

Scenario's voor netto-nul emissies: lessen uit omringende landen

Pieter Boot

*Achtergrondstudie Expertteam Energiesysteem 2050
November 2022*



Summary

The Dutch minister of Economic Affairs and Climate has asked the Expert Council Energy System to draft an outline of a feasible Dutch energy system in 2050. Aim of this study is to provide lessons from scenario studies of energy systems in neighbouring countries. I focus on the three larger countries – the United Kingdom, Germany and France – and countries with relative ambitious climate targets – Sweden, Denmark, Norway and Finland.

The study has five parts. Firstly, I provide an overview of legal targets and ambitions in the context of actual greenhouse gas emissions reduction by 2020; this part also sketches the policy philosophy in the different countries. A focus on the scenarios follows: relatively detailed for the UK and Germany and shorter for the other countries. To deal with the impact of the recent high energy prices and the European response to the Russian aggression in the Ukraine, a very recent net-zero study is studied as well in this second part. This gives an overview of the challenges relevant for the Netherlands as well, the differences and similarities. The third paragraph deals with recent energy and climate policies in the mentioned countries. Paragraph four looks at lessons from scenarios and policy for the Netherlands, also because the Dutch situation differs in some respects from the other countries. The study ends with ten conclusions.

Firstly, all investigated countries have legally binding ambitious targets, although with some differences. The UK, Germany and Finland go further; France has the least ambitious interim target, which will make it more difficult to attain the 2050 net-zero target. If the 2030 interim target will not be met, indications are strong that the 2050 target will be extremely difficult to achieve.

Second, the Netherlands is in several respects in a relatively difficult position. The GHG emission reduction in 2020 relative to 1990 was with 25.5% the least. Netherlands has a relative important energy intensive industry and large international bunkers. The Netherlands and Denmark have net emissions due to land use. As long as this remains the case, the carbon absorption of land use (such as forests) cannot be used to compensate for remaining emissions to attain net-zero. The UK has included international transport in its emission target and strong arguments exist to follow this example, but due to its specific situation the Netherlands has to investigate carefully the consequences of this eventual inclusion before deciding.

Third, scenario studies stress either technology change or change in behaviour of people and companies. Although the differences are not absolute, they are substantial and both types of change are necessary to attain the goals. Change in behaviour in the studies is cheaper, results in less remaining imports and may be attained quicker. But behavioral change does not fall out of the blue air and needs balanced policies – as much as changes in new technologies.

Fourth, almost all studies envisage a decrease in energy demand. It will need targets and policy implementation to attain this decrease.

Fifth, the studies looked at do not study the structure of the economy in-depth. The scenarios with change in behaviour use rather general notions of the relation between this change and the economy.

Sixth, the scenarios envisage a reduction in energy imports, but large differences in the remaining net imports may be observed. These net imports result in new dependencies, but also opportunities.

Seventh, a robust part of the scenarios is an absolute increase in power generation and demand. Generally, this is envisaged to be 1.5 to 2.5 the actual figures and will be generated largely by renewables. Partly, this increased demand is by direct electricity consumption, but for the other part by indirect use to produce green hydrogen or synthetic fuels. The increased power generation needs timely grid extension and decisions on the future of nuclear energy – the latter especially in France.

Eighth, national scenarios need an international component. This is mainly related to interconnection of the power grid, but therewith to the organisation of flexibility in power generation and demand, which implies consideration of the market design.

Ninth, all scenarios envisage remaining emissions. To some extent these are inevitable (process emissions in industry, methane by cows), but they may be influenced by strong policies.

Finally, countries and studies differ in the use and importance of biomass. This is a significant issue to look at in the Netherlands as well.

Samenvatting

Ten behoeve van het formuleren van netto-nul scenario's in 2050 in Nederland en de daarbij behorende opgaven voor het energiesysteem is het nuttig een blik te werpen op het werk wat in omliggende landen is gedaan. Ik richt me daarbij op de drie grote landen – het Verenigd Koninkrijk (VK), Duitsland en Frankrijk – en de landen die over klimaat relatief ambitieuze doelen hebben geformuleerd – Zweden, Denemarken, Noorwegen en Finland.

Deze notitie bestaat uit vijf delen. Eerst breng ik de wettelijk vastgelegde ambities van de landen en afname van emissies tot en met 2020 in kaart; hier komt ook de beleidsfilosofie in de bestudeerde landen aan bod. Dan behandel ik de scenario's: relatief uitgebreid voor het VK en Duitsland en iets korter voor de andere landen. De bestudeerde scenario's zijn opgesteld voor de inval van Rusland in de Oekraïne. Om de gevolgen hiervan en van het recente Europese beleid als reactie hierop te bezien is ook een zeer recente studie doorgenomen die de gevolgen daarvan voor heel Europa weergeeft. Deze geven een beeld van de uitdagingen waarvoor de scenario's ook Nederland plaatsen, hun verschillen en gemeenschappelijkheden. In de derde paragraaf ga ik kort in op het recente energie- en klimaatbeleid van de genoemde landen. Paragraaf vier behandelt de lessen uit scenario's en beleid voor Nederland, mede omdat onze situatie in enkele opzichten verschilt. Dan volgen 10 conclusies.

1. Alle bestudeerde landen hebben ambitieuze einddoelen, zij het met enige verschillen. Het VK, Duitsland en Finland gaan verder, Frankrijk heeft het minst ambitieuze tussendoel, wat het moeilijker zal maken in 2050 netto-nul te realiseren. Er zijn sterke indicaties dat als het 2030 tussendoel niet wordt gehaald het zeer moeilijk zal zijn het einddoel te realiseren.
2. Nederland verkeert daarbij op enkele punten in een relatief lastige positie. De emissiereductie ten opzichte van 1990 was er in 2020 met 25,5% het minst. Nederland kent een relatief omvangrijke energie-intensieve industrie en relatief omvangrijke internationale bunkers. Nederland en Denemarken hebben netto-emissies door landgebruik. De koolstofopname van landgebruik kan dus niet aangewend worden om netto-nul te bereiken. Het zou inhoudelijk nuttig zijn het internationale transport aan de doelstelling toe te voegen, maar daarvoor moet wel een goede analyse gemaakt worden of dat wel reëel mogelijk is.
3. Hoewel er geen absolute tegenstelling is tussen technologische en gedragsmaatregelen om emissiereductie te realiseren, maakt een nadruk op de een of ander veel uit. Beide zijn nodig. Gedragsmaatregelen zijn goedkoper, kunnen vaak eerder tot stand komen en kunnen de netto-import meer beperken. Maar ze vallen niet uit de lucht en zullen net zoals technologie om doeltreffend beleid vragen.
4. Alle nul-emissiescenario's voorzien afname van de energievraag. Het is van belang daar een doelcijfer voor te stellen en beleid te formuleren dat daadwerkelijk te halen.
5. De scenario's in de bestudeerde landen besteden weinig aandacht aan de structuur van de economie. Ook de gedragsscenario's formuleren vooral algemene maatschappelijke beelden.

6. De in de te maken scenario's te maken keuzes leiden ook tot meer of minder resterende import
7. van energie/energiedragers en de resterende verschillen impliceren nieuwe afhankelijkheden maar ook mogelijkheden.
8. Dit hangt ook samen met de toename van de elektriciteitsproductie. Deze wordt in 2045/2050 op doorgaans 1,5 tot 2,5 de omvang van de huidige gesteld. Grotendeels gaat het hier om elektriciteit direct voor de afnemers, maar er wordt ook groene waterstof en synthetische brandstoffen van gemaakt. De toename van de elektriciteitsproductie vraagt om tijdige antwoorden over de verzwaring en uitbreiding van netten en de vraag of kernenergie gewenst is of niet; dat laatste is vooral in Frankrijk een issue.
9. Deze vragen hebben ook een internationale component, die zowel betrekking heeft op de noodzakelijke extra interconnectie en daarmee de organisatie van andere vormen van flexibiliteit en de vormgeving van de elektriciteitsmarkt.
10. Alle scenario's voorzien restemissies. Deze lijken onvermijdelijk (zoals procesemissies in de cementindustrie, methaanemissies van koeien), maar zijn niet onbeïnvloedbaar.
11. Ten slotte is daarbij van belang welke visie de landen hebben op het gebruik van biomassa. De scenario's laten hier geheel verschillende beelden zien.



Inhoudsopgave

Summary	2
Samenvatting	4
Inhoudsopgave	6
Inleiding	7
Wettelijk vastgelegde doelen en broeikasgasemissies 1990-2020	7
Scenario's in omringende landen	13
Recente beleidsontwikkeling	33
Vergelijking, overwegingen en betekenis voor Nederland	38
Conclusies	41
Geraadpleegde literatuur	44
Noten	46
Tabellen	
Tabel 1. Broeikasgasemissies 1990-2050	8
Tabel 2. Finaal energieverbruik 2020	9
Tabel 3. Elektriciteitsproductie 2020	10
Tabel 4. Hoofdcijfers scenario's Bundesnetzagentur	16
Tabel 5. Broeikasgasemissies Duitsland DENA studie	17
Tabel 6. Finale energievraag in DENA studie	18
Tabel 7. Primaire energievraag in DENA studie	18
Tabel 8. Enkele kerncijfers uit ADEME scenario's	23
Tekstboxen	
Tekstbox 1. Energievoorziening in bestudeerde landen	9
Tekstbox 2. Beleidsfilosofie in bestudeerde landen	11
Tekstbox 3. Onzekerheid in Duitse scenario's	15
Tekstbox 4. Het Finse beleid ter uitvoering van de netto-nulscenario's	29
Tekstbox 5. Twee recente nulmissie scenario's voor Europa	30
Tekstbox 6. Aardgasvraag in scenario's en na recente beleidsontwikkeling	33

Inleiding

De minister van Economische Zaken en Klimaat heeft het Expertteam Energiesysteem 2050 gevraagd een analyse te maken van het toekomstige energiesysteem en de routes daarheenⁱ. Ten behoeve van het formuleren van een of meer netto-nul scenario's in 2050 in Nederland en de daarbij behorende opgaven voor het energiesysteem is het nuttig een blik te werpen op het werk wat hiervoor al in omringende landen is gedaan. Ik richt me daarbij op de drie grote landen – het Verenigd Koninkrijk (VK), Duitsland en Frankrijk – en de landen die over klimaat relatief ambitieuze doelen hebben geformuleerd en daarin ook al wat verder zijn voortgeschreden dan wij – Zweden, Denemarken, Noorwegen en Finland. België wordt niet meegenomen omdat mij hier geen op de lange termijn gericht beleid bekend isⁱⁱ.

Deze notitie bestaat uit vijf delen. Eerst breng ik de wettelijk vastgelegde ambities van de landen, afname van emissies tot en met 2020 in kaart en geef een kort overzicht van de huidige energiesituatie en beleidsfilosofie, om een kader te hebben waarbinnen de scenario's geplaatst kunnen worden. Dan behandel ik de scenario's: relatief uitgebreid voor het VK en Duitsland, omdat hier recent verschenen vergelijkende scenariostudies voor bestaan, en iets korter voor de andere landen, waarvan ik alleen over individuele scenario's beschik. Omdat de scenario's opgesteld zijn voordat Rusland de Oekraïne binnenviel en de Europese Unie daarop haar energiebeleid aanscherpte, behandel ik ook een zeer recent scenario waarin het nul emissiebeleid voor heel Europa wordt bestudeerd. Bij elkaar geeft dat een helder beeld van de uitdagingen waarvoor de scenario's ook Nederland plaatsen, hun verschillen en gemeenschappelijkheden. In de derde paragraaf ga ik kort in op het recente energie- en klimaatbeleid van de genoemde landen, omdat ook hieruit lessen getrokken kunnen worden. Omdat sinds de inval van Rusland in de Oekraïne de voorzieningszekerheid en gewenste vermindering van afhankelijkheid van Russisch gas centraal in de beleidsaandacht is komen te staan behandel ik hier ook de vraag in welke mate realisatie van verschillende scenario's deze afhankelijkheid zou kunnen verminderen. Paragraaf vier behandelt de lessen uit scenario's en beleid voor Nederland, mede omdat onze situatie in enkele opzichten verschilt. Dan volgen conclusies.

1. Wettelijk vastgelegde doelen en broeikasgasemissies 1990-2020

Alle genoemde landen hebben in klimaatwetten vastgelegde doelen. Voor de EU-lidstaten geldt als minimum het in 2021 vastgelegde doel om in 2050 netto-nulemissies te hebben - wat nog niet altijd in een nationaal aangepaste wet is vertaald - maar de meeste landen hebben eigen doelen die soms ambitieuzer zijn ⁱⁱⁱ. Daarbij zijn het VK en Noorwegen niet aan het EU doel gebonden.

Het VK was het eerste Europese land met een wettelijk vastgelegd klimaatdoel. Na een aanscherping hiervan beoogt het met zijn aangepaste klimaatwet om in 2050 netto-nulemissies te realiseren, incl. internationale sloop- en luchtvaart. Tussenschappen worden gevormd door koolstofbudgetten, die steeds voor vijf jaar zijn geformuleerd (om minder afhankelijk te zijn van toevalligheden in een enkel doeljaar). Het zesde koolstofbudget mikt op 78% emissiereductie ten opzichte van 1990 in de vijf jaar rond 2035 (wat doorgaans gelijkgesteld wordt aan 2035). Duitsland heeft zich ten doel gesteld om in 2045 netto-nulemissies te hebben (excl. internationaal vervoer). Het tussendoel is -65% ten opzichte van 1990. Frankrijk is minder ambitieus. Voor 2050 geldt hier het EU doel van netto-nul, met een tussendoel van -40% reductie van emissies ten opzichte van 1990 in 2030. Sommige Scandinavische landen gaan ook verder dan de EU. Denemarken heeft het EU-doel voor 2050, maar wil dat bereiken via -70% ten opzichte van 1990 in 2030. Zweden heeft een doel van netto-nul in 2045 wettelijk vastgelegd, waarbij de broeikasgasemissies minimaal 85% lager moeten zijn dan in 1990. Het heeft geen alomvattende tussendoelen, maar voor 2030 en 2040 alleen een voor de sectoren buiten de Europese emissiehandel (de zogenoemde Effort Sharing Regulation sectoren, ESR) en voor het transport.

Zweden staat een zekere, afnemende, mate van 'offsets' in het buitenland toe om zijn doelen te halen. Om het tussendoel van 2020 buiten de ETS sectoren te halen was aankoop van 0,9 Mt (van de benodigde 29,6 Mt) in het buitenland nodig (SCPC 2022). Het Zweedse parlement heeft dit jaar uitgesproken dat er ook een doel voor de broeikasgasemissies van de consumptie moet komen. Finland heeft eenzelfde emissiedoel voor 2045 als Zweden, maar daarbij recent wettelijk vastgelegd dat in de jaren daarna negatieve emissies nodig zijn als bijdrage aan een rechtvaardige verdeling van de mondiale opgave. In 2030 moeten de broeikasgasemissies met 60% ten opzichte van 1990 zijn verminderd. Het gaat er daarbij vanuit dat om het doel in 2045 te bereiken een emissiereductie van minimaal 70% nodig is en de rest door meer koolstofopname bereikt kan worden. Noorwegen heeft geen netto-nuldoel, maar sinds de wijziging van de klimaatwet in 2021 een reductiedoel van 90 tot 95% in 2050 van alle broeikasgassen ten opzichte van 1990. Internationale sloop- en luchtvaart vallen daarbuiten en het doel kan ook bereikt worden met internationale *credits*, waar Noorwegen in het verleden ruimhartig gebruik van heeft gemaakt (IEA 2022, CAT 2022 Norway). In de Noorse klimaatwet is niet vastgelegd hoe de natuurlijke *sinks* meegenomen worden: in absolute zin, of de toename ervan sinds een bepaald jaar. Als niet-EU lid heeft Noorwegen enige vrijheid hierin zelfstandig te opereren, hoewel het doorgaans de EU aanpak volgt. Geen van de noordelijke landen heeft het internationaal vervoer in zijn doelen meegenomen; de Deense Klimaradet (klimaatcommissie) vindt dat Denemarken deze verantwoordelijkheid wel moet nemen (Klimaradet, 2022)^{iv}.

Ook de emissiereducties in de genoemde landen in 2020 – het laatste jaar waarvoor alomvattende vergelijkende cijfers beschikbaar zijn - verschillen sterk. Het jaar 2020 is daarbij eigenlijk wat misleidend, omdat hierin sprake is van een tijdelijke emissiereductie door minder activiteiten vanwege Covid-19. Cijfers voor alleen de energie gerelateerde CO₂-emissies in 2021 laten daarin minder emissiereductie zien dan in 2020, dus een hogere jaarlijkse opgave tot 2030 (JRC 2022). Omdat dit effect voor alle landen ongeveer hetzelfde is (in de meeste genoemde landen daalden de emissies in 2020 met ongeveer 10 procent, zij het verschillende procentpunten), maakt dat voor een vergelijking weinig uit.



Emissiereducties worden doorgaans berekend exclusief de emissies uit landgebruik. Omdat voor het behalen van het netto doel wel van belang kan zijn of het land per saldo emissies opneemt of emitteert, voeg ik de cijfers van emissies uit landgebruik voor 1990 en 2020 toe.

Tabel 1. Broeikasgasemissies 1990-2020 excl. LULUCF en emissies in 1990 en 2020 door LULUCF (+ is netto emissie, - is netto opname door landgebruik) (Mt CO₂ eq)

	BKG emissies		excl. LULUCF		LULUCF	
	1990	2020	mutatie	1990	2020	
Denemarken	71,1	41,7	- 41,3%	+ 6,5	+ 2,8	
Duitsland	1241,9	728,7	- 41,3%	+ 24,6	- 14,7	
Finland	71,2	47,8	- 32,9%	- 17,1	- 20,1	
Frankrijk	544,1	393,0	- 27,8%	- 28,1	- 18,0	
Noorwegen	51,4	49,3	- 4,3%	- 11,0	- 19,0	
Verenigd Koninkrijk	793,4	401,1	- 49,3%	+ 5,9	- 3,0	
Zweden	71,4	50,8	- 49,3%	- 38,3	- 41,5	
Nederland	220,5	164,4	- 25,5%	+ 5,7	+ 3,4	(1)
EU excl. VK	5648	3700	- 32,0%	- 229	- 249	

(1). Het gaat hier om netto emissies of opname – ook in landen met een netto opname is er sprake van emissies. Niet altijd is er in bronnen sprake van precies dezelfde cijfers voor het landgebruik.

Bron: EEA 2022; Norsk Sentralbyrå 2022; Boston Consulting Group

De sterkste reducties zijn gerealiseerd in het VK en Zweden. In het VK kwam dit vooral door sluiting van kolencentrales, in Zweden vond de reductie in meer sectoren plaats. Denemarken en Duitsland reduceerden in gelijke mate. Finland, Frankrijk en Nederland volgen, met Nederland als hekkensluiter van de genoemde EU-landen. Noorwegen is een uitzondering, waar de emissies nauwelijks daalden. Dit heeft te maken met de specifieke omstandigheden en het gevoerde beleid in dat land, waarop ik terugkom. Nog groter zijn de verschillen over landgebruik. Enkele landen kennen een grote opname van broeikasgassen door vooral bossen: Finland, Noorwegen en Frankrijk, en nog meer Zweden. Het VK was hier in 1990 een kleine emittent en kende in 2020 een kleine netto opname door landgebruik. Denemarken en Nederland zijn landen met een in de genoemde periode permanente netto emissie door landgebruik, zij het dat deze in beide landen iets afnam. Het landgebruik kan voor het realiseren van het netto-emissiedoel belangrijk zijn, als een land stelt dat de resterende emissies kleiner dienen te zijn dan de opname van emissies door landgebruik (vooral bossen). Volgens de IPCC is dit toegestaan. Een land kan ook vinden dat het meer gaat om de ontwikkeling van de landemissies. Dan moet de toename daarvan sinds een bepaald jaar groter zijn dan de resterende overige emissies. In de EU wordt momenteel nog gewerkt met een mutatiendoel over LULUCF, maar niet ondenkbaar is dat dit vervangen gaat worden door een doel waarin gestreefd wordt naar maximaal gelijke emissies door de landbouw als opname door het landgebruik.

Evident is dat Nederland in een lastiger positie verkeert dan de andere landen, omdat enerzijds de reductie ten opzichte van 1990 relatief gering was, en anderzijds sprake is van netto emissies door landgebruik. De beoogde emissiereductie in bijvoorbeeld Duitsland van -65% in 2030 vereist in 2020-2030 een mindere afname van emissies dan die in Nederland van -55%, omdat het verschil in reductie in 2020 14,8 procentpunt bedroeg. Het VK heeft 15 jaar om 30 procentpunt reductie te bereiken, Nederland moet dat in 10 jaar doen.



Voordat de scenario's onder de loep genomen worden geef ik een kort overzicht van kerncijfers van de verschillende landen, om hun startpositie bij het verder decarboniseren van het energiesysteem te begrijpen.

Tekstbox 1. Energievoorziening in bestudeerde landen

De energievoorziening van de beschouwde landen verschilt aanzienlijk. Daar valt veel over te zeggen, maar ik vat het samen in de tabellen 2 en 2. Tabel 2 vat de samenstelling van het finale energieverbruik samen. Tabel 3 gaat nader in op de samenstelling van de elektriciteitsproductie.

