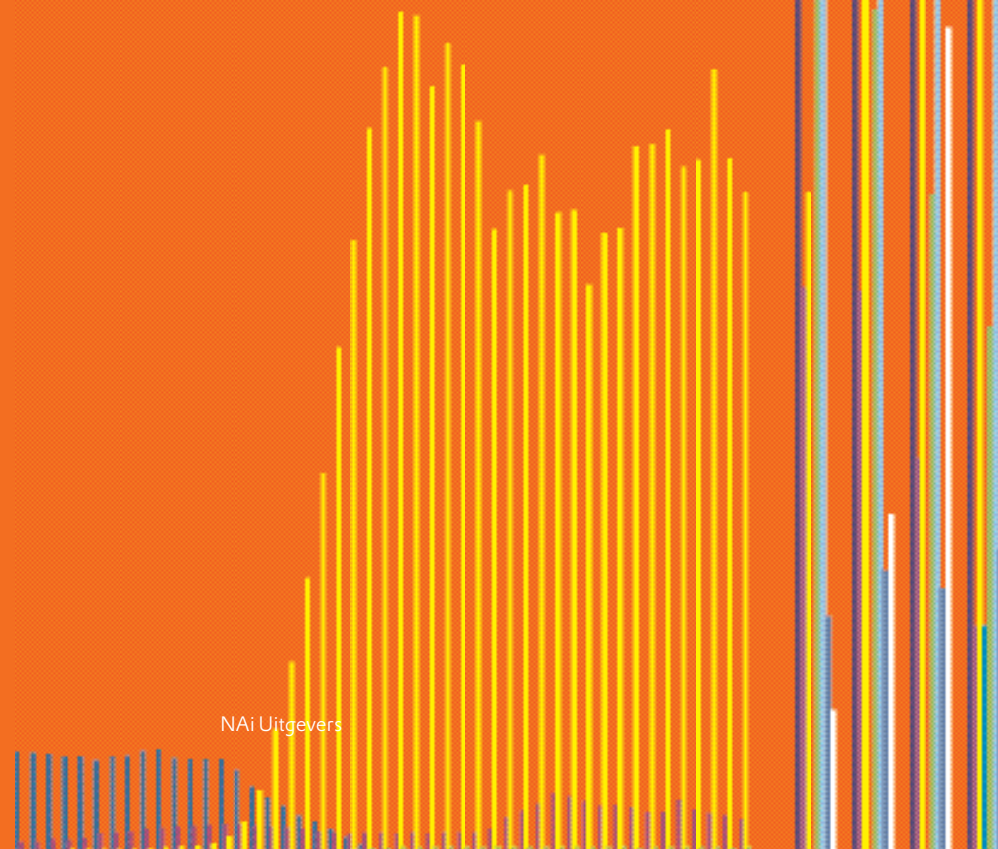
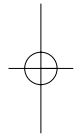


Energie is ruimte



Reeds verschenen publicaties

Scene, een kwartet ruimtelijke scenario's voor Nederland
Ed Dammers, Hanna Lára Pálsdóttir, Frank Stroeken,
Leon Crommentuijn, Ellen Driessen, Friedel Filius

ENERGIE IS RUIMTE

Hugo Gordijn
Femke Verwest
Anton van Hoorn

NAi Uitgevers, Rotterdam
Ruimtelijk Planbureau, Den Haag
2003

INHOUD

Samenvatting

Huidige energiebronnen en ruimte 7
Energie en ruimte in de toekomst 8
Aanbevelingen 8

Inleiding

Achtergrond 11
Aanleiding 11
Opbouw rapport 12

De ruimtelijke geschiedenis van energie

Inleiding 15
Spierkracht en hout 15
Windkracht en waterkracht 16
Turf en ontvening 17
Steenkool 19
Olie 22
Gas 26
Kernenergie 28
Elektriciteit 29
Conclusie 30

Het huidige ruimtegebruik van energiesystemen

Inleiding 35
Kolen 35
Olie 37
Gas 39
Kernenergie 42
Duurzame energiebronnen 44
Elektriciteit 46
Conclusies 48
Huidig beslag de ruimte van kolen, olie, gas, kernenergie en elektriciteit 49

De toekomst van energie en ruimte

Inleiding 69
Toekomstig energiegebruik 69
Windenergie 72
Biomassa 77
Zonnenergie 80
Waterkracht 81
Waterstof 82
Conclusies 83
Huidig en potentieel beslag op de ruimte van wind, bio-, zonne-energie en waterkracht 85

De energie- en ruimteagenda

Inleiding 99
Beslag op de ruimte 99
Infrastructuur 101
Belevingswaarde van de ruimte 102
Conclusie 103

Literatuur 105

SAMENVATTING

Door de geschiedenis heen hebben de ontwikkelingen in de energievoorziening steeds ruimtelijke consequenties gehad. Toch wordt het debat over de relatie tussen energie en ruimte in Nederland op dit moment niet gevoerd. Bij de huidige discussie over duurzame energie blijven de ruimtelijke consequenties onderbelicht. En dat is vreemd. Immers, niet alleen zal de behoefte aan energie in de toekomst toenemen, maar vooral de voorgenomen overgang naar een grootschaliger gebruik van hernieuwbare bronnen zal haar effecten hebben op de ruimte. Het was de aanleiding voor het Ruimtelijk Planbureau om de relatie tussen energie en ruimte als onderwerp in zijn werkprogramma op te nemen.

Huidige energiebronnen en ruimte

Steenkolen, aardolie en aardgas zijn de belangrijkste energiebronnen die nu in gebruik zijn. Zij hebben een aandeel in de mondiale energievoorziening van respectievelijk 26, 40 en 23 procent. Hun winning vindt grotendeels ondergronds plaats; de zichtbaarheid en het bovengrondse ruimtebeslag zijn relatief beperkt. Het grootste ruimtebeslag komt voor rekening van de aanvoer, opslag en overslag: kadeterreinen, overslagterminals en opslagterreinen. Daarnaast nemen de grote petrochemische industriecomplexen veel ruimte in beslag: Maasvlakte/Europoort/Botlek/Moerdijk en Zuid-Limburg. De distributie van aardgas is weinig zichtbaar; deze vindt plaats via buisleidingen, voornamelijk onder de grond.

Daarnaast wordt energie geleverd door kerncentrales, waterkracht en andere duurzame bronnen. Het aandeel van deze energiebronnen in de totale energievoorziening is gering, respectievelijk 7, 2 en 1 procent. Sommige duurzame bronnen kennen een aanzienlijk direct ruimtebeslag, zoals biomassa. Windmolens hebben vooral een indirect ruimtegebruik: binnen bepaalde afstanden mogen geen woningen of bedrijven worden gebouwd. In vergelijking met de andere, ook de fossiele, energiebronnen is het ruimtebeslag door kernenergie zeer efficiënt. Toch is de toepassing van kernenergie wereldwijd omstreden. Dat heeft te maken met allerlei veiligheidsaspecten en de problematiek van het radioactieve afval.

Elektriciteit is een belangrijke energiedrager. Zij wordt opgewekt in elektriciteitscentrales die worden gestookt op kolen, olie, gas of kernenergie, of in waterkrachtcentrales. De grote ruimtelijke impact van elektriciteit zit in het bovengrondse transport via hoogspanningsleidingen. Zo staan er in Nederland 14.864 hoogspanningsmasten.

Energie en ruimte in de toekomst

Volgens alle scenario's neemt het mondiale energiegebruik in de toekomst verder toe. Het aandeel van steenkool en olie daalt, evenals dat van kern-energie, en de bijdrage van gas stijgt. Als gevolg van de klimaatproblematiek, de uitputting van grondstoffen en de voorzieningszekerheid zijn het vooral de duurzame energiebronnen die in de belangstelling staan. De EU-landen streven in dit kader een snelle transitie naar de duurzame energiesystemen na. Dat is ook het beleid van de Nederlandse regering. De vraag is dan of dit beleid consequenties heeft voor de hoeveelheid ruimte die nodig is voor energie. De voornamelijk bovengrondse energiebronnen zullen, in vergelijking tot de fossiele bronnen, immers meer vierkante kilometers in beslag nemen.

In het windrijke Nederland heeft windenergie het grootste potentieel, vooral als de molens op de Noordzee worden geplaatst. Er staan nu zo'n 1.600 molens met een gezamenlijk vermogen van 750 MW, waarmee in 1,5 procent van het elektriciteitsverbruik wordt voorzien. Het directe ruimtegebruik van windmolens is gering. Het indirecte ruimtebeslag heeft vooral te maken met geluid, gevaar en slagschaduwhinder.

Ook biomassa is een belangrijke bron, die in Nederland 74 procent van de duurzame energieopwekking levert. Een groot deel daarvan wordt geleverd door de vuilverbranding. Dit gebeurt redelijk ruimte-intensief. Dat ligt anders voor de productie van energiegewassen. Het is duidelijk dat dit binnen Nederland niet op grote schaal kan geschieden. De ruimte is schaars en de grondprijs hoog.

Het gebruik van fotovoltaïsche zonne-energie is ruimte-efficiënt; de zonnepanelen worden voornamelijk geplaatst op bestaande daken. De kostprijs is echter een factor 20 hoger dan die van fossiele bronnen. Economisch veel haalbaarder is zonnewarmte en de opslag daarvan in boilers. Te verwachten is dat deze methode in de nieuwbouw van eengezinswoningen standaard kan worden toegepast.

Wereldwijd is waterkracht de belangrijkste bron van duurzame energie; 9 procent van alle elektriciteit wordt met waterkracht opgewekt. In Nederland zijn er vier waterkrachtcentrales die een gezamenlijk vermogen hebben van slechts 37 MW. Veel meer potentieel is er niet door het geringe verval der rivieren. Het ruimtebeslag door de centrales zelf is relatief beperkt.

Aanbevelingen

In de verkenning van de relatie tussen energie en ruimte zijn enkele aandachtspunten voor de toekomst naar voren gekomen.

Beslag van de ruimte

Reserveer nu al meer ruimte voor windmolenparken. Als het beleid gericht op windenergie succesvol is, dan moet de mogelijkheid aanwezig zijn om veel

meer molens te plaatsen. Daarom moet verder worden gedacht dan 2020 en moet nu al ruimte worden gereserveerd voor een veel grotere capaciteit: 20.000 MW (2.400 km²). Bruto lijkt er voldoende ruimte op de Noordzee om een dergelijk oppervlak te realiseren. Wel moeten alle concurrerende ruimteclaims ten aanzien van de Noordzee worden geactualiseerd en op mogelijkheden voor medegebruik worden bekeken.

Reserveer havenruimte. Dit is een belangrijk aandachtspunt bij de omschakeling naar grootschalige windenergie. Er is ook ruimte nodig voor de opslag van onderdelen, plaatsing, onderhoud en reparaties.

Infrastructuur

Stimuleer LPG-transport per pijpleiding. Het indirecte ruimtegebruik van energie voor mobiele bronnen is erg hoog, vooral bij LPG-stations en -transport. Dit gaat gepaard met aanzienlijke risico's, en veiligheidsnormen, en belemmert zo de ruimtelijke ontwikkeling in hun omgeving. Als men ervoor kiest deze risico's te saneren, dan is het vanuit ruimtelijke overwegingen verstandig het gebruik van LPG als autobrandstof te ontmoedigen, het transport per spoor te ontmoedigen en het transport per buisleiding te stimuleren.

Er moet een ontwerpstudie komen voor de energie-infrastructuur op de Noordzee. De bestaande infrastructuur om de op zee opgewekte windenergie naar land af te voeren, is volstrekt onvoldoende om de beleidsdoelen te realiseren. Op dit punt dient de energiesector snel actie te ondernemen.

Benut de kansen voor import van biomassa. Waar de ruimtelijke mogelijkheden voor een grootschalige productie van biomassa beperkt zijn, biedt de Nederlandse transportinfrastructuur bij uitstek kansen om biomassa, ook voor het Europese achterland, te importeren. De bestaande petrochemische infrastructuur kan uitstekend worden aangepast aan deze grondstof.

Belevingswaarde van de ruimte

Benut de kansen voor het landschap. De (beperkte) overgang naar biomassa biedt kansen om het landschap en de landbouwsector te versterken. Natuurwaarden, recreatie en toerisme kunnen hierop meeliften. Maar ook andersom zou, als een bos wordt aangelegd om de Ecologische Hoofdstructuur te versterken, het dunningshout dat dit bos levert, kunnen worden benut in houtcentrales.

Verbeter de methoden om Nimby-gedrag te voorkomen. Het instrument van compensatie zou in de regelgeving een grotere plaats moeten krijgen. Huishoudens die binnen een straal van 12 maal de masthoogte van een windmolen wonen en last hebben van slagschaduwhinder, moeten bijvoorbeeld kunnen profiteren van lagere elektriciteitsstarieven.

Combineer functies. Sommige activiteiten zullen op zichzelf staand misschien niet rendabel te exploiteren zijn, maar in combinatie met andere functies juist wel. Denk bijvoorbeeld aan een combinatie van energiewinning op de Noordzee met visserij, ocean pharming, toerisme en recreatie, en educatie.

Tot slot

Onze bevinding is dat het in het debat over energie ook over de ruimtelijke aspecten moet gaan: Welke effecten op ruimtegebruik zijn we bereid te accepteren voor de winning van energie? Hoe kan energiewinning de ruimtelijke kwaliteit verhogen? Welke kansen biedt een ruimtelijke bundeling voor andere (economische) functies? Andersom kunnen ruimtelijke beperkingen een rem vormen op de transitie naar duurzame energie, die in het Nederlandse én internationale beleid wordt gestimuleerd.

Het onderwerp van de ruimte zal dus nadrukkelijker aandacht moeten krijgen op de energieagenda. Tegelijkertijd moet energie altijd een belangrijk punt zijn op de ruimteagenda.

INLEIDING

Achtergrond

In de moderne samenleving is energie een essentieel gegeven. Het functioneren van onze samenleving staat of valt immers met een betrouwbare en efficiënte energievoorziening. Zonder elektriciteit blijft het donker en stil; werkt geen computer en ligt het Internet plat. Zonder benzine staat alles stil; geen pak melk bereikt de winkel. En zonder gas kunnen we niet koken en blijven onze huizen onverwarmd.

Niet alleen de samenleving maar ook het Nederlandse landschap is eeuwenlang beïnvloed door de energievoorziening. Veenafgravingen voor de winning van turf hebben grote delen van het land een geheel ander aanzien gegeven. Zij veranderden het ontoegankelijke veenlandschap met moerassen en veenbulten in waterplassen en strak geordende veenweidegebieden of veenkoloniale landschappen. In Zuid-Limburg herinneren steenhopen nog aan de kolenmijnbouw.

Hiernaast werd veel infrastructuur aangelegd voor het transport en de verwerking van de energiegrondstoffen. Voor het transport van turf en steenkool werden kanalen gegraven en spoorwegen aangelegd. Voor het transport van olie werden havens aangelegd en werd in Rijnmond een gigantisch petrochemisch complex van raffinaderijen en verwante chemische bedrijven gebouwd. Niet altijd is die infrastructuur zo zichtbaar. Nadat in Slochteren een enorme gasbel werd gevonden, zijn bijna alle woningen in Nederland op aardgas aangesloten via een onzichtbaar ondergronds transportnet van meer dan 100.000 kilometer. Ook het elektriciteitsnet waarop de woningen en bedrijven in ons land zijn aangesloten, onttrekt zich grotendeels aan onze waarneming: in stedelijke gebieden ligt het in de ondergrond. Daarentegen is het landelijk hoogspanningsnet, met zijn markante hoogspanningsmasten, op vele plaatsen in het landschap duidelijk zichtbaar.

Er is dus altijd al een duidelijke relatie geweest tussen energie en ruimte. De winning, het transport en het gebruik van energie hebben grote consequenties voor het landschap gehad, en ook nu nog wordt de kwaliteit van dat landschap in hoge mate bepaald door de energievoorziening.

Aanleiding

Op dit moment vormen de fossiele brandstoffen, zoals kolen, olie en gas, het leeuwendeel van de huidige energiebronnen. De laatste jaren is het beleid, zowel op wereldschaal als op Europees en nationaal niveau, er echter steeds meer op gericht de energievoorziening een duurzamer karakter te geven.

Hierachter zitten drie drijvende krachten: het klimaat, de uitputting van grondstoffen/duurzaamheid en de geopolitiek/voorzieningszekerheid. Het zijn krachten die de komende tijd, bij een toenemende behoefte aan energie, sterk aan urgentie zullen winnen. We staan dan ook aan de vooravond van de grootschalige introductie van nieuwe, duurzame, energiesystemen.

Het aandeel van duurzame bronnen aan de energievoorziening bedraagt momenteel ongeveer één procent. Ook deze bronnen hebben hun effecten op de ruimte. Biomassa wordt in Nederland tot op heden vooral als afvalproduct mee gestookt in centrales en in aparte afvalverbrandingsinrichtingen. Het wordt dus nog niet op grote schaal en speciaal voor energiedoelinden geteeld. Daarnaast zijn er de afgelopen jaren steeds meer zonnepanelen verschenen, die – met hun plaatsing op daken – nauwelijks een ruimtebeslag hebben. Het zijn echter vooral de windmolens – zo’n 600 stuks – die het huidige aandeel duurzame energie voor hun rekening nemen. Sommigen vinden die windmolens prachtig, anderen niet en degenen die de windmolenparken ontwikkelen, klagen over stroperige procedures en NIMBY-gedrag ('not in my backyard').

Maar hoe gaat Nederland eruit zien wanneer we op grote schaal overschakelen op duurzame energie; wanneer het aandeel duurzame energie wordt uitgebreid van de huidige één procent naar 10, 30 of zelfs 70 procent? Moet op de Noordzee een nieuwe infrastructuur worden aangelegd voor grootschalige windmolenparken? En wat zijn de landschappelijke gevolgen wanneer we overschakelen op biomassa? Hoeveel ruimte is daarvoor nodig en ten koste van welk ander grondgebruik zou dit gaan? Of gaan we biomassa importeren? En welke kansen biedt de ruimtelijke ligging van Nederland in dat geval? Welke rol kunnen onze havens spelen? Hoe groot wordt de benodigde oppervlakte aan zonnepanelen op onze daken? Zijn opslagsystemen nodig voor het geval de zon niet schijnt en de wind niet waait? Hoeveel ruimte is daarvoor nodig? Dit soort vragen met betrekking tot het ruimtegebruik voor de winning, het transport en het gebruik van energie, komt in dit rapport nader aan de orde. Hiermee willen we het debat over energie in relatie tot ruimte op de beleids- en ontwerpagenda zetten.

Opbouw rapport

Het rapport is chronologisch opgebouwd. In hoofdstuk 2 wordt een beeld geschetst van de manier waarop energie en ruimte in het verleden met elkaar samenhangen. De geologische voorkomens van turf, kolen, olie en gas bepaalden de energiewinning, en daarmee het landschap, de nederzettingenstructuur, de transportvoorzieningen en het effect op de economische structuur van een land. Hoofdstuk 3 gaat vervolgens in op het huidige ruimtegebruik van de energiesystemen, vooral steenkool, olie, gas, kernenergie en elektriciteit. Daarna biedt hoofdstuk 4 inzicht in het toekomstig ruimtebeslag. Het accent in dit hoofdstuk ligt bij de nieuwe energiesystemen, zoals biomassa, waterkracht, wind- en zonne-energie. Het rapport wordt afgesloten met een samenvattend hoofdstuk, waarin enkele conclusies worden getrokken en het vraagstuk van energie en ruimte wordt geagendeerd.

DE RUIMTELIJKE GESCHIEDENIS VAN ENERGIE

Inleiding

In dit hoofdstuk gaat het over de ruimtelijke gevolgen van de energiesystemen die elkaar in Nederland tot nu toe zijn opgevolgd: hout, wind en water, turf, steenkool, olie, gas en kernenergie. We willen hierbij geen volledig overzicht geven, maar vooral laten zien dat de overgang naar een nieuw energiesysteem belangrijke ruimtelijke effecten kan hebben. Het begrip ruimtelijke effecten vatten we breed op: niet alleen het directe en indirecte ruimtegebruik van de energiebron, maar ook zijn gevolgen voor het landschap, de nederzettingenstructuur, de transportnetwerken en de vestigingsplaats van industrieën. De indeling van dit hoofdstuk volgt de chronologie van de opeenvolgende energiesystemen. In hoofdstuk 3 gaan we vervolgens preciezer in op het ruimtegebruik van de energiesystemen die op dit moment in gebruik zijn.

Spijkracht en hout

Lang was spijkracht de voornaamste energiebron in Nederland. De vissers en jagers die hier in de prehistorie woonden, zwierven door het land; ze hadden geen vaste woonplaats. Zij gebruikten voornamelijk spijkracht, van mens en dier, als bron van energie, om akkers te bewerken en voedsel te bereiden. De spijkracht van dieren zou overigens nog lange tijd een rol in de energievoorziening spelen. Zo werden tot in het begin van de negentiende eeuw vaak dieren ingezet bij het transport van personen en goederen: de trekvaart. Langs veel kanalen loopt bijvoorbeeld nog steeds een Jaagpad, waarop de paarden, en mensen, liepen die de trekschuiten moesten voortbewegen. Ook de paardentram reed nog lang in Nederland.

Met de ontdekking en beheersing van het vuur werd het mogelijk om gras en hout te verbranden. De overstap naar hout als energiebron had een belangrijke ruimtelijke consequentie: doordat men het vuur kon gebruiken voor de verwarming van woonplaatsen, werd het mogelijk om ook in noordelijker gebieden te gaan wonen. Vroeg in de nieuwe steentijd, omstreeks 4400 voor Chr., vestigden de eerste landbouwers zich in Zuid-Limburg. In tegenstelling tot de jagers en vissers die voorheen Nederland bevolkten, hadden zij vaste woonplaatsen. Om grond geschikt te maken voor de landbouw, rooiden en brandden zij stukken bos: één van de eerste grote menselijke ingrepen in het Nederlandse landschap. Het duurde tot 3000 v. Chr. voordat ook in andere delen van Nederland landbouwers en veehouders zich op vaste woonplaatsen vestigden. Verdergaande ontbossingen waren het gevolg. Niet alleen vanwege de toenemende behoefte aan akker- en weidegrond, maar ook omdat men bouwmetaal nodig had én brandstof om ijzererts te smelten, woonplaatsen te verwarmen en voedsel te bereiden (Mörzer Bruijns en Benthem 1979).

De winning van hout voor energie heeft dus een aanzienlijke impact gehad op het Nederlandse landschap: veel bossen werden geroid. Hoe groot deze impact precies is geweest, is moeilijk te zeggen. Over deze periode is ten eerste weinig bekend. Maar ook is het moeilijk in te schatten hoeveel van de bossen daadwerkelijk zijn gekapt voor de energievoorziening. Hout was immers ook nodig als bouw materiaal en bossen moesten wijken voor akkers en weiden, voor de landbouw en veeteelt (Reijs 1943).

In de Romeinse tijd namen, als gevolg van de technologie, het bestuur en de Pax Romana, de bevolkingsgroei en welvaart in Nederland toe, en hiermee de energiebehoefte. Maar na de ineenstorting van het Romeinse rijk liep het aantal inwoners van Nederland weer sterk terug. Dit had enerzijds te maken met de politieke onrust; anderzijds werden, als gevolg van de stijgende zeespiegel, grote delen van Nederland te drassig om te kunnen worden bebouwd. De akkers en weiden die hierdoor verlaten werden, konden zo weer terugkeren tot hun oude natuurlijke staat: bos. Doordat het aantal inwoners van Nederland afnam, daalde ook de totale energiebehoefte in ons land (Mörzer Bruijns en Benthem 1979). Toen in de zevende en achtste eeuw de levensomstandigheden in Nederland weer gunstiger werden voor bewoning, namen de bevolkingsomvang en de energiebehoefte opnieuw toe. In deze tijd bleek dus al de relatie tussen bevolkingsomvang, welvaart en energiebehoefte.

Tot ver voorbij de Middeleeuwen werd hout verbrand om de huizen te verwarmen en ovens te verhitten. In de agrarische samenleving die Nederland was, was de energievoorziening vaak een concurrent voor de voedselvoorziening. Waar bossen stonden, konden geen akkers en weilanden worden aangelegd. Het hout werd sneller verbruikt dan gereproduceerd en de voorraad verminderde snel – de overeenkomst met de huidige problematiek van de bossen in ontwikkelingslanden dringt zich op. Op een gegeven ogenblik bracht het gebrek aan hout als brandstof, en de daarmee samenhangende prijsstijging van energie, in veel Nederlandse bedrijfstukken dan ook een stagnering teweeg. Zonder brandstof was het onmogelijk om de productie uit te breiden; de economische groei bereikte een plafond. Door dit tekort aan brandhout kwamen echter andere energiebronnen in beeld, waaronder turf, wind- en waterkracht.

Windkracht en waterkracht

Waterkracht kende in de Middeleeuwen een brede verspreiding. Zo bevonden zich in 1086, zo blijkt uit het *Domesday Book*, in het gebied ten oosten en zuiden van Wales – met een bevolking van 1,4 miljoen mensen – 5.634 watermolens. Dit komt neer op een molen per 50 huishoudens (Sparnaay 2002:33-34). Waterkracht werd meestal toegepast voor het malen van graan. De watermolens zaten elkaar soms in de weg en belemmerden de scheepsvaart. Tot in de twintigste eeuw zijn zij in gebruik gebleven.

In Nederland komen waterradmolens vooral voor in Oost- en Zuid-Nederland. Zij werden al in de zeventiende eeuw gebouwd voor onder andere de

Turf werd vaak over water vervoerd. Hiervoor zijn speciale kanalen gegraven.

Turfsteken in Drenthe.

Laagveengebied met waterstreek-dorp. Vanuit de veenrivieren werd het land in cultuur gebracht.

Droogmakerij in laagveengebied. Door ontvening ontstonden plassen, die soms werden drooggelegd. Zo ontstond een nieuwe, ruimere rationale verkaveling.

Kanaalveenkolonie in hoogveengebied. Het veen werd ontwaterd door kanalen en wijken. De toestromende arbeiders werden gehuisvest in het dorp aan het kanaal.

Laagveengebied met moerasbos. Door ontginning verdwenen de unieke veenlandschappen met hun kenmerkende moerasbossen.



papierfabricage. Toen de papierfabricage werd gemechaniseerd, kregen veel waterradmolens de functie van wasserij.

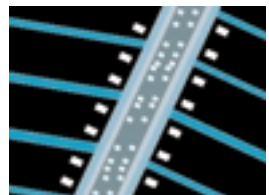
De windmolen deed rond 1170 zijn intrede in Europa. In Nederland gebeurde dit in de dertiende eeuw. In streken waar weinig snelstromend water te vinden is en waar het flink waait, zoals de lage landen, werd hij een bekende verschijning in het landschap. De eerste molens zullen ongetwijfeld als rare staketsels in het landschap zijn ervaren, maar nu zijn zij, met de tulpen en de klompen, het toeristisch beeldmerk van Nederland. Op dit moment zijn er in Nederland nog een kleine 1.000 oude windmolens, naast de 1.600 moderne windmolens die er inmiddels nieuw zijn gebouwd.

De oude windmolens werden vooral benut voor waterstaatkundige doeleinden (droogleggen van polders, peilbeheer), het malen van graan en het zagen van hout. Kortom: voor alles waar kracht bij kwam kijken. Het Zaanse industriegebied werd door tientallen molens van energie voorzien. Veel molens kenden gecombineerd ruimtegebruik: zij werden bewoond door de molenaar. Tegenwoordig hebben de oude windmolens vooral een grote cultuurhistorische waarde. Er zijn veel vrijwilligers in de weer om hen in een goede staat te houden. Hiernaast hebben zij een belangrijke recreatieve en toeristische functie. Jaarlijks kan het publiek tijdens de nationale molendag, en fietsdag, op de tweede zaterdag van mei de molens bezichtigen.

Turfen ontvening

Tijdens het turf tijdperk is ongeveer een zesde deel van het Nederlandse landschap van karakter veranderd. Door menselijk ingrijpen zijn grote delen van Noord- en West-Nederland op onomkeerbare wijze veranderd. In de elfde eeuw begon men het veengebied te cultiveren, vooral in de laaggelegen delen en vanaf de veenrivieren (zoals de Rotte en de Drecht). In de meeste gevallen ging de ontginning van landbouwgrond samen met turfafgraving. De bewoners van de streek wonnen deze turf voornamelijk voor eigen gebruik. Er ontstond een slagenlandschap. Veel van de voormalige laagveengebieden zijn nu weiland. Door inklinking kwam de veenbodem zo laag boven de grondwaterspiegel te liggen dat dit gebied ongeschikt werd voor akkerbouw.

In de loop van de tijd breidde de veenwinning zich steeds verder uit. In het verstedelijkte Holland met zijn hoge bevolkingsdichtheid nam de behoefte aan betaalbare brandstof immers toe, ook als gevolg van opkomende industrieën zoals steenbakkerijen en bierbrouwerijen. In eerste instantie werd de winning uit de nabij gelegen laagveengronden sterk gestimuleerd, vanwege de korte afstand naar de 'watersteden' (bijv. Amsterdam, Delft en Leiden). Omstreeks 1500 werd het vervolgens mogelijk om de veengronden uit te baggeren, een methode die alleen in laagveengebieden werd gebruikt en waardoor men ook het beneden de grondwaterspiegel gelegen veen kon winnen (Reijs 1943). Hierdoor kon men het veen op een steeds grotere schaal exploiteren. Deze methode van turfwinning had enorme consequenties voor de ruimte. De kracht van wind en water veroorzaakte namelijk de afslag van land (de legakkers waarop het veen gedroogd werd) en er ontstonden petgaten, veen-



plassen en meren (zoals de Loosrechtse en de Vinkeveense plassen). De overheid greep krachtig in en verbood deze vorm van turfwinning.

Sommige van de zo ontstane veenplassen zijn met behulp van wind- en waterenergie (molens) drooggelegd. Dat gebeurde toen de graanprijzen stegen en het voor de Nederlandse kooplieden interessant werd om landbouwgrond te winnen. Hierdoor ontstond het kenmerkende polderlandschap met ringvaarten en ringdijken. Op andere plekken zijn de veenplassen in het landschap bewaard gebleven. Zo kwamen, met uitzondering van het Giethoornsemeer en het Duinigermeer, in Noordwest-Overijssel oorspronkelijk geen meren voor, waar zij nu wel aanwezig zijn: de zogenoemde wieden. De Belterwiede, Beulakerwiede, Schutsloterwiede, Kierschewiede, Bovenwiede en Zuid-eindigerwiede bijvoorbeeld zijn uit roekeloze turfgraverij ontstaan. Soms trad een natuurlijk proces van 'verlanding' op en groeide het water geleidelijk dicht. Op die plaatsen werd later zelfs weer landbouw mogelijk (Mörzer Bruijns en Benthem 1979).

