

Danmark skal udbygge med 12 Gigawatt nye havvindmøller – det giver flere store problemer

december 15, 2020



- [Ib Andersen og Soren Kjaersgaard](#)

[_Tweet på Twitter](#)

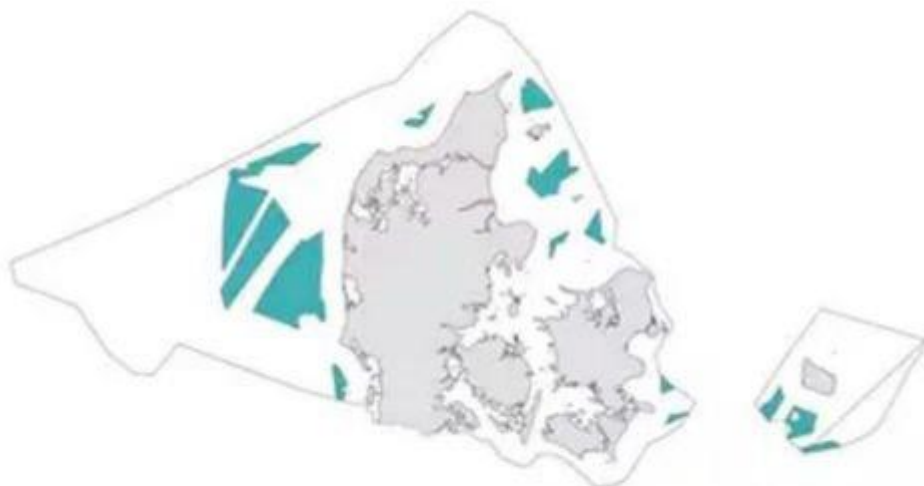
[_Del på Facebook](#)

[_Udskriv](#)

Denne artikel efterfølger en beskrivelse af status for udbygningen af danske vindmøller indtil nu. Den hedder: "To eksperter – om eksisterende danske havvindmøller 2020" og er [publiceret i Den korte Avis den 1.12.2020](#).

Hensigten med nærværende artikel er at belyse konsekvenserne af forslaget om at skabe grøn energiforsyning i Danmark (DK) ved at bygge endnu 12 GW havvindmøller (1 GW= 1 gigawatt= 1000 MW). Forslaget er indeholdt i klimaaftalen for energi og industri mv af 22 juni 2020. Heri beskrives Danmarks klimamål om at reducere drivhusgasudledningerne i 2030 med 70% i forhold til 1990 samt om at opnå klimaneutralitet senest 2050.

En vigtig del af denne aftale er at skabe en stærkt forøget CO₂-fri elproduktion især baseret på havvindmølle-elproduktion. Det blæser mere på havet end på land, hvorfor Energistyrelsen har screenet søterritoriet for havvindskapacitet. Screeningen har samlet identificeret et egnet havvindareal, der kan rumme 40 GW havvindmøller (Figur 1. De udpegede arealer er markeret med blå). Her er videre udpeget områder til bygning af i første omgang 12,4 GW havvindmølleparker. Den første af disse (benævnt Thor) er pt i udbud som en knap 1 GW havvindmøllepark placeret i Nordsøen min 20 km fra land og i drift senest 2027.



Figur 1

En vigtig betingelse for alle projekter i planen er, at de skal være rentable! Men betyder det så i praksis, at fremover skal indregnes udgifter til anlæg og drift af de helt nødvendige back-up anlæg, der sikrer elforsyningen, når vind og sol ikke producerer el eller mindre el end behovet?

Det er indlysende, at behovet for el vil være stigende i de kommende år, når persontransport og mange processer i industrien mv skal overføres til eldrift. Men den planlagte udbygning med ustabile, ustyrlige elproduktioner som vind og sol betyder imidlertid væsentlig større forsyningsproblemer og udgifter, end hvis man havde valgt stabile energiproduktionsmetoder som fx geotermi eller moderne kernekraft, der ikke har behov for sådanne anlæg.

Valget af ustabile el-produktioner nødvendiggør opbygning af et stort og dyrt støtteapparat til at overtage elproduktionen, når vindmøller og solceller producerer mindre end elforbruget fx ved blid eller ingen vind eller ved tæt skydække. Denne back-up skal i perioder med overskud af vind- og sol-el i så fald kunne omdanne den ustabile elproduktion fx til brint, som må oplagres i enorme tryktanke. Brinten bruges derefter til afbrænding i termiske kraftværker eller anvendes i elproducerende gasturbiner i perioder, hvor vind og sol ikke er leveringsdygtige med tilstrækkelig el til at dække forbruget. Ved denne proces vil man dog miste mindst 50% af den indsatte vind- eller solenergi.

Først når lagrene af brint indeholder en tilstrækkelig brintreserve til at sikre dette behov vil den resterende overskudsbrint kunne anvendes til PtX produktion af forskellige kemiske stoffer eller sælges.

Resten af artiklen graver dybere i disse problemstillinger. Men først lidt fysik, da man i elverdenen bruger mange forskellige fysiske enheder. Herom henvises til en faktaboks nederst i artiklen.

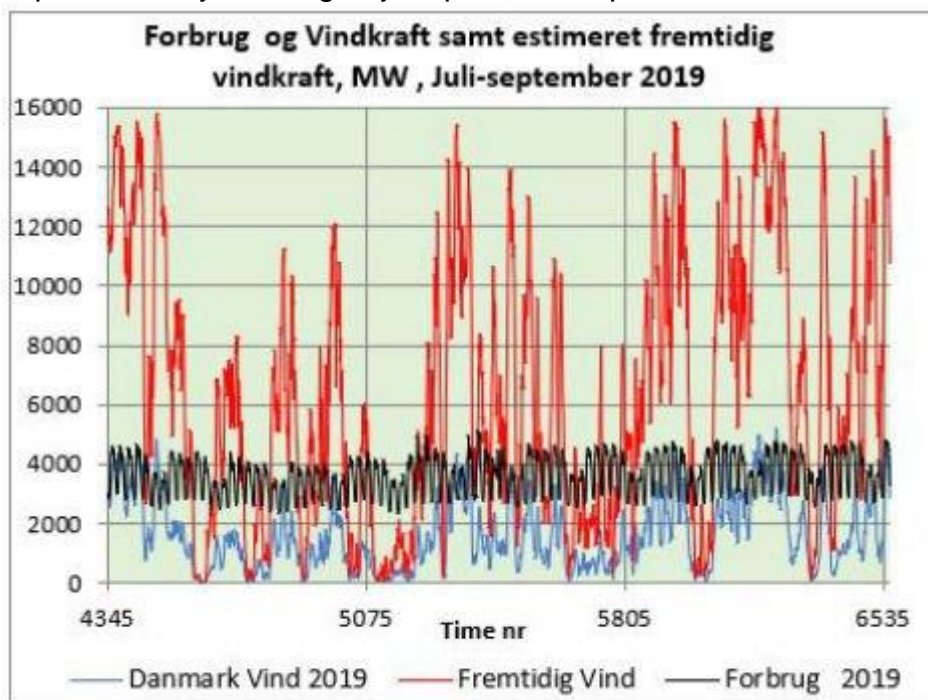
Energiforbrug og energiproduktion

DK's totale energiforbrug i 2019 var 22 GW = 22 G(iga)W(att). Vort totale elforbrug samme år var 3,9 GW i gennemsnit svt. 18% af vort energiforbrug.

