

**Zeitschrift:** Tec21  
**Herausgeber:** Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein  
**Band:** 128 (2002)  
**Heft:** 10: Alternative Energien

**Artikel:** Leichtwindstrom  
**Autor:** Engler, Daniel  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-80385>

#### Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

#### Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

#### Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 14.01.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Leichtwindstrom

**Die Stromerzeugung mit Windturbinen ist in den letzten Jahren ökonomisch interessant geworden und kann (zumindest am Meer) mit konventionell erzeugtem Strom konkurrieren. Höhere Leistungen pro Turbine, effizientere Anlagen und kosten-senkende Serienfertigung haben diese Entwicklung in sehr kurzer Zeit möglich gemacht. In der Schweiz allerdings wachsen die Vorbehalte gegenüber den Auswirkungen auf das Landschaftsbild. Ein innovatives Konzept versucht, durch kleinere Anlagen eine höhere Akzeptanz zu erreichen. Zudem erweitert eine Optimierung auf schwächere Winde den Kreis der möglichen Standorte. Der so produzierte Strom ist allerdings teuer.**

Im 19. Jahrhundert drehten sich in Europa die Rotoren von über hunderttausend Windmühlen. Die Wasserkraft und später die Dampfmaschine machten diesem Industriezweig dann aber ziemlich vollständig den Garaus. Erst in der Folge der Erdölkrisse Anfang der 70er-Jahre besann man sich wieder auf die vergessene Energieform und begann, vor allem an Küstenstreifen mit verlässlichem Windaufkommen, moderne Windkraftwerke zu erstellen. Weltweit sind bis heute rund 20 000 MW Windleistung installiert (vgl. Kasten), davon die Hälfte in Europa. Führende Länder sind Deutschland, mit grossem Abstand vor Spanien, den USA und Dänemark. In einem normalen Windjahr tragen diese Anlagen etwa drei Prozent des gesamten Strombedarfs in Deutschland. Dieser gesamthaft gesehen geringe Beitrag wird aufgewertet durch die Tatsache, dass 60% davon hochpreisiger Winterstrom sind. Und in einzelnen, speziell geeigneten Gebieten kann der Anteil auch höher liegen. So erreicht das Bundesland Schleswig-Holstein mit 2300 Anlagen eine Windstromquote von über 17 %.

## Leistungssteigerung

Die Leistung von neuen Windkraftwerken ist in den letzten Jahren schnell und stetig gestiegen. So werden an der Nordseeküste unterdessen Offshore-Windfarmen (die Anlagen stehen in Küstennähe im Meer) mit mehreren Turbinen von jeweils 2 MW Leistung betrieben. Vor einem knappen Jahrzehnt lag dieser Wert noch um den Faktor Zehn tiefer. Die Grenze der Leistungssteigerungen wird, so schätzt man heute, bei etwa 5 MW liegen. Begrenzender Faktor ist der Transport der Rotorflügel, die für solche Anlagen bis zu 50 Meter lang sind (neue Entwicklungen, wie als Prototypen

## Masseneinheiten

Im Zusammenhang mit Windkraft wird oft von der installierten Leistung (in kW oder MW) gesprochen. Dieses Mass ist jedoch einigermassen irreführend, vor allem wenn es zum Vergleich mit konventionellen Kraftwerken gebraucht wird. Diese liefern die Leistung praktisch das ganze Jahr über als kontinuierlich verfügbare Bandenergie. Der Wind hingegen bläst nicht immer. Eigentlich kann nur die in einem Jahr total erzeugte Stromproduktion wirklich interessieren (kWh/a). Das Verhältnis der Jahresproduktion zur installierten Leistung ergibt die so genannten *Vollaststunden*. Diese Grösse sagt etwas über Effizienz und Standortangepasstheit einer Anlage aus, nämlich wie viele Stunden sie auf voller Leistung laufen müsste, um ihre übliche Jahresproduktion zu erzielen. Ein Jahr zählt 8760 Stunden. Die Vollaststundenzahl von Windkraftwerken beträgt zwischen unter 1000 bis zu gegen 3000 Stunden für optimal konzipierte Anlagen. Leichtwindanlagen erreichen hohe Vollaststundenzahlen. Das für die *Wirtschaftlichkeit* entscheidende Kriterium ist jedoch der Stromgestehungspreis, also die Kosten pro erzeugte Kilowattstunde (Rp./kWh) über die gesamte Lebensdauer der Anlage.



