

# Duurzame Energietechniek

## Technologie voor de energietransitie

Vijfde, geheel herziene druk

*Onder redactie van:*

**ir. Trynke Papa (coördinator)**  
**dr. ir. Richard van Leeuwen**  
**drs. Jan de Geus**  
**dr. ir. Bram Entrop**  
**ir. John Bernard**

*Met bijdragen van:*

**dr. ir. Ballard Asare-Bediako, dr. ir. Stefan Blankenburg**  
**Rik Catau MSc, dr. ir. Jack Doomernik**  
**dr. ir. Bram Entrop, drs. Jan de Geus**  
**dr. ir. Aart-Jan de Graaf, dr. ir. Richard van Leeuwen**  
**dr. Hugo de Moor, ir. Joop Ouwehand**  
**ir. Trynke Papa, Gerco Pijffers MSc**  
**dr. ir. Edwin Tazelaar, ir. Edo Wissink**

*Met medewerking van:*

**dr. ir. Jan-Jaap Aué**  
**dr. ir. ing. Jacob van Berkel**  
**dr. ir. Stefan van Sterkenburg**

**Boom**

## Woord vooraf

Duurzame energie is de energie van de toekomst. Dat komt doordat er grote risico's kleven aan onze huidige energievoorziening, die hoofdzakelijk geproduceerd wordt met fossiele brandstoffen, zoals aardolie, aardgas en steenkool.

Duurzame energiebronnen zijn energiebronnen die er altijd zullen zijn, zoals waterkracht, bio-energie, windenergie en zonne-energie. In tegenstelling tot fossiele energiebronnen dragen duurzame energiebronnen niet tot nauwelijks bij aan de emissie van broeikasgassen. De mogelijkheden om duurzame energiebronnen te gebruiken, zijn over de hele wereld ongeveer in gelijke mate aanwezig. Het beleid in veel landen, en zeker ook het Europees beleid, is erop gericht het benutten van duurzame energiebronnen de komende decennia sterk uit te breiden. Veel bedrijven zien in de toepassing van duurzame energie kansen voor nieuwe producten en diensten.

In dit boek komen alle duurzame energiebronnen aan bod. Ieder hoofdstuk behandelt de basisprincipes, maar ook de praktische toepassingsmogelijkheden in allerlei situaties. Er zijn rekenvoorbeelden en praktijkvoorbeelden opgenomen die toepassing van duurzame energie verduidelijken. Aan het eind van het boek, in deel E, wordt de samenhang duidelijk van alle duurzame energieopties en -maatregelen, de toekomstverwachtingen en ontwikkeling van scenario's. Een volledig duurzaam energiesysteem kent namelijk niet een oplossing maar een samenhangende integratie van oplossingen waarin veel meer dan we gewend zijn, energie wordt omgezet in verschillende energiedragers.

Duurzame energietechniek is in eerste instantie bedoeld voor studenten in het hoger onderwijs. Daarnaast is het geschikt voor tal van andere geïnteresseerden, bijvoorbeeld als zij in hun beroepspraktijk met duurzame energie te maken krijgen. Voor begrip van de meeste behandelde stof is een algemene, natuurwetenschappelijke achtergrond op havo- of vwo-niveau genoeg. Voor sommige onderdelen – dat geldt met name voor de behandeling van de principes van zonnearmsystemen en warmtepompen – is de stof alleen volledig te begrijpen met aanvullende basiskennis op het gebied van warmte- en stromingsleer en thermodynamica.

Dit boek sluit goed aan op *Toegepaste Energietechniek*, dat de belangrijkste soorten energietechnische toepassingen, apparaten en systemen behandelt en dat ook wordt gebruikt in het hoger onderwijs. Maar het beheersen van de stof in *Toegepaste Energietechniek* is niet nodig voor dit boek. Wel geven beide boeken samen een compleet beeld van de belangrijkste technologieën voor onze huidige energievoorziening.

