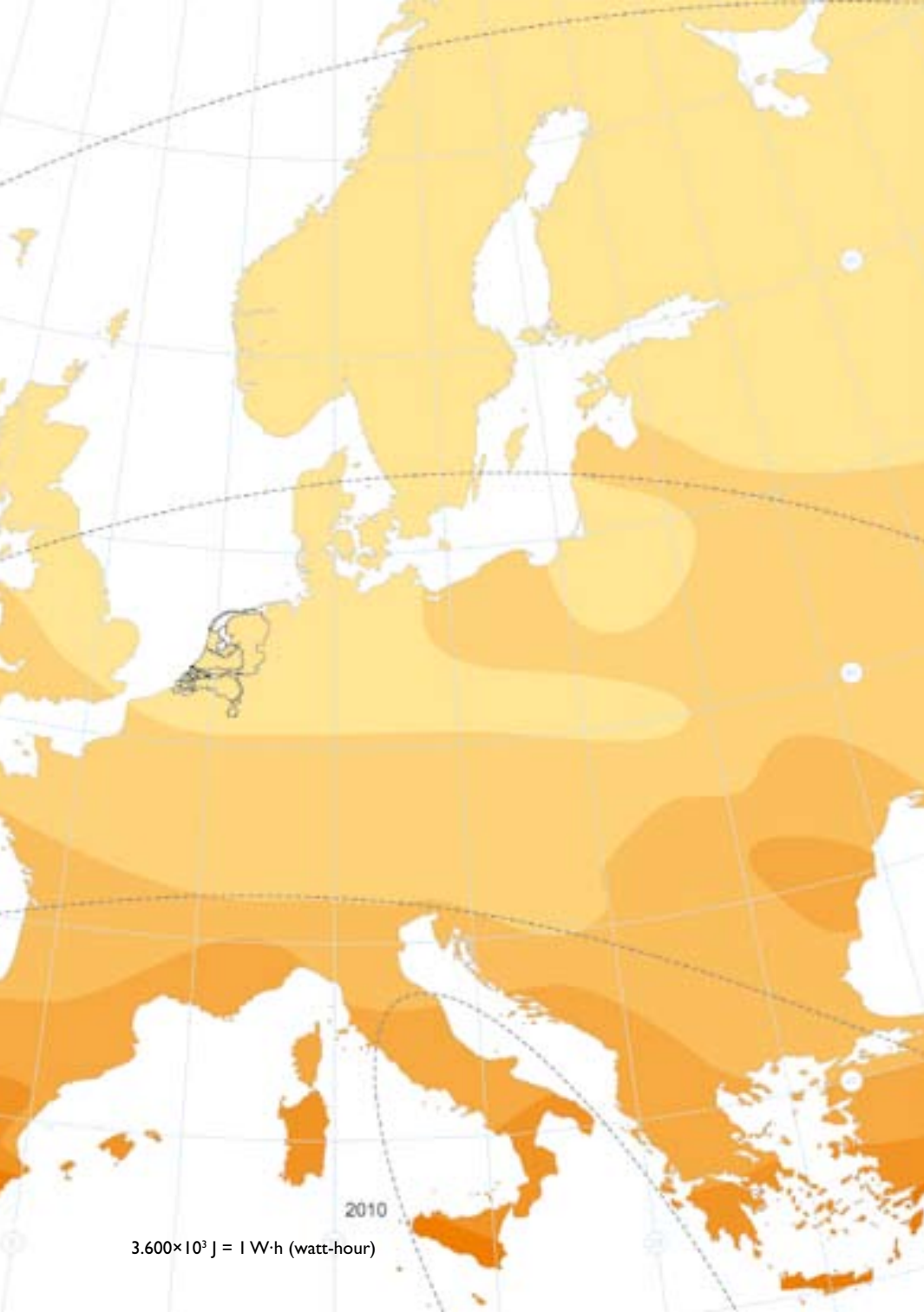
Een beschouwing van de energiehuishouding van de aarde eerder in deze atlas laat zien dat zonne-energie op onze planeet rijkelijk aanwezig. De hoeveelheid jaarlijks binnenkomende zonne-energie is vele malen groter dan alle energie uit wind, waterkracht én fossiele brandstoffen bij elkaar. De dagelijkse ingestraalde hoeveelheid zonne-energie is zelfs een factor 10.000 groter dan alle energie die wij als mensen wereldwijd jaarlijks gebruiken! Maar de techniek om zonne-energie om te zetten in elektrische energie stapt net uit de kinderschoenen. Er zijn twee verschillende wegen om zonne-energie te oogsten. De eerste weg is het door zonnecollectoren concentreren van zonnestralen, *Concentrated Solar Power* (CSP) door middel van spiegels en lenzen. In het brandpunt van een dergelijke installatie kunnen temperaturen worden bereikt van honderden tot zón 10.000 °C. Door deze temperaturen wordt stoom geproduceerd waarmee een turbine wordt aangedreven. Een experimenteel model in de USA werkt met het verwarmen van een betonnen koker waarbinnen convector een langzaam maar groot schoepenrad aandrijft. Binnen deze familie horen eigenlijk ook de zonnecollectoren die heet water leveren voor huishelijk gebruik.

De tweede manier van oogsten van zonne-energie is de zonnecel ook wel fotovoltaïsche cel (PV) genoemd. Energie ontstaat hier door blootstellen van een halfgeleider aan licht. Door invangen van fotonen komt in atomen opgeslagen energie als elektrische arbeid beschikbaar. De meeste cellen hebben silicium als ba-

sismateriaal. De beste cellen halen tussen de 10-20% rendement, wat al heel aardig is vergeleken bij de fotosynthese van planten die zo'n 0,5-1% van de zonne-energie omzetten naar biomassa. De ontwikkeling van de rendementen is in een versnelling geraakt sinds 'Silicon-valley' zich heeft gerealiseerd dat zonnecellen erg dicht aanligt tegen de technologie van hun corebusiness: de chipsfabricage. Wanneer zonne-energie concurrerend gaan worden is afhankelijk van de olieprijs, de ontwikkeling in opwekkingsrendementen en productiekosten. In de atlas hebben we de op deze drie veronderstellingen gebaseerde prognoses voor Europa opgenomen. (De snelle verwachte doorbraak in Italië op deze kaart) heeft te maken met de relatief hoge kosten van het elektriciteitsgrid aldaar.

Een CSP centrale heeft 339 ha nodig om onze maatgevende 3387 GWh aan elektrische energie te leveren. Uitgaande van de huidige stand der techniek is daar bij PV een oppervlakte van ongeveer 2000 ha voor nodig. Dit is gerekend vanuit kleinschalige opwekking met behulp van fotovoltaïsche cellen op bijvoorbeeld de daken van huizen. Ruimte dus, die anders vrijwel alleen gebruikt wordt voor het afvoeren van regenwater. We hebben beide typen zonne-energie in de atlas in beeld gebracht. Bij de *infographic* zijn we uitgegaan van CSP en bij de andere verbeeldingen van PV, soms in decentrale opstelling en in de Wieringermeer zowel decentraal op de woningen als centraal in een PV-Zonnepark.