Vindkraftens gennemsnitsydelse i 2019 var 1,8 GW dvs. 8 % af energiforbruget. I praksis dog 7 %, da kun 87 % kunne afsættes i Danmark. Det er ikke voldsomt meget i betragtning af vore mange, gennemgående ret moderne vindmøller.

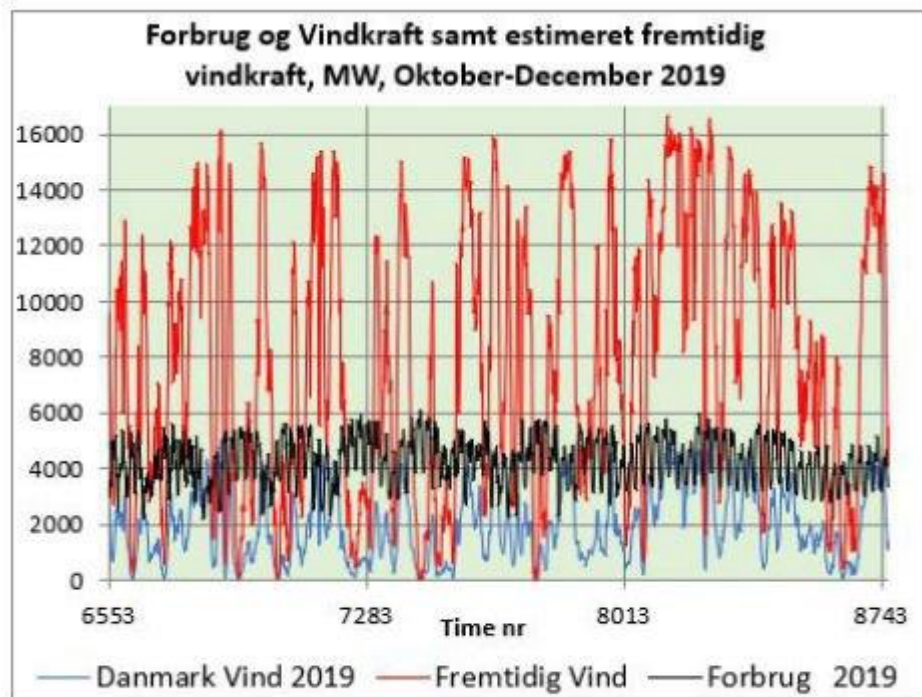
Nutidens danske vindkraft

Den danske elforsyning er i dag en af de mest stabile i verden som en cocktail med tre hovedkomponenter- termiske kraftværker, land-og havbaserede vindmøller samt importeret el. El fra disse kilder må dagligt blandes i forskellige mængder for at sikre el i vore stikkontakter 24/7. På fig 2 og 3 ses det totale elforbrug i henholdsvis tredje og fjerde kvartal 2019 som en sort, næsten vandret bølgelinje, der viser døgnvariationerne i området 2,5- 6,0 GW. De to figurer indeholder også hver en blå meget svingende kurve, som er vindkraftens yderst varierende og helt ustyrlige elproduktion. Området mellem den blå vindkurve og den sorte forbrugskurve viser det el-underskud, som skal udfyldes af vore 6 termiske kraftværker (de fyrer med træ fra store skovfældninger især i andre lande) og af el-import fra især svensk atomkraft og norsk og svensk vandkraft. De termiske elproduktioner og mængden af importeret el må helt indrette sig efter vindkraftens ændringer. Det betyder en varieret og vanskelig drift af disse to systemer med ringe kapacitetsudnyttelse og højere produktionspriser end ved en kontinuerlig drift.



Figur 2

Det danske elforbrug på 3,9 GW er beskedent i forhold til vore 3 nabolandes elforbrug på samlet 85 GW. Til trods for vindkraftens upålidelighed har Danmark derfor hidtil kunnet klare en stor del af sin elforsyning ved især større import, helt op til 3,5 GW svarende til 90 % af vort gennemsnitlige elforbrug, mest leveret af regulerbar norsk og svensk vandkraft.

