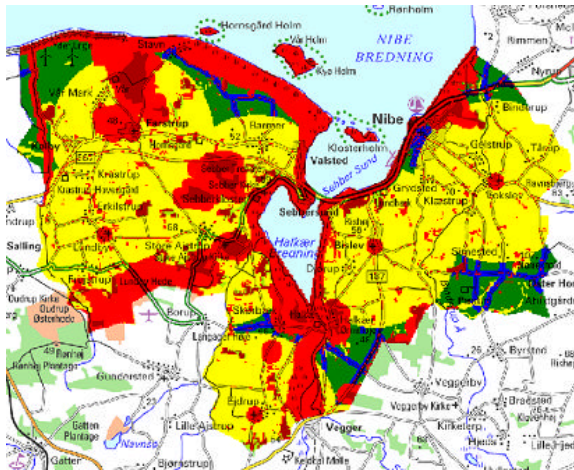


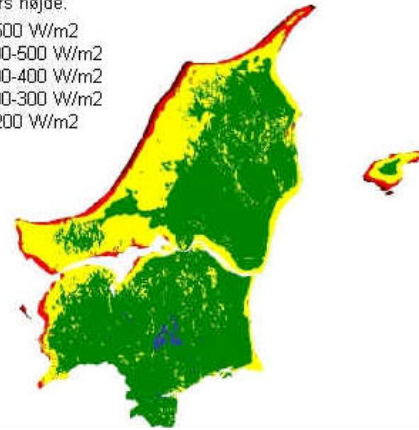
# VindPLAN

Redskaber til computer-understøttet  
vindmølle planlægning



Vindens energiindhold i  
45 meters højde.

- >500 W/m<sup>2</sup>
- 400-500 W/m<sup>2</sup>
- 300-400 W/m<sup>2</sup>
- 200-300 W/m<sup>2</sup>
- <200 W/m<sup>2</sup>



Projektperiode: December 2000 – Juni 2003

Udførende: Energi- og Miljødata (EMD), Niels Jernes Vej 10, 9220 Aalborg

Deltagere: Nordjyllands Amt, Nibe Kommune, Carl Bro A/S samt Bio-Consult



# VindPLAN – digital vindmølleplanlægning



Scale 1:120000

Kortet ovenfor viser en beregning af et planlægningskort for vindmøller i Nibe kommune udelukkende baseret på digitale data. Kortet gengiver en "vægtet" planlægning, hvor alle restriktioner der ikke er "ultimate" (de røde områder) er værdisat og vægtet op mod vindressourcen for derved at skabe det kompromis, der giver størst mulig vindenergiproduktion med mindst mulig gene. Efterfølgende må en politisk debat og detailvurdering af de enkelte områder til før en endelig vindmølleplan haves.

# Projektinformation

Projektperiode: December 2000 – Juni 2003  
Udførende: Energi- og Miljødata  
Deltagere: Nordjyllands Amt, Nibe Kommune, Carl Bro A/S samt Bio-Consult.

## Projektmedarbejdere:

EMD: Per Nielsen (projektleder), Mads Sørensen samt Morten L. Thøgersen  
Nordjyllands Amt Per Toppenberg  
Nibe Kommune: Erik Søe Christensen  
Carl Bro A/S: Bjarke Laubæk  
Bio-Consult: Simon B. Leonhardt

Desuden tak til Susan Jessien for konstruktive bidrag til diskussionerne

## Udgivelse:

Energi- og Miljødata  
Niels Jernesvej 10  
9220 Aalborg Ø  
Tel: +45 9635 4444  
Fax: +45 9635 4446  
Email: [emd@emd.dk](mailto:emd@emd.dk)  
web: [www.emd.dk](http://www.emd.dk)

## Oplag, Tryk og udgivelse

Rapporten udgives som print-on-demand tryk (EMD-tryk). Første oplag i ca. 30 eksemplarer og er desuden tilgængelig som .pdf dokument på [www.emd.dk](http://www.emd.dk)

## Finansiering:

Projektarbejdet er medfinansieret af Energistyrelsen under UVE-ordningen. Journalnr.: 51171/00-0004.

# 1. Indholdsfortegnelse

1. Indholdsfortegnelse.....	1
2. Baggrund og fremgangsmåde .....	3
2.1 Baggrund.....	3
2.2 Fremgangsmåde .....	3
2.2.1 Vindressourcekort i GIS-format.....	3
2.2.2 VVM-modul til WindPRO.....	4
3. Det danske vindressourcekort til GIS .....	5
3.1 Introduktion .....	5
3.2 GIS-formatet .....	6
3.3 De beregnede højder .....	6
3.4 Vindressourcekort - formidling.....	6
4. WindPLAN: Nye beregningsværktøjer til miljøvurderinger i WindPRO.....	7
4.1 Introduktion .....	7
4.2 WindPLAN: beregningsmuligheder.....	7
4.3 WindPLAN: Interaktive værktøjer i WindPRO .....	8
4.4 Eksempel – Nibe kommune .....	8
4.5 Formidling .....	8
4.6 Salg af WindPLAN modul til WindPRO software .....	8
5. WindPLAN: Test på Nibe Kommune.....	9
5.1 Introduktion .....	9
5.2 Nuværende møllesituation og vindressourcekortets gyldighed.....	9
5.2.1 Oversigtskort med eksisterende møller .....	9
5.2.2 Opfølgning på og beregninger vedr. energiproduktion .....	11
5.2.3 Sammenfattende overblik over vindmøllesituationen i Nibe kommune .....	11
5.3 Landskabet – indledende analyse.....	17
5.4 Nibe kommune – GIS-import og etablering af datagrundlag.....	17
5.4.1 Anvendelse af data fra Areal Informationssystemet .....	17
5.4.2 Anvendelse af data fra andre kilder .....	19
5.4.3 Eksempel på indlæste GIS data.....	19
5.5 Nibe Kommune – WindPLAN beregninger og analyser.....	20
5.5.1 Vægtet synlighed .....	21
5.5.2 Konflikt check.....	22
5.5.3 Vægtet vindmølleplan .....	25
5.5.4 Fortrængt forurening .....	26
5.6 Nibe Kommune – konklusioner og resultat anvendelse fra analysen.....	27
6. Referencer.....	28

## Appendices:

A: Vindressourcekort for Danmark med GIS eksport

B: WindPLAN – Konferencebidrag EWEA 2003

C: Manualsider for WindPLAN



## 2. Baggrund og fremgangsmåde

---

*Nærværende kapitel beskriver og kommenterer projektets forløb set i relation til projektansøgningen og det endelige projektforbøb.*

---

### 2.1 Baggrund

Fra projektansøgningen er følgende formål beskrevet:

At udvikle og afprøve følgende støtteværktøjer til vindmølleplanlægning-/ projektering:

- 1) Konvertering af vindressourcekort for Danmark til direkte anvendelse fra GIS-systemer.
- 2) Et VVM modul til WindPRO (vindmølleprojekteringsværktøj).

Ad. 1: Det blev forholdsvist hurtigt afsluttet og rapporteret i form af enkle GIS vindressourcekort for de enkelte amter, som kan downloades fra [www.emd.dk](http://www.emd.dk).

Ad. 2: Det viste sig væsentlig mere kompliceret, fordi det er en meget bred opgave med mange løsningsmuligheder. Der blev derfor afholdt en lang række møder med relevante partnere, før opgaven blev indkredset i en form, der muliggjorde igangsættelsen af den detaljerede kravspecifikation og programmering. Her var det også væsentligt at afvente færdiggørelse af projektet "Vejledning til VVM for vindmøller på land", et andet UVE finansieret projekt, der var en naturlig inspirationskilde for en "software baseret VVM".

### 2.2 Fremgangsmåde

Fremgangsmåden beskrevet i den oprindelige ansøgning blev nogenlunde fulgt. Nedenfor kommenteres punkterne fra ansøgningen i forhold til det reelle forløb. Nedenfor er angivet 'ansøgning' i kursiv for tekst fra den oprindelige UVE-ansøgning. Uddybende kommentarer til punktet fra projektforbøb og implementering er angivet med 'kommentar' i kursiv.

#### 2.2.1 Vindressourcekort i GIS-format

*Ansøgning:* De mest gængse GIS-formater (Map-info og ARC-View) beskrives.

*Kommentar:* Her besluttedes udelukkende at understøtte ARC View formatet (shape filer), idet dette vurderes at være det mest generelle, og andre GIS systemer kan enten importere herfra eller der kan findes konvertere på Internettet, der kan foretage en konvertering.

*Ansøgning:* Konverteringsprogrammer opbygges og testes. Data konverteres og struktureres. CD-fremstilles og trykkes. Evt. lægges datagrundlag på Internet.

*Kommentar:* Her er data fra de oprindelige ”ressourcefiler” (WAsP output) blevet konverteret til shape filer, dels een for hele Danmark, dels mere detaljerede for hver enkelt amt. Alle data er tilgængelige på Internettet og udvalgte er lagt på den WindPRO Demo CD, der kan rekvireres ved EMD. At distribuere via Internettet i stedet for på en specifik CD vurderedes at være mere tidssvarende og samtidig ressource besparende. Vi brænder imidlertid gerne en CD med alle data til brugere der måtte ønske dette.

### 2.2.2 VVM-modul til WindPRO

*Ansøgning:* Kravspecifikation. Her inddrages ekspertise i forhold til landskabsvurdering og biologi.

*Kommentar:* Her blev afholdt en række møder med deltagerne nævnt i indledningen. Det blev efter en række møder klart at det ville være urealistisk at opbygge et program, der automatisk kunne ”generere” en VVM rapport. Hertil var variationen i projektmulighederne og dokumentationskravene for store. Der blev derfor fokuseret på udvikling af de hjælpeværktøjer, der var mest velegnede til EDB beregninger, herunder hjælpeværktøjer til foretagelse af landskabsanalyse samt til generering af kortmateriale til VVM rapport. Indenfor området biologi blev det ligeledes hurtigt klart at rene EDB beregninger ikke var vejen frem – hertil fandtes datagrundlag i struktureret form ganske enkelt ikke, men der arbejdes på det.

*Ansøgning:* Fremskaffelse af relevant datamateriale som skal indgå som base for VVM-vurderingerne.

*Kommentar:* Det bedste materiale viste sig for Danmark at være AIS informationssystemet, som rummer meget detaljeret GIS kortlægning af hele landet. AIS dataene er en detaljeret areaklassifikation primært til naturformål, men også yderst anvendelig til vindmølleplanlægningsformål. AIS dataene bør dog suppleres med data fra det enkelte amt, idet AIS systemet ikke løbende opdateres. AIS dataene kan hentes gratis fra internettet. Det er naturligvis muligt at anvende andre GIS kilder i analyserne, f.eks. Top10dk fra Kort- og Matrikelstyrelsen.

*Ansøgning:* Afprøvning af kravspecifikation og datamateriale i konkret område – Amt og kommune inddrages. Erfaringer samles op og kravspecifikation finpudses. Programmerin af modul. Dokumentation og beskrivelse.

*Kommentar:* Materialet og metoderne er afprøvet og testet på Nibe kommune og i den Spanske Soria Region, se senere.



## 3. Det danske vindressourcekort til GIS

---

*Kapitlet beskriver kort overførsen af vindressourcedataene til GIS-format. For yderligere detaljeret information henvises til appendix. GIS datene forefindes på internettet <http://www.emd.dk/windres>, hvor der kan downloades data samt hentes gratis fremvisningsprogram.*

---

### 3.1 Introduktion

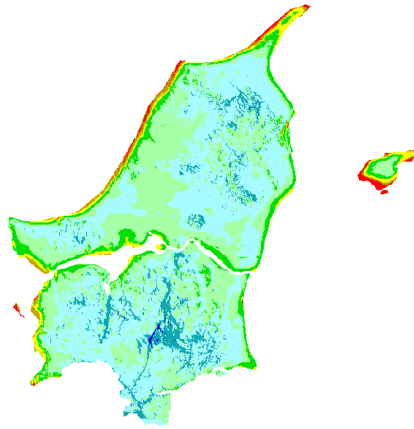
Vindressourcen i Danmark er nu overført til GIS-format bl.a. for anvendelse i lands-, amts- og kommuneplanlægning. I 1999 afsluttede Energi- og Miljødata (EMD) og Forskningscenter Risø en detaljeret kortlægning af Danmarks vindressource. Til analyserne blev der benyttet et kvadratisk beregningsnet med en maskestørrelse på 200 meter. Beregningerne er blevet verificeret med produktionsdata fra mere end 1200 vindmøller fordelt over hele landet. Den nye detaljerede analyse er rapporteret i [1], og dataene herfra er tidligere frigivet på en CD-rom, der kan rekvireres fra EMD. Fra forskellige sider – specielt amter og kommuner - er der blevet udtalt ønske om at dataene blev overført til GIS-format. Overførslen til GIS-format er nu afsluttet. Datagrundlaget er beregnet med EMD's WindPRO ([www.emd.dk/windpro](http://www.emd.dk/windpro)) og WASP programmet ([www.wasp.dk](http://www.wasp.dk)).

Programmet 'Resource Mapper 1.2' er programmet til præsentation af vindressourcekortet og eksport til GIS-format. Programmet fås på CD-rom ved henvendelse til Energi- og Miljødata eller downloades fra internettet på [www.emd.dk](http://www.emd.dk). Allerede eksporterede GIS-data for de forskellige amter findes samme sted.

### 3.2 GIS-formatet

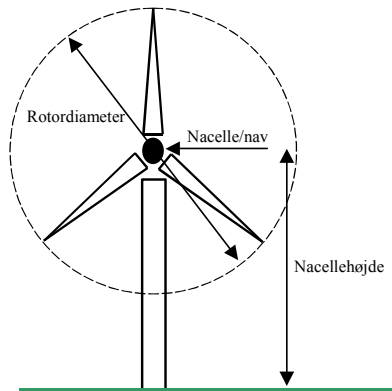
Energi- og Miljødata har nu overført dataene fra vindressourceberegningen [1] til ArcView GIS format. Dataene ligger som raster filer, hvor hvert enkelt beregningsfelt på 200x200 meter<sup>2</sup> er gemt som en polygon med tilhørende datasæt. Dataene for Danmark er gemt fordelt på amter, men det udviklede edb-program muliggør også eksport af dataene fordelt på kommuner eller ud fra specifikke UTM-koordinater. Ændring af koordinater til f.eks. System 34/45 er ikke implementeret men kan ske ved et eksternt konverteringsprogram, f.eks. fra Informi GIS [2]. Det er dog muligt at gemme koordinater som længde/breddegrader.

Til hvert amt hører der en shapefil (\*.shp), en indexfil (\*.shx) og en databasefil (\*.dbf). På internettet kan der hentes et gratis program - ArcExplorer - til at vise til dette GIS-format [3].



Figur 1: Vindressourcen i Nordjyllands Amt fra ArcView GIS.

### 3.3 De beregnede højder



Figur 2: Idealiseret mølle med deskriptive parametre.

For at kunne vurdere vindressourcen for forskellige møllestørrelser er beregningerne udført i fire forskellige højder, nemlig 25, 45, 70 og 100 meter. Disse højder modsvarer de typiske møllestørrelser der er opstillet tidligere, de typer der findes på markedet i dag, og de størrelser som forventes på markedet inden for den nærmeste årrække:

- 25 meters navhøjde: Møller med effekt <250 kW. Et tidligere vindressourcekort for Danmark blev beregnet ved denne navhøjde.
- 45 meters navhøjde: Møller ca. 600-1000 kW – rotordiameter ca. 40-55 meter
- 70 meters navhøjde: Møller ca. 1500-2000 kW – rotordiameter ca. 70 meter
- 100 meters navhøjde: Møller >3-4000 kW (ikke aktuel p.t.)

Til planlægningsformål bør man arbejde med de beregningshøjder, der modsvarer de møllestørrelser, der planlægges installeret indenfor det aktuelle område.

### 3.4 Vindressourcekort - formidling

GIS datene forefindes på internettet <http://www.emd.dk/windres>, hvor der kan downloades data samt hentes gratis fremvisningsprogram. Endvidere er beskrivelse af datasættet tilgængeligt på [www.geodata-info.dk](http://www.geodata-info.dk) [4] som er Kort og Matrikelstyrelsens officielle katalog over digitale kort og geografiske informationer i Danmark.

## 4. WindPLAN: Nye beregningsværktøjer til miljøvurderinger i WindPRO

---

*I det efterfølgende kapitel beskrives kravspecifikation, implementering og test af de nye computerbaserede beregningsværktøjerne til miljøvurdering af vindmøller og vindmølleparker. En detaljeret beskrivelse forefindes i appendiks.*

---

### 4.1 Introduktion

WindPLAN modulet består af en del nye beregningsmodeller og rapporter samt en række værktøjer som anvendes 'interaktivt' i windpro. Nedenfor beskrives modeller og redskaber. For en detaljeret redegørelse henvises til appendix.

### 4.2 WindPLAN: beregningsmuligheder

#### **Konflikt check**

Beregner om alle afstandskrav overholdes opdelt i 3 kategorier: Forbudt, dispensabelt og anbefalet. Kort med de 3 område typer samt et 4. hvor der ingen restriktioner er udskrives og arealer tælles op.

#### **Vægtet Synlighed**

Beregner hvor mange der kan se en vindmølle placeret et givet sted i området. Der beregnes i et net med valgfri opløsning og man kan tildele givne områder en vægt, typisk befolkningstæthed, men andre vægte kan også gives (det er blot et "tal")

#### **Vindressource og restriktions vægtet vindmølleplan**

Beregner ud fra en beslutningstabel hvor vindressourcen opdelt i intervaller sammenholdes med de enkelte landskabs typer givet en restriktionsværdi (fra 0-9). Kombinationen høj vindressource/lav restriktion giver således de bedste områder osv. Restriktionsværdierne kan importeres via resultater fra de to forudgående beregninger men også defineres/digitaliseres frit.

#### **Miljø konsekvens**

Beregner sparet forurening – målsætning er på sigt at kunne anvende beregning i forbindelse med "Joint Implementation" projekter, dvs. at man også kan dokumentere forventet ændring i forurening fra fortrængt el-produktion over levetiden. Ud over sparet forurening kan man også forestille sig andre væsentlige nøgletal beregnet, fx. kWh/arealenhed og meget andet, som kan være nyttige for sammenligning med andre el-produktions teknologier.

### 4.3 WindPLAN: Interaktive værktøjer i WindPRO

#### Terræn profil

Visning af terrænprofil med de objekter, der optræder i rette proportioner eller med en specificeret overhøjde for tydeliggørelse af problemstillingen.

#### Kort fremstiller

En fri definerbar kortudsnit generator, der tilgodeser enkel integration i VVM-rapport, med stor valgfrihed vedr. symboltyper, størrelser, hvilke elementer, der ønskes medtaget samt digital opløsning, størrelse og farvekodning.

### 4.4 Eksempel – Nibe kommune

Det efterfølgende kapitel indeholder et detaljeret eksempel fra Nibe kommune i anvendelse af WindPLAN værktøjerne. Dette eksempel påtænkes anvendt som demo-eksempel (sample) ved distribution af WindPRO (fra version 2.4), og vil således indgå på alle distribuerede WindPRO cd-er (demo og salg). Dette eksempel indeholder detaljerede sensitivitetsanalyser for alle beregningsværktøjerne. Endvidere er case Nibe også publiceret i forbindelse med EWEA 2003 konferencen i Madrid, se appendiks. Interesserede brugere kan eventuelt kontakte EMD for en 'preview' af version 2.4, med Nibe eksemplet. Vi forventer at en kommerciel udgave af version 2.4 er klar i løbet af efteråret 2003.

### 4.5 Formidling

Ud over denne rapport, formidles WindPLAN modul/værktøjer på "traditionel vis" gennem markedsføring af WindPRO software. Dvs. på messer, kurser, konferencer, gennem Internet og målrettede kampagner. Konkret er WindPLAN optaget i Poster session på EWEA Madrid konference juni 2003, se appendiks for præsentations artikel.

Gennem deltagelse i det EU finansierede Interreg III "Windenergy in the Baltic Sea Region" City og Rostock, forventes WindPLAN arbejdet at udgøre hjørnestenen i WorkPackage 3, der omhandler vindmølleplanlægning. Der forventes indlæg på bl.a. workshops i amts regi i løbet af efteråret omkring de nye moduler og muligheder.

### 4.6 Salg af WindPLAN modul til WindPRO software

Vilkårene for salg af de udviklede værktøjer er som for øvrige WindPRO moduler. Dvs. at man skal som minimum have BASIS modul og hertil kan man da med WindPLAN modul anvende alle de beskrevne faciliteter. Dog skal man være opmærksom på at for at kunne gennemføre andre beregninger, eksempelvis energiberegninger, støjberegninger eller visualiseringer, kræves andre moduler. Det vil blive overvejet at sammensætte en "kommune/amts-pakke" hvor de relevante moduler for offentlige myndigheder sammensættes til en særpris.

Priser pr. 2003 ex. moms:

Basis: 500 € (3.715 DKK)

WindPLAN: 2000 € (14.860 DKK)

Priserne er fastlagt ud fra at der er lagt langt mere udviklingsarbejde i modulet end det der var forventet i den oprindelige ansøgning – og mulighederne med modulerne er da også langt mere vidtrækkende end det modul, der var beskrevet i ansøgning.

## 5. WindPLAN: Test på Nibe Kommune

---

*Kapitlet giver status for nuværende vindmølleudbygning og planlægning; herunder demo af "traditionel" WindPRO anvendelse samt de nye WindPLAN muligheder. Analysen er komplementeret med en status på nuværende mølleudbygning (ultimo 2002 / primo 2003). WindPLAN værktøjerne er testet på kommunen, hvorfor udvalgte resultater præsenteres her. For en uddybende beskrivelse af metoderne og analysen henvises til appendiks.*

---

### 5.1 Introduktion

Her beskrives en række facts omkring den nuværende vindmølleudbygning i Nibe kommune – især fokuseres på møllernes faktiske produktion holdt op mod den produktion, der beregnes med vindressourcekortet. Det er væsentligt at dette er rimeligt præcist, hvis vindressourcen ønskes inddraget som en del af beslutningsgrundlaget. Her haves i kraft af mange geografisk jævnt fordelte møller muligheden for at foretage denne vurdering.

Fremgangsmåden for denne analyse er at oprette et nyt projekt i WindPRO, herunder importere højdekurver. KMS kort (de røde CD-ROM'er) kan anvendes som baggrundskort i alle relevante kort skalaer.

### 5.2 Nuværende møllesituation og vindressourcekortets gyldighed

Her anvendes WindPRO's mølle import funktion. I forbindelse med dette eksempel er data fra energistyrelsens STAMDATA register for Vindmøller anvendt. Disse er i mellemtiden integreret i WindPRO's importfil – dog er samkøringen endnu pr. juni 03 endnu ikke fuldt tilendebragt, men det forventes at ske i løbet af efteråret 2003.

Import af eksisterende møller sker ved en afgrænsning på kommunenummer (Nibe: 831).

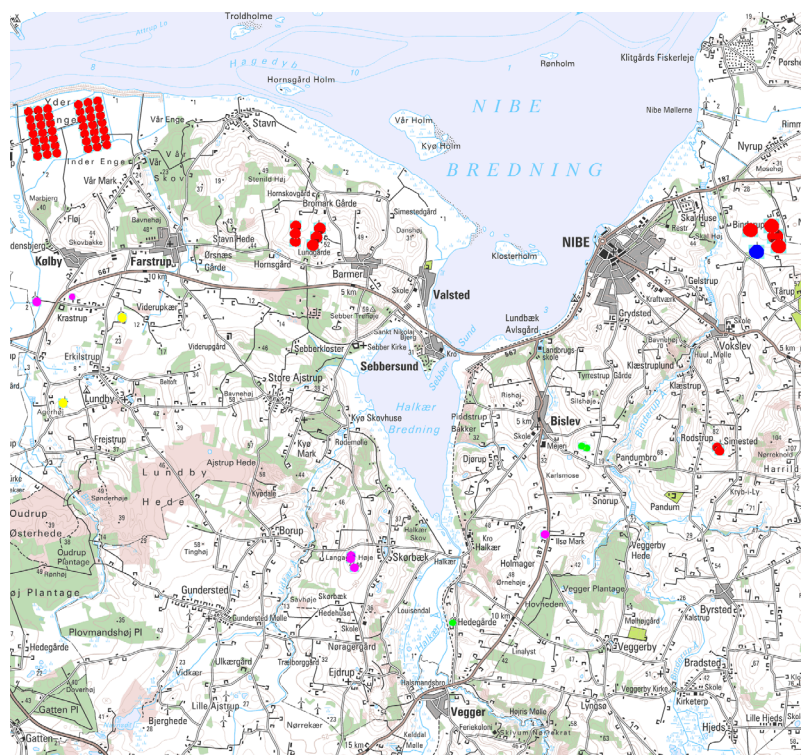
Importer af nabo kommune møller foretages ligeledes idet disse anvendes i andre analyser. Her vælges afgræsnings radius: 20.000 m (min. 8 km udenfor kommunegrænse). Rent praktisk importeres 2 x hvor kommune nr 831 (Nibe) udelades.

#### 5.2.1 Oversigtskort med eksisterende møller

En oversigt over de eksisterende møller i kommunen kan findes i Figur 1 og Figur 2.



Figur 1: Oversigtskort med alle mølleplaceringer markeret med de blå standard symboler for eksisterende møller i WindPRO. En label viser møllenummer. Der er i den nordlige halvdel 3 mølleområder, fra venstre: Nørrekær, Barmer og Nyrup, som udgør de 3 udlagte områder i den nuværende kommuneplan

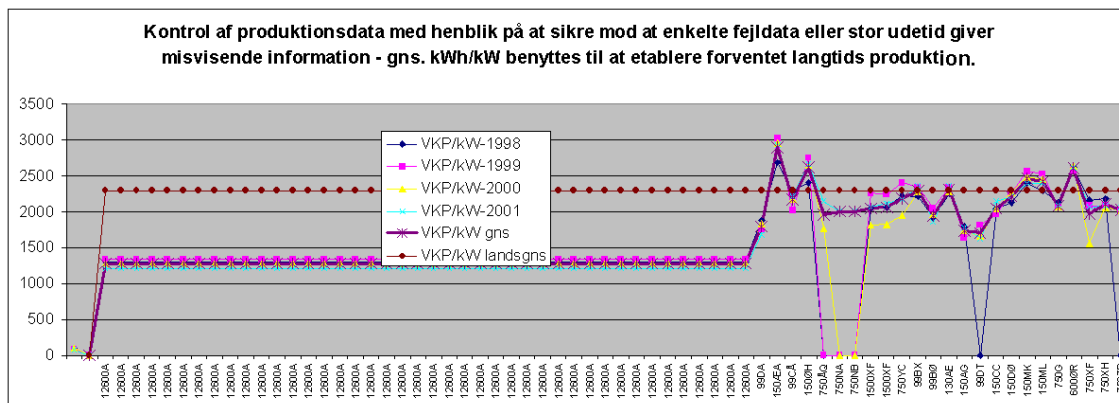


Figur 2: En udgave af mølleplaceringerne, hvor farve viser fabrikat, og størrelse er skaleret efter navnhøjde - her er tegnforklaring vist (tegnforklaring rummer her også fabrikater fra nabo kommuner). Kortet er fremstillet med det nye kort fremstillings værktøj udviklet som en del af WindPLAN modulet.

- ABC
- BONUS
- DWP
- MICON
- NEG MICON
- NORDTANK
- POWER MILLS
- SJ WINDPOWER
- SMEDEHUSE
- STATSMØLLE
- VESTAS
- VIND-MØLLER
- VIND-SYSSEL
- WINDCON
- WINDMATIC
- WINDWORLD

### 5.2.2 Opfølgning på og beregninger vedr. energiproduktion

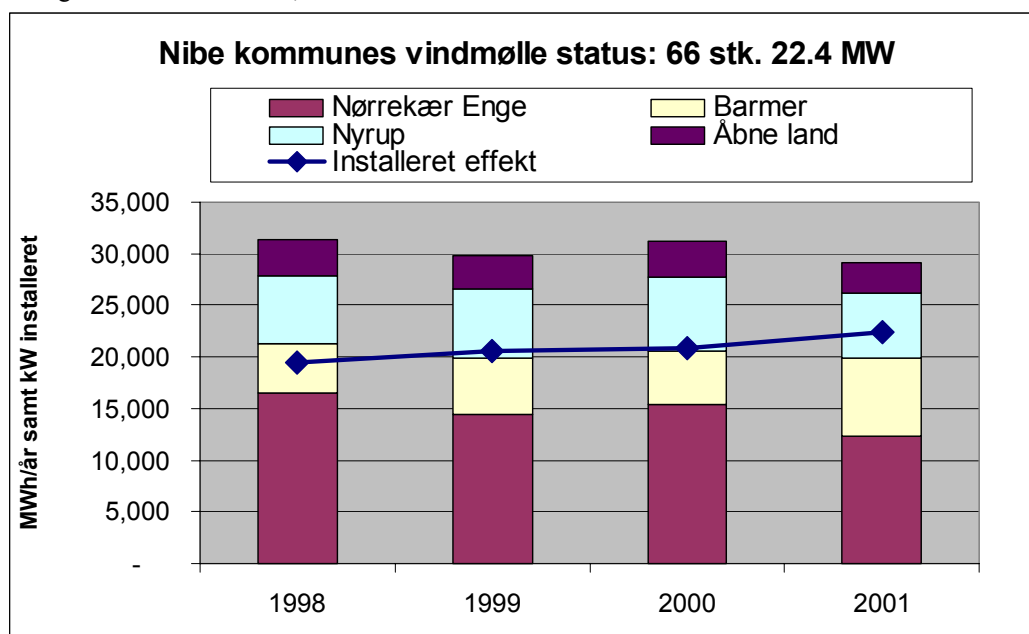
Produktionsdata for vindmøllerne er i WindPRO import filen korrigeret med vindenergi indeks, så det er de forventede langtidsproduktioner, man importerer. Nedenfor er de seneste 4 års data vist for kontrol af om der er urealistiske data – denne kontrol bør foretages hvis man skal være helt sikker på datagrundlaget er i orden, men det er en væsentlig mere omfattende operation end den ”simple import”.



Figur 3 Faktisk produktion pr. kW for hver enkelt mølle - dog er der kun tale om gennemsnitsværdier for Nørrekær Enge møllerne. Gennemsnit beregnes kun hvor der er hele år. Er der i enkeltår store afvigelser fra gennemsnit, bør disse data udelades, da det formodentlig skyldes fejldata eller større udetider.

### 5.2.3 Sammenfattende overblik over vindmøllesituationen i Nibe kommune

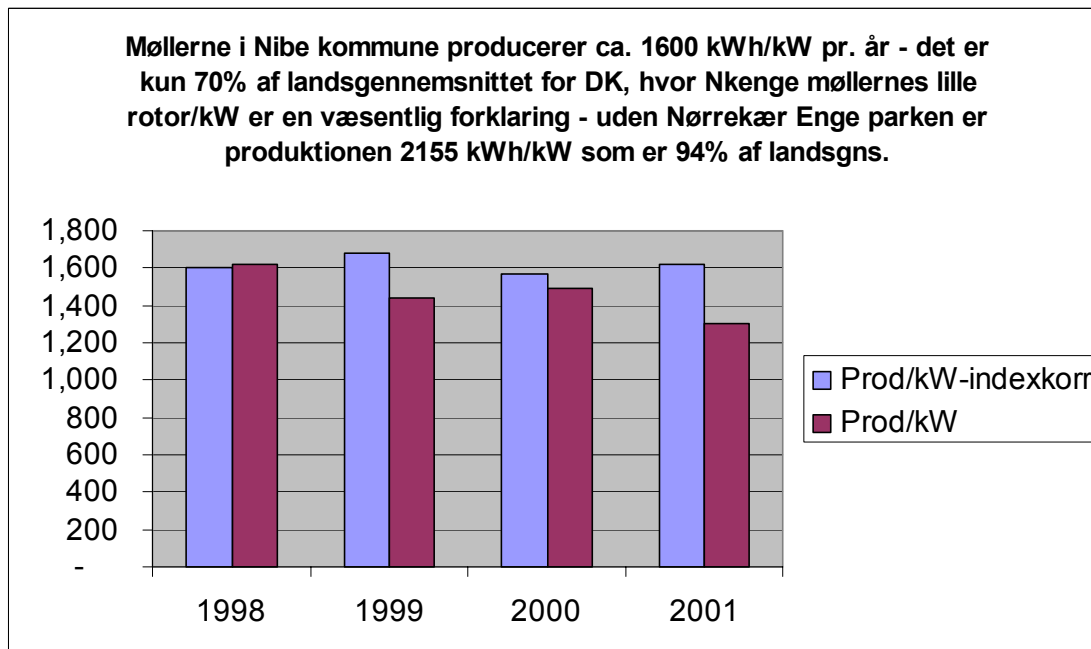
Vi er nu i stand til at etablere et sammenfattende overblik over de nuværende møller og deres energiproduktions udvikling og opdeling. Efterfølgende er møllerne i Nibe kommune opdelt på møller i de 3 udlagte vindmølleområder, samt ”resten”.



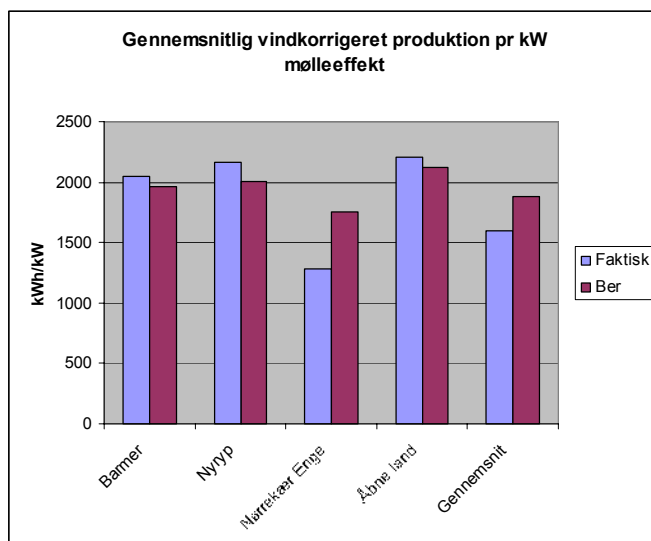
Figur 4 Overblik over udvikling i installeret effekt og energiproduktion. Med et skønnet elforbrug i Nibe kommune på 64 GWh/år, udgør mølleproduktionen ca. 46% i 2001, men korrigeret til normale vindforhold er dækningen oppe på 57% forudsat et vindindeks på 80% i 2001.

Møllerne udenfor de udlagte områder bidrager med ca. 10% af den samlede vindmølleproduktion, Nørrekær Enge området med ca. 42% (2001), se Figur 4.

Der udføres efterfølgende en række beregninger i relation til energiproduktion, herunder kontrol af vindressourcekort.



Figur 6 Energiproduktionen pr. kW er relativt lav, hvilket primært skyldes Nørrekær Enge parken, idet møllerne her har relativt lille rotor i forhold til generator effekt. Generelt (uden Nørrekær Enge) er Nibe kommune vindmæssigt tæt på landsgennemsnittet, som er 2300 kWh/kW.

