



Strategisk energiplanlægning

ADAPT-energisystemanalyse

CENTRALE POINTER TIL BRUG FOR KOMMUNALE/REGIONALE
PROJEKTER OM STRATEGISK ENERGIPLANLÆGNING

STATUSNOTAT
August 2014

1.	Resumé og hovedpointer	3
2.	Projekter om strategisk energiplanlægning	5
3.	Målsætningen	7
3.1	Regeringens målsætning	7
3.2	Energiaftale til 2020.....	7
4.	Vilkår for strategisk energiplanlægning.....	8
4.1	Danmarks omverden.....	9
4.2	Efterspørgslen	11
4.3	Ressourcerne	12
4.4	Teknologien	13
4.5	Økonomien	14
5.	Centrale SEP-pointer.....	16
5.1	Robusthed	16
5.2	Effektivitet.....	18
5.3	Fleksibilitet	20
6.	Sammentænkning af energisystemet	22
6.1	Fremtidens energisystem – nye roller.....	22
6.2	El-systemet: Leverandør af vedvarende energi.....	23
6.3	Varmeforsyningen: Fra el-producent til el-forbruger.....	24
6.4	Gasforsyningen: Forsyningsikkerhed i hele systemet	26
6.5	Transportområdet: Energieffektiv mobilitet	27
6.6	Procesindustrien: Konkurrencedygtig VE-energiforsyning	28
7.	Afrunding	29

1. Resumé og hovedpointer

Danske kommuner og regioner bliver i 2014 - 2015 sammen med en lang række danske energiaktører engageret i at arbejde med strategisk energiplanlægning. Arbejdet gennemføres i et antal projekter, hvor der arbejdes tværkommunalt i større geografisk sammenhængende områder.

Dette kortfattede notat er tænkt som et bidrag til de projekter, der arbejder i større geografisk sammenhængende områder, og hvor målet er at arbejde med scenarier for fremtidens energisystem, der peger frem mod den danske målsætning om 100 % vedvarende energi i 2050. Disse regionalt afgrænsede projekter kan fremadrettet få stor betydning ved at belyse, hvorledes en energiomstilling kan gennemføres med udgangspunkt i kommunale/regionale ressourcer, udviklingsstrategier, organisationsformer og samarbejdsmuligheder.

Omstillingen af den danske energiforsyning til 100 % vedvarende energi kommer imidlertid også til at ske på en række vilkår, som kun i begrænset omfang kan påvirkes af lokale, kommunale og regionale beslutningstagere. Disse er først og fremmest: udviklingen i verden omkring Danmark, efterspørgslen efter energitjenester, størrelsen af de vedvarende energiressourcer, den teknologiske udvikling og de økonomiske rammevilkår.

Idet udviklingen i vilkårene kan være vanskelig at forudsige i et tidsperspektiv, der rækker helt frem til 2050, er der en række grundlæggende egenskaber ved fremtidens energisystem, som er ønskelige, uanset hvilket udviklingsspor der vælges. Med de usikkerhedsmomenter, der ligger i forhold til fremtiden, er det ønskeligt, at det valgte udviklingsspor besidder:

- **Robusthed**
- **Energieffektivitet**
- **Fleksibilitet**

Der er naturligvis en vis indre sammenhæng mellem de tre begreber, idet energieffektivitet og fleksibilitet i sig selv giver en form for robusthed. De tre begreber udgør dog alligevel forskellige fokusområder. I dette notat forstås der følgende ved de tre begreber:

Ved robusthed forstås, at VE-scenariet har holdbarhed over lang tid (gerne til 2035 og 2050), således at implementeringen af scenariet i bedste fald kan realiseres i nogenlunde uafbrudt sammenhæng og uden radikale ændringer under vejs. Holdbarheden skal gerne give sig udslag i, at eventuelle langsigtede ændrede politiske prioriteringer, ændringer i brændselspriser, ændringer i den teknologiske udvikling, ændringer i de økonomiske vilkår, ændringer i bæredygtighedskrav med videre kan imødegås eller håndteres indenfor strategiens rammer.

Ved effektivitet forstås, at energitjenester i form af fx varme, lys og transport kan leveres ved brug af et minimum af brændsler. Herved sikres dels god resourceudnyttelse, dels at energisystemet og forbrugeren er mindre udsatte for langsigtede prisstigninger på brændsler og el.

Ved fleksibilitet forstås, at det valgte VE-system eller VE-scenarie kan håndtere de udfordringer, der er forbundet med en fremtid, der domineres af stærkt fluktuerende el-produktion fra især vindkraft og hvor sektorer som el-systemet, varmesystemet, gassystemet, transportsektoren og industrien skal kunne indgå i nye roller og samspil.

Tabel 1: Robusthed, energieffektivitet og fleksibilitet.

Hovedmål	Delmål	Formål med delmål / optimeringskriterier
At etablere en energiforsyning baseret på 100 pct. VE i 2050 omkostningseffektivt og forsynings sikkert	Robusthed	<i>Der er lang vej til 2050. Valg af omstillingsspor skal være robuste over for usikkerheder omkring ressourcepriser, teknologiudvikling og politiske valg hele vejen til målet, så der undgås investering i dyre blindgyder (se afsnit 5.1)</i>
	Energieffektivitet	<i>Behovet for energitjenester (nettoenergiforbrug) vil stige med levestandarden. Energieffektivisering skal sikre, at vi får mere output (energitjenester) for mindre input (bruttoenergiforbrug).</i>
	Fleksibilitet	<i>De største vedvarende energiresourcer i Danmark som fx vind og sol er fluktuerende og dermed til stede "som vinden blæser og solen skinner". Jo højere fleksibilitet der er i resten af energisystemet, jo billigere bliver omstillingen til store mængder fluktuerende, vedvarende energi.</i>

For at opnå et robust energisystem baseret på vedvarende energi, skal hele energisystemet i højere grad sammentænkes fremover. Med nye dominerende energikilder som vind, sol og bølger (der teoretisk set er ubegrænsede, men fluktuerende) og energibiomasse (en forholdsvis stabil afgrænset ressource, men prisfølsom på længere sigt), skal energisystemet tænkes på en anden måde og med nye supplerende roller til el-systemet, varmesektoren, gassektoren og transportsystemet.

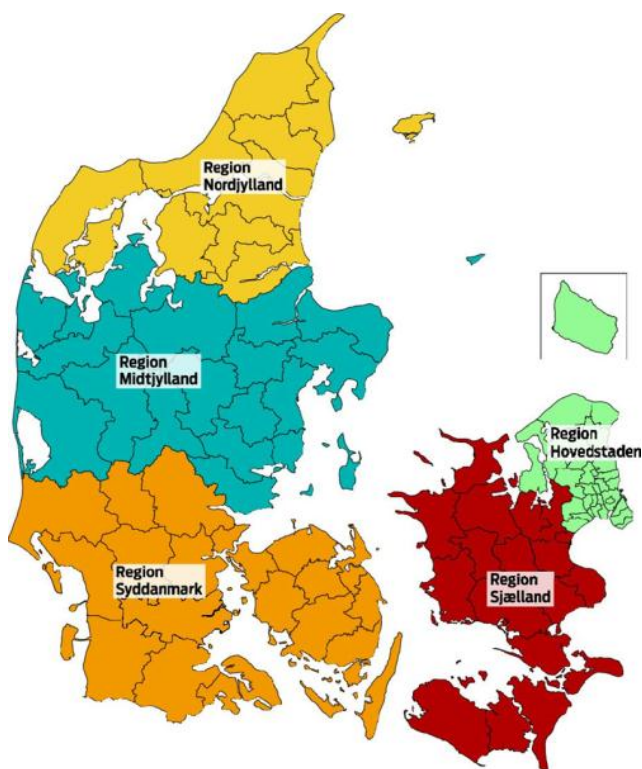
Notatet fremhæver i korthed nogle opmærksomhedspunkter og centrale pointer, der er hensigtsmæssige at tage i betragtning i forbindelse med strategisk energiplanlægning, når VE-scenarier for fremtidens energiforsyning skal tilføres robusthed, effektivitet og fleksibilitet.

2. Projekter om strategisk energiplanlægning

Energistyrelsen har bevilget støtte til gennemførelse af en række tværkommunale projekter om strategisk energiplanlægning i 2014 - 2015¹. De tværkommunale SEP-projekter er som udgangspunkt geografisk afgrænset indenfor områder svarende til de fem danske regioner: Hovedstaden, Sjælland, Syddanmark, Midtjylland og Nordjylland. Danske kommuner, hvoraf nogle er med i mere end ét projekt, vil udføre projekterne i partnerskaber bestående af kommuner, regioner, varmeværker, kraftværker, energiselskaber, vidensinstitutioner, brancheorganisationer, virksomheder, energirådgivere m.fl.

En del af projekterne er opbygget som tværkommunale samarbejder, der vil gennemføre analyser på tværs af kommunegrænserne indenfor et regionsområde. I forlængelse heraf vil projekterne i forskellig udstrækning stille mod udarbejdelse af VE-scenarier for den fremtidige energiforsyning i geografiske områder svarende til regionerne.

Figur 1: De 5 regioner og 98 kommuner.



Energinet.dk skal med baggrund i en sammenhængende og helhedsorienteret planlægning varetage driften og udbygningen af den danske el-transmission og gastransmission. Målsætningen om en omstilling til vedvarende energi indebærer imidlertid, at der i fremtiden vil blive stillet større krav til helhedstækning og en højere grad af integration af delsystemer som el-systemet, varmesystemet, gassystemet, industrien og transportsektoren.

¹ 'Strategisk energiplanlægning' forkortes ofte blot til 'SEP'.

En helhedsorienteret tilgang til opgaven indebærer, at alle betydende dele af det fremtidige danske energisystem undersøges i sammenhæng og på tværs af sektorer. Herudover forudsætter en helhedsorienteret tilgang til opgaven, at der sikres en bred dialog mellem alle danske energiaktører på statsligt, regionalt og kommunalt niveau. Energinet.dk er derfor opmærksom på vigtigheden af dels at bidrage med faglige input til SEP-projekterne, dels at indgå i en dialog med SEP-projekterne om de fælles udfordringer og muligheder i energiomstillingen.

I helhedstænkningen kommer forsyningsikkerhed til at spille en afgørende rolle for fremtidens vedvarende energisystem. Denne sikkerhed omfatter naturligvis helt grundlæggende en forsyningsikkerhed i form af brændsler, men også forsyningsikkerhed i form af en stabil leverance af el vil i fremtiden indebære en meget betydende udfordring.

