

# Den grønne omstilling af energisektoren

Temanummer: Klimakrisen – de næste skridt

*Den grønne omstilling af energisektoren er i fuld gang, og indtil nu har der været betydelige succeser specielt med indførelse af vedvarende energi (VE) og energieffektivisering i forsyningssektoren – men vi er ikke i mål, der er faktisk lang vej endnu. For at opnå en bæredygtig energisektor inden for den tidshorizont, der er nødvendigt for at afværge de værste klimaforandringer, må vi fordoble omstillingsraten og hive mange flere penge op af lommen, end vi hidtil har gjort. Denne artikel udforsker, hvor vi skal hen i den grønne omstilling (politiske målsætninger), hvordan vi kan opnå det (energipolitiske initiativer), hvordan den fremtidige energisektor kan se ud, og hvad der skal til, for at vi kan komme dertil (forskningsbehov).*

## Klima- og energipolitiske målsætninger i EU

Siden midten af 1990'erne har Danmark ført en ambitiøs klima- og energipolitik, såvel nationalt som i en EU-sammenhæng. I EU blev i 2009 indført de såkaldte 20-20-20-mål: I 2020 skal der i EU være opnået en reduktion i udslippet af drivhusgasser på 20 %, vedvarende energi skal dække 20 % af energiforbruget, og der skal være opnået en forbedring af energieffektiviteten på 20 % (i forhold til en reference). Disse mål har været drivende for klima- og energipolitikken i EU – herunder i særdeleshed for Danmark – og samtlige tre mål forventes opfyldt i 2020 både på EU-niveau og i Danmark.

I EU er der frem til 2030 vedtaget en række nye mål (Klimarådet, 2018):

- I 2030 skal emissionen af drivhusgasser være reduceret med 40 %
  - EU's CO<sub>2</sub>-kvotemarked (European Trading System – ETS) forventes at reducere drivhusgasemissionerne med 43 % inden for det afgrænsede markedsområde (kraftværker, energiintensive virksomheder, mv.) i forhold til 2005
  - I non-ETS-sektoren – dvs. individuelt opvarmede boliger, industri, landbrug og transport – skal der i EU opnås en reduktion på 30 % i forhold til 2005. Dette mål er udmøntet på de enkelte medlemslande, og i Danmark skal der nås en reduktion på 39 %.
- Vedvarende energi skal i 2030 dække 32 % af energiforbruget i EU. I modsætning til tidligere VE-mål er dette mål dog ikke udmøntet på medlemslande men ventes opnået for EU som helhed ved en kombineret national og EU-indsats.

Såvel for 2030 som for de hidtidige 2020-mål er der også udmøntet et mål for transporten, bl.a. med iblanding af grønne transportbrændsler i benzin og



**POUL ERIK MORTHORST**  
Professor



**LENA KITZING**  
Sektionsleder,  
seniorforsker



**MARIE MÜNSTER**  
Professor, Mso

diesel. Danmark har store problemer med at opfylde 2020-målet (10 % vedvarende energi). I forhold til væsentligheden i at opnå drivhusgas-reduktioner på transportområdet er EU's 2030-mål for dette område forholdsvis moderat: Vedvarende energi skal i 2030 dække 14 % af forbruget af transportbrændsel, heraf må højst halvdelen været dækket af grønne 1. generationsbrændsler (dvs. brændsler, der kan anvendes til fødevarer, som eksempelvis majs, men også andre landbrugsprodukter). Endvidere er der store fordele ved anvendelse af el i transport.

Som medlem af EU har Danmark også underskrevet den såkaldte Paris-aftale. Paris-aftalen blev indgået i 2015 og denne sætter dagsordenen for nedbringelse af de globale drivhusgas-emissionerne. Formålet med Paris-aftalen er at sikre at den globale temperaturstigning som følge af klimaændringer holdes godt under en stigning på 2°C i forhold til det præ-industrielle niveau, og om muligt holdes under en temperaturstigning på 1,5°C. En lang række lande har underskrevet Paris-aftalen (p.t. er det mere end 180 lande) og hvert land har forpligtet sig til at indrapportere deres politik for reduktion af drivhusgasser. Det er frivilligt, hvor store forpligtelser hvert land påtager sig, men når man først har forpligtet sig, er der ingen vej tilbage – forpligtelsen kan kun øges, ikke mindskes. Forhåbningerne til Paris-aftalen er store, men desværre må det siges, at indtil nu er disse forhåbninger ikke blevet indfriet. I forhold til hvad det er nødvendigt at opnå af drivhusgas-reduktioner i 2030 for at holde sig under 1,5°C-målet, så er under en tredjedel af de nødvendige reduktioner indmeldt som forpligtende under Paris-aftalen (UNEP, 2018). Der skal altså markant mere til af forpligtende reduktioner, hvis 1,5°C-målet skal holdes – og dette gælder også i forhold til 2°C-målet. Selv ikke EU opfylder Paris-aftalens krav til 2°C-målet.

