

# Bewertung lokaler Windphänomene

**Wolfgang Woyke, Philip Egger, Harald Skopetz**

Fachhochschule Kufstein Tirol-Bildungs GmbH, Andreas-Hofer-Straße 7, 6330 Kufstein, +43 5372 71819 120, wolfgang.woyke@fh-kufstein.ac.at, www-fh-kufstein.ac.at

## **Kurzfassung:**

Im Zuge des Projektes „Messung und Auswertung des Erler Windes“ wird das Windphänomen „Erler Wind“ messtechnisch erfasst und ausgewertet. Zu diesem Zweck werden an den Standorten Schwaigen und Oberndorf Windmessungen über einen Zeitraum von zwei Jahren durchgeführt. Dadurch wird die Charakteristik und Ausprägung dieses Windphänomens erfasst und bewertet. Die Methodik zielt nicht nur darauf ab, die Wirtschaftlichkeit einer Investition zu prognostizieren, sondern liefert darüber hinaus plausible Fakten, warum ein spezieller Standort besonders geeignet ist. Dies unterstützt die Diskussion um die Akzeptanz des Projekts. Im vorliegenden Falle kann man von einem Windphänomen sprechen, das durch die Düsenwirkung der lokalen Topographie entsteht. Ein Beleg für diese Erklärung ist die deutliche Abhängigkeit der Winderzeugung von der Windrichtung. Die Windrichtung liegt fast ausschließlich in der Düsenachse.

**Keywords:** Windenergie, Kleinwindkraftwerke, Ressourcen

## **1 Lokale Windphänomene**

### **1.1 Ausgangspunkt und Fragestellung**

Der Alpenraum im Allgemeinen und insbesondere der Lebensraum Tirol weist eine geringe Häufigkeit von Windgeschwindigkeiten auf, die für eine Nutzung durch Windkraftanlagen geeignet wären. Windkraftanlagen der derzeit gängigen Dimension würden aufgrund der dichten Bebauung der Tallagen und der touristischen Nutzung auch auf erhebliche Widerstände stoßen. Anders sieht es allerdings im Bereich der Kleinwindkraftanlagen aus, die aufgrund der geringeren Bauhöhe und Schallemissionen deutlich mehr Akzeptanz in der Bevölkerung finden. Aufgrund der spezifisch höheren Kosten dieser Anlagen erfordert ein wirtschaftlicher Betrieb aber ein größeres Maß an Häufigkeit höherer Windgeschwindigkeiten als große Anlagen.

Kleinwindkraftwerke können deshalb wirtschaftlich nur dort errichtet werden, wo ein lokales Windphänomen für eine Häufung von Zeiten höherer Windgeschwindigkeit sorgt. Ein derartiger Standort liegt im Bereich der Talverengung des Inntals direkt an der Grenze zwischen Deutschland und Österreich. Der sogenannte „Erler Wind“ ist ein lokales tagesperiodisches Windsystem [1]. Es wird von den Anwohnern deutlich wahrgenommen und es gab insbesondere von deutscher Seite schon mehrfach Untersuchungen, ob hier Kleinwindkraftanlagen wirtschaftlich zu betreiben sind. Diese sind bislang jedoch ergebnislos

verlaufen, da die Datenqualität der Messungen unzureichend war und die Ergebnisse widersprüchlich waren. Es steht die Vermutung im Raum, dass die bisherigen Versuche daran scheiterten, dass der Aufstellungsort der Messinstrumente ungeeignet gewählt wurde. Daraus leitet sich die Forschungsfrage ab, inwiefern sich der Inntalausgang als Standort für Kleinwindkraftanlagen eignet. Entscheidend ist es, mögliche Investoren durch wissenschaftlich begleitete Messungen von der Zuverlässigkeit der Wirtschaftlichkeitsprognosen zu überzeugen.

## 1.2 Das lokale Windphänomen „Erler Wind“

In den Tälern des Alpenraums, und in diesem speziellen Fall im Tiroler Inntal, ist die Atmosphäre aufgrund der Topographie oft lokalen tagesperiodischen Windsystemen und Windrichtungsänderungen unterworfen. Hintergrund dieser Windsysteme ist das Ungleichgewicht der Luftmassen zwischen Tal und Alpenvorland. Das Luftvolumen im Tal, das am Tag über die Solarstrahlung erwärmt bzw. in der Nacht über die Ausstrahlung der Erdoberfläche abgekühlt wird, ist viel geringer als in der Ebene. Dadurch ergeben sich im Tal gegenüber der Ebene am Tag tendenziell höhere Temperaturen und in der Nacht etwas niedrigere Temperaturen. Diese Temperaturunterschiede sorgen für Druckunterschiede zwischen dem Tal und der Ebene und rufen Ausgleichsströmungen hervor, die sogenannten Berg- und Tal-Winde [2].