Igennem de senere år er der fremkommet en række analyser, der giver bud på omstillingen af den danske energiforsyning til vedvarende energi. Eksempler herpå er Ingeniørforeningens '*Energiplan 2030*', Klimakommissionens '*Grøn energi – vejen mod et dansk energisystem uden fossile brændsler*', CEESA's '*Coherent Energy and Environmental System Analysis*' og Energinet.dk's '*Energi 2050 – Udviklingsspor for energisystemet*' og '*Energi 2050 – Vindspor*'.

Nærværende notats pointer og konklusioner ligger i forlængelse af de resultater og pointer, som de nævnte analyser har frembragt. Der er således i stor udstrækning kontinuitet og sammenhæng mellem tidligere analysers generelle konklusioner og de pointer, der er fremhævet i dette notat.

Grunden til at strategisk energiplanlægning er i fokus i disse år er, at omstillingen af et samlet energisystem vil kræve meget store økonomiske investeringer. I og med at der indenfor de kommende år sættes meget store økonomiske investeringer i spil i energisektoren, skal det gerne lykkes at finde de rigtige udviklingsspor allerede i starten af processen og derved undgå at træffe forkerte investeringsbeslutninger, der risikerer at låse udviklingen i en uheldig retning.

Dette notat er et bidrag til de regionalt afgrænsede projekters arbejde med strategisk energiplanlægning. Notatet er blandt andet skrevet med baggrund i et samlet analysearbejde af danske energiscenarier for 2035 og 2050, som Energinet.dk har gennemført i de forudgående år.

Notatet repræsenterer ikke nogen form for manual eller vejledning til opstilling af scenarier for vedvarende energisystemer. Notatet fremhæver alene nogle **opmærksomhedspunkter og centrale pointer**, som bør medtænkes i den fremadrettede strategiske energiplanlægning i kommunerne og regionerne. Det er herved Energinet.dk' håb, at pointerne kan bidrage til overvejelser over fremtidens energisystem og fungere som udgangspunkt for udbytterige diskussioner, når de tværkommunale SEP-projekter skal udmøntes i konkrete VE-scenarier med en perspektivering frem mod 2035 og 2050.

3. Målsætningen

I Danmark er der bred politisk opbakning til en omstilling af energiforsyningen til vedvarende energi. Målsætningen er, at hele energiforsyningen – el, varme, industri og transport – i 2050 dækkes af vedvarende energi.

3.1 Regeringens målsætning

Med baggrund i, at klodens ressourcer er svindende og den stigende globale efterspørgsel efter energi presser priserne på de fossile brændsler i vejret har regeringen fastlagt nogle milepæle frem mod 2050, hvor Danmarks energiforsyning skal dækkes af vedvarende energi. Det er ikke længere muligt at bygge velstand på anvendelse af knappe fossile ressourcer. Fremtidens velstand forudsætter energieffektivisering og vedvarende energi. Derfor skal vi nu øge vores investeringer i energieffektiviseringer og en fremtidig energiforsyning, der ikke er bundet til de fossile brændsler og ikke belaster klimaet².

Tabel 2: Regeringens energipolitiske milepæle frem mod 2050. Fra 'Vores energi', Regeringen, november 2011.

2020	2030	2035	2050
Halvdelen af det traditionelle elforbrug er dækket af vind	Kul udfases fra danske kraftværker Oliefyr udfases	El- og varmforsyningen dækkes af vedvarende energi	Hele energiforsyningen – el, varme, industri og transport – dækkes af vedvarende energi

Initiativerne frem til 2020 resulterer i en reduktion af drivhusgasudledningerne på 35 pct. i forhold til 1990

3.2 Energifortale til 2020

Med Folketingets energiforlig fra 22. marts 2012³, som gælder frem til og med 2020, er det aftalt, at det danske bruttoenergiforbrug i 2020 skal være reduceret med 12 % (i forhold til 2006-niveauet), at Danmark i 2020 er oppe på at anvende godt 35 % vedvarende energi, og at 50 % af det traditionelle danske elforbrug til den tid er dækket af vindkraft.

Det indgår også i energifortalen, at Energistyrelsen i løbet af 2013 gennemfører et analysearbejde på:

- Anvendelse af bioenergi i Danmark.
- Den fremtidige anvendelse af gasinfrastrukturen.
- Fjernvarmens rolle i den fremtidige energiforsyning.
- Mulighederne for bedre udnyttelse af overskudsvarme fra industrien.

Analyserne, som fremlægges i 2014, bliver centrale værktøjer for den fremadrettede strategiske energiplanlægning.

² Fra 'Vores energi', Regeringen, november 2011.

³ Forlig mellem Folketingets partier undtaget Liberal Alliance, 22. marts 2012.

4. Vilkår for strategisk energiplanlægning

Over tid er der hos danske energiforbrugere efterhånden udviklet et grundlægende krav om, at den danske energiforsyning skal præstere en høj grad af forsyningssikkerhed. Dette indebærer, at Danmark fremover har adgang til de nødvendige brændsler (fx indenlandsk eller importeret biomasse), rådighed over en dansk el-produktionskapacitet i samspil med muligheden for import af el via udlandskablerne samt en dansk gasproduktion i samspil med import af gas fra udlandet.

Der er hos danske energiforbrugere en forventning om strøm i stikkontakten til enhver tid året rundt, varme på radiatorerne i vinterhalvåret og tilstrækkeligt med drivmidler til transportsektoren. Dette betyder, at der også for et fremtidigt energisystem baseret på vedvarende energi skal medtænkes en langsigtet, tilstrækkelig og driftssikker produktion, infrastruktur og systemteknik til fremstilling og distribution af el, varme og transportservice til de danske energiforbrugere.

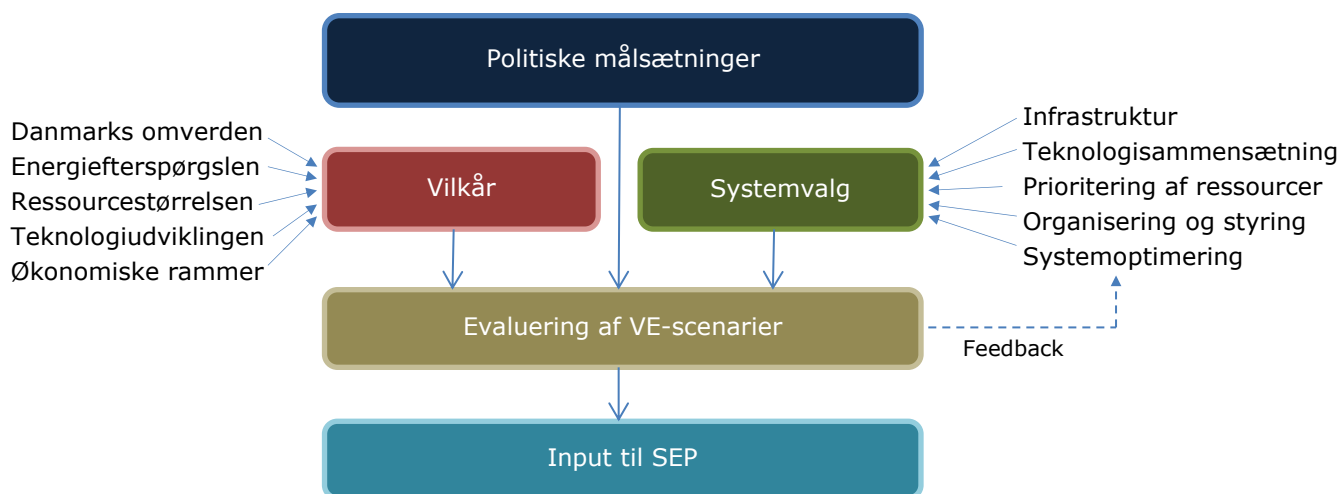
På el-området opdeles begrebet forsyningssikkerhed gerne i de to underbegreber *systemtilstrækkelighed* og *systemsikkerhed*. *Systemtilstrækkelighed* er el-systemets evne til at dække forbrugernes samlede efterspørgsel både i kraft af en tilstrækkelig kapacitet til el-produktion og en tilstrækkelig el-infrastruktur. *Systemsikkerhed* er el-systemets evne til at klare pludselige forstyrrelser såsom elektriske kortslutninger eller uventede udfald af systemelementer. I en fremtid med fluktuerende el-produktion fra vindmøller, solceller og bølgekraft vil udfordringen i forhold til systemtilstrækkelighed og systemsikkerhed ikke blive mindre.

Figur 2: Forsyningssikkerhed.



Omstillingen af Danmark til fossilfri energiforsyning vil udover et grundlæggende hensyntagen til forsyningssikkerheden finde sted på en række givne vilkår. Prioriteringen af de politiske målsætninger for 2020, 2030, 2035 og 2050 giver i sig selv bindinger på rækkefølgen i omstillingen. Ligeledes vil en række andre forhold give betydende bindinger: udviklingen i Danmarks omverden (både i Europa og globalt), udviklingen i efterspørgslen efter energitjenester, begrænsninger i VE-ressourcerne samt udviklingen i de teknologiske muligheder og de økonomiske rammevilkår.

Figur 3: Rammen for strategisk energiplanlægning – såvel for kommunerne som for Energinet.dk.



4.1 Danmarks omverden

Omstillingen af det danske energisystem afhænger i høj grad af udviklingen på energiområdet både i Europa og globalt. Udviklingen i det europæiske område får i kraft af de efterhånden mange kabelforbindelser til udlandet især betydning for den elpris, som danske forbrugere skal betale i fremtiden, og for den pris som den danske el-producent kan opnå. Den globale udvikling får især betydning for prisudviklingen på de fossile brændsler, den internationalt handlede biomasse og CO₂-kvoteprisen.

I den ene situation kan vi forestille os, at alle verdens regeringer fortsætter stort set uændret med landenes nugældende klimapolitikker – i det følgende blot kaldt 'Nuværende politik'. I den anden situation kan vi forestille os, at alle verdens lande indleder en ambitiøs omstilling af den globale klimapolitik - i det følgende kaldt 'Ambitiøs klimapolitik'⁴. De to situationer, der kan betragtes som en slags yderpunkter, er i deres rene form velegnede til at illustrere de grundlæggende udviklingsvilkår for en fremtidig omstilling af det danske energisystem.

⁴ De to situationer svarer i princippet til International Energy Agency's (IEA) opstilling af globale udviklingsscenarier for klimapolitikken. 'Nuværende politik' svarer i princippet til IEA's *Current policies scenario*, mens 'Ambitiøs klimapolitik' i princippet svarer til IEA's '450 ppm scenario'.