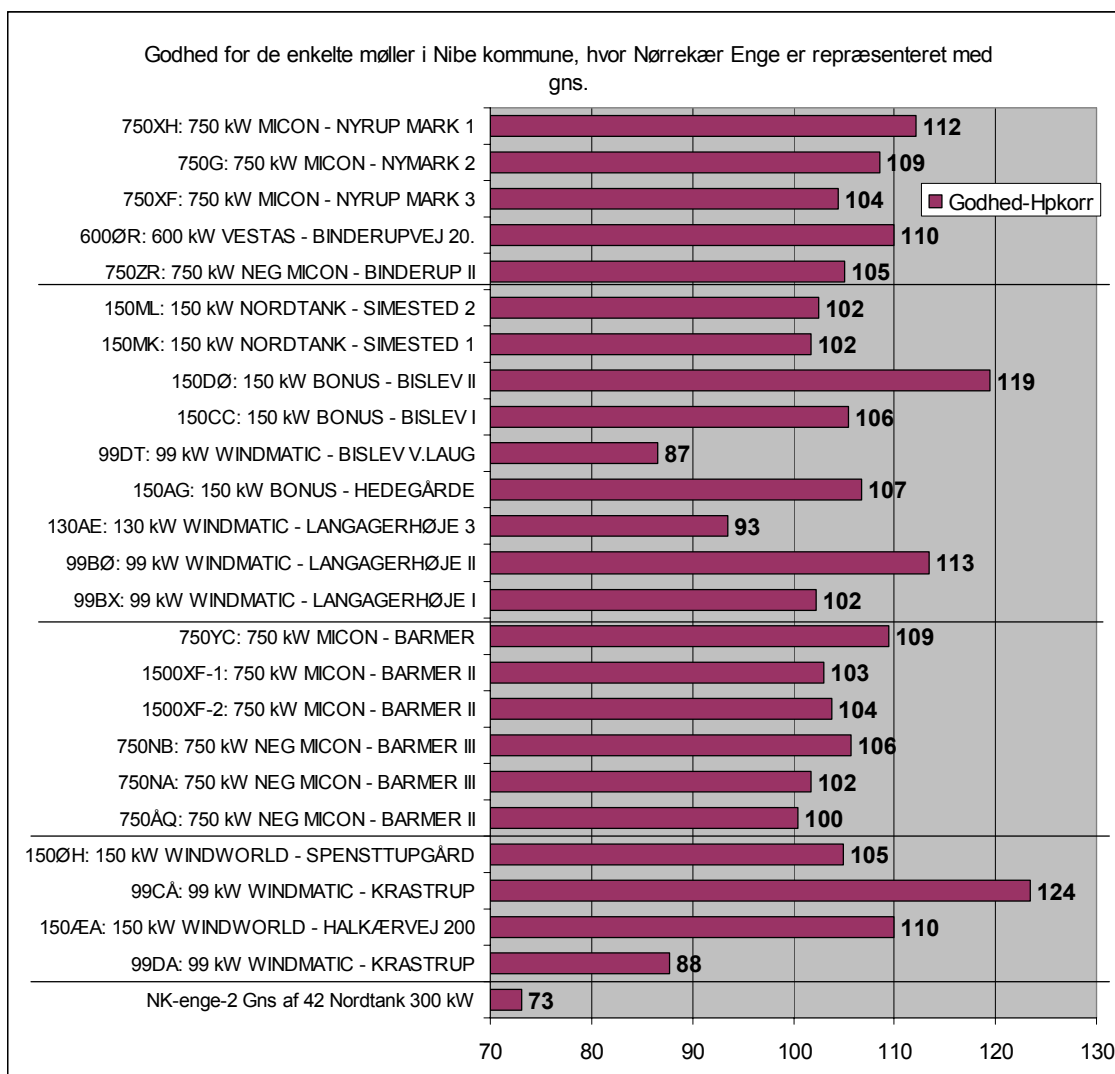


Figur 5 Det er påfaldende at det er de "frie møller" i det åbne land, der producerer mest energi pr. kW, samt at Nyrup området er en smule bedre end Barmer, trods Barmer områdes gode bakkeplacering. Det viser formodentlig at ruheden er vigtigere, hvor Nyrup har større vandområder i hovedvindretningen.

I Figur 5, ses at Nørrekær enge producerer relativt lidt pr. kW skyldes dels den lille rotordiameter i forhold til generatoreffekt, men at der produceres væsentlig mindre end beregnet kan skyldes effekten fra nabo parken, Nørrekær Enge I (36 x 130 kW Nordtank vest for) eller generelle mangler i beregningsmodel/vindressourcekort eller generelle driftsproblemer.

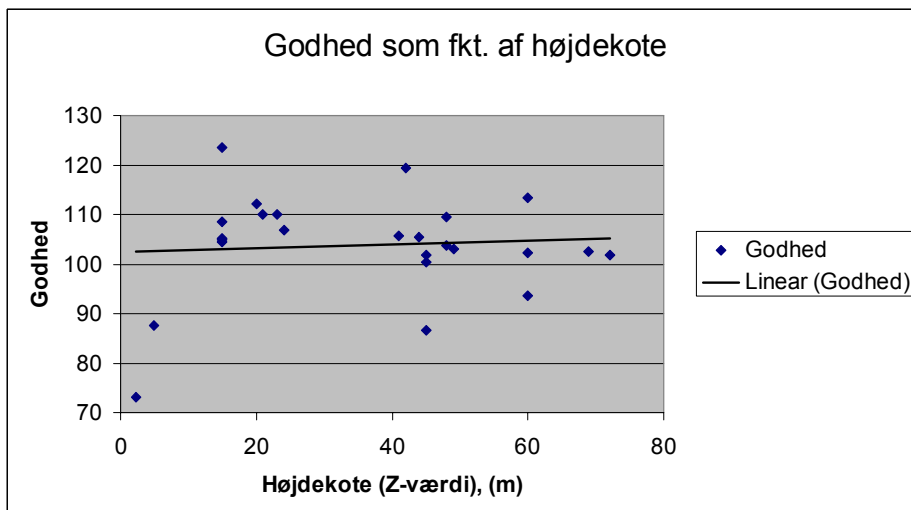


De enkelte møllers godhed, dvs. faktisk vindkorrigeret produktion divideret med beregnet produktion. Effektkurver er HP-korrigeret, dvs. der er anvendt korrigerede effektkurer, ikke de originale, hvilket især for ældre møller er vigtigt grundet ringe kvalitet af de ældre effektkurver.



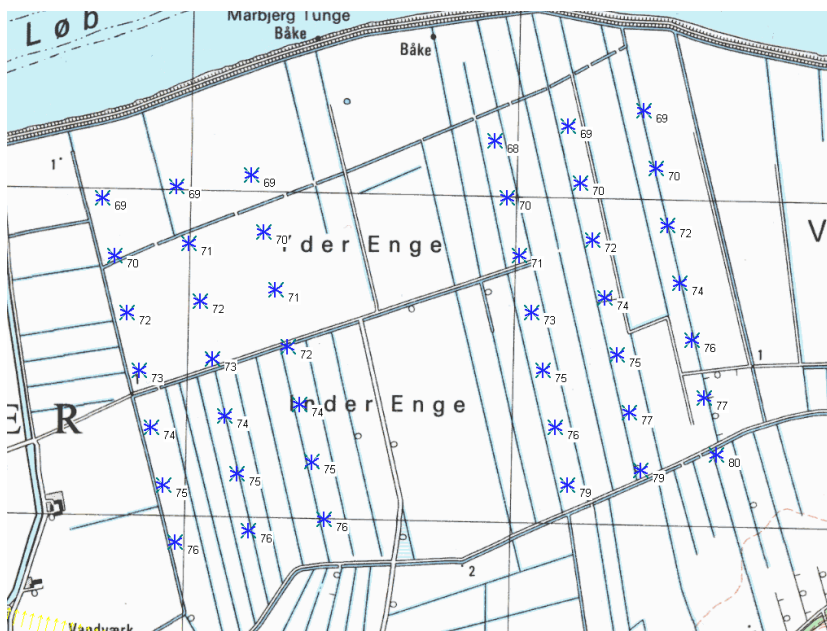
Figur 7 De enkelte møllers godhed viser et "broget billede", hvilket primært skyldes en række ældre mølletyper, hvor der kan være en del afvigelse mellem faktisk produktion og beregnet grundet "ukurante mølletyper". Møllerne er grupperet gennem en sortering fra vest mod øst, vestligste nederst. De udlagte områders møller, Barmer og Nyrup ( samt Nørrekær enge) fremgår af grupperingerne.

Den meget lave godhed for Nørrekær enge møllerne er endnu et "uløst mysterium" – Parkafsnittet vest for er indregnet i park beregning, men det kan være at parkmodellen ikke indregner effekten fra denne korrekt. Dette forhold bliver undersøgt nærmere i projektet "Storpark", Steen Frandsen, Risø. De to WM møller, der er lige under 90% kan skyldes en anden rotordiameter – der er mange varianter af denne mølletype. Tilsvarende for den med højeste godhed (Krastrup, 124). De to udlagte områder Barmer og Nyrup producerer begge i størrelsesordenen 5-10% bedre end beregnet.



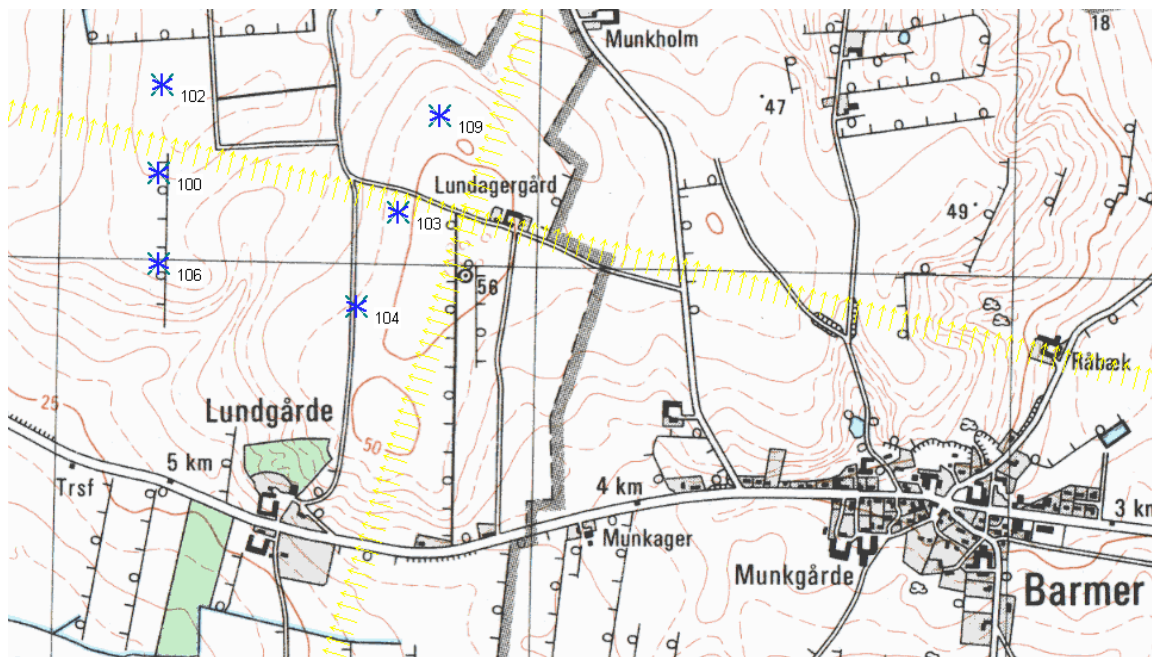
Figur 8 Som det vil fremgå flere steder, er der en tendens til for lav beregning i forhold til faktisk på gode bakkeplaceringer. Uden det fremgår klart med så mange forskellige mølletyper, så er der dog en svag trend, som kan aflæses af linien på grafen, der er en auto beregnet trendlinie.

Efterfølgende gives et detaljeret overblik over godhed i de 3 primær områder i kommunen. På kortene er hver enkelt mølle forsynet med en label, der angiver møllens godhed.

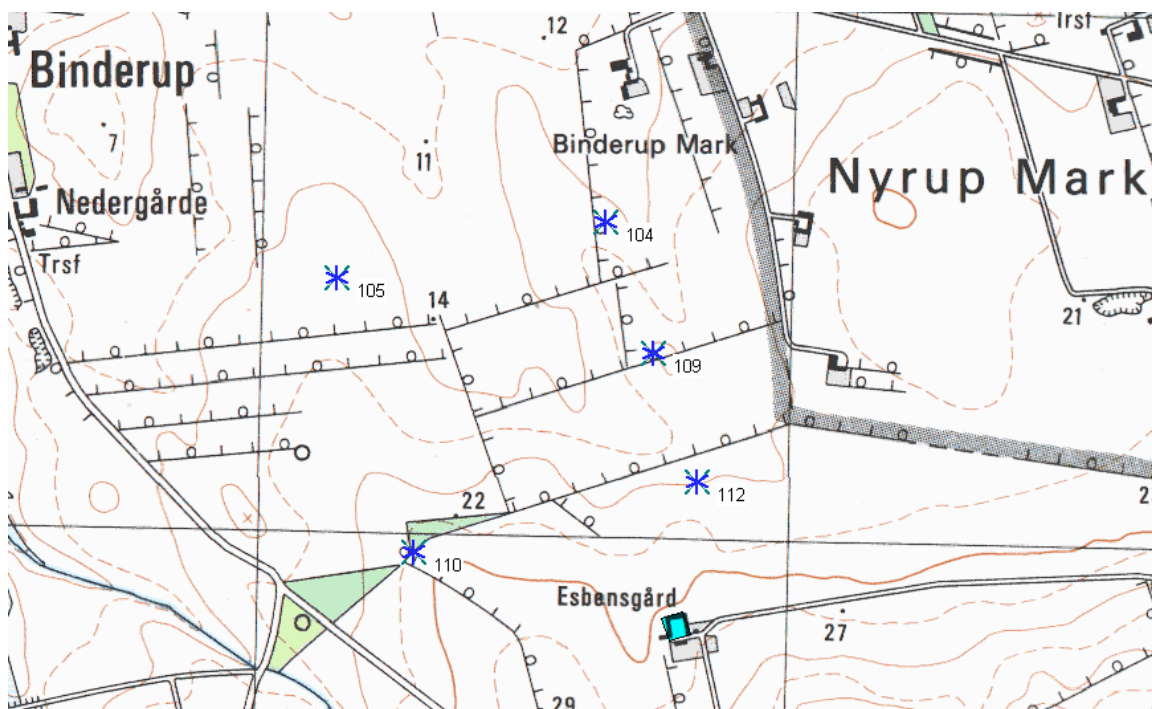


Figur 9 NØRREKÆR ENGE. Møller vest for parken (Nørrekær Enge 1, i Løgstør kommune, ikke vist her) indregnes muligvis ikke korrekt af model.

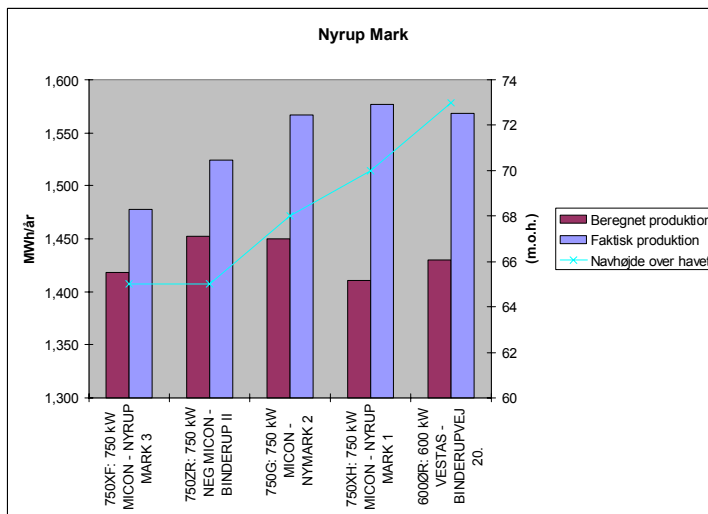
I Figur 9 skal bemærkes at samme faktiske produktion er anvendt for alle møller – derfor er godhed lavest ved de bedst placerede (vestligst og ud mod fjorden) – reelt viser tidligere undersøgelse at godhed er højest for de møller tættest ved fjorden. Overviste viser at beregnet produktion er 7-11% højere ved de mest fjordnære relativt til dem ca. 1 km længst væk fra fjord. Gennemsnitligt er faktisk produktion hele 27% lavere end beregnet – det er meget usædvanligt i det danske landskab – og ret væsentligt for vindmølleplanlægningen i Nibe kommune at afklare om det skyldes reelt dårlige vindforhold, naboparkens indflydelse eller problemer med de aktuelle møller.



Figur 10 BARMER. Møllerne ved Barmer producerer generelt omkring 5% mere end beregnet - det er set i andre sammenhænge at gode bakkeplaceringer undervurderes af beregningsmetode.

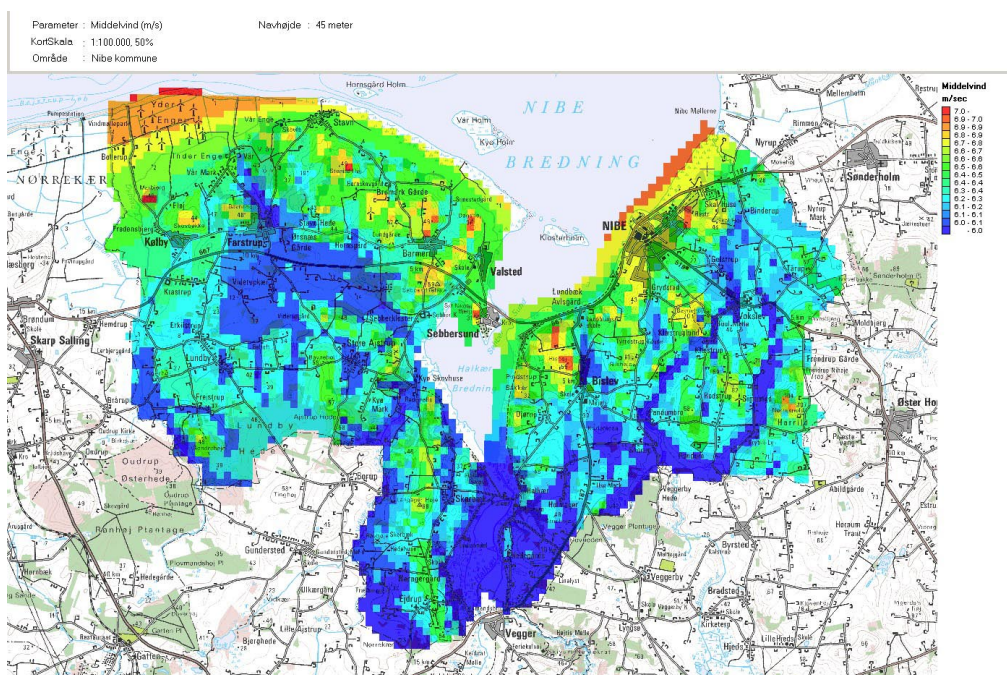


Figur 11 NYRUP MARK. Jo højere på bakken, des højere godhed illustrerer her meget tydeligt bakke beregnings problematikken. Der beregnes 4-12% for lavt i forhold til faktisk produktion, hvor det er meget klart at møllerne der er højest beliggende (kote 20-22 m) beregnes ca. 10% for lavt, mens dem i kote 16 m kun regnes ca. 5% for lavt. Så blot 5 m mere op af bakken giver 5% højere produktion end beregnet.



Figur 12 Analyse af møller på Nyrup Mark.

I Figur 12 ses meget tydeligt hvordan den faktiske produktion følger navnehøjden over havet nøje - dette er ikke tilfældet for den beregnede produktion – hvilket må tilskrives de ringere ruhedsforhold for de højest placerede møller (større kystafstand) samt større skygge reduktion fra møllerne foran. Endelig kan det også være væsentligt at hovedvindretningen i beregningsforudsætningerne generelt har vist sig at være drejet i forhold til den faktiske, når man er i den nordlige del af Jylland. Her er således mere nordvest vind og mindre syd vest vind end beregningsforudsætningerne antager.



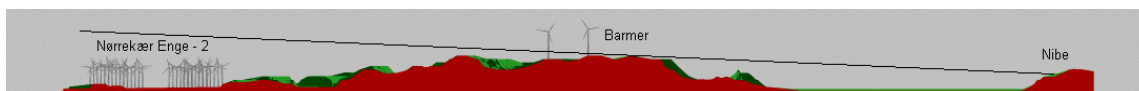
Figur 13 Vindressourcekort for Nibe kommune.

I vindressourcekortet for Nibe kommune, ses at Nørrekær Enge området er klart det bedste større sammenhængende område, men den forudgående analyse viser at det måske ikke er helt sandt. Når man går meget tæt på de enkelte møllers produktion og sammenholder med beregnet, er der således endnu nogle problemområder, som det kræver meget dybdegående analyser at afdække. Hovedproblem her er

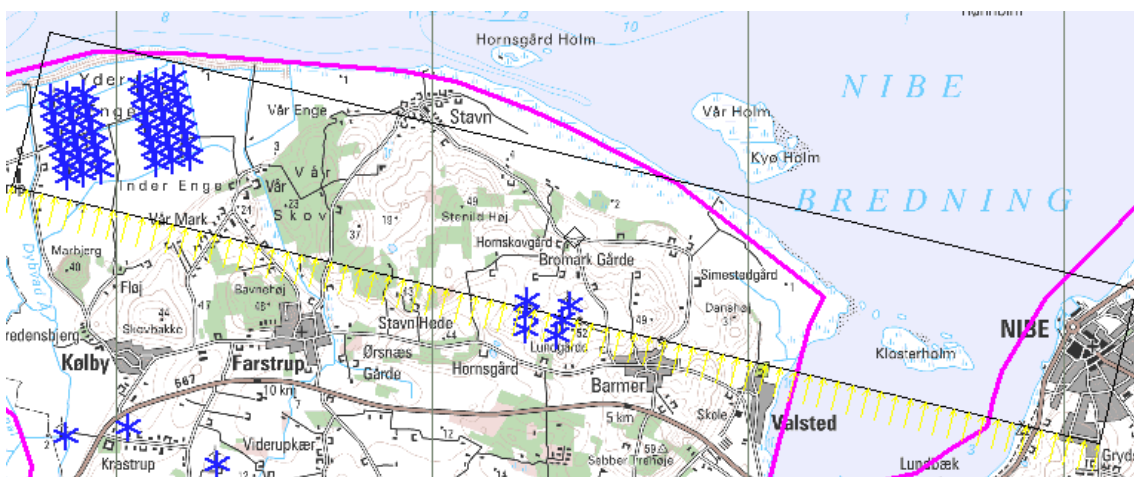
Nørrekær Enge området, som der forhåbentlig skabes mere klarhed omkring i forbindelse med STORPARK projekt, hvor problemstillingen forfølges yderligere.

### 5.3 Landskabet – indledende analyse

På vort første møde med Nibe kommune blev pointeret, at et væsentligste politisk ønske var at man ikke ønskede møller synlige fra Nibe by. Nedenfor illustreres hvorledes terrænprofilen mellem Nibe by og Nørrekær Enge parken tager sig ud. Der er plads til væsentlig større møller ved Nørrekær Enge uden de kan ses fra Nibe, som den indlagte linie illustrerer.



Figur 14 Terrænprofil med overhøjde på en faktor 10. De grønne områder viser hvor man kan se "ind på bakken", altså hvor den bagerste del af udsnittet er højere end den forreste.



Figur 15 Kortudsnit der viser hvor terrænprofilen er genereret fra. De gule pile viser den side man ser fra.

Terrænprofilen er fremstillet med det nye "terræn profil" værktøj i WindPLAN modulet. Dette redskab gør det muligt at fremstille terrænprofiler med møller og andre kunstige objekter i løbet af få minutter.

### 5.4 Nibe kommune – GIS-import og etablering af datagrundlag

Areal objektet er "hertet" når WindPRO skal anvendes i vindmølleplanlægnings sammenhænge. Som navnet antyder, rummer areal objektet areal data, dvs. polygoner. Polygoner er imidlertid her ikke kun polygoner, men også punkt og linie data kan importeres og omsættes til polygoner, fx. veje kan beskrives med polygoner, og fx. gravhøje, der er repræsenteret som punktobjekter i GIS data omsættes til polygoner. I forbindelse med import af linie og punkt objekter, bliver man bedt om at specificere en udstrækning i forbindelse med de enkelte typer af data man importerer.

#### 5.4.1 Anvendelse af data fra Areal Informationssystemet

Adressen til hjemmesiden hvorfra man kan hente AIS data er: <http://ais.dmu.dk/>

Figure 16: Velkomstsider på areal informations systemet.

For indlæsning i WindPRO skal der vælges arealinformation i ESRI shape format. For at gøre det enkelt at importere data, er en standard .lty fil med i programpakken – med denne er det muligt at importere data så de enkelte ”lag” bliver knyttet med de rette beskrivelser og konflikt check regler.

I Figure 17 er dataene anvendt til analyserne i Nibe kommune vist. Dataene hidrører fra et område på 75 x 75 km, med Nibe kommune i midten af området. De enkelte lag vist med tal fx. ’1100’ er fra de oprindelige AIS-data. Endvidere er der suppleret med specialtemaer for fx. kirker og fredede områder. I figuren er også vist om de enkelte lag er ’enabled’ dvs. om de er medtaget i analyserne. Modulet gør det let at udføre følsomhedsanalyser ved at fjerne / inkludere specifikke lag. Figure 17 viser også, hvordan de enkelte afstandskrav fordeler sig på de enkelte lag (HH = hub height, TH = totalhøjde, RP = møllens effekt, RD = rotor diameter, LH = laghøjde, LA = polygon areal). F.eks. er der et ufravigeligt afstandskrav til lag ’1110 – bykerne’ på  $4 \cdot TH$  og et dispensabelt krav på 500 meter. Fra tabellen kan der også ses, hvormeget data der er indlæst i de enkelte lag (fx. 2112 – landbrug er der 21635 polygoner med et samlet areal på 298886 Ha og et areal indenfor kommunegrænsen på 12375 Ha). Som det ses, kan afstandskravene indføres som betingede på visse parametre, f.eks. gælder afstandskrav til skove kun hvis skovens størrelse er over 20 Ha.

Af Figure 17 ses, at der er tale om endog meget store datamængder, hvorfor de enkelte analyser kan tage nogen tid at beregne. I enkelte tilfælde vil en beregning vare et døgn tid, hvorfor man med fordel kan lade computeren beregne natten / weekenden over.

Layers in selected area objects Layer	Description	Criteria applied (if more in one layer then worst selected)				Data in layer(s)		
		Enabled?	Demand	Exemption	Recommended	Area count	Total area	Inside area
			[m]	[m]	[m]	No	[ha]	[ha]
0000	Unknown (ukendt)	Enabled	No criteria applied	No criteria applied	No criteria applied	-	-	-
1100	Consolidated surface (befæstet overflade)	Enabled	No criteria applied	No criteria applied	No criteria applied	-	-	-
1110	Continuous urban fabric (bykærne)	Disabled	4*TH	500	No criteria applied	-	-	-
1120	Discontinuous urban fabric (lav bebyggelse)	Disabled	4*TH	500	No criteria applied	-	-	-
1121	Multistoreyed houses (høj bebyggelse)	Disabled	4*TH	500	No criteria applied	3	44	-
1122	Lightly build-upon land (åben bebyggelse)	Disabled	4*TH	500	No criteria applied	2873	15170	301
1123	Buildings in the open land (bebyggelse i det åbne)	Disabled	4*TH	500	No criteria applied	18740	14079	550
1210	Industry (industri)	Disabled	4*TH	500	No criteria applied	-	-	-
1221	Motorway (motorvej)	Enabled	0	No criteria applied	200	32	348	-
1222	Motor traffic way (motortrafikvej)	Enabled	0	No criteria applied	200	8	80	-
1223	Road > 6 m (vej > 6 meter)	Enabled	0	No criteria applied	100	114	2499	71
1224	Road 3-6 meter (vej 3-6 meter)	Enabled	0	No criteria applied	100	1209	5837	282
1226	Railway (jernbane)	Enabled	0	No criteria applied	No criteria applied	117	310	0.0
1228	Bridge (bro)	Enabled	0	No criteria applied	No criteria applied	-	-	-
1229	Embankment (dæmning)	Enabled	No criteria applied	No criteria applied	No criteria applied	-	-	-
1240	Airport (lufthavn)	Enabled	No criteria applied	No criteria applied	12000	-	-	-
1242	Runway (landingsbane)	Enabled	No criteria applied	No criteria applied	12000	-	-	-
1310	Mineral extraction site (råstofområde)	Enabled	No criteria applied	No criteria applied	No criteria applied	-	-	-
1340	Technical area (teknisk område)	Enabled	No criteria applied	No criteria applied	No criteria applied	-	-	-
1341	Cemetery (kirkegård)	Enabled	300	3000	No criteria applied	-	-	-
1420	Sports ground (sportsanlæg)	Enabled	0	No criteria applied	No criteria applied	-	-	-
1421	Leisure facility (recreativt område)	Enabled	0	No criteria applied	No criteria applied	-	-	-
1422	Mown grass (klippet græs)	Enabled	No criteria applied	No criteria applied	No criteria applied	-	-	-
2112	Arable land (landbrug)	Enabled	No criteria applied	No criteria applied	No criteria applied	21635	298886	12375
2222	Plant nursery (gartneri)	Enabled	No criteria applied	No criteria applied	No criteria applied	-	-	-
2300	Pastures (græsarealer)	Enabled	No criteria applied	No criteria applied	No criteria applied	900	820	6.1
2310	Grass in urban areas (græs i byområder)	Enabled	No criteria applied	No criteria applied	No criteria applied	216	306	12
2320	Mixed agriculture / nature (blandet landbrug / nat)	Enabled	No criteria applied	No criteria applied	No criteria applied	-	-	-
3100	Forest (skov)	Enabled	300 IF LA > 200000	No criteria applied	No criteria applied	329	54	2.4
3110	Deciduous forest (løvskov)	Enabled	300 IF LA > 200000	No criteria applied	No criteria applied	5789	8910	464
3120	Coniferous forest ( nåleskov)	Enabled	300 IF la > 200000	No criteria applied	No criteria applied	11302	37407	1177
3130	Mixed forest (blandet skov)	Enabled	300 IF la > 200000	No criteria applied	No criteria applied	117	89	1.8
3210	Natural grassland (overdrev)	Enabled	No criteria applied	No criteria applied	No criteria applied	4508	5429	341
3220	Heathland (hede)	Enabled	No criteria applied	No criteria applied	No criteria applied	4504	10498	666
3250	Mixed nature (blandet natur)	Enabled	No criteria applied	No criteria applied	No criteria applied	-	-	-
3310	Beach / dune (sand / kilt)	Enabled	No criteria applied	No criteria applied	No criteria applied	149	415	1.9
3330	Sparsely vegetated land (anden overflade med ringe)	Enabled	No criteria applied	No criteria applied	No criteria applied	748	855	6.7
4110	Inland marsh (eng)	Enabled	No criteria applied	No criteria applied	No criteria applied	3498	7787	360
4112	Marshland (vådrområde)	Enabled	No criteria applied	No criteria applied	No criteria applied	3376	14398	548
4120	Peatbog (mose)	Enabled	No criteria applied	No criteria applied	No criteria applied	7104	12375	291
4130	Salt marsh (strandeng)	Enabled	No criteria applied	No criteria applied	No criteria applied	-	-	-
5120	Lake (sø)	Enabled	300 IF LA > 30000	No criteria applied	No criteria applied	8455	4074	48
5121	Streams > 8-12 m (vandløb > 8-12 m)	Enabled	150	No criteria applied	No criteria applied	189	348	19
5123	Reeds (sø / rørskov)	Enabled	No criteria applied	No criteria applied	No criteria applied	-	-	-
5126	Fish farm (dambrug)	Enabled	No criteria applied	No criteria applied	No criteria applied	89	65	7.7
5230	Sea (hav)	Enabled	300	No criteria applied	No criteria applied	110	115852	230
6000	Unknown (According to the AIS metadata description)	Enabled	No criteria applied	No criteria applied	No criteria applied	796	911	38
4210	Salt marsh (marsk og strandeng)	Enabled	No criteria applied	No criteria applied	No criteria applied	686	4682	531
Nabobeboelse	"Cirkulære om planlægning for og landzonetilladelse"	Disabled	4*TH	500	No criteria applied	-	-	-
Fortidsminder	"Bekendtgørelsen af lov om naturbeskyttelse"	Enabled	100	No criteria applied	No criteria applied	-	-	-
Kirker	"Bekendtgørelsen af lov om naturbeskyttelse"	Enabled	300	3000	No criteria applied	1767	633	0.2
Ekisterende møller og mølleområder	"Cirkulære om planlægning for og landzonetilladelse"	Enabled	No criteria applied	2500	No criteria applied	-	-	-
Drikkevandsboringer	Bekendtgørelse af lov om naturbeskyttelse"	Enabled	No criteria applied	300	No criteria applied	-	-	-
Søer	Bekendtgørelse af lov om naturbeskyttelse"	Enabled	150 IF LA > 30000	No criteria applied	No criteria applied	8157	3905	48
Vandløb (beskyttelseslinje registreret)	Bekendtgørelse af lov om naturbeskyttelse"	Enabled	150	No criteria applied	No criteria applied	-	-	-
Privat skov (skovbyggelinien)	Bekendtgørelse af lov om naturbeskyttelse"	Enabled	300 IF LA > 200000	No criteria applied	No criteria applied	-	-	-
Offentlig skov (skovbyggelinien)	Bekendtgørelse af lov om naturbeskyttelse"	Enabled	300	No criteria applied	No criteria applied	-	-	-
Internationale beskyttelsesområder	Omfatter:	Enabled	0	No criteria applied	No criteria applied	444	4231936	2639
§ 3 - områder (beskyttede naturtyper)	"Bekendtgørelse om beskyttede naturtyper"	Enabled	No criteria applied	0	No criteria applied	6340	14940	2768
§ 4 - områder (sten- og jordiger)	"Bekendtgørelse om beskyttede sten- og jordiger og"	Enabled	No criteria applied	0	No criteria applied	-	-	-
Strandbeskyttelseslinjen	Bekendtgørelse af lov om naturbeskyttelse"	Enabled	300	No criteria applied	No criteria applied	-	-	-
Fredede områder	"Bekendtgørelse af lov om naturbeskyttelse"	Enabled	No criteria applied	0	No criteria applied	4444	1121725	985
Civil lufthavn	Enabled	No criteria applied	No criteria applied	5000	-	-	-	-
Militære lufthavne og anlæg	Enabled	No criteria applied	No criteria applied	12000	-	-	-	-
Radiokæder	Enabled	No criteria applied	No criteria applied	300	-	-	-	-
Motorvej	Enabled	No criteria applied	No criteria applied	200	-	-	-	-
Amtsvej	Enabled	No criteria applied	No criteria applied	200	-	-	-	-
Kommunale veje	"Kommunernes vindmølleplanlægning - Status januar"	Enabled	No criteria applied	100	-	-	-	-
Jernbanelinier	"Kommunernes vindmølleplanlægning - Status januar"	Enabled	No criteria applied	100	-	-	-	-
Hejseplansledninger	"Kommunernes vindmølleplanlægning - Status januar"	Enabled	No criteria applied	TH+25	-	-	-	-
Telekommunikationslinier	"Kommunernes vindmølleplanlægning - Status januar"	Enabled	No criteria applied	350	-	-	-	-
Naturgasledninger	"Kommunernes vindmølleplanlægning - Status januar"	Enabled	No criteria applied	2*TH	-	-	-	-

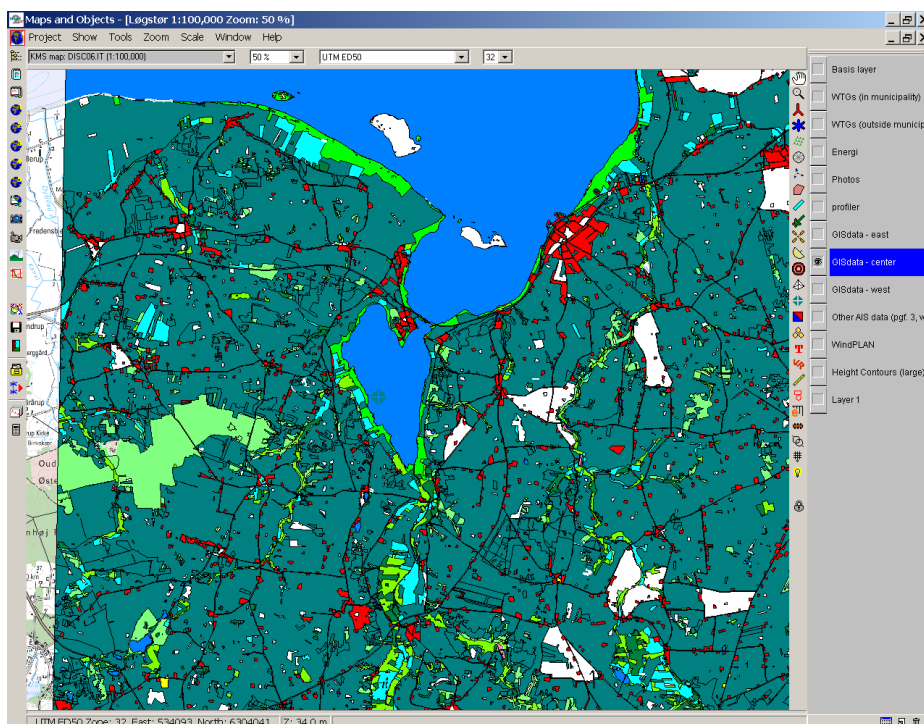
Figure 17: Indlæste GIS-data for Nibe Kommune med lag, afstandskrav og datamængde.