Wie stark diese periodischen Winde ausgeprägt sind, und wie diese zeitlich auftreten, hängt stark vom Talverlauf, Talquerschnitt und der Höhe der seitlichen Bergkämme ab. Darüber hinaus können starke Talverengungen einen Anstieg der Windgeschwindigkeit bewirken. Im Zuge dieser Windsysteme zwischen Gebirge und Vorland ist jedoch vor allem der Talausgang besonders interessant, denn dort nehmen die Talabwinde in bodennahen Schichten im Vergleich zu Bereichen im Talinneren oft sehr hohe Geschwindigkeiten an. Deshalb spricht man hier auch von sogenannten „Low-Level-Jets“ bzw. „bodennahen Strahlströmen“ [3]. Diese zeichnen sich eben durch hohe Geschwindigkeiten in bodennahen Schichten aus und sind dabei in ihrer vertikalen Mächtigkeit eng begrenzt [4].

## 1.3 Die Standorte Schwaigen und Oberndorf

Abbildung 1 zeigt eine topographische Sicht aus nördlicher Perspektive in das Tiroler Inntal. Zwei Vorberge mit einer Höhe von 1.400 m<sub>N</sub> stehen sich gegenüber und bilden den trichterförmigen Ausgang des Inntals in das bayrische Voralpenland. Die blau eingetragene Raute verdeutlicht den Strömungstrichter, den diese Formation bildet. Direkt im Zentrum dieses Trichters befindet sich der Messstandort Schwaigen. Der Messmast wurde auf freiem Feld mit mehr als 100 m Abstand zur nächsten Bebauung bzw. zu den nächsten Baumgruppen errichtet.

Der zweite Messstandort ist der Standort Oberndorf. Wie Abbildung 1 zeigt, liegt er bereits weit hinter dem Strömungstrichter im Zentrum zwischen dem alles überragenden Gebirgsstock des Kaisers, dem oberen Inntal in östlicher Richtung, dem unteren Inntal in nördlicher Richtung und der Region Walchsee-Kössen in westlicher Richtung. Er dient damit als Vergleichsstandort, da hier die Düsenwirkung keine Rolle spielt. Dadurch kann hier sehr gut der Einfluss des lokalen Windphänomens im Unterschied zum Wind, verursacht durch die überregionale Wettersituation, separiert werden.