Al snel breidde de veenwinning zich ook uit naar andere provincies. Door de toenemende behoefte aan goedkope energie werd de winning van hoogveen in Noordoost-Nederland sterk gestimuleerd. Om het hoogveen te kunnen winnen moesten de veengebieden worden afgewaterd. Dit gebeurde door kanalen, greppels, wijken, grachten en sloten aan te leggen; de Cornelisgracht en Tijssengracht ten westen van Giethoorn zijn hierdoor ontstaan. Het veen werd uitgegraven en op het land te drogen gelegd. Daarna werd het platgestreken en in blokken gesneden (Reijs 1943 en Mörzer Bruijns en Benthem 1979). De stad Groningen was de eerste stad die de vervening systematisch aanpakte en de ontwatering van het veen en de afvoer van turf organiseerde: de stad zorgde voor de aanleg van de wegen en kanalen.

Niet alleen het landschap, maar ook de vorm van de nederzettingen is door de ontvening veranderd. De eerste vormen van nederzettingen die met de veenwinning een relatie hebben, zijn de langgerekte streekdorpen en de watersteden. Vervolgens ontstonden, vooral in de hoogveengebieden, de zogenoemde veenkoloniën, zoals Heerenveen (1551): lineaire dorpen gekenmerkt door een rechthoekig patroon van kanalen en turfvaarten.

Ook de infrastructuur die werd aangelegd ten behoeve van de turfwinning typeert nog altijd de ruimte in Nederland. De turf moest immers vanuit het hoge noorden worden vervoerd naar de meer verstedelijkte gebieden in Nederland. In eerste instantie vond het turftransport plaats over de bestaande waterwegen, maar later werden er speciale kanalen gegraven, zoals het stadskanaal te Groningen en de Helenavaart in de Peel. Deze kanalen zijn nog altijd in het Nederlandse landschap aanwezig. Op een enkele plaats is het hoogveen behouden gebleven. Daar zijn staatsreservaten gesticht: het Meerstalblok en de Engbertsdijkvenen, de Groote Peel en de Mariapeel. Veelal echter heeft veenafgraving ten behoeve van de energievoorziening de unieke veenmoerassen en koepelvormige hoogvenen doen verdwijnen. Daarvoor zijn andere landschappen in de plaats gekomen: zandgronden, akkers en natuurgebied.

Tegenwoordig zien we de stalen, technocratische architectuur van de mijnen als elegant industrieel erfgoed.

In Nederland werd de steenkool door middel van mijnbouw gewonnen.

Arbeidsomstandigheden in de staatsmijn Emma.

De trein werd het belangrijkste transportmiddel van kolen.

Een oude transformator.

Ook veel bedrijven vestigden zich in de buurt van de turfvingebieden. Voorbeelden zijn de textielindustrie en bedrijven die de eerste elementaire bewerkingen van de delfstoffen ter plaatse konden uitvoeren. Verder was er tussen 1750 en 1880 sprake van een bloeiende scheepsbouw in de veenkoloniën. De afstand waarover de turf werd getransporteerd, werd steeds groter en strekte zich zelfs uit tot het gebied Noordwest-Europa (Noord-Duitsland en Scandinavië). De scheepsbouwindustrie is langzamerhand uit de veenkoloniën verdwenen, doordat de schepen groter werden en de veenkoloniale kanalen onvoldoende capaciteit hadden. De akkerbouw volgde uiteindelijk de turfwinning in de hoogveengebieden op.

Energiewinning uit veen heeft de aanblik van het Nederlandse landschap dus in belangrijke mate veranderd. De vroegere veengebieden worden nu gekenmerkt door lange smalle petgaten, waterplassen, meren en kanalen. Veel van deze waterplassen zijn nog in het Nederlandse landschap aanwezig. Andere zijn in de loop van de tijd ingepolderd en drooggelegd. Ter illustratie: het totaal areaal droogmakerijen in Nederland anno 2001 is 2.500 km²; het totaal areaal veenkoloniën in Nederland bedraagt 1.800 km²; het totaal areaal ontgonnen veen met bemaling bedraagt in Nederland 5.100 km² (Alterra 2001).

Steenkool

Nets als de turfwinning heeft ook de steenkoolwinning blijvende sporen in het Nederlandse landschap achtergelaten. De impact is echter minder zichtbaar – veel gebeurde immers ondergronds – en qua omvang minder omvangrijk dan in het geval van de turfwinning. Toch zijn de gevolgen nog altijd terug te zien in het huidige landschap: schoorstenen, mijnschachten, fabrieksgebouwen en hoge donkere sintelbergen (steenbergen).

De Nederlandse steenkoolwinning vond voornamelijk in Zuid-Limburg plaats. De eerste kolen werden in Kerkrade gewonnen, waar de voorraden vrijwel aan de oppervlakte lagen. In 1893 werd in de buurt van Heerlen een steenkolenmijn geopend: de Oranje Nassau-mijn. Er volgden er meer: de Dominiale mijn, de Oranje-Nassau mijnen, de mijn Laura-Vereniging, de mijn Willem-Sophia, de Wilhelminamijn, de Emmamijn, de Hendrikmijn en de Mauritsmijn (Reijs 1943). In 1901 besloot de Nederlandse overheid de ontginning van de steenkoolmijnen in Limburg van staatswege ter hand te nemen. Een besluit dat te maken had met de stimulering van de arbeidsmarkt (Schot e.a.: 36) en vooral met de leveringszekerheid; Nederland wilde niet afhankelijk zijn van andere landen. Opvallend is dat dit laatste argument in de hedendaagse energiediscussie ook een voorname rol speelt. In 1917 werd gestart met de exploitatie van bruinkool in de groeve Carisborg te Heerlerheide.

Resten die doen denken aan de vervlogen tijden van de steenkoolwinning, zijn nog steeds in het landschap te aanschouwen: de steenkoolbergen, stukken oude bedrijfsterreinen, kanalen (Wilhelminakanaal) en schoorstenen van soms 155 meter hoog. Sommige van deze elementen zijn in hun oude staat behouden gebleven, andere hebben een nieuwe functie gekregen. Zo is in



het Duitse Ruhrgebied bovenop de hoogste mijnsteenbergen een gigantische staalconstructie opgericht: het Tetrahedron, vanwaar men uitzicht heeft over het gehele Ruhrgebied en tot in Nederland. Een andere voormalige Duitse mijnstreek Nordrhein-Westfalen is omgetoverd tot het Emscherpark. Op een creatieve manier heeft men dit industriële erfgoed willen behouden en is tegelijkertijd recht gedaan aan de identiteit van het gebied. In België zal het mijngebied op een gelijksoortige manier worden ontwikkeld.

In Nederland heeft men voor een andere aanpak gekozen. Nadat de Limburgse mijnen waren gesloten, heeft men de voormalige mijnstreek een nieuwe identiteit willen geven. Veel overblijfselen die aan mijnbouw herinneren, zijn dan ook afgebroken of verdoezeld. Sommige Limburgse mijnsteenbergen, zoals die bij de Wilhelminamijn, zijn met een laag aarde bedekt en beplant met bomen, andere zijn afgegraven. De vroegere bruinkoolgroeve te Brunssum is tot een park met vijver geworden, terwijl de bruinkoolmijn in Haanrade nu een vuilstortplaats voor de gemeente Kerkrade is. Wanneer we het resultaat vergelijken met het Emscherpark, rijst de vraag of we in Limburg niet de kans hebben gemist om de overblijfselen van de mijnbouw een nieuwe functie te geven.

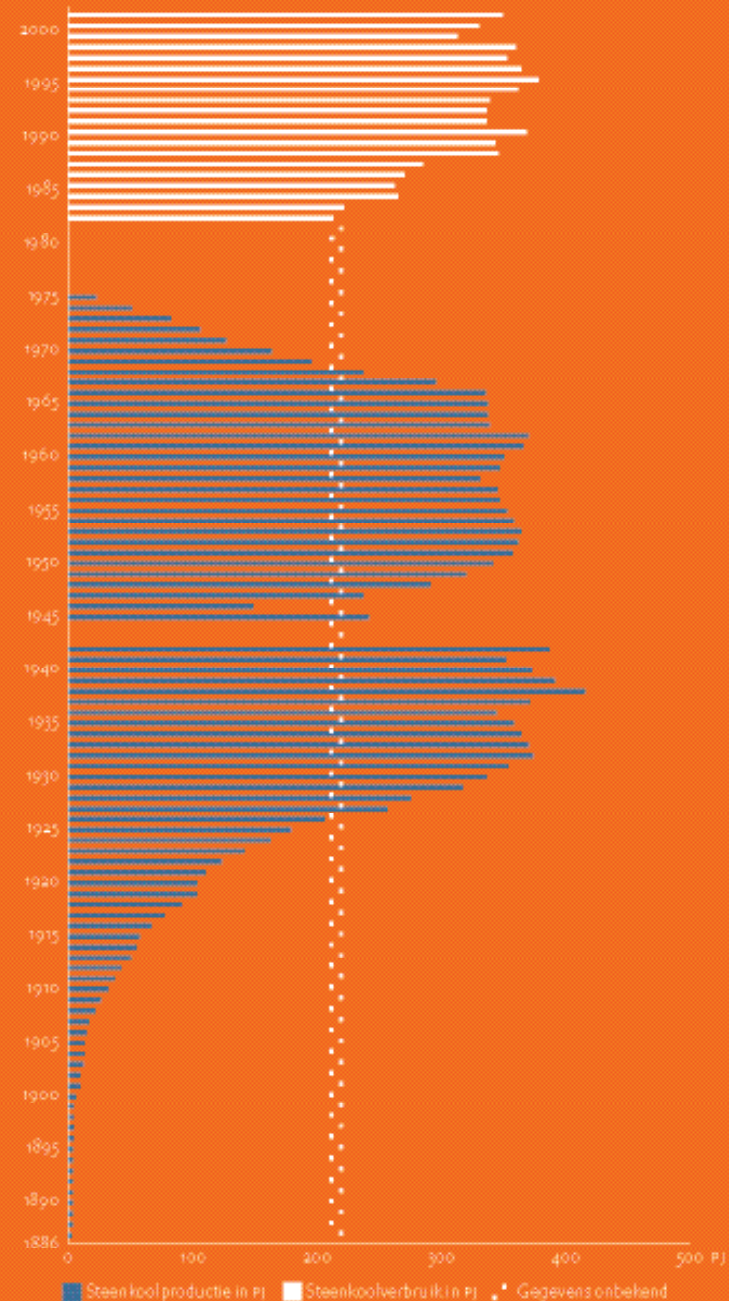
De steenkoolwinning heeft een aanzienlijke invloed gehad op de vorm en locatie van nederzettingen. Na 1910 groeide de exploitatie van de mijnen explosief. Er ontstond dan ook een enorme behoefte aan arbeidskrachten en veel arbeiders, uit binnen- én buitenland, trokken naar deze streek. Zij werden opgevangen in zogenoemde mijnwerkerskoloniën, zoals Hoensbroek en Treebeek, die in de omgeving van de mijnen werden gebouwd en nog steeds het beeld van het noordelijk deel van Zuid-Limburg bepalen. Deze mijnwerkerskoloniën kunnen worden beschouwd als de eerste experimenten met regionale planning. Zij werden gekarakteriseerd door een lineaire bebouwing: de woningen werden in strakke rijen gebouwd, omringd door veel groen. De mijnwerkerskoloniën boden hiermee een gezonde leefomgeving voor de arbeiders en waren van alle gemakken voorzien; er waren bijvoorbeeld ook winkels. Aan de opzet van deze dorpen lag de wijkgedachte ten grondslag.

Ook heeft de mijnstreek met de toestroom van arbeiders een enorme stedelijke groei doorgemaakt. Heerlen, Sittard en Kerkrade zijn voorbeelden hiervan. Om de mijnwerkers te kunnen huisvesten werden de steden uitgebreid met tuinsteden, die hetzelfde karakter hadden als de mijnwerkerskoloniën.

Ook het transportnetwerk in Limburg is als gevolg van de steenkoolexploitatie veranderd. Limburg werd hierdoor aangesloten op het spoorwegnet. Omdat de gewonnen kolen via water en spoor moesten worden afgevoerd, werden nieuwe kanalen gegraven en spoorlijnen aangelegd. Zo ontstonden het Julianakanaal (1935) en de spoorlijn Roermond-Weert-Eindhoven (1913). Deze laatste lijn bracht de verbinding tot stand tussen Limburg en de grote havenstad Rotterdam. Doordat het transportnet verbeterde, daalden de kosten voor vervoer, en daarmee de kosten van grondstoffen en eindproducten.

Tijdreeks steenkoolproductie en -verbruik in Nederland

CBS (2000)
RUG en CBS (2001)



Tegelijkertijd leidden de verbeterde vervoersmogelijkheden tot een expansie van de markt. Het transport van steenkolen vond aanvankelijk vooral plaats op nationale en Noordwest-Europese schaal. Later zou dit zelfs mondiaal worden; zo worden nu steenkolen verscheept van Australië en Venezuela naar Amsterdam.

Tot slot had de exploitatie van de steenkoolgebieden ook een aantrekkelijke werking op nevenbedrijven. De huidige chemische industrie (bijv. DSM) in Zuid-Limburg is er mede het gevolg van. Deze industrieën bepaalden mede de horizon van het Limburgse landschap.

De steenkoolwinning bracht ook nieuwe problemen met zich mee, waaronder milieu- en gezondheidsproblemen. Zo heeft zij op sommige plaatsen een bodemdaling van acht meter tot gevolg gehad. Bovendien kwamen bij de verbranding van steenkool milieuvervuilende stoffen in de lucht, een probleem dat door het steeds grotere gebruik van steenkool in de loop der tijd toenam. Daarnaast kregen mijnwerkers te kampen met gezondheidsproblemen als longziekten en reuma en vonden er tal van ongelukken in de mijnen plaats, onder meer door instortingen. Op 14 december 1965 besloot de toenmalige minister van Economische Zaken, Den Uyl, de Limburgse steenkolenmijnen te sluiten. De nieuwe energiebronnen olie en gas waren inmiddels in opkomst.

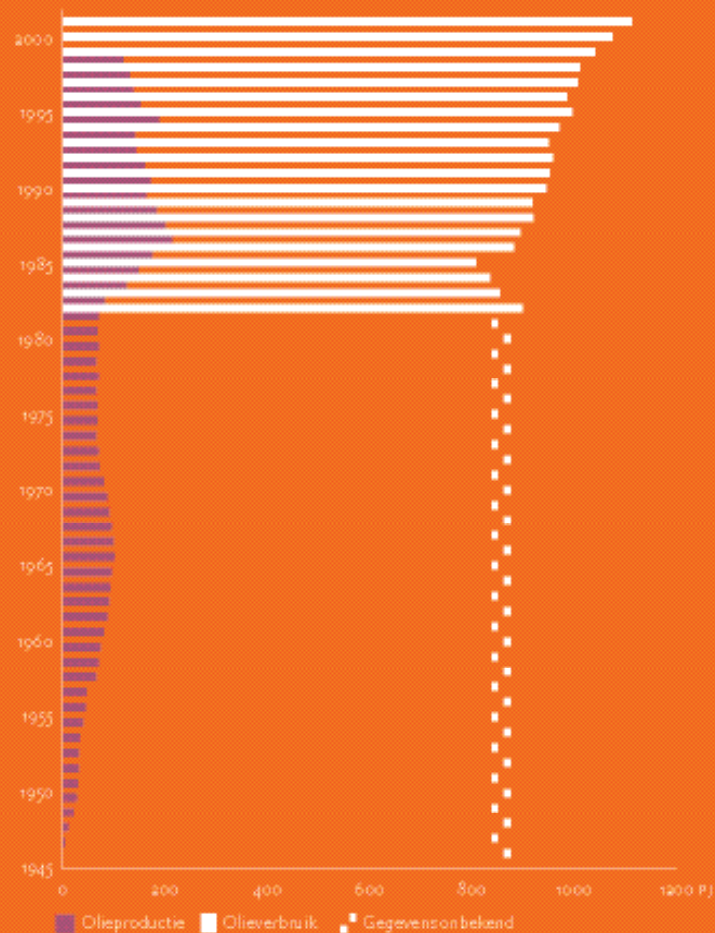
Olie

In vergelijking met turf en steenkool heeft de winning van olie een minder directe (zichtbare) invloed op het Nederlandse landschap. Veel speelt zich immers ondergronds af. Dit heeft echter wel gevolgen voor de bovengrondse ruimte: de productieputten, booreilanden op zee, boorstellingen, jaknikkers en fakkelpijpen. Maar ook de ondergrondse pijpleidingen hebben een aanzienlijke impact op de bovengrond. De aanleg van die pijpleidingen gaat bijvoorbeeld gepaard met restricties (bebouwingsvrije zones) die het gebruik en de inrichting van de bovengrondse ruimte beïnvloeden.

Aan het begin van de twintigste eeuw werd in de Peel en de Achterhoek aardolie ontdekt. Door technische oorzaken – de olie lag diep onder de grond, wat boren lastig en duur maakte – en institutionele redenen – de houding van de overheid was niet duidelijk – duurde het echter tot de jaren dertig voordat deze olievoorraden commercieel werden uitgebaat. In 1933 besloot men de aanwezigheid van olie in de Nederlandse bodem te onderzoeken, onder leiding van de Bataafsche, de Nederlandse werkmaatschappij van de Koninklijke/Shell. Uiteindelijk vond men in 1943 in Slochteren aardolie en in 1944 werd een economisch rendabele en exploitatieerbare hoeveelheid aardolie in de Drentse bodem bij Schoonebeek ontdekt. In 1947 werd de Nederlandse Aardolie Maatschappij (NAM) opgericht en kwam een grootschalige en systematische zoektocht naar olie en gas in de Nederlandse bodem op gang (Schot e.a. 2000). Vanaf 1950 werd aardolie de concurrent van steenkool als belangrijkste energiebron.

Tijdreeks aardolieproductie en -verbruik in Nederland

CBS (2000)
RUG en CBS (2001)



De meeste Nederlandse winplaatsen van olie zijn momenteel uitgeput. Alleen de concessie Rijswijk (een groot deel van Zuid-Holland) levert nog olie, en vooral gas, op. De bulk van de huidige oliestroom komt van de Noordzee. Het Nederlandse plat (ter grootte van 56.600 km²) is hiervoor opgedeeld in blokken en aan verschillende maatschappijen werden concessies voor boringen verleend. Onlangs is hier een nieuw veld in productie genomen. Naar verwachting zal de Nederlandse productie in de Noordzee over twintig jaar zwaar zijn teruggedropen. Voor de Engelse productie zal dit vanaf 2005 het geval zijn en alleen de Noren zullen nog jarenlang olie en gas kunnen leveren.

De winning van olie heeft nauwelijks effecten gehad op de vorm en locatie van Nederlandse nederzettingen. Met de opkomst van olie werd het voor de bevolking en de industrie minder noodzakelijk om dicht bij de energiegebieden gevestigd te zijn. Dit werd mogelijk doordat het eenvoudig en goedkoop was om olie per supertanker of pijpleiding te vervoeren. Hierdoor gingen in de jaren vijftig en zestig de petrochemische bedrijven zich niet zozeer dicht bij energiegebieden vestigen maar in de buurt van de consumenten, de steden en de industriële centra. Zo ontwikkelde zich bij de havens een olie-industrie. Voorbeelden zijn de petroleumhaven van Rotterdam en Amsterdam. In 1929 werd bij Pernis een petroleumhaven voor Shell aangelegd (Buisman 1975). Vervolgens groeide Rotterdam snel uit tot aanvoer- en opslaghaven voor olie. Uiteindelijk zou Rotterdam, met zijn open zeehaven, zijn positie uitbouwen tot belangrijkste oliehaven voor het Duitse achterland en tot centrum van de olieraffinage (Schuit en Taverne 2000). Het Rijnmondgebied ontwikkelde zich zo tot een enorm petrochemisch complex van grote economische betekenis. Het landschap dat hierdoor in dit gebied ontstond, was enorm van omvang en leeg van karakter: een monotoon en rechtlijnig industrieland (Schuit en Taverne 2000). Bij nacht kent het echter een geheel eigen schoonheid.

Naast de industrielanden die ontstonden als gevolg van de opslag, de verwerking en het gebruik van aardolie heeft ook het transport van deze energiebron invloed gehad op de ruimte van Nederland. Zo werd een net van pijpleidingen aangelegd om de ruwe olie vanuit de Rotterdamse haven naar raffinaderijen in binnen- en buitenland te vervoeren. In 1960 werd bijvoorbeeld de Rotterdam-Rijnpijpleiding aangelegd: 230 km lang en met een capaciteit van 20 miljoen ton ruwe olie. De leiding werd later doorgetrokken tot aan Frankfurt. Een tweede pijpleiding sloot aan op de petrochemische industrieën in het Ruhr-Lippegebied. Nadien zijn er nog vele andere bijgekomen (Buisman 1975).

Het transport van olie vindt niet alleen plaats tussen Rotterdam en het Ruhrgebied of binnen Nederland; olie wordt vooral vervoerd op mondiale schaal, over zee met supertankers. Voor deze schepen zijn speciale vaargeulen gebaggerd, zoals de Eurogeul: een soort snelweg van 26 meter diep voor supertankers die vanuit de Noordzee toegang tot de Europoort willen krijgen (Schuit en Taverne 2000).

Ja-knikkers werden een vertrouwd beeld in het landschap.

Een belangrijke vestigingsplaatsfactor voor raffinaderijen is water.

Voor olieraffinaderijen zijn diepe vaargeulen gebaggerd: watersnelwegen voor supertankers.

Na de ontdekking van olie en gas volgde een rush op de Noordzee.

Waddenzee: sommige Nederlandse gasvoorraden liggen onder kwetsbare natuurgebieden.

Tegenstanders van exploitatie zijn bang voor verstoring van het subtiele evenwicht tussen water en land.

De opkomst van olie als nieuwe energiebron leidde ook tot problemen, zoals bodemdaling. En wat bijvoorbeeld te doen met oude boorplatformen op zee, zoals de Brent Spar? Maar het waren vooral de grote olierampen als gevolg van aanvaringen en gestrande schepen, met desastreuze gevolgen voor het milieu en de visserij, die het milieuaspect steeds hoger op de agenda plaatsten.

De andere belangrijke discussie die in het geval van olie speelt, is de afhankelijkheid. De Suezcrisis van 1956 maakte voor het eerst duidelijk hoe afhankelijk Nederland is van de import van ruwe olie uit niet-westerse landen. De oliecrises van 1973 en 1979 hebben dit nog eens extra aangetoond. Bovendien werd het gevaar duidelijk van politieke chantage met olie. Zo ontstond in de jaren zeventig een stimulans om enerzijds nieuwe voorraden van bestaande energiebronnen op te sporen en anderzijds nieuwe grondstoffen of nieuwe procédés te vinden voor de productie van energie. De verwerking van afvalstoffen en het gebruik van windenergie, zonne-energie en waterkracht kregen steeds meer aandacht, evenals de mogelijkheid voor kernenergie.

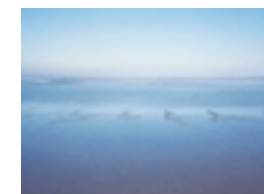
Olieafhankelijkheid en geopolitiek

De Yom Kippour oorlog tussen Israël en de Arabische landen veroorzaakte in 1973 de eerste oliecrisis. Op 18 oktober 1973, na de inval in Israël, besloot de OPEC (de vereniging van alleen Arabische olieproducerende en -exporterende landen) de olieprijs te verhogen met 70 procent. Bovendien zou de productie van ruwe olie met telkens 5 procent per maand worden verminderd: 'Totdat Israël zich uit alle bezette Arabische gebieden heeft teruggetrokken en de rechten van het Palestijnse volk in ere zijn hersteld'. Landen die de Arabische zaak steunden, kregen een speciale 'voorkeursbehandeling'.

Op 19 oktober 1973 zei president Nixon van de Verenigde Staten Israël omvangrijke militaire steun toe. Dat was voor Libië, Abu Dhabi en Saoedi-Arabië – de belangrijkste olieproducent in het Midden-Oosten – reden om twee dagen later alle olieleveranties aan de Verenigde Staten stop te zetten. De olieboycot was een feit.

Op 20 oktober 1973 besloot Algerije de olietoevoer aan Nederland volledig stop te zetten. Een besluit dat werd gevolgd door Koeweit en nog zes andere Arabische landen. Voor het Botlek/Europoortgebied met zijn vijf olieraffinaderijen leek de boycot een catastrofe: 54 procent van de Nederlandse olieaanvoer kwam uit Saoedi-Arabië en Koeweit. De regering nam hierop een aantal bezuinigingsmaatregelen. Via de grote advertentiecampagne 'Verwarming lager en gordijnen dicht' riep ze de burgers op om energie te besparen. De benzine moest op de bon en er kwamen auto-loze zondagen. Het besef dat energie van groot belang is en het gevaar van politieke chantage met olie zijn toen voorgoed gevestigd. De landen van de Organisation for Economic Cooperation and Development (OECD) richtten als reactie op de oliecrisis in 1974 het International Energy Agency (IEA) op, dat onder meer strategische olievoorraden beheert.

In 1979 deed zich een tweede oliecrisis voor. De oorlog tussen Irak en Iran was hiervan de oorzaak. Ook deze crisis had een groot effect op de Nederlandse economie.



Gas

Het gebruik van gas als energiebron heeft voornamelijk invloed gehad op de ondergrondse ruimte. Het landschap en de vorm en locatie van de nederzettingen zijn niet tot nauwelijks door de gaswinning veranderd. De elementen die behoren tot de gaswinning en bovengronds zichtbaar zijn, zijn compact en kunnen redelijk goed in het landschap worden ingepast. Wel heeft gaswinning op een aantal plekken in Nederland, vooral boven de gasbel in Slochteren, tot bodemdaling geleid. De voornaamste impact die deze energiebron op de ruimte heeft, was de aanleg van het gasnet.

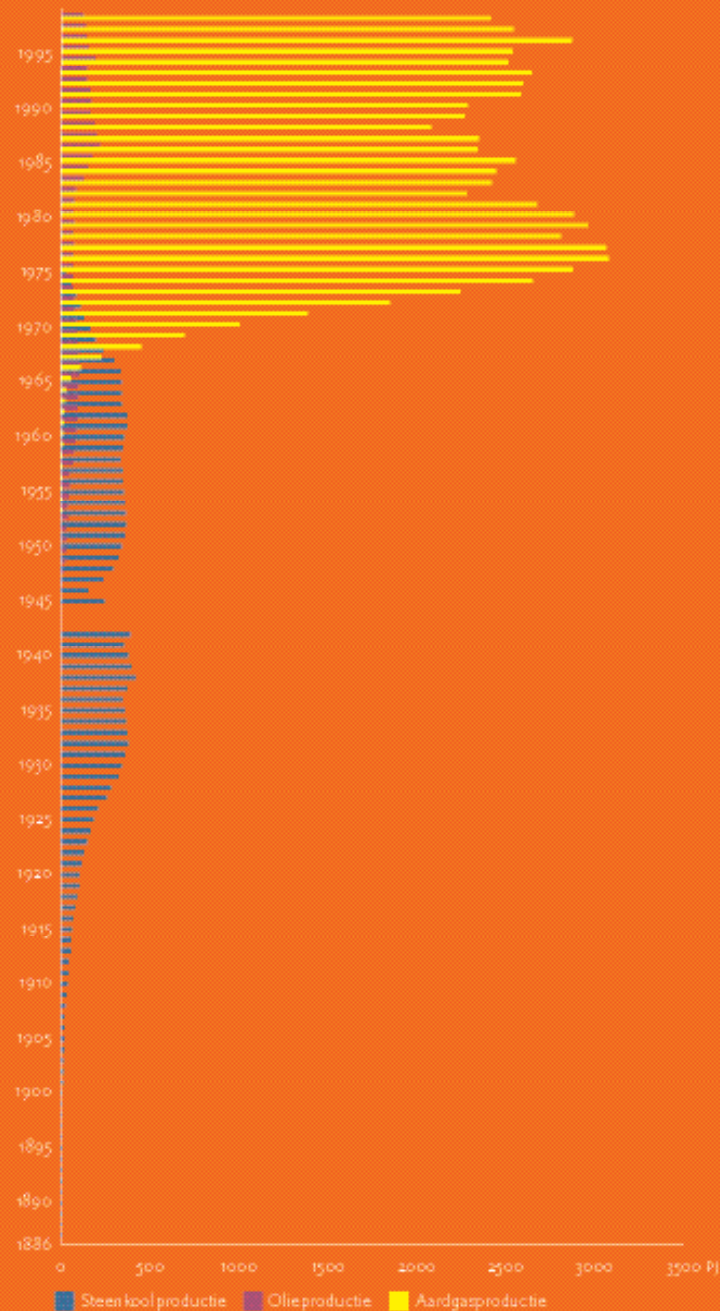
In 1948 werd de eerste aardgasvondst in Nederland gedaan, in Steenwijksmeer bij Coevorden. Als vervelend bijproduct bij de winning van olie werd het in eerste instantie afgefakkeld, wat in sommige energierijke landen nog steeds gebeurt. Pas na de vondst van het gigantische veld in Slochteren, besloot de Nederlandse regering tot een nieuwe energiepolitiek: de kolenmijnen moesten (versneld) dicht en de gevonden aardgasvoorraden moesten snel worden benut. Hierbij had de Nederlandse overheid een uitputtingsbeleid voor gas voor ogen, om vervolgens over te gaan op de veel goedkopere kernenergie. Na de oliecrisis van 1973 werd het gasbeleid bijgesteld: het gas moest veel langer meegaan. Daarom werden ook de kleinere velden en de gasvelden op de Noordzee benut en werden gascontracten met Rusland afgesloten. In Grijpskerk, Alkmaar en Langelo werden ondergrondse gasopslagplaatsen ingericht om aan de piekvraag in Nederland en Noordwest-Europa te kunnen voldoen.

