



Europæisk vind atlas

Lundtang Petersen, Erik; Troen, Ib; Mortensen, Niels Gylling

Published in:
Vejret

Publication date:
1989

Document Version
Også kaldet Forlagets PDF

[Link back to DTU Orbit](#)

Citation (APA):
Lundtang Petersen, E., Troen, I., & Mortensen, N. G. (1989). Europæisk vind atlas. *Vejret*, (39), 37-41.

DTU Library

Technical Information Center of Denmark

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

d. 20. med temperaturer gennemgående mellem 5 og 10° døgnet rundt og det er især meget blæsende d. 14. og d. 15. Lufttrykket er konstant meget højt over Centraleuropa og lavt over Norskehavet. Lidt koldere luft fra Mellemeuropa trænger op over landet fra S og SW d. 21. og d. 25. med nattefrost tilføje, men ellers dominerer luftmassestrømning fra SW og W ved fortsat meget højt lufttryk over Centraleuropa måneden ud. Vejret er særdeles mildt i de to sidste dage af januar med døgnmiddeltemperaturer på 8-9° de fleste steder.

Januar måneds vejr var således rekordmildt i en meget vedvarende tilstrømning af meget milde Atlanterhavsluftmasser. Hyp-pigheden af vinde fra W og SW udgjorde hele 82% mod normalt 36%. Vejret er gennemgående tørt ved relativt højt lufttryk. Med en middeltemperatur på 4,8° blev januar 1989 den varmeste januar overhovedet registreret. De tidligere varmeste januar måneder var i 1983 og 1975 med henholdsvis 4,6 og 4,5°.

Februar

Meget mild luft strømmer op over landet fra SW og W i de første dage af februar mellem et stabilt højtryk over Kontinentet og dybe lavtryk over Norskehavet og ved Island. Vejret er mest overskyet med stedvis tåge og temperaturer mellem 2 og 8° og lettere regn forekommer, især i den nordvestlige del af landet. Tilstrømningen af meget milde Atlanterhavsluftmasser kulminerer d. 6.-7. med temperaturer omkring 9° døgnet rundt og især Nordjylland får regn. Omkring d. 9. forstærkes et sydøstgående højtryk over

Finland, hvorved noget køligere luft trænger op over landet fra SE. Meget lokalt registreres let nattefrost i de sydlige egne d. 11., men dagtemperaturerne ligger på et højt niveau på ca. 6° og vejret er diset og mest overskyet. Milde luftmasser fra W føres ind over landet d. 12. ved en frontpassage. Den 14. passerer et lavtryk fra W gennem Skagerrak og kortvarigt er det meget blæsende med stærk storm og regn især i Vestjylland. Køligere og tørrere luft trænger ned over landet d. 15.-16. med byger af hvidt, og udbredt nattefrost forekommer d. 17. og d. 18. I løbet af d. 18. trænger igen mild luft ind over landet fra SW ledsaget af slud og regn og temperaturstigning til over 10° mange steder. I de næste dag er vejret ustadigt med byger, regn og sol i en sydvestlig luftstrøm og temperaturen gennemgående fra 0 til 7°. Vejret er meget ustadigt i de sidste dage af februar. Et usædvanligt dybt og omfattende lavtryksområde over de Britiske øer og Nordsøen bevæger sig langsomt mod NE og medfører fortsat mildt vejr med regn og byger i en overvejende svag sydlig luftstrøm.

Februar måneds vejr var således, ligesom i januar, rekordmildt ved en vedvarende tilførsel af meget milde Atlanterhavsluftmasser. 83% af tiden lå vinden mellem W og S (norm. 43) og med en middeltemperatur på hele 4,4° blev den tidligere varmere rekord fra 1943 for en februar på 3,9° overgået med ½°. Vinteren som helhed (december-februar) bød på en eklatant varmere rekord. Middelttemperaturen for 1988/89 blev i gennemsnit 4,4° (norm. 0,6), hvilket er hele 0,9° over den tidligere rekord for vinteren 1974-75 på 3,5° og 1,0° over vinteren 1924-25 på 3,4°.

DaMS JUBILÆUMSFEST

DaMS holder jubilæumsfest lørdag den 16. september. Vi opfordrer medlemmerne til at reservere denne festdag. Tilmeldingspapir og information om festen bringes i næste nummer af Vejret.

Bestyrelsen

Europæisk Vindatlas

Erik Lundtang Petersen, Ib Troen og Niels Gylling Mortensen
Meteorologi og Vindenergi afdelingen, Forskningscenter Risø.