Duurzame energie is wereldwijd in ontwikkeling. Dit boek beschouwt de perspectieven dan ook mondiaal. Wel is het geschreven voor het Nederlandse taalgebied; voorbeelden zijn vaak afkomstig uit Nederland of België. Ook veel statistische gegevens en beschouwingen over energiebeleid richten zich op de Europese Unie, of meer specifiek op Nederland of België.

De literatuur bij de hoofdstukken staat achter in het boek. Op de website zijn de hyperlinks naar bronnen opgenomen, om van daaruit direct door te klikken naar de bron.

Dit boek is in de Nederlandse taal geschreven. Daarom hebben we ook in figuren anderstalige termen zo veel mogelijk vermeden, behalve als de betreffende termen zeer gangbaar zijn. Dit boek bevat om deze reden toch een flink aantal figuren met Engelstalige terminologie.

Deze vijfde druk is ingrijpend gewijzigd ten opzichte van de vierde druk. De inhoud is geactualiseerd en de indeling is veranderd. Ook zijn er belangrijke nieuwe hoofdstukken toegevoegd. Een uitgebreidere toelichting hierop staat in de leeswijzer.

Aan deze vijfde druk hebben meegewerkt:

- dr. ir. Ballard Asare-Bediako**, hoofddocent en onderzoeker, HAN | hoofdstuk 14  
(elektriciteitstransport en -distributie)
- dr. ir. Jan-Jaap Aué**, lector Energietransitie, Hanzehogeschool Groningen | meelezers hoofdstuk 16, gastransport en -distributie
- dr. ir. ing. Jacob van Berkel**, lector Delta Power, HZ Vlissingen (meelezers hoofdstukken 1, 2, 3, 5, 17 en 18)
- ir. John Bernard**, docent en coördinator post-hbo-opleidingen engineering / duurzame energie, HAN | redactie
- dr. ir. Stefan Blankenburg**, Enki Energy | hoofdstuk 8 (energie uit biomassa)
- Rik Catau MSc**, docent en onderzoeker bij het lectoraat Duurzame Energie, HAN | hoofdstuk 10 (elektrische opslagtechnologieën)
- dr. ir. Jack Doomernik**, lector Smart Energy, Expertisecentrum Technische Innovatie (ETI), Avans | hoofdstuk 10 (elektrische opslagtechnologieën)
- dr. ir. Bram Entrop**, associate lector Duurzame leefomgeving, Saxion | hoofdstuk 1 (energiegebruik), 2 (energievoorziening), 3 (energiebeleid) en 12 (warmteopslagsystemen) / redactie
- drs. Jan de Geus**, docent, Saxion | hoofdstuk 6 (elektriciteit uit zonne-energie) en 9 (geothermische energie) / redactie
- dr. ir. Aart-Jan de Graaf**, lector Meet- en regeltechniek, HAN | hoofdstuk 14 (elektriciteitstransport en -distributie)
- dr. ir. Richard van Leeuwen**, lector Duurzame energievoorziening, Saxion | hoofdstuk 17 (systeemintegratie van duurzame energiebronnen) en 18 (energietransitiescenario's) / redactie
- dr. Hugo de Moor**, onderzoeker lectoraat Smart Energy, Avans | hoofdstuk 10 (elektrische opslagtechnologieën)
- ir. Joop Ouwehand**, gepensioneerd docent energietechniek, Saxion | hoofdstuk 7 (thermische benutting van zonne-energie)
- ir. Trynke Papa**, docent (thermische) werktuigbouwkunde en onderzoeker bij het lectoraat Duurzame Energievoorziening, Saxion | hoofdstuk 4 (windenergie), 5 (energie uit water) en 15 (warmtetransport en -distributie) / redactiecoördinator
- Gerco Pijffers MSc**, docent/onderzoeker bioprocesstechnologie bij het lectoraat Duurzame energievoorziening, Saxion | hoofdstuk 8 (energie uit biomassa)
- dr. ir. Stefan van Sterkenburg**, onderzoeker, HAN | meelezers hoofdstuk 10 (elektrische opslagtechnologieën)
- dr. ir. Edwin Tazelaar**, technisch directeur HyMatters; gastdocent HAN | hoofdstuk 11 (waterstoftechnologie) en 16 (gastransport en -distributie)
- ir. Edo Wissink**, onderzoeker, WUR | hoofdstuk 13 (warmtepompen)