## 5.4.2 Anvendelse af data fra andre kilder

Andre datakilder en AIS kan naturligvis anvendes. Med WindPRO kommer en standard linietypefil (\*.lty), hvor de enkelte danske afstandskrav til møller er inkluderet. Filen er dels fremkommet ved studier af de danske lovgivningskrav og dels ved studie af 'Vindmøller på Land - Drejebog for VVM' 5. Denne fil vil kunne anvendes som startpunkt på en projektspecifik linietypefil eller for import direkte i lagstrukturen.

## 5.4.3 Eksempel på indlæste GIS data

Når data er importeret, vil kortet i WindPRO se ud som i Figur 18. Her er data opdelt i 3 lodrette baner. Optegning af data er ret tidskrævende, hvorfor man måske bør opdele i flere felter for at gøre håndteringen overkommelig for PC'eren.



Figur 18 Importerede GIS-data i WindPRO (vektorformat).

## 5.5 Nibe Kommune – WindPLAN beregninger og analyser

Der er udført en lang række beregninger, dels med det formål at teste programmet, dels at analysere følsomheden for forskellige parameter variationer. Nedenfor gives et sammenfattende overblik over de udførte beregninger, se Figure 19. En kortfattet beskrivelse af de enkelte beregninger findes nedenfor:

### Vægtet synlighed (weighted visibility)

Akkumuleret synlighed fra hvert punkt i et net beregnes. Afstands vægte kan indsættes og områderne tildeles vægtfaktorer, fx. antal beboere.

### Konflikt check (conflict check)

Beregning af områder der har restriktioner opdelt i kategorierne: Forbudt, dispensabelt og anbefalet. Der kan angives formler i forbindelse med konflikt check beregning, fx. afhængig af areal eller møllestørrelse.

### Vægtet vindmølleplan (weighted wind plan)

Vind ressource contra beskyttelses interesse vægtning.

### Fortrængt forurening (saved pollution)

Beregner fortrængt forurening - vilkårlige typer og scenarier er mulige at beregne.

Nedenfor præsenteres udvalgte beregningseksempler. Den fulde beregning kan findes på WindPRO 2.4 CD-en (frigives efteråret 2003).



<b>WindPLAN calculations: Nibe Municipality (sensitivity analysis)</b>					
<b>Weighted Visibility</b>					
The weighted visibility analysis considers the accumulated visible impact area of a given object. A weight can be assigned to the areas (e.g. Inhabitants per area unit).					
<i>Calculation no.</i>	<i>Object height [m]</i>	<i>L1 [m]</i>	<i>L2 [m]</i>	<i>Grid size [m]</i>	<i>Purpose</i>
Calculation 1	75	10000	10001	250	Sensitivity to distance function
Calculation 2	75	20000	20001	250	Sensitivity to distance function
Calculation 3	75	30000	30001	250	Sensitivity to distance function
Calculation 4	75	40000	40001	250	Sensitivity to distance function
Calculation 5	75	50000	50001	250	Sensitivity to distance function
<b>Conflict Check</b>					
The conflict check analysis considers the required distances from turbines to specified areas, e.g. the legislative distance requirements to neighbours and nature. Single turbines or areas may be scanned in this analysis. GIS data from the area information system have been used. The specific analysis' below have been run using both the actual turbines present; and a generic turbine with geometry corresponding to the turbine size used (analysis throughout the municipality area).					
<i>Calculation no.</i>	<i>Layers included</i>	<i>Turbine size</i>	<i>Purpose</i>		
Calculation 1	All	750 kW	Sensitivity to included distance demands		
Calculation 2	Pgf. 3 areas	750 kW	Sensitivity to included distance demands		
Calculation 3	All but urban	750 kW	Sensitivity to included distance demands		
Calculation 4	Only urban	750 kW	Sensitivity to included distance demands		
Calculation 5	Only forestry	750 kW	Sensitivity to included distance demands		
Calculation 6	Water, lakes & sea	750 kW	Sensitivity to included distance demands		
Calculation 7	Preservation areas	750 kW	Sensitivity to included distance demands		
Calculation 8	Lakes	750 kW	Sensitivity to included distance demands		
Calculation 9	Roads and railroads	750 kW	Sensitivity to included distance demands		
Calculation 10	All	99 kW	Sensitivity to turbine size		
Calculation 11	All	150 kW	Sensitivity to turbine size		
Calculation 12	All	300 kW	Sensitivity to turbine size		
Calculation 13	All	750 kW	Sensitivity to turbine size		
Calculation 14	All	1500 kW	Sensitivity to turbine size		
Calculation 15	All	2500 kW	Sensitivity to turbine size		
<b>Weighted Wind Plan</b>					
The weighted wind plan analysis weights the protection interests against the wind resource. It is possible to use results from the weighted visibility and the conflict check as input.					
<i>Calculation no.</i>	<i>Visibility</i>	<i>Conflict Check</i>	<i>Wind Resource</i>	<i>Purpose</i>	
Calculation 1	Calculation 1 - 10 km	Calculation 1 - All	Covering area	Demonstrate capability of the weighted planning module	
<b>Saved pollution</b>					
Calculates the saved pollution (or other savings) throughout a specified period. It is possible to analyze a baseline scenario. Several samples are included.					
<i>Calculation no.</i>	<i>Energy</i>	<i>Purpose</i>			
Calculation 1	36.8 GWh/year	Amount of pollution savings by the turbines in Nibe			

Figure 19: Oversigt over følsomheds-beregninger udført på Nibe kommune.

### 5.5.1 Vægtet synlighed

Figureerne nedenfor - i Figure 20 - viser hvor mange der vil kunne se en vindmølle på 750 kW placeret et vilkårligt sted i kommunen, hvor man henholdsvis medtager alle indenfor 10, 30 og 50 km afstand. Bemærk at disse beregninger blot er for at illustrere beregningsmetoden – der er ikke anvendt præcise oplysninger om befolkningstæthed i de enkelte områder. Desuden er beregningerne foretaget inden den seneste forbedring er medtaget, vægtning af synlighed indenfor fx. byområder. Disse er i overviste antaget at skjule møllerne helt, hvilket naturligvis kun delvist er korrekt. Der vil altid være en del mere eksponerede områder i en by (fx. højhuse), hvorfra man vil kunne se vindmøller, selv om man er inde i en by. Den andel, man ønsker at indregne i et givet by eller fx. skovområde, kan angives som procent fra 0 – 100%. Idet der i den konkrete beregning er anvendt befolkningstætheder som vægt, er værdierne i signaturforklaringen et udtryk for, hvormange personer der kan se en given mølle på en given placering i kommunen.

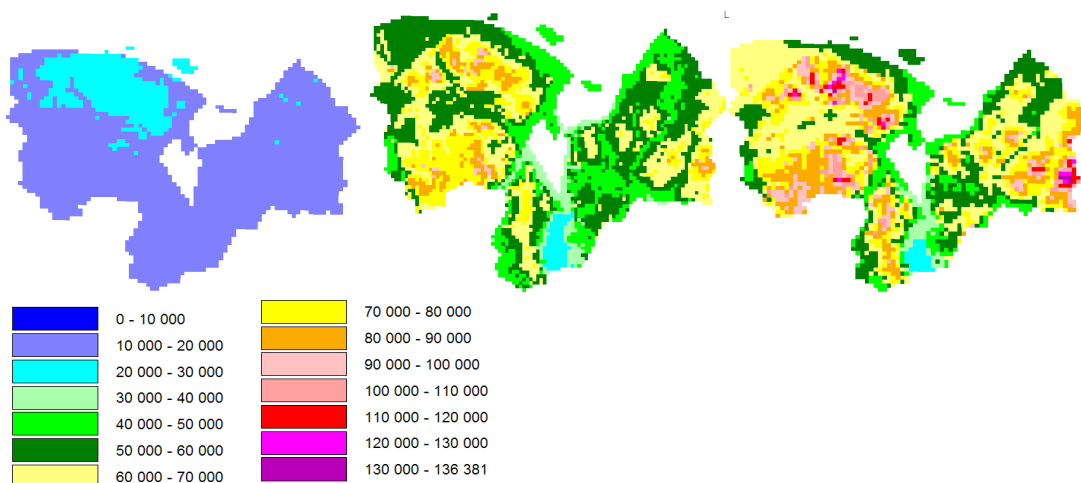


Figure 20: Vægtet synlighedsberegning for Nibe kommune med henholdsvis 10, 30 og 50 km indflydelsesradius.

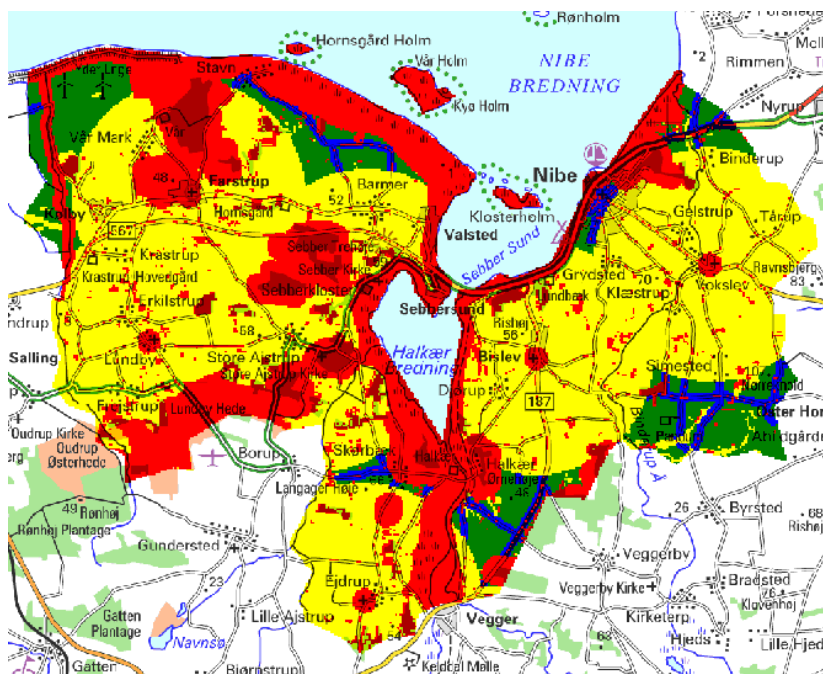
## 5.5.2 Konflikt check

Konflikt check beregning analyserer enten om enkelte (eksisterende) møller opfylder de gældende afstands krav eller hvilke arealer der potentielt kan benyttes til opstilling af møller. Nedenfor er der uddrag af konfliktcheck analyser for Nibe kommune.

### 5.5.2.1 Følsomhed for områdetyper

I denne analyse er det valgt at udføre beregningen hvor afstandskrav til nabobeboelse er henholdsvis inkludere og udelukket. Alle øvrige afstandskrav er inkluderet, se Figure 17.

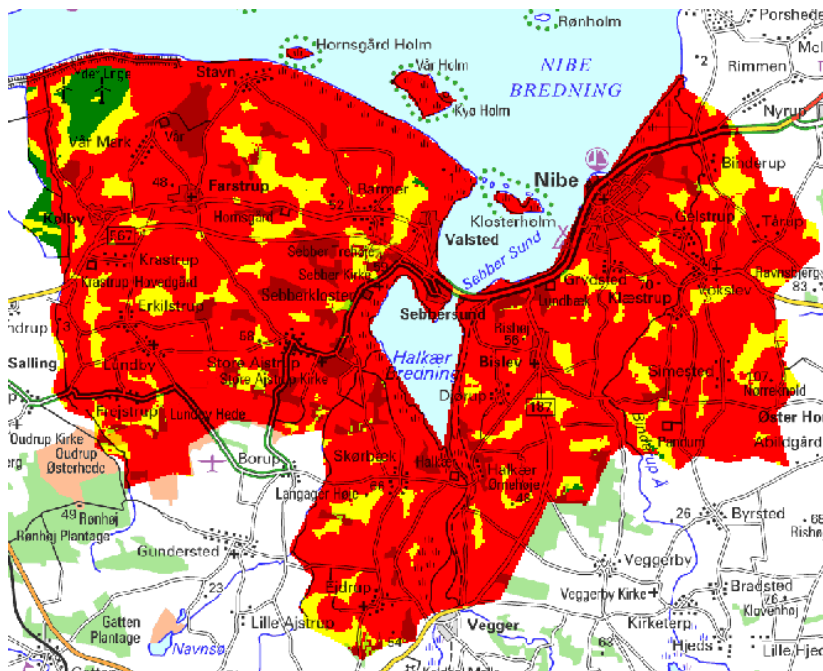
Resultater fra følsomhedsanalysen er vist i Figur 21 og Figur 22. Disse illustrerer tydelig hvorledes det er beboelser, der giver hovedrestriktionen. Afstandskravet med 4 x totalhøjde for mølle til nærmeste nabo lægger således en væsentlig begrænsning på hvor møller af denne størrelse kan opstilles. I Figur 21 er beregningen uden nabo-afstandskrav vist. På dette kort ses store gule cirkulære områder, som skyldes afstandskrav til kirker (3000 meter dispensabelt krav til landsbykirker). I figuren nedenfor er alle afstandskrav medtaget; det ses at afstandskrav til naboer i det åbne land udelukker mølleudbygning i store dele af kommunen – dog ikke Nørrekær enge. Beregningen er udført med en 750 kW mølle.



Figur 21:  
Konflikt check  
beregning uden  
beboelser indregnet

Color Criteria applied

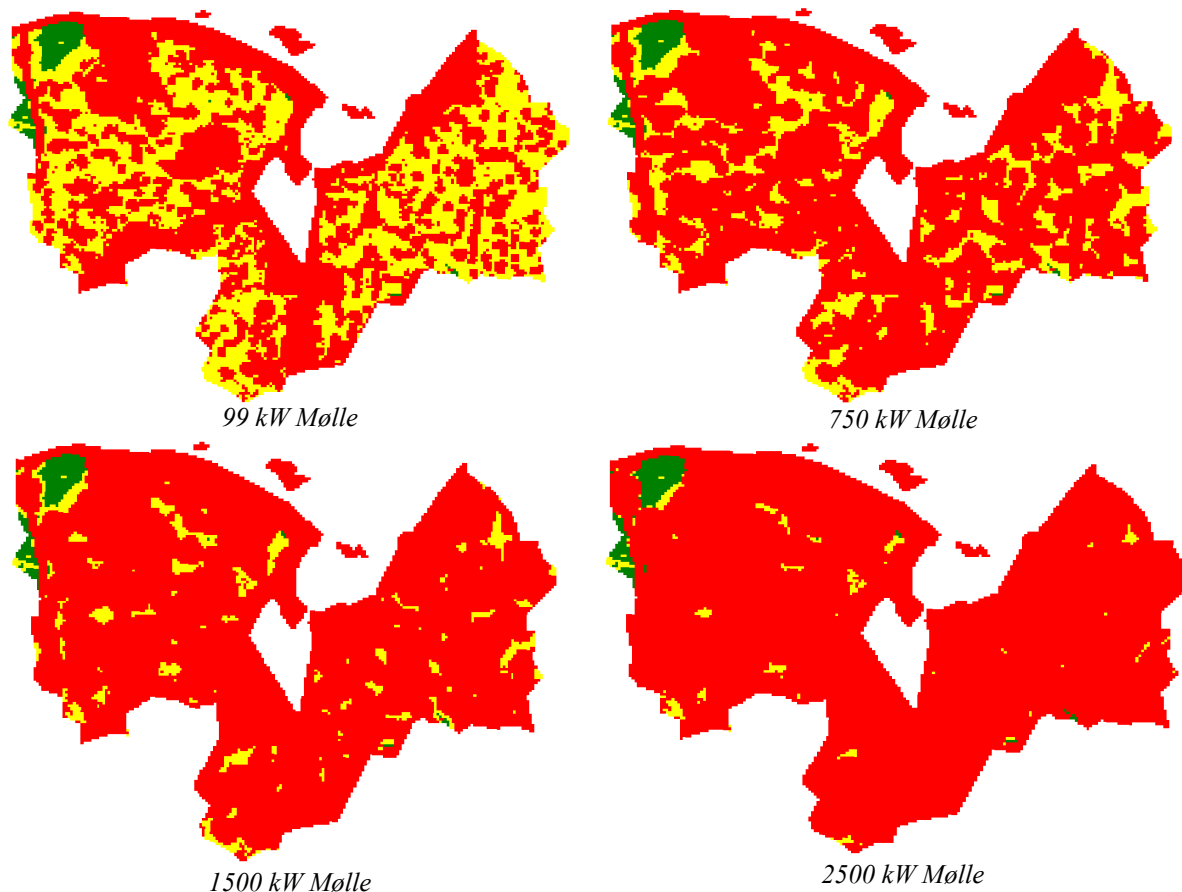
	Demanded
	Exemption
	Recommended
	No restrictions



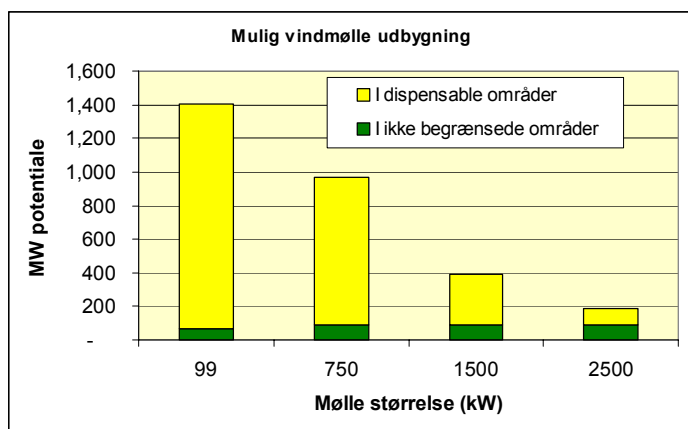
Figur 22:  
Konflikt check beregning  
med beboelser indregnet

### 5.5.2.2 Følsomhed for møllestørrelse

Nedenfor, fra ses hhv. 99 kW, 750 kW, 1500 kW og 2500 kW møllestørrelser anvendt i konflikt check beregning. De grønne områder er uden restriktioner, de gule dispensable og de røde er forbudte områder. Det ses hvorledes områderne markant svinder ind, når møllestørrelsen øges, især de dispensable.



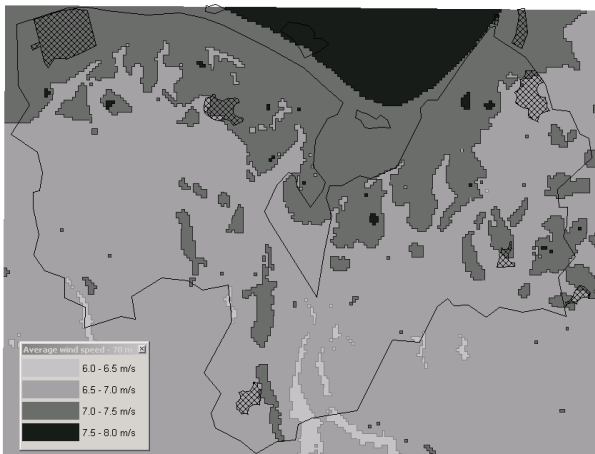
Nedenfor er ud fra simple areal betragtninger (antal møller per arealenhed) vurderet hvad det betyder for bruttopotentialet. Det ses, at 'bigger is better' ikke nødvendigvis er et sandt udsagn, hvis målet er at få så meget vindkraft ind i en kommune som muligt.



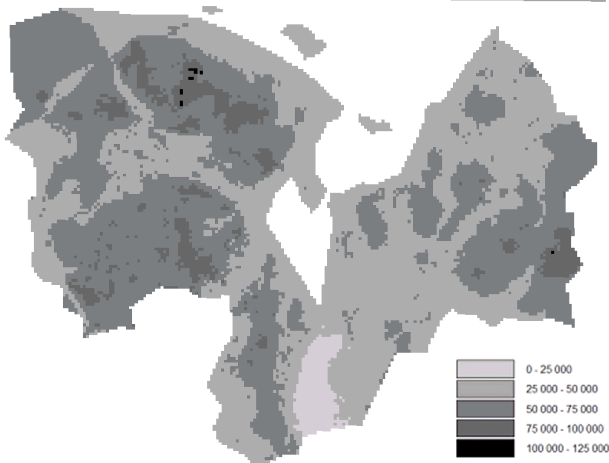
Figur 23 Brutto potentiale ved forskellige møllestørrelser ud fra simple areal betragtninger. Den nuværende udbygning er 37 MW.

### 5.5.3 Vægtet vindmølleplan

Med et vindressourcekort, en restriktions kort samt en beslutnings tabel, kan beregnes et vægtet kort, hvor kombinationen af vindressource og restriktions niveau via beslutningstabellen giver resultatet. I figurerne nedenfor er angivet de enkelte input-analyser. Beskyttelsesværdi angives om et heltal mellem 0 og 9, hvor 9 er de strengeste beskyttelseskrav.



Figur 24  
Vindressource kortet opdelt i "operationelle" intervaller.



Figur 25  
Vægtet synlighedsberegning. De synligste områder indgår med en beskyttelsesværdi på 4 som nedtrappes til 0 for de mindst synlige områder.



Figur 26  
Konfliktcheck beregning med 750 kW mølle. Områder der ikke er anvendelige indlæses med beskyttelsesværdi på 9, mulige områder med , områder med anbefalinger 2. Områder med ingen krav sættes til beskyttelsesværdi 0.

**Legend**

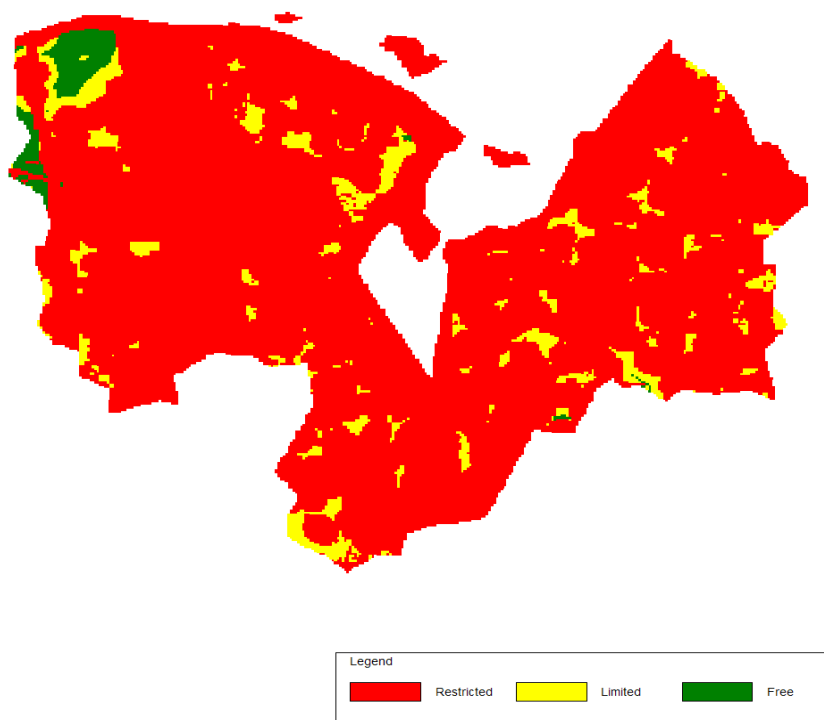
Criteria applied	Demanded	Exemption	Recommended	No restrictions
Color				

Beskyttelsesinteresserne fra Figur 25 og Figur 26 indlæses i 'samlende' polygoner ved hjælp af en polygonklipper algoritme. Siden sammenlignes alle polygoner med vindressources (samme polygonklipper rutine), og polygonerne sammenholdes med beslutningstabellen i Figur 27.

Prot. value	Wind resource interval [m/s]			
	6.0-6.5	6.5-7.0	7.0-7.5	7.5-8.0
0	Free	Free	Free	Free
1	Free	Free	Free	Free
2	Free	Free	Free	Free
3	Limited	Free	Free	Free
4	Limited	Limited	Limited	Free
5	Limited	Limited	Limited	Limited
6	Limited	Limited	Limited	Limited
7	Restricted	Restricted	Limited	Limited
8	Restricted	Restricted	Limited	Limited
9	Restricted	Restricted	Restricted	Restricted

Figur 27 Beslutnings tabel

Resultatet fra den vindressource vægtede vindmølleplan er et kort som ses nedenfor. Her er de mest anvendelige områder identificeret på kommuneplan.



Figur 28 Resultat af planlægnings-beregningen.

#### 5.5.4 Fortrængt forurening

Nedenfor – i Figur 29 – er angivet uddrag fra en 'sparret forureningsberegning'. Det ses, at beregningen ikke alene inkluderer forureningskomponenter – men også sparret brændstof. Beregningsmodulen kan

anvendes helt generelt, således at alle substanser der kan angives som enhed per energimængde kan beregnes.

I analysen for Nibe kommune – se nedenfor – er de forudsat en vindmølle energi-produktion på ca. 37 GWh/år, som er den nuværende vindmølleproduktion i Nibe kommune. Styrken i forurenings fortrængningsberegningen er naturligvis de mere komplekse tilfælde, samt de inkluderede databaser med de nøgletal, man skal/kan anvende.

#### Average Power From The Grid (delivered by Eltra 2001)

Calculated saved pollution during lifetime

		2001	2002	2003	2004
<b>Acidification Agents</b>					
Nitrogen Oxide and Nitrogen Dioxide	MetricTons	36.80	36.80	36.80	36.80
Sulfur Dioxide	MetricTons	3.680	3.680	3.680	3.680
<b>Greenhouse Gasses</b>					
Carbon Dioxide	Thousand Metric Tons	18.80	18.80	18.80	18.80
Methane	MetricTons	22.08	22.08	22.08	22.08
Laughing Gas	MetricTons	0.736	0.736	0.736	0.736
<b>Greenhouse Gasses (Using equivalent factor, F)</b>					
Carbon Dioxide (F=1.000)	Thousand Metric Tons	18.80	18.80	18.80	18.80
Methane (F=21.000)	Thousand Metric Tons	0.464	0.464	0.464	0.464
Laughing Gas (F=310.000)	Thousand Metric Tons	0.228	0.228	0.228	0.228
Total	Thousand Metric Tons	19.50	19.50	19.50	19.50
<b>Toxic Substances</b>					
Non Methane Volatile Organic Carbon	MetricTons	0.736	0.736	0.736	0.736
Carbon Monoxide	MetricTons	0.000	0.000	12.34	14.72
<b>Fuel Consumption</b>					
Coal	Thousand Metric Tons	5.557	5.557	5.557	5.557
Oil	MetricTons	47.84	47.84	47.84	47.84
Natural Gas	Thousand Metric Tons	1.730	1.730	1.730	1.730
Bio Mass	Thousand Metric Tons	0.478	0.478	0.478	0.478
Waste	Thousand Metric Tons	0.000	0.000	1.296	1.546

Figur 29 Fortrængt forurening (Nibe kommune) hvis alternativet er en dansk gennemsnitsproduktion i 2001.

## 5.6 Nibe Kommune – Konklusioner og resultatanvendelse

Resultaterne af analysen udpeger de områder, der kan/bør undersøges nærmere, hvis en yderligere vindmølleudbygning ønskes. Her kommer dialogen mellem planlægger og politikere ind i billedet. Opstilling af en politisk målsætning er her et væsentligt element, som ligger uden for det arbejde, der behandles i denne rapport.

Et væsentligt resultat er at placerings mulighederne reduceres markant med voksende møllestørrelse. Men også at der er store muligheder, der kan udnyttes hvis viljen er til stede og detail-analyser kan godtgøre at de fundne områder kan udnyttes på acceptabel vis. De her udførte analyser må ikke betragtes som endelige, men de viser hvilke muligheder der er og så er det op til en dialog mellem politikere og embedsmænd at vurdere/beslutte hvilke parametre, der skal analyseres og hvilke vægte, der skal indgå.

## 6. Referencer

---

- [1] Mortensen, N.G.; Rathmann, O.; Landberg, L.; Jensen, G. & Petersen, E.L.: *Wind Atlas Analysis of 26 Danish Stations (1987-96)*, Risø-R-1092(EN), ISBN: 87-550-2492-0 (p.t. ikke afsluttet)
- [2] *Internet hjemmeside for Informi GIS*, [www.informi.dk](http://www.informi.dk). Se under Produkter / Informi Programmer.
- [3] *Internet hjemmeside for Environmental Systems Research Institute, Inc (Esri)*, <http://www.esri.com>. Anvend den seneste version af programmet, p.t. version 3.0.
- [4] Internet hjemmeside for Kort og Matrikelstyrelsens officielle katalog over digitale kort og geografiske informationer i Danmark, [www.geodata-info.dk](http://www.geodata-info.dk).
- [5] *Vindmøller på land – drejebog for VVM*, Februar 2002, Møller og Grønborg, Beder Landevej 2, 8330 Beder, ISBN 87-7323 042 1.



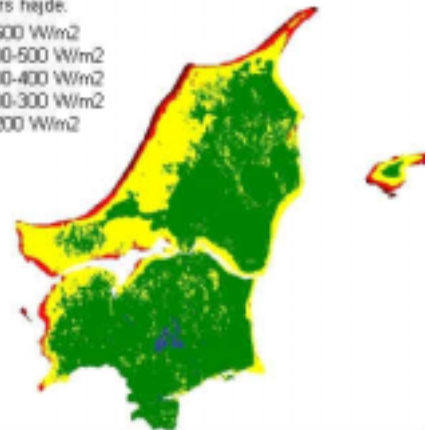
# Appendix A

## Vindressourcekort for Danmark med GIS eksport



Vindens energiindhold i  
45 meters højde.

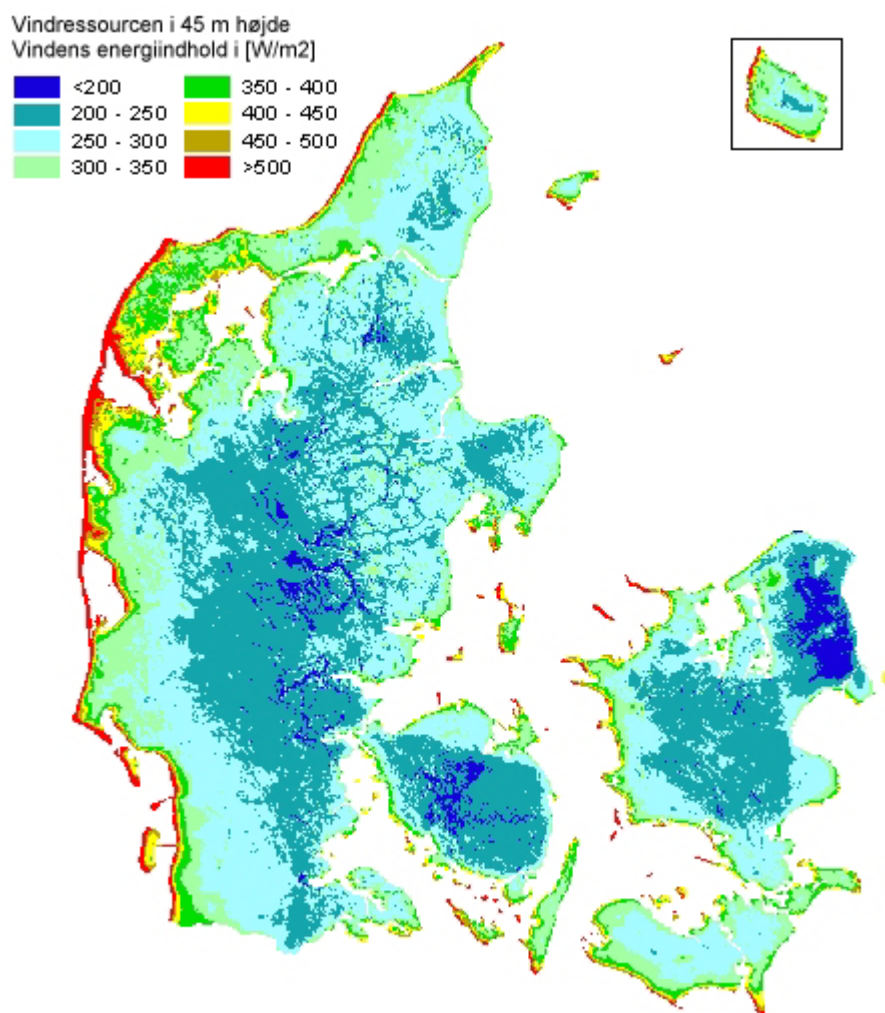
- >500 W/m<sup>2</sup>
- 400-500 W/m<sup>2</sup>
- 300-400 W/m<sup>2</sup>
- 200-300 W/m<sup>2</sup>
- <200 W/m<sup>2</sup>





# Vindressourcekort for Danmark

med eksport til GIS-system



[www.emd.dk](http://www.emd.dk)

Energi- og Miljødata • Niels Jernesvej 10 • DK-9220 Aalborg Øst  
tlf. 96354444 • fax. 96354446 • e-mail: [emd@emd.dk](mailto:emd@emd.dk) • web: <http://www.emd.dk>  
Januar 2001

## Indholdsfortegnelse

Indholdsfortegnelse .....	1
Introduktion .....	2
GIS-formatet .....	2
De beregnede højder .....	3
De beregnede parametre.....	3
Anvendelse af kortet til vindressourceplanlægning .....	5
Beregningsbasis .....	6
Vinddata og landsdelskorrektioner .....	6
Ruheder, bakker og lokale lægiverer.....	7
Verifikation.....	7
Begrænsninger og kommentarer .....	8
Udvikling af datagrundlag og program .....	8
Appendiks A    Indhold i GIS-databasefilen .....	9
Appendiks B    Reduktion af information ved ændring til større polygoner .....	10
Vejledning i anvendelse af programmet Resource_Mapper ver. 1.2 .....	11
Referencer.....	13

## Introduktion

Vindressourcen i Danmark er nu overført til GIS-format bl.a. for anvendelse i lands-, amts- og kommuneplanlægning.

