

Margot Weijnen
Aad Correljé
Laurens de Vries

**INFRASTRUCTUREN
ALS WEGBEREIDERS
VAN DUURZAAM-
HEID**

Infrastructuren als wegbereiders van duurzaamheid

De serie 'Working Papers' omvat studies die in het kader van de werkzaamheden van de WRR tot stand zijn gekomen. De verantwoordelijkheid voor de inhoud en de ingenomen standpunten berust bij de auteurs. Een overzicht van alle webpublicaties is te vinden op www.wrr.nl.

Wetenschappelijke Raad voor het Regeringsbeleid
Buitenhof 34
Postbus 20004
2500 EA Den Haag
Telefoon 070-356 46 00
E-mail info@wrr.nl
Website www.wrr.nl

*Infrastructuren als
wegbereiders van
duurzaamheid*

Margot Weijnen (WRR, TU Delft), Aad Correljé (TU Delft) en Laurens de Vries (TU Delft)

Rapporten aan de Regering nrs. 68 t/m 94 zijn verkrijgbaar in de boekhandel of via Amsterdam University Press (www.aup.nl).
Alle *Rapporten aan de Regering* en publicaties in de reeksen *Verkenningen* en *Working papers* zijn beschikbaar via www.wrr.nl.

Vormgeving binnenwerk: Textcetera, Den Haag
Omslagafbeelding: Textcetera, Den Haag
Working Paper nummer 12

ISBN 978 94 90186 25 8

WRR, Den Haag 2015

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 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 j^o het Besluit van 20 juni 1974, Stb. 351, zoals gewijzigd bij het Besluit van 23 augustus 1985, Stb. 471 en artikel 17 Auteurswet 1912, dient men de daarvoor wettelijk verschuldigde vergoedingen te voldoen aan de Stichting Reprorecht (Postbus 3051, 2130 KB Hoofddorp). 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.

INHOUD

Voorwoord		7
1	Inleiding	9
2	Wat is infrastructuur?	11
3	De toegevoegde waarde van infrastructuur	13
4	Infrastructuren als conditionerende structuren voor ruimtegebruik en economie	15
5	Infrastructuren en publieke waarden	19
6	Duurzamer door infrastructuren...	21
7	Infrastructuren als conditionerende structuren voor gedrag	25
8	Duurzamere infrastructuren	27
9	Infrastructuren, duurzaamheid en beleid	31
10	Casus elektriciteitsinfrastructuur	33
10.1	Inleiding	33
10.2	Leidende infrastructuur – voor industrialisatie en welvaart	34
10.3	Naar een schonere elektriciteitsinfrastructuur	38
10.4	De netwerkinfrastructuur volgt...	40
10.5	Betaalbaarheid en liberalisering	41
10.6	Naar een duurzame elektriciteitsvoorziening?	46
10.7	Nederland in de Noordwest-europese regio	51
10.8	Duurzaamheid, de elektriciteitsmarkt en de infrastructuur	54
10.9	De toekomst van de elektriciteitsinfrastructuur – slotbeschouwing	58
11	De investeringsopgave van een duurzame ontwikkeling	63
12	Infrastructuurbeleid als handelingsperspectief voor duurzaamheid	67
12.1	Sturen door infrastructuren	67
12.2	Maatwerk	68
12.3	Verbinden en vervlechten	70
12.4	Sturen van infrastructuren	74

12.5	Concluderend	76
	Dankwoord	79
	Literatuur	89

VOORWOORD

In dit working paper buigen Weijnen, Correljé en De Vries zich over de vraag of infrastructuur handelingsperspectief bieden voor milieu- en duurzaamheidsbeleid. Vanwege hun kapitaalintensiteit en daarmee samenhangende lange levensduur worden infrastructuur vaak gezien als onderdeel van het duurzaamheidsprobleem, in die zin dat zij onduurzame systemen en routines bestendigen. De auteurs betogen dat infrastructuur ook gezien kunnen worden als (deel van de) oplossing. Hoewel de huidige gefragmenteerde institutionele context de oplossingsruimte beperkt, is er nog een groot onbenut potentieel om de inrichting van fysieke infrastructuur en infrastructuurgebonden markten te sturen ten dienste van duurzaamheidsdoelstellingen. De auteurs illustreren hun betoog onder meer met een analyse van de historische en huidige ontwikkeling van de elektriciteitssector.

Dit paper is geschreven in het kader van het WRR-project Handelingsperspectieven voor Duurzaamheid. In dit project verkent de WRR de barrières en oplossingsrichtingen voor een effectief en gedragen beleid op het gebied van milieu en duurzame ontwikkeling, dat zowel de binnenlandse uitdagingen adresseert als de rol voor Nederland in de mondiale duurzaamheidsopgaven. Centraal in het project staat de vraag naar handelingsperspectieven voor het beleid, met andere woorden de stuurbaarheid van duurzaamheid.

Voor de inhoudelijke kwaliteitsborging van dit working paper is een eerdere versie van de studie van commentaar voorzien door een aantal deskundigen op dit terrein: prof. dr. Charles Vlek (Rijksuniversiteit Groningen), prof. dr. Wim Turkenburg (emeritus Universiteit Utrecht) en prof. dr. Leigh Hancher (Universiteit Tilburg). Vanuit de WRR hebben prof. dr. Ernst Hirsch Ballin, prof. dr. Casper de Vries, dr. Peter de Goede en ir. Albert Faber reactie gegeven op eerdere concepten. De verantwoordelijkheid voor de inhoud van dit working paper en de daarin ingenomen standpunten berust uitsluitend bij de auteurs.

Prof. dr. André Knottnerus,
Voorzitter WRR
en daar naast
Dr. Frans Brom,
Directeur WRR

1 INLEIDING

Vanwege hun kapitaalintensiteit en lange technische levensduur worden infrastructuur veelal gezien als onderdeel van het duurzaamheidsprobleem: ze houden ons gevangen in onduurzame praktijken (Frantzeskaki en Loorbach 2010; Goldthau 2014; Monstadt 2009). In dit Working Paper in het kader van het WRR-project Handelingsperspectieven voor duurzaamheid verkennen we de rol van infrastructuur in het licht van duurzaamheid. We kiezen in die analyse voor twee concurrerende perspectieven: enerzijds infrastructuur als veroorzakers van afhankelijkheden die ons belemmeren in ons streven naar duurzaamheid, doordat ze de maatschappij gevangen houden in traditionele niet-duurzame patronen van productie en consumptie; anderzijds infrastructuur als wegbereiders van duurzaamheid, omdat ze nieuwe duurzame(re) technologieën en patronen van productie en consumptie kunnen faciliteren. We illustreren beide perspectieven aan de hand van de casus van de elektriciteitsinfrastructuur in Nederland en Europa, en besluiten ons betoog met een (voorlopig) overzicht van institutionele condities waaronder infrastructuur wegbereiders van duurzaamheid kunnen zijn.

Met duurzaamheid doelen we op de emergente uitkomst van een ontwikkeling die, volgens de inmiddels klassieke definitie van de Commissie Brundtland, voorziet in de behoeften van de huidige generatie zonder voor toekomstige generaties de mogelijkheden in gevaar te brengen om ook in hun behoeften te voorzien (Commission Brundtland 1987). Die definitie impliceert dat sociale, ecologische en economische ontwikkeling zorgvuldig gebalanceerd moeten worden, omdat rooibouw op één van de dimensies *people*, *planet* of *profit* onvermijdelijk ten koste gaat van de ontwikkelingskansen voor huidige of toekomstige generaties, hier of elders. Duurzaamheid is daarmee tegelijkertijd ook een normatief begrip, waarvan de concrete betekenis voor toekomstige generaties, andere culturen en landen met andere geografische en socio-economische condities anders zal zijn dan in het hier en nu, en anders dan in het (recente) verleden.

In het verloop van dit betoog gebruiken wij “infrastructuur” in generieke zin als verzamelterm voor alle basisvoorzieningen en netwerken die huishoudens en bedrijven in staat stellen te consumeren, te produceren en te communiceren. Dat betekent dat we niet ingaan op ‘zachte’ infrastructuur als de kennisinfrastructuur of de juridische infrastructuur (zie bijv. Frischman 2012). Het gaat om socio-technische systemen die een substantiële fysieke infrastructuur als basis hebben. Als we spreken over “infrastructuren” dan doelen wij niet alleen op de transportnetwerken, maar op een verzameling van specifieke basisvoorzieningen voor productie, conversie, consumptie en transport (netwerken en carriers), inclusief de aansturing (van het operationele management tot de governance op macrosysteemniveau), die samen een specifieke infrastructuur voor water of energie,

afvalverwijdering, informatie-, telecommunicatie- of transportdiensten vormen. Dat betekent ook dat infrastructures, als socio-technische systemen, een bonte verzameling van publieke en private actoren representeren, van producenten, net-beheerders, technologie- en dienstenleveranciers tot eindgebruikers en toezicht-houders.

2 WAT IS INFRASTRUCTUUR?

Infrastructuur onderscheidt zich van andere goederen en diensten, waarbij de directe consumptie of de specifieke inzet in de productieactiviteiten centraal staat. Infrastructuur omvat het geheel aan gedeelde ‘algemene’ voorzieningen die dergelijke consumptie- en productieactiviteiten en (andere) sociale activiteiten mogelijk maken. Infrastructuur voorziet in *statische* basisvoorzieningen die economische en sociale activiteiten *mogelijk maken* op een bepaalde locatie. Denk bijvoorbeeld aan het bieden van overstromingsveiligheid, water- en energievoorziening en afval(water)verwijdering, waardoor bepaalde locaties en gebieden geschikt worden voor meer of minder dichte bewoning, voor verschillende vormen van agrarische of industriële bedrijvigheid, voor dienstenproductie, voor commerciële, sociale en culturele activiteiten of natuurbeleving. Infrastructuur voorziet daarnaast in *dynamische* basisvoorzieningen die de economische en sociale activiteiten op verschillende locaties met elkaar *verbinden*, zoals het transport van mensen, goederen en informatie. De aanwezigheid van statische basisvoorzieningen op locaties en de verbindende dynamische infrastructuren tussen verschillende locaties vormen belangrijke randvoorwaarden voor het ondernemen van bepaalde activiteiten op een locatie (zie ook Monstadt 2009).

De aanwezigheid van de juiste infrastructurele voorzieningen op en tussen locaties maakt het mogelijk om verschillende maatschappelijke activiteiten en functies ruimtelijk te bundelen en te verdelen over de daarvoor geschiktste locaties waardoor zowel welvaart als welzijn vergroot worden. De dynamische infrastructurele voorzieningen bieden enerzijds een zekere mate van keuzevrijheid aan burgers, ondernemers en de overheid om activiteiten te situeren op de geschiktste plaats, in de juiste omgeving, gegeven de omstandigheden. Anderzijds maken ze het mogelijk om activiteiten te ontplooiën in samenhang met andere activiteiten die beter (of alleen maar) elders in het land of in de wereld verricht kunnen worden, gegeven hun fysieke, technische en economische karakteristieken. Hiermee wordt het mogelijk dat bepaalde steden, gebieden of landen specialiseren in bepaalde activiteiten, terwijl er ook een bundeling ontstaat van samenhangende activiteiten, gestimuleerd door zogenoemde agglomeratievoordelen (Van der Knaap 2002; Raspe 2012).

In het verleden heeft dit de ontwikkeling van zogenoemde industriële districten mogelijk gemaakt, met elkaar en met hun afzetmarkten verbonden via vaarwegen en later spoorwegen. In latere perioden heeft met name de ontwikkeling van infrastructuur voor sneller personenvervoer geleid tot een ruimtelijke vergroting van lokale arbeidsmarkten (Van der Woud 1998, 2006). Het massale gebruik van de auto is (mede) gefaciliteerd door een enorme uitbreiding van het (snel)wegennet; in de Verenigde Staten heeft dat geleid tot een samenleving die (veel meer dan in

Europa) georiënteerd is op het netwerk van *freeways* (Hughes, 1989). De markten voor goederen en diensten zijn in de loop van de geschiedenis steeds grootschaliger geworden door de opkomst (en interconnectie) van nieuwe infrastructuur (en carriers), waarbij elke nieuwe infrastructuur een sprong in snelheid, capaciteit en/of kostenverlaging van personen- en goederenvervoer en communicatie bracht; denk aan telegrafie en telefonie, aan luchtvaart en luchthavens, aan super-tankers en de havenfaciliteiten om die schepen te accommoderen, of aan de innovaties in spoorweginfrastructuur tot en met de hogesnelheidstreinen. De enorme snelheidstoename van telecommunicatie, data- en (daarmee van) geldverkeer die zich de afgelopen decennia heeft voorgedaan dankzij de proliferatie van nieuwe informatie- en telecommunicatie-infrastructuren, heeft mede geleid tot ingrijpende herstructurering en internationalisering van veel productieketens. Tegenover de grote voordelen daarvan in termen van kostenefficiëntie, staan nieuwe infrastructuurgerelateerde risico's en kwetsbaarheden, die onder meer samenhangen met een toegenomen afhankelijkheid van transport (van grondstoffen, halffabricaten en producten) over langere afstanden onder stringente condities van tijdigheid (Raspe 2012).

In het beroemde historische werk van Thomas P. Hughes (1983, 1989; Hughes et al. 1987) laat hij zien dat de totstandkoming van infrastructuren als grootschalige technologische systemen niet begrepen kan worden als een optelsom van technologische innovaties en de interconnectie van technologische artefacten, maar dat lokale, regionale en nationale politieke structuren, maatschappelijke behoeften, geografische condities en sociale factoren en actoren (uitvinders, entrepreneurs, politici, investeerders, etc.) een doorslaggevende rol speelden in de evolutie van infrastructuren. Infrastructuren zijn met andere woorden complexe socio-technische systemen, die zich in een co-evolutionair proces van technologische, sociale en economische ontwikkeling voortdurend aanpassen aan veranderende condities en maatschappelijke behoeften. In recentere literatuur wordt dit proces meestal aangeduid als de co-evolutie van technologie en instituties (Nelson 1994; Finger et al. 2005). Infrastructuursystemen steunen voor hun functioneren op instituties (bijv. wet- en regelgeving zoals technische standaarden, regulering van de toegang en het gebruik) en worden gecontroleerd door overheden (bijv. ministeries, gemeenten, toezichhouders of via publiek eigendom), omdat ze een cruciale ondersteunende rol spelen in het economische en sociale leven en/of belangrijk publieke waarden belichamen. Bovendien hebben infrastructuren door hun technische karakteristieken vaak bijzondere economische kenmerken, zoals hoge investeringskosten en relatief lage gebruikskosten, een zeer lange levensduur, en is het lastig om het aanbod op korte termijn aan te passen aan veranderende vraag; het zijn vaak zogenoemde 'natuurlijke monopolies', die overheidstoezicht vergen (Joskow 2007; Ménard 2014).

3 DE TOEGEVOEGDE WAARDE VAN INFRASTRUCTUUR

Ondanks de erkende rol van infrastructuur als ruggengraat van de economie is de precieze economische waarde ervan lastig te bepalen (Aschauer 1989; Van der Knaap 2002; Lakshmanan 2011). Investerings in infrastructuur hebben zowel directe als indirecte effecten. De eerstgenoemde, bijvoorbeeld vermindering van reistijd en transportkosten door investeringen in transportinfrastructuur, zijn in het algemeen goed te kwantificeren (Romijn en Renes 2013). Daarnaast zijn er indirecte effecten van infrastructuur als vestigingsplaatsfactor die moeilijk hard te maken zijn, zoals de agglomeratie-effecten van lokale of regionale clustering van bedrijvigheid, waardestijging van vastgoed, een toe- of afname van lokale activiteit door verhuis- en forensedrag, en het effect van imago (bijv. *hub of hotspot*) (Esfahani en Ramirez 2003; Thissen et al. 2007; Raspe 2012). Uit de empirische literatuur blijkt dat de effecten van investeringen in transportinfrastructuur (m.n. weginfrastructuur) onder meer afhangen van de mate waarin lokaties al bereikbaar zijn en van het type bedrijvigheid ter plaatse, maar ook dat er nog veel onduidelijk is over de mechanismen waarlangs investeringen in transportinfrastructuur de ruimtelijke economie beïnvloeden (Van Maarseveen en Romijn 2015).

In de Global Competitiveness Index, die jaarlijks door het World Economic Forum wordt uitgebracht, verandert de rol van infrastructuren met het ontwikkelingsstadium van de economie. Volgens de methodologie die het WEF hanteert, is in *factorgedreven* economieën de kwaliteit van de traditionele infrastructurele basisvoorzieningen verantwoordelijk voor 25 procent van de competitiviteitscore; het gaat dan specifiek om wegen en spoorwegen, scheep- en luchtvaartinfrastructuur, elektriciteitsinfrastructuur en netwerken voor vaste en mobiele telefonie (WEF 2014). Het is eenvoudig in te zien dat bij het ontbreken van dergelijke infrastructurele basisvoorzieningen economische ontwikkeling nauwelijks mogelijk is. In gebieden waar geen toegang is tot wegen die alle seizoenen begaanbaar zijn, waar men kilometers te voet moet afleggen voor de primaire watervoorziening en waar geen andere primaire brandstof dan mest of sprokkelhout beschikbaar is, kost het voorzien in basisbehoeften elke dag vele uren, die niet voor economisch productieve doeleinden en voor onderwijs kunnen worden ingezet.

In meer geavanceerde economieën (resp. *efficiency-* en *innovatiegedreven* economieën) neemt in de *competitiveness index*-berekeningen van het WEF het relatieve belang van die basisvoorzieningen af, en gaan de toegankelijkheid en kwaliteit van vaste en mobiele internetinfrastructuren een grotere rol spelen. Ook neemt dan het belang van infrastructuur af ten gunste van andere concurrentiekrachtfactoren, zoals de efficiency van goederen-, arbeids- en kapitaalmarkten, de kennisinfrastructuur en het juridische systeem. Dit is natuurlijk ook een gevolg van de

verschuiving in de economische structuur van grondstoffen-, energie-, en transport-intensieve industriële activiteiten naar een dienstengeoriënteerde economie (Odell 1972).

Het afnemende relatieve belang van infrastructuur in geavanceerde economieën lijkt doorgaans gepaard te gaan met afnemende publieke belangstelling voor infrastructuur; men raakt zo gewend aan de continue beschikbaarheid van infrastructuur-gebonden diensten, dat zowel de infrastructurele basisvoorzieningen zelf als de voortbrengers daarvan steeds meer uit beeld raken (zie ook Brätland 2010). Het feit dat veel van die voorzieningen ondergronds liggen, maakt dat ze ook in letterlijke zin grotendeels onzichtbaar zijn. Infrastructuur wordt dan dikwijls gezien als een kostenpost, die het publieke en private budget belast en zoveel mogelijk gereduceerd moet worden. Die letterlijke en figuurlijke onzichtbaarheid van infrastructuur leidt gemakkelijk tot onderinvesteringen in aanleg, onderhoud en innovatie. Voor Nederland constateerde de SER in 1987 al een langjarige trend van afnemende publieke (en private) investeringen in infrastructuur en een matige tot zorgwekkende onderhoudstoestand van enkele infrastructuren, in het bijzonder van vaarwegen, rioleringen en lokale wegen (SER, 1987). Dat patroon werd ook waargenomen en verklaard in een later WRR-rapport (WRR 2008). Ook vandaag de dag geldt nog steeds dat de meeste westerse economieën kampen met verouderde infrastructuur en een gebrek aan publieke middelen voor de noodzakelijke investeringen in onderhoud, vervanging en innovatie (ASCE 2013; ICE 2014; Australian Government/Infrastructure Australia 2013; UK Government 2014), terwijl de opkomende economieën in met name Azië volop investeren in technologisch geavanceerde nieuwe infrastructuur.

4 INFRASTRUCTUREN ALS CONDITIONERENDE STRUCTUREN VOOR RUIMTEGEBRUIK EN ECONOMIE

Infrastructuren zijn diep ingebed in de ruimtelijke en economische structuur (Graham en Marvin 2001; Monstadt 2009). Eenmaal gemaakte keuzen voor de technologie en de locatie of het traject van een infrastructuur conditioneren gedurende vele decennia de gebruiksmogelijkheden van de ruimte en de aantrekkingskracht van het gebied voor bepaalde economische, sociale en culturele activiteiten. Voor Nederland is die conditionerende rol van infrastructuur nog geprononceerder dan voor andere landen: met onze waterwerken hebben we een land gecreëerd, waar de grillige werking van rivieren en getijden die karakteristiek is voor een deltagebied, is teruggebracht tot de menselijke maat en waar wij ook onder de zeespiegel droge voeten kunnen houden. De fysieke leefbaarheid van Nederland is het resultaat van een eeuwenlange traditie van diep infrastructuureel ingrijpen in de natuurlijke waterhuishouding, met even ingrijpende gevolgen voor de natuur die hier kan gedijen.¹ De puur voor natuur beschikbare en gereserveerde ruimte is door het intensieve landgebruik in Nederland beperkt, en de schaarse ruimte voor natuur wordt verder opgeknipt door de infrastructuren die het transport van personen en goederen faciliteren (Van der Woud 1998, 2006; Van Zanden en Versteeg 1993).

In de netwerken van transportinfrastructuren, energie-, water- en telecommunicatie-infrastructuren zijn steden belangrijke knooppunten, waar veel infrastructuren elkaar fysiek ‘ontmoeten’ en waar ze zich steeds kleinschaliger vertakken naar een structuur van haarvaten waarop individuele huishoudens en kleine bedrijven zijn aangesloten. Anders dan in de meeste andere landen, zowel in Europa als elders in de wereld, waar de stedelijke bevolking meestal geconcentreerd is in enkele zeer grote en dichtbevolkte agglomeraties, zijn de steden in Nederland relatief klein en groot in aantal. Dat leidt tot een sterk vermaasde topologie van de Nederlandse infrastructuurnetwerken (Raspe 2012).

Ook tussen infrastructuur en economische structuur bestaat een sterke wisselwerking. Waar de geografische ligging van Nederland gezien kan worden als een gunstige situering in termen van natuurlijke transportinfrastructuur, is de daadwerkelijke economische benutting daarvan onmogelijk zonder de aanleg van *man-made* infrastructuur in de vorm van haveninstallaties. Wat betreft watertransport omvatte dit de zogenoemde normalisatie door middel van dammen, dijken, kanalen en sluizen, het onderhoud en baggeren van de vaarroutes, en de ontwikkeling van een opeenvolging van geschikte schepen om die vaarroutes te benutten (van lokale sloopstypen, naar de Rijnaken en momenteel de duwvaart). Op land

betrof dit het aanleggen van bruggen die doorgaande spoorwegen en wegen mogelijk maakten (Van Wee et al. 2013; Van Zanden en Versteeg 1993; Van der Woud 2006; 1998; Jacobs et al. 1996).

Dankzij de aanleg van de Nieuwe Waterweg werd de haven van Rotterdam toegankelijk voor de bulkaanvoer van grondstoffen, waardoor zich daar een relatief grootschalig petrochemisch industriecluster kon ontwikkelen, dat niet alleen transportbrandstoffen en petrochemische producten voor de West-Europese markt produceert, maar ook via pijpleidingen andere industrieclusters in Nederland, Duitsland, België en Noord-Frankrijk van petrochemische *feedstocks* en industriële gassen voorziet (Molle en Wever 1984). De aanvoer van bulkgrondstoffen naar Nederlandse havens heeft ook tot andere energie-intensieve industrie geleid, zoals de aluminiumsmelters in Vlissingen en Delfzijl.² De kerncentrale Borssele kwam er om in de elektriciteitsvraag van de aluminiumsmelter in Vlissingen te voorzien; in Delfzijl werd de aluminiumsmelter min of meer uitgelokt door de beschikbaarheid van goedkope gasgestookte elektriciteit (Van Zanden 1997; Gordijn et al. 2003). Beide aluminiumsmelters zijn gesloten omdat de belofte van goedkope elektriciteit op lange termijn niet houdbaar is gebleken. De smelter in Delfzijl, die op 3 maart 2015 is herstart als Klesch Aluminium Delfzijl, rekent op de aanleg van een stroomkabel onder de Eems om direct toegang te krijgen tot de goedkopere stroom in Duitsland.

De interactie tussen economie en infrastructuur heeft twee gezichten: enerzijds is infrastructuur nodig om natuurlijke voordelen zoals geografische ligging of de aanwezigheid en aanvoer van grondstofvoorraden te exploiteren, anderzijds creëert die interactie een langdurige *lock-in*. In de literatuur wordt geen eenduidige relatie gevonden over de mate waarin infrastructuurontwikkeling lokale economische ontwikkeling mogelijk maakt of volgt, en over de tijdschaal van die interactie(s) (Asbeek Brusse et al., 2002; Van der Knaap, 2002). Odell (1972) legt hier een relatie met de aard van de economische activiteiten en de ontwikkeling van transporttechnologie, gegeven bepaalde geografische beperkingen. In de pre-industriële periode volgden de infrastructuren op economische activiteit en de aanwezigheid van grondstoffen. Na de industriële revolutie werden de technologische ontwikkeling en de beschikbaarheid van geschikte infrastructuur sterk bepalend als vestigingsfactor voor economische ontwikkeling. Met de post-industriële verdienstelijking van economische activiteiten werd infrastructuur weer meer volgend; waarbij natuurlijk de kwaliteit daarvan wel weer een factor van belang bleef. De aanwezigheid van kapitaalintensieve infrastructuur zoals zee- en luchthaveninfrastructuur kan langdurig concurrentievoordeel opleveren, maar of en wanneer dat voordeel zich manifesteert blijkt in de praktijk moeilijk voorspelbaar. Voor Rotterdam bleek de aanleg van de Nieuwe Waterweg een grote doorbraak die onmiddellijk effect had. In de Eemshaven lijkt die ontwikkeling pas decennia na

dato op gang te komen. Duidelijk is dat dit soort ontwikkelingen ook een sterke relatie hebben met conjunctuurcycli en economisch structuurbeleid (of de afwezigheid daarvan).

5 INFRASTRUCTUREN EN PUBLIEKE WAARDEN

Omdat infrastructuur gaat om basisvoorzieningen die essentieel zijn voor iedereen en vrijwel alle sociale en economische activiteiten in de samenleving, wordt er toegezien op de borging van publieke waarden in de levering van infrastructurele producten en diensten. De prominentste publieke waarden die voor alle infrastructuren gelden, zijn: toegankelijkheid, betaalbaarheid, beschikbaarheid en maatschappelijke aanvaardbaarheid, in de Angelsaksische literatuur ook wel bekend als de vier A's: Accessibility, Affordability, Availability en Acceptability. *Toegankelijkheid* heeft betrekking op de dekkingsgraad en het bereik van de infrastructuur in ruimtelijke zin en is bepalend voor de mate waarin de (hele) bevolking er gebruik van kan maken. *Betaalbaarheid* heeft te maken met de prijzen en tarieven die daarmee gemoeid zijn voor de gebruikers. Onder *beschikbaarheid* kan onderscheid gemaakt worden tussen korte-termijn betrouwbaarheid en lange-termijn leveringszekerheid, waarbij de laatste verwijst naar aanpassing aan veranderende vraag- en aanbodverhoudingen. Onder *maatschappelijke aanvaardbaarheid* valt een scala aan publieke waarden, variërend van bijvoorbeeld veiligheid, gezondheid en milieuaspecten tot rechtvaardigheid en respect voor privacy. De publieke kernwaarden van infrastructuren zoals uitgedrukt in de vier A's, kunnen we relateren aan de sociale, economische en ecologische dimensies van een duurzame ontwikkeling volgens de definitie van de Commissie Brundtland. Het is evident dat de vier A's tot op zekere hoogte met elkaar in conflict zijn en in de praktijk altijd tot een compromis leiden. Hoe die afweging wordt gemaakt verschilt per land en infrastructuur, onder meer afhankelijk van de kenmerken van die infrastructuur en (veranderende) maatschappelijke prioriteiten (Groenewegen en Correljé 2009).

In de generieke definitie van duurzaamheid als fysieke houdbaarheid onderscheiden infrastructuren zich van minder kapitaalintensieve sectoren door de extreem hoge kwaliteitsstandaarden die in ontwerp en onderhoud worden gehanteerd om de technische integriteit van het systeem te garanderen, ten behoeve van hoge betrouwbaarheid van de dienstverlening en een lange levensduur van de installatie. Het borgen van de robuustheid (bestandheid tegen verstoringen) van de technische installaties en processen is een belangrijk kenmerk van die professionele cultuur, zoals bijvoorbeeld tot uiting komt in ontwerpvoorschriften voor redundantie³ (Finger et al 2005). Robuustheid in technische zin is van groot belang voor het realiseren van publieke waarden als bijvoorbeeld veiligheid (voor werknemers, gebruikers en omwonenden) en betrouwbaarheid. Zo is veiligheid in het transport en de levering van aardgas een onomstreden en dominante publieke waarde: lekkages of kleine afwijkingen van de leverdruk en de calorische standaarden (die voor aardgas worden uitgedrukt in de zogenaamde Wobbe-index) van een brandbaar gas leiden al snel tot levensbedreigende situaties (door brand, explosies

of de vorming van koolmonoxide). In de drinkwatervoorziening, waar (volks)gezondheid de dominante waarde is, zijn robuuste processen nodig om de gezondheidskundige (microbiologische en chemische) kwaliteitsparameters te garanderen.

Per infrastructuur spelen andere risico's die invloed hebben op de maatschappelijke afweging van publieke waarden, en bovendien wordt die afweging regelmatig bijgesteld in de tijd als nieuwe kennis of veranderende maatschappelijke prioriteiten daartoe aanleiding geven (Veeneman, Dicke en De Bruijne 2009). Die prioriteiten veranderen in de tijd onder invloed van demografische ontwikkelingen (bevolkingsgroei, vergrijzing), veranderende economische condities, veranderende gebruikerswensen en maatschappelijke waarden en technologische innovatie (Correljé en Broekhans 2015). Maar maatschappelijke prioriteiten kunnen ook abrupt verschuiven, bijvoorbeeld ten gevolge van calamiteiten die slachtoffers maken of de infrastructurele voorziening tijdelijk ontwrichten (WRR 2011). In de afweging van publieke waarden winnen acute risico's het vaak van sluipende risico's.

