

# **Energietransitie**

eerst snappen, dan doen

**Machiel Mulder**

Tweede, geactualiseerde editie



Eburon  
Utrecht 2023

Eerste druk, 2022  
Tweede, geactualiseerde druk, 2023

ISBN 978-94-6301-453-3

Academische Uitgeverij Eburon, Utrecht  
[www.eburon.nl](http://www.eburon.nl)

Omslagontwerp: Textcetera, Den Haag  
Foto auteur: Max Koot Studio, Den Haag

© 2023 Machiel Mulder, 2e editie

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

# Inhoud

<b>Voorwoord</b>	11
<b>Inleiding</b>	15
1 Energietransitie: eerst snappen	17
<b>Deel 1 Waarom energietransitie?</b>	23
2 Energietransitie is onmisbaar om verdere klimaatverandering tegen te gaan	25
3 Wat zijn de baten van energietransitie?	29
4 Hoe hoog zijn de kosten van energietransitie eigenlijk?	35
5 Hoe krijg je de energiesystemen in de maatschappelijk gewenste richting?	41
<b>Deel II Energietransitie en marktwerking: gaat dat wel samen?</b>	49
6 Energiesystemen zijn altijd in transitie	51
7 Energiesystemen zijn gebaseerd op energiemarkten	57
8 Energiemarkten en energietransitie zijn afhankelijk van energienetwerken	71
9 Hoe past energietransitie in een omgeving met marktwerking?	81
10 Hoe kan de overheid keuzes van energieproducenten en -consumenten beïnvloeden?	89
<b>Deel III Hoe energietransitie realiseren?</b>	95
11 Energiebesparing is goed, maar stimuleren ervan is niet altijd effectief	97
12 Subsidies voor hernieuwbare energie zijn nodig, maar hoe lang nog?	105
13 Bevordering van financierbaarheid van groene-energieprojecten	115
14 Belastingen op energie zijn het meest doelmatig, althans in theorie	123
15 CO <sub>2</sub> -emissiehandel als het belangrijkste instrument van klimaatbeleid in Europa	129
16 Stoppen met olie- en gaswinning als (schijn)oplossing	137

<b>Deel IV Energiesystemen van de toekomst?</b>	143
17 Verduurzaming warmtevoorziening	145
18 Waterstof als de heilige graal van de energietransitie	153
19 Door elektrificatie minder CO <sub>2</sub> -emissies: hoe kan dat geregeld worden?	165
20 Wat te denken van kernenergie?	171
<b>Deel V Hoe borgen we een betrouwbare en betaalbare energievoorziening?</b>	177
21 Wat betekent energietransitie voor betrouwbaarheid?	179
22 Hoe houden we de energietransitie betaalbaar?	187
23 Toekomstige energievoorziening: kleinschalig of grootschalig?	191
<b>Slot</b>	195
24 Energietransitie: ... en nu doen	197
<b>Literatuur</b>	203

# Lijst van kaders, figuren en tabellen

## Kaders

1.1	Economie is ook relevant als je uit ideële motieven aan energietransitie doet en een centraal geleide energiesector voorstaat	19
3.1	Leidt energietransitie tot meer werkgelegenheid, en hoe belangrijk is dat?	30
3.2	Het <i>prisoner's dilemma</i> bij het klimaatbeleid: waarom samenwerking voor een effectief klimaatbeleid cruciaal is	32
4.1	Kiezen van reductiemaatregelen op basis van marginale kosten	37
4.2	Trias Energetica als basis voor energietransitie?	40
5.1	Wat bedoelen economen eigenlijk als ze het hebben over rationeel gedrag?	46
6.1	Bevolkingsgroei, economische groei, energiegebruik en emissies	55
7.1	Twee soorten schaarste: van een product en op een markt	61
7.2	Waarom verschillen de elektriciteitsprijzen soms zo sterk tussen landen?	64
7.3	Wat betekenen hoge energieprijzen voor de energietransitie?	66
8.1	Hoe werkt maatstafregulering van energienetbeheerders?	74
8.2	Liberaliseren en privatiseren: wat zijn de verschillen?	76
9.1	Organiseren energiesysteem gaat niet alleen over kosten, ook over waarde en prijs	84
10.1	Kiezen van beleidsmaatregelen met behulp van marginale-reductiekosten	91
11.1	Energiebesparing is niet alleen kwestie van zuinigere apparaten	100
12.1	Subsidies geven betekent welvaart anders verdelen in de hoop op meer	108
12.2	Kosten van elektriciteitsproductie hangen ook af van vraag naar elektriciteit	112
13.1	Financiering van investeringen in wind- en zonneparken	120
15.1	Prijzsvorming in de markt voor CO <sub>2</sub> -emissierechten	131
15.2	Sluiting van kolencentrales en het waterbedeffect	134
16.1	Fossiele-energies reserves zijn te vergelijken met winkelvoorraden	138
17.1	Decentrale versus centrale organisatie van warmtevoorziening	146
18.1	Wat kost het maken van blauwe en groene waterstof eigenlijk?	158
18.2	Wind- en zonneparken eten elkaars rendement op	161
19.1	Elektrificatie en CO <sub>2</sub> -emissies	166
19.2	Hoe houden we het elektriciteitssysteem zonder fossiele energie in balans?	168
20.1	Kern-, fossiele en hernieuwbare energie: wat zijn verschillen en overeenkomsten?	172
21.1	Twee aspecten van energiebetrouwbaarheid: beschikbaarheid en leveringszekerheid	182
21.2	Twee typen netproblemen: onbalans en congestie	184