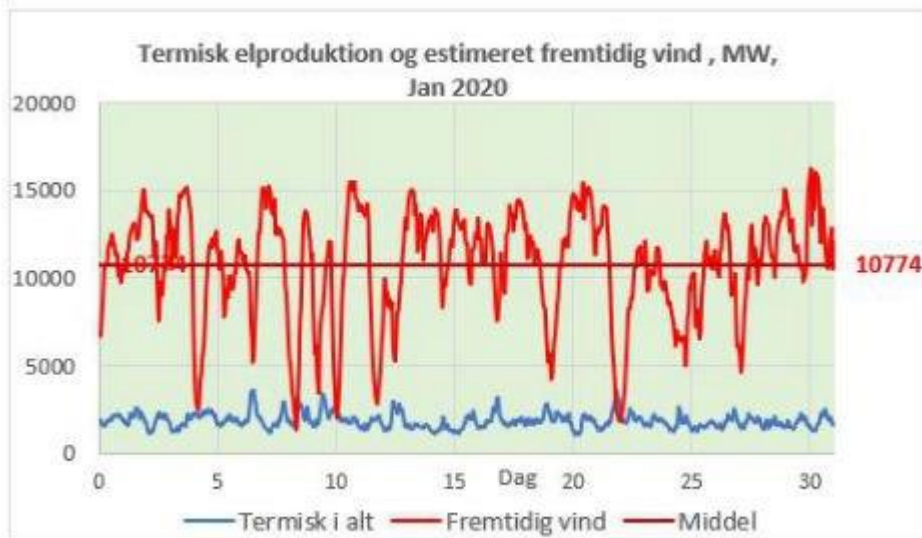


Figur 3

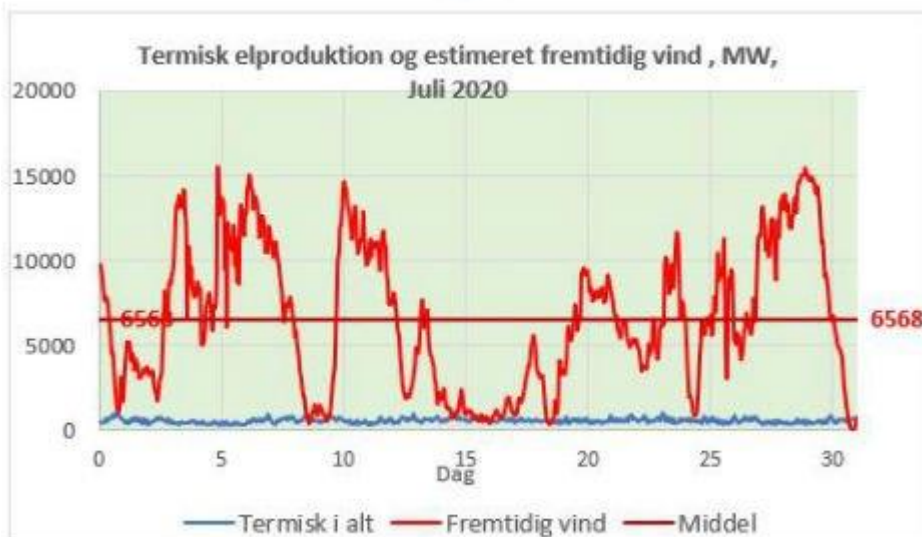
Fremtidens danske vindkraft

Bygning af 12 GW nye havvindmøller ændrer totalt denne tilstand. Vi vender tilbage til figur 2 og 3. Med en forudsætning om, at havvindsmønsteret i de kommende år vil være nogenlunde som det nuværende mønster, viser de røde kurver den beregnede produktion af vind-el efter den planlagte udbygning med 12 GW havvindmøller.

Vor egenproduktion af el i 2019 var 3,3 GW, der sammen med 6 GW fra de nye havvindmøller i alt giver 9,3 GW (45% af det totale danske energiforbrug). Det skyldes, at de nye møller med en maksimal ydeevne tilsammen på 12 GW ved fuld udbygning kun har en gennemsnitlig udnyttelsesgrad på 0,5 GW pr installeret GW. Derfor bliver deres gennemsnitlige elproduktion omkring 6 GW. Den største del af tiden ligger de røde fremtidige produktionskurver højere end de sorte forbrugskurver, hvilket betyder overskud af voldsomt varierende el. Den fremtidige stigning i det danske elforbrug forventes at være knap 40 % fra 2019 til 2029, hvorfor den sorte kurve vil stige hvert år. Der må dog stadig i 2029 regnes med et betydeligt eloverskud. Dette illustreres i figur 4 og 5.



Figur 4



Figur 5

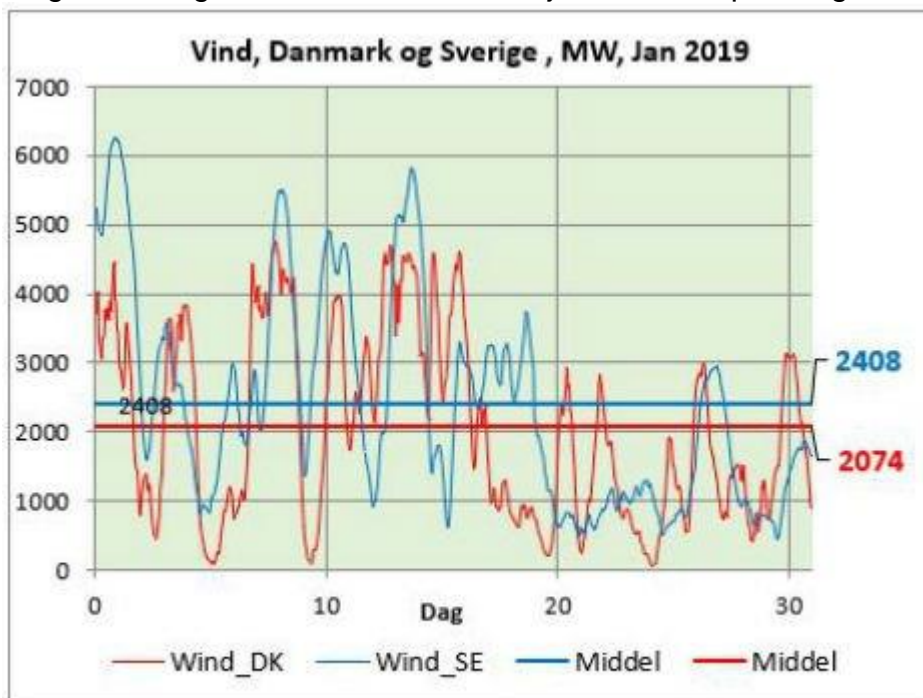
I januar vil møllerne yde i gennemsnit omtrent 11 GW varierende mellem ca. 1,3 og ca. 16 GW. Spørgsmålet er, hvordan elforbruget vil være. Næppe lig med den maksimale værdi og bestemt heller ikke lig med den minimale værdi for vindkraften. Så spørgsmålet er, hvordan vi slipper af med den overskydende vindkraft og hvordan dækker vi forbruget ved svag vind? De blå kurver viser produktionen fra vore termiske kraftværker. Disse vil skulle udbygges betydeligt, hvis de alene skulle levere back-up. Jo mere vor vind- og solkraft udbygges, desto mere må man derfor regne med at skulle supplere de termiske kraftværker med yderligere back-up anlæg.

Tilsvarende betragtninger gælder for juli, hvortil kommer, at vindkraftydelsen i juli kun udgør 60% af vindkraften i januar.