6 DUURZAMER DOOR INFRASTRUCTUREN...

In het duurzaamheidsdebat worden de huidige infrastructurele systemen voor energie, transport en watervoorziening vaak genoemd als oorzaak van een langdurig voortdurende ‘lock-in’ in onduurzame patronen van productie en/of gebruik. Hetzij de technologie zelf, hetzij het gedrag dat erdoor wordt bestendigd, wordt beschouwd als vervuilend of anderszins onduurzaam (Frantzeskaki en Loorbach 2010; Goldthau 2014; Monstadt 2009). Desalniettemin kunnen we, ook vanuit het hedendaagse duurzaamheidsperspectief, veel historische ontwikkelingen in infrastructuur duiden als bijdragen aan duurzaamheid. Naast het faciliteren van economische en sociale ontwikkeling, heeft de feitelijke totstandkoming van de verschillende infrastructuur betere (schonere, veiligere etc.) voorzieningen voor iedereen binnen handbereik gebracht, in termen van fysieke aansluiting en in termen van betaalbaarheid. Ook al werden de primaire motieven in het verleden niet expliciet geduid onder de hedendaagse noemer ‘duurzaamheid’, de ontwikkeling van infrastructuur voor drinkwater, afval- en afvalwaterverwijdering in de vorige eeuw mag gezien worden als een belangrijke bijdrage aan een duurzame ontwikkeling (in sociaal, ecologisch en economisch opzicht) van de Nederlandse samenleving (Van der Valk 1989; Van der Woud 1998, 2006, 2010).⁴ Ze maakten gezonde en veilige lokale leefomstandigheden mogelijk voor een groeiende bevolking, in het bijzonder voor de toenemende bevolkingsconcentraties in steden, in een als gevolg van de industriële revolutie sterk groeiende economie (Harvey 1996; Lintsen 1993). De kwaliteit van de leefomgeving in bredere zin was daarbij niet het leidende motief; tot ver in de twintigste eeuw bleven afvalwater en afval onbehandeld. Zorgen om het behoud van natuur waren er echter al veel eerder: Natuurmonumenten ontstond in 1905 om te verhinderen dat de gemeente Amsterdam haar voornemen om het Naardermeer te bestemmen als afvalstort ten uitvoer zou brengen (Van Zanden en Verstegen 1993).

De ontwikkeling van de elektriciteitsinfrastructuur vanaf circa 1900 en de ontwikkeling van de aardgasinfrastructuur in de zestiger jaren, kunnen eveneens als grote stappen naar duurzaamheid worden gezien. Beide vervingen ze niet alleen aanzienlijk milieubelastender technologieën en systemen van energievoorziening, zoals kolen en stadsgas, ze deden dat ook nog eens met een aanzienlijke verbetering in termen van dekkingsgraad, kwaliteit, betaalbaarheid, gebruikersgemak en leveringszekerheid. Openbaar vervoer binnen en naar steden heeft, behalve aan vergroting van de arbeidsmarkt, bijgedragen aan verbetering van de luchtkwaliteit en minder congestie. Ook de infrastructuur voor telefonie en internet, zowel vast als mobiel, kunnen in theorie enorm bijdragen aan duurzaamheid, enerzijds omdat ze bedrijvigheid mogelijk maken op locaties die geen knooppunten in transportnetwerken voor personen en goederen zijn, anderzijds omdat ze fysieke verplaatsingen van personen overbodig kunnen maken.

Dat die duurzaamheidsbelofte niet is ingelost, zou toegeschreven kunnen worden aan, enerzijds, de voortgaande groei van de economie in termen van zowel de omvang van de bevolking als het inkomen daarvan, en anderzijds aan een onverwacht groot *rebound*-effect dat per saldo eerder tot meer dan minder behoefte aan infrastructurele diensten heeft geleid. Het zogenoemde rebound-effect, ook wel de Jevons-paradox genoemd, heeft betrekking op het feit dat verbetering in de technische efficiëntie, waardoor het gewenste effect van de diensten verbetert bij dezelfde input aan energie, water of materialen, niet tot gevolg heeft dat die input afneemt. Integendeel, doordat efficiënter in de dienst voorzien kan worden, stijgt de afname daarvan (Jevons 1865). Dit effect doet zich niet alleen voor bij energie- en watergebruik (Sorrell 2009; Sorrell en Dimitropoulos 2008), maar ook bij het transport van mensen, goederen (Richardson 2005; Van Wee et al. 2013) en informatie (Werner 2014). Illustratief hiervoor is het werk van Fouquet (2010), dat laat zien hoe het gebruik van verlichting sinds de middeleeuwen in Groot Brittannië constant toenam, als gevolg van het toepassen van nieuwe, betere, energiebronnen, zoals kaarsen, walvisolie, gas, petroleum en elektriciteit, en de rol van technologische innovatie daarbij. Een ander aansprekend voorbeeld is het feit dat naarmate beter transport kortere reistijden mogelijk maakt, mensen langere afstanden gaan overbruggen en dus verder van hun werk (kunnen) gaan wonen, meer lange afstandsrelaties aangaan of verder weg met vakantie gaan.

De ‘ontdekking’ van Jevons is vanuit verschillende perspectieven verklaard en beschreven. Dominant is daarbij de economische visie geworteld in het utilitarisme, waarbij rationeel afwegende consumenten en producenten hun nut en winst maximaliseren in de beslissingen die zij nemen over de inzet van hun hulpbronnen, zoals energie, water, transport en communicatie (Berkhout et al. 2000; Midden et al. 2007). Daarnaast zijn er echter ook perspectieven die, met name, consumptie relateren aan de psychologische, sociale, culturele, en structurele factoren die van belang zijn bij het nemen van die beslissingen (Sanne 2002). Een niet onbelangrijk onderscheid tussen deze verschillende visies is de vraag of geredeneerd wordt vanuit een individualistisch, *actor*-gedreven perspectief, zoals veel economen en sociaalpsychologen (zie Otto et al. 2014) doen, of vanuit een *system*-gedreven perspectief, waarbij actoren door een bepaalde technische, institutionele en culturele omgeving in zekere mate geconditioneerd worden tot het maken van bepaalde keuzen (Spaargaren 2011).

Dit onderscheid is zeker niet triviaal als we het hebben over de rol van infrastructuur voor energie, water, communicatie en transport bij het conditioneren van de keuzen van de gebruikers ervan. De aard van de technologieën, de institutionele en economische condities waaronder de verschillende diensten geleverd kunnen worden, ruimtelijke aspecten van beschikbaarheid en dekkingsgraad, en ook culturele en imago aspecten, zijn belangrijke variabelen met betrekking tot het gebruik van deze diensten. Het zijn ook variabelen die per infrastructurele voor-

ziening, per land, en tussen stad en buitengebied nogal kunnen verschillen. Bovendien zien we hier ook de invloed van de interactie tussen de verschillende infrastructurele voorzieningen onderling, in het soort van omgeving die daarmee gecreëerd wordt; inclusief het ruimtelijke aspect in termen van plaatsen en relaties tussen verschillende plaatsen (Goldthau 2014; Monstadt 2009).

Hieruit kunnen we begrijpen hoe groot de invloed van infrastructuur is op het gedrag van de verschillende soorten gebruikers en op de consequenties daarvan voor duurzaamheid. Het is duidelijk dat de specifieke manier waarop infrastructuur van invloed zijn op consumptie en gebruikersgedrag weer een resultante is van de interactie tussen de publieke of private beheerders, overheden, afnemers en gebruikers.

7 INFRASTRUCTUREN ALS CONDITIONERENDE STRUCTUREN VOOR GEDRAG

Infrastructuren grijpen diep in op ons dagelijks leven, dikwijls zonder dat we ons dat bewust zijn. Auteurs als Shove (2003; et al. 2012), Van Vliet et al. (2005) en Overbeeke (2001) laten zien dat infrastructuren sterk bepalend zijn voor onze dagelijkse sociale routines en praktijken. Sociale normen voor bijvoorbeeld persoonlijke en huishoudelijke hygiëne, voor comfort en sociale interactie zijn ingrijpend veranderd onder invloed van infrastructurele diensten voor drinkwater- en energievoorziening, afval- en afvalwaterverwijdering, telecommunicatie en internet (sociale media). De toegang tot en het bereik van transportinfrastructuren in de vorm van openbaar vervoer of (snel)wegen zijn sterk van invloed op beslissingen over woon- en werklocaties, recreatie en sociaal-cultureel gedrag van burgers (Van der Knaap 2002; Raspe 2012; Steg en Vlek 2009; Van Wee et al. 2013). De aanwezigheid en aard van infrastructurele voorzieningen zijn daarmee in hoge mate bepalend geworden voor het gebruik van energie en water, de mobiliteit van mensen en goederen en andere aspecten van sociale en economische routines die gevolgen hebben voor milieu en ecologische duurzaamheid.

Veel milieu- en duurzaamheidsbeleid is erop gericht consumenten bewust te maken van hun (on)duurzaam gedrag, denk aan campagnes die propageren om korter te douchen, de kraan dicht te draaien bij het tandenpoetsen, afval gescheiden aan te bieden en de auto vaker een dagje te laten staan. Treinreizigers kunnen zien hoeveel CO₂ emissies ze vermijden met hun treinreis en luchtreizigers kunnen ervoor kiezen de CO₂ emissies van hun vliegreis te compenseren. Elektriciteitsgebruikers worden gestimuleerd voor groene stroom te kiezen en slimme meters te laten installeren die een gedetailleerder inzicht geven in de mogelijkheden om minder stroom te gebruiken (Vlek 2000; Steg en Vlek 2009). Vooralsnog sorteren veel van deze stimulerings- en bewustwordingscampagnes maar beperkt effect, niet alleen omdat grote groepen consumenten er betrekkelijk ongevoelig voor lijken te zijn (Motivaction 2015), maar ook en niet in de laatste plaats omdat veranderingen in individueel consumptiegedrag op gespannen voet staan met de sociale normen en praktijken van grote groepen consumenten. Onder meer omdat die praktijken in hoge mate beïnvloed worden door de aanwezige infrastructuur is het niet vanzelfsprekend dat 'groen denken' vertaald wordt in 'groen gedrag' (Shove 2010; Spaargaren 2011; Van den Broek 2015).

Zelfs voor de goedwillende milieu- en duurzaamheidsbewuste consument is verandering in het consumptiepatroon van infrastructuurgebonden producten en diensten niet gemakkelijk: infrastructuurgebonden diensten worden aan alle consumenten op een standaardwijze aangeboden en gebruikers krijgen via de rekening meestal pas laat en weinig gedetailleerd terugkoppeling over hun gebruik.

Dat betekent ook dat extra heffingen en belastingen (bijv. de verhoging van het btw tarief voor drinkwater of de Regulerende Energiebelasting op grijze energie) slechts beperkt effect kunnen sorteren. Daarbij komt dat significante besparingen vaak investeringen vergen in een nieuwe cv ketel met extra hoog rendement, in hemelwateropvangsystemen, in isolatie van de woning, etc. Mede onder invloed van de heersende sociale normen en praktijken geldt dat het huishoudelijk gebruik van veel infrastructurele voorzieningen weinig elastisch is.⁵ Een analyse van het huishoudelijk energiegebruik in verschillende landen laat zien dat de elasticiteit van energiebestedingen door huishoudens in alle onderzochte landen gering is; de significante verschillen tussen landen in (de elasticiteit van) het huishoudelijk energiegebruik per capita, bij gelijke inkomensniveaus, kunnen nauwelijks toegeschreven worden aan klimatologische verschillen, maar worden verklaard door (andere) structurele factoren als geografie, bevolkingsdichtheid, technologie, demografie, bouwkwaliteit, huishoudensomvang, leefstijl en dergelijke (Lenzen et al. 2006).

8 DUURZAMERE INFRASTRUCTUREN

Expliciet milieu- en duurzaamheidsbeleid heeft zich tot dusver (nog) nauwelijks gericht op de totstandkoming van *nieuwe* infrastructuur. Dat neemt niet weg dat milieudoelstellingen in de loop der jaren wel degelijk hun invloed hebben doen gelden op de fysieke inrichting van bestaande infrastructuurle systemen: infrastructuurle hebben zich aangepast aan nieuwe maatschappelijke prioriteiten (Hughes 1987). Net als ‘gewone’ industriële installaties zijn veel installaties die onderdeel zijn van infrastructuurle systemen in de loop van de tijd uitgerust met emissiereducerende voorzieningen om redenen van gezondheid, veiligheid en milieukwaliteit. Denk bijvoorbeeld aan de verregaande reductie van de uitstoot van zwaveloxiden, stikstofoxiden, dioxinen en fijnstof, die sinds de jaren zeventig en tachtig gerealiseerd is bij afvalverbrandingsinstallaties en kolengestookte elektriciteitscentrales, aan de filters en katalysatoren in de uitlaat van motorvoertuigen, of aan fluisterasfalt en fluisterspoor(bruggen). Net als in de ‘gewone’ industrie is de aandacht in de infrastructuursectoren geleidelijk verschoven naar intrinsiek schonere technologie en naar toepassing van duurzame grondstoffen en constructiematerialen. In de energievoorziening maken fossiele en nucleaire voorraadbronnen geleidelijk plaats voor duurzaam beschikbare stromingsbronnen, denk aan groene stroom uit wind, zon, biomassa, getijden, of aan groen gas en biodiesel uit biomassa. In de watervoorziening wordt grondwater op kwetsbare locaties (duinwater) vervangen door gereinigd oppervlaktewater, om daarmee verdroging te verminderen. Om lokale verzilting van zoet grondwater en daarmee schade aan natuur en landbouw te voorkomen, is in Noardburgum, Friesland onlangs een nieuw type waterwininput in gebruik genomen die, met behulp van omgekeerde osmose, drinkwater produceert uit verzilt grondwater.⁶ In Singapore wordt een vergelijkbare technologie grootschalig gebruikt om afvalwater diepgaand te reinigen tot drinkwaterkwaliteit; op dit moment wordt al 30 procent van het leidingwatergebruik in Singapore gedekt met gerecycleerd afvalwater en de ambitie is dat dit aandeel zal toenemen tot 55 procent in 2060 (Singapore Government 2015).⁷

In toenemende mate worden er in de aanleg van infrastructuurle secundaire materialen ingezet ter vervanging van primaire materialen, denk bijvoorbeeld aan het gebruik van granulaat en zand uit de bodemassen van afvalverbrandingsinstallaties in wegeaanleg, aan het gebruik van vliegash (uit rookgasreiniging van elektriciteitscentrales) in beton, of aan bermoplaatsjes gemaakt uit gemengd plastic afval. In het ontwerp van (deelsystemen van) infrastructuurle wordt onder invloed van zowel ecologische als economische eisen steeds meer de hele levenscyclus betrokken tot en met de ontmanteling van installaties aan het einde van de levensduur; dat geldt bijvoorbeeld voor nieuw te bouwen kerncentrales, maar in toenemende mate ook voor ‘gewone’ kunstwerken, zoals bruggen en tunnels.

Het energiegebruik in de gebouwde omgeving, zowel in woningen als in kantoren en openbare gebouwen, kent ook een constante ontwikkeling richting duurzaamheid. Feitelijk moeten de apparaten en ook de huizen en gebouwen zelf als een onderdeel van de infrastructuur gezien worden. Ze zijn immers functioneel in het verschaffen van de uiteindelijke ‘diensten’ als verblijf, verwarming, heet water om te wassen en te koken, koeling, etc. Historisch gezien heeft de manier waarop gebouwen verwarmd en van warm water voorzien werden een indrukwekkende ontwikkeling doorgemaakt. Van hout- en kolengestookte haarden, fornuizen en kachels, naar gasgestookte geisers en kachels en gasgestookte centrale verwarming. De huidige systemen voorzien in de vraag naar ruimteverwarming en heet tapwater met een steeds lager verbruik van gas. Dat is gehalveerd sinds de jaren tachtig, onder meer door een veel betere isolatie van gebouwen en steeds efficiëntere installaties. Deze ontwikkeling staat niet stil. Een recente studie laat zien dat, afhankelijk van de locatie en aard van de gebouwde omgeving, er nog allerlei ontwikkelingen mogelijk zijn, waarbij verschillende alternatieven ingezet kunnen worden (Schepers et al. 2015). Schepers et al. (2015) schetsen in hun studie ook een langere termijn perspectief, dat aangeeft wanneer de onderscheiden soorten wijken nieuwe duurzaamheidssprongen zouden kunnen maken, in relatie met de vervangingstermijnen van bestaande installaties en renovatieprojecten. Nog een stap verder gaat het koppelen van de energievoorziening op wijkniveau aan lokale condities, zoals de beschikbaarheid van industriële restwarmte of aardwarmte voor warmtenetten, of de beschikbaarheid van (bio)gassen en zonne-energie, of andere vormen van energie en de opslag daarvan.

Onder invloed van milieueisen zien we de laatste twee decennia ook interessante ontwikkelingen naar nieuwe infrastructuren. We zien als het ware parallelle infrastructuren ontstaan naast bestaande infrastructuren met vergelijkbare functies. Een goed voorbeeld daarvan is de afvalverwerking, waar de gescheiden inzameling en verwerking van papier, glas, plastics, metalen en chemisch afval daadwerkelijk tot nieuwe logistieke systemen en technieken hebben geleid.

Die ontwikkeling gaat met vallen en opstaan: experimenten met een *dedicated* infrastructuur voor huishoudwater (zogenoemd grijs water) om drinkwater in laagwaardige functies te vervangen (vergelijk de praktijk in Hongkong waar een *dedicated* zeewaterinfrastructuur is aangelegd om spoelwater voor wc's te leveren)⁸, heeft vanwege gezondheidsrisico's geen vervolg gekregen.⁹ Wat wel een hoge vlucht heeft genomen is de ontwikkeling van warmtenetwerken die restwarmte van elektriciteitsproductie, afvalverbrandingsinstallaties of industriële processen distribueren in nieuwe stadswijken (bijv. Amsterdam, Rotterdam en Nijmegen).¹⁰ Op steeds meer plaatsen wordt overigens ook aardwarmte in lokale warmtenetwerken benut (bijv. Westland, Haaglanden). In Noordoost Friesland wordt een biogasverzamleiding (BIONoF) van 32 km aangelegd waarin biogas van verschillende vergistingsinstallaties wordt verzameld voor centrale bewer-

king. Een alternatieve ontwikkeling is de aanleg van lokale infrastructuur (BioNet), die directe benutting van biogas mogelijk maakt zonder voorafgaande opwaardering naar zogenaamd groen gas¹¹, dat in de aardgasinfrastructuur kan worden ingevoerd. Ook stortgas uit historische vuilstorten, zoals in Wijster, wordt op die manier opgewaardeerd en benut in het aardgasdistributienetwerk. In het industriegebied van de Eemshaven bestaan plannen om een infrastructuur te ontwikkelen voor synthesegas (een mengsel van waterstof en koolmonoxide, meestal syngas genoemd), dat door de lokale industrie als energiedrager en als grondstof gebruikt kan worden. Op dit moment wordt het eerste deel van het project gerealiseerd; de synthesegasfabriek, die syngas zal produceren uit biomassa. De business case voor de beoogde integratie met een 12 MW Power-to-Gas (P2G) installatie, waarin water met behulp van goedkope elektriciteit wordt gesplitst in zuurstof (voor de synthesegasproductie) en waterstof (voor industrieel gebruik ter plaatse) is nog niet rond en dat kan naar verwachting nog lange tijd duren.¹² Kleine hoeveelheden waterstof kunnen overigens ook worden geacommodeerd in de aardgasinfrastructuur (Jepma en Rop 2013).¹³ Grootchalige waterstofdistributie in een daarvoor ontworpen nieuwe infrastructuur¹⁴, zoals onder meer bepleit door Rifkin (2002), is niet aan de orde zolang de kosten van hernieuwbare waterstofproductie uit water¹⁵ en de tegenvallende prestaties en kosten van brandstofceltechnologie een grootchalige adoptie daarvan belemmeren.

Overall in het land wordt bij de noodzakelijke vernieuwing van rioleringsystemen de afvoer van huishoudelijk afvalwater naar de rioolwaterzuiveringsinstallatie (grotendeels) gescheiden van de afvoer van hemelwater; dat borgt betere zuiveringsprestaties van de zuiveringsinstallaties en voorkomt overstort van bacteriologisch verontreinigd huishoudelijk afvalwater naar het oppervlaktewater ten tijde van hevige regenval. Tegelijkertijd zien we steeds meer integratie van infrastructuur om grondstoffen- en energierendement en daarmee zowel de economische als ecologische prestaties van de infrastructuur te verbeteren. Bekende voorbeelden zijn de benutting van afvalverbrandingsinstallaties voor elektriciteitsproductie en stadsverwarming, en de benutting van biogas uit waterzuiveringsinstallaties voor het opwekken van elektriciteit en warmte (AEB en Waternet, Amsterdam). Infrastructuur raken zo steeds meer met elkaar vervlochten in *systems-of-systems*.

Een belangrijke trend in dit verband is ook het intelligenter maken van infrastructuur door intensieve vervoeging met informatie- en telecommunicatie-infrastructuur; dat gebeurt niet alleen ten behoeve van de operatie van de infrastructuur zelf, denk bijvoorbeeld aan geavanceerde verkeersregelsystemen om congestie te voorkomen, maar ook om verduurzaming van de voorziening te accommoderen, zoals in het geval van *smart grids*, die de elektriciteitsnetbeheerder in staat stellen om ook bij een groeiend aandeel van elektriciteitsproductie uit fluctuerende duurzame bronnen (zon, wind) de stabiliteit van het elektriciteitsnet te hand-

haven. Voor de toekomst wordt een vergaande integratie van IT- en telecommunicatie-, elektriciteits- en transportinfrastructuren verwacht als de opmars van de elektrische auto doorzet (zie bijvoorbeeld Rifkin 2011).

9 INFRASTRUCTUREN, DUURZAAMHEID EN BELEID

Er bestaat een evidente koppeling tussen infrastructuurontwikkeling, zoals hierboven geschetst, aan ruimtelijke ontwikkelingen en een stapsgewijze versterking van duurzaamheid, bij een groeiende economie en bevolking. Deze koppeling was in het verleden impliciet aanwezig en werd niet als zodanig benoemd. Er waren andere waarden aan de orde, die expliciet nagestreefd werden in het sectorale infrastructuurbeleid, bijvoorbeeld het benutten van technisch en economisch efficiënte bronnen van energie, of het ontsluiten en verbinden van woon- en werklocaties door middel van openbaar vervoer. Tegenwoordig wint een brede opvatting van duurzaamheid terrein als doelstelling. De vertaling daarvan in het beleid blijft achter.

De ruimtelijke dimensie lijkt grotendeels afwezig in de huidige beleidsinspanningen om duurzaamheid te bevorderen (zie ook Van der Knaap 2002). Dat is des te opvallender omdat de fysieke inbedding van infrastructuren langdurig doorwerkt in de ruimtelijke structuur. Nog altijd zijn de sporen van prehistorische, Romeinse, Napoleons- en Willemswegen te herkennen in ons huidige wegenplan (Gids Cultuurhistorie 2012). Daarbij kan natuurlijk aangetekend worden dat de route van wegen deels bepaald wordt door geografische condities die in de loop der eeuwen niet ingrijpend veranderd zijn, met uitzondering van de vele droogleggingen in het westen van het land. Maar ook in het heden zijn er voorbeelden van ingrijpende ruimtelijke effecten van infrastructuuraanleg, denk bijvoorbeeld aan de ‘Ruimte voor de Rivier’-projecten of aan de kostbare verkabelingsoperaties in het hoogspanningsnet (110 kV- en 150 kV-lijnen) die nodig zijn voor herinrichting van bestaande woonwijken en om gemeentelijke uitbreidingsplannen mogelijk te maken.

De voor de hand liggende koppeling tussen ruimtelijk beleid en infrastructuurontwikkeling, voor zover in het verleden aanwezig, is verzwakt met de verplaatsing van taken op het terrein van natuur, ruimtelijke ordening en verkeer en vervoer van het Rijk naar provincies en gemeenten. De toenmalige Raad voor het Landelijk Gebied, de Raad voor Verkeer & Waterstaat, en de VROM-Raad constateerden in hun gezamenlijke briefadvies van 8 juni 2011 over de toekomst van het ruimtelijk beleid dat de decentralisatie van deze beleidstaken onvoldoende garantie biedt voor een adequate borging van het (inter)nationale systeemperspectief en van leefomgevingskwaliteiten in het ruimtelijk beleid (Raad voor het Landelijk Gebied et al. 2011). Recent heeft ook het PBL een gebrek aan afstemming tussen stedelijke ontwikkeling en de ontwikkeling van transportinfrastructuur vastgesteld en daarbij gewezen op de noodzaak om afwegingen over knooppuntontwikkeling bij voorkeur op regionaal of bovenregionaal niveau te maken (PBL 2014). Op voor-

dracht van de provincies heeft de Rijksoverheid inmiddels in de Structuurvisie ‘Windenergie op land’ definitief elf gebieden aangewezen voor de ontwikkeling van grootschalige windparken (meer dan 100 MW) op land; de provincies houden in hun provinciale structuurvisies zelf de regie op de lokaties voor kleinschalige windparken (minder dan 100 MW) (Rijksoverheid 2014).

In de eenentwintigste eeuw wordt duurzaamheid in het publieke debat vooral vertaald in termen van de preventie, beheersing van en adaptatie aan klimaatverandering en (reductie van) CO₂ emissies, hoewel er de laatste jaren onder invloed van geopolitieke ontwikkelingen ook meer aandacht komt voor aspecten van voorzieningszekerheid van met name energie en schaarse grondstoffen. Die versmalling van het duurzaamheidsbegrip strookt niet met de definitie van de Commissie Brundtland en roept vragen op over de ruimte voor socio-economische ontwikkeling die andere landen met minder geavanceerde economieën gegund wordt. Per saldo staat het energiesysteem nu in het middelpunt van de belangstelling als object van talloze beleidsinterventies die tot meer hernieuwbare energie, minder CO₂ emissies en tot structurele energiebesparing moeten leiden (zie ook Boot en Koutstaal 2015).

Dat het niet gemakkelijk is de ontwikkeling van een grootschalige energie-infrastructuur beleidsmatig te sturen, illustreren we aan de hand van een nadere analyse van de historische en huidige ontwikkeling van de elektriciteitsinfrastructuur. Tegelijkertijd laten we zien dat de meeste stappen in deze ontwikkeling gepaard gingen met, enerzijds, een expansie en kwalitatieve verbetering van de stroomvoorziening en, anderzijds, een relatieve verbetering van de duurzaamheid van zowel het systeem van voorziening als het daardoor gefaciliteerde gedrag. Daarnaast is de elektriciteitsinfrastructuur interessant als casus omdat veel van de opties om de samenleving duurzamer te maken een grotere rol van deze infrastructuur vergen.

10 CASUS ELEKTRICITEITSINFRASTRUCTUUR

10.1 INLEIDING

Een beschouwing over de elektriciteitssector als voorbeeld van de relatie tussen de ontwikkeling van een infrastructuur en duurzaamheid is relevant en illustratief. In de eerste plaats is duidelijk zichtbaar hoe de ontwikkeling van het systeem door de tijd zich op verschillende schaalniveaus afspeelt; in het gebruik van stroom in allerlei nieuwe toepassingen, in de toegepaste productietechnologieën en in de evolutie van lokale naar regionale, nationale en internationale systemen en netwerken. Het is deze ontwikkeling die zowel een continue verbetering in het systeem van energievoorziening mogelijk gemaakt heeft, als ook tot een relatieve afname van de vervuilende en belastende effecten op de omgeving geleid heeft. In de tweede plaats vanwege het cruciale aandeel van elektriciteit in de energievoorziening, als basis voor onze welvaart. Tussen 1950 en 2013 steeg het verbruik van elektriciteit in Nederland met gemiddeld 4,5 procent per jaar, van ruim 7 mld kWh in 1950 tot 119 mld kWh in 2013 (CBS, 2015). Naar verwachting zal de elektriciteitsvraag van huishoudens en bedrijven sterk blijven groeien, en zelfs zeer sterk als de elektrificatie van verwarming (elektrische warmtepompen) en automobilititeit (elektrische auto's) doorzet. Onze kwetsbaarheid voor uitval van deze basisvoorziening zal dan nog verder toenemen.¹⁶ In de derde plaats omdat juist aan de elektriciteitsvoorziening ambitieuze duurzaamheidsdoelstellingen zijn verbonden. De Europese Commissie heeft een reductie van broeikasgasemissies met 80 tot 95 procent ten opzichte van 1990 als doel gesteld voor 2050; voor de elektriciteitssector betekent deze doelstelling een vrijwel volledige decarbonisatie, en een radicale verandering van het systeem van voorziening (European Commission 2011).

Hieronder zullen we laten zien hoe de ontwikkeling van het elektriciteitssysteem faciliterend is geweest voor zowel de groei van welvaart als welzijn, en hoe die ontwikkeling tegelijkertijd grote bijdragen heeft geleverd aan de sociale, economische en ecologische duurzaamheid van de samenleving op macroniveau en aan ontwikkelingsmogelijkheden voor huishoudens en bedrijven op microniveau, in een gezondere en schonere werk- en leefomgeving. Dat had betrekking, enerzijds, op het feit dat allerlei sociale en economische activiteiten als gevolg van de elektrificatie steeds efficiënter, betaalbaarder en schoner ondernomen konden worden; duurzamer *door* infrastructuur. Anderzijds wordt zichtbaar hoe de infrastructuur zelf in economisch en ecologisch perspectief steeds duurzamer is geworden, in de zin van een efficiënter gebruik van grondstoffen en een gestage reductie van emissies naar de leefomgeving; duurzaamheid *van* de infrastructuur (zie ook Verbong en Geels 2007).

Vervolgens zullen we illustreren hoe de toenemende complexiteit en noodzaak tot ruimtelijke schaalvergroting van het voorzieningssysteem, in combinatie met technische, economische en vooral institutionele fragmentatie, een uitdaging vormen voor de verdere ontwikkeling van een duurzame energievoorziening (zie ook Künneke 2008).

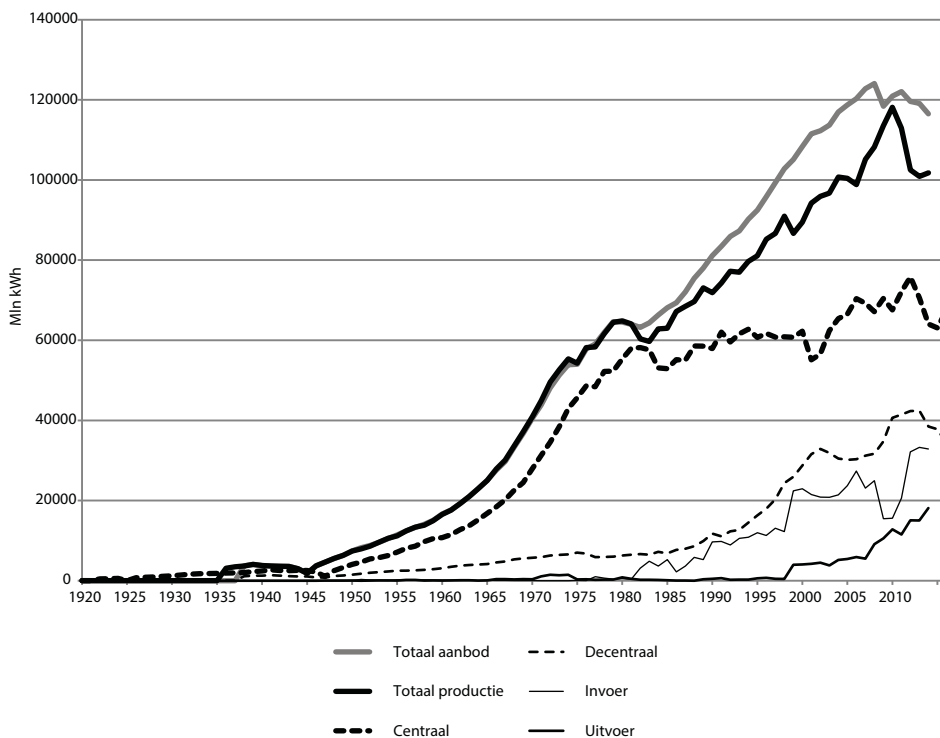
10.2 LEIDENDE INFRASTRUCTUUR – VOOR INDUSTRIALISATIE EN WELVAART

De historie van de elektriciteitsinfrastructuur gaat terug tot de laatste decennia van de negentiende eeuw. De opmars van elektrische verlichting in Europa begon met de internationale elektriciteitstentoonstelling van 1881 in Parijs, waar voor het eerst commerciële elektrische verlichtingssystemen ten toon werden gesteld, van gloeilampen tot en met kabels, dynamo en gasmotor. De ontwikkeling van lokale netwerken kwam in Nederland betrekkelijk aarzelend op gang. Onder meer vanwege de gevestigde belangen in stadsgas, dat hoofdzakelijk gebruikt werd voor verlichting, waren gemeenten aarzelend om concessies te verlenen aan private aanbidders van ‘centrales’ (die qua omvang van voorziening nauwelijks verder reikten dan een enkele straat) (Stout en De Jong 2005).