Op de Noordzee ligt inmiddels een aanzienlijk net van olie- en gasleidingen. Maar ook is – in korte tijd – door heel Nederland een aardgasnet aangelegd, met vertakkingen naar Duitsland en België. De bestaande netten voor het stadsgas werden met de introductie van het aardgas voor deze energiebron geschikt gemaakt. Tijdens een gigantische ombouwoperatie kregen alle kooktoestellen in Nederland nieuwe branders, die de hogere temperatuur van het aardgas aankonden. Zo stapten Nederlanders massaal af van de kolenstook en de centrale verwarming op gas deed haar intrede. Vandaag de dag is vrijwel iedereen op het gasnet aangesloten. Het (ondergrondse) net heeft een lengte van meer dan 100.000 kilometer. Dit is ongeveer gelijk aan de lengte van het elektriciteitsnet en de lengte van de verharde wegen in Nederland. Hoe belangrijk de gaswinning ook economisch is geweest, blijkt uit de vergelijking tussen olie, kolen en gas.

Zorgde de exploitatie van turf en steenkool voor een toestroom van arbeiders naar de winplaatsen, de opkomst van olie en gas leidde in Nederland juist niet tot het ontstaan van arbeiderskoloniën maar tot arbeidsmobiliteit. Met de komst van olie en gas werd het voor de bevolking en de industrie veel minder noodzakelijk om zich dichtbij de energiewingebieden te vestigen. Natuurlijk bracht de vondst van aardolie bij Schoonebeek ter plaatse wel enige veranderingen teweeg: er werden kantoorgebouwen, werkplaatsen en woningen voor het personeel gebouwd. Maar deze veranderingen kenden niet de omvang die zij ten tijde van de turf- en steenkoolwinning hadden.

Tijdreeks steenkool-, olie- en gasproductie in Nederland

CBS (2000)
RUG en CBS (2001)



Aan de exploitatie van gas kleven ook enkele problemen. De bodemdaling werd al genoemd. Vooral in het gebied rondom Slochteren heeft dit gevolgen voor de waterhuishouding. Hiernaast is het opsporen en winnen van gas onder natuurgebieden, zoals de Waddenzee en de Biesbosch, vanuit milieuoverwegingen omstreden.

Kernenergie

De exploitatie van kernenergie heeft weinig tot geen effect gehad op het Nederlandse landschap. Nederland beschikt over twee grote kerncentrales voor de opwekking van elektriciteit, in Borssele en Dodewaard, en een aantal kleine centrales ten behoeve van onderzoek, in Petten en Delft. De kerncentrales zijn qua omvang en vorm zeer compact.

In 1896 ontdekte Becquerel de werking van radioactiviteit. Vervolgens slaagde Fermi er in 1942 voor het eerst in een kernreactor uit zichzelf aan de gang te houden en vlak voor de Tweede Wereldoorlog ontdekten Hahn en Straus de mogelijkheid om uranium te splijten. In 1955 sloot Nederland zich als één van zes landen aan bij een samenwerkingsverband op nucleair gebied: Euratom. In Petten verrees een kleine proefcentrale. Kernenergie werd in Nederland pas rond 1957 een actueel thema. De Suezcrisis in het najaar van 1956 maakte duidelijk hoe afhankelijk Nederland was ten aanzien van de aanvoer van olie. Daarnaast bestond bezorgdheid ten aanzien van de beschikbare hoeveelheid steenkoolvoorraden. Kernenergie werd dan ook gezien als de oplossing voor een dreigend energieprobleem.

De opening van de eerste Nederlandse kerncentrale liet echter nog even op zich wachten. Uiteindelijk opende koningin Juliana de (proef)kerncentrale in Dodewaard op 26 maart 1969. De technologische ontwikkelingen kwamen in een stroomversnelling. Mede door de bijdrage van de Nederlander Kistenmaker kon de reactie worden versneld en werd de energieopbrengst vele malen vergroot (Schot e.a. 2000). Vervolgens besloot Nederland deel te nemen aan een proefproject voor de bouw van een snelle kweekreactor in Kalkar, West-Duitsland. De eerste commerciële kerncentrale in Nederland werd in 1973 in Borssele geopend. Deze centrale zou elektriciteit leveren aan de nabij gelegen aluminiumfabriek Pechiney. Dit is een modern voorbeeld van de structurerende werking van energie. Aluminiumfabrieken verbruiken zeer veel energie en vestigen zich daarom in de buurt van bronnen die goedkope energie leveren, zoals kerncentrales en waterkrachtcentrales.

Toen begin jaren '70 de discussie opkwam rondom de dreigende uitputting van fossiele brandstoffen (bijv. de Club van Rome in 1972), bracht het ministerie van Economische Zaken een nota uit met het voorstel het aantal kerncentrales snel uit te breiden. Kernenergie werd gezien als goed alternatief voor fossiele brandstoffen. Tegelijkertijd kwam vanuit de Nederlandse samenleving een tegenbeweging op gang die zich keerde tegen kernenergie. De veiligheidsperikelen rond de kerncentrale van Dodewaard en de bouw van de nieuwe kerncentrale in Borssele waren hier de aanleiding toe. Een anti-kernenergie-

In 1973 werd kerncentrale Borssele geopend. Andere locaties kwamen niet in aanmerking vanwege de maatschappelijke weerstand in Nederland.

De gevolgen van een kernramp zijn zeer grootschalig. De vervuilende cesiumdepositie van de Tsjernobyl-centrale bereikte grote delen van Europa en Rusland.

beweging stelde een nota op, waarin zowel de nadelen van kernenergie uit de doeken werden gedaan als de noodzaak om het vermogen aan kernenergie in Nederland snel uit te breiden werd ontkracht. Hiernaast zorgde de zogenoemde Kalkarheffing onder de bevolking voor veel verzet tegen kernenergie. Deze heffing werd ingevoerd om de onverwachte en snel stijgende kosten van de bouw van de snellekweekreactor in Kalkar te kunnen bekostigen. Een landelijk netwerk 'Stop Kalkar' werd opgericht.

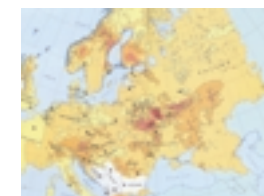
Uiteindelijk kwam het begin jaren '80 tot een brede maatschappelijke discussie (BMD) onder voorzitterschap van De Brauw. In 1984 presenteerde de stuurgroep BMD zijn eindrapport aan de Tweede Kamer, met als belangrijkste conclusie: 'uitbreiding van kernenergie ligt niet voor de hand'. Toch bleef de expansie van kernenergie een speerpunt van het Nederlandse overheidsbeleid. Ondanks verzet van actiegroepen besloot het kabinet-Lubbers begin 1986 tot uitbreiding van kernenergie.

Met de kernramp in Tsjernobyl (26 april 1986) werd de discussie echter beslecht in het voordeel van de actiegroepen tegen kernenergie. De radioactieve wolk die als gevolg van dit ongeluk ontsnapte, reikte tot in Nederland. De Tweede Kamer gaf te kennen de uitbreiding van kernenergie in de koelkast te zetten en alle plannen voor de bouw van kerncentrales in Nederland werden afgeblazen. Precies 28 jaar na haar ingebruikstelling, en zeven jaar eerder dan oorspronkelijk gepland, werd de kerncentrale Dodewaard op 26 maart 1997 gesloten. Ook voor de centrale in Borssele heeft de anti-kernenergiebeweging LAKA (Landelijk Anti-kernenergie Actiecomité), gesteund door enkele politieke partijen, geprobeerd tot een vroegtijdige sluiting te komen. Het eerste kabinet-Balkenende besloot deze echter open te houden en komende regeringen zullen daar alleen onderuit kunnen door zeer hoge afkopsommen.

Kernenergie heeft totnogtoe geen impact gehad op de vorm van nederzettingen maar wel op de vestiging van industrie, zoals Pechiney in Borssele. Wel wordt, vanwege het mogelijke gevaar van radioactieve straling, bij de bouw van kerncentrales rekening gehouden met de afstand van de centrale tot de bebouwing. Voor zover bekend zijn geen kanalen, wegen of sporen speciaal voor kernenergie aangelegd. Het kernafval wordt binnen Nederland voornamelijk over de weg getransporteerd.

Elektriciteit

Elektriciteit is geen energiebron, maar een energiedrager. Het zijn elektronen die door geleidend materiaal (koper of staal) stromen. De basistechnologie werd in 1821 door Faraday ontwikkeld en geleidelijk ingevoerd. In het laatste kwart van de negentiende eeuw deed de elektriciteit haar intrede in het dagelijkse leven in Nederland, om na enige tijd de stoommachine te vervangen. De twintigste eeuw wordt dan ook het tijdperk van de elektriciteit genoemd.



De eerste Nederlandse elektriciteitscentrale werd in 1903 gebouwd, in Amsterdam. Deze centrale liep op steenkool. Toch liet de echte overgang van Nederlandse huishoudens op elektriciteit nog even op zich wachten. Wel werd in 1910 het gaslicht al verdrongen door de gloeilamp (Van Heijningen 1988).

De opkomst van de elektriciteit had vooral impact op het Nederlandse landschap. De elektriciteitsdraden werden, net als de telefoonkabels, bovengronds aangelegd. Toen de Nederlandse elektriciteitsproducenten (de SEP) vanaf 1949 gezamenlijk met de aanleg van een 150 kilovolt landelijk koppelnet begonnen (Schuijt en Taverne 2000), bracht dit een aanzienlijke verandering in het Nederlandse landschap teweeg. Er verscheen een woud aan hoogspanningskabels en masten; pas later groef men ze in, om te beginnen in de stedelijke gebieden. Daarnaast ontstonden tal van grote en kleine elektriciteitscentrales, die in eerste instantie alleen op kolen (stoomturbines) draaiden en later ook op aardolie en gas (gasturbines). Door de enorme toename van het elektriciteitsgebruik was het oude koppelnet al snel ontoereikend. Daarom werd in 1957 besloten een 380 kV koppelnet aan te leggen. Anno 2003 is elk huis op elektriciteit aangesloten. De opkomst van elektriciteit had een aanzienlijke betekenis voor de Nederlandse huishoudens. Op dit moment is onze samenleving zeer afhankelijk van een ongestoorde stroomvoorziening. Incidentele stroomonderbrekingen laten dit duidelijk zien.

Electriciteit had weinig invloed op de vorm en locatie van nederzettingen. Wel had de opkomst van elektriciteit een aanzienlijke impact op het transportnetwerk. Zo werd het spoornet na de Tweede Wereldoorlog van elektriciteit voorzien. Daarnaast steeg in de naoorlogse periode het industriële energieverbruik sterk en kwam een meer energie-intensieve industrie in Nederland op (Schot e.a. 2000).

Conclusie

Door de geschiedenis heen hebben de ontwikkelingen in de energievoorziening steeds ruimtelijke consequenties gehad. Deze zijn in dit hoofdstuk onderverdeeld in vier categorieën, te weten:

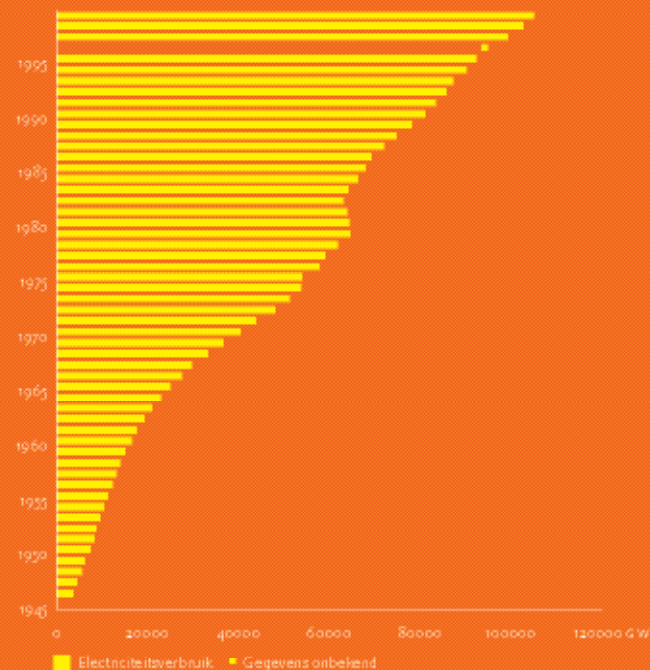
- landschap: de impact op de natuur, het milieu, de bodem en de aanblik van het landschap
- nederzettingen: de impact op de locatie en de vorm van de nederzettingen, en op het vestigingsgedrag van de bevolking
- transport: de impact op vervoersnetwerken (kanalen, spoornet, wegen) en
- economische structuur: het vestigingsgedrag van de industrie en andere bedrijvigheid.

Deze ruimtelijke consequenties zijn in dit hoofdstuk geïllustreerd aan de hand van enkele voorbeelden.

Zo blijken de turf- en steenkoolwinning van alle energiesystemen de voornaamste impact op het Nederlandse landschap te hebben gehad. De erfenissen

Tijdreeks elektriciteitsverbruik in Nederland

CBS (2000)
RUG en CBS (2001)



zijn in het landschap van nu nog steeds te herkennen: waterplassen, petgaten, kanalen, wijken, bodemdaling/inklinking, en dergelijke. Niet alleen zijn nieuwe elementen aan het landschap toegevoegd, zoals de veenkoloniale landschappen en de Hollandse Plassen, maar ook zijn elementen verdwenen, zoals veenmoerassen en bepaalde bossen. Daarnaast heeft de energiewinning impact gehad op de verkaveling van het landschap. Bij de omschakeling op de latere energiesystemen was die impact op het landschap veel minder pregnant.

Ook op de vorm en locatie van de nederzettingen heeft de energiewinning veel invloed gehad. Dit effect was het grootst ten tijde van de turf- en steenkoolwinning, toen werknemers en bedrijven verhuisden naar het platteland om zich in de buurt van de wingebieden te vestigen. Zo waren zij verzekerd van brandstof en goede transportmogelijkheden. Op deze manier ontstonden streekdorpen als Noordeloos, watersteden als Delft, veenkoloniën als Heerenveen, mijnarbeiderskoloniën als Hoensbroek en Treebeek, maar vond ook stedelijke ontwikkeling plaats (aanleg van tuinsteden), zoals in Heerlen. De opkomst van olie en gas had deze structurerende werking in mindere mate.

Veel vormen van energiewinning hebben een aanzuigende werking op de industrie gehad. Neem de opkomst van de scheepvaart- en textielindustrie

nabij de turfwingebieden, of DSM nabij de steenkoolmijnen. De petrochemische industrie in het Botlekgebied is eveneens een mooi voorbeeld van de structurerende werking van (energie)infrastructuur. Wel nam ook hier de structurerende werking in de loop der tijd af. De transportmogelijkheden namen toe, de nieuwere energiebronnen waren gemakkelijker te transporteren en fysieke nabijheid werd hierdoor zowel voor arbeider als bedrijf minder noodzakelijk. De opkomst van elektriciteit en kernenergie had nog minder tot geen structurerende werking.

Tot slot heeft energiewinning invloed gehad op de schaal en het type van het transportnetwerk dat in de loop van de tijd is ontwikkeld. Was de schaal waarop de eerste energiebronnen werden getransporteerd voornamelijk lokaal en regionaal van aard, met de opkomst van de turf- en steenkoolwinning breidde deze zich uit naar nationaal en (Noordwest-)Europees niveau. De olie- en gaswinning brachten een verdere schaalvergroting tot stand: het transport van deze delfstoffen ging een mondiale schaal bestrijken.

Verder is het type infrastructuur dat voor het transport van de energiedrager werd aangelegd, in de loop der tijd veranderd: kanalen voor het turftransport. Voor steenkool werd daarnaast een spoorwegnet aangelegd en voor olie en gas een ondergronds pijpleidingstelsel. De opkomst van de nieuwe energievormen betekende niet alleen dat nieuwe elementen aan het reeds bestaande transportnetwerk werden toegevoegd, maar ook dat bestaande elementen uit het transportnetwerk verdwenen of in ieder geval hun functie verloren. Zo verloor het kanalennetwerk met de teruggang van de turfwinning zijn functie, en daarmee zijn waarde. In sommige gevallen zijn de kanalen dan ook gedempt en vervangen door nieuwe dorpspleinen. In andere gevallen zijn de kanalen behouden, maar kregen zij een andere functie: recreatie. Voor het transport van stroom is een net van elektriciteitskabels aangelegd, deels ondergronds en deels bovengronds.

HET HUIDIGE RUIMTEGEBRUIK VAN ENERGIESYSTEMEN

Inleiding

In dit hoofdstuk willen we het ruimtegebruik in kaart brengen voor de gehele keten van exploratie, winning, transport, verwerking, opslag en gebruik van de energiesystemen die op dit moment in gebruik zijn. We doen dit voor het directe ruimtebeslag én voor het indirecte ruimtebeslag dat het gevolg is van risico's, geluidshinder, stank en visuele belevingsaspecten. Ten slotte besteden we aandacht aan de ruimtelijk structurerende werking van energiesystemen, bijvoorbeeld ten aanzien van de locatie van energie-intensieve industrieën.

In opeenvolgende paragrafen wordt een overzicht gegeven van de vier belangrijkste huidige energiebronnen: kolen, olie, gas en kernenergie. Hoewel zij geen primaire energiebron is, wijden we een aparte paragraaf aan elektriciteit, als belangrijke energiedrager aan het einde van de keten. Tot slot gaan we in op de vormen van duurzame energie, ondanks hun nog beperkte bijdrage aan de huidige energievoorziening.

Kolen

Algemeen

Steenkool is na olie de belangrijkste energiebron op dit moment. Het levert 26 procent van de primaire energie die op wereldschaal wordt verbruikt: 2.355 van de 9.179 Mtoe (miljoen ton olie equivalenten). In 1971 was dit 29 procent: 1.449 van de 4.999 Mtoe. Er is dus een duidelijke trend naar een stijgend verbruik van steenkool, terwijl het aandeel dat kolen heeft in het wereldverbruik, daalt. Het IEA raamt dat dit in 2030 voor steenkool 24 procent zal zijn: 3.606 van de 15.267 Mtoe.

De voorkomens van kolen zijn immens. Naar schatting zijn er voor 200 jaar economisch winbare voorraden (OECD/IEA 2002). De voorraden kolen kennen een goede geografische spreiding, waardoor de handel in deze energiebron relatief beperkt is: slechts 12 procent van het verbruik vindt in een ander land plaats. Bovendien hebben kolen niet de geopolitieke impact die olie heeft en is de prijsontwikkeling van steenkool stabiel.

Tot de grootschalige invoering van gas werden in Nederland veel huizen verwarmd met kolen en werd er gekookt op stadsgas, dat vrij kwam door de kolen te vergassen. Momenteel is het aandeel van kolen bij de verwarming van Nederlandse huizen minder dan 1 promille. Steenkool wordt nu vooral gebruikt door elektriciteitscentrales. De kosten van steenkool zijn relatief laag en een diversificatiebeleid moet voorkomen dat we te afhankelijk worden van één bepaalde energiebron. Verder is steenkool belangrijk in de basismetaal-sector, voor de hoogovens.

Ruimtegebruik

In Nederland is de steenkoolwinning stopgezet en de Nederlandse bruin- en steenkoolmijnen zijn inmiddels gesloten. De laatste mijn produceerde zijn kolen in 1974. Direct ruimtegebruik voor de winning van steenkool is er in Nederland dus niet meer. De oude terreinen die na sluiting van de mijnen nog zijn overgebleven, hebben deels een museumfunctie, of zijn in gebruik als recreatieterrein of natuurgebied.

In Duitsland is er nog wel een grote bruinkoolwinning, in Garzweiler, vlak over de grens bij het natuurpark Maas-Swalm-Nette. Deze beslaat een oppervlak van 4.800 hectare, waaruit per jaar 90 miljoen ton bruinkool wordt gewonnen en waarmee 13 procent van de elektriciteit van Duitsland wordt opgewekt. Dit heeft een grote impact op het landschap en ook op de grondwaterstand.

In de internationale energievoorziening is de rol van kolen nog lang niet uitgespeeld. Ook Nederland heeft hierbij een belangrijke functie, als doorvoerplaats. De gunstige ligging van Nederland en de goede infrastructuurverbindingen met het achterland zorgen voor bedrijvigheid in de havengebieden. Deze doorvoerfunctie brengt een fors ruimtegebruik met zich mee, in de vorm van kadeterreinen, overslagterminals en opslagterreinen.

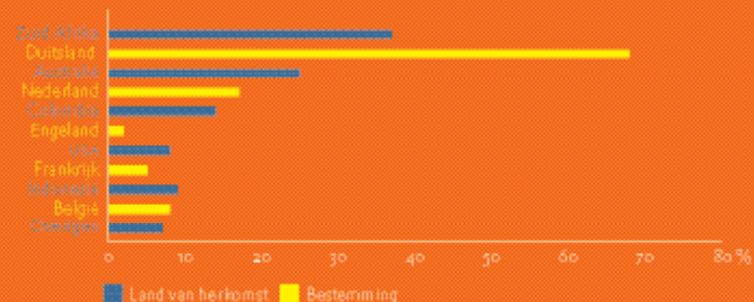
Verreweg de meeste kolen worden overgeslagen in het gebied Europoort/Maasvlakte. In 2000 was 60 procent van deze kolen bestemd voor doorvoer naar Duitsland. Rotterdam heeft een marktaandeel van 40 procent in de Duitse kolenimport uit Oost-Europa en van overzee. Omdat de Duitse regering de kolenmijnen geleidelijk wil sluiten, zal – bij een ongeveer gelijkblijvend aandeel van kolen in de energievoorziening – meer steenkool geïmporteerd moeten gaan worden. Begin 2001 besloot ThyssenKrupp (een hoogovenbedrijf in het Ruhrgebied) dan ook flink te investeren in de overslag van cokeskolen op de EECV-terminal (Ertsoverslag Europoort CV). Per jaar zal deze terminal, met een oppervlakte van 35 hectare, worden gebruikt voor de overslag van ongeveer 5,5 miljoen ton kolen, die per spoor (Betuwelijn) en per binnenschip naar het Ruhrgebied worden vervoerd.

De EMO (Europees Massagoed-Overslagbedrijf) heeft het grootste terrein (150 hectare) aan de Mississippihaven op de Maasvlakte. De kadelengete bedraagt 1300 meter en er wordt jaarlijks 20 miljoen steenkool gelost. Het schema hiernaast geeft aan waar de kolen die EMO overslaat, vandaan komen en waar ze naar toe gaan.

Veel kolenverbruikende bedrijven beschikken ook zelf over opslagfaciliteiten voor de brandstof. De Amercentrale in Geertruidenberg heeft bijvoorbeeld een eigen haven, waar de kolen vanaf de aanvoerende schepen worden gelost en overgeslagen. Dit terrein is 2,8 hectare groot. In IJmuiden worden kolen voor de Hoogovens gelost; dit terrein beslaat 45 hectare.

Land van herkomst en bestemming van 23 miljoen ton kolen en antraciet in Nederland.

EMO (2001)



Olie

Algemeen

Olie is de belangrijkste hedendaagse energiebron en zal dit volgens het IEA ook blijven. Ongeveer 40 procent van de primaire energie wordt door olie geleverd. In Nederland is aardolie de tweede brandstof, met een aandeel van 35 procent in 2000. Het gebruik van olie voor verwarmingsdoeleinden loopt terug. De transportsector is, en blijft, de grootste gebruiker; in 2030 zal naar verwachting ruim de helft van de olie worden gebruikt voor transportdoeleinden (wegverkeer, luchtvaart en zeevaart). Daarnaast wordt in Nederland olie gebruikt in de chemische industrie.

De olievoorraden op de wereld zijn niet zo immens als de kolenvoorraden. Bij het huidige verbruik is er een voorraad aan bewezen en verwachte economisch winbare voorraden voor 70 jaar. Het gebruik van olie zal naar verwachting echter stijgen van 75 miljoen vaten per dag in 2000 naar 120 miljoen vaten per dag in 2030. Door de toenemende vraag stijgt de prijs, waardoor meer voorkomens economisch winbaar worden, ook alternatieve olievoorraden als teerzanden. Het is dus niet eenvoudig de voorraad in jaren productie te berekenen.

De geopolitieke dimensie van olie is berucht: in sommige internationale conflicten speelt olie een rol. De afhankelijkheid van de rijke westerse landen is groot; Nederland heeft dit aan den lijve ondervonden tijdens de olieboycot in 1973. Die afhankelijkheid blijkt ook uit de volgende cijfers. In de gehele OECB werd in 2000 45 miljoen vaten per dag geconsumeerd tegen een productie van slechts 21 miljoen vaten per dag. Er wordt dus ruim twee keer zoveel geconsumeerd als geproduceerd. Voor 2030 verwacht het IEA dat deze verhouding zal oplopen tot een factor 4,5 voor de gehele OECB en tot een factor 6,6 voor het Europese deel daarvan. De Europese Unie heeft deze hoge energieafhankelijkheid geconstateerd in een Groenboek. Het is dan ook een hoofdpijler van het Europese energiebeleid om deze kwetsbaarheid in de energievoorziening terug te dringen. De oorlog in Irak (2003) doet het gevoel van urgentie toenemen.

Ruimtegebruik

In Nederland is olie lange tijd geproduceerd in de bekende concessie Schoonebeek. Inmiddels is dit veld uitgeput en de karakteristieke jaknikkers zijn ontmanteld. Alleen in het centrum van Schoonebeek staan nog twee jaknikkers, om ons aan de voormalige oliewinning te herinneren. Momenteel wordt olie vooral gewonnen in de concessie Rijswijk (439.000 ton in 2002) en op de Noordzee (900.000 ton in 2000, 1.100.000 ton in 2001 en 2.236.000 ton in 2002). De energetische waarde van de in Nederland gewonnen aardolie was 104 PJ in 2000. Hiermee kon in 3,3 procent van de binnenlandse energiebehoefte worden voorzien.

Op de locaties waar olie wordt gewonnen, staan naast de jaknikkers tegenwoordig pijpen waarmee stoom wordt geïnjecteerd en olie naar boven wordt gepompt. De olie die op deze manier is gewonnen, wordt veelal per pijpleiding afgevoerd. De meeste winningslocaties hebben een oppervlakte van minder dan een hectare. Zij worden via beplanting ingepast in het landschap. Wanneer de bron is uitgeput, worden alle installaties verwijderd en kan de locatie een andere bestemming krijgen. Er is dus sprake van tijdelijk – 10 tot 25 jaar – ruimtegebruik.

Voor het internationale transport van ruwe olie worden tankers en pijpleidingen gebruikt. Olietankers hebben een capaciteit tot 230.000 ton. Voor de aanlanding van deze supertankers zijn dan ook grote havens nodig. Binnen Europa beschikt Rotterdam over de grootste havenbekkens om deze schepen te ontvangen. De gehele haven heeft een kadeflengte van 80 kilometer en een oppervlak van 10.000 hectare, waarvan ongeveer een derde in gebruik is voor de petrochemische industrie. In de Noordzee wordt een speciale geul op 26 meter diepte gehouden om de olietankers te kunnen laten varen.

Voor opslag is in het Rotterdamse havengebied 33 miljoen m³ beschikbaar. Bekend is de olieterminal op de Maasvlakte, waar onder meer een deel van de Duitse strategische olievoorraad is opgeslagen. De Maasvlakte Olie Terminal (MOT) heeft 36 tanks, met een totale inhoud van 4 miljoen m³, waarvoor een oppervlak van 130 hectare wordt gebruikt. Per hectare wordt 30.000 m³ opgeslagen, oftewel een olieplas van gemiddeld drie meter hoog.

Het indirecte ruimtegebruik van olie is groot, als gevolg van de hoge energiedichtheid en lichte ontvlambaarheid van olieproducten. De gecombineerde milieu-, geluids- en veiligheidscontouren van het petrochemische industriegebied in de Europoort/Botlek strekken zich uit tot over de Nieuwe Waterweg; zij leveren ruimtelijke beperkingen aan de 'overkant' op. Hoewel er door allerlei veiligheidsmaatregelen weinig ongelukken gebeuren, gelden de beperkingen ook voor de tankstations voor benzine en diesel.

LPG

Er zijn in Nederland ongeveer 2.000 verkooppunten voor LPG (Liquified Petrol Gas). Deze geven nogal wat conflicten met de bebouwde omgeving in het kader van de externe veiligheid. LPG is veel onveiliger dan aardgas en waterstof. Het gas is zwaarder dan lucht, waardoor het aan de grond blijft plakken en

Bulkcarriers brengen kolen naar de Nederlandse havens.

Door middel van vierbaksduwvaart worden de kolen naar het achterland vervoerd.

Na winning wordt olie verpompt naar de raffinaderij, waar er bruikbare producten van worden gemaakt.

Tankstations worden veelal per tankwagen bevoorrad.

zich verspreidt. Door de vermenging met lucht vormt zich dan een explosieve wolk, die bij een kleine vlam of elektrische ontlading ontploft, met desastreuze gevolgen. Door alle veiligheidsmaatregelen zijn er tot nu toe maar weinig incidenten bekend. De ruimtelijke veiligheidsmarges zijn echter groot. Zo wordt bij een te kleine afstand tot de bebouwing het risico op een fataal ongeluk te groot geacht. Deze knelpunten heeft TNO in een recente studie geïnventariseerd. Uit die studie blijkt dat bij tientallen LPG-tankstations de plaatsgebonden risiconorm van 10⁻⁵ wordt overschreden, en bij honderden stations het 10⁻⁶-risico (kans van één op de miljoen). Ook rond de transportroutes worden risiconormen geregeld overschreden, vooral op de Brabantroute (spoor) en op de ringwegen van Amsterdam en Rotterdam. Een verdere verdichting van de bebouwing is op de bedreigde plaatsen niet mogelijk. Als aan de bestaande risiconormering strikt de hand wordt gehouden, dan zou met de sanering van alle bestaande knelpunten een kapitaalvernietiging van miljarden guldens gemoed zijn. De vraag is of we dit ervoor over hebben. Alternatieven zijn het accepteren van het risico, het ontmoedigen van LPG-gebruik voor auto's en het transporteren van LPG voor industriële doeleinden per buisleiding.

Voor andere energiegassen en vloeistoffen (nafta, ethyleen) liggen er al pijpleidingen in leidingstraten naar Antwerpen en Duitsland. Voor propyleen worden die aangelegd.

Gas

Algemeen

Gas levert momenteel 23 procent van de primaire energie in de wereld. Deze energiebron wordt echter steeds meer gebruikt. Naar verwachting zal gas op wereldschaal de tweede energiebron worden. In 2030 wordt door het IEA een afzet verwacht van 4.200 Mtoe. Gas levert dan 28 procent van de primaire energie.