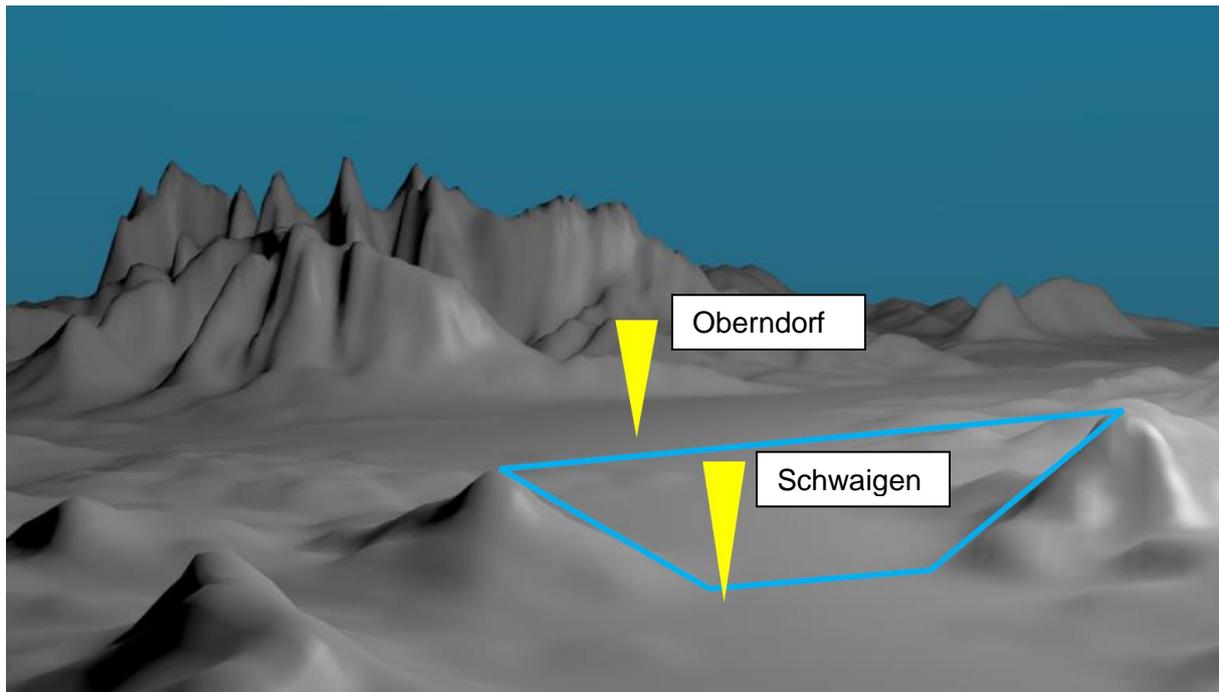


Abbildung 1: Standorte der Messungen aus nördlicher Perspektive

## 2 Der Aufbau der vergleichenden Windmessung

Die beiden Messstationen bestehen aus jeweils zwei Kugelschalenanemometern und einem Windrichtungsgeber. Für den Standort Schwaigen wurde ein Windmessmast errichtet (Abbildung 2). Die beiden Anemometer befinden sich dort auf 10m und 15m Höhe. Am Standort Oberndorf kann der Mast einer Richtfunkantenne genutzt werden. Die beiden Anemometer befinden sich in 9m und 12m Höhe neben einer Pegelmessstation am Inndamm. Die Stationen haben keine Datenübertragung. Die aufgezeichneten Daten werden stattdessen monatlich vor Ort ausgelesen und liefern eine zeitliche Auflösung von einer Minute. Sie sind mit einer batteriegepufferten Photovoltaikanlage für die Energieversorgung ausgerüstet. Das monatliche Auslesen der Daten ist gleichzeitig mit einer Inspektion der Anlagen verbunden. So können die Abspannseile nachgezogen und kleinere Reparaturen zeitnah durchgeführt werden... Es ist geplant, die Messung über zwei Jahre aufrecht zu erhalten.



Abbildung 2: Messstationen in Schwaigen (links) und Oberndorf (rechts)

### 3 Datenqualität und Datenkorrektur

Ein Datenlogger nimmt die Daten mit einer Rate von einer Sekunde auf und verdichtet sie zu Datensätzen mit einer Rate von einer Minute. Diese Datensätze werden für jede Messgröße und Zeitstempel mit Mittelwert, Minimal-, Maximalwert und Standardabweichung lokal abgespeichert.

Bislang wurden im Zeitraum vom 28. August 2018 bis 16. Januar 2019 mehr als 200.000 Datensätze erfasst, die der nachfolgenden Betrachtung zugrunde liegen. Bei einer Kontrolle der Ausrichtung der Windrichtungsgeber am 26. November stellte sich heraus, dass die Ausrichtung des Windrichtungsgebers um  $35^\circ$  abwich. Kurz nach Inbetriebnahme verdrehte eine Windböe den Auslegerarm um diesen Winkel. Daten im Zeitraum vor diesem Tag müssen entsprechend korrigiert werden.

Bei einer Kontrolle Ende Januar zeigte sich, dass die Energieversorgung am Standort Oberndorf aufgrund geringer Sonneneinstrahlung zu Ausfällen der Datenerfassung führte. Man kann dies kurzfristig durch Nachladen der Batterie beheben. Zur Behebung der Datenlücken müssen noch geeignete Ersatzwertstrategien entwickelt werden.

Daraus ergeben sich folgende Aufgaben für die Datenerfassung:

- Erkennung von Fehlern und Lücken
- Korrektur verifizierter systematischer Messfehler
- Ersatzwertbildung bei Messwertausfall

Der Umfang der Daten ist an einer Grenze angekommen, an der er sich mit gewöhnlichen Tabellenkalkulationsprogrammen nicht mehr bearbeiten lässt. Künftig sollen Datenbankanwendungen zum Einsatz kommen. Es erschließt sich ein Anknüpfungspunkt an die Lehre, da der Umgang mit großen Datenmengen ein wesentliches Kompetenzmerkmal für Absolventen der Studiengänge in Energiewirtschaft an der FH Kufstein darstellt.

## 4 Vergleich von Windlastprofilen und Winddauerlinie

### 4.1 Zeitverlauf der Windgeschwindigkeit

Der Zeitverlauf der Windgeschwindigkeit am Standort Schwaigen zeigt im Messzeitraum ein täglich wiederkehrendes Muster mit überlagerten Schwankungen, die auf verschiedene Wetterlagen zurückzuführen sind (Abbildung 3). Der Mittelwert beträgt 5,51 m/s, der Maximalwert 19,52 m/s.