Det 656 siders store Europæiske Vindatlas, der udkom 1. juni i år er resultatet af en omfattende undersøgelse af vindforholdene med særlig henblik på udnyttelsen af vindenergi i landene inden for EF. Undersøgelserne blev foretaget i et samarbejde mellem en række institutioner og meteorologiske institutter, hvor Forskningscenter Risø har været ansvarlig for projekt koordinering, teoretisk arbejde, numerisk modellering, dataanalyse og rapportering.

I det følgende begynder vi med et af resultaterne fra Vindatlasset: Et overblik over de europæiske vindressourcer. Dernæst er dataanalyse, resultater og brug af Atlasset beskrevet.

De europæiske vindressourcer

Vindressourcekortet (Figur 2) giver i store træk vindenergiressourcerne i en højde af 50 meter fra jorden. Kortet viser den geografiske fordeling af fem vindenenergiklasser, hvor hver klasse repræsenterer de forventede middelvindenergi og middelvindhastigheder for fem forskellige topografiske forhold, nemlig: landskab med mange lægiver, åbent landskab, kystområder, åbent hav (mere end 10 km fra kysten); fritliggende bakker og bjergrygge. De topografiske forhold er valgt for at illustrere typiske variationer af vindenergi-potentialet og tallene er behæftede med betydelig usikkerhed.

Det fremgår at lokale terrænforhold forårsager store forskelle i middelvindenergi over korte afstande, især i kystområder og bakket og bjergigt terræn. Sammen med kendskab til lokal topografi kan kortet bruges til at identificere områder med muligheder for store vindressourcer.

Kortet viser at områder, der er særlig egnede for vindenergiudnyttelse ligger spredt rundt i det meste af Europa. Større områder med udstrakte store vindenergiressourcer omfatter: De Britiske Øer, Nordsøområdet i det vestlige kontinentale Europa, den nordvestlige del af den Iberiske halvø, og de fleste

græske øer. I Middelhavsområdet har nogle områder den fordel - set fra et vindenergisynspunkt - at særlige atmosfæriske processer giver anledning til favorable vindbetingelser. Sådanne vinde er: Mistralen, en stærk nordenvind, som trænger ned i Rhône-dalen og breder sig ud langs den Franske Riviera og ned i Middelhavet i lange perioder i vintertiden. Andre velkendte vinde er Scirocco'en, der kan bringe luftmasser med store mængder saharasand over Middelhavet ind i det centrale og østlige Europa. Etesia-vindene i området i det sydøstlige Europa, som kan være bemærkelsesværdigt konstante i retning og styrke; Boravinden i det østlige Adriaterhav, der fremkommer ved at luftmasser bryder gennem et snævert pas i Alperne; Levanten, en østlig vind, der blæser mod østkysten af Spanien og ind i Gibraltarstrædet; Vardaracvinden, en nordlig vind der blæser på nordkysten af Saloniki. Mange andre lokale vindsystemer er kendte, for eksempel Bise'en og Tremontanen. Et særligt fænomen er Føhnvinden, der optræder mange steder i Europa og hvor de mest berømte Føhnvinde er dem, der optræder i og omkring Alperne. Nordføhnen er et lag kold luft, der strømmer over alpekæden og resulterer i en strøm af kold luft langs de sydlige skrænter af Alperne. Syd-føhnen er det modsatte af Nordføhnen: en varm tør vind i Alperne og på de nordlige skrænter af Alperne.

Kortet viser indflydelsen af nogle af de ovenfor nævnte vindsystemer, f.eks. det store energiindhold i den nedre Rhône-dal forårsaget af Mistralen.

Nogle meget lokale vindsystemer - der opstår på grund af topografi og store forskelle i overfladetemperaturen - kan eksistere over hele Europa, især i den sydlige del. På sådanne lokaliteter kan koncentrationseffekter give anledning til betydelige vindenergiressourcer. På grund af mangel på data er lokaliteterne ikke blevet identificeret.

I Vindatlasset er de beregnede vindklimatologier blevet sammenfattet i 16 farvekort,

der viser fordelingen af vindressourcer i hvert enkel land inden for EF.

Vindatlas, analyse og brug

Dataene. Næsten to hundrede meteorologiske stationer inden for EF-landene blev udvalgt til beregning af den regionale vindklimatologi.

