

Voorwoord

Elke keer dat ik thuis het licht aandoe, een wasje in de machine stop of mijn telefoon oplaad, doe ik dat zonder na te denken over energie. Energie lijkt net zo normaal als de lucht die we inademen of water dat uit de kraan komt. Het boek *Zó werkt energie in Nederland* laat zien dat energie helemaal niet zo vanzelfsprekend is: bedrijven, overheden en energiecoöperaties – en vooral een heleboel vakmensen – werken er dagelijks aan.

Terwijl u dit leest, zijn ze bezig met het aanpassen van ons energiesysteem om dit voor te bereiden op de toekomst. Ons energiegebruik verandert namelijk in rap tempo. Steeds meer mensen verwarmen hun huis met een warmtepomp, rijden in een elektrische auto of wekken zelf energie op met zonnepanelen. Dat gaat niet vanzelf. De uitdagingen worden ook voor steeds meer mensen en bedrijven tastbaar. Zoals met een stroomnet dat op veel plekken zo vol zit dat bedrijven of zelfs hele nieuwe woonwijken geen aansluiting kunnen krijgen. En met grote energieprojecten die een plek moeten krijgen in de directe leefomgeving van mensen.

Deze energietransitie vraagt veel van ons allemaal. Ze kost tijd en geld, terwijl we in ons land een tekort aan personeel en beperkte ruimte hebben. Toch ben ik ervan overtuigd dat we in Nederland beschikken over de juiste kennis en daadkracht, en doorzettingsvermogen hebben om het voor elkaar te krijgen. We hebben als klein land een traditie om met slimme en nieuwe ideeën te komen om samen grote, baanbrekende resultaten te bereiken. Van de uitvinding van de microscoop, de bouw van de Afsluitdijk en de Deltawerken, tot de ontwikkeling van de krachtigste chiptechnologie. Dit gaat ons lukken. Begrijpen hoe ons energiesysteem werkt, is hiervoor onmisbaar – ook om de juiste keuzen te maken. Voor een goede samenwerking is het cruciaal dat we kennis met elkaar delen die begrijpelijk, objectief en toegankelijk is. Zeventien partijen uit de energiewereld hebben de handen ineengeslagen om dit boek te updaten. Het boek wordt breed gebruikt in opleidingen, inwerkprogramma's bij overheden en

in het bedrijfsleven, en voorziet in een duidelijke behoefte: betrouwbare informatie, op één plek, voor iedereen die werkt aan of geïnteresseerd is in de energietransitie.