Tabel 3: Spændet i den mulige udvikling i Danmarks omverden.

<p>'Nuværende klimapolitik'</p> <p>Internationalt</p>	<p>'Ambitiøs klimapolitik'</p> <p>Internationalt</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Prisstigning på fossile brændsler. • Moderat international efterspørgsel og prisudvikling på biomasse. • Stigning i nordeuropæiske elpriser (på grund af prisen på fossile brændsler), men dog forholdsvis stabile nordeuropæiske elpriser. • Forholdsvis stort udbud af termisk el-produktionskapacitet i Europa, baseret primært på fossile brændsler⁵. 	<ul style="list-style-type: none"> • Afdæmpet efterspørgsel og prisstigning på fossile brændsler. • Forstærket international efterspørgsel og prisudvikling på biomasse. • Svingende elpriser som følge af kraftig udbygning med vindmøller, solceller og bølgekraft i Nordeuropa. • Begrænsning i udbud af termisk el-kapacitet i Europa som følge af stor vindkraftkapacitet og gennemsnitligt lave elpriser.

Hvis forholdsvis få nationer, heriblandt Danmark, er de første lande til i stor udstrækning at gennemføre en gradvis omstilling til vedvarende energi, kan en omverden baseret på 'Nuværende politik' på det kortere sigt måske give Danmark nogle fordele i kraft af begrænset international efterspørgsel på biomasse samtidig med en mærkbar stigning i fossile brændselspriser. Hertil kommer at en generel europæisk tilbageholdenhed over for omstilling til grøn energi kan fastholde en forholdsvis høj europæisk kapacitet på termisk el-produktion (overvejende baseret på fossile brændsler), der kan komplementere og dermed understøtte den danske udbygning på især vindmølleområdet.

Hvis derimod forholdsvis mange nationer, heriblandt Danmark, i de førstkomende år begynder at bevæge sig mod en omverden baseret på 'Ambitiøs klimapolitik', kan dette medføre international konkurrence om begrænsede globale biomasseressourcer til energiformål, samtidig med en aftagende stigning i efterspørgslen på fossile brændsler. I den situation vil Danmark være blot ét blandt mange lande, der påbegynder udbygning med vindkraft, solceller, bølgeenergi og anvendelse af biomasse. Konkurrencen på energimarkedet mellem de grønne teknologier kan herved blive større, samtidig med at det over hele Europa generelt set kan blive mindre attraktivt at drive store centrale kraftværker på grund af konkurrence fra vindkraft, solceller og bølgeenergi.

Der er ovenfor skitseret to situationer, der er vigtige at forholde sig til i forbindelse med dansk strategisk energiplanlægning. På den ene side er det ikke urealistisk, at verdens lande på grund af økonomisk afmatning i flere år fremover generelt set er forbeholdne over for at satse på en grøn omstilling. På den anden side kan det ikke udelukkes, at øget pres på de tilbageværende fossile ressourcer, stigende miljøproblemer i de nye industrilande og uønskede lokale,

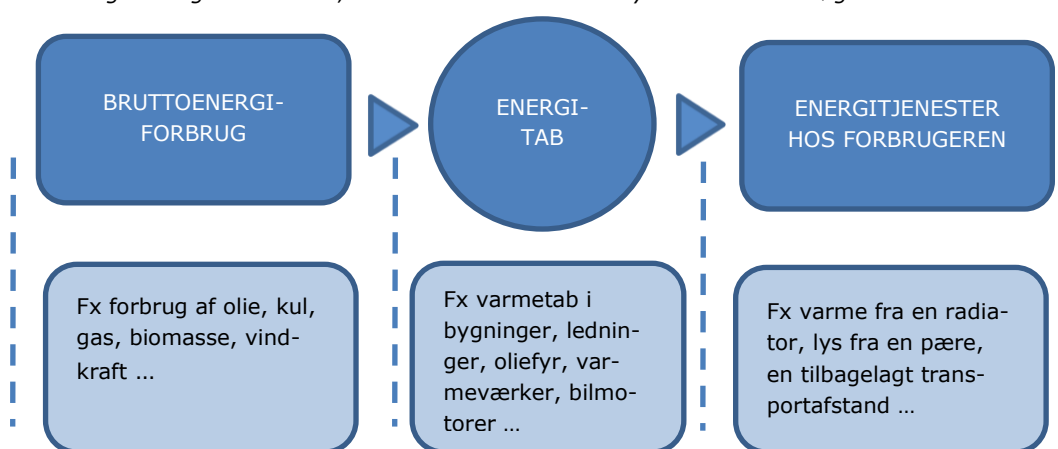
⁵ Termisk el-produktion er el fremstillet på grundlag af forbrænding af fx kul, gas eller biomasse.

regionale og globale klimaeffekter kan fremskynde en bred global interesse i en forceret omstilling mod en mere grøn energiforsyning.

4.2 Efterspørgslen

Uanset udviklingen i Danmarks omverden vil efterspørgslen efter energitjenester i Danmark forventeligt samlet set stige frem mod 2050. Hvis dette ikke skal medføre en uønsket stigning i det danske bruttoenergiforbrug, skal det samlede danske energisystem effektiviseres.

Figur 4: Bruttoenergiforbrug og systemeffektivitet, når energien på fx varmekæder, kraftværker eller i transportmidler skal omsættes til energitjenester som rumvarme, belysning og transportarbejde. Forbruget af energitjenester kan øges, samtidig med at bruttoenergiforbruget reduceres, forudsat at den samlede systemeffektivitet øges.



Som følge af klassiske energibesparelser i form af fx hulmursisolering i bygninger, udskiftning til energiruder m.v. forventes efterspørgslen på energi til opvarmning af boliger at falde. Boliger og kontorrum og lignende bliver i fremtiden mere energieffektive og behovet for energi til opvarmning af rum derfor reduceret.

Derimod forventes elforbruget samlet set at stige. Det såkaldte klassiske elforbrug⁶ forventes stort set at holde sig uændret frem mod 2050, mens nye former for elforbrug til drift af varmepumper og transport forventes at øges betydeligt. Efterspørgslen efter eldrevne energitjenester vil således forventeligt samlet set stige mærkbart frem mod 2050.

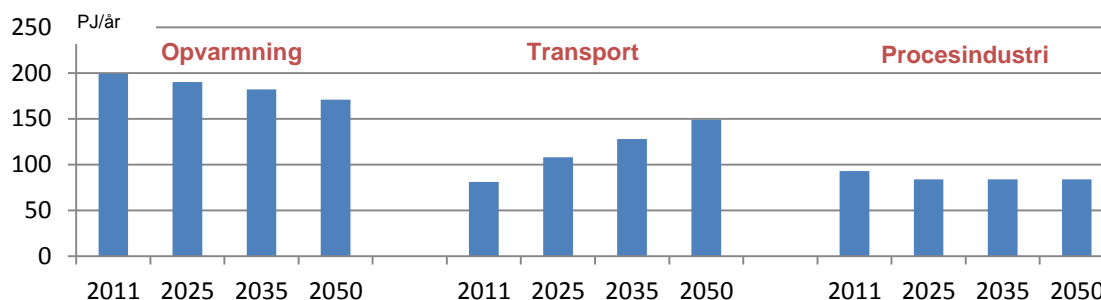
Transportsektoren vil ligeledes opleve en øget efterspørgsel efter flere transportkilometre til transport af både mennesker og gods. En øget effektivisering ved brug af fx eldrevne transport og hybridbiler kan medvirke til at begrænse et øget bruttoenergiforbrug i transportsektoren.

Vi vil derfor frem mod 2050 opleve en – samlet set – vedvarende stigning i efterspørgsel efter energitjenesteydelser, samtidig med at vores bruttoenergiforbrug skal reduceres. Energieffektivisering og optimering af den samlede sy-

⁶ Svarer til det i dag kendte traditionelle elforbrug til belysning, drift af hårde hvidevarer, computere, tv, cirkulationspumper, elforbrug i industri og handel med videre.

stemeffektivitet er derfor et kardinalpunkt for systemændringen frem mod 2050.

Figur 5: Udviklingen i udvalgte energitjenester i Danmark frem mod 2050. Baseret på Energinet.dk's analysearbejde.



4.3 Ressourcerne

Nutidens dominerende VE-ressourcer i Danmark er vindkraft og biomasse. Dette forventes også at være tilfældet i fremtiden. Den grundlæggende udfordring med ressourcerne er imidlertid, at biomassen ofte fremstilles et andet sted end der, hvor den skal forbruges, og at ikke al biomasse er egnet til længere transport. Hertil kommer at udnyttelse af biomassen kan være følsom over for problemstillinger i forhold til bæredygtighed og begrænsning i arealer til produktionen. Vindressourcen er karakteriseret ved en fluktuerende produktion, og som følge af meget begrænsede muligheder for lagring af el, er en optimal udnyttelse af den danske vindkraft ikke uden vanskeligheder. En god udnyttelse af ressourcerne forudsætter derfor, at der arbejdes strategisk og på tværs af kommune- og forsyningsgrænser for at sikre en god udnyttelse.

Anvendelse af vindenergi eller anvendelse af biomasse skal ikke ses som to forskellige veje til at omstille Danmark til vedvarende energi. I ethvert VE-scenarie for Danmark, en dansk region eller en dansk kommune vil der indgå både vindkraft og biomasse i forskellige udstrækninger. Udfordringen er at finde frem til, hvorledes balancen mellem de to dominerende ressourcer kan optimeres i samspil med solvarme, geotermisk varme og andre VE-kilder. Disse VE-kilder skal udgøre et sammenhængende energisystem under hensyntagen til samfundsøkonomi, forsyningsikkerhed og bæredygtighed.

Det danske vindkraftpotentiale kan teoretisk set dække Danmarks samlede energiforbrug mere end én gang. Men begrænsninger i opstillingsmuligheder for vindmøller, som kan skyldes både miljø og økonomi, samt grænser for hvor meget vind det rent systemteknisk er muligt at udnytte, medfører, at vind kun kan blive en del af den samlede løsning.

Det tekniske potentiale for produktion af biomasse til energiformål i Danmark er vurderet til 250 PJ om året⁷. Det udgør under en tredjedel af Danmarks nuværende bruttoenergiforbrug. En betydende del af ressourcen fremkommer i dag som restprodukter fra skov- og landbrug, mens en mindre del udgøres af affald.

⁷ Klimakommissionen: Grøn Energi, september 2010.