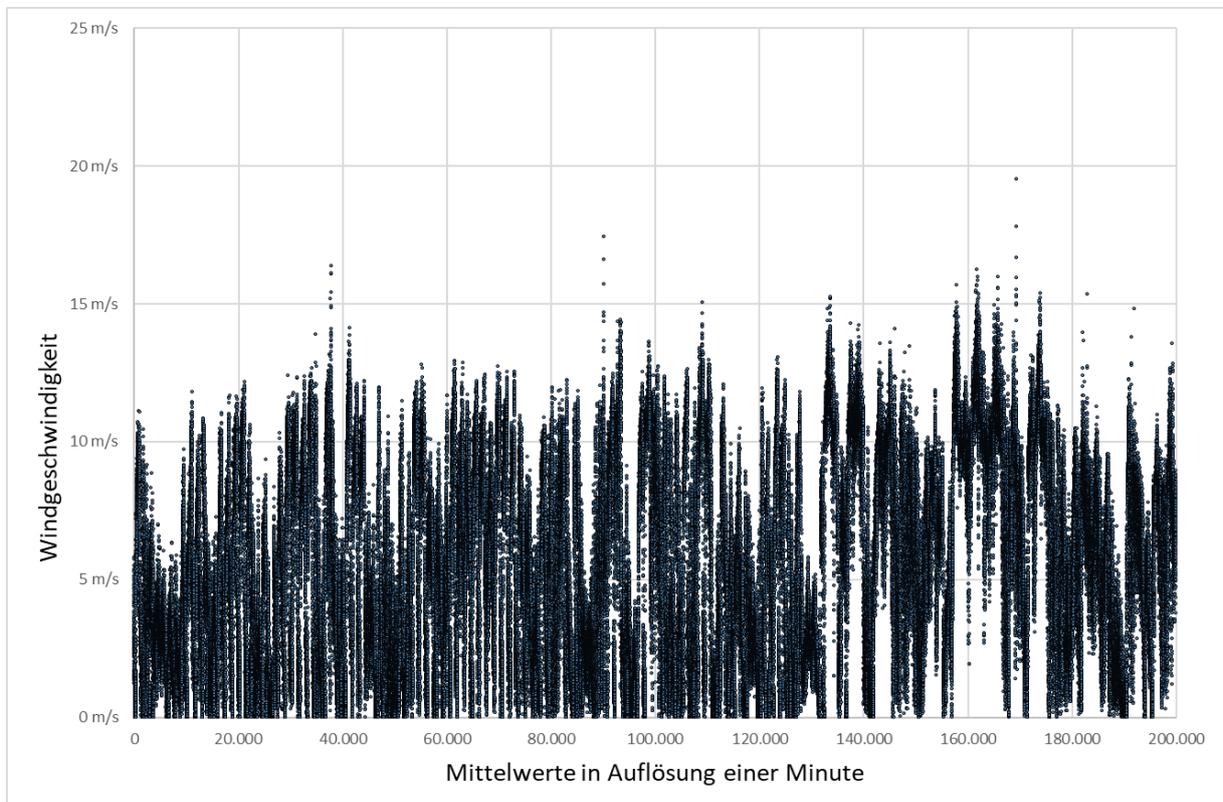


Abbildung 3: Windgeschwindigkeit Schwaigen 15m

Abbildung 4 stellt den Zeitverlauf der Windgeschwindigkeit am Vergleichsstandort Oberndorf dar. Auch hier lassen sich einzelne Tage als Grundmuster erkennen. Deutlich ist aber, dass bei ähnlichen Spitzenwerten von 20,11 m/s der Mittelwert mit 1,51 m/s sehr viel geringer ist.