Tabel 2. Samenstelling finaal energieverbruik in 2020 in procenten

	EU27	DK	DE	FI	FR	NL	SE	NO	VK
Olieproducten	35	36	33	24	38	30	20	29	39
Elektriciteit	23	20	23	29	26	22	34	52	22
Aardgas	22	11	28	4	20	32	2	3	34
Hernieuwbare energie	13	13	9	26	12	11	29	10	6*
Warmte	5	19	5	16	3	5	14	3	*
Kolen	2	1	2	1	1	0	1	3	1

* Hernieuwbare energie incl. een klein aandeel warmte

Bron: Eurostat, Shedding light on energy in the EU, 2022 (EU landen en Noorwegen); Dep. for Business, Energy & Industrial Strategy, UK Energy in Brief, 2021(VK)

Het aandeel olieproducten verschilt in de bestudeerde landen niet erg veel, behalve in Zweden dat een relatief grote verplichting om biobrandstoffen in het vervoer te gebruiken kent. Zweden en vooral Noorwegen hebben een veel groter aandeel elektriciteit in hun energieverbruik dan de andere landen. Nederland en het VK gebruiken veel aardgas in het eindverbruik (waarmee dus niet het aardgas in de elektriciteitsvoorziening wordt bedoeld, die in de volgende tabel aan bod komt). Warmte door vooral stadsverwarming is omvangrijk in Denemarken, Finland en Zweden. Kolen wordt in de bestudeerde landen nauwelijks nog als directe brandstof gebruikt.

Ook de elektriciteitsproductie verschilt sterk. In tabel 3 zijn de fossiele brandstoffen kolen en gas samengenomen (olie wordt in de bestudeerde landen vrijwel niet meer als elektriciteitsbron gebruikt). Nederland springt er daarbij met een zeer groot aandeel uit, Duitsland en het VK in mindere mate. Frankrijk is de relatieve koploper in kernenergie; ook Finland en Zweden hebben daarin een groot aandeel. Denemarken voorziet al voor meer dan de helft van de elektriciteitsproductie in windenergie, geen ander land komt daarbij in de buurt. Het verschil in aandelen waterkracht bestaat al lang, waarbij Noorwegen en Zweden veel produceren. Denemarken en Finland gebruiken relatief veel biomassa in de elektriciteitsvoorziening. De cijfers voor door zon opgewekte elektriciteit zijn nog niet zo groot: Duitsland en Nederland hebben daarbij de hoogste aandelen. Duidelijk is dat de percentages waterkracht grotendeels natuurlijk zijn bepaald, maar dat de andere aandelen meer beleidsmatig zijn bepaald: vooral bij het verschil in aandelen kernenergie, windenergie en zonne-energie valt dat op waar in het laatste geval een veel zon-intensiever land als Frankrijk maar een derde van het aandeel van Nederland heeft. De tabel vermeldt kleine percentages overige brandstoffen (van 0 tot 3%) niet. In de nog te behandelen scenario's wordt voorzien dat de elektriciteitsvoorziening het snelst koolstofvrij moet zijn om nul emissies te bereiken. Nederland heeft daarbij nog de langste weg te gaan, op afstand gevolgd door Duitsland en het VK; Noorwegen en Zweden zijn er al.

Tabel 3. Aandelen in opwekking elektriciteitsproductie, 2020



	EU27	DK	DE	FI	FR	NL	SE	NO	VK
Fossiele brandstoffen	36	16	41	12	8	65	0	0	37
Kernenergie	24	0	11	34	66	4	30	0	16
Windenergie	14	57	23	12	8	13	17	8	26
Waterkracht	13	0	4	24	13	0	44	92	2
Biomassa	6	20	10	17	2	9	6	0	14
Zonne-energie	6	4	10	0	3	9	1	0	5

Bron: Eurostat, Shedding light on energy in the EU, 2022 (EU landen en Noorwegen); Dep. for Business, Energy & Industrial Strategy, UK Energy in Brief, 2021(VK)

Door de grote aandelen fossiele brandstoffen is de importafhankelijkheid van de energievoorziening in Duitsland, Nederland en het VK aanmerkelijk groter dan in de andere landen - het dubbele van die in Zweden, anderhalf maal zo groot als die in Denemarken, Finland en Frankrijk.

Verder is het zinvol kort in te gaan op de 'beleidsfilosofie' van de verschillende landen: Waar doet men het voor, wat is de kern van de aanpak? Het is belangrijk dit te behandelen voordat de scenario's onder de loep genomen worden omdat we anders niet goed begrijpen wat de overwegingen zijn die daarbij - heel verschillend - in de behandelde landen spelen.

Tekstbox 2. Beleidsfilosofie in bestudeerde landen

Het Duitse klimaatbeleid is een vervolg van de in 2022 ingezette Energiewende. De Energiewende was primair gericht op toename van hernieuwbaar opgewekte elektriciteit door ruimhartige subsidies aan burgers en energie coöperaties onder gelijktijdige buiten dienststelling van kerncentrales.

Daarmee is het Duitse beleid lange tijd vrij eenzijdig op de elektriciteitsvoorziening gericht geweest, waarbij geworsteld is met de positie van kolen in de elektriciteitsvoorziening die ten dele ook voor regionale bedrijvigheid zorgen. Pas de laatste jaren is het beleid ook in het teken van drastische vermindering van broeikasgasemissies komen te staan. Belangrijk hierbij was de uitspraak in 2021 van het Constitutionele Hof, dat vonniste dat de toenmalige klimaatwet niet ambitieus en concreet genoeg was om de vrijheid van jongere generaties te garanderen. Na deze uitspraak is deze klimaatwet aangescherpt, en nu gericht op netto-nul emissies in 2045. Belangrijke overwegingen hierbij zijn het in standhouden van een sterke industrie en niet te veel inperken van vrijheden van de bevolking, zoals het ontbreken van een maximumsnelheid op vele autowegen. Nadat de uitbreiding van hernieuwbare energie de laatste jaren wat in het slop was geraakt heeft de huidige regering dat weer met kracht ter hand genomen. Naast jaarlijkse tenders voor specifiek windenergie op land, op zee en grootschalige zon-PV is nu ook de verduurzaming van de warmtevoorziening aangepakt. De auto-industrie was aanvankelijk aarzelend over elektrificatie, maar heeft dat nu centraal gezet, wat een ambitieus transportbeleid vergemakkelijkt. Duitsland heeft altijd veel belang gehecht aan samenwerking met omringende landen, in het bijzonder Frankrijk en tracht aanbieders van duurzame waterstof te interesseren in bilaterale leveringscontracten.

Het Britse energie- en klimaatbeleid is al langer op broeikasgasemissiereductie gericht. Het land kent de eerste Klimaatwet ter wereld, die al in 2008 met grote steun van de twee belangrijkste politieke partijen is aangenomen. In 2019 werd deze op advies van de Committee on Climate Change aangescherpt tot netto-nul emissies in 2050. Deze wet heeft tot een beleidscontinuïteit bij regeringswisselingen geleid, waarbij de moeilijke emissiereducties echter nog moeten komen. Het klimaatbeleid leidde tot sterke afname van broeikasgasemissies, in het bijzonder door sluiting van kolencentrales. Verder zijn er periodieke grote tenders voor wind op zee. Mede met overheidsmiddelen is de bouw van 1 nieuwe kerncentrale ver gevorderd. Hoewel de energie-efficiency



van gebouwen relatief laag is, was de beleidsmatige aandacht hiervoor het laatste decennium gering. Dat is een van de oorzaken van een dreigende energiearmoede, die momenteel het politieke debat domineert. De zeer recent aangetreden minister-president is minder in klimaatbeleid geïnteresseerd dan haar voorganger en er is onzekerheid in welke mate de huidige regering werkelijk belang hecht aan het realiseren van netto-nul emissies.

Frankrijk wordt gekenmerkt door het grootste aandeel kernenergie van Europa in de elektriciteitsvoorziening. Omdat de kerncentrales in enkele decennia zijn gebouwd, zijn vele ervan nu aan het eind van de oorspronkelijke levensduur, wat de nationale elektriciteitsonderneming EDF boven het hoofd dreigde te groeien, waardoor ze dit jaar volledig is genationaliseerd.

De overheid heeft EDF verder opdracht gegeven een aantal nieuwe kerncentrales te bouwen. De Franse emissiereductiedoelstelling voor 2030 is relatief laag, maar desondanks nog niet in zicht.

Na de hoge temperaturen afgelopen zomer die met grote biosbranden gepaard gingen is de regering voornemens dit najaar met nieuwe beleidsvoorstellen te komen. Dat was ze ook al in 2019, wat destijds leidde tot de opstand van de 'gele hesjes'. Veel waarnemers oordelen dat het Frankrijk makkelijker valt plannen te maken dan deze uit te voeren (vgl. IEA 2021).

De Scandinavische landen hebben enkele gemeenschappelijke kenmerken: een relatief brede oriëntatie op duurzaamheid en streven naar consensusvorming in de politiek. Dat laatste loopt mede via parlementaire comités die breder zijn dan de regeringspartijen. Op deze wijze wordt gestreefd naar continuïteit in het beleid. De noordelijke landen werken in het beleid veel samen en hebben sterke interconnecties in het elektriciteitssysteem. Er zijn echter ook verschillen.

In Denemarken was de ervaring uit de oliecrises in de jaren zeventig en tachtig beslissend voor het energiebeleid. Er bestond al een lange traditie van coöperatief beleid op gemeentelijk niveau, die nu werd gebruikt om plaatselijke stadsverwarmingsnetten aan te leggen. Denemarken is trots op zijn wisselwerking tussen bottom-up initiatieven en top-down facilitering daarvan, bijvoorbeeld bij de totstandkoming van windenergie en stadsverwarming (Johansen en Werner, 2022). Daarin past dat stadsnetten niet op winst gericht mogen zijn. Toen deze stadsverwarming er eenmaal was, was het relatief eenvoudig om later over te schakelen van kolen op verwarming door afval en biomassa. Denemarken kent een sterke windenergie, die ontstond uit vele kleinschalige, door de overheid ondersteunde, initiatieven. Nadat dit tot een omvangrijk aanbod van windenergie op land had geleid oriënteerde de zo ontstane industrie zich op zee. Dat leidde vervolgens tot grotere windparken, die nu gekoppeld worden aan kunstmatige waterstofeilanden. Denemarken kent ambitieuze emissiereductiedoelstellingen en de mate waarin deze worden gerealiseerd wordt jaarlijks onafhankelijk gevolgd. De moeilijkste reductiesectoren zijn het transport en de landbouw, waar het beleid zich nu relatief sterk op richt.

De aanpak in Zweden is enigszins vergelijkbaar, met als verschillen dat Zweden een grotere energie-intensieve industrie kent, dat er ook waterkracht en kernenergie is, en dat er veel bos en daarmee houtindustrie is. Dat laatste leidt tot netto emissie opname door landgebruik, wat het makkelijker maakt om netto-nul emissie te realiseren dan in de eerdergenoemde landen. De gebouwde omgeving heeft er al vrijwel nul emissies, mede door stadsverwarming en een al lang bestaande maar steeds hogere koolstofbelasting. Ook in Zweden is het transportbeleid nu relatief moeilijk te decarboniseren. Het beleid is meer top-down dan het Deense. Omdat de enige grote partij die zich niet bij de parlementaire consensus wilde aansluiten nu belangrijkste gedoger van een nieuw te vormen kabinet is, is er onzekerheid over de richting van dat nieuwe kabinet.



Het Finse beleid lijkt hier wel wat op, maar heeft het klimaatdoel nog scherper gesteld: in 2035 wil men netto nul zijn en daarna negatieve emissies realiseren. Ook dit land wordt daarbij geholpen door een omvangrijke netto opname van emissies door het landgebruik: in 2040 kunnen deze negatieve emissies gepaard gaan met 80 procent emissiereductie. Evenals Zweden kent Finland een belangrijke zware industrie. Ook Finland wordt gekenmerkt door een breed streven naar consensus, niet alleen politiek, maar ook met het bedrijfsleven en maatschappelijke organisaties. Anders dan Zweden zet de huidige regering sterk in op klimaatbeleid en benadrukt dat dit op rechtvaardige wijze uitgevoerd moet worden.

Noorwegen heeft weliswaar een vergelijkbare bestuurlijke traditie, maar een andere energiesituatie. Het is een grote producent en exporteur van olie en gas. Anders dan in Nederland was het gas vanaf het begin vrijwel alleen voor de export bestemd en werden de opbrengsten opzijgelegd in een staatsfonds, ter latere besteding. Het aandeel elektriciteit in de totale energievraag is al relatief groot; de elektriciteitsvoorziening wordt gedomineerd door waterkracht en ook hierin is van netto export sprake. Als in de andere Scandinavische landen is de transportsector het moeilijkst te decarboniseren, reden waarom zwaar op elektrificatie daarvan wordt ingezet. Om de olie- en gaswinning te verduurzamen wordt sterk ingezet op afvang en opslag van koolstof, waarin men de grootste gerealiseerde projecten van Europa heeft.

2. Scenario's in omliggende landen

Voor Duitsland en het VK zijn recent studies verschenen waarin een representatief aantal scenario's wordt vergeleken waarin het in de klimaatwetten vastgelegde doel wordt gerealiseerd. Voor de andere landen zijn een of meer aparte scenariostudies bekend. Ik begin daarom met de twee landen waarvoor overzichten bekend zijn. Daarna behandel ik apart Frankrijk en vervolgens de noordelijke landen gezamenlijk.

a. Duitsland

Voor Duitsland heb ik vier studies geanalyseerd. Wiese et al (2022) verscheen in een peer-reviewed tijdschrift en bestudeerde studies die na 2018 verschenen en waarin de broeikasgasemissies in 2050 met minimaal 95% zijn afgenomen^v. De Bundesnetzagentur (BNA, 2022) stelde de formele kaders voor netontwikkeling in Duitsland vast op basis van een analyse van scenariostudies die voldeden aan de eisen van de Klimaatwet. Naegler et al (2021) verscheen ook in een peer reviewed tijdschrift en vergeleek studies waarin 90% emissiereductie in 2050 centraal stond. Voor Duitsland is dat dus eigenlijk achterhaald, maar ik zie of deze analyse nog aanvullende conclusies heeft kunnen trekken. Ten slotte analyseer ik de zeer uitgebreide scenariostudie van DENA (2021), omdat de aanpak hiervan goed te vergelijken is met een soortgelijke studie voor Frankrijk en er ook een artikel is verschenen waarin deze twee studies zijn vergeleken. In Duitsland verschijnen ook al studies waarin niet het doelbereik in een bepaald jaar, maar het resterende koolstofbudget passend bij een temperatuurstijging van 1,5 graad centraal staat (vgl. Simon e.a.). DENA heeft dit koolstofbudget in een bijlage ook gezien en hun conclusies zijn dezelfde: in het koolstofbudget is het nog belangrijker voor 2030 veel te reduceren, en de emissies uit kolenstook moeten dan snel dalen, wat elektrificatie snel aantrekkelijk maakt. In een boxtekst ga ik in op een studie waarin het belang van verschillende onzekerheden wordt nagegaan.

De studie van Wiese geeft het meest recente overzicht en gebruik ik als kader^{vi}. De BNA studie geeft de kaders voor het daadwerkelijke beleid en zie ik vervolgens wat diepgaander. DENA bekijk ik ter vergelijking. Naegler behandel ik alleen waar deze aanvullende inzichten geeft.



Wiese constateert dat de Duitse scenariostudies wat betreft veronderstellingen over economie en bevolking in twee groepen uiteenvallen. De studies die zwaar inzetten op gedragsverandering kennen doorgaans een wat lagere economische en bevolkingsgroei. De studies waarin technologieontwikkeling het belangrijkste is kennen een wat hogere economische groei (ordegroot 1,2% per jaar, tegen 0,8% in de gedragsstudies). De nettokosten zijn in de gedragsscenario's vaak fors lager, omdat dan sneller goedkope opties worden aangesproken (de energiebesparing die geld zou opleveren maar door andere factoren niet plaatsvindt). Ook de benodigde import – en veelal emissies in andere landen – is bij gedragsscenario's lager (Fraunhofer 2020).

De meeste scenario's stellen vooraf grenzen aan de import van duurzame biomassa. Landbouw wordt doorgaans het minst diepgaand bestudeerd (omdat de meeste emissies daar los staan van het energiesysteem). Internationale lucht- en scheepvaart zijn doorgaans niet meegenomen, want vallen buiten de Duitse klimaatwet (de genoemde cijfers over luchtvaartbrandstoffen hebben dan betrekking op binnenlandse luchtvaart). De bestudeerde scenario's verdiepen zich niet in de structuur van de economie, die wordt als gegeven beschouwd.

Uitkomst van de scenariostudies is dat de finale energievraag ten opzichte van 2018 in 2050 met 21 tot 58% is gedaald, het meest in de studies waarin gedragsverandering centraal staat. Voor de primaire energievraag is dat meer (33 tot 68%), omdat door elektrificatie de efficiency van het verbruik stijgt.

De energieproductie kent uiteraard grote bandbreedtes in de scenario's, maar als we naar de gemiddelden kijken is deze het grootst voor wind op land (300 TWh, met range van 200 tot 540), zon-PV (300 TWh met een range van 110 tot 670), biomassa (300 TWh met een range van 50 tot 700), wind op zee (250 met een kleinere range van 110 tot 360 TWh), overige hernieuwbare energie zoals warmtepompen (200 met een range van 0 tot 300) en resterende fossiele brandstoffen (250 met een range van 0 tot 500). Doorgaans gaan de scenario's ook uit van enige elektriciteitsimport (tot 100 TWh). Duitse studies veronderstellen dat veel schone energie wordt geïmporteerd. De voor import van synthetische brandstoffen en gassen benodigde schone elektriciteit in het buitenland is doorgaans zeer omvangrijk (gemiddeld 750 TWh, met een bandbreedte van 100 tot 1800). De Duitse scenario's kiezen er doorgaans dus voor in het binnenland te bouwen op een ruwweg gelijke mate van wind op land, wind op zee en zon-PV en iets minder uit warmtepompen en waterkracht, flink wat biomassa te gebruiken voor verwarming en grondstoffen in de chemie (*feedstocks*) en veel synthetische brandstoffen en gassen te importeren omdat men denkt dat de omvang van hernieuwbaar te produceren elektriciteit in Duitsland het niet toestaat dit allemaal in Duitsland te maken. Die import komt dan zowel van binnen als buiten de EU.

Of de internationale bunkers nu al of niet worden meegenomen is voor Duitsland niet zo heel belangrijk. In 2018 bedroeg hun omvang ongeveer 4% van het primair energieverbruik, wat in de kerntabel van de Agorastudie stijgt tot 6% van het veel lagere verbruik in 2045 (Agora 2021).

De scenariostudies verschillen in een aantal opzichten. Over biomassa zijn er drie opties. Men kiest ervoor deze primair in te zetten voor materialen en dus minder te gebruiken dan nu; of de vraag ruwweg gelijk te laten, wat ook ruimte geeft voor toepassing in energie. Een derde optie is om de vraag naar biomassa uit te breiden, wat nodig is als er een beperking wordt gesteld aan de buitenlandse vraag naar synthetische brandstoffen en gassen – dan verdubbelt de biomassavraag. Het gebruik van biomassa in de scenariostudies hangt weinig samen met de geraamde omvang van de fossiele energievraag.

Als de geraamde energievraag hoog is resulteert dit doorgaans in een hoge vraag naar synthetische brandstoffen en gassen. In een aantal scenario's is de daarvoor benodigde hernieuwbare elektriciteit



elders groter dan wat Duitsland zelf kan leveren. De bandbreedte van import hiervan is van 408 tot 1274 TWh, bij een totale finale energievraag van 1000 tot 2250 TWh en te vergelijken met een huidige import van (fossiele) energie van 3383 TWh (2018). Ook als er veel synthetische energie wordt geïmporteerd is de import altijd dus veel minder dan nu. In de studies komt deze deels van binnen en deels van buiten de EU. Wel vraagt Wiese et al zich af of deze import wel betrouwbaar te regelen is. Hoe onzekerder dat is, des te noodzakelijker is vermindering van de energievraag.

In de bestudeerde scenario's daalt de finale energievraag het snelst in het transport (met gemiddeld 49%, door elektrificatie en andersoortig vervoer als fietsen, openbaar vervoer en autodelen), vervolgens in de gebouwde omgeving (gemiddeld 38%) en de industrie (28%). Waar niet van gedragsverandering wordt uitgegaan daalt deze het minst. Soms is de keuze voor weinig gedragsverandering zeer bewust, bijvoorbeeld als wordt verondersteld dat gezinsverdunding blijft doorgaan en mensen in steeds grotere huizen willen wonen.

Alle Duitse scenariostudies hebben in enige omvang niet te vermijden emissies. Deze komt deels uit procesemissies in de industrie, deels uit landbouw (vee, van kunstmest en mest) en een kleiner deel van afval. De meest gebruikte oplossingen hiervoor zijn om de natuurlijke opname van koolstof te vergroten (bossen, minder emissie uit veen) en aanvullend CCS met biomassa (BECCS). De meeste studies gaan, als gezegd, niet diepgaand op de landbouw in.

De studie van Naegler vergeleek ook oudere scenario's, met minder vergaande doelen. De cijfers van deze studie zijn daarom minder relevant. Maar zijn algemene conclusies zijn daarentegen nog steeds geldig: er is veel verschil in de bestudeerde scenariostudies over de verhoudingen van warmtepompen, stadsverwarming (overigens vaak ook gevoed door grootschalige warmtepompen) en synthetische gassen; voor de industrie is de hoofdvraag welke verhouding van directe elektrificatie en synthetische brandstoffen en gassen wordt berekend; deze twee keuzes beïnvloeden in grote mate hoeveel er per saldo en wat wordt geïmporteerd; er zijn cruciale keuzes te maken inzake de bio-energie en het landgebruik.