In de eerste fase van de openbare elektriciteitsvoorziening, globaal tot de Tweede Wereldoorlog, lag de nadruk op *universele toegang* tot elektriciteit (vooral ook in de periferie), *betalbaarheid* van de voorziening en *betrouwbaarheid*. Was elektriciteit aanvankelijk een voorziening voor verlichting bij bedrijven en welgestelden, toen het eenmaal erkend werd als een voorziening van openbaar nut, werden de private initiatieven geleidelijk geïncorporeerd in gemeentelijke en later ook provinciale bedrijven. Om ruimtelijke en technische schaalvergroting en de economische problemen die samenhangen met het ‘natuurlijke monopolie’ karakter het hoofd te kunnen bieden namen gemeenten de elektriciteitsvoorziening over. Bijkomend argument, naast de gewenste elektrificatie van de openbare straatverlichting, was de vraag naar tractie voor de gemeentelijke vervoerbedrijven. Interlokale verbindingen tussen de stadsnetwerken, die de betrouwbaarheid van de voorziening verbeterden, kwamen tot stand onder regie van de provinciale elektriciteitsbedrijven die in de meeste provincies rond de eerste wereldoorlog werden opgericht, mede met het oog op de elektriciteitsvoorziening en daarmee de economische ontwikkelingskansen van het platteland. Rond 1920 kende Nederland meer dan vijfhonderd gemeentelijke en provinciale elektriciteitsbedrijven, die in hun verzorgingsgebied de hele keten van elektriciteitsproductie, distributie en levering beheersten. In de industrie speelde decentrale ‘eigen’ productie ook toen al een belangrijke rol.¹⁷ Op basis van kolenstook maakten steeds meer bedrijven zelf, meestal in combinatie met de productie van stoom, elektriciteit als kracht-

bron voor allerlei mechanische bewerkingsprocessen zoals zagen, malen en hijsen (CBS, 2015; Stout en de Jong, 2005; Hesselmans et al. 2000; Hesselmans en Verbong, 2000).

Figuur 1 Ontwikkeling van het aanbod van elektriciteit 1920-2014 in Nederland

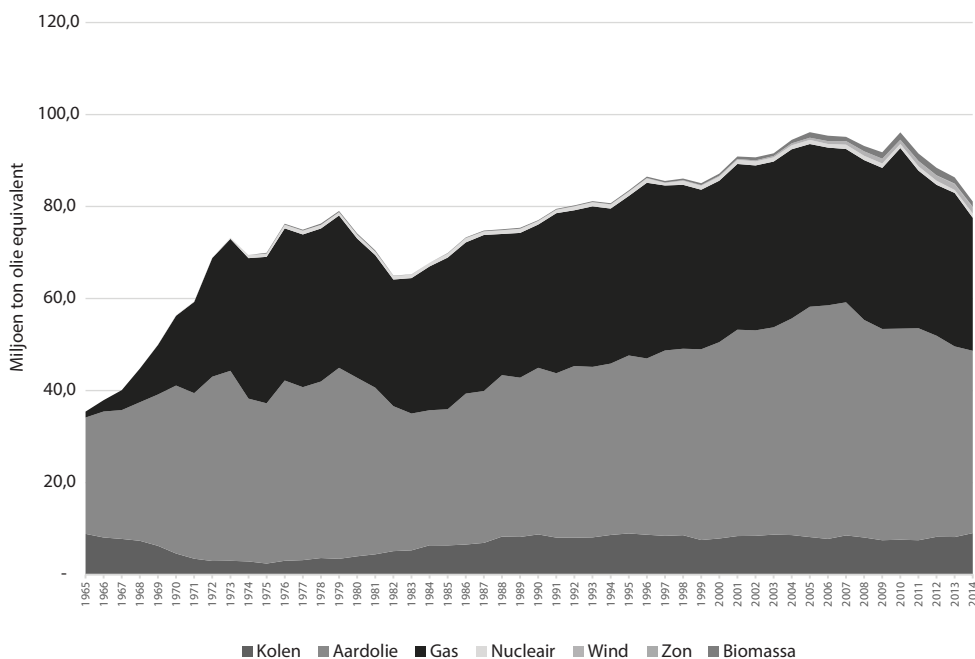


Bron: CBS Statline.

Al snel na de oorlog, in 1949, werd door een aantal provincies, de gemeente Amsterdam en provinciale elektriciteitsproducenten de SEP opgericht, de NV Samenwerkende Elektriciteits Productiebedrijven, die de regie voerde over de ontwikkeling van een landelijk koppelnet en de planning en de bouw van nieuwe elektriciteitscentrales. Tot de oliecrisis in 1973 daalden de energieprijzen en nam de vraag naar elektriciteit sterk toe, zoals getoond in de Figuren 1 en 2. In die jaren was het een grote uitdaging de stormachtige economische groei bij te benen en groeide de centrale elektriciteitsvoorziening sterk. Midden jaren zestig, na de ontdekking van het gasveld in Groningen in 1959, vond een gedeeltelijke omschakeling plaats van steenkool en olie naar aardgas in de elektriciteitsopwekking en de industrie (zie Figuur 3). In de productietechnologie deden zich ingrijpende ontwikkelingen voor, in eerste instantie door de schaalvergroting van op fossiele brandstoffen gestookte thermische centrales en later door de overgang van kolen en aardolie

naar gas (Schippers, Verbong en Van den Berg 2000). De consequentie hiervan was dat steeds grotere hoeveelheden elektriciteit geproduceerd konden worden, tegen lagere kosten en met een verminderde aantasting van de leefomgeving per geleverde kilowattuur.

Figuur 2 Ontwikkeling van het energieverbruik in Nederland



Bron: BP Statistical Review of World June 2015.

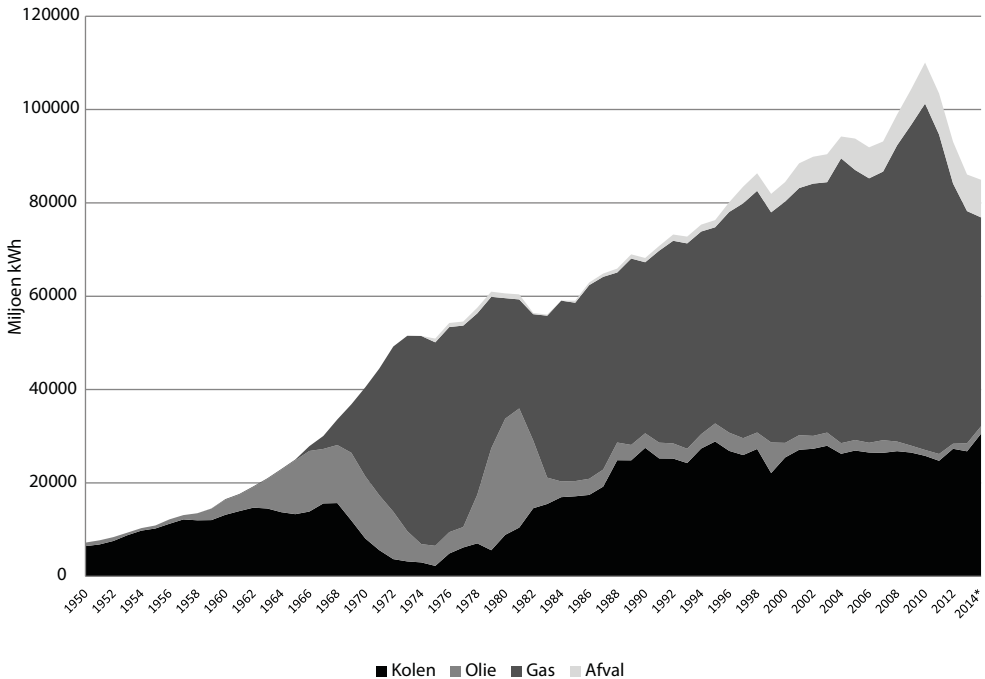
Daarbij bestonden optimistische verwachtingen over de toekomstige rol van kernenergie. De Nota inzake het kernenergiebeleid (1972) van de toenmalige minister van Economische Zaken, Langman, ging voor het jaar 2000 uit van circa 35 GW aan kerncentrales, die samen de helft van de in 2000 benodigde elektriciteitsproductiecapaciteit zouden dekken. In datzelfde jaar echter vond ook de eerste VN Milieuconferentie plaats en kwam de antikernenergiebeweging in Nederland op. Terwijl de kerncentrale Borssele in 1973 in bedrijf werd genomen, slaagde de antikernenergiebeweging er juist in dat jaar in breed protest te mobiliseren tegen kernenergie. Directe aanleiding daarvoor was de invoering per 1 juli 1973 van de zogenoemde Kalkarheffing, een 3 procent opslag op ieders elektriciteitsrekening, bedoeld om de Nederlandse deelname aan de realisatie van de snelle kweekreactor in Kalkar te financieren. Sindsdien is de sociale acceptatie van kernenergie in Nederland gering: de kweekreactor in Kalkar is wel neergezet, maar nooit in bedrijf genomen en mede ten gevolge van de ongelukken met de kerncentrales van Three Mile Island (maart 1979) en Tsjernobyl (april 1986) en de Thorp opwerkingsfabriek

in Sellafeld (lekkage van radioactief afval, april 2005), is het wat kernenergie in Nederland betreft gebeven bij Borssele en een kleine (58 MWe) proefcentrale in Dodewaard die in 1997 is gesloten (De Jong et al. 2005; Verbong en Lagaay 2000). Even leek daar in het begin van de eenentwintigste eeuw een kentering in te komen onder invloed van het klimaatdebat, maar sinds de ramp met de kerncentrale in Fukushima (maart 2011) is het maatschappelijk draagvlak voor kernenergie in veel westerse landen zwak, zo niet afwezig. In Duitsland was Fukushima het signaal voor een versnelling van de *Kernausstieg* en werden er in één klap acht centrales (8,3 GW) vervroegd gesloten (World Nuclear Association, 2015). Frankrijk is in dit verband een grote uitzondering in Europa, met 58 kerncentrales in bedrijf en een nieuwe centrale in aanbouw. Overigens heeft Frankrijk op 22 juli 2015 een nieuwe energiewet¹⁸ aangenomen die een Franse *Energiewende* inluidt: daarin wordt onder meer gesteld dat het aandeel nucleaire energie in de Franse energiemix in 2025 teruggebracht moet zijn tot 50 procent. Dat betekent dat de nucleaire capaciteit in het komende decennium met een derde moet krimpen, ten gunste van hernieuwbare energiebronnen. In Finland, Slowakije en het Verenigd Koninkrijk zijn nieuwe kerncentrales in aanbouw of in de planning (World Nuclear Association, 2015). Die nieuwe centrales kunnen slechts tot stand komen dankzij financiële steun of garanties van de overheid. In het Verenigd Koninkrijk is men bereid om Electricité de France inkomsten van ruim 90 GBP per MWh te garanderen in langlopende contracten voor de levering van kernenergie; dat is ruim tweemaal de huidige elektriciteitsprijs (The Guardian, 8 oktober 2014).

In de periode na 1973 ontstond, mede onder invloed van *The limits to growth*, een in Nederland spraakmakend rapport van de Club van Rome (Meadows et al. 1972), het bewustzijn van energieschaarste. Door de oliecrises in de jaren zeventig kwam de importafhankelijkheid van fossiele brandstoffen ter discussie te staan. De hoge olieprijs leidden ook tot hoge aardgas- en elektriciteitsprijzen: zowel de toekomstige leveringszekerheid als de betaalbaarheid werden een punt van zorg, terwijl tegelijkertijd het maatschappelijk draagvlak voor kernenergie als alternatief erodeerde (Verbong 2000). De decentrale opwekking van elektriciteit, waaronder Warmte Kracht Koppeling (WKK) waarbij bedrijven in dezelfde gasgestookte installatie tegelijkertijd de warmte voor hun productieproces en elektriciteit opwekken, maakte met name vanaf het midden van de jaren tachtig een forse (her)opleving door, onder meer als gevolg van overheidsstimulering (zie Figuur 1). Dit betekende een belangrijke verbetering van de efficiëntie en een vermindering van de milieubelasting door de verschuiving van kolen naar gas. Daarnaast ging energiebesparing, vooral door middel van isolatie, een rol van belang spelen zowel in het huishoudelijk gebruik, als in de industrie en de openbare sector. In dit tijdsgewricht kwamen, mede onder invloed van het rapport van de Club van Rome, wind- en zonne-energie prominent in beeld als duurzame opties voor de toekomst

en in alle westerse landen werden grootschalige technologische onderzoeks- en ontwikkelingsprogramma's gestart om de prestaties van die hernieuwbare energietechnologieën te verbeteren.

Figuur 3 Ontwikkeling van de inzet van primaire energie in de opwekking van elektriciteit in Nederland: 1950-2014



Bron: OECD, IEA.

10.3 NAAR EEN SCHONERE ELEKTRICITEITSINFRASTRUCTUUR

In de jaren 1970-1980 was er vanuit de milieubeweging veel aandacht voor het fenomeen van de 'zure regen', dat verantwoordelijk werd gehouden voor grootschalige sterfte van naaldbomen. Emissies van zwavel- en stikstofoxiden en fijnstof waren bovendien veroorzakers van ernstige smog. Die zorgen hebben ertoe geleid dat kolengestookte elektriciteitscentrales (en raffinaderijen) verplicht werden tot vergaande rookgasontzwaveling en tot ingrijpende beperking van emissies van stikstofoxiden en vliegias; dat laatste vindt inmiddels op grote schaal toepassing als toeslagmateriaal in beton. Aardgasgestookte centrales hebben in termen van emissies grote voordelen boven kolengestookte centrales, aangezien zij veel schonere, zwavelvrije brandstof gebruiken en er geen roet ontstaat bij de verbranding. Het elektrisch rendement van de modernste gascentrales (de aan het hoogspanningsnet geleverde elektriciteit gedeeld door de energie-inhoud van de gebruikte pri-

maire brandstof) is thans ruim 60 procent; voor een moderne kolencentrale is dat circa 47 procent. Het gemiddelde rendement van de elektriciteitsproductie door Nederlandse centrales (kolen- en gasgestookt en de kerncentrale Borssele) neemt de laatste jaren overigens af door het afnemende aandeel van gasgestookte centrales; in 2012 en 2013 was het gemiddelde rendement van de Nederlandse elektriciteitsproductie respectievelijk 42,1 en 42,6 procent, tegenover 43,6 procent in 2011 (CBS 2015). Door de relatief hoge gasprijzen in Europa en de zeer lage kolenprijzen (sinds de grootschalige schaliegasproductie in de Verenigde Staten), in combinatie met de groei van het opgestelde zon- en windvermogen, verliezen gascentrales de concurrentieslag met kolencentrales.

In Denemarken werd in 1977 de eerste 1 MW windturbine opgesteld. Inmiddels leveren de nieuwste turbines bij een totale hoogte van bijna 200 m al een nominaal vermogen van meer dan 7 MW per stuk. Eind 2014 bedroeg de geïnstalleerde capaciteit wereldwijd 370 GW. Het grootste aandeel daarvan heeft China met bijna 115 GW, gevolgd door de Verenigde Staten met bijna 66 GW en Duitsland met meer dan 35 GW (WWEA 2015; Fraunhofer ISE 2014). In Denemarken, waar het geïnstalleerde vermogen eind 2014 4850 MW bedroeg, was het aandeel windenergie over het jaar 2013 al ruim 33 procent van de totale elektriciteitsconsumptie. In de maand december van dat jaar werd een record gebroken: voor het eerst voorzagen de windturbines in meer dan de helft (54,8 procent) van de totale landelijke elektriciteitsconsumptie in één maand (Energinet 2014). Denemarken streeft naar een structureel aandeel van 50 procent wind in de totale elektriciteitsconsumptie in 2020; in 2035 moet alle elektriciteits- én warmteconsumptie gedekt worden uit hernieuwbare bronnen, en in 2050 moet de gehele Deense energievoorziening, inclusief transportbrandstoffen, hernieuwbaar zijn (Danish Government, 2011).

Duitsland zet in op snelle uitbreiding van het windvermogen, maar heeft inmiddels ook een aanzienlijke en nog steeds snel groeiende zonne-energiecapaciteit in de vorm van fotovoltaïsche panelen. Van de wereldwijd geïnstalleerde zon-PV capaciteit in 2013, bijna 139 GW, stond 81,5 GW in Europa, waarvan ruim 35 GW in Duitsland (EPIA 2014). Eind 2014 was dat al 38,5 GW, meer zelfs dan de 35,7 GW geïnstalleerd windvermogen (Fraunhofer ISE 2015). Nu al gebeurt het enkele keren per jaar, gedurende dagdelen met lage elektriciteitsvraag (meestal tijdens het weekend), dat de zon- en windomstandigheden zo gunstig zijn dat de hele Duitse elektriciteitsvraag uit deze duurzame bronnen gedekt kan worden. De stroomprijzen (op de groothandelsmarkt) worden dan negatief, omdat elektriciteit uit hernieuwbare bronnen voorrang heeft op het net, terwijl bruinkoolgestookte centrales en de nog actieve kerncentrales niet zomaar stilgelegd kunnen worden om weer snel op te starten als de vraag weer toeneemt en/of de duurzame stroomproductie afneemt. In 2014 zagen de nog in bedrijf zijnde Duitse kerncentrales zich genoodzaakt hun *basislast*¹⁹ -productie met 10 procent te reduceren; voor de bruinkoolcentrales was die reductie zelfs 30 procent (Fraunhofer ISE 2014).

In vergelijking met Duitsland en Denemarken verloopt de opmars van duurzame elektriciteit in Nederland met een slakkengang. In 2013 was slechts 4,5 procent van de in Nederland verbruikte energie afkomstig uit duurzame bronnen; er was geen toename ten opzichte van 2012 (Algemene Rekenkamer 2015; European Commission 2015a). De Algemene Rekenkamer constateert dat Nederland van alle Europese landen het verst van zijn duurzame energiedoelen voor 2020 verwijderd is en acht het zonder aanvullende middelen en maatregelen niet realistisch dat de doelstelling gehaald wordt om in 2020 14 procent (resp. in 2023 16 procent) van de energieconsumptie uit hernieuwbare bronnen te voorzien, zoals overeengekomen in het Energieakkoord (SER 2013). Daarbij mag overigens aangetekend worden dat Nederland in Europa een van de minst gunstige landen is qua condities voor het winnen van hernieuwbare energie (IRENA 2013; Rijksoverheid 2013).

10.4 DE NETWERKINFRASTRUCTUUR VOLGT...

Te midden van de ingrijpende hervormingen die de elektriciteitssector heeft ondergaan, is de fysieke netwerkinfrastructuur niet wezenlijk veranderd, althans niet qua technologisch concept, maar wel is het netwerk in de twintigste eeuw steeds verder vermaasd, verdicht en uitgebreid, tot over de landsgrens. In de topologie van het net is de ontstaansgeschiedenis nog altijd herkenbaar: de ontwikkeling begon in de grote steden, de lokale stadsnetwerken werden vervolgens interlokaal gekoppeld, waardoor ook het platteland kon worden voorzien. Het landelijke koppelnet dat de netwerken van de provinciale elektriciteitsbedrijven met elkaar verbindt, dateert van na de Tweede Wereldoorlog. Pas in het begin van de jaren zeventig werden in Nederland de eerste transmissielijnen van 380 kV in gebruik genomen, waarmee de basis werd gelegd voor het Nederlandse transmissienet zoals we dat vandaag kennen.²⁰ De landelijke 380 kV ring werd pas tegen het einde van de jaren tachtig gesloten en in de jaren negentig in bedrijf gesteld. Het Randstad 380-project, dat in 2018 gereed moet zijn, voorziet in twee nieuwe ringsluitingen in het zuidelijke respectievelijk het noordelijke deel van de Randstad. De zuidelijke ring, onder meer belangrijk voor nieuwe aansluitingen op Maasvlakte 2, is in september 2013 in bedrijf gesteld.

In de topologie van het elektriciteitsnet is nog altijd herkenbaar dat het elektriciteitsnet, net als in andere landen, als een nationaal systeem werd ontwikkeld dat grootschalige, centrale productie-eenheden moest faciliteren, met uitlopers (steeklijnen) naar de grensgebieden. Alleen in het relatief geïsoleerde Zuid-Limburg waren er al in de jaren zestig enkele grensoverschrijdende verbindingen met Duitsland en België. De aanleg van grensoverschrijdende verbindingen vanuit het landelijke koppelnet, met het oogmerk om bijstand te kunnen verlenen aan of te ontvangen van de buurlanden bij incidentele problemen met de netstabiliteit, dateert van de jaren tachtig. Sindsdien is het aantal grensoverschrijdende interconnecto-

ren sterk toegenomen. In vergelijking met de meeste andere Europese landen heeft Nederland in verhouding tot de geïnstalleerde binnenlandse productiecapaciteit een relatief grote internationale transmissiecapaciteit.

De jongste internationale verbindingen zijn die met Noorwegen (NorNed, 2007) en het Verenigd Koninkrijk (BritNed, 2011). Inmiddels is er groen licht voor een verbinding met Denemarken, de COBRA-kabel, die in 2019 gereed moet zijn en is er sprake van een mogelijke verdubbeling van de NorNed-capaciteit. Ook andere landen hebben de afgelopen decennia geïnvesteerd in grensoverschrijdende verbindingen, zodat er inmiddels sprake is van een grootschalig Europees elektriciteitsnetwerk, bestaande uit vijf synchrone wisselstroomzones: continentaal Europa, Groot-Brittannië, Ierland (met Noord-Ierland), de Baltische staten en Scandinavië (waarbij het Deense netwerk deels in het continentale netwerk, deels in het Scandinavische netwerk is geïntegreerd) die onderling verbonden zijn met hoogspanningsgelijkstroomverbindingen (HVDC-technologie).²¹ Binnen elk van de vijf zones wordt, onafhankelijk van de overige zones, de netstabiliteit bewaakt, die bepaald wordt door het spanningsniveau en de frequentie van de wisselstroom. De integratie van nationale elektriciteitsnetwerken is mogelijk gemaakt door technische standaarden (waaronder de keuze voor het driefasensysteem, met 50 Hertz wisselstroom, die al in het begin van de twintigste eeuw is gemaakt) en coördinatieafspraken tussen de hoogspanningsnetbeheerders. Er is, anders dan de vrijwillige coördinatie van nationale (en enkele regionale) netbeheerders in ENTSO-E²², geen centrale coördinatie van het Europese netwerk. ACER²³, dat door de Europese Commissie is opgericht om consistentie te bevorderen in het toezicht op de energiemarkten, heeft voornamelijk een coördinerende en faciliterende taak en ook de Europese Commissie zelf heeft slechts beperkte reguleringsbevoegdheden.²⁴

De totstandkoming van het pan-Europese netwerk, dat overigens ook nog verbindingen heeft naar Noord-Afrika en in oostelijke richting naar Rusland, Wit-Rusland, Oekraïne, Moldavië en Turkije, is niet het resultaat van een masterplan. Eerder is er sprake van een incrementele, evolutionaire ontwikkeling, waarbij de netwerkontwikkeling gedreven werd door de behoefte de voorzieningszekerheid te verbeteren door middel van koppeling van de netten en later door de economische voordelen van handel in elektriciteit.

10.5 BETAALBAARHEID EN LIBERALISERING

Na de piek in publieke aandacht voor het milieu in de jaren zeventig, kwam in de jaren tachtig en negentig betaalbaarheid als publieke waarde weer meer in het vizier. De Elektriciteitswet van 1989 belichaamde de wens tot grotere economische efficiëntie, waarbij werd gekozen voor een strategie van centralisatie en schaalvergroting. De SEP, die begonnen was als een gezamenlijke dochteronderneming

van de elektriciteitsproductiebedrijven, werd omgevormd tot een structuurvennootschap met verregaande bevoegdheden met betrekking tot de planning en de inzet van centrales, naast de bestaande rol van de SEP als transmissienetbeheerder. De centrale planning hield echter onvoldoende rekening met de snelle opkomst van decentrale productie in de vorm van warmtekrachtcentrales in de industrie en de agrarische sector (gestimuleerd door de overheid), waardoor de kosten van de centrale voorziening opliepen en de beoogde verbetering van economische efficiëntie onvoldoende bereikt werd (zie Figuur 1). Als de EU in 1996 de eerste elektriciteitsrichtlijn uitvaardigt die lidstaten verplicht om vrije mededinging in de productie van elektriciteit toe te staan grijpen de provinciale en gemeentelijke elektriciteitsbedrijven hun kans om onder het juk van de SEP vandaan te komen. Een initiatief van de SEP om de productiebedrijven te bundelen in één Grootchalig Productiebedrijf mislukt en de SEP wordt ontmanteld. Met de Elektriciteitswet van 1998 komt er definitief een einde aan het monopolie van de SEP (De Jong et al. 2005); het beheer van het transmissienet en het systeembeheer (het technisch laten functioneren van de elektriciteitsvoorziening) zijn de enige functies van TenneT.²⁵

Vanuit de gedachte dat de elektriciteitsvoorziening in Nederland overcapaciteit heeft en daardoor onnodig duur is en te weinig prikkels heeft om te innoveren, wordt vanaf 1998, op instigatie van de EU en in navolging van het Verenigd Koninkrijk, waar de elektriciteitsmarkt al sinds 1989 geliberaliseerd werd, uitvoering gegeven aan een hervormingsagenda (De Jong et al. 2005; Köper 2008). De institutionele veranderingen die zich sinds 1998 hebben voorgedaan kunnen samengevat worden onder de noemers deregulering, liberalisering, ontvlechting, privatisering, internationalisering en re-regulering (WRR 2008).

Met *deregulering* wordt bedoeld op het wegnemen van wetten en regels die de toetreding van nieuwkomers op infrastructuurgebonden markten verhinderden, met andere woorden op het afbreken van de traditionele verticaal geïntegreerde regionale monopolies op de infrastructuur en de daaraan verbonden leveringsdiensten. De deregulering betrof vooral de productie en de levering van elektriciteit; de netwerken werden juist wel gereguleerd om vrije toegang en redelijke transporttarieven te garanderen. Aanvankelijk werd ingezet op een reguleringsmodel waarin vrijemarktcondities zo veel mogelijk gesimuleerd werden en netwerkbedrijven dus aan voortdurende druk werden blootgesteld om hun economische efficiëntie te verbeteren. Proefondervindelijk bleek het echter lastig om zowel de operationele als de kapitaalkosten op deze wijze te reguleren en is men geleidelijk overgegaan op een meer traditionele beoordeling van nut en noodzaak van investeringen in het kader van een structuurvisie op de netwerkontwikkeling (Rijks-overheid 2010).

Liberalisering staat voor het mogelijk maken van concurrentie tussen aanbieders van infrastructuur en/of infrastructuurgebonden diensten in een ‘vrije’ markt. Conform de Elektriciteitswet van 1998 is de Nederlandse elektriciteitsmarkt in drie fasen opengesteld: vanaf 1998 eerst voor grootverbruikers (ook import wordt dan al geliberaliseerd), vanaf 2002 voor middelgrote verbruikers en vanaf 2004 voor consumenten en het kleinbedrijf. Nederland heeft een van de meer competitieve elektriciteitsmarkten in de wereld, met een relatief groot aantal concurrerende elektriciteitsproductiebedrijven en –leveranciers (waarvan een aantal grote bedrijven beide functies vervullen). De dynamische efficiëntie van de markt is echter tegengevallen: terwijl de overcapaciteit aan elektriciteitscentrales begin jaren negentig een van de argumenten vóór liberalisering was, is door de marktpartijen de laatste jaren opnieuw teveel geïnvesteerd. De stagnerende vraag naar elektriciteit en het toenemende aanbod van goedkope (want gesubsidieerde) elektriciteit uit hernieuwbare bronnen, ook uit Duitsland, hebben deze situatie verergerd voor de productiebedrijven.

Omdat veel infrastructuurgebonden markten hoge toetredingsdrempels hebben, in het bijzonder als het infrastructuurnetwerk een zogenaamd ‘natuurlijk monopolie’ is, zoals in het geval van elektriciteit, moesten de transport- en distributienetwerken²⁶ in veel infrastructuursystemen *ontvlochten* worden van de productie, handel en levering van de betreffende goederen of diensten. In laatstgenoemde segmenten van de waardeketen was marktwerking wel mogelijk, terwijl de netwerken zelf onder specifiek sectortoezicht werden gesteld – op basis van de Elektriciteitswet – om eerlijke, non-discriminatoire toegang voor concurrerende producenten en leveranciers te garanderen en, in het belang van de eindgebruikers, de transporttariefstructuur te bewaken. De Elektriciteitswet van 1998 schrijft een juridische scheiding voor tussen productie, transport/distributie en levering en loopt daarmee vooruit op de hervormingseisen van de Europese Commissie, die juridische scheiding pas in 2003 verplicht zal stellen. In 2006 neemt de Tweede Kamer de zogenaamde Splitsingswet aan (Wet onafhankelijk netbeheer), die volledige eigendomsontvlechting van de energienetten gebiedt; commerciële bedrijven die opereren in de markten voor elektriciteitsproductie, -levering en/of -handel mogen op geen enkele wijze aandeel hebben in de netwerken, die als natuurlijk monopolie worden gereguleerd en in publieke handen zullen blijven. De Splitsingswet treedt per 1 juli 2008 in werking; de daadwerkelijke splitsing van de energiebedrijven wordt vóór het einde van 2010 voltooid. De verplichte eigendomssplitsing van netwerken, productie en levering werd overigens aangevochten door Eneco, Delta en Essent. Nadat het Hof van Justitie van de Europese Unie de Nederlandse Staat op 22 oktober 2013 in beginsel al in het gelijk had gesteld, heeft inmiddels ook de Hoge Raad beslist dat Eneco en Delta gesplitst zouden moeten worden (Hoge Raad 2015; NRC 26 juni 2015).