Gas is een relatief nieuwe energiebron; tot op heden is ongeveer twaalf procent van de oorspronkelijke voorraad gebruikt. De bewezen gasvoorraden zijn genoeg voor 60 jaar, bij huidig gebruik. Naar energie-inhoud gemeten is dat iets meer dan de oliereserves. Als de verwachte gasreserves worden meegerekend, dan is de gasvoorraad ruim twee keer zo groot. De gasprijs is gekoppeld aan die van olie, waardoor flinke fluctuaties in prijs kunnen optreden.

De gasvoorraden zijn slecht over de wereld gespreid; de helft ligt in Rusland en Iran. Zoals bij olie kunnen zich ook bij gas geopolitieke spanningen voordoen, bijvoorbeeld wanneer het traject wordt bepaald voor de pijpleidingen van de winplaatsen naar de belangrijkste markten. De aanleg van die pijpleidingen is bovendien duur, waardoor niet alle gasreserves kunnen worden benut. Alternatief is het aardgas vloeibaar te maken, maar ook dit is duur en het vergt veel energie. De Europese afhankelijkheid van gas bedraagt momenteel 36 procent; zij zal naar verwachting oplopen naar 63 procent. Amerika is op



dit moment vrijwel zelfvoorzienend, maar zal dat niet kunnen blijven. Naar verwachting zal de Amerikaanse afhankelijkheid van gasimport toenemen naar 26 procent.

Tussen 1965 en 1975 schakelde Nederland massaal over op aardgas. Dit kwam door de vondst van een enorme gasbel bij Slochteren in 1958. Sinds 1975 is ook de aardgaswinning op de Noordzee op gang gekomen. Momenteel komt ongeveer een derde van de productie uit het continentaal plat en twee derde van onder het land. In 1999 was dit respectievelijk 29 en 42 miljard m³. In zijn maatschappelijk jaarverslag 2000 berekent de NAM het totale ruimtebeslag op land op 1.000 hectare. Dit zijn 450 winnings- en behandelingslocaties, maar ook kantoren en dergelijke.

Ruimtegebruik

De locaties in Groningen waar gas wordt gewonnen, zijn vrij uitgebreid: naar schatting in totaal 600 hectare. Buiten Groningen wordt onder andere in Barendrecht gas gewonnen, behandeld en vervolgens in het gasnet gebracht. Op de Noordzee staan 146 productieplatforms met daaromheen een veiligheidszone van 500 meter.

Het transport van gas vindt plaats via buisleidingen. In totaal ligt er 100.000 km aan gasbuizen onder de grond en op de Noordzee nog eens 2.000 km voor olie en gas. De grond boven deze trajecten wordt gebruikt als weg of voor landbouwdoeleinden; er mag niet worden gebouwd. Het hoofdtransportnet voor gas is niet zichtbaar maar wel herkenbaar. Om het per vliegtuig te kunnen controleren, wordt het traject gemarkeerd door palen met een dakje erop. De stadsbuizen zijn herkenbaar gemaakt door plaatjes op gevels en gele paaltjes langs wegen en paden.

Er zijn nog andere installaties die met de gasvoorziening te maken hebben en ruimte vergen. Aan de industriehaven van Harlingen ligt bijvoorbeeld een gasbehandelingsstation, waar de gaswinning op de Noordzee en de Waddenzee wordt geregeld. Verder liggen er op verschillende plaatsen in Nederland decompressiestations. In deze stations wordt de druk van het hoofdnet verlaagd tot een druk die geschikt is voor het stadsnet. Tot slot vergen de zogenoemde compressorstations een ruimte van 300 meter, vanwege geluidshinder.

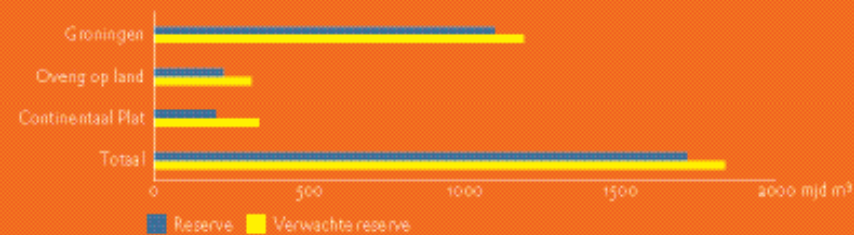
Het gasnet kent ook een indirect ruimtegebruik. Er zijn toetsingsafstanden waarbinnen, afhankelijk van de druk in en diameter van de leidingen, niet mag worden gebouwd. Deze variëren van 20 tot 180 meter (VROM 1984). Wanneer voorzieningen zijn getroffen, gelden minimale bebouwingsafstanden van 4 tot 60 meter.

LNG

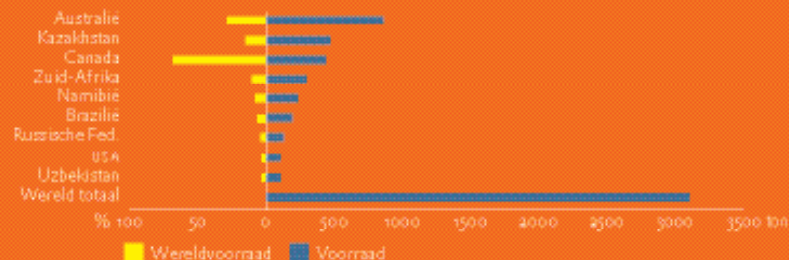
Gas wordt vooral in vloeibare vorm vervoerd, als Liquefied Natural Gas (LNG). In Nederland wordt LNG opgeslagen in Europoort. Het dient vooral als buffer voor perioden met een piekvraag. Naar verwachting zal het transport van

Gasreserves Nederland, naar veld

Ministerie van Economische Zaken, Jaarverslag Energiewinning (2002)



Uraniumvoorraad, naar land



aardgas in vloeibare vorm wereldwijd sterk stijgen. In 2002 waren er in de wereld 128 LNG-tankers in bedrijf; er zijn er 53 in bestelling. Het tanktransport zal dus sterk gaan stijgen. Ook Nederland zal hierdoor niet onberoerd blijven. Aanvragen voor aanlandingspunten van de tankers zijn te verwachten. Het risicoprofiel is bekend: een zeer kleine kans op een ongeluk, maar wel met potentieel grote gevolgen. Het veiligheidsgebied met gebruiksbeperkingen is dan ook groot.

Gezien de rol die Nederland heeft als gasschijf in Noordwest-Europa, mag worden verwacht dat LNG ook in ons land een grotere rol gaat spelen. Bij de ruimtelijke inpassing moet rekening worden gehouden met een aanzienlijke vrijwaringsafstand, zowel op het punt van aanlanding als op het punt van opslag. Een groot voordeel van LNG op LPG is dat er al een aardgasnet is. Transport over de weg, per rail of binnenvaart is dan ook niet nodig en de bijbehorende externe veiligheidsproblemen kunnen worden voorkomen.

Kernenergie

Algemeen

De 450 kerncentrales die over de wereld in bedrijf zijn, leveren in totaal een capaciteit van 355 Gwe. Dit is ongeveer zeven procent van het wereldenergieverbruik. In 1971 was dit nog vrijwel nul en in 2030 zal het aandeel kernenergie volgens het IEA dalen naar vijf procent.

Kernenergie wordt opgewekt met behulp van uranium. Deze stof heeft een atoomkern met bijzondere eigenschappen: wanneer de kern wordt getroffen door een vrij bewegend neutron, kan deze in brokstukken (de splijtingsproducten) uiteenvallen. De nieuw vrijgekomen neutronen laten op hun beurt weer andere atoomkernen uiteenvallen. Zo ontstaat een kettingreactie. In kerncentrales wordt gebruik gemaakt van verrijkt uranium: uranium waarbij het percentage splijtbare cellen kunstmatig is verhoogd. Bij de splijtingsreactie komt zeer veel warmte of energie vrij. Deze kernenergie wordt door een generator omgezet in elektriciteit. Omdat de splijtingsproducten radioactief zijn, speelt het splijtingsproces zich af in een hermetisch gesloten reactievat.

Voor de opwekking van kernenergie is per jaar ongeveer 65.000 ton uranium nodig uit mijnen (of voorraden). De economisch winbare voorraad hangt af van het prijsniveau. Bij het huidige prijsniveau zijn er bewezen reserves van 3,1 miljoen ton. Zou de prijs verdubbelen, dan nemen de economisch winbare voorraden toe met een factor vijf á tien. Het Internationaal Atoomagentschap (IAEA) schat dat er, bij het huidige niveau van gebruik, voor 250 jaar voorraad uranium is. Uit de tabel blijkt dat de voorkomens geografisch sterk zijn gespreid. Hierdoor zijn de marktwerking en de voorzieningszekerheid goed. In vergelijking met de andere energiebronnen is de omzetting van kernenergie zeer voordelig. Zo levert een kilo hout ongeveer een kilowattuur stroom en een kilo kolen levert drie kilowattuur, terwijl een kilo uranium goed is voor 40.000 kilowattuur. Het ruimtebeslag door kernenergie is dus relatief beperkt. Ook is er maar weinig verrijkt uranium – en hiermee weinig transport – nodig;

Gasvoorraden in Nederland bevinden zich in de diepe ondergrond (Groningen).

Bij Barendrecht wordt gas gewonnen en direct gezuiverd.

Via transformatoren wordt de stroom in het net gebracht (Hemwegcentrale).

Binnen de Nederlandse steden liggen de kabels ondergronds. Daarbuiten prijken de masten tot 60 meter hoogte.

voor de centrale in Borssele is dit bijvoorbeeld twaalf ton per jaar. In relatie tot het volume produceert kernenergie bovendien zeer weinig afval, en er is geen uitstoot van vervuilende stoffen als NO_x , SO_2 en broeikasgassen als CO_2 .

Toch is de toepassing van kernenergie wereldwijd omstreden. Dat heeft te maken met het veiligheidsaspect rondom de radioactiviteit van de nucleaire brandstof en het afval. Veiligheidsproblemen spelen op een aantal gebieden. Ten eerste kent de centrale zelf het risico van aardbevingen, explosies, neerstortende vliegtuigen en overstromingen. Dit risico wordt beperkt door het technisch ontwerp van de centrales: zo beschermt de bekende koepelvorm tegen neerstortende vliegtuigen. Ten tweede is er het risico van een nucleair ongeluk als gevolg van gemaakte fouten in de centrale. De ramp in Tsjernobyl (26 april 1986) wordt hieraan toegeschreven. Dit risico wordt beperkt door in moderne centrales allerlei veiligheidsmaatregelen in te bouwen. Ten derde draagt het nucleair afval een risico in zich. Een deel van dat afval is hoog radioactief, met een zeer lange halfwaardetijd. Wel beschikken we over de technologie om deze stoffen langdurig veilig op te bergen. En ten vierde is er het risico dat terroristen het zwaar radioactieve materiaal gebruiken in 'dirty bombs' of in kernbommen. Hiertegen waakt het Internationaal Atoomagentschap door via inspecties te controleren of alle staten die het non-proliferatieverdrag hebben getekend, zich aan deze regels houden. Hier zit bij bepaalde staten een (potentieel) probleem, maar niet in Nederland.

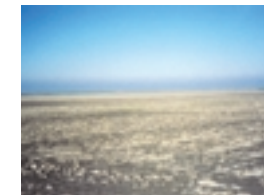
Nederland heeft twee centrales voor commerciële elektriciteitsproductie: de proefcentrale in Dodewaard (1969-1997) en de centrale in Borssele (1973-2013). Verder zijn er onderzoeksreactoren in Delft en Petten. In Petten worden ook radionucliden voor medische doeleinden (de bestraling van kankerpatiënten) geproduceerd. In Almelo wordt in de Urenco-fabriek onder meer uranium verrijkt. Het radioactieve afval wordt door de COVRA in Vlissingen-Oost opgeslagen. De uitgewerkte splijtstof van Dodewaard wordt in Sellafield (Noord-Engeland) opgewerkt en dat van Borssele in La Hague (Normandië)

Ruimtegebruik

Volgens het bestemmingsplan voor het buitengebied van Dodewaard heeft het terrein waarop de centrale staat, de bestemming van 'elektriciteitscentrale'. Dit terrein is 26 hectare groot. Het gedeelte waarop de gebouwen staan, is opgehoogd tot dertien meter boven NAP en de vloerhoogte van die gebouwen is 13,2 meter boven NAP. Wanneer de elektriciteitscentrale in 2048 is ontmanteld, zal er na 80 jaar weer een terrein liggen van 26 hectare 'groene weide'.

De opwerkingsfabriek in Sellafield, waarheen de splijtstof uit Dodewaard voor verwerking wordt afgevoerd, is 300 hectare groot. De hoeveelheid hoog radioactief materiaal die Dodewaard oplevert en die moet worden opgeslagen, is 40 m³. Dat is ongeveer de inhoud van een huiskamer.

De commerciële centrale in Borssele heeft een capaciteit van 480 MW. Per jaar wordt 3.600 GWh geproduceerd. De kerncentrale heeft een oppervlak van 6,4 hectare. Het ruimtegebruik voor de bijbehorende kolencentrale, met opslag, komt op ongeveer 80 hectare.



In Borssele wordt twaalf ton splijtstof per jaar verbruikt. Hiervoor is 100 ton uraniumerts nodig. De centrale produceert 40 ton licht radioactief afval, 1,4 ton hoog radioactief splijtingsafval (in glas gegoten) en twee ton hoog radioactieve metaaldelen. Opslag van de radioactieve reststoffen wordt verzorgd door de Centrale Organisatie voor Radioactief Afval (CORA), in Borssele. Dit bedrijf, waar ook al het radioactieve afval van ziekenhuizen wordt opgeslagen, beslaat een oppervlak van 9 hectare. Er wordt nog gestudeerd op andere opslagmogelijkheden en -locaties, zoals ondergrondse opslag in zoutkoepels. Recent is een EU-richtlijn voor de opslag van nucleair afval gepubliceerd. Uitgangspunt daarbij is het opslaan op grote diepte, al dan niet door lidstaten gezamenlijk. Voor 2008 moeten lidstaten hierover een besluit nemen; in 2018 moeten de opslagplaatsen voor zeer gevaarlijk kernafval operationeel zijn. Deze richtlijn is strijdig met het huidige Nederlandse beleid ter zake: langdurige bovengrondse opslag.

Productie van duurzame energie, aandeel in totale energievoorziening, 1990-2001, in TJ vermeden primaire energie.

c.b.s./Novem

Duurzame energiebronnen

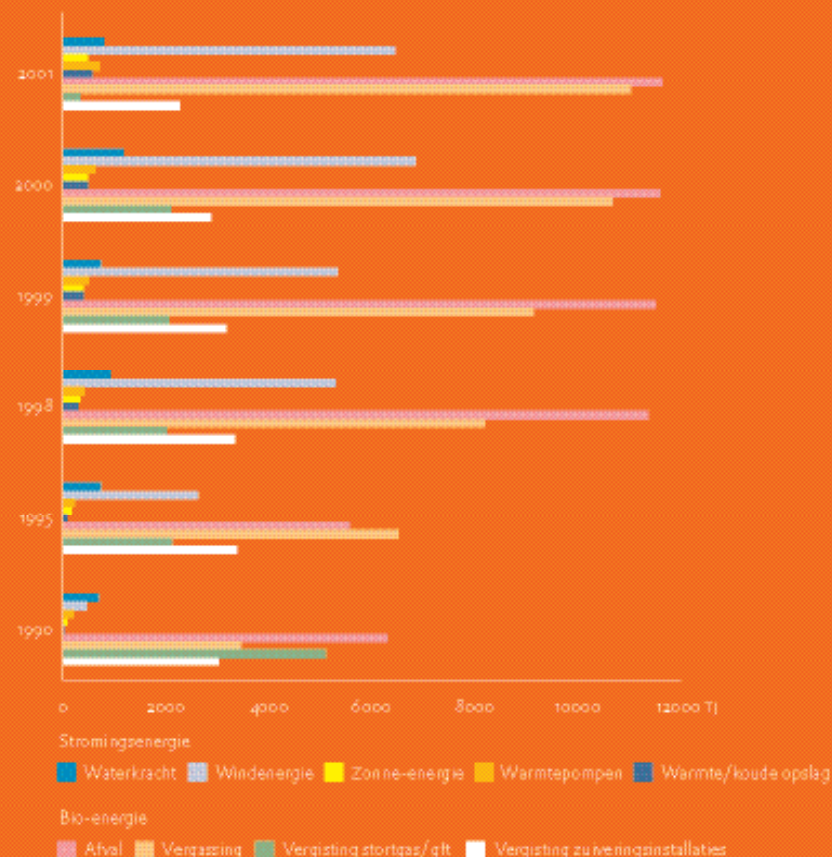
Op dit moment is de energievoorziening door duurzame bronnen nog beperkt. Hun ruimtegebruik wordt hieronder slechts kort aangeduid. Omdat op termijn een transitie naar meer duurzame energiesystemen is beoogd, komen deze bronnen en hun ruimtebeslag in het volgende hoofdstuk, over het toekomstig ruimtebeslag, uitgebreider aan de orde.

In de Energienota 2002 van het ministerie van Economische Zaken staat dat ongeveer 1,2 procent van het totale energieverbruik wordt opgewekt met duurzame bronnen. In de duurzame energievoorziening nemen wind en biomassa de belangrijkste plaats in, met een aandeel van respectievelijk 18 en 74 procent. Gezien de snelle uitbreiding van windenergie, zal deze energiebron biomassa binnen enkele jaren voorbijstreven. Op pagina 45 staat een overzicht van de productie van duurzame energie.

In Nederland staan op dit moment zo'n 1.600 windmolens, met een totaal vermogen van 742 MW. Windmolens kennen een gering direct ruimtegebruik. Het indirecte ruimtegebruik geldt voor woningen, op grond van geluid, gevaar en slagschaduw. Verder zijn er landschappelijke gevolgen.

De bijdrage van biomassa aan de duurzame energieopwekking gebeurt vooral door de verbranding van huishoudelijk afval dat voor ongeveer de helft uit organisch materiaal bestaat. De elf verbrandingsinstallaties leveren ongeveer een derde van de in Nederland geproduceerde duurzame energie. Ook het bij- en meestoken van biomassa (hout- en landbouwafval) in kolencentrales is een belangrijke bron. De biomassa die momenteel wordt gebruikt, is een restproduct. Het ruimtegebruik wordt dan ook toegerekend aan de primaire gebruiksvorm. Hooguit is er voor biomassa als energiebron ruimte nodig voor opslag.

Het aandeel van zonne-energie aan de duurzame energie is in Nederland slechts 0,47 procent. Het totale oppervlakte aan zonnepanelen is inmiddels



ongeveer 200.000 m², met een gezamenlijk vermogen van 20,5 Mwp. De productie van elektriciteit uit zonne-energie was in 2001 13 miljoen kWh, waarmee 0,01 procent van de elektriciteitsbehoefte is gedekt.

In vrijwel alle gevallen gaat het bij zonne-energie om meervoudig ruimtegebruik (daken), waardoor de netto behoefte vrijwel nul is. Indirect ruimtegebruik wordt veroorzaakt door de schittering van de panelen, als gevolg van reflecterend zonlicht.

Waterkracht is wereldwijd de belangrijkste bron van duurzame energie. In Nederland is de bijdrage echter zeer beperkt: 1,2 procent van de totale duurzame energie. Deze wordt geleverd door vier waterkrachtcentrales. Deze centrales zijn relatief beperkt van omvang. Indirect ruimtebeslag is er door het stuwmeer bij de centrale.

Elektriciteit

Algemeen

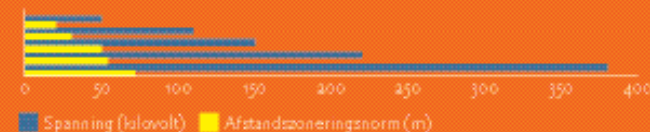
Wereldwijd wordt 18 procent van het finale energiegebruik geleverd door elektriciteit. Volgens het IEA zal dit gebruik stijgen naar 22 procent in 2030. Van het totale energiegebruik wordt 18 procent geleverd door elektriciteit; in Nederland is dit 22 procent. Per Nederlands huishouden wordt jaarlijks ongeveer 3.500 kWh verbruikt, wat overeenkomt met 12,6 MJ.

Elektriciteit is geen primaire energiebron, maar een energiedrager. Zij wordt opgewekt door een draaiende beweging van magneten. Deze beweging wordt verkregen door stoom door een schoepenrad te jagen. Aan de as van dat schoepenrad zijn de magneten bevestigd. De stoom die het rad in beweging brengt, ontstaat door water te verhitten met behulp van kolen, olie, gas of kernenergie. Er zijn ook hydro-elektrische centrales, waarbij het schoepenrad door vallend water in beweging wordt gebracht. Bij windmolens brengt de langsstromende wind de wieken in beweging; de as van die wieken is rechtstreeks gekoppeld aan de magneten die de elektriciteit opwekken.

Elektriciteitscentrales worden dicht bij de grote verbruikersconcentraties neergezet. Door transport gaat immers energie verloren en dat kost geld. De locatie van de centrale moet goed bereikbaar zijn, in verband met de brandstoflevering. Gasgestookte centrales zijn hierin het meest flexibel. Tegenwoordig gebruikt men de restwarmte van centrales voor stadsverwarming of voor de verwarming van kassen. De CO₂ die de centrales produceren, wordt soms in kassen benut.

In Nederland staan 29 centrales. Zij hebben een gezamenlijke capaciteit van 14.244 MW. Achtentwintig centrales worden gevoed door fossiele brandstof, één centrale door kernenergie. Daarnaast wordt elektriciteit opgewekt door zogenoemde afvalverbrandingsinrichtingen (AVI's), windmolens en waterkrachtcentrales (zie verder in het volgende hoofdstuk). De 29 centrales nemen 98 procent van de elektriciteitsproductie voor hun rekening.

Afstandsnormering (hoog-)spanningsleidingen



Ruimtegebruik

De ruimte die een elektriciteitscentrale in beslag neemt, verschilt. Dit heeft ondermeer te maken met de ligging, de grondprijs en de gebruikte brandstof. Kolen en olie vergen opslag ter plekke en soms een haven of spooraansluiting. Een van de grootste centrales is de Clauscentrale in Maasbracht, met een oppervlakte van 132 hectare en een capaciteit van 1280 MW; de Flevo-centrale (513 MW en 23 ha) in Lelystad is een voorbeeld van een kleine centrale.

Gemiddeld is per MW capaciteit 20 hectare nodig. Het toeval wil dat de opgestelde capaciteit in MW vrijwel gelijk is aan het aantal hoogspanningsmasten. Het elektriciteitsnet in Nederland is ongeveer 100.000 kilometer lang. Ieder huis en ieder bedrijf is hierop aangesloten. Het hoogspanningsnet is in Nederland ruim 4.000 km lang. Het laagspanningsnet ligt gedeeltelijk boven de grond. Er staan in Nederland 14.864 hoogspanningsmasten. Hun directe ruimtegebruik blijft beperkt tot de oppervlakte van de vier poten (2 tot 4 m² voor de vier poten samen, bij een oppervlak van 40 á 100 m² tussen de poten). De appreciatie van hoogspanningsmasten verschilt van plek tot plek en van persoon tot persoon. Voor hoogspanningslijnen bestaat een afstandszoningsnorm, die afhankelijk is van de spanning van de lijn. Binnen de afstand die in de norm genoemd wordt, zijn bepaalde vormen van ruimtegebruik, zoals bebouwing, niet toegestaan; andere vormen, zoals landbouw, wel.

De elektriciteitsvoorziening neemt ook ruimte in beslag in de vorm van transformatorstations die nodig zijn voor de omschakeling van hoog- naar laagspanning. De kleinste zijn ingebouwd in loze ruimten van viaducten of gebouwen. Een bekende verschijning is bovendien de wijkcentrale. Er is een risicoafstand voor de stations, afhankelijk van het vermogen van de transformator. Deze afstand is 10 tot maximaal 50 meter. De geluidscoutour van 50 dB(A) loopt van 30 meter voor kleine stations tot 300 meter bij een vermogen tussen 200 en 1.000 MVA, wanneer er geen afschermdende geluidsmaatregelen genomen zijn.

Conclusies

Alle energiesystemen die op dit moment in gebruik zijn, gaan gepaard met ruimtebeslag. Hoeveel ruimte er, direct of indirect, wordt gebruikt, is echter verschillend:

Steenkool: al wordt steenkool in Nederland niet meer gewonnen, deze energiebron gaat wel gepaard met ruimtebeslag: de haventerreinen en kades die nodig zijn voor de opslag en overslag van kolen. De doorvoerfunctie van de Nederlandse havens brengt dit met zich mee, evenals het gebruik van kolen door elektriciteitscentrales en de hoogovens.

Aardolie: deze energiebron wordt nog wel in Nederland gewonnen. Het grote ruimtebeslag zit echter in de aanvoer, opslag en overslag en in de grote petrochemische industriecomplexen: Maasvlakte/Europoort/Botlek/Moerdijk en Zuid-Limburg. Het indirecte ruimtebeslag middels milieu-, geluids- en veiligheidszones is aanzienlijk. Een relatief groot ruimtebeslag wordt veroorzaakt door het gebruik van LPG als autobrandstof. De veiligheidszones die moeten worden aangehouden bij zowel de 2.000 verkooppunten als op de transportroutes, zijn erg groot. Op bepaalde plaatsen blokkeren zij ook de stedelijke ontwikkeling.

Aardgas: hoewel er zeer veel gas wordt gewonnen en vrijwel elke woning en bedrijf in Nederland op het gasnet is aangesloten, gebruikt het hele gassysteem weinig zichtbare ruimte. Wel is er indirect ruimtebeslag als gevolg van veiligheidszones.

Kernenergie: deze bron van energie is vanuit ruimtelijk oogpunt verreweg het meest efficiënt. Er zijn echter aanzienlijke veiligheidsrisico's.

Duurzame energie: het ruimtebeslag voor duurzame energiebronnen is op dit moment niet groot. Dat komt ook doordat het aandeel duurzame energie nog zeer beperkt is.

Elektriciteit: de centrales kunnen redelijk compact worden gebouwd. De grote ruimtelijke impact zit in het bovengrondse transport via hoogspanningsleidingen.

HUIDIG BESLAG OP DE RUIMTE VAN KOLEN, OLIE, GAS, KERNENERGIE EN ELEKTRICITEIT

Voorkomen

- Steenkool (op winbare diepte)
- Bruinkool

Winning

- Voormalig steenkoolwingsgebied NL
- Dagbouw bruinkool
- Steenkoolmijn

Stromen

- Kolenoverslag
- Rail/Betuwelijn
- Binnenvaart/Waal
- Overzees import

Gebruik

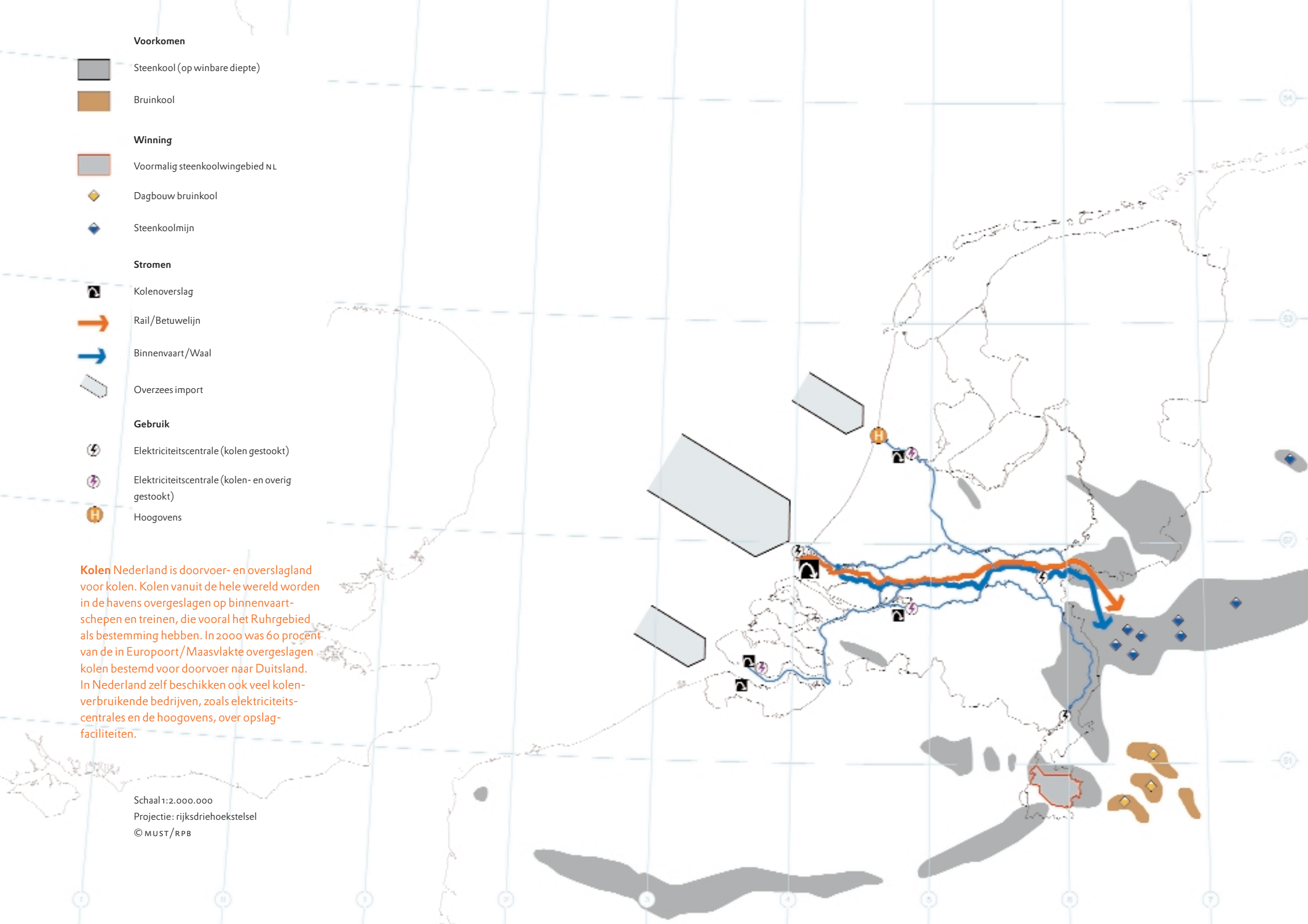
- Elektriciteitscentrale (kolen gestookt)
- Elektriciteitscentrale (kolen- en overig gestookt)
- Hoogovens

Kolen Nederland is doorvoer- en overslagland voor kolen. Kolen vanuit de hele wereld worden in de havens overgeslagen op binnenvaartschepen en treinen, die vooral het Ruhrgebied als bestemming hebben. In 2000 was 60 procent van de in Europoort/Maasvlakte overgeslagen kolen bestemd voor doorvoer naar Duitsland. In Nederland zelf beschikken ook veel kolenverbruikende bedrijven, zoals elektriciteitscentrales en de hoogovens, over opslagfaciliteiten.