Tekstbox 3. Onzekerheid in Duitse scenario's

Onderzoekers werken met scenario's om de onzekerheid van toekomstige ontwikkelingen weer te geven. Daarom zijn er verschillende scenario's. Het is echter ook mogelijk om een specifieke gevoeligheidsanalyse te maken, die inzoomt op welke parameters de grootste onzekerheid in de uitkomst veroorzaken. Als voorbeeld van zo'n analyse geef ik een Duitse studie weer (Loffler et al 2022). In deze studie worden 1590 gevoeligheden berekend van 11 cruciale parameters. Conclusie is dat de energievraag het meest bepalend is voor de uitkomst. De ontwikkeling van de energievraag en de CO₂-prijs (als proxy voor intensiteit van beleid) zijn het meest bepalend voor het al of niet bereiken van het broeikasgasdoel. Bij de CO₂-prijs heeft de onzekerheid echter vooral betrekking op de snelheid waarmee het doel bereikt wordt. Andere parameters als kosten van hernieuwbaar opgewekte elektriciteit of van waterstof zijn ook belangrijk, maar bepalen de uitkomst in mindere mate. Van de sectoren is de ontwikkeling in de industrie het meest onzeker omdat deze moeilijker dan het transport en de gebouwde omgeving te elektrificeren is. Grootschalige investeringen in hernieuwbaar opgewekte elektriciteit en opslag zijn het minst onzeker voor het doelbereik en worden door de auteurs daarmee als *no regret* bestempeld.

De studie van de BNA is zeer recent verschenen en staat dicht bij het overheidsbeleid omdat de netbedrijven verplicht van de door de BNA gestelde kaders moeten uitgaan. Per scenario is ook in beeld gebracht hoe het zich verhoudt tot de grote algemene scenariostudies. BNA werkt met drie



overkoepelende beelden waarin de geanalyseerde scenario's passen. Beeld A gaat uit van een hoge mate van geïmporteerde waterstof. Veronderstelling in vrijwel alle Duitse studies is immers dat er te weinig hernieuwbare elektriciteit opgewekt kan worden om alle benodigde waterstof en synthetische brandstoffen zelf te produceren. Beeld B zet sterker in op directie elektrificatie en heeft daarom minder import nodig. Beeld C is hierin hetzelfde als B, maar is minder optimistisch over de mogelijke energiebesparing.

Tabel 4 geeft enkele kenmerkende cijfers. Omdat BNA primair op elektriciteit is georiënteerd behandel ik dit aspect wat diepgaander. In alle scenario's neemt de elektriciteitsvraag sterk toe.

Tabel 4. Hoofdcijfers scenario's A – C van de Bundesnetzagentur

	2020	2037A	2037B	2037C	2045A	2045B	2045C
Bruto stroomvraag (TWh)	533	899	961	1053	1079	1106	1303
Wv industrie		268	334	352	311	383	469
Wv geb. omgeving		347	347	401	330	330	415
Wv verkeer		93	131	141	141	119	173
Wv elektrolyse		120	78	84	240	150	165
Bruto stroomproductie		899	961	1053	1079	1106	1303
Wv wind op land		374	374	382	394	394	443
Wv wind op zee		167	194	194	230	230	230
Wv zon-PV		323	323	323	374	374	416
Wv biomassa		13	13	13	6	6	6
Wv waterkracht en ov.		26	26	26	26	26	26
Elektrolyse (GW)	0	40	26	28	80	50	55
Power to heat (GW)	1	13	16	22	15	20	27

Bron: BNA 2022

De BNA studie illustreert hiermee de eerdergenoemde algemene uitkomsten van scenariostudies voor elektriciteit. De vraag daarnaar neemt toe, met 2 tot 2,5 maal de huidige. In twee scenario's is de vraag in de gebouwde omgeving het grootst (maar in Duitsland worden ook datacentra daartoe gerekend) en in één in de industrie. In twee scenario's is de elektriciteitsvraag voor elektrolyse groter dan voor het gehele te elektrificeren vervoer, in één kleiner (en daarbij worden de meeste synthetische brandstoffen en gassen geïmporteerd). In alle gevallen wordt schaarse waterstof alleen ingezet waar het niet anders kan, maar wat dat betekent verschilt per scenario. De meeste opwekking komt van wind op land, direct gevolgd door zon-PV en op ruime afstand door wind op zee. Biomassa wordt in de toekomstige elektriciteitsvoorziening vrijwel niet gebruikt. BNA veronderstelt dat de ambitie van de huidige regering om kolenstook in 2030 te beëindigen in wetgeving wordt omgezet (de huidige wettelijk vastgelegde uiterste sluitingsdatum is 2038). Ook de tussendoelen voor hernieuwbaar opgewekte elektriciteit in 2037 (zie paragraaf 3) worden gehaald, daarna is de ontwikkeling scenario-afhankelijk.

Zo'n duurzaam elektriciteitssysteem kent natuurlijk grote vragen van flexibiliteit en opslag. In de BNA studies wordt de flexibiliteit voor korte termijn (uren en dagen) in toenemende mate dichtbij of in huishoudens geregeld. De industrie zal waar mogelijk de prijzen in de markt volgen met demand side management. Hiermee los je langdurige *Dunkelflaute* en seizoensverschillen niet op. Daartoe is veel grootschalige opslag beschikbaar. In 2045 zullen daartoe gas- en wellicht ook kolencentrales (in veel gevallen WKK en voedend aan stadsverwarming) op waterstof draaien. Of dat in 2037 ook al het geval is,



is volgens BNA afhankelijk van nog te bepalen regelgeving. Toch is BNA daar bezorgd over: de in het scenario beschikbare regelbare capaciteit is maar de helft van de huidige, wat bij een toegenomen elektriciteitsvraag waarschijnlijk niet genoeg zal zijn. De BNA scenario's zijn afgestemd met die van de ENTSO-E en daarmee in beginsel met die van omringende landen. Er is niet meer nieuwe interconnectie verondersteld die wat nu in de pijplijn zit. De vraag in welke mate wind op zee netten tussen de elkaar omringende landen gekoppeld mogen worden wordt nog bestudeerd.

Belangrijk is ook de Ariadnestudie (2021), van een aantal samenwerkende universiteiten en instellingen, mede omdat deze ook ingaat op de betekenis van de cijfers voor 2030 en een aantal thema's aan de orde stelt die elders minder aan bod komen. De bandbreedtes in de Ariadnestudie zijn relatief groot omdat zowel met 'gebalanceerde' als 'technologie georiënteerde' scenario's wordt gewerkt. Tegelijk geeft de studie aan dat deze verschillen tot 2030 relatief weinig betekenis hebben en vooral over de ontwikkeling na 2030 gaan. De bandbreedtes zijn het grootst in de industrie, waar grote accentverschillen in de studies zijn tussen meer of minder directe elektrificatie (met dus minder of meer waterstof en synthetische brandstoffen). In de gebouwde omgeving zijn de verschillen veel kleiner met veel directe elektrificatie, stadsverwarming gevoed door veel grootschalige warmtepompen of restwarmte uit de industrie en weinig indirecte elektrificatie. Sanering en isolatie kan niet anders dan voortvarend en geleidelijk gaan, stelt Ariadne. In het verkeer is er niet zozeer variatie in technologie als wel in de energievraag. Ariadne concludeert dat de centrale energiedragers in 2045 hernieuwbare stroom, groene waterstof, groene synthetische brandstoffen en biomassa vormen, waarvan elektriciteit met een aandeel van ordegrrootte gemiddeld 60% de belangrijkste zal zijn.

Elektriciteit is feitelijk nog belangrijker omdat de waterstof en synthetische brandstoffen hetzij door elektriciteit worden geproduceerd, hetzij worden geïmporteerd. De indirecte betekenis van elektriciteit is zo nog eens 8 – 37% boven op de directe van 40 – 69%, naast een import die ruwweg evenveel elektriciteit elders vraagt als de nationale productie (ongeveer tweemaal zo veel voor synthetische brandstoffen als voor waterstof; in 2019 was het aandeel elektriciteit 19%). Omdat de mogelijke toename van de elektriciteitsproductie niet oneindig is, zal alleen met afname van de finale vraag met minimaal 35% in 2045 de huidige voornemens over uitbreiding van hernieuwbare elektriciteit adequaat zijn. Ariadne stelt dat als en waar de 2030 doelen niet worden gehaald, dat voor 2045 ook onwaarschijnlijk is. Vooral de uitbreiding van elektriciteitsnetten zal een knelpunt worden. Feitelijke elektrificatie zal vooral na 2030 plaatsvinden, maar alle voorbereidingen daartoe moeten nu getroffen worden. De studie indiceert tenslotte dat het ruimteverbruik van de energietransitie gunstig is omdat momenteel veel biomassa wordt verbouwd die straks niet nodig is (eerste generatie brandstoffen) en het ruimteverbruik van wind- en zonne-energie geringer is dan dat van de huidige biomassa.

Een belangrijke studie is die van de Deutsche Energie Agentur (DENA), de Duitse uitvoeringsorganisatie voor het energie- en klimaatbeleid. Belangrijk, omdat deze in een tweejaarlijkse dialoog tussen meerdere wetenschappelijke instituten, beleid en beleidsuitvoering tot stand is gekomen en omdat er in Frankrijk een soortgelijke studie van ADEME is verschenen die hierna wordt behandeld. De DENA studie geeft de kaders van de mogelijke ontwikkeling duidelijk aan. Qua presentatie is het een voordeel dat er één 'gebalanceerd scenario' centraal staat (vergelijkbaar met dat van de Britse klimaatcommissie).

Tabel 5. Broeikasgasemissies Duitsland in DENA studie, Mt CO₂eq.

	2018	2030	2045	2050
Energie	308	104	-8	-10
Verkeer	164	85	0	0
Gebouwde omgeving	122	67	2	0



Industrie	190	118	4	-12
Landbouw, afval	73	63	42	38
Landgebruik	-18	-6	-41	-43
Totaal (incl. landgebruik)	837	432	0	-26

Bron: DENA 2021

Veronderstelling van de DENA studie is dat Duitsland in 2030 zijn tussendoel geheel haalt. Dat is mogelijk door een sterke reductie in alle sectoren - het minst in de landbouw, zoals ook in de klimaatwet voorgeschreven. De elektriciteitsvoorziening loopt in emissiereductie voorop. In 2045 is er een restemissie in de landbouw en afvalsector, die gecompenseerd wordt door koolstofopname uit landgebruik. CCS wordt in de studie per sector meegenomen; er wordt voor 2045 17 Mt uit CCUS en 17 Mt negatieve emissies door middel van BECCS (in industrie en de afvalvoorziening) berekend. In de resterende BKG balans in 2045 staan landgebruik en biomassa centraal, stelt DENA. De DENA studie gaat niet uit van *direct air capture* (DAC) in Duitsland, maar sluit niet uit dat deze in andere landen door de export van synthetische brandstoffen naar Duitsland nodig zal zijn. Als de netto emissies door het grondgebruik minder kunnen toenemen, zal ook in Duitsland DAC nodig zijn. Daarvoor zal dan ook de stroomproductie nog verder moeten stijgen. De daling van het finale energieverbruik in 2018-2045 is 41% (in het midden van de bandbreedte aangegeven door Wiese). In 2045 is daarvan 49% elektrisch. Er wordt in dat jaar 458 TWh groene waterstof gebruikt (incl. grondstof voor de procesindustrie) en 198 TWh synthetische gassen en vloeistoffen (vooral in de luchtvaart). Waterstof wordt vooral uit Europa geïmporteerd. De import van synthetische brandstoffen vindt per schip plaats en kan daarom het best uit de goedkoopste locaties komen, die liggen buiten Europa.

Tabel 6. Finale energievraag in DENA studie, TWh

	2018	2030	2045
Elektriciteit	513	617	724
Warmtenetten	109	108	96
Biomassa	117	141	145
Groene waterstof	-	38	226
Stookolie	177	87	11
Kerosine	122	114	113
Aardgas	617	417	113
Benzine/diesel	623	333	34
Kolen	124	63	-
Totaal (incl. overige)	2489	1963	1477

Bron: DENA 202

Tabel 7. Primaire energievraag en energie als grondstof in DENA studie, TWh

	2018	2030	2045
Productie primaire energie (1)	3647	2449	1791
Wv kolen	808	117	-
Wv aardgas	871	711	46
Wv aardolie	1226	712	36
Wv binnenlands hernieuwbaar	501	750	1079
Wv import synthetische energie	-	60	593
Verbruik energie als grondstof	224	222	214

Wv fossiel	224	192	41
Wv groene waterstof	-	27	103
Wv synth. en biobrandstoffen	-	-	51
Wv vaste biomassa	-	3	19

(1) Excl. de categorie overige

De vraag- en aanbodontwikkeling bevindt zich globaal in het midden van de eerder aangegeven bandbreedten en illustreert de enorme transitie die Duitsland in de raming zal doormaken. De benodigde primaire energie halveert ruwweg. Deze verschuiving moet in 2030 al een eind gevorderd zijn, anders is de resterende periode te kort om vooral de uitbouw van hernieuwbare energie te realiseren. Omdat de mogelijkheid daartoe toch beperkt wordt geacht, wordt veel schoon opgewekte synthetische energie geïmporteerd. Het verbruik van energie als grondstof is vrij constant, maar verandert van samenstelling. Deze grondstoffen zijn een belangrijk element in de emissie ontwikkeling. In 2018 zijn de broeikasgasemissies verbonden met het grondstofverbruik in de industrie nog de helft van die van het energieverbruik. Maar omdat ze veel moeilijker te reduceren zijn, bedragen ze er in 2045 het dubbele van: de emissies van industriële energie zijn er dan tot 10% van die uit 2018 gereduceerd, maar de procesemissies slechts met 60% gedaald. Vooral de cementindustrie zal emissies overhouden. In de DENA berekeningen houden elektriciteitsverbruik en -productie elkaar globaal in evenwicht.

DENA eindigt de studie met tien stellingen, die de hoofduitkomst van de analyse zijn. De transitie is enorm en er zal van alles mislukken. Dus plan robuust, stel de tussendoelen hoog; dat zal iets duurder zijn, maar anders weet je zeker dat je het niet haalt. Koolstofprijzen zijn een goed hulpmiddel, *contracts for difference* kunnen bij nieuwe technologie werken, maar even belangrijk is een integrale planning van de netten. Zie het als kans, ook in sociaal opzicht. Sociale rechtvaardigheid is niet alleen een zaak van het eerlijke verhaal, maar ook van daadwerkelijke participatie. De *Fit for 55* aanpak van de EU geeft beleidsmatig een goede basis, maar zoek daarnaast naar landenpartners met wie je samen kunt optrekken. In de gebouwde omgeving zal de aanpak per plaats en regio verschillen, maar het ligt voor de hand met de slechtste woningen te beginnen – waar ook vaak armere mensen wonen – en pas later de diepgaande sanering aan te pakken. In 2030 moeten er 500.000 warmtepompen per jaar worden geplaatst; schoon gas is dan vooral biogas, richting 2045 is meer dan de helft van het schone gas waterstof. Verduurzaming van de industrie gaat niet vanzelf, want tot nu toe werd de efficiencyverbetering gecompenseerd door hogere productie. Dat zal een maatwerkoplossing met sterke technologische vernieuwing vragen. De komende vier jaar moeten alle grote investeringen al in lijn met nulmissie zijn, anders red je het in de tijd niet omdat vernieuwing in de industrie maar zeer periodiek plaatsvindt. In het verkeer blijven individuele personen- en vrachtauto's dominant, ook als je je inzet voor nieuwe transportvormen. Dus maak die schoon en houd er rekening mee dat het goederenvervoer verder zal toenemen. In de energiesector is een integrale planning van vraag, aanbod en infrastructuur nodig, waarin flexibiliteit en opslag worden meegenomen. Er blijven waterstofcentrales over die weinig zullen draaien dus daar zal een vorm van capaciteitsbeloning vereist zijn. Negatieve emissies zullen nodig zijn, dus begin nu aan een strategie hoe die tot stand gebracht kunnen worden. Ook Duitsland kan niet zonder CCS en de ontwikkeling van het landgebruik is uiteindelijk voor de cijfers bepalend.



b. Verenigd Koninkrijk

In het Verenigd Koninkrijk is de situatie iets anders dan in Duitsland, omdat er hier een scenario is – het Balanced Growth scenario van het Committee on Climate Change (CCC) – dat formeel in het regeringsbeleid wordt gebruikt. Maar ook voor het VK bestaat een recente overzichtsstudie. Hier worden ook de scenario's van de nationale netbeheerder behandeld, die ondertussen alweer geactualiseerd zijn. Ik zal eerst de overzichtsstudie behandelen en daarin extra aandacht geven aan het CCC scenario. Daarna ga ik in op de recente scenario's van de National Grid.

In de recente overzichtsstudie (Dixon et al, 2022) worden vier algemene conclusies voor de Britse situatie getrokken: hoe meer ingezet wordt in de scenariostudies op verandering van gedrag, des te minder massieve verandering van technologie is er nodig; altijd zal de elektriciteitsvraag fors toenemen, tussen de 50 en 160%; de mogelijke omvang van benodigde waterstof varieert sterk, vooral afhankelijk van de geraamde vraag in transport en warmte; en er zal veel flexibiliteit en opslag nodig zijn. Anders dan in Duitsland wordt de internationale lucht- en scheepvaart in alle Britse scenario's betrokken, omdat deze onderdeel is van het nul-emisiedoel uit de Klimaatwet. Dixon concludeert ook dat er ruimte genoeg is in het VK om welke hernieuwbare elektriciteitsvraag dan ook op te vangen, maar gaat er daarbij wel vanuit dat op termijn drijvende windturbines op zee competitief worden. Dixon et al bestuderen 7 toonaangevende scenario's, waarvan de versie van de CCC die ook uitgangspunt is in het beleid (het Balanced Growth scenario, met een middenweg tussen technologie- en gedragsverandering).

De internationale bunkers voor lucht- en zeescheepvaart zijn een substantieel deel van de Britse energievraag (in 2019 bijna anderhalf maal die van het nationale transport). De vraag of deze al dan niet meegenomen worden is zo niet zonder betekenis.

Dixon concludeert het volgende. De tegenstelling tussen gedragsverandering en technologieverandering is niet absoluut, want vaak gaat het samen. Dat wordt recent nog eens benadrukt door een samenvattende studie voor het House of Lords (2022). Deze stelt dat ruwweg een derde van de berekende emissiereductie tot 2035 samenhangt met gedrag, maar dat driekwart daarvan veroorzaakt wordt door de aankoop van nieuwe technologie, en een kwart door bijvoorbeeld minder vliegen of minder vlees eten. Elektrische auto's zijn een nieuwe technologie, maar de aankoop en het gebruik is een gedragswijziging. Vlees vervangen door kunstmatige vleesvervangers veronderstelt dat deze beschikbaar zijn. Maar of er meer of minder auto wordt gereden, de thermostaat hoger of lager wordt gezet en men meer of minder vlees eet maakt natuurlijk enorm uit. De energievraag in huizen kan daarom ongewijzigd blijven of met 29% dalen; er kunnen meer of minder autokilometers worden gereden; er kan meer of twee-derde minder worden gevlogen; de energievraag van de industrie kan met 11% toenemen of 33% dalen; daarmee kan de directe elektriciteitsvraag met 51 tot 160% toenemen; de benodigde waterstof kan van 100 tot 590 TWh variëren (meer als de directe elektriciteitsvraag minder is). Toch hebben de scenario's ook veel overeenkomsten. In de gebouwde omgeving zal verwarming altijd vooral uit warmtepompen en stadsverwarming bestaan – soms is er waterstof nodig voor de piekvraag in de winter en maar 1 van de bestudeerde 7 scenario's gaat uit van een primair door waterstof gedomineerde warmtevoorziening in de gebouwde omgeving. Ook een overzicht van alle studies naar verduurzaming in de gebouwde omgeving concludeert dat waterstof veel minder efficiënt zou zijn dan directe elektrificatie door bijvoorbeeld warmtepompen (Carbon Brief, 28 september 2022). Vrijwel alle personenauto's zullen in 2050 elektrisch zijn, bij vrachtauto's is dat hetzij dominant waterstof, hetzij gemengd EV/waterstof. Luchtvaart zal grotendeels nog fossiel zijn met een kleiner deel biobrandstof, synthetische brandstof en elektrisch voor kortere afstand; internationale scheepvaart zal in de meeste scenario's varen op in ammonia omgezette waterstof, en anders direct op waterstof of op synthetische en biobrandstoffen. De energievraag in de industrie zal in drie scenario's in de meerderheid (voor 68 tot 89%) direct elektrisch



zijn, in het CCC scenario gelijk zijn verdeeld over directe elektriciteit, waterstof en CCS en in 2 scenario's vooral uit waterstof bestaan. Anders dan Duitsland staat het VK ook 'blauwe' waterstof met gas en CCS toe. Of dat in de huidige gascrisis zo aantrekkelijk is als in de studies is een andere vraag.