$3.600 \times 10^3 \text{ J} = 1 \text{ W} \cdot \text{h}$ (watt-hour)





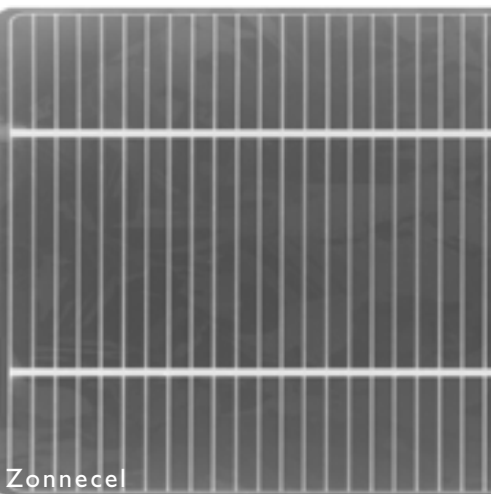
1.42×10^3 J, the kinetic energy of a 3.5 g (grams) AK-74 bullet fired at 900 m/s (metres per second)



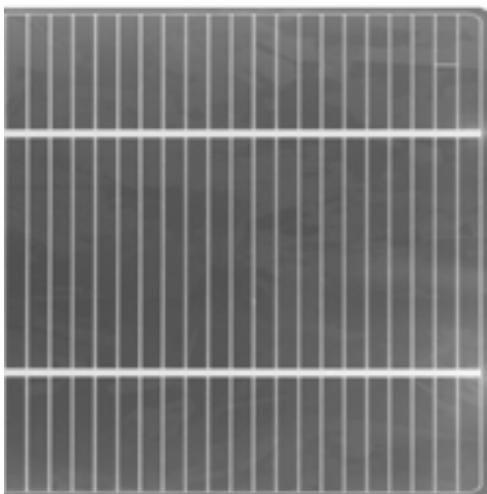
Bron



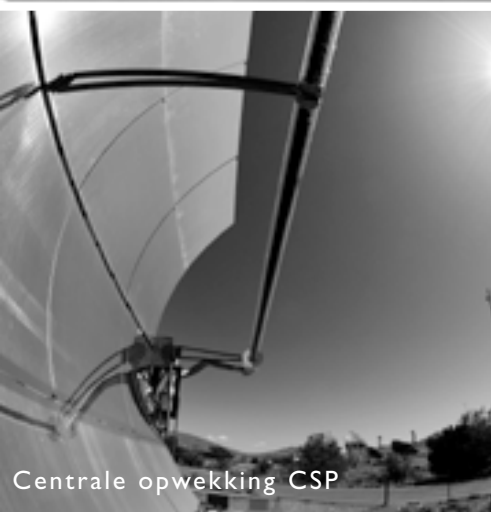
Centrale opwekking CSP



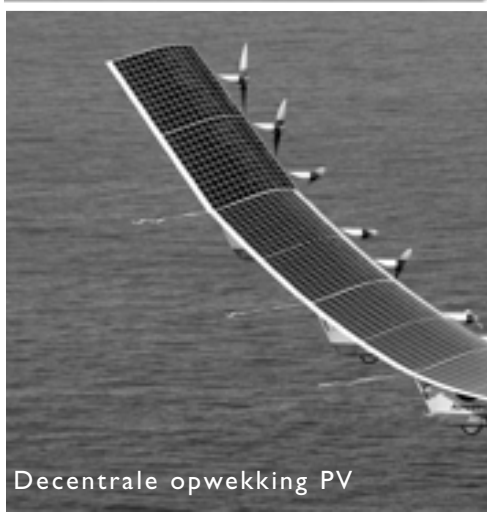
Zonnecel



Decentrale opwekking: warmte



Centrale opwekking CSP



Decentrale opwekking PV

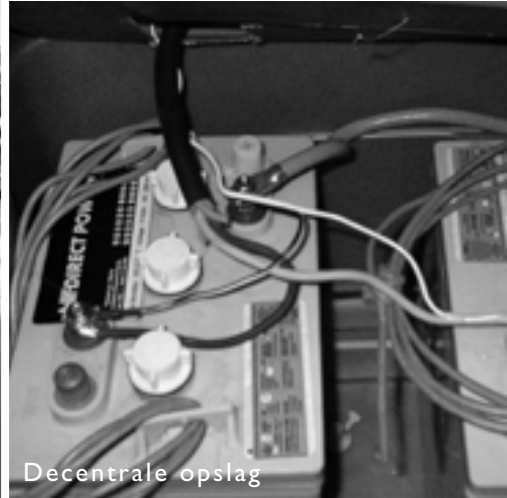




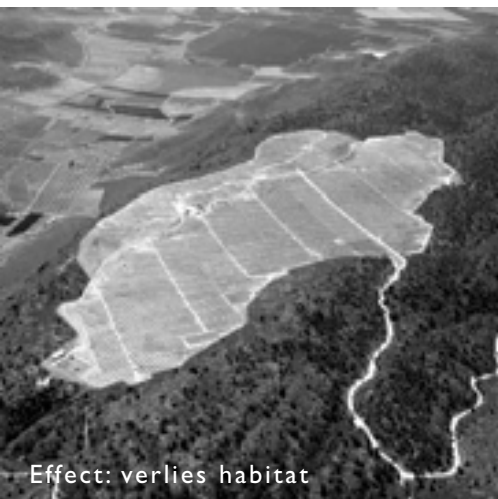
Centrale opwekking CSP



Decentrale opwekking



Decentrale opslag



Effect: verlies habitat



Decentrale opwekking PV



Decentrale opwekking PV



ZON

ruimtebeslag in hectare
voor opwekking van
1.500 Megawatt

1 ha

Opwekking
energie

339

CO₂-uitstoot in hm³
voor opwekking van
1.500 Megawatt

0

Transport grondstof
niet van toepassing

Opslag grondstof
niet van toepassing

Beying grondstof
niet van toepassing

Opslag afvalproducten
niet van toepassing

An aerial photograph of a dense urban area, likely Amsterdam, showing a canal running diagonally through the center. The canal is flanked by rows of houses with various roof colors (grey, orange, brown). A bridge crosses the canal in the lower right. The text 'zonder....' is overlaid in the top left corner.

zonder....