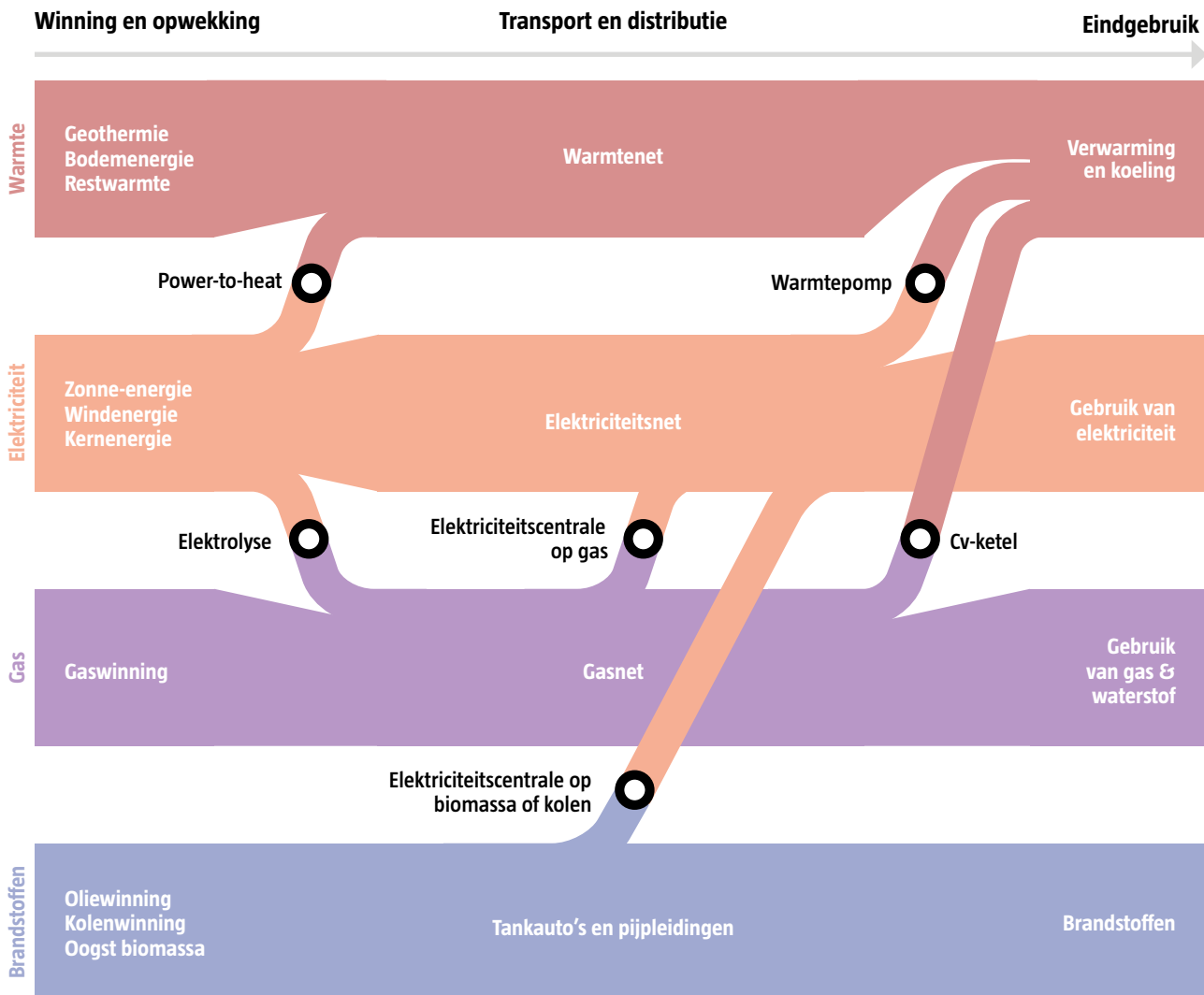
In deze herziene editie zijn de feiten en cijfers geactualiseerd. Ook zijn nieuwe thema's toegevoegd die extra relevant zijn in deze tijd, zoals systeem-integratie, energieopslag en de schaarste van ruimte en grondstoffen. Dit boek is onmisbaar voor iedereen die enthousiast wordt van energie – en van energie leveren aan bedrijven, organisaties en mensen thuis. Ik ben blij dat deze update er nu ligt en ik wens u veel leesplezier en inspiratie toe. Zodat het gebruiken van energie een vanzelfsprekendheid blijft.

Sophie Hermans

minister van Klimaat en Groene Groei



Uit welke vier ketens bestaat het energiesysteem?



Afbeelding 1.8

Vier energieketens

In het boek onderscheiden we vier energieketens: elektriciteit, gas, warmte en brandstoffen. Deze vier ketens bestaan niet helemaal los van elkaar. Ze zijn fysiek met elkaar verknoot op plaatsen waar een energiedrager omgezet wordt in een andere. Zo ontmoeten de gasketen en de elektriciteitsketen elkaar in elektriciteitscentrales die gestookt worden op gas. In afbeelding 1.8 zijn de ketens en hun belangrijkste verbindingen schematisch weergegeven.

In de volgende paragrafen gaan we dieper in op ieder van de vier ketens. In iedere energieketen stroomt energie van de bron naar de gebruiker.

Na de winning en opwekking wordt de energie geschikt gemaakt voor gebruik en (ondertussen) vervoerd naar de eindverbruiker. Dit vervoer heet in de energieketen 'transport' en 'distributie'. Het verschil tussen deze twee is de schaal. Transport gaat over grote hoeveelheden energie die via gecentraliseerde infrastructuur over lange afstanden worden vervoerd. Distributie gaat over kleinere hoeveelheden die via lokale, fijnmazige netwerken aan de eindafnemers worden geleverd. Op de volgende pagina's tekenen we deze transport- en distributienetwerken uit voor iedere energieketen. Ook beschrijven we per keten de relevante rollen in het fysieke domein.