Overigens had de vergaande Nederlandse Splitsingswet weinig precedent en weinig navolging. In het Verenigd Koninkrijk zijn veel bedrijven gesplitst op vrijwillige basis, veelal vanwege de sterk verouderde netwerken. In Nieuw Zeeland werd de splitsing van de distributienetwerken in 1998 ook wettelijk verplicht, maar in veel andere landen zijn de distributienetten nog geïntegreerd met productie- en/of leveringsbedrijven. Inmiddels zijn in de meeste Europese landen wel de transmissienetwerken volledig, althans juridisch, ontvlochten (Pollitt 2008; Meyer 2011, 2012; Gugler et al. 2013; European Parliament 2010). Door eigendomsplitsing worden weliswaar betere condities gecreëerd voor concurrentie in elektriciteitsproductie en in de levering van energiediensten, omdat de transmissie-netbeheerder geen belangenverstrengeling heeft²⁷, maar die verregaande ontvlechting gaat wel ten koste van *economies of scope*. Er zijn verschillende gradaties van ontvlechting; naarmate die verder wordt doorgevoerd wordt de mededinging gelijkjer maar verdwijnen coördinatiemogelijkheden. Meyer (2011, 2012) geeft een aan de theoretische en empirische literatuur ontleend overzicht van de kosten van de verschillende varianten van ontvlechting. Voor ontvlechting van de elektriciteitsproductie van de rest van de leveringsketen bedragen die meer dan 15 procent van de totale kosten van productie tot en met levering aan de eindgebruiker, door een toename van zowel coördinatiekosten als marktrisico's. Voor ontvlechting van distributie en levering (tezamen) van de rest van de leveringsketen bedragen de synergieverliezen 5 tot 9 procent van de totale kosten, door grotere marktrisico's. Voor ontvlechting van de transmissie- en distributienetten bedragen de synergieverliezen (voor elk van beide opties afzonderlijk) 2 tot 5 procent van de totale kosten; hier gaat het om het wegvallen van coördinatievoorstellen. De verwachting is dat de synergieverliezen die ontstaan door afsplitsing van de netwerken ruimschoots worden gecompenseerd door de heilzame kostenverlagende werking van competitie tussen elektriciteitsproducenten en tussen energieleveranciers, zodat splitsing uiteindelijk resulteert in een netto-kostenverlaging voor alle eindgebruikers (Pollitt 2008; Nillesen en Pollitt 2008).²⁸ Delta en Eneco voerden in hun verweer tegen de Splitsingswet onder meer aan dat splitsing ten koste gaat van investeringen in duurzaamheid, vanwege de hogere kosten om kapitaal te lenen als het net niet als zekerheid kan dienen. Zij voeren daarnaast aan dat ook Essent en Nuon nu onderdeel zijn van bedrijven (RWE respectievelijk Vattenfall) die eigenaar zijn van elektriciteitsnetwerken (in Duitsland) en daar ook de vruchten van kunnen plukken. Volgens bestuursvoorzitter De Haas van Eneco vervalt voor Eneco bij splitsing ruim 400 miljoen euro aan investeringsruimte voor groene investeringen (in onder meer windparken en warmtenetten) in de komende drie jaar.²⁹ Eneco heeft inmiddels aangekondigd zich te distantiëren van de gemaakte afspraken in het Energieakkoord (BNR, 1 juli 2015).

Privatisering betekent dat infrastructuurnetwerken en/of andere inrichtingen die onderdeel zijn van het infrastructuursysteem overgaan in private handen. Al in 1999 verkochten de elektriciteitsproductiebedrijven UNA, EZH en EPON hun cen-

trales aan respectievelijk Reliant (uit de Verenigde Staten), Preussen Elektra en Electrabel. Later werden de centrales van Reliant weer teruggekocht door Nuon, dat inmiddels (voor een veel te hoog bedrag) is overgenomen door het Zweedse staatsbedrijf Vattenfall. In de Nederlandse elektriciteitsinfrastructuur is ervoor gekozen zowel het transmissienetwerk als de distributienetwerken in publieke handen (van respectievelijk de staat en provincies/gemeenten) te houden. Zodra de splitsing een feit was verkocht een aantal Nederlandse provincies en gemeenten hun aandelen in de productie- en leveringsbedrijven Essent en Nuon aan respectievelijk RWE en Vattenfall. In de Nederlandse transmissie- en distributienetwerken is privatisering vooralsnog uitgesloten. Ook minderheidsdeelnemingen zijn (nog) niet toegestaan. Opmerkelijk genoeg heeft zich wel een omgekeerde beweging voorgedaan. TenneT, volledig eigendom van de Nederlandse staat, heeft in november 2009 het eigendom verworven van een groot deel van het Duitse transmissienet, voorheen (onder de naam Transpower) in handen van E.ON. Gasunie heeft in 2007 het Noord-Duitse gastransportnetwerk overgenomen van BEB Erdöl, een joint venture van Shell en Esso.

Re-regulering betreft alle wetgeving en regulering die nodig is om de toegankelijkheid, betrouwbaarheid, betaalbaarheid en maatschappelijke aanvaardbaarheid van de infrastructuurgebonden dienstverlening ook in de geliberaliseerde markt, al dan niet in combinatie met ontvlechting en privatisering, te waarborgen. Nieuwe maatschappelijke prioriteiten die niet vanzelfsprekend door 'de markt' geborgd worden, moeten via re-regulering en aanvullende beleidsinstrumenten (bijv. toezicht) hun beslag krijgen. Tot de mogelijkheden behoort ook de inrichting van een nieuwe markt, zoals het (Europese) *Emissions Trading System* voor CO₂ emissies.

Internationalisering is een ontwikkeling in de fysieke elektriciteitsinfrastructuur, die al ruim voor de liberalisering op gang was gekomen met het oog op verbetering van de leveringszekerheid, maar die sindsdien krachtig gestimuleerd is door de interconnectie van nationale elektriciteitsmarkten om concurrentie te bewerkstelligen, conform Europese richtlijnen.

Als gevolg van de institutionele hervorming van de elektriciteitssector zijn niet alleen de spelregels en het veld ingrijpend veranderd, maar heeft zich ook een groot aantal nieuwe spelers gemeld, terwijl we oude spelers hebben zien terugkeren in nieuwe rollen. Na de aanvankelijke (gedeeltelijke) ontvlechting van productie, netwerken en levering zijn productie en levering in veel gevallen weer ge-reïntegreerd in bedrijven als Nuon en Essent, die vervolgens overgenomen zijn door grote multinationale ondernemingen als RWE, Vattenfall en E.ON. Daarnaast blijven oude publieke bekenden als Eneco en Delta actief.³⁹ Het hoogspanningsnetwerk (110 kV en hoger) wordt beheerd door TenneT, in eigendom van de Nederlandse staat. De distributienetwerken worden beheerd door regionale netbeheerders in eigendom van provincies en gemeenten, zoals Enexis, Liander en

Stedin. Daarnaast zijn er talloze nieuwe leveranciers die niet in het bezit zijn van fysieke *assets*; zij ‘huren’ opwekkingscapaciteit van producenten of kopen in op de APX (Amsterdam Power Exchange) en verkopen die stroom door aan hun afnemers. Voor het geval er een private leverancier failliet gaat, is er een noodleveringsregime vastgesteld. Nieuwe spelers zijn ook de handelaren en makelaars in de verschillende elektriciteitsmarkten en de beheerders van nieuwe marktplaatzen zoals bijvoorbeeld de APX.

Nog steeds is betaalbaarheid van de energievoorziening een punt van zorg. Voor circa 2,6 miljoen huishoudens met lage inkomens bedragen de energiekosten (elektriciteit en gas) bijna 9 procent van het huishoudbudget, en juist deze huishoudens hebben nauwelijks middelen om te investeren in energiebesparende woningverbeteringen en andere maatregelen (Van Middelkoop 2014). Hoewel de elektriciteitsprijzen sinds de introductie van marktwerking in de elektriciteitsproductie zijn gedaald, merkt de consument daarvan weinig (Mulder 2015). Zijn rekening wordt ook bepaald door transportkosten, vastrechtkosten, een opslag die energieleveranciers berekenen om risico's af te dekken en door belastingen. Financiële mogelijkheden om te investeren in woningisolatie, zonnepanelen en elektrische auto's zijn in de praktijk voorbehouden aan hogere inkomensgroepen, die in vergelijking met onze buurlanden lang gearzeld hebben vanwege wisselende stimuleringsregelingen en de onzekerheid over de terugverdientijd van die investeringen. Bedrijven klagen over het gebrek aan toegang tot de goedkopere stroom in Duitsland; het bedrijfsleven in de Eemsdelta heeft onlangs onderzoek aangekondigd naar de mogelijkheden om een directe verbinding te leggen met het Duitse hoogspanningsnet (NRC 29 mei 2015).

10.6 NAAR EEN DUURZAME ELEKTRICITEITSVOORZIENING?

Terwijl betaalbaarheid voorlopig nog wel een issue blijft, moet het als publieke waarde concurreren met ecologische duurzaamheid; de benutting van hernieuwbare bronnen voor de elektriciteitsproductie en het vermijden, reduceren en/of onschadelijk maken van CO₂ emissies. Het is evident dat dergelijke maatregelen op gespannen voet staan met eisen van betaalbaarheid. Van recentere datum zijn de zorgen over de voorzieningszekerheid op de langere termijn, die direct voortkomen uit de veranderde relatie met Rusland in combinatie met de huidige Europese afhankelijkheid van olie en gas uit Rusland; in 2013 werd 30 procent van het in de EU geconsumeerde aardgas geleverd door Gazprom.³¹ Andere zorgen betreffen de schaarse materialen die essentieel zijn voor een efficiënte inzet van hernieuwbare energiebronnen. Het betreft hier specifieke elementen die onontbeerlijk zijn voor de fabricage van componenten van de elektriciteitsinfrastructuur (bijv. transformatoren), windturbines, zonnecellen en geavanceerde opslagtechnologie (bijv. accu's in elektrische auto's, batterijen in consumentenelektronica). Het gaat daarbij vooral om zeldzame aardmetalen³² en andere schaarse elementen

die in de huidige wereldmarkt voor meer dan 90 procent uit China afkomstig zijn. In het EURARE-project wordt gezocht naar economisch winbare voorraden van deze kritieke elementen in Europa (EURARE 2015).

Het doel van de Europese Unie om de CO₂ emissies met 60-80 procent te reduceren tegen het midden van deze eeuw behelst een fundamentele omwenteling voor de elektriciteitssector. Het is nog niet duidelijk hoe een CO₂-neutrale energievoorziening eruit zal zien, maar wel dat een groot deel van de emissiereductie bereikt moet worden door energiebesparing, de grootschalige ontwikkeling van hernieuwbare energiebronnen, door toepassing van technieken als CCS (Carbon Capture and Storage) bij het gebruik van fossiele brandstoffen en wellicht ook door kernenergie. Waar in de beginfase van de overgang naar een duurzamere energievoorziening de uitdaging ligt in het stimuleren van energiebesparing, de hoeveelheid hernieuwbare energie en CO₂-reductie, vormt in latere fases de behoefte aan flexibiliteit een steeds belangrijker punt van aandacht (zie ook Koutstaal en Sijm 2015). Naarmate het aandeel van variabele, niet voorspelbaar fluctuerende duurzame bronnen (zon, wind) in de elektriciteitsproductieportfolio toeneemt, zien de netbeheerders zich voor grotere uitdagingen gesteld om de balans tussen productie en eindgebruik op het net te handhaven. Waar de netbeheerder in de verticaal geïntegreerde leveringsketen (zoals die bestond vóór de liberalisering) direct kon ingrijpen in de aansturing van centrales, verloopt die aansturing nu indirect via 'de markt', dat wil zeggen, via de *day ahead* markt, de *intraday* markt en de onbalansmarkt.³³ De netbeheerder kan niet ingrijpen in het elektriciteitsgebruik, maar moet het doen met de meer en minder snel afschakelbare capaciteit die door grote elektriciteitsgebruikers in de markt wordt aangeboden (en met elektriciteitsproducenten die flexibele productiecapaciteit aanbieden). Kleinverbruikers zijn nog geen marktpelers, maar kunnen daarin wel worden betrokken met *time-of-use* afhankelijke prijzingsssystemen of zelfs *real-time pricing*.³⁴ Een complicatie is ook dat faciliteiten voor grootschalige energieopslag nauwelijks beschikbaar zijn; momenteel komt alleen pompaccumulatie (beperkt beschikbaar in landen die over waterkracht beschikken) daarvoor in aanmerking. Wanneer andere opslagtechnologie, zoals *Compressed Air Energy Storage*³⁵, economisch aantrekkelijk wordt, is het onder het huidige reguleringsregime het waarschijnlijkst dat die opslagfaciliteiten 'in de markt', dus in competitie, ontwikkeld zullen worden, net zoals in de gasinfrastructuur vrijwel alle gasopslagcapaciteit door marktpartijen (gasproducenten en gasleveranciers) wordt beheerd. Bij het ontbreken van significante opslagcapaciteit is uitbreiding van de grensoverschrijdende netwerkcapaciteit een mogelijkheid om temporele elektriciteitstekorten en -overschotten die zich lokaal voordoen, over grotere gebieden te kunnen matchen. Wat economisch de meest aantrekkelijke optie – of waarschijnlijker, combinatie van opties – zal worden, is nog niet zeker (Brancucci et al. 2013; Brouwer et al. 2015).³⁶

In de traditionele elektriciteitsinfrastructuur, gebaseerd op thermische centrales, kon de productie eenvoudig bijgestuurd worden om in te spelen op de variabele vraag. Maar niet elke centrale kan even snel op- en afgeregeld worden: oudere nucleaire en kolengestookte centrales zijn traag. Nieuwe kolencentrales worden ontworpen om snel regelbaar te zijn, maar dat betekent niet dat ze eenvoudig aan- of afgeschakeld kunnen worden omdat *start-up* en *shut-down* procedures dagen vergen. Deze *baseload* centrales blijven altijd op ten minste 30-40 procent van hun ontwerpcapaciteit draaien. Gasturbines daarentegen kunnen snel aan- en afgeschakeld worden en omdat ze snelle fluctuaties aankunnen worden ze ingezet om de balans tussen vraag en aanbod *realtime* te handhaven.

Dit model van balanshandhaving, waarbij de productie gestuurd wordt op de variabele vraag, zal niet meer werken in een toekomstige duurzame elektriciteitsinfrastructuur waarin de toenemende productie van wind- en zonne-energie beperkt stuurbaar is. Er zal dan ingespeeld moeten worden op schommelingen in zowel de elektriciteitsvraag als in het aanbod van wind- en zonne-energie. Een voor de hand liggende optie is een grotere inzet van flexibele gascentrales, die een onmiddellijk beschikbare optie vormen om tegen beperkte kosten elektriciteit te leveren wanneer de duurzame bronnen onvoldoende produceren. Hoewel moderne kolencentrales technisch uitstekend in staat zijn flexibel te produceren, is het vanuit het oogpunt van klimaatbeleid wenselijk om juist minder kolencentrales in te zetten en op meer inzet van gascentrales te koersen.³⁷ De hoge gasprijzen in Europa en de lage prijzen van kolen en CO₂-emissierechten staan die gewenste ontwikkeling vooralsnog in de weg. Gascentrales worden nu juist verder uit de markt gedrukt naarmate de aandelen van wind- en zonne-energie en van kolen in de productiemix groeien. Op langere termijn, als ook de CO₂-emissies van gascentrales niet meer acceptabel zijn, zal het flexibele gasaandeel in de productiemix overgenomen moeten worden door energieopslag, regelbare duurzame elektriciteitsproductie uit biomassagestookte centrales, fossiele centrales met CO₂-afvang en -opslag en/of kernenergie.³⁸ De ontwikkeling van de verschillende technologieën, de kosten daarvan en hun maatschappelijke acceptatie zullen bepalend zijn voor de uiteindelijke mix.

Als substantiële uitbreiding van de nu beschikbare grootschalige opslagcapaciteit (vooral pompaccumulatie) uitblijft, zou in de toekomst de elektriciteitsvraag meer gestuurd kunnen gaan worden, hoewel er ook voor langdurige perioden van weinig zon en wind voldoende alternatieve productiecapaciteit beschikbaar moet zijn. Dat is de reden om *smart meters*³⁹ te installeren en *smart grids*⁴⁰ te ontwikkelen, waarbij verregaande digitalisering het mogelijk maakt voor consumenten om een veel actievere rol te spelen (Faber en Ros 2009). Sinds 2002 zijn er in de 28 EU-landen 459 smart grid projecten van start gegaan, waarmee een totaalbedrag van 3,15 miljard euro aan investeringen gemoed is (JRC 2014). De vraag van huishoudelijke consumenten is op dit moment echter nauwelijks elastisch. Een indicatie

daarvoor bieden de voorlopige resultaten van slimme meters in Nederlandse en Amerikaanse huishoudens, die niet alleen een gering besparingspotentieel laten zien, maar ook dat gebruikers nauwelijks gemotiveerd worden door financiële prikkels (NRC 2015; Delmas 2013). Grootverbruikers – de kleine groep bedrijven die een derde van het elektriciteitsverbruik voor hun rekening nemen – benutten om economische redenen al lang hun flexibiliteit om hun energiekosten te minimaliseren (ook vóór de liberalisering had de SEP al zogenoemde afschakelbare contracten met grote industriële elektriciteitsgebruikers). Bij het midden- en kleinbedrijf bestaat mogelijk nog veel latente vraagelasticiteit, maar die potentiële capaciteit is relatief weinig onderzocht, waarschijnlijk omdat het zo een heterogene groep betreft. Als de elektriciteitsprijzen sterk fluctueren én automatisering het mogelijk maakt daarop gemakkelijk te reageren, valt het niet uit te sluiten dat hier nog grote verbeteringen bereikt kunnen worden.

Uiteindelijk zal vraagelasticiteit echter vooral op een termijn van uren of hooguit enkele dagen soelaas kunnen bieden. Daarmee biedt het geen oplossing voor langere perioden zonder voldoende zonne- en windenergie, die wel regelmatig optreden. Wanneer zich in de winter een hogedrukgebied boven West-Europa bevindt, kan het gebeuren dat er wekenlang weinig wind is. Opslag van energie en reservecapaciteit zijn dan de enige opties. Opslag is vooralsnog duur, zowel vanwege de hoge kapitaalkosten als de energieverliezen tijdens het opslaan en weer terugleveren, en zal daarom vóór 2030 naar verwachting geen rol spelen (DNV-GL, 2014).

De grootschalige adoptie van elektrische auto's zou hierin verandering kunnen brengen. De gemiddelde actieradius van een Nederlandse auto is in de orde van 30 tot 40 kilometer per dag; een gemiddelde elektrische auto zou dan maar eenmaal per vier dagen geladen hoeven te worden, terwijl hij ongeveer evenveel elektriciteit verbruikt als een gemiddeld huishouden. Tezamen bieden die accu's een aanzienlijk volume aan elastische elektriciteitsvraag die geactiveerd kan worden op momenten dat er veel (duurzame) energie beschikbaar is (Verzijlbergh et al. 2014). In een meer revolutionair scenario kunnen geparkeerde elektrische auto's zelfs elektriciteit terugleveren; Stedin heeft op 9 juni 2015 in de Utrechtse wijk Lombok de eerste zogenoemde 'retourpalen' in bedrijf gesteld (gekoppeld aan zonnepanelen van lokale bewoners) die zowel stroom kunnen laden als onttrekken aan de accu's van elektrische auto's (Financieele Dagblad 2015). De meeste scenario's gaan echter niet verder dan gestuurd laden, omdat teruglevering aan het net teveel slijtage van de dure accu's veroorzaakt.

Het karakter van de elektriciteitsproductie verandert niet alleen in termen van (on)stuurbaarheid, maar ook in schaal en eigendom. In Duitsland is meer dan de helft van de windturbines en PV-zonnepanelen in particuliere handen van individuele burgers en burgercollectieven. Men spreekt wel van een democratisering van

de elektriciteitsvoorziening, waarbij burgers massaal investeren in decentrale, kleinschalige opwek uit stromingsbronnen. Ook in Nederland ontwikkelt zich een veelheid aan lokale initiatieven van burgers, gemeenten, distributienetbeheerders, bedrijven en niet-gouvernementele organisaties. Zonnepanelen zijn populair en dalen snel in prijs, zodat de verwachting is dat ook in Nederland hun bijdrage snel blijft groeien. Steeds meer steden stellen eigen doelstellingen voor verduurzaming van de energievoorziening en ontwerpen hun eigen subsidie- of andere stimuleringsregelingen voor decentrale zonne- en windenergie en soms ook biogas. Bekende initiatieven in Nederland zijn die van Heerhugowaard (Stad van de zon), Amsterdam (Amsterdam SmartCity), Leeuwarden (biogas en zon-PV) en Hoogerkerk (Powermatching city). In vervolg op de *task force* voor intelligente netwerken zijn er in Nederland twaalf proeftuinen ingericht (RVO, 2011). Het is niet duidelijk hoe die gemonitord worden, in hoeverre die experimenten opschaalbaar zijn of vertaalbaar naar andere lokaties, en of en hoe er te zijner tijd verankering kan en zal plaatsvinden.

Een andere onzekere factor is de manier waarop aardgas (of 'ander' gas) gebruikt zal worden in de toekomst. Tot nog toe werd in huishoudens en kleine bedrijven gas vooral gebruikt voor ruimteverwarming en warm tapwater. Het is niet uitgesloten dat deze markt kleiner zal worden, als er in het kleinverbruikerssegment steeds meer rest- en omgevingswarmte en (deels) duurzaam opgewekte stroom gebruikt zal worden voor verwarmingsdoeleinden. In dat geval resteert er voor gas mogelijk slechts een markt in de prijsgevoelige industrie en centrale elektriciteitsproductie, waar vooralsnog geconcurrereerd moet worden met laaggeprijsde kolen en kernenergie.⁴¹ Er bestaat echter ook een kans dat gas wél steeds meer ingezet wordt voor decentrale, kleinschalige elektriciteits- en warmteproductie. Dan verschuift de inzet van gas van de grootschalige elektriciteitsproductie naar het hoogwaardiger marktsegment van de kleinverbruikers. Dat zal allerlei consequenties hebben voor zowel de gas- als de elektriciteitsinfrastructuur. De mate van decentralisatie van de elektriciteitsproductie, het gasverbruik in huishoudens, de seizoensafhankelijkheid van het gasverbruik, de behoefte aan ondergrondse opslag van gas en CO₂, de aanvoer van aardgas in vloeibare vorm (LNG), de rol van (verschillende vormen van) biogas en, niet te vergeten, de positie van Nederland in de internationale gasmarkt, zijn allemaal aspecten die bepalend zijn voor de behoefte aan gasinfrastructuur. Het gaat dan vooral om nationale en lokale transportleidingen, mogelijkheden voor gas- en CO₂-opslag, faciliteiten voor het mengen van verschillende kwaliteiten gas, en LNG-terminals (zie Correljé 1998; 2011).

Net als in de elektriciteitsinfrastructuur is er ook in de gasinfrastructuur nog ruimte voor verduurzaming in de vorm van bijvoorbeeld groen gas (uit biomassa) en waterstof (uit water). In verhouding tot het huidige gebruik van aardgas (circa 40 mld Nm³/jaar) lijkt het potentieel daarvan echter beperkt.⁴² Ook de benutting van restwarmte uit thermische centrales, afvalverbrandingsinstallaties en indu-

strie is een belangrijke stap naar verduurzaming van de energievoorziening. Bij de toenemende fysieke integratie van de infrastructuren voor elektriciteit, gas en warmte moet overigens aangetekend worden dat deze systemen niet allemaal onder dezelfde markt- en reguleringsregimes opereren, terwijl er een grote behoefte zal bestaan al die deelsystemen en mogelijkheden in onderlinge samenhang te coördineren. Bovendien zal die interactie anders zijn in verschillende soorten omgevingen, zoals de stad, het platteland of in de nabijheid van bedrijven met een restwarmteoverschot. Dat maakt het niet gemakkelijk om recht te doen aan de toenemende interacties tussen deze infrastructuren en om mogelijke synergie-effecten te realiseren. Deze ontwikkelingen stellen de lokale netbeheerders en de *transmission system operator* (TSO), die verantwoordelijk is voor de balans-handhaving (TenneT in Nederland), voor nieuwe uitdagingen en vergen een actiever management van de netwerken: de ontwikkeling naar intelligentere netwerken doet zich niet alleen voor op het niveau van de distributienetwerken (mid- en laagspanningsniveau), maar ook in het hoogspanningsnet (110 kV en hoger). Netwerkbedrijven worden, als beheerders van een essentiële infrastructuur, geacht de ontwikkeling naar een duurzamere elektriciteitsvoorziening te faciliteren. Hun rol varieert van het creëren van de mogelijkheden voor decentrale opwekking en sturing van de vraag tot het aanleggen van een netwerk voor offshore windenergie. In de eerste jaren na de liberalisering was het uitgangspunt dat de netbeheerders op kostenefficiënte wijze de vraag moesten volgen bij het maken van investeringsbeslissingen. In de huidige dynamiek is dit reactieve beleid niet langer houdbaar, mede omdat het aanzienlijk langer duurt om grote netwerkprojecten te realiseren (onder meer door langdurige vergunningsprocedures en de reguleringsvraagstukken) dan om windparken of klassieke (thermische) centrales te bouwen.

10.7 NEDERLAND IN DE NOORDWEST-EUROPESE REGIO

Zoals eerder gesteld, verloopt, in vergelijking met bijvoorbeeld Duitsland en Denemarken, de opmars van elektriciteit uit hernieuwbare energiebronnen in Nederland traag en was Nederland van alle Europese landen in 2013 het verst van zijn hernieuwbare energiedoelen voor 2020 verwijderd. Het is de vraag wat hier precies de oorzaak van is en in welke context deze achterstand ontstaan is: hoe ziet de hele energiemix eruit in de verschillende landen en wat is de rol van import en export? Wat is het beeld wat dan ontstaat? Natuurlijk dient Nederland gemaakte afspraken in Europees verband na te komen. Tegelijkertijd moet geconstateerd worden dat het, gegeven de fysieke realiteit van een pan-Europees elektriciteitsnetwerk, meer voor de hand ligt om op Europese schaal op doelstellingen voor duurzame energie te koersen en binnen die doelstellingen optimaal gebruik te maken van het duurzaamheidspotentieel in de verschillende Europese lidstaten en landen (Correljé 2010; Turkenburg 2013). Gezien het beperkte potentieel van de verschillende hernieuwbare energiebronnen in Nederland kan Nederland niet

duurzaam zelfvoorzienend worden (laat staan dat de energievoorziening geheel decentraal wordt) (Hellinga 2010) bij een gelijkblijvende (en naar verwachting sterk toenemende) elektriciteitsvraag. Net als in veel andere sectoren van de economie hebben de positie in het internationale netwerk en de relatie met buurmarkten daarom grote invloed op de ontwikkeling van de Nederlandse elektriciteitsvoorziening.

Tussen de nationale energiesystemen bestaan grote verschillen in elektriciteitsproductiemix, die terug te voeren zijn op verschillen in klimatologische en geografische omstandigheden, in de beschikbaarheid van grondstoffen en ruimte en in de ruimtelijke spreiding van economische activiteit en urbane agglomeraties. Zo heeft Noorwegen een elektriciteitsvoorziening die vrijwel volledig is gebaseerd op waterkracht, terwijl in het minder bergachtige Zweden biomassa (bosbouw) een groot aandeel heeft in de productiemix. De fijnmazige aardgasinfrastructuur van Nederland is eerder uitzondering dan regel in Europa en gastransport is een uiterst efficiënte manier om energie te vervoeren (Visser, 2013). In Noorwegen en Zweden wordt de gebouwde omgeving vooral elektrisch verwarmd. Zoals waterkracht en grootschalige opslag door pompaccumulatie voorbehouden zijn aan landen met grote hoogteverschillen, zo zijn de Atlantische en Noordzeekustlanden bij uitstek geschikt voor (off-shore) windenergie en is het zonneklaar dat het potentieel voor zonne-energie in mediterrane Europa aanzienlijk groter is dan elders in Europa.

Omdat die verschillende typen hernieuwbare energie op verschillende momenten beschikbaar zijn, pleit de Europese Commissie voor een versterking van het Europese elektriciteitsnet met trans-Europese verbindingen (trans European corridors), die het mogelijk maken om elektriciteit uit hernieuwbare bronnen en flexibele vraag grootschalig over landsgrenzen uit te wisselen; er wordt in dit verband wel gesproken van een “*supergrid*”. Landsgrensoverschrijdende coördinatie in de ontwikkeling van het elektriciteitsnet komt echter slechts moeizaam van de grond, zoals ook blijkt uit de impasse waarin multilaterale initiatieven voor *offshore supergrids* voor grootschalige winning van windenergie verkeren. Zowel bij Kriegers Flak (Denemarken, Duitsland, Zweden) als het Noordzee-grid (tien landen) is het schier onoverkomelijke probleem dat landen de garantie willen dat nationaal gesubsidieerde windstroom ten goede komt aan de eigen burgers. Verbindingen tussen Spanje en Frankrijk worden naar zeggen tegengewerkt, om de relatief hoge stroomprijs in Frankrijk niet te laten beïnvloeden door de import van goedkope zonnestroom uit Spanje. Met andere woorden, de institutionele realiteit van het Europese elektriciteitsnet is een mozaïek van nationaal energiebeleid, dat op gespannen voet staat met een kostenefficiënte ontwikkeling van hernieuwbare energie in Europa en een echt trans-Europees transmissienetwerk.

Hoewel het in theorie mogelijk is om geheel Europa van elektriciteit uit hernieuwbare bronnen te voorzien, kan zo'n systeem alleen slagen met een forse uitbreiding en verzwaring van trans-Europese verbindingen in het elektriciteitsnetwerk (European Climate Foundation, 2011). Het uitbreiden van de grensoverschrijdende verbindingscapaciteit heeft hoge prioriteit in het kader van de Europese Energie-Unie, waarbij gestreefd wordt naar een minimum van 10 procent interconnectiecapaciteit (betrokken op de nationale elektriciteitsproductiecapaciteit) (European Commission 2015b). Ter vergelijking: voor Nederland is het huidige interconnectieniveau 17 procent van de elektriciteitsproductiecapaciteit, voor Frankrijk 10 procent, voor Denemarken 44 procent, maar voor Italië en Spanje is het respectievelijk een magere 7 procent en 3 procent. Die lage waarden worden grotendeels verklaard door de geografie. Een verbinding tussen bijv. Spanje en Frankrijk is door de barrière van de Pyreneeën vele malen kostbaarder dan een verbinding tussen Nederland en Duitsland. De streefwaarde van 10 procent is echter arbitrair; de betekenis staat en valt bij de aard van de nationale productiecapaciteit, de locatie en omvang van de vraag en de complementariteit tussen de verbonden gebieden. Niet alle landen zullen in gelijke mate gebaat zijn bij uitbreiding van de interconnectiecapaciteit.

De Europese Commissie heeft een lijst van 248 *Projects of Common Interest* samengesteld, die beogen de integratie van de Europese elektriciteits- en gasnetwerken te versterken en daarmee de interne energiemarkten te bevorderen; voor de realisatie daarvan is in de periode 2014-2020 een bedrag van 5,85 miljard euro gereserveerd in een compartiment van de *Connecting Europe Facility* (waarin voor versterking van de Europese energie-, transport- en digitale infrastructuren in totaal 50 miljard euro beschikbaar is). Tot die lijst behoren, behalve elektriciteits- en gasopslagfaciliteiten, LNG-terminals en *smart grid*-projecten, ook veel trans-Europese elektriciteitstransmissielijnen. De Europese Commissie heeft echter geen doorzettingsmacht om te borgen dat die verbindingen er ook echt komen. Het voornaamste probleem is dat voorgenomen investeringsprojecten van de netbeheerders nog altijd beoordeeld worden door nationale toezichthouders die hun afweging (moeten) maken in het nationale belang, rekening houdend met de maatschappelijke acceptatie.