Danmarks nationale ambitioner på klima- og energiområdet er faktisk mere ambitiøse end de europæiske, med flere nationale målsætninger, der stræber efter at overholde vores ansvar i Paris-aftalen.

### **Danmarks ambitioner på energiområdet**

I sommeren 2018 blev der i et enigt Folketing indgået en ny Energiaftale. En aftale, der har sigte på 2030, men som samtidig sætter den overordnede ramme frem til 2050: Målet er at opnå et samfund uden nettoudledninger af drivhusgasser, dvs. at de få drivhusgasudledninger, der måtte være tilbage i 2050, skal modsvares af et tilsvarende optag af drivhusgasser fra atmosfæren, eksempelvis ved at indfange CO<sub>2</sub> fra luften. Herudover er de væsentligste punkter i Energiaftalen følgende (ENS, 2018):

- Vedvarende energi skal dække 55 % af det danske energiforbrug i 2030
  - Før 2030 skal der etableres tre nye havmølleparker (hver på 800MW), som vil sikre Danmark en havmølleudbygning i verdensklasse
  - Der skal laves teknologineutrale udbud for solceller, land og kystnære vindmøller, bølge- og vandkraft

- Der skal sættes gang i en videreudvikling af biogas og andre grønne gasser til methanisering (indføres på naturgasnettet), samt til brug i transport og i industrielle processer
- Der skal udvikles en ny gasstrategi, som bl.a. skal undersøge hvorledes vores gasinfrastruktur skal udnyttes i fremtiden
- Der skal initieres en udfasning af kul i elproduktionen i 2030
- Der skal tages initiativer til at udvikle et smart og fleksibelt energisystem, herunder mulighederne for fleksibilitet i elforbruget og koblingen mellem flere sektorer, eksempelvis el-, fjernvarme- og transportsektoren (såkaldt sektorkobling)
- På reguleringsområdet foreslås en række initiativer
  - Lavere afgift på elektricitet, specielt på el til opvarmningsformål (for at fremme etablering af varmepumper)
  - Analyse af dynamiske afgifter og tariffer (for at fremme udviklingen af smart energy systemer)
  - Forsøg med indførelse af testzoner (reguleringsfri zoner), bl.a. for at give mulighed for at teste, hvorledes forskellige økonomiske instrumenter påvirker energisystem og adfærd.

Som det fremgår, tager Energiaftalen meget sigte på, at udvikle et fremtidigt energisystem baseret på vedvarende energikilder som vind og sol, men desværre er dette ikke fulgt op med en indsats på energispare- og effektivitetsområdet, hvor Danmark ellers har en lang og rimelig succesfuld tradition.