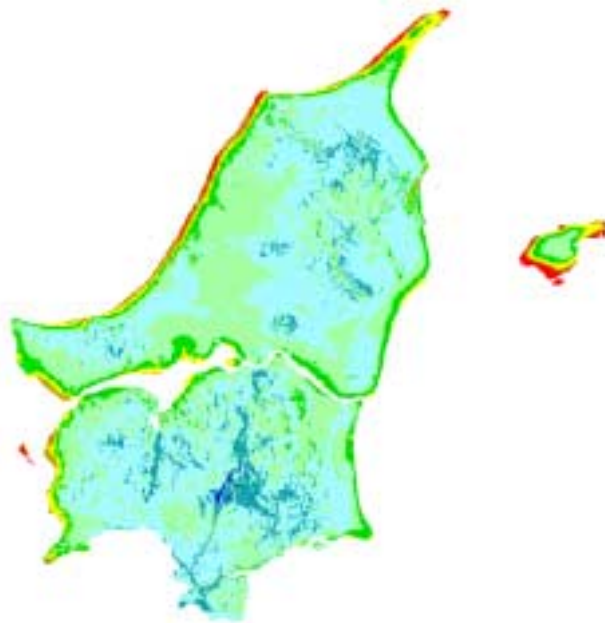
I 1999 afsluttede Energi- og Miljødata (EMD) og Forskningscenter Risø en detaljeret kortlægning af Danmarks vindressource. Til analyserne blev der benyttet et kvadratisk beregningsnet med en maskestørrelse på 200 meter. Beregningerne er blevet verificeret med produktionsdata fra mere end 1200 vindmøller fordelt over hele landet. Den nye detaljerede analyse er rapporteret i [1], og dataene herfra er tidligere frigivet på en CD-rom, der kan rekvireres fra EMD. Fra forskellige sider – specielt amter og kommuner - er der blevet udtalt ønske om at dataene blev overført til GIS-format. Overførslen til GIS-format er nu afsluttet. Projektet er blevet gennemført med støtte fra Energistyrelsens *Udviklingsprogram for Vedvarende Energi*, UVE j.nr 51171/00-004. Datagrundlaget er beregnet med EMD's WindPRO (www.emd.dk/windpro) og WASP programmet (www.wasp.dk).

Programmet '*Resource Mapper 1.2*' er programmet til præsentation af vindressourcekortet og eksport til GIS-format. Programmet fås på CD-rom ved henvendelse til Energi- og Miljødata eller downloades fra internettet på www.emd.dk. Allerede eksporterede GIS-data for de forskellige amter findes samme sted.

## GIS-formatet

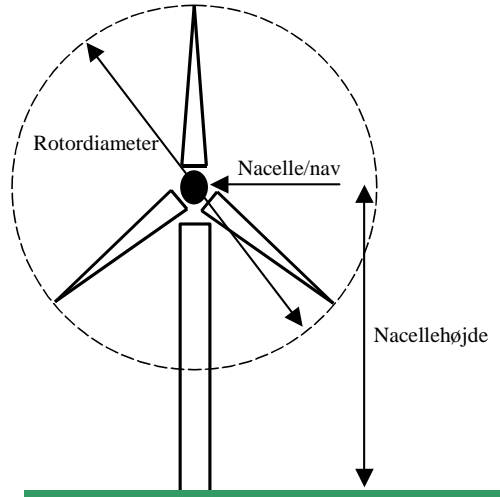
Energi- og Miljødata har nu overført dataene fra vindressourceberegningen [1] til ArcView GIS format. Dataene ligger som raster filer, hvor hvert enkelt beregningsfelt på 200x200 meter<sup>2</sup> er gemt som en polygon med tilhørende datasæt. Dataene for Danmark er gemt fordelt på amter, men det udviklede edb-program muliggør også eksport af dataene fordelt på kommuner eller ud fra specifikke UTM-koordinater. Ændring af koordinater til f.eks. System 34/45 er ikke implementeret men kan ske ved et eksternt konverteringsprogram, f.eks. fra Informi GIS [2]. Det er dog muligt at gemme koordinater som længde/breddegrader.

Til hvert amt hører der en shapefil (\*.shp), en indexfil (\*.shx) og en databasefil (\*.dbf). På internettet kan der hentes et gratis program - ArcExplorer - til at vise til dette GIS-format [3].



Figur 1: Vindressourcen i Nordjyllands Amt fra ArcView GIS.

## De beregnede højder



Figur 2: Idealiseret mølle med deskriptive parametre.

For at kunne vurdere vindressourcen for forskellige møllestørrelser er beregningerne udført i fire forskellige højder, nemlig 25, 45, 70 og 100 meter. Disse højder modsvarer de typiske møllestørrelser der er opstillet tidligere, de typer der findes på markedet i dag, og de størrelser som forventes på markedet inden for den nærmeste årrække:

- 25 meters navhøjde: Møller med effekt <250 kW. Et tidligere vindressourcekort for Danmark blev beregnet ved denne navhøjde.
- 45 meters navhøjde: Møller ca. 600-1000 kW – rotordiameter ca. 40-55 meter
- 70 meters navhøjde: Møller ca. 1500-2000 kW – rotordiameter ca. 70 meter
- 100 meters navhøjde: Møller >3-4000 kW (ikke aktuel p.t.)

Til planlægningsformål bør man arbejde med de beregningshøjder, der modsvarer de møllestørrelser, der planlægges installeret indenfor det aktuelle område.

## De beregnede parametre

For hvert polygon er der gemt fire forskellige parametre for hver navhøjde, altså i alt 16 datasæt hørende til hver polygon. De gemte parametre og deres oprindelse er forklaret nedenfor:

### 1. Weibullfordelingsparametre ( $A$ og $k$ ) for fordelingen af 10 minutters middelvindhastighed ( $U_{10}$ )

Weibull-fordelingen benyttes i vindressourcesammenhæng som en parametrisk beskrivelse af fordelingen af 10 minutters middelvindhastigheder,  $U_{10}$ .  $U_{10}$  er det der kaldes en stokastisk variabel. Dette er en parameter, hvis størrelse kun kan fastsættes med en vis sandsynlighed eller sandsynlighedsfordeling. For en Weibull fordelt stokastisk variabel er fordelingen er givet ved to parametre  $A$  og  $k$ , der beskriver Weibullfordelingens form. Ud fra disse parametre kan sandsynligheden for at middelvindhastigheden i en given 10 minutters periode overskrides beregnes. Weibullfordelingens funktionsforskrifter er:

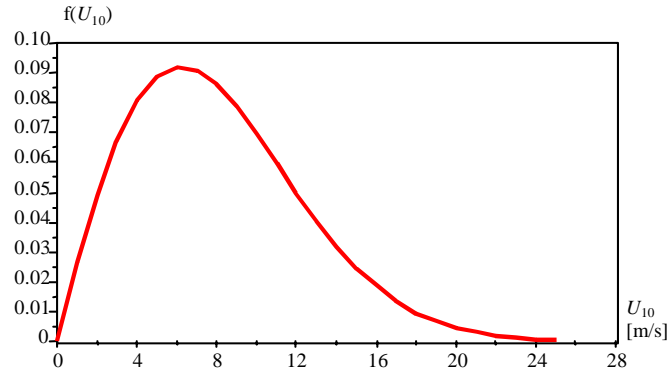
$$\text{Den kumulerede fordelingsfunktion: } F(U_{10}) = 1 - \exp\left(-\left(\frac{U_{10}}{A}\right)^k\right) \quad (1)$$

$$\text{Tæthedsfunktionen har forskriften: } f(U_{10}) = \frac{k}{A} \left(\frac{U_{10}}{A}\right)^{k-1} \exp\left(-\left(\frac{U_{10}}{A}\right)^k\right) \quad (2)$$

Eksempel: For en placering på Bornholm er  $A=9.10$  m/s og  $k=1.93$ . Bruges den kumulerede fordelingsfunktion, kan sandsynligheden for at f.eks. vindhastigheden er mindre en 20 m/s beregnes til:

$$F(20) = 1 - \exp\left(-\left(\frac{20}{9.10}\right)^{1.93}\right) = 0.9896 \quad (3)$$

Det vil sige, at der i en vilkårlig 10 minutters periode er ca. 1% sandsynlighed for at middelvinden overskrider 20 m/s. Omsat til timer svarer dette til ca. 90 timer på årsbasis. I Figur 2 ses tæthedsfunktionen grafisk.



Figur 3: Fordelingen af vindhastigheder for  $A=9.1$  og  $k=1.93$ .

## 2. Middelvindshastigheden på placeringen

Middelvindshastigheden (eller mere præcist den forventede middelvindshastighed) på en given placering kan beregnes ud fra Weibullfordelingens  $A$  og  $k$  parametre. Endvidere kan forskellige andre statistiske parametre også beregnes ud fra  $A$  og  $k$ . Her angives kun variansen og det statistiske  $n$ -te ordens moment. For øvrige statistiske parametre henvises til det europæiske vindatlas [4, p. 582]. Sammenhængen mellem Weibull fordelingen  $A$  og  $k$  parametre samt fordelingen midelværdi ( $\mu$ ), varians ( $\sigma^2$ ) og  $n$ -te ordens momentet er:

$$\text{Middelværdi [m/s]: } \mu_{U_{10}} = E[U_{10}] = A \cdot \Gamma(1+1/k) \quad (4)$$

$$\text{Varians [(m/s)}^2\text{]: } \sigma_{U_{10}}^2 = E[(U_{10} - \mu_{U_{10}})^2] = A^2 [\Gamma(1+2/k) - \Gamma^2(1+1/k)] \quad (5)$$

$$\text{Det } n\text{-te ordens moment [(m/s)}^n\text{]: } E[(U_{10})^n] = A^n \Gamma(1+n/k) \quad (6)$$

hvor  $E(X^n)$  er  $n$ -te ordensmomentet (se nedenfor),  $\Gamma(\cdot)$  er gammafunktionen og  $(A, k)$  er fordelingsparametre for Weibullfordelingen. Det  $n$ -te ordens moment for en stokastisk variabel,  $X$ , kan generelt beregnes som:

$$E(X^n) = \int_{-\infty}^{\infty} x^n f(x) dx \quad (7)$$

Ligningerne (4) og (6) som funktion af  $A$  og  $k$  er fundet udføre integrationen i (7) analytisk.

Eksempel: Middelværdi og varians kan beregnes ud fra ovenstående ligninger. For placeringen på Bornholm med Weibullparametrene  $A=9.10$  m/s og  $k=1.93$ :

$$\mu_{U_{10}} = 9.10 \cdot \Gamma(1+1/1.93) = 8.07 \text{ m/s} \quad (8)$$

$$\sigma_{U_{10}}^2 = 9.10^2 [\Gamma(1+2/1.93) - \Gamma^2(1+1/1.93)] = 18.98 \text{ (m/s)}^2 \quad (9)$$

## 3. Vindens energiindhold – middel effekt pr. $m^2$ rotorareal

Vindens bevægelsesenergi som pr. tidsenhed strømmer igennem en flade på  $1 \text{ m}^2$  er et godt mål for en mølles potentielle energiproduktion. I princippet bør man beregne vindens energiindhold ud

fra de øjeblikkelige vindhastigheder og dermed inkludere vindens turbulensindhold. Ifølge det Europæiske Vindatlas [4, p. 97] er det dog rimeligt istedet at anvende 10 minutters middelvindshastigheden i beregningerne. Dette skyldes bl.a. at møllers effektkurver altid henføres til 10 minutters middelvindsværdier. Betragtes vindens energiindhold som den mængde bevægelsesenergi der pr. tidsenhed strømmer igennem en flade på  $1 \text{ m}^2$ ,  $E_U [\text{W}/\text{m}^2]$ , se evt. [4, p. 99] eller [5, p. 31]:

$$E_U(U_{10}) = 0.5 \rho (U_{10})^3 \quad (10)$$

hvor  $U_{10}$  er 10 minutters middelvindhastigheden og  $\rho$  luftens massefylde ( $\sim 1.225 \text{ kg}/\text{m}^3$ ). Da vi istedet ønsker at kende middel energiindhold over hele året, må vi medtage bidrag fra alle 10 minutters middelvindhastigheder. Dette bidrag er medtaget i nedenstående ligning:

$$\begin{aligned} E_W &= \int_0^\infty E_U(U_{10}) f(U_{10}) dU_{10} \\ &= 0.5 \rho \int_0^\infty (U_{10})^3 f(U_{10}) dU_{10} \\ &= 0.5 \rho A^3 \Gamma(1 + 3/k) \end{aligned} \quad (11)$$

Det skal bemærkes at energiindholdet i vinden skal korrigeres for møllens placering i landet, idet vindressourcekortet er henført til en vindstatistik på Fyn. Denne korrektion er givet ved landsdel-skorrektionsfaktorerne, som er beskrevet efterfølgende og aflæses på kortet side 6. Når landsdel-skorrektionsfaktorer,  $LK$ , benyttes er vindens energiindhold givet ved:

$$\begin{aligned} E_{W,SITE} &= LK \cdot E_W \\ &= LK \cdot 0.5 \rho A^3 \Gamma(1 + 3/k) \end{aligned} \quad (12)$$

Eksempel: For placeringen på Bornholm kan møllens er

$$E_{W,SITE} = 1.01 \cdot 0.5 \cdot 1.225 \cdot 9.1^3 \Gamma(1 + 3/1.93) = 644 \text{ W}/\text{m}^2 \quad (13)$$

#### 4. Vindens energiindhold – middel energi pr. år pr. $\text{m}^2$ rotorareal

Middelårsenergiindholdet [ $\text{kWh}/(\text{år } \text{m}^2)$ ] beregnes let ved tage vindens energiindhold, se (12) og multiplicere med antallet af timer pr. år.

$$E_{AR,SITE} = LK \cdot E_W \cdot 8760 / 1000 \quad (14)$$

### Anvendelse af kortet til vindressourceplanlægning

Som deskriptiv parameter for vindressource planlægningsformål bør vindens energiindhold benyttes, idet denne parameter er essentiel for produktionen og dermed økonomien i et vindkraftanlæg. En typisk vindmølle vil typisk udnytte ca. 33% af vindens energiindhold. Da de to parametre der beskriver vindens energiindhold, se ovenfor ligning (12) og (14), som beskrevet ovenfor er proportionale størrelser, er det uden betydning hvilken parameter der anvendes. Ofte benyttes (12) dog til danske og udenlandske vindressourcekort, hvorfor – alene af denne grund - denne anbefales til planlægningsbrug.

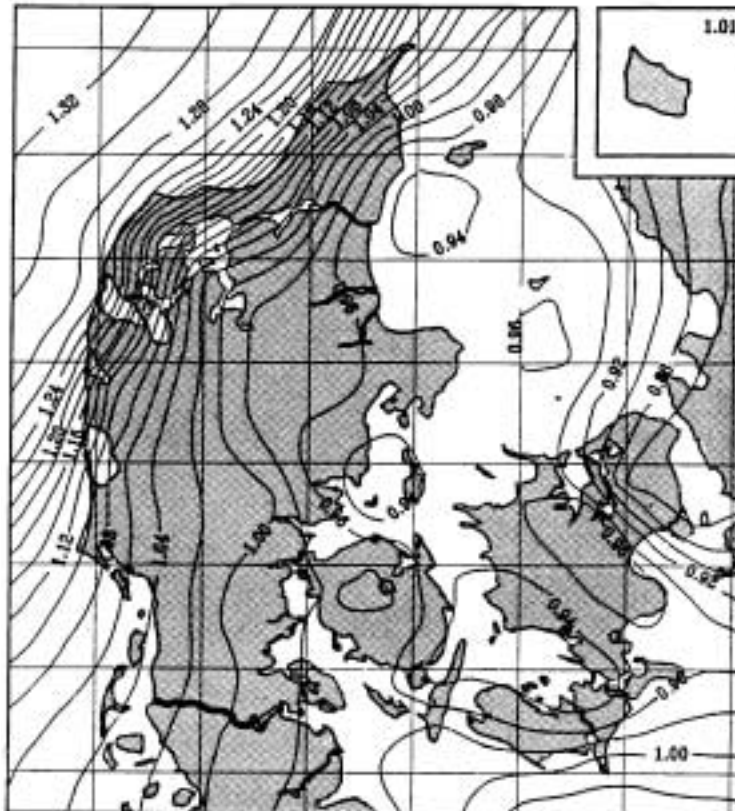
Andre parametre der af betydning for vindmølleplanlægningen er f.eks. støjberegninger og skyggekast. Disse kan - for en konkret placering - beregnes med WindPRO og isolinier kan eksporteres til GIS-format. Dette kræver dog licens til programmet. En demoversion af WindPRO er vedlagt på CD-rommen eller kan downloades i en demoversion fra internettet [www.emd.dk](http://www.emd.dk).



## Beregningsbasis

### Vinddata og landsdelskorrektioner

Vindressourcekortet er baseret på en vindstatistik fra Beldringe på Fyn. For at inkludere den geografiske variation af middelvindhastigheden over landet (geostrof vinden) benyttes såkaldte landsdelskorrektionskurver udviklet af EMD/Intercon 1992. Disse kurver korrigerer energiproduktionen, således at energiproduktionen for den enkelte mølle er i overensstemmelse med det der forventes på den givne placering. Landsdelskorrektionerne er indarbejdet i dataene. Til 'manuelle' formål kan korrektionerne findes på nedenstående kort, Figur 4:



Figur 4: Landsdelskorrektionskurver for Danmark.

Hvis middelvindhastigheden beregnes på en given lokation ud fra  $A$  og  $k$  parametrene, se ligning (4), vil der ikke være konsistens med energiproduktionen, se ligning (10) og (12). Dette skyldes, at energiproduktionen beregnes inklusive landsdelskorrektionsfaktorerne medens  $A$  og  $k$  er udledt af vindstatistikken fra Beldringe på Fyn. For at opnå konsistens mellem middelvind og energiproduktion er der udviklet empiriske formler, således at energiproduktionen modsvarer den middelvindhastighed, der er konstateret i vinden på den præcise geografiske lokalitet. Den empiriske beregningsformel der er inkluderet i beregningerne er:

$$\mu_{U_{10,korr}} = 3.7 + 0.0032[-1156.25 + 312.5 \cdot \mu_{U_{10}}] \cdot LK$$

hvor  $\mu_{U_{10,korr}}$  er den korrigerede vindhastighed  
 $\mu_{U_{10}}$  er den originale vindhastighed  
 $LK$  er landsdelskorrektionsfaktoren

Data der er gemt i GIS/databasefilen er korrigeret med denne faktor.

*Ruheder, bakker og lokale lægiver*

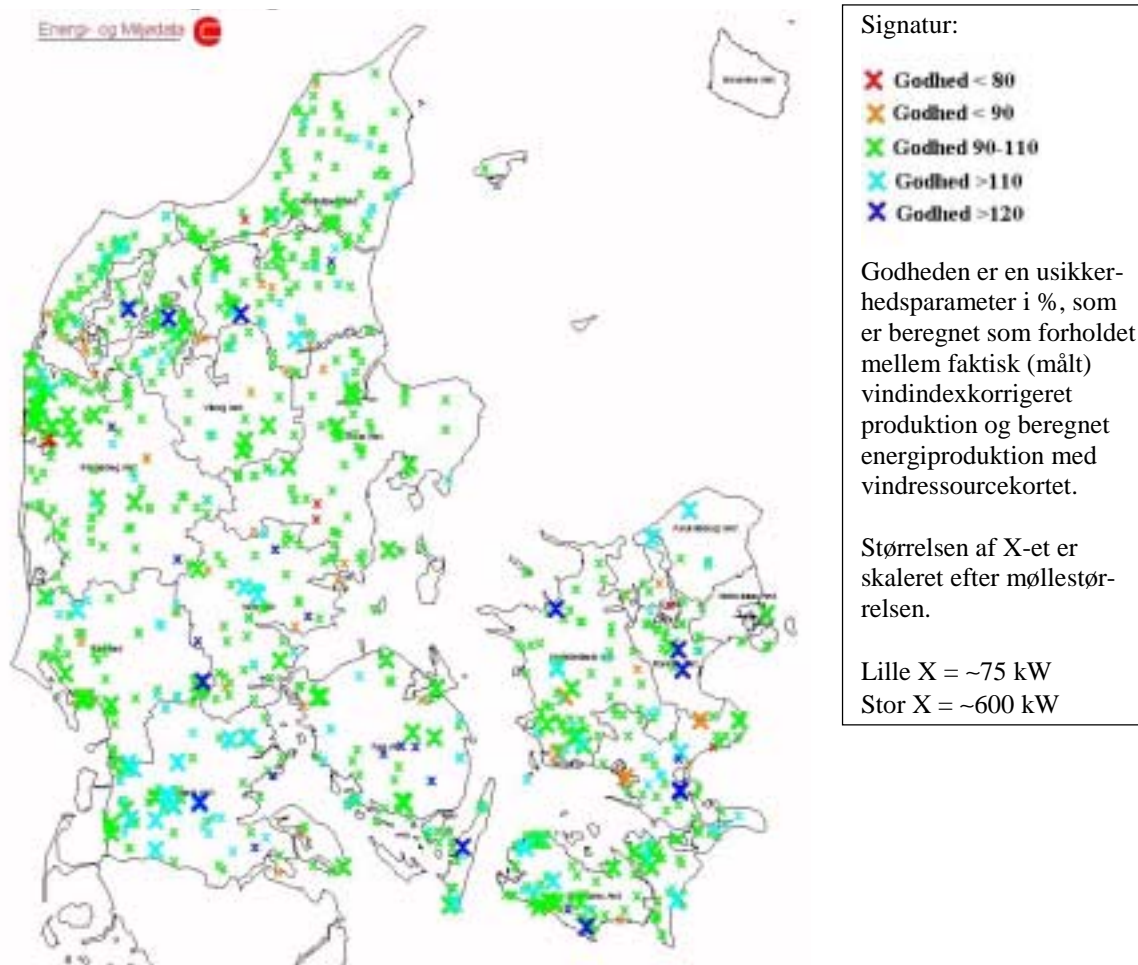
Der er udviklet ruhedskort på baggrund af Kort og Matrikelstyrelsens 2 cm kort (1:50.000) som er skannet i 6 lag og efterfølgende vektoriseret. Disse er omsat til ruhedskort - rekvirer projektets slutrapport [1] for detaljer herom. De elektroniske data er indlæst i forskellige lag, afhængigt af objekttypen:

1. Vand (store og små polygoner)
2. Skov (store og små polygoner)
3. By (store og små polygoner)
4. Trægrupper (punkter)
5. Læhegn (linier)
6. Fritliggende ejendomme - det sorte lag (polygoner)

Kort og Matrikelstyrelsens højdekurver for hver 5 m koter er anvendt. Lokale lægiver er ikke indregnet. Sidstnævnte begrænser primært anvendelsen til husstands møller.

*Verifikation*

Datagrundlaget er verificeret gennem kontrolberegninger ved mere end 1200 mølleplaceringer, hvor mere end 80% producerer indenfor +/-10% af det beregnede. På kortet, se Figur 5, er der vist en oversigt over de kontrolberegnete møller.



Figur 5: Verifikation af vindressourcekort med 1268 kontrolmøller.

## Begrænsninger og kommentarer

Kortet er vejledende, og beregnet til planlægningsformål. Det må absolut frarådes at basere investeringer i vindkraft alene på ressourcekortets resultater.

Placeringer på havet dækkes ikke af kortet - selv om man kan vise data for visse havområder. Der er en del fejl hvor ruhedskort er sat sammen udenfor landområderne: De nuværende versioner af de anvendte beregningsprogrammer håndterer ikke dette ruhedsskift konsistent, hvilket medfører beregningsfejl over vand.

Ved placering af vindmøller i skovområder eller andre områder med høj bevoksning eller bebyggelse: Her skal generelt påregnes at vindprofilet er 'hævet' det antal meter, svarende til bevoksningen/bebyggelsen er over terræn. Man kan med andre ord fratække 66%-100% af denne højde fra møllens navhøjde for at få retvisende resultat (afhængigt af skovens/bebyggelsens karakter).

Områder med megen fjord giver generelt for højt beregnede produktioner.

Lokal lægivereffekt er ikke medregnet i vindressourcekortet. Placering i nærheden (indenfor ca. 1000 m) af større lægivere (bygninger, skovområder og andet der har en højde, der overstiger navhøjde med mere end ca. 25%) vil give en reduktion i vindforholdene i forhold til vindressourcekortet . Dette har specielt stor betydning ved mindre navhøjder, specielt husstands vindmøller.

Tilsvarende kan placering i nærheden af f.eks. udgravninger og stejle skrænter give specielle effekter, der ikke tages højde for i beregningen.

Der er konstateret enkelte fejl i det højdekurvekort, der anvendes i beregningen. Hvor stort omfanget heraf er, vides ikke, men det er vort indtryk at omfanget er mindre. Man bør derfor påregne mulige fejl i bakkede områder.

## Udvikling af datagrundlag og program

Præsentationsprogrammet er programmeret af Michael Frederiksen med bistand fra Jens Villadsen og Jan Lauridsen, alle Energi- og Miljødata. GIS-implementering, rettelser til version 1.2 og dette skrift af Morten Lybech Thøgersen, EMD 2001.

Datagrundlaget er udviklet af Per Nielsen og Lars Bo Albinus, Energi- og Miljødata med bistand fra Risø (Lars Landberg og Niels Gylling Mortensen).

Vindressourcekort for Danmark er udført som projektarbejde af Risø og Energi- og Miljødata 1998/99, finansieret med støtte fra Energistyrelsen, UVE-ordningen, j.nr.: 51171/97-0002. Overførslen til GIS-format er udført i 2000/2001 med støtte fra Energistyrelsens UVE-ordning, j.nr. 51171/00-0004.

## Appendiks A Indhold i GIS-databasefilen

Databasefilen (\*.dbf) som gemmes sammen med shapefilen (\*.shp), indeholder data knyttet til hver polygon i shapefilen. I databasefilen er der gemt centerkoordinat for polygonen samt beskrivelse af vindklimaet i de valgte af 4 forskellige højder: 25, 45, 70 og 100 meter. Hvis der er valgt 'produktion', så tillægges databasefilen en ekstra kolonne. Et eksempel af en databasefilen er vist nedenfor, hvor alle navnhøjder er valgt:

Kolonne nr.	Betegnelse i databasefil	Enhed	Kommentar
1	UTM_Exx eller LATTITUDE	[m]	* UTM-koordinat (øst) for polygoncenter xx betegner UTM-zonenummer alternativ er breddegrad (hvis valgt)
2	UTM_Nxx eller LONGITUDE	[m]	* UTM-koordinat (nord) for polygoncenter xx betegner UTM-zonenummer alternativ er længdegrad (hvis valgt)
3	25WEIA	[m/s]	25 meters højde: Weibull A-parameter
4	25WEIK	-	25 meters højde: Weibull k-parameter
5	25MEANW	[m/s]	** 25 meters højde: Middelvindshastighed
6	25KWHYR	[kWh/(m <sup>2</sup> ·år)]	** 25 meters højde: Energiindholdet i vinden pr. m <sup>2</sup> pr. år
7	25W/M2	[W/m <sup>2</sup> ]	** 25 meters navnhøjde: Middel energiindhold i vinden pr. m <sup>2</sup>
8	45WEIA	[m/s]	45 meters højde: Weibull A-parameter
9	45WEIK	-	45 meters højde: Weibull k-parameter
10	45MEANW	[m/s]	** 45 meters højde: Middelvindshastighed
11	45KWHYR	[kWh/(m <sup>2</sup> ·år)]	** 45 meters højde: Energiindholdet i vinden pr. m <sup>2</sup> pr. år
12	45W/M2	[W/m <sup>2</sup> ]	** 45 meters navnhøjde: Middel energiindhold i vinden pr. m <sup>2</sup>
13	70WEIA	[m/s]	70 meters højde: Weibull A-parameter
14	70WEIK	-	70 meters højde: Weibull k-parameter
15	70MEANW	[m/s]	** 70 meters højde: Middelvindshastighed
16	70KWHYR	[kWh/(m <sup>2</sup> ·år)]	** 70 meters højde: Energiindholdet i vinden pr. m <sup>2</sup> pr. år
17	70W/M2	[W/m <sup>2</sup> ]	** 70 meters navnhøjde: Middel energiindhold i vinden pr. m <sup>2</sup>
18	100WEIA	[m/s]	100 meters højde: Weibull A-parameter
19	100WEIK	-	100 meters højde: Weibull k-parameter
20	100MEANW	[m/s]	** 100 meters højde: Middelvindshastighed
21	100KWHYR	[kWh/(m <sup>2</sup> ·år)]	** 100 meters højde: Energiindholdet i vinden pr. m <sup>2</sup> pr. år
22	100W/M	[W/m <sup>2</sup> ]	** 100 meters navnhøjde: Middel energiindhold i vinden pr. m <sup>2</sup>
23	UTM_ZONE	-	UTM zone for placeringen
24	PRODUKTI	[MWh/år]	*** Brugerdefineret

Tabel 1: Indhold i databasefil (\*.dbf).

\* ) UTM koordinater er zone 32 med undtagelse af Bornholm der er i UTM zone 33.

\*\* ) Parametrene er landsdelskorrigeret, se side 6.

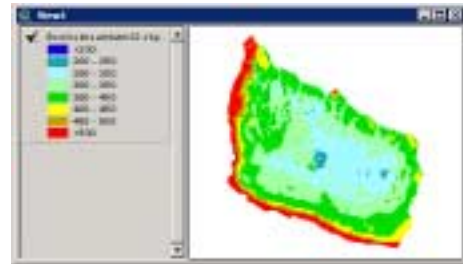
\*\*\* ) Option: Hvis der er beregnet andre data med CD-rom programmet vil denne kolonne blive benyttet. Dette kan f.eks. være energiproduktion for en bestemt størrelse mølle. Således inkluderes denne kolonne alene hvis der er valgt at beregne produktion fra en specifik møllestørrelse.

## Appendiks B Reduktion af information ved ændring til større polygoner

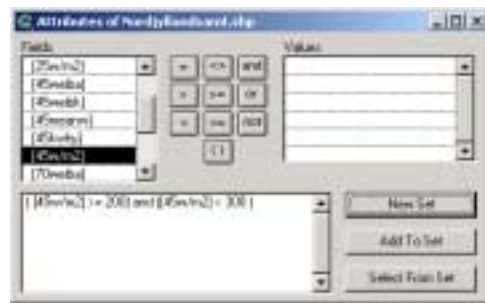
I det efterfølgende beskrives kort en fremgangsmåde, der er anvendelig, hvis det er påkrævet at ændre informationen fra de gemte 200x200 m<sup>2</sup> rastergis til et net med større polygoner og ensartede egenskaber (f.eks. større intervaller for vindressourcen). Den beskrevne fremgangsmåde er gældende for ArcView GIS 3.2a. Der henvises iøvrigt til ArcView manualen [6].

1. Indlæs en shapefil med tilhørende data (f.eks. BornholmsAmt.shp)  
(Kommandoer: File → New Project. New → View → Add Theme)


2. Vælg evt. en passende graduering til at vise de ønskede informationer.  
(Kommandoer: Theme → Edit Legend → sæt Legend Type = Graduated Color og Classification field = databasefelt efter Tabel 1, (her: 45W/M2)). Resultatet ses nedenfor.

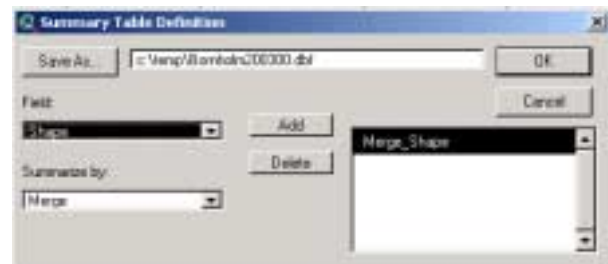


3. Vælg hvilket interval som der sammensatte polygon skal beregnes for ved at vælge de kvadrater der har passende egenskaber (her mellem 200 og 300 W/m<sup>2</sup>)  
(Kommandoer: Theme → Query → Indtast kriterium → New Set)

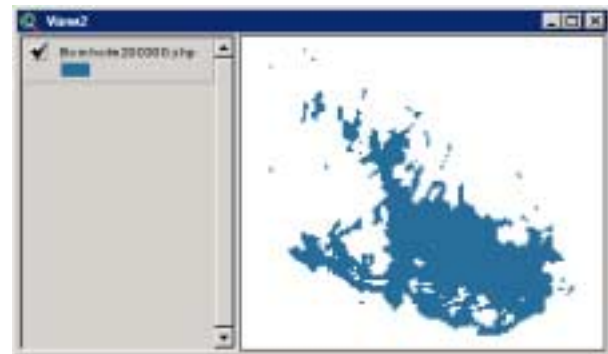


4. Vælg databasevinduet (attribute table). Marker den kolonne, hvor egenskaberne er ens – brug [UTM\_ZONE]. (Kommandoer: Theme → Table → Marker på kolonneoverskrift [UTM\_ZONE].

5. Tryk på summationstegnet  og indføj samme information som angivet i boksen her til højre. Husk at angive et beskrivende filnavn. Tilføj evt også et felt med gennemsnitlig energiindhold.



6. Tilføj filen som nyt view i ArcView. Energiindholdet er nu mellem 200 og 300 W/m<sup>2</sup> og polygonerne er samlet.



7. Hvis andre intervaller ønskes, gentag blot pkt. (3) til (6).

## Vejledning i anvendelse af programmet Resource\_Mapper ver. 1.2

### *Installation*

Programmet installeres på harddisken ved at køre installationsprogrammet *setup.exe* og derefter følge anvisningerne på skærmen. Installationsprogrammet åbner mulighed for, at ArcView shapefiler for de danske amter gemmes direkte på harddisken. Det er muligt at anvende Kort og Matrikelstyrelsens digitale kort i IT-format sammen med Resource\_Mapper. Har man modtaget programmet på CD-rom fra EMD findes også andet software på CD-en, som dog kræver licens for at anvende. Kontakt EMD herom.