De elektriciteitsproductie zal gedomineerd worden door wind op zee (in het CCC scenario bij een totale elektriciteitsproductie van 780 TWh bijvoorbeeld 430 TWh, andere wat meer of minder maar op één scenario na altijd het meest). Wind op land en zon-PV zullen veel kleiner zijn (bij het CCC elk 100 TWh) en kernenergie nog kleiner (CCC 50 TWh, met slechts in één van de zeven scenario's dominantie van kernenergie). Andere vormen van hernieuwbaar opgewekte elektriciteit zoals golf- en getijde energie zijn doorgaans in omvang geringer. Voor de winterpiek is er schoon gas met CCS. De productie van groene en blauwe waterstof is doorgaans een derde van die van elektriciteit (alleen in één 'waterstofscenario' meer). In het CCC-scenario bijvoorbeeld 220 TWh waterstofproductie, waarvan 100 door elektrolyse, 70 door BECCS (om negatieve emissies te realiseren), 25 door fossiel gas en CCS en 25 door import. Anders dan in Duitsland wordt dus verondersteld dat de benodigde waterstof en synthetische brandstoffen in het VK zelf worden geproduceerd, vooral omdat er ruimte is voor wind op zee.

Het CCC Balanced Growth scenario zit op vele indicatoren relatief in het midden van de andere scenario's en wordt als uitgangspunt in het Britse klimaatbeleid gebruikt. Ik licht het er daarom uit. Het warmtegebruik van huishoudens daalt tot 2050 met 12%, deels door gedrag en deels door regelgeving; de helft daarvan wordt in 2050 voorzien door warmtepompen, 42% door stadsverwarming (gevoed door grootschalige warmtepompen en warmte van industrie) en 5% door waterstofketels. Ook veel warmtepompen hebben een aanvullende voorziening met waterstof voor de winterpiekvraag. Mensen leggen 17% minder auto kilometers af dan nu; ze vliegen een kwart meer kilometers, maar de efficiencyverbetering van vliegtuigen weegt daar ruimschoots tegen op, zodat het energieverbruik van de luchtvaart in dit scenario daalt. Alle auto's zijn schoon: personenauto's en busjes elektrisch, vrachtauto's elektrisch of op waterstof. Internationale schepen varen op ammonia op basis van waterstof, waardoor ook retrofit van bestaande schepen mogelijk is; driekwart van die ammonia wordt in het VK geproduceerd, wat ruwweg een derde van de totale benodigde waterstofproductie vraagt. Klimaatbeleid leidt niet tot een structuurverandering van de industrie. Elektrificatie, waterstof (elk 14 Mt) en CCS (5 Mt) BECCS (5 Mt) met negatieve emissies zorgen voor de emissiereductie in de industrie. De elektriciteitsproductie neemt met 141% toe tot 780 kWh. De korte termijn opslag van elektriciteit vindt plaats door batterijen en een verviervoudiging van de interconnectie; 13% van de geproduceerde elektriciteit is nodig voor de seizoensopslag door waterstof. In totaal is 225 van de 780 TWh elektriciteit nodig voor de productie van waterstof (die voor 45% van de waterstof zorgt, naast 32% door aardgas met CCS, 11% door biomassa gasificatie en 11% door import) , die verder wordt gebruikt waar directe elektrificatie niet mogelijk is. Er is een afname van de vleesconsumptie met een derde en de landbouwproductie beweegt daarin mee. Toch zijn er restemissies in vooral industrie en landbouw, die gecompenseerd worden door uitbreiding van bossen en andere vormen van natuurlijke sinks; 89% van de veengebieden wordt zodanig verbeterd dat ze geen emissies meer hebben. Omdat dat niet genoeg is wordt er ook voor 5 Mt aan dure en nog niet technologisch bewezen *direct air capture* met CCS (DACCS) ingezet. De benodigde biomassa wordt grotendeels geproduceerd door speciale *energy crops*, die vele hectares nodig hebben. Als gezegd is dit het scenario dat het Britse regeringsbeleid tot uitgangspunt heeft genomen.

Iets anders dan in Duitsland is er geen uitvoeringsorganisatie in het energiesysteem die scenario's ontwikkelt, dat doet National Grid. In de studie van Dixon zijn de scenario's van National Grid uit 2020 meegenomen. Ondertussen zijn die van 2022 al verschenen (National Grid 2022). De assen zijn hier de mate van maatschappelijke verandering enerzijds en snelheid van decarbonisatie anderzijds. Het meest



optimistische scenario over innovatie en gedragsverandering baseert zich op de innovatie scenariovariant van het CCC en haalt de klimaatdoelen in 2047 en negatieve emissies daarna. De scenario's met hetzij vooral gedragsverandering, hetzij vooral innovatie halen netto-nul in 2050.

Een vierde scenario, waarin zowel gedragsverandering als innovatie tegenvalt, haalt het klimaatdoel en ook de tussenliggende koolstofbudgetten niet. Een impliciete conclusie van de studie is dat je het al of niet halen van het einddoel ruim vooraf ziet aankomen. Als men eenmaal achter ligt op het pad is dat zeer moeilijk nog in te halen. De scenario's verschillen sterk in de rol van waterstof vs. directe elektrificatie, omdat volgens National Grid dit naast de mate van gedragsverandering een van de grootste onzekerheden is. Ik zie daarbij af van het scenario waarin de doelen niet worden gehaald. In het 'gedragsscenario' is de rol van waterstof beperkt tot internationale lucht- en scheepvaart en een in omvang kleine hoeveelheid in elektriciteitscentrales om in de winterpiekvraag te voorzien en om *curtailment* van windmolens te voorkomen. In het 'innovatiescenario' wordt de gebouwde omgeving in grote mate door waterstof verwarmd en wordt ook in de industrie met waterstof gestookt. Hiertoe wordt het gasnet grotendeels omgebouwd tot een waterstofnet. In het scenario met innovatie plus gedragsverandering blijft de waterstofinzet naast internationale lucht- en scheepvaart beperkt tot enkele industriële clusters. De capaciteit om nationaal waterstof te produceren bedraagt zo resp. 25, 82 en 63 GW. Er wordt niet veel waterstof geïmporteerd. Omdat de cijfers hiervan niet fundamenteel anders zijn dan de eerder verschenen studie die al in het overzicht van Dixon et al is behandeld – maar met diepgaander regionale verschillen – beperk ik me tot de beleidsaanbevelingen van de meest recente studie. Die zijn als volgt: (1) zorg voor meer efficiency, met name in de gebouwde omgeving, want dat kan je wel veronderstellen maar gaat niet vanzelf; (2) ga werken aan bredere *demand response* die je voor een flexibeler elektriciteitsnet nodig hebt en betrek daarbij ook prijsverschillen in regio's (zodat efficiënter met schaarste veroorzaakt door imperfecte transmissie wordt omgegaan, want de toekomstige opwek is vooral in het noorden en de vraag in het midden en zuid-oosten van het land); (3) ga uit van regionale verschillen in de warmtevraag; (4) denk meer vanuit het hele systeem en daarin wat de rol van elektriciteit versus waterstof zal zijn; (5) begin nu aan de seizoensopslag; (6) zorg voor voldoende competitie bij de uitvoering van grote projecten.

c. Frankrijk

Frankrijk heeft minder een traditie van vergelijking van scenario's dan voorgaande landen. Ze worden er wel gemaakt. Ik licht er hiervan twee typen uit, die aanvullende informatie voor deze studie geven. De ene komt van ADEME, de uitvoeringsorganisatie van het Franse energie- en klimaatbeleid (vergelijkbaar met de Nederlandse RVO, maar met een grotere onderzoekstaak), die een belangrijke basis zal worden voor de in 2023 te publiceren nieuwe klimaat- en energiestrategie (SNBC3). De ander is van de transmissie operator RTE (vergelijkbaar met TenneT), die voor de regering uit moest zoeken wat de voor- en nadelen van kernenergie ten opzichte van alleen hernieuwbaar opgewekte elektriciteit zijn.

ADEME heeft in een uitvoerig tweejarig proces, in overleg met instellingen universiteiten, vier maatschappelijk verschillende scenario's gemaakt. Anders dan de meeste Duitse en Britse zijn deze dus expliciet vanuit andere maatschappijbeelden opgesteld. De macro-economische en bevolkingsgroei is hetzelfde. Gemeenschappelijk hebben ze dat de energievraag zal afnemen – met 25 tot 55% in 2050 ten opzichte van 2015 – dat de industrie zal vernieuwen, er meer biomassa en natuurlijke *sinks* nodig zijn, en dat de landbouw in balans met voedselvraag en biodiversiteit geheel moet hervormen. In het eerste scenario (sobere opwekking, SO) loopt dat primair door afname van vlees- en melkconsumptie, een derde minder mobiliteit, lokale besluitvorming en trek uit de steden, driekwart van materiaalgebruik door recycling en geen grote behoefte aan hoogwaardige technologie. De inzet in dit scenario is een meer egalitaire samenleving. De afname van de energievraag is hier zo groot, dat dit het enige scenario is waar ook de elektriciteitsvraag niet toeneemt. In het tweede – regionale samenwerking, RS – staat eerlijkheid



en samen delen voorop, wordt er naar consensus over de te voeren aanpak gestreefd, is er geen bezwaar tegen meer investeringen en wordt ingezet op de effectiviteit van nationaal en Europees beleid.

In het derde scenario – groene technologie, GT – neemt de mobiliteit juist toe, is er veel vertrouwen in technologie en een sterke overheid en wordt de klimaattransitie een succes voor wie het kan betalen. Dit is het enige scenario waarin de gebruikte waterstof voor de helft wordt geïmporteerd. In het vierde – gok van herstel, GH – blijft de levensstijl ongewijzigd, de natuur is er om uit te buiten, steden breiden uit, de landbouw intensiveert verder, weliswaar is er 45% recycling van industriële producten, maar de klimaatdoelen worden alleen gehaald door te vertrouwen op nog niet bestaande technologie als *direct air capture* met CCS. In alle scenario's worden de internationale scheep- en luchtvaartbunkers in de beschouwing maar niet altijd in de cijfers meegenomen, maar die zijn in Frankrijk ten opzichte van het nationale verbruik gering.

Frankrijk is zeer huiverig voor de-industrialisatie, omdat het beleid niet alleen op minder emissies is gericht maar ook op 'nationale trots'. Er is een zekere traditie van studies die aangeven dat de huidige de-industrialisatie ook tot meer import van koolstofintensieve producten leidt (voetafdruk). Omdat de Franse elektriciteitsvoorziening relatief weinig koolstofintensief is, leidt deze 'carbon leakage' mondiaal tot meer emissies (Deloitte, 2021). Vandaar het belang in de scenario's van mogelijke gedragsaanpassing. Hieronder enkele kenmerkende cijfers van de ADEME scenario's.

Tabel 8. Enkele kerncijfers ADEME scenario's (excl. internationaal transport) (1)

	2015	SO	RS	GT	GH
BKG emissie (Mt CO2eq)	476	74	68	85	135
Natuurlijke sinks	-18 (2)	-116	-93	-64	-41
CCS	0	0	-2	-9	-37
BECCS	0	0	-1	-21	-29
DAC	0	0	0	0	-27
Finale energievraag (TWh)	1772	790	829	1062	1287
Wv industrie	480	250	260	300	400
Wv gebouwde omgeving	730	380	410	530	610
Wv transport	510	150	140	200	250
Wv landbouw	40	10	20	30	30
Wv elektriciteit (3)	440	300	360	500	720
Wv gassen	340	100	140	180	270
Wv brandstoffen	700	80	50	20	60
Wv hernieuwbare warmte	180	220	200	220	200
Wv waterstof	0	20	40	80	20
Wv nafta	50	20	10	-	20
Wv aandeel hernieuwbare energie	15	88	86	81-87 (4)	70

(1) Ruwe cijfers, deels ontleend aan figuren; (2) 2020; (3) excl. elektriciteit voor productie schone gassen en brandstoffen; voor waterstof bijvoorbeeld tussen 33 en 135 TWh; (4) kernenergie of wind op zee.

Bron: ADEME 2022

De scenario's laten zien hoe belangrijk de geraamde energievraag is. Zelfs in de technologiescenario's neemt deze sterk af. Dat is vooral het geval in de transportsector, waar elektrificatie immers tot efficiencyverhoging leidt. Vooral in de gebouwde omgeving zijn de verschillen tussen de scenario's groot, omdat gedrag – hoe wonen wij? – hier veel invloed heeft. De energievraag van de landbouw is gering. Hoe de vraagafname precies tot stand komt is minder helder: ADEME veronderstelt dat Frankrijk zich in verschillende richtingen kan ontwikkelen – soms gaat het vrijwillig, soms wordt regulering door het Parlement opgelegd - om 'de hoeken van het speelveld' in beeld te brengen. Dat past in verschillende ontwikkelingsrichtingen van de wereldeconomie, waaraan Frankrijk zich in sterke mate onttrekt (SO), vooral inzet op Europa (RS), bestaande industrie vervangt door nieuwe in een sterke door de overheid en EU geleide modernisering (GT) of zeer sterk in nieuwe opvang- en opslagtechnologie investeert omdat er in de samenleving minder verandert (GH). In alle scenario's probeert Frankrijk recht te doen aan het klimaatakkoord van Parijs – zo wordt vooral in het vierde scenario de financiële steun aan kwetsbare ontwikkelingslanden uitgebreid. Het eerste scenario zet in op een meer egalitaire samenleving, het tweede maakt in sterke mate gebruik van financiële stimulansen, van het derde en vierde scenario hebben de rijkere Fransen het meeste baat. Altijd stijgt het aandeel elektriciteit in de energievraag, terwijl dat vooral van brandstoffen sterk afneemt. Ook dat van gassen daalt, maar blijft omvangrijker doordat ze worden gedecarboniseerd. In hernieuwbare warmte ziet ADEME weinig groeimogelijkheden.

In alle gevallen spelen de *sinks* een belangrijke rol omdat er in meerdere of mindere mate restemissies zijn. Soms wordt daarbij vooral ingezet op uitbreiding van de natuurlijke sinks (bossen), in het vierde scenario op technologische *sinks*. Omdat de mogelijkheid van Frankrijk tot uitbreiding van natuurlijke *sinks* groot wordt geacht, is CCS niet altijd nodig.

Ook in Frankrijk heeft de netbeheerder een aantal scenario's ontwikkeld ten behoeve van het beleid (RTE 2021). De studie trekt meerdere conclusies. De afname van de energievraag is de meest cruciale factor bij decarbonisatie. Dat moet volgens RTE niet samen gaan met de-industrialisatie omdat daardoor de mondiale koolstofvoetafdruk alleen maar groter wordt (zie ook hiervoor). De productie van hernieuwbaar opgewekte elektriciteit zal sterk toenemen, maar als er niet ook op kernenergie wordt ingezet is het wel heel erg veel. Dat zal vooral wind (op land en zee) en grootschalige zon-PV zijn die in tenders moeten worden ontwikkeld. Altijd is veel meer flexibiliteit nodig: door *demand side management*, meer interconnectie, meer opslag door waterkracht en reservoirs, batterijen voor de zon-PV; als er geen besluiten over kernenergie zouden vallen zijn ook centrales met schone gassen waaronder waterstof nodig. Het elektriciteitsnet zal in alle scenario's sterk moeten worden verzwakt. Een systeem van schone waterstof is nodig voor de sectoren die moeilijk zijn te elektrificeren en als er erg veel hernieuwbaar opgewekte elektriciteit zou zijn ook voor energieopslag. Er is meer aandacht nodig voor kritieke materialen.

RTE wijst erop dat de huidige kerncentrales gemiddeld 36 jaar oud zijn, zodat ze ook met levensduurverlenging tot 60 jaar niet geacht mogen worden 2050 te halen. In 2023 moet in een nieuw *Plan de la Programmation pluriannuelle de l'énergie* (PPE) formeel een beslissing over levensduurverlenging en nieuwe kerncentrales genomen worden. RTE heeft daartoe verschillende scenario's op systeemkosten bezien. Varianten zijn een Baseline, meer besparing of re-industrialisatie, meer of minder elektrificatie dan wel meer waterstof (omdat Frankrijk niet te veel van het buitenland afhankelijk wil zijn is de veronderstelling dat de waterstof in Frankrijk gemaakt moet worden of elders uit Europa wordt geïmporteerd).



In de re-industrialisatie- en waterstofvarianten is de elektriciteitsvraag het hoogst (rond 750 TWh in 2050, incl. 50 TWh voor de productie van waterstof en andere schone brandstoffen), bij meer elektrificatie of minder efficiency rond de 700, in de baseline 645 TWh en bij meer energiebesparing of minder elektrificatie rond de 555-575 TWh (de huidige elektriciteitsvraag is 475 TWh). De kernvraag van de scenario's is of naast uitbreiding van hernieuwbare energie ook levensduurverlenging plus al of niet nieuwe kerncentrales zinvol zijn. Nieuwe kerncentrales zullen niet voor 2035 aan het net zijn en Frankrijk is niet meer in staat er zoveel en zo snel te bouwen als in de jaren tachtig van de vorige eeuw. Conclusie van RTE is dat levensduurverlenging van 16 bestaande kerncentrales plus de bouw van 8 of 14 nieuwe EPR centrales (zoals de huidige in Flamanville) tot de minste kosten zal leiden. Daarboven ook inzetten op kleinschalige SMR kerncentrales maakt het wellicht duurder. Oorzaak van het kostenverschil met alleen hernieuwbaar is dat de netwerkkosten met kernenergie erbij aanzienlijk minder hoeven toe te nemen en vooral dat de flexibiliteit (30 GW aan noodzakelijke back up centrales die weinig zullen draaien, opslag) minder duur zal zijn. RTE voegt daar aan toe dat deze conclusie in sterke mate berust op de gehanteerde veronderstelling over financiering van kerncentrales. Levensduurverlenging van bestaande kerncentrales is altijd financieel aantrekkelijk, maar zal ze tijdens de werkzaamheden wel langdurig van het net halen. RTE wijst erop dat beslissingen snel genomen moeten worden omdat het huidige systeem piept en kraakt.

d. Noordelijke landen

In Denemarken, Finland, Noorwegen en Zweden is er een minder brede traditie van het ontwerpen van scenario's. Daarbij zijn enkele daarvan in de nationale taal geschreven. Wel is er een interessante recente studie van de Boston Consulting Group (BCG), die in verschillende publicaties op een vergelijkbare wijze de klimaatdoelen van de vier landen uitwerkt. Ook omdat dit qua opzet wat anders gepresenteerde scenario's zijn dan voor de grote behandelde landen, zet ik deze studies centraal in deze paragraaf. De BCG studies zijn voor de vier landen hetzelfde van opzet. In kaart wordt gebracht wat het verwachte 'tekort' is van het huidige beleid in 2030 of 2050. Dan wordt geanalyseerd wat in elk land de kritieke transitiethema's zijn. Deels zijn deze hetzelfde – schone mobiliteit en transport – deels ook verschillend – zoals het belang van olie- en gaswinning in Noorwegen en van landbouw in Denemarken. BCG brengt vervolgens in kaart welk type transitie nodig is. Ook dat komt deels in de landen overeen, hoewel de relatieve verhoudingen verschillen. Marginale kostencurves staan hierbij centraal. Daarom kan BCG ook uitrekenen wat de transitie in een optimale uitvoering kost, hoeveel dat per inwoner kost en hoeveel extra investeringen nodig zijn. BCG eindigt met de urgente beleidsacties in de landen, die ook weer deels overeenkomen. Naast deze scenario's behandel ik in een tekstbox de recente beleidsaanpak in Finland, waarin nulemissiesscenario's concreet zijn uitgewerkt.

Noorwegen is geen lid van de Europese Unie, maar volgt het Europese energie- en klimaatbeleid (IEA, 2022). Het doet dus mee aan de Europese emissiehandel en is voornemens de EU besluiten over *Fit for 55* nationaal te vertalen. Het land heeft de elektriciteitsproductie al vrijwel volledig gedecarboniseerd, met nadruk op waterkracht (97%), maar een groot potentieel voor aanvullende windenergie^{vii}. Omdat veel natuurliefhebbers moeite hebben met wind op land, wordt daarbij ook aan (veelal drijvende vanwege grote zeediepte) wind op zee gedacht. Ook enige zon-PV zou mogelijk zijn. Noorwegen is al vergaand geëlektrificeerd (zie ook tabel 2): de helft van de finale energievraag bestaat uit elektriciteit (IEA, 2022), wat neerkomt op 134 TWh in 2020 bij een productie van 154 TWh (het verschil is export). De formele vraagraming van de Norway Energy Regulatory Authority voorziet een toename van de elektriciteitsvraag naar 159 TWh in 2030 en 175 TWh in 2040 (IEA 2022), door de geraamde verdere elektrificatie van de vraag, waterstofproductie en de toegejuichte komst van datacentra die men wil koppelen aan stadsverwarming.