Wie betaalt wat in de Nederlandse elektriciteitsmarkt?



Afbeelding 2.6

Netcongestie

Het elektriciteitsnet kent een bepaalde transportcapaciteit: de maximale hoeveelheid elektriciteit die het kan transporteren. Netcongestie betekent dat deze transportcapaciteit op piekmomenten wordt overschreden op bepaalde plekken, doordat de vraag naar of het aanbod van elektriciteit groter is dan wat het netwerk kan transporteren. Dit gebeurt door de groeiende vraag naar elektriciteit door elektrificatie (afnamecongestie) en door de toename van fluctuerend aanbod dat moet worden ingevoed op het net (invoedingscongestie). Netbeheerders hebben een aansluitplicht voor bedrijven en huishoudens als zij een nieuwe of grotere aansluiting aanvragen. Door netcongestie kunnen bedrijven of huishoudens niet in alle gevallen direct deze aansluiting krijgen. Er ontstaan daardoor wachtrijen van bedrijven, maatschappelijke instellingen en nieuwe woonwijken die een nieuwe aansluiting nodig hebben.

Partijen werken aan oplossingen voor netcongestie zoals:

- Het verzwaren van het elektriciteitsnet met nieuwe infrastructuur zoals kabels, onderstations en transformatorhuisjes.
- Congestie management door flexibele contractvormen, waarbij netgebruikers een vergoeding krijgen voor flexibel netgebruik. Bij grote congestie is er bijvoorbeeld een verplichting voor bedrijven om hun grote aansluiting tegen betaling beschikbaar te stellen als flexibel vermogen via een Congestie Service Provider (CSP).
- Het efficiënter benutten van bestaande capaciteit, doordat meerdere bedrijven of technieken een aansluiting gaan delen. Dit kan bijvoorbeeld binnen een energiehub, maar ook door een zonnepark, windmolen of batterij een aansluiting te laten delen.
- Het beter laten aansluiten van elektriciteitsvraag en -aanbod, bijvoorbeeld door 'spitsmijden' op piekmomenten, flexibele vraag en netbewust laden aan te moedigen bij bedrijven en consumenten.
- Het toevoegen van overige flexibiliteitsoplossingen aan het energiesysteem, zoals energieopslag, uitwisseling met het buitenland en energieomzetting, zoals het omzetten van elektriciteitsoverschotten naar warmte of waterstof.
- Het zwaarder belasten van bestaande netinfrastructuur, met groter risico op storingen en slijtage.
- Het verbreden van het energieaanbod voor huishoudens en bedrijven op manieren die het elektriciteitsnet minder belasten dan volledige elektrificatie, zoals de inzet op warmtenetten.
- De ACM werkt aan een herzien maatschappelijk prioriteringskader zodat netbeheerders de aansluitplicht op basis van plek in de wachtrij kunnen loslaten en maatschappelijke functies voorrang bij aansluiting kunnen geven.

Hoofdpijnen nationaal klimaat- en energiebeleid

Nu we weten hoe het Nederlandse klimaat- en energiebeleid tot stand komt, kunnen we kijken naar de inhoud van dit beleid. We beschrijven hier eerst het beleid dat zich richt op aanpassing van het energiesysteem, de energietransitie. Beleid dat al is uitgewerkt in bestaande wet- en regelgeving beschrijven we later in dit hoofdstuk als we het gaan hebben over wetten.

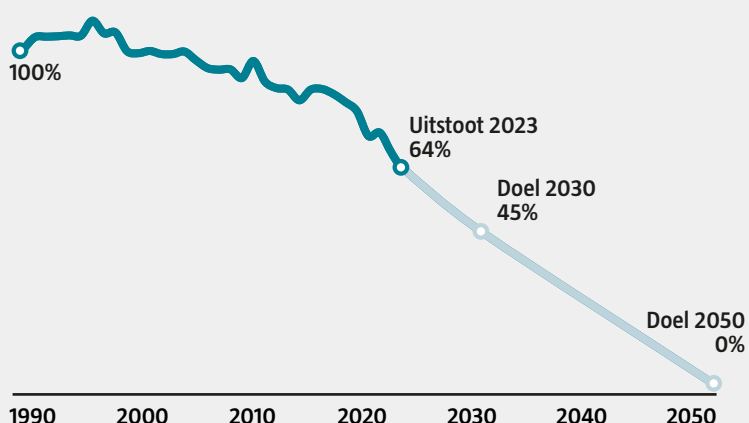
Richtinggevend voor het beleid zijn de CO₂-reductiedoelen uit de Klimaatwet. We zagen al dat in de Europese klimaatwet het streven is om in 2030 de uitstoot van broeikasgas met 55 procent terug te dringen ten opzichte van 1990. In 2050 moet de reductie 100 procent zijn. De Nederlandse Klimaatwet volgt deze Europese doelen.

