



Analyseforudsætninger til Energinet 2024 – Landvind og solceller

Baggrundsnotat

Kontor/afdeling
Systemanalyse og
Innovation

Dato
9. oktober 2024

J nr.
2024 – 979

ANDRS, CHWO / BRP

Indholdsfortegnelse

Introduktion til landvind og solceller.....	2
1.1 Udviklingen frem mod 2050 for solceller.....	3
1.1.1 Præsentation af AF24-forløbene for solceller frem mod 2050.....	3
1.1.2 Uddybning af AF24 forløb og kvalificering ift. AF23.....	4
1.2 Metode og antagelser for solceller.....	6
1.2.1 Metode og antagelser til AF24 for solceller.....	6
1.2.2 Ændringer ift. AF23.....	10
1.3 Usikkerheder og følsomhedsberegninger.....	10
1.3.1 Usikkerheder ift. AF24-forløbet for solceller.....	11
1.4 Planlagt udvikling fremadrettet.....	12
2.1 Udviklingen frem mod 2050 for landvind.....	13
2.1.1 Præsentation af AF24-forløbene for landvind frem mod 2050.....	13
2.1.2 Uddybning af AF24 forløb og kvalificering ift. AF23.....	14
2.2 Metode og antagelser for landvind.....	16
2.2.1 Metode og antagelser til AF24.....	16
2.2.2 Ændringer ift. AF23.....	22
2.3 Usikkerheder og følsomhedsberegninger.....	22
2.3.1 Usikkerheder ift. AF24-forløbet.....	22
2.4 Planlagt udvikling fremadrettet.....	23

Dette baggrundsnotat er en del af Analyseforudsætninger til Energinet 2024 (AF24). AF24 er et målopfyldelsesscenarie, hvilket vil sige, at AF24 grundforløbet som udgangspunkt er kompatibelt med opfyldelse af de politiske målsætninger på klima- og energiområdet. Det er dog ikke alle målsætninger på klima- og energiområdet, der er direkte afspejlet i AF24, og AF24 specificerer endvidere ikke konkrete virkemidler til at indfri de politiske målsætninger.

Energistyrelsen

Carsten Niebuhrs Gade 43
1577 København V

T: +45 3392 6700
E: ens@ens.dk

www.ens.dk



Introduktion til landvind og solceller

I forbindelse med flere politiske aftaler på området bliver landvind og solceller ofte behandlet samlet, som land-VE, og AF24 forløbene for solceller og landvind præsenteres derfor også i samme baggrundsnotat. Systemteknisk er der dog flere forskelle mellem teknologierne, herunder forskellig produktionsprofil og udnyttelsesgrad af nettet. Forskellene medfører også forskellige afregningspriser for teknologierne. Præsentationen af AF24 land-VE forløbene i dette notat er derfor opdelt i hhv. solceller og landvindmøller.

Firedoblingen af produktion fra land-VE

Klimaaftale om grøn strøm og varme 2022 har bl.a. fastsat en målsætning om at muliggøre en firedoblingen af produktion fra land-VE i 2030 sammenlignet med 2021. AF24 er, ligesom AF23, baseret på en forudsætning om firedobling af produktionen af land-VE i 2030. AF24 forløbene og alle vurderingerne i AF24 pba. konkrete projekter skal derfor ses i dette lys.

Energiparker

Et andet element fra *Klimaaftale om grøn strøm og varme 2022* er, at staten skal hjælpe med realisering af store energiparker. AF24 fremskrivningen inkluderer, som nævnt, en forudsætning om firedobling af elproduktionen fra landvind og sol frem mod 2030. De mulige energiparker indgår i den samlede fremskrivning af VE på land og dermed i firedoblingen frem mod 2030, dog med det forbehold at det på nuværende tidspunkt er en udfordring at kvantificere den specifikke effekt isoleret i AF24. Effekten af energiparker vil tidligst kunne indregnes i AF25.

Produktion fra VE-kapacitet

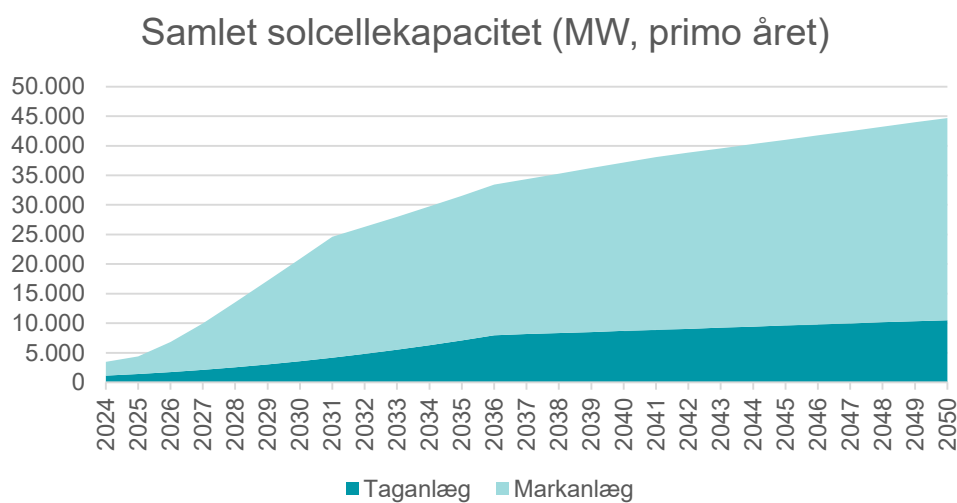
Produktionen er i nærværende notat opgjort som simpel forudsætning, som ganger kapacitetsfremskrivningen med underlagte forudsætninger, bl.a. fra Energistyrelsens teknologikatalog. Modellerede fuldlasttimer kan afvige afhængigt af detaljegraden af modelleringen af netforhold og nedregulering i en systembetragtning.



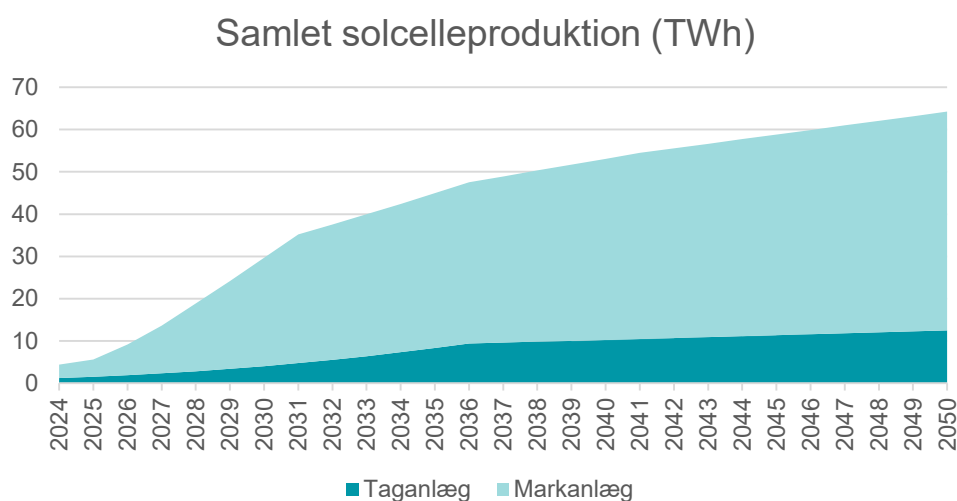
1.1 Udviklingen frem mod 2050 for solceller

1.1.1 Præsentation af AF24-forløbene for solceller frem mod 2050

Figurerne herunder viser den samlede udvikling i kapacitet for og produktion fra solceller i AF24. Fremskrivningen antager en markant stigning i både solcellekapacitet og produktion frem mod 2030 (jf. også forudsætningen om en firedobling af produktion fra VE på land frem mod 2030) og videre frem mod 2050.



