



Notat om

*Landvind-potentialemodellen, version 2019*

*Dette notat beskriver den GIS tekniske metode bag landvind potentialemodellen, inkl. opdateringer implementeret i 2019 versionen, samt enkelte resultater.*

**Kontor/afdeling**  
SYS

**Dato**  
4. maj 2020

**J nr.** 2019-97769

/JLO

## 1. Baggrund for GIS modellering af landvindpotentiale

Til anvendelse i analyser og fremskrivninger er det vigtigt at have et realistisk estimat af det samlede nationale landvindpotentiale under gældende lovgivning. Endvidere er det værdifuldt at kunne levere konsekvensanalyser af foreslået lovgivning, der kan påvirke produktionsmulighederne for vedvarende energi (VE) i fremtiden.

Vha. geografiske informationssystemer (GIS) og geodata, kan der laves landsdækkende screeninger af muligheden for opstilling af møller. Særligt de mange geodata, der stilles frit til rådighed via Kortforsyningen, samt Bygnings- og Boligregistret (BBR), gør dette muligt. Tidligere har GIS baserede analyser af landvindpotentialet typisk været baseret på trin for trin fraklipning, hvor en begrænsende områdetype fjernes for hvert trin og det tilbageværende udgør de potentielle områder. Denne fremgang er nyttig og kan hjælpe med at give et generelt overblik, men metoden lider også af en manglende fleksibilitet. Flexibiliteten er særligt nødvendig nu, hvor opkøb af boliger er en naturlig del af projekteringen og man derfor ikke længere bare kan frasortere alle arealer, der er inden for minimumsafstanden af boliger, sommerhuse og lignende.

For at imødegå behovet for et fleksibelt værktøj, både til potentiale vurdering og til konsekvensanalyser, er en GIS baseret potentialemodel udviklet af Energistyrelsen med input fra Energinet. Modellens formål er at screene hele landet ud fra en række parametre, og derved give et bud på det totale potentiale. Den geografiske tilgang giver desuden et indblik i fordelingen af områderne, hvor der potentielt kan opstilles vindkraftanlæg.

En prototype blev opstillet og testet i 2015, og resultaterne herfra fødte ind i udviklingen af den første anvendte model, der var færdig i 2016. Modellen blev kørt med en række forskellige indstillinger for at teste følsomheder, samt bl.a. at belyse

**Energistyrelsen**

Carsten Niebuhrs Gade 43  
1577 København V

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

www.ens.dk



de mulige konsekvenser af øget afstandskrav fra mølle til bolig på det teoretiske potentiale.

## 2. Opbygning af potentialemodellen

I potentialemodellen beregnes den potentielle landvindkapacitet ud fra hensyn til arealmæssige begrænsninger. Disse placeringshensyn er fastlagt ud fra Naturstyrelsens "Vejledning om planlægning for og tilladelse til opstilling af vindmøller, 2015", der bl.a. tager udgangspunkt i "Bekendtgørelse om planlægning for og tilladelse til opstilling af vindmøller" (BEK nr 1590 af 10/12/2014), samt "Oversigt over nationale interesser i kommuneplanlægning, Erhvervsstyrelsen 2018", og den lidt ældre "Vejledende liste over placeringshensyn, vindmøllesekretariatet 2011".

### 2.1. *Input data*

Geodata, der skal repræsentere de arealmæssige hensyn, er erhvervet fra en lang række kilder. Det meste er dog distribueret gennem Kortforsyningen (<http://kortforsyningen.dk/>).

De mange hensyn gør det praktisk at samle dem i generaliserede kategorier. Her anvendes kategorierne "Infrastruktur" og "Natur", da de dækker over en lang række af de arealbegrænsende hensyn. Boligrelaterede parametre er desuden helt centrale og informationer baseret på BBR data går derfor igen flere gange, de er blandt andet brugt til at estimere ejendomsværdi i 4 møllehøjders (4 MH) afstand. 4 MH er minimumsafstanden mellem mølle og bolig og derfor vigtig for estimering af nødvendig boligopkøb. **I Fejl! Henvissningskilde ikke fundet.** ses en oversigt over de anvendte datasæt. Da det meste data første gang blev indhentet i 2015 og 2016 er der lavet en komplet opdatering af alle datasæt i 2019.