Schaal 1:2.000.000

Projectie: rijksdriehoekstelsel


© MUST/RPB



Voorkomen

 Olieveld

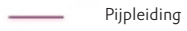
Winning


 Concessie Noordzee

 Olieplatform (offshore)

 Oliewinning (land)


Stromen

 Pijpleiding

 Raffinaderij

 Tankerterminal

Gebruik

 LPG station/risicocontour (indicatief)

 LPG route/risicocontour (indicatief)

 LPG depot

 LPG terminal

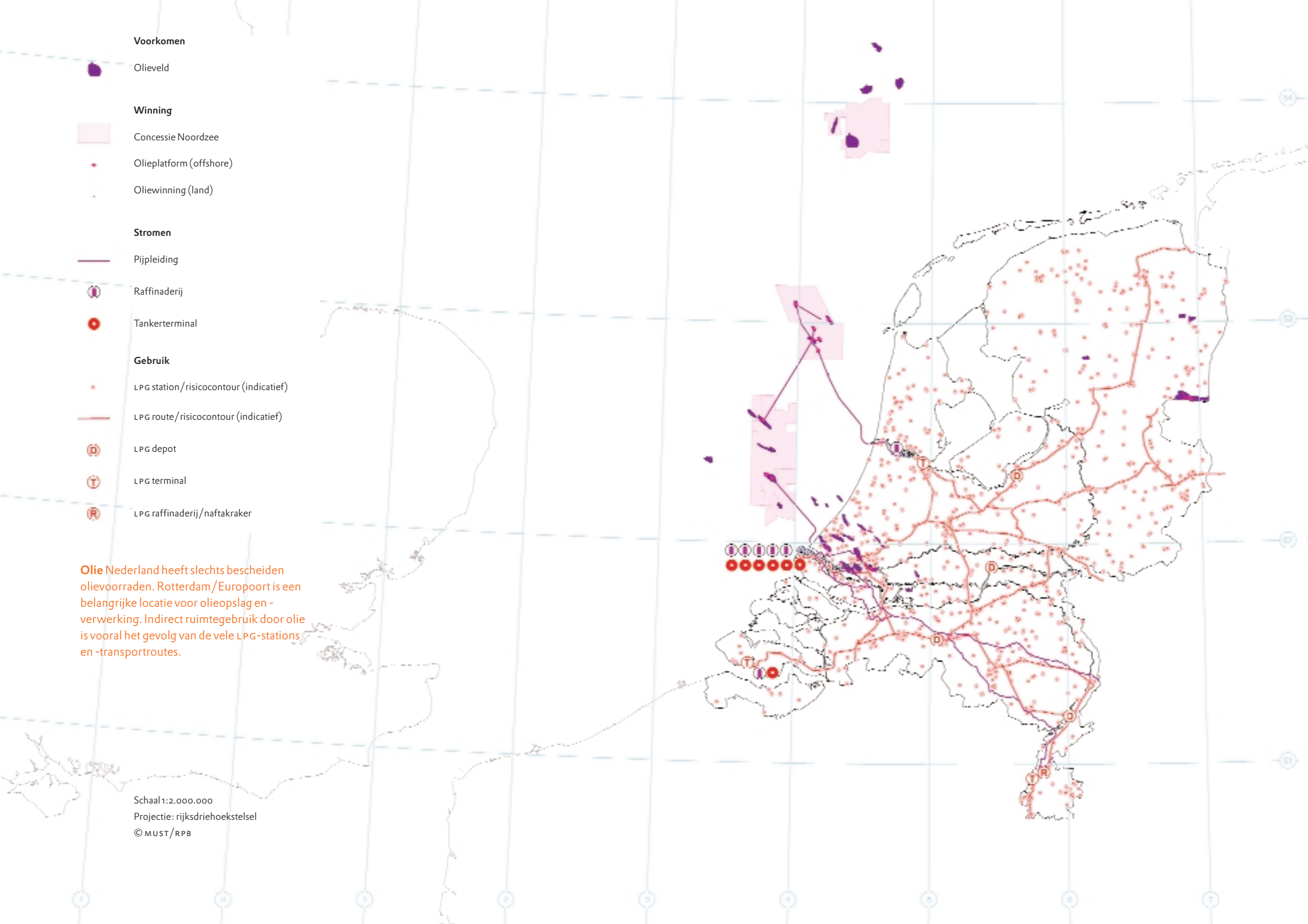
 LPG raffinaderij/naftakraker

Olie Nederland heeft slechts bescheiden olievoorraden. Rotterdam/Europoort is een belangrijke locatie voor olieopslag en -verwerking. Indirect ruimtegebruik door olie is vooral het gevolg van de vele LPG-stations en -transportroutes.

Schaal 1:2.000.000

Projectie: rijksdriehoekstelsel

© MUST/RPB



- Voorkomen**
-  Olieveld
 - Stromen**
 -  Pijpleiding
 -  Tankerterminal
 -  Raffinaderij
 -  Aanvoer per supertanker
 -  Olie vervuiling (uit wereld top 20)

Olie wordt vooral per supertanker aangevoerd vanuit het Midden-Oosten. Er zijn veel tankerterminals en raffinaderijen langs de Noordzeekust, waarbij de belangrijke positie van Rotterdam/Europoort opvalt. In de Noordzee zelf komt olie vooral ter hoogte van Noorwegen voor. Enkele grote scheepsrampen hebben hun oliesporen achtergelaten langs de Europese kusten.

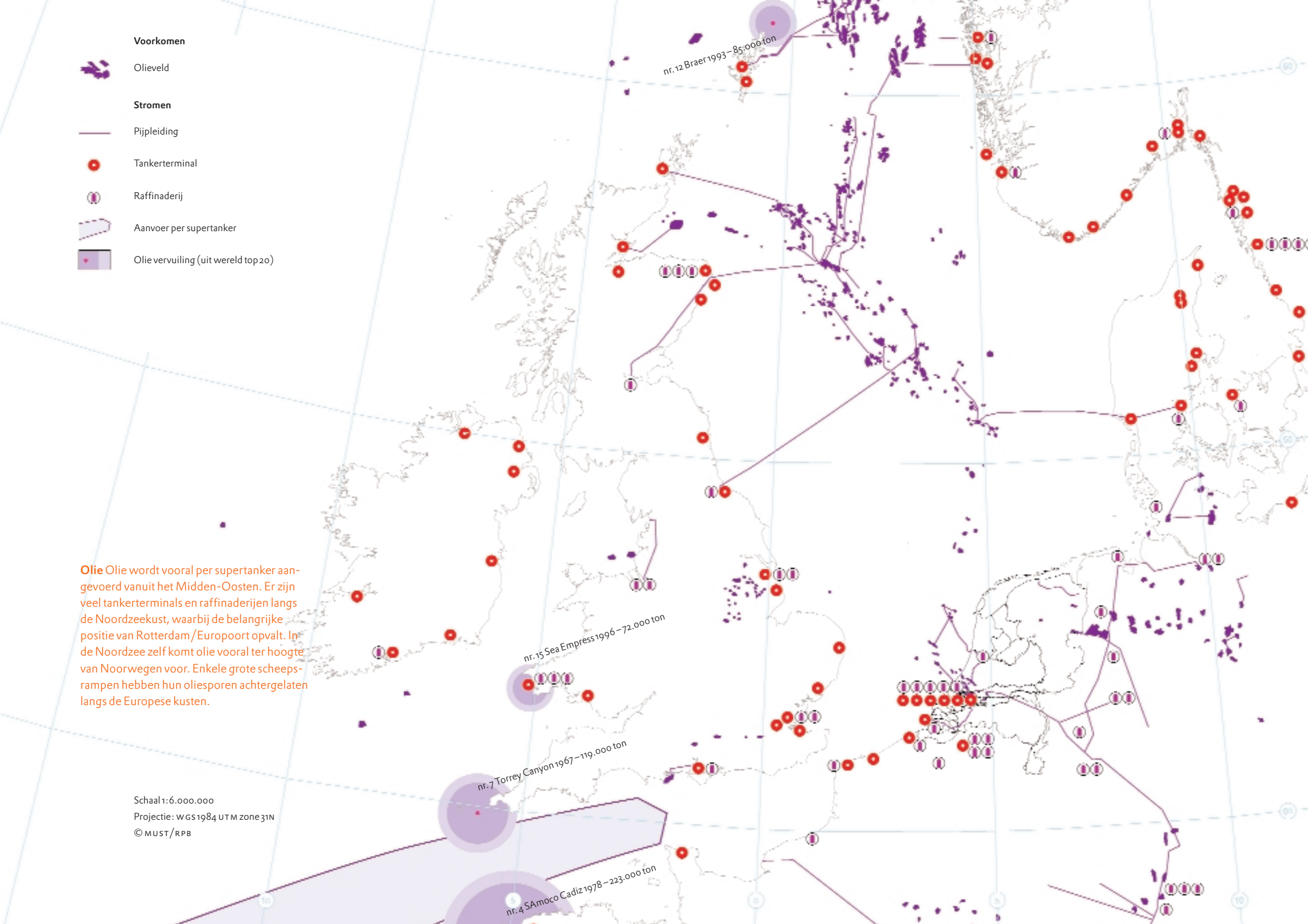
Schaal 1:6.000.000
 Projectie: WGS1984 UTM zone 31N
 © MUST/RPB

nr. 12 Braer 1993 – 85.000 ton

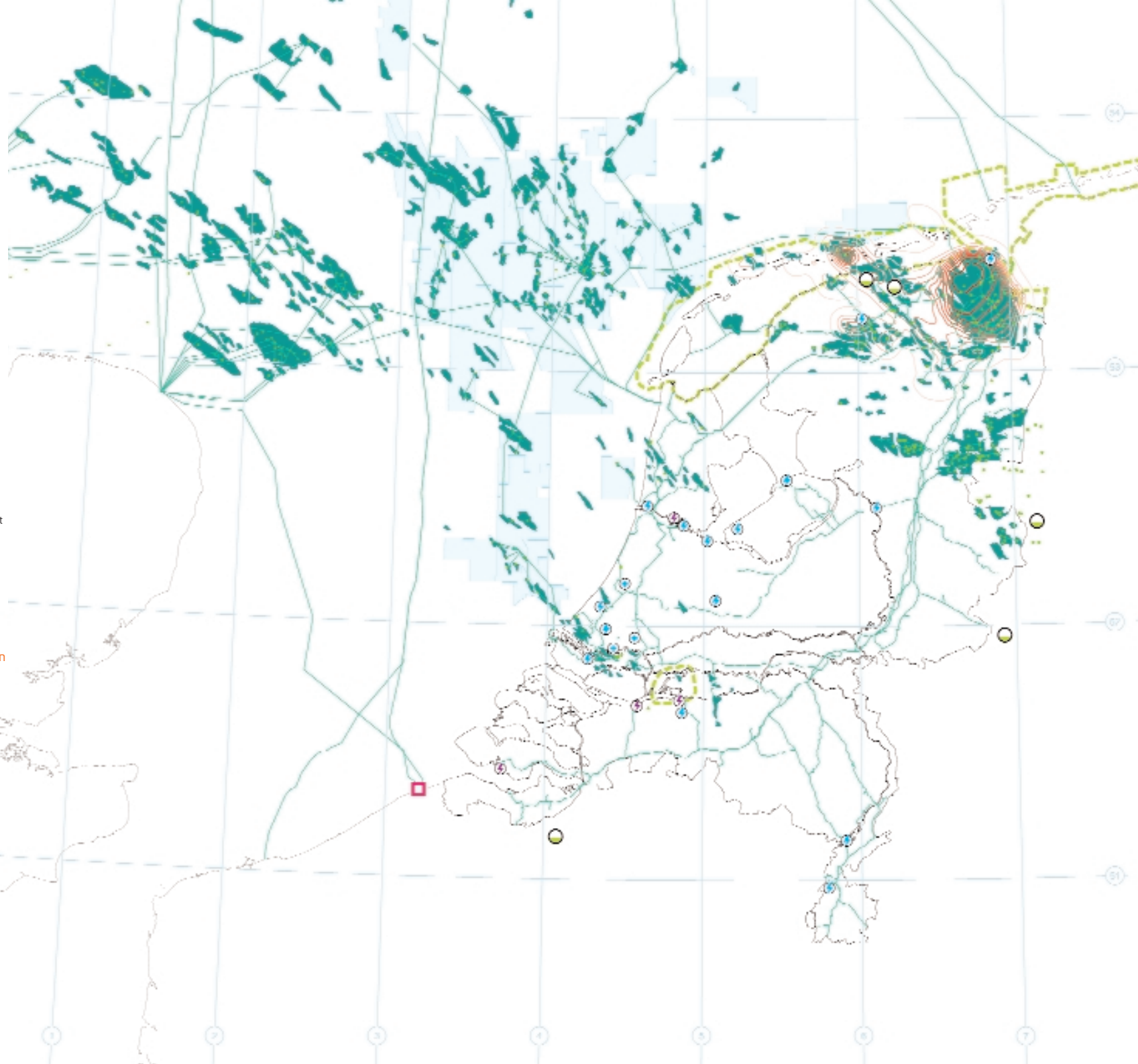
nr. 15 Sea Empress 1996 – 72.000 ton

nr. 7 Torrey Canyon 1967 – 119.000 ton

nr. 4 Amoco Cadiz 1978 – 223.000 ton



- Voorkomen**
- Gasveld
- Winning**
- Concessiegebieden Noordzee
 - Aardgaswinning
 - Bodemdaling (prognose)
 - Natuurgebieden in invloedssfeer van (potentiële) gaswinning
- Stromen**
- Pijpleiding
 - Gasopslag ondergronds
 - LNG terminal
- Gebruik**
- Elektriciteitscentrale – gasgestookt
 - Elektriciteitscentrale – gas- en overig gestookt
 - Warmtekrachtcentrale – gasgestookt



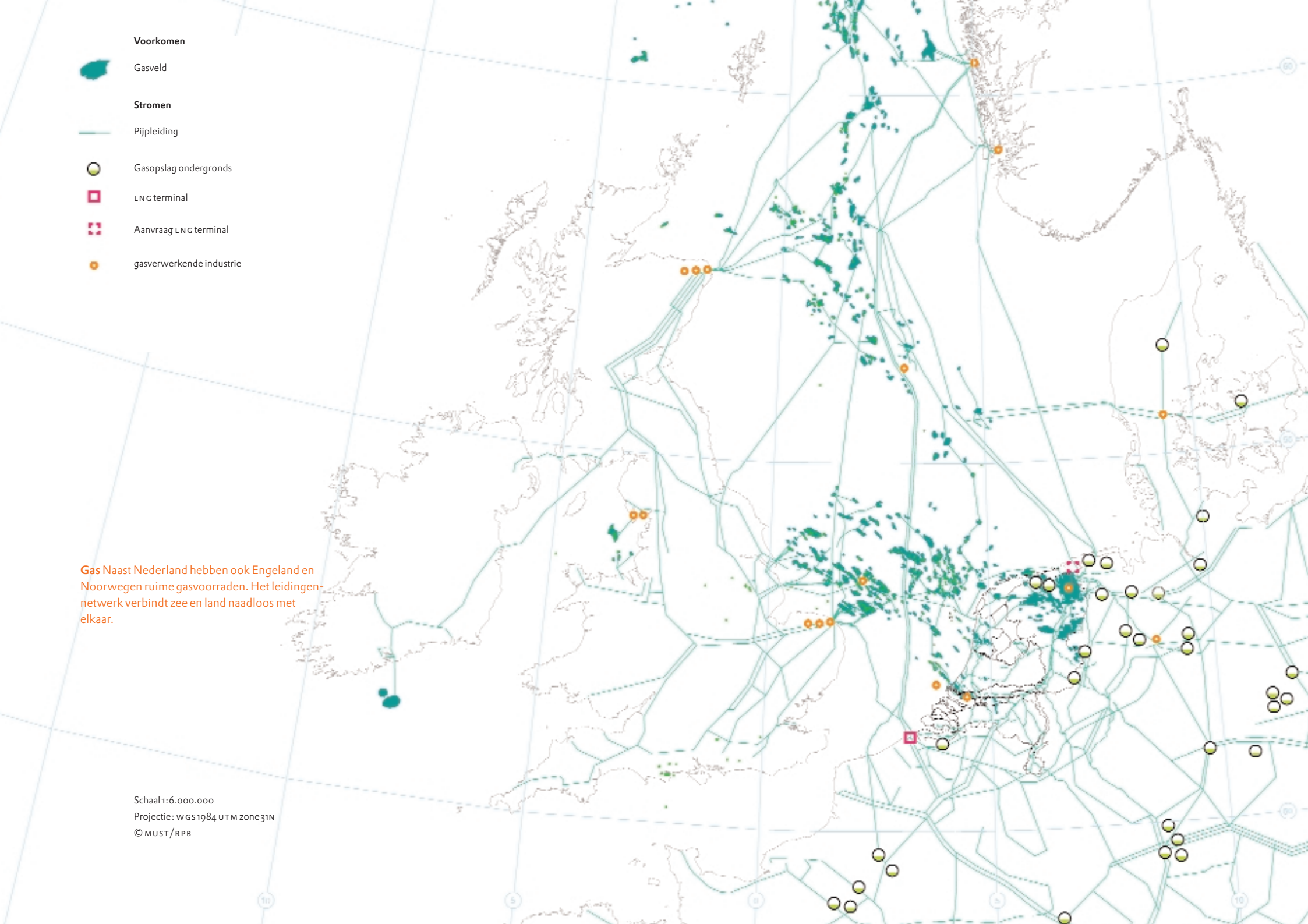
Gas Gas is in Nederland ruim voorradig, vooral in de Noordzee en in Oost-Groningen. De velden worden onderling verbonden door een dicht netwerk van pijpleidingen. Veel elektriciteitscentrales in Nederland worden op gas gestookt. Een van de gevolgen van gaswinning is bodemdaling.

Schaal 1:2.000.000
 Projectie: rijksdriehoekstelsel
 © MUST/RPB

- Voorkomen**
- Gasveld
 - Stromen**
 - Pijpleiding
 - Gasopslag ondergronds
 - LNG terminal
 - Aanvraag LNG terminal
 - gasverwerkende industrie

Gas Naast Nederland hebben ook Engeland en Noorwegen ruime gasvoorraden. Het leidingen-netwerk verbindt zee en land naadloos met elkaar.

Schaal 1:6.000.000
Projectie: WGS1984 UTM zone31N
© MUST/RPB



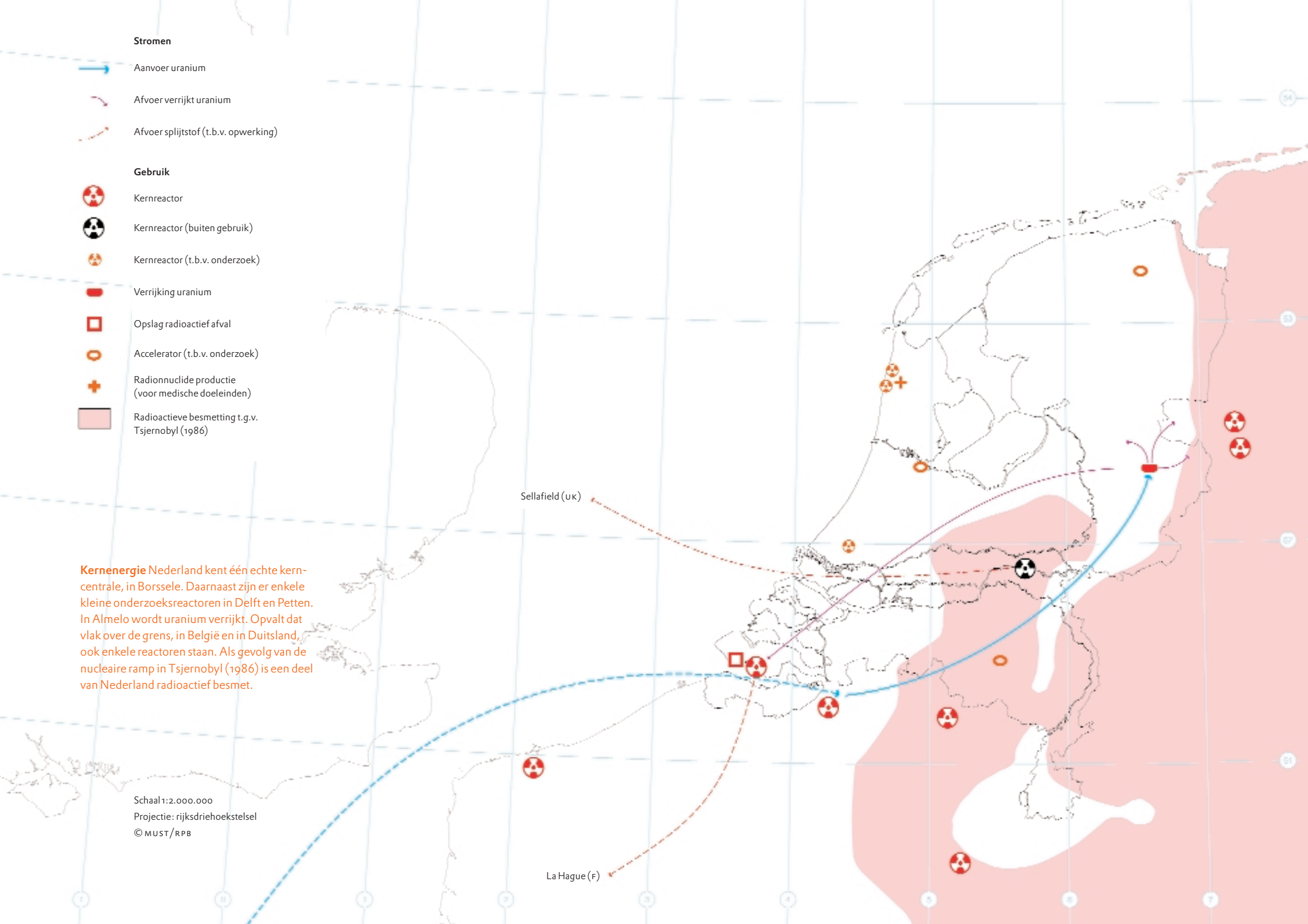
- Stromen**
- Aanvoer uranium
 - Afvoer verrijkt uranium
 - Afvoer splijstof (t.b.v. opwerking)
- Gebruik**
- Kernreactor
 - Kernreactor (buiten gebruik)
 - Kernreactor (t.b.v. onderzoek)
 - Verrijking uranium
 - Opslag radioactief afval
 - Accelerator (t.b.v. onderzoek)
 - Radionuclide productie (voor medische doeleinden)
 - Radioactieve besmetting t.g.v. Tsjernobyl (1986)

Kernenergie 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. Als gevolg van de nucleaire ramp in Tsjernobyl (1986) is een deel van Nederland radioactief besmet.

Schaal 1:2.000.000
 Projectie: rijksdriehoekstelsel
 © MUST/RPB

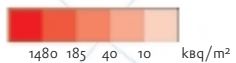
Sellafield (UK)

La Hague (F)



Productie

Kerncentrale



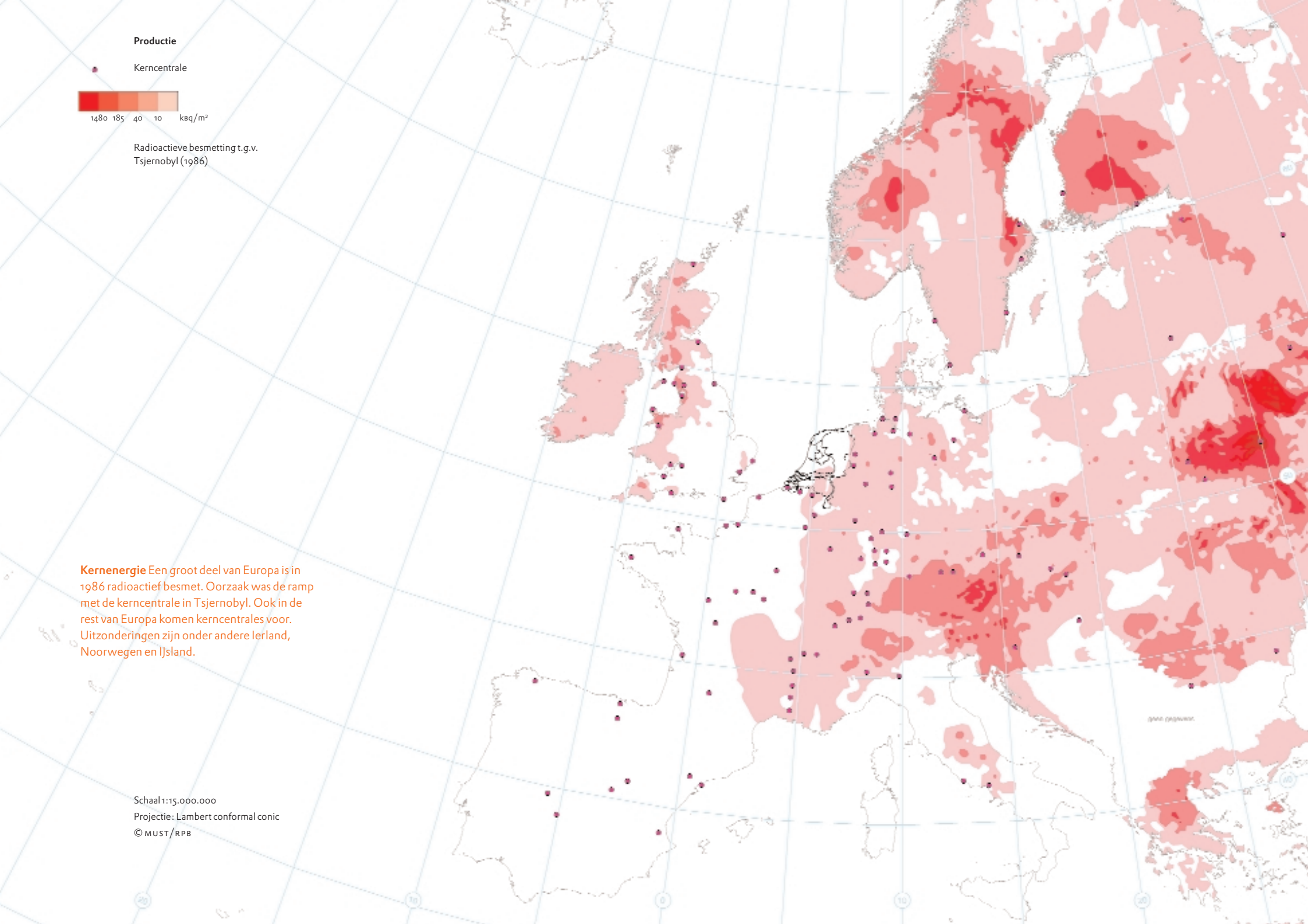
Radioactieve besmetting t.g.v.
Tsjernobyl (1986)

Kernenergie Een groot deel van Europa is in 1986 radioactief besmet. Oorzaak was de ramp met de kerncentrale in Tsjernobyl. Ook in de rest van Europa komen kerncentrales voor. Uitzonderingen zijn onder andere Ierland, Noorwegen en IJsland.

Schaal 1:15.000.000

Projectie: Lambert conformal conic

© MUST/RPB



- Productie**
- 0-100
 - 101-400
 - 401-800
 - 801-1200
 - 1201-2400
- vermogen (MWE)
- ⚡ Elektriciteitscentrale; gasgestookt
 - ⚡ Elektriciteitscentrale; kolengestookt
 - ⚡ Elektriciteitscentrale; gemengd gestookt
 - ☢ Kerncentrale
 - ⊕ Warmtekrachtcentrale
 - ⊖ Afvalverbrandingsinstallatie
 - ⚡ Waterkrachtcentrale
 - ⚡ Kustterminal
 - Windmolen
- Stromen**
- Hoogspanningsleiding (220/380 kV)
 - Hoogspanningsmasten

Elektriciteit In Nederland wordt elektriciteit op een groot aantal manieren opgewekt. Gas en kolen zijn echter de belangrijkste grondstoffen. Tot de grootste centrales in Nederland behoren de Clauscentrale, de Amercentrale en de Eemscentrale. Nederland heeft zo'n 1.600 hele kleine elektriciteitscentrales in de vorm van windmolens. Het hoogspanningsnetwerk wordt gevormd door 14.864 hoogspanningsmasten.

Schaal 1:2.000.000

Projectie: rijksdriehoekstelsel

© MUST/RPB



DE TOEKOMST
VAN ENERGIE
EN RUIMTE

Inleiding

In dit hoofdstuk gaat het over het toekomstig gebruik van energiesystemen en het ruimtebeslag dat daarmee gepaard gaat. De behoefte aan energie zal ook op de lange termijn blijven toenemen: alle energiescenario's gaan daarvan uit. Dat betekent dat er meer voorraden aan fossiele energiebronnen moeten worden geëxploiteerd, verwerkt en vervoerd. Het ruimtebeslag dat hiermee gepaard gaat, is in het vorige hoofdstuk aan de orde geweest.

Hiernaast zijn er wereldwijd voornemens om over te gaan of vormen van meer duurzame energie, zoals windenergie, biomassa, zonne-energie en waterkracht. Het beleid, nationaal en internationaal, is er immers op gericht de energieafhankelijkheid te verminderen, de internationale klimaatafspraken na te komen en de voorraden fossiele energiebronnen niet uit te putten. Vooral de duurzame energiebronnen en hun ruimtebeslag staan in dit hoofdstuk centraal.