Het land wordt verder gekenmerkt door een omvangrijke olie- en gaswinning – waarvan de oliewinning naar verwachting in 2050 is beëindigd en de gaswinning tot een derde van de huidige is terug gelopen (DNV 2021) – een volledig schone elektriciteitsvoorziening en vrijwel geen emissies in de gebouwde omgeving. De grootste emissies zijn te vinden in olie- en gaswinning, overige industrie en transport. Er is alleen een reductiedoel van - 90 tot 95% in 2050, zonder tussendoelen. In 2019 bedroegen de emissies 49 Mt en ze waren ten opzichte van 1990 nauwelijks gedaald. De netto *sinks* bedroegen 24 Mt, deze waren sinds 1990 sterk toegenomen. BCG gaat voor Noorwegen uit van een netto-nul doel in 2050. In de transitie aanpak staat de olie- en gaswinning centraal: deels dalen de emissies door voorziene afname van productie, deels door elektrificatie met extra wind op land en drijvende wind op zee, en deels door CCS. Er worden door BCG vijf type transitie onderscheiden. De eerste zijn de gedragsmaatregelen die tegen geringe of zonder kosten kunnen worden uitgevoerd, vooral efficiencyverbetering in alle sectoren. De tweede zijn de maatregelen met groot effect die minder dan 50 euro/ton kosten: restauratie van veenland, elektrificatie van het wegvervoer. De derde zijn de genoemde decarbonisatie van de olie- en gaswinning, die relatief duur is maar nodig om de *license to operate* te behouden. De vierde zijn opties die wel kosten boven 50 euro hebben maar met bestaande technologie kunnen worden uitgevoerd, zoals schonere brandstoffen in warmte/kracht en beter bosbeheer. De omvangrijkste zijn de ‘kritieke technologie ontwikkelingen’ in de sectoren die moeilijk te decarboniseren zijn, zoals CCS in de industrie en nieuwe brandstoffen in scheep- en luchtvaart. Er blijven incl. CCS 3 Mt restemissies over (rest van energiesector, landbouw en een beetje in de industrie en het zware transport) (DNV 2021), die door uitbreiding van bossen gecompenseerd kunnen worden^{viii}. De omvangrijkste investeringen zijn nodig in de elektriciteitsvoorziening. BCG formuleert vijf beleidsaanbevelingen (die deels voor de bestudeerde noordelijke landen hetzelfde zijn); ontwikkel een nationale routekaart en houd je daaraan; breidt de hernieuwbare elektriciteitsvoorziening met 13 GW uit om aan de vraag te kunnen voldoen; investeer in het elektriciteitsnet; ga door met het verhogen van de CO₂-prijs, voer breder feed-in premies voor toepassing van nieuwe technologie in en koester de kansen voor een groene industrie. Als dat nu daadwerkelijk begint is het doel bereikbaar en kost de transitie (in prijzen van 2019) 159 euro per persoon per jaar (vooral door de dure decarbonisatie van olie- en gaswinning) (BCG 2022). Noorwegen heeft omvangrijke interconnectie en breidt deze verder uit. Noorwegen is momenteel een grote netto exporteur van elektriciteit, maar gezien de ontwikkeling van vraag en aanbod daarvan is dat in de toekomst niet altijd gegarandeerd. DNV voorziet vooral in de periode 2025-2035 soms netto import en pas weer netto export als drijvende wind op zee productie goedkoper en grootschalig mogelijk wordt (DNV 2021).

Voor Denemarken is de scenario aanpak vergelijkbaar. De emissies bedroegen er in 2019 46 Mt en netto stootte ook het landgebruik emissies uit. De meeste emissies ontstaan in het transport (14 Mt), de landbouw (13 Mt), de industrie (8 Mt), elektriciteits- en warmteproductie (7 Mt) en door de schone stadsverwarming minder in de gebouwde omgeving (3 Mt)^{ix}. De aanpak bestaat uit vier elementen. Ten eerste neemt het elektriciteitsverbruik toe – ook door de komst van datacentra die in 2030 15% van dit verbruik voor hun rekening kunnen nemen (Menu 2021) en wordt de elektriciteitsvoorziening en warmteproductie volledig gedecarboniseerd door 34 GW extra hernieuwbare elektriciteit (vooral wind), uitbreiding en verzwaring van het net en elektrolyse voor waterstof (0,5 GW). De positie van waterstof is niet geheel duidelijk want er wordt op dit moment al gewerkt aan twee kunstmatige eilanden, in de Oost- en Noordzee, waar wind op zee gekoppeld wordt aan power-to-X en electrolyzers met een omvang van 1,3 GW in 2030 zijn voorzien (Menu 2021) en andere scenario’s noemen hogere waterstof getallen (IDA 2021). Ten tweede wordt de landbouw vernieuwd: de helft van het landbouwland wordt voorbereid op bio-landbouw, de omvang van de veestapel wordt verminderd en mest wordt voor 80% omgezet in biogas. Toch blijft er hier een derde van de emissies over, waarvoor *direct air capture* met CCS (DACCS) nodig is ter compensatie.



Voor de landbouw speelt echter een vergelijkbare vraag als in andere landen voor de industrie: voor de Deense cijfers zou het gunstig zijn als de veestapel in omvang afnam, maar de koolstofintensiteit van Deens vlees is lager dan die van elders in Europa, dus zonder afname van vleesconsumptie zou dit niet zoveel zin hebben (Barker e.a. 2022). Ten derde veranderen het internationale en nationale transport. Lucht- en scheepvaart switchen naar synthetische kerosine, door waterstof geproduceerde ammonia en synthetische methanol. 95% van de personenauto's is in 2050 elektrisch, 25% van de vrachtauto's rijdt op waterstof en de rest op biobrandstoffen. De industrie, ten slotte, verbetert de efficiency met een derde, deels door elektrificatie van lage en middentemperatuur warmtevoorziening, door koolstofneutrale raffinaderijen, door de introductie van *biobased* materialen en in de cementproductie CCS. De benodigde investeringen zijn 200 miljard (in alle sectoren) en de kosten bedragen in de BCG studie 140 euro per persoon (vooral door maatregelen in de landbouw en de extra elektriciteit). Omdat het aandeel biomassa in het Deense energieverbruik zo hoog is, is er veel aandacht voor de duurzaamheid daarvan. Vrijwillige afspraken daarover met de industrie zijn vervangen door wettelijk vastgelegde criteria (Menu 2021). In het scenario van de Deense ingenieurs is de omvang van de primaire energievoorziening in 2045 met bijna een derde gereduceerd en bestaat deze voor driekwart uit hernieuwbaar opgewekte elektriciteit en een kwart biomassa (IDA 2021). De warmtevoorziening van de gebouwde omgeving levert nog weinig broeikasgasemissies op - 55% van de warmtevraag bestaat uit stadsverwarming, 20% is nog fossiel, 18% individuele biomassa en 7% stookt elektrisch, al of niet via warmtepompen. Om deze voor 2030 tot nul te reduceren wordt ingezet op lagere temperatuur van de stadsverwarming, het verduurzamen van de laatste 15 procent van het fossiele verwarmingsaanbod, maar vooral op 'intelligente systemen', waarin ze een rol kunnen gaan spelen in de flexibiliteit van het elektriciteitsnet. Dat laatste zal plaats kunnen vinden door meer grootschalige warmtepompen, opslag van warmte en wisselwerking met industrieel warmtebeleid (Johansen en Werner, 2022).

In Finland geldt het netto nulemissiedoel al voor 2035 en moeten daarna negatieve emissies worden gerealiseerd. Het huidig beleidstekort voor dat jaar is 15 Mt. Het is echter niet wettelijk nodig om het doel volledig door emissiereductie te bereiken. De studie van het Finse bureau Sitra gaat er bijvoorbeeld vanuit dat dit pas in 2050 het geval is (Sitra, 2021). Het huidig beleid concentreert zich sterk op 2030 en 2035, waardoor er geen strategie beschikbaar is voor de periode daarna (IRENA, 2019). De emissies (excl. landgebruik) in 2019 bedroegen 51 Mt, waarvan ruwweg 13 Mt voor elk elektriciteits- plus warmteproductie, industrie en het transport, 10 voor de landbouw en 2 Mt voor de gebouwde omgeving. De grote veranderingen tegen relatief lage kosten van minder dan 50 euro/ton zijn te vinden in grootschalige warmtepompen in de stadsverwarming, elektrificatie van het wegvervoer, brandstofswitch en elektrificatie van de pulp- en papierindustrie en verdere reductie van methaan uit afval. De benodigde rol van transitie in de landbouw is vergelijkbaar met die in Denemarken. Bij de kritieke technologie speelt CCS en BECCS in de industrie en schone staalproductie (directie reductie van ijzererts met DRI technologie en waterstof), biobrandstoffen en waterstof voor vrachtauto's en bussen, en synthetische brandstoffen in zee- en luchtvaart een centrale rol. Beter bosbeheer en meer bos maakt extra koolstofopname tegen beperkte kosten mogelijk. De extra elektriciteit komt van wind op land, levensduurverlenging van kernenergie en desgewenst twee nieuwe centrales waarvoor al vergunningen zijn verstrekt. Sitra raamt dat een verdubbeling van de elektriciteitsproductie in 2050 het goedkoopst mogelijk is door maximale inzet op wind op land, waarbij volstaan wordt met de nieuwe kerncentrale in Olkiluoto (Sitra, 2021). Het elektriciteitsnet wordt verzaamd, het verbruik geflexibiliseerd en van opslag voorzien. De piekcentrales worden gevoed met power-to-X en in mindere mate biogas. De totale extra investeringen bedragen in de BCG analyse 240 miljard euro in prijzen van 2019 en het kost 220 euro per jaar (wat meer dan in andere landen omdat de reductie sneller plaatsvindt). Sitra werkt met twee varianten: in de ene is maximale directe elektrificatie, in de andere meer power-to-X.



In beide gevallen zijn de broeikasgasemissies in 2035 ten opzichte van 2020 gehalveerd (van 50 naar 24 Mt), vooral in de elektriciteitsproductie, wat gecompenseerd wordt door 24 Mt negatieve emissies. In de meer gedetailleerde Sitra-raming verdubbelt het aandeel elektriciteit in de finale vraag ruwweg (van 27% in 2015 naar 46% in 2050, gevolgd door bio-energie (30%) en stadsverwarming (14%). In de PtX variant is er onvoldoende duurzame biomassa beschikbaar en moeten daarom meer synthetische brandstoffen worden geproduceerd. PtX zorgt in het basisscenario 11% van de benodigde energie en *feedstocks*, in de PtX variant is dat 22%. Dat vraagt veel extra elektriciteit: in het basisscenario is de finale elektriciteitsvraag 115 TWh, als er meer PtX nodig is komt daar 60 TWh bij. De benodigde investeringen zijn dan ook hoger. Elektrische warmtepompen zijn de belangrijkste energieleverancier van zowel de stadsverwarming (grootschalige) als individuele woningen (kleine). Traditioneel is Finland een netto importeur van elektriciteit; rond 2030 zal dat tijdelijk exporteur kunnen zijn en uiteindelijk door de stijgende vraag weer importeur.

Tekstbox 4. Het Finse beleid ter uitvoering van de netto-nul scenario's

Finland kent niet alleen scenario's, maar heeft deze zomer ook beleid vastgesteld om te uit te voeren (Huttonen et al, 2022). Hierin is de uitvoering van het Europese *Fit for 55* pakket en de reactie op de Russische inval in de Oekraïne (*RePowerEU*) meegenomen. Finland zet ook zwaar op dit beleid in omdat het ervan uit gaat dat het nieuwe exportkansen zal bieden. Bij de beleidsopzet staat het klimaatdoel weliswaar voorop, maar krijgen ook voorzieningszekerheid, kosten, de arbeidsmarkt en verschillende aspecten van rechtvaardigheid veel aandacht.

Finland profiteert hier enorm van de netto emissie opname door het landgebruik. Deze bedroeg in 2019 14,8 Mt, wat in 2035 moet zijn toegenomen naar 23,1 Mt CO₂ eq, door meer opname door bossen en hout en minder uitstoot door andere bodems. Hierdoor kan Finland zich permitteren om nog emissies te hebben uit het energieverbruik. In de huidige beleidsraming bedragen deze 16 Mt in de ESR sectoren (mobiliteit, landbouw en gebouwde omgeving), en 9 Mt in de ETS sector, zodat nog een beleidstekort bestaat. Dat is er ook in de wettelijk vastgelegde emissiereductie van 80 procent in 2040, wat verdeeld is in aparte doelen voor de ESR en ETS sectoren.

In het beleidsscenario neemt het finale energieverbruik licht af (in 2030 is het gelijk aan 2020, in 2040 10 procent lager), vooral door warmtepompen, strengere Europese normen voor auto's en energienormering van nieuwbouw. Het elektriciteitsverbruik stijgt in bescheiden mate, vooral door elektrificatie van chemische industrie en raffinaderijen. Door de strenge winters kent Finland een grote piekvraag in het elektriciteitsverbruik ten opzichte van het gemiddelde; verondersteld wordt dat de dit jaar geopende kerncentrale Olkiluoto 3 en de al aanwezige waterkracht hierin centraal staan. Het beleid veronderstelde nog dat er een nieuwe (Russische) kerncentrale zou komen naast de nu geopende. Nu dat waarschijnlijk niet doorgaat zal dat resulteren in minder elektriciteitsexport; misschien zullen private partijen belangstelling hebben voor SMR's; aangezien Finland als enige land ter wereld al tot een concrete eindberging voor kernafval heeft besloten zou dat voor hen interessant kunnen zijn. Finland vindt het acceptabel dat grote prijsveranderingen een centrale rol spelen in de toenemende flexibiliteitsvraag: industrie zal de vraag aanpassen en power-to-X de rest oplossen. Men overweegt een nationale waterstofonderneming op te richten. De gebouwde omgeving kent al veel stadsverwarming en toename van hernieuwbaar aanbod staat centraal in verdere verduurzaming hiervan (nu is al 63% van de warmte in industrie en gebouwde omgeving hernieuwbaar). Dat zal deels van afval, biomassa en restwarmte moeten komen. 'Intelligente stadsverwarming' zal ook een rol in de flexibiliteit van het energiesysteem gaan spelen. Concurrentie tussen stadsverwarming en individueel warmte-aanbod moet voor acceptabele prijzen in de stadsverwarming zorgen. Door een lagere elektriciteitsbelasting voor warmtepompen zullen deze zowel individueel als voor de stadsverwarming sterker kunnen worden ingezet.



Men denkt dat de staalindustrie (in Zweeds eigendom) het lastigst te verduurzamen is. Verondersteld wordt dat deze onderneming in Zweden voor groen waterstof en in Finland voor elektrificatie kiest, maar de vraag hoe snel dit zal kunnen zal bepalen of het beleidstekort wordt verminderd.

De transitie moet wel direct beginnen stellen beide instituten, anders is vooral de extra elektriciteit niet op tijd beschikbaar. In 2050 resteren volgens de Sitra-raming 7 Mt in de landbouw en enkele Mt in de industrie (incl. procesemissies) en gebouwde omgeving. Tegenover deze 7 Mt kunnen dan 5 Mt BECCS staan (industriële CCS wordt in deze studies bij de industriële emissiereductie meegerekend).

De laatste uit de vergelijkende studies zijn de Zweedse. Het doel is hier wat anders geformuleerd dan in andere landen. Er is een netto-nul doel voor 2045. Dit moet bereikt worden door tenminste 85% emissiereductie ten opzichte van 1990 – de rest is mogelijk door ‘aanvullende maatregelen’ zoals meer opname door bossen of projecten in andere landen. Er zijn geen overkoepelende tussendoelen, wel doelen in 2030 en 2040 voor de sectoren buiten de Europese emissiehandel (ESR), die ook weer deels door ‘aanvullende maatregelen’ (in per periode afnemende omvang) gerealiseerd kunnen worden. Voor het transport is er in 2030 een aanvullend doel. Zweden is het eerste land ter wereld waar het Parlement heeft voorgesteld ook een op consumptie gebaseerd aanvullend doel te formuleren.

De broeikasgasemissies (excl. landgebruik) bedroegen hier in 2019 54 Mt CO₂ eq, waarvan de meeste in het transport (17), de industrie (16) en de landbouw (13). De netto opname van emissies door landgebruik bedroeg 40 Mt. In het netto-nuldoel voor 2045 telt alleen de toename van landemissies mee. De BCG scenario aanpak is hier vergelijkbaar met de andere landen. Met fossielvrije elektriciteit en warmte is het land al ver gevorderd en de gebouwde omgeving is er vrijwel fossiel vrij. De opgaves zijn er in het transport, de industrie en de landbouw plus landbeheer. Dat wordt in de BCG analyse bereikt door een uitbreiding van de schone elektriciteitsproductie met 110 TWh, deels door wind op zee (16 GW) en deels door wind op land (12 GW) – er worden geen nieuwe kerncentrales in Zweden voorzien omdat de overheid niet bereid is daar geld voor uit te trekken en er een (niet-bindend) doel voor in 2040 100 procent hernieuwbaar opgewekte elektriciteit bestaat. Biomassa en interconnectie zijn, met vraagresponso, de belangrijkste elementen van flexibiliteit. CCS is in het scenario vanaf 2024 in de industrie mogelijk, de staalproductie wordt vergroend door DRI en groene waterstof, raffinaderijen worden koolstofneutraal en het aandeel *biobased* maatregelen neemt sterk toe; cementproductie zou met CCS deels koolstofneutraal kunnen worden. Technologie-kritisch zijn hier het groene staal, de CCS, vormen van vergaande efficiencyverbetering, de brandstofswitch en vermindering van plastic productie in de chemie. Het wegvervoer (ook de vrachtauto's en bussen) elektrificeren grotendeels, het aantal zware voertuigen dat op waterstof rijdt blijft beperkt, lucht- en scheepvaart switchen naar biobrandstoffen en synthetische brandstoffen. In de landbouw wordt vooral ingezet op bio-landbouw, het veen wordt minder ontwaterd, bossen worden beter beheerd en uitgebreid (en spelen een rol in de vergroening van pulp- en houtindustrie). Er blijven vooral emissies over in de landbouw. Op deze wijze zijn de netto emissies in 2045 nul en daarna negatief. Als de uitbreiding van bossen niet voldoende mogelijk is, zouden BECCS een alternatief kunnen vormen. De duurste reducties zijn CCS in de industrie en de productie van groen staal. Extra investeringen bedragen in het BCG scenario totaal 260 miljard, waarvan ongeveer de helft in elektriciteitsproductie en -netten, 10 procent in de industrie, 20 procent in de gebouwde omgeving (vooral warmtepompen) en allerlei opties in het transport. Voor verandering van het landgebruik zijn geen grote investeringen nodig. De extra kosten bedragen 100 euro per persoon per jaar tot 2045, iets minder dan in de andere landen. Dit is in de BCG analyse mede het geval omdat Zweden van oudsher al een relatief hoge en breed ingezette koolstofprijs heeft, wat heeft bijgedragen aan een relatief hoge efficiency van het energieverbruik en al veel gerealiseerde emissiereducties.

Verzamelde wetenschappelijke instituten komen in de weergave van hun resultaten door de Zweedse



Klimaatraad (Swedish Climate Policy Council, SCPC 2022) tot een vergelijkbaar, maar anders gepresenteerd beeld. De grootste emissiereducties in 2045 in dit Panoramascenario vinden plaats door meer koolstofvrije elektriciteit (15 Mt), meer energie efficiency (14 Mt), meer biomassa van bossen en landbouw (10 Mt) en CCS (8 Mt). Het grootste efficiency effect vindt plaats door elektrificatie van het transport en *modal shift* (dat laatste zou in Nederland niet tot efficiencyverbetering worden gerekend). Biomassa moet maximaal ingezet worden waar weinig alternatieven zijn en daarom moet de warmtevoorziening in de gebouwde omgeving verder elektrificeren. 98% van de elektriciteitsproductie is nu al koolstofvrij, dus daar is niet veel te verbeteren en gaat het erom het verbruik op verstandige wijze te laten toenemen. De Swedish Energy Agency verwacht dat de elektriciteitsvraag zal toenemen van 140 TWh nu naar 230 TWh, de verzamelde energiebedrijven rekenen op 240 tot 310 TWh. De Klimaatraad constateert hierbij dat de Zweedse elektriciteitsvraag in het verleden vaak te hoog is geraamd, omdat in de praktijk toch meer energiebesparing mogelijk bleek dan gedacht. De raad gaat ervan uit dat de directe elektrificatie zich wel geleidelijk zal ontwikkelen, maar dat de grote onzekerheid zit in de indirecte elektriciteitsvraag en vooral die via elektrolyse naar waterstof. Er is momenteel een grote rush op locaties voor wind op zee, en daarom gaat de raad er vanuit dat nieuwe kerncentrales niet nodig zullen zijn, mede door het politieke doel om in 2040 een elektriciteitsvoorziening te hebben die 100% hernieuwbaar is. Wel wordt geconstateerd dat, net als in Noorwegen, windenergie op land momenteel door gemeenten wordt tegen gewerkt; de oplossing daarvan wordt in financiële compensatie voor omwonenden gezocht. Biomassa is de grootste afzonderlijke energiebron in Zweden. In het Panoramascenario worden productie en verbruik daarvan nog met 15% vergroot (andere scenario's vergroten het nog verder, maar Panorama zet meer in op efficiency en elektrificatie). Bioraffinaderijen produceren plastics, de industrie maakt op biomassa gebaseerde materialen en het zware transport gebruikt biobrandstoffen. CCS is nodig waar andere maatregelen moeilijker te zijn, vooral in de cementindustrie, de staalproductie en raffinaderijen. Om de laatste 4 Mt emissie uit de landbouw te compenseren is BECCS nodig, maar Zweedse routekaarten houden op termijn de mogelijkheid van meer BECCS open, waarbij de pulp- en papierindustrie, biogenisch afval en houtresiduen voor de voeding zullen zorgen. Zweden heeft zelf geen opslagcapaciteit voor CCS en rekent daarbij op Noorwegen. Bossen zijn al jaren een stabiele *sink* in ordegrootte 38 Mt, door zorgvuldig bosbeheer kan dat meer worden.