Fra hver station blev der fremskaffet et datasæt bestående af meteorologiske målinger taget hver tredje time i en periode over 10 år. Derudover blev der leveret en præcis beskrivelse af stationen og topografien omkring denne.

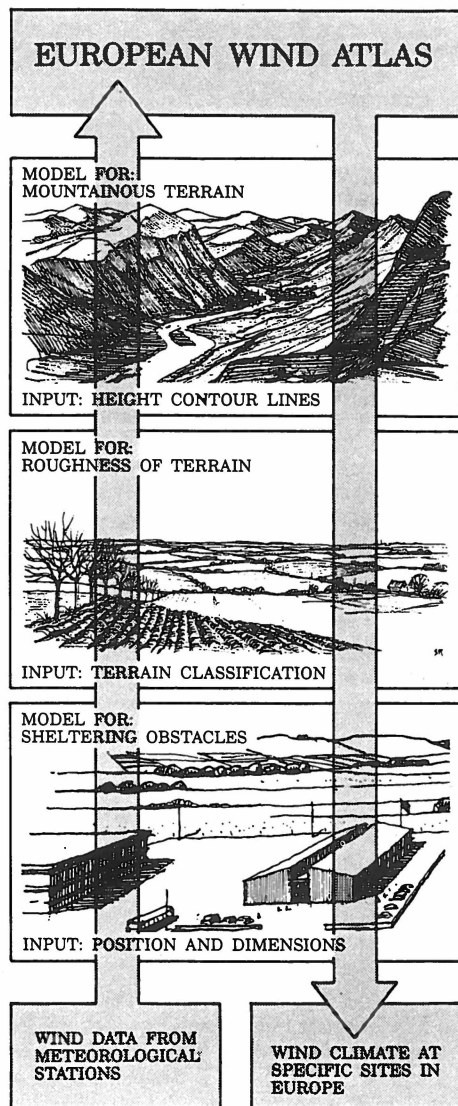
Analysen. Informationerne fra hver station blev brugt til at beregne en regional vindklimatologi, der for en station i ikke alt for kompliceret terræn er repræsentativ ud til afstand af ca. 100 km fra stationen. Beregningerne blev udført ved hjælp af et sæt meteorologiske modeller udviklet til at udføre passende korrektioner på vinddata. Modellerne medtager effekten af forskellige overfladebetingelser, terrænets ruhed, læeffekter på grund af bygninger og andre forhindringer i nærheden, og modifikation af vinden forårsaget af højdevariationer i terrænet rundt om den enkelte meteorologiske station.

Eftervisningen. Pålideligheden af de anvendte modeller til dataanalysen er blevet belyst gennem sammenligning med målte data. Pålideligheden af vindatlasanalysen er blevet belyst ved sammenligninger mellem stationer d.v.s. at stationer i den samme egn blev brugt en for en til at forudsige statistikkerne for de andre stationer.

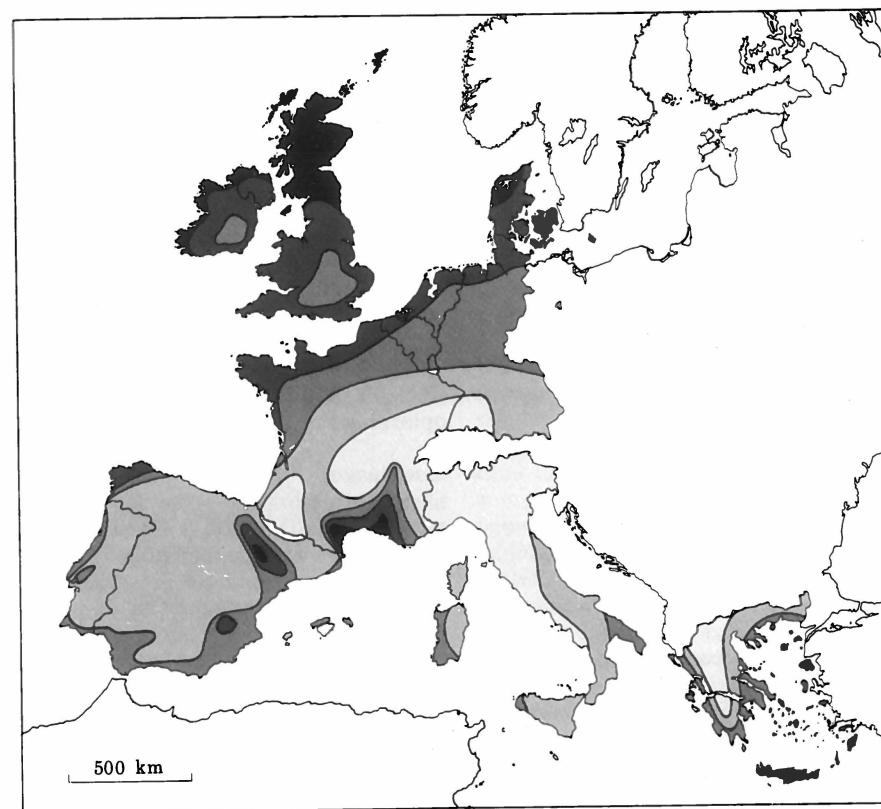
Atlassen. Det Europæiske Vindatlas indeholder for hver station en beskrivelse af terrænet omkring stationen, statistik af de rå data og den beregnede regionale vindklimatologi. Sidstnævnte modsvarer statistikken i Det Danske Vindatlas, d.v.s. Weibull parametre givet efter højde, retning og ruhedsklasse. Desuden indeholder Vindatlassen som nævnt kort over vindressourcer fra hvert EF-land.

