



Analyse af potentialet for landvind i Danmark i 2030

25. januar 2015
LOA-RMS/DGR

Indholdsfortegnelse

1.	Formål og opsummering	2
1.1	Opsummering af resultater	3
1.2	Opsummering af metoder og begrænsninger.....	4
2.	Metodebeskrivelse	4
2.1	Identificering af områder	4
2.2	Opgørelse af eksternaliteter	6
2.2.1	Omkostninger svarende til opkøb af ejendomme inden for 4 møllehøjder	6
2.2.2	Erstatning uden for 4 møllehøjder.....	7
2.3	Tekniske og økonomiske forudsætninger	10
2.4	Produktion	10
3.	Resultater.....	11
3.1	Potentiel besparelse i forhold til udbygning med havvind	14

Resumé:

I denne analyse undersøges det samfundsøkonomiske potentiale for udbygning af landvind i Danmark.

Analysen viser, at der er et potentiale på mindst 12 GW til en samfundsøkonomisk omkostning lavere end for havvind og ved færre, men større møller end de eksisterende. En realisering af blot halvdelen af potentialet kan spare samfundet for ca. 3 milliarder kr. om året i år 2030.

1. Formål og opsummering

Analysens formål er at belyse det samfundsøkonomiske potentiale for øget vindudbygning på land i forhold til en tilsvarende vindudbygning med havvind. Vindmøller på land (landvind) er karakteriseret ved lavere omkostninger end havvind, både i forhold til etablering og vedligehold. Vindmøller på land har dog en lavere produktion pr. MW installeret, samt et større potentiale for gener for naboer og lokalbefolkning end havvind. Generelt er landvind en meget billig produktionsform, som samfundsøkonomisk kan konkurrere med anden billig energi såsom kulkraft¹, men der har hidtil ikke været analyser af, hvor meget landvind der er plads til i Danmark, når værditab ved nedlæggelse af ejendomme og øvrige gener for naboer værdisættes og inkluderes i den samlede økonomiske betragtning.

Analysen giver derfor først et bud på en kvantificering af de samfundsøkonomiske eksternaliteter forbundet med opførelse af vindmøller på land. Dernæst anvendes dette til en estimering af potentialet for landvind i Danmark, som kan sammenholdes med en tilsvarende udbygning af vindkraft med havvind.

Energinet.dk analyserer løbende mulige udviklingsveje for energisystemet som helhed og inden for enkelte sektorer. Dette gøres blandt andet fordi Energinet.dk og andre aktører kontinuerligt foretager væsentlige investeringer i elnettet i Danmark. Disse investeringer har typisk lange levetider (20-30 år eller mere), så det er essentielt, at forskellige udfaldsrum for fremtidens energisystem afdækkes. Derudover er Energinet.dk forpligtet til at bidrage til en samfundsøkonomisk effektiv udvikling af energisystemet.

Denne analyse peger netop på, at der kan være god samfundsøkonomi i en øget udbygning af landvind i Danmark. En vurdering af det samlede besparelspotentiale er, at der kan spares ca. 4,5 milliarder kr. pr. år i 2030, såfremt det fulde økonomiske potentiale på 12 GW på land udnyttes, fremfor en tilsvarende energiproduktion med havvind.

Analysen og dens resultater er ikke udtryk for, at Energinet.dk forventer eller anbefaler, at alle de identificerede områder skal benyttes til opførelse af nye vindmøller. I praksis vil et nyt projekt diskuteres i dialog mellem kommune, opstiller og naboer samt hensyn tages til gældende lovgivning. Analysen er alene udtryk for en overordnet betragtning på, hvor meget landvind det kan være rentabelt for samfundet at udbygge med i forhold til havvind.

Eksisterende rammevilkår og analyser af historiske sager for opførelse af vindmøller på land er anvendt, i sammenhæng med vinddata og ejendomsværdidata til at estimere det samfundsøkonomiske potentiale for opførelse af landvind; også når der inkluderes eventuelle opkøb af ejendomme.

¹ Dette understøttes blandt andet af Energinet.dk's egne analyser samt Energistyrelsens (<http://www.ens.dk/info/tal-kort/fremskrivninger-analyser-modeller/beregning-elproduktionsomkostning>) og EU-kommissionens rapport fra november 2014 (https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/ECOFYS%202014%20Subsidies%20and%20costs%20of%20EU%20energy_11_Nov.pdf)

1.1 Opsummering af resultater

Der identificeres i alt 1.082 områder, hvorpå der kan opstilles 3 eller 5 vindmøller, men hvori der også er ejendomme beliggende. I størstedelen af de mulige projekter (1.002) vil det dog være billigere at opkøbe de nærliggende ejendomme til 150 pct. af ejendomsværdien samt yde kompensation til naboer længere væk, end en tilsvarende udbygning med offshore.

Samlet set kan der opstilles 3.746 vindmøller i de fundne 1.082 områder. Med den benyttede vindmølletypes kapacitet på 3,5 MW giver det et teknisk potentiale for landvind på i alt 13.111 MW. Når kriterierne for vindmøllernes produktion, og ikke mindst økonomiske forhold vedrørende nabogener og opkøb af ejendomme inkluderes, reduceres dette potentiale dog til 1.018 områder, med mulighed for opstilling af 3.538 vindmøller med en samlet kapacitet på 12.383 MW (eller ca. 12 GW). Dette benævnes det samfundsøkonomiske potentiale for mere landvind. Potentialet er således betragteligt set i forhold til Danmarks eksisterende vindmøllekapacitet på 3,6 GW på land. Ved at opstille ca. 3.500 nye landmøller i ca. 1.000 områder kan altså opnås en kapacitet på ca. 12 GW, som er samfundsøkonomisk billigere end den tilsvarende energiproduktion fra havvind.

Der er i dag 4.383 vindmøller i Danmark over 50 kW, så det identificerede potentiale i denne analyse udgør et *mindre* antal vindmøller, end Danmark har i dag, men i en større størrelse. Da analysen undersøger potentialet for, hvor mange vindmøller der kan være potentiale for i 2030, og størstedelen af de eksisterende vindmøller vil være udtjente til den tid, identificeres der således et samlet vindmøllepotentiale, som i antal vindmøller er mindre end i dag.