Toekomstig energiegebruik

Verschillende instituten hebben hun verwachtingen ten aanzien van het energiegebruik geformuleerd in scenario's. Zo gaat het International Energy Agency van de OECD ervan uit dat het energieverbruik in de komende dertig jaar blijft stijgen met 1,9 á 1,7 procent per jaar (referentiescenario), tegen 2,1 procent in de periode 1970-2000. De groei vlakt dus wat af. Het aandeel van de verschillende energiebronnen blijft vrij constant: het gebruik van gas en duurzame energie neemt iets toe, terwijl tegelijkertijd de bijdrage van nucleaire energie afneemt. Opmerkelijk is dat het aandeel duurzame energie beperkt blijft tot vier procent in 2030.

Voor de Europese Unie verwacht de IEA dat het energieverbruik zal stijgen van 1456 Mtoe (miljoen ton olie-equivalenten) in 2000 naar 1.811 Mtoe in 2030. Het aandeel van steenkool en olie daalt, evenals dat van kernenergie. De bijdrage van gas aan de energievoorziening stijgt van 23 (in 2000) naar 34 procent (in 2030) en hernieuwbare bronnen zullen naar verwachting van het IEA in 2030 een aandeel leveren van negen procent.

De Europese Commissie heeft een iets andere prognose voor het toekomstig energiegebruik in de Europese Unie dan de IEA. Zij heeft de 'European Energy Outlook 2020' als uitgangspunt genomen en de analyse uitgebreid naar 2030. Hierbij is uitgegaan van de EU-30: de huidige EU-landen, kandidaat-lidstaten, plus Noorwegen en Zwitserland. De belangrijkste conclusie die de commissie op basis van de scenario's in haar Groenboek trekt, is dat de EU-30 voor olie, gas en steenkool in toenemende mate afhankelijk wordt van

(instabiele) regio's als het Midden-Oosten en Rusland; de energieafhankelijkheid zal stijgen naar 60 procent in 2030. Dit komt enerzijds doordat de energieconsumptie stijgt (25% in 2030 t.o.v. 1998) en anderzijds doordat de productie van olie (uit Noordzee), gas, steenkool en kernenergie in de EU-30 zelf daalt. In de totale energieconsumptie zal het aandeel olie en gas én het aandeel duurzaam het meest toenemen.

Het International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA) geeft de resultaten van zijn scenario's weer in een driehoek met steenkool, olie/gas en duurzaam/nucleair in de drie hoeken. De lijn in de grafiek begint in 1850, toen nog 80 procent uit hernieuwbare bronnen kwam (windmolens, waterraden en hout). In 1920 begint de steenkoolsamenleving, waarna olie en gas geleidelijk opkomen ten koste van de kolen. Na 1990 beginnen de verschillende scenario's. In al deze scenario's is aan het eind van de huidige eeuw de rol van duurzame bronnen/nucleaire energie tussen de 50 en 80 procent.

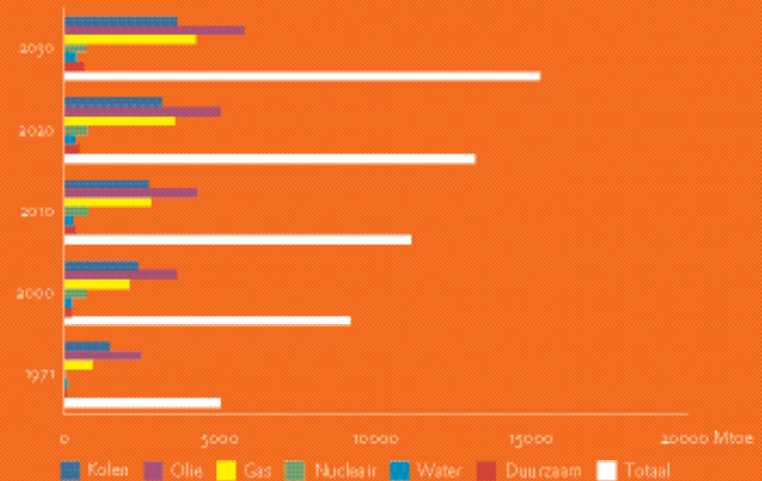
Voor de hier besproken scenario's geldt dat zij min of meer het karakter van 'business as usual' hebben. Olie en gas blijven de belangrijkste energiebronnen (resp. 5.769 Mtoe en 4.203 Mtoe in 2030) en het duurt nog vrij lang voordat de duurzame energievormen een aanzienlijke betekenis krijgen. Wel streven de EU-landen een snellere transitie naar de duurzame energiesystemen na. Hierachter zit een aantal drijfveren:

- De klimaatproblematiek: In het Kyoto-protocol bij het wereldklimaatverdrag is een taakstelling per land opgenomen. In 2010 moet Nederland volgens dit verdrag de CO₂-uitstoot hebben gereduceerd met 6 procent ten opzichte van het niveau van 1990.
- De problemen met de voorzieningszekerheid en de afhankelijkheid van energievoorraden uit instabiele regio's: De Europese Unie (EU-15) heeft geconstateerd dat zij voor de levering van energiebronnen voor meer dan 50 procent (1998) afhankelijk is van landen buiten de Unie. Bij ongewijzigd beleid zal dit voor de EU-15 oplopen tot 70 procent in 2030 en voor de EU-30 tot 60 procent. De grote energieafhankelijkheid wordt als uiterst ongewenst beoordeeld. Het EU-beleid richt zich daarom op twee zaken. Allereerst wordt duurzame energie gestimuleerd; voor Nederland ligt de taakstellingslat hierbij op zes procent duurzame elektriciteit in 2005 en negen procent in 2010. Ten tweede moet de energievraag worden verminderd.
- De uitputting van fossiele bronnen en zorg voor een duurzame samenleving. Hoewel de bestaande fossiele bronnen nog lang niet zijn opgebruikt, zijn ze wel eindig. De opvatting is sterk aanwezig dat het niet zo mag zijn dat de huidige generatie die voorraden in hoog tempo exploiteert en weinig tot niets overlaat voor de toekomstige generaties.

Ook het Nederlandse beleid is erop gericht het gebruik van duurzame energie te stimuleren. In de Energienota van het Ministerie van Economische Zaken (2002) is als taak gesteld dat in 2010 vijf procent en in 2020 tien procent van alle energie duurzaam moet zijn opgewekt. De mogelijkheden voor duurzame energie, en hun ruimtebeslag, worden hieronder weergegeven.

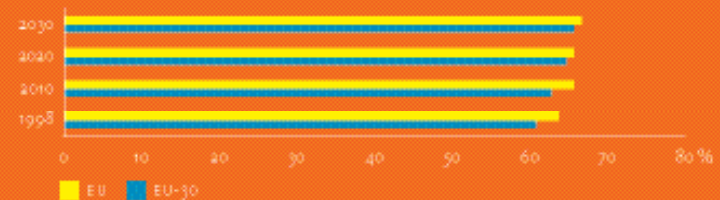
Aandeel in energievoorziening in Mtoe, uitkomsten van het IEA-referentiescenario

World Energy Outlook (2002: 410)



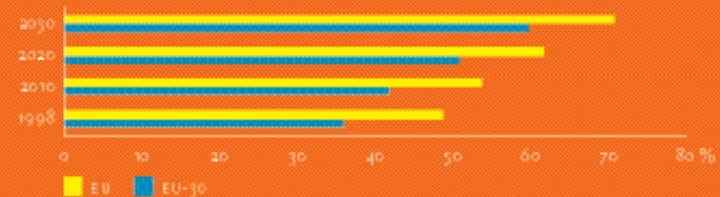
Aandeel van olie en gas in totale energieconsumptie

Europese Commissie (2001)



Voorzieningsafhankelijkheid van de EU en de EU-30

Europese Commissie (2001)



Windenergie

Algemeen

Windenergie is een oude techniek die al door de Babyloniërs werd toegepast. De eerste moderne windmolen voor elektriciteit werd in 1888 gebouwd. De lucht die langs de vleugelvormige wieken van de molen stroomt, zet de as waarop de wieken zijn bevestigd, in beweging. Door middel van een generator wordt vervolgens de energie opgewekt. De opbrengst van een windmolen wordt sterk bepaald door de windsnelheid (tot de derde macht!). Molens in windrijke gebieden langs de kust hebben dan ook een hoger rendement dan de molens in andere gebieden. Omdat de windsnelheid op hoogte veel groter is dan vlak aan de grond, worden de moderne molens steeds hoger en krijgen zij een groter vermogen.

Wereldwijd is windenergie sterk in opkomst. Per 1 januari 2003 staat er een totaal vermogen van 32.000 MW opgesteld (BTM Consult ApS 2003), maar dit breidt zich snel uit. De meeste groei vond plaats in Europa. Daar is het opgestelde vermogen aan windenergie de afgelopen zes jaar met maar liefst 40 procent per jaar gestegen. In Europa stond eind 2002 in totaal 23.800 MW aan vermogen opgesteld. Belangrijkste windlanden in Europa zijn Duitsland (12.000 MW) en Spanje (5.000 MW). Relatief gezien is ook Denemarken een belangrijk land met 2.900 MW aan opgesteld vermogen (BTM Consult 2003). Wanneer we de windkaart van Europa en het opgesteld vermogen in Europa naast elkaar leggen, dan blijken er echter nog veel sterk windrijke plekken in Noorwegen, Ierland, Schotland onbenut te blijven.

In de landen die voorop lopen met windenergie, zijn de plaatsingsmogelijkheden op het land vrijwel uitgeput. In de toekomst zullen dan ook veel windparken in zee worden ontwikkeld. In Europa was in 2002 zo'n 256 MW aan windenergie buitengaats geïnstalleerd (Windservice Holland). Het eerste echte offshore windpark is in de zomer van 2002 in gebruik genomen; het ligt voor de kust van Esbjerg. Dit windpark, Horns Rev, bestaat uit 80 molens met in totaal een vermogen van 160 MW. Ook in Duitsland, Engeland, Nederland en België worden plannen gemaakt om windparken op de Noordzee op te richten. Voor het Duitse deel van de Noordzee hebben projectontwikkelaars al meer claims ingediend dan er, gegeven andere functies als scheepvaart, militaire oefeningen en natuurgebied, aan ruimte beschikbaar is. De strijd om de Noordzee zal dus weldra losbarsten.

In Nederland staan er inmiddels zo'n 1.600 windmolens met in totaal een vermogen van ruim 700 MW. De grotere windparken staan in de windrijke gebieden langs de kust. Het beleid is erop gericht 1.500 MW op landlocaties (2010) en 6.000 MW op zee te realiseren (2020). In juli 2001 is tussen het rijk, de provincies en de Vereniging Nederlandse Gemeenten een overeenkomst gesloten om daar in streek- en bestemmingsplannen ruimte voor te maken (Bestuursovereenkomst Landelijke Ontwikkeling Windenergie, BLOW). In dit convenant is voor elke provincie een taakstelling in megawatt opgenomen die door provincies en gemeenten planologisch moet worden ingevuld. Om

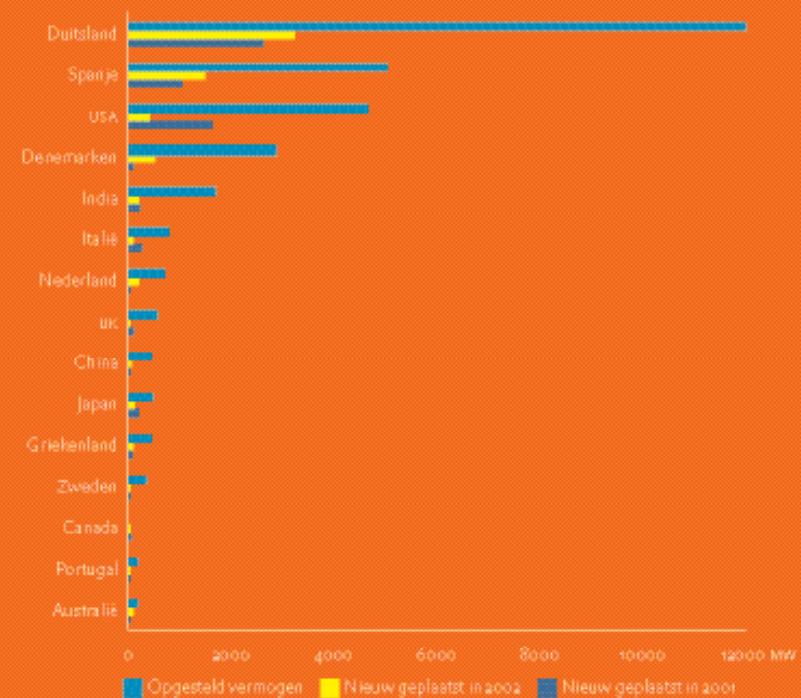
Energie transities

IIASA (1998)



Energie uit windmolens, naar land

BTM Consultants ApS (2003)



de ontwikkeling van windenergieparken op land en zee te stimuleren zijn speciale subsidies in de nieuwe subsidieregeling Milieukwaliteit Energieproductie (MEP) opgenomen.

Om de taakstelling voor 2020 te kunnen realiseren, wordt het Near Shore Windpark ontwikkeld voor de kust van Egmond aan Zee. Nuon, Shell en Volker Stevin gaan dit park van 100 MW bouwen. Naar verwachting zal het in 2004/2005 operationeel zijn. Daarnaast heeft E-Connection een aanvraag ingediend voor een windpark in vak Q7 in de Noordzee. In de Vijfde Nota Ruimtelijke Ordening zijn voorkeursgebieden op de Noordzee aangewezen en het ministerie van Economische Zaken wil hiervoor een uitgiftestelsel hanteren dat vergelijkbaar is met dat van de olie- en gaswinning, zodat ook kwaliteitseisen kunnen worden gesteld.

Ruimtegebruik

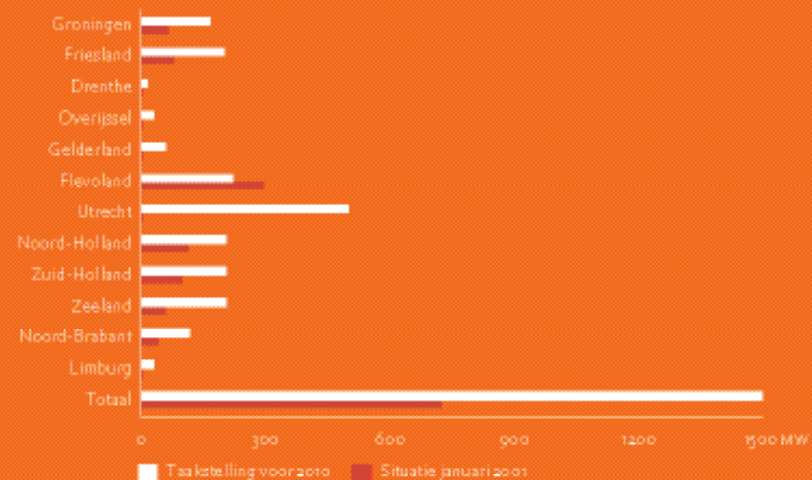
Het directe ruimtegebruik van windmolens is gering; hun voetplaat heeft een afmeting van ongeveer tien bij tien meter. Zij moeten behoorlijk ver (400 á 600 meter, op zee nog verder) uit elkaar worden geplaatst om te voorkomen dat de ene molen zorgt voor luwte bij de andere. Het indirecte ruimtebeslag heeft te maken met geluid, gevaar en slagschaduwhinder. Met betrekking tot het geluid mag binnen een afstand van vier maal de ashoogte van de molen geen woning worden gebouwd. De slagschaduwwerking zou moeten worden onderzocht als er woningen binnen een afstand van twaalf maal de ashoogte van de molen staan. Blijkt een woning meer dan vijf uur per jaar last van de molen te hebben, dan zou er een stilstandsvoorziening moeten worden aangebracht. Dit geldt overigens niet als er een economische binding bestaat tussen de woning en de windmolen. Heeft een boer een aandeel in de molen, dan hoeft geen maatregel te worden genomen voor zijn boerderij; zij of hij kan immers van plaatsing afzien.

NIMBY-gedrag

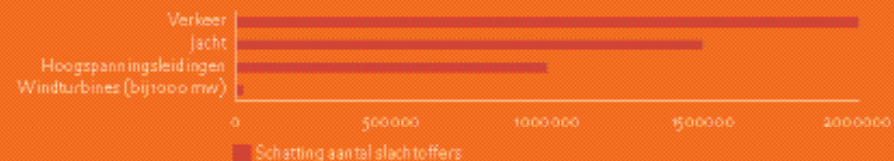
Compensatie aan omwonenden kan in bepaalde gevallen een effectief middel zijn om de plaatsing van windmolens te realiseren of te bespoedigen, en zo NIMBY-gedrag te voorkomen (Beekman 2003). In situaties waar sprake is van geluidsoverlast, kan een compensatie die de overlast beperkt, zoals geluidsisolatie, effectief zijn. Financiële compensatie valt te overwegen in situaties waar de overlast niet gemakkelijk kan worden verhinderd, zoals in het geval van slagschaduw. Er moet echter spaarzaam worden omgesprongen met compensatie, om te voorkomen dat een profiteercultuur ontstaat en overcompensatie plaatsvindt. Aangezien windenergie door de Nederlandse bevolking breed gesteund wordt en overlast door windmolens veelal kan worden voorkomen, zal het gebruik van financiële compensatie tot een minimum kunnen worden beperkt. Wel valt te denken aan het betrekken van de omwonenden bij de opbrengsten van een windpark, door bijvoorbeeld het aanbieden van goedkopere stroom.

Hiernaast zijn er landschappelijke gevolgen van windenergie. Windmolens kunnen het landschapsbeeld versterken, bijvoorbeeld doordat zij lijnvormige

Taakstelling BLOW, naar provincie



Niet-natuurlijke doodsoorzaak bij vogels



Beurskensen en Van Kuijk

elementen als dijken en kanalen accentueren. Zij kunnen het landschap echter ook verzwakken wanneer zij op een rommelige manier zijn geplaatst. Uit beleevingsonderzoek komt naar voren dat een molen met drie rotorbladen een rustiger beeld oplevert dan twebladige molens. Een (eventueel lichtgebogen) lijnopstelling wordt visueel aangenaam gevonden en de plaatsing van windmolens in een industriële of havenomgeving wordt als natuurlijk gezien. Plaatsing van windmolens in sommige natuurgebieden wordt echter als verstorend ervaren; zo maakte de Waddenvereniging met succes bezwaar tegen de plaatsing van windmolens langs de Afsluitdijk. Ten slotte zijn er de effecten voor vogels. In de EU-vogelrichtlijn staat dat in de aangewezen gebieden moet worden voorkomen dat vogels worden gestoord. De doelstelling van de vogelrichtlijn is 'instandhouding van alle natuurlijk in het wild levende vogelsoorten op Europees grondgebied... op een niveau dat met name beantwoordt aan de ecologische, wetenschappelijke en culturele eisen, waarbij zij tevens rekening houden met economische en recreatieve eisen' (EU-richtlijn 79/409/EG). Het gaat hierbij dus om storingen die van wezenlijke invloed zijn. In de praktijk blijken er weinig vogels tegen molens aan te vliegen; ze vliegen er om- of overheen (Beurskens en Van Kuijk).

Er zitten echter ook enkele haken en ogen aan de plannen op zee:

– In de Vijfde Nota Ruimtelijke Ordening zijn voorkeursgebieden aangegeven voor de windmolenparken op zee. Binnen die voorkeursgebieden blijkt echter behoorlijk veel ruimte weg te vallen als gevolg van 'clearways' voor de scheepvaart en andere functies. In de Vijfde Nota (blz. 129) is aangegeven wat de totale ruimtevrage van alle sectoren is. Die is meer dan drie maal de beschikbare ruimte; de ruimte zal dus moeten worden gedeeld. Opvallend is het zeer grote ruimtebeslag van kabels en leidingen, als gevolg van de eis dat er aan beide zijden van de molen 500 meter vrij moet zijn. Hiernaar zou (opnieuw) nog goed gekeken moeten worden.

– Er ontbreekt een infrastructuur die de windenergie kan afvoeren. Voor het Near Shore Windpark wordt nu een kabel aangelegd naar Velsen, waar aansluiting op het landelijke net wordt verkregen. Als windenergie inderdaad doorbreekt, dan is deze infrastructuur echter volstrekt onvoldoende (KEMA 2002). Op de Noordzee moet een nieuwe infrastructuur worden aangelegd en de achterlandverbindingen moeten aanzienlijk worden verzwaard.

– Een vorm van opslag zal noodzakelijk worden als het aandeel windenergie in de elektriciteitsvoorziening meer dan tien procent bedraagt. Als de wind plotseling weg valt, moeten andere productie-eenheden de elektriciteitsvoorziening immers overnemen. Het is de vraag of die beschikbaar zijn, snel genoeg aangeschakeld kunnen worden en of de elektriciteitstransportinfrastructuur voldoende zwaar is om dit aan te kunnen. Incidenten in Noord-Duitsland geven aan dat extra infrastructuur en energieopslag nodig is.

– Windenergie vergt speciale faciliteiten voor de opslag van onderdelen en apparatuur voor onderhoud en reparaties. Ook zijn er haventerreinen nodig voor de speciale plaatsingsvaartuigen en moet ruimte worden gereserveerd voor een helikopterlandingsplaats. Dit kwam naar voren bij de plaatsing van

Door de grafische ligging beschikt Nederland over veel wind, vooral op de Noordzee.

Geplaatst in lineaire opstelling op dijken worden windmolens vaak ervaren als een verrijking van het lege landschap van polders.

Riet levert niet alleen biomassa. Het kan uitstekend worden gecombineerd met recreatie of met waterzuivering.

Wilgen produceren ook veel biomassa. Ze groeien goed in overstromingsgebieden van rivieren.

het eerste grote buitengaats windpark Horns Rev bij Esbjerg. Voor deze offshore operaties zullen op verschillende plaatsen langs de kust kade- en haventerreinen moeten worden gereserveerd. Voorbeelden zijn de nieuwe derde haven van IJmuiden voor het Near Shore Windpark, de Eemshaven van waaruit ook het Duitse deel van de Noordzee bediend kan worden, het Westerscheldegebied en de Rijnmond.

– Een ander, zij het niet ruimtelijk, aandachtspunt dat zich voordoet wanneer windenergie doorzet, is het potentiële gebrek aan geschoold personeel. Zowel voor de constructie, de plaatsing, het onderhoud en de reparatie van offshore windparken is voldoende geschoold personeel nodig. De opleidingsinstellingen zouden hiervoor aparte studierichtingen moeten instellen.

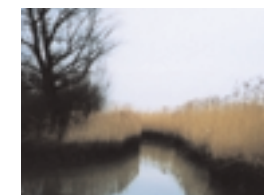
Het ruimtegebruik van windmolens op de Noordzee is te becijferen aan de hand van de kengetallen voor het Horns Rev windpark bij Esbjerg. Horns Rev beslaat een totaal oppervlak van 20 km². Hierop staan 80 windmolens met een vermogen van twee MW; de verwachte elektriciteitsproductie is 600.000 MWh (www.hornsrev.dk). Per vierkante kilometer wordt dus per jaar 30.000 MWh opgewekt.

Wat betekent dit voor de ruimte die nodig is om de huidige Nederlandse taakstelling voor windenergie – 6.000 MW in 2020 – te realiseren? De bovenstaande berekening leert dat daarvoor een oppervlak nodig is van 750 m². Hiervoor is in potentie voldoende ruimte op de Noordzee. De volgende vraag is nu of er ook voldoende ruimte is als we een capaciteit van meer dan 6.000 MW zouden willen realiseren. De kostprijddaling in de windenergiesector houdt immers aan en kan een niveau bereiken waarop windenergie, zonder MEP-subsidie, kan concurreren met kolen- en gascentrales. Willen we in Nederland in 2020 bijvoorbeeld 100 procent van onze elektriciteit met windenergie opwekken (250 PJ), dan is hiervoor 70 miljoen MWh nodig en een netto oppervlak van 2400 km². Bruto gezien is hiervoor op de Noordzee voldoende ruimte. Het is echter de vraag of deze wel gerealiseerd kan worden. Er zijn immers ook andere claims op de Noordzee, de elektrische infrastructuur ontbreekt nog op zee en kent beperkingen op land, en de kosten die nodig zijn om locaties te ontwikkelen die verder uit de kust liggen, op diepere gronden, zullen hoog zijn. Dit vraagt om een ruimtelijke ontwerpstudie. Omdat andere Noordzeelanden gelijksoortige problemen kennen en deze elkaar bij de elektrische infrastructuur goed zouden kunnen helpen, ligt samenwerking hierbij voor de hand.

Biomassa

Algemeen

Biomassa is de biologisch afbreekbare fractie van landbouwproducten (plantaardige en dierlijke stoffen), de bosbouw en aanverwante bedrijfstakken, alsmede de biologisch afbreekbare fractie van industrieel en huishoudelijk afval. De energie die hierin ligt opgeslagen, kan op een aantal manieren worden benut:



- door groot- of kleinschalige verbranding voor de opwekking van warmte en elektriciteit
- door bijstook bij bestaande centrales (vooral kolencentrales zijn hiervoor geschikt)
- door vergassing van biomassa voor stookgasproductie
- door vergisting of fermentering van suikerbieten voor de productie van ethanol (biodiesel)
- door pyrolyse (verbranden zonder zuurstof), zoals houtskoolproductie waarmee een hoogwaardiger brandstof wordt verkregen.

Op wereldniveau neemt biomassa een belangrijke plaats in; in veel arme landen wordt nog op hout gekookt en wordt ook mest als brandstof gebruikt. In Nederland levert biomassa een belangrijke bijdrage – 74 procent – aan de duurzame energieopwekking (Ministerie van EZ 2002). Dit gebeurt voornamelijk door huishoudelijk afval te verbranden dat voor ongeveer de helft uit organisch materiaal bestaat. De elf afvalverbrandingsinstallaties leveren ongeveer een derde van de in Nederland geproduceerde duurzame energie. Ook het bij- en meestoken van biomassa (houtafval, landbouwfval) in kolencentrales is een belangrijke bron van duurzame energie. Het ministerie van Economische Zaken werkt daarnaast aan een 'Actieplan Biomassa: samenwerken aan Bio-Energie'.

Ruimtegebruik

De biomassa die in Nederland wordt gebruikt, is een restproduct. Er is dus hooguit ruimte nodig voor opslag. Zou hout echter speciaal voor de energievoorziening worden geproduceerd, dan kost dit erg veel ruimte. De houtopbrengst van een bos dat ook voor recreatie en natuur een belangrijke waarde heeft, bedraagt in Nederland ongeveer acht m³ per hectare per jaar. Wordt de opbrengst per hectare gemaximaliseerd door een rationeel productiebosontwerp en een speciale teeltkeuze (wilgen, populieren), dan kan de opbrengst hoger zijn. Zo is er in Nederland, als proef voor energiewinning, bij de Oostvaardersplassen een bufferzone met wilgen beplant. Omdat er ook veel energie verloren gaat aan planten, onderhoud, oogst, transport en verwerking, is de netto opbrengst minder.

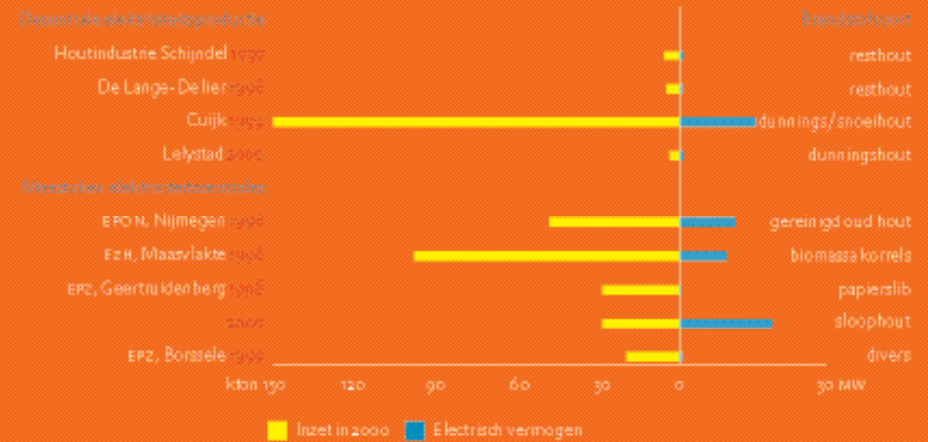
De bio-energiecentrale in Cuijk gebruikt voornamelijk hout. De centrale beslaat een oppervlakte van 29 hectare en levert een vermogen van 24 MW. De elektriciteitsopbrengst is genoeg voor 60.000 huishoudens.

De verbrandingsinstallaties kennen een zeer verschillend ruimtegebruik. Het meest compact zijn de AVI's in de Amsterdam en Rotterdamse havengebieden. Daarentegen hebben Hengelo en vooral Wijster uitgestrekte opslagterreinen. Ook het transport van afval naar de verbrandingsinstallaties vraagt ruimte.

Voor de winning van energie uit biomassa kan ook koolzaad worden geteeld. Per hectare grond kan ongeveer 4.500 kilo koolzaad worden verkregen; dat is goed voor 1.500 liter olie. De teelt van koolzaad in Nederland is echter niet rendabel. Om een truck met oplegger een jaar lang te laten rijden (100.000 km), is bijvoorbeeld 30.000 liter biodiesel nodig, en dus een opper-

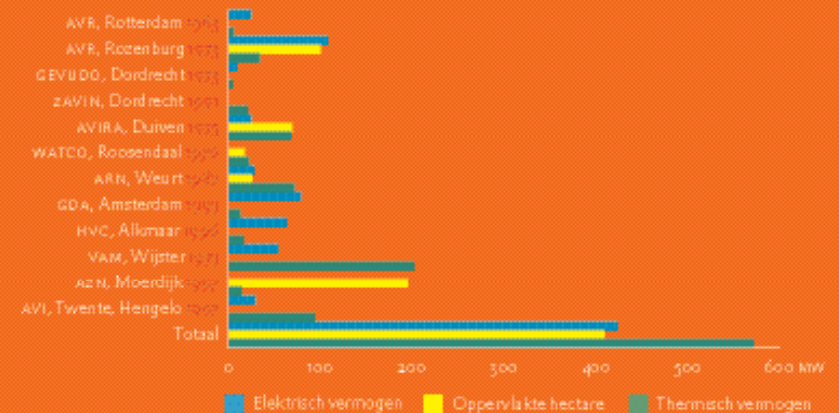
Elektriciteit uit biomassa

VVAV, Ruimtelijk Planbureau



Afvalverbrandingsinstallaties: opgesteld vermogen (2002)

VVAV (vermogens), Ruimtelijk Planbureau (oppervlaktes)



vlakke van 20 hectare koolzaad. Nu rijden er in Nederland zo'n 50.000 trekkers (en 700.000 andere bedrijfs- en vrachtauto's). Om alleen de trekkers op biodiesel te laten rijden, zou dus al een oppervlakte van 1.000.000 hectare aan koolzaad nodig zijn. Dit is meer dan het totale Nederlandse akkerbouwareaal (800.000 ha). Uit dit rekenvoorbeeld blijkt dat Nederland te klein is om zelfs alleen voor zijn trucks voldoende bio-energie te produceren. Ook financieel is de koolzaadteelt onrendabel, tenzij er forse subsidies worden gegeven.