Tekstbox 5. Twee recente nul-emissiescenario's voor Europa

In deze studie behandel ik verschillende scenario's uit de bestudeerde landen. Dat geeft een goede indruk van de verscheidenheid daarvan, maar heeft als nadeel dat het lastig is een overkoepelend beeld te krijgen. Ook is er het bezwaar dat de scenario's zijn opgesteld voor de recente ontwikkelingen op de energiemarkt, mede als gevolg van de Russische inval in de Oekraïne en het daarna ontwikkelde beleid. Deze bezwaren worden opgevangen door de in oktober verschenen scenario's van DNV (DNV 2022) en de nieuwe World Energy Outlook 2022 van het IEA (IEA 2022a).^{*} In de DNV studie worden een 'meest waarschijnlijk', en een netto-nul scenario gepresenteerd, waarbij apart wordt ingegaan op Europa. Het IEA heeft twee relevante scenario's: het nul-emissie scenario dat voor de mondiale energievoorziening in 2050 op nul emissies uitkomt en het scenario met de aangekondigde voornemens (APS), wat voor de EU in 2050 ook op nul uitkomt. Omdat dit APS scenario ingevuld is met concreet beleid en regionale informatie geeft, behandel ik vooral dit. De in de voorliggende studie bestudeerde landen maken ongeveer de helft van de broeikasgasemissies uit van wat in de DNV studie tot Europa gerekend wordt (JRC 2022) en de EU-leden ervan hebben zo'n 40 van de emissies uit de EU. De DNV en IEA studies indiceren daarmee zinvol wat het overkoepelende beeld van de hier bestudeerde landen zou kunnen zijn. In deze weergave daarvan concentreer ik me bij DNV op de inzichten uit de netto-nul variant en zet deze af tegen die uit de meest waarschijnlijke waar dat zinvol lijkt en behandel ik voor de EU het IEA APS scenario.



In het mondiale netto-nul scenario loopt Europa voorop. De zware industrie wordt er door DNV gezien als een laboratorium voor vernieuwende aanpak. Daarom bereikt Europa netto-nul emissies in 2043 als dat mondiaal in 2050 gebeurt; daarna worden de emissies negatief. De gebouwde omgeving en industrie bereiken de netto-nul het eerst, het transport het laatst.

DNV neemt de internationale lucht- en scheepvaart mee in het mondiale beeld. Dit alles gaat samen met een toenemende welvaart: per hoofd van de bevolking is het Europese inkomen in 2050 ongeveer de helft hoger dan in 2020, terwijl de bevolking er licht daalt. Het beleid gericht op netto-nul is qua opzet niet wezenlijk anders dan het meest waarschijnlijke scenario, maar steviger van aard. De Europese CO₂ prijs waarmee wordt gerekend loopt bijvoorbeeld in het meest waarschijnlijke scenario op van 90 USD in 2030 naar 135 in 2050, in het netto-nul scenario is dat van 150 in 2030 naar 250 USD per ton CO₂ in 2050, in beide gevallen met een beëindiging van vrije emissierechten en toepassing van een grensheffing in de Europese emissiehandel (CBAM), omdat er elders weliswaar ook CO₂-prijzen gelden meer lagere. Naast beprijzing van fossiele brandstoffen worden nieuwe technologieën sterk gesubsidieerd. Het *RePowerEU* programma wordt grotendeels uitgevoerd. In dit netto-nul scenario zijn er geen nieuwe verkopen van fossiele transportmotoren vanaf 2035 meer toegestaan (dus ook van vrachtauto's), wordt er in de jaren dertig een verbod op de verkoop van gas- en olie-cv's afgekondigd en wordt de afschrijvingstermijn daarvan gehalveerd. Er is een sterke ondersteuning van waterstofverbruik en van elektriciteit in de ijzer- en staalproductie; in de staalindustrie wordt Electric Arc Furnace (elektrische vlamboogovens, een technologie die nu voor het eerst in Zweden wordt toegepast) verplicht. De chemie heeft minder olie nodig door mechanische en chemische recycling - maar bijvoorbeeld kunstmestindustrie blijft nog deels op olie gebaseerd. De finale energievraag in Europa daalt in 2020-2050 met 35% (in het meest waarschijnlijke scenario met 21%). De helft van de vraag bestaat uit elektriciteit, een kwart is waterstof, 15% bio-energie en de (kleine) rest stadsverwarming en waterstof derivaten. De waterstofvraag is daarmee ruim driemaal zo groot als in het meest waarschijnlijke scenario en de elektriciteitsproductie anderhalf maal zo groot. De interconnectie van elektriciteitsverbindingen neemt nog sterker toe. Tot 2030 neemt de elektriciteitsvraag het meest toe door meer apparaten en elektrisch vervoer, vanaf 2030 door elektrisch vervoer, waterstofproductie door elektrolyse en het regelen van het onvoorspelbare aanbod van wind en zon. Van de opgewekte elektriciteit is het meest afkomstig van windenergie (iets meer op land dan op zee), bijna driekwart van wind en zon. In het transport worden nog op bescheiden schaal olieproducten gebruikt; deze vormen nog maar 7% van de *feedstock* van de procesindustrie, tegen een kwart in het meest waarschijnlijke scenario. Omdat er nog in enigerlei mate fossiele brandstoffen worden gebruikt is er in grote mate afvang en opslag van CO₂ nodig: 376 Mt tegen 269 in het meest waarschijnlijke scenario; hiernaast is er van enige *direct air capture* sprake, die ook weer een stevig elektriciteitsverbruik kent. De DNV scenario's hebben alleen betrekking op het energiesysteem, maar houden in de cijfers ook rekening met het landgebruik en methaanemissies.

In de berekeningen van DNV leidt de huidige inval van Rusland in de Oekraïne tot een ook doorwerkende afname van het gasverbruik in Europa (zie verder Tekstbox 6).

Het IEA scenario is geheel anders gemodelleerd dan dat van DNV, maar lijkt er in meegenomen beleid en uitkomsten verrassend sterk op. Dat geeft vertrouwen in de robuustheid van de uitkomsten bij gehanteerde veronderstellingen. De mate van gedetailleerdheid en transparantie van uitkomsten is bij het IEA groter. Het APS scenario veronderstelt dat de *Fit for 55* voorstellen geheel worden uitgevoerd, inclusief de voorstellen voor internationale lucht- en zeevaart, en daarmee de doelen van de Europese Klimaatwet worden gerealiseerd, dat een deel van het *RePowerEU* plan wordt uitgevoerd en dat EU zijn aandeel in het *Global Methane Pledge* levert. Ook hier stijgt de prijs per ton CO₂ in de rijke landen naar 250 USD.



De finale EU energievraag daalt in 2020-2050 met 37% - fors meer in het transport (48%), minder in de industrie (23%) en in de gebouwde omgeving ruwweg gelijk aan het gemiddelde (33%). Energiebesparing neemt zeer aanzienlijk toe.

De elektriciteitsvraag verdubbelt in deze periode ruwweg (plus 82%) en neemt in 2050 52% van de finale energievraag voor zijn rekening (twee-derde in de gebouwde omgeving, de helft in de industrie, iets minder in het transport). In 2050 wordt deze voor 52% door windenergie voorzien, voor 15% door zon en voor 12% door kernenergie. De rest is vooral waterkracht en biomassa/afval. Al rond 2035 is de EU-energievoorziening schoon. Het IEA noemt elektriciteit het 'nieuwe olie van de wereldenergie'. Dit is mogelijk door een voortgaande kostendaling van nieuwe opwekking, vooral bij wind op zee. Ook als rekening wordt gehouden met extra kosten voor flexibiliteit, is wind op zee in 2050 de goedkoopste wijze van elektriciteitsopwekking in de EU. Flexibiliteit is in dit systeem een centraal vraagstuk. Deze wordt voor ongeveer de helft door batterijen en vraagrespons geleverd, voor een kwart door waterkracht en voor de rest door centrales zonder emissies (inclusief kernenergie, centrales op waterstof/ammonia, of gas met CCS). De productie van waterstof neemt sterk toe, tot 10% van de finale vraag. Een kwart daarvan wordt gebruikt om schone brandstoffen van te maken. Het aandeel elektriciteit kan niet naar 100% stijgen, omdat met elektriciteit relatief moeilijk de benodigde hoge temperaturen in een deel van de industrie worden gerealiseerd, het moeilijk toepasbaar is in de internationale scheep- en luchtvaart, het per definitie niet gebruikt kan worden als *feedstock* in de industrie, en het niet voor de hand ligt stadsverwarming door elektriciteit te vervangen. Internationale bunkers zijn in 2030 nog iets groter dan in 2021 en de emissies daarvan zijn dan gelijk aan die van de hele EU!

De industrie verduurzaamt langzamer dan de elektriciteitsvoorziening, doordat veel schone technologie nu nog te duur is en de marges klein zijn. Centraal in de verduurzaming staat zo efficiencyverbetering en vermindering van materiaalgebruik. Staal zal uiteindelijk voor 60% door elektriciteit worden voorzien (in combinatie met herbruik van staal), inclusief opwekking van waterstof bij de productie. De chemische industrie zal nog 40% olie als *feedstock* nodig hebben, maar gebruikt in grote mate gerecycled plastic. Dat vergt nog veel beleid en overleg, omdat raffinaderijen op olieproducten veel meer verdienen dan op *feedstocks*. Een deel van de raffinaderijen zal hierdoor verdwijnen. De overige industrie zal vooral elektriciteit gebruiken maar ook schone biomassa nodig hebben. De gebouwde omgeving heeft in grote mate gedragsaanpassing nodig. Ruimteverwarming zal in 2050 voor 40% elektrisch zijn, voor 40% uit andere hernieuwbare energie (biomassa, geothermie) bestaan en voor 20% uit warmtenetten. Omdat verlichting, koeling, koken en warm water grotendeels elektrisch is, is het aandeel elektriciteit in het totale verbruik van de gebouwde omgeving hoger. Bij het transport volgt de modeluitkomst de beleidsinzet van de Europese Commissie. Het aantal vliegtuigreizen per bewoner kan nog steeds toenemen, maar niet veel. Mensen rijden efficiënter, gaan vaker met de fiets en trein.

Het IEA analyseert ook de financiering van dit scenario. Het meeste investeringsgeld zal privaat zijn. Het gaat er dus niet om de markt 'af te schaffen', maar deze om te vormen. Een uitzondering vormen de elektriciteitsnetten, die mondiaal voor ongeveer de helft publieke investeringen zullen vragen. Ook de vraag naar kritieke materialen en ketens van vraag en aanbod worden geanalyseerd. Daaruit blijkt dat vooral de voornemens tot bouw van elektrolyzers nog achterblijven bij wat nodig is en dat er een grote mate van eenzijdigheid van industriële verwerking van kritieke materialen uit China dreigt.

De vraag naar gas en kolen is in 2050 teruggebracht tot ongeveer 10% van die uit 2020, en die naar olie tot 19%. Deze worden vrijwel geheel als grondstof gebruikt, vooral olie in de petrochemische industrie. Ook bij het IEA is de gasvraag aanzienlijk verlaagd ten opzichte van die in de vorige WEO.



3. Recente beleidsontwikkeling

Vrijwel alle landen beschikken over recente nationale analyses van de voortgang van het energie- en klimaatbeleid – zoals in Nederland de jaarlijks verschijnende Klimaat- en Energieverkenning van PBL – en alle laten hetzelfde beeld zien: ten opzichte van een voorgaande editie is er (soms veel) verbeterd, maar de tussendoelen zijn nog niet in zicht. Het is belangrijk deze in ogenschouw te nemen om de scenario analyses te kunnen plaatsen. Zie voor een meer uitgebreide beleidsanalyse Boot 2021.

Tekstbox 6. Aardgasvraag in scenario's en na recente beleidsontwikkeling

Een beleidsvraag die het klimaatprobleem wat naar achteren lijkt te hebben verschoven is hoe we van het Russisch gas afkomen. Omdat vrijwel alle behandelde scenario's zijn verschenen voordat Rusland de Oekraïne binnenviel en de fossiele energieprijzen verder stegen krijgt deze vraag er maar beperkte aandacht. Weliswaar voorzien de scenario's doorgaans een forse afname van het gebruik van aardgas, maar het is er niet noodzakelijk dat dit zeer snel gebeurt. Integendeel, in de meeste scenario's speelt aardgas een rol als 'overbruggingsbrandstof', die minder broeikasgasemissies veroorzaakt dan kolen en behulpzaam is bij het tot stand brengen van een elektriciteitsvoorziening die in (zeer) grote mate uit door wind en zon opgewekte elektriciteit bestaat. Vooral Duitse onderzoekers plaatsen veel vraagtekens bij deze rol als 'overbruggingsbrandstof': de methaanemissies bij productie en transport zijn groter dan aanvankelijk berekend en daardoor is de winst van vervanging van kolen- door gasstook kleiner dan verondersteld; door nu te investeren in gasinfrastructuur (waaronder LNG terminals) wordt het gevaar van 'stranded assets' vergroot (Kemfert et al, 2022). Volgens deze onderzoekers geldt dat ook bij 'blauwe waterstof', waarbij de vrijkomende CO₂ bij productie ondergronds wordt opgeslagen.^{xi}

Er zijn al wel studies die ingaan op de gevolgen voor de gasvoorziening van het recente Europese beleid (Rystad Energy 2022; DNV 2022). Inzet van het Europese beleid is om zo snel mogelijk de import van Russisch aardgas te beëindigen. Rystad Energy veronderstelt dat dit gerealiseerd kan worden door een afname van 15 procent van het aardgasverbruik (dat is de helft van het oorspronkelijke Russische aanbod), iets meer productie uit eigen velden (zonder Groningen die gezien wordt als een veld dat alleen in het uiterste geval meer produceert) en uit omringende landen, en een zeer forse toename van LNG. In het oorspronkelijke *Fit for 55* voornemen van de Europese Commissie zou het aardgasverbruik in 2030 licht zijn gedaald. Gevolg van het *RePowerEU* voorstel dat de Europese Commissie in april presenteerde nam volgens Rystad Energy de aardgasvraag veel sterker af en bevindt zich nu binnen de bandbreedte van wat bij de voorstellen van de Europese Commissie om de klimaatambities te realiseren in 2030 gewenst was.^{xii} Deze afname was gelijk aan wat anders pas in 2040 gerealiseerd zou zijn. Aanvankelijk gaat dat, zo stelt Rystad, met hoge prijzen voor gas en elektriciteit gepaard, na 2026 kunnen deze weer dalen tot het niveau dat in 2020 als baseline werd voorzien. Omdat in de Commissievoorstellen het aardgasverbruik in 2050 zeker groter dan nul was, maakt Rystad Energy zich minder zorgen over het LNG aanbod dat hoger zal zijn dan in het oorspronkelijke basisscenario dan Kemfert et al.

In Duitsland is opmerkelijk dat het verantwoordelijke ministerie van Economie en Klimaat begin dit jaar zelf een vernietigend ogende analyse publiceerde van de voortgang van het beleid (BMWK 2022), wat uiteraard vergemakkelijkt werd omdat er een nieuwe regering was aangetreden. De emissies daalden de laatste tien jaar met 15 Mt per jaar, wat tot 2030 36-41 Mt moet worden. In 2021 werd het wettelijk vastgelegde doel voor de gebouwde omgeving overschreden.



Vooraf in de energiesector was 2021 volgens de huidige regering dramatisch slecht: de voortgang van windenergie stagneert, de versterking van de netten is vertraagd en de vraagtoename richting 2030 was systematisch onderschat (waardoor minder hernieuwbare elektriciteit nodig leek). Dat is aangepakt door een omvangrijk beleidsprogramma (het klimaat noodprogramma), waarvan alle relevante regulering dit jaar in wetgeving moet zijn omgezet, zodat de regering nog drie jaar heeft voor feitelijke uitvoering (CLEW 6 juli 2022). De eind vorig jaar ingezette prijsstijging van fossiele energie heeft dit programma deels versneld (meer aandacht voor energiebesparing), maar anderdeels vertraagd door bijvoorbeeld ruimere productiemogelijkheden voor kolencentrales. Belangrijke onderdelen hiervan zijn: twee beleidspakketten waarin jaarlijkse tenders voor wind op zee (30 GW in 2030 en 70 GW in 2045), wind op land (richting 115 GW in 2030) en grootschalige zon-PV (richting 215 GW in 2030) worden vastgelegd; extra geld naar verduurzaming van de bouwsector en industrie; de opslag op de elektriciteitsprijs vanwege hernieuwbaar opgewekte energie is verdwenen en verschoven naar de overheidsbegroting. Hernieuwbare energie is van 'algemeen belang' verklaard, waardoor tegenstand tegen specifieke projecten zwakker staat, zolang de broeikasgasneutraliteit niet is bereikt. Twee procent van de landoppervlakte komt beschikbaar voor wind op land, verdeeld tussen 1,8 en 2,2% over de verschillende Bondslanden; de minimum afstand van nieuwe windmolens tot bestaande huizen vervalt, zolang een Bondsland zijn doel nog niet heeft gehaald. Natuurbescherming van nieuwe projecten wordt gestroomlijnd. Zolang de 2% grondoppervlak niet is bereikt mag ook in natuurgebieden hernieuwbare energie worden opgewekt. Afstand tot radars en militaire objecten weegt minder zwaar. Bij elkaar zou de voorbereiding van een windproject zo van 5-8 jaar naar 2-3 jaar verkort kunnen worden. Ook de planning van netten wordt gestroomlijnd. Toch stelt McKinsey in de Energy Transition Index 2022 dat alleen met nog snellere vergunningverlening, meer netwerken en een sterkere inzet op de hele bouwketen het doel van 80% hernieuwbaar opgewekte elektriciteit in 2030 in zicht komt (CLEW 29 augustus 2022). Subsidies in efficiencyverbetering in de gebouwde omgeving verschuiven naar alleen de meest diepgaande renovaties, maar warmtepompen krijgen meer subsidie in de slechtst presterende huizen. Vanaf 2024 moet minimaal twee-derde van de energievoorziening in nieuwbouw hernieuwbaar zijn. Voor de industrie zijn de voorstellen minder concreet. Het belangrijkste instrument wordt hier een 'contract for differences' met maximaal vastgelegde extra kosten voor schone technologie. Climate Action Tracker (CAT, 2022) schat dat de emissiereductie in 2030 die eerst 50-51% zou zijn, nu 57 tot 63% kan bedragen. CAT ziet echter geen nieuw beleid om de opname van emissies door landgebruik te vergroten. Wat al deze analyses niet vermelden is dat Duitsland het zichzelf veel moeilijker heeft gemaakt om nul-emissie te bereiken door de kerncentrales voor het einde van hun levensduur te sluiten. De transportminister haalt bij lange na zijn wettelijk vastgelegde doel voor 2030 niet (Carbon Brief, 30 augustus 2022). De regering had ook de ambitie om kolencentrales eerder te sluiten dan de einddatum 2035-38 van de vorige regering. De grote producent RWE is nu daadwerkelijk voornemens dat in 2030 te doen, in ruil voor het langer openhouden van bruinkoolcentrales (2024 in plaats van 2022) (Politico, 4 oktober 2022). Het Duitse beleid concentreert zich in de herfst van 2022 vooral op de korte termijn, waarbij het niet alleen moet trachten de wegvallende Russische gas- en olieaanvoer, maar ook de verminderde Franse elektriciteitsexport door kapotte kerncentrales op te vangen. Door stagnerende kostendaling valt de feitelijke deelname aan technologie specifieke tenders voor hernieuwbare energie tegen.

Vlak voor de Conference of Parties 27 inzake het internationale klimaatbeleid in Egypte heeft Duitsland een aanvullend beleidspakket gepubliceerd, maar dit is vooral een herhaling van beleid dat al in de pijplijn zit plus aankondiging van mogelijke aanscherpingen.



Het Britse recente beleid is het afgelopen jaar gekenmerkt door een veelheid aan strategische beleidsdocumenten en overheidsstudies, maar in de ogen van veel waarnemers niet altijd veel concrete uitvoering (CCC 2022). De Britse regering publiceerde in 2021 een *Net zero strategy*, waarin vrijwel alle aanbevelingen van de CCC werden overgenomen. Vastgelegd werd ook dat in het jaar 2035 de elektriciteitsvoorziening volledig klimaatneutraal moet zijn, met als proviso dat de betrouwbaarheid dat wel mogelijk moet maken (BEIS, 2021). Er is een doel vastgesteld om in 2040 40 GW wind op zee gerealiseerd te hebben en ‘eind van deze parlementsperiode’ een finale investeringsbeslissing over een nieuwe kerncentrale genomen te hebben. De technologie specifieke tenders (voor wind op zee, wind op land en zon-PV en voor drijvende wind op zee) waren zeer succesvol, met een voorziene opbrengst van 14 procent van de huidige elektriciteitsvraag tegen aanmerkelijk lagere kosten dan de vorige tender (Carbon Brief 25 augustus 2022). Voor allerlei innovatieprojecten – waterstof, kleine kerncentrales, industriële vernieuwing, warmtepompen in de gebouwde omgeving, schone brandstoffen in de luchtvaart – is in totaal zo’n 1150 mln. Pond uitgetrokken, voor het weer invoeren van door vorige regeringen afgeschaft isoleringsprogramma in woningen 1425 mrd. En voor allerlei vormen van schoon transport 6 miljard. Voor het verbeteren van veengebieden en verbetering/uitbreiding bossen is 750 miljoen gereserveerd. De isolatiegraad van de woningen is gemiddeld belabberd, er is sinds 2013 geen serieus beleid op gevoerd en er is geen helder plan hoe dat aan te pakken (KPMG 2021). In het VK vormen de hoge energieprijzen een urgent politiek probleem en de kortstondige minister-president Truss leek minder dan haar voorganger Johnson voornemens dit thema te koppelen aan klimaatbeleid. Ze zette sterk in op meer nationale gaswinning op land en zee en bemoeilijkt grootschalige zonneparken, maar de feitelijke blokkade op nieuwe windturbines op land werd verlaten. Haar minister van Business, Energy en Industrial Strategy Rees-Mogg liet een review maken naar de manier waarop nul-emissie bereikt kan worden in de nieuwe geopolitieke context op een wijze die geen onnodige lasten veroorzaakt (Carbon Brief 27 september 2022). De in oktober aangetreden minister-president Sunak heeft nog geen duidelijk klimaatbeleid gepresenteerd.