I fremtiden kan en del af den danske energibiomasse fremkomme fra produktion af deciderede energiafgrøder, hvis der kan afses arealer hertil. I givet fald øges det danske biomassepotentiale til cirka 300 PJ om året⁸.

I forbindelse med strategisk energiplanlægning er spørgsmålet ikke i så høj grad, hvorvidt biomasse skal forsøges udnyttet i den danske energiforsyning eller ej, eller om import af biomasse til Danmark skal forsøges undgået eller ej. For det vil blive vanskeligt med de nuværende teknologiske muligheder at lave en fuldstændig omstilling til vedvarende energi i 2050 uden brug af biomasse, hvis det skal ske på et samfundsøkonomisk bæredygtigt grundlag. Ligeledes vil det – uagtet at forsyningssikkerhed på ressourcer er et vigtigt samfundshensyn – være forventeligt, at Danmark som en del af en åben og global verden også i fremtiden vil både importere og eksportere biomasse som en gængs handelsvare.

Grunden til alligevel at være særligt opmærksom på anvendelse af biomasse til energi ligger i, at både den danske og den globale biomasseressource på sigt forventes at være prisfølsom. Denne prisfølsomhed kan skyldes flere faktorer:

- Anvendelse af arealer til produktion af energibiomasse vil ske i konkurrence med, at de pågældende arealer kan anvendes til andre formål – fx fødevarerproduktion, produktion af gavntre, naturområder, byområder eller andet.
- Produktion af biomasse, enten som restprodukter fra skov- og landbrugssektoren eller som deciderede energiafgrøder, kan være forbundet med betydelige problemstillinger i forhold til bæredygtigheden. Problematikker i forhold til bæredygtigheden må forventes at blive øget i takt med stigende global efterspørgsel på ressourcen.
- Fremtidige krav til sikring af, at anvendelse af biomasse reelt er CO₂-neutral kan risikere at reducere det samlede globale biomassepotentiale betydeligt.

Med baggrund i biomassens prisfølsomhed, er det relevante spørgsmål i forbindelse med den strategiske energiplanlægning derfor, om en påtænkt anvendelse af en given mængde biomasse i en given konkret situation rent faktisk er den optimale anvendelse af ressourcen ud fra en samlet systembetragtning, samfundsøkonomisk vurdering og hensyntagen til forsyningssikkerhed.

Hvis der findes anvendelige og samfundsøkonomisk fornuftige alternativer til en påtænkt konkret anvendelse af en given biomasseressource, bør dette indgå i den strategiske tænkning.

4.4 Teknologien

I et tidsperspektiv frem til 2050 er det en udfordring for strategisk energiplanlægning at tage højde for den fremtidige teknologiudvikling og ændringer i teknologiernes omkostningsniveau. Alle vedvarende energiteknologier må forventes at undergå en både teknisk og økonomisk udvikling frem mod 2050.

En god hjælp til at indkredse nuværende og forventede fremtidige teknologiske muligheder samt teknologiernes anskaffelses- og driftsomkostninger kan hentes

⁸ Klimakommissionen: Grøn Energi, september 2010.

i *Teknologikataloget*⁹. Et hovedformål med teknologikataloget er at sikre et ensartet, alment accepteret og aktuelt grundlag for planlægningsarbejdet i forbindelse med fx fremskrivninger, scenarieanalyser og teknisk-økonomiske analyser. De enkelte teknologier, som er beskrevet i kataloget, er så vidt muligt sammenlignet for samme år. Basisåret for aktuelle, nugældende data er 2015. Forventninger til den fremtidige udvikling for teknologierne med hensyn til teknologiens formåen og økonomi er angivet for årene 2020, 2030 og 2050.

4.5 Økonomien

Begrænsede økonomiske ressourcer og hensynet til andre sektorer i samfundet vil til enhver tid definere rammen energisystemet udviklingsmuligheder.

Samfundsøkonomi

Den danske målsætning om en langsigtet omstilling af hele energisektoren til vedvarende energi kommer til at kræve meget store årlige investeringer i nye teknologier, ny infrastruktur og nye systemer frem mod 2050. I forbindelse med sammenligninger og vurderinger af forskellige teknologier, VE-scenarier og energisystemer er det vigtigt at samfundsøkonomi anvendes som beslutningskriterium. Ved at lægge vægt på samfundsøkonomien reduceres muligheden for at vælge systemer, hvor delsystemer er suboptimeret på bekostning af det samlede energisystem, fordi der (principielt) ses bort fra kassetænkning og fordelingseffekter.

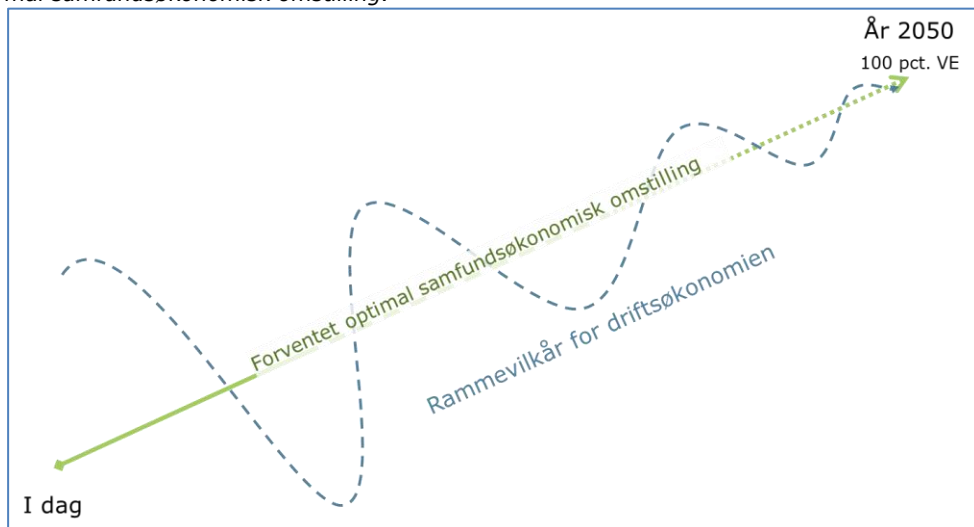
Driftsøkonomi

Hvor teknologikataloget kan give god hjælp til gennemførelse af samfundsøkonomiske analyser af et givent energisystem, er et helt andet spørgsmål hvornår en teknologi kan forventes at være driftsøkonomisk (kommercielt) attraktiv at investere i for fx et varmeværk, en el-producent eller en forbruger, når der også skal tages højde for afgifter og tilskud. Afgørende herfor er den fremtidige udvikling af de danske afgifter på og tilskud til energi, idet en specifik afgift eller tilskud på en bestemt produktion eller forbrug kan være bestemmende for, hvornår det kan betale sig at investere.

En operationel måde at håndtere denne problemstilling på i forbindelse med opbygning af energiscenarier er at antage, at staten efterhånden vil tilpasse de afgiftsbestemte rammevilkår for en given teknologi i takt med, at teknologien bliver samfundsøkonomisk attraktiv. Altså: at ikke lang tid efter at en teknologi generelt er blevet samfundsøkonomisk attraktiv, vil staten efterfølgende tilpasse de økonomiske rammevilkår med henblik på at fremme investeringer i teknologien. Hvis denne fremgangsmåde anvendes, kan *Teknologikataloget* anvendes til at indkredse tidspunktet for en given teknologis tekniske, samfundsøkonomiske såvel som driftsøkonomiske modenhed, samt angive hvilke ændringer i rammebetingelserne, der i øvrigt skal til for at muliggøre de ønskede investeringer.

⁹ For Teknologikataloget og datablade se Energistyrelsens hjemmeside:
<http://www.ens.dk/info/tal-kort/fremskrivninger-analyser-modeller/teknologikataloger>.

Figur 6: Rammevilkårene for driftsøkonomien vil med tiden indlejre sig omkring en optimal samfundsøkonomisk omstilling.



5. Centrale SEP-pointer

Vilkårene for den strategiske energiplanlægning indebærer, at mange forhold kan nå at ændre sig i løbet af de kommende godt 35 år: omverdenen kan udvikle sig anderledes end forventet; efterspørgslen efter energitjenester kan ændres i takt med de økonomiske konjunkturer; udnyttelsesmulighederne af vedvarende energiressourcer kan øges ved brug af nye metoder eller begrænses som følge af nye krav til bæredygtighed; de teknologiske muligheder kan forbedres og de økonomiske rammebetingelser kan lempes eller strammes (jf. afsnit 4).

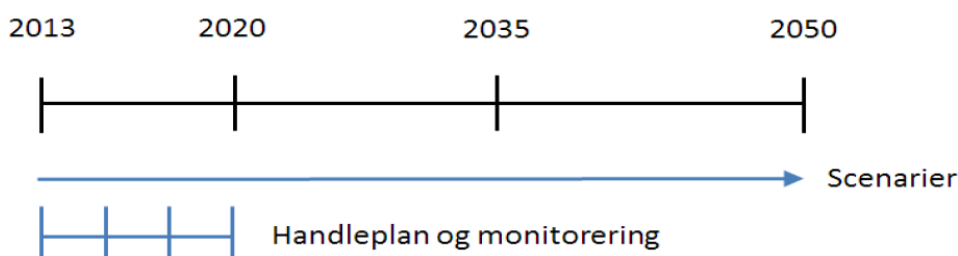
Fremtiden udvikler sig ofte anderledes end det forventede. Robuste VE-scenarier til at imødegå uforudsigelighed og inddæmme eventuelle fejlbeslutninger kan vise sig at blive en god investering. Energinet.dk kan pege på tre afgørende egenskaber ved et langtidsholdbart udviklingsspor for fremtidens energisystem.

Et holdbart system besidder: **Robusthed, effektivitet og fleksibilitet.**

5.1 Robusthed

Planlægningshorisonten frem til 2050 indebærer, at der over de kommende godt 35 år er tid til at planlægge og gennemføre en gradvis og balanceret omstilling af energisystemet. Der er således et tilstrækkeligt langt tidsperspektiv til at tage højde for, at nye teknologier vil modnes kommercielt gradvist frem mod 2050, og der er ligeledes mulighed for at sikre en balanceret udbygning med teknologier, således at produktion og forbrug kan følges nogenlunde ad.

Figur 7: Kommunale og regionale energiscenarier bør tegne udviklingen helt frem til 2050 og gerne med en mellemstation i 2035. Scenarierne skal lægge rammerne for en handleplan med en kortere tidshorisont fx frem til 2020. Kilde: Strategisk energiplanlægning i kommunerne – Vejledning i analyser af systemændringer og scenarieanalyser, Energistyrelsen 2013.