### *Vælg først område*

Hele Danmark (noget tidskrævende), et amt eller en kommune eller en UTM-afgrænsning. Man kan bygge et ressourcekort op for fx. flere kommuner ved at vælge et område ad gangen.

### *Vælg herefter (nav)højde*

### *Vælg parameter*

Bemærk at  $W/m^2$  samt  $kWh/m^2/år$  er hvor meget energi, der i alt passerer gennem en kvadratmeter i valgt højde. En vindmølle udnytter ca. 1/3-del heraf. Vælges produktion, kan man selv specificere en mølletype: Generatoreffekt: fra 150 - 2000 kW, rotordiameter: fra 20 til 90 m, effektregulering: Stall eller Pitch, generatorprincip: Fast omdrejningstal (1 generator) eller Variabel (2 generatorer). Produktionen beregnes herefter via opslag i tabeller beregnet af Helge Petersen [7]. Han har undersøgt et stort antal effektkurver, og ud fra disse opstillet tabeller til beregning af energiproduktion, udelukkende baseret på ovennævnte parametre. Denne metode er ofte mere præcis end anvendelse af en målt effektkurve. For Pitchregulerede møller, er datagrundlaget så begrænset, at der ikke vil være forskel på 1 og 2 generatordrift. Man kan kun vælge møllekonstruktioner indenfor de områder, tabellerne skønnes at dække, dvs. fra ca. 0.30 til 0.60  $kW/m^2$  rotorareal. Antal farver samt start og slutværdi for de intervaller, man ønsker at præsentere, kan vælges. En lille detalje: Man kan vælge at gøre laveste interval værdi blank - dette kan eksempelvis udnyttes til at tydeliggøre de områder, som er absolut uegnede grundet for ringe vindforhold.

### *Kort baggrund*

Man kan præsentere ressourceværdierne ovenpå et KMS-kort, hvis man har adgang til Kort og Matrikelstyrelsens CD-ROM kort. Kun det såkaldte IT-format understøttes (de 'røde' CD-ROM kort.)

### *Kort skala*

Ved KMS-baggrund kan man vælge en vilkårlig kortskala blandt dem, der findes på CD-ROM med kort. Ved "blank" baggrund, kan en Zoom faktor frit sættes. Her er blot tale om en relativ angivelse.

### *Beregning*

Når alle specifikationer, for hvad man vil se, er givet, klikkes på "Beregn". Når kortet er præsenteret, kan et nyt område vælges og beregnes med de samme parametre og afgrænsninger - eller baggrundskort kan nyvælges eller skaleres. Ønsker man derimod at ændre parametre eller intervalgrænser, skal man først slette det, der er tegnet.

### *Gem*

Man kan gemme som .BMP, .JPG og .BMI format. BMP er det mest "gængse" windowsformat og kan læses fra stort set alle Windows programmer. JPG er væsentlig bedre komprimeret og filerne fylder derfor kun en brøkdel af .BMP filerne. JPG kan i øvrigt med fordel anvendes, hvis filer skal læses fra fx. MAC computer eller sendes over internettet. BMI formatet kan direkte anvendes fra WindPRO vindmølleprojekteringssoftware fra Energi- og Miljødata. Man kan da anvende vindressourcekort som baggrund ved fx vindmølleplanlægning i en kommune eller ved energimæssig optimering af layout for et vindmølleområde. Man kan gemme enten det man ser på skærmen eller et antal skærmområder. BEMÆRK: ved flere skærmområder, startes i øverste venstre hjørne - dvs. man skal placere kortet, så det, der ses i øverste venstre hjørne er det man vil have som øverste venstre hjørne af den fil, man danner. Hvis man ikke har KMS-kort som baggrund, kan der være problemer med sammensætningen af delkortene.

*Eksport til GIS*

Tryk på denne knap eksporterer det valgte område til GIS-format (en shapefil, en indexfil og en tilhørende databasefil). Inden beregningen gennemføres vælges der koordinatsystem samt de navnhøjder der ønskes eksporteret. Det er ikke nødvendigt at have gennemført beregningen først. For en beskrivelse af de valgte eksporterede parametre, se Tabel 1. Hvis der er valgt produktion fra en specifik mølle, så inkluderes et ekstra felt i databasefilen. Her gemmes produktionsdata fra den specifikke mølle: enhed [MWh/år]. Bemærk venligst, at eksport til GIS af store områder, f.eks. amter, stiller store krav til den virtuelle hukommelse i computeren. PC-en bør have mindst 128 Mb ram.

*Lidt hjælp til beregning af et helt Danmarkskort*

Hvis du vil lave et helt Danmarkskort med en rimelig opløsning, bør du gøre følgende: Sæt PC skærmløsning til: 1280x 1024 pixel. Maksimer ressourcekort vindue. Vælg baggrundskort 1:500.000, Zoom 50% Sæt beregning i gang natten over. Test først på udvalgte kommuner, at du har de rigtige intervalværdier. Når beregning er klar:(næste morgen): Placer øverste venstre hjørne af KMS kort i øvre venstre skærmhjørne ved at skubbe kort. (tager noget tid pga. gentegning når der skubbes sørg for at trække helt fra det ene til det modstående hjørne i eet træk). Gem med 5 skærmbilleder nedad og 3 skærmbilleder hen ad så får du hele DK excl. Bornholm i een fil. Kør herefter Bornholm Amt alene. Evt i en zoom 100%. Gem kun eet skærmbillede med Bornholm så får du overskrifter og tegnforklaringer med. Tag de to filer ind i et billedbehandlingsprogram, f.eks. Paint Shop Pro. Klip tegnforklaring ud fra Bornholm, gem som fil, resize til 200%, klip og sæt ind på kort. Tag selve Bornholm og reducer til 50% (hvis du har kørt Bornholm i 100% tidligere) Klip Bornholm ud og sæt ind på DK kort.

## Referencer

---

- [1] Mortensen, N.G.; Rathmann, O.; Landberg, L.; Jensen, G. & Petersen, E.L.: *Wind Atlas Analysis of 26 Danish Stations (1987-96)*, Risø-R-1092(EN), ISBN: 87-550-2492-0 (p.t. ikke afsluttet)
- [2] *Internet hjemmeside for Informi GIS*, www.informi.dk. Se under Produkter / Informi Programmer.
- [3] *Internet hjemmeside for Environmental Systems Research Institute, Inc (Esri)*, <http://www.esri.com>.  
Anvend den seneste version af programmet, p.t. version 3.0.
- [4] Troen, Ib & Petersen, Erik Lundtang: *European Wind Atlas*, Risø National Laboratory, 1989, ISBN 87-550-1482-8.
- [5] Petersen, Erik Lundtang; Troen, Ib & Frandsen, Sten: *Vindatlas for Danmark*, Risø, August 1980, ISBN 87-550-0702-3.
- [6] Environmental Systems Research Institute: *ArcView GIS*, 1996 (Manual til version 3.2a).
- [7] Petersen, Helge: *Comparison of Wind Turbines Based on Power Curve Analysis*, Helge Petersen Consult, Dartup Associates Ltd, February 1998.



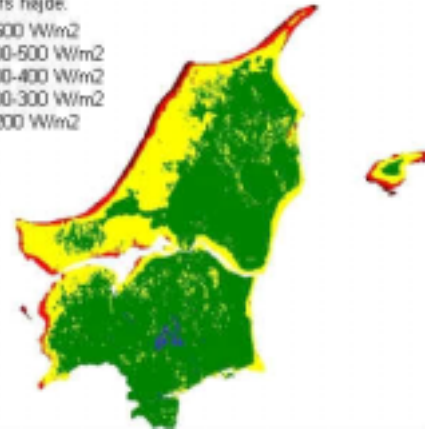
# Appendix B

## VindPLAN konferencebidrag EWEA 2003



Vindens energiindhold i  
45 meters højde.

- >500 W/m<sup>2</sup>
- 400-500 W/m<sup>2</sup>
- 300-400 W/m<sup>2</sup>
- 200-300 W/m<sup>2</sup>
- <200 W/m<sup>2</sup>





# Applying New Computer-Aided Tools for Wind Farm Planning and Environmental Impact Analysis

Morten Lybech Thøgersen\* (mt@emd.dk), Per Nielsen\*, & Mads. V. Sørensen\*  
Per Toppenberg\*\* & Erik Søb Christiansen\*\*\*,

\* Energi- og Miljødata (EMD), Niels Jernesvej 10, DK-9220 Aalborg, tel. (+45) 96354444, fax (+45) 96354446  
Nordjyllands Amt (County of Northern Jutland), Niels Bohrs Vej 30, DK-9220 Aalborg  
\*\*\* Nibe Kommune (Municipality of Nibe), Strandgade 1, DK-9240 Nibe

**Abstract:** The demand for an environmental impact analysis (environmental assessment study) in any major Danish wind farm project has initiated the development for a set of computer-aided tools for wind turbine planning purposes. This paper gives an introduction to the newly developed computer-aided tools integrated in the wind farm design and planning tool WindPRO. The new module WindPLAN includes three interrelated spatial planning models: a weighted visibility calculation model, a conflict check calculation and a wind resource weighted planning module. The application of the models is exemplified through a case study covering the municipality of Nibe – situated in the Northern Jutland, Denmark. The different analysis are heavily dependent on detailed GIS-data – showing objects such as local housing, leisure areas, preservation areas etc. Finally, a brief presentation of other valuable computer-aided tools integrated in the WindPRO/WindPLAN module is given, such as rendering of terrain profiles, user defined map composing and saved pollution calculation.

**Keywords:** Spatial planning, environmental impact analysis, GIS, environmental impact assessment, software

## 1. Introduction

When seeking new sites for wind farm development or preparing to redevelop existing wind farm areas, legislative requirements often demand detailed environmental impact assessments to be performed. Most of these analyses may be performed re-using data, such as roughness areas and height contours, already prepared for traditional wind energy analysis. However, the new analysis will benefit from the detailed land use data (in vector format) often available through geographic information systems (GIS), which is easily loaded into the working environment of WindPRO, see Figure 1.

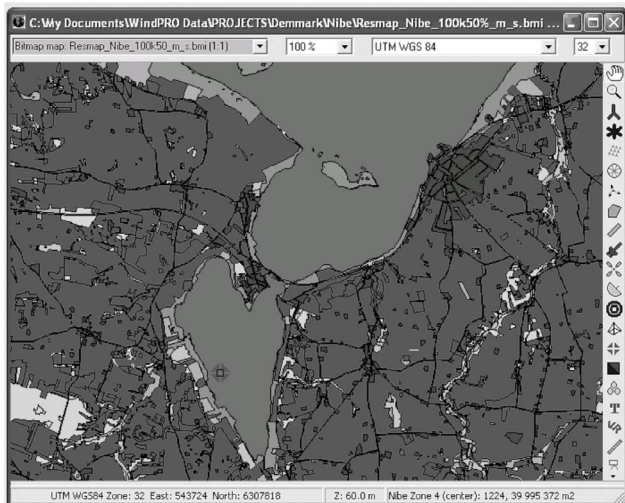


Figure 1: Part of the GIS data used for the Nibe case.

## 2. Case Study: the municipality of Nibe

The municipality of Nibe is situated in the Northern Jutland, Denmark. It covers an area of about 18,000 hectares, and the northern part has a large coastline along the inlet of Limfjorden. In Figure 2 the borders of the municipality are shown with a solid line.

According to the database WindSTAT of existing turbines [1], 66 turbines ranging from 99 to 750 kW are in operation in the municipality. These turbines include the wind farm of Nørrekær Enge II, with 42 Nordtank 300 kW turbines. The total rated effect is 37 MW.

## 3. Input Data

The traditional roughness, orography and turbine data have been supplemented with detailed digital vector map data with area classifications. In the current case study, we have used the free downloadable AIS data [2], where vector data information on roads, cities, preservation areas, lakes, churches etc. is found. The data has been loaded and grouped into different WindPRO layers. Each layer is containing information on distance criteria (see section 4). The same layers are used in the visibility analysis, but with other metadata applied, namely the height object and the population density (see section 3). The GIS data used for the current case study covers an area of 75 x 75 km including a total of some 120,000 individual polygons with metadata classification.

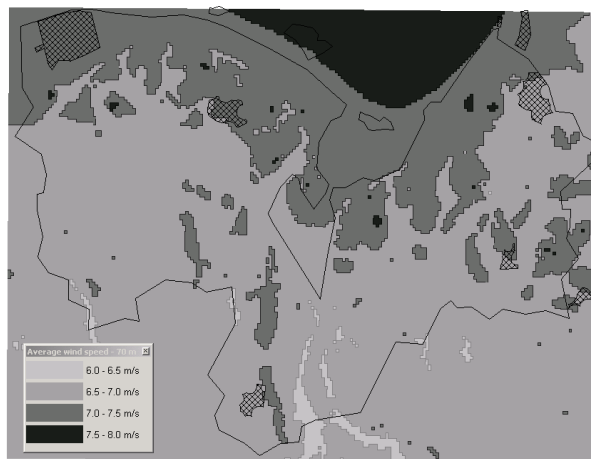


Figure 2: WTG-areas and the wind resource in Nibe.

According to the AIS database [2], five areas within the municipality were registered as available for potential wind farms, see hatched areas in Figure 2 ranging from 25 hectares to 305 hectares in size, covering a total of 590 hectares, i.e. approximately 3% of the total area.

The wind resource is calculated using WindPRO [3] in combination with the WASP model [4]. These calculations showed that the annual mean wind speed varies from 6.1 to 7.9 m/s, see Figure 2.

### 3. Weighted Visibility Analysis

The purpose of a weighted visibility analysis is to identify areas within a municipality, where turbines may be erected with the smallest possible visual impact. Thus, the weighted visibility analysis can identify areas where the erected turbines are not visible to the majority of the inhabitants, such as due to forests or hills hiding the turbines.

A weighted visibility analysis has some relationship to the zones of visual influence analysis (ZVI). The ZVI generates a map of the visibility impacts of specific turbines with fixed positions, whereas the weighted visibility analysis calculates a map in a grid, where it is calculated for each grid point how visible a WTG positioned at this grid point would be. The visibility is defined as the accumulated visible impact area of the turbine considered. The visibility analysis has the option of including two types of weights: A distance weight, so points from a specific distance,  $L_1$ , is given lower weight linear decreasing to a certain distance,  $L_2$ . Also, each area included in the calculation can have an area weight, typically dependent on the population density.

Input to the analysis is height contour lines, digitized areas with object heights (such as forests, cities) and finally areas with weight values applied (e.g. the number of inhabitants per unit area for the different area types). Also one must specify the object height (typically the total height of the WTG) and the height of the observer (approximately the eye-height like 1.5 meters above the ground).

The result from the weighted visibility calculation is shown in Figure 3, where the legend numbers illustrate the number of (weighted) inhabitants being able to see a WTG positioned at a given position. Also neighbour municipality data is included in the calculation. The analysis was – in this case - performed including surrounding areas within a zone of 40 km from the considered calculation point. An object with a height 75 meters was analysed in a grid size of 100-meter.

### 4. Conflict Check Analysis

The conflict check analysis processes information of required distance demands from the geographic objects to the turbines. These distance demands are found in various laws and possibly also in local requirements. The distance demands are often functions of the turbine properties

(such as total height or rotor diameter), the subject heights (such as the height of a forest) or the subject areas (such as the area of a lake).

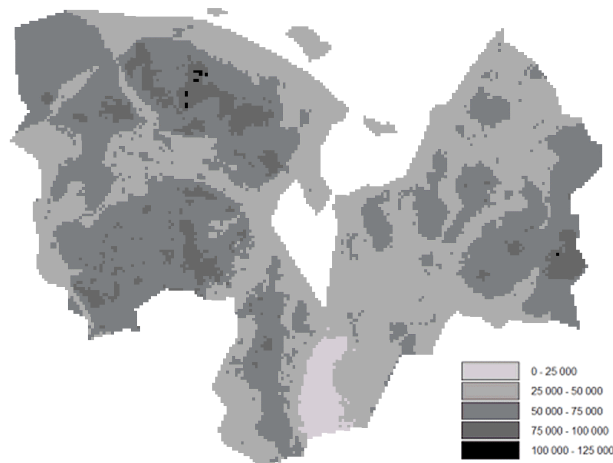


Figure 3: Results: weighted visibility calculation.

Furthermore, the requirement may be conditioned on certain properties, i.e. the requirement is valid if only a forest is larger than a certain size. The analysis may be performed analysing specific turbines (to test if existing or planned WTGs fulfil demands) or by selecting an area for production of a distance demand map. The area calculation is performed using fixed turbine parameters. Input to the analysis is typically turbine data and a digital vector map (GIS data). The distance demands can be evaluated divided into three groups:

*Demands:* Zones where all criteria must be met. Examples from the Danish regulations are from WTG to: Neighbour: Min. 4 x total WTG height, min. 300 m to forest if forest area is larger than 20 hectares, streams min. 150 m, the sea min. 300 m.

*Exempted:* Zones where exemptions may open for the WTG-development based on more detailed evaluations. Examples: 500 m to neighbours, 3,000 m to churches

*Recommended:* Zones where recommendations may apply. Examples: 100 m to railroads and roads, 5,000 m to civilian airports.

The three groups will appear in results together with the fourth showing:

*No restrictions:* Areas not evaluated, as within one of the above-mentioned three zones, are marked as having no restrictions.

An overview of the Danish legislative requirements can be found in the reference [5]. All these demands have been incorporated in the case study analysis.

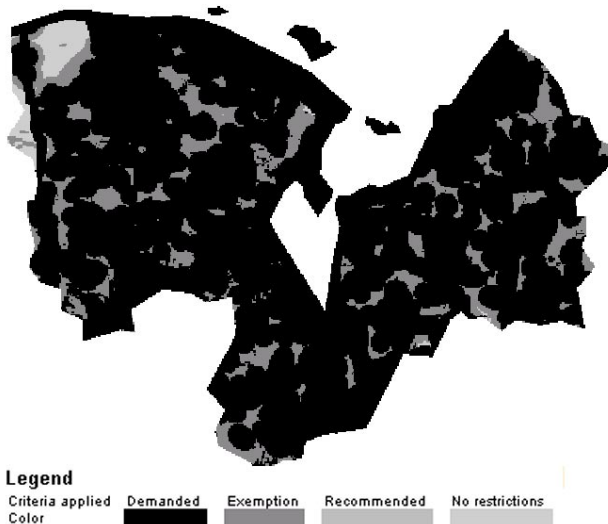


Figure 4: Conflict analysis map (750 kW turbine).

In the current case study, we have loaded the GIS data into layers containing 33 different area classifications. Turbine parameters were fixed at 750 kW power, rotor diameter 44 m, hub height 53 m and total height 75 m. These values correspond to the largest turbine within the municipality. Figure 4 shows the results from the conflict analysis. The map shows that the main area part of the municipality is not available for erecting turbines of this size. A succeeding sensitivity analysis showed that this is caused by the strict distance demands to the nearby neighbours. Only 1.8% of the municipality area has no current restrictions.

Demanded	86.6 %
Exempted	11.6 %
Recommended	0.0 %
No restrictions	1.8 %

The analysis on the 66 existing turbines within the municipality showed that only 29 turbines are situated in areas with no current restrictions. Again it showed that most turbines are subjected to restrictions due to nearby neighbours. However, if the neighbours are also the owners of the WTGs then, this is normally accepted.

## 5. Wind Resource Weighted Planning

The idea behind wind resource weighted planning is to weight the protection interest versus the available wind resource. Initially, the user must specify the protection interests and wind resource within a certain area. Then new polygons/areas with unique wind classifications and specific protection values are generated through a polygon dividing and merging algorithm. The new polygons are given properties according to a user defined decision table (see Table 1). The method was developed and successfully applied, when developing the wind plan for the Spanish region Castilla y León [6, 7]. A similar spatial planning procedure is reported from Irish region Cork [8]. Now the method is also implemented as an easy accessible computer-aided tool through the WindPRO software package.

As indicated above, the input to this method is classifications of landscape sensitivity. These data must be areas (polygons) assigned an integer protection value between 0 and 9. In the Nibe case, we choose to use objective measures for the landscape sensitivity, as we are adapting the results from the visibility analysis and the conflict analysis in order to identify the landscape sensitivity: very visible areas are given a high protection values (approximately 3-4) while less visible areas are given smaller values. Furthermore, the conflict check has identified areas that must be discarded. These are given the protection value 9, while the areas with fewer restrictions are given 4 (exemptible zones) and 1 recommended. Zones with no restrictions contain the value 0.

Prot. value	Wind resource interval [m/s]			
	6.0-6.5	6.5-7.0	7.0-7.5	7.5-8.0
0	Free	Free	Free	Free
1	Free	Free	Free	Free
2	Free	Free	Free	Free
3	Limited	Free	Free	Free
4	Limited	Limited	Limited	Free
5	Limited	Limited	Limited	Limited
6	Limited	Limited	Limited	Limited
7	Restricted	Restricted	Limited	Limited
8	Restricted	Restricted	Limited	Limited
9	Restricted	Restricted	Restricted	Restricted

Table 1: Decision table used in the weighted planning.

The wind resource weighted planning procedure, requires the specification of a decision table. This table specifies how a polygon with a certain annual mean wind speed and certain protection value should be classified. An example from the Nibe case study is shown in Table 1. This table shows three distinct area types (user defined), generated during the actual calculation: Areas with no limitations - classified as free, areas with limited possibility for WTG erection and finally restricted areas. Table 1 shows, that a wind resource 7.5-8.0 m/s allows turbine development in areas with protection values up to the value 4 (inclusive).

The derivation of the decision table is by no means an easy task, but may be a part of a political and/or iterative process. One political requirement may be the desire to have a certain amount of the area available for WTG-development within the municipality. However, the availability of a computer-aided tool enables the test of a relatively large number of configurations. Thus, the decision makers have the possibility to decide from the best possible background knowledge.

Figure 5 shows the final wind resource weighted wind plan for the case study of the municipality of Nibe. The map has been calculated using the restrictions shown in Figure 4 (conflict check), the visibility data as indicated in Figure 3 (but with a 10 km distance function and 200 m grid) and the wind resource as shown in Figure 2. Clearly the potential areas are removed when comparing it to the conflict calculation in Figure 4. Please note, that the WTG-area at Nørrekær enge is available (no restrictions) while the other ones are only available for limited development (exemption often required). The below table shows the distribution of the different areas is.

Restricted area	91.6 %
Limited	6.6 %
No restrictions	1.8 %

## 6. Other Computer-aided Tools Included in WindPlan

*Terrain profiles:* Some citizens may experience some conceptual difficulties when presented for certain sophisticated analysis results, most people, however, easily do understand the terrain profile drawings. Using the new computer-aided features; it is a matter of a few minutes to generate a terrain profile. The terrain profile is automatically generated from the orography and any turbines included are also rendered, see Figure 6. Here, the height is exaggerated (Denmark is a flat country). The terrain profile generation comes with the option of adding other 3D objects, photos of characteristic buildings (in the correct scale) onto the profile as well as user defined labels.

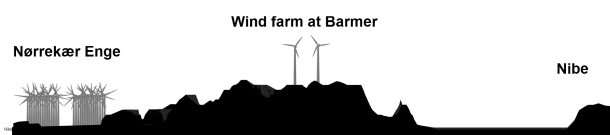


Figure 6: Terrain profile (Nørrekær Enge to Nibe City).

*Saved pollution and resources:* A model for calculating different types of environmental benefit from a wind farm has been implemented in WindPRO [3]. This model assumes a baseline scenario, i.e. the clean energy savings may vary in time as more advanced and possibly less pollution technology is incorporated into the conventional power plants. Any substance specified as amount per energy unit may be included in the study (such as grams CO<sub>2</sub> per kWh produced power or square kilometres of land use per MJ produced power). Also included is the option for including accumulated impacts from different



Figure 5: Results: Wind resource weighted planning.

substances, e.g. the CO<sub>2</sub> equivalent contribution from unburned methane and N<sub>2</sub>O. The WindPRO software includes a number of pre-defined scenarios; assuming that the wind power replaces conventional power, such as conventional Danish coal fired power plants [9] or other European power suppliers [10]. According to the WindSTAT database [1] the turbines in the municipality of Nibe are registered to produce approximately 36,800 MWh per year. One may assume that the wind power replaces a coal fired power plant or an average type of power, i.e. power generated through a mixture of plants fired using coal, gas, waste and bio-gas. Assuming a conventional coal fired power plant, the energy produced equivalents a CO<sub>2</sub> reduction of 31,280 tonnes annually or approximately 325.6 thousands of tonnes throughout an expected lifetime of 20 years. The actual report in WindPRO allows a detailed analysis of the saved emission through the different years.

*Map Composing:* The map composer is a new tool for generating highly customisable maps, including user defined legends, colour and symbol settings as well as specifying the dpi and colour code options (CMYK or RGB). The map composer tool delivers maps ready to print or ready to paste into text processing tools, like Word, Publisher or PageMaker. The tool eases the production of reports to be printed in a professional quality, like spatial planning reports that plays an important part of the political decision process.

## 7. Conclusion

A new set of computer-aided tools for environmental impact assessment and special planning purposes have been developed and implemented into the WindPRO software package. The tools are included in the WindPRO/WindPLAN module. The models have been successfully tested through a case study based on the municipality of Nibe, identifying strategic areas suitable for wind farm development. Furthermore, the case study has proved that the tools are very helpful and efficient when performing environmental impact analyses.

## Acknowledgement

Parts of the project were supported by the Danish Energy Agency and the European Commission.

---

## References

- [1] *WindSTAT database*, <http://www.windpro.com>, Energi- og miljødata, june 2003.
- [2] *The Danish Area Information System (AIS)*: <http://ais.dmu.dk>: Free GIS database within the framework of the Danish Ministry of the Environment, june 2003.
- [3] Nielsen, Per et al: *WindPRO: Software and Manual*, Energi- og Miljødata (EMD), june 2003, <http://www.windpro.com>.
- [4] Mortensen, N.G., Landberg, L., Troen, I. & Petersen, E.L.: *Wind Atlas Analysis and Application Program (WASP)*, Risø-I-666, Risø National Laboratory, July 1998.
- [5] *Vindmøller på land: Drejebog for VVM* (English: Wind turbines on land: Procedures for environmental impact analysis). (in Danish), Møller- og Grønborg A/S.
- [6] *Altener project WindPLAN*, completed 2000.
- [7] Junta de Castilla y León: *Plan Eólico de Castilla y León, Plan Provincial de Soria* (in Spanish), 1999.
- [8] Dwyer, Brian: *Analysis of Wind Potential & Spatial Planning Requirements for Wind Energy Development in Cork County - Ireland*, Cork County Energy Agency, available from <http://www.corkcoco.com>, june 2003.
- [9] ELTRA 2001: *Varedeklaration på el* (English: Informative labelling on electrical power), available from <http://www.eltra.dk>, june 2003.
- [10] *Wind Energy the Facts*: European Commission – Directorate-General for Energy, available from <http://www.ewea.org>, june 2003.

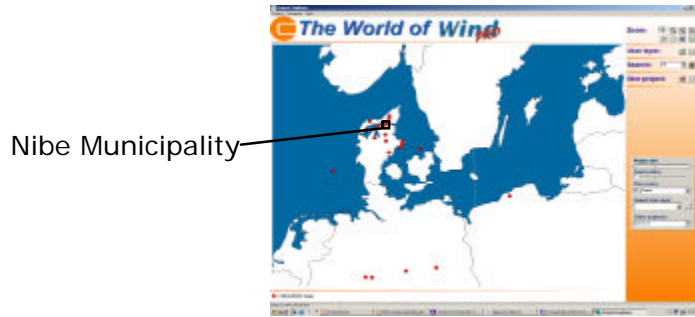


# Spatial Planning for WTGs using the WindPRO software

## Using the new WindPLAN module - case study: Municipality of Nibe

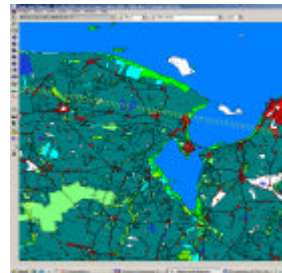
### Introduction

A new set of computer aided tools for WTG planning have been implemented in the WindPRO software package. The municipality of Nibe is used for a case study. Nibe is situated in the Northern Jutland, Denmark. It covers an area of about 18,000 hectares, and the northern part has a large coastline along the inlet of Limfjorden.



### Data Import

Data for the analysis is re-used from the traditional wind turbine (energy) calculations. The data is supplemented with imported detailed GIS-data.



### The Tools

The new module WindPLAN includes three interrelated spatial planning tools:

- 1) Weighted visibility calculation model
- 2) Conflict check calculation
- 3) Wind resource weighted planning

Also included are a tool for generating terrain profiles and an advanced 'map composer' for creating maps. The generated maps are easy to integrate in reports with the right resolutions and color schemes depending on print technology.



## 1. Weighted Visibility Model

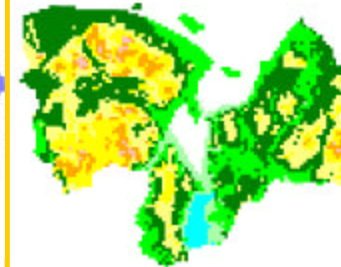
The purpose of a weighted visibility analysis is to identify areas within a municipality, where turbines may be erected with the smallest possible visual impact. Thus, the weighted visibility analysis can identify areas where the erected turbines are not visible to the majority of the inhabitants, such as due to forests or hills hiding the turbines. A weighted visibility analysis has some relationship to the zones of visual influence analysis (ZVI). The ZVI generates a map of the visibility impacts of specific turbines with fixed positions, whereas the weighted visibility analysis calculates a map in a grid, where it is calculated for each grid point how visible a WTG positioned at this grid point would be.

Weighted visibility of a 750 kW turbine - calculated using a 10 km distance of influence.

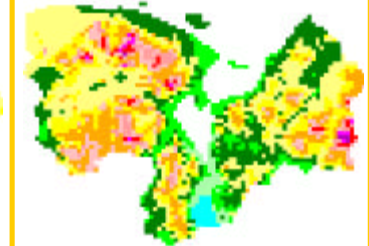


The number in the legend corresponds to the amount of inhabitants influenced.

Calculation setup as the map to the left, but including inhabitants (influence) within a 30 km radius.



Calculation setup as the map to the left, but including inhabitants (influence) within a 50 km radius.



### Legend



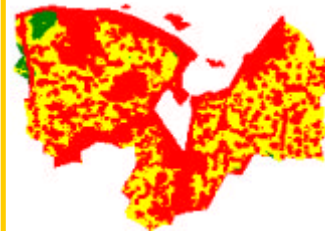




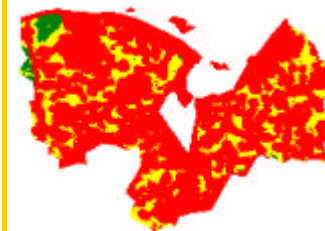
## 2. Conflict Check Calculation

The conflict check analysis processes information of required distance demands from the imported GIS data to the turbines. The distance demands are found in planning legislation and possibly also in local requirements. The distance demands are often functions of the turbine properties (such as total height or rotor diameter), the subject heights (such as the height of a forest) or the subject areas (such as the area of a lake). The requirement may therefore be conditioned on certain properties. The distance demands are evaluated in three different groups: demanded, exempted, recommended. Areas not evaluated as belonging to one of the three groups are marked as having no restrictions. Results to the right: The turbine size heavily influences the available areas. An analysis showed that the area sizes are dominated by requirements to the nearest neighbour (Denmark: 4 x total height).

Analysis considering a 99kW turbine with total height of 33 m

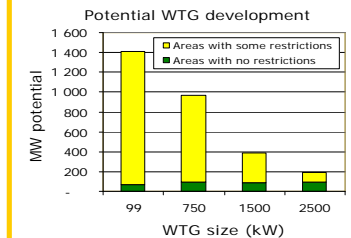


Analysis considering a 750kW turbine with total height of 62 m



The graph to the right illustrate how the potential WTG development in a Danish municipality with relative dense population heavily decrease with WTG size.

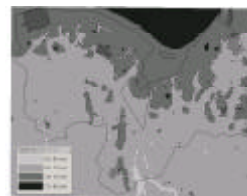
Analysis considering a 2500kW turbine with a total height of 120 m



## 3. Weighting the Wind Resource vs. the Protection Interests

The idea behind wind resource weighted planning is to weight the protection interest versus the available wind resource. Initially, the user must specify the protection interests and wind resource within the investigated area. Then resulting polygons/areas with unique wind classifications and specific protection values are generated through a polygon dividing and merging algorithm. The input data may be generated through a conflict check calculation, a weighted visibility calculation and a wind resource map calculation. The wind resource weighted planning procedure, requires specification of a decision table. This table specifies how a polygon with a certain annual mean wind speed and certain protection value should be classified.

Wind resource



Protection interests



Decision table

Prot. value	Wind resource interval (m/s)			
	6.0-6.5	6.5-7.0	7.0-7.5	7.5-8.0
0	Free	Free	Free	Free
1	Free	Free	Free	Free
2	Free	Free	Free	Free
3	Limited	Free	Free	Free
4	Limited	Limited	Limited	Free
5	Limited	Limited	Limited	Limited
6	Limited	Limited	Limited	Limited
7	Restricted	Restricted	Limited	Limited
8	Restricted	Restricted	Limited	Limited
9	Restricted	Restricted	Restricted	Limited

Calculation result

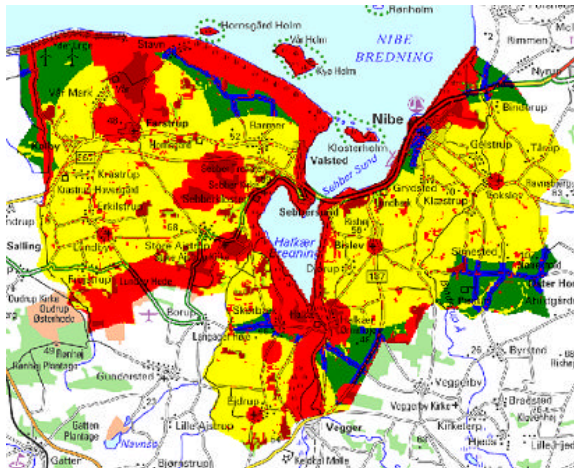


The results show where WTG development should be performed in order to achieve maximal energy production with minimum violation of protection interests.



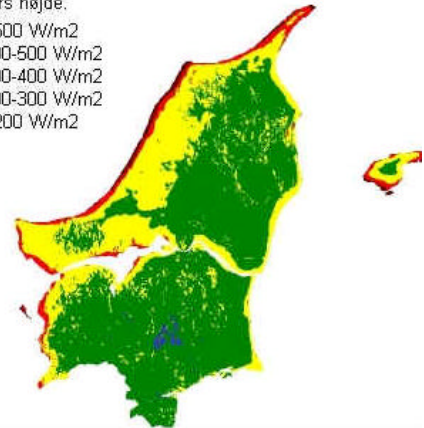
# Appendix C

Manuelsider / dokumentation  
WindPRO / WindPLAN modul



Vindens energiindhold i  
45 meters højde.