Frankrijk heeft de opstand van de ‘gele hesjes’ vertaald in een maatschappelijke dialoog over klimaatbeleid, die tot vergaande uitspraken leidde. President Macron kon echter zijn belofte deze in grote mate onverkort over te nemen niet waarmaken, wat tot grote teleurstelling van betrokkenen leidde, hoewel dit wel degelijk tot vergaande verandering van wetgeving en verbeteringen leidde (HCC 2022, IEA 2021). Het aandeel van hernieuwbare energie in 2020 werd niet gehaald. Moeite is er vooral met wind op land, waarbij ook onzekerheid is over het beleid in de toekomst. De Klimaatraad (Haut Conseil du Climat) stelt dat er grote risico’s zijn dat ook het emissiedoel van -40% in 2030 niet zal worden gehaald. In 2021 bedroeg de afname van de broeikasgasemissies ten opzichte van 1990 nog maar 23,1%. Deze daling lijkt vooral onzeker in het transport en de landbouw. Wat er volgens de Klimaatraad vooral ontbreekt is een visie over een rechtvaardige ecologische transitie (HCC 2022). Een in 2023 op te stellen SNBC3 zou volgens de HCC verder meer operationeel moeten zijn, meer met de sectorale plannen moeten zijn verbonden en een langetermijnplan voor de publiek beschikbare financiën moeten hebben. De grote bosbranden, lage rivierwaterstanden en hoge temperaturen in de zomer hebben – in combinatie met het wegvallen van Russische gasleveranties aan Europa – voor een nieuw gevoel van urgentie voor klimaatbeleid gezorgd. De regering heeft daarom - mede als reactie op het HCC rapport, de Europese voornemens en de uitspraak van de hoogste rechter dat meer vaart gemaakt moet worden met het beleid - consultaties aangekondigd voor een nieuw energie- en klimaatbeleid en is voornemens daarna dit najaar met plannen te komen, inclusief een verdergaand energiebesparingsplan. Toch lijkt vooral de toekomst van kernenergie een politiek thema te worden, waarbij voorzieningszekerheid een overtuigender argument is dan het in het verleden was (Nature Spotlight, 5 september 2022).



De Deense klimaatcommissie doet jaarlijks verslag van de beleidsvoortgang, het laatst dit voorjaar (Klimaradet, 2022)^{xiii}. De raad constateert dat het beleidstekort van 2030, dat vorig jaar op 20 Mt werd geraamd, door recent beleid is gehalveerd. In de Nederlandse werkwijze van de Klimaat- en Energieverkenning waarin door PBL het vastgestelde en voorgenomen beleid worden berekend zouden de emissies in 2030 op een reductie van 57,1% uitkomen. Belangrijkste maatregelen daarbij waren een politiek akkoord over emissiereductie in de landbouw en de Finance Act 2022 waarin vooral geld voor ‘enabling measures’ is uitgetrokken zoals een subsidieschema voor waterstofproductie en een innovatiefonds voor negatieve emissies. De raad constateert dat er een risico richting 2050 is van een tekort aan duurzame biomassa, wat in het Deense beleid een cruciale factor is. Hij adviseert goed in kaart te brengen hoe groot het duurzaam beschikbare aanbod is – het biomassagebruik per hoofd van de bevolking is in Denemarken een veelvoud van het mondiaal gemiddelde - en hoe geprioriteerd kan worden richting duurzame brandstoffen en negatieve emissies (BECCS), waarvoor geen goed alternatief is omdat *direct air capture* (DAC) volgens de raad te onzeker is om een langetermijnbeleid op te baseren. Ook is de raad nog ontevreden over de prestaties in de landbouw, waar in de huidige ramingen de hoogste restemissies in 2050 zijn en waar emissiereducties relatief goedkoop zijn. De raad adviseert harder te werken aan de uitbreiding van schone elektriciteitsproductie, want als er daarvan niet genoeg is heeft elektrificatie geen zin en als het internationaal vervoer bij de doelstelling zou komen is er daarvoor veel power-to-X nodig. De geraamde groene waterstofproductie is volgens de raad hoger dan wat de uitbreiding van hernieuwbare elektriciteit toestaat. Mikken op waterstofproductie elders vindt de klimaatraad een beetje makkelijk, omdat dan elders CO₂-emissies zullen ontstaan. De raad zelf geeft de voorkeur aan zoveel mogelijk directe elektrificatie boven waterstof vanwege het efficiencyverlies in de productie daarvan. De OECD (2022) komt tot vergelijkbare conclusies en gaat daarbij in op de discussie rond de energiebelasting. Voor de transitie ongelukkig is deze relatief hoog op elektriciteit, dat vooral de huishoudens betalen en dat deze veel ad hoc tegemoetkomingen kent. Sinds 2020 wordt er over nagedacht hoe een toekomstvast energiebelasting er uit kan zien, waarvan de eerste conclusies in 2022 hebben geleid tot een verhoging van de koolstofprijs, maar waarvoor nog nadere voorstellen zullen volgen. De denkrichting daarbij is dat de belasting omgevormd wordt naar een koolstofprijs met stimulansen voor investeringen in energiebelasting – in elk geval gaan de bedrijven meer betalen. In het in september verschenen Klimaprogram 2022 heeft de regering op dit raadsadvies gereageerd. De regering erkent dat er een beleidstekort is. Dit zal worden ingelopen door extra maatregelen in landbouw en transport en toepassing van CCS. De regering denkt dat er nog een ruim potentieel is om het doel van 2030 te realiseren.

Ook de Zweedse klimaatcommissie (SCPC) is kritisch over het gevoerde beleid en constateert dat het regeringsbeleid niet gecoördineerd op emissiereductie is gericht (SCPC 2022). Vooral in de landbouw schiet het tekort, waar het beleid op koolstofarme energie is gericht, maar het probleem zit meer in de omvangrijke emissies van methaan en lachgas. In het bedrijfsleven zijn enkele wereldleiders, maar anderen gaan langzaam en er zijn niet veel stimulansen voor individuele gedragswijziging (KPMG 2021). Toch is dat niet het hele verhaal. Er wordt hard gewerkt om het noorden van het land tot een koolstofvrij centrum van staal- en batterijproductie te maken en er is een strategie over elektrificatie van de industrie geformuleerd. Meer industrie in het noorden zal ook bijdragen aan vermindering van de regionale onevenwichtigheid waarbij de elektriciteitsproductie zich vooral in het noorden en de vraag in het zuiden bevindt. Het elektriciteitsverbruik is sinds 1980 constant maar gaat nu stijgen, wat nieuwe eisen aan het netwerk stelt. Er is brede politieke steun voor ambitieus klimaatbeleid en de klimaatraad wacht op een wettelijk verplicht nieuw klimaat actieplan van de komende regering na de verkiezing in september. De raad juicht toe dat er in 2022 extra geld naar investeringen in de groene industrie is gegaan, maar betreurt dat er geen stappen naar verhoging van de (al lang bestaande, maar nu relatief lage) koolstofbelasting zijn gezet. Zweden heeft per hoofd van de bevolking het hoogste energieverbruik van de EU en hoewel



dat deels verklaarbaar is door de energie-intensieve industrie biedt dat mogelijkheden tot efficiencyverbetering. Omdat na deze verkiezing de enige partij die zich in het Parlement niet voor ambitieus klimaatbeleid had uitgesproken een belangrijke gedoogpositie heeft verkregen, is er toch onzekerheid ontstaan over de beleidsvoortgang. Ook heeft de Russische inval in de Oekraïne en de daarmee verband houdende prijsstijging van energie de aandacht voor klimaat naar achteren gedrukt (Thalberg, 2022).

Finland heeft per 1 juli 2022 een aangepaste Klimaatwet, waarin de noodzaak van negatieve emissies vanaf 2040 is vastgelegd. Dit was gebaseerd op een advies van de Finse klimaatraad (Finnish Climate Change Panel) uit 2019 waarin gekeken was naar criteria als gelijkheid, mogelijkheid om te betalen en historische emissies van Finland in het kader van de klimaatafspraken van Parijs. Conclusie van dit advies was dat volgens deze criteria in resp. 2036, 2034 of 2030 de netto-nulemissies gerealiseerd zouden moeten zijn en daarna negatieve^{xiv}. In tekstbox 3 is al ingegaan op het recente Finse beleid. De Finse economie is zeer energie-intensief met een belangrijke rol voor de papier- en pulpindustrie. Deze industrie had bijvoorbeeld eerder besloten tot de bouw van een kerncentrale waarvan de elektriciteit voor stabiele prijzen zou zorgen. Daarvoor was een Russisch bedrijf gekozen. Het daarvoor gesloten contract is in 2022 door de regering vernietigd. Hoewel er veel mogelijkheden voor wind op land zijn gaat het verkrijgen van vergunningen daarvoor langzaam. In september 2022 wordt een nieuwe kerncentrale Olkiluoto 3 aan het net gesloten (de bouw startte in 2005). De minister van Economische Zaken stelde in juni van dit jaar dat naast levensduurverlenging van bestaande centrales ook een nieuwe kerncentrale nodig is, maar in de recente beleidsvoornemens (zie tekstbox 4) krijgt dat geen grote plaats.

Noorwegen heeft geen formele Klimaatcommissie of anderszins een onafhankelijk orgaan dat formele schattingen van de beleidseffecten maakt. Om de toekomstige energievraag in beeld te brengen is een tijdelijke Energiecommissie benoemd die op 15 december 2022 moet rapporteren. Er is recent een landenrapport van het IEA verschenen (IEA 2022), terwijl Climate Action Tracker in juni een analyse heeft uitgebracht (CAT 2022a). De stroomproductie is vrijwel geheel koolstofneutraal, maar uitbreiding van wind op land is moeilijk door het bredere milieu- en natuurbewustzijn van de mensen (KPMG 2021). De regering heeft besloten tot een drastische verhoging van de breed ingezette koolstofprijs, die stapsgewijs zal oplopen tot omgerekend bijna 200 euro per ton CO₂ in 2030 (in de ETS sectoren minus de ETS prijs, maar in de olie- en gaswinning wordt daarvoor niet gecompenseerd). Noorwegen is het verst ter wereld over de introductie van elektrische personenauto's, door veel vormen van ondersteuning. Naar verwachting wordt eind dit jaar al het doel gehaald dat zowat alle nieuwe verkopen elektrisch zijn (incl. plug-in hybrid), begin dit jaar was dat al 22% van de vloot. Noorwegen loopt ook voorop inzake CCS omdat er zo'n hoge CO₂-prijs voor de olie- en gaswinning geldt dat opslag van CO₂ goedkoper is. Het oliebedrijf Equinor vangt al jarenlang CO₂ uit de gaswinning af en slaat het grootschalig op, werkt aan het Langskip CCS project van 1,5 Mt opslag en tekende een contract voor 5 Mt opslag van afgevangen CO₂ uit staal- en cementfabrieken plus import uit kunstmestproductie in Nederland. Noorwegen werkt ook aan blauwe en groene waterstofprojecten voor de export. Hiertoe is een routekaart opgesteld die indiceert dat er in 2025 2 hubs voor het zeetransport moeten zijn en 1 tot 2 voor de industrie. In 2030 moeten er geografisch verspreide waterstofclusters zijn die gekoppeld zijn aan de Europese markt; Duitsland heeft zich al bereikt verklaard een deel hiervan af te nemen. Door betere bosbouw wordt actief aan vergroting van sinks gewerkt. Doorgaans haalt Noorwegen zijn klimaatdoelen niet, wat dan gecompenseerd wordt met internationale *offsets* (IEA, 2022).

In alle gevallen behalve het VK zal uitvoering van de voornemens van de Europese Unie tot een versnelling van de transitie leiden. Dat geldt ook voor Noorwegen, dat het Europese beleid doorgaans trouw volgt.



4. *Vergelijking, overwegingen en betekenis voor Nederland*

Ondanks alle verschillen zijn er veel overeenkomsten in de behandelde scenario's, zoals ook in andere overzichtsstudies wordt geconcludeerd (vgl. JRC 2020; JRC en IRENA 2021). Overeenkomsten zijn: het elektriciteitssysteem, vooral gevoed door wind en zon, wordt de ruggengraat van de energievoorziening; mede omdat de deze sneller kan decarboniseren dan andere sectoren zal er een massieve elektrificatie van het eindgebruik plaatsvinden; vooral door de mindere voorspelbaarheid van wind- en zonne-energie dan fossiele brandstoffen en het grote seizoensverschil in de energievraag zal de complexiteit van het energiesysteem sterk toenemen; dit lukt alleen door snel en doeltreffend beleid, want een achterstand in 2030 kan je eigenlijk niet meer inhalen gezien het benodigde tempo tot 2045/2050; het nieuwe systeem wordt gekenmerkt door meer investeringen en minder lopende kosten, wat alleen mogelijk is door een geïntegreerde planning en maatschappelijke dialoog. Verschillen zijn er in de mate waarin de energievraag daalt; het aandeel hernieuwbare energie in de totale energievoorziening; de verhouding tussen biobrandstoffen, waterstof en synthetische brandstoffen in het (internationale) transport; daarmee de omvang van de benodigde waterstof – en in het algemeen de mogelijke uitruil tussen directe en indirecte elektrificatie; de benodigde natuurlijke of technologische *sinks* om het netto-nul plaatje rond te krijgen.

De Britse en Zweedse klimaatraad hebben goed samen gevat wat in meer scenariostudies is geconcludeerd. Om tot daadwerkelijk resultaat te komen is nodig: gemeenschappelijke doelen en verhalen; samenwerking met betrokkenen, zowel in het bedrijfsleven als van burgers; inzet op kosteneffectiviteit maar ook op acceptatie; een inzet op de lange termijn, maar flexibiliteit in de uitvoering; voldoende infrastructuur; voldoende coördinatie, organisatie en middelen (mensen, geld) in de uitvoering en daarbij vastleggen wie er gaat betalen (CCC 2019; SCPC 2022).

Er zijn maar weinig studies waarin de scenario's voor verschillende landen direct vergeleken worden (EWI/Oxford 2021). Dat is wel het geval voor Duitsland en Frankrijk als belangrijkste landen in de EU (DNA, ADEME 2022; Agora, IDDRI 2021; Energy Brainlog 2022). Ook tussen de noordelijke landen is er veel onderlinge afstemming, waaraan we in deze studie maar zijdelings hebben gerefereerd maar die wel tot uitdrukking kwam in de weergave van de studies van de Boston Consulting Group. In Tekstbox 5 heb ik een recente nul-emissiestudie behandeld die een goed overzicht voor heel Europa geeft. De vergelijkende studies van de twee landen trekken de volgende conclusies.

De vraag of gedragswijziging mogelijk is, is cruciaal en wordt in het beleid in beide landen verwaarloosd. Ook voor het energiesysteem is dat van belang. Zowel in Duitsland als Frankrijk wordt voorzien dat de elektriciteitsvraag en – productie snel stijgen. In Duitsland is dat eigenlijk in alle scenario's het geval. In Frankrijk hoeft dat bij een scenario met sterke afname van de energievraag echter niet het geval te zijn. Beide landen hebben de neiging de scenariostudies erg nationaal-georiënteerd op te stellen. Dat is echter onterecht. De omvang van kernenergie in Frankrijk heeft ook invloed op het Duitse energiesysteem. Bij handhaving van de huidige omvang van kernenergie plus toename van hernieuwbare energie zal Frankrijk elektriciteitsexporteur blijven, wat ook in Duitsland een drukkende invloed op de elektriciteitsprijs zal hebben. De omvang van de productie van zon- en windenergie is van invloed op het aantal uren dat kerncentrales zullen draaien en daarmee voor de rentabiliteit van zowel levensduurverlenging als nieuwbouw ervan (Agora, IDDRI 2021). Geraamde omvang van import en export van elektriciteit in Duitsland en Frankrijk zijn niet op elkaar afgestemd, maar van groot onderling belang voor de energiesystemen.



Mede door de verschillende oriëntaties van Duitsland en Frankrijk wordt zonder veel discussie een andere strategie voor de productie van schone gassen en synthetische brandstoffen gekozen. In Duitsland wordt in vrijwel alle scenario's geconstateerd dat er niet genoeg schone elektriciteit in het land zelf geproduceerd kan worden voor de productie van groene waterstof en synthetische brandstoffen. Deze wordt daarom grotendeels geïmporteerd, waterstof zo mogelijk uit de EU en synthetische brandstoffen die per schip worden vervoerd uit de landen waar de opwekking het goedkoopst zal zijn. Veel Duitse studies brengen dan ook in kaart hoeveel elektriciteit daar in die exporterende landen voor nodig is en betreuen de mogelijke CO₂-uitstoot daarvan. Het vraagstuk wordt echter niet diepgaand geanalyseerd: wellicht zijn er ook wel landen waar de elektriciteitsproductie omvangrijk en schoon kan zijn, wellicht ook is het een mogelijkheid voor landen die nu nog fossiele brandstoffen exporteren om voordelen te krijgen in de energietransitie die hun immers export gaat kosten. Frankrijk is beducht voor te veel import en wil in beginsel zoveel mogelijk nationaal produceren; in de meeste scenario's lukt dat ook.

In de vergelijking van de noordelijke landen komt het belang van de ontwikkeling in de landbouw en de netto opname van koolstof door landgebruik naar voren. De meeste van de noordelijke gaan ervan uit dat weliswaar 90-95% emissiereductie in een doorgaans eerder dan 2050 jaar mogelijk is, maar mikken dan nog niet op 100%. Toename van koolstofopname door landgebruik is immers veel goedkoper dan de laatste procenten emissiereductie bereiken. Maar dat vereist wel beleid, wat een langdurige aanloop heeft en nu begonnen moet worden. Het maakt ook veel uit of naast de energietransitie vanaf het begin gemikt wordt op een vernieuwing van de landbouw, of dat die enigszins op zijn beloop wordt gelaten. In het laatste geval resteren er meer emissies, die allemaal gecompenseerd moeten worden.

Niet heel vaak kiezen landen echt principiële verschillende strategieën, hoewel dat anders lijkt. Alle bestudeerde scenario's kiezen ervoor om de energie-intensieve industrie te behouden en niet af te stoten. Soms is dat impliciet – het wordt gewoon verondersteld – soms zit er ook een redenering achter. Dat is vooral in Frankrijk het geval, waar veel studies zijn gemaakt over de koolstofvoetafdruk van de nationale consumptie en wordt geconstateerd dat de wereld beter was af geweest als er meer industrie in Frankrijk was gebleven, gegeven de lage koolstofintensiteit van het nationale energieverbruik (HCC 2022). In alle gevallen loopt de elektriciteitsproductie in de decarbonisatie voorop en in veel gevallen is de landbouw het laatst. De overgrote mate van te gebruiken technologie bestaat al, 10 tot 15% is in de fase van eerste toepassing of R&D (McKinsey 2020). Het grootste verschilpunt is kernenergie. In het geheel van de energievoorziening is – afgezien van Frankrijk met zijn relatief grote aandeel hiervan in de elektriciteitsproductie – de vraag of wel of niet voor kernenergie wordt gekozen niet van doorslaggevend belang. Het gaat dan om een verschil van orde grootte 10 of 20 procent van de elektriciteitsvoorziening, dus 5 of 10 procent van de totale energieproductie. Zelfs in de Franse ADEME scenario's is deze keuze alleen een variantverschil in een scenario. Verschil is er verder in de aanpak van waterstof, waar het VK en Nederland ook voor 'blauwe' waterstof (gas plus CCS) opteren, terwijl de andere landen alleen voor 'groene' (schone elektriciteit met elektrolyse) kiezen (EWI, Oxford 2021). Reden van de keuze voor ook 'blauwe' is dat in de meeste scenario's deze rond 2030 nog aanmerkelijk goedkoper is dan 'groene'. Of dat met de huidige gasprijzen nog zo is, is de vraag. Verder kiest Duitsland voor de import van veel waterstof, maar dat is meer omdat het niet anders kan dan een principiële keuze.

De meeste scenario's behandelen de te maken kosten en benodigde investeringen voor de transitie. Hoewel vaak wordt ingegaan op de noodzaak deze op rechtvaardige wijze te laten plaatsvinden, wordt dat doorgaans niet in sommen uitgewerkt. Dat zou meer mogelijk moeten zijn. McKinsey laat bijvoorbeeld voor heel Europa zien dat de transitie zo vorm gegeven kan worden dat mensen met laagste en middeninkomens er wat op vooruit gaan en de hogere inkomens per saldo betalen (McKinsey 2020).



Omdat McKinsey net als de Boston Consulting Group in de studie op transparante wijze gebruik maakt van marginale kostencurves is goed te zien waarom scenario uitkomsten zo makkelijk op enkele punten kunnen verschillen. Sommige kosten liggen zo dichtbij elkaar dat kleine verschillen in veronderstellingen tot grote andere uitkomsten kunnen leiden. Volgens McKinsey is dat vooral het geval bij de keuzes tussen waterstof en BECCS, bij het internationale transport (bio- of synthetische brandstoffen) en bij de vraag hoe de flexibiliteit in de elektriciteitsvoorziening tot stand komt. Veel scenariostudies laten dat uiteraard in varianten zien.