Figur 1: Samlet solcellekapacitet i AF24 (MW, primo året)



Figur 2: Samlet produktion fra solceller i AF24 (TWh). Produktionen opgøres ved at gange kapacitet (primo året) med fuldlasttimer.



Den forventede udbygning med solceller er behæftet med usikkerhed. Væsentlige usikkerheder gennemgås i afsnit 1.3 og omfatter:

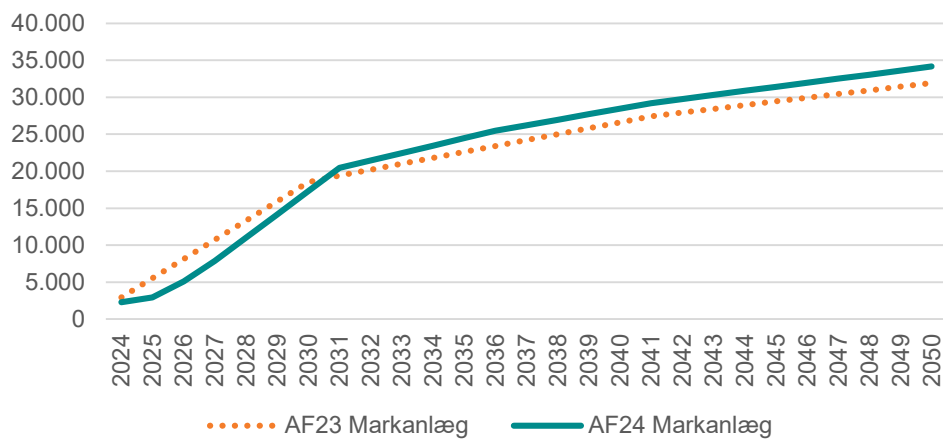
- Indfasningsåret for kapaciteter, som baseres på informationer om konkrete markanlægsprojekter
- Udviklingen i taganlæg i lyset af EU's bygningsdirektiv
- Yderligere effekt af udbredelse af utility-scale batterier i elsystemet på udbygningen af solcellekapacitet

1.1.2 Uddybning af AF24 forløb og kvalificering ift. AF23

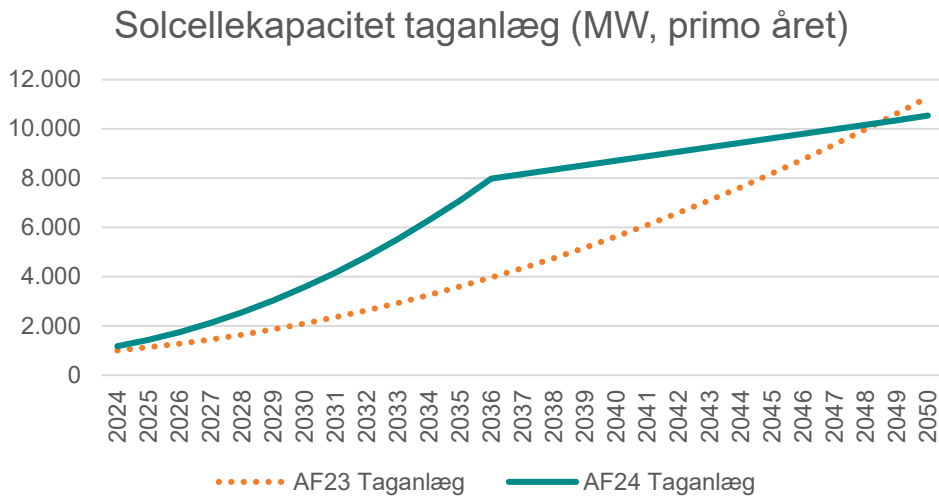
Figureerne herunder viser den samlede solcellekapacitet, opdelt for markanlæg og taganlæg, samt den samlede solcelleproduktion i hhv. AF24 og AF23.

I takt med at flere projekter indmeldes i Energistyrelsens og Energinets oversigt over mulige VE-projekter i forskellige planlægningsfaser (henvises herefter som 'pipeline'), lægges der mindre vægt på de helt tidlige planlægningsfaser i fremskrivningen end i AF23. AF24 bygger derfor i højere grad på mere modne pipelineprojekter end AF23.

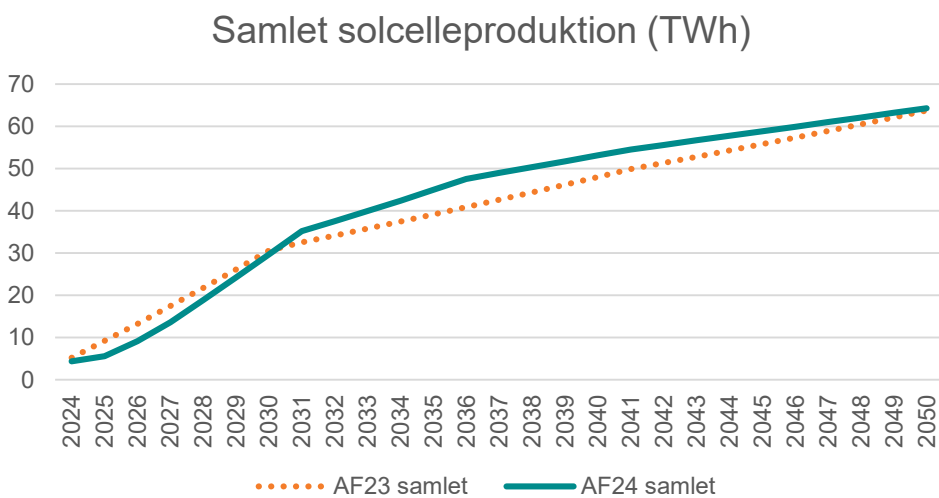
Solcellekapacitet markanlæg (MW, primo året)



Figur 3: Solcellekapacitet for markanlæg i AF23 og AF24 (MW, primo året)



Figur 4: Solcellekapacitet for taganlæg i AF23 og AF24 (MW, primo året)



Figur 5: Samlet solcelleproduktion i AF23 og AF24 (TWh)

De væsentligste ændringer i AF24 ift. AF23 omfatter følgende, som bliver uddybet i afsnit 1.2.2 (jf. også afsnit 2.2):

- For markanlæg er der, baseret på en opdateret vurdering af udbygningen fra pipelinen, blevet foretaget en ny vurdering af indfasningen af kapacitet fra konkrete projekter
- For taganlæg er der opdaterede forventninger for udbygningen baseret på den samme metode frem til ultimo 2035, hvor udbygningen ligger på lignende niveau som i Klimafremskrivningen 2024 (KF24). Til den



efterfølgende udbygning anvendes den samme metode som for markanlæg, hvor udbygningen følger stigningen i elforbruget (ekskl. PtX)

1.2 Metode og antagelser for solceller

1.2.1 Metode og antagelser til AF24 for solceller

Forudsætninger for solceller kan opdeles i markanlæg og taganlæg. Markanlæg er kommercielle solcelleanlæg, der er opstillet på terræn som f.eks. en mark. Taganlæg omfatter både kommercielle og private anlæg, der er installeret på tage, såsom huse eller erhvervsejendomme. Historisk set udgjorde markanlæg en mindre del af den samlede solcellekapacitet, men i de seneste år har markanlæg overgået taganlæggene i kapacitet. Denne tendens forventes at fortsætte.