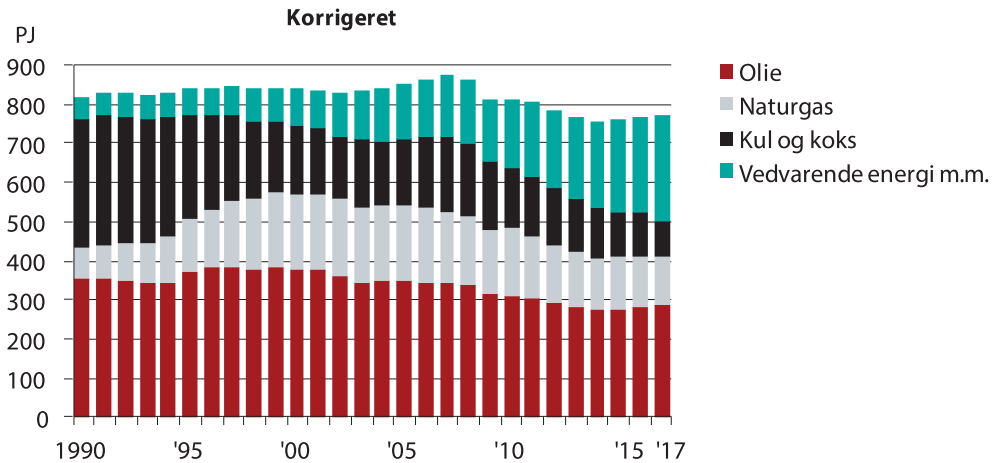
Efter valget i foråret 2019, hvor klima og den grønne omstilling viste sig at blive nogle af de politiske hoveddiskussionsemner, har den nye regering sat et ambitiøst mål om en drivhusgas-reduktion på 70 % frem til 2030 (formentlig i forhold til 1990) samt vedtagelse af en ny klimalov. Begge tiltag bliver analyseret nærmere i dette efterår, og en ny klimalov forventes at være på plads inden udgangen af 2019, mens diskussionerne om en samlet klimahandlingsplan – og hermed elementerne i 70 %-reduktionen – forventes at blive initieret i starten af 2020. Såfremt Paris-aftalen tolkes som, at Danmark skal tage en "fair share" af de globale reduktionsforpligtelser, så betyder en opfyldelse af 70 %-målsætningen, at Danmark også i det store og hele opfylder Paris-aftalens krav til 1,5°C-målsætningen.

### **Status af den grønne omstilling i energisektoren**

Allerede siden starten af 1990'erne har Danmark ført en energipolitik med sigte på grøn omstilling. Og vi har gjort det rimeligt godt, som det fremgår af figur 1. Til trods for en ganske markant fremgang i bruttonationalproduktet har vi formået at holde energiforbruget stort set konstant – i de senere år har vi endog opnået en reduktion, samtidig med at vi er på vej til at udfase kul, olie og i en vis grad også naturgas og har omlagt til vedvarende energi, især vindmøller og biomasse. Dette må siges, at være en succes, men dog ikke uden forbehold. Forbruget af biomasse er steget markant – primært som følge af en afgiftsmæssig favorisering – og Danmark bruger i dag langt mere biomasse,

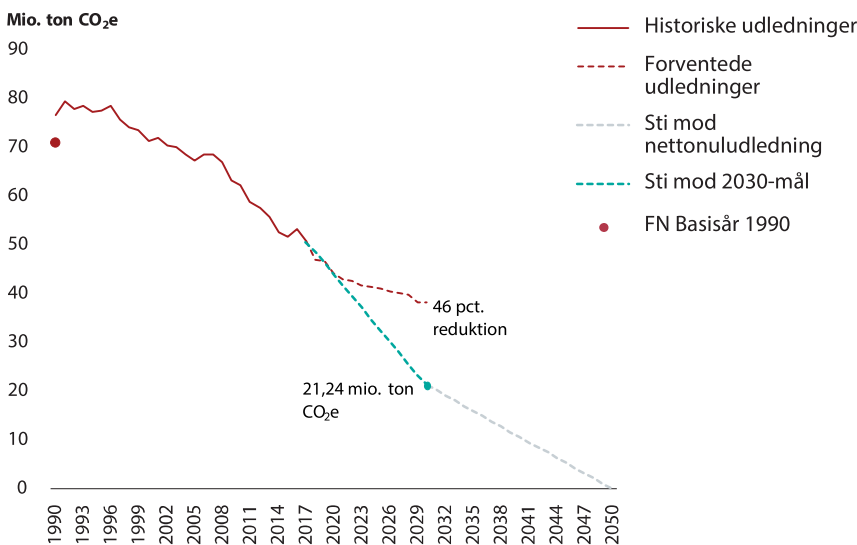
end vores størrelse og egne ressourcer tilsiger. Det er således vigtigt, at vi overvejer, om biomasse også i fremtiden kan udgøre så væsentlig en andel af vores energiforsyning og ikke mindst om denne biomasse kan regnes for at være klimaneutral.

Figur 1: Udvikling i bruttoenergiforbruget i Danmark. Kilde: Energistyrelsen, 2018.