Ud over de grundlæggende meteorologiske data, indeholder Vindatlassen en vejledning for regional vindressourceberegning og lokal placering af vindmøller.

Brugen. Atlassen er det meteorologiske grundlag til beregning af vindklimaet og vindenergiressourcerne inden for EF-lande-



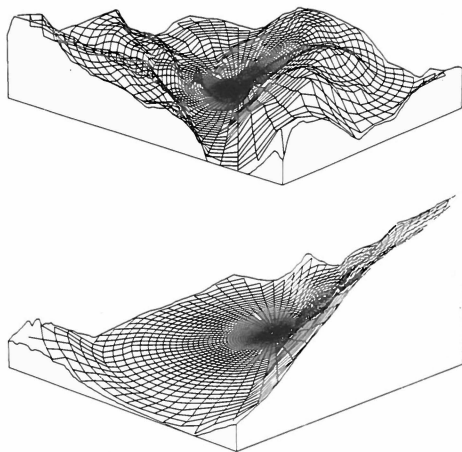
Figur 1. Vindatlasmetoden. Meteorologiske modeller benyttes til at beregne regionale vindklimatologier fra de observerede data. I den modsatte proces - anvendelsen af vindatlassen - beregnes de klimatologiske vindforhold på en given lokalitet ved brug af den regionale klimatologi og detaljerede oplysninger om de lokale topografiske forhold.



Wind resources ¹ at 50 metres above ground level for five different topographic conditions									
Sheltered terrain ²		Open plain ³		At a sea coast ⁴		Open sea ⁵		Hills and ridges ⁶	
$m s^{-1}$	$W m^{-2}$	$m s^{-1}$	$W m^{-2}$	$m s^{-1}$	$W m^{-2}$	$m s^{-1}$	$W m^{-2}$	$m s^{-1}$	$W m^{-2}$
> 6.0	> 250	> 7.5	> 500	> 8.5	> 700	> 9.0	> 800	> 11.5	> 1800
5.0-6.0	150-250	6.5-7.5	300-500	7.0-8.5	400-700	8.0-9.0	600-800	10.0-11.5	1200-1800
4.5-5.0	100-150	5.5-6.5	200-300	6.0-7.0	250-400	7.0-8.0	400-600	8.5-10.0	700-1200
3.5-4.5	50-100	4.5-5.5	100-200	5.0-6.0	150-250	5.5-7.0	200-400	7.0-8.5	400-700
< 3.5	< 50	< 4.5	< 100	< 5.0	< 150	< 5.5	< 200	< 7.0	< 400

- The resources refer to the power present in the wind. A wind turbine can utilize between 20 and 30% of the available resource. The resources are calculated for an air density of 1.23 kg m^{-3} , corresponding to standard sea level pressure and a temperature of 15°C . Air density decreases with height but up to 1000 m a.s.l. the resulting reduction of the power densities is less than 10%.
- Urban districts, forest and farm land with many windbreaks (roughness class 3).
- Open landscapes with few windbreaks (roughness class 1). In general, the most favourable inland sites on level land are found here.
- The classes pertain to a straight coastline, a uniform wind rose and a land surface with few windbreaks (roughness class 1). Resources will be higher, and closer to open sea values, if winds from the sea occur more frequently, i.e. the wind rose is not uniform and/or the land protrudes into the sea. Conversely, resources will generally be smaller, and closer to land values, if winds from land occur more frequently.
- More than 10 km offshore (roughness class 0).
- The classes correspond to 50% overspeeding and were calculated for a site on the summit of a single axisymmetric hill with a height of 400 metres and a base diameter of 4 km. The overspeeding depends on the height, length and specific setting of the hill.