In de tropen is echter een groot areaal aan grond beschikbaar voor de teelt van energiegewassen. Het zijn gronden die niet meer geschikt zijn voor landbouw, maar waarop wel biomassa kan worden geteeld. In principe kan deze biomassa (of de energieproducten daaruit) worden getransporteerd naar Europa. Rotterdam en de andere havens zouden dan een natuurlijk overslagpunt kunnen vormen, waarbij de bestaande infrastructuur voor graan, olie of steenkool kan worden benut.

Zonne-energie

Algemeen

Zonne-energie is een verzamelnaam voor verschillende manieren die gebruik maken van de warmte en de straling van de zon. De eerste experimenten werden al in 1889 gedaan. Charles Fritts vond in die tijd de eerste selenium-zonnecel uit en in 1941 ontwikkelde Russell Ohl de siliciumzonnecel. In de jaren vijftig breidde het onderzoek naar zonne-energie zich steeds verder uit. Dit resulteerde in de uitvinding van de fotovoltaïsche cel in 1970.

Met de verschijning van de eerste energienota kreeg de toepassing van zonne-energie in Nederland voor het eerst aandacht. Het bekendst zijn de zonnepanelen waarmee zonlicht direct wordt omgezet in elektriciteit: fotovoltaïsche zonne-energie (PV). Een andere toepassing van zonne-energie is de zonneboiler (thermische zonne-energie): met behulp van zonnecollectoren wordt water verwarmd en opgeslagen in een boiler.

Zonne-energie levert in Nederland slechts 0,47 procent van de duurzame energie (Ministerie van EZ 2002). De ingestraalde energie is rond de evenaar maximaal en op hogere breedtestralen steeds minder. In Nederland is er een aanzienlijk verschil tussen opbrengsten in de zomer en de winter. De instraling in juni is maximaal vier à vijf kWh per dag per vierkante meter; in december is dat 0,3 à 0,5 kWh/d/m². Ook het tijdstip van de dag en de meteorologische omstandigheden beïnvloeden de energieopbrengst. Uit ervaringscijfers met zonnepanelen blijkt dat de opbrengst ongeveer 100 kWh per jaar is voor een zonnepaneel van één vierkante meter. Er is dus een groot verschil tussen het theoretisch potentieel en de daadwerkelijke 'oogst'.

Binnen Nederland zijn er klimatologische verschillen. Het aantal zonne-uren verschilt, afhankelijk van de plaats waar zonnestraling en warmte kunnen worden benut. Zonnepanelen worden vooral op de daken van woningen geplaatst en op grote gebouwen, zoals het Waterloopkundig Laboratorium. Er wordt nu onderzoek gedaan naar de mogelijkheden om de warmte te

Afvalverbranding is op dit moment de belangrijkste bron van duurzame energie.

Zonnepanelen leiden niet tot extra ruimtevrage.

Een ander voordeel van zonne-energie is dat er geen kabels nodig zijn.

Bij een grootschalig gebruik van windenergie is ook opslag nodig. Het is de vraag of het IJsselmeer of de Oosterschelde hiervoor geschikt zijn.

benutten die door opwarming van zwart asfalt ontstaat. Rijkswaterstaat doet proeven met waterslangen door het asfalt: het warme water wordt in aquifers bewaard voor gebruik in vorstperiodes.

De zon is gratis; de apparatuur waarmee het wordt omgezet in stroom is dat niet. De kostprijs bedraagt ongeveer 90 cent per kWh, een factor 20 zo duur als conventionele elektriciteit. Deze kostprijs zal ongetwijfeld gaan dalen. Toch zullen PV-systemen niet op korte termijn kunnen concurreren met elektriciteit die is opgewekt uit fossiele energiebronnen. De systemen die er zijn, zijn sterk gesubsidieerde demonstratiesystemen. Alleen in nichemarkten, bijvoorbeeld waar geen aansluiting op het elektriciteitsnet aanwezig is, worden zonnepanelen ongesubsidieerd afgezet. Voorbeelden zijn afgelegen woningen, lichtboeien, campinghuisjes, tuinverlichting, parkeerautomaten enzovoorts.

Ruimtegebruik

In Nederland is inmiddels ongeveer 200.000 m² aan zonnepanelen opgesteld, met een gezamenlijk vermogen van 20,5 MWp (Novem). Het gaat in vrijwel alle gevallen om meervoudig ruimtegebruik (daken). De netto ruimtebehoefte is dus vrijwel nul. Ook voor het transport is geen extra ruimtegebruik nodig. De consumptie van zonne-energie is immers direct lokaal en eventuele overschotten worden aan het elektriciteitsnet geleverd. Wel is er indirect ruimtegebruik: schittering als gevolg van reflecties van het zonlicht. Daar zijn overigens weinig klachten over.

In 2001 werd 13 miljoen kWh elektriciteit uit zonne-energie geproduceerd. Hiermee is 0,01 procent van de elektriciteitsbehoefte gedekt. Er staan in Nederland naar schatting meer dan 60.000 zonneboilers opgesteld (Novem) met een gemiddeld collectoroppervlak van 3 m². De directe aardgasbesparing door toepassing van zonneboilers was 265 TJ (ECN) in 2000, wat neerkomt op 57 m³ aardgas per vierkante meter collectoroppervlak. Voor andere systemen bedraagt de vermeden primaire energie ongeveer 29 m³ per vierkante meter collectoroppervlak.

Waterkracht

Wereldwijd is waterkracht de belangrijkste bron van duurzame energie. In bergachtige landen wordt veel energie opgewekt door de kracht van vallend water. Wereldwijd werd in 2000 zo'n 2.650 TWh opgewekt. Wel is het aandeel waterkracht in de energievoorziening dalende: van 90,8 procent van de elektriciteit geproduceerd uit duurzame energiebronnen (OECD-landen in 1990) tot 87,4 procent (OECD-landen in 2000). Deze daling is toe te schrijven aan de sterke opkomst van andere duurzame energiebronnen, zoals biomassa en windenergie, en aan de stagnerende ontwikkeling van de waterkrachtcapaciteit. De belangrijkste landen voor opwekking van waterkracht in 2000 waren Canada (358,3 TWh), Amerika (248,4 TWh) en Noorwegen (141,6 TWh) (IEA 2002).



In Nederland staan vier waterkrachtcentrales die een gezamenlijk vermogen hebben van 37 MW. Doordat het verval van de rivieren in Nederland gering is en de rivieren bevaarbaar moeten blijven, is het potentieel voor uitbreiding klein. Wel hebben de sterke stromingen als gevolg van de getijdenwerking bij de Waddeneilanden en de Zeeuwse wateren extra potentieel.

Waterkracht levert in Nederland een zeer beperkte bijdrage aan duurzame energie: 1,2 procent van de totale hoeveelheid duurzame energie (Ministerie van EZ 2002).

Ruimtegebruik

De centrales zelf zijn relatief beperkt van omvang. De stuwdammen overspannen de breedte van de rivier of het stuwmeer. Het stuwmeer zelf betreft indirect ruimtegebruik, waarvoor veelal voormalige landbouwgrond, dorpen en bossen onder water is gezet. Dit is ook de reden waarom grootschalige waterkracht niet populair is. Anderzijds worden stuwdammen ook benut voor irrigatie, waterbeheersing, recreatie en transport over water. Landen als Spanje en Marokko zijn voor hun landbouw en drinkwatervoorziening in belangrijke mate afhankelijk van stuwdammen.

Waterstof

Waterstof is, net als elektriciteit, geen energiebron maar een energiedrager. De verbinding van waterstof aan zuurstof levert energie op; waterdamp is een restproduct. IJsland is het eerste land dat zich ten doel heeft gesteld over te stappen op een waterstofeconomie. In dat geval hoeft geen olie te worden geïmporteerd. Ook vindt er geen schadelijke uitstoot meer plaats door motoren; er komt immers waterdamp uit de uitlaat. In de verre toekomst kan waterstof de rol van olie als energiedrager voor mobiele bronnen overnemen. Maar het zal nog lang duren voordat het zover is. Waterstof komt immers niet in vrije vorm voor; het zal (met behulp van elektriciteit) moeten worden geproduceerd uit water, aardgas, biomassa of andere koolwaterstofverbindingen. Dit is een kostbaar proces. In IJsland is de overgang naar waterstof echter wel interessant. Het land beschikt over grote hoeveelheden goedkope geothermische energie en waterkracht. Verder wonen er slechts 240.000 mensen. De grote hoeveelheden goedkope energie maken het mogelijk om in IJsland, geholpen door bedrijven als Daimler-Chrysler, Shell en Norsk Hydro, de transitie naar de waterstofeconomie in te zetten. Daar kan veel van worden geleerd.

In Nederland zal het nog lang duren voordat we zover zijn. Begin 2002 hebben de overheid, Shell, Nuon, Gasunie, BTG en onderzoeksinstituten en universiteiten (NWO, ECN, TU Delft, Universiteit Groningen) een akkoord gesloten om het zes jaar durende onderzoeksprogramma Duurzame Waterstof op te zetten; hiermee is 36 miljoen euro gemoeid. Het gemeentelijk vervoersbedrijf in Amsterdam start dit jaar een proef met waterstofbussen. Waterstof vergt een eigen infrastructuur. Er wordt nu onderzocht of de bestaande aardgasinfrastructuur kan worden benut. De eerste indicaties zijn dat het in beperkte mate mogelijk is waterstof in aardgas bij te mengen.

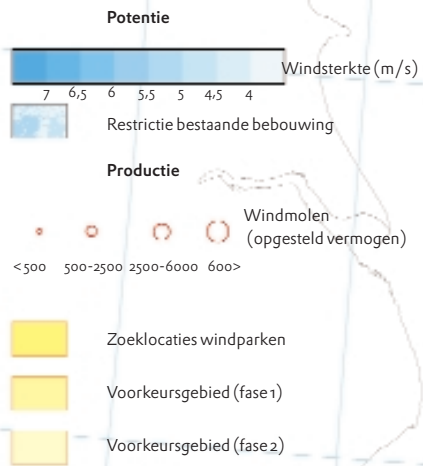
De TU Delft heeft een groot onderzoeksprogramma voorgesteld naar een nieuwe generatie infrastructuur (Weijnen cs 2003). Naar de ruimtelijke consequenties van de waterstofeconomie is nog niet veel onderzoek gedaan.

Conclusies

De scenario's die betrekking hebben op het toekomstig energiegebruik, laten zien dat deze zal stijgen. Vooral olie en gas blijven belangrijke fossiele energiebronnen. De bijdrage van kernenergie aan de totale energievoorziening zal afnemen, vooral als gevolg van allerlei veiligheidsaspecten. Daarnaast zijn nieuwe, duurzamere, energiesystemen in opkomst; het beleid van de EU en van de Nederlands regering zijn hierop gericht. In dit hoofdstuk hebben we het ruimtegebruik van deze nieuwe systemen onderzocht:

- Windenergie: Deze energiebron heeft in het windrijke Nederland een aanzienlijk potentieel, vooral op de Noordzee. Het is echter de vraag of er, gezien alle concurrerende ruimteclaims, netto voldoende ruimte is om die potentie te realiseren. De infrastructuur voor de afvoer van windenergie is nog volstrekt onvoldoende en er zal ruimte moeten worden gereserveerd voor speciale faciliteiten voor opslag, onderhoud en reparatie.
- Biomassa: De belangrijkste bijdrage in Nederland aan elektriciteitsopwekking door biomassa wordt door de vuilverbranding geleverd. Het bestaande beleid om de afvalstromen zo compleet mogelijk te benutten brengt dus weinig ruimtebeslag voor de energieproductie met zich mee. Voor de productie van energiegewassen op grote schaal, zoals hout en koolzaad, is Nederland niet geschikt; de (dure) ruimte die dat zou vergen, is niet aanwezig. Wel is Nederland bij uitstek geschikt als doorvoerland, ook naar het Europese achterland, voor biomassa die elders is geteeld.
- Zonne-energie: Elektriciteitsproductie door fotovoltaïsche zonne-energie is ruimte-efficiënt. Zonnepanelen kunnen immers op daken worden geplaatst. In theorie is het mogelijk met zonne-energie in de elektriciteitsbehoefte van huishoudens te voorzien. In de praktijk is deze elektriciteitsproductie echter een factor 20 duurder dan fossiele energieproductie. Het benutten van zonnewarmte middels zonnecollectoren is efficiënter: de kosten zijn lager en de opbrengst is hoger.
- Waterkracht: Er zijn vier waterkrachtcentrales in Nederland. Het verval van de rivieren is te gering om hier potentieel voor uitbreiding te bieden. Dat potentieel kan wel zitten in het gebruik van getijdenstoom (Waddeneilanden en Zeeuwse wateren).
- Waterstof: Deze energiedrager kan in de verre toekomst wellicht de rol van gas en olie overnemen voor ruimteverwarming en mobiele bronnen. De omschakeling naar een waterstofeconomie is echter een kostbaar proces. Verder moet worden onderzocht of de bestaande aardgasinfrastructuur geschikt is of kan worden gemaakt voor waterstof. Ook is nog weinig onderzoek gedaan naar de ruimtelijke consequenties.

**HUIDIG EN POTENTIEEL BESLAG OP DE
RUIJITE VAN WIND-, BIO-, ZONNE-
ENERGIE EN WATERKRACHT**

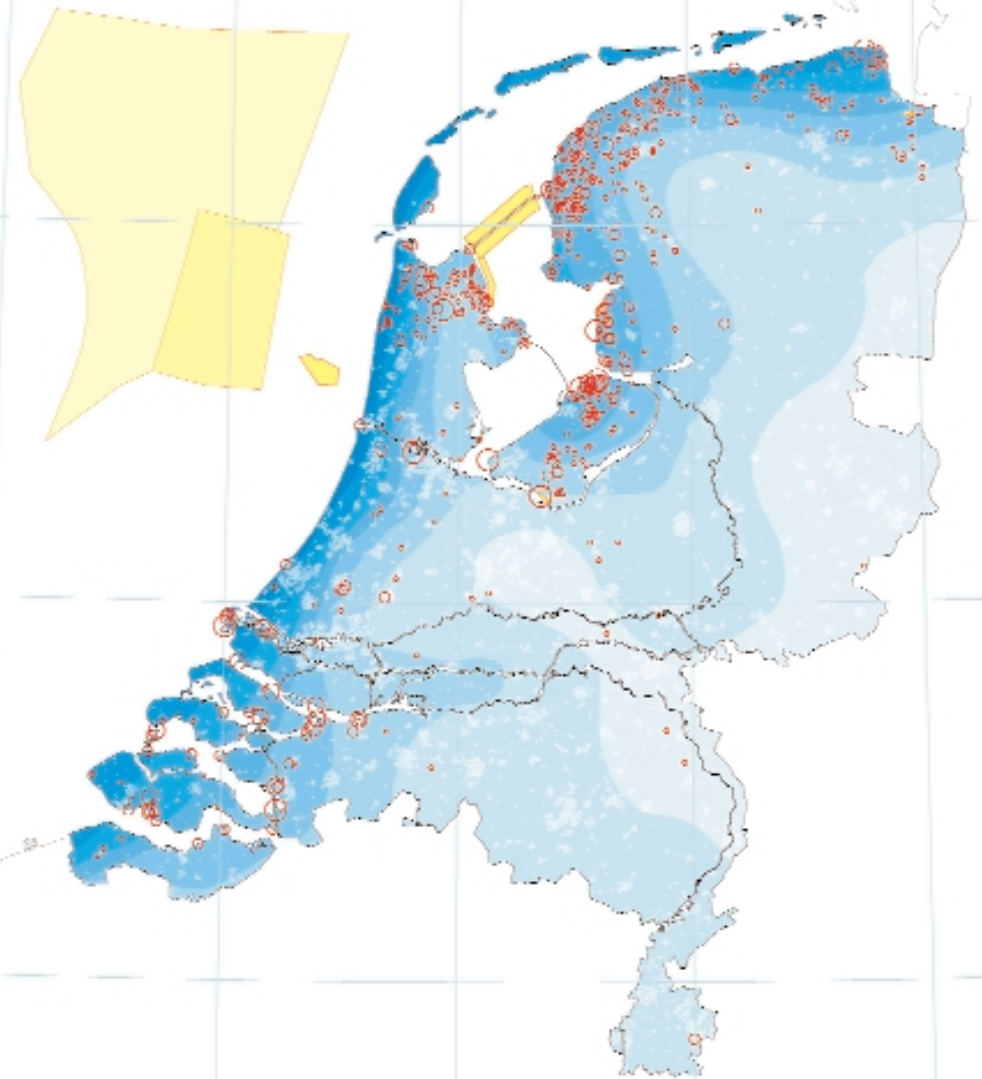


Windenergie In Nederland waait het aan de kust het hardst. Daar staan dan ook de meeste windmolens opgesteld. Het totaal opgestelde vermogen is ruim 700 MW, gelijk aan het vermogen van een middelgrote elektriciteitscentrale. Omdat er in 2020 meer windenergie gerealiseerd moet zijn, worden enkele locaties voor grote windmolenparken in de Noordzee nader onderzocht.

Schaal 1:2.000.000

Projectie: rijksdriehoekstelsel

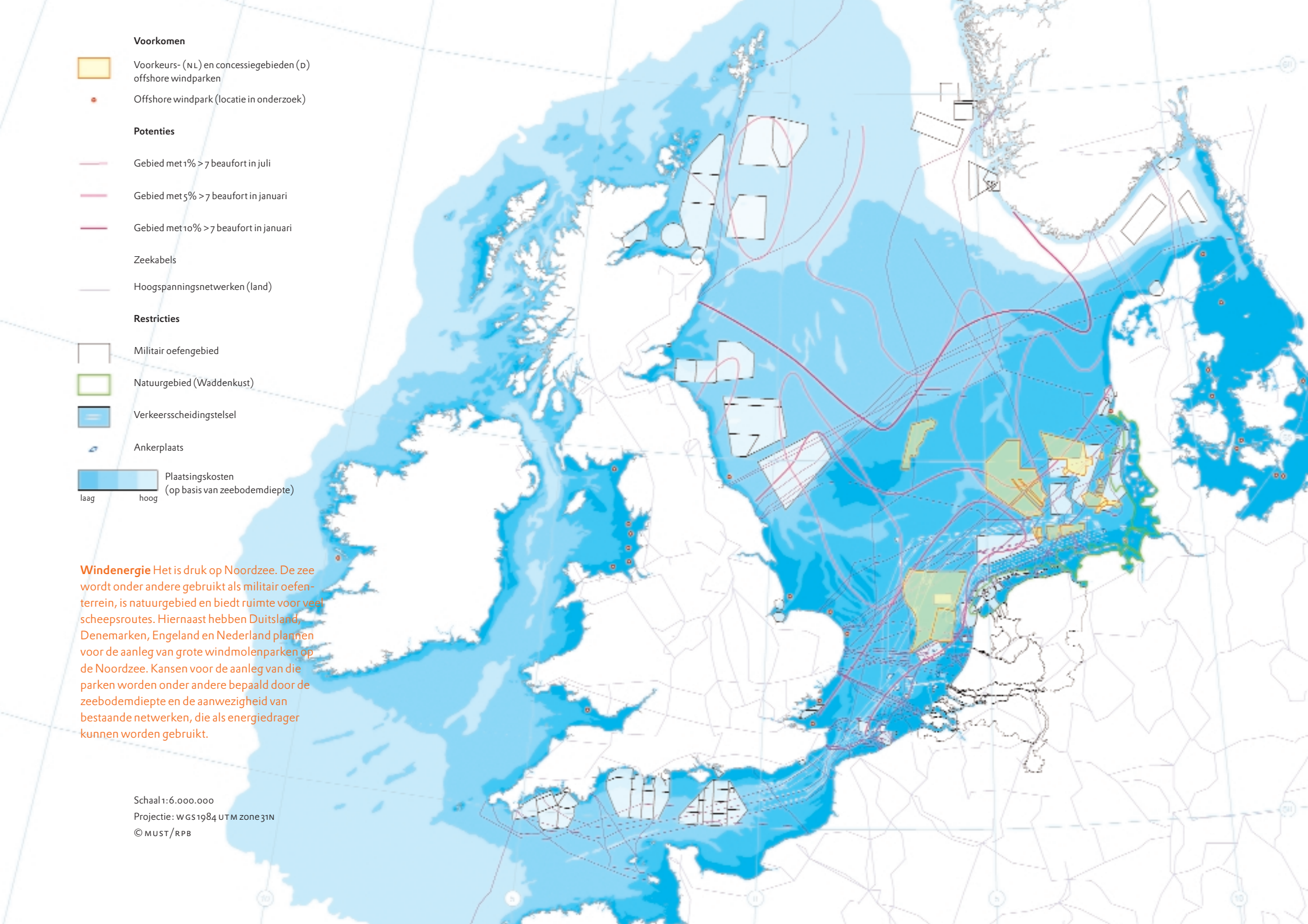
© MUST/RPB




- Voorkomen**
- Voorkeurs- (NL) en concessiegebieden (D) offshore windparken
 - Offshore windpark (locatie in onderzoek)
- Potenties**
- Gebied met 1% > 7 beaufort in juli
 - Gebied met 5% > 7 beaufort in januari
 - Gebied met 10% > 7 beaufort in januari
- Zeekabels
- Hoogspanningsnetwerken (land)
- Restricties**
- Militair oefengebied
 - Natuurgebied (Waddenkust)
 - Verkeersscheidingstelsel
 - Ankerplaats
- Plaatsingskosten
(op basis van zeebodemdiepte)
- laag hoog

Windenergie Het is druk op Noordzee. De zee wordt onder andere gebruikt als militair oefenterrein, is natuurgebied en biedt ruimte voor veel scheepsroutes. Hiernaast hebben Duitsland, Denemarken, Engeland en Nederland plannen voor de aanleg van grote windmolenparken op de Noordzee. Kansen voor de aanleg van die parken worden onder andere bepaald door de zeebodemdiepte en de aanwezigheid van bestaande netwerken, die als energiedrager kunnen worden gebruikt.




Schaal 1:6.000.000
 Projectie: WGS 1984 UTM zone 31N
 © MUST/RPB



Potentie

-  Agrarische zandgronden: dennen, populieren, zonnebloemen
-  Agrarische kleigronden: koolzaad, suikerbiet
-  Agrarische veengronden: wilgen, riet
-  Agrarische zavelgronden: vlas, hennep
-  Agrarische leemgronden: maïs, granen, miscanthus

Productie

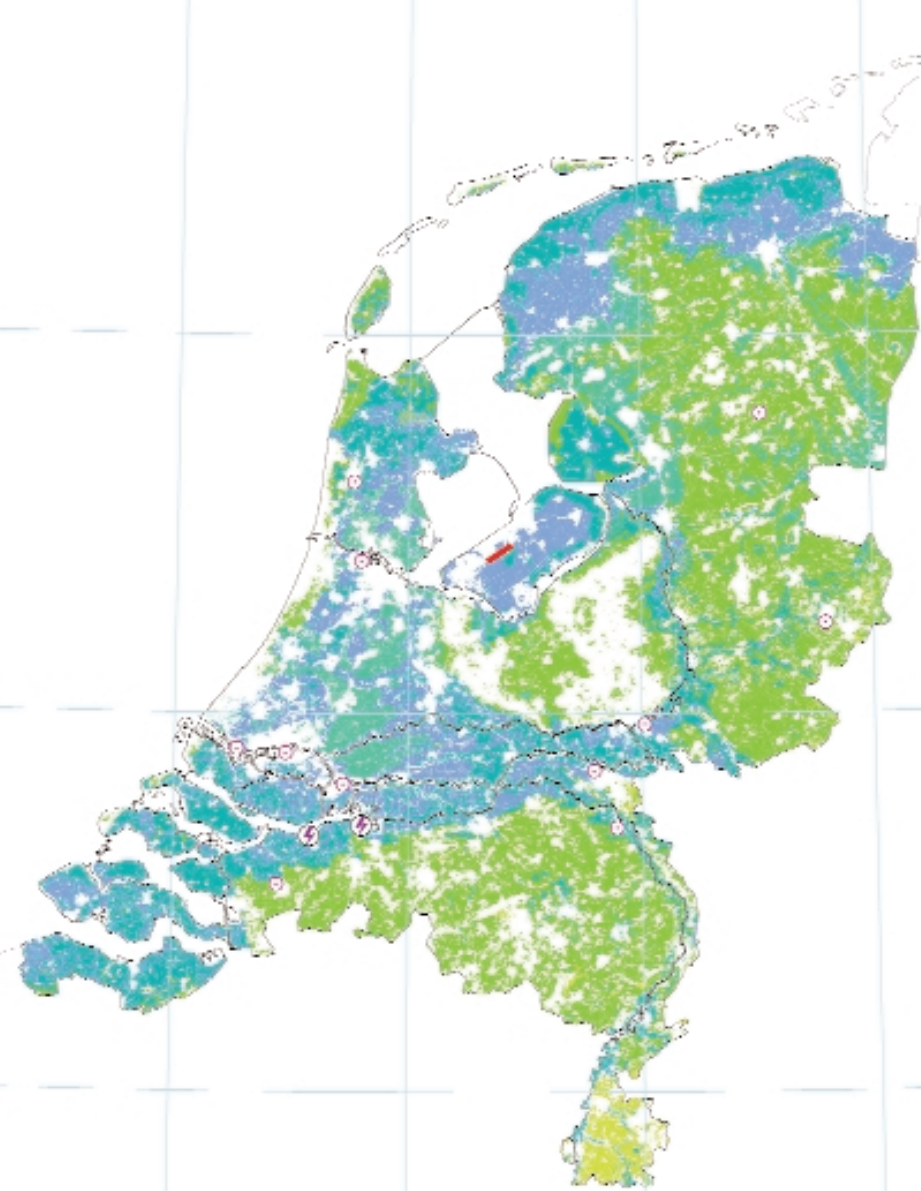
-  Proefveld biomassa
-  Elektriciteitscentrale waar biomassa wordt bijgestookt
-  Afvalverbrandingsinstallatie

Bio-energie Zouden alle landbouwgronden in Nederland voor de teelt van koolzaad worden gebruikt, dan is de opbrengst niet voldoende om alle trucks met oplegger te laten rijden. Biomassa wordt vooral als bijproduct meegestookt in elektriciteitscentrales. Er staan in Nederland elf afvalverbrandingsinstallaties, die ongeveer één derde van de in Nederland geproduceerde duurzame energie leveren.

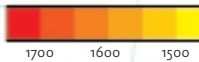
Schaal 1:2.000.000

Projectie: rijksdriehoekstelsel

© MUST/RPB



Potentie



Stedelijk gebied: gemiddeld
aantal zonnuren per jaar

Productie



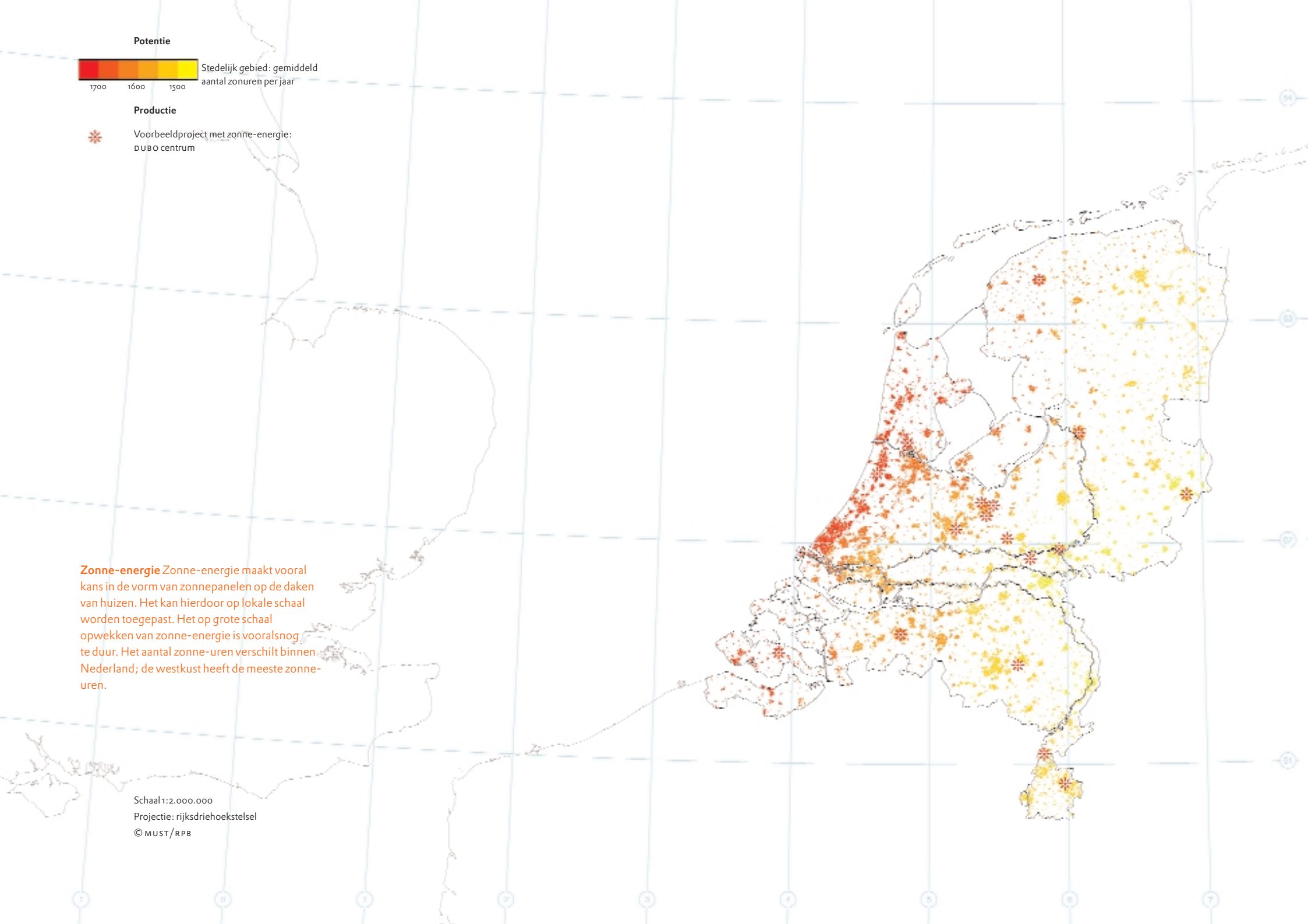
Voorbeeldproject met zonne-energie:
DUBO centrum

Zonne-energie Zonne-energie maakt vooral kans in de vorm van zonnepanelen op de daken van huizen. Het kan hierdoor op lokale schaal worden toegepast. Het op grote schaal opwekken van zonne-energie is vooralsnog te duur. Het aantal zonne-uren verschilt binnen Nederland; de westkust heeft de meeste zonnuren.

