

# Application of Sodar Measurements for Energy Yield Assessment

## Verwendung von Sodarmessungen für Ertragsermittlungen

K. Pietschmann, Dr. K. Mönnich, DEWI Wilhelmshaven  
Priv.-Doz. Dr. S. Emeis, FZ Karlsruhe GmbH, Inst. for Meteorology and Climate Research



ENGLISH - DEUTSCH

DEWI possesses a well-founded knowledge about wind measurements with sodar. Next to measurement performances with the in-house sodar (AeroVironment 4000 Minisodar, see [Fig. 1](#)) since year 2000, DEWI also gained experience with sodar measurements performed by third parties, which were evaluated within energy yield assessments.

In addition to mast measurements on a planned wind farm site, it is possible to gain valuable information about the vertical wind profile with sodar which can help to get more realistic wind speeds at high hub heights and in the end more realistic energy yield calculations.

A sodar measurement can show high uncertainty caused by a multitude of factors which can occur at the same time and which all influence the result. This includes on one hand meteorological influences as the temperature field (stratification) and the prevailing wind field. On the other hand there can be influences from the surroundings like high ambient noise or obstacles, which can induce fixed echoes. The quality of sodar measurement therefore depends on the signal processing of the manufacturers software, which should be able to identify and filter these negative influences.

Das DEWI besitzt ein langjähriges fundiertes Wissen über Windmessungen mit Sodar. Neben der Durchführung von Messungen mit einem eigenen Sodar (AeroVironment 4000 Minisodar, [Abb. 1](#)) seit 2000 sind im Rahmen von Ertragsermittlungen auch diverse Sodarmessungen, die von Dritten vorgenommen wurden, ausgewertet worden.

Als Ergänzung zu einer Mastmessung am Standort kann eine Sodarmessung wertvolle Informationen bezüglich des vertikalen Windprofils liefern, so dass für die heute üblichen hohen Nabenhöhen realistischere Windgeschwindigkeiten bzw. Energieerträge ermittelt werden können.

Eine Sodarmessung weist jedoch recht hohe Unsicherheiten auf, da eine Vielzahl von gleichzeitig auftretenden Einflussfaktoren Auswirkungen auf das Messergebnis haben. Dazu gehören zum einen meteorologische Einflüsse wie beispielsweise das Temperaturfeld bzw. die Schichtung der Atmosphäre und das aktuelle Windfeld. Zum anderen können Umgebungseinflüsse wie störende Hindernisse, welche Festechos erzeugen oder starke Umgebungsgeräusche das Messergebnis beeinflussen. Die Qualität der Sodarmessung ist damit stark abhängig von der Auswertungs-Software des Herstellers, welche die negativen Einflüsse identifizieren und filtern können sollte.



Fig. 1: The DEWI sodar, AeroVironment 4000, at the DEWI test site near Wilhelmshaven.

Abb.1: Das Sodar des DEWI, AeroVironment 4000 Mini-sodar, beim Einsatz auf dem Testfeld des DEWI.