## Figuren

2.1	Wereldwijde uitstoot van broeikasgassen naar soort, 1990-2020	26
2.2	Broeikasgasemissies per soort en sector, Nederland, 1990-2021	26
2.3	CO <sub>2</sub> -emissies door gebruik van fossiele energie per hoofd van de bevolking, 1970-2020	28
3.1	Bandbreedte in schattingen van de maatschappelijke kosten van CO <sub>2</sub> -emissies, in dollar per ton	34
4.1	Verdeling van reductieopties naar kosteneffectiviteit (in euro/ton CO <sub>2</sub> )	39
4.2	Kosten van verschillende opties om emissies te reduceren (euro/ton CO <sub>2</sub> )	39
5.1	Het Nederlandse energiesysteem in 2021	42
5.2	Ketens en sectorkoppeling in de energievoorziening	44
6.1	Primair energiegebruik naar energiedrager in Nederland, 1946-2015 (in PJ)	52
6.2	Prijs van olie (Brent), 1976-2022 (gemiddeld per jaar, dollar/vat)	52
6.3	Energie-intensiteit van de Nederlandse economie, 1976-2021	54
7.1	Prijzen van gas en elektriciteit, gemiddeld per maand van januari 2019 t/m maart 2023 (dag-voortuitprijzen in euro/MWh)	59
7.2	Hoogste en laagste uurlijkse elektriciteitsprijs per maand, januari 2019 t/m maart 2023 (dag-voortuitprijzen in euro/MWh)	59
7.3	Electriciteitsprijs in diverse Europese landen op 4 maart 2023 (gemiddeld per dag, in euro/MWh)	63
8.1	Kosten en kwaliteit van het gebruik van elektriciteitsdistributienetten, 2006-2018	75
11.1	Brandstofverbruik en voertuiggewicht benzineauto's, 1980-2020 (gemiddeld per auto)	100
11.2	Ontwikkeling in het aantal woningen en het elektriciteits- en gasverbruik van huishoudens, 1990-2020 (index: 1990=100)	102
12.1	Prijsvorming op elektriciteitsmarkt met windturbines en gascentrales	106
13.1	Transport van elektriciteit, handel in elektriciteit en handel in groen-certificaten	118
14.1	Belastingen op het gebruik van aardgas en elektriciteit, per type verbruiker, 2013-2023	124
15.1	Uitgedeelde emissierechten en werkelijke emissies, totaal in EU ETS en door Nederlandse deelnemers, 2005-2021 (per jaar)	133
15.2	Emissies van broeikasgassen in Nederland door ETS en niet-ETS sectoren, 2005, 2010, 2015, 2020 en 2021	136
15.3	Prijs van CO <sub>2</sub> -emissierechten, april 2008 – maart 2023 (gemiddeld per maand, euro/ton)	136
16.1	Reserve/productieratio voor olie per regio, 1990, 2000, 2010 en 2020	139

16.2	Verdeling van het aantal productievergunningen op het Nederlandse deel van de Noordzee, per 1 januari 2022	140
17.1	Verduurzaming warmtevoorziening in twee stappen	146
18.1	Waterstof gemaakt met elektriciteit als tertiaire energiedrager	156
23.1	Investeringskosten van zonnepanelen per type installatie, 2021 (in lage en hoge variant)	193

## **Tabellen**

10.1	Verschillende typen beleidsinstrumenten voor verschillende onderdelen van de energietransitie (met voorbeelden)	92
12.1	Marktwaaarde-effect van hernieuwbare elektriciteit: rekenvoorbeeld	110

## Voorwoord

Energie is vrijwel dagelijks in het nieuws. Turbulente ontwikkelingen in de internationale energiemarkten en de noodzaak van de energietransitie raken ons allen. Voor mijzelf betekent dit dat ik steeds vaker vragen krijg over hoe het nu precies zit met bijvoorbeeld de energieprijzen, problemen in het elektriciteitsnet of subsidies voor windmolens. Kennelijk is er behoefte aan meer inzicht in hoe energiesystemen en energiemarkten werken, hoe het overheidsbeleid daarop inwerkt, en in het bijzonder hoe de energietransitie nu werkelijk tot minder CO<sub>2</sub>-emissies kan leiden. Met dit boek heb ik mijn kennis daarover samengebracht en hopelijk voor een breed publiek toegankelijk gemaakt.