I dette notat bruges kapacitet til at henvise til nettilsluttet kapacitet (også kendt som W_{ac} eller AC-kapacitet), så det kan sammenlignes med andre teknologier i elsystemet. I solcellebranchen angives kapaciteten normalt som den installerede modulkapacitet (også kendt som W_{dc} eller DC-kapacitet), som typisk er højere end den nettilsluttede AC-kapacitet. DC/AC-forholdet er taget fra Energistyrelsens teknologikatalog (Energistyrelsen, Teknologikatalog for produktion af el og fjernvarme, 2023) og er uændret ift. AF23.

I Analyseforudsætningerne for Energinet angives forløbene i primo kapacitet, hvilket betyder, at tilsluttede kapaciteter indgår i det efterfølgende år, efter at kapaciteten er etableret. Analyseforudsætningerne afviger fra Klimafremskrivningen som opgøres ultimo året.

Nedtagning af eksisterende anlæg

Energistyrelsens teknologikatalog (Energistyrelsen, Teknologikatalog for produktion af el og fjernvarme, 2022) vurderer, at levetiden for solcelleanlæg er 35 år eller længere, både for tag- og markbaserede anlæg. Der forventes ikke nogen væsentlig nedtagning før 2050.

Produktion fra eksisterende og nye anlæg

Energistyrelsens teknologikatalog angiver forventede antal fuldlasttimer for forskellige typer anlæg. For tagbaserede anlæg, skelnes der mellem husstands anlæg og kommercielle anlæg (f.eks. på taget af industrielle bygninger). For eksisterende kapacitet er der estimeret et gennemsnitligt antal fuldlasttimer for den samlede mængde af anlæg, i stedet for en opdeling efter forskellige anlægstyper. For anlæg, der blev installeret før 2020, anvendes 1.000 kWh/kW, målt ved nettilslutningssiden baseret på observationerne.

Antagelser om fuldlasttimer for nye anlæg fremgår af tabellen herunder. I teknologikataloget for solceller er fuldlasttimerne kun angivet for enkelte år (2020,



2030, 2040 og 2050), hvorfor der interpoleres i mellem de angivne år. Dette vurderes som retvisende grundet den kontinuerlige udvikling i teknologien.

Table 1: Fuldlasttimer for nye solcelle-anlæg målt ved inverter (kWh/kW)

	2020	2030	2040	2050
Husstands-taganlæg	1.061	1.172	1.184	1.197
Kommercielle taganlæg	1.111	1.228	1.241	1.254
Markanlæg (fikseret)	1.343	1.484	1.499	1.515
Markanlæg (tracker)	1.545	1.712	1.724	1.742

Udbygningen med enaksede trackeranlæg (henvises herefter til som 'trackeranlæg') forventes gennemsnitligt at ligge på 25% af den samlede udbygning fra markanlæg fra primo 2024. Det er bl.a. arealomkostninger og tilgængelig netkapacitet, der afgør valget mellem trackersystemer og fastmonterede fikserede markanlæg. Valget mellem systemerne bliver fastsat under projektplanlægningen, men kan ændre sig undervejs. Trackeranlæg har flere fuldlasttimer end tilsvarende fastmonterede fikserede markanlæg og en karakteristisk produktionsprofil med maksimal effekt før og efter middagstimerne. En større udbredelse af trackeranlæg kan være gavnlig for udnyttelsen af elnettet, da anlæggenes maksimale produktion opnås i flere timer, og da produktionen udglattes relativt mere end for fastmonterede fikserede anlæg. Trackeranlæg kræver dog mere plads pga. en højere nødvendig afstand mellem modurækkerne.

Tagbaserede anlæg

Udbygning med nye anlæg

Udbygning med nye taganlæg er i AF24 baseret på den historiske trend. Den samme tilgang har været anvendt i fremskrivningen af taganlæg i KF24. En øget udbygning af taganlæg i 2022 og 2023 sammenlignet med årene umiddelbart før påvirker fremskrivningen og er med til at opjustere de fremtidige forventninger. Dvs. der er en øget forventning til udbygning af taganlæg sammenlignet med AF23.

På baggrund af udbygningen de seneste fem år er der lavet en ekstrapolation af den gennemsnitlige udbygningstrend i disse år frem til ultimo 2035. Det betyder, at kapaciteten øges fra ca. 1,0 GW ved udgangen af 2023 til ca. 3,6 GW i 2030, og 7,1 GW i 2035.

Den efterfølgende udbygning frem til 2050 er kvantificeret gennem en opdateret metode, som følger metodeantagelserne for udbygningen af markanlæg på lang sigt. Det antages, at den efterfølgende udbygning er drevet af den yderligere stigning af elforbruget (på nær elforbruget til yderligere PtX-kapacitet). Dermed følger den videre udbygning af solceller på tag elforbrugsstigningen. Den årlige udbygning efter 2035 falder som konsekvens heraf til et moderat niveau på knap 200 MW årligt sammenlignet med årene umiddelbart før, således at kapaciteten



ligger på ca. 10,5 GW i 2050. Se underafsnittet "Udbygning efter primo 2031" under metodebeskrivelsen for markanlæg nedenfor for en uddybning af metoden.

Effekten fra EU's bygningsdirektivs¹ artikel 10 om solenergi i bygninger er ikke eksplicit regnet ind i fremskrivningen. Artikel 10 tilsiger, at der ved teknisk og økonomisk egnethed etableres egnede solenergianlæg på bl.a. ikke-beboelses- og offentlige bygninger fra ultimo 2026 og frem. Det kan antages, at der vil være en midlertidig accelerering af udbygningen med tagbaserede solcelleanlæg grundet artikel 10, men denne antagelse er behæftet med stor usikkerhed, da artiklens forbehold om teknisk og økonomisk egnethed har en betydning for den endelige effekt.

Markanlæg

Udbygning med nye anlæg

Udbygning med nye markanlæg forventes primært at ske på markedsvilkår, herunder med aftaler om afsætning af hele eller dele af produktionen gennem PPA'er (Power Purchase Agreements). Information om PPA'er er dog vanskelig at få konkret indblik i, fordi der er tale om bilaterale aftaler, der indeholder forretningshemmeligheder fra aktørerne. Det er derfor ikke muligt at estimere en eksakt udbygning som følge af indgåelse af PPA'er. Det bemærkes, at når der ses mere end et par år frem i tiden, er udbygningen forbundet med væsentlig usikkerhed.

Projektkøkonomien af anlæggene på marker afhænger dels af de forventede fremtidige teknologiomkostninger samt øvrige omkostninger (eksempelvis arealomkostninger og netomkostninger og -tariffer), og dels af den forventede fremtidige indtjening, herunder elprisen i markedet eller opnået gennem PPA'er. Elprisen i markedet og især den solvægtede elpris (afregningsprisen for sol) er behæftet med stor usikkerhed.