Nog altijd voelen wij ons schatplichtig aan **Wim Gilijamse**, die in 2012 overleed. Wim heeft veel betekend voor de ontwikkeling van duurzame energie in Nederland. Hij heeft een belangrijke bijdrage geleverd aan de eerste drukken van dit boek.

*Redactie Duurzame energietechniek, 5<sup>e</sup> editie  
April 2020*

# Inhoud

## Woord vooraf

## Symbolenlijst

## Leeswijzer

## Deel A Inleiding

### 1 Energiegebruik

- 1.1 Inleiding
- 1.2 Begrippen uit de energieleer
- 1.3 Internationaal energiegebruik
  - 1.3.1 Mondiaal energiegebruik
  - 1.3.2 Europees energiegebruik
- 1.4 Nationaal energiegebruik
  - 1.4.1 Energiegebruik industriesector
  - 1.4.2 Energiegebruik diensten- en consumentensector
  - 1.4.3 Energiegebruik agrarische sector
  - 1.4.4 Energiegebruik mobiliteitssector
- 1.5 Reduceren energiegebruik
- 1.6 Opgaven

### 2 Energievoorziening

- 2.1 Inleiding
- 2.2 Energieconversie
- 2.3 Fossiele energiebronnen
  - 2.3.1 Steenkool
  - 2.3.2 Aardolie
  - 2.3.3 Aardgas
- 2.4 Kernenergie
- 2.5 Duurzame energiebronnen
- 2.6 Effectieve en efficiënte energievoorziening
- 2.7 Opgaven

### 3 Energiebeleid

- 3.1 Inleiding
- 3.2 Internationaal en Europees duurzaamheids- en energiebeleid
- 3.3 Nationaal duurzaamheids- en energiebeleid
- 3.4 Wet- en regelgeving
- 3.5 Financiële beleidsinstrumenten
- 3.6 Onderzoek, voorlichting en demonstratie
- 3.7 Opgaven

### 4 Windenergie

- 4.1 Inleiding
- 4.2 Windsnelheid
  - 4.2.1 Snelheidsprofiel
  - 4.2.2 Windsnelheidsverdeling
- 4.3 Vermogenslevering uit wind
  - 4.3.1 Energie in de wind
  - 4.3.2 Energieverliezen en aerodynamisch rendement
  - 4.3.3 Vermogen
  - 4.3.4 Opbrengst windturbine
- 4.4 Windturbines
  - 4.4.1 Typen turbines
  - 4.4.2 Werking windtrbine
  - 4.4.3 Afmetingen
  - 4.4.4 Vermogensregeling
  - 4.4.5 Grote windturbines
  - 4.4.6 Kleine windturbines
- 4.5 Windparken
- 4.6 Offshore windenergie
  - 4.6.1 Ontwerpeisen voor offshore windturbines
  - 4.6.2 Fundering en installatie en drijvende windturbines
  - 4.6.3 Netkoppeling van offshore windparken
  - 4.6.4 Exploitatie en onderhoud
  - 4.6.5 Offshore windenergie in Noordwest-Europa
- 4.7 Lokale effecten
  - 4.7.1 Geluid
  - 4.7.2 Vogels
  - 4.7.3 Schaduw
  - 4.7.4 Landschappelijke inpassing
  - 4.7.5 Veiligheid
- 4.8 Economische aspecten
- 4.9 Toekomstige ontwikkelingen
- 4.10 Opgaven