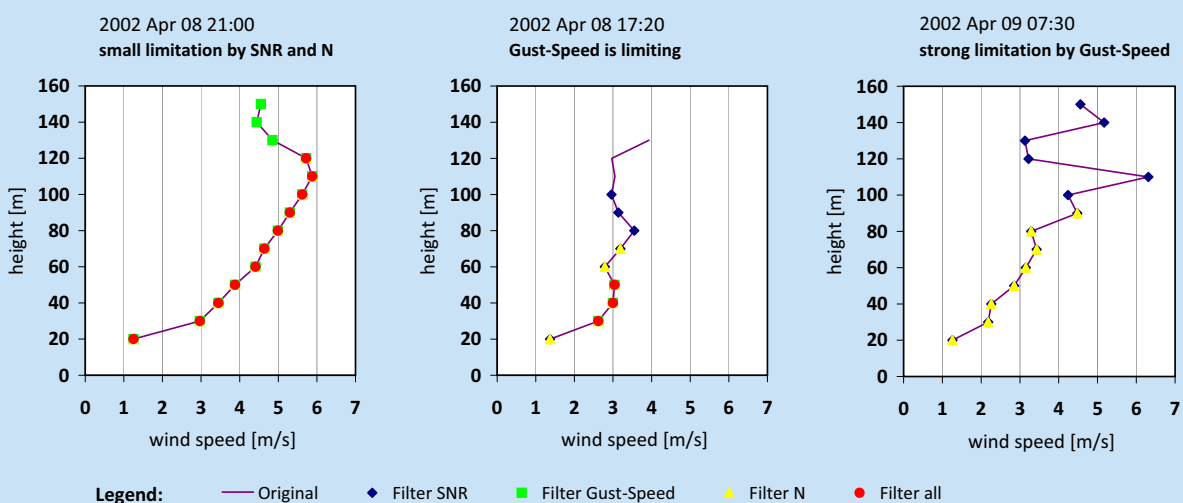


Fig. 2: Examples of filtered sodar data: the solid purple line shows the wind profile of the original data set; the blue, green and yellow marked profiles are remaining after applying the respective filter criteria; the red marked profile is remaining after applying all filter criteria.

Abb. 2: Beispiele für Datenfilterung: Die durchgezogene Linie zeigt das Profil des Rohdatensatzes, die farbigen (blau, grün, gelb) Markierungen zeigen Profile nach erfolgter Filterung bezüglich der jeweils angegebenen Größe, das rot-markierte Profil ist das Resultat bei gleichzeitiger Anwendung aller drei aufgeführten Kriterien.

It is necessary not only to take care while measuring with the sodar but also while evaluating the data afterwards. A wrong or not appropriate filtering of raw data can lead to high deviation in long-term mean wind speed at hub height. The challenge in applying sodar data for energy yield assessment is due to

- an appropriate filtering of raw data and
- a seasonal correction of the mean wind profile, because sodar measurements are usually performed not longer than a few weeks.

The data output file of sodar measurements differs between various manufacturers and depends on signal processing and sodar software. For a data output consisting only of mean wind profile (horizontal wind) and wind direction, the computation of the wind profile is not reproducible, if there is no information about algorithm and filter

Dass heißt, nicht nur bei der Sodarmessung selbst, sondern auch nachher bei deren Auswertung ist große Sorgfalt notwendig. Eine falsche oder auch nur für den Zweck nicht passende Filterung der gemessenen Rohdaten kann zu einer sehr hohen Abweichung in der langjährigen mittleren Windgeschwindigkeit auf Nabenhöhe führen. Im wesentlichen treten somit bei der Anwendung von Sodardaten für Ertragsermittlungen zwei Schwierigkeiten auf:

- die Durchführung einer geeigneten Filterung der Daten und
- die saisonale Korrektur des Windprofils, da Sodarmessungen in der Regel nur über wenige Wochen durchgeführt werden.

Die Ausgabeform der Daten einer Sodarmessung ist von Hersteller zu Hersteller unterschiedlich und hängt von der Signalverarbeitung sowie von der Sodar-Software ab. Gibt

criteria of the software, which is often the case. In consequence of this missing information it is not possible to estimate the quality and plausibility for each measured wind speed value in the wind profile. It is preferable to obtain the mean wind profile and also the single wind components  $u$  and  $v$  as well as the variance of all wind components with the output file. Important for evaluation can also be the signal-to-noise-ratio (SNR) and the number of suitable measuring pulses which were considered for the mean of each component and height level. In that way the estimation of quality and plausibility for each measured wind speed value can be carried out.

An essential point of filtering sodar data is the following use of the data. Many sodar measurements have the intention to get an exact shot of the prevailing vertical wind profile e.g. to determine special meteorological situations like low level jets. For this purpose very strong filter criteria need to be set. This ends up in a lot of filtered data for day profiles, when the stratification is mostly unstable or neutral and perturbations are stronger, while only the night profiles (mostly stable stratification) pass the filter criteria. Using such an average profile as a mean profile for wind energy purpose would lead to clearly higher wind speeds for the site. For energy yield assessment it is necessary to gain an average wind profile which considers all meteorological situations according to their long-term frequency. This could be reached by soft filter criteria.