Der regnes ikke med større vindmøller end det, der opføres og tillades i dag på land, hvilket er 150 meter totalhøjde.

Det fundne samfundsøkonomiske potentiale på 12 GW vil kunne producere ca. 38 TWh årligt, hvilket svarer til ca. 75 pct. af den mængde vindbaserede energi, Energinet.dk i scenarier for et såkaldt "vindspor" hidtil har regnet med i et fossilfrit energisystem i 2050².

Det skal bemærkes, at nærmere beregninger på, hvorvidt og i hvilket år det vil kunne betale sig at erstatte hver enkelt eksisterende vindmølle med nyere, større møller (såkaldt "re-powering") ikke er inkluderet i denne analyse.

Som det fremgår nærmere af kapitel 3, er størstedelen af besparelspotentialet på op til 4,5 milliarder kr. årligt forbundet med de bedste områder på land. Der kan være lokale forhold m.v., der samlet kan gøre det besværligt at opnå det fulde potentiale. Til gengæld kan der være andre potentielle områder, som ikke er medregnet i denne analyse. Således vurderes en realisering af halvdelen af potentialet at være et konservativt skøn for den opnåelige besparelse. Ved et sådant skøn kan der opnås en potentiel besparelse på ca. 3 milliarder kr. pr. år, alene ved udnyttelse af den billigste halvdel af det fundne potentiale. Det svarer til 507 områder med i alt 1.855 nye vindmøller, der vil have en samlet kapacitet på ca. 6,5 GW.

² Se fx <http://energinet.dk/energianalyser>.

Dette betydelige besparelspotentiale fremkommer til trods for, at elproduktion fra havvind antages at falde betragteligt i pris frem mod 2030 i forhold til prisen i dag. Den beregnede vindproduktion fra hvert område på land sammenholdes med en tilsvarende energiproduktion fra havvind, det vil sige det faktum, at vindmøllerne er større og producerer i flere timer på havet end på land, er inkluderet i beregningerne. I 2030 er den gennemsnitlige LCOE³ for landvind, ved udnyttelse af det fulde samfundsøkonomiske identificerede potentiale, ca. 30 øre/kWh. For havvind antages det, at LCOE i 2030 er 40 øre/kWh, jf. Energistyrelsens scenarier.

De fundne tekniske og økonomiske potentialer vurderes generelt at være konservative (det vil sige lavt sat), jf. de beskrevne afgrænsninger i kapitel 2. Især vurderes, at en beregning af re-powering forløb af samtlige eksisterende vindmøller at ville kunne forøge det samfundsøkonomiske potentiale for ny landvind væsentligt.

1.2 Opsummering af metoder og begrænsninger

Analysen tager udgangspunkt i Naturstyrelsens offentlige hjælpeværktøj til kommunernes planlægning for nye vindmølleområder, hvilket blandt andet ekskluderer fredede områder m.v.

- Naturstyrelsens hjælpeværktøj inkluderer alene nye vindmølleområder, hvor der potentielt kan opføres 3 eller 5 vindmøller på en direkte nord-/sydgående linje. Der må antages at være et ikke uvæsentligt yderligere potentiale for opførelse af enkelte, 2 eller 4 vindmøller, ligesom der givet kan indplaceres yderligere vindmøller ved en anden linjeføring end direkte nord/syd.
- Naturstyrelsens hjælpeværktøj inkluderer kun beboede områder. Omkostningerne til eventuelt opkøb af huse samt compensation for gener er inkluderet i analysen som en udgift for hvert enkelt vindmølleprojekt. Der må desuden forventes et vist potentiale for opførelse af vindmøller uden for beboede områder, som ikke allerede er benyttet af eksisterende vindmøller. Dette potentiale er ikke inkluderet i analysen.
- Analysen forholder sig ikke til re-powering, det vil sige analyser af tidsforløb for opkøb og erstatning af eksisterende møller med nye, større møller. Analysens resultat har dog et overlap med 1,5 GW kapacitet, som er etableret i dag. Heraf kan højst 0,4 GW forventes stadig at være i drift i 2030, og dette påvirker således ikke analysens samlede resultat væsentligt, da disse må formodes udskiftet kort efter 2030.

2. Metodebeskrivelse

2.1 Identificering af områder

Der tages udgangspunkt i Naturstyrelsens hjælpeværktøj for potentielle nye vindmølleområder⁴. De er beskrevet som områder på 2.600 x 1.200 meter, hvor henholdsvis 5 eller 3 vindmøller på 150 meter kan opstilles ved at nedlægge henholdsvis 1, 2 eller 3 boliger uden at komme i konflikt med fredede områder, fredede områdeforslag, fredskov, Natura2000 eller sommerhuszone. Hjælpeværktøjet er udviklet af Naturstyrelsen til kommunerne med formålet at lave indledende screeninger til kommunal planlægning af vindudbygning.

³ Levelized Cost of Electricity. Et udtryk for nutids-elproduktionsprisen hvor al produktion og udgifter diskonteres til nutidsværdi.

⁴ <http://miljoegis.mim.dk/cbkort?profile=miljoegis-vindmoeller>

I denne analyse er det formålet at vurdere samfundsøkonomien i at opstille en større kapacitet af landmøller i Danmark. Der er i analysen ikke taget hensyn til forhold, som kan forhindre, at et vindmølleprojekt kan gennemføres efter den nuværende lovgivning, såsom afstandskravet mellem mølleparker, akkumulerede støjforhold, byzone, særlige landskabelige områder, m.v.

Det er altså her formålet at undersøge, hvad der samfundsøkonomisk kan betale sig, hvis eksternaliteterne inkluderes såsom nedlæggelse af boliger, støjgener, skyggekast, m.v.

Der er 6 typer områder, hvor landmøller kan placeres, nemlig:

- Plads til 5 møller hvor 1 bolig antages opkøbt
- Plads til 5 møller hvor 2 boliger antages opkøbt
- Plads til 5 møller hvor 3 boliger antages opkøbt
- Plads til 3 møller hvor 1 bolig antages opkøbt
- Plads til 3 møller hvor 2 boliger antages opkøbt
- Plads til 3 møller hvor 3 boliger antages opkøbt

Områderne er altså begrænsede til kun at være områder med henholdsvis 5 eller 3 møller, 150 meter høje og placeret på en ret nord-/sydgående linje. Der kan formentlig findes flere områder, hvis der ses på andre antal møller, møllestørrelser og formater.