Afbeelding 3.9 laat zien hoe de Nederlandse uitstoot sinds 1990 zich verhoudt tot de Europese klimaatdoelen voor 2030 en 2050.

Het Klimaatakkoord, dat gaat over vijf sectoren (gebouwde omgeving, mobiliteit, industrie, landbouw en landgebruik, en elektriciteit), bepaalt de indeling van het beleid. De subdoelen per sector zijn opgenomen in het Klimaatakkoord, net als de bijbehorende maatregelen om deze subdoelen te halen.

Afbeelding 3.11 toont de doelen en belangrijkste maatregelen per sector.

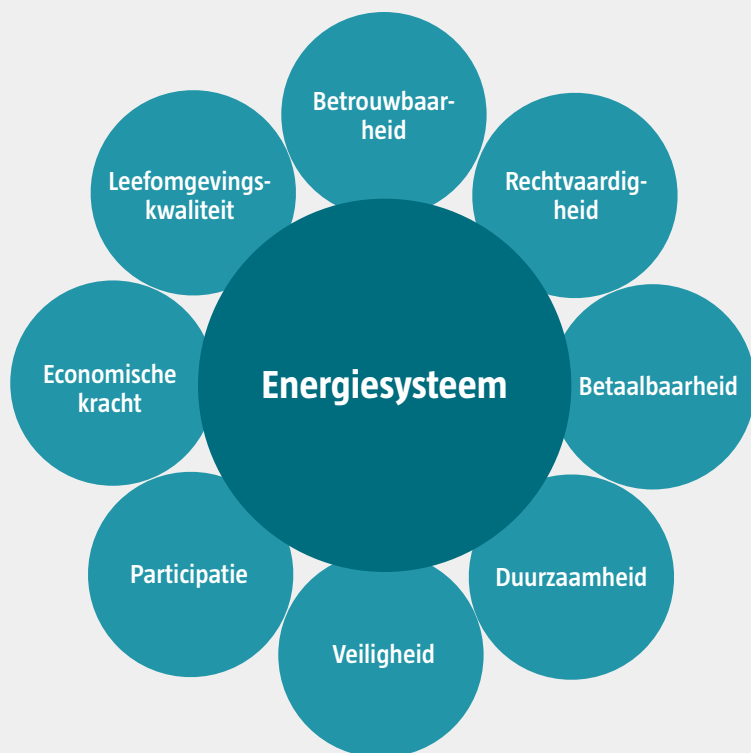
Hoe ontwikkelt de uitstoot van broeikasgassen zich en wat zijn de doelen uit het klimaatbeleid?



Afbeelding 3.9
Emissies van broeikasgassen berekend volgens IPCC-voorschriften.
Bron: CBS, 2024



Welke **eisen** weegt de overheid mee bij de inrichting van het energiesysteem?



Afbeelding 3.12



Wat zijn de belangrijkste systeemrollen op en rond de elektriciteitsmarkt en welke taken en verantwoordelijkheden horen hierbij?



Afbeelding 4.3

Wat kunnen overheden en bedrijven doen om de schaarste aan grondstoffen voor de energietransitie te verminderen?

Partijen voeren de energietransitie uit met zo min mogelijk (nieuwe) grondstoffen

- Partijen kiezen voor technologieën of materialen die zo min mogelijk kritieke grondstoffen bevatten.
- Partijen streven ernaar iedere technologie met meerdere (kritieke) grondstoffen te kunnen maken.
- Partijen ontwerpen producten zó dat ze lang meegaan en makkelijk gerepareerd kunnen worden.
- Partijen gebruiken producten of onderdelen ervan, zoals accu's van elektrische auto's, meerdere keren.
- Partijen winnen grondstoffen terug aan het einde van de levenscyclus van producten.
- De overheid weegt grondstoffengebruik mee in keuzen over het toekomstige energiesysteem.