The influence of different filter criteria can be seen in an example shown in Fig. 2. A measurement with the DEWI sodar (see Fig. 1) in April 2002 has been evaluated regarding different filter criteria. Following variables have been considered as filter criteria:

- SNR – Signal-to-Noise-Ratio,
- Gust-Speed – a measure for high wind speed occurrence in recent past,
- N – number of suitable measuring pulses within the time window (e.g. 10 minute mean).


Fig. 2 shows wind profiles that were obtained with

das Sodar nur gefilterte und gemittelte Windprofile (Horizontalwind und Windrichtung) aus, ist deren Entstehung nicht nachvollziehbar, wenn die Algorithmen und Filterkriterien der Software nicht dokumentiert sind - was häufig der Fall ist. Eine Einschätzung der Qualität bzw. Glaubhaftigkeit jedes einzelnen Geschwindigkeitswertes im Profil kann im nachhinein nicht mehr vorgenommen werden. Wünschenswert ist, dass neben dem mittleren Horizontalwind auch die einzelnen Windkomponenten  $u$  und  $v$  sowie deren Varianz angegeben werden und dass wichtige Größen wie das Signal-zu-Rauschen-Verhältnis oder die Anzahl der in die Mittelung eingegangenen Pulse für jede Höhe und jede Komponente mit aufgeschrieben werden. Die letztgenannten Größen ermöglichen eine Bewertung und Filterung der ausgegebenen Geschwindigkeitswerte.

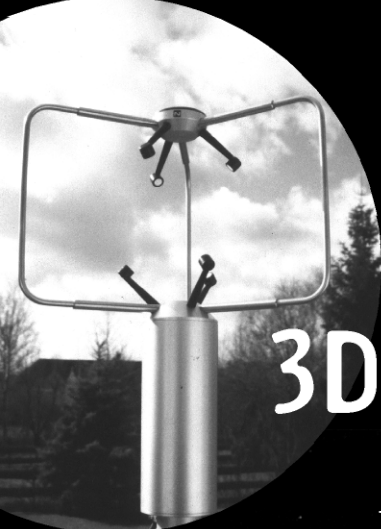
Ein wesentlicher Punkt bei der Filterung ist die anschließenden

**Continuous windprofiles without mast**

**High resolution wind profiles up to 200m height**




**miniSodar**



**3D-Sonic**

**Anemometer for precise high resolution wind measurements**


**3-dimensional wind and turbulence measurement**




**SALES AND SERVICE BY:**

**GWU-Umwelttechnik**

Talstraße 3  
D-50374 Erftstadt-Friesheim  
Phone + 49 (0) 22 35/95 52 20  
Fax + 49 (0) 22 35/7 56 32  
E-mail: info@gwu-group.de  
Web: [www.gwu-group.de](http://www.gwu-group.de)



**Professional solutions for wind and weather measurements!**



strong filter criteria under different atmospheric conditions. An example for a night profile is the figure on the left side, where the filtering has less influence on the original profile. The SNR and N filter criteria lead to a cut off in 120m height, so the red marked profile is remaining up to this height. In the other two figures the original profile looks plausible up to a height of 100m but the filter criteria have a strong influence and the remaining wind profile after applying all filter criteria is badly reduced (middle) or even totally filtered out (right). Especially a conservative Gust-Speed criteria can lead to strong filtering under neutral or weak wind conditions. A better filter criteria than the Gust-Speed would be the variance of wind speed in that case.

The measuring time for the sodar should consider a representative period that covers various atmospheric conditions. Because of the seasonal differences in stratification, especially between summer and winter months which should be avoided, the transition time in spring and autumn should be chosen. The measuring period should be prolonged, if the measuring campaign was considered as not representative.