Udviklingen i vores energiforbrug – og i særdeleshed vores energiforsyningsmix – har medført betydelige reduktioner i drivhusgasudslippet, se figur 2. Fra 1990 og frem til i dag har vi reduceret CO<sub>2</sub>-emissionerne med ca. 32 %. Hvis vi fremskriver emissionerne med udgangspunkt i de policy-tiltag, der i dag er vedtaget (en frozen policy fremskrivning), så vil vi i 2030 have opnået en reduktion på ca. 46 % ifølge Energistyrelsens basisfremskrivning (ENS, 2019). Alt i alt en markant reduktion af vores drivhusgas-emissioner, men stadig med lang vej op til en reduktion på 70 %, som er den nye regerings målsætning frem til 2030.

Figur 2: Historisk og fremskrevet udledning af drivhusgasser i Danmark. Kilde: Baseret på data fra Energistyrelsen, 2019



## Hvordan ser fremtidens energisektor ud?

Udvikling af et samfund med netto-nul udslip af drivhusgasser i 2050 kræver en markant omstilling af hele energisystemet. Hvorledes kan et sådant fremtidigt samfund se ud? I det følgende gives der et bud, men mulighederne er selvfølgelig mange. Der er dog næppe meget tvivl om, at nogle af de følgende elementer vil bidrage til et sådant fremtidigt system.

Vi vil se et fremtidigt system, hvor

- Elsektoren er dominerende og drivende for udviklingen. Nye teknologier som vind og sol vil udgøre en markant del af energisystemet, simpelt hen fordi de er klimavenlige og er de billigste til elproduktion.
- Fjernvarme- og gassystemet vil være nødvendige og supplerende elementer til el-systemet. Såvel fjernvarme som gas vil have væsentlige roller i forbindelse med sektorkobling el-varme, samt el-gas. Dette vil bl.a. være tilfældet i forbindelse med udnyttelse af overskuds-el i varmepumper i fjernvarmeområder, samt etablering af anlæg til produktion af transportbrændsel.
- ...og det samlede integrerede energisystem vil ikke kun levere el og varme, men også transportbrændsel til de områder, som det er svært at elektrificere, eksempelvis den tunge transport.
- Da sol og vind ikke altid er tilgængelige, vil der være behov for lagringsbare brændsler, som biogas, biomasse, brint og lignende. Brint kan også danne forbindelse til produktion af transportbrændsler, hvor eksempelvis biogas og brint kan være "byggeklodser" til produktion af methaniseret gas (grøn gas), ammoniak (eksempelvis til skibe), methanol og jet-brændstof.

Med el-producerende teknologier som sol og vind som dominerende, så vil et væsentligt element i fremtidens energisystem blive elektrificering, herunder indførelse af varmepumper til at dække såvel dele af den kollektive opvarmning (fjernvarme) som en markant del af den individuelle opvarmning. Men der skal også findes løsninger til direkte og indirekte elektrificering af transport og industri. I transportsektoren vil lette køretøjer kunne elektrificeres, hvorimod tung transport vil have brug for flydende brændsler, der bl.a. vil kunne stamme fra biomasse, biogas og brint. Industrien vil i høj grad kunne elektrificeres direkte, men også her vil der være brug for brændsler. Det fremtidige energisystem må således forventes at blive noget mere kompliceret end det, vi ser i dag, hvilket ikke kun vil gælde teknologisk, men også for den fremtidige regulering. Eksempelvis er reguleringen af produktionen og forbruget af brint i dag en gråzone, som der skal etableres klare retningslinjer for, såfremt vi skal se en udvikling i anvendelse af elektrolyse til brintfremstilling.

## Hvad skal der til for at vi kan komme dertil?

### **(1) Vi skal fordoble omstillingsraten til grøn energi**

Omstillingen til et grønt energisystem indebærer øgede investeringer i både infrastruktur og produktionsfaciliteter til vedvarende energi såvel som til andre grønne produkter. På samme tid forventes det, at støtten til VE-investerin-