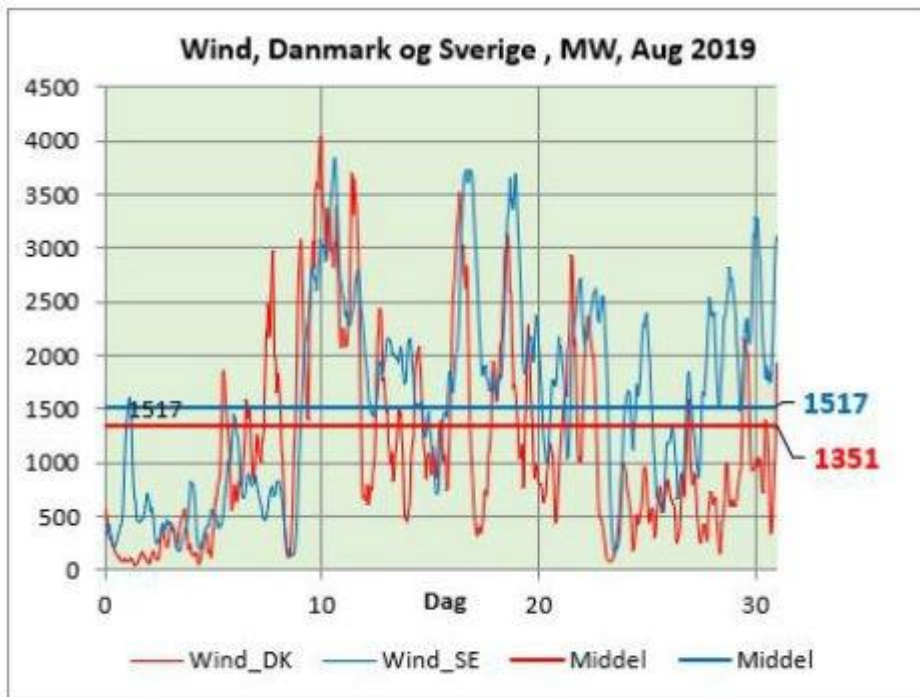
Nogle fremtidige muligheder for back-up kunne være:

1 Sverige, Norge, Tyskland

Som hidtil vil overskydende dansk el kunne eksporteres til Norge, Sverige og Tyskland. Vi ved dog ikke sikkert, om dette vil gælde i fremtiden og til hvilke priser, når DK firedobler sin produktion af vind-el. Der må forventes ret store ændringer, da vore nabolande også udbygger deres vindkraft. Denne vil komme til at fungere lige så ustabil som vor og endda i ret så nær takt med vore møller. Figur 6 og 7 viser svensk og dansk vindkraft i januar og august 2019. Det fremgår, at kurverne for de to vindkraftområder ikke altid følges ad, men de gør det dog så ofte, at de ikke kan tjene som en pålidelig back-up for hinanden.



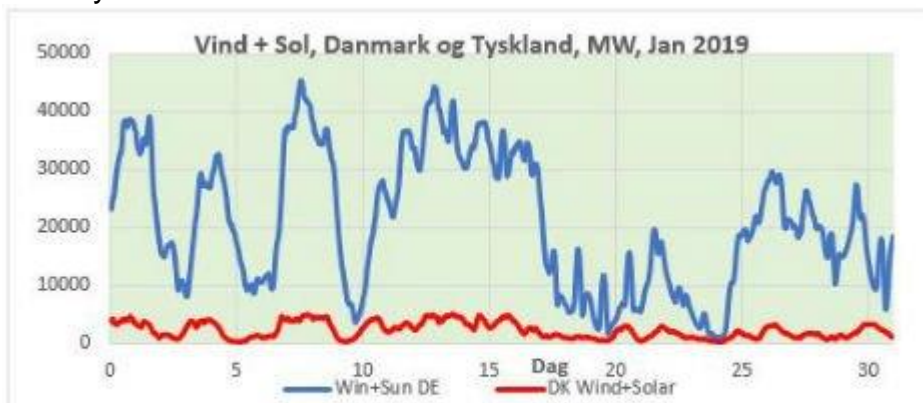
Figur 6



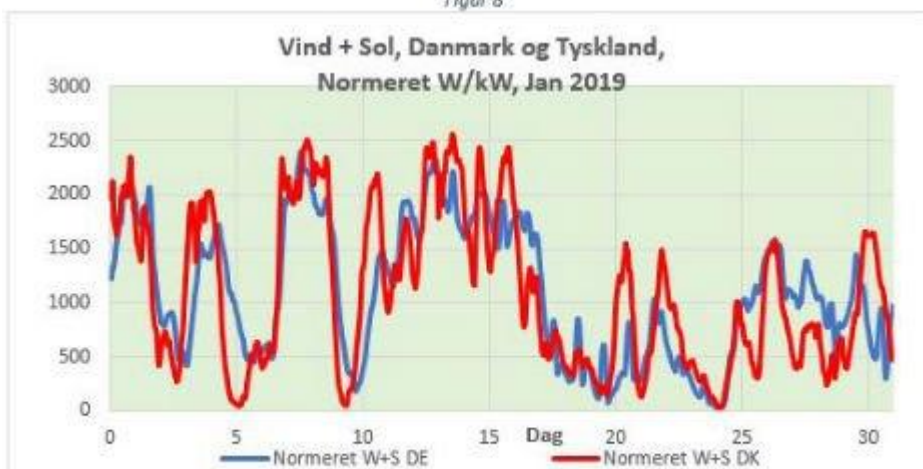
Figur 7

Kunne man udveksle

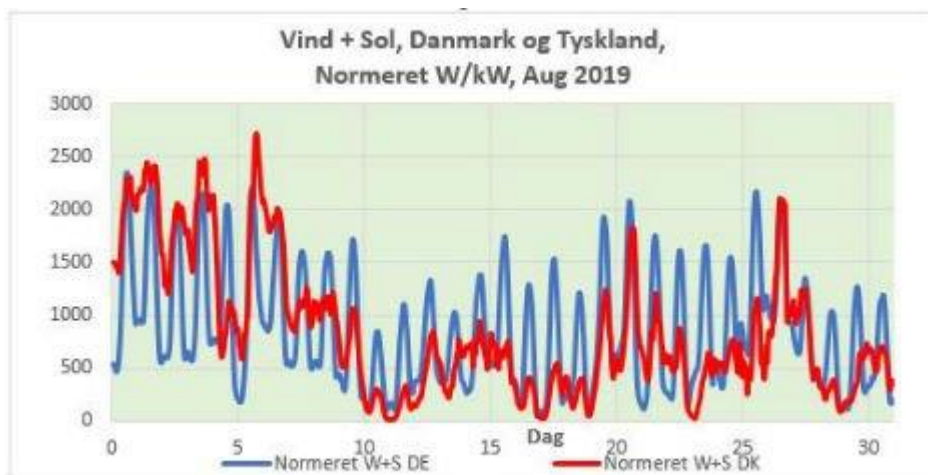
med Tyskland?