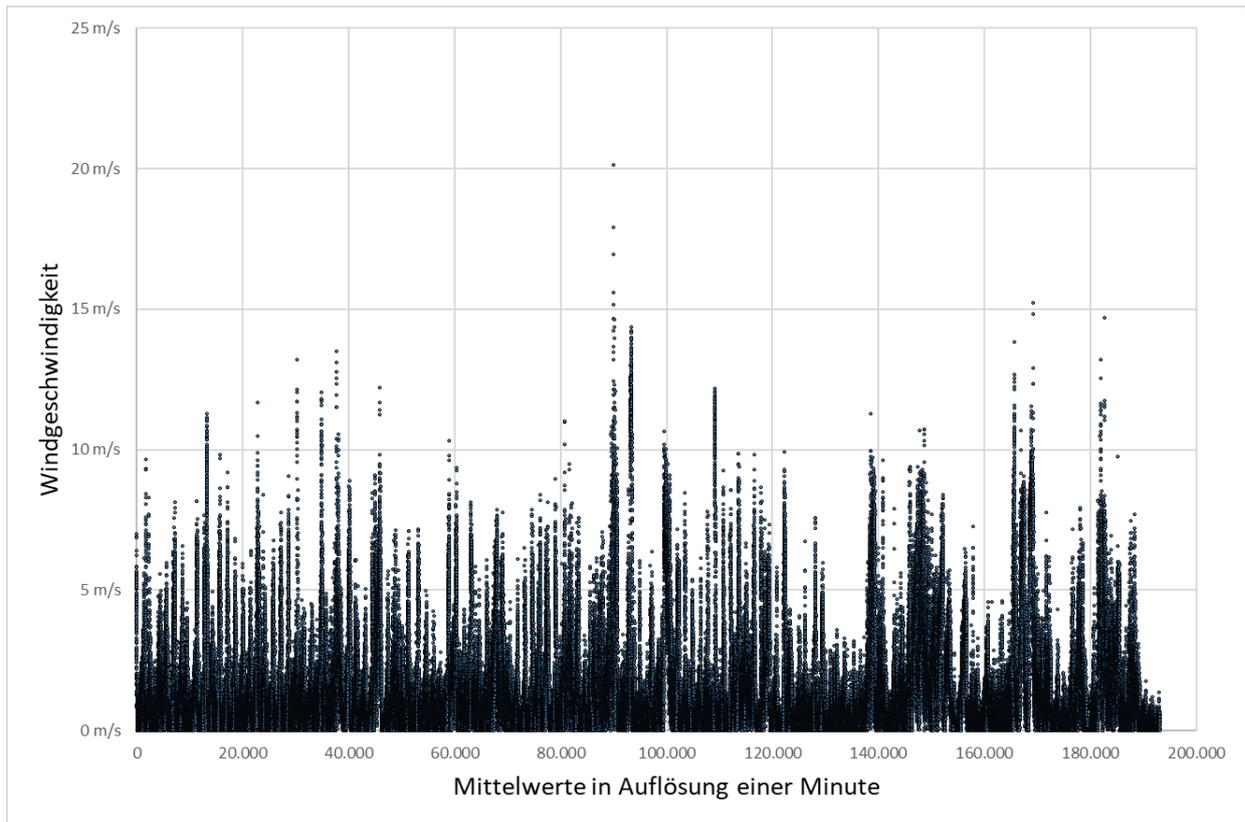


Abbildung 4: Windgeschwindigkeit Oberndorf 12m

## 4.2 Die Dauerlinie der Windgeschwindigkeit

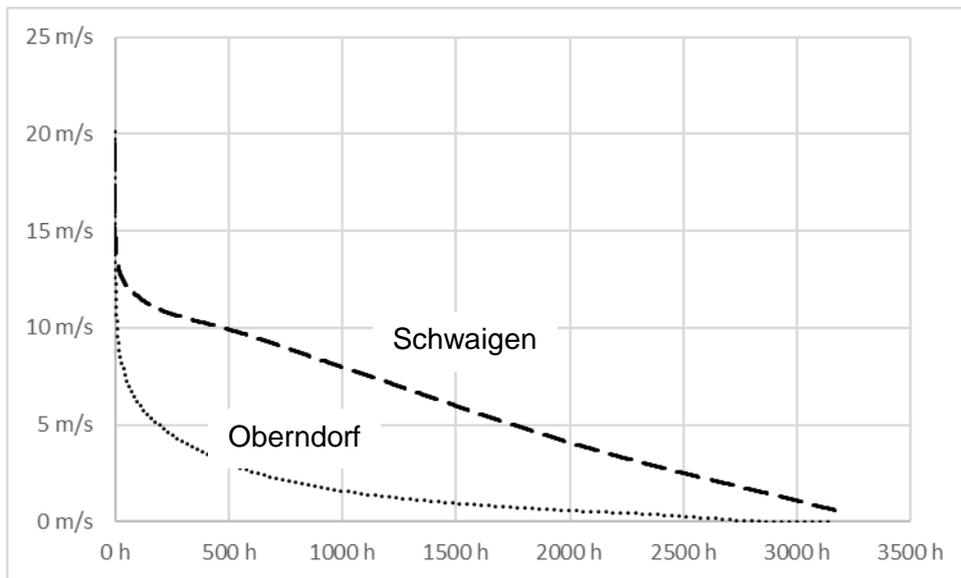


Abbildung 5: Dauerlinie der Windgeschwindigkeit im Vergleich

Die Dauerlinie der Windgeschwindigkeit zeigt den Unterschied beider Standorte. Am Standort Schwaigen ist ein deutliches Potenzial im Bereich zwischen 5 m/s und 10 m/s erkennbar, das

sich über einen erstaunlich weiten Bereich hinzieht. Am Standort Oberndorf dagegen fällt die Dauerlinie rasch unter Werte von 5 m/s ab.