Områderne er overlappende, og i denne analyse er et antal områder efterfølgende udvalgt, som ikke er overlappende. De er udvalgt ved at prioritere områderne efter højeste antal møller pr. bolig, som ligger inden for 600 meter, men der er altså ikke regnet økonomi på områderne før udvælgelsen. Der kan derfor fx være valgt et område med et dyrt hus til nedlæggelse i stedet for et område med to billige huse, som dermed har bedre økonomi end det valgte. Der identificeres ved denne metode i alt ca. 1.000 ikke-overlappende potentielle nye vindmølleområder, som ved etablering af 3 eller 5 vindmøller med en kapacitet på 3,5 MW vil udgøre ca. 13 GW kapacitet (det såkaldt tekniske potentiale). Man kan dog formentlig få bedre økonomi i projekterne ved at undersøge de overlappende områder nærmere, vælge møller der er optimerede til vindforholdene osv.

Der er i områderne ikke taget højde for, om der allerede er rejst vindmøller i området. De udvalgte områder overlapper ca. 1.500 eksisterende møller, med en samlet kapacitet på ca. 1,5 GW. Fokusåret i denne analyse er 2030, og der regnes dermed økonomi på opstilling af møller i år 2030 med den teknologi- og prisudvikling, som forventes. I 2030 vil ca. 1.250 af de 1.500 møller være 25 år gamle og dermed udtjente, og de resterende 250 vil blive udtjent kort efter. Det antages hermed, at udbygningen kan ske efterhånden, som de gamle møller er udtjente, og der ses dermed bort fra tabt produktion fra eksisterende møller. Hvis værdien af produktionen fra de vindmøller, der potentielt stadig kan være i områderne i 2030, fratrækkes det endelige resultat, reduceres besparelspotentialet maksimalt med ca. 250 millioner kr.

Der kan være flere grunde til, at de udpegede områder ikke dækker flere af de eksisterende landmøller. De mest afgørende er formentlig afgrænsningen af afsøgningen, nemlig at der kun ses på 3 eller 5 møller på en nord-/sydgående linje og maksimalt 3

huse inden for en afstand af 4 møllehøjder. At afsøgningen "kun" finder ca. 40 pct. af de eksisterende møller, giver en indikation af hvor mange potentielle nye vindmølleområder der er, hvis man inkluderer andre antal møller, formationer og antal bygninger inden for området.

Den videre analyses formål er at undersøge samfundsøkonomien i disse potentielle nye vindmølleområder inklusive produceret energi, investeringsomkostninger, opkøb af ejendomme, nabogener osv. og finde LCOE for hvert enkelt projekt.

2.2 Opgørelse af eksternaliteter

Figur 1 er en grafisk eksemplificering af metoden, der er anvendt til estimering af de samfundsøkonomiske gener ved opførelse af nye vindmøller i de identificerede områder. Huse inden for en afstand af 4 x vindmøllehøjde (det vil sige 600 meter) opkøbes. Det er i overensstemmelse med den nuværende lovgivning. Husstande i afstanden 4-10 møllehøjder forventes at lide gener, som skal værdisættes. Opgørelsen af disse omkostninger er beskrevet i nedenstående. Generelt svarer metoden til de nuværende rammevilkår for opsætning af vindmøller på land, jf. de 4 VE-ordninger⁵. Da formålet er at identificere potentielle besparelser ved opførelse af vindmøller på land i forhold til offshore vind, inkluderes kun de direkte relaterede omkostninger til de identificerede mulige opstillingssteder. Eventuelle yderligere kompensationer til naboer, vindmølleejere, kommuner m.v. kan således være en mulighed, men er ikke inkluderet i beregningen.



Figur 1 Det lyse område indikerer arealet inden for 4 x møllehøjde, som antages opkøbt, mens husstande i det tilstødende område (4-10 x møllehøjde) kompenseres for gener. (NB: Figuren er ikke i korrekt skala). I tillæg til det illustrerede udbydes også andele af vindmøllen til kostpris. Dette er inkluderet i beregningerne, men ikke nærmere fordelt på husstande og derfor ikke illustreret ved figuren.

2.2.1 Omkostninger svarende til opkøb af ejendomme inden for 4 møllehøjder
Det antages, at alle nye møller er 150 meter, og dermed opkøbes alle bygninger inden for 600 meter af hver vindmølle. De opkøbes til 150 pct. af ejendomsværdien fraregnet grundværdien. Grundværdien fraregnes, da den antages at kunne bruges til land-

⁵ <http://www.energinet.dk/da/el/vindmoeller/de-fire-ve-ordninger/Sider/De-fire-VE-ordninger.aspx>.

brug efterfølgende. For ejendomme, der består af flere bygninger, antages hele ejendommen opkøbt, hvis minimum én bygning ligger inden for 600 meter af nærmeste mølle, da der i ejendomsvurderingerne ikke skelnes mellem bygninger. Dog er der separat vurdering på bygningstypen "Stuehus" (vurderingskode 110). Hvis alene Stuehus(e) ligger inden for 600 meter af nærmeste mølle, inkluderes kun omkostninger til opkøb af dette/disse. Hvis alle stuehuse ligger uden for 600 meter fratrækkes de ejendomsværdien.

Der er yderligere inkluderet 100.000 kr. pr. ejendom til eventuelt nedrivning.

2.2.2 Erstatning uden for 4 møllehøjder

Der indregnes kompensation på baggrund af de nuværende regler, og det antages, at det er et rimeligt estimat for de eksternaliteter, der måtte være, jf. de 4 VE-ordninger⁶. Der ses dog bort fra ordningen "Garantifonden", som giver projekterne mulighed for långaranti ved forundersøgelser.

Det kan diskuteres, hvorvidt udbetalingerne fra VE-ordningerne kan sættes lig de samfundsøkonomiske eksternaliteter ved opførelse af ny vindkraftkapacitet på land. Men da der ikke foreligger en verificeret metode eller anden autoritativ opgørelse af de sande eksternaliteter, og det ikke er realistisk at foretage en skønsmæssig vurdering for hvert af de identificerede sites, benyttes dette som estimat.