Figur 8



Figur 9



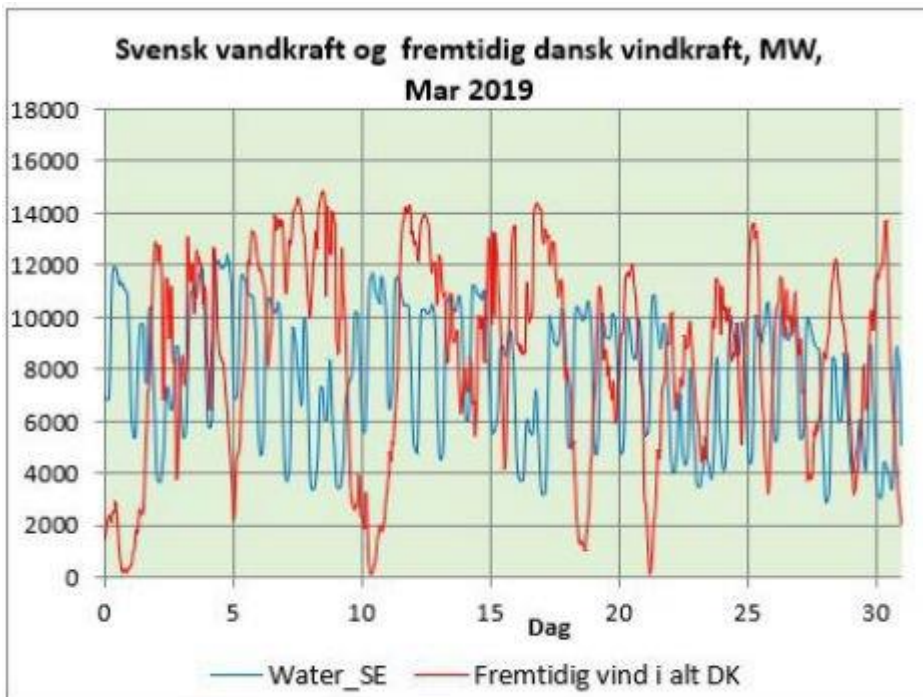
Figur 10

Figur 8 viser tysk og

dansk vind+sol i Januar 2019. Figuren er lidt informativ, da den tyske vind- og solkraft er omtrent 10 gange så stor som den danske. For at kunne sammenligne dividerer vi tallene for henholdsvis Tyskland og Danmark med årsgennemsnittet for hvert af landene og multiplicerer med 1000 og får dermed enheden W/kW, som er gengivet i figur 9. Det fremgår tydeligt, at der ikke er basis for nogen større gensidig udveksling mellem de to lande. Når den grønne elproduktion er lille i Danmark gælder det samme i Tyskland. Ved stor elproduktion er kurverne også ret sammenfaldende. Det giver ikke forhåbninger om større gensidig eksport/import af el.

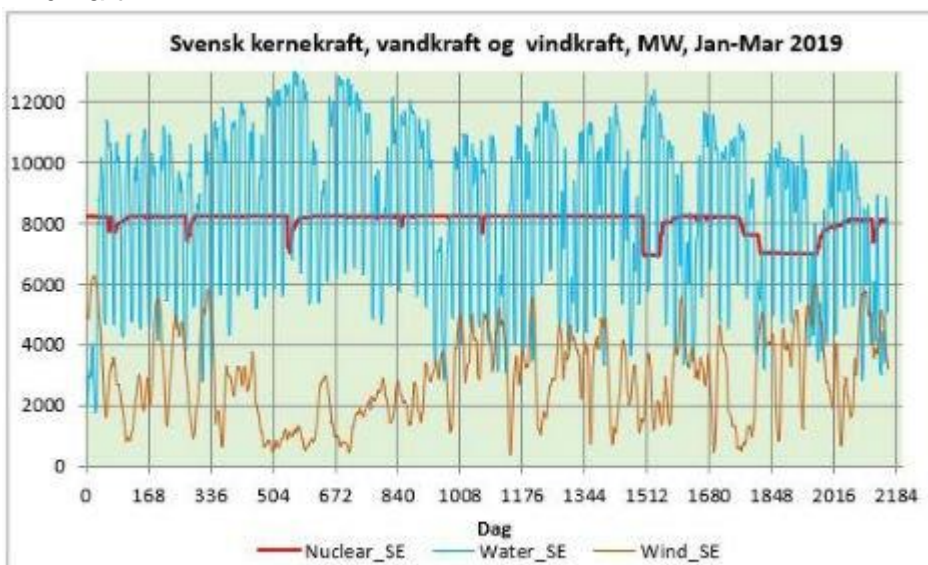
I august (figur 10) ser det lidt anderledes ud, fordi Tyskland har relativt meget mere solenergi end Danmark. Udbygger Danmark også sin solenergi vil sammenfaldet af de danske og tyske kurver i august blive større. Dette betyder, at mulighederne for gensidig eksport/import vil aftage.

Det virker heller ikke sandsynligt, at vi skulle kunne have en væsentlig import fra og eksport til landene på den anden side af Tyskland. Måske dog med Holland, hvis Holland holder igen med at udbygge sin vindkraft.



Figur 11

Vandkraft er den lettest regulerbare energiform. Den blå kurve i figur 11 viser, hvilken reguleringsopgave den svenske vandkraft løser for os i dag. Det er næsten utænkeligt, at kapaciteten også vil række til at udglatte den røde kurve, der viser fremtidig dansk vindkraft.