Partijen vergroten het aanbod van nieuwe grondstoffen

- Wereldwijd schalen partijen de winning en raffinage van grondstoffen op.
- Nederland gaat allianties aan om de (toekomstige) import van grondstoffen veilig te stellen.
- Partijen zoeken manieren om mensenrechten en milieu te beschermen bij grondstoffenwinning.

Afbeelding 5.6

Ruimte

Het energiesysteem neemt ruimte in, zowel boven als onder de grond en op zee. Door de energietransitie zal het energiesysteem meer ruimte gaan innemen dan nu. Nederland zal door de energietransitie namelijk steeds minder (fossiele) energie importeren, en meer zelf opwekken. Daarnaast neemt hernieuwbare energieopwekking, zoals uit zon en wind, doorgaans meer bovengrondse ruimte in dan de winning en verwerking van fossiele energiebronnen.

In afbeelding 5.7 is te zien hoeveel ruimte het Nederlandse energiesysteem naar verwachting inneemt in 2050. Hiervoor hebben we het gemiddelde genomen van de verschillende toekomstscenario's die in het rapport van Generation Energy en PosadMaxwan (2020) zijn doorgerekend.

De grootste ruimtegebruikers zijn windmolens (op zee, land en binnenwateren), zonnepanelen (op gebouwen, water en velden) en de productie van biomassa voor energie.

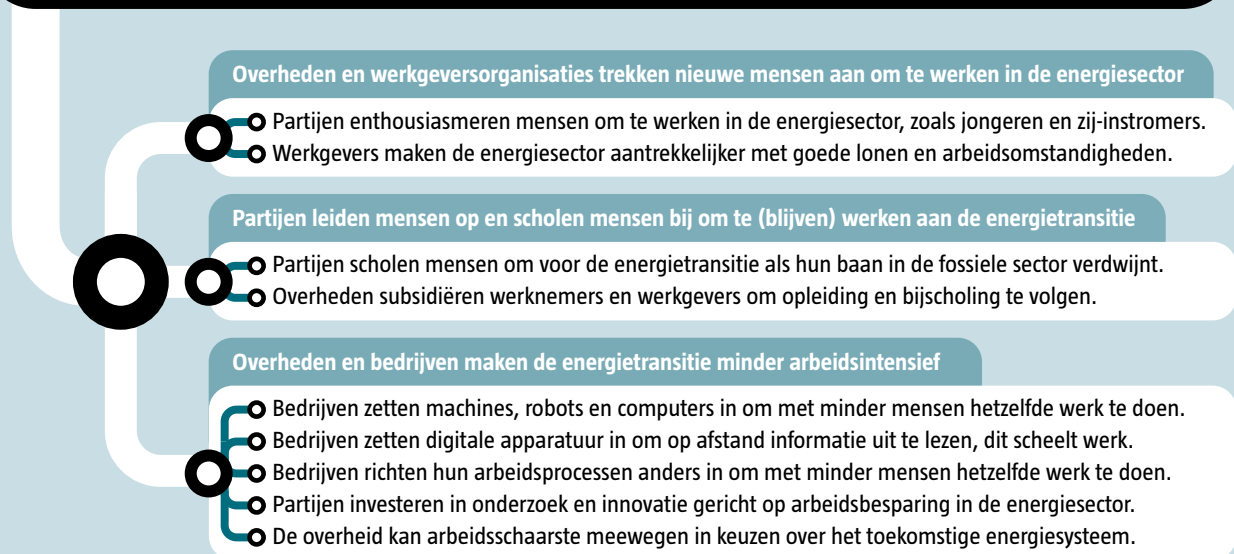
Bij elkaar opgeteld leggen zij in 2050 beslag op 10.797 km² land en binnenwater, en 6.496 km² Noordzee. Ter vergelijking: de totale oppervlakte van Nederland is 41.526 km² en het Nederlandse deel van de Noordzee is 58.500 km² groot. Kabels

en leidingen voor het transport van energie nemen relatief weinig ruimte in en zijn niet meegenomen in de berekening.