....met

1.2×10^3 J the energy in shooting an elephant gun, or in striking a match

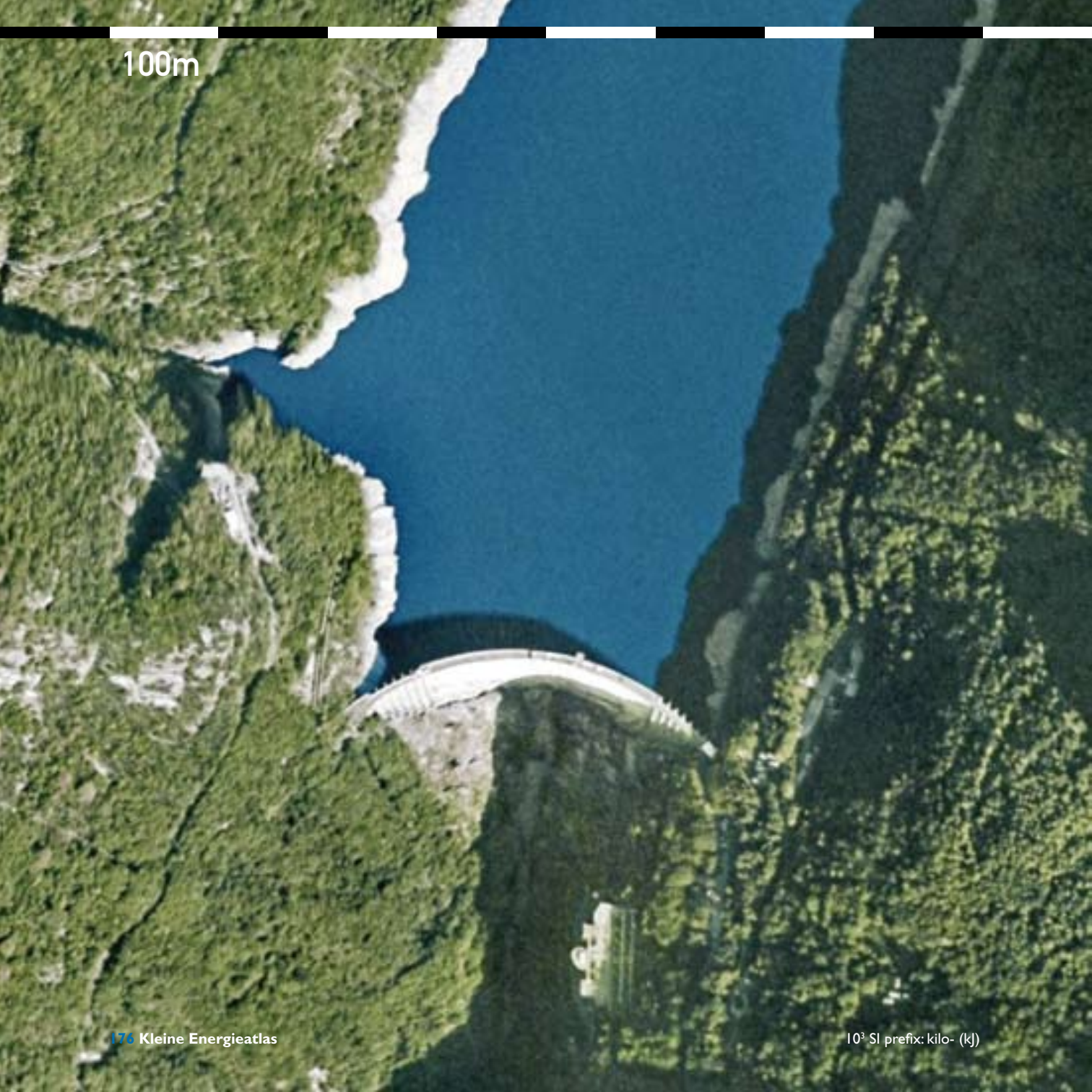




$1 \times 10^3 \text{ J}$, the energy stored in a typical photography studio strobe light



Waterkracht

An aerial photograph of a large concrete dam, likely the Hoover Dam, situated in a deep mountain valley. The dam is a massive concrete structure with a curved crest, spanning a wide river. The surrounding landscape is rugged and covered in dense green forest. A scale bar at the top of the image indicates a length of 100 meters. The river flows through the valley, and the dam's reflection is visible in the water below.

100m

Wereldwijd gezien wordt één vijfde van de gebruikte elektriciteit opgewekt door middel van waterkracht. Kijken we naar het aandeel van waterkracht in de totale consumptie van commerciële energie (alle energiesoorten tezamen), dan telt waterkracht voor zo'n 5% mee. Het betreft daarbij voornamelijk de grote centrales met hun stuwmeren. Voorbeelden hiervan zijn de Itaipu dam op de grens tussen Brazilië en Paraguay (met de grootste opwekcapaciteit: 10.500 MW), de Grande Dixence dam in Zwitserland (hoogste betonnen dam: 285 m) en de Aswan High dam in Egypte. Ook in Europa wordt veel gebruik gemaakt van waterkracht als bron voor energie. Uitbreiding is niet eenvoudig omdat al het 'laaghangende fruit' voor waterkracht al geplukt is. De makkelijke mogelijkheden zijn op.

In Nederland staan maar vier waterkrachtcentrales. Het potentieel voor uitbreiding bij de rivieren is gering. Wel bieden de sterke stromingen als gevolg van getijdenwerking bij de Waddeneilanden en de Zeeuwse wateren mogelijkheden voor uitbreiding. In de grote rivieren in Nederland is in 1958 voor het eerst een waterkrachtcentrale gebouwd. Dat was in de stuwcomplex bij Hagestein in Lek. In jaren tachtig volgden Maurik in de Nederrijn en Linne en Lith in de Maas. Deze centrales worden gebruikt in samenhang met de bediening van de stuwen. Middels elektrolyse gebruik maken van het potentiaal verschil tussen zoet en zout water; hetgeen bijvoorbeeld bij de Afsluitdijk zou kunnen, is nog in een laboratoriumfase. De grote

wateroppervlakten, zoals IJsselmeer en Markermeer, kunnen in principe wel worden gebruikt voor wateropslag ten behoeve van energieopwekking. Indertijd is in het zogenaamde plan Lievense voorgesteld windmolens water hoog te laten opvoeren in een als verhoogd bassin uitgevoerd Markermeer. Dit zou ook een oplossing kunnen zijn voor het kunnen aanpassen van het stroomaanbod uit duurzame bronnen aan de vraag, wat nu niet zonder meer mogelijk is. De risico's dat de zestien meter hoge dijk zou doorbreken hebben het project op de tekentafel doen sneuvelen. Een nieuwe versie van dit plan lijkt het ei van Columbus. Een ringdijk in diep zeewater waarbinnen het water wordt weggepompt door windmolens. Energie kan dan worden gewonnen door het 'stuwmeer' langs de turbines weer met zeewater te laten vollopen.

Waterkracht, of witte steenkool, wordt algemeen beschouwd als een duurzame schone bron. Wat daarbij vergeten wordt is dat stuwdammen een cesuur betekenen voor voor allerlei aquatische organismen. Bij de aanleg van stuwcomplexen komt door het vollopen van het stuwmeer eenmalig door afbraak en verrotting een ongehoorde hoeveelheid methaan vrij, een broeikasgas met een nog negatievere werking dan CO₂.

In de afbeeldingen van de atlas zijn we veelal uitgegaan van buitenlandse voorbeelden. We importeren immers stroom uit waterkracht. Alleen de Wieringermeer heeft ons verleid een kleine versie van het plan Lievense aldaar te situeren.