Mijn betrokkenheid bij energie stamt al van lang geleden. In mijn jeugd heb ik het belang van energie van nabij ervaren. Geboren in het oliedorp Schoonebeek in Drenthe, viel ik als kind in slaap bij het zachte gezoem van de jaknikker achter mijn ouderlijk huis en voetbalde ik bij de voetbalvereniging *Minjak* (Indonesisch voor ‘olie’) van de NAM. Een indrukwekkende gebeurtenis was de oliespuiters in november 1976, waarbij drie dagen lang een mengsel van stoom, zand en olie uit een boorput over het dorp werd gespoten, totdat uiteindelijk de put gedicht kon worden. De energiesector zorgde voor werkgelegenheid en luxe voorzieningen zoals een verwarmd zwembad in het dorp (in die tijd heel bijzonder), maar ook voor stank in de slootjes waar het water altijd onder een laagje olie zat. De transitie van kolen naar aardgas betekende dat opeens alle kamers in huis verwarmd konden worden, maar ook dat mijn beste vriendje, André, zoon van een kolenboer, moest verhuizen omdat zijn vader ander werk had gevonden elders in het land. Later, als student algemene economie, ontstond mijn interesse in maatschappelijke vraagstukken en vormgeving van overheidsbeleid. Mijn afstudeerscriptie ging over de economische gevolgen van de gaswinning.

Met deze nauwe persoonlijke band met energie was het niet vreemd dat ik me later professioneel als econoom volop met energie ging bezighouden. In posities bij het Landbouw-Economisch Instituut (LEI), het Centraal Planbureau (CPB), CE Delft, de Autoriteit Consument & Markt (ACM) en de Rijksuniversiteit Groningen (RUG) heb ik vele aspecten van energie als econoom bestudeerd, daarover geadviseerd en onderwezen. Ik heb me verdiept in onderwerpen als de milieueffecten van het energiegebruik en wat daaraan te doen, zoals energiebelastingen en emissiehandel, de (on)zekerheid van de energievoorziening door uitputting en (geo)politieke ontwikkelingen, de introductie van marktwerking in de energiesector en regulering van gas- en elektriciteitswerken, internationale handel in energie, en de betaalbaarheid van energie voor burgers. Door de



recente turbulente ontwikkelingen in energiemarkten en de noodzaak om energiesystemen fundamenteel te hervormen, komen al deze terreinen bij elkaar en is het nuttig om daarvan kennis te hebben.

Mijn kennis heb ik kunnen delen en verder ontwikkelen in het onderwijs. Sinds 2014 verzorg ik onderwijs in energie-economie aan bachelor en master studenten van de Faculteit Economie en Bedrijfskunde van de RUG. Daarnaast heb ik *executive* cursussen over energietransitie opgezet bij de University of Groningen Business School (UGBS). Deze cursussen variëren van een tweedaagse cursus ‘van het aardgas af, maar hoe dan?’ tot een tweejarige internationale Executive MBA Energy Transition. Door de interactie met zowel de studenten als de uit diverse disciplines afkomstige mede-docenten heb ik veel geleerd over hoe anderen tegen energievraagstukken (kunnen) aankijken. Die ervaringen hebben mij gestimuleerd om mijn perspectief op energietransitie verder aan te scherpen en dit voor een breder publiek op te schrijven.

Het doel van dit boek is om de lezer (meer) economisch inzicht te geven in de verwevenheden tussen energiesystemen, energiemarkten en energiebeleid en hoe deze inzichten kunnen worden toegepast. Ik hoop met dit boek de lezer te kunnen laten zien dat een economische bril helpt om samenhangen te zien. Met zo’n bril kun je bekijken hoe mensen, bedrijven en overheden hun doelen nastreven en op elkaar reageren. Daardoor kun je bijvoorbeeld beter snappen hoe overheidsmaatregelen burgers en bedrijven beïnvloeden, elkaar soms versterken en andere keren verzwakken. Het moet echter niet alleen om het snappen gaan, want uiteindelijk gaat het om actie, om het realiseren van de energietransitie om zodoende de CO<sub>2</sub>-emissies werkelijk omlaag te brengen. Dit boek is daarom ingeklemd tussen een inleiding, waarin het belang van ‘eerst snappen’ wordt uitgelegd, en een slothoofdstuk, waarin concrete conclusies worden getrokken voor ‘het doen’. Deze conclusies zijn gericht op de verschillende actoren: energiegebruikers, energiebedrijven en overheden.

Dit boek had nooit geschreven kunnen worden zonder alle lessen die ik zelf heb geleerd in al die jaren dat ik me met de economie van energie heb beziggehouden. Ik ben de vele collega’s en vakgenoten erkentelijk met wie ik de afgelopen jaren heb samengewerkt en van gedachten heb gewisseld. In het bijzonder wil ik enkele vrienden en collega’s met naam noemen die de moeite hebben genomen om de conceptversie van dit boek grondig te bekijken en van nuttig commentaar te voorzien. Dank je wel, Klaas Alkema, Paul Giesbertz, Daan Hulshof, Peter Perey, Felix Olthuis, Ton Schoot Uiterkamp en Alexander Vermeijden. Ik dank ook Aart Smink en Piet Paul voor hun waardevolle opmerkingen bij de 1<sup>e</sup> editie. Ik heb ook geprofiteerd van de levendige discussies bij presentaties naar aanleiding van de 1<sup>e</sup> editie van dit boek, waarbij het geregeld ging over de voor- en nadelen van marktwerking en andere manieren van het ordenen van

de energiesector. Met dit boek probeer ik te laten zien dat marktwerking in de energiesector niet alleen gaat over winsten en marktprijzen, maar ook over de mogelijkheden voor een ieder om bij te dragen aan de energievoorziening en de energietransitie. Ook dank ik Maarten Fraanje van Uitgeverij Eburon voor zijn geduld en vertrouwen, en de plezierige samenwerking bij de realisatie van zowel de eerste als de tweede editie van deze gedrukte uitgave. Tot slot dank ik Mieke Fritzsche voor de grondige redactionele correcties. Uiteraard ben ik zelf geheel verantwoordelijk voor de inhoud van dit boek.