Schaal 1:2.000.000

Projectie: rijksdriehoekstelsel

© MUST/RPB



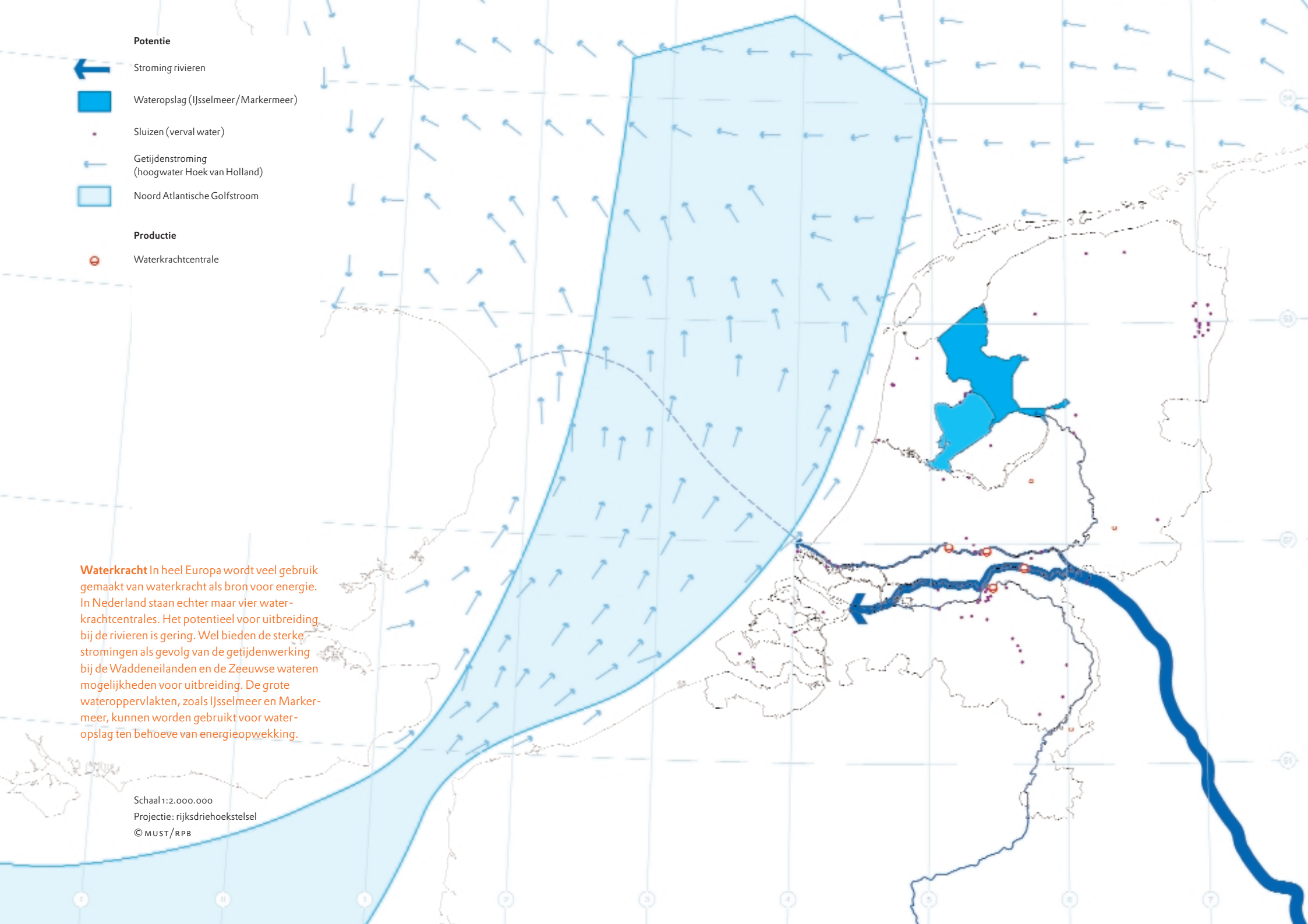
- Potentie**
- Stroming rivieren
 - Wateropslag (IJsselmeer/Markermeer)
 - Sluizen (verval water)
 - Getijdenstroming (hoogwater Hoek van Holland)
 - Noord Atlantische Golfstroom
- Productie**
- Waterkrachtcentrale

Waterkracht In heel Europa wordt veel gebruik gemaakt van waterkracht als bron voor energie. In Nederland staan echter maar vier waterkrachtcentrales. Het potentieel voor uitbreiding bij de rivieren is gering. Wel bieden de sterke stromingen als gevolg van de getijdenwerking bij de Waddeneilanden en de Zeeuwse wateren mogelijkheden voor uitbreiding. De grote wateroppervlakten, zoals IJsselmeer en Markermeer, kunnen worden gebruikt voor wateropslag ten behoeve van energieopwekking.

Schaal 1:2.000.000

Projectie: rijksdriehoekstelsel

© MUST/RPB



DE ENERGIE- EN RUIMTEAGENDA

Inleiding

Energie speelt een essentiële rol in onze moderne samenleving. Niet alleen zijn we voor tal van voorzieningen afhankelijk van een ongestoorde energieleverantie; in de voorgaande hoofdstukken is bovendien gebleken hoe groot de invloed van energie is op het ruimtegebruik en het landschap. Vooral de winning van oppervlaktedelfstoffen, zoals steenkool, bruinkool en vooral turf, gaven sommige van onze kenmerkende landschappen, zoals de veengebieden, een nieuw, en nu zeer gewaardeerd, karakter. Olie- en gaswinning lieten door bodemdaling eveneens hun sporen achter, al bleef het landschap qua karakter intact.

Toch moeten we constateren dat het debat over energie en ruimte in Nederland nooit is gevoerd. Ook bij de huidige discussie over duurzame energie blijven de ruimtelijke consequenties onderbelicht. Het zijn vooral onderwerpen als de CO₂-reductie, de technische mogelijkheden en de subsidiesystematiek die de discussie domineren. En dat is vreemd. Immers, niet alleen zal de behoefte aan energie blijven toenemen, maar vooral de voorgenomen transitie naar een grootschaliger gebruik van hernieuwbare bronnen zal haar effecten hebben op de ruimte en het landschap. Krachten zoals de internationale klimaatafspraken, de uitputting van grondstoffen en de voorzieningszekerheid/geopolitiek benadrukken de noodzaak voor deze transitie.

Dit alles was aanleiding om de relatie tussen energie en ruimte in dit rapport aan de orde te stellen. Maar waar gaat het nu eigenlijk om bij die relatie? In de voorgaande hoofdstukken zijn verschillende onderwerpen aan de orde gekomen. Hieronder zullen die worden samengevat aan de hand van drie relevante punten: het beslag van de ruimte, de infrastructuur voor energie en de belevingswaarde van de ruimte.

Beslag op de ruimte

Fossiele energiebronnen zullen ook in de toekomst het leeuwendeel van de energievoorziening voor hun rekening blijven nemen. Het ruimtebeslag in Nederland hierdoor is grotendeels bekend: op- en overslagterreinen voor kolen en olie, grote petrochemische complexen in de Botlek en Zuid-Limburg en enorme leidingstelsels, boven- en ondergronds, ook voor de elektriciteitsvoorziening. Hoewel kernenergie vanuit ruimtelijk perspectief zeer efficiënt is, zal het aandeel van deze bron aan de totale energievoorziening afnemen. Dat komt door de grote risico's die ermee gepaard gaan.

Wanneer nu, conform het voorgenomen beleid van de Nederlandse regering, hernieuwbare bronnen een groter aandeel in de totale energievoorziening voor hun rekening moeten nemen, dan zal dit aanzienlijke consequenties hebben voor de hoeveelheid ruimte die nodig is voor energie. De winning van kolen, olie en gas vindt grotendeels ondergronds plaats; de zichtbaarheid en het bovengrondse ruimtebeslag zijn relatief beperkt. Bij een overgang op een grootschaliger gebruik van windenergie en biomassa of zonne-energie gaat het over bovengrondse energiebronnen, die aanzienlijk meer vierkante kilometers in beslag zullen nemen.

Windenergie heeft in het windrijke Nederland een aanzienlijk potentieel, vooral als de windmolens geplaatst worden op de Noordzee. Om de huidige (minimum) doelstelling van 6.000 MW in 2020 te realiseren, is voor de benodigde windmolenparken een oppervlakte nodig van 750 km². *Als Nederland ervoor kiest een groter deel van de energievoorziening op te wekken met behulp van windenergie, dan is het verstandig om verder te denken dan 2020 en nu al ruimte te reserveren voor een veel grotere capaciteit.* De kostprijddaling in de windenergiesector houdt immers aan en kan een niveau bereiken waarop windenergie, zonder overheids subsidies, kan concurreren met kolen- en gascentrales. De mogelijkheid om de windmolencapaciteit uit te breiden moet daarom open blijven. Omdat ruimte in dat geval geen beperking mag zijn, is het zaak die reserveringen nu al te maken. We denken hierbij aan een capaciteit van 20.000 MW; dat is een oppervlak van 2.400 km².

Bruto lijkt er voldoende ruimte op de Noordzee te zijn om een dergelijk oppervlak te realiseren. Gezien alle concurrerende ruimteclaims is het echter de vraag of er netto gezien voldoende praktisch bruikbare ruimte is. Daarom zouden al deze ruimtelijke claims (nogmaals) moeten worden geactualiseerd, waarbij ook de ruimteaanbod vanuit andere Noordzeelanden moeten worden meegenomen.

Een ander aandachtspunt bij de omschakeling naar grootschalige windenergie is de ruimte die nodig is voor de opslag van onderdelen, plaatsing, onderhoud en reparaties. Bij de plaatsing van het eerste grote buitengaats windpark in Denemarken bleek dit soort speciale faciliteiten nodig te zijn. De Nederlandse zeehavens doen er goed aan nu al ruimte te reserveren voor deze offshore energie-industrie.

Ook biomassa is een belangrijke bron van duurzame energie. Nu al levert het in Nederland een bijdrage van 74 procent aan de duurzame energieopwekking. Een groot deel daarvan wordt geleverd door de vuilverbranding. Dit gebruik – evenals de benutting van rioolslib, mest en andere organische afvalstoffen – gebeurt redelijk ruimte-intensief en is maximaal als 100 procent van het betreffende afval wordt verwerkt. Het bestaande beleid om de afvalstromen mede te benutten voor energieproductie is ruimtelijk dan ook geen grote opgave.

Dat ligt anders voor de productie van energiegewassen. Het is duidelijk dat dit binnen Nederland niet op grote schaal kan geschieden. De ruimte is schaars en de grondprijs hoog. Hout voor energieproductie kost erg veel ruimte: per

hectare bos kunnen twee huishoudens van elektriciteit worden voorzien. In Nederland wordt dan ook praktisch geen hout voor elektriciteitswinning geteeld; wel wordt afvalhout en snoeihout verwerkt.

Het gebruik van fotovoltaïsche zonne-energie is zeer ruimte-efficiënt; het maakt immers gebruik van bestaande daken. In theorie kan met zonnedaken worden voorzien in de elektriciteitsbehoefte van huishoudens. In de praktijk is de kostprijs een factor 20 hoger dan die van fossiele bronnen. Al valt niet uit te sluiten dat een technologische doorbraak die prijsverschillen sterk zal reduceren, vooralsnog kan fotovoltaïsche zonne-energie alleen in nichemarkten of met zeer hoge subsidies tot ontwikkeling komen.

Economisch veel haalbaarder is zonnewarmte en de opslag daarvan in boilers. Te verwachten is dat deze methode in de nieuwbouw van eengezinswoningen standaard kan worden toegepast. Het additioneel ruimtegebruik hiervan is praktisch nul. Ook het gebruik van passieve zonne-energie, gecombineerd met seizoenopslag in de bodem, lijkt economisch rendabel te worden. Het gaat hierbij steeds om bestaand beleid dat uit ruimtelijk oogpunt efficiënt is.

Infrastructuur

Een groot deel van het ruimtebeslag in Nederland door fossiele energiebronnen heeft te maken met de infrastructuur, zoals de benodigde pijpleidingen voor gas- en olietransport. Bij de bestaande infrastructuur valt op dat het indirecte ruimtegebruik van energie voor mobiele bronnen erg hoog is. Zo worden uit het oogpunt van milieu en veiligheid zones afgebakend waarbinnen geen woningen, scholen en dergelijke mogen voorkomen of worden gebouwd. Daarnaast draagt het transport van energieproducten als benzine, diesel en LPG bij aan onveiligheid. Uit een recente inventarisatie door TNO is gebleken dat tientallen LPG-tankstations niet aan de veiligheidsnormen voldoen en dat het transport van LPG op een aantal plaatsen de normen voor het groepsrisico overschrijdt. Bovendien zijn op tal van plaatsen, vooral aan de ringwegen van de grote steden en in de spooromgeving in de grotere steden, de ruimtelijke ontwikkelingsmogelijkheden bevroren als gevolg van het vervoer van gevaarlijke stoffen. *Als men ervoor kiest de bestaande risico's te saneren, dan is het vanuit ruimtelijke overwegingen verstandig het gebruik van LPG als autobrandstof te ontmoedigen, het transport per spoor te ontmoedigen en het transport per (nieuwe) pijpleiding in de bestaande buisleidingsstraten te stimuleren.*

Dit veiligheidsaspect is ook een aandachtspunt bij het ontwerp van een mogelijke infrastructuur voor waterstof als energiedrager en aardgas als autobrandstof.

Om de gewenste hoeveelheid elektriciteit via windenergie te kunnen opwekken, zal een goede infrastructuur moeten worden aangelegd om de energie vanaf zee naar land te kunnen afvoeren. De bestaande energie-infrastructuur is volstrekt onvoldoende om de beleidsdoelen te realiseren, laat staan om de opgewekte energie op nog grotere schaal aan land te brengen. Het is daarom

van groot belang dat een plan wordt ontwikkeld om te komen tot een infrastructuur voor elektriciteit op de Noordzee. Op dit punt dient de energiesector snel actie te ondernemen. Er dient een ontwerpstudie te komen voor de gehele Noordzee, in samenwerking met de energiesector en met andere Noordzeelanden.

Waar de mogelijkheden voor een grootschalige productie van biomassa beperkt zijn, biedt de Nederlandse transportinfrastructuur bij uitstek kansen om biomassa, ook voor het Europese achterland, te importeren. De bestaande petrochemische infrastructuur kan in de loop der tijd (decennia) uitstekend worden aangepast aan deze grondstof.

Als de energiewinning uit fluctuerende bronnen, zoals wind- en zonne-energie, van substantiële betekenis wordt (d.w.z. meer dan 10%), dan moeten dergelijke fluctuaties kunnen worden opgevangen. We zullen in Nederland daarom ruimte moeten reserveren voor opslagsystemen, zoals stuwmeren, waterstof en OPA's. Deze opslagsystemen en de hoeveelheid reservecapaciteit moeten in combinatie met de elektriciteitsinfrastructuur worden ontworpen.

Belevingswaarde van de ruimte

Bij veranderingen in de energiehuishouding verandert ook het toekomstige landschap. Naast elektriciteitsmasten zullen bijvoorbeeld steeds meer windmolens in het landschap zichtbaar zijn. Op sommige plaatsen wordt de landschappelijke inpassing van windenergie als een duidelijke verbetering ervaren. Dit is bijvoorbeeld het geval langs lijnvormige infrastructuurelementen zoals dijken, in een industriegebied en op sommige solitaire locaties. Op andere plaatsen worden de windmolens echter als een probleem gezien. Zo wordt de schaduwwerking als bijzonder hinderlijk ervaren.

In ieder geval moeten betere methoden worden ontwikkeld om NIMBY-gedrag te voorkomen. In dit kader zou het instrument van compensatie in de regelgeving een grotere plaats moeten krijgen. Huishoudens die binnen een straal van twaalf maal de masthoogte van een windmolen wonen (dit is de zone waarbinnen men reële schaduwhinder kan ondervinden), moeten kunnen profiteren van lagere elektriciteitsarieven. Voor gemeenten kan worden gedacht aan verhandelbare plaatsingsplichten.

De overgang naar nieuwe energiesystemen biedt ook kansen om het landschap en de landbouwsector (in geval van biomassa) te versterken. Natuurwaarden, recreatie en toerisme kunnen hierop meeliften. Maar ook andersom zou, als een bos wordt aangelegd om de Ecologische Hoofdstructuur te versterken, het dunningshout dat dit bos levert, kunnen worden benut in houtcentrales. Bovendien heeft de natuurminnende wandelaar er zo weer een uitstapje bij. Waterzuivering zou kunnen meeliften met de wilgenteelt.

De belevingswaarde van de ruimte kan toenemen als de energiefunctie wordt gekoppeld aan andere functies. Door functies te combineren kunnen deze haalbaarder worden en kwalitatief hoogwaardiger. Denk bijvoorbeeld aan een combinatie van energiewinning op de Noordzee met visserij, *ocean pharming*, toerisme en recreatie, en educatie. Sommige activiteiten zullen op zichzelf staand misschien niet rendabel te exploiteren zijn, maar de combinatie met andere functies kan dit juist wel mogelijk maken. Het is een oplossing die zich verzet tegen de huidige cultuur, waarbij sommige functies het uitsluitende recht van gebruik claimen. Ook voor het grote indirecte ruimtebeslag van kabels en leidingen zijn natuurlijk veel betere oplossingen mogelijk. In een ontwerpstudie kan dit worden uitgewerkt.

Conclusie

In dit rapport is de relatie tussen energie en ruimte nadrukkelijk naar voren gekomen. Energie heeft altijd al een grote invloed gehad op de ruimte en ook de nieuwe energiesystemen zullen belangrijke ruimtelijke gevolgen hebben. Kortom: energie gaat altijd gepaard met ruimtebeslag. Het is een discussie die tot nu toe nauwelijks is gevoerd; ten onrechte.

Onze bevinding is dat het in het debat over energie altijd ook over de ruimtelijke aspecten moet gaan: Welke effecten op ruimtegebruik zijn we bereid te accepteren voor de winning van energie? Hoe kan energiewinning de ruimtelijke kwaliteit verhogen? Welke kansen biedt een ruimtelijke bundeling voor andere (economische) functies? Andersom kunnen ruimtelijke beperkingen een rem vormen op de transitie naar duurzame energie, die in het Nederlandse én internationale beleid wordt gestimuleerd.

Het onderwerp van de ruimte zal dus nadrukkelijker aandacht moeten krijgen op de energieagenda. Tegelijkertijd moet energie altijd een belangrijk punt zijn op de ruimteagenda.

LITERATUUR

- Algemene Energieraad (2001), *Briefadvies Energie en Ruimtelijke Ordening*, Den Haag: Algemene Energieraad.
- Algemene Energieraad (2003), *Energie-infrastructuur: tijd voor verandering?*, Den Haag: Algemene Energieraad.
- Algemene Geschiedenis der Nederlanden 10: *Het sociaal-economische leven, geografie en demografie circa 1770-circa 1844*, Haarlem: Fibula-Van Dishoeck.
- Alterra (2001), *Nederlandschap internationaal; bouwstenen voor een selectie van gebieden voor landschapsbehoud*, Wageningen: Alterra.
- Beekman, M. (2003), *Compensatie als middel tegen NIMBY-verzet bij de plaatsing van windturbines*, scriptie Vrije Universiteit / Ruimtelijk Planbureau.
- Bosma, K. (1952), *Ruimte voor een nieuwe tijd; vormgeving van de Nederlandse regio 1900-1945*, Rotterdam: NAI uitgevers.
- BTM Consultants ApS (2003), *International Wind energy Development, World Market update 2002-2003*.
- Buisman, J. (1975), *Nederland zoals het was zoals het is*, Sesam Aardrijkskunde van Nederland, Apeldoorn: Uitgeverij Van Walraven B.V., elfde druk.
- Centraal Bureau voor de Statistiek (2000), *Energie in Cijfers, Nederlandse energiehuishouding, primaire energie*, Voorburg/Heerlen: CBS.
- Centraal Bureau voor de Statistiek (2001), *Tweehonderd jaar statistiek in tijdreeksen, 1800-1999*, Voorburg/Heerlen: CBS.
- Egmond, F. (2003), *Land in de maak*, Zwolle: Waanders uitgevers.
- Encyclopedie Britannica* (1998), 15^e editie, vol. 18.
- EnergieNed (2001), *Energie in Nederland 2001, Feiten en Cijfers*, EnergieNed, Arnhem.
- Energieonderzoek Centrum Nederland (2001), *Energieverslag 2000*, Petten: ECN.
- European Commission (2001), *Green Paper Towards a European Strategy for the security of energy supply*, Luxembourg: European Communities.
- Farjon, J.M.J., G.H.P. Dirkx, A.J.M. Koomen, J.A.J. Vervloet en G.W. Lammers (2001), *Nederlandschap Internationaal: bouwstenen voor een selectie van gebieden landschapsbehoud*, Alterra-rapport 358, Wageningen: Alterra.
- Heerma van Voss, J., J. Th. Lindblad, D.J. Noordam, T.A.H. de Nijs, G.C. Quispel, B.M.A. de Vries en P.H.H. Vries (2000), *Van agrarische samenleving naar verzorgingsstaat: Demografie, economie, maatschappij en cultuur in West-Europa, 1450-2000*, Groningen: Martinus Nijhoff uitgevers, derde druk.
- Heijningen, L.A. van (1988), *Nederland honderd jaar geleden*, Rijswijk: Uitgeverij Elmar b.v.
- International Energy Agency (2002a), *Renewables information 2002*, Paris: OECD/IEA.
- International Energy Agency (2002b), *World Energy Outlook 2002*, Paris: OECD/IEA.
- International Energy Agency (2000c), *Capacity scenario OECD Europe*, Paris: OECD/IEA.
- International Institute for Applied Systems Analysis (1998), *Global Energy Perspectives*, Wenen/Londen: World Energy Council.
- Kielich, W. (1988), *Ondergronds Rijk; 25 jaar Gasunie en Aardgas*, N.V. Nederlandse Gasunie.
- Kuik, Gijs van (2002), *Technology of Offshore Wind Energy*, Lecture Summary, Delft: Delft University Wind Energy Research Institute.
- Kuiper, Leen en Patrick Jansen (2002), *Bos en Energie*, Zeist: Stichting ProBos en Bos en Hout.
- Lambert, A.M. (1985), *The making of the Dutch landscape: an historical geography of the Netherlands*, London: Academic Press Inc., tweede editie.
- Leijendeckers, P.H.H. (2002), *Energie Zakboek*, Arnhem: Elsevier bedrijfsinformatie.

Ministerie van Economische Zaken (2001), *Bestuursvereenkomst landelijke ontwikkeling windenergie* (BLOW), Den Haag: Ministerie van Economische Zaken.

Ministerie van Economische Zaken (2002a), *Energierapport 2002, Investeren in Energie, keuzes voor de toekomst*, Haag: Ministerie van Economische Zaken.

Ministerie van Economische Zaken (2002b), *Energietransitie uit de startblokken*, Haag: Ministerie van Economische Zaken.

Ministerie van Economische Zaken (2002c), *Modernisering Energie Ketens*, Haag: Ministerie van Economische Zaken.

Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieu (2002), *Symposium agenda voor de veenkolonien*, 25 maart 2002.

Mörzer Bruijns, M.F. en R.J. Benthem (1979), *Spectrum atlas van de Nederlandse landschappen*, Utrecht/Antwerpen: Uitgeverij Het Spectrum, vierde druk.

Reijs, W.W. (1943), *Nederland zoals het was - zoals het is*, Baarn: Uitgeverij Bosch & Keuning N.V., derde druk.

Riemersma, G. (2003), 'Weer stoehaspelen met bruggen in de Veenkoloniën', *De Volkskrant* 24 februari 2003.

RIVM (2002), *Milieubalans 2002*, Alphen aan den Rijn: Kluwer.

RIVM en Stichting DLO (2002), *Natuurverkenning 2000-2030*, Alphen aan den Rijn: Kluwer.

Schot, J.W., H.W. Lintsen, A. Rip en A.A. de la Bruheze (2000), *Techneek in Nederland in de twintigste eeuw deel 11*, Eindhoven: Drukkerij Lecturis BV.

Schuit, K. en E. Taverne (2000), *Nederlandse cultuur in Europese context: 1950 welvaart in zwart-wit*, Den Haag: Sdu Uitgevers.

Shell (2002), *Exploring the Future, People and Connections, Global scenarios to 2020*, London: Shell International.

Steenkool (1946), *Bedrijfstijdschrift van de Nederlandse Steenkolenmijnen*, eerste jaargang.

Sparnaay, M. (2002), *Van spierkracht tot warmtedood, Een geschiedenis van de energie*, Den Bosch: Voltaire.

Stone, N. (1989), *The times Atlas of world history*, New Jersey: Hammond, third edition.

Visscher, H.A. (1972), *Het Nederlandse landschap: een typologie ten behoeve van het milieubeheer*, Utrecht/Antwerpen: Uitgeverij Het Spectrum N.V.

Weijnen M.P.C., E.F. ten Heuvelhof, P.M. Herder en M. Kuit (2003), *Next generation infrastructures*, Delft: Delft University of Technology.

COLOFON

Onderzoek
 Hugo Gordijn
 Femke Verwest
 Anton van Hoorn
 Met dank aan Michiel Beekman,
 Miranda van Leeuwen, Maarten Piek

Kaarten
 Must, Amsterdam
 in samenwerking met Anton van
 Hoorn, Hugo Gordijn,
 met dank aan Johan van der Schuit,
 Aldert de Vries, Hans van Amsterdam

Eindredactie
 Simone Langeweg
 Ilse Heemsker

Ontwerp en productie
 Typography, Interiority & Other
 Serious Matters, Rotterdam

Illustraties
 Cals, Van Straten, Driessen p. 19
 EPZ, Borssele p. 29
 H. Gordijn, Den Haag pp. 25, 39, 43, 81
 S.C.M. Hakkeling, Wassenaar p. 19
 Ministerie vROM pp. 19, 25, 81
 K. Nabielek, Rotterdam p. 43
 B. Rijbroek, Rotterdam pp. 25, 43, 77, 81
 H. Visscher p. 17

Gebruikte bronnen bij kaarten
 De Grote Bosatlas, editie 52, 2002,
 Wolters Noordhoff;
 Wetenschappelijke Atlas van
 Nederland, deel 13;
 www.mining-europe.de;
Ruimte maken, ruimte delen;
Vijfde Nota over de Ruimtelijke
Ordening 2000/2020, Ministerie
 van Volkshuisvesting, Ruimtelijke
 Ordening en Milieubeheer, Den
 Haag, januari 2002;

World Energy Atlas, The Petroleum
 Economist LTD, London 2001;
 International Tanker Owners
 Pollution Federation LTD, 2002;
 Jahrbuch Bergbau 1999, Verlag
 Glückauf GmbH, Essen;
 Mijnrechtelijke Kaart, bijlage 1 bij de
 Regelingen Continentaal Plat 1996;
 Energie Onderzoek Centrum 2000;
 Noordzee Atlas, ministerie v&w;
 Stroomatlas, Noordzee;
 Atlas of caesium deposition on Europe
 after the Chernobyl accident, Office
 for Official Publications of the
 European Communities,
 Luxembourg, 1998;
 Electricity Technology Roadmap,
 KEMA, 2002;
 Nuclear Research Consult 2000;
 Meteorology – Oceanography;
 www.nrg-nl.com;
 www.iwea.com;
 www.britishtwindenergy.co.uk;
 www.dkvind.dk;
 www.dubocentrum.nl;
 KNMI;
 RPB;
 ministerie vROM;
 Topografische Dienst Emmen;
 MUST

Druk
 Drukkerij Die Keure, Brugge

© NAi Uitgevers, Rotterdam/
 Ruimtelijk Planbureau, Den Haag 2003
 Alle rechten voorbehouden. Niets uit
 deze uitgave mag worden verveel-
 voudigd, opgeslagen in een geauto-
 matiseerd gegevensbestand, of
 openbaar gemaakt, in enige vorm of
 op enige wijze, hetzij elektronisch,
 mechanisch, door fotokopieën,
 opnamen, of enige andere manier,
 zonder voorafgaande schriftelijke
 toestemming van de uitgever. Voor
 zover het maken van kopieën uit deze

uitgave is toegestaan op grond van
 artikel 16B Auteurswet 1912^o het
 Besluit van 20 juni 1974, Stb. 351,
 zoals gewijzigd bij Besluit van
 23 augustus 1985, Stb. 471 en artikel 17
 Auteurswet 1912, dient men de
 daarvoor wettelijk verschuldigde
 vergoeding te voldoen aan de
 Stichting Reprorecht (Postbus 882,
 1180 AW Amstelveen). Voor het
 overnemen van gedeelte(n) uit deze
 uitgave in bloemlezingen, readers en
 andere compilatiewerken (artikel 16
 Auteurswet 1912) dient men zich tot
 de uitgever te wenden.

Van werken van beeldend kunstenaars,
 aangesloten bij een CISAC-organisatie,
 zijn de publicatierechten geregeld met
 Beeldrecht te Amsterdam.
 © 2003, c/o Beeldrecht Amsterdam

Niet alle rechthebbenden van de
 gebruikte illustraties konden worden
 achterhaald. Belanghebbenden wordt
 verzocht contact op te nemen met
 NAi Uitgevers, Mauritsweg 23,
 3012 JR Rotterdam.

NAi Uitgevers is een internationaal
 georiënteerde uitgever, gespecialiseerd
 in het ontwikkelen, produceren en
 distribueren van boeken over archi-
 tectuur, beeldende kunst en verwante
 disciplines.

www.naipublishers.nl
 info@naipublishers.nl

ISBN 90 5662 325 7