Bron: evapotranspiratie



Bron: evapotranspiratie



Grondstof: hoogteverschillen



Bron: golfenergie



Constructie stuwdam



Constructie stuwdam



Opwekking





Opwekking



Onderhoud



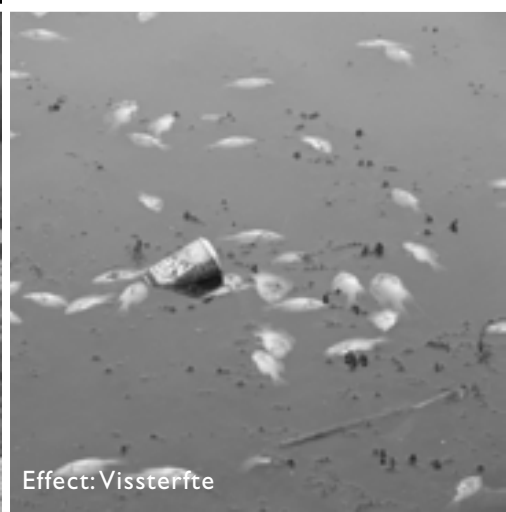
Turbine



Opwekking



Effect: spookdorpen

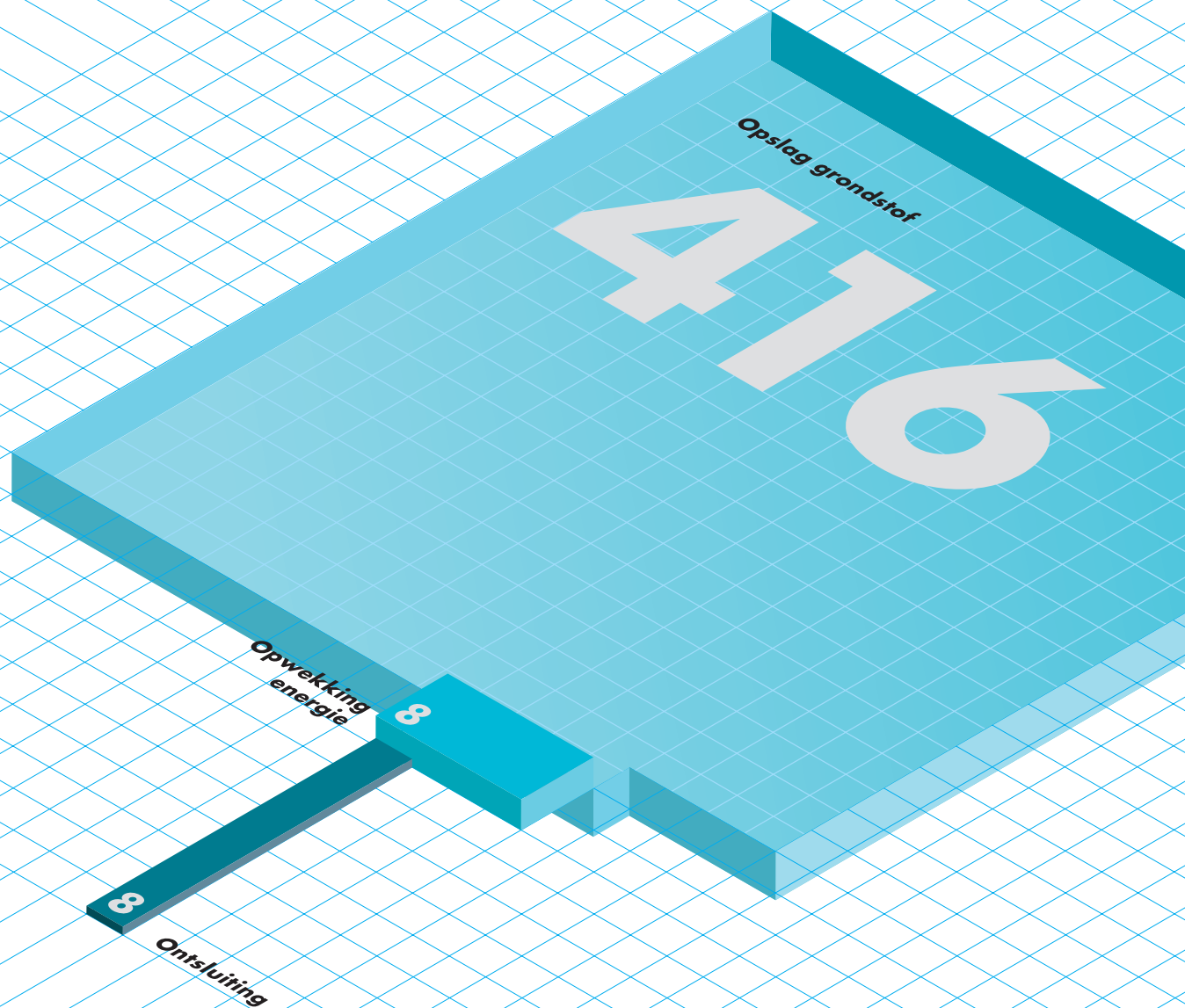


Effect: Vissterfte

HYDRO