Het schrijven van een boek als dit kan, naast een drukke baan als hoogleraar, alleen maar in de schaarse vrije uren gebeuren. Ik dank daarom vooral mijn lief thuisfront, Mieke, Daan, Carien en Niek, voor alle belangstelling en steun tijdens het schrijfproces, en voor het accepteren van mijn veelvuldige fysieke dan wel mentale afwezigheid. Zonder jullie was dit zeker niet gelukt.

Den Haag/Groningen, april 2023

Veel mensen maken zich zorgen over het veranderende klimaat en daar is ook alle reden toe. De extreme weersomstandigheden die we in de afgelopen jaren ook in Nederland aan den lijve hebben ervaren, hebben ons dat wel duidelijk gemaakt. De enorme droogte en extreme hitte in de zomers van 2018 en 2019 en de vreselijke overstromingen in Limburg in de zomer van 2021 waren heftige ervaringen die bij velen diepe indruk hebben gemaakt. In alle delen van de wereld doen zich zulke extremen vaker voor. Ook gemiddeld genomen verandert het weer: de winters zijn zachter, het voorjaar begint eerder en de herfst later, wat gevolgen heeft voor de natuur.

Wetenschappers hebben inmiddels overduidelijk aangetoond dat deze veranderingen in het weer geen toevallige schommelingen in weersomstandigheden zijn, maar duiden op een structurele verandering van het klimaat. Ze hebben ook aangetoond dat deze klimaatverandering komt door opwarming van de aarde en dat deze opwarming op haar beurt komt door de uitstoot van broeikasgassen als gevolg van menselijke activiteiten. Om verdere klimaatverandering tegen te gaan, staat de mensheid voor de immense opgave om de uitstoot van deze broeikasgassen in korte tijd sterk te verminderen. Als we dat niet doen, dan zullen de gevolgen voor de leefbaarheid van de aarde voor mensen, dieren en planten enorm zijn.

Een groot deel van de broeikasgassen (ca. 75%) komt vrij bij de verbranding van fossiele energiebronnen, vooral in de vorm van CO<sub>2</sub>, maar ook als methaan (CH<sub>4</sub>) en lachgas (N<sub>2</sub>O). Fossiele energiebronnen, zoals kolen, olie en aardgas, zijn de meest gebruikte vormen van energie in het huidige energiesysteem. Dit betekent dat het energiesysteem helemaal op de schop moet om de emissies van de broeikasgassen omlaag te krijgen. Dit kan op verschillende manieren gebeuren, die ruwweg in drie typen zijn te onderscheiden: energiebesparing, vervanging van fossiele door hernieuwbare energie, en het opvangen van CO<sub>2</sub> bij de verbruik van fossiele energiebronnen, en dit vervolgens opslaan of nuttig gebruiken. We hebben al deze verschillende manieren nodig om de CO<sub>2</sub>-emissies aanzienlijk omlaag te brengen. Al deze veranderingen tezamen noemen we energietransitie.

De energietransitie zal iedereen raken, want we zijn allemaal gebruiker van energie. We zullen dus allemaal de gevolgen merken van de energietransitie, onder meer doordat energie duurder wordt omdat het door de overheid meer wordt belast, in onze leefomgeving zonneparken en windparken worden aangelegd, en we energie minder via verbranding van fossiele energiebronnen en meer

in de vorm van elektriciteit gaan gebruiken. Velen willen ook zelf actief bijdragen aan het bevorderen van de energietransitie. Zo zijn er bewonersinitiatieven om lokale warmtenetten te ontwikkelen die de aardgasketels in afzonderlijke woningen vervangen door gemeenschappelijke distributiesystemen waarbij de warmte uit de bodem wordt gehaald, zogenaamde geothermie, of uit het oppervlaktewater, wat aquathermie wordt genoemd. Ook zien we steeds meer huizen met zonnepanelen op het dak en schaffen meer mensen elektrische auto's aan. Bedrijven doen ook steeds meer mee, wat onder meer blijkt uit de talrijke initiatieven om waterstof te gaan maken en gebruiken.

Ook al leveren veel mensen en organisaties een bijdrage aan energietransitie, niet elke bijdrage is even effectief. Sommige maatregelen lijken wel effectief, maar zijn dat niet als je het grotere geheel van de energiesystemen in de beschouwing betreft. Waterstof gebruiken bijvoorbeeld is een veel genoemde methode om het energiegebruik te verduurzamen, wat ook heel begrijpelijk is, want als je waterstof verbruikt (verbrandt) komt daar geen CO<sub>2</sub> bij vrij. Waterstof is echter een energiedrager die eerst gemaakt moet worden en bij het maken kan juist wel veel CO<sub>2</sub> vrijkomen. Dit gebeurt bijvoorbeeld wanneer je waterstof maakt uit elektriciteit en water – dit proces heet elektrolyse – en wanneer deze elektriciteit op haar beurt in bijvoorbeeld een kolen- of gascentrale is opgewekt. Een bedrijf dat zo'n type waterstof gebruikt, kan op die manier denken zelf duurzaam te handelen, maar op het niveau van het gehele energiesysteem is dat allesbehalve het geval. Dit geeft maar aan dat het belangrijk is om de grote samenhang van het gehele energiesysteem te bekijken en niet alleen naar het directe effect van een bepaalde maatregel te kijken.