Een complicatie die zich voordoet bij de herinrichting van het Europese elektriciteitsnetwerk is het ontbreken van coördinatie tussen netwerkinvesteringen en investeringen in nieuwe productiefaciliteiten. Dat coördinatiemechanisme is bij de liberalisering van de elektriciteitsmarkt weggevallen met de ontvlechting van productie en transport. De netwerkbeheerder heeft geen invloed op de locatie, het type en de capaciteit van nieuw te bouwen productie-installaties, maar wel aansluitplicht; de verbetering van de kostenefficiëntie door concurrentie tussen producenten wordt door het wegvallen van coördinatievoordelen (op zijn minst) ten dele weer teniet gedaan door hogere netwerkcosten. De netwerkbeheerder heeft

pas zekerheid over de bouw van nieuwe centrales of windparken als met de bouw daadwerkelijk een aanvang wordt genomen, terwijl de aanlooptijd van investeringen in het transmissienetwerk jaren langer is dan die van investeringen in productie-installaties. Een zekere mismatch tussen productie- en netwerkcapaciteit is daarmee een blijvend gegeven, zolang er geen andere vorm van coördinatie ontwikkeld wordt.

Ondanks verschillende nationale belangen en de beperkte macht van de EU is er echter toch een beweging naar meer marktintegratie. Eén van de eerste grensoverschrijdende uitdagingen die na de liberalisering aan de orde kwam, was het omgaan met congestie van de interconnectoren – de grensoverschrijdende transmissieverbindingen. Waar de schaarse interconnectorcapaciteit aanvankelijk op min of meer willekeurige wijze aan marktpartijen werd toegewezen, werden al snel veilingen ingevoerd. In een aantal stappen is de methode van veilen efficiënter gemaakt en met steeds meer ons omringende landen gecoördineerd. Een volgende uitdaging is om congestie in het binnenland en op de grensoverschrijdende verbindingen te coördineren: pas dan kan het netwerk efficiënt benut worden (Neuhoff et al., 2013). Bij de introductie van capaciteitsmechanismen en -markten⁴³ speelt de discussie over internationale handel (in elektriciteit én capaciteitscertificaten) en internationale coördinatie nu al een rol, getuige de overwegingen bij de invoering ervan in Frankrijk en het Verenigd Koninkrijk, dus misschien komt internationale afstemming van capaciteitsmarkten relatief snel van de grond (RTE, 2014; UK Government, 2011). Aan de andere kant verloopt de onderlinge afstemming van het duurzame energiebeleid zeer traag, terwijl hier juist grote economische voordelen te verwachten zijn.

10.8 DUURZAAMHEID, DE ELEKTRICITEITSMARKT EN DE INFRASTRUCTUUR

Doordat het aanbod van wind- en zonne-energie niet stuurbaar is zoals bij de fossiele bronnen die zij vervangen, moet het traditionele model van de elektriciteitsvoorziening, waarin elektriciteitsopwekking de vraag volgt, ingrijpend veranderd worden. Als het aanbod van elektriciteit minder flexibel wordt, zal er elders in de waardeketen meer flexibiliteit gecreëerd moeten worden. Dat is mogelijk door beïnvloeding en flexibilisering van de vraag en het aanbod en door energieopslag, terwijl verzwaring van de netwerken de behoefte aan flexibiliteit kan verkleinen, doordat schommelingen in de vraag en in de elektriciteitsproductie over een groter gebied uitgemiddeld kunnen worden. Meer netwerkcapaciteit zou kunnen helpen als er elders een overschot aan productiecapaciteit is. Omdat de elektriciteitsproductie van windparken in een bepaald gebied, bijvoorbeeld rond de Noordzee, meteorologisch gecorreleerd is, zijn er visies van een nieuw continentaal *supergrid* op basis van extrahoogspanningsgelijkstroomverbindingen, wellicht zelfs zich uitstrekkend tot grootschalige zonne-energieparken in Noord-Afrika, waarmee

productie- en vraagflexibiliteit over het hele continent gedeeld kunnen worden. De kosten, de maatschappelijke acceptatie van nieuwe transmissielijnen en de politieke instabiliteit in Noord-Afrika maken de realisatie van dit plan hoogst onwaarschijnlijk.

Het operationele beheer van de toekomstige elektriciteitsvoorziening zal *complex* zijn dan nu. De systeembeheerder zal (letterlijk) een nieuwe balans moeten vinden tussen inflexibele en flexibele vormen van elektriciteitsproductie, vraagsturing en opslag (Holttinen et al. 2013). Vraagelasticiteit en decentrale opwekking leiden tot een actievare rol van de vele kleine en middelgrote verbruikers, terwijl een toename van grensoverschrijdende capaciteit en langeafstandstransporten van elektriciteit het mogelijk maken om lokale overschotten en tekorten met het buitenland uit te wisselen. De nu nog nationaal georiënteerde TSOs (TenneT is de enige internationale TSO) zullen daarom nauwer moeten gaan samenwerken, terwijl zij aan de andere kant voor het operationeel beheer van de netten ook meer met de distributiebedrijven zullen moeten samenwerken. Daar vinden immers veel van de innovaties plaats, zoals elektrische auto's, kleinschalige windenergie, zonnepanelen en bewegingen naar netonafhankelijkheid (RMI 2015). *Smart grids* zullen met behulp van ICT-diensten deze innovaties integreren en consumenten in staat moeten stellen om hun vraag aan het aanbod aan te passen.

Ook de *marktinrichting* zal moeten veranderen. Een minder vervuilende, CO₂ uitstotende, elektriciteitsvoorziening wordt gekenmerkt door de verhoudingsgewijs hogere kapitaalkosten en minimale operationele kosten van zonne- en windenergie (en trouwens ook van kernenergie). Als deze bronnen een groot aandeel in het aanbod vormen, zal de marginale prijs en daarmee de marktprijs van elektriciteit op de momenten wanneer zij beschikbaar zijn, zeer laag zijn of zelfs negatief worden. Het huidige marktmodel in 'energy only' elektriciteitsmarkten is namelijk gebaseerd op kortetermijnprijzen, die bepaald worden door de marginale productiekosten van de duurste eenheid en als dat wind of zon is, zijn die vrijwel nul. Omdat de gemiddelde marktprijs, en daarmee de inkomsten van alle producenten, dan sterk dalen zullen zij hun variabele en vaste kosten op een andere wijze moeten terugverdienen. Wat betreft de stimulering van duurzame opties is er in diverse landen uitvoerig geëxperimenteerd met diverse subsidiemechanismen de afgelopen twintig jaar. In Nederland heeft deze ontwikkeling uiteindelijk geleid tot de SDE+-regeling, die een balans poogt te creëren tussen het geven van een competitieve prikkel aan producenten en het scheppen van investeringszekerheid. Een recente evaluatie door de Algemene Rekenkamer heeft echter laten zien dat de SDE+-regeling minder hernieuwbare energie oplevert dan beoogd (Algemene Rekenkamer 2015).

Voorrang voor duurzaam opgewekte elektriciteit betekent dat het aantal bedrijfsuren voor andere centrales snel terugloopt, zelfs voor *base-load* centrales, terwijl de mate waarin dat gebeurt van jaar tot jaar sterk kan variëren (afhankelijk van het aantal zonuren en het windaanbod, die beide per jaar fluctueren). Door de lage kolenprijs is er recent nog wel in kolengestookte centrales geïnvesteerd.⁴⁴ De schaarse kerncentrales die nog worden gebouwd in westerse landen (Finland, Frankrijk, mogelijk ook in het Verenigd Koninkrijk), hebben hun afname contractueel al gegarandeerd voor de gehele afschrijvingstermijn van veertig jaar. Investerings in gascentrales worden ontmoedigd door de hoge gasprijs. Zoals eerder al gesteld, is het handhaven van voldoende gasgestookte back-up capaciteit problematisch, doordat het in de huidige markt vrijwel onmogelijk is de vaste en variabele gaskosten en de investeringen terug te verdienen; steeds meer gascentrales dreigen uit bedrijf te worden genomen en ‘in de mottenballen gezet’.

Dit effect is nu al merkbaar en de aanleiding tot de invoering van capaciteitsmechanismen in verschillende landen. De overtuiging doet steeds meer opgang dat de verschuiving naar een of andere vorm van langetermijncontracten – door middel van een capaciteitsmarkt of anders – onvermijdelijk is, omdat de steeds volatielere elektriciteitsprijzen onvoldoende zekerheid bieden om de steeds kapitaalintensievere investeringen in productiecapaciteit te doen. Het Verenigd Koninkrijk en Frankrijk hebben recentelijk ieder (een eigen variant van) een capaciteitsmarkt ingevoerd, terwijl Duitsland er voor gekozen heeft om er vooralsnog van af te zien. Ook in Nederland is de urgentie laag omdat er in de afgelopen jaren juist een ruime hoeveelheid nieuwe kolen- en (eerder al) gascentrales gebouwd zijn en omdat er relatief goede verbindingen met het buitenland bestaan. Maar ook die nieuwe centrales kunnen failliet gaan bij een te geringe bedrijfstijd en te lage prijzen. Het feit dat de gascentrales economisch onder druk staan betekent dat elektriciteit nu steeds meer met kolen opgewekt wordt zonder afvang en opslag van CO₂, wat strijdig is met de duurzaamheidsambities. Capaciteitsmechanismen kunnen helpen om de gascentrales open te houden, maar alleen een fors hogere CO₂-prijs en stelselmatige verlaging van het CO₂-emissieplafond (in lijn met het toenemende aandeel van gesubsidieerde elektriciteitsproductie uit hernieuwbare bronnen) of een andere vorm van regulering zal het gebruik van kolencentrales terugdringen (Richstein et al. 2014; Richstein et al. 2015).⁴⁵

Er dreigt de paradoxale ontwikkeling dat, terwijl de fluctuerende energiebronnen zon en wind economisch gezien het beste in een zo groot mogelijk gebied geïntegreerd kunnen worden, de invoering van capaciteitsmarkten tot een verdere fragmentatie van de interne Europese elektriciteitsmarkt zal leiden (ACER 2013). Deze fragmentatie wordt versterkt door het feit dat netwerkcongestie op de grenzen op een andere wijze behandeld wordt dan netwerkcongestie binnen het gebied van een nationale TSO (binnen een land of regio). Daarnaast hebben landen allemaal eigen netwerkcodes (regels voor de toegang tot en het gebruik van de netwerken)

en netwerkstarieven, eigen balanshandhavingssystemen en zeer uiteenlopend beleid voor duurzame energie. Dit denken in nationale doelen en nationale oplossingen leidt tot economische en technische inefficiëntie, die nog versterkt worden door de complexiteit en het gebrek aan transparantie van de markt die hier het gevolg van zijn. De Europese Commissie hamert al sinds het begin van de liberalisering op de maatschappelijke kosten – bestaande uit vermeden baten – die veroorzaakt worden door de gefragmenteerde aard van de Europese elektriciteitsmarkt. De baten van marktintegratie zullen toenemen naarmate er meer elektriciteit uit zon en wind geproduceerd wordt (Ummels 2009).

Het is op zijn minst ironisch dat de Europese lidstaten krampachtig vasthouden aan nationale zeggenschap over de inrichting van hun energie-infrastructuren, terwijl ze tegelijkertijd door gebrek aan publieke en private investeringsmiddelen steeds meer gedwongen zijn om buitenlandse, ook niet-Europese, publieke partijen toe te laten in hun systemen. Immers, private beursgenoteerde partijen vinden de gereguleerde en risicovolle EU-markt niet aantrekkelijk genoeg. De ruimte voor publieke financiering is ingeperkt door de Europese Commissie, die ervoor waakt dat de staatsschuld niet te ver oploopt. Dus moet er worden teruggevallen op buitenlandse publieke ondernemingen; de strategie, de investeringen en het beheer van essentiële infrastructurele voorzieningen worden daarmee in zekere mate bepaald door de publieke, en mogelijk ook private, belangen van andere landen buiten de EU. Dat geldt niet alleen voor de elektriciteitsproductie en de levering van energiediensten aan eindgebruikers; ook in de netwerken zijn buitenlandse spelers in opkomst. Vooralsnog blijft dit in Europa veelal bij minderheidsaandelen, maar de toekomst zal leren of de Europese lidstaten zich dat kunnen veroorloven en of de ambities van buitenlandse investeerders daar ophouden.

Zoals buitenlandse spelers zich op de Nederlandse markt hebben begeven, is dat ook gebeurd in andere Europese landen en die ontwikkeling blijft niet beperkt tot Europese spelers. Het Chinese staatsnetwerkbedrijf (China State Grid) heeft in 2012 een 25 procent aandeel verworven in de Portugese transmissiesysteembeheerder REN. In Italië heeft het eind 2014 voor ruim 2 miljard euro een 35 procent aandeel verworven in het Italiaanse transmissienetwerk, CDP-Reti, nadat het al kleinere aandelen had verworven in Eni en Enel. Ook andere Chinese spelers bewegen zich op de Europese elektriciteitsmarkt: het Chinese elektriciteitsproductiebedrijf China Three Gorges heeft een 21 procent aandeel in Energias de Portugal, terwijl Shanghai Electric een aandeel van 40 procent heeft verworven in het Italiaanse Ansaldo Energia. Bij de bouw van een kerncentrale in het Verenigd Koninkrijk (16 miljard Britse pond) zijn de China General Nuclear Corporation en de China National Nuclear Corporation betrokken met een aandeel tussen de 30 en 40 procent in een consortium onder leiding van Electricité de France (EDF).

10.9 DE TOEKOMST VAN DE ELEKTRICITEITSINFRASTRUCTUUR – SLOTBESCHOUWING

Ten eerste: hierboven is duidelijk geworden dat de ontwikkeling van elektriciteitsinfrastructuur een immense bijdrage aan duurzaamheid heeft geleverd in termen van economische en sociale ontwikkeling en welzijn. Ook aan de leefomgevingskwaliteit heeft elektriciteit veel bijgedragen, aangezien het gebruik van stroom in het voorzien van mechanische kracht, licht en warmte bij de eindgebruiker bijgedragen heeft aan een enorme afname van lokale luchtvervuiling, lawaai en stofoverlast. Bovendien zijn grote centrales als puntbronnen van uitstoot gemakkelijker beleidsmatig aan te pakken dan zogenoemde gedistribueerde emissies zoals die van stoommachines, dieselmotoren en olie- of kolengestookte ketels. De elektrificatie van de samenleving, mede voortgestuwd door de digitalisering, schrijdt nog steeds voort. In de elektriciteitsvraag zijn nog grote sprongen te verwachten als elektrische warmtepompen en warmteopslag aardgas verdringen als bron van verwarming en als elektrische aandrijving benzine- en dieselmotoren in de transportsector verdringt. Daarmee zal opnieuw een directe milieuverbetering bereikt worden in de leefomgeving van de consument. Tegelijkertijd wordt de elektriciteitsvoorziening zelf steeds schoner. In de jaren zestig gebeurde dit al door de omschakeling van kolen naar aardgas. In het decennium daarna hebben kolen een deel van het verloren terrein weer heroverd, maar zijn de kolencentrales zelf veel schoner gemaakt. Verdere stappen kunnen worden gezet door toepassing van CCS bij kolen- en gasgestookte centrales. Inmiddels is de verschuiving naar energiebesparing (bijv. de verplichting om al in 2020 vrijwel energieneutraal te bouwen), hernieuwbare energiebronnen en duurzamere vormen van eindgebruik (bijv. warmtepompen, warmtenetten, slimme meters) in volle gang en is de belangrijkste zorg hoe deze nieuwe ontwikkeling systeemtechnisch, maar vooral institutioneel vormgegeven kan worden. Sleutelwoord is hier het *smart grid*, maar het vereist nog flinke stappen wat betreft technische realisatie en maatschappelijke discussie over de toegestane vormen van onderlinge coördinatie en het omgaan met vertrouwelijke informatie, voordat huishoudelijke consumenten en het MKB daadwerkelijk kunnen inspelen op prijsfluctuaties in de markt.

Ten tweede: hoewel decentralisatie en democratisering van de elektriciteitsvoorziening vaak als toekomstideaal gezien worden, zal decentrale productie van elektriciteit uit hernieuwbare bronnen de versterking van het Europese transmissienetwerk niet overbodig maken. Integendeel, hernieuwbare elektriciteitsproductie vraagt ruimte die in stedelijke agglomeraties – en in Nederland in zijn geheel – slechts beperkt beschikbaar is. Terwijl agrarische gemeenschappen relatief gemakkelijk zelfvoorzienend zouden kunnen zijn, is de dichtheid van Europese steden en industriegebieden zodanig dat ze, ook bij de voorziene technologische ontwikkeling van zonnecellen en windturbines, zeker de komende decennia nog afhankelijk zullen zijn van hernieuwbare elektriciteit uit het achterland. In China, waar zich in

hoog tempo metropolen ontwikkelen met een veel grotere bevolkingsdichtheid dan in Europese steden, vooral aan de kust, wordt duurzaam opgewekte elektriciteit uit waterkracht, zon- en windparken over een groot aantal nieuwe transmissielijnen aangevoerd over afstanden van zelfs duizenden kilometers. Overigens betekent dat allemaal niet dat decentrale initiatieven geen zoden aan de dijk zetten. Aan de wereldwijde reductiedoelstellingen van broeikasgasemissies zullen bestaande initiatieven van steden, regionale overheden, NGO's en bedrijven in verschillende sectoren naar schatting circa 3 Gt CO₂ equivalenten in 2020 bijdragen (UNEP 2015). In Nederland wordt de opkomst van prosumenten (consumenten die zelf elektriciteit produceren en een eventueel surplus “terugleveren” aan het net) mede gestimuleerd door de huidige salderingsregeling (gegarandeerd tot 2020).⁴⁶ Als na 2020 de door prosumenten veroorzaakte netwerkkosten wel in rekening worden gebracht, en zij (mogelijk aanzienlijk) minder opbrengst zien per kWh voor de elektriciteit die ze aan het net leveren dan ze betalen voor de elektriciteit die ze afnemen, dan wordt het steeds verleidelijker om zelf in opslagfaciliteiten te investeren. Door massafabricage van batterijen (ten behoeve van elektrische auto's) wordt een voortgaande kostendaling daarvan verwacht. Wie al geïnvesteerd heeft in een elektrische auto, heeft de benodigde opslagcapaciteit (op de schaal van een huishouden) daarmee feitelijk al tot zijn beschikking. De uiterste consequentie daarvan kan zijn dat prosumenten besluiten zelfvoorzienend te worden, onafhankelijk van het net. Een keuze voor *grid defection* is in de praktijk voorbehouden aan burgers die de fysieke ruimte hebben om (op eigen dak of eigen terrein) voldoende hernieuwbare energie te oogsten, en de financiële ruimte om de daarvoor benodigde investeringen te doen. Voor de Verenigde Staten daarentegen voorspelt het Rocky Mountain Institute (RMI 2014) dat al tegen 2030, en misschien al rond 2020, voor tientallen miljoenen (vooral commerciële, maar ook huishoudelijke) gebruikers in diverse staten zelfvoorziening concurrerend zal zijn met elektriciteitsvoorziening via het net.⁴⁷ In Nederland, waar ruimte een schaars goed is, wordt op die termijn nog geen massale opzegging van aansluitingen verwacht. Hier zijn de verwachtingen van het *smart grid* hoog gespannen; als dat er eenmaal is, zullen, consumenten, zo is de gedachte, zich als actieve marktpartijen gaan gedragen en hun consumptiegedrag laten beïnvloeden door *time-of-use of real-time* prijssignalen.

Ten derde: de barrières die zich voordoen in de verduurzaming van de elektriciteitsinfrastructuur liggen niet alleen in de fysieke, maar ook in de institutionele inrichting van het systeem besloten. Die institutionele inrichting is in meerdere opzichten gefragmenteerd. Er is weliswaar marktwerking in de productie en levering van elektriciteit, maar hernieuwbare elektriciteitsproductie is, evenals kernenergie, vrijwel altijd gesubsidieerd en de netwerken zijn gereguleerde monopolies in publiek eigendom.⁴⁸ De EU zet de hoofdlijnen van het beleid uit, maar de implementatie van de richtlijnen moet door nationale overheden plaatsvinden. De elektriciteitsvoorziening is dan ook nog steeds met name op nationaal niveau geor-

ganiseerd, terwijl de handel en de fysieke stromen steeds meer internationaal worden. Tegelijkertijd vinden er allerlei innovatieve ontwikkelingen op lokaal niveau plaats, zoals de productie van elektriciteit uit zonlicht en biogas en lokale, kleinschalige energieopslag. Europa stelt weliswaar milieunormen en doelstellingen voor hernieuwbare energie in 2020 en daarna (waaraan doelstellingen worden verbonden per land), maar het enige pan-Europese beleidsinstrument is het CO₂-emissieplafond en het daaraan gekoppelde systeem van verhandelbare emissierechten. Daarnaast beslissen nationale overheden over de specifieke invulling en uitvoering van die doelstellingen in nationale stimuleringsregelingen voor hernieuwbare energie en de nationale inrichting van beleid ten behoeve van congestie-management, voorzieningszekerheid, netbeheer, brandstoffenmix, milieunormen, et cetera. Al deze instrumenten richten zich in hoofdzaak op de productie, niet op het gebruik van elektriciteit⁴⁹; vele ervan hebben grensoverschrijdende neveneffecten waar de verantwoordelijke overheden weinig rekening mee houden (Fagiani et al. 2014; Richstein et al. 2014). Deze institutionele fragmentatie van het besturingssysteem, die zijn wortels heeft in de historische evolutie van de elektriciteitsinfrastructuur per land en die feitelijk is bestendig doordat de lidstaten een grote vrijheid bevochten bij de vormgeving van de liberalisering, ligt ten grondslag aan de moeizame integratie van de elektriciteitsnetwerken, -systemen en -markten die noodzakelijk is voor de omwenteling naar een systeem dat de toekomstige elektriciteitsvraag van Europa vrijwel volledig kan dekken uit hernieuwbare bronnen.

Ten vierde: de lidstaten maken daarbij onder meer verschillende afwegingen tussen de doelen van hernieuwbare energie, CO₂ reductie en voorzieningszekerheid, tegen de achtergrond van nationale industriebelangen, werkgelegenheid, technologieposities etc. Bottom-up samenwerking zoals die onder meer in het Pentilateraal Energieforum (PLEF) tot stand is gekomen biedt geen garantie voor het tot stand komen van de gewenste multilaterale harmonisatie van instituties; Frankrijk, ook lid van het PLEF, heeft onlangs eenzijdig besloten tot het instellen van een capaciteitsmarkt. In deze door korte termijn markten gedomineerde sector, wordt elk land gekenmerkt door een andere opeenstapeling van beleidsinstrumenten en andere keuzen voor marktontwerpen; daaruit vloeien onzekerheden voort met betrekking tot de economische regulering. Het is de maatschappelijke wens dat de energiebedrijven investeren in zeer kapitaalintensieve en innovatieve technologieën, maar in het huidige regime van de sector is het niet vanzelfsprekend dat de vereiste investeringen in nieuwe productie- en netwerkcapaciteit (tijdig) tot stand zullen komen. Het risico bestaat dat de verduurzaming van de Europese elektriciteitsmarkten vastloopt in een complex stelsel van gebrekkig gecoördineerde en dus inefficiënte nationale oplossingen (Chaves et al. 2014). Dat wordt ook onderkend door de Europese Commissie in haar consultatiedocument over de herinrichting van de Europese interne energiemarkt.⁵⁰ Van genoemd consultatiedocument kan gesteld worden dat de Commissie weliswaar de juiste diagnose stelt, maar dat het waarschijnlijk *too little - too late* is. *Too little*, omdat de Commissie geen doorzet-

tingsmacht heeft in het afdwingen van een geïntegreerde en geharmoniseerde interne energiemarkt; *too late* omdat de lidstaten al voldongen feiten hebben gesteld die op gespannen voet staan met het streven naar een echte Energie-Unie met een goed functionerende interne markt.

11 DE INVESTERINGSOPGAVE VAN EEN DUURZAME ONTWIKKELING

De uitdaging om duurzame ontwikkeling te stimuleren via het sturen van de aanleg van de 'juiste' infrastructuur is in feite voor de hand liggend, omdat er toch al geïnvesteerd moet worden in de aanleg van nieuwe en de renovatie van bestaande infrastructuur. Niet alleen in Europa, ook in andere delen van de wereld zijn er ambitieuze plannen om te investeren in infrastructuur, niet alleen in elektriciteitsinfrastructuur, maar ook in andere energie-infrastructuren, in infrastructuur voor transport van personen en goederen, in watervoorziening en afval(water)verwijdering, en in telecommunicatie- en informatie-infrastructuren. China was de afgelopen jaren kampioen investeren in infrastructuur, met investeringen ter waarde van 503 miljard US dollar in de periode 1992-2011, wat neerkomt op een gewogen gemiddelde van circa 8,5 procent van het bruto binnenlands product (betrokken op het bbp van 2010) (McKinsey & Company, 2013). Voor de EU en de Verenigde Staten bedroegen die investeringen respectievelijk 403 miljard en 374 miljard US dollar; voor beide komt dat neer op een gewogen gemiddelde van 2,6 procent van het bbp (betrokken op het bbp van 2010).

Wereldwijd is de behoefte aan infrastructuurinvesteringen immens: voor de komende vijftien jaar (2015-2030) wordt die op 90.000 miljard US dollar geschat, wat neerkomt op bijna een verdubbeling van de huidige voorraad publieke kapitaalgoederen (Bhattacharya et al. 2015). Infrastructuur is nodig om de Sustainable Development Goals binnen bereik te brengen, om klimaatbeleidsdoelstellingen te bereiken, om water- en energievoorzieningszekerheid in de toekomst te borgen, et cetera. Uit het voorbeeld van de elektriciteitsinfrastructuur in Nederland/Europa is duidelijk geworden dat universele toegang tot een betaalbare elektriciteitsvoorziening sociale en economische ontwikkeling heeft ondersteund en heeft bijgedragen aan een schonere leefomgeving. De effecten op de leefomgeving elders en op de langere termijn hebben daarbij niet voldoende aandacht gekregen, maar zoals we gezien hebben, zijn er voldoende mogelijkheden om door aanpassing van de bestaande fysieke infrastructuur een werkelijk duurzame energievoorziening uit hernieuwbare bronnen te accommoderen. Of die aanpassingen tijdig tot stand komen, zal vooral bepaald worden door de instituties die de totstandkoming van nieuwe infrastructuren en de operatie daarvan reguleren.

Hoewel er bewegingen zijn naar zelfvoorziening van hernieuwbare elektriciteit, is het niet voorstelbaar dat de toenemende bevolkingsconcentraties in steden, vooral in Azië, Afrika en Latijns-Amerika, zonder netwerkgebonden infrastructuur op duurzame wijze voorzien kunnen worden van schoon drinkwater, afval(water)verwijdering, energie-, transport- en informatiediensten. Het groeitempo van de megasteden in die werelddelen is nauwelijks bij te benen qua fysieke

installatie van infrastructurele voorzieningen: men staat er voor de uitdaging om in enkele decennia de infrastructuur te bouwen die ons in veel gevallen meer dan een eeuw hebben gekost, en om daarin recht te doen aan de eisen van een duurzame ontwikkeling. De ontwikkelingen in China zijn in dit opzicht illustratief: mede door de grote gevestigde belangen van kolencentrales vindt er veel meer *curtailment* plaats van zon- en windparken dan gerechtvaardigd kan worden uit het oogpunt van beperkte netwerkcapaciteit.

Tegenover de publieke kapitaalschaarste, die een rem zet op de gewenste infrastructuurinvesteringen, staan de enorme kapitaalvoorraden bij institutionele investeerders en in de private sector, en de historisch lage langetermijn-rentepercentages in de kapitaalmarkt. Dat die gunstige omstandigheden voor de financiering van nieuwe infrastructuur onvoldoende benut worden, en dat de projecten die wel doorgang vinden in onvoldoende mate milieuwaarden incorporeren, wijten Bhattacharya et al. (2015) aan zwakke institutionele structuren: in veel ontwikkelingslanden en opkomende economieën ontbreekt het aan institutionele capaciteit voor langetermijn-investeringsplanning, het ontbreekt aan kennis om recht te doen aan langetermijn-duurzaamheidscriteria in het ontwerp van projecten, het ontbreekt aan kennis en capaciteit om de private sector te engageren en, last but not least, ondoorzichtige en inefficiënte planningsprocedures staan er borg voor grote vertragingen en kostenoverschrijdingen (mede door problemen van corruptie) in de planning en uitvoering van infrastructuurprojecten.

Aan de andere kant staan de subsidies op onduurzame infrastructuurvoorzieningen. Uit IMF studies blijkt dat alleen al voor onduurzame energiediensten, overheden wereldwijd 5000 miljard US dollar aan subsidies verstrekten in 2013 (Gupta en Keen 2015).⁵¹ In veel landen, vooral in de zogenaamde transitie-economieën, worden infrastructurele diensten direct gesubsidieerd. In India wordt elektriciteit bijvoorbeeld zwaar gesubsidieerd voor de landbouwsector, met name voor de aandrijving van irrigatiepompen; het is gebruikelijk dat vele dorpsbewoners illegaal meeliften op de zeer goedkope stroomvoorziening aan de boeren. Maar ook dichterbij huis zijn er voorbeelden te geven: in Ierland is massaal geprotesteerd tegen de invoering van een beprijzingssysteem voor watergebruik; tot april 2015 was de leidingwatervoorziening er nog 'gratis'. De beprijzing van water heeft veel Ieren op het platteland ertoe gebracht oude waterwinputten op eigen terrein te heropenen.

In ontwikkelingslanden en snel groeiende economieën ligt er een enorme investeringsopgave. De Wereldbank schat dat er, bovenop de 1000 miljard US dollar die jaarlijks door ontwikkelingslanden zelf al geïnvesteerd wordt in infrastructuur, nog eens 1000 à 1500 miljard US dollar per jaar nodig is om te voorzien in de vraag naar infrastructuurgebonden diensten van huishoudens en bedrijven in lage en midden-inkomenslanden (Wereldbank, 2014). Aangezien de huidige investeringen in infrastructuur voor 70 à 80 procent uit publieke middelen afkomstig zijn, en

het aandeel private investeringen in 2013 daalde van US\$ 186 miljard in 2012 naar 150 miljard US dollar, heeft de Wereldbank de Global Infrastructure Facility ingericht om, door het structureren van complexe infrastructuurprojecten, infrastructuurinvesteringen aantrekkelijker te maken voor private en institutionele investeerders. Vergelijkbare initiatieven zijn genomen door de G20⁵² en door de Aziatische Investeringsbank.⁵³ Ook China heeft diverse nieuwe faciliteiten ingericht om investeringen in infrastructuur te stimuleren.⁵⁴

In november 2014 heeft ook de Europese Unie een nieuw investeringsfonds voor infrastructuur gelanceerd met een relatief bescheiden omvang van 21 miljard euro. Daarmee wil men de komende drie jaar in totaal 315 miljard euro aan private en publieke investeringen in Europese infrastructuur uitlokken om direct en indirect de Europese economie te stimuleren. De focus van het investeringsfonds ligt daarbij vooral op de trans-Europese informatie-, energie- en transportinfrastructuren.