ruimtebeslag in hectare
voor opwekking van
1.500 Megawatt

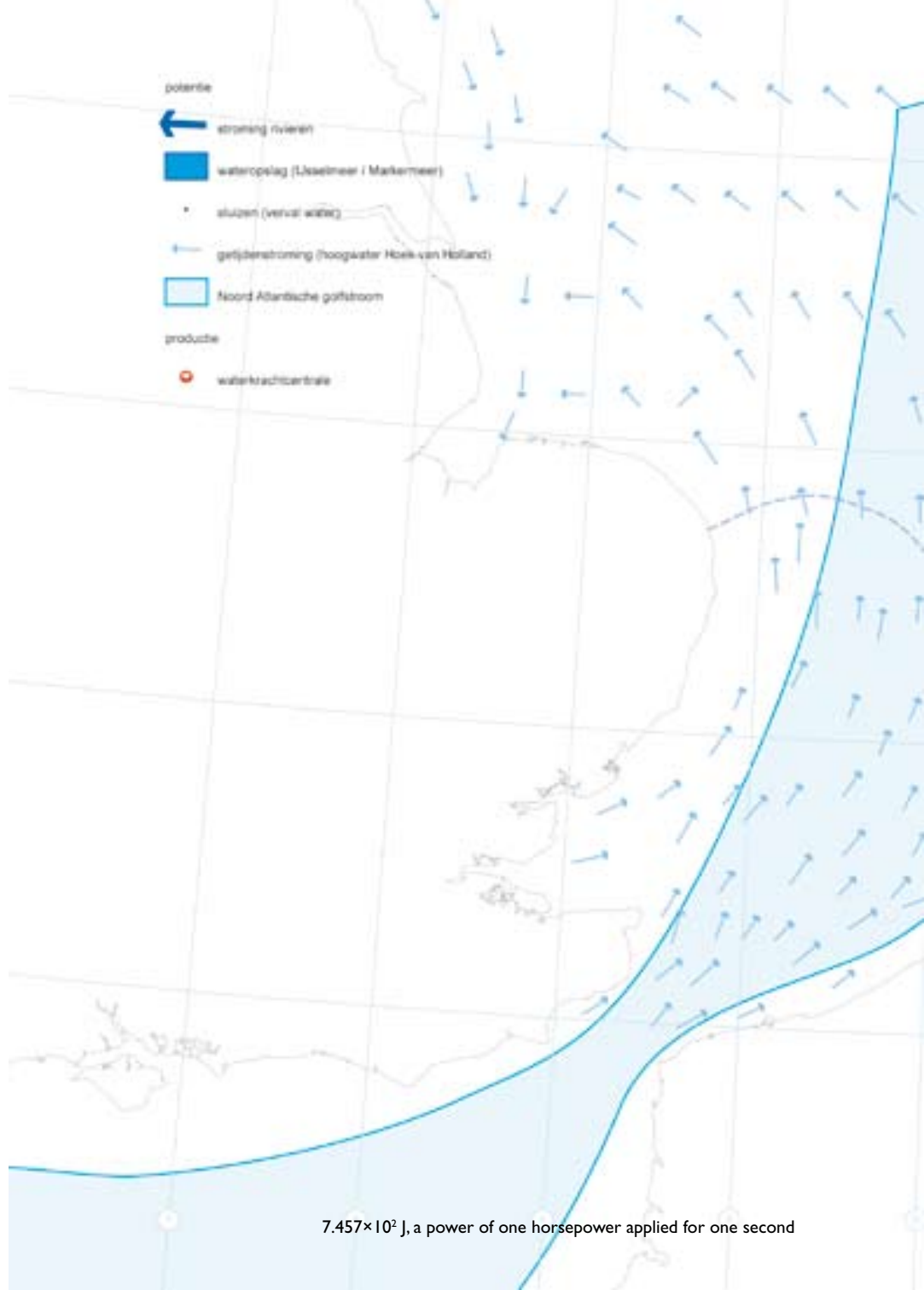
1 ha

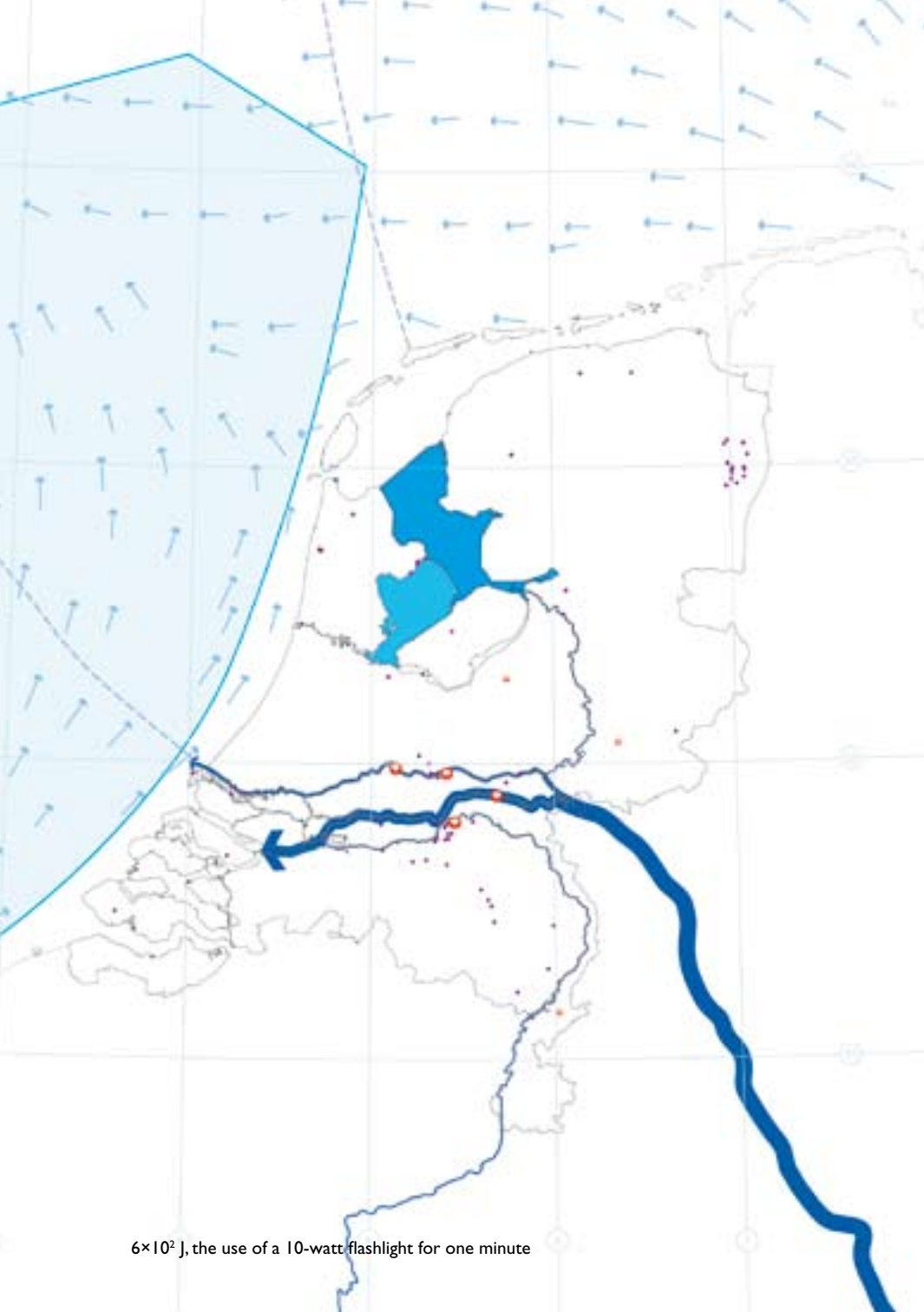


CO₂-uitstoot in hm³
voor opwekking van
1.500 Megawatt

0

*Delving grondstof
hier van toepassing*
*Transport grondstof
hier van toepassing*





6×10^2 J, the use of a 10-watt flashlight for one minute

zonder....