- >500 W/m<sup>2</sup>
- 400-500 W/m<sup>2</sup>
- 300-400 W/m<sup>2</sup>
- 200-300 W/m<sup>2</sup>
- <200 W/m<sup>2</sup>



Energi- og Miljødata (EMD), Niels Jernes Vej 10, 9220 Aalborg



# 7. WindPRO WindPLAN

<b>7.0 WindPLAN – Introduktion, skridtvis vejledning .....</b>	<b>444</b>
7.0.1 Introduktion til WindPLAN .....	444
7.0.2 WindPLAN skridtvis vejledning.....	445
<b>7.1. WindPLAN – Datagrundlag .....</b>	<b>447</b>
7.1.1 Objekter anvendt i WindPLAN.....	447
7.1.1.1 Arealobjektet – Definition af landskabstyper.....	448
7.1.1.2 Arealobjektet – Digitalisering af data .....	451
7.1.1.3 Arealobjektet – Import af data .....	452
7.1.2 Oversigt over data og beregninger.....	452
<b>7.2. WindPLAN - Konflikttjek.....</b>	<b>454</b>
7.2.1 Beregningsmetoder til konflikttjek.....	454
7.2.2 Eksempler på restriktion ved konflikttjek.....	456
7.2.3 Opsætning af beregning til konflikttjek.....	457
7.2.3.1 Data til beregning af konflikttjek.....	457
7.2.3.2 Beregningsopsætning - konflikttjek.....	458
7.2.4 Beregningsrapport - konflikttjek.....	461
7.2.4.1 Konflikttjek: Hovedresultat.....	461
7.2.4.2 Konflikttjek: Møllede taljer og arealkort.....	461
7.2.4.3 Konflikttjek: Resultat til fil.....	462
<b>7.3. WindPLAN - Synlighed .....</b>	<b>463</b>
7.3.1 Beregningsmetode til synlighedsberegning .....	463
7.3.2 Beregningsopsætning - synlighed .....	463
7.3.2.1 Datagrundlag - synlighed .....	463
7.3.2.2 Beregningsopsætning - synlighed .....	466
7.3.3 Beregningsrapport - synlighed .....	467
<b>7.4. WindPLAN - sammenvægtning af vindressourcen og restiktionererne .....</b>	<b>468</b>
7.4.1 Beregningsmetoder til sammenvægtet WindPLAN.....	468
7.4.2 Beregningsopsætning – sammenvægtet vindmølleplan .....	469
7.4.2.1 Sammenvægtet vindmølleplan - datagrundlag .....	469
7.4.2.1 WindPLAN – mølleområde indeholdende beslutningstabel.....	470
7.4.3 Beregningsrapport – sammenvægtet WindPLAN .....	471
7.4.3.1 Sammenvægtet WindPLAN: Hovedresultat .....	472
7.4.3.2 Sammenvægtet WindPLAN – detaljeret kort .....	472
<b>7.5. WindPLAN - Terrænprofil.....</b>	<b>473</b>
7.5.1 Anvendelse af terrænprofilet .....	473
<b>7.6 WindPLAN – Forureningsberegning .....</b>	<b>475</b>
7.6.1 Introduktion til forureningsberegning .....	475
7.6.2 Beregningsopsætning - forureningsberegning.....	475
7.6.2.1 Forureningsberegning – beregningsopsætning .....	476

7.6.2.2 Forureningsberegning - Grupperedigering .....	477
7.6.2.3 Forureningsberegning – Redigering af enkeltstoffer .....	478
7.6.3 Forureningsberegning - resultater .....	478
7.6.3.1 Emissionsreduktioner: Hovedresultat .....	478
7.6.3.2 Emissionsreduktioner: Detaljer og basisline for scenarier.....	479
7.6.3.3 Emissionsreduktioner: Detaljer om ressourceforbrug og emissioner .....	479
7.6.3.4 Emissionsreduktioner – Opsætning af enhedssystem .....	479
<b>7.7 WindPLAN – MapComposer .....</b>	<b>480</b>
7.7.1 Opstart af MapComposer.....	480
7.7.2 Udvælgelse af kortudsnit og DPI - indstilling .....	481
7.7.3 Opsætning af symboler i MapComposer .....	483
7.7.4 Signaturforklaring og andre indstillinger .....	483

## 7.0 WindPLAN – Introduktion, skridtvis vejledning

---

### 7.0.1 Introduktion til WindPLAN

Opførelse af vindmølleparker eller enkeltstående møller i nærheden af bebyggede områder eller naturbeskyttelsesområder har en kraftig indflydelse på det omkringliggende landskab. Til at lave hurtige og præcise analyser af de miljømæssige påvirkninger er der behov for avancerede metoder. Værktøjerne i WindPLAN er udviklet med det mål at være en støtte for vindmølleplanlægningen, der omfatter detaljerede analyser af miljøpåvirkningerne såvel som andre emner.

Planlægningen er basis for de politiske beslutninger, der træffes vedrørende udviklingen i en region. Den indeholder mange elementer såsom infrastruktur, urbanisering osv. Mølleplanlægning er gennem de senere år blevet en vigtig del af planlægningen i mange lande. Denne udvikling må forventes at fortsætte - specielt i forbindelse med at møllerne bliver større og større samt at det bliver vigtigt at sikre en balancerende "grøn" - energi samt beskyttelse af landskabelige værdier. Mølleplanlægning er specielt vigtig i forbindelse med den visuelle påvirkning af landskabet, men der er også mange andre betydningsfulde emner.

WindPLAN-modulet i WindPRO skal ses som en værktøjskasse, som kan hjælpe planlæggere med planlægningen på en måde, som det ikke er muligt med nogle andre GIS-værktøjer, da WindPLAN specielt fokuserer på emner, der skal behandles i forbindelse med vindmøller og vindmølleplanlægning.

Et eksempel er vindressourcen. Hvis planlægningen kun så på begrænsninger og restriktioner uden at inddrage den pågældende vindressource, kunne man frygte at planlægningen kun udlagde vindmølleområder i områder med lav vindressource, således at der slet ikke bliver opstillet møller. Alternativt kan man anskue det således, at man kan blive nødt til at opstille dobbelt så mange møller som egentlig er nødvendigt for opfyldelse af eventuelle krav til andelen af vedvarende energi, hvis vindressourcen ikke inddrages.

Et andet eksempel er at planlægningen skal tage møllernes størrelse med i betragtning. En møllestørrelse passer måske til én region mens en anden region er bedre tjent med en middelstørrelse vindmølle.

Med WindPLAN-værktøjerne er det muligt at få glæde af mange års erfaring med vindmølleplanlægning. Nordjyllands Amt, der er det amt med flest møller i Danmark i forhold til størrelsen, har været en nær samarbejds- og inspirationspartner i udviklingen af værktøjet, der allerede anvendes i det daglige arbejde. Den lokale planlægningsmyndighed – EREN – i den spanske region Castalia y Leon har også været en betydende samarbejdspartner, specielt gennem det Alternat-støttede projekt angående vindmølleplanlægning (2000).

## 7.0.2 WindPLAN skridtvis vejledning

Bemærk at denne vejledning ikke ligner andre WindPRO manualer. Da WindPLAN mere er en værktøjskasse end et enkelt programmodul er der mange veje til resultatet. Derfor er dette mere en liste over de muligheder der er, som kan være en hjælp til planlægningen, end en egentlig manual.

- ❑ **Opret data** til brug for planlægningen i arealobjekter. Data er eksempelvis restriktioner (miljø- og anvendelsesrestriktioner) og begrænsninger (tekniske afgrænsninger såsom veje, radiokæder osv.). Ofte kan Internettet være et godt sted at søge informationer – Natura 2000 indeholder data, der kan importeres direkte. Før at data indlæses kan man med fordel lave en definitionsfil (\*.lty) der indeholder beskrivelse og opdeling af den ønskede importfil.
- ❑ Opsætning af restriktionsværdier i arealobjektet med de importerede data. Beregn **konflikttjek** for at identificere de potentielle mølleområder – dette kan være en lang proces, hvor justeringer af såvel restriktionsværdier som de importerede data kan være nødvendig.
- ❑ Importer resultatet af konflikttjek-beregningen (\*.ear-fil) i et nyt arealobjekt og anvend dette som basis for placering af de potentielle vindmølleområder.
- ❑ Udfør eventuelt en **synlighedsberegning (Visibility)** – dette kræver dog tilknytning af højdekurver til et linieobjekt. Synlighedsberegningen kan inspirere til flere mulige restriktionsområder, der kan digitaliseres eller importeres i et arealobjekt.
- ❑ Hvis **vindressourcen** skal inddrages, er det nødvendigt at beregne et vindressourcekort (se kapitel 3). En anden mulighed er at digitalisere eller importere det i et arealobjekt.
- ❑ Angiv beskyttelsesværdier for de områder, der ønskes at indgå i beregningerne. Dette gøres i de respektive arealobjekter.
- ❑ Opret et mølleområdeobjekt hvori den **sammenvægtede vindmølleplan** kan inkluderes.
- ❑ Opsæt en beslutningstabel til vægtning af vindressourcen med de opstillede restriktioner og beregn. Dette kan være en lang proces i løbende dialog med politikere m.fl.
- ❑ **Forureningsberegningen** kan inddrages i processen, hvis reduktion af drivhusgasser m.m. er en del af det politiske mål.
- ❑ Når en regional vindressourcevægtet vindmølleplanlægning er foretaget kan man lave små justeringer og forbedringer hvis modellen skal anvendes på lokal skala. De interessante område kan analyseres mere indgående, hvilket kan udføres med det nye værktøj **terrænprofil** eller andre af de nye værktøjer. Specielt er visualiseringsværktøjer meget nyttige, når man skal vurdere de landskabelige effekter af en vindmøllepark.
- ❑ Kort af forskellige skala og størrelse, der kan indsætte direkte i rapporter m.m. kan laves med det nye værktøj – **MapComposer**. Der er mulighed for at ændre symboler, signaturforklaring, kortstørrelse, DPI, skala og farveopsætning, hvilket gør det nemt at lave et kortprodukt, der kan trykkes/udskrives i en høj og professionel kvalitet.

En anden måde at anskue vindmølleplanlægning er angivet i det følgende.

### Mulige skridt i opstilling af en regional vindmølleplan (WindPLAN)

- 1 Find eller antag restriktioner for vindmølleplanlægningen og regioner af relevans for projektet.  
Restriktionerne kan evt. opdele i krav, mulighed for dispensation og anbefalinger.
- 2 Opret på baggrund af ovenstående arealobjekter, der indeholde restriktioner m.m.
- 3 Opret relevante egenskaber/parametre for de angivne restriktioner.  
Beregn et "restriktionskort" – der oprettes automatisk en \*.ear-fil, der kan anvendes som input for fremtidige beregninger.
- 4 En synlighedsberegning kan foretages som et supplement til etableringen af interesseområderne. Relevante egenskaber for synlighedsberegning og ZVI skal oprettes i arealobjekterne.
- 5



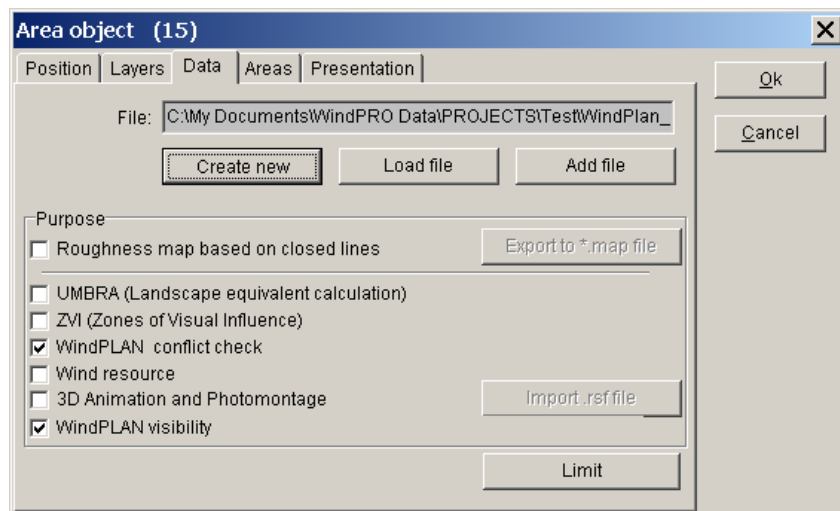
- Definer et arealobjekt, der indeholder beskyttelsesværdierne – data kan importeres direkte fra resultaterne af konfliktjek- og synlighedsberegningerne eller de kan digitaliseres manuelt ud fra politiske overvejelser.
- 6
- 7 Indsæt et vindressourcekort i et arealobjekt. Vindenergien skal opdeles i et antal intervaller. Lav en beslutningstabel til sammenvægtning af vindressourcen med beskyttelsesinteresser og beregn derefter "Vindplanen". Denne del er et naturligt sammenspil mellem offentlighed, teknikere og politikere.
- 8
- 9 Vurder potentialet i vindmølleplanen ud fra simple produktionsmæssige betragtninger.
- 1 El-nettets kapacitet og udgifter i forbindelse med nettilslutningen kan reducere en lokalitets potentiale – dette skal også tages i betragtning.
- 0 Endelig kan der foretages en finjustering af lokale områder, hvor der inddrages flere og mere præcise informationer om området (eksempelvis VVM, visualiseringer, produktionsberegninger osv.).
- 1

## 7.1. WindPLAN – Datagrundlag

### 7.1.1 Objekter anvendt i WindPLAN



Arealobjektet er centrum for alle beregninger i forbindelse med WindPLAN. Arealobjektet kan indeholde såvel arealer (polygoner) som linier og punkter.



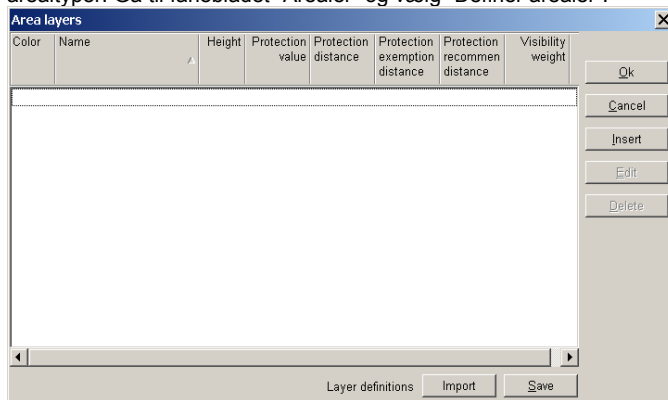
Først skal der oprettes et arealobjekt ved at vælge objektet i den højre værktøjsbjælke og indsætte det på kortet. Marker anvendelsesområde til de to WindPLAN-muligheder.



Møllearealobjektet er en speciel variant af arealobjektet, specialiseret til optimering og planlægningsformål (WindPLAN). møllearealobjektet kan dels anvendes til at definere beregningsområdet og dels til at definere beslutningstabellen til at lave den vindressource-vægtede vindmølleplan. Se flere detaljer om den sidstnævnte i afsnit 7.4.

### 7.1.1.1 Arealobjektet – Definition af landskabstyper

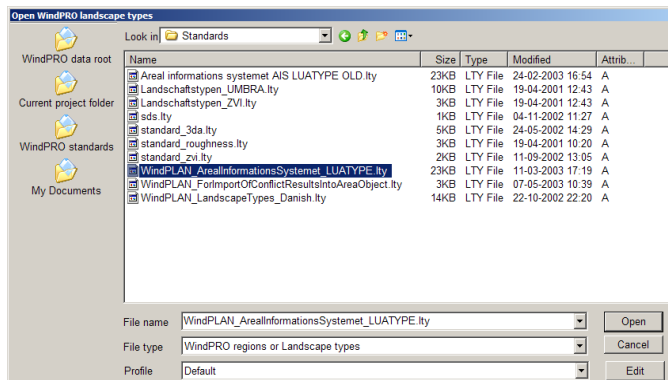
Før import eller digitalisering påbegyndes er der mulighed for at definere de nødvendige arealstyper. Gå til fanebladet "Arealer" og vælg "Definer arealer".



Afhængig af de tidligere valg og indstillinger vil der blive vist et antal kolonner.

Hvis der fra tidligere arbejde med arealobjektet i forbindelse med WindPLAN allerede er lavet en definitionsfil kan denne importeres direkte på dette sted - det vil lette arbejdet en del og spare tid. I mappen WindPRO Data\Standards er der et antal foruddefinerede landskabstyper (lty-filer).

Sammen med standardinstallationen af WindPRO 2.4 og senere versioner vil der komme flere specielle WindPLAN landskabstyper (Navngivet: WindPLAN\_ "navn".lty).



De tre ovenstående landskabstyper til WindPLAN har alle de specielle egenskaber der gør at de kan anvendes i forbindelse med WindPLAN og vindmølleplanlægning.

WindPLAN\_ArealInformationsSystemet\_LUATYPE.lty:

Dette er en definitionsfil til at indlæse GIS - data fra en dansk hjemmeside med GIS - data. På adressen <http://ais.dmu.dk> kan man uden beregning hente shape-filer (ESRI - programmerne), der indeholder detaljerede arealdata for hele Danmark. Indlæsning af disse data gøres nemt, hvis man forinden har indlæst ovenstående landskabstyper. Bemærk at GIS - data skal grupperes under databasefeltet "LUATYPE".

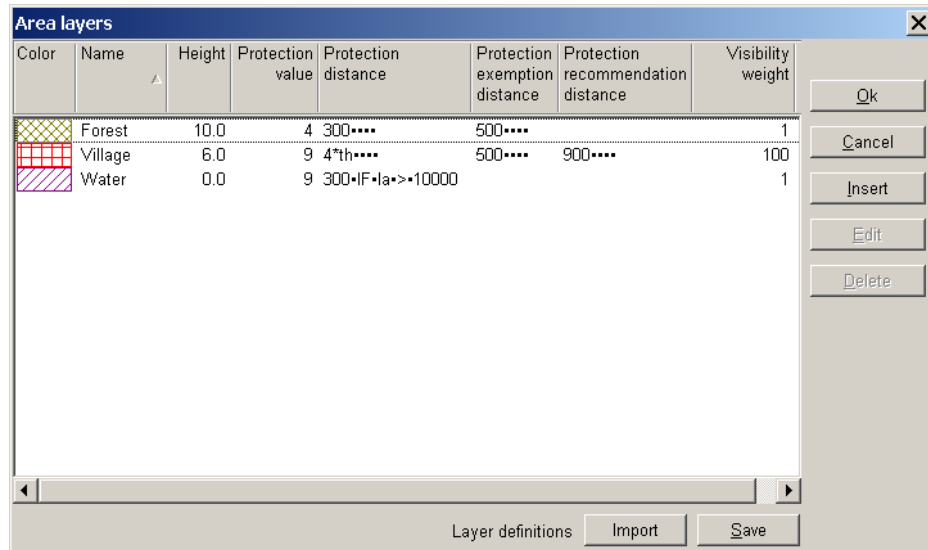
**WindPLAN\_LandscapeTypes\_Danish.lty:**

Dette er en definitionsfil (på dansk) der indeholder de afstandskriterier man normalt møder i forbindelse med planlægning og projektering af vindmøller i Danmark. Der er angivet 24 arealklassifikationer (f.eks. nabobebyggelse, lufthavne og beskyttet natur). Afstandskravene er fundet ud fra gældende dansk lovgivning. Navn på den pågældende lovtækt/bekendtgørelse kan for arealerne se i definitionsfilen. Med tiden vil der komme tilsvarende definitionsfiler for andre lande.

**WindPLAN\_ForImportOfConflictResultsIntoAreaObject.lty:**

Denne fil kan anvendes til import af konfliktjækberegningen i WindPLAN (se afsnit 7.2 og 7.2.3.3). Anvendes i forbindelse med sammenvægtning af vindressourcen med afstandskrav og restriktioner, hvor man ønsker at anvende beregningen af konfliktjæk som input til de pågældende beskyttelseszoner (se afsnit 7.4).

Nedenfor er vist et eksempel på hvordan man opretter/retter i en brugerdefineret landskabstypefil (lty-fil):



Dette eksempel omfatter kun Skov, Bebyggelse og Vandflader. Dobbeltklik på den arealtype, der ønskes redigeret eller vælg at indsætte/redigere data.

Der vil vise sig et antal faneblade svarende til de anvendelsesområder der er valgt for arealobjektet. Her er valgt WindPLAN - konfliktberegning.

De forskellige værdier er:

Beskyttelsesværdi: 0 – 9 (kan kun anvendes i forbindelse med beregning af sammenvægtet WindPLAN); se afsnit 7.4 for yderligere detaljer.

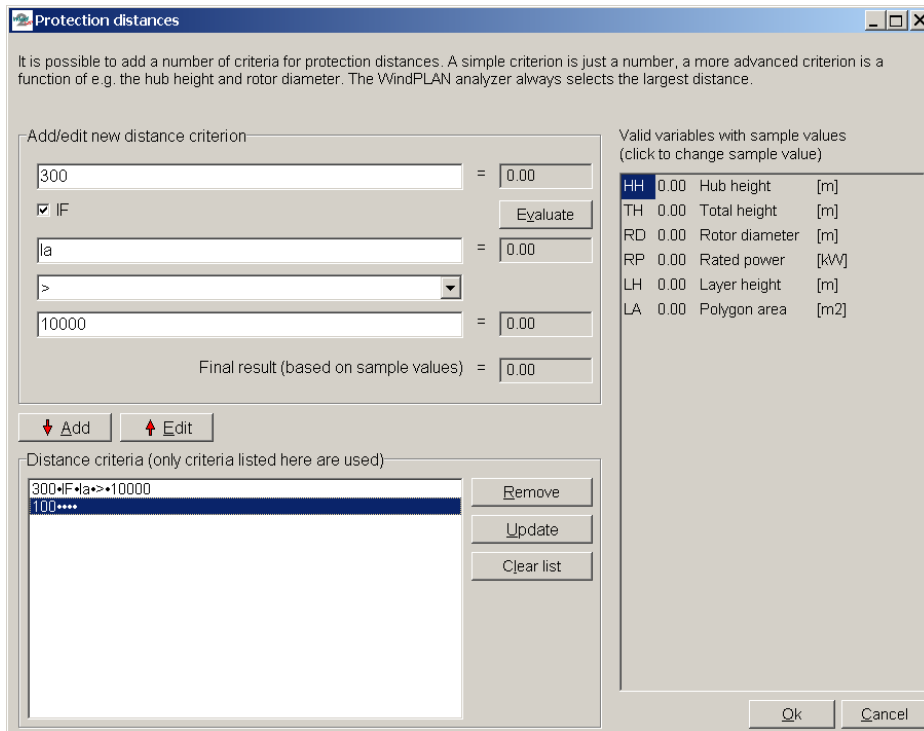
**Beskyttelsesafstande (tre forskellige):** Der kan både anvendes faste værdier og formler i disse felter. Flere værdier/formler kan indtastes for den samme beskyttelsesafstand.

**Krav** – Dette er egentlige krav, hvorfra der under ingen omstændigheder kan dispenseres.

**Mulighed for dispensation** – Beskyttelses afstande, hvor der i særlige tilfælde ville kunne gives dispensation.

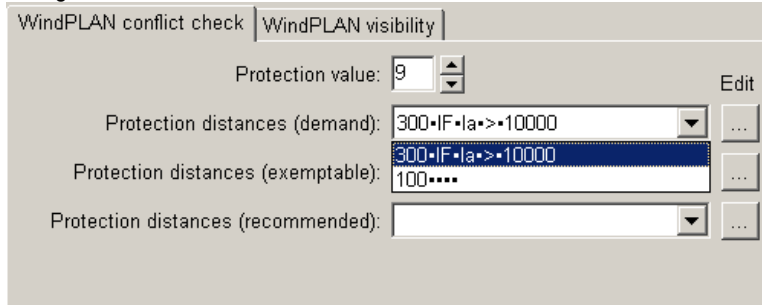
**Anbefalinger** – Dette er ikke egentlige lovgivningsmæssige forhold, men derimod nogle generelle retningslinier, som man plejer at skulle overholde.

Ved at trykke på "rediger" - knappen er der mulighed for at indsætte/redigere værdier og formler.



Et eksempel på hvordan et afstandskrav skal indtastes er givet i det følgende. I den øverste halvdel er der mulighed for at indtaste en specifik værdi (afstandskrav i meter). Simple beregningsudtryk for afstandskrav kan indtastes (der er kun mulighed for at anvende parametre angivet i tabellen til højre i vinduet). Der er også mulighed for at indsætte logiske betingelse, eksempelvis, at der kun opstår et afstandskrav, hvis en skov er over en vis størrelse.

Hvis man indsætter flere afstandskrav til den samme arealtype kan disse ses i det rullepanel, der er angivet ved de enkelt afstandskrav – se nedenstående:



### 7.1.1.2 Arealobjektet – Digitalisering af data

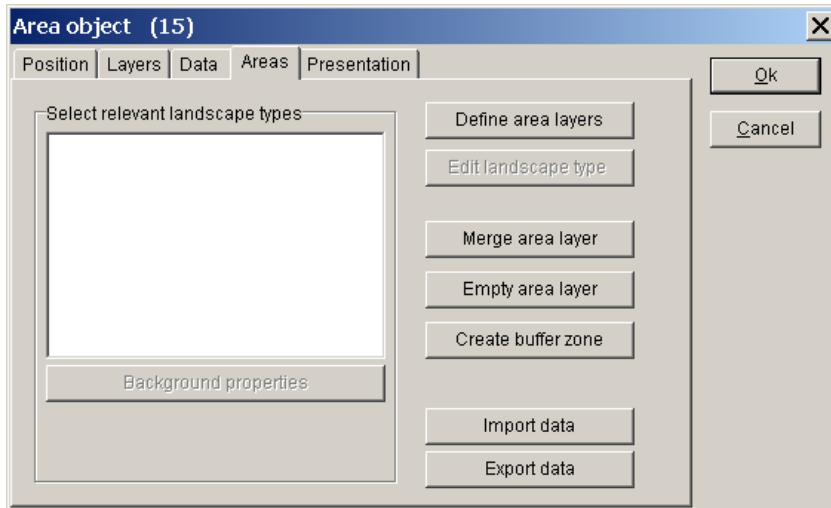
Digitalisering af arealer/data kan foretages manuelt på baggrund af skannede baggrundskort (se detaljer om fundamentale funktion for arealobjektet i Basis-kapitlet (kap. 2)).

### 7.1.1.3 Arealobjektet – Import af data

Mange af de data, som anvendes til planlægningen kan findes som GIS - data fra en offentlig myndighed (stat, amt eller kommune). Følgende formater kan importeres direkte i WindPRO:

.dxf – AutoDesk (AutoCAD eksport)  
.shp – shape-filer (ArcView eller ArcInfo)

Bemærk at shape-filer kan indeholde polygoner (arealer), linier og punkter. I forbindelse med import til arealobjektet konverteres alle elementer til arealer (polygoner). Punkter angives en radius og linier angives med en bredde.



### 7.1.2 Oversigt over data og beregninger

Omfanget af nødvendige data afhænger meget af hvilke beregninger der skal foretages og hvilke krav de offentlige myndigheder stiller. Et andet aspekt er forskellige krav i forskellige landskabstyper (regionale) og forskellige krav. Nedenfor er angivet en liste, der viser nogle af de typiske landskabstyper der skal medtages i en beregning af den viste type (vist med et x).

Landskabstype	Restriktioner	Betydning for ZVI	Synlighedsberegning	Beskyttelsesniveau (Sammenvægtet WindPLAN)
Bebyggede områder				Indenfor "Buffer-zone"
Byer	x	x	x	x
Bygninger i det åbne land	x		x	x
Sommerhuse	x		x	x
Camping og rekrea-	x			x

	ive områder					
	Veje, jernbaner, lufthavne og højspændingsledninger.	x		x		x
	Skove, læbeplantning og træer.	x	x			x
	Vandflader					x
	Åbent hav	x				
	Fjorde	x				
	Søer	x				
	Åer/floder	x				
	Kulturhistoriske steder (kirker m.m.)	x				x
	Naturbeskyttelsesområder	x			x	x
	Militære installationer	x				
	Kommunikationslinier	x				
	Specielle faunaområder (specielt migrations-ruter)	x			x	x
	Flora/Fauna	x			x	x
	Bjerge eller andre konstruktionsmæssige begrænsninger	x				
	Højdeforhold		x	x		
	Vindressourcekort				x	



## 7.2. WindPLAN - Konflikttjek

---

### 7.2.1 Beregningsmetoder til konflikttjek

I de fleste lande verden over er der angivet afstandskrav fra vindmøller til andre objekter (kultur, natur og teknik). Placering og udstrækning af disse er ofte tilgængelig på digital form som GIS - data. En anden mulighed er, at man manuelt digitaliserer de pågældende områder/objekter. Til anvendelse af disse data i forbindelse med vindmølleplanlægning/projektering er der udviklet følgende metode til at udføre konflikttjek med de pågældende objekter/arealer. Modellen identificerer de møller, der er i konflikt med gældende lovgivning som følge af primært deres placering, men også andre aspekter såsom møllestørrelse kan inddrages. De lovgivningsmæssige krav opdeles i tre grupper:

Krav,  
Mulighed for dispensation og  
Anbefalinger.

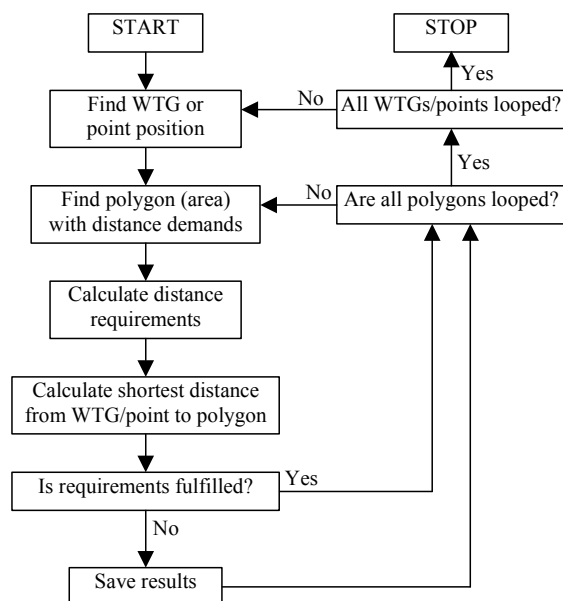
Afstandskrav kan enten indtastes som specifikke værdier eller som funktioner af møllernes dimensioner (navnhøjde, rotordiameter osv.) eller af arealernes egenskaber (specielt et områdes areal).

Som antydnet ovenfor er der mulighed for at lave to typer af konflikttjeberegninger:

Tjek på enkelte møller (eksisterende eller projekterede)  
Tjek på en hel region (beregnes i et prædefineret net). Regionen er defineret via mølleområder (formen kan digitaliseres eller importeres eller angives ved et "Shape"-objekt (rektangel)).

Beregningerne på enkelte møller foretages på de specifikke data/dimensioner for de inkluderede møller og der genereres en rapport, hvor alle overskridelse af de indtastede krav dokumenteres. Den regionale beregning foretages på en generel mølletype, som brugeren selv kan definere dimensionerne på.

Et overblik over beregningerne i forbindelse med WindPLAN-konflikttjek ses af nedenstående diagram:



## 7.2.2 Eksempler på restriktion ved konflikttjek

Restrictions for WTG planning in Denmark				
Chapter in EIA report *)	Type	Restrictions	Exemptable	Recommendations/remarks
2	Neighbors	4 x Total height	Only for WTG owner	
2	Neighbors		500	Visual influence has to be investigated
2	WTG dimensions			Maximum 10% difference in rotor diameter and hub height
3	Ancient grave yards	100		
3	Churches	300	3000	In some plans a specific analyze is required for WTGs within 3000 m
3	Other WTGs	Visual influence has to be investigated	2500	
5	Drinking water dwells		300	
5	§3 regions (nature)		0	
5	§4 regions (dikes)		0	
5	Shore		300	
5	Lake and river		150	Only if above certain size
5	Forest		300	only if > 20 ha
5	Designated area of outstanding natural beauty	0		
5	International nature preservation area	0	near field	
5	EU habitats directive	Are not allowed to reduce their standard of living	near field	
6	Air traffic	> 150 m total height	100-150 m Total height - detailed evaluation	
6	Airports		5000	Air traffic authority has to be asked
6	Air traffic authorities		Total height > 100m	Air traffic authority has to be asked (all distances)
6	Air traffic authorities		Total height > 150m	Must always be marked
6	Radio chains (communication lines)		300	Rule of thumb
6	Defense installations (Military)		12000	Military must be asked
6	High voltage lines			There are many different opinions in the different Municipalities
	High Way			As above
	Major roads			As above
	Minor roads			As above
	Rail ways			As above

Note: all distances in meter

\*) En vejledning i udarbejdelse af VVM - rapporter for vindmøller i Danmark kan findes på nedenstående internetadresse.

[http://www.ens.dk/graphics/ENS\\_Forsyning/Vindmoeller/DrejebogVVMvindmoeller140202.pdf](http://www.ens.dk/graphics/ENS_Forsyning/Vindmoeller/DrejebogVVMvindmoeller140202.pdf)

## 7.2.3 Opsætning af beregning til konflikttjek

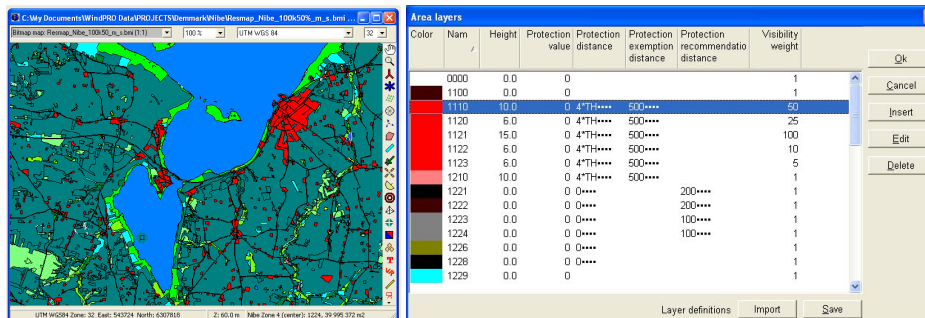
### 7.2.3.1 Data til beregning af konflikttjek

Omfanget og arten af data afhænger af hvilken af de to typer beregning, der skal foretages:

Tjek af enkelte møller kræver: Arealobjektdata og vindmøller.  
Tjek af arealer kræver: Arealobjektdata, Mølleområder (eller "Shape"-firkant).

#### Data til afstandskriterier: Arealobjektdata.

De geografiske data, der anvendes i beregningerne er lagret i et antal arealobjekter (dvs. afstandskrav og de tilhørende data vedr. polygoner/arealer). Hvert arealobjekt skal indeholde gyldige arealtypedefinitioner, som hver beskriver de forskellige typer af afstandskrav, der er for hvert lag i arealobjektet.



Som det ses af de to ovenstående figurer kan forskellige GIS - data importeres i det samme arealobjekt. Lagene (1110-1210), der vist med rød farve er bebyggede områder. For disse er der et afstandskrav i Danmark på 4 gange totalhøjden af møllerne. Dvs. modellen tillader ikke møller i en afstand af 4 gange totalhøjden eller nærmere fra hver areal markeret med rødt. Modellen antager desuden, at der heller ikke må være møller i det pågældende areal. Bebyggede områder har mulighed for dispensation for en afstand af 500 m. Der er ikke indsat anbefalede værdier for bebyggelse. Bemærk at der også er indtastet en højde for de forskellige lag i arealobjektet.