Der er mange hensyn forbundet med at udbygge med ny solcellekapacitet, bl.a. skal der findes et egnet areal, hvortil der skal opnås kommunal godkendelse.

Udbygningen på kort sigt frem mod udgangen af 2030 er baseret på viden om konkrete projekter fra Energistyrelsens og Energinets oversigt over mulige VE-projekter i forskellige planlægningsfaser ('pipeline'). Brugen af pipelineprojekter er forbundet med stor usikkerhed, da projekter kan skifte karakter eller aflyses undervejs i planlægningen. AF forudsætter opnåelse af politiske målsætninger uagtet vedtagelse af konkrete virkemidler hertil. Brugen af pipelineprojekter kan således udelukkende give et indikativt bud på tempoet i udbygningen samt den geografiske fordeling mellem DK1 og DK2 på kort og mellemlangt sigte. Den anvendte pipeline er fra april 2024.

¹ Europa-Parlamentets og Rådets direktiv (EU) 2024/1275 af 24. april 2024



Eksisterende parker og udbygning til primo 2030

Udbygning til primo 2024 og årene før, dvs. eksisterende projekter, baseres på oplysninger fra stamdataregistret (udtræk af 2. april 2024). Tilvæksten til primo 2025 baseres primært på forventninger fra markedet, koblet med data fra pipelinen.

Med *Klimaaftale for energi og industri mv. 2020* blev det besluttet at indføre lovgivning der muliggør, at netvirksomhederne og Energinet kan opkræve geografisk differentierede tilslutningsbidrag og indfødningsstariffer (producentbetaling). Producentbetalingen er sat i kraft fra primo 2023, hvor inden der blev observeret en accelereret udbygning i 2022 og et følgende fald af udbygningen i løbet af 2023. Udbygningsniveauet i løbet af 2024 forventes at forblive på samme niveau som i 2023. Den geografiske opdeling af kapacitetsvæksten i løbet af 2024 antages at følge den relative andel af projekter fra pipelinen, hvor der både forelægger en vedtaget lokalplan og nettilslutningsaftale, og fordeler sig omtrent 55/45 mellem DK1 og DK2. I de efterfølgende år antages en stigende udbygning baseret på pipelinen. Brugen af pipelinedata kan give en indikation på den forventede potentielle udbygning, men er generelt forbundet med en række usikkerheder ift. bl.a. estimeret kapacitet, realiseringsgrad og hastighed.

Udbygningen i de efterfølgende år baseres på et estimat over øvrige projekter i pipelinen, der er nået til kommunal planlægning (projekter i 'kommunalt spor') og projekter, der er i proces hos et netselskab (projekter i 'netspor'). Projekter, der er længst i planlægningsprocessen, antages etableret først. I fremskrivningen antages en fordeling på hhv. DK1 og DK2 svarende til den overordnede fordeling af projekter i pipelinen.

Tabel 2: Udbygning for markantlæg i løbet af 2024-2029 (regnes med fra primo 2025-2031)

Periode (primo år)	Årlig udbygning (MW)	Årlig udbygning DK1 (MW)	Årlig udbygning DK2 (MW)
2025	650	350	300
2026	2.150	1.300	850
2027	2.750	1.850	900
2028	3.150	2.550	600
2029	3.150	2.550	600
2030	3.150	2.550	600
2031	3.150	2.550	600

Udbygning efter primo 2031

Udbygningen efter primo 2031 baseres, som i AF23, på en antagelse om, at den efterfølgende udbygning er drevet af elforbrugsstigninger. Elforbruget er dermed afgørende for den videre udbygning af solceller. Elforbruget opgøres her eksklusiv



elforbrugsstigninger fra PtX, som på lang sigt antages at følge udbygningen af havvind. Andelen af det øvrige elforbrug forsynet af solceller forbliver derfor overordnet og på årsbasis konstant. Der antages en vis udglatning hen over årene, som følger nedenstående årsfordeling og denne tilgang fører til omtrent de udbygningsrater, som bliver forudsat og som vises herunder. Den geografiske opdeling af projekter antages at følge den historiske udbygning på omtrent 70/30 mellem DK1 og DK2.

Tabel 3: Udbygning for markanlæg fra 2031 frem mod 2050 (regnes med fra primo 2032)

Periode (primo år)	Årlig udbygning (MW)	Årlig udbygning DK1 (MW)	Årlig udbygning DK2 (MW)
2032-2036	1000	700	300
2037-2041	750	525	225
2042-2050	550	400	150

1.2.2 Ændringer ift. AF23

Tagbaserede anlæg

Tagbaserede anlæg har i de sidste ca. to år set en accelereret udbygning under en periode med markant forøgede elpriser og en øget fokus på forsyningssikkerhed. Givet den anvendte metode til at fremskrive udbygningen, som baserer den fremtidige kapacitetsudvikling på den historiske udbygning af de sidste fem år, får væksten i udbygningen i de sidste to år en stor betydning for den antagne udvikling frem i tid.

Denne antagne ekstrapolation af udbygningen anvendes frem til udgangen af 2035, hvorefter den efterfølgende udbygning også kobles til den videre udvikling af elforbruget, som beskrevet ovenfor. I AF23 blev der ikke valgt nogen begrænsning efter 2035 grundet den mindre stærke udbygningstrend baseret på den sidste femårsperiode.

Markanlæg

Med indikationerne fra udviklingen af pipeline er der i forhold til AF23 justeret i optrapning af den årlige aggregerede nettilslutningskapacitet, som afspejler en konsolidering og vækst af den danske solcelleindustri. Sammenlignet med elprisens udvikling i AF23 fører antagelserne alt andet lige til et mindre fald af elprisen i løbet af 20'erne end elprisens fald i AF23, da indfasningen af yderligere solcellekapacitet sker langsommere end i AF23.

1.3 Usikkerheder og følsomhedsberegninger

Grundet den store usikkerhed om taganlægfsremskrivningen anbefales det, at Energinet regner på følsomheder med den udbygning, som blev antaget i AF23,



eftersom AF24 har set en markant opjustering af fremskrivningen i løbet af fremskrivningsperioden.

1.3.1 Usikkerheder ift. AF24-forløbet for solceller

Generel usikkerhed ift. udbygning af sol og vind på land

Udbygningen af både solcelleanlæg og kommercielle landvindmøller er forbundet med usikkerhed, både på kort og lang sigt. Udbygningen med markanlæg har derudover stigende betydning for sammensætningen af elproduktionen i Danmark.

Faktorer som lokal opbakning, eller lavere afregningspriser og markedsværdi på elmarkedet især ved en øget udbygning af solceller kan have en effekt på, hvor mange udviklere, der kan realisere deres portefølje, og dermed i hvilket omfang det overordnede estimat fra pipeline vil blive etableret. Pipelinens vækst i de sidste år kan dog grundlæggende være udtryk for en stigende interesse på området samt øgede politiske målsætninger og en forventning fra udviklerne om, at flere projekter kan realiseres end tidligere.

Specifik usikkerhed ift. udbygning af solceller

Udviklingen for utility-scale batterier og en større udbredelse i markedet kan især for solceller have en positiv effekt for deres rentabilitet i takt med en øget udbygning. Usikkerhed om fremskrivningen af batterikapacitet gør, at denne effekt endnu ikke kan kvantificeres robust i AF24. Kombinationer af solcelleparker med tilhørende batterier er der ikke modelleret i AF24 heller.