Undgå 'lock-in' effekter

Tidshorisonten frem til 2050 er dog ikke længere end at nogle af de investeringer, der vil finde sted allerede i løbet af 2014 – 2020 også vil være med os i 2034 – 2040 og senere. Dette skyldes, at VE-energianlæg kan have tekniske levetider på op til 15, 20 og for enkelte teknologier måske op til 30 år. Realisering af "ikke-strategiske" investeringer i løbet af de allernærmeste år kan derfor

utilsigtet risikere at være bindende og begrænsende for det samlede systems udviklingsmuligheder, når vi når frem til 2030, 2040 og 2050.

Det afgørende er derfor, at de tiltag der gennemføres på det korte sigt frem mod 2020 – 2030 ikke låser udviklingen på en måde, der er u hensigtsmæssig i forhold til de teknologiske og økonomiske muligheder, der kan forventes at være til rådighed senere i forløbet. Des mere et energisystem er tilpasningsegnet i forhold til fremtidige ændringer, des mindre er risikoen for ikke-planlagte omkostninger. På engelsk tales der om, at man skal forsøge at undgå en 'lock-in' effekt – altså en fastlåsnig i et bestemt udviklingsspor eller en bestemt systemudvikling på grund af kortsigtede gevinster og hensyn til suboptimering. Der vil i givet fald være tale om lock-in omstillingsspor, som det kan koste både tid og penge at frigøre sig fra igen. Investeringer, der gennemføres på det korte sigt frem til 2020 - 2030, bør således være investeringer, hvor risikoen for en senere fortrydelse er minimeret.

Medtænk udfasningen af den fossile energi

I forbindelse med planlægning for omstilling til vedvarende energi overses det ofte, at det er lige så vigtigt at planlægge for en god udfasning af den fossile energi som for en god indfasning af den grønne. Fossil energi vil være med os helt frem til 2050. Kul på de centrale værker til 2030, naturgas i varme- og elsektoren til 2035 og olie og naturgas i industrien og transportsektoren helt frem til 2050. I en overgangsfase fra fossil til vedvarende energi, skal der i strategisk energiplanlægning indgå overvejelser over på hvilken måde den fossile energi udfases bedst muligt (både systemteknisk og økonomisk) i samspil med indfasningen af den vedvarende. En vellykket udfasning af den fossile energi kan tilføre omstillingen økonomisk stabilitet i form af god udnyttelse af allerede eksisterende anlæg og infrastruktur, der ikke nødvendigvis er udtjente eller økonomisk afskrevet.

Følsomhedsanalyser

For at sikre systemets holdbarhed helt frem mod 2035 og 2050 er det hensigtsmæssigt at robusthedstjekke VE-scenariet for ændrede forudsætninger. Ved analyser 35 år frem i tiden kan der ske markante ændringer i priserne på fx biomasse, den årgennemsnitlige elpris, prisen på fossile brændsler og CO₂-kvotepriserne. Herudover kan der ske ændringer i renteudgiften til investering i VE-anlæg – selv mindre udsving i renten kan medføre betydelige ændringer for et energisystems samlede omkostninger, især hvis systemet er "kapitaltungt". Endelig kan der ske mere strukturelle ændringer i fx antagelser om ressourcegrundlaget og teknologiudviklingen. Stigende krav til fx bæredygtighed kan risikere yderligere at reducere en i forvejen sparsom ressource, og teknologiske fremskridt kan udeblive eller komme i en anden rækkefølge end forventet.

Følsomhedsanalyse med udgangspunkt i ændrede analyseforudsætninger er centrale, når et VE-systems eller VE-scenariets kommercielle og samfundsøkonomiske bæredygtighed skal vurderes på længere sigt.

Robusthed:

- Undgå 'lock-in' effekter.
- Medtænk udfasningen af den fossile energi.
- Tjek VE-scenariets følsomhed over for ændrede forudsætninger.

5.2 Effektivitet

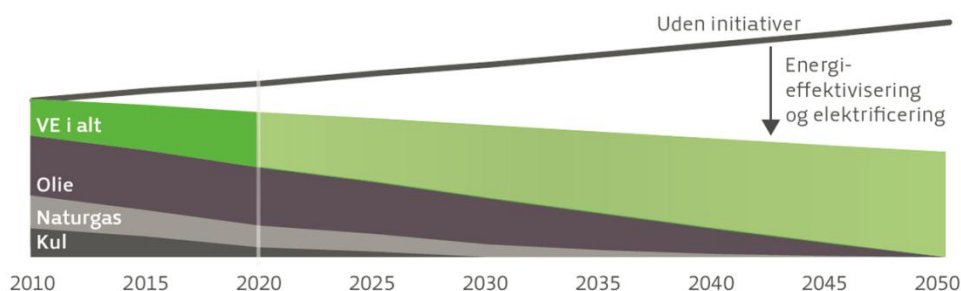
Omstillingen af den danske energiforsyning til vedvarende energi forudsætter, at der sker en markant effektivisering i udnyttelsen i vores begrænsede ressourcer.

Besparelser og effektivisering

Der er fortsat mulighed for at reducere vores energiforbrug gennem klassiske energibesparelsetiltag som efterisolering, energiruder, udskiftning af ineffektive apparater, god vedligeholdelsesstandard og så videre. Men i fremtiden ligger den store mulighed for en begrænsning i energiforbruget i en øget effektivisering gennem nye teknologier så som eldrevne varmepumper og elbiler/hybridbiler. En øget anvendelse af el i energieffektive teknologier vil markant kunne reducere energiforbruget i det samlede system. For eksempel kan en eldrevne varmepumpe med en høj virkningsgrad omsætte 1 kWh el til 3 – 4 kWh varme og en elmotor kan levere 3 – 4 gange så mange transportkilometre pr. energienhed som en traditionel benzinsmotor. Jo højere en effektivitet og virkningsgrad en teknologi har, jo mindre følsom er teknologien for ændringer i driftsomkostningerne (fx ved stigende elpriser).

El-baserede teknologier som elvarmepumper og elbiler kan i fremtiden bidrage med fleksibilitet og indregulering af overskydende el-produktion fra vindmøllerne. Men uanset disse fordele er en energieffektivisering gennem elektrificering normalt i sig selv en fuldt ud tilstrækkelig grund til at fremme anvendelse af teknologien.

Figur 8: Nødvendig udvikling i det danske energiforbrug gennem klassiske energibesparelsetiltag og anvendelse af effektive teknologier. Fra 'Vores Energi', Regeringen 2011.



Prioritering af ressourcerne

Ved siden af anvendelse af energieffektive el-baserede teknologier er en effektiv og prioriteret anvendelse af vores ressourcer en afgørende nødvendighed. Det er især den prisfølsomme biomasse, der kan udgøre en udfordring for planlægningen af et energisystem baseret på vedvarende ressourcer. Det kan vise sig hensigtsmæssigt at undgå brug af biomasse, hvor der findes velegnede alternativer, således at det samlede VE-systems følsomhed reduceres. Det kan især blive aktuelt i forbindelse med omlægning af den danske transportsektor, der i dag beslaglægger godt 25 % af det danske bruttoenergiforbrug. Transportsektoren – især den tunge del af transporten – har i dag meget få alternativer til fossile brændsler, hvorfor en langsigtet prioritering af den prisfølsomme

og knappe biomasse til tung transport bør være en væsentlig strategisk overvejelse.

I et tidsperspektiv frem til 2050 er det vigtigt allerede fra starten at medtænke, at transportsektoren formentlig i perioden fra 2030 – 2050 for alvor skal i gang med en omstilling, hvor den begrænsede biomasseressource forventeligt kommer til at spille en central rolle. Rent strategisk er det ønskeligt, at den samlede biomasseressource til den tid ikke allerede i stor udstrækning anvendes til fx simpel opvarmning af boliger og erhvervsbygninger, hvor der allerede i dag findes egnede alternativer.

Systemintegration

En integrering af vores infrastrukturer på el-systemet, varmesystemet, gassystemet, transportsystemet og procesindustrien vil kunne bidrage betydeligt til en større effektivitet. Danmark har allerede gennem et par årtier nydt godt af en forholdsvis stor integration af el-systemet, fjernvarmesystemet og gassystemet, hvilket har gjort Danmark til et af verdens mest energieffektive lande. I fremtiden er der imidlertid endnu større mulighed (og nødvendighed) for en fortsat integration, således at infrastrukturerne kan interagere med hinanden, skabe større fleksibilitet, højere forsyningsikkerhed og bedre samfunds- og brugerøkonomi. Mulighederne for systemintegration er uddybet i afsnit 6, nedenfor.

En vigtig sidegevinst af en højere systemintegration mellem infrastrukturerne er, at det i højere grad bliver muligt at etablere velfungerende markeder for el, gas og til dels varme. Systemintegration, der understøttes af en markedsintegration, vil kunne bidrage til en bedre ressourceudnyttelse og lavere og mere stabile energipriser for forbrugerne.

Effektivitet:

- Tilfør systemeffektivitet med eldrevne teknologier.
- Anvend biomassen der, hvor der ikke er brugbare alternativer.
- Styrk samspillet mellem infrastrukturerne: el, varme, gas, transport og industri.

5.3 Fleksibilitet

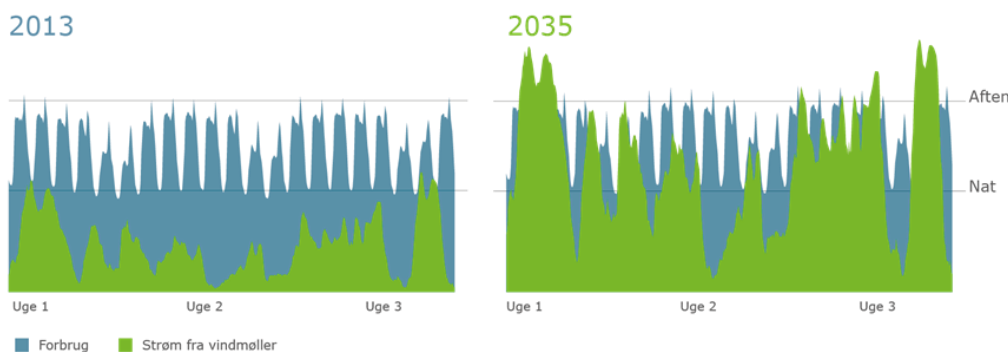
En forudsætning for over en længere årrække at kunne håndtere udefra givne vilkår under stadig forandring og et energisystem, der i fremtiden grundlæggende er baseret på fluktuerende energiproduktion, er, at det samlede energisystem besidder en høj grad af fleksibilitet.