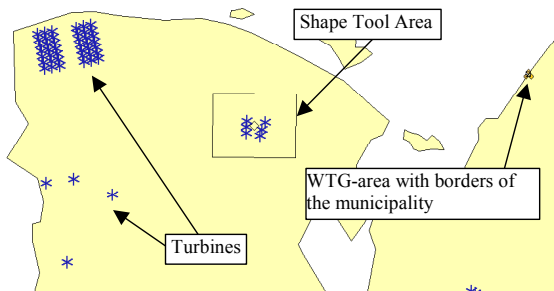
Bemærk at to oplysninger vedr. lagene kan anvendes i beregningerne: LA er det specifikke areal for en polygon i arealobjektet, LH er højden af det pågældende lag.

#### Objekter, der analyseres: Møller, mølleområder eller "Shape"-arealer.

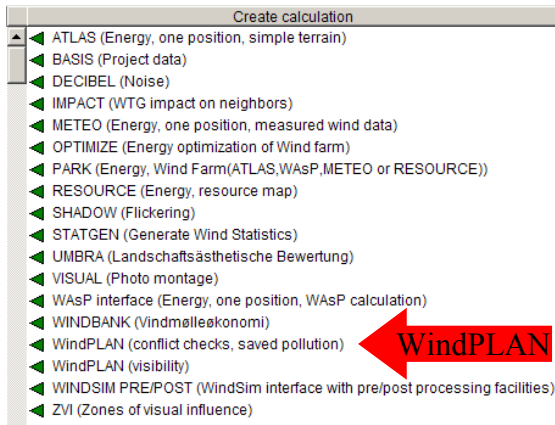
Forud for en konflikttjeberegning skal man oprette nedenstående:

- 1) Et antal eksisterende eller nye møller.
- 2) Et mølleområde (anvendes typisk til irregulære områder) eller
- 3) Et "Shape"-areal (en simpel firkant på kortet).

Hver beregning kan anvende mange enkelte møller men kun et mølleområde/møllefirkant. Hvis en beregning på flere mølleområder ønskes, kan der oprettes flere i samme mølleområdeobjekt.

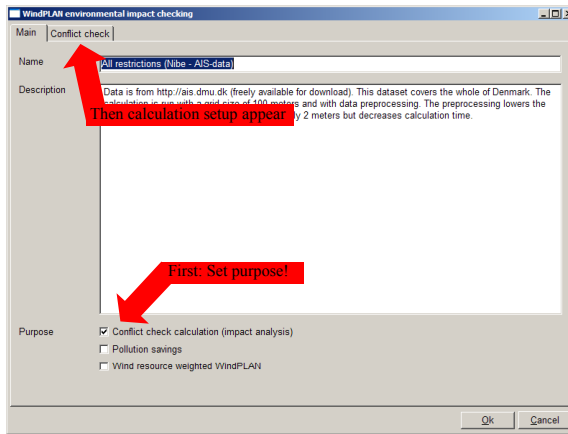


Efter at have færdiggjort de ønskede arealobjekter og valgt et eller flere objekter, som ønskes analyseret er man færdig til at lave den egentlige beregning. Åbn beregningsmenuen i WindPRO og tryk på den grønne pil ud WindPLAN – konflikttjek.

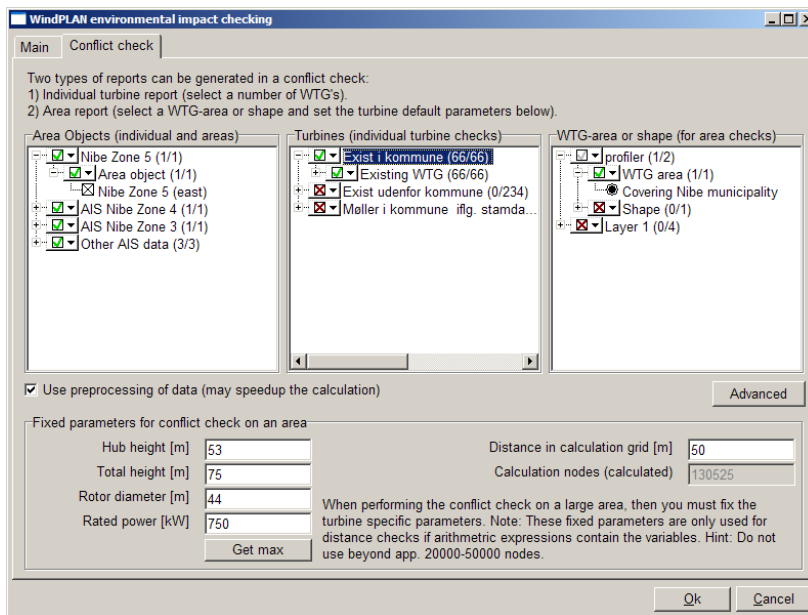


### 7.2.3.2 Beregningsopsætning - konflikttjek

Efter at have trykker på WindPLAN - konflikttjek vil beregningsvinduet komme frem. Beregningsvinduet består af et antal faneblade. Det første faneblad er næsten tomt – her er der mulighed for at brugeren kan indtaste en beskrivelse m.v. Vælg anvendelsesformål til "Konflikttjek". Der vil nu fremkomme et faneblad til det valgte formål.



I fanebladet vælges de data, som ønskes medtaget i beregninger.



**Arealobjekter (individuelle og arealer):** Denne del indeholder de arealobjekter, der omfatter geografisk information om beskyttelsesområder og de indtastede afstandskrav. Disse kan anvendes til både den møllespecifikke og den regionale beregning. Der er mulighed for at vælge en eller flere af de viste arealobjekter.

**Møller (kun tjek på specifikke møller):** Specifikke møller på kortet, som skal inkluderes i analysen (flere møller kan vælges).

**Mølleområde eller "Shape"-firkant (kun tjek på arealer):** Disse objekter kan vælges hvis der ønskes foretaget en regional beregning på baggrund af én mølletype, som brugeren specificerer selv. Bemærk at der kun kan vælges et objekt i denne rubrik.

**Anvende præprocessering af data:** Muliggør anvendelse af præprocessering af data, der kan øge hastigheden på beregningerne. Anvendes specielt, hvis data er importeret fra GIS - data. Præprocesseringen reducerer antallet af punkter i en beregning, idet at punkter med en indbyrdes afstand på mindre end 2 meter opfattes som linier i stedet.

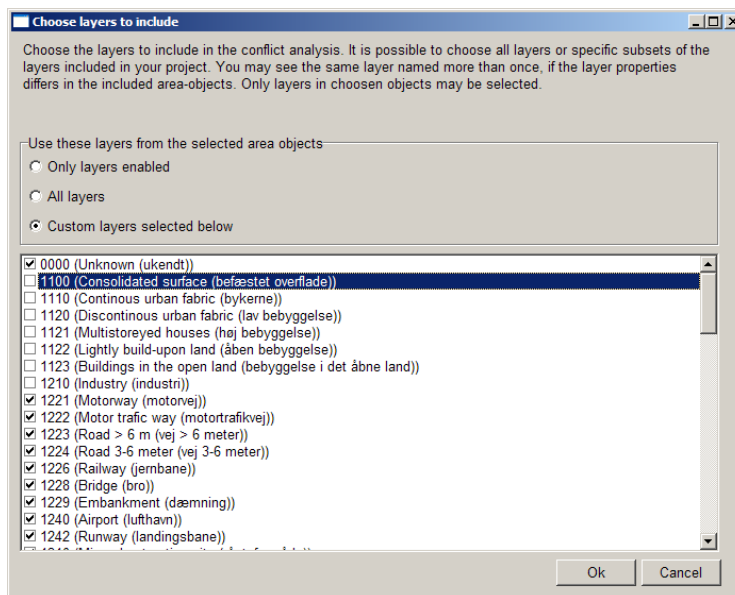
**Parametre til areal-konflikttjek:** Denne boks er kun redigerbar, hvis der udføres en regional beregning på baggrund af en brugerspecificeret mølletype. Parametre i dette felt vil blive anvendt i alle beregning på mølleområder eller "Shape"-firkanter.

**Navnhøjde, totalhøjde, rotordiameter, effekt:** Parametre til anvendelse i forbindelse med konflikttjek på arealer. Alle parametre beskriver den mølletyper, der anvendes i arealberegningerne.

**Skridtstørrelse til beregning:** Dette er afstanden mellem de enkelte beregningspunkter i en regional konflikttjekberegning. Efter at have indtastet den ønskede skridtlængde vil det samlede antal beregningspunkter fremkomme i feltet umiddelbart nedenfor. Bemærk at beregningstiden er direkte afhængig af antallet af beregningspunkter og af antallet af polygoner i de anvendte arealobjekter. Til orienterende beregninger anbefales et ret groft net (dvs. en stor skridtlængde) – normalt vil 1000 beregningspunkter være passende. I senere detailundersøgelser kan skridtlængden mindskes og derved øges modellens opløsningsgrad.

**Anvend maksimal værdi:** Ved at trykke på den knap gennemlæser programmet alle de valgte mølletyper og finder maksimalværdier – disse indsættes automatisk på de pågældende pladser i de ovenstående felter.

**Avanceret:** Åbner et nyt vindue, hvor brugeren får mulighed for at vælge enkelte lag i de specifikke arealobjekter til og fra. Standardindstillingen er at alle lag er valgt. Hvis flere arealobjekter er valgt vil ens lag i de forskellige objekter samles til et menupunkt under avanceret. Derved er der en nem mulighed for at fravælge en bestemt landskabstype på én gang. Anvendelsen af denne egenskab er specielt af nytte, hvis man anvender GIS - data i forskellige arealobjekter med samme lagstruktur. I forbindelse med følsomhedsanalyser er denne mulighed også en god hjælp, da man skal lave mange ens beregninger.



## 7.2.4 Beregningsrapport - konflikttjek

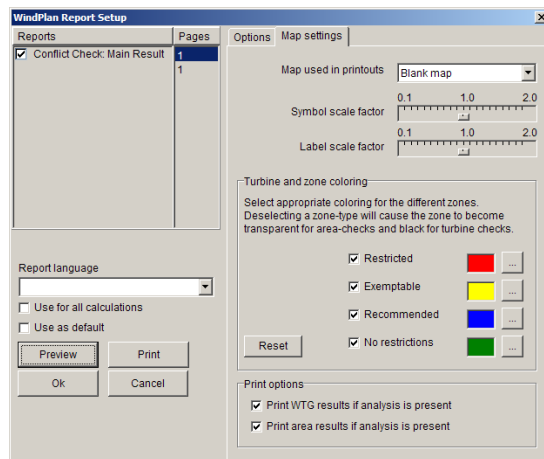
Når beregningen er færdig er man i stand til udskrive resultatet af konflikttjek-beregningen. Nedenfor er vist de fire rapporter, som genereres ved beregningen. Antal og udseende af rapporterne vil variere afhængig af, om der er lavet beregninger på specifikke møller, møllerområder eller begge.

WindPLAN: Preservation areas - wildlife, culture (Nibe - AIS-data)		
Conflict Check: Main Result	1p	
Conflict Check: Detailed WTG Map	1p	
Conflict Check: Detailed Area Map	1p	
Conflict Check: Data to file	1p	

Beskrivelse af rapporterne og deres indhold fremgår af følgende:

### 7.2.4.1 Konflikttjek: Hovedresultat

Indeholder detaljerede resultater og kort med møller/mølleområde for konflikttjekberegningen. Indeholder også en detaljeret rapport om de valgte møller samt information om alle de krav, der ikke kan overholdes med de angivne restriktioner og indstillinger.



Der er flere muligheder for at lave en brugerdefineret opsætning af rapporten – mulighederne er vist ovenfor. Under "Kort anvendt til udskrift" er der mulighed for at vælge mellem alle de kort, som er tilknyttet det pågældende WindPRO - projekt. Der er også mulighed for at indstille størrelsen af mølleobjekterne samt den etikette, der indsættes på de enkelte objekter i udskriften. Endvidere kan man fra- og tilvælge arealer, der skal medtages i udskriften. Et eksempel kunne være, at man kun vil vise områder, hvor der ikke er nogle problemer i at stille møller op. Bemærk at vis man fravælger områder, der er beregnet til at kravene ikke kan overholdes kan disse godt blive markeret som områder med mulig dispensation i udskriften. Desuden er der mulighed for at til- og fravælge hhv. møller- og arealresultater i rapporten: Hovedresultater.

### 7.2.4.2 Konflikttjek: Mølledetaljer og arealkort



Helsides kort, der viser enten møller eller arealer. Opsætningsegenskaberne er næsten identiske med muligheder ved "Hovedresultat".

### 7.2.4.3 Konflikttjek: Resultat til fil

Denne skriver en tekstfil med resultaterne af konflikttjeberegningen. Hvis der er beregnet på et mølleområde vil der også genereres en resultatlagsfil (\*.ear), der kan indlæses i et resultatlagsobjekt eller i et arealobjekt, hvor den kan anvendes til videre beregninger i forbindelse med WindPLAN. Indtast et filnavn i rapportopsætningen (højreklik på rapportnavn før udskrift vælges).

Når \*.ear-filen skal importeres til et arealobjekt skal følgende intervaller anvendes:

Udenfor beregningsområde	∈ ]∞; 2[
Ingen begrænsninger	∈ [2; 4[
Anbefalinger overholdes	∈ [4; 8[
Dispensationskrav overholdes	∈ [8; 16[
Restriktionsområder – ingen udbygning	∈ [16; ∞[

## 7.3. WindPLAN - Synlighed

---

### 7.3.1 Beregningsmetode til synlighedsberegning

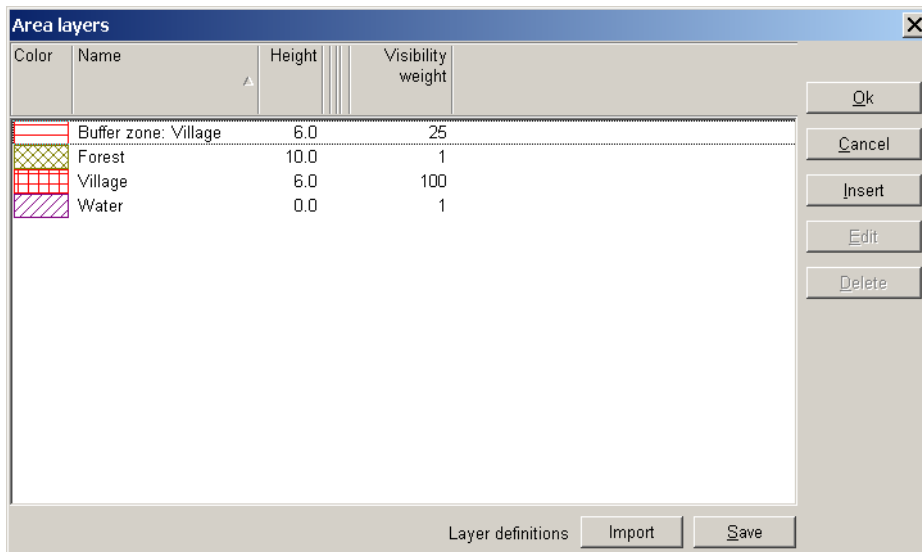
Et af de største problemer med moderne møller er deres synlighed. Størrelsen på en moderne vindmølle er i området 40 – 100 m (navhøjde) og derfor er der mulighed for at de kan ses selv på meget lange afstande. I bjergrige egne kan denne synlighed dog spille en mindre rolle idet møllerne skjules bag en bakke/bjerg. Med WindPLAN - synlighedsberegningen er der mulighed for at beregne en mølles synlighed i ethvert punkt indenfor ens projektområde. Dette kan anvendes til mange formål, der ikke kun behøver at omfatter vindmøller – andre objekter kunne være siloer, skorstene, elmaster osv. I beregningen kan man tildele forskellige områder nogle vægtningsgrader således at beregningen kan anvendes til at vise, hvor mange mennesker, der kan se møllen/møllerne – det gøres ved at indsætte befolkningstætheden som vægt. En anden mulighed er at afstandsvægte synligheden. Er man langt væk fra møllerne kan man måske lige ane dem, men i det generelle billede forsvinder de. Beregningsmetoden er den samme som ved ZVI - beregningen (se kapitel 4). Grundlæggende udføres der en ZVI - beregning i hvert eneste punkt i det net man har defineret. Der forestilles en mølle sat i hvert beregningspunkt og der laves en ZVI - beregning i samtlige andre punkter – antallet af beregningspunkter, hvor møllen kan ses vægtes med den pågældende afstands- og tæthedsvægt og den samlede synlighedsværdi beregnes. Metoden kan på mange måder anses som en omvendt ZVI - beregning.

---

### 7.3.2 Beregningsopsætning - synlighed

#### 7.3.2.1 Datagrundlag - synlighed

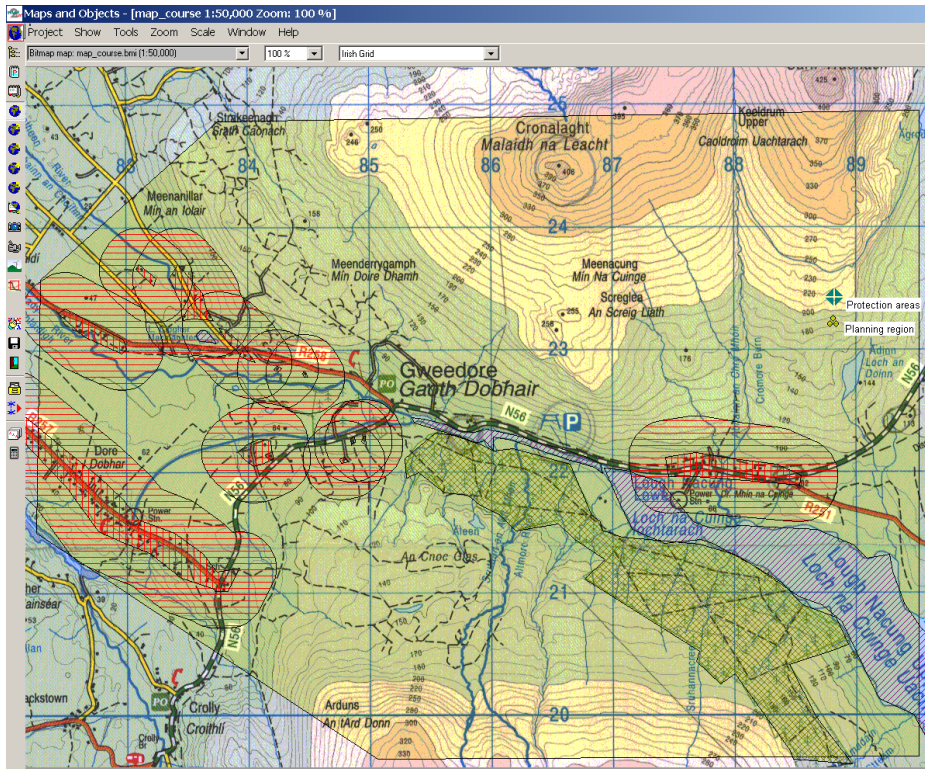
Datagrundlaget til en synlighedsberegning skal foreligge som et eller flere arealobjekter, hvor de enkelte landskabstyper angives med højde og vægtning (eksempelvis indbyggere pr. arealenhed).



Definitionerne af landskabstyperne i ovenstående er givet med en vægt på 100 i byerne og i en buffer-zone om byerne en vægt på 25. Alle andre objekter har vægten 1.

De enkelte landskabstypers højde anvendes til at beregne om møllen overhovedet kan ses. Rent praktisk bliver højden af lagene lagt oveni de anvendte højdekoturer og den resulterende højdekurvefil anvendes dernæst i synlighedsberegningen.

Med et mølleområde er det muligt at markere der område, som synlighedsberegningen skal udføres for – se nedenstående eksempel.



Den gule farve angiver beregningsområdet og de skraverede områder angiver områder, der er tildelt en vægtning. Man er nu fremme ved at kunne starte en synlighedsberegning.

- Create calculation
- ▶ ATLAS (Energy, one position, simple terrain)
  - ▶ BASIS (Project data)
  - ▶ DECIBEL (Noise)
  - ▶ IMPACT (WTG impact on neighbors)
  - ▶ METEO (Energy, one position, measured wind data)
  - ▶ OPTIMIZE (Energy optimization of Wind farm)
  - ▶ PARK (Energy, Wind Farm(ATLAS,WAsP,METEO or RESOURCE))
  - ▶ RESOURCE (Energy, resource map)
  - ▶ SHADOW (Flickering)
  - ▶ STATGEN (Generate Wind Statistics)
  - ▶ UMBRA (Landschaftsästhetische Bewertung)
  - ▶ VISUAL (Photo montage)
  - ▶ WAsP interface (Energy, one position, WAsP calculation)
  - ▶ WINDBANK (Vindmølleøkonomi)
  - ▶ WindPLAN (conflict checks, road pollution)
  - ▶ WindPLAN (visibility) ←
  - ▶ WINDSIM PRE/POST (Wind simulation pre/post processing facilities)
  - ▶ ZVI (Zones of visual influence)

### 7.3.2.2 Beregningsopsætning - synlighed

**D1 og D2** er som vist på tegningen de to afstande, hvor afstandsvægtningen ændres. Indenfor afstande D1 (her er anvendt 5000m) anvendes en afstandsvægtning på 1, denne aftager lineært til afstanden D2 (her er den 15000m), hvor afstandsvægten er 0. Disse to afstande kan frit vælges af brugeren, dog skal D2 være større end eller lig D1.

**Skridtlængde** angiver detaljeringsniveauet for synlighedskortet.

**Betragterhøjde** angiver i hvilken højde over jorden af synligheden skal beregnes.

**Objekthøjde** er højden af det objekt som hele synlighedsberegningen drejer sig om. Normalt vil totalhøjden være det rigtige valg, men der er mulighed for at indtaste enhver værdi.

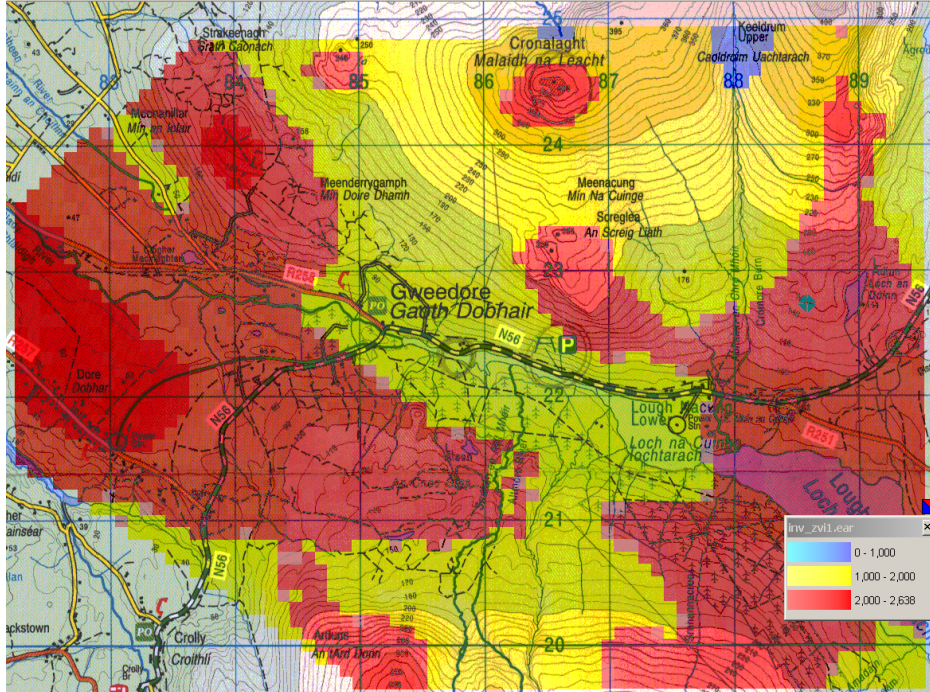
**Baggrundsvægt** anvendes i alle de områder, hvor der ikke er importeret eller digitaliseret arealer i et arealobjekt. Normalt skal den angivne værdi være ret lav, men en værdi på 0 bør undgås. Ønskes vægten 0 for et område bør dette digitaliseres specifikt i et arealobjekt.

**Arealobjekter (med vægtningsværdier):** Heri medtages alle arealobjekter, der er indstillet til at skulle medtages i en synlighedsberegning med en vægtningsfaktor. Vægtningen anvendes til at beregne den opsummerede synlighedsværdi. Bemærk hvis der ikke angives nogle arealer, så er det fordi, der ikke eksisterer arealobjekter med det pågældende formål i projektet.

**Arealobjekter (til synlighed):** Disse arealer omfatter alle arealobjekter, der anvendes til at beregne synligheden for en vindmølle. Alle landskabstyper skal have defineret en højde.

**Gem resultat til fil** er en mulighed for at gemme kortet over det beregnede og at indsætte dette som et resultatslagsobjekt i WindPRO. Er den sidste linie her markeret vil resultatlaget oprettes automatisk.

Nedenfor er vist et sådant resultatslag af en synlighedsberegning. Det kan anvendes til at generere et nyt arealobjekt, der viser regioner, der er mere følsomme end andre, hvad angår synlighed af møllerne. Lav følsomhed i de blå områder – lav følsomhed i de gule.



### 7.3.3 Beregningsrapport - synlighed

Når beregningen er færdig vil der være mulighed for at få vist to rapporter.

WindPLAN V: Visibility Calculation for Nibe Municipa		
... Visibility summary	1p	
... Map	1p	

**Synlighed - sammenfatning:** Viser detaljerne på beregningsopsætningen. Dette inkluderer en liste over de anvendte arealer og afstandsvægtningen.

**Kort:** Et helsideskort, der viser de beregnede synlighedsværdier.

## 7.4. WindPLAN - sammenvægtning af vindressourcen og restriktionerne

---

### 7.4.1 Beregningsmetoder til sammenvægtet WindPLAN

Den vindressourcevægtede vindmølleplanlægningsprocedure er en model til sammenvægtning af beskyttelsesinteresserne og vindressourcen på et givent sted. Resultatet er identifikation af områder, hvor det er optimalt at opstille møller ligesom det også udpeges områder, hvor udbygningen skal foregå mere begrænset eller slet ikke. Grundlæggende set antager modellen at man i områder med meget gode vindforhold godt kan acceptere møller selvom, der er nogle høje beskyttelsesniveauer. Møller vil derfor kun kunne stilles op i områder med lav vindenergi, hvis der samtidig er et lavt beskyttelsesniveau. Formålet er at optimere placeringen af møllerne så der skal rejses det færreste antal møller som muligt relativt til de mål der er i forbindelse med produktion af miljøvenlig energi.

Sammenvægtningsproceduren kræver en eller flere af nedenstående:

**Arealobjekt**, som indeholder det beregnede vindressourcekort.

**Et eller flere arealobjekter**, som indeholder beskyttelsesinteresserne (f.eks. beregnet vha. konflikttjek og/eller synlighedsberegningen).

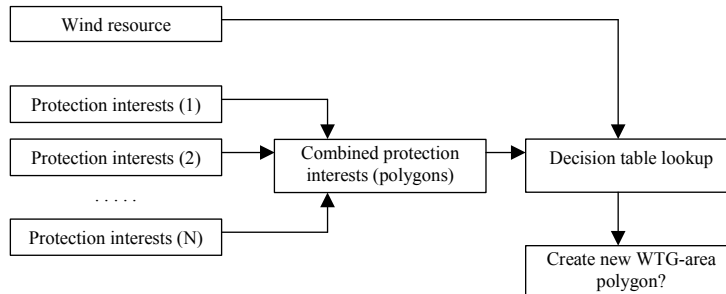
**Et mølleområde**, der indeholder en beslutningstabel og det endelige mølleområde (resultatet af beregningerne).

Alle informationer om vindressourcen gemmes som grupperede polygoner – dvs. inddelt i vindhastigheds- eller vindenergiintervaller. Beskyttelseszonerne er også digitaliseret eller importeret i polygoner i et areal objekt. Beskyttelsesinteresserne er også intervalopdelt i henhold til deres beskyttelsesværdi. Beskyttelsesværdien er et heltal fra 0 (ingen beskyttelse) til og med 9 (højeste beskyttelsesniveau). Der kan anvendes flere arealobjekter, der indeholder beskyttelsesinteresserne – det er eksempelvis muligt at opdele i miljøbeskyttelsesområder, konstruktionsmæssige områder osv. Overlapper to arealer hinanden vil deres beskyttelsesværdi blive summeret.

Når vindressourcen og beskyttelsesinteresserne er på plads skal man oprette et mølleområdeobjekt, der indeholder en beslutningstabel. Det er denne beslutningstabel, der er kernen i hele sammenvægtningen, da det er her, det afgøres om et mølleområde oprettes eller ej. Beslutningstabellen indeholder tabelværdier over hvilke samhørende beskyttelsesinteresser og vindressourcer, der kan tillade oprettelsen af et mølleområde.

Når beslutningstabellen er oprettet vil planlægningsalgoritmen evaluere alle polygoner og oprette nye polygoner under anvendelse af en polygonklipperutine. Hvis det er nødvendigt oprettes nye beskyttelsesområder (eks. hvis to beskyttelsesområder overlapper hinanden).

De resulterende polygoner er dernæst oprettet ved at programmet tjekker beskyttelsesværdierne mod de angivne værdier i beslutningstabellen. Et overblik over proceduren kan ses af nedenstående:




---

## 7.4.2 Beregningsopsætning – sammenvægtet vindmølleplan

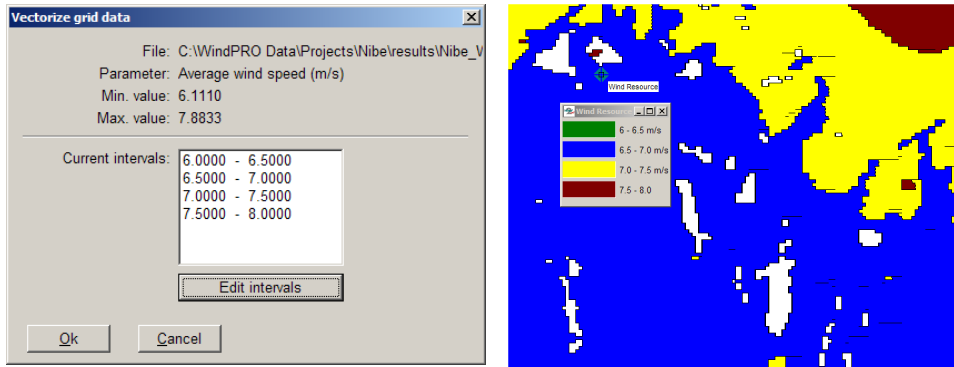
Alle beregninger udføres i et mølleområde-objekt.

### 7.4.2.1 Sammenvægtet vindmølleplan - datagrundlag

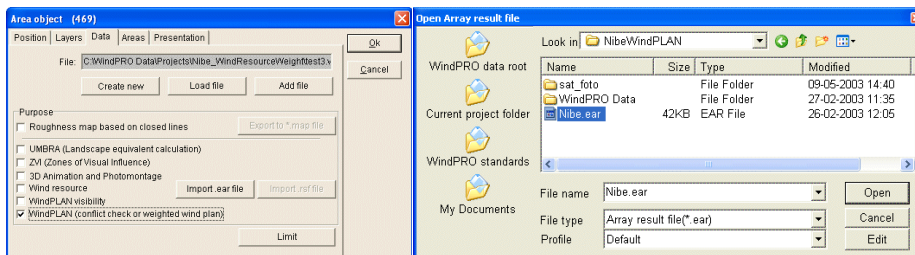
Kildedata består af følgende to areal objekter, hvor formålet er sat til "vindressource" og "konflikttjek".

**Vindressource:** Her kan man enten digitalisere et vindressourcekort eller man kan importere et WAsP vindressourcekort i arealobjektet. Vælg formål "vindressource" og tryk på knappen "Importer rsf - fil". Beslutningstabellen er som nævnt baseret på vindhastigheder eller vindenergi opdelt i et antal intervaller, hvorfor det er nødvendigt at opdele data i et antal intervaller (normalt er 3-5 passende). Nedenfor er vist et eksempel på en rsf - import, hvor data er opdelt i fire intervaller. Bemærk at data konverteres fra raster til vektorformat. Konvertering kan tage et stykke tid.





**Beskyttelsesinteresser:** Data med beskyttelsesniveauer skal indlæses i et eller flere arealobjekter, hvor formålet er sat til "WindPLAN (konflikttjek eller sammenvægtet WindPLAN)". Data kan enten digitaliseres eller importeres fra GIS - data. Alternativt kan man anvende beregningsresultater fra konflikttjek- og/eller synlighedsberegningen. Kontroller at alle arealer er angivet en beskyttelsesværdi i intervallet 0 – 9. Hvis der importeres data fra en konflikttjekberegning opsættes intervallerne som angivet i afsnit 7.2.3.3. Nedenfor er vist to skærmbilleder fra importproceduren. Først klikkes på "importer fra ear - fil" og dernæst opsættes et interval svarende til beskrivelsen i afsnit 7.2.3.3. En synlighedsberegning kan også importeres, men der er ikke mulighed på forhånd at give nogle klare intervalgrænser for synligheden. Bemærk at data konverteres fra rasterformat til vektor format – det kan godt tage et stykke tid.



### 7.4.2.1 WindPLAN – mølleområde indeholdende beslutningstabel

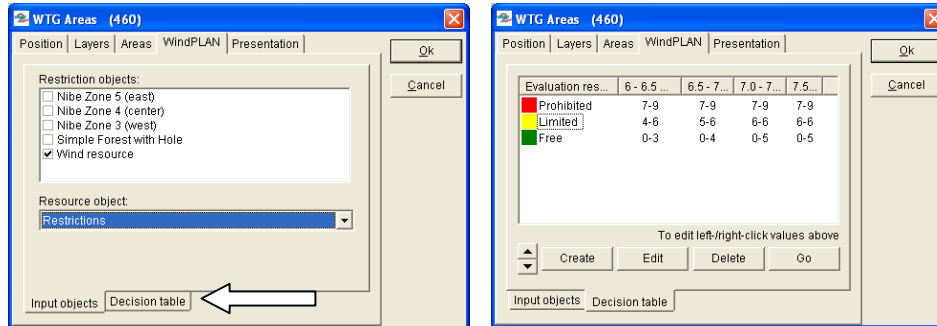
Efter at have oprettet kiledata med et arealobjekt, der indeholder vindressourcen og et eller flere arealobjekter, der indeholder beskyttelsesinteresserne er det nu muligt at oprette et mølleområde-objekt, hvor de egentlige beregninger kan foretages.



Opsætningen af mølleområde-objektet foregår på følgende måde:

Opret et nyt mølleområde-objekt (ovenstående ikon)  
 Vælg hvilke arealobjekter, der skal anvendes i beregningerne  
 Vælg fanebladet "Beslutningstabel". Vindressourceintervallerne er angivet som kolonner.  
 Opret et antal resultattyper (her er anvendt 3: fuldt beskyttet, begrænset udbygning og fri udbygning, der hver især angiver udbygningspotentialer i det pågældende område).