For især solceller kan arealomkostninger fremover spille en større rolle i økonomien, og dermed udbygningen af markanlæg, idet der kan observeres priser for lejeaftaler af arealer, der er flere gange højere for solcelleanlæg, sammenlignet med landbrugsaktiviteter og øget kommercialisering af arealforpagtninger og lignende. Dette kan føre til højere udgifter til udvikler i takt med evt. genplaceringer af anlæg, bl.a. i forbindelse med de geografisk differentierede tilslutningsbidrag og indfødningsstariffer.

En anden påvirkning af prisen på areal gælder for trackeranlæg, hvis elproduktionsomkostninger ifølge Energistyrelsens LCoE-beregner² er på overordnet samme niveau som for fastmonterede fikserede markanlæg. Trackeranlæg er til gengæld mere følsomme over for arealprisændringer, da trackeranlæg har et højere arealforbrug per opstillet kapacitet. Med en højere andel af trackeranlæg i den samlede udbygning af markanlæg kan der dog opnås andre gevinster, f.eks. gennem en mere effektiv udnyttelse af elnettet pga. flere fuldlasttimer.

² Energistyrelsen, LCoE-beregner: <https://ens.dk/service/fremskrivninger-analyser-modeller/analyser/analyse-af-elproduktionsomkostninger>. Teknoøkonomiske data er baseret på Energistyrelsens Teknologikatalog.



Flere eller alternative indtægtsstrømme ud over salget af produktionen på elmarkedet kan også være med til at forbedre økonomien i store solcelleanlæg og dermed have en effekt på udbygningen af kapacitet. Baseret på de hidtidige indgåede PPA'er i Danmark ser det ud til, at solcellemarkanalæg er mere attraktive for PPA'er end kommercielle vindmøller, bl.a. grundet deres gennemsnitligt kortere etableringstid, men der er usikkerhed om, hvor stort potentialet for PPA-markedet bliver på længere sigt.

Udbygningen på lang sigt er behæftet med betydelig usikkerhed, hvilket bl.a. skyldes, at udbygningen metodisk direkte afhænger af de antagne elforbrugsstigninger. Alternative antagne forbrugsstigninger vil metodisk medføre alternative udbygningsforløb af solcellemarkanalæg.

Det er observeret, at udbygningen af taganalæg i det seneste stykke tid har fået en stigende efterspørgsel, som metodisk indgår som delelement i den samlede vurdering af udbygningen af solceller på tage. Usikkerheden af den fremadrettede udbygning er stor grundet metodevalget for AF24.

1.4 Planlagt udvikling fremadrettet

Energistyrelsen følger udviklingen på solcelleområdet samt på energimarkeder og forventninger om elforbrugsstigninger nøje og vil tage dette med i betragtning forud for metodefastlæggelsen til AF25.

Det forventes, at der i løbet af 2024 arbejdes videre på betydningen af EU's bygningsdirektiv og dette direktivs betydning for udbygningen af taganalæg på offentlige bygninger mv. Dens forventede effekt kan tidligst indregnes i AF25.

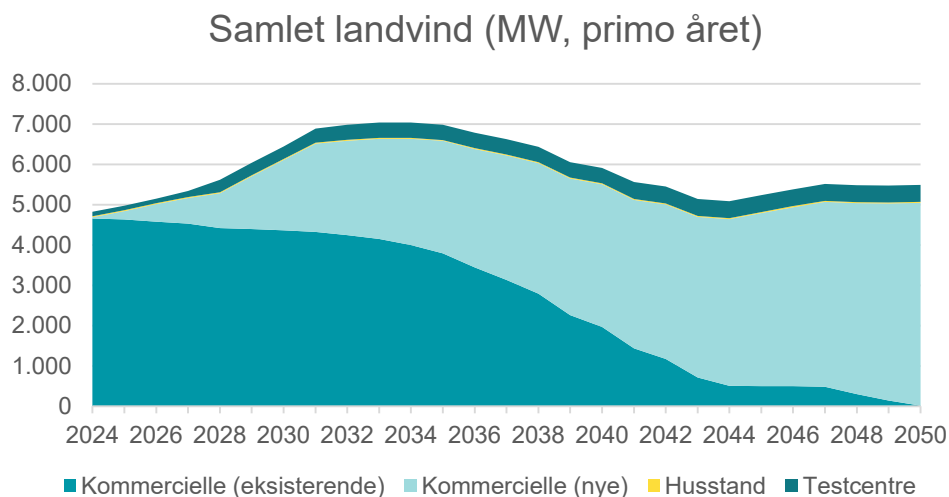


2.1 Udviklingen frem mod 2050 for landvind

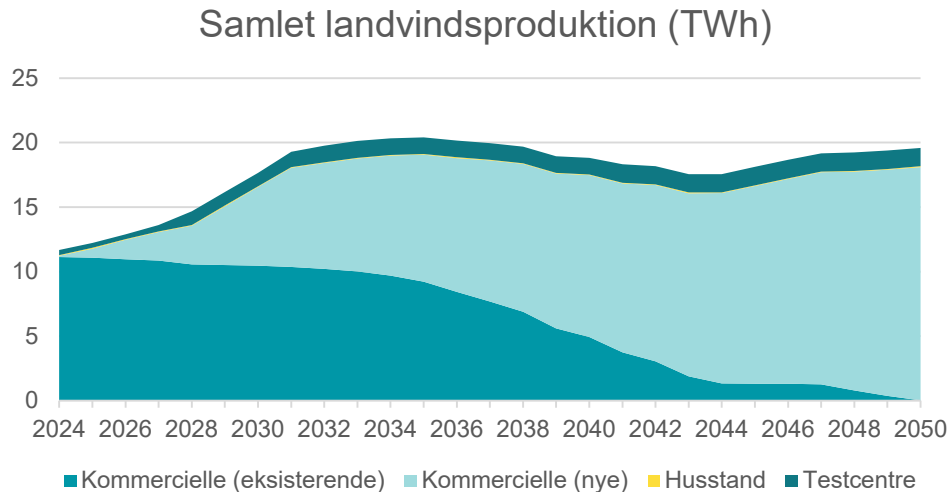
Figureerne herunder viser den samlede udvikling i kapacitet for og produktion fra landbaserede vindmøller i AF24. Fremskrivningen antager en stigning i både landvindskapacitet og produktion frem mod 2050, med en større vækst indtil 2030, jf. AF24 forudsætningen om en firedobling af produktion fra VE på land frem mod 2030 i forlængelse af *Klimaaftale om grøn strøm og varme 2022*.

For kapacitet og produktion af nye møller gælder, at fremskrivningen forudsætter en jævn stigning fra efter 2030 af, med en lidt mere udpræget stigning for produktionen grundet den samtidigt antagne teknologiske forbedring gennem højere fuldlasttimer.

2.1.1 Præsentation af AF24-forløbene for landvind frem mod 2050



Figur 6: Samlet landvindkapacitet i AF24 (MW, primo året)



Figur 7: Samlet produktion fra landvind i AF24 (TWh). Produktionen opgøres ved at gange kapacitet (primo året) med fuldlasttimer.