De 3 øvrige ordninger udgør på forskellig vis en fordeling af kapital til lokalområderne ved nye vindmølleprojekter på land. Da hvert vindmølleprojekt er unikt, vil det være en vurderingssag at opgøre de reelle omkostninger for naboer og lokalsamfund. Det er af den årsag, at de historiske udbetalinger via de eksisterende VE-ordninger er valgt som kilde, da disse netop baseres på Taksationsmyndighedens vurdering af realiserede projekters påvirkning på naboer.

I det følgende redegøres kort for, hvorledes udbetalinger til de 3 VE-ordninger er inkluderet i analysen som estimat for eksternaliteterne.

2.2.2.1 Værditabsordningen

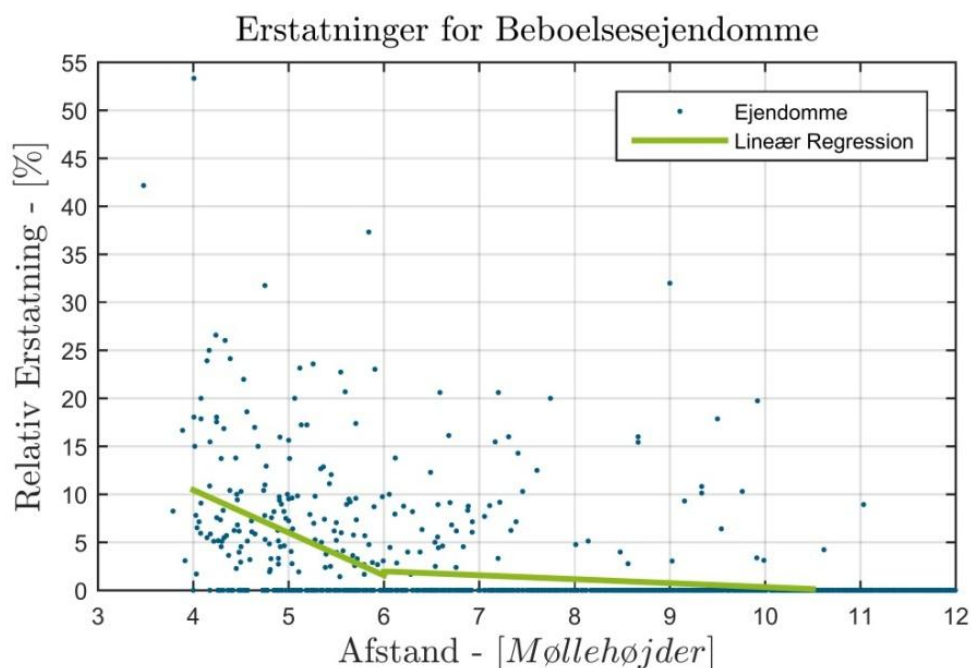
Baseret på udtræk fra de historisk udbetalte erstatninger, jf. Værditabsordningen for vindmøller, er en sammenhæng mellem den udbetalte erstatning, afstand til nærmeste mølle, ejendomsværdi og anvendelsestype blevet bestemt. I analysen inkluderes erstatning til beboelse og landbrugsejendomme, da de udgør ca. 95 pct. af erstatnings-sagerne. Vurderingen foretages ved lineær regression for de to anvendelsestyper individuelt og hver opdelt i afstandene 4 til 6 møllehøjder og 6 til 10 møllehøjder. Årsagen til denne opdeling er, at der forventes en forskel, idet det er gratis at søge om værditabs-erstatning fra 4 til 6 møllehøjder, mens det koster ca. 4.000 kr. uden for 6 møllehøjder.

Baseret på historiske data fra Værditabsordningen vurderes værditabet for naboer med en afstand større end 4 møllehøjder til nærmeste mølle. Der er taget udgangspunkt i 549 erstatningssager fra 50 vindmølleprojekter, hvoraf 310 har fået tilkendt erstatning.

⁶ <http://www.energinet.dk/DA/EI/Vindmoeller/De-fire-VE-ordninger/Sider/De-fire-VE-ordninger.aspx>

Ud af 549 ejendomme, som søger værditabs erstatning, er 323 Beboelse (vurderingskode 1) og 198 Landbrug (vurderingskode 5). De 2 kategorier udgør således ca. 95 pct. af det samlede antal ansøgere. Af de 310 sager, som får tilkendt erstatning, er 204 Beboelse (vurderingskode 1) og 98 Landbrug (vurderingskode 5). De 2 kategorier udgør altså også ca. 95 pct. af det samlede antal, som får tilkendt erstatning. Den samlede udbetalte erstatning er ca. 20 millioner kr. og 11 millioner kr. til henholdsvis Beboelse og Landbrug ud af ca. 33 millioner kr. i alt. De 2 kategorier udgør altså ca. 94 pct. af den samlede udbetalte erstatning. For simplicitetens skyld medtages kun erstatninger for disse 2 ejendomstyper.