Udfyld beslutningstabellen. Bemærk at jo højere vindressource des højere beskyttelsesværdi skal der til for at udbygningen begrænses) Højre- eller venstreklik på museknapperne for at ændre værdierne.  
Tryk på "Beregn" - knappen for at beregne.



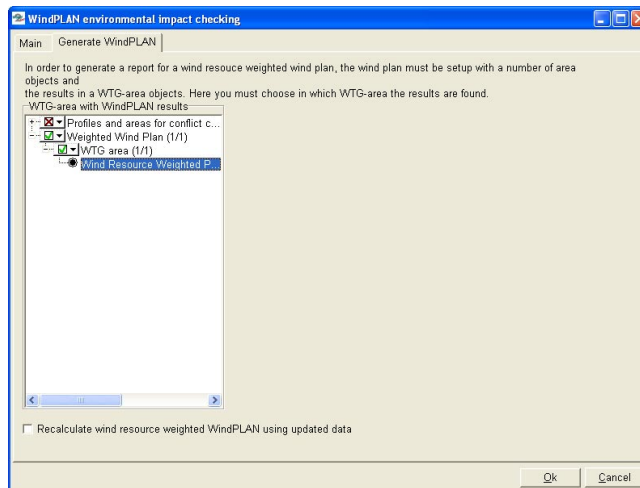
### 7.4.3 Beregningsrapport – sammenvægtet WindPLAN

Når beregningen viser et tilfredsstillende resultat kan der laves en egentlig beregning ved at trykke på WindPLAN i beregningsmenuen – formålet sættes til Sammenvægtet WindPLAN.



Dernæst kan følgende muligheder anvendes:

**Mølleområder med WindPLAN - resultater:** Udvælg det mølleområde med resultater fra WindPLAN - beregninger, som vist i afsnit 7.4.2.

**Genberegnet sammenvægtet WindPLAN med opdaterede data:** Marker dette felt, hvis der ønskes en automatisk genberegning af mølleområde-data ( fungerer ligesom "Beregn" - knappen i mølleområdet – beslutningstabellen gemmes i det valgt mølleområde-objekt.



Når der trykkes OK vil der efter kort tid være mulighed for at udskrive de to følgende rapporter:

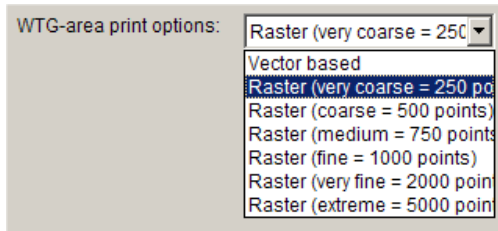
WindPLAN: Simple test		
... Wind resource weighted wind plan: Main Result	1p	
... Wind resource weighted wind plan: Detailed Map	1p	

### 7.4.3.1 Sammenvægtet WindPLAN: Hovedresultat

Denne rapport giver en oversigt over resultaterne og objekterne inkluderet i analysen. Hver objekt rapporteres med antallet af polygoner, deres attributter og deres størrelse.

Rapportopsætningen åbnes ved at trykke på rapportnavnet. Her er der mulighed for at ændre på baggrundskort og nogle af symbol-opsætningerne.

**Mølleområde – udskriftmuligheder:** Der er også mulighed for at justere udskriften af det beregnede mølleområde. Man kan vælge mellem vektorudskrivning eller rasterudskrivning (standard). Rasterudskrivningen er nødvendig pga. vektormetodens manglende mulighed for at udskrive de huller der måtte være i mølleområdet. Det skal stærkt anbefales at anvende rasterudskrivning (mindst 500x500 punkter). Bemærk at mølleområder gemmes i programmet som vektorformat og at konvertering til rasterformat først sker i forbindelse med udskrivningsprocessen – denne kan derfor godt tage et stykke tid.



### 7.4.3.2 Sammenvægtet WindPLAN – detaljeret kort

Et detaljeret kort over de resulterende områder med tilhørende signaturforklaring kan udskrives. Udskriftmulighederne er som beskrevet under afsnit 7.4.3.1.

## 7.5. WindPLAN - Terrænprofil

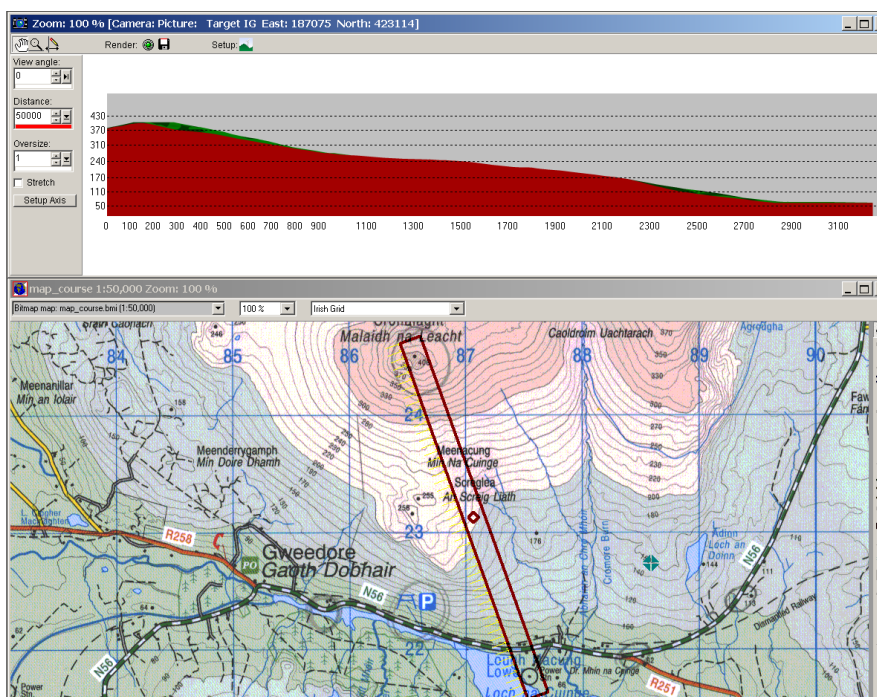
### 7.5.1 Anvendelse af terrænprofil



Der oprettes et rektangel med "Shape" - objektet (højre værktøjsbjælke).



Med terrænprofil værktøjet (venstre værktøjsbjælke) aktiveres terrænprofil. Bemærk at der skal være en TIN - beregning baseret på et linieobjekt til rådighed.



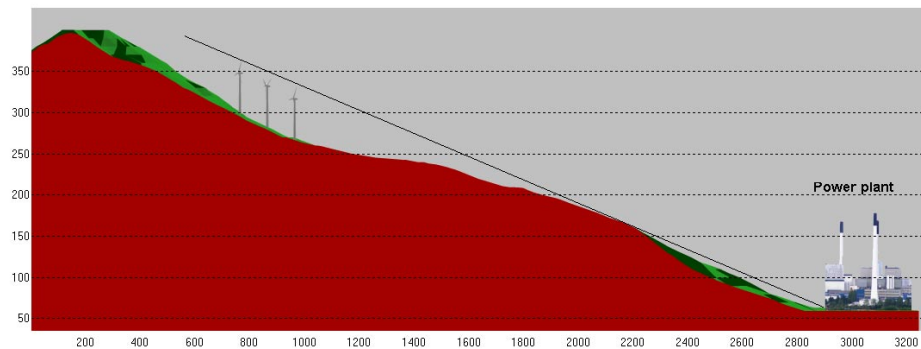
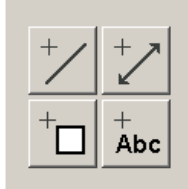
Der næst genereres terrænprofil for det angivne rektangel. De gule pile viser hvilken retning man ser profilet fra. Man ser altid ind på en af de lange sider – vil man se fra den modsatte side må rektangleret drejes 180 grader.

## 474 • 7.5. WindPLAN - Terrænprofil

Terrænprofilet kan opskaleres eller kun overhøjes. Der opstår kun en forskel, når objekter (møller m.m.) vises på terrænprofilet. Vælges den første mulighed vil alle objekter i terræn blive opskaleret med det brugerdefinerede (både højde og bredde), vælges overhøjning derimod, vil kun den vertikale del blive opskaleret.



Med den viste værktøjsknap i terrænprofil-vinduet er det muligt at indtegne pile, linier og skrive tekst på terrænprofilet. Nedenfor vises de mulige værktøjer.



Ovenstående viser hvordan et 3D-objekt (indeholdende et billede af et kraftværk) samt tre vindmøller vises på et terrænprofil. Der er foretaget en 3x forstørrelse. Den viste linie illustrerer en sigtelinie fra kraftværkets venstre afgrænsning – møllerne kan ikke se derfra!

Den del af bakken der er farvet grøn det areal man kan se fra betragtningspunktet, men som ikke kan ses helt ude ved den kant, der er nærmest betragteren.

Terrænprofilet har mange anvendelsesmuligheder specielt i forbindelse med vurdering af den visuelle påvirkning af landskabet fra de projekterede møller.

Setup:



Ved tryk på den viste knap får man mulighed for at ændre indstillingerne (farver).

Render:



Efter enhver ændring skal man trykke på "render" - knappen for at ændringerne udføres. Der er ikke tilknyttet nogen rapport til terrænprofilet, men der er mulighed for at gemme terrænprofilet som grafik ved at trykke på diskette-konet.

## 7.6 WindPLAN – Forureningsberegning

---

### 7.6.1 Introduktion til forureningsberegning

Dette modul er et generelt værktøj til at estimere den potentielle ressource samt forureningsreduktionen, der kommer ved opførelsen af en vindmølle eller en møllepark. Der er mulighed for at beregne for enhver forureningskomponent, der kan relateres til møllernes produktion. Modulet gør det muligt at anvende flere forskellige enhedssystemer (SI / UK og USA).

Da der løbende sker en udvikling i energiproduktionen (både konventionel og vedvarende) kan det være nødvendigt at kunne inkludere udviklingstendenser i forureningen fra eksisterende energiproduktionssystemer (basislinie-beregninger). Dette kan specielt være anvendeligt i forbindelse med Joint Implementation - projekter (JI).

Beregningsrapporten vil opliste alle reduktioner som årlige værdier baseret på den årlige mølleproduktion, herunder også under inddragelse af basislinie-scenariet.

Reduktionen i forureningen afhænger af hvilke energikilder, der erstattes med vindmøller. Dette kan variere meget i tid (dag-nat, sommer-vinter osv.). For at beregne dette i detaljer kan man anvende programmet energyPRO fra Energi- og Miljødata. I forbindelse med WindPLAN - beregningen er det et krav at brugeren selv definerer hvilke produktionsenheder, der erstattes af vindmøller.

---

### 7.6.2 Beregningsopsætning - forureningsberegning

Beregningen anvender tre database til at beregne ethvert scenarium:

En database med stofgrupper, eks. brændsel, toxider, drivhusgasser osv. Databasen indeholder information om hvilket enhedssystem, der anvendes (energi, masse osv.). Der er også mulighed for at specificere en gruppe (eks. drivhusgasser), hvor der skal anvendes forskellige vægte på de enkelte stoffer til beregning af den samlede miljømæssige effekt.

En database med de enkelte stoffer, eks. CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> og kul. Hvert stof skal tilknyttes en stofgruppe. I databasen angives en komplet beskrivelse af det pågældende stof og der kan angives en vægtningsfaktor som beskrevet ovenfor.

En database over energikilder, typisk er der tale om at et kraftværk erstattes af vindmøller. Denne database indeholder data vedr. de aktuelle sparede emissioner pr. energienhed, sparet brændsel pr. energienhed og arealanvendelse pr. produceret energienhed osv. Denne database indeholder typisk også generel information om energikilderne.

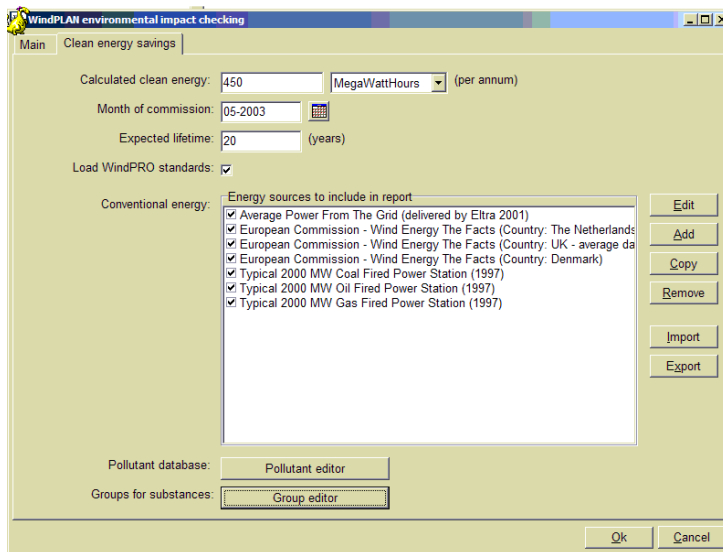
## 476 • 7.6 WindPLAN – Forureningsberegning

Standard-databasefiler for de tre ovennævnte kan findes i mappen `WindPRO data\standards`. Filerne indlæses ved at trykke på "Hent WindPRO standarder" på hovedsiden af beregningsopsætningen. Filerne har følgende navne:

Stofgrupper:	PollutionGroups_Eng.grp
Enkelt stoffer:	PollutionSubst_Eng.sub
Energikilder:	PollutionPowers_Eng.esc

Det er muligt at erstatte disse filer med brugerdefinerede databasefiler (se nedenfor). Bemærk at al databaseinformation gemmes sammen med rapporten, hvorfor det ikke er nødvendigt med ekstern tilknytning når først rapporten er oprettet/gemt.

### 7.6.2.1 Forureningsberegning – beregningsopsætning



Det første faneblad til opsætning af forureningsberegningen er vist ovenfor. Energikilderne er hentet fra WindPRO - standarder. Følgende opsætninger kan foretages:

**Beregnet "grøn" energi:** Angiv den estimerede produktion for mølleprojektet. Angiv også den tilhørende enhed (normalt MWh/år).

**Opstartsmåned:** Dette er den måned, hvor møllen sættes i drift. Tidspunktet kan være vigtigt, specielt hvis der er tale om at beregningerne indeholder en basislinie-beregning også. Basislinie-beregningen bør inddrages i de tilfælde hvor man forventer at udledningen af stoffer fra konventionelle kraftværker aftager med tiden som følge af udvikling og forbedring i disse systemer.

**Anslået levetid:** Møllens/mølleparkens anslåede levetid (normalt 20 år). Bemærk at beregningsrapporten både angiver årlige reduktioner samt reduktioner for hele projektets levetid.

**Konventionel energi:** Marker de energikilder der ønskes medtaget i rapporten. Er en energikilde ikke markeret vil den blive udeladt af beregningerne.

**Hent WindPRO - standarder:** Henter de før beskrevne standarder (se afsnit 7.6.2).

**Rediger enkeltstof:** Redigering af enkelte stoffer i den pågældende database (se afsnit 7.6.2.3).

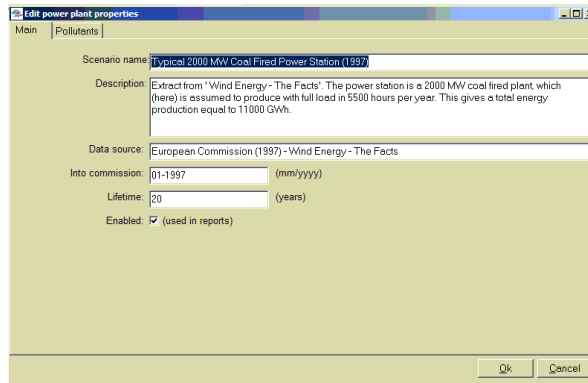
**Rediger gruppe:** Redigering af stofgruppe (se afsnit 7.6.2.2)

**Import:** Indlæser standard energikilde - filen (\*.esc). Kun den database med energikilder indlæses. Databaserne med stofgrupper og enkeltstoffer må dernæst indlæses separat. Databasen med energikilder er nok til at beregne en rapport, men den indeholder ikke information om de enkelte stoffer.

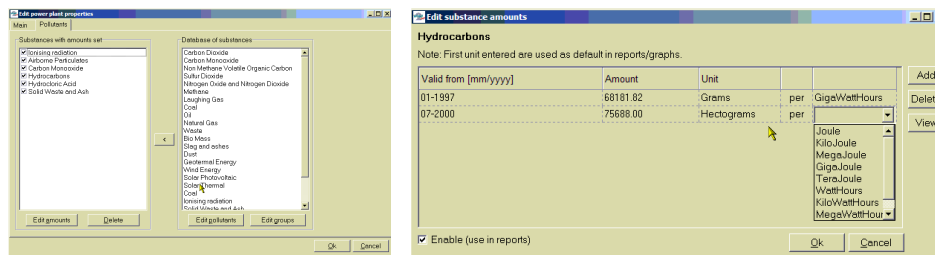
**Eksport:** Gemmer standard energikilde - filen (\*.esc). Kun den database med energikilder gemmes.

**Rediger, tilføj, kopier og omdøb:**

Åbner et vindue, hvor det er muligt at redigere i det valgte konventionelle energi - scenarium. Der er mulighed for at tilføje og redigere detaljerne i et scenarium.



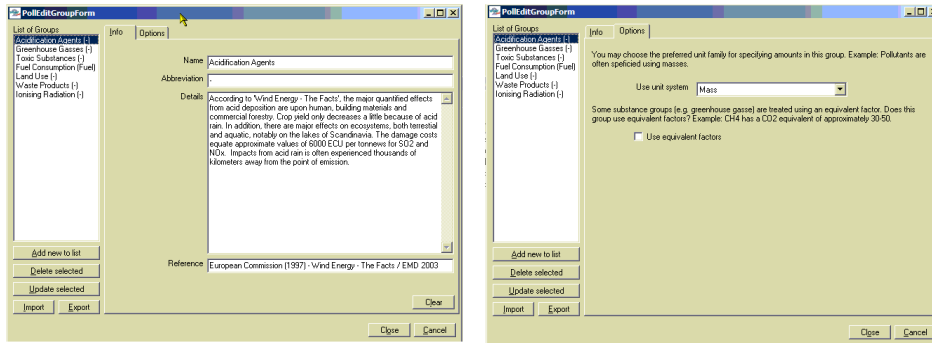
Vælges fanebladet "Forureningsstoffer" åbnes et redigeringsvindue, hvor reduktionerne for de enkelte stoffer kan angives. Ved at trykke på knappen midt på vinduet (<) er det muligt at ændre værdierne for de enkelte stoffer.



## 7.6.2.2 Forureningsberegning - Grupperedigering

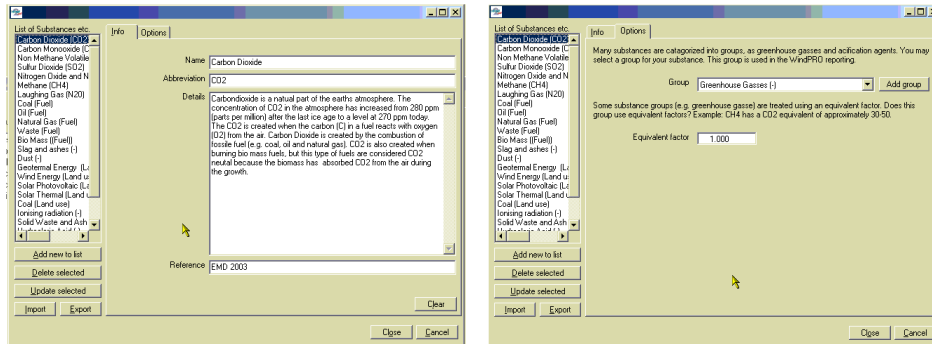
Ved at åbne redigeringsfaciliteten for stofgrupper bliver det muligt at ændre detaljer vedr. stofgrupperne. Til venstre er vist standarden for stofgrupper, hvor der er medtaget syv stofgrupper. I "indstillinger" er det muligt at angive om der skal anvendes ækvivalens faktorer og hvilket enhedssystem, der skal anvendes.





### 7.6.2.3 Forureningsberegning – Redigering af enkeltstoffer

I dette vindue er det muligt at redigere egenskaberne for de enkelte stoffer. Nedenfor er vist standardindstillingen i WindPRO. I fanebladet "Indstillinger" er det muligt at specificere hvilken stofgruppe det pågældende stof tilhører samt angive en ækvivalens-faktor.



## 7.6.3 Forureningsberegning - resultater

Efter at have lavet en korrekt opsætning af beregning kan den beregnes og rapporter vedrørende beregningerne kan udskrives. Der er mulighed for at udskrive tre forskellige rapporter:

WindPLAN: Pollution Accounting Demo		
Clean Energy Savings: Main Result	1p	
Clean Energy Savings: Details and Baselines for Scenarios	1p	
Clean Energy Savings: Details on Resource Consumptions and Emissions	1p	

### 7.6.3.1 Emissionsreduktioner: Hovedresultat

Denne rapport angiver detaljerede reduktionsværdier for hvert år i møllens levetid samt summerede værdier for hele levetiden. Hvert scenarium er angivet i hver sin separate tabel.

### 7.6.3.2 Emissionsreduktioner: Detaljer og basisline for scenarier

Denne rapport giver de inddaterede data for hver enkelt scenarium. Rapporten er stort set identisk med stofdatabasen kombineret med værdier fra energikilde/scenarie-oversigten.

### 7.6.3.3 Emissionsreduktioner: Detaljer om ressourceforbrug og emissioner

Udskriver en detaljeret beskrivelse af alle stofferne og deres tilhørende gruppe.

### 7.6.3.4 Emissionsreduktioner – Opsætning af enhedssystem

Der er mulighed for at vælge mellem flere enhedssystemer, som udskrifterne skal foretages i. Derved kan man lave rapporter til forskellige lande, der har forskellige enhedssystemer (specielt UK og USA). Bemærk at programmet selv vælger dekadeprefix.

Options Units

You may select an alternative unit system for your saved pollution reports. The software automatically selects the most appropriate unit from a pre-defined range.

General unit system SI (kg, metric ton, meters)

Energy unit system Joule

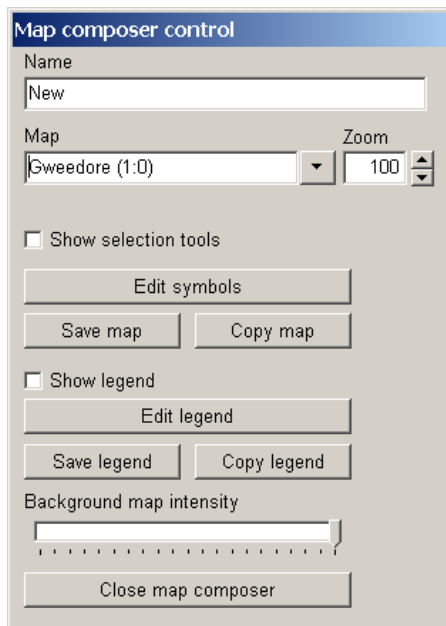
## 7.7 WindPLAN – MapComposer

---

### 7.7.1 Opstart af MapComposer



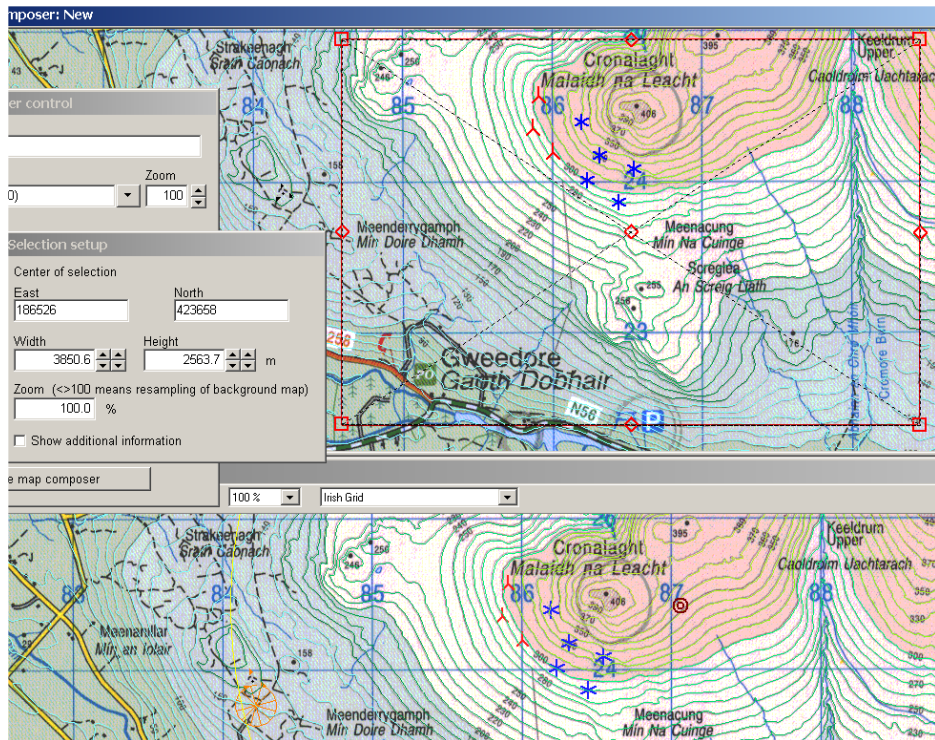
MapComposer anvendes til at lave færdige kort til rapporter m.v. MapComposer åbnes ved at trykke på ovenstående ikon i den venstre værktøjsbjælke.



Når MapComposer åbnes viser der sig to vinduer – et med de genererede kort og et med indstillingsmulighederne til kortopsætningen.

MapComposer giver følgende muligheder:

Der kan angives et navn, så det er nemmere senere at finde kortopsætningen igen – forskellige kort (skala, symboler, farver osv.) kan gemmes under hvert sit navn.



Når markeringsværktøjet er valgt er der mulighed for at markere den firkant på ens baggrundskort, som man arbejder med i det videre forløb med MapComposer.

Med knappen "Vis yderligere detaljer" har man mulighed for at angive opløsning i DPI, hvilket kan være en meget vigtig parameter, hvis kort skal trykkes i forbindelse med eksempelvis en VVM - rapport.

## 7.7.2 Udvalgelse af kortudsnit og DPI - indstilling

Ænders DPI vil også den fysiske størrelse af grafikken ændres – dvs. angiver man DPI, så kan man umiddelbart se hvor meget plads man skal lave i ens rapport til det pågældende kortudsnit.

**Selection setup**

Center of selection

East: 186500      North: 424000

Width: 3000.0      Height: 2000.0 m

Zoom (<100 means resampling of background map): 100.0 %

Show additional information

For information only

Resolution: 200 dpi

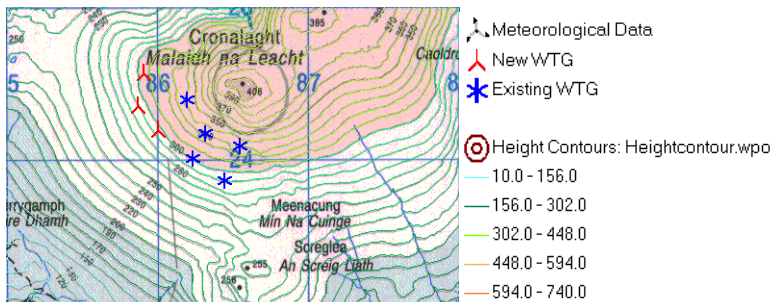
Width: 472      Height: 315 Pixels

59.9      40.0 mm

Scale: 1: 50,028

Hvis man ønsker et større kortudsnit, men den fysiske størrelse og DPI vil bibeholdes kan man ændre på zoom-faktoren. Kortet gendannes da med de nye krav og indstillinger.

I eksemplet ovenfor er der lavet et udsnit på 3 x 2 km. Med en DPI på 200 vil kortet fysiske størrelse være 59.9 x 40 mm. Målestoksforhold er derved 1: 50.028 – burde være 1:50.000, men p.g.a. en mindre unøjagtighed i korttilknytningen er dette ikke tilfældet.

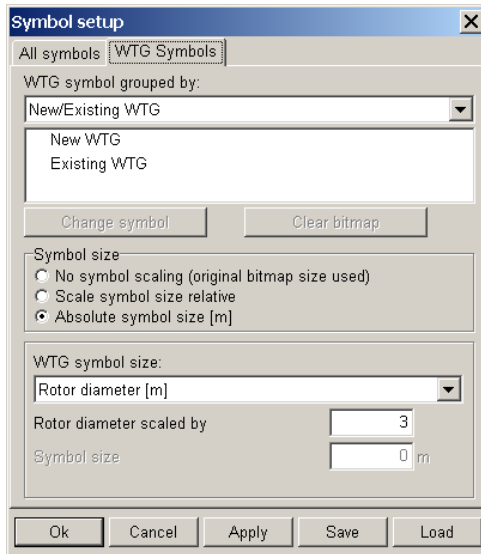


Ovenfor er vist hvordan kortet er kopieret til udklipsholderen og dernæst indsat i Word, hvor højden er angivet til 40 mm præcist – derved får man et kort i 200 DPI og med skal 1:50.000.

Hvad der indtil nu har været vist er ikke andet end hvad man kan med en almindelig skærmudskrift – men i forbindelse med MapComposer er der også mulighed for at få signaturforklaringen gemt som grafik.

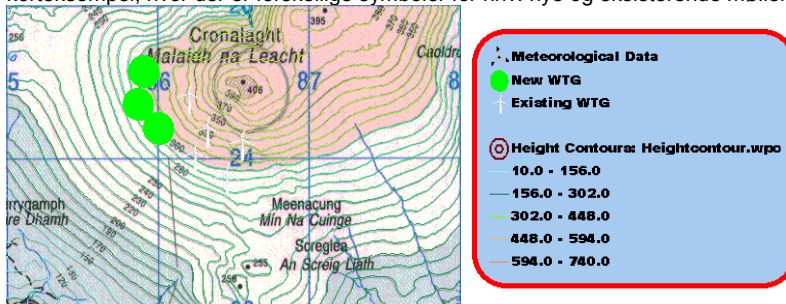
Det skal nævnes at man nu kan farvelægge højdekoturer efter deres højde over havet (dette gøres via linieobjektet).

### 7.7.3 Opsætning af symboler i MapComposer



En stor hjælp når man anvender MapComposer i stedet for skærmudskrifter er at man kan vælge forskellige symboler for sine objekter. Det er desuden også muligt at skalere symbolerne for de indsatte møller med deres størrelse (effekt, navhøjde osv.)

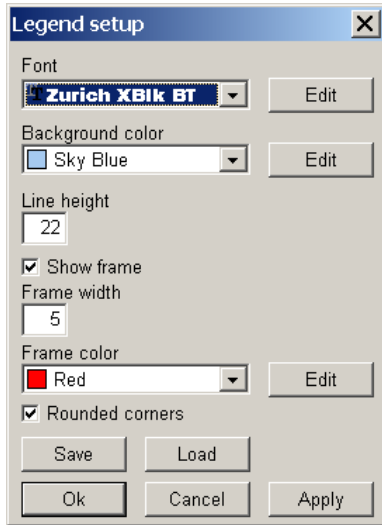
Der er valgfrihed til at vælge enhver grafik som symbol for en mølle – nogle symboler kan findes under WindPRO - standarder, men man kan også brugerdefinere dem. Nedenfor er vist et korteksempel, hvor der er forskellige symboler for hhv. nye og eksisterende møller.



Signaturforklaringen opdateres i takt med at man ændre symbolerne for de indsatte objekter. Som ses af ovenstående er der også forskellige indstillingsmuligheder for signaturforklaringen.

### 7.7.4 Signaturforklaring og andre indstillinger

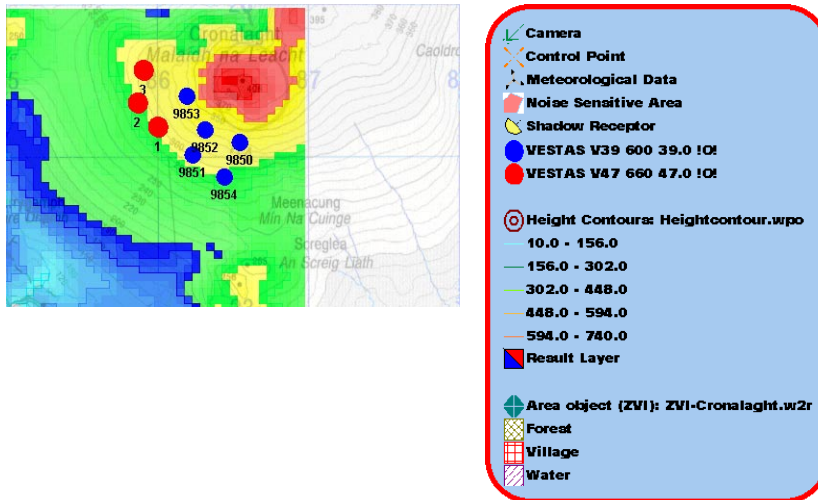
Signaturforklaringen kan som tidligere nævnt også sættes op som brugeren ønsker det. Nedenfor er vist det vindue, som signaturforklaring kan indstilles ved hjælp af.



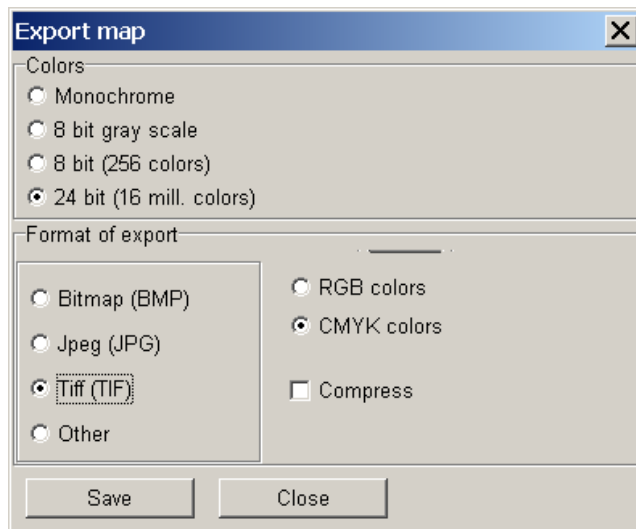
Skrifttype, baggrundsfarve, liniehøjde (afstand mellem linierne i signaturforklaringen), rammen (tykkelse og farve) er der mulighed for at ændre i dette vindue.

Endelig er der nedenfor vist et eksempel hvor selve baggrundskortet er i svage farver (nedtonet) og symbolerne er skaleret med møllernes rotordiameter. Desuden er der også vist den etikette brugeren har angivet for de enkelte møller samt et vindressourcekort over området. Møller kan opdeles på mange måder – fabrikant, højde, effekt, rotordiameter osv.

Bemærk at alle objekttyper fra synlige lag i WindPRO - projektet vises i signaturforklaringen.



Når man har sat et kort op med sine egne indstillinger er det nemt at lave en kopi og dernæst anvende den i andre sammenhænge, hvor man måske ønsker at vise skyggemodtagere, støjmodtagere osv. Med MapComposer er man ikke længere bundet af de standardsymboler der er i WindPRO og det er blevet meget nemmere at lave kort af høj kvalitet til indsættelse i rapport o. lign.



Med MapComposer er det endeligt også muligt at gemme kortet som TIFF - filer. Derved kan der også gemmes i CMYK - farver, som er en basal nødvendighed for trykning på offset-maskiner.