Voor Nederland komen hier nog drie overwegingen bij. Allereerst plaatst de transitie ons in elk geval getalsmatig voor een grotere opgave dan de andere landen, omdat we in 2020 minder hadden gereduceerd en daarbij netto emittent in het landgebruik zijn. De Duitse opgave om in 2030 -65% te bereiken is ten opzichte van de huidige emissie kleiner dan de Nederlandse om -55% te bereiken en het VK heeft meer jaren (tot 2035) om een ten opzichte van 2020 in procentpunten gelijke emissiereductie van 78% te bereiken dan Nederland tot 55% in 2030 (elk zo'n 30 procentpunt). Maar zelfs als die grotere opgave gerealiseerd zou worden – en ook in Duitsland en het VK is men er niet zeker van dat de kleinere lukt – dan nog is de restemissie in Nederland in 2030/2035 hoger. Landen met netto opname in landgebruik hebben echter meer mogelijkheden die mee te rekenen. Voor Nederland heeft dat getalsmatig alleen betekenis als we de verbetering daarvan op onze rekening kunnen schrijven, niet als het om absolute emissies of opnames gaat. Het zal in de EU echter nog veel discussie vragen voordat duidelijk is of dit wordt toegestaan. Een derde overweging is de omvangrijke energie-intensieve industrie in Nederland. Vooral in Duitsland is de nodige aandacht hiervoor vergelijkbaar. Verder is er de relatief grote omvang van internationale bunkers in Nederland. Alleen in het VK worden de internationale lucht- en scheepvaart tot de nationale klimaatopgave gerekend. In Denemarken heeft de Klimaatraad al geadviseerd om dat ook te doen en te verwachten is dat dit in meer landen onderwerp van discussie zal worden. In het VK ging het daarbij om een relatief grote extra opgave, in de meeste andere landen kan dat veel kleiner zijn. Gegeven de internationale betekenis van de Nederlandse havens en Schiphol gaat het echter in Nederland om relatief grote cijfers. Het is dus een belangrijke vraag of dit in Nederland al of niet tot de doelstelling wordt gerekend. Het lijkt belangrijk dit eerst van alle kanten te bekijken voordat conclusies worden getrokken.

Van de onderzochte landen hebben Frankrijk en Nederland nog het meeste werk te verrichten. Frankrijk schuift dat voor zich uit door een lage doelstelling voor 2030 aan te houden, maar kan uiteindelijk (zo dat binnen de EU mogelijk blijft) negatieve emissies uit landgebruik meerekenen. Nederland heeft het echter op drie fronten lastig. De emissiereductie in 2020 loopt, soms fors, achter bij die van de andere landen. Er kan niet teruggevallen worden op koolstofopname van het landgebruik. Er is ook een omvangrijke landbouwsector, die in de bestudeerde landen vaak enigszins ontzien wordt in het klimaatbeleid en waarvan de Nederlandse emissiereductie in de 2021 raming van de Klimaat- en Energieverkenning van het PBL relatief achterbleef in het doelbereik (PBL 2021). En ten derde zou opname van internationale lucht- en scheepvaart in het emissiedoel voor Nederland relatief grote betekenis hebben. Voorzichtig zouden we kunnen concluderen dat Nederland het relatief moeilijk zal hebben het huidig doel te bereiken als niet beleidsmatig ook fors op gedragsverandering wordt ingezet. Opname van de internationale bunkers in het emissiedoel is inhoudelijk uiteraard nastrevenswaardig, maar zou eerst goed geanalyseerd moeten worden voordat daartoe zou worden besloten.

5. Conclusies

Het voorgaande leidt tot de volgende tien conclusies.

De bestudeerde landen hebben ambitieuze einddoelen, zij het met enige verschillen. Het VK gaat het verst door in het wettelijk vastgelegde doel van netto-nul ook emissies van de internationale sloop- en luchtvaart mee te nemen, Duitsland door dat weliswaar niet te doen maar het doel in 2045 te willen bereiken en Finland door in 2045 netto-nul te willen emitteren maar daarna negatieve emissies te willen realiseren. Het Noorse doel van -90/95% emissiereductie gaat het minst ver en voldoet ook niet aan de recente Europese wetgeving. De landen hebben in meer- of mindere mate ook tussendoelen. Frankrijk heeft daarbij verreweg het minst ambitieuze tussendoel (-40% in 2030), wat het des te moeilijker zal maken in 2050 netto-nul te realiseren.

Nederland verkeert daarbij op enkele punten in een relatief lastige positie. De emissiereductie ten opzichte van 1990 was er in 2020 met 25,5% het minst, dus de opgave om netto-nul in 2050 te bereiken is het grootst. Het tijdvak 2020-2050 is in duur gelijk aan 1990-2020, dus het tempo moet verdrievoudigen. Daarbij kent Nederland een relatief omvangrijke energie-intensieve industrie en relatief omvangrijke internationale bunkers. Ten tweede hebben Nederland en Denemarken van de bestudeerde landen als enige netto-emissies door landgebruik. De koolstofopname van landgebruik kan dus niet getalsmatig aangewend worden om netto-nul te bereiken, wat in de andere noordelijke landen en Frankrijk wel mogelijk is. Hoe begrijpelijk en inhoudelijk nuttig het ook is om als Nederland te overwegen net als het VK en gesuggereerd in Denemarken het internationaal vervoer aan de nationale doelstelling toe te voegen, daarvoor moet wel een goede analyse gemaakt worden of dat wel reëel mogelijk is.

Hoewel er geen absolute tegenstelling is tussen technologische en gedragsmaatregelen om emissiereductie te realiseren, maakt een nadruk op de een of ander veel uit. Beide zijn noodzakelijk. Gedragsmaatregelen zijn goedkoper, kunnen vaak eerder tot stand komen en kunnen de netto-import meer beperken. Maar ze vallen niet uit de lucht en zullen net zoals technologie om doeltreffend beleid vragen. De Europese scenario's versterken dat beeld.

Alle nul-emissiescenario's voorzien afname van de energievraag. De finale energievraag daalt in bijvoorbeeld Duitsland afhankelijk van het scenario met 28 tot 51% tot 2045 en die in Frankrijk met 27 tot 55% in 2050. In recente scenario voor heel Europa gaat het om 35-37%. Maar daling met een kwart of met de helft maakt heel veel uit voor de benodigde productie en infrastructuur. In navolging van de voorstellen van de Europese Commissie voor 2030 lijkt het zinvol daar ook voor 2050 een doelcijfer voor te stellen en beleid te formuleren dat daadwerkelijk te halen.

De scenario's in de bestudeerde landen besteden weinig aandacht aan de structuur van de economie. Ook de gedragsscenario's formuleren vooral algemene maatschappelijke beelden, van bijvoorbeeld meer of minder afname van vleesconsumptie of gerealiseerde aandelen recycling. Minder aandacht is er voor de vraag of dat vlees of de gebruikte materialen dan ook in dat land geproduceerd worden en wat dat voor het energiegebruik en de emissies betekent. Frankrijk is het land met het duidelijkste beleid gericht op 're-industrialisatie', vanuit de veronderstelling dat import van industrieproducten tot een grotere mondiale koolstofemissie leidt (de Franse koolstofintensiteit is immers relatief laag). Ook in de noordelijke landen is veel aandacht voor de ontwikkeling van groene industrie, maar in alle bestudeerde landen krijgt dat nog weinig overtuigend vorm. De Europese scenario's illustreren dat verschuivingen in bijvoorbeeld staal- en petrochemische industrie onvermijdelijk zijn.

De in de te maken scenario's te maken keuzes leiden ook tot meer of minder resterende import. Altijd zal deze dalen ten opzichte van de huidige dominante import van fossiele energie. Frankrijk, de noordelijke landen en het VK kiezen daarbij voor een in beginsel nationale productie van schone energie. Duitsland denkt dat dat niet mogelijk is en veronderstelt in alle scenario's soms zeer omvangrijke import van groene waterstof en synthetische brandstoffen. Waterstof komt daarbij meestal vooral uit EU landen, maar synthetische brandstoffen van overal in de wereld. Dat zorgt voor nieuwe afhankelijkheden, maar biedt ook – in navolging van voornemens van de Europese Commissie - mogelijkheden de exporterende landen te helpen bij hun energietransitie.

Dit hangt ook samen met de toename van de elektriciteitsproductie. Deze wordt in 2045/2050 op doorgaans 1,5 tot 2,5 maal de omvang van de huidige gesteld. De elektriciteit zal geheel of grotendeels (waar ook kernenergie wordt gekozen) van hernieuwbare oorsprong zijn. Merendeels gaat het hier om elektriciteit direct voor de afnemers, maar er worden ook groene waterstof en synthetische brandstoffen van gemaakt. Doorgaans is het directe elektriciteitsgebruik ongeveer de helft van het finale energieverbruik, met – onder meer onzekerheden - ruwweg twee-derde van de rest voor waterstof en een derde voor synthetische brandstoffen, maar waar van veel biomassa sprake kan zijn kunnen de laatste twee aandelen lager zijn. Er bestaan uiteraard ook andere getallen. De toename van de elektriciteitsproductie vraagt om tijdige antwoorden over de verzwaring en uitbreiding van netten en de vraag of kernenergie gewenst is of niet. Dat laatste is alleen in Frankrijk met haar grote aandeel kern in de elektriciteitsproductie een hoofdvraag. In Finland wordt er over gesproken, het VK overweegt sterk om in elk geval één grote nieuwe kerncentrale te bouwen, Duitsland stopt ermee en Noorwegen en Denemarken hebben het niet.

Deze vragen hebben ook een internationale component. In sommige scenariostudies wordt de interconnectie geacht tot driemaal zo omvangrijk als de huidige te worden, andere stellen dat met de huidige voornemens volstaan kan worden. Frankrijk heeft bandbreedtes van 0 tot 150 TWh export, Duitsland van 0 tot 50 TWh import, noordelijke landen voorzien veelal afwisselende netto im- en export. Dat moet op elkaar afgestemd worden om tot een vruchtbaar geheel te smeden. Interconnectie speelt een belangrijke rol in de te creëren flexibiliteit van de elektriciteitssystemen met daarbij behorende marktinstrumenten, en beïnvloedt op zijn beurt de noodzakelijke *demand response*, opslag en centrales die primair in de (winter)piek moeten draaien. Die centrales op hun beurt komen er wellicht niet zonder specifieke vormen van beloning, die ook beter tussen de landen onderling kan worden afgestemd.

Alle scenario's voorzien restemissies. Deze lijken onvermijdelijk (zoals procesemissies in de cementindustrie, methaanemissies van koeien), maar daarmee niet onbeïnvloedbaar. Als er meer met hout wordt gebouwd is minder cement nodig, en als minder vlees wordt gegeten of melk wordt gedronken zijn er minder koeien nodig. De samenhang daarvan is echter niet absoluut, want op melk gebaseerde babypoeder wordt grotendeels geëxporteerd. Net zoals bij de structuur van de economie zullen landen moeten bepalen welke ambitie zij hierin hebben en welk beleid nodig is om daaraan te werken. Denemarken loopt hier met een expliciet op landbouwemissies gericht concreet beleid voor op Nederland. Vervolgens is de vraag wat er met de compensatie van restemissies gebeurt. Daarbij kan primair worden ingezet op natuurlijke oplossingen – zoals minder uitstoot door veen of turfland, meer bossen, beter bosbeheer – en in welke mate ook technische oplossingen zoals de combinatie van biomassa en CCS (BECCS) nodig zijn. CCS wordt doorgaans in de scenario's al verondersteld en speelt een rol in het terugdringen van industriële emissies of die van de elektriciteitsvoorziening.



Ten slotte is daarbij van belang welke visie de landen hebben op het gebruik van biomassa. De scenario's laten hier verschillende beelden zien, waarbij het biomassaverbruik in de energievoorziening sterk kan toenemen (zodat minder synthetische brandstoffen nodig zijn), ongeveer gelijk kan zijn, of kan dalen omdat ze meer nodig geacht worden in het materiaalgebruik. Voor landen met een omvangrijke eigen houtproductie zijn dit makkelijker discussies dan in landen waar import van biomassa dominant is en het gebruik per hoofd van de bevolking soms al relatief hoog zoals Denemarken.

Geraadpleegde literatuur

ADEME 2022, Transition(s) 2050, Choisir maintenant agir pour le climat (samenvatting in Engels)
Agora, Oko-Institut, Prognos 2021, Klimaneutrales Deutschland 2045
Ariadne Report 2021, Deutschland auf dem Weg zur Klimaneutralität 2045, Szenarien und Pfade im Modellvergleich, Kopernikus Project Ariadne
Barker A. e.a. 2022, Towards net zero emissions in Denmark, OECD Econ. Dep. Working paper no 1705
BCG 2022, Boston Consulting Group, Norway's path to net zero (idem voor Finland, Denmark, Sweden)
BEIS 2021, Department for Business, Energy & Industrial Strategy, Net zero strategy
BMWK 2022, Bundesministerium für Wirtschaft und Klima, Germany's current climate action status
BNA 2022, Bundesnetzagentur, Genehmigung des Szenariorahmens 2023 – 2037/2045
Boot 2021, Ervaringen met energie- en klimaatbeleid in omringende landen: wat kunnen we ervan leren?
PBL Carbon Brief (daily and weekly information)
CAT 2021 en 2022, Climate Action Tracker rapporten over het VK (16 november 2021), Duitsland (1 juni 2022) en Noorwegen (29 juni 2022)
CCC 2019, Climate Change Committee, Net zero – the UK's contribution to stopping global warming
CCC 2022, 2022 Progress Report to Parliament
CLEW 2022, Clean Energy Wire Weekly
Deloitte 2021, France's turning point. Accelerating new growth on the path to net zero
DENA 2021, Leitstudie Aufbruch Klimaneutralität
DENA, ADEME 2022, Szenarien für Klimaneutralität in Deutschland und Frankreich, Das Energiesystem der Zukunft
Dixon J. e.a., Which way to net zero? A comparative analysis of seven UK decarbonisation pathways. Renewable and Sustainable Energy Transition vol 2, augustus 2022
DNV 2021, Energy Transition Norway
DNV 2022, Energy Transition Outlook 2022
EEA 2022, European Environment Agency, Annual European Union greenhouse gas inventory 1990-2020 and inventory report 2022, EEA publ. 2022/023
EWI/Oxford Institute for Energy Studies 2021, Contrasting European hydrogen pathways: An analysis of different approaches in key markets
HCC 2022, Haut conseil pour le climat, Depasser les constats, Mettre en oeuvre les solutions, rapport annual House of Lords 2022, Environment and Climate Change Committee, 1st Report of Session 2022-23, In our hands: behaviour change for climate and environmental goals, 12 October
Huttunen, R et al 2022, Carbon neutral Finland 2035 - national climate and energy strategy, Ministry of Economic Affairs and Employment
IDA 2021, IDA's climate response 2045 – How Denmark can become climate neutral, Danish society of engineers and Aalborg university
IEA 2021, International Energy Agency, Energy Policy Review France
IEA 2022, International Energy Agency, Energy Policy Review Norway
IEA 2022a, World Energy Outlook 2022

Johansen K, S. Werner 2022, Something Is sustainable In the State of Denmark: A review of the Danish district heating sector, Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 158, April

JRC 2020, Towards net-zero emissions in the EU energystem by 2050 (I. Tsiropulos e.d.)

JRC 2022, CO2 emissions of all world countries

JRC and IRENA 2021, Benchmarking scenario comparisons: key indicators for the clean energy transition

Kemfert C et al 2022, The expansion of natural gas Infrastructure puts energy transitions at risk, Nature Energy 7, 4 July

Klimaprogram 2022, Klima-, Energi- og Forsyningsministeriet, September

McKinsey & Company 2020, Net-zero Europe, Decarbonisation pathways and socio-economic implications

Klimaradet 2022, Status Outlook

KPMG 2021, Net zero readiness index

Loffler, K et al 2022, Chances and barriers for Germany's low carbon transition - Quantifying uncertainties in key Influential factors, Energy vol 239, 15 January

Menu, Thibault 2021, Denmark: A case study for climate-neutral Europe, Ifri.

National Grid 2022, Future Energy Scenarios

PBL 2021, Klimaat- en Energieverkenning 2021

RTE 2021, Energy pathways to 2050, Key results

Rystad Energy 2022, Rebalancing Europe's gas supply, Opportunities In a new era, September 2022

Schiffer, H-W et al 2022, Taking Stock of the Energy and Climate Profile of Germany and the US: New Potential for Cooperation

SCPC 2022, Annual report of the Swedish Climate Policy Council

Sitra 2021, Enabling cost-efficient electrification in Finland, Studies no 104

Swedish Energy Agency 2022, Energy in Sweden

Thalberg, K 2022, The Swedish energy transition, A race far from won, Notre Europe Jacques Delors Institute, 9 September

Noten

-
- i Minister van Economische Zaken en Klimaat, Contouren Nationaal plan energiesysteem, 10 juni 2022.
 - ii In de CCPI ranking 2022, die prestaties inzake schone energie- en klimaatbeleid van landen vergelijkt, staat Zweden nr. 4 (CCPI vindt geen enkel land goed genoeg om met zekerheid het mondiale Parijsdoel van temperatuurstijging liefst tot 1,5 te beperken), Denemarken 5, Noorwegen 6, het Verenigd Koninkrijk 7. Duitsland staat op 13, Finland op 14, Frankrijk op 17 en Nederland op 19. België staat op 49. In de KPMG Net zero readiness index waarin minder landen worden bestudeerd, staat Noorwegen 1, het VK 2, Zweden 3, Denemarken 4, Duitsland 5 en Frankrijk 6.
 - iii Een andere vraag is of dat zo kosteneffectief is. McKinsey wijst erop dat een Europese aanpak waarin de doelen per land meer zijn afgestemd op de te maken kosten voor heel Europa goedkoper zou zijn. De Benelux en Frankrijk zouden dan minder doen – wellicht niet toevallig de landen waarin de doelreductie in 2020 relatief laag is – en de noordelijke landen meer. De gemiddelde kosten van zo'n breed-Europese aanpak zouden 25 euro per ton reductie lager zijn dan de huidige (McKinsey 2020).
 - iv In het VK begon de opname van het internationaal vervoer ook met een formeel advies van de Committee on Climate Change. In Finland zorgde een in 2019 verschenen advies van de klimaatcommissie voor het recent aanscherpen van het doel, waarbij de milieuminister juist de wetenschappelijke status van het advies als belangrijk argument benadrukte.
 - v Wiese verwijst in zijn studie ook naar het grote Ariadneproject waarin verschillende Duitse instituten en universiteiten in hun scenarioproject samenwerken, maar zijn cijfers suggereren dat hij daarbij niet de eindpublicatie (Ariadne 2021) heeft gebruikt. Ik zal daarom ook apart aandacht aan deze omvangrijke scenariostudie besteden.
 - vi Een belangrijke studie die in Duitsland veel wordt genoemd is die van Agora 2021. Omdat Wiese deze behandelt verwijs ik er in dit rapport niet apart naar.
 - vii De beschrijving berust vooral op BCG 2022; DNV 2021 geeft een minder gedetailleerd maar op hoofdlijnen vergelijkbaar beeld.
 - viii Noorwegen kan er ook voor kiezen blauwe waterstof te maken van het gewonnen gas plus CCS. Het zou de huidige gasleidingen op termijn ook kunnen gebruiken om CO₂ te importeren en dat op te slaan (DNV 2022); het zou ook per schip kunnen, zoals de Nederlandse vestiging van Yara van plan is.
 - ix Het meenemen van emissies van internationale lucht- en zeescheepvaart zou voor de getallen van Denemarken van grote betekenis zijn. In 2020 bedroegen deze volgens IDA 13,9 Mt. Barker e.a. (2022) geeft een percentage van 15,3. In het scenario van de Deense ingenieurs worden deze ook gedecarboniseerd en resteert daarvan in 2045 1,5 Mt. IDA heeft daarom meer power-to-X nodig dan BCG (IDA 2021).
 - x Het DNV model is geen optimaliseringsmodel, maar wordt naar eigen zeggen gekenmerkt door non-lineariteit, meenemen van inertie en verbondenheid van sectoren. Daarmee wordt ook gedrag in de modellering meegenomen.
 - xi Kemfert et al (2022) sluiten hierbij aan bij het Duitse beleid dat meer ziet in 'groene' dan in 'blauwe' waterstof.
 - xii Rystad Energy onderzoekt de vraag naar de EU27 en het VK gezamenlijk. Als men de voorstellen uit RepowerEU combineert met het Britse scenario van de Net Zero Strategy bij hoge elektrificatie resulteert in 2030 een aardgasvraag van 215 mrd m³. In het Fit for 55 voorstel was de berekende aardgasvraag op weg naar netto nul emissies in 2030 230 mrd m³.
 - xiii Deze beschrijving doet geen recht aan de prestaties van het Deense energie- en klimaatbeleid. Zie voor een samenvatting daarvan bijvoorbeeld Menu 2021 of Boot 2021.
 - xiv In deze studie indiceerde de Finse raad dat dit voor Duitsland 2034, 2034 en 2030 zou moeten zijn en dat het voor Zweden niet te bepalen was vanwege omvangrijke koolstofopname door bossen.