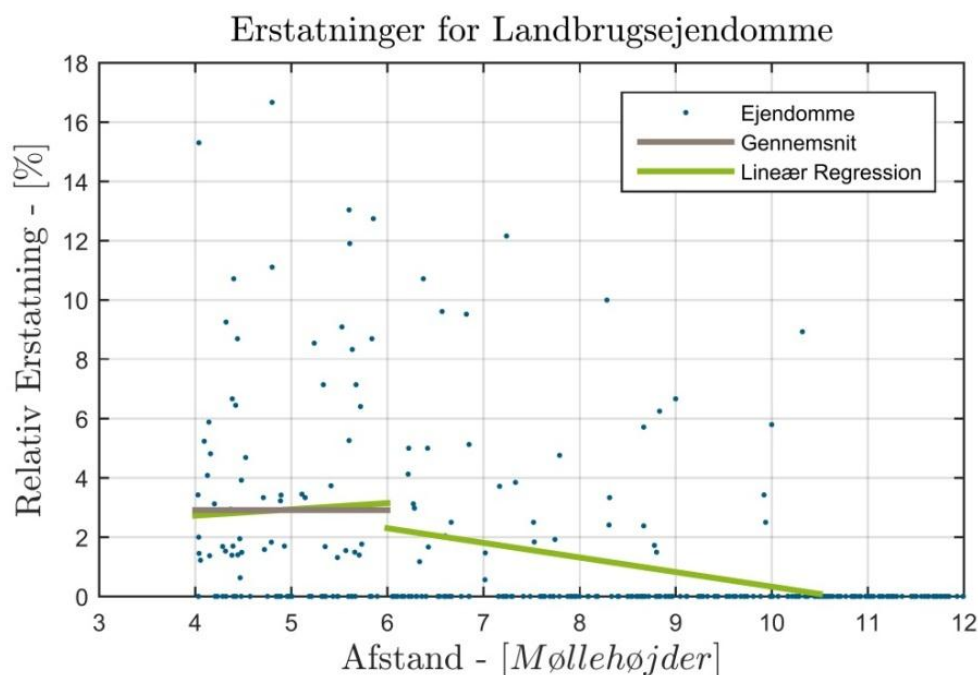
Til at vurdere erstatninger under Værditabsordningen tages udgangspunkt i historiske sager. På Figur 2 er vist beboelsesejendomme (Vurderingskode 1), som ligger i nærheden af de historiske projekter. Her er både medtaget dem, som har søgt og fået tilkendt erstatning, dem som har søgt, men ikke fået tilkendt erstatning, og dem som ikke har søgt. Her er medtaget afstanden til nærmeste mølle, højden af nærmeste mølle og ejendomsværdien som væsentlige faktorer i vurderingen. Andre faktorer såsom støj og skyggekast har også indflydelse på vurderingen, men de er sværere at vurdere i de nye potentielle projekter.



Figur 2 Statistik for udbetalte erstatninger, jf. Værditabsordningen. På x-aksen vises afstanden til nærmeste mølle målt i møllehøjder. På y-aksen er vist den tilkendte erstatning som procent af ejendomsværdien. Alle beboelsesejendomme er medtaget i statistikken, altså både ejendomme der har søgt og fået erstatning, ejendomme som har søgt, men ikke fået erstatning, og ejendomme som ikke har søgt erstatning. Langt de fleste ejendomme har ikke fået erstatning og ligger dermed på x-aksen. Der er lavet lineær regression på sagerne opdelt i 2 områder, nemlig 4-6 møllehøjder og 6-11 møllehøjder.

Bemærk af Figur 2, at mange ejendomme ikke har fået tilkendt erstatning. Der er lavet lineær regression på disse data fra 4 til 6 møllehøjder og fra 6 til 11 møllehøjder,

og denne regression bruges til at vurdere erstatningsbeløbenes størrelse i de nye potentielle vindmølleområder for beboelsesejendomme.



Figur 3 Figuren viser det samme som Figur 2, blot for Landbrugsejendomme (Vurderingskode 5). Her resulterer den lineære regression i en svagt voksende relativ erstatning som funktion af afstanden fra 4 til 6 møllehøjder. Det antages ikke for retvisende og derfor bruges i stedet et fladt gennemsnit for dette interval (markeret med grå).

Som det ses af Figur 2 og Figur 3, er der forholdsvis stor spredning på erstatningsbeløbene i forhold til ejendomsværdien og afstand til nærmeste vindmølle. Ikke desto mindre vurderes det, at regressionen kan anvendes med god rimelighed til et overordnet estimat af omkostningerne ved et givent potentielt projekt. Den store spredning er udtryk for, at nogle ejendomme historisk har fået relativt store erstatninger (det kan fx være ejendomme, der i særlig grad generes af udsynet til møllerne fra nyligt installerede store vinduespartier, har mere skyggekast, større støjgener eller andet), mens de fleste har fået ingen eller væsentligt mindre i erstatning. Ved anvendelse af de fundne lineære sammenhænge vil et potentielt projekt med mange, eller dyre, ejendomme beliggende tæt ved vindmøllerne samlet set blive dyrere end et tilsvarende projekt med færre ejendomme inden for 10 x møllehøjde. Når den lineære sammenhæng således benyttes, er det udtryk for en fordeling på alle ejendomme, der samlet set vil være på niveau med det, der historisk er blevet observeret. I praksis vil nogle ejendomme dog sandsynligvis få større, og andre mindre, gener og eventuelt værditab som følge af et givent projekt.

2.2.2.2 Køberetsordningen

Ifølge Køberetsordningen⁷ skal 20 pct. af nye landvindmøller udbydes til lokalområdet. Dette kan betragtes som en yderligere afdækning af de samfundsøkonomiske eksterne omkostninger forbundet med opførelse af vindmøller i et lokalområde. Anpar-

⁷ <http://www.energinet.dk/DA/EI/Vindmoeller/De-fire-VE-ordninger/Koeberetsordningen/Sider/default.aspx>

ternes normalpris antages at være 3.500 kr.⁸, men værdien af de 1.000 kWh/år, som en anpart svarer til, vurderes at have en værdi på ca. 4.540 kr. Det svarer til nutidsværdien af produktionen fra den antagende mølletype afsat til en pris på 0,47 kr./kWh de første 6 år og derefter 0,20 kr./kWh.

I praksis i dag udbydes flere anparter i projekter med stor produktion end med lille produktion, da det er 20 pct. af produktionen, der udbydes. Der er dog umiddelbart ingen sammenhæng mellem størrelsen af produktion pr. mølle, og generne som er forbundet med møllen. Derfor anvendes et gennemsnitligt antal anparter pr. mølle til alle møllerne.

Differencen for anpartshavere er en gevinst på 1.040 kr. pr. anpart, eller hvad der i alt svarer til ca. 2,23 millioner kr. pr. vindmølle. Denne omkostning er inkluderet i beregningerne, men er ikke fordelt ud på bestemte husstande.

2.2.2.3 Grøn Ordning

Ifølge den eksisterende såkaldte "Grøn Ordning"⁹ udbetales 88.000 kr./ opført MW til kommunen. Dette er også medtaget som en eksternalitet, da denne omkostning kan betragtes som en samfundsøkonomisk kompensation til de borgere i kommunen, der lejlighedsvis vil se vindmøllerne og eventuelt føle gene herved, men ikke bor inden for en afstand af 10 møllehøjder.