ger kan fases ud om kort tid, pga. faldende teknologiomkostninger. VE-branchen står over for udfordringer for at opretholde investeringerne, da mindre eller ingen støtte betyder mere risiko og dårligere finansieringsmuligheder. Det kræver politisk engagement og stabile virkemidler til at sikre investeringer i VE på langt sigt. Investorerne har f.eks. brug for stabile CO<sub>2</sub>-priser og likvide markeder for langsigtede købsaftaler (grønne Power-Purchase-Agreements) og oprindelsesgarantier. Først når disse rammebetingelser er etableret, kan markedskræfterne virke fuldt ud. Vi mangler p.t. en forståelse for, helt præcis hvordan rammebetingelserne bedst udfoldes for at danne en smidig overgang fra et investeringsmiljø, der er præget af subsidier, til et miljø, hvor beslutningerne er markedsbaserede. Endvidere bliver det sværere og sværere at finde gode og ukontroversielle placeringer til VE-projekter i Danmark. Større investeringer, der virkelig flytter noget i energibalancen, kommer p.t. mest fra havvindmøllefronten. Her er man nu begyndt at se på store kunstige energiøer til havvind. Det er stadig uvist, om disse energiøer giver en større samfundsøkonomisk gevinst end at udnytte de ressourcer, vi har på land eller nær kysterne.

## **(2) En markedsmodel der passer til vedvarende energi**

Det nuværende el-marked er designet til kontrollerbare kraftvarmeværker, hvis produktion kan planlægges i flere måneder frem. Elproduktion fra vind og sol er afhængig af ressourcen, som vejret nu tilfældigvis er. Vi har stadig ikke opnået at udvikle en markedsmodel, der kan rumme egenskaberne af den nye variable elproduktion. Det store arbejde med markedsmodel 2.0, hvor Energinet i perioden 2014-2015 sammen med over 20 energiselskaber, forbrugerorganisationer, myndigheder mv. har udviklet anbefalinger og initiativer til at fremtidssikre energimarkedet (Energinet, 2016), er siden blevet efterfulgt af endnu et stort arbejde omkring markedsmodel 3.0 (Energistyrelsen, 2018). Det, vi allerede ved, er, at den nye markedsmodel skal tillade og tilskynde fleksibilitet på tværs af hele energisystemet (el, varme, transport), og at denne fleksibilitet skal kunne leveres af både efterspørgsels- og udbudssiden. Tidligere har konventionelle kraftvarmeværker leveret det meste af fleksibiliteten, men de vil ikke være til stede i samme omfang i fremtiden. For at aktivere fleksibiliteten er der brug for ny regulering, der gør det muligt for forskellige aktører at levere fleksibilitet til systemet, og for et nyt markedsdesign der giver aktørerne incitamenter til at levere fleksibilitet på de tidspunkter, systemet har brug for det. Vi skal fremme markedsmodeller, der gør det let at levere flere forskellige typer ydelser på tværs af energimarkeder, og hvor forskellige teknologier kan konkurrere frit om at levere ydelser. Vi har derudover brug for en markedsmodel, der kan håndtere teknologier med høje investeringer og lave driftsomkostninger på linje med konventionelle teknologier. Endelig er der brug for at få afklaret, om det vil være politisk acceptabelt at fortsætte med at importere biomasse og (i fremtiden) grønne brændsler, samt hvilke kriterier for bæredygtighed en sådan import vil skulle leve op til. Storskala-import af biomasse og grønne brændsler vil også kunne hindre dansk udvikling af teknologier, som kan blive vigtige på globalt plan på længere sigt.

### **(3) Nye forretningsmodeller for de gamle energiproducenter**

De eksisterende kraftvarmeværker er i fuld gang med omstillingen fra fossile brændsler til biomasse mv. Men for at blive konkurrencedygtige på de fremtidige energimarkeder må de nytænke deres forretningsmodel. Vi ser en stigende international efterspørgsel efter VE-baserede alternativer til fossilt baserede produkter: VE-brændstof (såsom brint og ammoniak), VE-plast og VE-methanol. Ved at satse på en bred portefølje af produkter med f.eks. fleksibel produktion af el, varme, eller brint/VE-gas kan værkerne opnå en helt ny måde at drive forretning på, som vil gavne energisystemet og integrationen af VE – og som vil bidrage til at Danmark kan opnå CO<sub>2</sub>-reduktionsmålene. Danmark er i en unik position til at udvikle teknologier og integrerede løsninger til produktion af fremtidens grønne brændsler pga. billig strøm, tilgængelig restbiomasse, god energiinfrastruktur, der bl.a. muliggør udnyttelse af overskudsvarme. Her skal der også tænkes ind, hvad gassystemets rolle kan blive i fremtiden, da der ligger en større infrastruktur, som kan bruges – også når der ikke længere skal transporteres naturgas fra Nordsøen.