Det meste data findes som vektorfiler og er relativt tungt at anvende på nationalt niveau. Derfor konverteres vektordata til rasterdata i 50m opløsning inden det generaliseres til datasæt for infrastruktur, natur eller boligpris. Dette gør databehandlingen langt lettere men introducere en lille geografisk usikkerhed. For de hensyn hvor højden på en mølle spiller ind, antages højden generelt at være 150m, da det pt. er den hyppigste højde for nye møller på land i Danmark.



**Tabel 1: Oversigt over input data til de arealbegrænsende hensyn.**

Tema	Kilde	Sikkerhedszone	Kategori
BBR (Bygnings- og Boligregistret)	SKAT		Boliger og ejendomsværdi
Generel højdebegrænsning	Digitaliseret af ENS		Forsvaret
Øvelses- og skydeområder	Digitaliseret af ENS		Forsvaret
Gastransmission, skylleledning	Energinet	150m	Infrastruktur
Gastransmission, stationsområde	Energinet	150m	Infrastruktur
Gastransmission, Transmissionsledning	Energinet	150m	Infrastruktur
Eltransmission, stationer	Energinet	150m	Infrastruktur
Eltransmission, kabler	Energinet	150m	Infrastruktur
Eltransmission, ledninger	Energinet	150m	Infrastruktur
Højspændingsledninger	GeoDanmark	150m	Infrastruktur
Jernbane områder	Matrikelkortet		Infrastruktur
Jernbane	GeoDanmark	150m	Infrastruktur
Vejmidte	GeoDanmark	150m	Infrastruktur
Indflyvningszoner (højdegrænseplaner)	Trafik Bygge og Boligstyrelsen		Infrastruktur
Startbaner	GeoDanmark		Infrastruktur
Klitzone	Matrikelkortet		Natur
Strand	Matrikelkortet		Natur
Beskyttede vandløb	Miljøportalen		Natur
Åbeskyttelseslinje	Miljøportalen		Natur
Søer	Vandplanen, 2. høring 2014		Natur
Søbeskyttelseslinje	Miljøportalen		Natur
Fredede områder	Miljøportalen		Natur
Fredede områder, forslag	Miljøportalen		Natur
Natura 2000 områder	MiljøGIS		Natur
Fredskov	MiljøGIS		Natur
Fredede fortidsminder	Kulturstyrelsen	100m	Natur
Kirkebyggelinjer	Miljøportalen		Natur



## 2.2. Metode

Metoden kan inddeles i 4 trin:

1. Første sortering af hele landet
2. Aggregering af måske-brugbare områder
3. Sekundær sortering og reduktion af områder efter pris
4. Nærhed- og afstandsanalyser

**Trin 1:** Modellens første trin er en grovsortering af landets areal i måske-brugbart og ikke-brugbart. For at kunne udføre sorteringen repræsenteres placeringshensynene vha. geodata, der kobles til et landsdækkende hektargrid (100\*100 meter). Landets ca. 4,3 mio. hektar kan herefter sorteres, f.eks. ift. boliger og ejendomsværdi inden for en given afstand, fredede områder, infrastruktur og forsvarrets interesser. Bemærk at boligudgifter beregnes med udtrykket vist under trin 3 nedenfor, dette forventes at blive opdateret når ny lovgivning træder i kraft senere i 2020. De måske-brugbare arealer anvendes herefter som input i modellens senere trin.