2.3 Tekniske og økonomiske forudsætninger

For vindmøllernes økonomi og egenskaber er taget udgangspunkt i teknologikataloget. Antagelserne er vist i *Tabel 1* nedenfor. Kun fuldlasttimerne adskiller sig lidt fra teknologikataloget, som antager 3.176 inklusive tid, hvor de ikke er til rådighed. Her er de sat lidt lavere, som et konservativt skøn og fordi det antages, at de bedste vindmølleområder er optagede.

Tabel 1 Tekniske og økonomiske forudsætninger for vindmøllerne.

Antagelser	2030
Kapacitet	3,5 MW
Fuldlasttimer	3.075
Højde til vingespids	150 meter
Levetid	25 år
Investeringsomkostninger	7.500 kr./kW
Drift og vedligeholdelse	60 kr. / MWh / år
Rente	4 pct.

2.4 Produktion

Det antages, at de nye møller er 90 meter høje, har en rotordiameter på 120 meter, en kapacitet på 3,5 MW og i gennemsnit har 3 075 fuldlasttimer. Der er således ikke

⁸ <http://www.energinet.dk/DA/El/Vindmoeller/De-fire-VE-ordninger/Koeberetsordningen/Borger/Sider/Hvordan.aspx>

⁹ <http://www.energinet.dk/DA/El/Vindmoeller/De-fire-VE-ordninger/Koeberetsordningen/Sider/default.aspx>

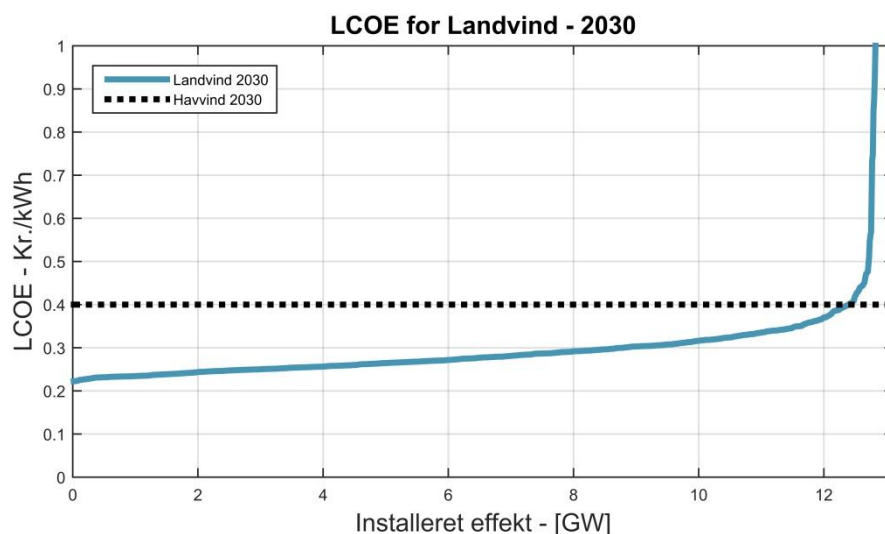
taget udgangspunkt i en specifik vindmøllemodel fra en bestemt producent, men i stedet benyttet en vindmølle med de proportioner og egenskaber, som forventes at være standard i år 2030.

Beregnete vindhastigheder fra DTU Risø i høj geografisk opløsning bruges til at vurdere vindhastigheden for alle nye potentielle vindmøller i femminutters intervaller i 2008, som ofte anvendes som et normalt vindår. En parametrisk effektkurve kalibreres, så de potentielle nye møller i gennemsnit har 3.075 fuldlasttimer i vindåret 2008. Endelig udregnes den årlige produktion fra hver mølle.

3. Resultater

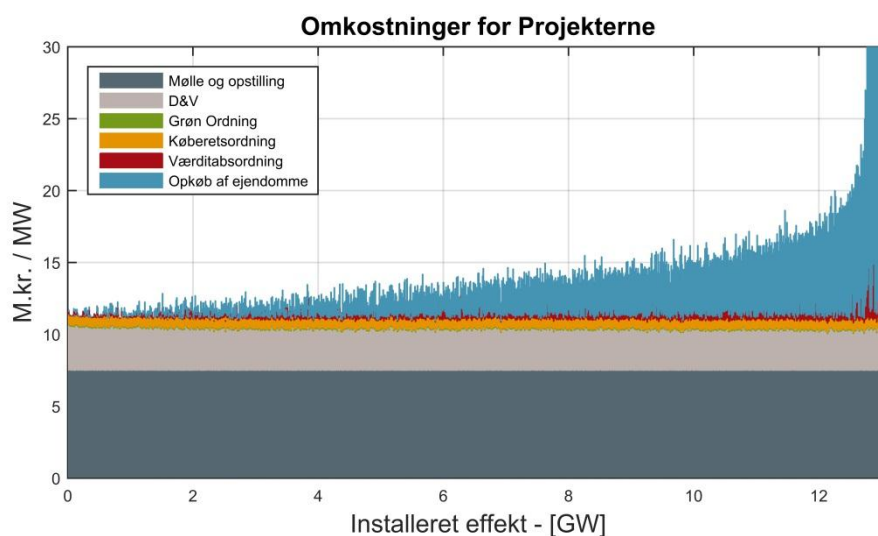
Det tekniske potentiale udgør som tidligere beskrevet ca. 3.746 potentielle områder til vindmøller, der kan opføres i klynger af 3 eller 5 vindmøller. Tilsammen udgør disse klynger af områder 1.082 mulige "projekter". Ved hvert projekt er der omkostninger til opkøb af boliger inden for 4 møllehøjders afstand, kompensation til naboer i 4 til 10 møllehøjders afstand, samt ensartede omkostninger til salg af andele og kompensation til kommunen. Dertil kommer investerings- og driftsomkostningerne for vindmøllerne, samt den forventede elproduktion som udregnes på baggrund af vinddata for hvert projekt.

Således kan et vindmølleprojekt, hvor der er relativt dårlige vindforhold, godt være samfundsøkonomisk bedre end andre projekter med bedre vindforhold, hvis omkostningerne til opkøb af ejendomme, nabogener m.v. er tilsvarende lavere.



Figur 4 Produktionsomkostning pr. kWh landvind fordelt på antal GW installeret kapacitet i 2030 sorteret efter levelized cost of electricity. Det ses, at der er potentiale for mere end 12 GW landvind i Danmark, som er billigere end havvind.