### 5 Energie uit water

- 5.1 Inleiding
- 5.2 Waterkracht
  - 5.2.1 Basisvergelijkingen
  - 5.2.2 Verliezen en rendementen
  - 5.2.3 Waterturbines
  - 5.2.4 Toepassingen in grootschalige waterkrachtinstallaties
  - 5.2.5 Kleinschalige waterkracht
  - 5.2.6 Waterkracht in Nederland en België
- 5.3 Golfenergie
- 5.4 Energie uit getijden
  - 5.4.1 Opwekken van getijdenenergie met behulp van bassins
  - 5.4.2 Opwekken van getijdenenergie door het benutten van de getijdenstromingen
- 5.5 Blauwe energie

- 5.5.1 Osmotische druk, het PRO-proces
- 5.5.2 Omgekeerde dialyse, het RED-proces
- 5.5.3 Vergelijking PRO met RED
- 5.5.4 Blauwe energie in Nederland
- 5.6 Energie uit temperatuurverschillen in de oceaan
- 5.7 Toekomstige ontwikkelingen
- 5.8 Opgaven

## **6 Elektriciteit uit zonne-energie**

- 6.1 Inleiding
- 6.2 Fotovoltaïsche energie – principe
  - 6.2.1 Achtergrond
  - 6.2.2 Licht op materie
  - 6.2.3 Licht in zonnecellen, reflectie, transmissie, absorptie
  - 6.2.4 Zonnecellen
  - 6.2.5 Materialen
  - 6.2.6 Diodewerking
  - 6.2.7 P/N-overgang
  - 6.2.8 Opbouw zonnecel
  - 6.2.9 Werking zonnecel
  - 6.2.10 Energieopbrengst
  - 6.2.11 Verliezen
  - 6.2.12 Verschillende typen zonnecellen
- 6.3 Fotovoltaïsche energie – zonnepanelen en -systemen
  - 6.3.1 Van zonnecel naar zonnepaneel
  - 6.3.2 Van paneel naar systeem
- 6.4 PV-systemen in de praktijk
  - 6.4.1 Installatie PV-systemen
  - 6.4.2 Onderhoud
  - 6.4.3 Exploitatie
- 6.5 Kunststof en andere alternatieve zonnecellen
- 6.6 Saldering
- 6.7 Concentrated solar power
- 6.8 Vooruitzichten
- 6.9 Opgaven

## **7 Thermische benutting van zonne-energie**

- 7.1 Inleiding
- 7.2 Zonnecollectoren voor warm tapwater en verwarming
  - 7.2.1 Vlakke collectoren
  - 7.2.2 Warmtebalans collector en optredende verliezen
  - 7.2.3 Thermische en optische eigenschappen absorber
  - 7.2.4 Thermische en optische eigenschappen afdekking
- 7.3 Concentrerende collectoren
  - 7.3.1 Concentratiefactor
  - 7.3.2 Rendementsvergelijking vlakke en CPC-collectoren
- 7.4 Ontwerp zonneboilers
  - 7.4.1 Ontwerpregels zonneboilerinstallaties
  - 7.4.2 Bepaling warmwatervraag
  - 7.4.3 Systemconfiguratie en regeling zonneboilers

- 7.4.4 Collectorselectie en dimensionering
- 7.4.5 Buffervaten
- 7.4.6 Pompen, regeling en beveiliging zonneboilers
- 7.4.7 Systeemverliezen en systeemrendement
- 7.5 Energiebijdrage zonneboiler
  - 7.5.1 Zonstraling op een plat vlak
  - 7.5.2 Zonnestraling op vlakken met verschillende oriëntatie
  - 7.5.3 Opbrengstberekeringen van zonneboilers
- 7.6 Toepassingen zonneboilersystemen
  - 7.6.1 Zonneboiler voor warm tapwater
  - 7.6.2 Zonneboilersystemen voor flatgebouwen
  - 7.6.3 Zonnegascombi voor verwarming en warm tapwater
- 7.7 Koelen met zonne-energie
- 7.8 Opgaven