### 4.3 Die Referenz Leichtwindanlage AVENTA-V7

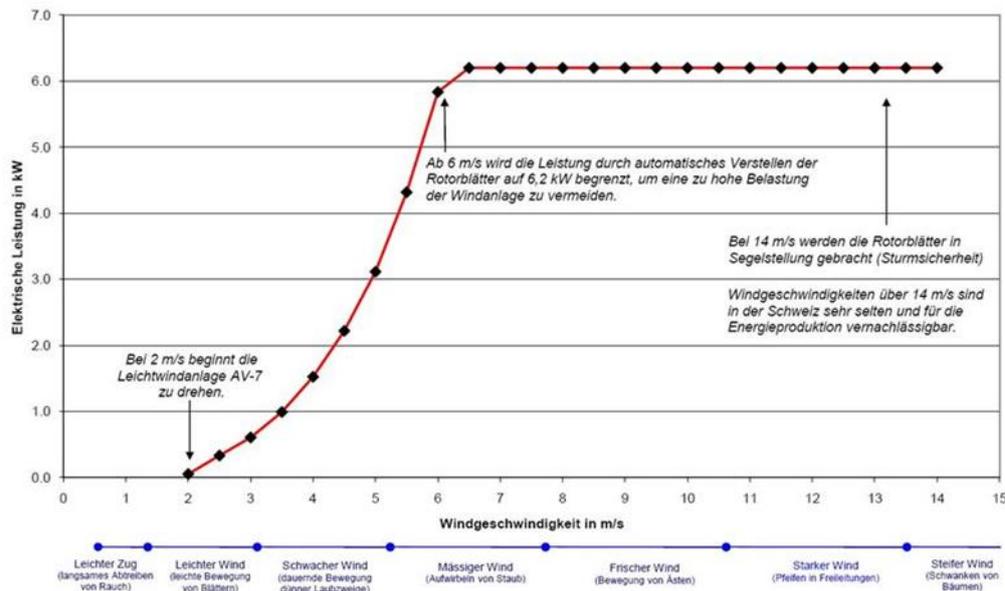


Abbildung 6: Die Leistungskennlinie der Leichtwindanlage AVENTA AV-7; Grafik entnommen aus [5]

Um die Windgeschwindigkeit bzgl. Leistung und Energieerzeugung zu bewerten wird exemplarisch die Leichtwindanlage (LWA) AVENTA AV-7 verwendet. Diese dient als Referenzanlage, auf die sich im Folgenden alle Berechnungen zu Volllaststunden, Energieerträgen etc. beziehen. Bereits bei 2 m/s beginnt diese LWA zu drehen und erreicht bei 6,5 m/s Nennleistung. Ab 14 m/s greifen Maßnahmen zur Sturmsicherung.

### 4.4 Hochrechnung des Ertrags der Windturbine

Tabelle 1: Kennwerte der Erzeugung hochgerechnet für die LWA AV-7 auf ein ganzes Betriebsjahr

	Schwaigen	Oberndorf
<b>Mittelwert der Leistung</b>	3376 W	488 W
<b>Erzeugung von 28.8.2018 bis 16.1.2019</b>	11.404 kWh	1.574 kWh
<b>Jahreserzeugung hochgerechnet</b>	30.986 kWh	4.276 kWh
<b>Auslastung hochgerechnet</b>	4998 h	690 h

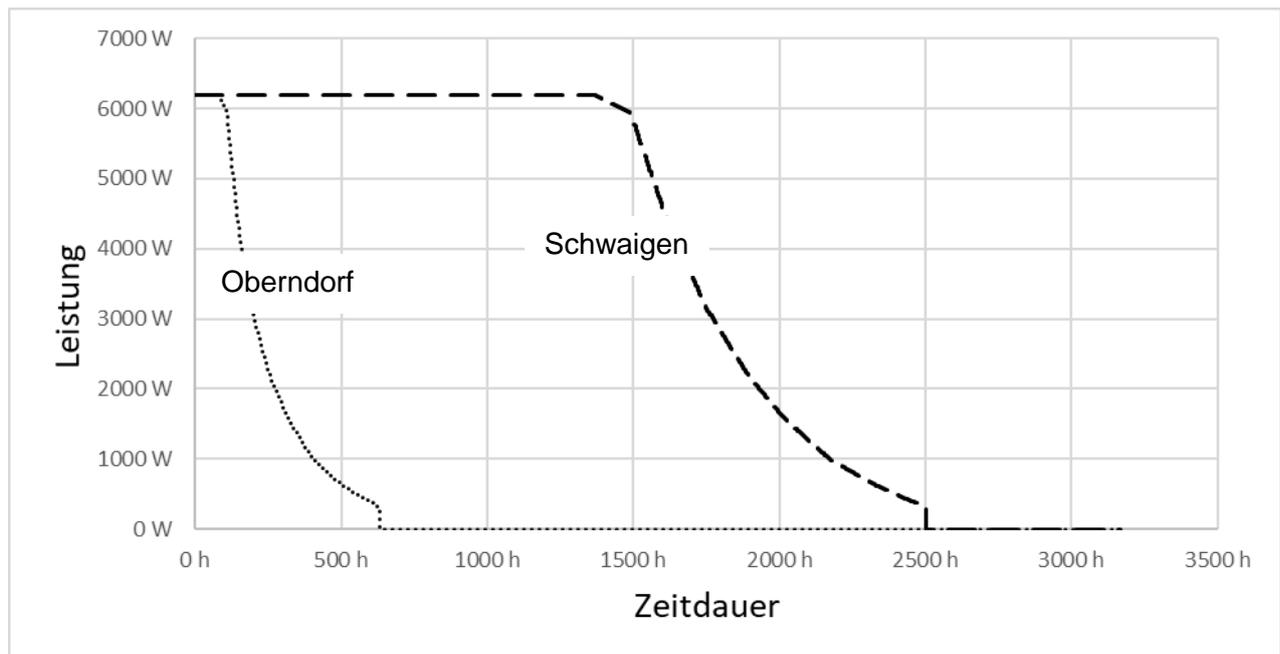


Abbildung 7: Geordnete Dauerlinie hochgerechnet für die WKA AV-7

Da die Leistungskennlinie einer Windkraftanlage in nichtlinearer Art und Weise insbesondere mittlere Windgeschwindigkeiten hervorhebt und höhere Windgeschwindigkeiten durch die Nennleistung beschränkt werden, verändert sich das Bild der Dauerleistung deutlich, wenn man die Windgeschwindigkeiten mit der Leistungskennlinie hochrechnet (Abbildung 7). Der Standort Schwaigen erreicht in Bezug auf die Dauer ca. 50 % Auslastung und damit ein Vielfaches dessen, was eine LWA in Oberndorf erzeugen könnte.