**Trin 2:** I modellens andet trin bliver hektar-celler, der opfylder første-sorteringens kriterier, aggregeret til sammenhængende områder. For at kunne benyttes til opstilling af møller, skal et områdes areal være minimum 0,2 km<sup>2</sup>, da det ellers ikke er realistisk at opstille 3 eller flere møller. Mindre områder frasorteres. Minimumsarealet på 0,2 km<sup>2</sup> er baseret på forsøg med indpasning af flest mulige fiktive møller, i ordnede rækker og med 2-3 MH mellem de enkelte møller, i lidt over 40 forskellige områder. Valget af 3 møller som min. er fastlagt ud fra analyse af stamdataregistret for vindkraftanlæg, som viser at mellem januar 2005 og oktober 2019, er der kun opstillet 5 enkeltstående møller over 1MW på land, 24 der er opstillet i par, og 647 der står tre eller flere sammen. Det potentielle antal møller pr. område er estimeret ved empirisk baseret sammenhæng mellem arealstørrelse og antal mulige møller (rundet af til heltal). For hvert aggregeret område beregnes antal boliger, samt deres værdi, indenfor 4 og 10 møllehøjder (ingen boliger tælles flere gange for samme område), som herefter kan bruges til at estimere udgifter til boligopkøb og værditabsordning.

**Trin 3:** For opkøb af boliger antages prisen at være 150 pct. af BBR's estimerede ejendomsværdi for boliger, sommerhuse og landbrugsejendomme stuehuse, der er inden for 4 MH (BoPri4MH) af et aggregeret område. For værditabsstatning antages prisen at være 5 pct. af samme inden for 10 MH (BoPri10MH) af et aggregeret område:

$$\text{Boligudgifter} = 1,5 * \text{BoPri4MH} + 0,05 * \text{BoPri10MH}$$



Boligudgifterne relateret til opkøb og erstatning kan være meget høje for nogle områder, på trods af den første sortering af det landsdækkende hektargrid. Derfor fastsættes en maksimal værdi for opkøb af boliger per mølle på 3 mio. kr., hvilket vurderes at udgøre ca. 12 pct. af de samlede investeringsomkostninger per mølle. I områder hvor boligopkøbet vil overstige værdien, frasorteres iterativt de 10 % dyreste dele af området, indtil området enten kommer under den valgte maksværdi, eller ender med at være mindre end 0,2 km<sup>2</sup>.

**Trin 4:** Ifølge de nuværende retningslinjer skal der som udgangspunkt være 28 møllehøjder i mellem to mølleklynger. Ved planlægning for vindmøller nærmere end 28 gange totalhøjden fra eksisterende eller planlagte vindmøller, skal redegørelsen for planforslaget, jf. planlovens § 11 e, belyse anlæggenes påvirkning af landskabet, herunder oplyse, hvorfor påvirkningen anses for ubetænkelig. Derfor vil ibrugtagelse af et område ofte betyde udelukkelse af andre. I modellens fjerde trin itereres der gennem områderne, således at store områder (antal potentielle møller  $\geq 20$ ) med lavest mulig udgift pr. mølle prioriteres, og nærliggende mindre eller dyrere områder frasorteres løbende. Små områder, der ligger indenfor 500m af hinanden og sammenlagt kan rumme over 20 møller, prioriteres dog som store. Her er afstanden på 500m valgt, da det er en typisk intra-klynge afstand mellem møller med totalhøjde på 150m. Dette forhindrer f.eks. at større område, der gennemskæres af en jernbane, der har 150m sikkerhedszone på hver side, frasorteres som to eller flere små områder. Se også afsnit 3.3. der beskriver den opdaterede grupperingsmetode.

Det bemærkes, at vurderingen af udgifter pr. mølle udelukkende er beregnet ud fra omkostninger forbundet med opkøb og erstatning, og der er således ikke i vurderingen medtaget elementer vedrørende bl.a. vindforhold. Ift prioritering af nærliggende områder kan det dog antages at variationen i vindforhold vil mindskes, når afstanden mindskes.