Fleksibilitet i forhold til fluktuerende energiproduktion

Frem mod 2050 vil vindkraft komme til at dominere den danske energiforsyning mere og mere. Vi har i Danmark i dag ca. 4.800 MW vindkraft installeret onshore og offshore. I 2050 kommer Danmark formentlig op på en samlet kapacitet i en størrelsesorden på mellem 14 – 16.000 MW vindkraft for i årsgennemsnit at dække det danske forbrug. Hvis vi herudover inddrager hele det europæiske område kan behovet på længere sigt for etablering af yderligere vindkraftkapacitet i det danske område blive øget for at kunne bidrage til den europæiske energiforsyning.

Det indebærer en stærkt fluktuerende dansk el-produktion, som kun kan håndteres effektivt, hvis det samlede energisystem er designet til denne situation og derigennem har en høj grad af indbygget fleksibilitet.

Figur 9: Strøm fra vindmøller i 2013 og i 2035. Allerede i 2013 var der enkelte dage, hvor den danske produktion af el fra vindmøller svarede til det danske forbrug. I 2035 og fremad vil den danske el-produktion i mange perioder overstige det danske forbrug. Denne tendens forstærkes fra 2035 til 2050.



Produktionen fra vindkraften vil fluktuere med store udsving fra næsten ingen produktion i nogen perioder til i andre perioder en produktion, der langt overstiger elforbruget i Danmark. Det vil samlet set være en fordel for Danmark, hvis en betydende del af overskudsproduktionen kan udnyttes af fleksible teknologier som fx eldrevne varmepumper, elbiler og på længere sigt elektrolyse, som fleksibelt kan kobles ind og ud i samspil med el-produktionen.

Effekttilstrækkelighed når der ikke er vind

For Danmark, der frem mod 2050 er på vej ind i et vinddomineret energisystem, er det også af afgørende betydning, at der i perioder med lidt eller ingen vind rådes over en termisk el-produktionskapacitet, der fleksibelt kan komplementere vindkraftproduktionen. Med henblik på at undgå en for udpræget af-

hængighed af udlandets termiske el-produktionskapacitet er det ønskeligt, at Danmark også i fremtiden besidder en tilstrækkelig kapacitet til fleksibelt at producere el på termiske anlæg som fx på de danske decentrale kraftvarmeanlæg. Med det grundlæggende krav om god samfundsøkonomi in mente handler det om, at finde det mest omkostningseffektive miks mellem udbygning med dansk vindkraft, muligheden for import af el via kabler til udlandet og den indenlandske kapacitet til at producere el på centrale kraftværker og decentrale kraftvarmeanlæg.

Fleksibilitet i forhold til anvendelse af brændsler og andre energikilder

Det kan ligeledes være hensigtsmæssigt at opbygge energisystemet med frihedsgrader til i fremtiden at kunne skifte fra en brændselstype til en anden i takt med ændringer i udbud, priser og lovgivning. Investeringer i en fleksibel infrastruktur, der kan håndtere flere brændsler og energikilder, kan reducere graden af risiko i sammenligning med en kortsigtet satsning på blot ét enkelt brændsel. Udbygning af energiinfrastrukturen kan være nøglen til en høj samlet fleksibilitet i brugen af de tilgængelige energikilder.

Et eksempel herpå kan være den danske fjernvarmeinfrastruktur, der giver gode muligheder for, at de kollektive varmeværker og decentrale kraftvarmeanlæg kan investere i teknologier, der giver et stort manøvrerum i forhold til anvendelse af forskellige energikilder. Fjernvarmen har mulighed for at diversificere teknologierne, således at der kan bruges så forskellige energikilder som vindkraft, grøn gas, geotermisk varme, solvarme, spildvarme og fast biomasse. Herved reduceres følsomheden for eventuelle fremtidige negative ændringer i omverdenen som fx ændringer i de langsigtede brændselsomkostninger.

Fleksibilitet:

- Design VE-systemet til håndtering af fluktuerende el-produktion.
- Medtænk sikring af termisk el-produktionskapacitet.
- Udvikl infrastrukturen til udnyttelse af flere forskellige brændsler og energikilder.

6. Sammentænkning af energisystemet

Hensyntagen til robusthed, effektivitet og fleksibilitet kræver en sammentænkning af hele energisystemet. For fremtidens energisystem kommer fokus til at ligge på integrering af systemdelene. Disse systemdele udgøres i hovedtræk af: el-systemet, varmforsyningen, gassystemet, transportområdet og procesindustrien.

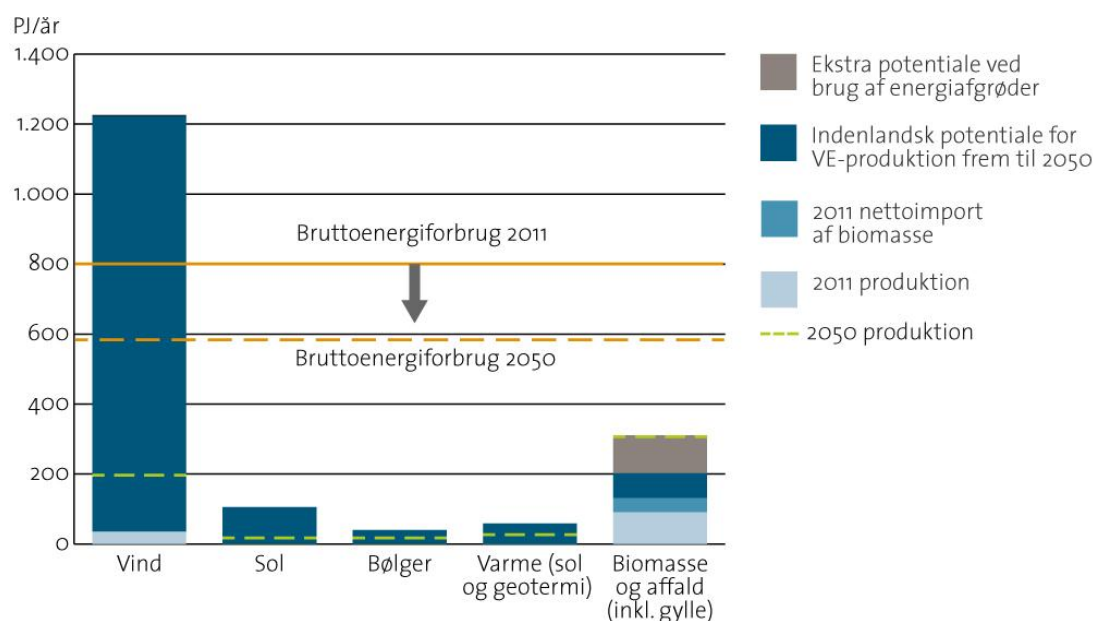
Optimering af én systemdel kan dog risikere at ske på bekostning af det samlede systems effektivitet og økonomi, hvorved vi blot ender i en form for suboptimering. Centralt for den strategiske energiplanlægning er det derfor at undersøge, hvorledes de enkelte systemdele kan bidrage til helheden. Sammentænkning og helhedstænkning indebærer imidlertid, at el-systemet, gassystemet, varmforsyningen, transportsektoren og procesindustrien fremover må forventes at kunne indgå i nye supplerende roller.

6.1 Fremtidens energisystem – nye roller

Et grundvilkår for den strategiske energiplanlægning er, at den potentielt set mest betydelige VE-ressource i Danmark er el-produktion fra vindkraft. Figur 10 nedenfor viser, at vind udgør Danmarks altdominerende vedvarende energiresource. Men figuren indikerer også, at en maksimal udnyttelse af vindressourcen forudsætter en generel øget elektrificering af energisystemet som helhed.

Figur 10: Potentielle indenlandske vedvarende energiresourcer. Baseret på Klimakommisionen: Grøn energi – Vejen mod et dansk energisystem uden fossile brændsler, september 2010.

Figuren illustrerer, hvorledes det danske bruttoenergiforbrug gennem energibesparelser og energieffektivisering (ved fx elbiler og varmepumper) kan reduceres til under 600 PJ om året. De knap 600 PJ fremkommer herefter som et miks bestående af 200 PJ vindkraft, godt 300 PJ biomasse ved fuld udnyttelse af det danske biomassepotentiale (inklusive energiafgrøder og affald) og cirka 75 PJ fra solceller, bølgekraft, solvarme, geotermisk varme m.v.



Øget udnyttelse af vinden betinger, at en større del af energiforbruget designes og tilrettelægges efter vindkraft. En øget elektrificering af hele energisystemet indebærer igen et behov for en ganske markant omstilling af de øvrige delsystemer – varme, gas, transport og procesindustri – for at målene om omstilling til vedvarende energi kan realiseres økonomisk effektivt. Den vedvarende, men fluktuerende el-produktion skal i langt større omfang end i dag anvendes i de øvrige delsystemer.

Som det også fremgår af figur 10, er den nationale ressource af biomasse relativt begrænset set i forhold til det samlede bruttoenergiforbrug. Figur 10 illustrerer også, at dersom Danmark af hensyn til forsyningssikkerhed på brændsler skal være selvforsynende på et eller andet niveau i fremtiden, må en begrænset mængde biomasse, solvarme, geotermisk varme mv. i fremtiden kunne komplementere en stor mængde fluktuerende vindkraft, solkraft og bølgekraft.

Energinet.dk's ADAPT-analyser

Energinet.dk har i 2013 analyseret et muligt udviklingsforløb for energisystemets omstilling frem mod 2050. Analyserne er gennemført i Energinet.dk's simuleringsværktøj **ADAPT**, der står for **A**daptive **D**yn**A**mic energy system **P**laning **T**ool. Værktøjet analyserer års-energibalancer for hele energisystemet og timebalancer for el- og varmesektoren.

Figur 11 – 15 viser den foreløbige sammenfatning af dette overordnede udviklingsforløb. Analysearbejdet, analyseforudsætningerne og de præmisser, der ligger til grund for analyserne, udvikles fortsat i tæt samarbejde med Energistyrelsen og i regi af energiforligsanalyserne.

Figur 11 – 15 er uddrag fra en samlet ADAPT-analyse, der viser at det danske energisystem frem mod 2050 kan omstilles til 100 % vedvarende energi stort set ved at holde sig inden for rammerne af det danske biomassepotentiale på i alt 300 PJ. Det er dog en grundlæggende forudsætning herfor, at det danske bruttoenergiforbrug reduceres fra i dag på over 800 PJ til i 2050 på under 600 PJ.