....met

5×10^1 J, the most energetic cosmic ray ever detected

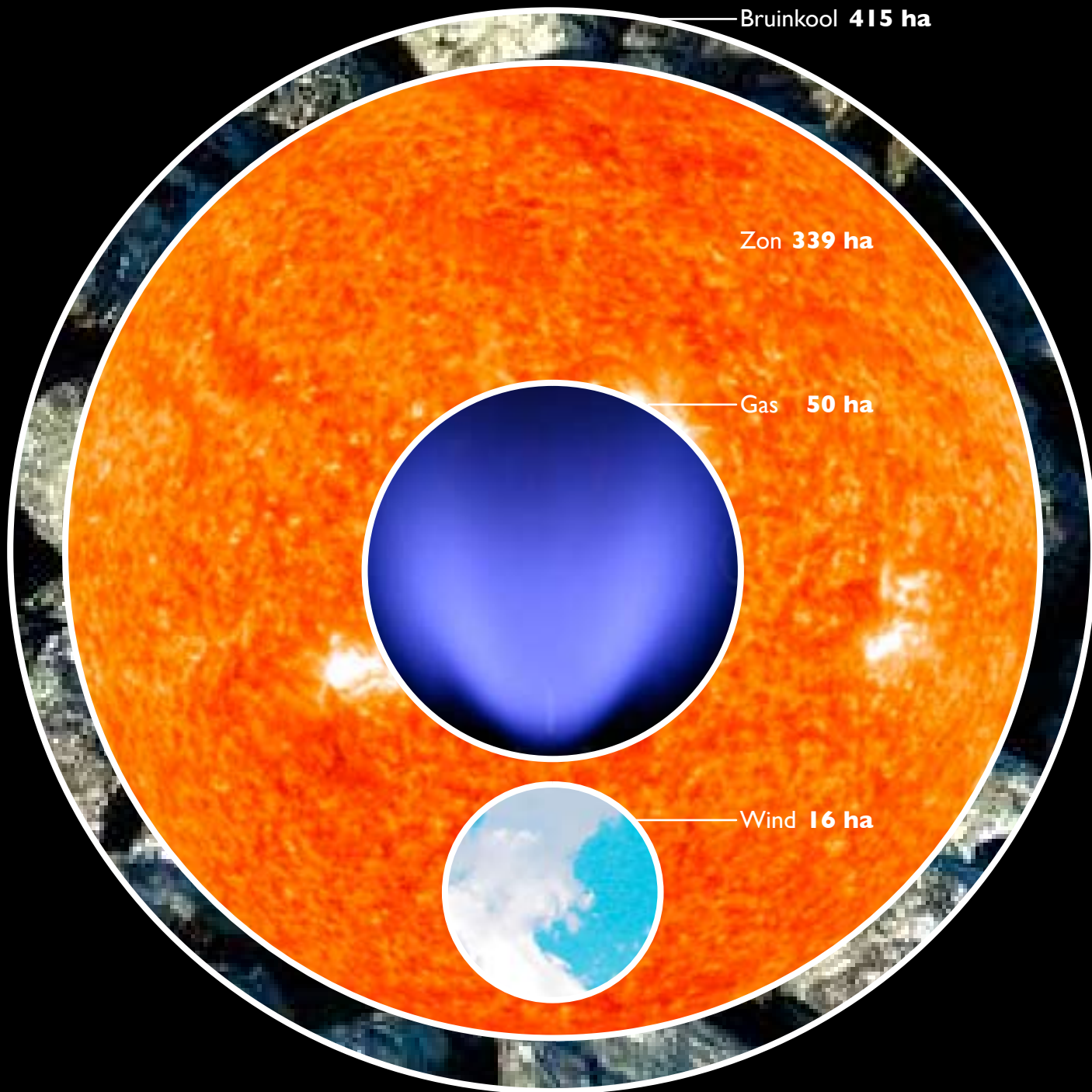




9.472 J = most disposable camera flashes use approximately this amount of energy per flash



synthese

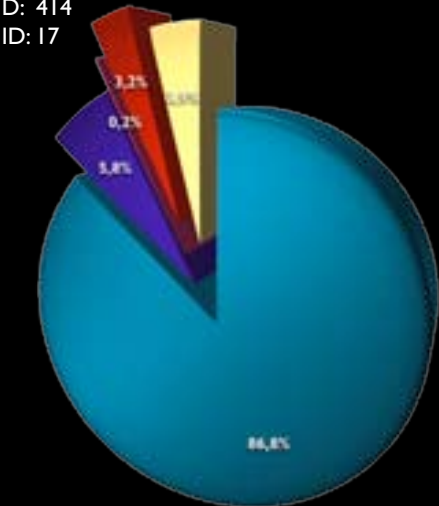


Synthese

vergelijkingstabel

Bruinkool

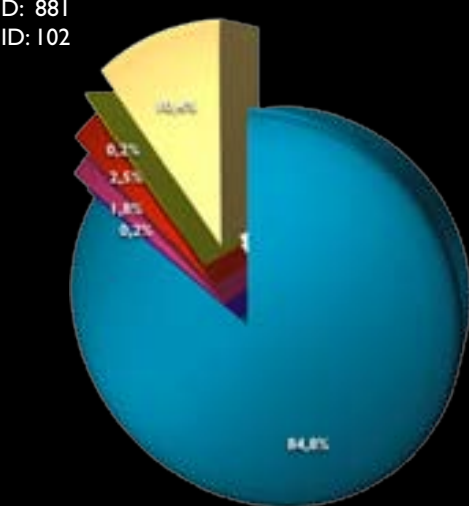
D: 414
ID: 17



- delving grondstof
- transport grondstof naar opwekkingseenheid
- opslag grondstof bij opwekkingseenheid
- opwekking energie (turbine, koeling en logistiek)
- ontsluiting (alleen bij decentrale opwekking)
- opslag van afvalproducten
- onttrekkingsruimte
- veiligheidszone / hindercirkel opwekkingseenheid
- veiligheidszone transport grondstof
- veiligheidszone opslag afvalstoffen

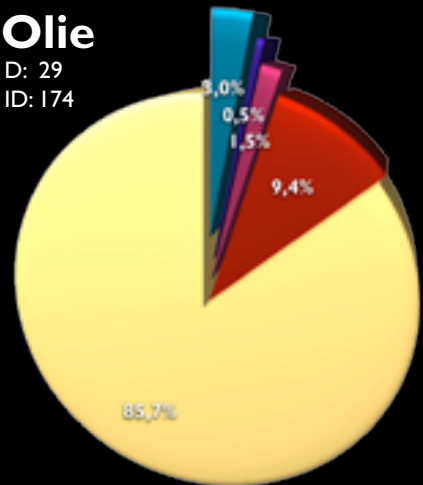
Steenkool

D: 881
ID: 102



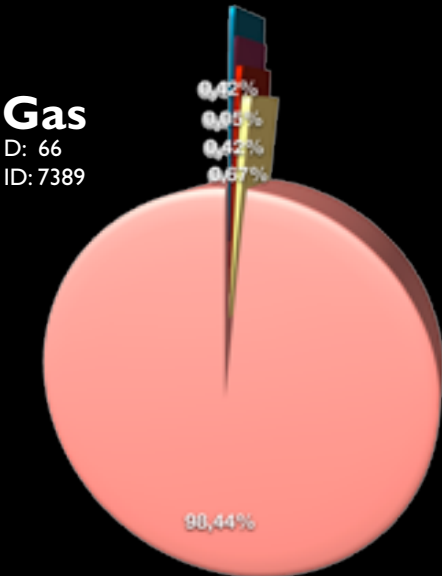
Olie

D: 29
ID: 174



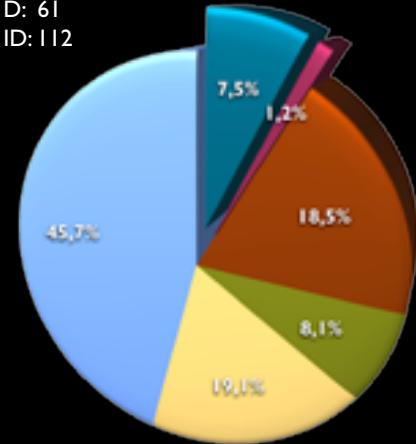
Gas

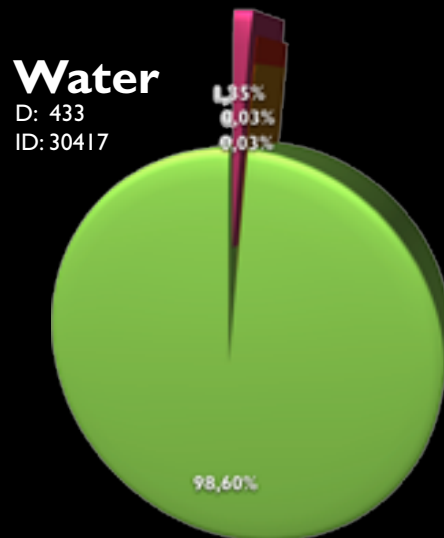
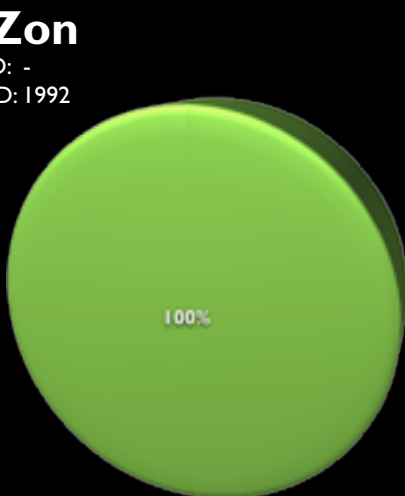
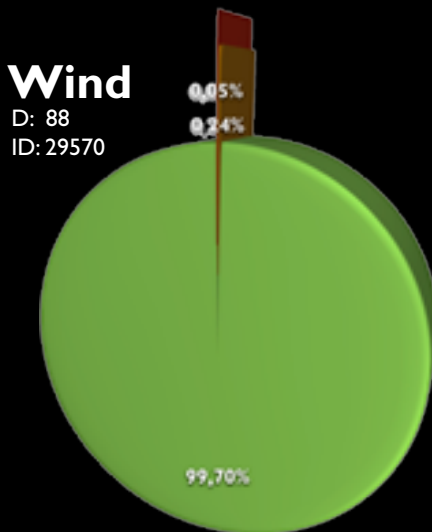
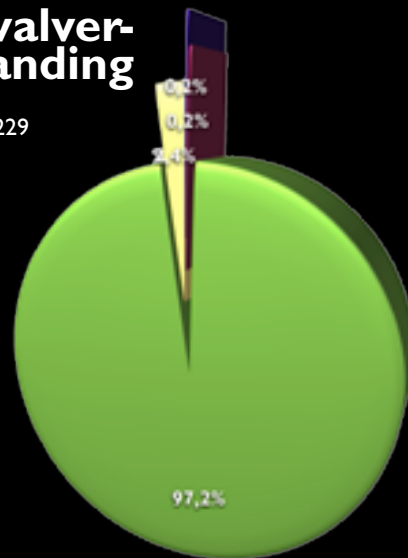
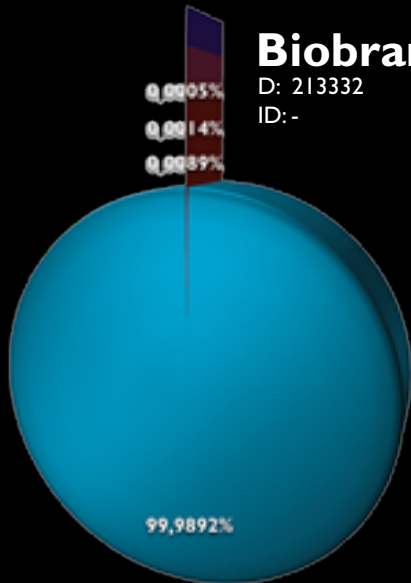
D: 66
ID: 7389