### **3. Opdatering, 2019**

I 2019 er modellen opdateret med nye inputdata, en ny grupperingsmetode til nærliggende områder, samt øget hensyn til instrumenter og højdebegrænsninger for lufthavne og indflyvningszoner. En af de væsentligste ændringer i input data sker for arealbegrænsninger relateret til Forsvaret. Inputdata er listet i

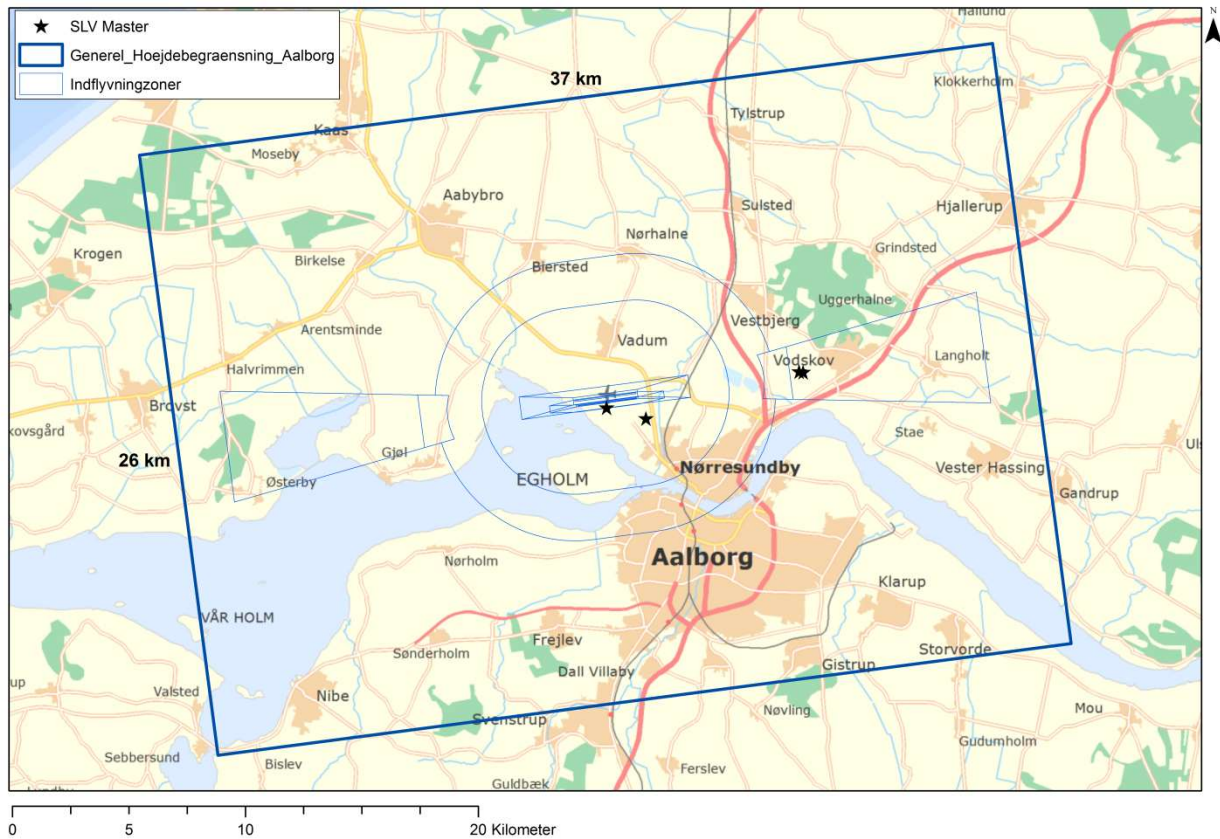
Tabel 1.

### 3.1. Forsvarets arealbegrænsninger

I første version af landvindpotentialemodellen fik Energistyrelsen geodata med Forsvarets vindmøllebuffer tilsendt efter anmodning. Bufferen repræsenterede vejledende afstande fra øvelses- og skydeområder (5 km) samt flyvestationer (12 km). Disse bufferzoner dækkede ca. 13 % af landets areal, men Forsvaret påpegede at de skulle ses som vejledende og at de generelt opfordrede til at man inddrog dem i processen så tidligt som muligt, ved planlægning af nye vindkraftanlæg.