Een ander voorbeeld van een maatregel die op zichzelf bezien heel duurzaam lijkt, maar dat helemaal niet hoeft te zijn, is het plaatsen van zonnepanelen op het dak van je huis. Door dat te doen kun je je eigen groene elektriciteit gebruiken en heb je minder (grijze) elektriciteit uit het elektriciteitsnetwerk nodig. Dit lijkt een heel effectieve maatregel, maar is dat toch niet per se. In Europa hebben we namelijk een handelssysteem in CO<sub>2</sub>-emissierechten. Dit systeem komt er simpelweg op neer dat vervanging van grijze door groene elektriciteit leidt tot een lagere prijs voor CO<sub>2</sub>-rechten, waardoor andere bedrijven minder aan emissiereductie zullen doen. Iemand die zonnepanelen op haar of zijn dak plaats, realiseert daarom niet zozeer een reductie, maar zorgt er indirect voor dat andere mensen (bedrijven) minder maatregelen zullen treffen. Tenzij de overheid ingrijpt en extra emissierechten uit de markt haalt, want dan zal dit wel echt tot minder uitstoot van CO<sub>2</sub> leiden. De overheid kan dit bijvoorbeeld doen door jaarlijks minder emissierechten uit te geven als er meer elektriciteit uit wind of zon wordt opgewekt. Zulke aanpassingen van het handelssysteem maken het er allemaal echter niet eenvoudiger en duidelijker op.

Het inzicht dat sommige maatregelen die je zelf kunt treffen in het grote geheel niet of nauwelijks effectief zijn, kan cynisch maken, maar dat is niet nodig. Het bestaan van het emissiehandelssysteem, bijvoorbeeld, biedt ook

#### KADER 1.1

### **Economie is ook relevant als je uit ideële motieven aan energietransitie doet en een centraal geleide energiesector voorstaat**

Mensen maken verschillende keuzes omdat ze verschillende voorkeuren en mogelijkheden hebben. Er zijn veel mensen die vanuit een ideële overtuiging een steentje bij willen dragen aan de energietransitie om daarmee de klimaatverandering voor komende generaties te beperken. Ook als men uit zulke ideële motieven bijvoorbeeld veel aan energiebesparing wil doen of met andere bewoners een lokaal warmtesysteem wil oprichten, zal men kosten moeten maken en zullen ook financiële opbrengsten worden gerealiseerd. Soms betekent dit dat zulke plannen tot een financieel verlies leiden. Mensen met een sterke ideële overtuiging om bij te dragen aan energietransitie, zullen bereid zijn een groter financieel verlies te accepteren, of in ieder geval een grotere opoffering te doen dan anderen.

Het financiële verlies dat iemand nog acceptabel vindt, zegt iets over de waarde die iemand hecht aan bijvoorbeeld energiebesparing. Bij sterk intrinsiek gemotiveerde mensen zal deze waarde hoog liggen, waardoor men genoeg zal nemen met een groter financieel verlies dan andere mensen. Hoe dan ook, voor allen geldt dat wanneer het financiële verlies van een bepaalde maatregel minder groot is of zelfs omkeert in een positief saldo, het aantrekkelijker wordt om die maatregel te treffen. Dus voor iedereen, ideel gedreven of niet, geldt dat de economische omstandigheden relevant zijn voor hoeveel men kan en wil bijdragen aan energietransitie.

Mensen maken niet alleen verschillende keuzes, ze hebben ook verschillende visies op hoe de lasten en lusten in de maatschappij verdeeld moeten worden en hoe het economische proces geordend moet worden. Sommigen willen bijvoorbeeld het liefst dat de gehele energiesector in overheidshanden komt, om zo burgers te beschermen tegen hoge prijzen. Anderen laten de economie en dus ook de energiesector het liefst over aan particuliere bedrijven om zo meer concurrentie en innovatie te krijgen. Wat hun visie ook is op de ordening en verdeling van welvaart, voor iedereen geldt dat er keuzes gemaakt worden over de manier waarop schaarse grondstoffen, kapitaal en arbeid wordt ingezet.

mogelijkheden om als burger zonder veel kosten bij te dragen aan een werkelijke vermindering van CO<sub>2</sub>-emissies. Als je emissierechten koopt, maar deze niet gebruikt, maak je het aanbod schaarser, waardoor de prijs van CO<sub>2</sub> wordt opgedreven. Hierdoor stimuleer je andere deelnemers aan het handelssysteem om hun emissies te verminderen.

Om te weten welk gedrag het meest effectief en doelmatig is om CO<sub>2</sub>-emissies omlaag te brengen, is het dus nodig inzicht te hebben in hoe de verschillende energiemarkten en maatregelen op elkaar inwerken en hoe dit geheel wordt beïnvloed door het overheidsbeleid om energietransitie te realiseren. In dit boek worden talrijke voorbeelden behandeld van maatregelen die soms heel effectief zijn, en andere keren helemaal niet effectief zijn, maar wel heel duur.