12 INFRASTRUCTUURBELEID ALS HANDELINGSPERSPECTIEF VOOR DUURZAAMHEID

12.1 STUREN DOOR INFRASTRUCTUREN

Grosso modo kunnen we stellen dat alle infrastructuren, of het nu gaat om overstromingsveiligheid, energie, transport, watervoorziening, afval(water)verwijdering of communicatie, grote sprongen in welvaart en welzijn bewerkstelligd hebben in het verleden. Ze hebben bijgedragen aan een duurzame ontwikkeling van de samenleving, ook als de leefomgevingskwaliteit, volksgezondheid of veiligheid niet de primaire motieven waren voor de totstandkoming ervan. Dat wordt ook pijnlijk duidelijk als we kijken naar landen waar infrastructuren voor betrouwbare en betaalbare levering van schoon water, afval(water)verwijdering, energie, transport en informatie ontbreken.⁵⁵ Adequate infrastructurele basisvoorzieningen zijn een absolute voorwaarde voor socio-economische ontwikkeling⁵⁶ en de geschiedenis leert dat die infrastructuur niet zonder publieke interventie tot stand komt.

Naast het zogenaamde *infrastructure deficit* in met name ontwikkelingslanden, bestaan er in de westerse landen grote investeringsbehoeften voor onderhoud en vernieuwing van nationale en regionale infrastructuren. Ook in Nederland kampen we met verouder(en)de infrastructuren die onderhouden, vervangen en aangepast moeten worden aan nieuwe gebruikerswensen en maatschappelijke prioriteiten. Aanpassing van onze infrastructuren aan klimaatverandering is één van die nieuwe prioriteiten, waarbij de verbindingen en interacties tussen verschillende infrastructuren nog een extra complicatie vormen (Bollinger et al. 2014).

Investeringsbeslissingen in (aanleg, uitbreiding en innovatie van) infrastructuur zijn belangrijke sturingsmomenten die voor decennia de condities voor duurzame sociale, economische en ecologische ontwikkeling bepalen, soms tot ver buiten de regio waar de infrastructuur fysiek gelegen is. Die investeringen staan of vallen niet alleen met de beschikbaarheid van kapitaal, maar ook met reserveringen van ruimte en met de maatschappelijke acceptatie van hun effecten op korte én lange termijn. Dat geldt niet alleen voor elektriciteits- en gasinfrastructuur, maar evenzeer voor (lucht)havens, wegen en spoorwegen, voor waterwerken of voor de drinkwatervoorziening. Bij projecten met zulke verstrekkende gevolgen in tijd en ruimte hoort een projectoverstijgend afwegingskader, waarin recht wordt gedaan aan langetermijn-systeemeffecten. Als een eerste aanzet tot het ontwikkelen van zo'n afwegingskader voor infrastructuurontwikkeling kan Nederland wellicht inspiratie ontleen aan het voorbeeld van Infrastructure UK, dat in zijn jaarlijkse

infrastructuurplan een overzicht geeft van de ‘infrastructure pipeline’, i.e. een overzicht van alle publieke en private investeringen en investeringsplannen in de economische infrastructuur van het Verenigd Koninkrijk (UK Government 2014).

De bestuurlijke decentralisatie van ruimtelijk beleid en infrastructuurbeleid is een factor die de nationale samenhang in infrastructuurontwikkeling compliceert. Er is geen institutionele inbedding voor een lange termijn ontwikkelingsplan, waarin het nationale systeem van infrastructuursystemen centraal staat (ook in relatie met de systemen van de ons omringende landen) en waarin kansrijke interacties tussen verschillende infrastructuren vanzelfsprekend worden geadresseerd. Gegeven de ruimtelijke, sociale, economische en ecologische effecten van infrastructuurontwikkelingskeuzen op korte en lange termijn, ontbreekt het aan een breder afwegingskader (dan de huidige MKBA’s) voor infrastructuurprojecten dat recht doet aan de duurzaamheid van de infrastructuur in termen van levensduur en aan de brede duurzaamheidsimplicaties voor natuur, economie en samenleving. De grote uitzondering op deze regel in Nederland is de infrastructuur voor waterveiligheid; voor Nederland van existentieel belang. In navolging van het eerste Deltaprogramma is het gelukt om een nieuw programma van innovatieve Deltawerken voor de lange termijn te borgen, over kabinetsperioden heen, onder de hoede van een Deltacommissaris (Vink en Dewulf 2015; De Goede 2015), met daarbij ruime aandacht voor ecologische en welzijnseffecten. Het Nederlandse Energieakkoord (SER 2013) daarentegen kan gezien worden als voorbeeld van een infrastructuur gerelateerd ontwikkelingsplan, waarbij een dergelijk breder afwegingskader en een ambitieuze langetermijnhorizon ontbreekt.

Ook de betrokkenheid van private actoren ten gevolge van een terugtrekkende overheid en een nijpend gebrek aan publieke middelen lijken onoverkomelijke barrières te vormen voor een infrastructuurbeleid dat de noodzakelijke sturing kan geven aan de lange-termijn ontwikkeling van een toekomstbestendig infrastructuursysteem, dat een afwegingskader biedt voor de publieke waarden die daarbij in het geding zijn en waarin de verbindingen tussen infrastructuren op verschillende schaalniveaus van ruimte en governance worden geadresseerd.

12.2 MAATWERK

Een belangrijk aspect van infrastructuurontwikkeling, van welke aard dan ook, is dat de infrastructuur ingepast wordt in de relevante ruimtelijke, sociale, ecologische, systeemtechnische en economische omgeving. Dat is een pleidooi voor maatwerk en geen *one size fits all* oplossingen, niet lokaal, niet nationaal en niet in de EU. De Nederlandse fijnmazige aardgasinfrastructuur tegenover de grootschalige stadsverwarmingssystemen in Denemarken, bijvoorbeeld, bepaalt dat Nederland mogelijkheden kan ontwikkelen om pieken in het aanbod van hernieuwbare energie te faciliteren via het gassysteem (Power-to-Gas)⁵⁷, terwijl

Denemarken oplossingen ontwikkelt die samenhangen met de stadsverwarmingsinfrastructuur (Power-to-Heat). De Nederlandse aardgasinfrastructuur maakt het ook mogelijk om biogas geproduceerd door agrarische bedrijven (na behandeling) lokaal te distribueren, terwijl in landen zonder die fijnmazige infrastructuur eigenlijk alleen maar on-site toepassingen van biogas mogelijk zijn.

Ook binnen de beperkte ruimte in Nederland is er nog veel onbenutte ruimte voor lokaal infrastructureel maatwerk. De omstandigheden die een lokaal infrastructureel project tot een succes kunnen maken, bijv. bij de benutting van biogas van agrarische oorsprong, industriële restwarmte, of ruimte voor grootschalige zonnepanelen, zullen vaak niet reproduceerbaar zijn op andere locaties. Dat geldt zowel voor de benutting van nieuwe energiebronnen op lokaal niveau als voor de fysieke en culturele condities die (mede) bepalend zijn voor het eindgebruik (bijv. fysieke karakteristieken van woningen en gebouwen en de bodem), het eindgebruikersgedrag, en de maatschappelijke acceptatie van projecten. Er zijn grote verschillen tussen urbane en perifere locaties, bijvoorbeeld qua bevolkingsdichtheid, en tussen regio's qua economische structuur, ecologische kwetsbaarheid en landschappelijke waarden; die verschillen zijn van invloed op de mogelijkheden voor innovatieve energievoorziening, maar hebben even goed gevolgen voor (de besluitvorming over) andere infrastructurele projecten die bijvoorbeeld ingrijpen in de waterhuishouding.

Het is daarom niet altijd zinvol om aan 'lokale proeftuinen' eisen van opschaalbaarheid te stellen, alvorens publieke ondersteuning ter beschikking te stellen. Belangrijk is dat er verschillende oplossingen ontwikkeld kunnen worden, die aansluiten bij de lokale omstandigheden. Het idee dat er 'winnende catch-all technologieën' zouden zijn, is niet van toepassing. Coördinatie is hier het cruciale element; het is duidelijk dat afstemming met huiseigenaren, woningcorporaties, bewoners, energieleveranciers, openbaar vervoersbedrijven en vele andere partijen van groot belang is. Ook is het tijdpad van de noodzakelijke aanpassingen een kritieke factor. Tegenover de schaalvoordelen van een grootschalige en planmatige aanpak, staat de behoefte aan lokaal maatwerk; er is niet één blauwdruk voor de oplossing van het coördinatievraagstuk die in alle gevallen zal werken.

Infrastructuurgebonden diensten kunnen efficiënter worden geleverd naarmate de gebruikersgemeenschap groter en compacter is, onder andere omdat de transportafstanden in een stedelijke omgeving korter zijn dan in het landelijk gebied. Dat pleit voor de ontwikkeling van compacte steden. In die zin is het een positieve ontwikkeling dat de groeiende wereldbevolking zich steeds meer concentreert in zeer dicht bevolkte metropolen.⁵⁸ In Nederland is het verschil tussen urbaan en ruraal gebied niet zo geprononceerd als in de meeste andere landen en worden vrijwel alle infrastructurele diensten ook geleverd in het landelijk gebied. De extra kosten daarvan (samenhangend met de verhoudingsgewijs lange transportafstanden)

worden gesocialiseerd in de tarieven voor alle gebruikers. De omgekeerde ontwikkeling naar individuele, decentrale voorziening van energie, water en afval(water)behandeling, voor sommigen het streefbeeld van een ecologisch duurzame ontwikkeling, is in Nederland voor weinigen weggelegd, gezien het ruimtebeslag, de kennis en de investeringen die daarmee gemoeid zijn. Mocht de ontwikkeling naar *grid defection* echter doorzetten, dan bestaat er een reëel risico van uitholling van de centrale infrastructurele voorzieningen waarop de minder vermogenden blijven aangewezen en dreigt er een verdieping van de infrastructurele kloof tussen 'haves' en 'have-nots'. Hoe onwaarschijnlijk ook in de overwegend urbane setting van Nederland, dit risico van afbrokkelende solidariteit zou moeten meewegen in het ontwerp van stimuleringsbeleid voor decentrale voorzieningen die sommige gebruikers (populaties) onafhankelijk (kunnen) maken van centrale infrastructuurnetwerken.

Terwijl infrastructuur meestal wordt gezien als volger van sociale en ruimtelijk-economische ontwikkeling, zijn er ook voorbeelden te geven van infrastructuur die met succes ontwikkeld werden om economische bedrijvigheid uit te lokken, zoals de zeehavens van Rotterdam en Delfzijl, de randwegen rond steden, de luchthaven Schiphol, en vele spoorverbindingen. Wat daarbij opvalt is de vaak substantiële vertraging waarmee de beoogde welvaartseffecten worden gerealiseerd. Dat maakt grote infrastructuurprojecten politiek kwetsbaar in tijden waarin politici snel afgerekend worden op de beloften van de (maatschappelijke) kosten-batenanalyses die die projecten legitimeerden.

Uit het verleden zijn allerlei voorbeelden te geven van groots en meeslepend infrastructuurbeleid, denk aan de aanleg van kanalen in de negentiende eeuw of aan de Afsluitdijk, de Deltawerken, Flevoland en het aardgasnet in de twintigste eeuw. Soms werd het voorspelde nut ook niet gerealiseerd; denk aan het Noord Hollands Kanaal, dat op het moment van voltooiing al te klein was om de inmiddels groter geworden zeeschepen te accommoderen. Vervolgens werd het succesvolle Noordzeekanaal aangelegd, wat daarna nog een aantal keren vergroot is. Zulke ingrijpende projecten zijn in het Nederland van vandaag nauwelijks denkbaar, gegeven de toegenomen bevolkingsdichtheid, het intensieve landgebruik, de mondigheid van de bevolking en de mogelijkheden tot verzet voor diegenen wier belangen worden aangetast (Taebi et al. 2014). Veel infrastructurele werken worden project voor project bevochten in langdurige procedures en vooral geassocieerd met publieke weerstand en trage besluitvorming.

12.3 VERBINDEN EN VERVLECHTEN

Het leveren van maatwerk op lokaal niveau betekent echter niet dat de verbindingen met andere schaalniveaus er niet toe doen. In de huidige situatie van in het bijzonder de energie-infrastructuren gaapt een kloof tussen lokale en (supra)natio-

nale initiatieven en doelstellingen. Met de decentralisatie van het infrastructuurbeleid zijn gemeentelijke overheden steeds bepalender geworden voor de besluitvorming over belangrijke infrastructuurprojecten. Dat is toe te juichen, aangezien steden dynamische knooppunten zijn in vele infrastructuurnetwerken tegelijk. Daar ontmoeten infrastructuren uit verschillende sectoren elkaar fysiek, juist daar is de concurrentie om ruimte het scherpst, juist daar is de overlast van onderhoud en aanleg van infrastructuur het voelbaarst. Maar juist daar bestaan er heel veel mogelijkheden om synergie tussen verschillende infrastructuren te bewerkstelligen. In het benutten van die mogelijkheden speelt de gemeentelijke overheid een sleutelrol. Daar staat echter tegenover dat de afwegingen die gemaakt worden op stedelijk niveau niet vanzelfsprekend samenvallen met het nationale of supranationale belang. Juist daarom is het belangrijk dat er een kaderstellend langetermijn-ontwikkelingsplan is voor het nationale systeem van infrastructuren, waarin (supra)nationale belangen en doelstellingen zijn meegewogen, en dat tegelijkertijd ruim baan geeft aan de provincies en steden om respectievelijk regionale en lokale belangen te dienen en experimenten mogelijk te maken.

Een belangrijke rol die voor gemeenten is weggelegd betreft de ruimtelijke inrichting en de kwaliteit van de gebouwde omgeving. In een compacte stad kan openbaar vervoer eerder een aantrekkelijk alternatief zijn voor de auto en zullen bewoners zich eerder per fiets of te voet verplaatsen dan in een stad waar woon-, winkel- en werklocaties ver uiteen liggen. Voor bewoners behoort de gebouwde omgeving tot de vaste infrastructuur die niet alleen bepalend is voor hun mogelijkheden om zich efficiënt te verplaatsen, maar die ook van grote invloed is op hun speelruimte voor energiezuinig gedrag. Juist gemeenten zijn in de positie om, inspelend op de lokale situatie, bijzondere eisen te stellen aan bijvoorbeeld de energiestatistiek van nieuwbouw- en renovatieprojecten, aan groene ruimte voor waterretentie in de stad of aan de emissies van voertuigen om de lokale luchtkwaliteit te verbeteren.

In stedelijke knooppunten zijn het vooral gemeentelijke overheden die, in de traditie van de vroege fasen van infrastructuurontwikkeling, na de liberalisering weer een belangrijke rol zijn gaan spelen in het (mede) sturen van innovatie en verduurzaming van infrastructuur en het vormgeven van de ruimtelijke, fysieke en digitale interacties tussen verschillende infrastructuren. Het is vooral op lokaal niveau dat er veel relatief kleinschalige projecten opgezet worden door coalities van gemeenten, netbeheerders en waterschappen, private ondernemingen, burgerinitiatieven en niet-gouvernementele organisaties. Gemeenten hebben daarbij zowel te maken met landelijke netbeheerders (bijv. rijkswegen, spoorwegen, transmissienet) als met regionale en lokale netten (bijv. voor elektriciteits-, gas- en warmtedistributie, drinkwater en riolering), en zowel met private (telecommunicatie, afvalverwijdering) als publieke operators en netbeheerders.

Waar het ingrepen betreft die de energie-infrastructuur raken, vinden gemeentelijke overheden een natuurlijke bondgenoot in de beheerders van de energiedistributienetten. Het zijn vooral de distributienetbeheerders die in veel lokale projecten de cruciale schakel vormen voor het realiseren van cross-sectorale synergie-effecten tussen energie-, water-, transport-, afval- en informatie-infrastructuren. Als publieke actoren zoeken de beheerders van energiedistributienetten veelal actief naar kansen om waarde te creëren voor hun gebruikers. In het belang van de gemeenschappen die zij bedienen, opereren zij steeds meer op de grenzen van de wet; zij volgen niet reactief de ontwikkelingen, maar spelen pro-actief in op de maatschappelijke wens om slim energieconsumptie- en prosumptiegedrag te faciliteren, de opkomst van elektrische auto's te accommoderen, een bredere benutting van biogas en restwarmte mogelijk te maken, et cetera.⁵⁹ Hoewel die inspanningen van de distributienetbeheerders evident in het belang zijn van de eindgebruikers en samenvallen met nationale doelstellingen om het energiesysteem te verduurzamen, wordt hun speelruimte steeds meer ingeperkt (zie ook Huygen 2015). Gegeven de voortschrijdende elektrificatie van de samenleving is dat een zorgelijke ontwikkeling; als de netbeheerders geen actieve rol mogen spelen in de verduurzaming van het energiesysteem en gereduceerd worden tot transportnetbeheerders die de marktontwikkelingen moeten volgen, dan is het risico van vermijdbare kostbare netverzwaringen niet denkbeeldig. De ontwikkeling naar verdere elektrificatie (niet alleen van automobilititeit, maar bijvoorbeeld ook van verwarming) past in het streven om lokale luchtvervuiling terug te dringen en om de huidige inzet van fossiele brandstoffen te vervangen door 'schoon' opgewekte elektriciteit en 'ander' gas (uit hernieuwbare bronnen of uit fossiele bronnen in combinatie met Carbon Capture and Storage).

Die ontwikkeling hangt ook samen met technologische innovaties in andere domeinen, zoals de digitalisering van de samenleving door informatie- en communicatietechnologie. Die ontwikkeling kan ingrijpende gevolgen hebben voor de manier waarop wij ons huishouden, ons werk en onze inkopen doen, als ook voor de organisatie van onze activiteiten en die van bedrijven in tijd en ruimte, voor zover er een beroep gedaan wordt op 'gedragsverandering'. De digitalisering van onze samenleving stuwt de elektrificatie voort en heeft een belangrijk aandeel in de groeiende elektriciteitsvraag, zowel direct (datacenters) als indirect (computergebruik, huishoudelijke apparaten). Omgekeerd maakt de elektriciteitsinfrastructuur zelf steeds intensiever gebruik van digitale infrastructuren. Dat geldt zowel voor de operationele besturing van het elektriciteitsnet als voor de elektriciteitsmarkten (die via het internet verlopen). In de al genoemde *smart grids* zijn elektriciteitsnetten helemaal vervlochten met informatie- en telecommunicatie-infrastructuren. Met de opkomst van elektrische en zelfrijdende auto's zal die verflechting zich ook steeds meer uitstrekken naar de transportinfrastructuur.

Om de digitalisering van de samenleving (die onder meer nodig is om vraag-respons in het gebruik van infrastructuurgebonden diensten mogelijk te maken) te bespoedigen, is het belangrijk dat alle Europese burgers zo spoedig mogelijk toegang krijgen tot hogesnelheid-breedband-internet. De grootste barrière daarvoor ligt in de installatiekosten (circa 80 procent van de totale investeringskosten zit in het opbreken van de ondergrond). De Europese Commissie verplicht daarom alle beheerders van fysieke infrastructuren (wegen en spoorwegen, havens en luchthavens, elektriciteit, gas, warmte, afvalwater, etc.) om, met ingang van 1 juli 2016, telecom operators toegang te geven tot hun netwerken (European Commission 2014).⁶⁰ Door gebruik te kunnen maken van bestaande pijpleidingen, masten, kabelgoten, gebouwen e.d. kunnen de installatiekosten van zowel vaste als mobiele breedbandnetwerken sterk gereduceerd worden.

De toenemende vervlechting van infrastructuren wordt echter niet gereflecteerd in het beleid en de inrichting van het toezicht op de infrastructuurnetwerken; dat is nog altijd sector-specifiek. Investerings in uitbreiding, innovatie en verduurzaming van infrastructuren worden binnen de kaders van één infrastructuur beoordeeld door de daarvoor verantwoordelijke toezichthouders. De toezichthouder is daarbij vooral aangesteld om te sturen op economische efficiëntie, vertaald in lage tarieven en bescherming van de bestaande gebruikers, de dominante publieke waarden in de liberalisering die rond de laatste eeuwwisseling in veel infrastructuren is doorgevoerd, uiteraard met inachtneming van (milieu)technische randvoorwaarden. Ten aanzien van het nieuwe Europese Directief 2014/61 bestaat er bij de infrastructuurbeheerders grote onzekerheid over welke toezichthouder de uitvoering daarvan kan dan wel zal afdwingen. Belangrijk is dat de specifieke expertise van verschillende infrastructuren in dat toezicht meeweegt; Nederland is hierin beter gepositioneerd dan veel andere landen, omdat de toezichthouders al in één organisatie zijn samengebracht, de Autoriteit Consument en Markt (Micallef 2015).

Zoals eerder aangegeven hebben de infrastructuurbeheerders (en leveranciers en afnemers) voor elektriciteit, gas, warmte, de watervoorziening, waterbeheer, afval(water)verwijdering, transport, telecommunicatie- en informatiediensten allemaal te maken met verschillende vormen van markt- en reguleringsregimes, die bij verschillende departementen en op verschillende institutionele niveaus belegd zijn; nationaal, provinciaal dan wel gemeentelijk. Dat maakt het niet gemakkelijk om recht te doen aan de toenemende interacties tussen deze infrastructuren en om mogelijke synergie-effecten te realiseren. Wel is er veel beleidsmatige aandacht voor de kwetsbaarheid van (kritieke) infrastructuren en voor cascade-effecten van het falen van infrastructuur die kunnen ontstaan door sterke onderlinge verbondenheid van verschillende infrastructuren. Overigens geldt voor vrijwel alle infrastructuurele voorzieningen in Nederland dat ze tot de beste ter wereld behoren in kwaliteit en betrouwbaarheid. De keerzijde van de medaille is

dat we nauwelijks rekening houden met de kans op leveringsinterrupties, waardoor de gevolgschade voor economie en samenleving veel groter is dan de monetaire waarde van de niet geleverde dienst.

Zoals eerder betoogd is er, naast een autonome trend naar toenemende vervlechting van infrastructuur onder invloed van elektrificatie en digitalisering van de samenleving, ook een trend naar verdergaande integratie van infrastructuur onder invloed van het maatschappelijke streven naar duurzaamheid. In die integratie liggen kansen besloten voor een betere benutting van energiedragers en grondstoffen. Het is de vraag of de huidige institutionele kaders waarbinnen de infrastructuurbeheerders worden aangestuurd, voldoende ruimte bieden om die kansen ten volle te benutten. Dat geldt ook voor het ruimtelijke ordeningskader.

12.4 STUREN VAN INFRASTRUCTUREN

Door voorvechters van een snelle transitie naar een duurzame energievoorziening worden de bestaande energie-infrastructuren, inclusief de transportnetwerken, vaak aangewezen als het grootste struikelblok; de lange technische en economische levensduur van deze systemen, de diepe inbedding daarvan in de ruimtelijke en economische structuur, en de vergaande conditionering van sociale normen en routines maken allemaal dat de herinrichting van bestaande energie-infrastructuur een zaak van lange adem is.

De verticale ontvlechting van veel infrastructurele waardeketens heeft de sturing van infrastructuurontwikkeling ontegenzeggelijk bemoeilijkt. Het is daarbij onder meer de vraag of in de implementatie van marktwerking voldoende kan worden geborgd dat het streven naar aandeelhouderswaarde in de geprivatiseerde segmenten van de waardeketen samenvalt met het creëren van maatschappelijke waarde. Zoals gebleken in de casus van de elektriciteitsinfrastructuur is er voortdurende *fine-tuning* van marktontwerpen en reguleringsregimes nodig om het daardoor uitgelokte economisch gedrag van actoren in overeenstemming te brengen met (veranderende) publieke waarden. Het vergt een onwaarschijnlijk intelligente, goed geïnformeerde overheid om marktontwerp en netwerkregulering telkenmale bij te sturen, zodra het bestaande stelsel van prikkels niet meer de gewenste effecten dreigt te sorteren. Uiteenlopende fysieke, geografische, sociale, economische en politieke omstandigheden hebben bovendien tot gevolg dat verschillende gemeenschappen, regio's en landen verschillende mogelijkheden en belangen hebben. Informatie-asymmetrie tussen overheid en marktpartijen (en overheden onderling) is een tweede complicerende factor. Spanningen tussen Europese, nationale en regionale doelstellingen, de asymmetrische governance structuren en de daaruit voortvloeiende institutionele fragmentatie vormen een andere bottleneck. Ook in andere infrastructuursectoren dan de elektriciteitssector, met name in het transport van personen en goederen en de watersector, staan nationale tradi-

ties, belangen en beleidsdoelen soms op gespannen voet met het gezamenlijke Europese belang, denk aan de moeizame invoering van het Europese Rail Traffic Management Systeem (ERTMS) of aan de eenzijdige invoering van vignetten voor het gebruik van autowegen in Duitsland en Oostenrijk.

In het geval van de elektriciteitsinfrastructuur kunnen we vaststellen dat, in tegenstelling tot de weerbarstige institutionele dimensie, de fysieke infrastructuur schijnbaar moeiteloos de enorme omwenteling naar marktwerking en inzet van hernieuwbare energiebronnen heeft doorstaan. Hoewel daarvoor niet ontworpen, is het netwerk tot op heden in staat gebleken nieuwe stromingspatronen voortvloeiend uit grootschalige internationale elektriciteitshandel te accommoderen, evenals de variabiliteit van grootschalige productie uit duurzame bronnen. We moeten ons daarbij realiseren dat de tot dusverre relatief probleemloze opkomst van hernieuwbare bronnen in de elektriciteitsvoorziening mede te danken is aan de redundantie in het bestaande netwerk, een logisch uitvloeisel van de traditionele cultuur in een typische infrastructuursector waar technische integriteit en leverbetrouwbaarheid als dominante waarden golden. Daarnaast is er natuurlijk de substitutie van fossiel opgewekte elektriciteit door zonne- en windenergie die vooralsnog ruimte scheidt. De traditionele neiging van de netbeheerders om op (enige) redundantie te koersen staat sinds de liberalisering onder druk van de netwerkregulering op economische efficiëntie; de toezichthouder moet juist waken voor overinvestering. Daarbij moet wel worden aangetekend dat de operatie van het systeem steeds kritischer wordt en dat de Europese decarbonisatie doelstellingen voor 2050 niet gerealiseerd kunnen worden zonder aanzienlijke netwerkinvesteringen. Hier zullen op termijn spanningen zichtbaar worden in lokale, nationale en internationale verbindingen, als gevolg van congestie.

Net zoals de transmissie- en distributienetten in de elektriciteitsinfrastructuur relatief gemakkelijk nieuwe bronnen en nieuwe vormen van eindgebruik kunnen faciliteren, geldt dat ook voor de transport- en distributiesegmenten in andere infrastructuren. De strategie van redundantie in het netwerk is echter niet algemeen toepasbaar in alle infrastructuren; in de drinkwaterinfrastructuur bijvoorbeeld zou overdimensionering van het leidingnet aanleiding kunnen geven tot onacceptabel lange verblijftijden, leidend tot kwaliteitsverlies van het drinkwater. Strategieën om in een onzekere toekomst voortschrijdende duurzaamheid te kunnen realiseren moeten specifiek per infrastructuur worden ontwikkeld. Bij die strategieën horen ook investeringsruimte en ruimtelijke reserveringen. Zo heeft de directievoorzitter van Vitens onlangs gepleit voor aanwijzing door de Rijksoverheid van strategische grondwatervoorraden voor de toekomstige drinkwatervoorziening.

Het is niet waarschijnlijk dat private actoren de lasten van zulke investeringen (in redundantie) of reserveringen willen dragen, zonder daarvoor beloond te worden. Er is hier sprake van een grote risico-asymmetrie: marktpartijen zullen pas bereid zijn om te investeren als er zich in de nabije toekomst capaciteitstekorten aftekenen, zodat zij met grote zekerheid hun investering terugverdienen. Overinvestering in bijvoorbeeld elektriciteitsproductiecapaciteit is voor een private investeerder (althans in een ‘energy only’ markt) een onacceptabel risico. Voor de samenleving is het juist omgekeerd; zelfs bij lichte tekorten in productie- of netwerkcapaciteit (die tot gevolg hebben dat de elektriciteitsvoorziening af en toe staakt bij piekbelasting) zijn de maatschappelijke gevolgen (en kosten) ontwrichtend. De kosten van een vergelijkbaar licht capaciteitssurplus daarentegen worden nauwelijks gevoeld, want via het tariefsysteem gedeeld door alle eindgebruikers, zolang ze zich niet (kunnen) laten afschakelen.

12.5 CONCLUDEREND

Gezien hun kapitaalintensiteit en dientengevolge lange economische (en nog langere technische) levensduur, worden infrastructuren vaak gezien als onderdeel van het duurzaamheidsprobleem; als ‘entrenchment’ in onduurzaamheidsbevorderende routines. De conclusie van dit Working Paper is dat infrastructuren ook gezien kunnen worden als (deel van de) oplossing daarvan. We hebben laten zien dat de elektriciteitsinfrastructuur ingezet kan worden als ‘agent of change’ ten behoeve van duurzaamheidsdoelstellingen (zie ook Boot 2015), en dat geldt mutatis mutandis ook voor andere infrastructuren, zoals die voor gas, water, transport, communicatie en afvalverwerking.

Tegelijkertijd illustreert deze bijdrage dat de duurzaamheidsbelofte van infrastructuur niet gemakkelijk kan worden ingelost als er sprake is van verticale ontvlechting van waardeketens en/of van veelschaligheid in ruimte en governance regimes, binnen een context van een terugtrekkende overheid (ten gunste van marktwerking) en decentralisatie van infrastructuurbeleid en ruimtelijke ordening naar provincies en gemeenten. In de praktijk ontstaan hierdoor spanningen tussen verschillende duurzaamheidsdoelen (zoals CO₂-emissiereductie, inzet van hernieuwbare energie, behoud van voorzieningszekerheid in de energievoorziening en zo laag mogelijke kosten) en tussen de duurzaamheidseffecten van verschillende beleidsinstrumenten, evenals problemen met de tijdhorizon van investeringen en de bekostiging van fysieke infrastructuur.

Uitdagingen voor de toekomst liggen in het herdefiniëren van de publieke rol(len) in infrastructuurontwikkeling, in het benutten van cross-sectorale synergiën tussen infrastructuur en in het verbinden van lokaal en (supra)nationaal infrastructuurbeleid en toezicht.