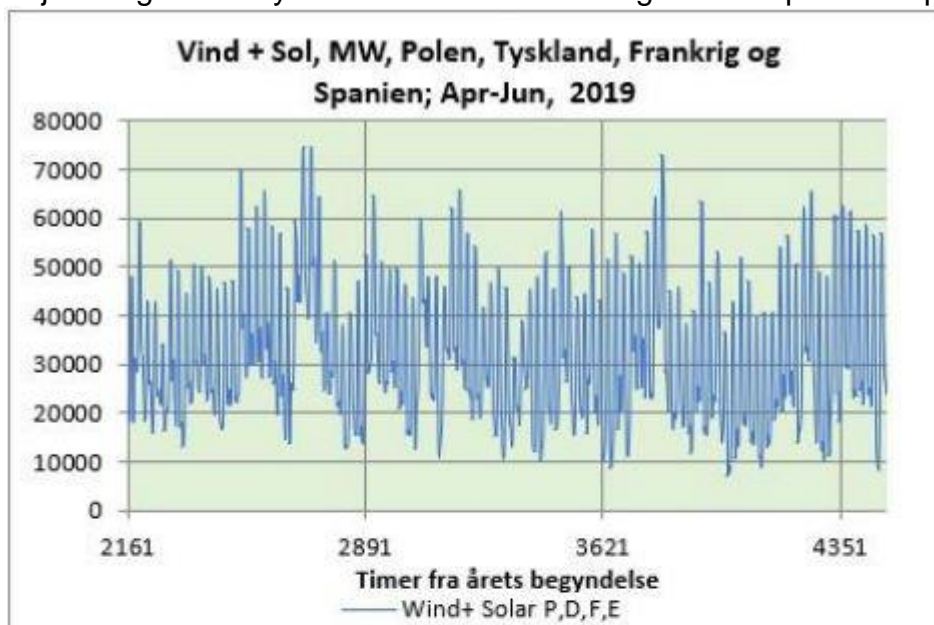
Figur 12

Figur 12 viser svensk vand-, vind- og kernekraft Januar-Marts 2019. Kernekraften må siges at køre stabilt. Vandkraften tager sig af døgnvariationerne. Det fremgår også, at vandkraften vil komme på en uoverstigelig reguleringsopgave, hvis svenskerne virkelig skulle vælge at lukke deres kernekraftværker og forsøge at erstatte dem med vindmøller.

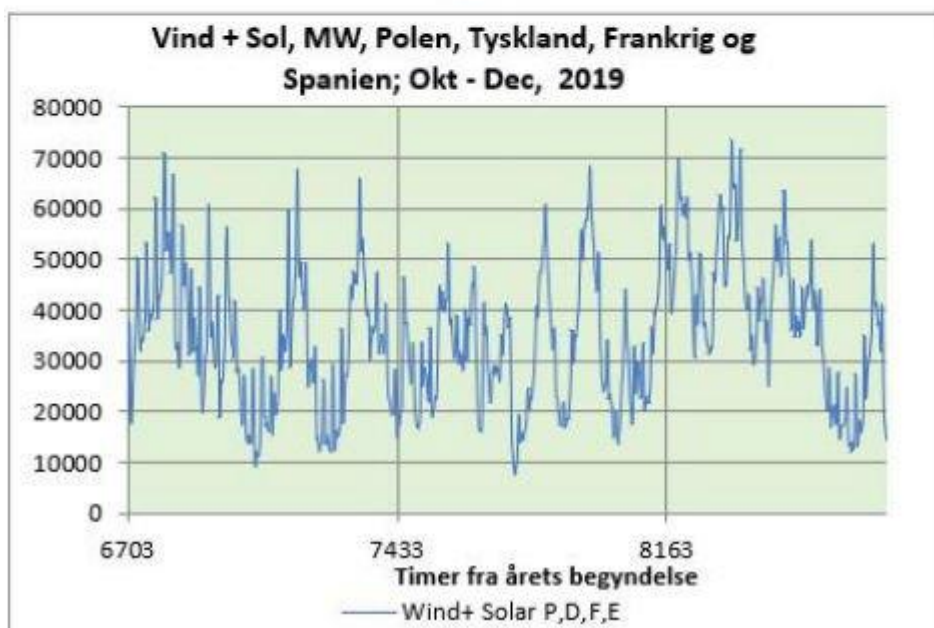
2 Europæisk supergrid

Det er vist ovenfor i figur 9 og 10, at dansk samkørsel med et europæisk supergrid for udligning af variationer i vind- og solkraft ikke er en indlysende mulighed for Tysklands vedkommende.

Desuden er vind- og solkraft i hele Europa også ustyrlig, hvilket fremgår af figur 13, der time for time viser summen af sol- og vindkraft i Polen, Tyskland, Frankrig og Spanien i månederne april-juni 2019. Ydelserne i hele 2019 svingede ukontrollabelt mellem 5 GW og maksimum 85 GW med et gennemsnit på 33 GW. Det er en faktor 17 i forholdet mellem højeste og laveste ydelse. Så disse landes eget back-up behov i perioden er betydeligt.