A seasonal correction of the wind profile can be carried out in different ways. DEWI has developed a gradient correlation (see [1] and [2]) and a correction dependent on the position of the sun. The correction methods are used depending on suitability.

At the moment DEWI examines in which way the integration of simultaneous measured values of vertical wind variance (with ultrasonic anemometer) or radiation balance could improve the correction methods. With such additional information a classification of the sodar wind profiles regarding the atmospheric stratification would be possible and a more accurate correction of seasonal variations might be applicable.

In general the following criteria should be fulfilled to make sodar measurements applicable for wind energy purpose:

- The sodar measuring should be carried out simultaneously to the mast measurement in spring or autumn months and should last at least two months or longer.

de Verwendung der Daten. So zielen viele Sodarmessungen darauf ab, ein möglichst genaues Bild des *momentanen* vertikalen Profils zu erlangen, um bestimmte meteorologische Situationen, wie beispielsweise niedertroposphärische Strahlströme (low-level jets) zu erkennen, so dass oft sehr harte Filterkriterien angewendet werden. Dies kann jedoch dazu führen, dass nur die weniger gestörten Nachtprofile mit stark stabiler Schichtung die Filterkriterien bestehen und die Tagprofile aufgrund der höheren Störeinflüsse auf die Messung herausgefiltert werden. Wendet man ein so erhaltenes mittleres Profil als durchschnittliches Profil für eine Ertragsermittlung an, so errechnet man für den betrachteten Standort deutlich zu hohe Windgeschwindigkeiten. Für Ertragsermittlungen ist es jedoch notwendig, ein durchschnittliches Profil zu erhalten, das alle meteorologischen Situationen entsprechend ihrer langjährigen Häufigkeit beinhaltet. Dies kann unter Vergrößerung der Unsicherheiten für die einzelnen meteorologischen Situationen mit einer "weicheren" Filterung erreicht werden.

Der Einfluss unterschiedlicher gängiger Filterkriterien ist sehr deutlich an einem Beispiel in Abb. 2 zu sehen. Eine Messung des DEWI-Sodars im April 2002 wurde hier hinsichtlich verschiedener Filterkriterien untersucht. Folgende Größen wurden bei der Filterung als Kriterien herangezogen:

- SNR – Signal-to-Noise-Ratio (Signal-zu-Rauschen-Verhältnis)
- Gust-Speed – Maß für Maximalwerte der Windgeschwindigkeit in jüngster Vergangenheit
- N – die Anzahl von Messpulsen innerhalb eines Messintervalls

Mit einer eher konservativen Wahl der Filterkriterien erhält man Profile wie in Abb. 2 für unterschiedlichen atmosphärischen Bedingungen dargestellt. Beispielhaft für ein Nachtprofil steht das linke Bild, wo die Filterung kaum in die Messung eingreift. Das Profil wird auf Grund der Filterung bezüglich SNR und N in 120 m Höhe abgeschnitten. In der mittleren und rechten Abbildung greifen die Filterkriterien stark in das Profil ein und kürzen dieses damit dramatisch, obwohl das Original-Profil in beiden Fällen bis in eine Höhe

#### List of Advertisers

Adolf Thies, Göttingen	13	Hanning & Kahl, Oerlinghausen	49
Ammonit, Berlin	11	Hilger u. Kern, Mannheim	37, 39
b-experts, Oldenburg	U2	HusumWind, Husum	41
Bremer Landesbank, Bremen	25	LTi REENERGY, Unna	17
BWE e. V. , Osnabrück	58	Schleifring und Apparatebau, Fürstenfeldbruck	45
DEWI, Wilhelmshaven	9	SunMedia Verlag, Hannover	31
DEWI-OCC, Cuyhaven	15	TÜV Nord Systems, Hamburg	43
Enveco, Steinfurt	55	TÜV SÜD Industrie Service, München	21
ESM, Rimbach-Mitlechtern	65	TWK Elektronik, Düsseldorf	23
EWEA, Belgium	51	Vestas Deutschland, Husum	U4
Gamesa Energie Deutschland, Oldenburg	13	Wilmers Meßtechnik, Hamburg	33
Gamesa Wind GmbH, Aschaffenburg	U3	Wind & Regen, Velburg	35
Gerrad Hassan, Oldenburg	61	Windspeed Ltd., Rhyl, UK	43
GWU-Umwelttechnik, Erfstadt	53		