Tabelle 1 listet prägnante Kennzahlen, die allerdings aufgrund der noch kurzen Messperiode nur eine Abschätzung darstellen können.

## 5 Plausibilisierung und Validierung als lokales Windphänomen

Die bislang ermittelten Ergebnisse sprechen sehr eindeutig dafür, dass am Standort ein ausreichendes Windpotenzial vorhanden ist, welches in dieser Ausprägung nicht zu erwarten war. Ziel ist es deshalb, dieses lokale Windphänomen, nämlich die durch die düsenförmige Einengung des Tales hervorgerufene Windströmung von der regionalen allgemeinen Windströmung abzugrenzen, und in seinen Eigenschaften näher zu charakterisieren.

### 5.1 Die Korrelation mit dem tageszeitlichen Rhythmus

Es ist eine empirische Beobachtung, dass der sogenannte „Erler Wind“ tagesperiodisch als Südwind in den späten Vormittagsstunden und als Nordwind in den Nachmittagsstunden auftritt. Um diese Beobachtung zu verifizieren werden aus den jeweiligen Minutenwerten der gleichen Uhrzeit an den zurückliegenden 140 Beobachtungstagen Mittelwerte gebildet (Abbildung 8). Die Auswertung präzisiert die empirische Beobachtung. Der Südwind am späten Vormittag hat seinen Ursprung bereits in den Abendstunden des Vortages und tritt nur am Standort Schwaigen auf, während der Nordwind am späten Nachmittag sich nur am Standort

Oberndorf zeigt. Es gibt aber offensichtlich keine zeitliche Verbindung zwischen beiden tageszeitlichen Erscheinungen.

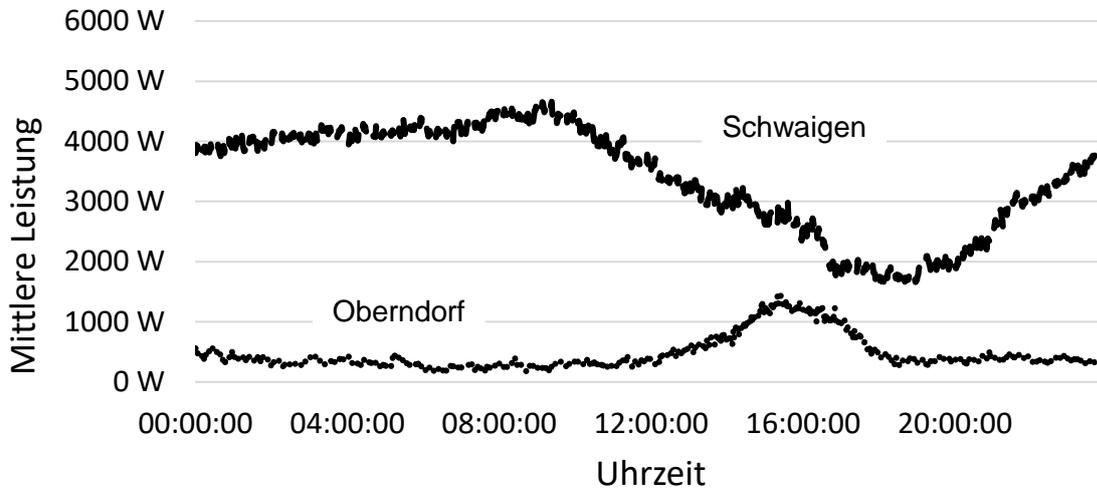


Abbildung 8: Mittlere hochgerechnete Leistung aufgeschlüsselt nach der Tageszeit am Standort Schwaigen und Oberndorf.

## 5.2 Die Korrelation mit der Windrichtung

Das Windphänomen zeichnet sich dadurch aus, dass die Talverengung in Nord-Süd-Richtung ausgerichtet ist und damit sowohl Nord- als auch Südwinde auftreten. Diskretisiert man die Windrichtung in Intervalle von jeweils einem Winkelgrad, so kann man am Beispiel der Referenz - LWA die Erzeugung in Abhängigkeit der Windrichtung darstellen. Aus Abbildung 9 ist ein signifikantes Maximum des nutzbaren Winddargebots aus südlicher Richtung ableitbar. Am Standort Oberndorf ist nur eine schwache Ausprägung nachweisbar. Qualitativ wird die Beobachtung also bestätigt, dass es auch in Oberndorf eine Vorzugsrichtung für Wind gibt. Quantitativ wird aber klar, dass dies nicht zu einem ausreichenden Potenzial führt.