Kernenergie

D: 61
ID: 112





- delving grondstof
- transport grondstof naar opwekkingseenheid
- opslag grondstof bij opwekkingseenheid
- opwekking energie (turbine, koeling en logistiek)
- ontsluiting (alleen bij decentrale opwekking)
- opslag van afvalproducten
- onttrekkingsruimte
- veiligheidszone / hindercirkel opwekkingseenheid
- veiligheidszone transport grondstof
- veiligheidszone opslag afvalstoffen

ruimtebeslag in ha.	niet duurzaam, met mogelijkheid tot pieklevering				
	bruinkool	ruimtebeslag 1500 MW	steenkool	ruimtebeslag 1500 MW	
delving grondstof massa (miljoen kg / 1000 ton)	berekening verbrandingswaarde	1415	berekening verbrandingswaarde	1155	
delving grondstof volume (miljoen m3) (=hm3)	berekening verbrandingswaarde	1,23	berekening verbrandingswaarde	0,87	
DIRECT ruimtebeslag					
delving grondstof (ha)	dagbouwgroeve RVVE	374	57% dagbouw / 43% schachtbouw	834	
transport grondstof naar opwekkingseenheid (ha)	spoor (zone 10m breed)	25	haven en spoor	2	
opslag grondstof bij opwekkingseenheid (ha)	kleine voorraad (piek)	1	voorraadberg	18	
opwekking energie (turbine, koeling en logistiek) (ha)	turbinehal + koeling	14	turbinehal + koeling	25	
ontsluiting (ha) (alleen voor decentrale opwekking)	te verwaarlozen	-	te verwaarlozen	-	
opslag van afvalproducten (ha)	opvulling oude groeve	-	afvalberg	2	
PM transport electriciteit naar eindgebruiker (ha)	hoogspanningsleiding		hoogspanningsleiding		
totaal (ha)		414		881	
INDIRECT ruimtebeslag					
Onttrekkingsruimte		-		-	
veiligheidszone / hindercirkel opwekkingseenheid (ha)	hindercirkel 500m per centrale	17	hindercirkel 500m per centrale	102	
veiligheidszone transport grondstof (ha)	verwaarloosbaar	0	verwaarloosbaar	0	
veiligheidszone opslag afvalstoffen (ha)	nvt	0	nvt	0	
totaal (ha)		17		102	
TOTAAL Direct + Indirect ruimtebeslag		431		983	
CO2 uitstoot (miljoen kg)		4077		5997	
CO2 uitstoot volume (km3)		2,08		3,05	
CO2 uitstoot volume (hm3, vergelijk met ha)		2076		3053	
CO2 uitstoot bij productie opwekkingseenheid					
vermeden CO2 uitstoot					
terugverdiëntijd (productie -)					
CO2 uitstoot over levenscyclus (miljoen kg)				3387	
CO2 uitstoot per brandstof				1182	
CO2 uitstoot per brandstof				3726	

	olie	ruimtebeslag 1500 MW	gas	ruimtebeslag 1500 MW	kernenergie	ruimtebeslag 1500 MW		
	berekening verbrandingswaarde	663	berekening verbrandingswaarde	745	berekening wereldproductie uranium	0,051		
	berekening verbrandingswaarde	0,74	berekening verbrandingswaarde	894	berekening wereldproductie erts	0,048		
	bovengrondse infra (+ opslag)	6	boorinstallatie + terrein NAM	31	uraniummijn	13		
	haven (schatting)	1	pijpleiding ondergronds	-	weg (Ranger): 11,8 km	0		
	opslag in tanks MOT (schatting)	3	gashouder + terrein	4	verrijkingsinstallaties (schatting)	2		
	turbinehal + koeling	19	turbinehal + koeling	31	turbinehal + koeling	32		
	te verwaarlozen	-	te verwaarlozen	-	te verwaarlozen	-		
	nvt	-	nvt	-	terrein Belgoproces	14		
	hoogspanningsleiding		hoogspanningsleiding		hoogspanningsleiding			
		29		66		61		
		-		-		-		
	hindercirkel 500m per centrale	174	hindercirkel 500m per centrale	50	risicocirkel 500m per centrale	33		
	verwaarloosbaar	0	gasleiding strook 50m	7339	bestaand spoor	-		
	nvt	0	nvt	0	veiligheidszone 500m Belgoproces	79		
		174		7389		112		
		203		7455		173		
		4198		908		0		
		2,14		0,46		0		
		2137		462		0		
				1355				
		874		708				
		2608		1998				

ruimtebeslag in ha.