Steeds meer blijkt dat de route van marktwerking niet vanzelf leidt naar het tot stand komen van een stabiele, duurzame inrichting van waardeketens vanuit een systeemperspectief. Wellicht is het tijd om de markontwerp- en mededingingsrechtelijke inzichten die destijds aanleiding waren voor de inrichting van competitieve markten in infrastructuursectoren weer eens opnieuw tegen het licht te houden en te beoordelen in het licht van de huidige maatschappelijke eisen en (ook lokale) omgevingsvoorwaarden. De retoriek van ‘de markt’ als simpele en politiek risicoloze oplossing doet onrecht aan de complexiteit van de allocatievraagstukken die in de infrastructuurwereld aan de orde zijn. Ook de noodzaak van een meer richtinggevende planning en allocatie van investeringen, waarbij verschillende belangen en maatschappelijke eisen evenwichtiger in beschouwing genomen worden, nopen tot een herbezinning op (de inrichting van) marktwerking in de infrastructuursectoren. Het voert voor dit betoog te ver om marktwerking als amoreel sturingsmechanisme af te schrijven, maar een heroverweging van de verhouding tussen markt, overheid en ‘civil society’ in het sturen van de ontwikkeling van infrastructurele voorzieningen is wel degelijk aan de orde (zie ook Achterhuis 2010). Bovendien is een herdefinitie van de publieke rol in het sturen van infrastructuurontwikkeling urgent noodzakelijk gezien de enorme investeringsbehoefte. Het vergt lange termijn consistentie in infrastructuurbeleid om private middelen te mobiliseren. Het is daarbij ook de vraag hoe complexe infrastructuurprojecten zodanig te structureren zijn dat ze aantrekkelijk worden voor private en institutionele investeerders.

Lange termijn consistentie ontbreekt ook in de coördinatie op Europees niveau: de ontwikkeling van trans-Europese infrastructuur steunt vooral op ad hoc horizontale coördinatieverbanden van landen, met wisselende coalities van nationale netbeheerders, financiers, aannemers, etc., die geconfronteerd worden met verschillende (nationale) beleidsissues, politieke eisen en randvoorwaarden.

Tegelijkertijd is er binnen en tussen sectoren, op alle schaalniveaus, meer aandacht nodig voor synergievoordelen (*economies of scale, scope and network*), waarbij het de vraag is welke onderdelen van infrastructuursystemen het best in samenhang met elkaar ontwikkeld kunnen worden. Op lokaal niveau zijn er veel initiatieven die maatwerk leveren voor lokale wensen en mogelijkheden. Vanuit het systeemperspectief gezien zullen die lokale initiatieven weer ingepast moeten worden, door middel van daarvoor geschikte infrastructuren, op korte en langere termijn.

Om de ontwikkeling van infrastructuur (weer) een grotere rol te laten in spelen in het creëren van een duurzamere samenleving in brede zin is het van belang beter zicht te krijgen op de economische, sociale en ecologische waarden die samenhangen met die infrastructuren. Deze waarden zullen in een breder afwegingskader geoperationaliseerd moeten worden om de juiste beslissingen te kunnen nemen en adequate governance structuren te kunnen construeren.

Een belangrijk element in dat laatste is ook dat er meer aandacht komt voor de ruimtelijke en technische interacties tussen verschillende infrastructuren, op verschillende schaalniveaus. Alleen dan kunnen de economische, sociale en ecologische waarden op verschillende (met elkaar verbonden) locaties zodanig op elkaar afgestemd worden en elkaar versterken dat er sprake kan zijn van een duurzame ontwikkeling van de samenleving – door infrastructuren.

DANKWOORD

Graag bedanken wij Charles Vlek, Wim Turkenburg, Leigh Hancher, Casper de Vries, Ernst Hirsch Ballin, Peter de Goede en Albert Faber voor hun waardevolle commentaar en suggesties voor verbetering bij een eerdere versie van dit working paper.

NOTEN

- 1 De existentiële rol van het waterbeheer voor het handhaven en bruikbaar maken/houden van het Nederlandse grondgebied 'binnen de duinen en dijken' blijkt ook uit de belangrijke rol die het waterschapsrecht (voorheen het dijkrecht) heeft gespeeld in de totstandkoming van de staatsrechtelijke organisatie van Nederland (Kranenburg 1933).
- 2 Ook een belangrijke factor was de beschikbaarheid van aardgas in Nederland. Door het aanleggen van een grootschalige transportinfrastructuur waardoor gas overal in het land ter beschikking kwam, en gefaciliteerd door het aanbieden van het voordelige 'potjesgas', werd Nederland een aantrekkelijke vestigingsplaats voor energie-intensieve industrieën (Correljé et al. 2003).
- 3 Redundant ontwerpen betekent dat een installatie of netwerk bewust wordt overgedimensioneerd. Zo is het hoogspanningsnetwerk zodanig ontworpen dat er altijd een component kan falen (of in onderhoud kan zijn) zonder dat daarmee de elektriciteitslevering aan de aangesloten gebruikers in gevaar komt. Ongevoeligheid voor uitval van één component staat bekend als het principe van n-1 betrouwbaarheid. In grote delen van het hoogspanningsnetwerk was n-2 of n-3 betrouwbaarheid zelfs gebruikelijk.
- 4 De infrastructuur die hun bestaan primair danken aan overwegingen van volksgezondheid en milieukwaliteit, denk aan drinkwaterzuivering, afvalwaterverwijdering (riolering en rioolwaterzuiveringsinstallaties) en later afvalverwijdering (afvalinzamelingssystemen, recycling- en afvalverbrandingsinstallaties), worden soms als een aparte categorie van milieu-infrastructuur benoemd. Onzes inziens doet dat onrecht aan het economische belang van de volksgezondheid en van schoon grond- en oppervlaktewater voor bijvoorbeeld de agrarische sector, maar ook voor een leefbare stedelijke omgeving, en horen ze daarmee thuis in de categorie *economische infrastructuur*, zoals die ook in andere landen wordt gedefinieerd.
- 5 Het vierde IPCC assessment report (IPCC 2007) meldt dat de lange-termijn prijselasticiteit voor huishoudelijk elektriciteitsgebruik voor het Verenigd Koninkrijk werd vastgesteld op -0,19 (Eyre 1998), voor Nederland op -0,25 (Jeeninga en Boots 2001) en voor Texas op -0,08 (Bernstein en Griffin 2005). In opkomende economieën is de prijselasticiteit iets groter, maar daar wordt energiegebruik veelal gesubsidieerd in plaats van belast.
- 6 Nieuwbericht Vitens, 3 oktober 2014. Zie: http://www.vitens.nl/overvitens/organisatie/nieuws/Paginas/Vitens-zet-slimme-waterwininput-in,-in-strijd-tegen-verziltting.aspx#.Vbdt8_ntlHw
- 7 Tot drinkwaterkwaliteit gerecycleerd afvalwater staat in Singapore bekend als NEWater. In de praktijk wordt dit water vooral geleverd aan bedrijven voor industrieel gebruik vanwege de maatschappelijke weerstand tegen de consumptie van 'afvalwater'.
- 8 De zeewaterinfrastructuur in Hongkong is in de jaren vijftig/zestig aangelegd om zoetwater tekorten voor de drinkwatervoorziening op te vangen. Circa 80% van de bevolking is op het systeem aangesloten. Het gebruikte zeewater wordt apart ingezameld en gereinigd vóór lozing in zee.

- 9 Huishoudwater is een watervoorziening van laagwaardiger kwaliteit dan drinkwater; huishoudwater kan bestaan uit hemelwater, oppervlakkig gereinigd oppervlaktewater of uit licht verontreinigd, gebruikt drinkwater (bijv. na gebruik voor douchen). Bij het huishoudwater-experiment in Leidsche Rijn bleken in enkele huishoudens de huishoudwater- en drinkwateraansluiting verwisseld te zijn.
- 10 Strikt genomen zijn warmtenetwerken meestal geen parallele infrastructures, aangezien er in nieuwe woonwijken doorgaans geen aardgasnetwerk meer wordt aangelegd.
- 11 Groen gas wordt gemaakt door biogas te zuiveren en op te waarderen tot het voldoet aan de specificaties van aardgas in de G-gasinfrastructuur (Groningen-gas) voor huishoudens en kleinere bedrijven. Groen gas wordt meestal ingevoerd in de distributienetwerken. Naast de G-gasinfrastructuur heeft Nederland een infrastructuur voor H-gas (i.e. aardgas met een hogere calorische waarde dan G-gas), waarop grootverbruikers (o.m. elektriciteitscentrales) zijn aangesloten.
- 12 Om *curtailment* van offshore windparken te voorkomen bij een tijdelijk overschot van windenergie, kan de dan beschikbare goedkope elektriciteit benut worden voor het elektrolytisch splitsen van water in waterstof en zuurstof. Dit is een proces dat technisch gezien gemakkelijk aan- en afgeschakeld kan worden en dus flexibel kan inspelen op de variabiliteit van windenergie. Economisch gezien heeft discontinu bedrijf van de kapitaalintensieve installatie echter grote nadelen in termen van (veel te) hoge waterstofproductiekosten en grote onzekerheid over de terugverdientijd van de installatie.
- 13 De specificaties voor G-gas en H-gas hebben een bandbreedte die beperkte ruimte geeft voor bijmengen van waterstof.
- 14 Hoewel kleine hoeveelheden waterstof (tot enkele volume procenten) wel veilig geaccordeerd kunnen worden in de aardgasinfrastructuur, is deze niet geschikt voor transport en distributie van pure waterstof door problemen van waterstoflekage en verbrossing van leiding- en appendagematerialen. Grootschalige waterstofdistributie vergt daarom een nieuwe infrastructuur.
- 15 De kosten van hernieuwbare waterstofproductie door elektrolytische splitsing van water zijn bij lange na niet concurrerend (zelfs niet als de elektriciteit bijna gratis is) met die van de conventionele grootschalige productie van waterstof uit aardgas met behulp van stoom-*reforming*. Bij dat laatste productieproces komt nagenoeg zuiver CO₂ vrij, dat door enkele producenten in het Botlekgebied geleverd wordt aan OCAP, die het via een bestaande pijpleiding distribueert naar glastuinders in het Westland, voor gebruik als nutriëntgas.
- 16 Nederland heeft een bijzonder hoge betrouwbaarheid van elektriciteitsvoorziening (CEER 2014). Juist omdat stroomstoringen in Nederland een zeldzaamheid zijn, zijn burgers en bedrijven daarop veel slechter voorbereid dan in landen waar leveringsonderbrekingen tot het normale patroon behoren. De grote stroomstoring van 29 maart 2015 in Noord-Holland, waarbij ook de luchthaven Schiphol werd getroffen, heeft onze kwetsbaarheid weer eens onderstreept.
- 17 Met decentrale elektriciteitsvoorziening wordt vooral bedoeld op private voorziening, buiten het publieke monopolie om. Decentraal gaat vaak samen met kleinschalig, maar niet noodzakelijk: vooral in de procesindustrie was (en is) de schaal van decentrale elektriciteitsproductie vaak vergelijkbaar met die van de 'centrale' productie. Sinds de invoering van con-

currentie in de elektriciteitsproductie is het onderscheid privaat-publiek niet meer relevant om centrale en decentrale productie te onderscheiden. Sinds de liberalisering kan decentrale elektriciteitsproductie gedefinieerd worden als productie door andere partijen dan energiebedrijven voor welke elektriciteitsproductie tot hun kernactiviteiten behoort.

18 *La loi transition énergétique pour la croissance verte*, zie: <http://www.developpement-durable.gouv.fr/La-loi-transition-energetique.html>

19 Met basislast wordt bedoeld op de elektriciteitsvraag en de daarmee samenhangende productie die gedurende alle uren in het gehele jaar constant zijn. In de zogenoemde belastingduurkromme worden naast de basislast, ook middellast en pieklast onderscheiden. Centrales die in de basislast voorzien werken het gehele jaar door volcontinu; dit zijn vooral ‘trage’ centrales, zoals kerncentrales, bruinkool- en kolengestookte centrales. In de middellast (fluctuerende vraag per dag, week en seizoen) wordt voorzien door het ‘opregelen’ van basislastcentrales (moderne kolengestookte centrales zijn goed regelbaar) en met flexibeler, vooral gasgestookte middellastcentrales die, sneller dan basislastcentrales, bijgeregeld kunnen worden en, in tegenstelling tot basislastcentrales, relatief gemakkelijk aan- en uitgeschakeld kunnen worden. Bij pieklast gaat het om uitschieters in de elektriciteitsvraag die zich (opgeteld) slechts gedurende enkele dagen of uren in het jaar voordoen. Voor die snel fluctuerende vraag zijn snel stuurbare productie-installaties nodig, veelal gasturbines. Bij een toenemend aandeel variabele productie uit hernieuwbare bronnen loopt het aantal bedrijfsuren voor basis- en middellastcentrales terug. Bij de huidige prijsverhoudingen van primaire energiedragers in Europa betekent dit dat vooral gasgestookte centrales uit de markt worden gedrukt.

20 Historische netkaarten van het Nederlandse hoogspanningsnet zijn geraadpleegd op HoogspanningsNet.com (2015).

21 Binnen een synchrone zone zijn alle elektriciteitsnetwerken met elkaar geïntegreerd zodat alle aangesloten productiemiddelen en apparaten met dezelfde wisselstroomfrequentie te maken hebben. Tussen synchrone zones zitten installaties die de uitwisseling van elektriciteit mogelijk maken zonder dat de netwerkfrequenties hetzelfde hoeven te zijn.

22 European Network of Transmission System Operators for Electricity.

23 Agency for the Cooperation of Energy Regulators. De enige formele toezichhoudende taak van ACER betreft de grensoverschrijdende verbindingen.

24 Het ziet er wel naar uit dat het mandaat van ENTSO-E en ACER geleidelijk wordt uitgebouwd; steeds meer neemt de Europese Commissie de voorstellen van ACER over marktontwerp en de langetermijn netwerkontwikkelingsplannen van ENTSO-E over in Europese regulering.

25 De rollen van transmissienetbeheerder (bijv. onderhoud van het net) en systeembeheerder (bijv. handhaving van de balans tussen elektriciteitsproductie en -gebruik) zijn onderscheiden rollen die in de meeste landen door één organisatie worden vervuld, zoals TenneT in Nederland, maar die in principe ook organisatorisch gescheiden kunnen worden.

26 In de meeste infrastructuren worden transport- en distributienetten onderscheiden, waarbij met ‘transport’ bedoeld wordt op de (inter)nationale of regionale *backbone* infrastructuur (snelwegen, hoogspanningskabels, hoge druk gas- en waterleidingen) en ‘distributie’ op de fijner vertakte netten waarin snelheid/spanning/druk stapsgewijs gereduceerd worden in

- het transport naar de eindgebruikers. In de elektriciteitsinfrastructuur wordt het hoogspanningsnetwerk ook wel aangeduid als transmissienetwerk; in Nederland omvat het hoogspanningsnetwerk alle kabels op het spanningsniveau van 110 kV en hoger (tot 380 kV).
- 27 Daar staat tegenover dat buitenlandse productiebedrijven en leveranciers die zich op de Nederlandse markt begeven, vaak nog wel netbelangen hebben in hun thuisland. Europese bedrijven zijn in elk geval juridisch gesplitst van de netten, maar dat geldt (meestal) niet voor energiebedrijven uit niet-Europese landen, die vaak nog ongesplitst zijn.
- 28 Qua elektriciteitsprijzen voor huishoudelijke eindgebruikers zit Nederland in de Europese middenmoot, onder het EU gemiddelde; de prijzen zijn echter niet eenvoudig te vergelijken, aangezien (nationale) heffingen en belastingen een belangrijk deel uitmaken van de elektriciteitsrekening (Eurostat, 2014).
- 29 Zie: <http://nieuws.eneco.nl/eneco-wil-in-gesprek-met-politiek-over-dreigende-splitsing>
- 30 Eneco en Delta zijn beide nog volledig in handen van provincies en gemeenten; dat geldt niet alleen voor hun distributienetten, maar ook voor hun productie- en leveringsactiviteiten.
- 31 Voor Nederland is de afhankelijkheid van Russisch gas gering dankzij de binnenlandse gasproductie uit het Groningenveld en de kleine velden. Hier gaat het om enkele procenten van het jaarlijkse gasaanbodvolume, die met name bestemd zijn voor heruitvoer naar het Verenigd Koninkrijk. Een belangrijke vraag is natuurlijk in hoeverre de rol van het Groningenveld zal gaan veranderen als gevolg van de noodzaak om het risico op aardbevingen te reduceren. Daarnaast beschikt Nederland over een LNG terminal waarmee gas van elders geïmporteerd kan worden. Nederland heeft met het in 2006 gesloten *Memorandum of Understanding* ingezet op een tweezijdige relatie met Rusland; zo heeft Gasunie een aandeel van 9 procent in de Nord Stream gasleiding, en Gazprom een aandeel van 9 procent in de Bacton-Balgzand verbinding met het Verenigd Koninkrijk.
- 32 Elementen uit de Lanthaniden- en Actinidenreeks in het periodiek systeem der elementen.
- 33 Alle producenten, leveranciers en gebruikers die aangesloten zijn op het transmissienet zijn verplicht om de systeembeheerder, TenneT, dagelijks te informeren over hun zogenaamde E-programma dat voor de volgende dag, per kwartier, hun (contractueel bepaalde) productie resp. gebruik specificeert. Aan de hand van de *merit order* (de volgorde van capaciteitsinzet op basis van marginale productiekosten in oplopende volgorde) bepaalt de markt welke eenheden op welk moment geactiveerd worden. Afwijkingen van de volgens het E-programma geplande transacties worden door TenneT vastgesteld en verrekend. Fysieke correcties die nodig zijn om momentaan de balans tussen productie en gebruik te kunnen handhaven vinden plaats via de onbalansmarkt: programmaverantwoordelijke partijen bieden het reserve- en regelvermogen (dat zij ten opzichte van hun E-programma meer of minder kunnen produceren of verbruiken) aan in de zogenaamde onbalansmarkt, een zgn. *single buyer* markt met TenneT als *single buyer*.
- 34 Waarbij moet worden aangetekend, zoals eerder vermeld, dat de elasticiteit van huishoudelijk elektriciteitsgebruik vooralsnog gering is. Pas bij grootschalige adoptie van elektrische auto's en warmtepompen zal die elasticiteit aanzienlijk worden.
- 35 Bij deze methode wordt goedkope elektriciteit benut om omgevingslucht te comprimeren en ondergronds (bijv. in een zoutcaverne) op te slaan; bij piekvraag naar elektriciteit wordt de perslucht weer geconverteerd naar elektriciteit met behulp van een expansieturbine.

- 36 De mate waarin vergroting van energieopslag- en grensoverschrijdende transmissiecapaciteit na 2030 nodig is, is nog onzeker. Verschillende modellen van het Europese transmissiesysteem met verschillende granulariteit (geheel Europa in 32 nodes, in Brancucci et al. 2013; West-Europa in 6 nodes, in Brouwer et al. 2015) komen, onder verschillende aannames en beperkingen, tot verschillende conclusies. Er is consensus over de toereikendheid van de ENTSO-E investeringsplannen tot 2025. Brancucci (2013) laat zien dat de benutting van pompaccumulatiecapaciteit (grootschalige energieopslag in hydroreservoirs) afneemt met vergroting van de cross-border transmissiecapaciteit; investeringen in transmissiecapaciteit verminderen de behoefte aan nieuwe vormen van opslagcapaciteit (bijv. in de vorm van perslucht) aanvankelijk. Bij een verdere toename van de variabele productie uit hernieuwbare bronnen boven 40% zal aanzienlijk meer netwerkcapaciteit nodig zijn, zo concluderen ook Brouwer et al. Dan worden opslagcapaciteit en vraagrespons steeds meer complementair aan grensoverschrijdende transmissiecapaciteit doordat investeringen in transmissie dan de toegang tot flexibele vraag en opslagcapaciteit over landsgrenzen faciliteren en zo helpen om piekaanbod van hernieuwbare bronnen tegen de laagst mogelijke kosten te accommoderen. Brouwer et al. stellen echter dat opslag van elektriciteit ook dan te duur blijft, zelfs wanneer forse kostenreducties gerealiseerd worden. Omdat het potentieel van vraagrespons beperkt blijft, betekent dit dat flexibele elektriciteitsproductiecapaciteit ook op de langere termijn van belang blijft.
- 37 Een belangrijk kantelpunt hierbij is de mogelijke inzet van ondergrondse CO₂ opslag. Vooralsnog is de maatschappelijke acceptatie van deze technologie gering in Nederland (Cuppen et al.).
- 38 Waarbij aangetekend moet worden dat het rendement van een thermische centrale met 10 à 15% afneemt bij toepassing van de huidige technologie voor afvang en opslag van CO₂.
- 39 In de eenvoudigste vorm geven *smart meters* of slimme meters de gebruiker op elk moment inzicht in zijn gebruik en stellen de netbeheerder in staat om het gebruik op afstand uit te lezen. De meest geavanceerde slimme meters communiceren met de netbeheerder en stellen de gebruiker in staat om te reageren op *real-time of time-of-use* prijssignalen, waarbij de gebruiker kan toestaan dat het gebruik van bepaalde apparaten (wasmachines, vaatwassers) of het opladen van een elektrische auto in reactie op die prijssignalen op afstand gestuurd wordt.
- 40 Smart grids of intelligente elektriciteitsnetten maken gebruik van geavanceerde slimme meters en sensoren in het net om bijv. storingen sneller te diagnosticeren en het elektriciteitsgebruik te sturen op de beschikbare capaciteit (spreiden van piekbelasting bijv. via prijssignalen).
- 41 Op de langere termijn liggen vervanging en uitbreiding van kolengestookte en nucleaire capaciteit steeds minder voor de hand, vanwege de hoge kapitaalslasten in combinatie met de afnemende *load factor* (ten gevolge van het toenemende aandeel wind- en zonne-energie in de elektriciteitsproductiemix).
- 42 ECN (2015) schat het potentieel voor biogas op basis van (verplichte) mestvergisting en (innovatieve technologie voor) vergassing van binnenlandse biomassa op 2,8 mld Nm³ aardgas-equivalent/jr, bovenop de 0,3 miljard m³ die in de Nationale Energieverkenning (ECN 2014) wordt genoemd. Daarvan is 1,8 mld m³ afkomstig uit vergisting van mest en 1 mld m³

- uit vergassing van (binnenlands geproduceerde) biomassa. Ten opzichte van het huidige gebruik is dit potentieel gering, waarbij echter aangetekend moet worden dat er zowel in de gebouwde omgeving als in de industrie veel maatregelen worden genomen om het gasverbruik structureel terug te dringen.
- 43 Capaciteitsmechanismen belonen op een of andere wijze de beschikbaarheid van productiecapaciteit en brengen daarmee meer zekerheid voor investeerders in nieuwe elektriciteitsproductiecapaciteit dan de huidige *energy-only* markt verschaft. Voor een overzicht van capaciteitsmechanismen en –markten, zie: Fact sheet State Aid: Sector inquiry into capacity mechanisms (European Commission 2015d).
- 44 De nieuwste kolengestookte centrales in Nederland zijn gebouwd door RWE (twee eenheden van 800 MW in de Eemshaven), Eon en GDF Suez (resp. 1070 MW en 800 MW, beide in het Rotterdamse havengebied).
- 45 De CO₂ prijs is een doorslaggevende factor in de decarbonisatie van het elektriciteitsproductiepark in Europa. Alle stimulering van productie uit hernieuwbare bronnen, vraagrespon, energieopslag en uitbreiding van internationale transmissiecapaciteit kan alleen het beoogde verduurzamingseffect (in termen van reductie van CO₂ emissies) sorteren bij voldoende hoge prijzen van CO₂-emissierechten. Het huidige prijsniveau van minder dan 10 euro per ton, bevoordeelt de koolstofintensieve productie van steen- en bruinkoolgestookte centrales. Bijvoorbeeld: bij een CO₂ prijs van 22,50 euro per ton, en aannemend dat de door ENTSO-E geplande investeringen in interconnectiecapaciteit worden gerealiseerd, zal de koolstofintensiteit van de Europese elektriciteitsproductie in 2025 met 28 procent afnemen ten opzichte van 2010 maar, omdat de elektriciteitsvraag groeit, zal de CO₂-emissie met slechts 17 procent afnemen. Bij een CO₂-prijs van 50 euro per ton worden de marginale productiekosten van een gascentrale lager dan die van kolencentrales, wat in 2025 zou leiden tot een 38 procent lagere uitstoot van CO₂ ten opzichte van het scenario met een CO₂-prijs van 22,50 euro per ton. Een CO₂ belasting die gascentrales (zelfs zonder Carbon Capture and Storage) aantrekkelijker maakt dan kolencentrales sorteert feitelijk dus meer reductie van CO₂ emissies dan een verdubbeling van het aandeel van hernieuwbare bronnen in het Europese productiepark (Branucci Martinez-Anido 2013). Het Verenigd Koninkrijk heeft sinds 1 april 2013 een prijsvloer van 16 GBP per ton CO₂ emissie ingesteld, die gaandeweg verhoogd zal worden naar 30 GBP per ton in 2020 en naar 70 GBP per ton in 2030. Bovendien zijn (in de UK Energy Bill 2012 s7) voor verschillende sectoren prestatienormen vastgesteld voor reductie van CO₂ emissies; nieuwe elektriciteitscentrales zijn gebonden aan een CO₂-emissielimiet van maximaal 450 g/kWh.
- 46 Dankzij de salderingsregeling betalen prosumënten niet voor de extra netwerkkosten die zij veroorzaken; ze gebruiken het net feitelijk als ware het een gratis batterij waarin ze overschotten kunnen opslaan en waaruit ze bij een tekort aan eigen opwek kunnen ‘tanken’.
- 47 Het RMI spreekt van de ‘utility-in-a-box’ op basis van zonnepanelen en batterijen.
- 48 Dat de netwerken in publiek eigendom zijn geldt niet alleen voor Nederland; dat is in veel Europese landen de situatie, maar er zijn uitzonderingen, zoals in het Verenigd Koninkrijk waar een deel van de netten geprivatiseerd is.
- 49 Kornelis Blok karakteriseerde in zijn intreerede aan de TU Delft, op 16 september 2015, de gebruikerskant als ‘De verwaarloosde kant van het energiesysteem’.

- 50 In het consultatiedocument van de Europese Commissie over een nieuw marktontwerp in het kader van de Europese Energie-Unie, worden bovenstaande problemen behandeld (European Commission 2015). De Commissie onderkent het belang van grensoverschrijdende harmonisatie op Europese schaal van intraday markten, van onbalansmarkten en van maatregelen om netwerkcongestie aan te pakken. Prijszones die nu bepaald worden door landsgrenzen (van de lidstaten en andere landen die deel uitmaken van het Europese transmissienetwerk) moeten in plaats daarvan de beschikbaarheid van transmissiecapaciteit reflecteren. Dat is nodig om de juiste investeringen in het transmissienet uit te lokken. Om langetermijninvesteringen in nieuwe productiecapaciteit uit te lokken, pleit de Commissie ervoor de groothandelsmarkt zijn werk te laten doen en toe te laten dat de prijzen bij piekvraag of productietekorten pieken. Langetermijnmarkten moeten de risico's van extreme prijspielen helpen afdekken (mede ter bescherming van consumenten) zonder daarmee de investeringsignalen voor producenten te verstoren. Voorts benadrukt de Commissie opnieuw het belang van meer interconnectiecapaciteit in het Europese netwerk, conform de prioriteitenlijst van de Projects of Common Interest, als onontbeerlijke fysieke basis voor het faciliteren van de Europese interne markt. De Commissie betoont zich geen voorstander van capaciteitsmarkten.
- 51 Waarvan 541 miljard US dollar aan directe (*pre-tax*) subsidies op energieprijzen voor consumenten en 4900 miljard US dollar aan indirecte (*post-tax*) subsidies door o.m. verlaagde tarieven voor btw en andere belastingen, maar vooral door het niet doorberekenen van negatieve externaliteiten: milieu- en gezondheidsschade in de vorm van klimaatverandering, lokale vervuiling, verkeerscongestie e.d.
- 52 De G20 heeft besloten tot een Global Infrastructure Initiative op de G20 top in Brisbane, juni 2014. De daaraan gerelateerde Global Infrastructure Hub die in Sydney wordt ingericht, moet de kennis leveren om de voortgang van de infrastructuurinvesteringsagenda te waarborgen.
- 53 Volgens de Aziatische Investeringsbank moeten Aziatische landen tussen 2010 en 2020 ongeveer 8000 miljard US dollar investeren in nationale infrastructuur (ADB/ADB, 2009). Met de investeringen die nodig zijn om de regionale transport- en energienetwerken te versterken, becijfert de ADB de behoefte aan infrastructuurinvesteringen in de Aziatische regio op een gemiddelde 750 miljard US dollar per jaar over de gehele periode van 2010 tot 2020.
- 54 In het najaar van 2014 heeft China, na de oprichting van de BRICS Development Bank in juli 2014, niet alleen het Silk Road Fund, een infrastructuurinvesteringsfonds (40 miljard US dollar) voor landen langs de nieuwe Zijderoute, geïnitieerd, maar ook de Asian Infrastructure Investment Bank (AIIB) opgericht, met een startkapitaal van 100 miljard US dollar; ook Nederland heeft zich aangesloten bij de 57 deelnemers aan de AIIB, als *prospective founding member*.
- 55 Nog steeds hebben 1,2 miljard mensen geen toegang tot elektriciteit en koken 2,8 miljard wereldbewoners hun dagelijkse maaltijd in de ongezonde rook van een vuurtje op vaste brandstoffen (zoals hout). Een miljard mensen wonen meer dan 2 km van een weg die in alle seizoenen begaanbaar is. Bijna drie kwart miljard hebben geen toegang tot veilig drinkwater en nog altijd heeft 60 procent van de wereldbevolking geen toegang tot het internet (Wereldbank, 2014)

- 56 Uit empirische data-analyse van meer dan honderd landen blijkt dat het bruto-binnenlands product toeneemt met de voorraad van infrastructurele kapitaalgoederen en dat de inkomensongelijkheid (uitgedrukt in Gini-coëfficiënt) afneemt met een toename in kwantiteit en kwaliteit van infrastructurele voorzieningen (Servén en Calderón 2004).
- 57 Wat overigens niet betekent dat P2G snel gerealiseerd zal worden op grote schaal; vooralsnog is P2G economisch niet aantrekkelijk.
- 58 Waarbij de kanttekening geplaatst kan worden dat de trek naar de megasteden in Azië, Afrika en Latijns Amerika deels een gevolg is van ontoereikende infrastructurele voorzieningen in de rurale gebieden en het daardoor ontbreken van economische ontwikkelingskansen ter plaatse.
- 59 Veel van die nieuwe activiteiten worden door de wetgever gezien als activiteiten die in concurrentie in de markt ontplooid moeten worden; zij vallen strikt genomen buiten het mandaat van de publieke netbeheerder, ook al hebben die activiteiten veelal ten doel de bestaande netwerken beter te benutten en kostbare investeringen in verzwaring van de netten zoveel mogelijk te vermijden.
- 60 European Directive 2014/61/EU, aangenomen op 15 mei 2014. Doel hiervan is te verzekeren dat alle Europese burgers in 2020 toegang hebben tot hogesnelheid internet (ten minste 30 Mbps), en minstens de helft dan beschikt over een verbinding van meer dan 100 Mbps.