Ved forespørgsel til forsvaret i 2019, angives øvelses og skydeterræner stadig med 5 km buffer. Der henvises til publikationen "Oversigt over nationale interesser i kommuneplanlægning" (Erhvervsstyrelsen, marts 2018) og Planlovens § 11 a, stk. 1, nr 4 (ansvarlig myndighed er Forsvarsministeriets Ejendomsstyrelse). Dog kunne der ikke fremsendes geodata med øvelses- og skydeområderne, så de er fremskaffet på anden vis. En grad af usikkerhed i områderne må derfor antages.

For begrænsninger omkring flyvestationer henvises til indflyvningsplanerne fra Trafik-, Bygge- og Boligstyrelsen (datasæt med højdegrænseflader/indflyvningszoner distribueret via Plandata.dk). Udover disse har forsvaret yderligere angivet en højdebegrænsning på 152 m over havets overflade i et område på 26\*37 km omkring flyvestationernes landingsbaner, hvor Forsvarets Ejendomsstyrelse efter konkret vurdering kan meddele skærpede restriktioner. Der kunne ikke fremsendes geodata for de områderne med generelle højdebegrænsninger, så de er også fremskaffet på anden vis. En visualisering af "generel højdebegrænsning" for Flyvestation Aalborg er vist i Figur 1.



**Figur 1: Eksempel på begrænsninger omkring Aalborg flyvestation og lufthavn. De tynde blå linjer repræsenterer indflyvningszoner, stjernerne viser placeringen af luftfartsanlæg (CNS), mens den tykkere mørke blå linje repræsenterer en fortolkning af Forsvarets generelle Højdegrænse for 152m over havets overflade.**

Hensyn til radar og andet instrumentel, vis dækning kan påvirkes negativt af vindmøller, er ikke længere markeret som konkrete arealer for visse anlæg, men skal som udgangspunkt anses for at være landsdækkende, hvorfor forsvaret altid skal høres ved opstilling af større vindkraftanlæg.

Arealbegrænsningen, angivet som procent af det totale landområde, er således 12,6 % i 2019, sammenlignet med 13 % i 2016. De primære forskelle er at større områder er angivet i Jylland i kraft af de generelle højdegrænser, mens mindre er angivet på Sjælland og Bornholm, da Roskilde flyvestation ikke længere er talt med og da 15 km bufferen omkring radarstationen i Almindingen på Bornholm ikke længere er specifikt markeret.

### 3.2. Luffart

I første udgave af potentialemodellen var lufthavne repræsenteret ved et datasæt, der ikke tog tilstrækkeligt hensyn til højdegrænseplaner omkring lufthavne. Dette er





opdateret med data fra Trafik-, Bygge- og Boligstyrelsen, hvor horisontflader, koniske flader og indflyvningszoner alle regnes som begrænsende. Et eksempel ses i Figur 1 for Aalborg.

Lufthavnenes anlæg til kommunikation, navigation og overvågning er ikke som udgangspunkt anset som begrænsende i modellen. Disse anlæg er i nogle tilfælde sikret med servitutter i op til 300 meters afstand, men Trafik-, Bygge- og Boligstyrelsen angiver at vindmøller kan påvirke disse anlæg, og dermed flyvesikkerheden, i op til 15 km afstand. Hvis respektafstandene for anlæg, som angivet af Trafik-, Bygge- og Boligstyrelsen, skal anses som begrænsende vil det tilføje 6470 km<sup>2</sup>, svarende til 15 % af landet areal. Dette er fraregnet areal over vand og det areal der overlapper med højdegrænseplanerne. Ved planlægning af vindmøller skal nærmeste lufthavn eller NAVIAIR kontaktes.

### 3.3. Grupperingsmetode

Modellen fra 2016 grupperede potentielle områder, der var under 500 meter fra hinanden, da nært beliggende områder vil kunne anvendes til samme mølleklynge. Denne del af modellen havde desuden den fordel at flere små områder, der var tæt på hinanden, ikke ville blive sorteret fra eller nedprioriteret pga. størrelse.