### **(4) Energibesparelser og inddragelse af borgerne**

Over de sidste årtier har vi i Danmark formået at afkoble den økonomiske vækst fra væksten i energiforbruget. I kampen for at nedbringe Danmarks CO<sub>2</sub>-udledninger med 70 % indtil 2030 må vi ikke glemme, hvor vigtige energibesparelserne er. Og vi kan stadig nedbringe energiforbruget gennem en fortsat effektiviseringsindsats i både vores bygningsmasse, industriprocesser, og borgernes adfærd. Vi har brug for fortsat forskning i området til at identificere, hvor de mest omkostningseffektive energibesparelspotentialer findes, og hvordan konkrete virkemidler designes, så vi får realiseret potentialerne billigst muligt.

Vi forventer, at det fremtidige energisystem i meget højere grad baseres på lokal værdiskabelse og involverer flere private aktører. Alle borgere skal være med i den grønne energiomstilling, når vi vil opnå bæredygtighed. Fremtidens energiforbrug hos os derhjemme vil se helt anderledes ud end i dag, hvor vi i højere grad vil bo i godt isolerede lavenergihuse, anvende el-baserede varmepumper til opvarmning og har elbiler stående i garagen. Forbrugere vil i stigende grad også blive producenter af energi (prosumers), f.eks. med solceller på taget, og vil (under de rigtige regulatoriske forhold) kunne bidrage til at stabilisere el-systemet gennem smarte kontrolenheder til styring af forbrug og lagringsenheder (f.eks. batterier). Digitalisering, dataindsamling og -håndtering bliver vigtigt ift. den intelligente styring af forbruget og decentral produktion. Vi mangler stadig at identificere og implementere passende politiske og regulatoriske virkemidler for at muliggøre det smarte energiforbrug i hjemmet, i erhvervet og i industrien, som f.eks. dynamiske tariffer. Vi mangler ligeledes stadig at udvikle markedsmodeller såvel som forretningsmodeller, der kan sikre den lokale værdiskabelse og en fair fordeling af de skabte værdier.

## Konklusion

Den grønne omstilling af energisektoren er i fuld gang, og der har været betydelige succeser med både energieffektivisering og vedvarende energi – men vi er ikke i mål, der er faktisk lang vej endnu. Elsektoren (og særligt vind og sol) forventes at blive rygraden i det fremtidige energisystem, der i langt højere grad er koblet sammen med elektrificeret transport og fleksibelt brug af varme- og gasinfrastruktur som lagringsenheder. For at leve op til Paris-aftalen må Danmark fordoble omstillingsraten til vedvarende energi i elsektoren samt begynde for alvor at tage fat på elektrificeringen af transporten. Nye VE-baserede produkter (såsom VE-brændsler, brint, VE-plast) kan komme på markedet. For at opnå en førende markedsposition i disse nye løsninger må der skabes de passende politiske og regulatoriske rammebetingelser. For at nå dertil har vi brug for en holistisk, integreret systemforståelse om sammenhænge på energiområdet over hele værdikæden, der kan informere om beslutninger for omstillingsprocessen. På DTU Management samarbejder energiøkonomer med energiingeniører og modelfolk om at analysere samfundsøkonomiske løsninger for fremtidens energisystemer samt foreslå fremtidig regulering og markedsdesign for at sikre en hurtig og effektiv omstilling. Mere info kan findes på hjemmesiden <http://www.sustainability.man.dtu.dk/english/Research/EER> og <http://www.sustainability.man.dtu.dk/english/research/energy-systems-analysis>

## Referencer:

1. Gap-report, UNEP, 2018
2. Status rapport, Klimarådet, 2018.
3. Energiaftalen, Energistyrelsen (ENS), 2018.
4. Energistatistik 2017, Energistyrelsen (ENS), 2018.
5. Basisfremskrivningen, Energistyrelsen (ENS), 2019.
6. Markedsmodel 2.0, Energinet, 2016 <https://energinet.dk/Om-publikationer/Publikationer/Markedsmodel-2-0>.