Af de ca. 13 GW landvind, som det vurderes, at der er plads til i Danmark, er ca. 12,38 GW billigere end havmøller i LCOE i 2030, selv når værditab for naboer og det øvrige lokalsamfund medregnes (se Figur 4). Omkostningsfordelingen for potentialet for landvindmøller er nærmere illustreret i Figur 5.



Figur 5 Resultater med omkostningsfordeling vist, sorteret efter den samlede produktionsomkostning (LCOE, som i Figur 4). Det ses at investering i selve møllen samt opstilling og drift og vedligeholdelse er de største omkostninger for de billigste projekter. Den eneste omkostning som varierer meget mellem vindmølleområderne er opkøb af ejendomme indenfor 4 møllehøjder.

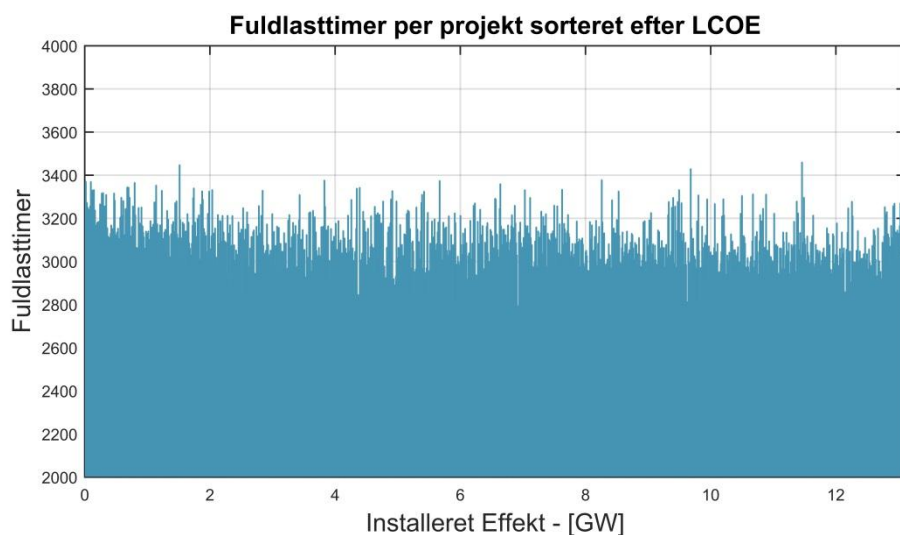
Der er et potentiale op til ca. 4 GW landvind, hvor der kun er ringe behov for opkøb af naboejendomme. Dernæst er der et betydeligt potentiale (op til ca. 12 GW), hvor opkøb af naboejendomme udgør den største enkeltpost efter investering og drift/vedligehold af møllerne, men hvor den samlede omkostning (når der ses på LCOE) stadig er under den forventede produktionspris for havvind i 2030 (40 øre/kWh).

Efter de ca. 12 GW-potentiale stiger omkostningen til opkøb af ejendomme beliggende inden for 4 vindmøllehøjder af projekterne væsentligt, hvilket både kan være udtryk for, at der ligger flere ejendomme, og/eller at der er en eller flere ejendomme med høj værdi beliggende i området.

Den billigste 10 procentfraktile af det fulde tekniske potentiale på 13 GW har en gennemsnitlig LCOE på kun 0,23 kr./kWh. I den 10 pct. dyreste fraktile er den gennemsnitlige LCOE oppe på 0,71 kr./kWh, dog med en væsentlig større spredning på omkostningerne, hvilket også fremgår af Figur 5.

De øvrige omkostninger ved landvind (erstatning til naboer, værdien af udbud af andele samt betaling til kommunen) udgør for langt de fleste projekter en lille, men dog ikke uvæsentlig, andel af de samlede omkostninger.

Der er kun en lille korrelation mellem de identificerede områders produktion og den samlede økonomi. Det vil sige, den samlede LCOE domineres af omkostningerne til opkøb, investering, Drift og vedligeholdelse m.v., og hvorvidt det blæser lidt mere på et sted end et andet, har kun en mindre indvirkning på økonomien for projekterne. Dette illustreres yderligere af Figur 6 og Tabel 2.



Figur 6 Antal fuldstimer pr. projekt sorteret efter LCOE. Det ses, at det ikke nødvendigvis er de projekter med de bedste vindforhold, som har lavest LCOE.

Tabel 2 Gennemsnitlige fuldstimer for vindmøllerne i intervaller af landvindpotentialet. De bedste 2 GW vindmøller har en større gennemsnitlig produktion pr. MW end de øvrige, hvor det gennemsnitlige antal fuldstimer er relativt ens.

GW intervaller	Gennemsnit fuldstimer pr. år
0 - 2	3.127
2 - 4	3.080
4 - 6	3.070
6 - 8	3.080
8 - 10	3.055
10 - 12	3.032

3.1 Potentiel besparelse i forhold til udbygning med havvind

I scenarier for fremtidens energisystem regner Energinet.dk som udgangspunkt med et såkaldt vindscenarie, hvor Danmark forfølger den nuværende regerings mål om fossilfri el- og varmesektor i 2035 samt samlet fossilfrit energisystem i 2050, uden at være afhængig af at importere biomasse. I disse scenarier producerer dansk vindbaseret energi en stor del af det samlede energiforbrug; i alt ca. 32,2 TWh i 2035 og 51,2 TWh i 2050. Hidtil har det været antaget, at størstedelen af dette bidrag ville blive leveret fra havvind i 2050, og ca. halvdelen ville være havvindsbaseret i 2035.

Den forventede årsproduktion fra potentialet på 12 GW udgør i alt ca. 38,15 TWh, i det analyserede år 2030. Således vil det være muligt at producere *mere* end den samlede vindbaserede elproduktion i 2035, og ca. 75 pct. af produktionen i 2050 med landvind.