In een dichtbevolkt land als Nederland is ruimte altijd schaars. Het energiesysteem moet concurreren met andere dingen die ruimte innemen, zoals landbouw, wonen en natuur. Afbeelding 5.8 laat zien hoe bedrijven en overheden hiermee omgaan. Allereerst is het de taak van de overheid om ruimtelijke belangen tegen elkaar af te wegen. Dit resulteert in wetgeving en beleid voor ruimtelijke ordening, onder andere voor het energiesysteem. Verder streven partijen ernaar om in de energietransitie de ruimte zo efficiënt mogelijk in te richten en functies te combineren.



Wat kunnen overheden en bedrijven doen om de schaarste aan arbeid voor de energietransitie te verminderen?



Afbeelding 5.12

Financiering

De energietransitie kost geld. In veel gevallen kunnen partijen investeringen in bijvoorbeeld isolatie of duurzame energieopwekking terugverdienen. Dit terugverdienmodel is echter niet bij alle benodigde investeringen duidelijk of al zeker genoeg. Denk aan het aanleggen van waterstofinfrastructuur, elektrolyzers of het ontmantelen van fossiele bedrijven. Hier ligt een rol voor de overheid, door ofwel zelf het verschil in kosten te dragen of het risico te verlagen voor private investeerders.

Afbeelding 5.13 zoomt nader in op de investeringskosten voor de bouw van installaties voor elektriciteitsopwekking. Per kilowatt is een kernenergiecentrale het duurste om te bouwen. De aanleg van zonnepanelen op het dak of in een zonnepark is juist relatief goedkoop.

Waar de investeringskosten voor kolen- en gascentrales stabiel zijn, is de verwachting dat de investeringskosten voor windmolens, zonnepanelen en kernenergie in de komende decennia zullen dalen door technologische innovatie en opschaling.

Hoe veranderen de jaarlijkse kosten van het energiesysteem door de energietransitie? Dat zie je in afbeelding 5.14. De jaarlijkse kosten van het energiesysteem worden hier opgesplitst in drie onderdelen: investeringen, operationele kosten en import van energiedragers.

Investeringen zijn eenmalige uitgaven aan het Nederlandse energiesysteem, zoals voor de aanleg van nieuwe kabels, leidingen, batterijen, windmolens, zonnepanelen, warmtenetten, warmtepompen, et cetera. Operationele kosten zijn de terugkerende uitgaven die nodig zijn om het energiesysteem in Nederland te onderhouden en te gebruiken, zoals netbeheerkosten en productiekosten van energie. Import van energiedragers zijn de kosten die Nederland maakt om olie, gas, elektriciteit en biomassa te kopen van andere landen.

In de pilot 'Financieel inzicht in de energietransitie' rekenden de auteurs de jaarlijkse kosten van het energiesysteem door voor het jaar 2019 en voor de periode 2020-2050 in verschillende toekomstscenario's (met en zonder energietransitie). In 2019

Draagvlak

Omdat energiegebruik zo nauw verweven is met het dagelijks leven, hebben veranderingen in het energiesysteem onvermijdelijk gevolgen voor mensen en organisaties. Mensen moeten bijvoorbeeld overstappen naar elektrisch koken, rijden en verwarmen. Bedrijven moeten eigen energie opwekken, hun gebouwen isoleren en leren werken met nieuwe machines als ze hun productieproces elektrificeren.

Daarnaast brengt de energietransitie veranderingen met zich mee in het Nederlandse landschap, die soms weerstand oproepen. De hulpbron draagvlak is dus nauw verweven met de eerder beschreven hulpbronnen ruimte en leefomgeving. Burgers en bedrijven kunnen de uitvoering van de energietransitie bespoedigen, maar ook dwarszitten. Daarom is draagvlak onmisbaar voor de energietransitie.