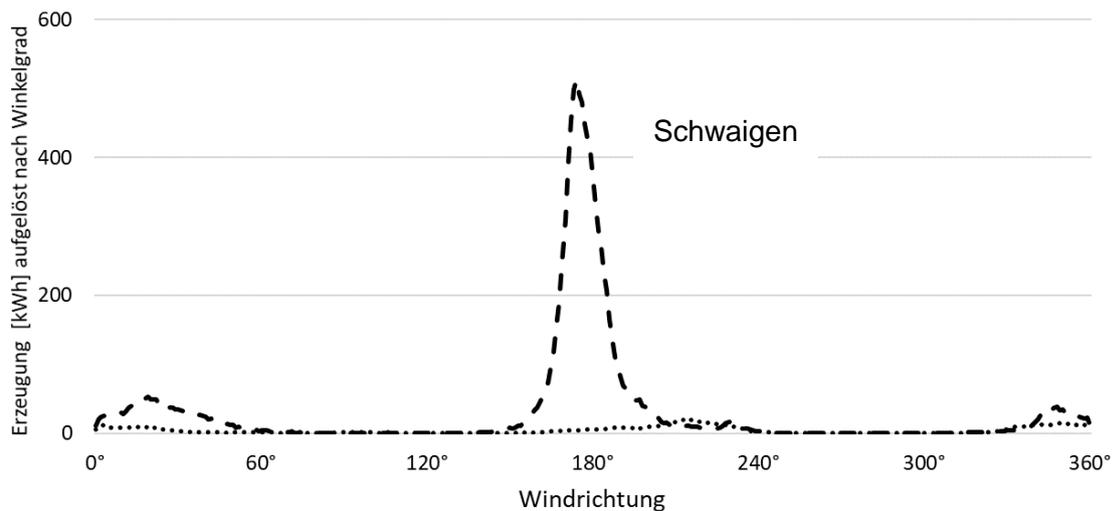


Abbildung 9: Rechnerischer Ertrag der Windkraftanlage AVEVTA AV-7 aufgelöst nach Winkelgrad der Windrichtung

## 6 Zusammenfassung und Ausblick

Das Windphänomen „Erler Wind“ ist der lokalen Bevölkerung seit jeher bekannt. Um dieses Phänomen empirisch zu erfassen, wurden zwei Messstandorte innerhalb (Schwaigen) und außerhalb (Oberndorf) der topographischen Düse eingerichtet. Bereits nach 140 Tagen der Aufnahme von Messwerten kann eine erhöhte Häufigkeit von Wind mit Geschwindigkeiten im Bereich von 3m/s bis 12 m/s am Standort Schwaigen nachgewiesen werden. Die Ausrichtung der Starkwinde in Nord-Südrichtung belegt, dass dies auf die Düsenwirkung zurück zu führen ist. Die Düse hat dabei insbesondere verstärkende Wirkung auf Südwinde, während Nordwinde von der Topographie deutlich geringer beeinflusst werden. Die wesentlich geringeren gemessenen Windgeschwindigkeiten am Standort Oberndorf zeigen die sehr begrenzte geographische Ausbreitung dieses Windphänomens.

Das der Bevölkerung bekannte Phänomen von in ihrer Richtung und tageszeitlichen Wiederkehr her deutliche Windaufkommen kann reproduziert und quantitativ gefasst werden. Damit kann auf plausibel nachvollziehbaren Erkenntnissen die weitere Diskussion zur Standortfindung für Kleinwindkraftwerke weitergeführt werden. Im weiteren Projektverlauf wird der Zeitraum der Datenerhebung auf zwei Jahre ausgedehnt.

### Literatur

- [1] Konrad, G., Egger, P., Woyke, W.: Messtechnische Untersuchung einer lokalen Windströmung, 15. Symposium Energieinnovation, 14.-16.02.2018, Graz
- [2] Whiteman C.D. (1990): Observations of Thermally Developed Wind Systems in Mountainous Terrain; Meteorological Monographs, 23, no. 45; American Meteorological Society, Boston, Massachusetts;
- [3] Zängl G. (2009): The impact of weak synoptic forcing on the valley-wind circulation in the Alpine Inn Valley; Meteorol Atmos Phys; Springer Verlag 2009
- [4] Pamperin H. und Stilke G. (1985): Nächtliche Grenzschicht und LLJ im Alpenvorland nahe dem Inntalausgang, Meteorologische Rundschau – Ausgabe 38, S. 145-156 (Oktober 1985)

[5] Aventa AV-7 - 6,20 kW - Windkraftanlage - auf [wind-turbine-models.com](https://www.wind-turbine-models.com); [<https://www.wind-turbine-models.com> › Turbinen › Aventa › AV-7] (abgerufen am 29.1.2019)

Das Projekt „Messung und Auswertung des Erler Winds“ wurde aus Mitteln des vom Land Tirol eingerichteten Wissenschaftsfonds gefördert.