Den forventede udvikling i landvindskapacitet og –produktion er behæftet med usikkerhed. Væsentlige usikkerheder gennemgås i afsnit 2.3 og omfatter:

- Den antagne levetid for eksisterende møller
- Graden af nedregulering og dermed de resulterende fuldlasttimer afhænger af markedsforhold, som kan ændre sig i fremtiden

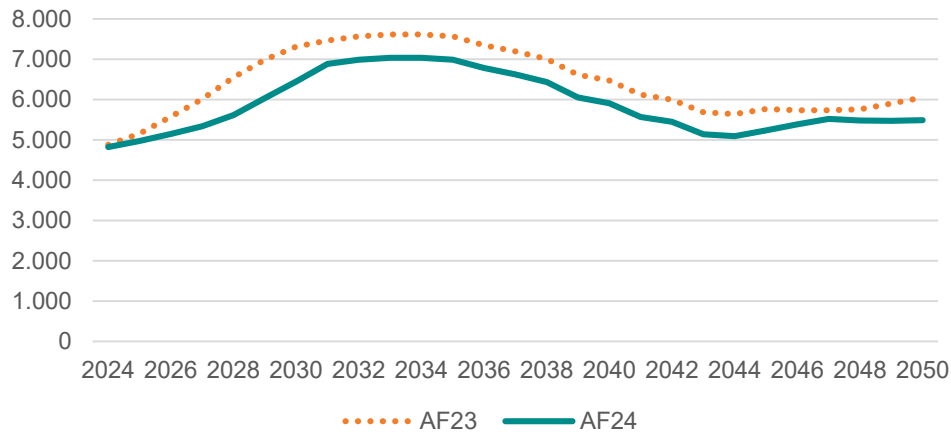
2.1.2 Uddybning af AF24 forløb og kvalificering ift. AF23

Figurerne herunder viser den samlede landvindkapacitet samt den samlede landvindproduktion i hhv. AF24 og AF23. Ændringer består primært af ændringer for kommercielle møller, da fremskrivningen for testcentermøller og husstandsmøller er uændret.

Den resulterende fremskrivning for landvind ligger i AF24 lavere end i AF23, men opfylder sammen med den øgede solcellefremskrivning forudsætningen om firedobling af landbaseret VE.

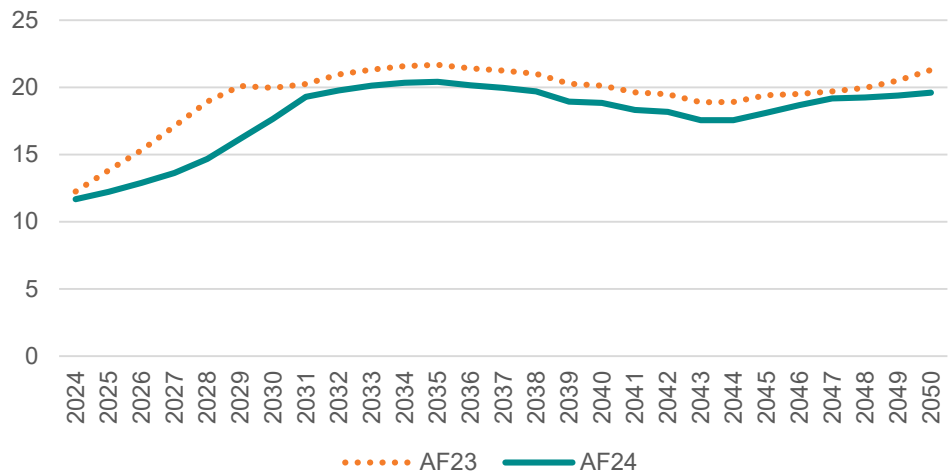


Samlet landvindskapacitet (MW, primo året)



Figur 8: Samlet landvindskapacitet i AF23 og AF24 (MW, primo året)

Samlet landvind (TWh)



Figur 9: Samlet produktion fra landvind i AF23 og AF24 (TWh, primo året)

De væsentligste ændringer i AF24 ift. AF23 omfatter følgende (jf. også afsnit 2.2):

- Den samlede fremskrivning af vindkapacitet frem mod 2050 ligger i AF24 lavere end AF23.



2.2 Metode og antagelser for landvind

2.2.1 Metode og antagelser til AF24

Forudsætninger for landvind skelner mellem kommercielle møller, forsøgsmøller opstillet på testcentre og husstandsmøller.

Ved eksisterende kommercielle møller forstås møller på land ekskl. forsøgsmøller opstillet på testcentre og husstandsmøller. Forsøgsmøller opstillet uden for testcentre medregnes under kommercielle møller, medmindre de er nævnt specifikt i enkelte år.

Ved forsøgsmøller opstillet på testcentre forstås møller på land opstillet på et af de to nationale testcentre, Østerild og Høvsøre, samt en beregningsteknisk antagelse om møller opstillet på et evt. udvidet Østerild³.

Ved husstandsmøller forstås møller på land med en kapacitet på mindre end eller lig med 25 kW. Husstandsmøller udgør en meget lille del af den samlede landvindkapacitet.

Forløbene i AF er opgjort i primo-kapacitet, dvs. den udvidede kapacitet indgår i det efterfølgende år, efter kapaciteten etableres.

Kommercielle møller

Levetider for eksisterende og nye møller

Tidspunktet for hvornår en mølle tages ned afhænger af den økonomiske levetid. Når en mølle er ude af en given tilskudsordning er der to forhold, der afgør, om den nedtages. For det første vil forholdet mellem den forventede fremtidige markedspris på el og de forventede fremtidige omkostninger til drift og vedligehold afgøre, hvorvidt det kan betale sig at fortsætte mølledriften. For det andet afhænger det af, hvorvidt en mølle "står i vejen" for et fremtidigt mølleprojekt, da en del af møllerne netop tages ned for at gøre plads til nye møller. Historisk har det givet mening at nedtage møller tidligere end deres tekniske levetid, da man har kunnet erstatte dem med nyere og større møller med højere kapacitet. Tendensen forventes dog at flade ud på lang sigt, da bl.a. visuelle hensyn og regler om afstand til beboelse sætter begrænsninger for vindmøllestørrelsen på land. For så vidt angår antagelser om levetider for eksisterende møller skelnes der derfor mellem møller opstillet inden for og uden for et område, hvor der potentielt kan opstilles nye møller.

Antagelser om levetider for eksisterende møller baseres i lighed med AF23 og tidligere fremskrivninger på analysen udarbejdet i forbindelse med

³ Aftalekredsen bag den politiske aftale om *Gode rammevilkår for test af prototype- og serie 0-vindmøller* har den 1. februar 2024 besluttet at igangsætte en miljø- og habitatkonsekvens-vurdering af en mulig udvidelse og tilpasning af Østerild Testcenter.



Basisfremskrivningen 2020, og der henvises derfor til notater herom for en uddybning af forudsætningerne⁴. Antagelserne fremgår af tabellen herunder og anvendes for møller opstillet til og med 2023 (svarende til og med primo 2024 i fremskrivningen).