## **8 Energie uit biomassa**

- 8.1 Inleiding
- 8.2 Beschikbaarheid verschillende soorten biomassa
- 8.3 Samenstelling biomassa
- 8.4 Energie-inhoud biomassa
  - 8.4.1 Energiebalans energiegewassen
  - 8.4.2 Inputenergie energiegewassen
- 8.5 Verwerkingsenergie
  - 8.5.1 Verwerkingsenergie bij droge biomassastromen
  - 8.5.2 Verwerkingsenergie bij natte biomassastromen
- 8.6 Berekening energiebalans
- 8.7 Bio-energie uit afvalstromen
- 8.8 Bewerkings- en verwerkingsmethodes biomassa
  - 8.8.1 Directe verbranding hout
  - 8.8.2 Pyrolyse van hout
  - 8.8.3 Fermentatie
  - 8.8.4 Vergisting
  - 8.8.5 Vergassing
- 8.9 Energiedragers
- 8.10 Vloeibare brandstoffen
- 8.11 Aquatische biomassa
- 8.12 Opgaven

## **9 Geothermische energie**

- 9.1 Inleiding
- 9.2 Indeling geothermische energie
- 9.3 Potentieel geothermische energie
- 9.4 Geothermische systemen
  - 9.4.1 Overzicht
  - 9.4.2 Elektriciteit en warmte
  - 9.4.3 Directe stoombenutting
  - 9.4.4 Voorbehandeling en geothermische warmtebenutting
  - 9.4.5 Geslotenkringinstallaties
  - 9.4.6 Geothermische WKK-koppeling
  - 9.4.7 Benutting voor verwarmingsdoeleinden

- 9.4.8 Alternatieve geothermische systemen
- 9.5 Toepassing in Nederland
- 9.6 Milieuverontreiniging
- 9.7 Vooruitzichten
- 9.8 Opgaven

## **Deel C Energieopslag en -conversie**

### **10 Elektrische opslagtechnologieën**

- 10.1 Inleiding
  - 10.1.1 Flexibiliteit
  - 10.1.2 Netwerkcapaciteit
  - 10.1.3 Elektrische opslag
  - 10.1.4 Keuze opslagtechnologieën
- 10.2 Karakterisering elektrische opslagtechnologieën
  - 10.2.1 Energieprestatie
  - 10.2.2 Maturiteit
  - 10.2.3 Schaalbaarheid
  - 10.2.4 Kosten
  - 10.2.5 Duurzaamheid
  - 10.2.6 Veiligheid
- 10.3 Mechanische energieopslag
  - 10.3.1 Pompaccumulatie (hydro)
  - 10.3.2 Luchtcompressie
  - 10.3.3 Vliegwielen
- 10.4 Elektrochemische energieopslag in batterijen
  - 10.4.1 Lood-zuur-batterij
  - 10.4.2 Lithium-ion-batterijen
  - 10.4.3 Nikkel-Metaalhydride en Nikkel-Cadmium batterijen
  - 10.4.4 Natrium-zwavel- en lithium-zwavel-batterijen
  - 10.4.5 Metaal-lucht-batterij
  - 10.4.6 Redox-flow-batterij
  - 10.4.7 Zink-kool en alkalische batterijen
- 10.5 Elektrofysische energieopslag
  - 10.5.1 Elektromagnetische opslag
  - 10.5.2 Supercondensatoren
- 10.6 Implementatie nieuwe opslagconcepten
  - 10.6.1 Opslagsystemen gekoppeld aan elektriciteitsnet
  - 10.6.2 Energie-eiland
  - 10.6.3 Energieopslag voertuigbatterijen
  - 10.6.4 Energieopslagsystemen autonome systemen
- 10.7 Opgaven

### **11 Waterstoftechnologie**

- 11.1 Inleiding
- 11.2 Historisch perspectief
- 11.3 Rol waterstof in duurzaam energiesysteem
- 11.4 Toepassingen
  - 11.4.1 Markten en functies