Figur 2. De Europæiske vindressourcer (se tekst). Reproduceret fra European Wind Atlas.



Figur 3. Den numeriske model BZ til beregning af strømning i komplekst terræn. Figuren illustrerer modellens polære grid med størst koncentration af grid punkter nær det betragtede punkt. I dette tilfælde benyttes modellen til beregning af vindforholdene ved den meteorologiske station Fort Augustus i Skotland. Modellens center er placeret over denne station og griddet er lagt over terrænet; Fort Augustus ligger ved sydvestenden af Loch Ness. Området betragtes fra et punkt over Loch Ness. Den øverste figur dækker et område på ca. 12x12 km, medens den nederste figur viser et mindre udsnit ca. 2x2 km.

ne. Brug af Atlaset som en placeringshåndbog er detaljeret forklaret i Atlaset. For at lette beregningerne leveres Vindatlasset med en diskette, der indeholder alle de regionale statistikker. Diskettefilerne kan bruges direkte sammen med PC-programmet WASP (Wind Atlas Analysis and Application Programme), til praktiske placeringsberegninger.

På den skematiske figur 1 ses hvordan de regionale vindklimatologier er blevet beregnet. Den viser også brugen af Vindatlasset til beregning af en lokalitets vindressourcer.

Det Danske Vindatlas, der udkom i 1980 er blevet brugt til placeringsberegninger for ca. 1500 møller i Danmark. Atlaset har stort set virket tilfredsstillende, men en af svaghederne ved Atlaset i 1980 var, at en-

hver med en smule teknisk indsigt skulle kunne gennemføre beregningerne blot ved hjælp af en lommeregner. Senere er PC'en blevet hvermands eje og i forbindelse med udarbejdelsen af Det Europæiske Vindatlas er en meget stor indsats blevet brugt på udvikling af mere korrekte (og dermed komplicerede) beregningsmetoder. Disse er indeholdt i det ovenfor omtalte PC-program WASP. Specielt gælder dette metoderne for beregning af vindforholdene i bakket og bjergrigt terræn.

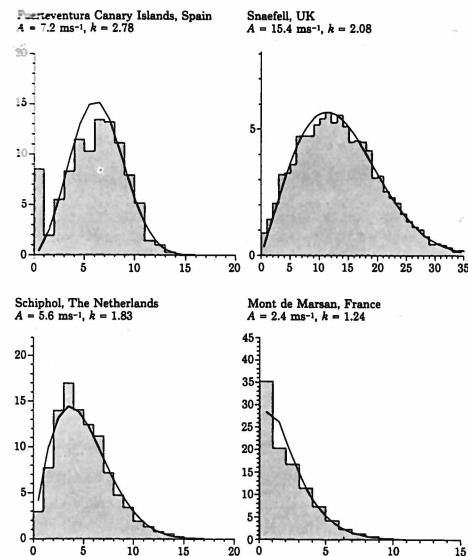
I Det Europæiske Vindatlas er der benyttet en specielt udviklet numerisk model (BZ). Et indtryk af modellens geometri og opløsning fås ved at betragte figur 3.

Konklusion

Den information, der er samlet i Det Europæiske Vindatlas viser, at der eksisterer store områder i Europa med gode muligheder for udstrakt anvendelse af vindenergiressourcerne. Hertil kommer, at de metoder, der er udviklet for Atlaset til beregning af topografiens indflydelse på vinden, har do-