	biobrandstof	ruimtebeslag 1500 MW	afvalverbranding	ruimtebeslag 1500 MW	
delving grondstof massa (miljoen kg / 1000 ton)		758	berekening verbrandingswaarde	2829	
delving grondstof volume (miljoen m3) (=hm3)		0,84	berekening verbrandingswaarde		
DIRECT ruimtebeslag					
delving grondstof (ha)	plantage (palmolie / raapzaadolie)	213309			
transport grondstof naar opwekkingseenheid (ha)	experimenteel, cijfers gelijk gesteld aan olie	1	wegen	-	
opslag grondstof bij opwekkingseenheid (ha)		3	vuilstort	38	
opwekking energie (turbine, koeling en logistiek) (ha)		19	verbrandingsoven	28	
ontsluiting (ha) (alleen voor decentrale opwekking)		-	te verwaarlozen	-	
opslag van afvalproducten (ha)		-	?	-	
PM transport electriciteit naar eindgebruiker (ha)			hoogspanningsleiding		
totaal (ha)		213332		66	
INDIRECT ruimtebeslag					
Onttrekkingsruimte		-	494580 huishoudens, 572 kg/jaar	17791	
veiligheidszone / hindercirkel opwekkingseenheid (ha)		-	stankcirkel 500m per centrale	438	
veiligheidszone transport grondstof (ha)		-	-	0	
veiligheidszone opslag afvalstoffen (ha)		-	nvt	0	
totaal (ha)		0		18229	
TOTAAL Direct + Indirect ruimtebeslag		213332		18295	
CO2 uitstoot (miljoen kg)	gesloten circuit'	0		3768	
CO2 uitstoot volume (km3)		0		1,92	
CO2 uitstoot volume (hm3, vergelijk met ha)		0		1918	
CO2 uitstoot bij productie opwekkingseenheid					
vermeden CO2 uitstoot					
terugverdientijd (productie -)					
CO2 uitstoot over levenscyclus (miljoen kg)					
CO2 uitstoot per brandstof					
CO2 uitstoot per brandstof					

duurzaam, zónder mogelijkheid tot pieklevering							
	wind	ruimtebeslag 1500 MW	zon	ruimtebeslag 1500 MW CSP (N Sahara)	ruimtebeslag 1500 MW PV (NL)	water	ruimtebeslag 1500 MW
	nvt	-	nvt	-	-	nvt	-
	nvt	-	nvt	-	-	nvt	-
	nvt	-	nvt	-	-	nvt	-
	nvt	-	nvt	-	-	nvt	-
	nvt	-	nvt	-	-	stuwmeer	416
	voet van 1605 windmolens	16	CSP / PV	-	-	ca 2% van opp stuwmeer	8
	toegangsweg	72	te verwaarlozen	-	-	ca 2% van opp stuwmeer	8
	nvt	-	nvt	-	-	nvt	-
	hoogspanningsleiding		hoogspanningsleiding			hoogspanningsleiding	
		88		0	0		433
	5x gem rotordiameter	29570		339	1992	stroomgebied (stroomopwaarts)	30417
	hindercirkel (4xrd) 100% in onttrekkingsgebied	23656	verwaarloosbaar	0	0	nvt	0
	nvt	0	nvt	0	0	nvt	0
	nvt	0	nvt	0	0	nvt	0
		29570		339	1992		30417
		29658		339	1992		30850
		0		0	0		0
		0		0	0		0
		0		0	0		0
		27					

literatuurlijst en bronnen

Literatuurlijst en bronnen

Backer, Anne Mieke & Arij de Boode; *De schoonheid van hoogspanningslijnen in het Hollandse landschap*; Uitgeverij De Hef; 1986

Baumer, Andrea e.a *Talsperren in der Schweiz | Dighe in Svizzera | Barrages en suisse | Dams in Switzzeland* (kalender met foto's en gegevens van stuwdammen in Zwitserland); Ofima SA, Locarno, 2007

Belanger, Pierre; *Wasteland; Airspace; the ecologies and economics of landfilling in Michigan*; Centre for Landscape research; Toronto, 2006

Corner, James; Photographs: Alex S. MacLean; *Taking Measures Across the American Landscape*; Yale University Press, New Haven (USA), 1996

Didde, René; *Omgekeerd stuwmeer in zee- adviesbureau KEMA werkt plan uit voor opslageiland voor energie in de Noordzee*, Volkskrant 07 juli 2007,

Greenpeace ; *Wereld achter kolenstroom; de dubieuze herkomst van steenkool voor Nederlandse kolencentrales*, de; Greenpeace; Amsterdam, 2008

EnergieNed *Energie in Nederland 2007*; Arnhem, 2007

Energieraad & VROMraad; *Energietransitie; klimaat voor nieuwe kansen*; Den Haag, 2004;

European Commission; *ExternE; Externalities of Energy vol. I : summary*; Directorate-General XII; Brussel, EUR 16520, 1995

Freese, Barbara; *Coal, a Human History*; Pinguin; New York , 2003

Hayes,Brian; *Infrastructure; the book of everything for the Industrial landscape*; W.W.Norton & Company, New York, 2005

Kiehl, J.T. and Trenberth, K. E. *Earth's Annual Global Mean Energy Budget*, Bull.Amer. Meteor. Soc., 78, 197-208 1997

Knip,Karel *Een atol in de Noordzee; oude ideeën moeten nieuwe oplossingen bieden voor energieproblemen*, NRC Handelsblad, 18 augustus 2007;

Kuiper, L. | Lint, S.,de, *Binnenlands biomassapotentieel; biomassa uit natuur, bos ,landschap , stedelijk groen en houtketen*; Ecofys | ministerie van LNV | Bosschap;Utrecht, 2008

Lintsen, H.W. prof.dr.ir. *Geschiedenis van de Techniek in Nederland; De wording van een moderne samenleving 1800-1890. Deel 3: katoen, gas, licht en electriciteit, bouwen.*; Stichting Historie der Techniek, Walburg Pers; Zutphen, 1992

Menkveld, M.; *Duurzame energie en ruimte; de potentiële bijdrage van duurzame energie aan CO₂ - reductie in Nederland*; ECN;; Petten, 2002

Mkhitarian, M.N. ; *The Atlas of potential renewable ad non-conventional energy sources of Ukraine*; the National Academy of Sciences of Ukraine; Kiev, 2007

NAM *Energie uit de diepte*; Assen, 1995

Persson, Michiel; *Electrische stroom waar zout water met zoet wil mengen; Nieuwe methode om electriciteit uit zee en rivieren te halen is omstreden* De Volkskrant, 26 oktober 2007;

PriceWaterhouseCoopers ;*Financial and economic comparision of coal, gas and wind as options for Dutch eelectricity generation*, A-; Greenpeace ; Amsterdam, 2008;

Rooijers, ir F.J. & ir J.P. van Soest; *Energietechnieken in landelijke gebieden. Ontwikkelingen in wetenschap en technologie.*; Nationale Raad voor Landbouwkundig Onderzoek; Den Haag, 1998

Pauli, Lori; *Manufactured Landscapes*; National Gallery of Canada | Yale University Press; New Haven (USA), Ottawa (CAN), 2003

Ruimtelijk Planbureau; *Energie is ruimte*; Nai uitgevers, Den Haag, 2003

Kuijpers-Linde, M.A.J., -e.a.; *Nederland Later-tweede duurzaamheidsverkenning- deel Fysieke leefomgeving Nederland*; Natuur-en milieuplanbureau, Den Haag, 2007;

Reijnders, Lucas; *Energie, van brandhout tot zonnecel*; van Gennep, Amsterdam, 2006

Schot, J.W., H.W. Lintsen, A. Rip & A.A. de la Bruheze.; *Techniek in Nederland in de twintigste eeuw. Delfstoffen, energie, chemie.*; Stichting Historie der Techniek | Walburg Pers; Zutphen, 2000

Sijmons, Dirk; *Windturbines in het Nederlandse landschap- advies/achtergronden/visies*; atelier Rijksbouwmeester, Den Haag, 2007

Tennet; *Naar een probleemloze inpassing van grootschalige windenergievermogen*, Position Paper Arnhem, 2005

Whitesides, George M. and George W. Crabtree, "Don't Forget Long-Term Fundamental Research in Energy", Science 9, February 2007: Vol. 315. no. 5813, pp. 796 - 798.

.

colofon



Colofon PM