- 11.4.2 Industrie
- 11.4.3 Mobiliteit
- 11.4.4 Gebouwde omgeving en energie-infrastructuur
- 11.5 Techniek
  - 11.5.1 Verbranding
  - 11.5.2 Brandstofcellen
  - 11.5.3 Elektrolyse
  - 11.5.4 Opslag
  - 11.5.5 Compressie
- 11.6 Veiligheid
- 11.7 Toekomst
- 11.8 Opgaven

## **12 Warmteopslagsystemen**

- 12.1 Inleiding
- 12.2 Fysische uitgangspunten warmteopslagsystemen
- 12.3 Actieve voelbare warmteopslagsystemen
  - 12.3.1 Kleinschalige actieve warmteopslagsystemen
  - 12.3.2 Grootschalige actieve warmteopslagsystemen
  - 12.3.3 Middellange- en langetermijnopslag
  - 12.3.4 Lagetemperatuur-warmteopslag in de bodem
  - 12.3.5 Lucht als medium in warmteopslagsysteem
- 12.4 Latente warmteopslagsystemen
  - 12.4.1 Eigenschappen Phase Change Materials
  - 12.4.2 Uitvoeringsvarianten Phase Change Materials
  - 12.4.3 Toepassingen latente warmteopslagsystemen
- 12.5 Chemische warmteopslag
- 12.6 Opgaven

## **13 Warmtepompen**

- 13.1 Inleiding
- 13.2 Werking warmtepomp
- 13.3 Warmtefactor warmtepomp
  - 13.3.1 Maximaal theoretische warmtefactor: Carnot-factor
  - 13.3.2 Warmtefactor thermisch aangedreven warmtepomp
- 13.4 Soorten warmtepompen
  - 13.4.1 Elektrisch aangedreven compressiewarmtepomp
  - 13.4.2 Gasmotor-aangedreven warmtepomp (GMWP)
  - 13.4.3 Thermisch aangedreven warmtepomp (ad- en absorptiesystemen)
  - 13.4.4 Mechanische en thermische damprecompressie
- 13.5 Ontwerp warmtepompsysteem
  - 13.5.1 Bronsysteem
  - 13.5.2 Afgiftesysteem
  - 13.5.3 Ontwerpvermogen en warmtebuffering
- 13.6 Veiligheid & milieu
  - 13.6.1 Arbeidsmedia
  - 13.6.2 Trilling en geluid
- 13.7 Toekomstverwachtingen
- 13.8 Opgaven

## Deel D Energietransport en -distributie

### 14 Elektriciteitstransport en -distributie

- 14.1 Inleiding
- 14.2 Achtergrondtheorie
  - 14.2.1 Enkelfasesysteem
  - 14.2.2 Driefasesysteem
  - 14.2.3 Powerfactor ( $\cos \phi$ )
  - 14.2.4 Vermogenstransport
  - 14.2.5 Elektriciteitsbelasting
- 14.3 Technologie en techniek
  - 14.3.1 Historie
  - 14.3.2 Netten
  - 14.3.3 Stations
  - 14.3.4 Componenten
- 14.4 Modelvorming en monitoring
  - 14.4.1 Vereenvoudigde modellen van de netten
  - 14.4.2 Monitoring overbelasting en gelijktijdigheid van belasting
  - 14.4.3 Monitoringinfrastructuur voor bewaking en uitlezing (terug)levering
- 14.5 Nieuwe ontwikkelingen
  - 14.5.1 Belangrijkste verschijnselen
  - 14.5.2 Effecten op het elektriciteitset
- 14.6 Opgaven