- The sodar measuring site should be in the vicinity of the measuring mast so that a correlation can be accepted between sodar and mast data. Furthermore, the selection of the sodar site depends on existing obstacles, orography and measuring height. Especially high-voltage transmission lines have to be avoided in the distance area between 25 and 200 m, since these reflect strongly from experience. DEWI recommends a positioning of the sodar with professional support.
- A complete documentation of the sodar measurement which contains the sodar type, the version and the filter criteria of the sodar software, all by the user adjusted parameters, the orientation of the acoustic beams, a photo documentation, a characterization of the site and an elevation map should be available.
- To perform an extrapolation of the mast data to hub height with the help of sodar data, the sodar measurement should start somewhere below the highest mast measurement and have a measuring level in hub height.
- The measuring mast should fulfill the criteria of norm IEC 61400-121 [4] and IEA [5] and reach at least a height of 50m. The recording of wind speed at the measuring mast must be carried out in at least two different heights (e.g. 25 m and 50m). The measurement is optimal with three calibrated anemometers of the same type, one at the top of the mast and two on booms in different heights and oriented in same direction. Attention has to be paid on a good incoming flow on the anemometers from the main wind direction (not in the lee of the mast).
- For the evaluation of the sodar measurement, a set of data which contains the following variables as vertical profile should be available: the three wind speed components or the horizontal wind, their variance, the wind direction and as a further aid for the filtering the signal-to-noise-ratio as well as the number of suitable measuring pulses within the averaging period. With this basis an expert can carry out a data-filtering following appropriate chosen criteria. If only a filtered and averaged wind profile (horizontal wind and wind direction) is submitted, the filter criteria of the sodar software are needed to subject them to a plausibility verification otherwise the uncertainty of the sodar measurement is strongly increased.

von 100 m plausibel erscheint. Speziell die Filterung über den Gust-Speed-Wert kann bei konservativer Wahl in Schwachwindsituationen und bei neutraler Schichtung zu einer strikten Filterung führen. Wird bei einer Sodarmessung auch die Varianz der einzelnen Geschwindigkeitskomponenten ausgegeben, dann können diese häufig besser als das Gust-Speed-Kriterium zur Filterung von Fehlwerten dienen.

Aufgrund der saisonal unterschiedlichen Schichtung der Atmosphäre sollte für den Messzeitraum eine möglichst repräsentative Periode für die Sodarmessung gewählt werden. Normalerweise sind dies Frühjahr und Herbst, während reine Sommer- und Wintermonate vermieden werden sollten. Stellt sich während einer Messkampagne heraus, dass der Zeitraum wahrscheinlich nicht repräsentativ gewesen ist, so sollte die Messdauer verlängert werden.

Eine saisonale Korrektur des Windprofils kann durch verschiedene Methoden vorgenommen werden. Das DEWI wendet je nach Eignung für die jeweilige Sodarmessung eine Gradientenkorrelation an (siehe [1] und [2]) oder führt eine sonnenstandsabhängige Korrektur durch.

Zurzeit untersucht das DEWI, inwieweit die Verwendung von zeitgleich gemessenen Werten der Varianz der Vertikalwindgeschwindigkeit (mit einem Ultraschallanemometer) oder der Strahlungsbilanz die vom DEWI entwickelten Methoden weiter verbessern kann. Mit einer solchen zusätzlichen Information könnten die gemessenen Sodarprofile bezüglich der Schichtung der Atmosphäre grob sortiert werden und damit eine präzisere Korrektur der jahreszeitlichen Schwankung der Sodarmessung ermöglichen.