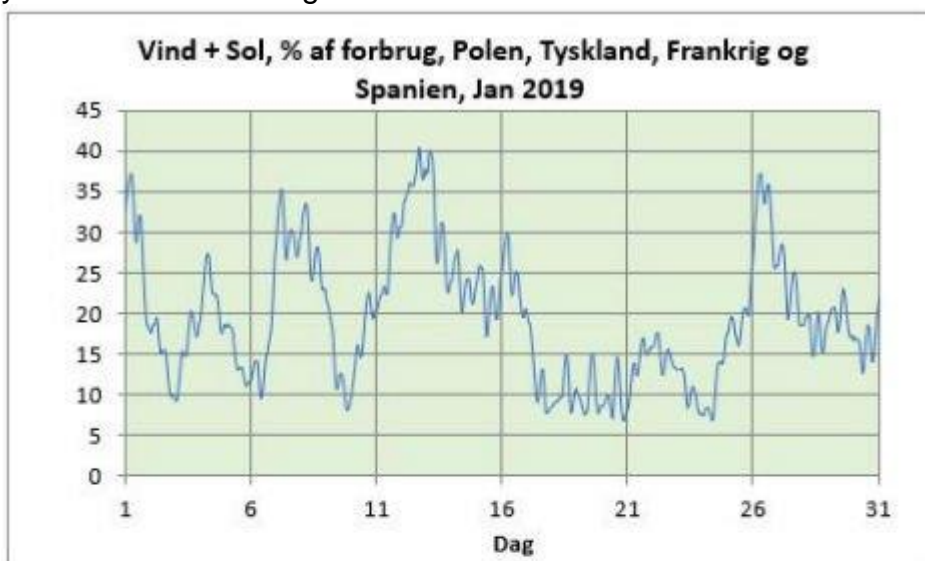


Figur 13

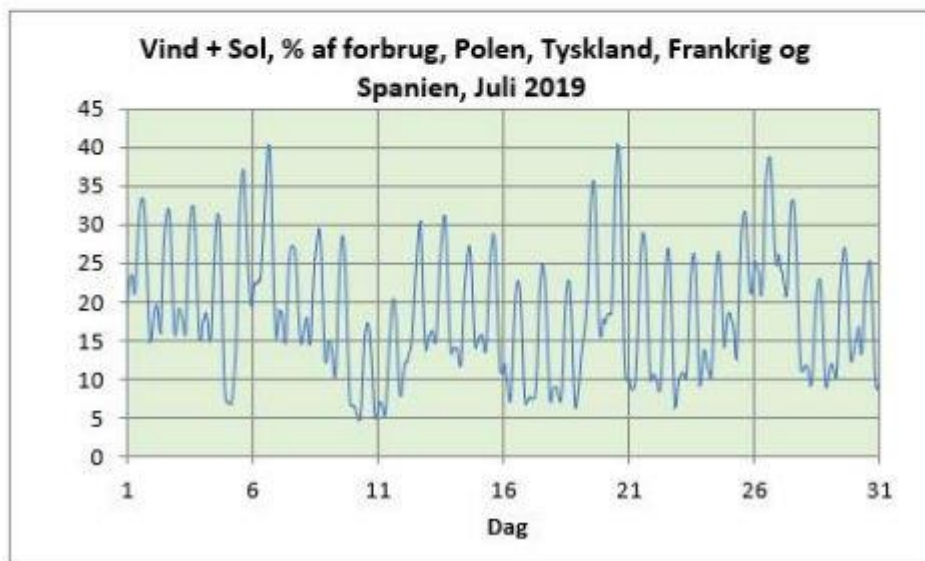


Figur 14

Figur 13 og 14 illustrerer forskellen mellem sommer og vinter. Om sommeren er der en vis lovmæssighed i ydelserne, når man har meget solkraft i systemet. Om vinteren falder ydelserne helt tilfældigt.



Figur 15

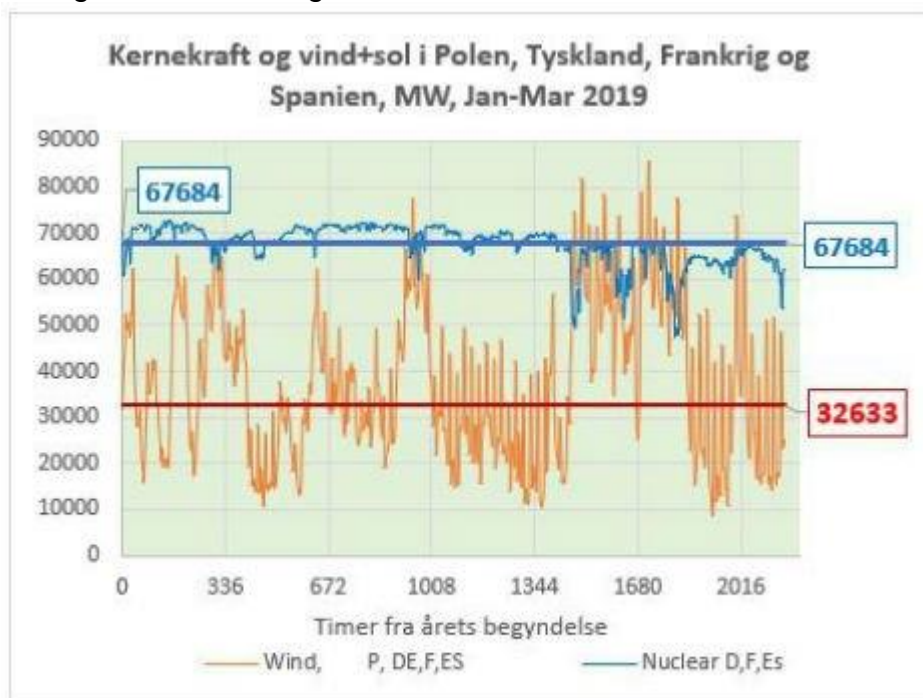


Figur 16

Figur 15 og 16 ovenfor viser vind- og solkraftens andel af strømforbruget. Det bliver noget af en opgave at tilpasse forbruget til kurverne i figur 13 og 14 og navnlig at opnå, at vind- og solkraft skal kunne vokse fra de nuværende 21% af elforbruget til f.eks. det tredobbelte.

Vil man lagre elektriciteten i pumpekraftværker for at opnå en regelmæssig strømforsyning, skal der bruges ca. 3600 anlæg som anlægget i Vianden i Luxembourg, der er det største i Europa. Lagring af el i batterier af type som dem, der anvendes i personbiler vil kræve mere end 200 millioner bilbatterier af de største. Et groft skøn siger 150.000 kr/batteri. Så et batterilager ville koste omkring 60.000 kr per EU borger. Begge lagringsmetoder må betegnes som uanvendelige.

I figur 17 nedenfor er vist energiproduktionerne fra kernekraft og vind+sol i Polen, Tyskland, Frankrig og Spanien i første kvartal 2019. Det fremgår, at den stabile atomkraft yder den største produktion, medens den meget varierende sol+vind produktion er ca det halve heraf. Vandkraft er en begrænset ressource i de fleste flade lande, men selv i ret bjergrige lande som Tyskland og England er denne elproduktion ganske lav- henholdsvis 5,4 og 2 % af elforbruget.



Figur 17

Nedenstående tabel 1 viser vind- og solkraftens andel af energiforbruget i Polen, Tyskland, Frankrig og Spanien i 2019. Gennemsnittet er **3,19%**. Kernekraften tegner sig for **5,54 %**.

	% af totalt energiforbrug		Kuldioxid
	Vind+sol	Kernekraft	t/Indbygger
Frankrig	1,64	14,06	4,47
Tyskland	4,54	1,95	8,19
Polen	1,23	0,00	6,42
Spanien	4,20	3,52	7,35
Gennemsnit	3,19	5,54	6,64

Tabel 1

Ønsker et land at nedbringe sin kuldioxidudledning, viser tabellen, at kernekraft er en del mere effektivt end Tysklands omfattende indsats med "Die Energiewende".

3 Elektrolytisk produktion af brint

Dansk overskudsstrøm vil kunne bruges til at producere brint ved elektrolyse. Der vil dog være et energitab på 20-30% ved denne proces. Produktionen vil variere i takt med

vinden, således at anlæggene vil stå stille eller køre med reduceret kapacitet en stor del af tiden. Dette medfører naturligvis en fordyrelse af produktionen.

Brint kan oplagres i store tryktanke til produktion af el i vindstille perioder. Elektrolyseprocessen vil medføre et energitab på 20-30%, og elproduktionen yderligere et meget betydeligt tab, men mindst 40%, i alt et tab på ikke under 55% af den indsatte vindenergi. Det bliver en dyr elektricitet.

Brinten kan også tænkes anvendt til PtX produktioner eller bruges til opvarmning af bygninger, drift af biler, tung transport eller evt til fremdrift af skibe.

4 PtX produktion

PtX er kendt teknologi, som har været anvendt i teknisk målestok i mere end 90 år. Brint vil kunne bruges som råstof i den kemiske industri fx til fremstilling af benzin eller andre flydende brændstoffer.