### 15 Warmtetransport en -distributie

- 15.1 Inleiding
- 15.2 Basisonderdelen warmtenet
  - 15.2.1 Bronnen warmtenet
  - 15.2.2 Warmtevragers
  - 15.2.3 Distributienet
  - 15.2.4 Regeling
- 15.3 Voor- en nadelen warmtenetten
- 15.4 Warmtenetgeneraties en temperatuurniveaus
  - 15.4.1 Generaties warmtenetten
  - 15.4.2 Temperatuurniveaus warmtenetten
- 15.5 Gebiedsaspecten
- 15.6 Distributieverliezen
- 15.7 Duurzaamheid warmtenet
  - 15.7.1 Kentallen
  - 15.7.2 Inzet buffers ter vergroting aandeel duurzame energie
- 15.8 Koudenetten
- 15.9 Toekomstige ontwikkelingen: slimme warmtenetten
- 15.10 Opgaven

### 16 Gastransport en -distributie

- 16.1 Inleiding
- 16.2 De Nederlandse aardgasinfrastructuur
- 16.3 Relevantie gas in duurzaam energiesysteem
- 16.4 Duurzame gassen
  - 16.4.1 Biogas

- 16.4.2 Stortgas
- 16.4.3 Waterstof
- 16.4.4 Methaan (synthetisch)
- 16.5 Waterstof door aardgasleidingen
- 16.6 Groene waterstof
  - 16.6.1 Wind op zee
  - 16.6.2 Lokale productie
  - 16.6.3 Import
  - 16.6.4 Kernenergie
- 16.7 Opgaven

## **Deel E Energietransitie**

### **17 Systeemintegratie van duurzame energiebronnen**

- 17.1 Inleiding
- 17.2 Beperkte capaciteit energienetwerken
- 17.3 Toenemende elektrificatie energiegebruik
- 17.4 Toenemende complexiteit door systeemintegratie
- 17.5 Terugverdienen flexibiliteitsopties
- 17.6 Onduidelijkheid over de eindoplossingen
- 17.7 Onduidelijke beleidslijnen: regie
- 17.8 Nabeschouwing
- 17.9 Opgaven

### **18 Energietransitiescenario's**

- 18.1 Inleiding
- 18.2 Huidige situatie
- 18.3 Relevante ontwikkelingen
- 18.4 Duurzame energieopties
- 18.5 Energietransitiescenario's
- 18.6 Voorbeelden energietransitiescenario's
  - 18.6.1 VS: 100% duurzaam in 2050
  - 18.6.2 Energietransitie: scenario EU 2050
  - 18.6.3 Nederlandse energietransitiescenario's
- 18.7 Modelvorming energietransitiescenario's
  - 18.7.1 Analyse jaartotalen
  - 18.7.2 Analyse uurwaarden
- 18.8 Nabeschouwing
- 18.9 Opgaven

### **Literatuur**

### **Register**

## Leeswijzer

Dit boek behandelt de principes van duurzame energie en de mogelijkheden om deze te benutten. Als rode draad hanteren we de energietransitie: de enorme uitdaging die we met z'n allen hebben om in de komende decennia over te schakelen van een fossiele energievoorziening naar een duurzame energievoorziening. We hebben het boek daarom opgedeeld in vijf delen. In deze leeswijzer zullen we per deel, en waar nodig per hoofdstuk, aangeven welk niveau van voorkennis nodig is om de stof te kunnen begrijpen en toepassen. Het boek is in de eerste plaats geschreven voor mensen met een technische of fysieke hbo-opleiding of vergelijkbare achtergrond. Veel onderwerpen zijn echter ook voor niet technisch opgeleiden geschikt.

Elk hoofdstuk wordt afgesloten met opgaven, onderverdeeld in kennisvragen en analysevragen. We raden je aan om deze opgaven te maken nadat je de stof goed bestudeerd hebt.

Bij het boek hoort een website, waar je per hoofdstuk aanvullende informatie vindt, zoals de uitwerkingen van de analysevragen, links naar websites en filmpjes, cases en verdiepende informatie. Voor de antwoorden op de kennisvragen kun je bij je docent terecht.