For nærmere at kvantificere en mulig samfundsøkonomisk gevinst ved opstilling af flere landmøller skal et eventuelt udbygningsforløb for landvind dog sammenlignes med et eller flere andre alternativer. Det skyldes, at energisystemet er komplekst, hvilket gør, at det sjældent giver mening at sammenligne en massiv udbygning af en enkelt teknologi med en anden. Det kan kun gøres meningsfuldt via simuleringer, der både tager forhold såsom varmeforbrug, transportbehov, industriforbrug, udlandets elforbrug og produktion m.v. med, time for time, i de analyserede år. Fx ville besparelspotentialet for øget udbygning af landvind være betydeligt større, hvis 1 TWh landvind sammenlignes med 1 TWh biomassefyret kraftvarme, men da et kraftvarmeværk er i stand til at tilpasse sin produktion efter elmarkedet, varmeforbrug m.v., vil det ikke være en rimelig sammenligning uden en samlet energisystemmodellering.

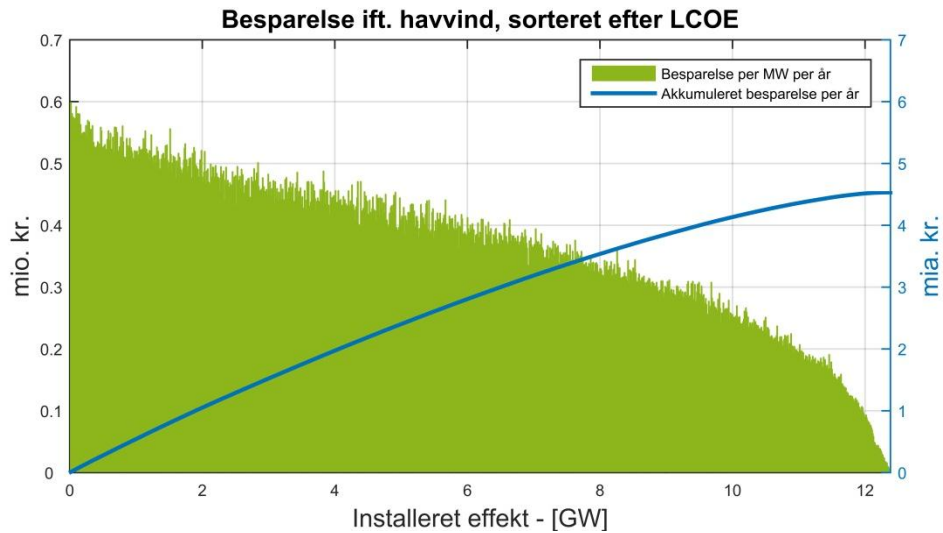
Årsagen til at det skønsmæssigt alligevel er meningsfuldt at sammenligne en given udbygning af landvind med havvind er, at de to teknologier på mange punkter minder meget om hinanden og derved har stort set samme påvirkning på elpriser, kraftvarmeværker, fleksibelt forbrug m.v.

I denne analyse ses der ikke på opførsel i 2016, men i 2030, og der antages produktionsomkostningen for havvind at være reduceret til 40 øre/kWh, jf. Energistyrelsens scenarieanalyse. Den potentielle besparelse ved opførsel af landvind i stedet for havvind i 2030 uddybes i det følgende.

Samlet set vil en udbygning af landvind med det fulde samfundsøkonomiske potentiale som nævnt kunne producere ca. 38,15 TWh el pr. år (ca. 3.075 fuldlasttimer for ca. 12 GW landmøller). Det vil have en samlet omkostning på i alt ca. 10,7 milliarder kr. (se Figur 5). En tilsvarende udbygning med havvind i 2030 vil koste ca. 15,3 milliarder kr. (38,15 TWh til 40 øre/kWh). Landudbygningen vil således være ca. 4,6 milliarder kr./år billigere (30 pct.) end en tilsvarende energiproduktion fra havvind.

Da der dog allerede i dag er etableret en del vindkraft på havet, og da det som tidligere nævnt må antages, at lokale forhold m.v. vil kunne påvirke udbygningen af landvind, kan en alternativ beregning se på en udbygning svarende til ca. halvdelen af det fundne potentiale. Under antagelse af at den bedste halvdel af det fundne potentiale for nye områder til vindmøller benyttes, vil det udgøre 1.855 nye vindmøller (6,5 GW samlet), fordelt på 507 områder. Disse møller vil forventeligt kunne have en årlig produktion på ca. 20,16 TWh, hvilket giver en årlig besparelse på ca. 3 milliarder kr. i forhold til en tilsvarende udbygning på havet.

Ved en gradvis udbygning af landvind kan der således opnås relativt store besparelser ved de billigste projekter. Dette fremgår af Figur 7.



Figur 7 Potentiel besparelse i forhold til havvind, pr. projekt og akkumuleret ved gradvis udbygning. De bedste projekter har en potentiel besparelse pr. MW på 2 gange projekterne ved 8 GW, der dog stadig er konkurrencedygtige med havvind. Figuren viser kun potentialet, der er billigere end havvind.

I Tabel 3 kan yderligere nøgletal for en gradvis udbygning aflæses.

Tabel 3 Forskelle i udbygning i 2 GW intervaller. Tallene er alene udtryk for vindmøller i det angivne interval ved udbygning sorteret efter LCOE (jf. figur 6).

GW intervaller	Antal områder	Total produktion, TWh pr. år	Gennemsnit LCOE, øre/kWh	Potentiel årlig besparelse, mia. kr., i 2030
0 - 2	145	6,3	23,51	1,05
2 - 4	154	6,1	25,03	0,92
4 - 6	161	6,1	26,43	0,83
6 - 8	171	6,2	28,16	0,73
8 - 10	172	6,1	30,24	0,60
10 - 12	180	6,1	33,73	0,38

Tabel 4 illustrerer de potentielle besparelser ved en samlet udbygning, det vil sige de akkumulerede værdier fra Tabel 1.

Tabel 4 Akkumuleret besparelspotentiale og antal vindmøller ved etaper af 2 GW.

GW kapacitet	Samlet besparelse, mia. kr. i 2030	Samlet antal vindmøller
2	1,05	571
4	1,97	1141
6	2,80	1712
8	3,53	2283
10	4,13	2857
12	4,51	3427

Konkluderende viser analysen således, at der er et potentiale for landvind på mindst 12 GW til en samfundsøkonomisk omkostning lavere end for havvind og ved færre, men større møller end de eksisterende. En realisering af blot halvdelen af potentialet kan spare samfundet for ca. 3 milliarder kr. om året i år 2030. Hvis det fulde potentiale på 12 GW realiseres i stedet for havvind, vil besparelsen være ca. 4,5 milliarder kr.