Tabel 4: Antagelser om levetider for møller opstillet til og med primo 2024

Nr.	Størrelse	Placering	Antaget levetid (år)
1	<= 599 kW – Vestas 225 kW	Inden for potentielt nyt område	35
2		Uden for potentielt nyt område	40
3	<= 599 kW – Øvrige møller	Inden for potentielt nyt område	30
4		Uden for potentielt nyt område	35
5	600-1499 kW	Inden for potentielt nyt område	35
6		Uden for potentielt nyt område	40
7	>= 1500 kW	Inden for potentielt nyt område	25
8		Uden for potentielt nyt område	25
9	>= 30 kW	Møller opsat fra år 2020	27

Levetider for nye møller opstillet fra primo 2025 og frem baseres på data fra Energistyrelsens Teknologikatalog (Energistyrelsen, Teknologikatalog for produktion af el og fjernvarme, 2022), jf. tabellen herunder. Levetiden for nye møller kan afvige fra levetiden for eksisterende møller. Det skyldes primært, at teknologien nu er mere moden, og der derfor findes større viden om levetiden af de forskellige komponenter. Modsat bliver moderne møllers design til stadighed optimeret med hensyn til vægt og materialer, hvilket kan øge risikoen for nedbrud og forkorte levetiden, hvilket gør, at der er noget usikkerhed i levetidsantagelserne. Generelt forventes der dog en længere levetid for nye møller sammenlignet med eksisterende.

Tabel 5: Antagelser om levetider for møller opstillet fra primo 2025 og frem

Periode	Levetid (år)
2025-2030 (primo)	27
2031-2050 (primo)	30

Fuldlasttimer og produktion fra eksisterende og nye møller

Forventet elproduktion beregnes på baggrund af antagelser om årlige fuldlasttimer.

For møller opstillet frem til primo 2024 anvendes observerede årlige fuldlasttimer, der er normeret ift. et normalt vindår og afrundet til nærmeste 50. Vindåret er valgt til 2008 i overensstemmelse med KF24. Så vidt muligt er der anvendt et

⁴ Energistyrelsen, Landvindanalyser, 2020



gennemsnit over 10 år (2012-2021)⁵. Fulldlasttimerne er beregnet for de 8 kategorier anvendt ift. antagelser om levetid, men med en yderligere opdeling på Østdanmark (DK2) og Vestdanmark (DK1), altså 16 kategorier i alt. Fulldlasttimerne fremgår af tabellen herunder.

Tabel 6: Antagelser om fulldlasttimer for møller opstillet til og med primo 2024

Nr.	Størrelse	Placering ift. levetid	Placering ift. geografi	Fulldlasttimer (MWh/MW)
1	<= 599 kW – Vestas	Inden for potentielt område	DK1	2.500
			DK2	2.350
2	225 kW	Uden for potentielt område	DK1	2.350
			DK2	1.750
3	<= 599 kW – Øvrige møller	Inden for potentielt område	DK1	1.800
			DK2	1.700
4		Uden for potentielt område	DK1	1.800
			DK2	1.650
5	600-1.499 kW	Inden for potentielt område	DK1	1.850
			DK2	2.000
6		Uden for potentielt område	DK1	1.950
			DK2	1.850
7	>= 1.500 kW	Inden for potentielt område	DK1	2.750
			DK2	3.050
8		Uden for potentielt område	DK1	2.650
			DK2	2.950
9	>= 30 kW	Møller opsat fra år 2020	DK1	2.650

For møller opstillet fra primo 2025 og frem baseres årlige fulldlasttimer på Energistyrelsens Teknologikatalog. Der skelnes ikke mellem møller i Østdanmark og Vestdanmark, da der ikke indgår data herom i teknologikataloget. Fulldlasttimerne fremgår af tabellen herunder.

Tabel 7: Antagelser om fulldlasttimer for nye kommercielle møller opstillet fra primo 2025 og frem

Periode (primo år)	Fulldlasttimer (MWh/MW)
2025	3.400
2026-2030	3.500
2031-2040	3.600
2041-2050	3.700

⁵ Kun år med fuld produktion anvendes.



Kapacitet: Eksisterende parker og udbygning til primo 2031 ekskl. forsøgsmøller uden for testcentre

Udbygningen på kort sigt er baseret på viden om konkrete projekter fra Energistyrelsens og Energinets oversigt over mulige VE-projekter i forskellige planlægningsfaser ('pipeline'). Brugen af pipelineprojekter er forbundet med stor usikkerhed, da projekter kan skifte karakter eller aflyses undervejs i planlægningen. AF forudsætter opnåelse af politiske målsætninger uagtet vedtagelse af konkrete virkemidler hertil. Brugen af pipelineprojekter kan således udelukkende give et indikativt bud på tempoet i udbygningen samt den geografiske fordeling mellem DK1 og DK2 på kort og mellemlangt sigte. Den anvendte pipeline er fra april 2024.

Udbygning i løbet af 2024 (dvs. primo 2025) baseres på allerede nettilsluttede projekter i året, som fremgår af stamdataregistret, og øvrige projekter i pipeline, der har indgået aftale om nettilslutning.

Udbygning i de efterfølgende år baseres på øvrige projekter i pipeline, der har nået kommunal planlægning (projekter i 'kommunalt spor') og projekter, der er i proces hos et netselskab (projekter i 'netspor'). Projekter, der er længst i planlægningsprocessen, antages etableret først. Antaget fordeling mellem etablering samt geografisk fordeling mellem Vest- (DK1) og Østdanmark (DK2) fremgår af tabellen herunder.

Den samlede udbygning af nye kommercielle møller er præsenteret i tabellen nedenfor.

Tabel 8: Udbygning i løbet af 2024-2030, som regnes med fra primo 2025-2031

Periode (primo år)	Årlig udbygning (MW)	Årlig udbygning DK1 (MW)	Årlig udbygning DK2 (MW)
2025	173	172	1
2026	233	233	0
2027	196	179	17
2028	234	200	34
2029	440	360	80
2030	440	360	80
2031	440	360	80

Kapacitet: Udbygning efter primo 2031

Udbygningen efter primo 2031 baseres som i AF23 på en antagelse om, at den efterfølgende udbygning er drevet af elforbrugsstigninger. Elforbrugsniveauet er dermed afgørende for den videre udbygning af landvindmøller. Elforbruget opgøres her eksklusiv elforbrugsstigninger fra PtX, som på lang sigt antages at følge udbygningen af havvind. Andelen af det øvrige elforbrug forsynet af nye kommercielle landvindmøller forbliver derfor overordnet og på årsbasis konstant.



Der antages en udglatning hen over årene, som fører til omtrent den udbygningsrate, som bliver forudsat og som vises herunder. Den geografiske opdeling af projekter antages at følge den historiske udbygning på omtrent 80/20 mellem DK1 og DK2. Møllestørrelser baseres på data fra Energistyrelsens Teknologikatalog (Energistyrelsen, Teknologikatalog, 2020), hvilket giver en udbygning målt i antal som angivet i tabellen herunder.

Tabel 9: Antagelser om årlig udbygning fra 2031 og frem (medregnes fra primo 2032 og frem)

Periode	Årlig udbygning (MW)	Møllestørrelse (MW/mølle)	Årlig udbygning, afrundet til nærmest 5 (stk.)
2032-2040	150	5,0	30
2041-2050	150	5,5	25

Kapacitet: Udbygning med forsøgsmøller uden for testcentre

Udbygning med forsøgsmøller uden for testcentre baseres på kapacitet i den aftalte forsøgsmøllepulje. Som i AF23 antages ingen udbygning da ingen midler i puljen blev uddelt i 2023.