2016 versionen lagde et søgefelt omkring alle klynger samtidigt. Felter, der berørte eller overlappede, blev efterfølgende smeltet sammen og anvendt til at gruppere områderne indenfor. Metoden til grupperingen har dog vist sig uhensigtsmæssig på et punkt: Den resulterede i enkelte tilfælde i store multiområder med op til 15 potentielle områder i en gruppering. Særligt i Sydjylland fremkom dette. Undersøgelse af eksisterende mølleklynger viser, at ca. 1/5 af eksisterende mølleklynger strækker sig over 2 områder, mens der kun er en enkelt klynge som strækker sig over 3 områder. De store områder burde derfor deles flere mindre grupperinger. Mindre betyder ikke i denne sammenhæng ikke at områder bliver små. Der vil stadig være plads til mange møller i de fleste.

Den justerede metode afsøger for nærliggende områder for et område af gangen, i stedet for alle områder på en gang. Områderne behandles i rækkefølge bestemt af et XY indeks, der starter med de sydvestlige områder. Resultatet er mindre grupperinger, som stadig tager højde for at nærliggende områder kan anvendes til samme projekt.

## 4. Resultater

Modellens resultat er en geodatabase med potentielle områder, estimerede områdeudgifter og antal møller pr. område. Resultatet er afhængigt af indstillingen af modellens parametre (se Tabel 2 for standardkørslens indstillinger). Ved



modellering af det nuværende potentiale kan de fleste parametre indstilles ud fra gældende lovgivning og vejledninger, men enkelte er mindre faste, f.eks. maksimal udgift pr. mølle til boligopkøb og erstatning.

Resultaterne kan bruges til at beskrive et potentiale opgjort som antal møller eller kapacitet, baseret på moderne møllers fysiske karakteristika, og estimerer dermed ikke nuværende eller fremtidig produktion. Med andre ord er potentialet en summering af, hvor der er plads til at opstille møller. Den GIS tekniske metode og det høje detaljeniveau i det tilgængelige geodata giver desuden indblik i den geografiske fordeling af potentialet. Beregningerne er behæftet med stor usikkerhed grundet de mange parametre i modellen. Samtidig tages der ikke hensyn til muligheden for dispensation for de forskellige begrænsninger, afstand til mulig kobling til nettet og præcisionen af ejendomsvurderinger. Ved forskellige indstillinger af modellen vil resultaterne naturligvis variere. Dette giver mulighed for at lave konsekvensanalyser af ændringer i de arealmæssige begrænsninger.

#### 4.1. Standardkørsel

Det bedste bud på parameterindstilling ud fra nuværende lovgivning, her kaldet standardkørslen, giver et geografisk fordelt estimat af det nationale landvindpotentiale. En parameteroversigt er vist i Tabel 2.

**Tabel 2: Parameterindstilling for landvind potentialemodellens standardkørsel.**

Parameter	Standardindstilling
Min. afstand til boliger, sommerhuse mm.	4 MH
Afstand for værditabsersatning	10 MH
Afstand mellem klynger af møller	28 MH
Møllehøjde	150 meter
Max samlede udgifter pr mølle til boligopkøb og erstatning	3 mio. DKK
Infrastruktur (se tabel 1)	Begrænsende
Natur (se tabel 1)	Begrænsende
Forsvaret	Begrænsende
Terrænhøjde ift. nærområde	Ikke begrænsende
Støjfølsomme områder	Begrænsende
Bygninger (alle)	Ikke begrænsende
Kommune	Ikke begrænsende

Standardkørselens resultater er opsummeret i Tabel 3, og det nationale teoretiske potentiale er estimeret til 14,4 GW. Potentialet forventes ikke udnyttet i praksis. Dette skyldes bl.a. at der er store forskelle i opstillingshistorik mellem kommunerne. F.eks. er der i nogle kommuner ikke er tilsluttet nye større møller på land de sidste

10 år. Ligeledes kan det ikke forventes at estimerede maksimale antal møller pr. områder opstilles.

**Tabel 3: Standardkørselsens resultater, opsummeret for hele landet.**

<b>Standardkørslen (28 MH), hele DK</b>	<b>Resultat</b>
Antal områder	422
Samlet areal	686 km <sup>2</sup>
Antal møller	4127