Al deze maatregelen worden besproken vanuit een economisch perspectief. Het zal daarbij duidelijk worden dat het niet alleen gaat om wat het allemaal kost en oplevert, maar vooral ook om hoe mensen en bedrijven kunnen worden aangezet tot gedragsverandering. Dit is bij uitstek een economisch vraagstuk, want economie gaat vooral, in tegenstelling tot wat men vaak denkt, om menselijk gedrag, om keuzes die men maakt bij het omgaan met schaarse middelen. Vanuit de wens om energietransitie te realiseren gaat het dan om de vraag hoe je de keuzes die met energie samenhangen, kunt beïnvloeden en wel zodanig dat dit leidt tot minder CO<sub>2</sub>-emissies en bij voorkeur zonder dat de kosten voor mensen en bedrijven onnodig veel toenemen.

De keuzes die men maakt inzake de energievoorziening, hangen in grote mate af van de economische omstandigheden. Hiermee bedoelen we de factoren die de opbrengsten en kosten van bepaalde keuzes beïnvloeden. Deze omstandigheden zijn relevant voor iedereen en alle bedrijven die zich met energie bezighouden, dus niet alleen voor commerciële producenten, maar ook voor energiegebruikers die gedreven worden door ideële motieven om verdere klimaatverandering tegen te gaan. Oftewel, economische factoren zijn relevant, of men dat nu leuk en interessant vindt, of niet (zie Kader 1.1). Het is daarom ook voor iedereen van belang om die economische omstandigheden te begrijpen. Tot die economische omstandigheden behoort ook hoe energiemarkten werken, want daar komen immers de prijzen tot stand waar we allen mee te maken hebben, terwijl die markten ook de kansen bepalen voor bijvoorbeeld hernieuwbare energiebronnen. Het doel van dit boek is om de lezer mee te nemen in een economische analyse van zowel de omstandigheden waaronder energietransitie zich kan voltrekken, als van de wijze waarop overheden het meest effectief en doelmatig die transitie kunnen bevorderen.

Naast deze inleiding en het slothoofdstuk bestaat het boek uit vijf delen. In elk van die vijf delen worden specifieke vragen rondom de energietransitie belicht, om zo de lezer meer inzicht te geven in hoe energiesystemen, energiemarkten en

energiebeleid op elkaar inwerken. Op basis van de verworven inzichten worden in het slothoofdstuk van het boek concrete tips gegeven aan energiegebruikers, bedrijven, organisaties en overheden voor het op een effectieve en doelmatige manier bijdragen aan vermindering van CO<sub>2</sub>-emissies.

Deel I richt zich op de vraag waarom energietransitie verstandig is. Ook al lijkt het inmiddels vanzelfsprekend dat we moeten werken aan verandering van het energiesysteem zodat er minder fossiele energie wordt gebruikt, toch is het goed eerst stil te staan bij de vraag waarom we dit eigenlijk willen. Soms verschijnen er berichten in de media waarin mensen zeggen dat energietransitie vreselijk veel kost en dat het voor Nederland weinig oplevert. Is dat wel zo? Wat zijn eigenlijk de kosten van energietransitie? En wat zijn de baten?

In Deel II richten we ons op de manier waarop de energietransitie gerealiseerd kan worden. In het verleden waren energiesystemen centraal georganiseerd en had de overheid een directe invloed op hoeveel en op welke manier de energie werd geproduceerd, maar enkele decennia geleden zijn de energiesystemen geliberaliseerd. In hoeverre passen energiemarkten bij de opgaves voor energietransitie? Op welke manier kan de overheid nog invloed uitoefenen om de energiesystemen bij te sturen in de gewenste richting?

In Deel III gaan we dieper in op verschillende manieren waarop de overheid de energietransitie kan stimuleren, en we bespreken hoe effectief en doelmatig deze zijn. Aan de orde zullen onder meer komen subsidies voor energiebesparing en voor hernieuwbare energie, belastingen op energie, emissiehandel, en systemen van groene-energiecertificaten.

Vervolgens kijken we in Deel IV naar energiesystemen van de toekomst. In de toekomst zullen we ook energie blijven gebruiken en waarschijnlijk nog veel meer dan nu. Om verdere klimaatverandering tegen te gaan moet die energie wel op een emissievrije manier worden gebruikt. De vraag is onder meer hoe we onze huizen en gebouwen gaan verwarmen? Welke rol is er, naast voor warmtepompen, weggelegd voor warmtenetten? Veel wordt er verwacht van waterstof als schone energiedrager, maar hoe realistisch is dat? De vraag naar elektriciteit zal niet alleen door de productie van waterstof sterk toenemen, maar ook doordat we meer elektrisch gaan rijden en onze huizen en andere gebouwen via (elektrische) warmtepompen gaan verwarmen. Hebben we hiervoor voldoende hernieuwbare elektriciteit? En wat te denken van kernenergie als een CO<sub>2</sub>-vrije bron?