Generell gelten für die Verwendbarkeit einer Sodarmessung jedoch folgende Kriterien:

- Die Sodarmessung sollte mindestens zwei Monate oder länger parallel zur Mastmessung erfolgen und in den Übergangsjahreszeiten Frühling oder Herbst durchgeführt werden.
- Der Standort des Sodars sollte im näherem Umkreis des Messmastes gewählt werden, damit eine Korrelation zwischen Sodar- und Mastdaten vorgenommen werden kann. Weiterhin hängt die Wahl des Standortes von vorhandenen Hindernissen, dem Gelände und der gewünschten Messhöhe ab. Insbesondere sind überirdische Stromleitungen in dem Abstandsbereich zwischen 25 und 200 m zu vermeiden, da diese aus Erfahrung stark reflektieren. Das DEWI empfiehlt eine Positionierung des Sodars mit Hilfe fachmännischer Unterstützung.
- Eine vollständige Dokumentation der Sodarmessung, welche den Typ des Messgerätes, die Version der Software, die Filterkriterien der Software, sämtliche vom Nutzer einstellbare Parameter, die Ausrichtung der Schallstrahlen, eine Photodokumentation und Charakterisierung des Standortes, sowie eine Höhenkarte des Umfeldes beinhaltet, sollte erstellt werden (siehe dazu auch die Empfehlungen zur Dokumentation von Windmessungen des BWE [3]).

- Um eine Extrapolation der Mastdaten auf Nabenhöhe zu ermöglichen, sollte die Sodarmessung unterhalb der höchsten Mastmessung beginnen und im Windprofil eine Messhöhe in Nabenhöhe besitzen.
- Der Mast sollte die Normen der IEC 61400-121 [4] und der IEA [5] erfüllen und mindestens eine Höhe von 50 m haben. Die Erfassung der Windgeschwindigkeit am Messmast muss in mindestens zwei verschiedenen Höhen erfolgen (z. B. 25 m und 50 m). Optimal ist die Messung mit drei kalibrierten Anemometern gleichen Typs mit einer Topmessung und zwei Auslegern unterschiedlicher Höhe in die gleiche Richtung. Dabei ist auf eine gute Anströmung auf die Anemometer aus der Hauptwindrichtung zu achten (Windschatten des Mastes berücksichtigen)
- Zur Auswertung der Sodarmessung sollte ein Satz an Daten vorliegen, der folgende Größen als Höhenprofil beinhaltet: die drei Windgeschwindigkeitskomponenten oder den Horizontalwind, die Varianz dieser Größen, die Windrichtung und als weiteres Hilfsmittel zur Filterung das Signal-zu-Rauschen-Verhältnis sowie die Anzahl der in die Mittelung eingegangenen Pulse. Mit dieser Grundlage kann ein Gutachter eine Datenfilterung nach ausgewählten Kriterien vornehmen. Falls nur ein gefiltertes und gemittelt Windprofil (Horizontalwind und Windrichtung) übergeben wird, sind für eine Plausibilitätsprüfung unbedingt die Filterkriterien der Sodar-Software anzugeben, da sonst die Unsicherheit der Sodarmessung stark erhöht ist.

---

#### Literatur / References

- [1] M. Strack, A. Westerhellweg, R. Bannehr: Wind Farm Project Dahlenburg: Reliability by Diligence, DEWI Magazine No. 24, 2004
- [2] H. Mellinghoff, M. Strack: Erfahrungen aus dem Messbetrieb mit SODAR, DEWEK 2002, Wilhelmshaven.
- [3] Bundesverband Windenergie e.V. (BWE): Empfehlungen zur Dokumentation von Windmessungen im Rahmen der Ermittlung des Ertragspotenzials für Windkraftprojekte, 25.09.2003, Osnabrück.
- [4] International Electrotechnical Commission (IEC): IEC61400-12-1 Wind turbines - Part 12-1: Power performance measurements of electricity producing wind turbines, 1st ed., 12/2005.
- [5] IEA: IEA Recommendation 11: Wind Speed Measurement and Use of Cup Anemometry, 1st Ed., 1999.