LITERATUUR

- ACER (2013). *Capacity Remuneration Mechanisms and the Internal Market for Electricity*.
 Achterhuis, Hans (2010). *De utopie van de vrije markt*. Rotterdam, Lemniscaat.
- Algemene Rekenkamer (2015). *Stimulering van duurzame energieproductie (SDE+)*.
 Den Haag: Sdu.
- American Society of Civil Engineers (ASCE) (2013). *Report Card for America's Infrastructure*.
- Asbeek Brusse, W., Dalen, H. van, en Wissink, B. (2002). *Stad en land in een nieuwe geografie; maatschappelijke veranderingen en ruimtelijk dynamiek*. Den Haag, Sdu.
- Aschauer, D.A. (1989). 'Is public expenditure productive?', *Journal of Monetary Economics* 23, 2: p. 177-200.
- Asian Development Bank Institute (ADB) (2009). *Infrastructure for a Seamless Asia*, Tokyo.
- Australian Government / Infrastructure Australia (AG/IA) (2013). *2013 State of Play Report Australia's Key Economic Infrastructure Sectors*.
- Berkhout, P.H.G., Muskens, J.C., en Velthuisen, J.W. (2000). 'Defining the rebound effect', *Energy Policy* 28, 6-7: p. 425-432.
- Bernstein, M.A., en Griffin, J. (2006). *Regional Differences in the Price-Elasticity of Demand for Energy*. Battelle: Midwest Research Institute.
- Bhattacharya, A., Oppenheim, J., en Stern, N. (2015). *Driving Sustainable Development Through Better Infrastructure: Key Elements of a Transformation Program*. Washington: The Brookings Institution.
- BNR Nieuwsradio (1 juli 2015). Zie <http://www.bnr.nl/nieuws/duurzaamheid/983802-1507/eneco-trekt-handen-af-van-energieakkoord>.
- Bollinger, L.A., Bogmans, C. W. J., Chappin, E. J. L., Dijkema, G. P. J., Huibregtse, J. N., Maas, N., Schenk, T., Snelder, M., Thienen, P. van, Wit, S. de, Wols, B., en Tavasszy L.A. (2014). 'Climate adaptation of interconnected infrastructures: a framework for supporting governance', *Regional Environmental Change* 14, 3: p. 919-931.
- Boneschansker, E., Lijesen, M.G., en Groot, H. de (1995). *Economisch rendement en strategische betekenis van nieuwe infrastructuur*. Den Haag: Ministerie van Verkeer en Waterstaat.
- Boot, P. (2015). 'Naar een duurzame energievoorziening in onzekere tijden', *TPedigitaal* 9, 2: p. 111-128.
- Boot, P., en Koutstaal, P. (2015). 'Inleiding: Energie en economie', *TPedigitaal* 9, 2: p. 1-7.
- Brancucci Martínez-Anido, C. (2013). *Electricity Without Borders The need for cross-border transmission investment in Europe*. Delft: Next Generation Infrastructures Foundation.
- Brancucci Martínez-Anido, C., Vandenbergh, M., Vries, L.J. de, Alecu, C., Purvins, A., Fulli, G., en Huld, T. (2013). 'Medium-term demand for European cross-border electricity transmission capacity', *Energy Policy* 61: p. 207-222.

- Brätland, J. (2010). Capital Concepts as Insights into the Maintenance and Neglect of Infrastructure. *The Independent Review*, 15(1), 35.
- Broek, A. van den (2015). *Groen denken, groen doen en het 'groene gat'*. Den Haag: Wetenschappelijke Raad voor het Regeringsbeleid.
- Brouwer, A.S., Van den Broek, M., Zappa, W., Turkenburg, W.C., en Faaij, A.P.C., (2015). 'Least-cost options for integrating intermittent renewables in low-carbon power systems', *Applied Energy* - Accepted for publication.
- CBI (2014). *CBI-URS Infrastructure Survey 2014: Taking the long view: a new approach to infrastructure*. London.
- CBS (2015). *Elektriciteit in Nederland*. Den Haag.
- Chaves-Ávila, J.P., Hakvoort, R.A., en Ramos, A. (2014). 'The impact of European balancing rules on wind power economics and on short-term bidding strategies', *Energy Policy* 68: p. 383-393.
- Commission Brundtland (1987). *Our Common Future*. New York: Oxford University Press.
- Correljé, A.F. (1998). *Hollands welvaren; de geschiedenis van een Nederlandse bodemschat*. Hilversum: Teleac/NOT.
- Correljé, Aad (2010). 'Absoluut, in verhouding of competitief?', *Energie Nederland*, 16 december 2010.
- Correljé, A.F. (2011). 'Aardgas in Nederland: een verleden en vele toekomst', *Energie in 2030: Maatschappelijke keuzes van nu*. Den Haag: Rathenau Instituut.
- Correljé, A.F., en Broekhans, B. (2015). 'Flood risk management in the Netherlands after the 1953 flood: a competition between the public value(s) of water', *Journal of Flood Risk Management* 8, 2: p. 99-115.
- Council of European Energy Regulators (CEER) (2014). *Benchmarking Report 5.1 on the Continuity of Electricity Supply*. Brussels.
- Cuppen, E., Brunsting, S., Pesch, U., en Feenstra, Y. 'How stakeholder interactions can reduce space for moral considerations in decision-making: a contested CCS project in the Netherlands', *Environment and Planning A*, online pre-publication..
- Danish Government, The (2011). *Our Future Energy*. Copenhagen: The Danish Ministry of Climate, Energy and Buildings.
- Delmas, M.A., Fischlein, M., en Asensio, O.I. (2013). 'Information strategies and energy conservation behavior: A meta-analysis of experimental studies from 1975 to 2012', *Energy Policy* 61: p. 729-739.
- DNV GL – Energy (2014). *Integration of Renewable Energy in Europe*. Brussels: European Commission.
- ECN (2014). *Nationale Energieverkenning 2014*. Petten: ECN, PBL, CBS en RVO.nl.
- ECN (2015). *Reductie gasvraag Nederland*, beschikbaar op: <https://www.ecn.nl/publicaties/L/2015/ECN-L--15-059>.
- Energinet (2014). *Annual report 2014: Ready energy – now and into the future*, Denmark.
- EPIA (2014). *Global market outlook for photovoltaics 2014-2018*
- Esfahani, H.S. en Ramirez M.T. (2003). 'Institutions, infrastructure, and economic growth', *Journal of Development Economics* 70, 2: p. 443-477.

- EURARE (2015). Beschikbaar op: <http://www.eurare.eu/about.html> (geraadpleegd op 21 juni 2015).
- European Climate Foundation (ECF) (2010). *ROADMAP 2050: a practical guide to a prosperous, low-carbon Europe*, Den Haag.
- European Commission (2011). *Energy Roadmap 2050* [COM/2011/885].
- European Commission (2014). *Smart Grid Projects Outlook 2014*, Joint Research Centre (JRC).
- European Commission (2015a). *Renewable energy progress report*, Brussels: European Commission.
- European Commission (2015b). *Energy Union Package*, Brussels: European Commission.
- European Commission (2015c). *Launching the public consultation process on a new energy market design*, Brussels: European Commission.
- European Commission (2015d). *Commission Decision: initiating an inquiry on capacity mechanisms in the electricity sector pursuant to Article 20a of Council Regulation (EC) No 659/1999 of 22 March 1999*, Brussels: European Commission.
- European Parliament, The (2010). *EU Energy Markets in Gas and Electricity – State of Play of Implementation and Transposition*, Brussels.
- European Union, The (2014). *Official Journal of the European Union: Directive 2014/61/EU of the European Parliament and of the Council*, Brussels.
- Eurostat (2014). Electricity prices for medium sized household consumers (between 2500 and 5000 kWh), Beschikbaar op: <http://ec.europa.eu/eurostat/cache/BubbleChart/?lg=en#tableCode=teno0117-1>.
- Eyre, N. (1998). 'A golden age or a false dawn? Energy efficiency in UK competitive energy markets', *Energy policy* 26, 12: p. 963-972.
- Faber, A., en Ros, J. (2009). *Decentrale elektriciteitsvoorziening in de gebouwde omgeving – Evaluatie van transitie op basis van systeemopties*. Bilthoven: Planbureau voor de Leefomgeving.
- Fagiani, R., Richstein, J.C., Hakvoort, R., en Vries, L. de (2014). 'The dynamic impact of carbon reduction and renewable support policies on the electricity sector', *Utilities Policy* 28: p. 28-41.
- Financieele Dagblad, Het (10 juni 2015). Jeroen Koot, 'Utrecht gebruikt elektrische auto als buffer'.
- Finger, M., Groenewegen, J., en Künneke, R. (2005). 'The Quest for Coherence Between Institutions and Technologies in Infrastructures', *Journal of Network Industries* 1, 6: p. 227-260.
- Fouquet, R. (2010). 'The slow search for solutions: Lessons from historical energy transitions by sector and service', *Energy Policy* 28, 11: p. 6586-6596.
- Frantzeskaki, N., en Loorbach, D. (2010). 'Towards governing infrasystem transitions: Reinforcing lock-in or facilitating change?', *Technological Forecasting and Social Change* 77, 8: p. 1292-1301.
- Fraunhofer Institute for Solar Energy systems (ISE) (2014). *Electricity production from solar and wind in Germany in 2014*. Freiburg.

- Fraunhofer Institute for Solar Energy systems (ISE) (2015). *Recent Facts about Photovoltaics in Germany*, Freiburg.
- Frischmann, B.M. (2012). *Infrastructure: The Social Value of Shared Resources*. Oxford: Oxford University Press.
- G20 (2014). *The G20 Global Infrastructure Initiative*, beschikbaar op: http://www.g20australia.org/sites/default/files/g20_resources/library/g20_note_global_infrastructure_initiative_hub.pdf.
- Gids Cultuurhistorie 20 (2012). *Historische wegen*. Amersfoort: Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed.
- Goede, P. de (2015). *Wie dan leeft, wie dan zorgt? Klimaatverandering en het gebrek aan langetermijngerichtheid van politiek en bestuur*. WRR working paper nr. 6, Den Haag: Wetenschappelijke Raad voor het Regeringsbeleid.
- Goldthau, A. (2014). 'Rethinking the governance of energy infrastructure: Scale, decentralization and polycentrism', *Energy Research & Social Science* 1: p. 134-140.
- Gordijn, H., Verwest, F., en Hoorn, A. van (2003). *Energie is ruimte*. Rotterdam: NAI Uitgevers.
- Graham, S., en Marvin, S. (2001). *Splintering Urbanism: Networked Infrastructures, Technological Mobilities and the Urban Condition*. London: Routledge.
- Groenewegen, J., en Correljé, A.F. (2009). 'Public values in the energy sector: economic perspectives', *Internatioanl Journal of Public Policy* 4, 5: p. 395-413.
- Guardian, The (8 okt. 2014). Terry Macalister, 'European commission approves Hinkley Point nuclear subsidy deal'.
- Gugler, K., Rammerstorfer, M. en Schmitt, S. (2013). 'Ownership unbundling and investment in electricity markets - A cross country study', *Energy Economics* 40: p. 702-713.
- Gupta, S., en Keen, M. (2015). *Global Energy Subsidies Are Big - About US\$5 Trillion Big*, IMFdirect, beschikbaar op: <http://blog-imfdirect.imf.org/2015/05/18/global-energy-subsidies-are-big-about-us5-trillion-big/>.
- Harvey D. (1996). 'Cities or urbanization?', *City: analysis of urban trends, culture, theory, policy, action* 1,1-2: p. 38-61.
- Hellinga, C. (2010). *De energievoorziening van Nederland, vandaag (en morgen?)*. TU Delft en KIVI/NIRIA.
- Hesselmans, A.N., en Verbong, G.P.J. (2000). 'Schaalvergroting en kleinschaligheid: de elektriciteitsvoorziening tot 1914', *Delfstoffen, energie, chemie* 2: p. 124-139.
- Hesselmans, A.N., Verbong G.P.J., en Berg, P. van den (2000). 'Elektriciteitsvoorziening, overheid en industrie 1949-1970', *Delfstoffen, energie, chemie* 2: p. 220-237.
- Hesselmans, A.N., Verbong G.P.J., en Buiters, H. (2000). 'Binnen provinciale grenzen: de elektriciteitsvoorziening tot 1940', *Delfstoffen, energie, chemie* 2: p. 140-159.
- Hoge Raad (2015). *Uitspraak ECLI:NL:HR:2015:1727 / Uitspraak ECLI:NL:HR:2015:1728 / Uitspraak ECLI:NL:HR:2015:1729*, 26 juni 2015.
- Holtinen, H., Tuohy, A., Milligan, M., Lannoye, E., Silva, V., Muller, S., en Soder, L. (2013). 'The Flexibility Workout: Managing Variable Resources and Assessing the Need for Power System Modification', *Power and Energy Magazine, IEEE* 11, 6: p. 53-62.

- Hong Kong Government / The Government of the Hong Kong Special Administrative Region (2015). *Seawater for Flushing*, beschikbaar op: http://www.wsd.gov.hk/en/water_resources/water_treatment_and_distribution_process/seawater_for_flushing/index.html (geraadpleegd op: 21 juni 2015).
- Hoogspanningsnet (2015). *Netkaart Nederland*, beschikbaar op: <http://www.hoogspanningsnet.com/>.
- Hughes, T.P. (1983). *Networks of power: electrification in Western society, 1880-1930*. Baltimore: Johns Hopkins University Press.
- Hughes, T.P. (1989). *American genesis: a century of invention and technological enthusiasm, 1870-1970*. New York: The Viking Press.
- Hughes, T.P., Bijker W.E., en Pinch, T. (red.) (1987). *The Social Construction of Technological Systems: New Directions in the Sociology and History of Technology*. Cambridge: MIT Press.
- Huygen, A. (2015). 'Beleid voor innovaties in de elektriciteitssector', *TPEdigitaal* 9, 2: p. 2-78.
- Institution of Civil Engineers (ICE) (2014). *The State of the Union: Infrastructure 2014*.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2007). *Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment*. Geneva.
- International Renewable Energy Agency (IRENA) (2013). *Renewable energy country profiles: European Union*. Abu Dhabi.
- Jacobs, J.P.A.M., Groote, P., en Sturm, J.E. (1996). 'Waren Infrastructuur investeringen productief in Nederland (1850-1913)?', *NEHA Jaarboek* 59: p. 238-257.
- Jeeninga, H., en Boots, M.G. (2001). *Development of the domestic energy consumption in the liberalised energy market, effects on purchase and use behavior*. Petten: ECN Beleidsstudies.
- Jepma, C., en Rop, N. (2013). *EDGAR Transitiestudie G-gas*. Groningen: Energy Delta Gas Research.
- Jevons, W.S. (1865). *The Coal Question: An Enquiry Concerning the Progress of the Nation, and the Probable Exhaustion of Our Coal-mines*. London: Macmillan.
- Jong, J.J. de, Weeda, O., Westerwoudt, T., en Correljé, A.F. (2005). *Dertig jaar Nederlands energiebeleid: van bonzen, polders en markten naar Brussel zonder koolstof*. Den Haag: Clingendael International Energy Programme.
- Joskow, P.L. (2007). 'Regulation of Natural Monopoly', *Handbook of Law and Economics* 2: p. 1227-1348.
- Knaap, G.A. van der (2002). *Stedelijke Bewegingsruimte, over veranderingen in stad en land*. WRR Voorstudies en achtergronden V113. Den Haag: Sdu uitgeverij.
- Köper, N. (2008). *Hoogspanning: macht en onmacht in het Nederlandse energiebeleid*. Amsterdam: Business Contact.
- Koutstaal, P., en Sijm, J. (2015). 'De toekomst van de elektriciteitsvoorziening bij toename van zon en wind', *TPEdigitaal* 9, 2: p. 35-51.
- Kranenburg, R. (1933). *Het Nederlandsch Staatsrecht (2 delen)*. Haarlem: Tjeenk Willink.

- Künneke, R.W. (2008). 'Institutional reform and technological practice: the case of electricity', *Industrial and Corporate Change* 17, 2: p. 233-265.
- Lenzen, M., Wier, M., Cohen, C., Hayami, H., Pachauri, S., en Schaeffer, R. (2006). 'A comparative multivariate analysis of household energy requirements in Australia, Brazil, Denmark, India and Japan', *Energy* 31, 2-3: p. 181-207.
- Lintsen, H.W. (red.) (1993). *Geschiedenis van de techniek in Nederland. De wording van een moderne samenleving 1800-1890. Deel III. Textiel. Gas, licht en elektriciteit. Bouw*, Zutphen: Walburg Pers.
- Maarseveen, R. van, en Romijn, G. (2015). *De ruimtelijk-economische effecten van transport-
infrastructuur: een overzicht van de empirie*. Den Haag: Centraal Planbureau.
- Marty, O. (2015). *The Junker Plan – the vehicle for revived European ambition?* Paris: Fondation Robert Schuman.
- McKinsey & Company (2013). *Infrastructure productivity: How to save \$1 trillion a year*. London.
- Meadows, D.H., Meadows, G., Randers, J., en Behrens III, W.W. (1972) *The Limits to Growth*. New York: Universe Books.
- Ménard, C. (2014). 'Embedding organizational arrangements: towards a general model', *Journal of Institutional Economics* 10, 4: p. 567-589.
- Meyer, R. (2011). *Vertical Economies of Scope in Electricity Supply - Analysing the Costs of Ownership Unbundling*. Bremen: Jacobs University.
- Meyer, R. (2012). 'Economies of scope in electricity supply and the costs of vertical separation for different unbundling scenarios', *Journal of Regulatory Economics* 42, 1: p. 95-114.
- Micallef, P.E. (2015). 'Directive 2014/61/EU – an effective tool in facilitating deployment of high-speed electronic communications networks within the EU?', *Utilities Law Review* 20, 4: p. 167-169.
- Middelkoop, M. van (2014). *Energiebesparing: voor wie loont dat? Onderzoek naar de betaalbaarheid van energie en energiebesparing voor huishoudens*. Bilthoven: Planbureau voor de Leefomgeving.
- Midden, C.J.H., Kaiser, F.G., en McCalley, L.T. (2007). 'Technology's Four Roles in Understanding Individuals' Conservation of Natural Resources', *Journal of Social Issues* 63,1: p. 155-174.
- Molle, W., en Wever, E. (1984). *Oil Refineries and Petrochemical Industries in Western Europe: Buoyant Past Uncertain Future*. London: Gower Publishing Company Ltd.
- Monstadt, J. (2009). 'Conceptualizing the political ecology of urban infrastructures: insights from technology and urban studies', *Environment and Planning A* 41, 8: p. 1924-1942.
- Motivaction (2015). *Vijftinten groen – Input voor effectievere duurzaamheidsstrategieën*. Amsterdam.
- Mulder, M. (2015). 'Competition in the Dutch Electricity Market: An Empirical Analysis over 2006-2011', *The Energy Journal* 36: p. 2.
- Nelson, R.R. (1994). 'The Co-evolution of Technology, Industrial Structure, and Supporting Institutions', *Industrial and Corporate Change* 3, 1: p. 47-63.

- Neuhoff, K., Barquin, J., Bialek, J.W., Boyd, R., Dent, J.C., Echavarren, F., Grau, T., Hirschhausen, C. von, Hobbs, B.F., Kunz, F., Nabe, C., Papaefthymiou, G., Weber, C., en Weigt, H. (2013). 'Renewable electric energy integration: Quantifying the value of design of markets for international transmission capacity', *Energy Economics* 40: p. 760-772.
- Nillesen, P., en Pollitt, M. (2008). *An economic analysis of the ownership unbundling of electricity distribution in New Zealand*, beschikbaar op: <http://www.eprg.group.cam.ac.uk/wp-content/uploads/2008/12/7-pollitt.pdf>.
- NRC (17 januari 2015). Marcel aan de Brugh, 'Geld maakt niet zuinig'.
- NRC (29 mei 2015). Carola Houtekamer, 'Heel veel keus heeft een smelter niet. Aluminiumfabriek Aldel'.
- NRC (26 juni 2015). Sterre van der Hee, 'Hoge Raad: wet opsplitsing energiebedrijven mag wél'.
- Odell, P.R. (1972). 'Energie en regionale ontwikkeling', *Regionale economie: het ruimtelijk element in de economie*: p. 218-245.
- Otto, S., Kaiser, F.G., en Arnold, O. (2014). 'The critical challenge of climate change for psychology: Preventing rebound and promoting more individual irrationality', *European Psychologist* 19, 2: p. 96-106.
- Overbeeke, P. van (2001). *Kachels, geisers en fornuizen: Keuzeprocessen en energieverbruik in Nederlandse huishoudens 1920-1975*. Hilversum: Uitgeverij Verloren.
- Planbureau voor de Leefomgeving (PBL) (2014). *Kiezen én delen - Strategieën voor een betere afstemming tussen verstedelijking en infrastructuur*. Bilthoven: Planbureau voor de Leefomgeving, rapportnr. 1358, 14 oktober 2014.
- Pollitt, M. (2008). 'The arguments for and against ownership unbundling of energy transmission networks', *Energy Policy* 36, 2: p. 704-713.
- Raad voor het Landelijk Gebied, Raad voor Verkeer en Waterstaat en VROM-Raad (2011). *Briefadvies over de toekomst van het ruimtelijk beleid*, 8 juni 2011, adviesnr. 2011/02.
- Raspe, O. (2012). 'De economie van de stad in de mondiale concurrentie', *Essays Toekomst van de Stad*: p. 20-24.
- Réseau de transport d'électricité (RTE) (2014). *French Capacity Market - Report accompanying the draft rules*, France.
- Richardson, B.C. (2005). 'Sustainable transport: analysis frameworks', *Journal of Transport Geography* 13, 1: p. 29-39.
- Richstein, J.C., Chappin, E.J.L., en Vries, L.J. de (2014). 'Cross-border electricity market effects due to price caps in an emission trading system: An agent-based approach', *Energy Policy* 71: p. 139-158.
- Richstein, J.C., Chappin, E.J.L., en Vries, L.J. de (2015). 'Adjusting the CO₂ cap to subsidized RES generation: Can CO₂ prices be decoupled from renewable policy?', *Applied Energy* 156: p. 693-702
- Rifkin, J. (2002). *The Hydrogen Economy: The Creation of the Worldwide Energy Web and the Redistribution of Power on Earth*. Los Angeles: Tarcher/Penguin.
- Rifkin, J. (2011). *The third industrial revolution: how lateral power is transforming energy, the economy, and the world*. New York: Palgrave MacMillan.

- Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO) (2011). *Proeftuinen Intelligente Netten*, Utrecht: Agentschap NL - Ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie.
- Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO) (2013). *Factsheets 2013 - Proeftuinen Intelligente Netten*, beschikbaar op: <http://www.rvo.nl/subsidies-regelingen/factsheets-2013>.
- Rijksoverheid (2010). Derde Structuurschema Elektriciteitsvoorziening Planologische kernbeslissing. Kamerstuk 25-02-2010
- Rijksoverheid (2013). *Klimaatagenda: weerbaar, welvarend en groen*. Den Haag: Ministerie van Infrastructuur en Milieu.
- Rijksoverheid (2014). *Structuurvisie Windenergie op land*. Den Haag: Ministerie van Infrastructuur en Milieu & Ministerie van Economische Zaken.
- Rocky Mountain Institute (RMI) (2014). *The Economics of Grid Defection – when and where distributed solar generation plus storage competes with traditional utility service*. Boulder.
- Romijn, G., en Renes G. (2013). *Algemene leidraad voor maatschappelijke kosten-batenanalyse*. Den Haag: Centraal Planbureau/Planbureau voor de Leefomgeving.
- Sanne, C. (2002). 'Willing consumers - or locked-in? Policies for a sustainable consumption', *Ecological Economics* 42, 1-2: p. 273-287.
- Schepers B.L., Naber, N.R., Rooijers, F., en Leguijt, C. (2015). *Op weg naar een klimaatneutrale gebouwde omgeving 2050*, CE Delft, Delft.
- Segers, R. (2014). *Rendementen en CO₂-emissie van elektriciteitsproductie in Nederland, update 2012*, CBS Webartikel 2014, beschikbaar op: <http://www.cbs.nl/NR/rdonlyres/7AC2E304-E006-4C93-AB7C-3965AFE534DF/0/2014rendementco2emissieselektriciteit2012.pdf>.
- Servén, L., en Calderón, C. (2004). *The Effects of Infrastructure Development on Growth and Income Distribution – Policy Research Working Papers*, The World Bank Group.
- Shove, E. (2003). *Comfort, Cleanliness and Convenience: The Social Organization of Normality*. London: Bloomsbury Academic.
- Shove, E. (2010). 'Beyond the ABC: climate change policy and theories of social change', *Environment and Planning A* 42, 6: p. 1273-1285.
- Shove, E., Pantzar, M., en Watson, M. (2012). *The Dynamics of Social Practice: Everyday Life and how it Changes*. London: SAGE Publications.
- Singapore Government (2015). beschikbaar op: <http://www.pub.gov.sg/Pages/default.aspx>, (geraadpleegd op 21 juni 2015).
- Sociaal-Economische Raad (SER) (1987). *Advies economische infrastructuur*. Den Haag.
- Sociaal-Economische Raad (SER) (2013). *Energieakkoord voor duurzame groei*. Den Haag.
- Sorrell, S. (2009). 'Jevons' Paradox revisited: The evidence for backfire from improved energy efficiency', *Energy Policy* 37, 4: p. 1456-1469.
- Sorrell, S., en Dimitropoulos, J. (2008). 'The rebound effect: Microeconomic definitions, limitations and extensions', *Ecological Economics* 65, 3: p. 636-649.

- Spaargaren, G. (2011). 'Theories of practices: Agency, technology, and culture: Exploring the relevance of practice theories for the governance of sustainable consumption practices in the new world-order', *Global Environmental Change* 21, 3: p. 813-822.
- Steg, L., en Vlek, C. (2009). 'Encouraging pro-environmental behaviour: An integrative review and research agenda', *Journal of Environmental Psychology* 29, 3: p. 309-317.
- Stout, H., en Jong, M. de (2005). *Over spreektelegraaf en beeldtelefoon - De rol van de overheid bij technologische transitie in infrastructuur gebonden sectoren*. Amsterdam: Boom-Lemma.
- Taebi, B., Correljé, A.F., Cuppen, E., Dignum, M., en Pesch, U. (2014). 'Responsible innovation as an endorsement of public values: the need for interdisciplinary research', *Journal of Responsible Innovation* 1, 1: p. 118-124.
- Thissen, M., Coevering, P. van de, en Hilbers, H. (2007). 'Economische agglomeratievorming: baten van weginfrastructuur met RAEM', *Tijdschrift voor algemeen economische en social-economische vraagstukken* 4, 1: p. 31-56.
- Turkenburg, W. (2013). 'Nederland is echt geen sukkeltje in schone energie', *NRC Handelsblad*, 19 augustus 2013.
- UK Government / Department of Energy and Climate Change (2011). *Planning our electric future: a White Paper for secure, affordable and low carbon electricity*. London.
- UK Government / HM Treasury (2014) *National Infrastructure Plan 2014*. London.
- Ummels, B.C. (2009). *Power System Operation with Large-Scale Wind Power in Liberalised Environments*. Delft: Technische Universiteit Delft.
- United Nations Environment Programme (UNEP) (2015). *Climate commitments of subnational actors and business: A quantitative assessment of their emission reduction impact*. Nairobi.
- Valk, A.J.J. van der (1989). *Amsterdam in aanleg: planvorming en dagelijks handelen 1850-1900*. Amsterdam: Universiteit van Amsterdam.
- Veeneman, W., Dicke, W., en Bruijine, M. de (2009). 'From clouds to hailstorms: a policy and administrative science perspective on safeguarding public values in networked infrastructures', *International Journal of Public Policy* 4, 5: p. 414-434.
- Verbong, G.P.J. (2000). 'Systemen in transitie', *Delfstoffen: energie, chemie*. Zutphen: Walburg Pers.
- Verbong, G.P.J., en Geels, F. (2007). 'The ongoing energy transition: Lessons from a socio-technical, multi-level analysis of the Dutch electricity system (1960-2004)', *Energy Policy* 35, 2: p. 1025-1037.
- Verbong, G.P.J., en Lagaij, J.A.C. (2000). 'De belofte van kernenergie', *Delfstoffen, energie, chemie*. Zutphen: Walburg Pers.
- Verzijlbergh, R.A., Vries, L.J. de, en Lukszo, Z. (2014). 'Renewable Energy Sources and Responsive Demand. Do We Need Congestion Management in the Distribution Grid?', *IEEE Transactions on Power Systems* 29, 5: p. 2119-2128.
- Vink, M., en Dewulf, A. (2015). *Zonder arena geen spel - Bestuurlijke arrangementen als speelveld voor het omgaan met frameverschillen: illustraties uit het klimaatadaptatiebeleid*. Den Haag: Wetenschappelijke Raad voor het Regeringsbeleid.

- Visser, M. (2013). *Energie-infrastructuur: enabler of showstopper van de energietransitie?* Groningen: Hanzehogeschool Groningen - Kenniscentrum Energie.
- Vlek, C. (2000). 'Essential Psychology for Environmental Policy Making', *International Journal of Psychology* 35, 2: p. 153-167.
- Vliet, B. van, Shove, E., en Chappells, H. (2005). *Infrastructures of Consumption: Environmental Innovation in the Utility Industries*. London: Earthscan.
- Wee, B. van, Annema, J.A., en Banister, D. (2013). *The Transport System and Transport Policy: An Introduction*. Camberley: Edward Elgar Publishing Ltd.
- Werner, P. (2014). 'The Rebound Effect of Information and Communication Technologies Development in the European Union', *Applied Spatial Analysis and Policy*, p. 1-15.
- Wetenschappelijke Raad voor het Regeringsbeleid (WRR) (2008). *Infrastructures: time to invest*. Amsterdam: Amsterdam University Press.
- Wetenschappelijke Raad voor het Regeringsbeleid (WRR) (2011). *Evenwichtskunst*. Den Haag: SDU.
- World Bank, The (2015). *Global Infrastructure Facility*, beschikbaar op: <http://www.worldbank.org/en/programs/global-Infrastructure-facility#1> (geraadpleegd op 8 oktober 2014).
- World Economic Forum (WEF) (2014). *The Global Competitiveness Report 2014-2015*. Geneva.
- World Nuclear Association (2015). beschikbaar op: <http://www.world-nuclear.org/> (geraadpleegd op maart 2015).
- World Wind Energy Association (2015). beschikbaar op: <http://www.wwindea.org/>.
- Woud, A. van der (1998). *Het lege land. De ruimtelijke orde van Nederland 1798-1848*. Amsterdam: Uitgeverij Contact.
- Woud, A. van der (2006). *Een nieuwe wereld. Het ontstaan van het moderne Nederland*. Amsterdam: Uitgeverij Prometheus.
- Woud, A. van der (2010). *Koninkrijk vol sloppen. Achterbuurten en vuil in de negentiende eeuw*. Amsterdam: Uitgeverij Prometheus.
- Zanden, J.L. van (1997). *Een klein land in de 20^e eeuw*. Utrecht: Het Spectrum.
- Zanden, J.L. van, en Verstegen, S.W. (1993). *Groene geschiedenis van Nederland*. Utrecht: Het Spectrum.