In Deel V ten slotte, verbreden we ons perspectief, en kijken we ook naar andere belangrijke aspecten van de energievoorziening. Het is duidelijk dat energie schoner moet, maar we willen tegelijkertijd ook dat de betrouwbaarheid van de energievoorziening hoog blijft en dat energieprijzen betaalbaar zijn. Hoe kun je al deze wensen tegelijkertijd realiseren? Is dat überhaupt mogelijk? En

zullen toekomstige energiesystemen net zo internationaal zijn als nu, of worden ze meer kleinschalig?

Bij de beantwoording van al de bovenstaande vragen baseer ik me vooral op de inzichten die ik zelf in de loop der jaren, in mijn diverse functies, heb opgedaan. Het is daarmee ook een persoonlijk boek, en niet zozeer een wetenschappelijk boek, waarin elke bewering vergezeld gaat van referenties naar literatuur. Toch geef ik wel op diverse plekken mijn bronnen aan of verwijs ik door naar literatuur, om zo ook de lezer te helpen om zelf bepaalde onderdelen verder te bestuderen. Het beter gaan snappen van energietransitie is immers een activiteit die hopelijk door zal blijven gaan, ook na het lezen van dit boek.



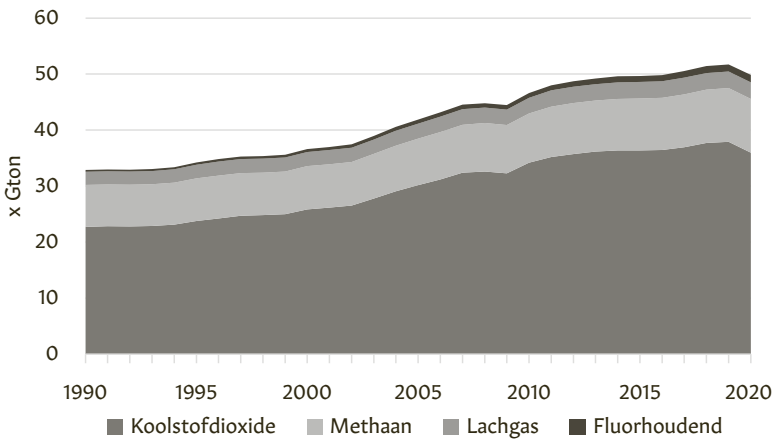
## 2

# Energietransitie is onmisbaar om verdere klimaatverandering tegen te gaan

Ongeveer 75% van de totale uitstoot van de broeikasgassen komt door het gebruik van fossiele energie. Het gaat dan met name om CO<sub>2</sub>, maar ook om methaan (CH<sub>4</sub>) en lachgas (N<sub>2</sub>O). De mondiale uitstoot van broeikasgassen is de afgelopen eeuw sterk gestegen en dan vooral de laatste decennia, hoewel het coronajaar 2020 een (tijdelijke) daling liet zien (zie Figuur 2.1). Deze gassen blijven heel lang bestaan in de atmosfeer. CO<sub>2</sub> kan wel honderden jaar in de atmosfeer blijven voordat het wordt afgebroken. De toename van de concentratie is dan ook het resultaat van alle emissies die de afgelopen eeuwen en met name de afgelopen decennia hebben plaatsgevonden. Door deze toegenomen concentratie is de gemiddelde temperatuur in de wereld gestegen. De stijging in de gemiddelde temperatuur maakt het klimaat veel grilliger: er komen meer stormen, meer en langere periodes van droogte en meer en langere periodes van overvloedige regenval. Om verdere klimaatverandering in de toekomst tegen te gaan, moeten daarom zo snel mogelijk de emissies van broeikasgassen worden verlaagd. Deze verlaging zal leiden tot een vermindering van de concentratie van broeikasgassen in de atmosfeer en dat zal op termijn leiden tot minder opwarming en klimaatverandering. Door de lange levensduur van deze gassen in de atmosfeer is het helaas ook zo dat de concentratie nog jarenlang hoog blijft, zelfs als we erin zouden slagen om de emissies nu volledig naar nul te brengen.

Omdat het gebruik van fossiele energie in belangrijke mate verantwoordelijk is voor de uitstoot van broeikasgassen, is het noodzakelijk om energiesystemen zo snel mogelijk fundamenteel te veranderen. Deze veranderingen in energiesystemen noemen we energietransitie. Het belang van energietransitie voor het aanpakken van het klimaatprobleem is hiermee duidelijk aangegeven. Dit is echter gemakkelijker gezegd dan gedaan. Er zijn vele hordes te nemen om het gebruik van fossiele energie sterk te doen verminderen.