Med *Klimaaftale for energi og industri mv. 2020* blev det besluttet at reservere midler til støtte til forsøgsmøller i 2022-24 for at styrke forskning- og udviklingsaktiviteter inden for vindenergi. Med *Klimaaftale om grøn strøm og varme 2022* blev det aftalt at omlægge de nuværende to driftsstøtteordninger henholdsvis inden for og uden for de nationale testcentre til én samlet investeringsstøtteordning for forsøgsmøller på land i 2023 og 2024. Metoden er uændret ift. AF23.

Forsøgsmøller på testcentre

Fuldlasttimer og produktion fra eksisterende og nye møller

Forventet elproduktion beregnes på baggrund af antagelser om årlige fuldlasttimer. Møller på testcentre driftes ikke som almindelige kommercielle møller, og der vil bl.a. også være kortere eller længere perioder, hvor der foretages udskiftninger af vindmøller på testpladserne. Der anvendes en simpel antagelse om 3.400 årlige fuldlasttimer for møller på testcentrene.

Kapacitet: Udbygning med nye møller

Ifm. aftale på Indenrigs- og boligministeriets område om gode rammevilkår for forsøgsmøller d. 15. december 2021 blev det aftalt, at der skal screenes for et eventuelt tredje testcenter og egnede områder til test af serie-0 vindmøller⁶. Som

⁶ Nærmere information: Indenrigsministeriet, *Udmøntning af delelementer i aftale om Gode rammevilkår for forsøgsmøller af 15. december 2021. 2022:*
<https://im.dk/Media/637913235129072843/Aftale%20om%20udm%c3%b8ntning%20af%20delelementer>



følge af screeningen har aftalekredsen besluttet at foretage en miljø- og habitatkonsekvensvurdering af en udvidelse af Østerild Testcenter⁷.

Beregningsteknisk baseres fremskrivningen på antal testpladser og antaget gennemsnitlig møllestørrelse pr. testcenter.

I AF24 er der som i AF23 antaget, at der i et evt. tredje testcenter eller ved en evt. udvidelse af Østerild Testcenter primært testes havmøller, da der er screenet for møller med en højdebegrænsning på 450m. Det antages i fremskrivningen, at driften på disse yderligere testpladser starter primo 2028.

Det bemærkes, at selv med en tidshorisont, der strækker sig ganske få år frem i tiden, er udbygningen forbundet med væsentlig usikkerhed. På testcentre antages der en gradvis indfasning af større møller. Antagelserne, der skeler til udviklingen i møllestørrelser i Energistyrelsens Teknologikatalog (Energistyrelsen, Teknologikatalog, 2022), fremgår af tabellen herunder. Der skal bemærkes, at møllerne installeret i testcentre forventes at være større end de samtidig tilgængelige kommercielle møller.

Tabel 10: Antagelser om forsøgsmøller på testcentre

Testcenter og år (primo)	Antal pladser (stk.)	Gennemsnitlig møllestørrelse (MW/mølle)	Kapacitet (MW, afrundet til nærmeste 10)
Østerild (2024-2025)	9	8	70
Østerild (2026-2030)	9	12	110
Østerild (2031 og frem)	9	16	140
Høvsøre (2024)	7	5,0	40
Høvsøre (2025-2030)	5	8	40
Høvsøre (2031 og frem)	5	8	40
Testcenter 3 (2028-2030)	8	20	160
Testcenter 3 (2031-2040)	8	25	200
Testcenter 3 (2041-2050)	8	30	240

Husstandsmøller

Fuldlasttimer og produktion fra eksisterende og nye møller

Forventet elproduktion beregnes på baggrund af antagelser om årlige fuldlasttimer. Produktionen fra husstandsmøllerne baseres på en antagelse om 2.385 årlige

[%20i%20aftale%20om%20Gode%20rammevilk%3%a5r%20for%20fors%3%b8gsm%3%b8ller%20af%2015.%20dec.%202021.pdf](#)

⁷ Aftale om Gode rammevilkår for test af prototype- og serie 0-vindmøller af 1. februar 2024



fuldlasttimer baseret på observerede fuldlasttimer. Disse antagelser er uændret ift. AF23.

Kapacitet: Udbygning med nye møller

Husstandsmøller udgør en meget lille del af den samlede landvindkapacitet. Der er i dag ca. 22 MW installeret, hvilket antages at stige med ca. 0,1 MW årligt i hele fremskrivningsperioden.

2.2.2 Ændringer ift. AF23

Fremskrivningen af landvindmøller i AF24 baserer sig overordnet på de samme metoder som AF23, som forudsætter en opnåelse af firedoblingen, som er opdateret med ny data om pipelineprojekter og tal fra stamdataregistret.

Der er ingen metodiske ændringer er for husstands- og testcentermøller.

2.3 Usikkerheder og følsomhedsberegninger

2.3.1 Usikkerheder ift. AF24-forløbet

Generel usikkerhed ift. Generel usikkerhed ift. udbygning af sol og vind på land

Der henvises her til underafsnittet om "Generel usikkerhed ift. Generel usikkerhed ift. udbygning af sol og vind på land" (jf. afsnit 1.3.1) for generelle tværgående usikkerheder, som vedrører både landbaseret vind og solceller.

Herunder nævnes yderligere usikkerheder, som vedrører fremskrivningen for landvind specifikt.

Specifik usikkerhed ift. udbygning af vind på land

Usikkerhed ift. levetid for vindmøller

Levetiden for eksisterende kommercielle møller er forbundet med usikkerhed og har samtidig stor betydning for udfasingen af disse møller. Energistyrelsens bud på parametervariationer for levetiden fremgår af tabellen herunder. Disse parametervariationer er uændret ift. AF23.



Tabel 11: Parametervariationer for levetiden for eksisterende kommercielle møller

Nr.	Størrelse	Placering	Lavere levetid	AF24	Højere levetid
1	<= 599 kW – Vestas 225 kW	Inden for potentielt område	30	35	40
2		Uden for potentielt område	35	40	45
3	<= 599 kW – Øvrige møller	Inden for potentielt område	30	30	35
4		Uden for potentielt område	30	35	40
5	600-1499 kW	Inden for potentielt område	30	35	40
6		Uden for potentielt område	35	40	45
7	>= 1500 kW	Inden for potentielt område	25	25	30
8		Uden for potentielt område	25	25	30
9	>= 30 kW	Møller opsat fra år 2020	25	27	35

Usikkerhed ift. fuldlasttimer og produktion for eksisterende vindmøller

Produktionen fra eksisterende møller er også behæftet med usikkerhed, da beregningen af fuldlasttimer baseres på en historisk opgørelse og observationer. En stigende faktor i produktionen af eksisterende møller er den nedregulering, som er forbundet med den modhandel der i dag finder sted mellem Energinet og den tyske TSO TenneT ved specialregulering. Den aktuelle markedsmodel for modhandel, som fremover kan ske på intraday-markedet, vil formentligt betyde en mindre nedregulering af danske vindmøller og dermed højere fuldlasttimer end observeret de seneste år. Markedsmodellen er fuldt implementeret pr. 1. juli 2023.

2.4 Planlagt udvikling fremadrettet

Energistyrelsen følger udviklingen på landvindområdet samt på energimarkeder og forventninger om elforbrugsstigninger nøje og vil tage denne med i betragtning forud for metodefastlæggelsen til AF25.