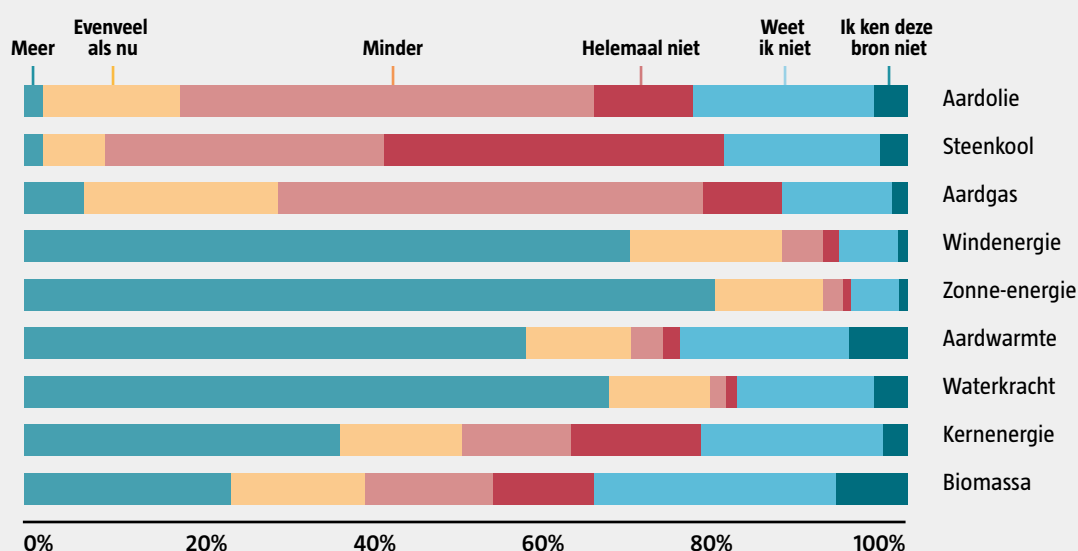
In afbeelding 5.16 is te zien hoe Nederlanders denken over verschillende soorten energiebronnen. In grote lijnen komen de standpunten van

Nederlanders overeen met de doelen van de energietransitie. Een meerderheid wil dat fossiele bronnen (aardolie, steenkool en aardgas) niet of minder worden gebruikt. Ook is er brede steun om windenergie, zonne-energie, aardwarmte en waterkracht meer te gaan gebruiken.

Over kernenergie en biomassa zijn de meningen sterk verdeeld. Hoewel deze twee energiebronnen in het Nationaal Plan Energiesysteem (NPE) worden genoemd als onderdeel van het toekomstig energiesysteem, vindt slechts een minderheid van de Nederlanders dat ze moeten worden opgeschaald.

De brede steun voor zonne- en windenergie betekent overigens niet dat mensen het toejuichen als er een zonnepark of windmolen in hun leefomgeving wordt gebouwd. CBS-onderzoek laat zien dat 66 procent van de Nederlanders voorstander is van de bouw van nieuwe windmolens in Nederland. Als het gaat over de bouw van windmolens in de eigen woonomgeving, is slechts 19 procent voor, 33 procent tegen en 43 procent zegt dat het ervan afhangt.³

Welke energiebronnen moeten volgens Nederlanders meer of juist minder gebruikt worden?