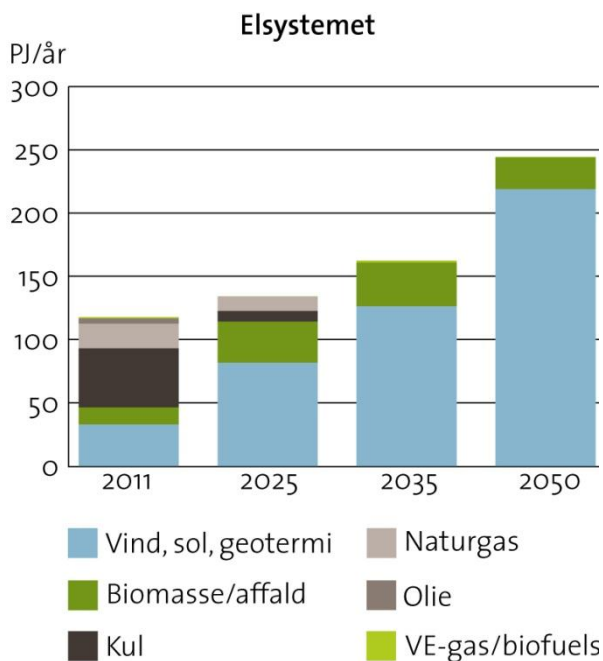
6.2 El-systemet: Leverandør af vedvarende energi

Da Danmarks vedvarende energikilder i høj grad består af vindenergi, stiller omstillingen væk fra fossile brændsler store krav til el-systemet, som med tiden vil blive det danske energisystems primære "indgang" for den vedvarende energi.

Der er to primære udfordringer forbundet med el-systemets fremtidige udvikling. Først og fremmest vil en langt større andel af el-produktionen blive baseret på fluktuerende energi, hvilket stiller store krav til sikring af forsyningssikkerheden, både når det blæser meget, og når det er vindstille. Dertil kommer, at i takt med at el benyttes til flere formål, vil en betydeligt større del af det danske samfund blive endnu mere afhængigt af en pålidelig og sikker elforsyning, end det er tilfældet i dag.

Figur 11: Et muligt udviklingsforløb for el-systemet frem mod 2050, der lever op til de nationale målsætninger. Figuren angiver den totale el-produktion til dækning af indenlandsk elforbrug (fra Energinet.dk's ADAPT-analyser 2013).

I 2050 vil vindkraft udgøre den altdominerende del af el-produktionen, mens en mindre del vil blive produceret på grundlag af biomasse og affald.



En høj forsyningsikkerhed i el-systemet kræver blandt andet, at der kan leveres tilstrækkelig effekt i alle situationer. Derfor er den danske el-produktion på de decentrale kraftvarmeanlæg også i fremtiden af afgørende betydning. Den nødvendige el-produktionskapacitet for at sikre effektilstrækkeligheden i el-systemet er blandt andet afhængig af, hvorvidt det fremtidige, nye elforbrug reagerer fleksibelt. Det handler om at finde den rigtige balance mellem den indenlandske el-produktionskapacitet, udlandsforbindelserne og fleksibelt elforbrug, sådan at omstillingen ikke bliver dyrere end nødvendigt. Hvis det nye elforbrug ikke kan bringes til at reagere fleksibelt, vil det kræve ekstra produktionskapacitet i alle årene.

6.3 Varmeforsyningen: Fra el-producent til el-forbruger

En af udfordringerne i de allernærmeste år er især at få omstillet fjernvarmeforsyningen, der også i fremtiden får en helt central rolle med at bidrage til høj energieffektivitet i det samlede energisystem. Idet fjernvarmesektoren forventeligt er den første af de store energisektorer, der skal i gang med betydelige investeringer, er det vigtigt at omstillingen af denne sektor indtænkes langsigtet for at undgå en lock-in situation.

En markant udbygning med vindkraft indebærer i fremtiden et formindsket marked for samproduktion af el og varme på de nuværende kraftvarmeanlæg. For fortsat at kunne opretholde en høj energieffektivitet er der også i fremtiden behov for at udvikle samspillet mellem el- og varmeproduktionen, således at der kun i vindfattede perioder vil ske samproduktion af el og varme på fx fast biomasse eller grøn gas, mens der i vindrige perioder sker en effektiv produktion af varme på eldrevne varmepumper. Behovet for en videreudvikling af samspillet mellem el og varme forstærkes af, at vi kun råder over knappe indenlandske biomasseressourcer, som ud fra samfundsøkonomiske effektivitetshen-

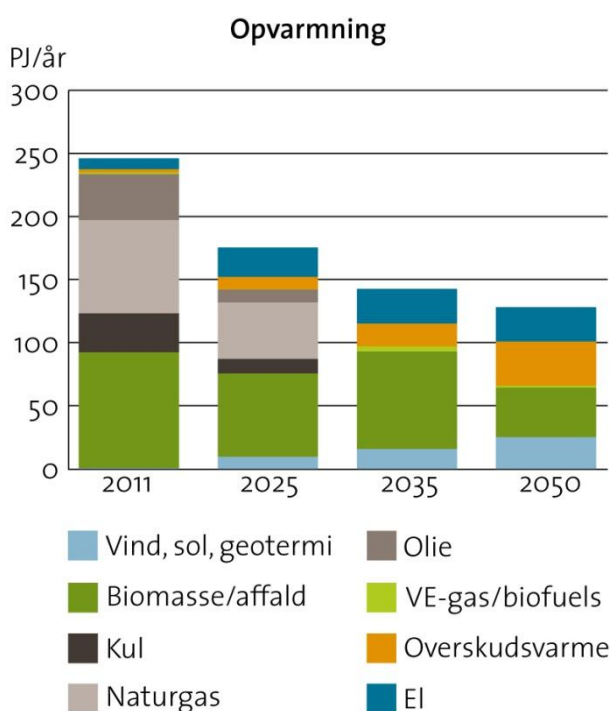
syn som udgangspunkt ikke længere bør benyttes til grundlastproduktion af ren varme.

Fjernvarmeløsninger giver mulighed for udnyttelse af spildvarme fra processer, herunder både kraftvarme, biomasseraffinering, industrielle processer, køleprocesser og elektrolyse. Derudover kan produktion af varme ske ved eldrevne varmepumper, solvarme og geotermisk varme tilknyttet varmepumpe. Også industriens varmemeforbrugende processer, der ligger i det relevante temperaturinterval, kan forsynes med fjernvarme, hvilket samtidig giver bedre muligheder for at opsamle spildvarme fra andre industrielle processer.

Figur 12: Et muligt udviklingsforløb for varmesektoren frem mod 2050, der lever op til de nationale målsætninger (fra Energinet.dk's ADAPT-analyser 2013).

Figuren angiver bruttoenergiforbruget til opvarmning. Bruttoenergiforbruget til opvarmning falder primært som følge af større energieffektivitet i boligmassen.

I 2050 kan varme til opvarmning af rum fremstilles på baggrund af så forskellige kilder som vindkraft, solvarme, geotermisk varme, overskudsvarme, biomasse og affald.



Biomasse er en prisfølsom ressource og skal derfor udnyttes, hvor den skaber mest værdi. Den del af biomassen, som i en overgangsperiode bedst kan udnyttes til forbrænding, bør af hensyn til den samlede energieffektivitet om nødvendigt primært bruges til kraftvarmeproduktion (spidslast-produktion af el) fremfor afbrænding i varmekedler. Den nuværende projektbekendtgørelse udelukker ikke risiko for samfundsøkonomisk u hensigtsmæssige investeringer, særligt i biomassebaserede kedler på decentrale kraftvarmeverker.

Ved individuel opvarmning ses der aktuelt en tendens til, at oliefyr i stor stil omstilles til træpillefyr. Denne udvikling bør ud fra en samfundsøkonomisk betragtning vendes inden for de kommende år, så der i stedet fokuseres mere på energirenoveringer og varmepumper. Allerede på kort sigt vil eldrevne varmepumper kunne bidrage til den generelle energieffektivisering og reducere presset på biomassen. Det samme gælder for de husstande, der har eget naturgasfyr, og som inden for de kommende år skal finde alternative varmekilder.

6.4 Gasforsyningen: Forsyningsikkerhed i hele systemet

Gassystemet er karakteriseret ved at kunne transportere store mængder energi over lange afstande, hvad enten der er tale om naturgas fra Nordsøen, de europæiske markeder eller biogas og andre grønne gasser.

Gassystemet kan endvidere lagre store mængder energi forholdsvis billigt og dermed håndtere svingninger i både forbrug og produktion af gas, som forventes at stige i takt med øgede mængder biogas og elektrolysegas, samt svingninger i el-produktionen, der øges i takt med omstillingen til vindenergi.

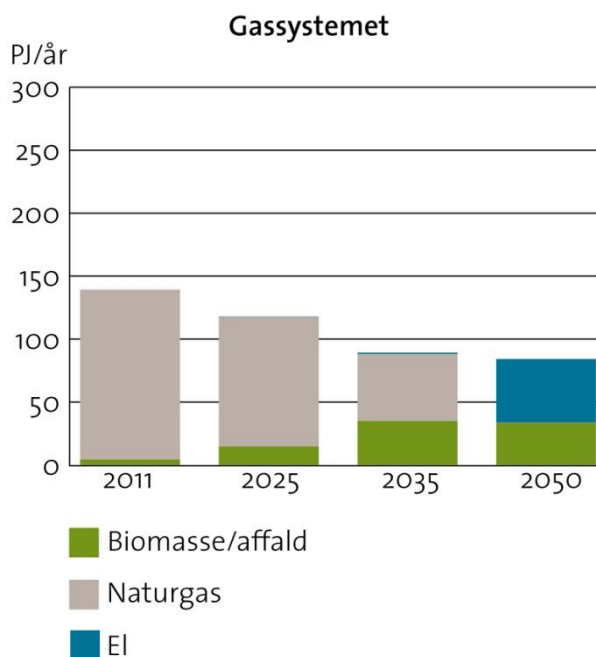
På transportområdet har tidligere analyser vist, at gas og VE-brændstoffer produceret på gas er det samfundsøkonomisk bedste brændsel til dækning af de transportbehov, som ikke umiddelbart forventes at kunne dækkes med eldrevne køretøjer, herunder særligt tung transport.

Figur 13: Et muligt udviklingsforløb for gassystemet, der lever op til de nationale målsætninger (fra Energinet.dk's ADAPT-analyser 2013).