Vindretning	Målt			Beregnet			Målt		
	Stornoway			Fort Augustus			Fort Augustus		
°	A	k	f	A	k	f	A	k	f
0	10.7	1.85	6.5	1.9	1.48	3.6	1.9	1.12	4.3
30	10.2	1.94	4.7	2.8	1.56	5.2	3.6	1.73	7.8
60	9.2	1.77	4.1	3.5	1.50	9.6	3.8	1.94	10.0
90	9.3	1.68	4.0	2.3	1.33	4.8	2.5	1.44	4.6
120	9.3	1.64	5.2	1.9	1.56	4.2	1.2	0.79	3.1
150	9.2	1.64	5.7	1.8	1.77	5.0	1.8	0.94	3.3
180	12.7	1.90	9.7	3.1	1.51	7.8	3.5	1.40	5.3
210	15.4	1.94	13.7	4.9	1.85	17.1	5.5	2.43	21.3
240	16.3	2.21	15.7	5.5	1.93	27.2	4.7	1.89	25.1
270	15.5	2.07	13.6	3.1	1.47	7.2	2.6	1.52	9.0
300	13.5	1.92	9.2	2.2	1.60	4.7	1.0	0.87	3.3
330	11.7	1.89	8.0	1.5	1.70	3.3	0.9	0.83	3.0
Total	13.1	1.81	100.0	3.7	1.42	100.0	3.9	1.65	100.0

Tabel 1. Eksempel på beregnede vindforhold i bjergrigt terræn. Eksemplet er for den meteorologiske station Fort Augustus i Skotland (se også fig. 3). Klimatologiske data for vinden i 850 mb niveauet fra radiosondestationen Stornoway på Hebriderne er benyttet til beregning af vindforholdene ved Fort Augustus. A, k er Weibullparametrene, f er den sektorvise hyppighed i %. Tabellen viser, at den numeriske model BZ og den række af andre submodeller, der indgår i WASP, meget nøjagtigt reproducerer de observerede data.



Figur 4. Eksempler på observerede histogrammer af vindhastigheden (grå trappet kurver) og de tilhørende tilpassede Weibullfordelinger (glatte kurver). For hver figur er angivet navnet på den meteorologiske station, de to Weibull parametre: Skalaparameteren A, som er nært knyttet til middelværdien af vindhastigheden og form-parameteren k. x-aksen er vindhastighed i ms⁻¹ og y-aksen hyppigheden af vindhastigheden i % per ms⁻¹.

kumenteret, at der optræder en kraftig forøgelse af vindenergi-potentialet i bakket og bjergrigt terræn. Metoderne til beregning af topografiens indflydelse på vinden blev gjort almindelig tilgængelig for to år siden i form af et program, der kan anvendes på en almindelig PC. Dette program (WASP: Vind Atlas Analyse og Applikationsprogram) og vindatlasset danner tilsammen grundlaget for beregning af vindenergiressourcer - inklusiv placering af vindmøller og vindparker - inden for EF-landene.

Vindatlasset giver et pålideligt billede af

hele den samlede fordeling af vindressourcerne i Europa. I Holland, Nord-Tyskland og Danmark, hvor topografien er relativt ukompliceret, kan vindatlasset bruges direkte til pålidelige lokale beregninger af vindmøllers energiproduktion. I områder der er detaljeret bearbejdet i vindatlasset, men hvor topografien er kompliceret - som for eksempel i Midt-Frankrig - er det nødvendigt at have et vist lokalt kendskab for at kunne gennemføre pålidelige beregninger bl.a. ved brug af det ovenfor omtalte program til beregning af bjergenes effekt på vindstrømningsforholdene.

I områder med kompliceret topografi, der ikke er detaljeret bearbejdet i vindatlasset - således som det er tilfældet for det græske hovedland - kan vindatlasset være en hjælp til at identificere de lokaliteter, hvor vindenergi-potentialet kunne være stort, men hvor det vil være nødvendigt at foretage målinger for at fastlægge størrelsesordenen.

Det Europæiske Vindatlas er det første forsøg på at give dækkende retningslinier og statistik til brug ved beregning af vindenergiressourcerne i landene i Det Europæiske Fællesskab.

Vindatlasset er en del af EF's vindenergi-forsknings-program der ledes af W. Palz fra Kommissionen. Deltagere i vindatlasarbejdsgruppen er: Centre Scientifique et Technique de Bâtiment (Frankrig), Compania Espanola de Investigaci'on en Energia (Spanien), Deutscher Wetterdienst (Tyskland), Institut Nacional di fisica dell'Atmosfera (Italien), Koninklijk Meteorologisch Instituut (Belgien), Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut (Holland), Lamda Technical Ltd. (Grækenland), Meteorological Office (England), Meteorological Service (Irland), Forskningscenter Risø (Danmark).

Referencer

Troen, I. and Petersen, E.L. (1989). European Wind Atlas. Risø National Laboratory, 656 pp.

Troen, I., Mortensen, N.G. and Petersen, E.L. (1988). WASP- Wind Atlas and Analysis Application Programme. User's Guide (Release 2.0). Risø National Laboratory, 96 pp.