Hertil skal også bruges CO₂ fra fx kraftværksskorstene, anden skorstensrøg eller biogasanlæg. Planer har været nævnt om produktion af 250.000 tons benzin pr år. Dette vil kræve en CO₂ forsyning på omkring 90 tons i timen. Teknologien eksisterer og et dansk firma har stor erfaring i at bygge sådanne anlæg.

Udvinning af CO₂ er en stærkt energiforbrugende proces. Ofte kaldet CCS: Carbon Capture and Storage. Omfattende forsøg hos det daværende Vestkraft i Esbjerg for ca. 15 år siden endte med at konstatere, at energiforbruget ikke kom under 3,6-3,7 MJ/kg kuldioxid svarende til ca. 35 % af kullenes energiindhold.

De termiske back-up kraftværker, der skal levere kuldioxiden vil komme til at køre lige så uregelmæssigt, som vinden blæser. Det vil blive vanskeligt at drive CCS anlæg under de vilkår.

Alle ovennævnte processer er energikrævende i sig selv, og højst 22% af den anvendte vindenergi vil blive genfundet i den fremstillede benzin/diesel.

5 Opvarmning af huse

Dansk overskudstrøm vil kunne producere varmt vand til opvarmning af huse. Om sommeren må varmeenergien da lagres i meget store tankanlæg til brug om vinteren. Det vil kræve meget store og dyre vandtanke og et forsyningsområde indrettet til fjernvarme.

6 Stilstand af vindmøller

Overskydende vindkraft kan endelig undgås ved at lade møllerne stå stille.

En vigtig betingelse for alle projekter i klimaplanen er, at de skal være rentable. Det bliver de dog næppe uden statslig støtte til priser og afsætning. Muligvis vil man kunne fremstille el til en konkurrencedygtig pris, når det blæser. Men det må betegnes som nært umuligt at drive en rentabel produktion med en ustyrlig og varierende elforsyning.

Kapitalomkostninger til de nødvendige back-up anlæg til sikring af en strømforsyning, der retter sig efter forbruget vil veje tungt i elprisen.

Andre former for energiproduktion

Mange lande på kloden overvejer deres fremtidige energiproduktion. Vind og sol spiller overalt en rolle, men deres store ustyrlige variationer kræver opbygning af et stort og dyrt teknisk støtteapparat, hvis vandkraft back-up ikke findes i eller nær det aktuelle land. Mange lande vil derfor have svært ved at slippe fortsat brug af fossile brændstoffer i traditionelle termiske kraftværker eller gå direkte efter at opbygge en stabilt producerende CO₂-fri elproduktion. Moderne kernekraft evt i form af den meget sikre kernekraft baseret på en Thorium 90 saltsmeltereaktor indeholdt i en 40 fods container er her en realistisk mulighed, der overvejes i adskillige lande.

Om den fremtidige globale energiudvikling skriver Generaldirektør Rafael M. Grossi fra International Atomic Energy Agency (IEA) d 13/10 2020 i World Energy Outlook 2020: "The world cannot afford to exclude any available technologies, including nuclear power - the world second-largest source of low-carbon electricity after hydropower".

En spritny hollandsk analyse fra deres økonomi- og klimaminister E.Wiebes: "Possible role of nuclear in the dutch energy mix in the future" anfører: "Corrected for system costs, nuclear can more than compete with VRE's (Variable Renewable Energy Sources), and could be successfully deployed to maintain a stable and reliable grid".

Det svarer ikke til, hvad vor egen klimaminister docerer, men han er jo heller ikke økonomiminister som sin hollandske kollega!

Slutning

Danmark er nu så langt i sine overvejelser om den fremtidige CO₂-fri energiproduktion, at det er klart, at vi går fra en situation med lav produktion af varierende, ustyrlig vind-el til en betydelig overproduktion af denne. Hidtil har vi kunnet supplere vor vind-el med let styrbar, nordisk vandkraft-el, men da vore nordiske nabolande selv bygger vindmøller, vil de mere og mere få brug for reguleringsevnen i deres egen produktion af vandkraft-el. Vore andre naboer udbygger både deres vind-og sol-el produktion og da vejret i Nordeuropa er ret ens, vil der ofte være sammenfald i flere lande af perioder med enten overskud eller underskud af vind- og sol-el. Priserne på grænseoverskridende el må derfor forventes at blive meget lave ved overskud af el og meget høje ved underskud af el i regionen. Vi må derfor realistisk påregne selv at skulle håndtere fremtidige mangler på eller overproduktion af varierende, ustyrlig vind- og sol-el.

Det bliver ikke billigt, hvorfor det overordnede krav i klimaaftalen om rentabilitet af alle projekter vil blive særdeles vanskeligt at opfylde. Dansk teknisk ekspertise bør derfor snarest beregne de forskellige muligheders investeringsbehov, driftsomkostninger, forbrugerpriser og skånsomhed for land- og havmiljø, herunder arealbehov.

Der er brug for beregninger, hvor alle udgifter ved hver type energiproduktion medtages. Ved fx vindmølle-el bør man ikke længere alene interessere sig for de opstillede mølles pris, men må også indregne udgifterne til det nødvendige store tekniske back-up system med samme produktionskapacitet som vindmøllerne. Erfaringsmæssigt koster et sådant back-up apparatet nær det samme som møllerne. Den grønne el må derfor forventes at behøve en høj forbrugerpris, selv om sol og vind er gratis.

Ib Andersen, dr.med, klimahygiejniker
Søren Kjærsgaard, civilingeniør

Der er bragt følgende fire artikler i denne serie om vedvarende energi:

[Danmark skal udbygge med 12 GW store havvindmøller – det giver store problemer](#)

[Den Korte Avis | “Vedvarende energi” er ikke vedvarende](#)

[Den Korte Avis | To eksperter – om eksisterende danske havvindmøller](#)

[Moderne atomkraft overvejes i Holland](#)

Faktaboks

Læsere der selv ønsker at skaffe sig dybere viden på elområdet må være klar til at håndtere den praktiske vanskelighed, at de forskellige aktører bruger forskellige enheder. Nogle eksempler på omregninger vises: DKs totale energiforbrug i 2019 var 700 PJ = 700 mio mia joule. Kraftværkers kapacitet angives i watt, så de 700 PJ omregnes til watt ved at dividere med årets antal sekunder (sec), hvilket giver $22 \text{ mia J/sec} = 22 \text{ G(iga)watt} = 22 \text{ GW}$.

DKs totale elforbrug i 2019 var 34248 GWh. For omregning til GW divideres med årets antal timer: 8760, så elforbruget var 3,9 GW i gennemsnit. Energinet.dk opgiver elproduktionen time for time i M(ega)W= (Mio watt).