Figuren angiver den totale gasproduktion til dækning af indenlandsk forbrug af grøn gas.

I 2050 kan grøn gas fremstilles på baggrund af biomasse, men den største kilde til grøn gas kan blive el, som via elektrolyse omdannes til brint. Grøn gas kan i fremtiden opsamles, lagres og distribueres i det eksisterende danske naturgasnet.

Mængden af gas forventes at falde frem mod 2050, idet gassens anvendelse i højere grad kun rettes mod el- og varmeproduktion i perioder med lidt vind – og mod anvendelse i visse dele af transportsektoren og store dele af industrien.



Gassystemet giver således en række muligheder for at forbinde biomasse, affald og elektrolysegas fra VE-el med produktion af flydende eller gasformige brændstoffer¹⁰.

Energinet.dk's analyser peger på, at det danske gassystem kan bidrage til løsning af væsentlige opgaver i fremtidens energi- og el-system, og at omkostningerne til alternativ levering af de ydelser, som systemet kan levere, klart overstiger omkostningerne forbundet med at bibeholde og drive gassystemet. Der er behov for, at gassystemet frem mod 2050 tilpasses både teknisk og mar-

¹⁰ Energistyrelsen og COWI: Alternative Drivmidler, 2012.

kedsmæssigt dels til omstilling fra transport af naturgas til transport af biogas og VE-gasser og dels til på kommercielt bæredygtige vilkår at levere fleksibilitet i energisystemet til indpasning af den øgede mængde vindenergi.

6.5 Transportområdet: Energieffektiv mobilitet

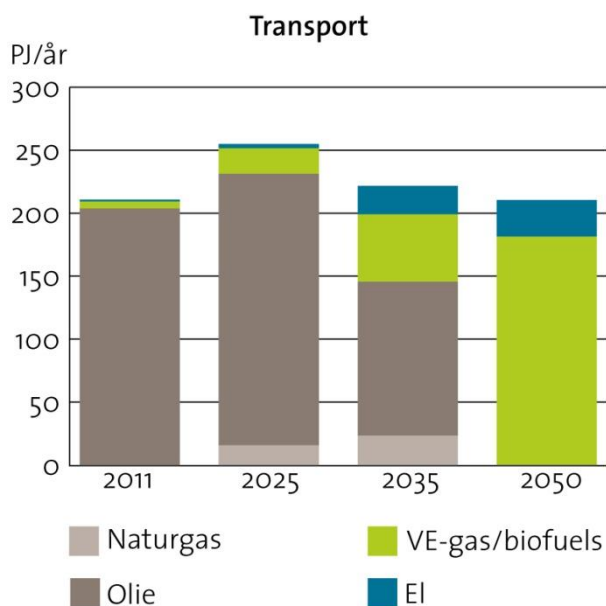
Transportområdet beskrives ofte som den sektor i energisystemet, der giver de største udfordringer i forhold til omstillingen til vedvarende energi. I modsætning til mange stationære energiforbrug er den sværere og dyrere at få omlagt til vindkraft, solceller og bæredygtig anvendelse af biomasse. Transportområdet energiforbrug udgør cirka 25 procent af bruttoenergiforbruget i dag og er samtidig en af de energitjenester, som vokser mest frem mod 2050 (jf. figur 5).

Hvis en tilsvarende vækst i sektorens energiforbrug skal undgås, er det forventeligt, at der skal sættes ind på flere fronter. Der skal fortsat ske en forbedring af de gammelkendte transportteknologier, en del af transporten skal måske omlægges til andre former og energieffektiviteten skal øges. Fleksibilitet i forhold til brændsler og mulighed for at anvende vindkraften som drivmiddel bliver helt centralt, enten direkte som el eller som brændsler produceret på el.

Figur 14: Et muligt udviklingsforløb for transportsektoren frem mod 2050, der lever op til de nationale målsætninger (fra Energinet.dk's ADAPT-analyser 2013).

Figuren angiver bruttoenergiforbruget til transport. Frem til 2025 stiger bruttoenergiforbruget, herefter forventes det at falde som følge af mere energieffektive transportformer som fx elbiler og hybridbiler.

I 2050 kan transporttjenester tilvejebringes som el til elbiler/hybridbiler samt grøn gas og biofuels fremstillet på biomasse til især den tunge transport.



For transportområdet er der behov for at få igangsat en udvikling rettet mod et brændselskift, hvor særligt indpasningen af gas til den tunge transport og el til personbiler er essentielt for at få udfaset olieforbruget og øget energieffektiviteten. Her har fremskrivninger udfærdiget af Energinet.dk og Dansk Energi i foråret 2013 vist, at markedsudviklingen inden for elbiler må forventes at blive træg i de kommende 10-15 år, givet de nedjusterede forventninger til teknologiens udvikling. Dog forventes det, at hybridbilerne kan vinde større indpas på kortere sigt, givet at rammevilkårene for denne teknologigruppe tilpasses. Mere

generelle fremskrivninger af transportområdets udvikling er analyseret i Energi- styrelsens rapporter om Alternative drivmidler¹¹.

Der findes allerede i dag flere alternativer til de traditionelle benzin- og diesel- drevne køretøjer i form af el-, hybrid-, ethanol- og gasbiler samt biler med brændselsceller. Der forventes i de kommende år en betydelig teknologisk ud- vikling inden for transportsektoren, men dette drives primært af globale aktører og påvirkes kun i ringe grad af udviklingen i Danmark. Derfor er det væsentligt, at der i forbindelse med strategisk energiplanlægning og transportsektorens omstilling tages højde for dette forhold.

Der knytter sig væsentlig usikkerhed til både omfanget af og tidspunktet for, hvornår forskellige teknologier slår igennem. Således er det et åbent spørgsmål, i hvilket omfang transportsektoren frem mod 2050 anvender ethanol, metan, brint eller andre afledte brændstoffer som metanol eller dimetyleter. Det afgø- rende i den forbindelse er, at VE-gas - herunder elektrolyse-gas via vindkraft - kan forventes at blive den primære basis for fremstilling af de brændstoffer, som transportsektoren vil efterspørge.

Inden for vejtransport er gas i dag et samfundsøkonomisk konkurrencedygtigt alternativ for både lette køretøjer og tungere transport. Selv om naturgas og biogas er omkostningseffektive brændstoffer i dag, er der ikke endnu etableret en landsdækkende tankningsinfrastruktur. Hvis de samfundsøkonomiske gevin- ster ved konvertering af dele af transportsektoren til gas skal realiseres, er der behov for at etablere en infrastruktur til tankning af gas.

6.6 Procesindustrien: Konkurrencedygtig VE-energiforsyning

I Energinet.dk's analyser af industriens efterspørgsel på energi er der taget flere hensyn. Som med de fleste øvrige energitjenestebehov forudsættes det ikke, at industrien skal reducere sit endelige energiforbrug som følge af den grønne omstilling. Der er dog antaget et vist potentiale for selskabsøkonomisk fordelagtige energieffektiviseringer i industrien. De forventes primært realiseret frem mod 2025. Dernæst tages hensyn til, at dele af industrien efterspørger energi, som ikke anvendes til rumopvarmning mv. Disse dele, omtalt som procesvarme, er særskilt analyseret med henblik på at sikre en samfundsøkon- omisk optimeret forsyning heraf.

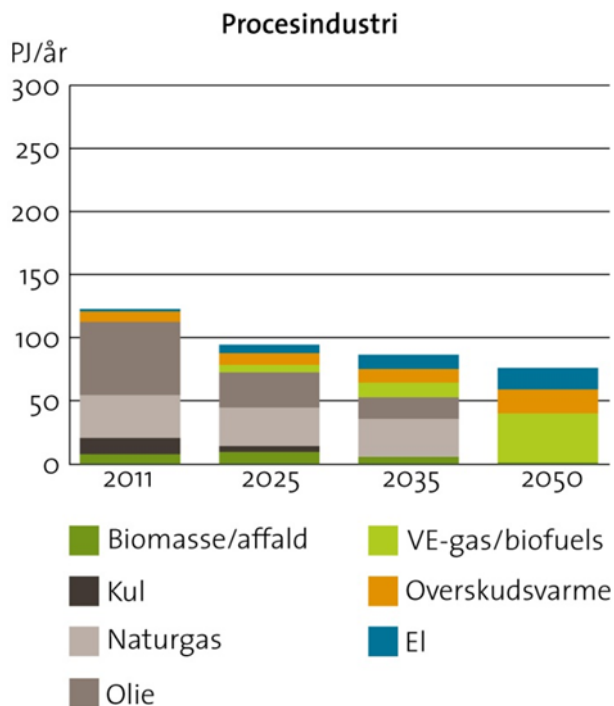
Det er skønsmæssigt vurderet, at op mod halvdelen af procesvarmen på langt sigt kan dækkes ved varmepumper og fjernvarme (eksempelvis tørreprocesser eller andet, hvor lavtemperatur varme kan dække dele af behovet). Den resterende halvdel af procesvarmen antages frem mod 2050 at skifte til ren el og VE-gasser eller biobrændsler.

¹¹ Energistyrelsen og COWI: Alternative Drivmidler, 2012.

Figur 15: Et muligt udviklingsforløb for procesindustrien frem mod 2050, der lever op til de nationale målsætninger (fra Energinet.dk's ADAPT-analyser 2013).

Figuren angiver bruttoenergiforbruget til procesindustri.

I 2050 kan procesvarme til industrien tilvejebringes på flere måder – her som grøn gas, overskudsvarme og el.



Der er dog generelt et stort behov for uddybende analyser af dette område. Energistyrelsens analysearbejde, som fremlægges i 2014, forventes at belyse industriens fremtidige udfordringer og muligheder.

7. Afrunding

Omstilling af den danske energiforsyning til vedvarende energi frem mod 2050 er en meget stor udfordring for alle de aktører, der de næste godt 35 år engageres i opgaven.

Opgaven er kompleks og den fremtidige udvikling i omverdenen omkring Danmark, i de teknologiske muligheder, i de tilgængelige VE-ressourcer og i de økonomiske betingelser er vanskelig at indkredse. For den enkelte aktør på energiområdet er denne udfordring ikke nødvendigvis simpel at håndtere.

Det er imidlertid Energinet.dk's håb, at der gennem analysearbejde, vidensdeling og ikke mindst dialog mellem alle energiaktører på det statslige, regionale og kommunale niveau i fællesskab kan skabes et klarere billede af fremtidens udfordringer og muligheder i den danske strategiske energiplanlægning. Dette notat er tænkt som et lille bidrag til denne fælles nationale opgave.