Afbeelding 5.16
Bron: CBS, 2023

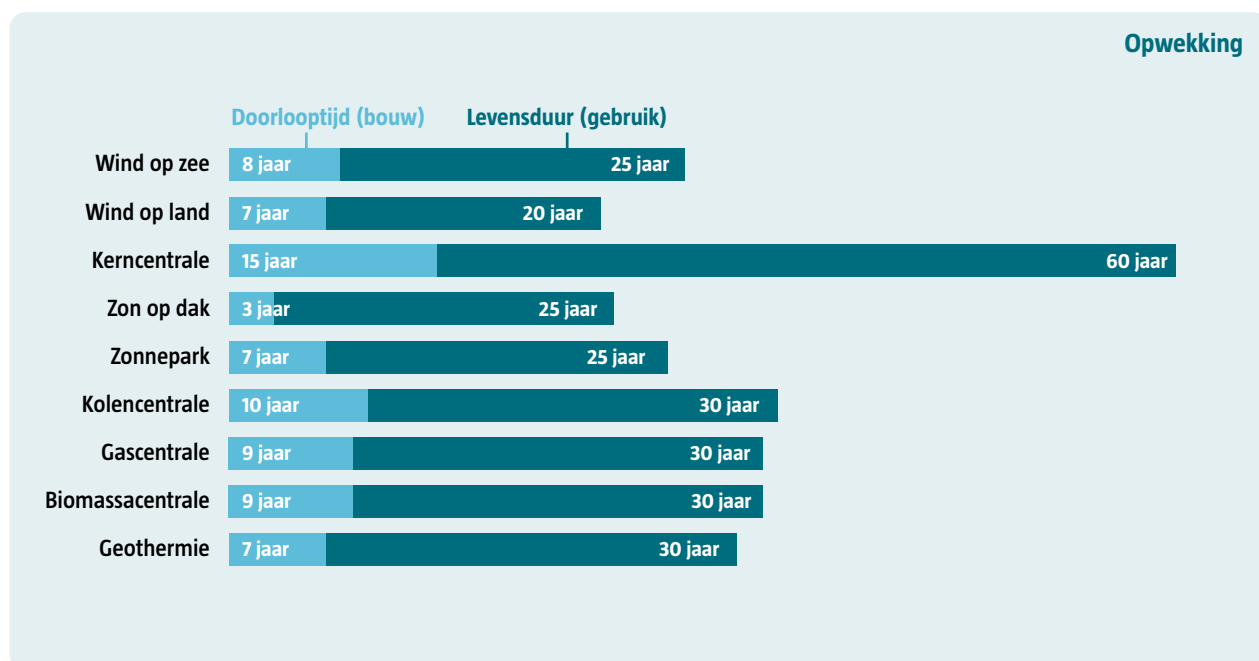
Tijd

De energietransitie kost tijd: om het nieuwe energiesysteem te ontwerpen, plannen uit te werken, vergunningen aan te vragen, inspraak te organiseren en energie-installaties te bouwen en in gebruik te nemen. En tijd is schaars, want de energietransitie is een voorwaarde voor het behalen van de klimaatdoelen voor 2030 en 2050.

Afbeelding 5.18 laat zien hoelang het gemiddeld duurt om verschillende soorten energie-installaties te realiseren, en hoelang die meegaan als ze

eenmaal gebouwd zijn ('levensduur'). Dit laat zien dat de energietransitie een traag proces is. Kan de energietransitie ook sneller? Overheden streven ernaar om de doorlooptijden van vergunningsverlening en beroepsprocedures te verkorten. Dit doen ze bijvoorbeeld door meer vergunningsverleners aan te stellen en door nieuwe manieren van vergunningsverlening. Ook op Europees niveau wordt beleid gemaakt dat ervoor moet zorgen dat hernieuwbare energie sneller van de grond komt. Afbeelding 5.19 laat zien wat overheden en bedrijven doen om de energietransitie te versnellen.

Hoelang kost het om verschillende soorten energie-installaties te bouwen, en wat is hun levensduur?



Afbeelding 5.18

‘Wat zou het handig zijn als ik de antwoorden op mijn vele vragen over de wereld van energie ergens op één plek bij elkaar zou kunnen vinden.’ Als deze gedachte je weleens bekruipt, is dit boek gemaakt voor jou. Dit boek brengt het complexe energiesysteem terug tot de kern. Met heldere visualisaties, overzichtelijke schema’s en bondige teksten geeft het inzicht in de werking van het Nederlandse energiesysteem.

Wat is het verschil tussen een energiebron en een energiedrager en welke zijn er zoal? Wie mag er aan huishoudens leveren en wie aan grote bedrijven? Welk beleid maakt de Europese Unie en wat betekent dat voor Nederland? Wie betaalt wat aan wie in de gasmarkt? Hoeveel ruimte en grondstoffen zijn er nodig voor de energietransitie? Dit is slechts een kleine greep uit de vele vragen die dit boek beantwoordt.

Goede gesprekken en goede beslissingen over energie in Nederland beginnen vanuit helder inzicht in de werking van het energiesysteem. Dat is de overtuiging achter *Zó werkt energie in Nederland*. Dit boek biedt toegang tot betrouwbare, eenduidige en begrijpelijke informatie die de basis vormt voor goede gesprekken en beslissingen over energie. Voor iedereen die zonder jarenlange ervaring in het energiesysteem zelf overzicht en inzicht wil krijgen. Voor iedereen die goed geïnformeerd aan de slag gaat met energie in Nederland.