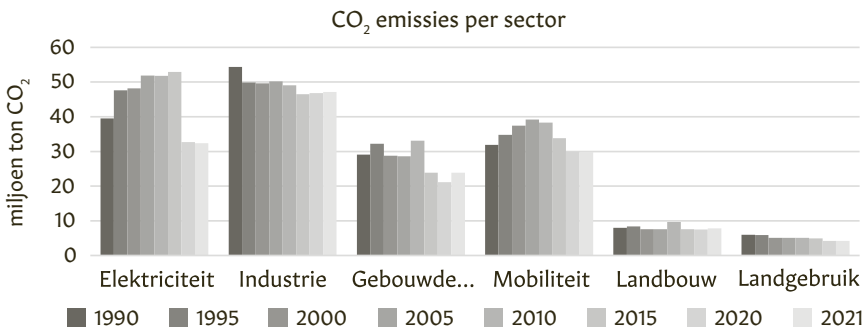
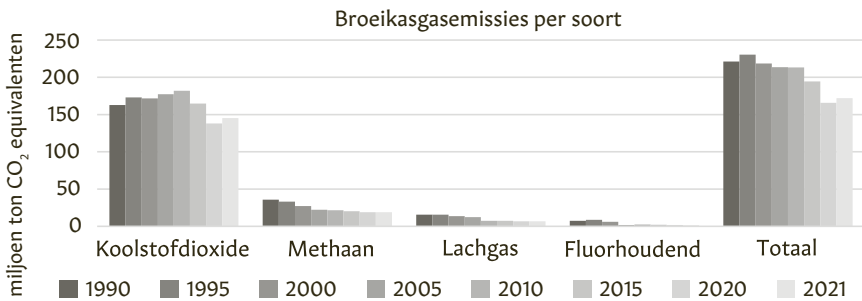
In Nederland zijn sinds 1990 de totale emissies van broeikasgassen omlaag gebracht van 220 Mton (miljoen ton) tot ca. 172 Mton in 2021. Aanvankelijk vond die daling alleen plaats bij methaan, lachgas en fluorhoudende gassen en niet bij CO<sub>2</sub> (zie Figuur 2.2). Integendeel, die laatste emissies stegen zelfs in de periode 1990 tot 2010, ondanks alle maatregelen die overheden, bedrijven en burgers ook in die periode al namen. Sinds 2010 zien we echter een sterke daling bij de CO<sub>2</sub>-emissies. Een decennium geleden waren die nog ca. 180 Mton maar inmiddels



FIGUUR 2.1

### Wereldwijde uitstoot van broeikasgassen naar soort, 1990-2020

Bron: PBL (2022); noot: Gton staat voor gigaton, wat gelijk is aan 1000 megaton, oftewel 1 miljard ton



FIGUUR 2.2

### Broeikasgasemissies per soort en sector, Nederland, 1990-2021

Bron: PBL 2022, *Klimaat- en energieverkenning 2022*

In de zomer van 2019 publiceerde ECN/TNO (2019) een rapport waarin werd geconcludeerd dat de energietransitie voor veel banen zal zorgen. Er zijn immers vakmensen nodig bij het van het aardgas afhalen van woningen, omdat woningen moeten worden geïsoleerd, warmtepompen geïnstalleerd en nieuwe warmtenetten aangelegd. Ook komen er banen bij voor de bouw van windmolens en zonneparken, de aanleg van extra infrastructuur voor elektriciteit en de bouw van waterstoffabrieken, om maar een paar voorbeelden te noemen. Daartegenover staat dat er ook banen zullen verdwijnen bij de productie en verwerking van fossiele energie, zoals bij kolencentrales. Deze onderzoekers schatten dat er per saldo toch zo'n 39 tot 72.000 voltijdsbanen bij zullen komen wanneer de ambities van het klimaatakkoord worden gerealiseerd. Hoe moeten we deze extra banen nu beoordelen? Zijn dit zonder meer baten voor de maatschappij?

Om zulke schattingen over effecten van de energietransitie op de werkgelegenheid te kunnen begrijpen, moeten we vooral bedenken wat de betrokken mensen anders zouden doen. Het klopt dat energietransitie grote gevolgen kan hebben voor de werkgelegenheid en de aard van de bedrijvigheid (minder in de fossiele en meer in de hernieuwbare industrie), maar al deze veranderingen zijn op zichzelf niet zonder meer als maatschappelijke baten te beschouwen. Extra vraag naar arbeidskrachten in de energietransitie betekent vooral dat arbeidskrachten schaarser worden, waardoor de lonen omhoog kunnen gaan. Hierdoor zullen in sommige andere bedrijfstakken ondernemers besluiten wat minder mensen aan te nemen. Per saldo leidt energietransitie daarom vooral tot een verplaatsing van werkgelegenheid, niet alleen vanuit de fossiele-energie activiteiten naar groene-energieactiviteiten, maar ook vanuit andere sectoren waar ze duurdere arbeidskrachten niet meer kunnen betalen (zie Kader 3.1).

De baten van energietransitie moeten we dus niet zozeer zoeken in het aantal mensen dat een baan vindt in de energietransitie, maar in de kosten die we vermijden doordat we minder klimaatverandering zullen hebben. Als we de emissies niet omlaag zouden brengen, dan zullen we meer kosten moeten maken om de maatschappij aan te passen aan klimaatverandering. Zulke aanpassingen zullen bestaan uit een palet aan maatregelen, zoals het verhogen van de dijken bij rivieren en het vasthouden van zoet water om landbouw en natuur in droge perioden van water te kunnen voorzien. Dichter bij huis kun je denken aan het aanbrenge van een groene gevel om je woning te beschermen tegen hitte, terwijl diezelfde maatregel ook nog isoleert in de winter. De kosten van al deze aanpassingen zijn aanzienlijk. Zo worden, afhankelijk van het klimaatscenario, de