### **Deel A Inleiding**

Deel A is voor eenieder die geïnteresseerd is in duurzame energie. In dit deel lees je wat we verstaan onder duurzaamheid en energietechniek. Het geeft inzicht in het huidige energiegebruik en de huidige energievoorziening in de wereld, en in Nederland in het bijzonder. Overheidsbeleid heeft een enorme invloed op hoe wij als maatschappij aan onze energiebehoefte voldoen en wat dat kost. Energiebeleid maakt daarom ook deel uit van de inleiding. In het eerste hoofdstuk van dit deel krijg je uitleg over allerlei algemene energiebegrippen.

### **Deel B Energieproductie**

In deel B krijg je informatie over de verschillende hernieuwbare bronnen voor energie. In de eerste drie hoofdstukken van dit deel ligt de nadruk op bronnen die ten grondslag liggen aan elektrische energie (uit wind, water en zon). De laatste drie hoofdstukken gaan over duurzame bronnen van vooral thermische energie (uit zon, biomassa en geothermie). Deze hoofdstukken kun je ook goed volgen als je niet technisch geschoold bent. Paragrafen die wel meer voorkennis vereisen, kun je overslaan, zonder dat je daardoor de rode draad kwijtraakt.

### **Deel C Energieopslag en -conversie**

De hoofdstukken in deel C gaan over mogelijkheden om vraag en aanbod enerzijds in de tijd en anderzijds qua energievorm op elkaar af te stemmen. De inzet van hernieuwbare bronnen maakt in veel gevallen opslag nodig van energie in een of andere vorm. Voorafgaand aan of na het opslaan van de energievorm moet dan weer conversie plaatsvinden, hetzij voor opslag, hetzij voor efficiënt en effectief gebruik. In deel C gaat het achtereenvolgens over elektrische opslag, waterstoftechnologie, warmteopslagsystemen en warmtepompen. Alhoewel de stof af en toe technisch flink de diepte in gaat, zijn de hoofdstukken ook goed te volgen met minder technische kennis. Om het hoofdstuk over warmtepompen in z'n geheel goed te begrijpen, moet je beschikken over thermodynamische kennis.

### **Deel D Energietransport en-distributie**

Deel D behandelt elektriciteitstransport- en distributie, warmtenetten, en gastransport- en distributie. De hoofdstukken over warmtenetten en het gastransport zijn met minder vakkennis

goed te volgen. Het hoofdstuk over elektriciteitstransport is technisch complexer, maar is toch heel begrijpelijk als je enige basiskennis hebt op het gebied van elektrotechniek.

### **Deel E Energietransitie**

Nadat in de delen B, C en D de technologieën van de energietransitie zijn behandeld, gaat deel E in op de integratie daarvan. Zo kan een toekomst zonder fossiele brandstoffen mogelijk gemaakt worden. Het eerste hoofdstuk van deel E behandelt de systeemintegratie van duurzame energiebronnen. Dit is het proces van samenvoegen en samenwerken van de schakels en spelers in de gehele energieketen, van opwekking tot gebruik. Omdat er niet één specifieke vorm van energieopwekking, opslag, transport en/of distributie als oplossing wordt gezien voor alle sectoren, bedrijven en personen die een energiebehoefte hebben, bespreekt het laatste hoofdstuk verschillende energiescenario's en de rol van modellering. De stof in dit laatste deel kun je ook zonder technische achtergrond goed volgen.

De hierboven beschreven vijf delen zijn natuurlijk niet los van elkaar te zien. Wel kun je de hoofdstukken ook als losse bouwstenen bestuderen, bijvoorbeeld voor het maken van een bepaalde opdracht.

We wensen je veel succes en vooral ook plezier toe bij het werken met dit boek. We hopen dat het kan bijdragen in je groei naar technisch geschoolde professional, waarbij je meer begrip krijgt van duurzame energie en de technologie daarachter. Uiteindelijk zul je zo vorm en inhoud kunnen geven aan de transitie naar de duurzame maatschappij van morgen.