1

**Montage des Rotors an einer 850-kW-Turbine auf dem Mont-Crosin.** Nabenhöhe: 50 Meter. Rotordurchmesser: 52 Meter. Geschätzte Jahresproduktion: 900 MWh (Bild: Juvent)

bereits flugfähige Luftschifftransporter, könnten hier allerdings mittelfristig wieder zu einem Quantensprung führen). Grundsätzlich liegt im Bereich der Off-shore-Anlagen sicher das grösste Potenzial (vgl. auch tec21 Nr. 14/2001). Erstens weht der Wind hier stark und verlässlich, und zweitens entstehen auf der hindernislosen Wasserfläche keine störenden und den Wirkungsgrad senkenden Verwirbelungen.

### Windkraft in der Schweiz

In zwei Punkten unterscheidet sich die Situation in der Schweiz wesentlich von der oben beschriebenen: Zum einen ist das Windaufkommen geringer, und zum anderen ergibt sich aus der hohen Bevölkerungsdichte eine grössere Immissionsempfindlichkeit. Gerade weil die Windanlagen an exponierten Standorten laufen sollten, ist der Landschaftsschutz ein wichtiges Thema. So stösst das Projekt des bisher grössten Schweizer Windkraftwerkes im neuenburgischen Tête-de-Ran in der Bevölkerung auf grossen Widerstand. Das Projekt sieht vor, sieben Anlagen mit je 850 kW Nennleistung und Nabenhöhen von 90 Metern auf dem Jurakamm in der Nähe der Vue des Alpes aufzustellen. Die Jahresproduktion des gesamten Windparks soll etwa 15 000 MWh betragen. Die Opponenten befürchten jedoch eine übermässige Beeinträchtigung des Landschaftsbildes. Es lässt sich feststellen, dass in der Schweiz bei aller Sympathie für erneuerbare Energien der Widerstand gegen die immer grösser werdenden Anlagen zunimmt.

### Kleine Anlage, leichte Winde

Diese Konflikte waren für eine Gruppe von Ingenieuren aus Winterthur der Anlass, sich Gedanken über ein alternatives Konzept von Windanlagen zu machen. Zwei Aspekte prägen das Resultat: Einerseits der Entschluss, mit kleineren Anlagen von maximal zwanzig Metern Nabenhöhe dem Landschaftsschutz eine hohe Priorität einzuräumen und damit in der Bevölkerung eine gute Akzeptanz zu erreichen. Andererseits die Überlegung, dass diese kleineren Anlagen in grösserer Zahl erstellt und damit auch an windmässig suboptimalen Standorten eingesetzt würden. Sie machten sich also daran, eine Anlage zu entwickeln, die für schwächere Winde (Jahresdurchschnitt um etwa 3 m/s)

optimiert ist. Die effizientere Ausnutzung der (oft vor kommenden) schwachen Winde, so die Überlegung, würde den Standortnachteil mindestens teilweise kom pensieren können.

### Das Dilemma des Windturbinenbauers

Die Konstruktion jeder Windanlage geschieht im Spannungsfeld zweier sich widersprechender Anforderungen: Die Stromproduktion soll schon bei wenig Wind mit hohem Wirkungsgrad beginnen. Und auf der anderen Seite soll die Turbine in der Lage sein, bei möglichst hohen Windgeschwindigkeiten ohne Schadensrisiko in Betrieb zu bleiben. Mast, Rotor und Turbine sind für die Aufnahme bestimmter Kräfte ausgelegt, die nicht überschritten werden dürfen. Ist die Auslegungsbelastung der Anlage erreicht, werden die Rotorblätter mit zunehmendem Wind allmählich steiler angestellt, sodass sie weniger Angriffsfläche bieten. Dieser Prozess wird so gesteuert, dass über der kritischen Windgeschwindigkeit die Leistung konstant bleibt. Dies geschieht bei der so genannten Nennleistung, auf welche auch alle elektrischen Teile der Anlage dimensioniert sind. Bei Sturm schliesslich werden die Rotorblätter parallel zum Luftstrom gestellt, und die Stromproduktion wird eingestellt.

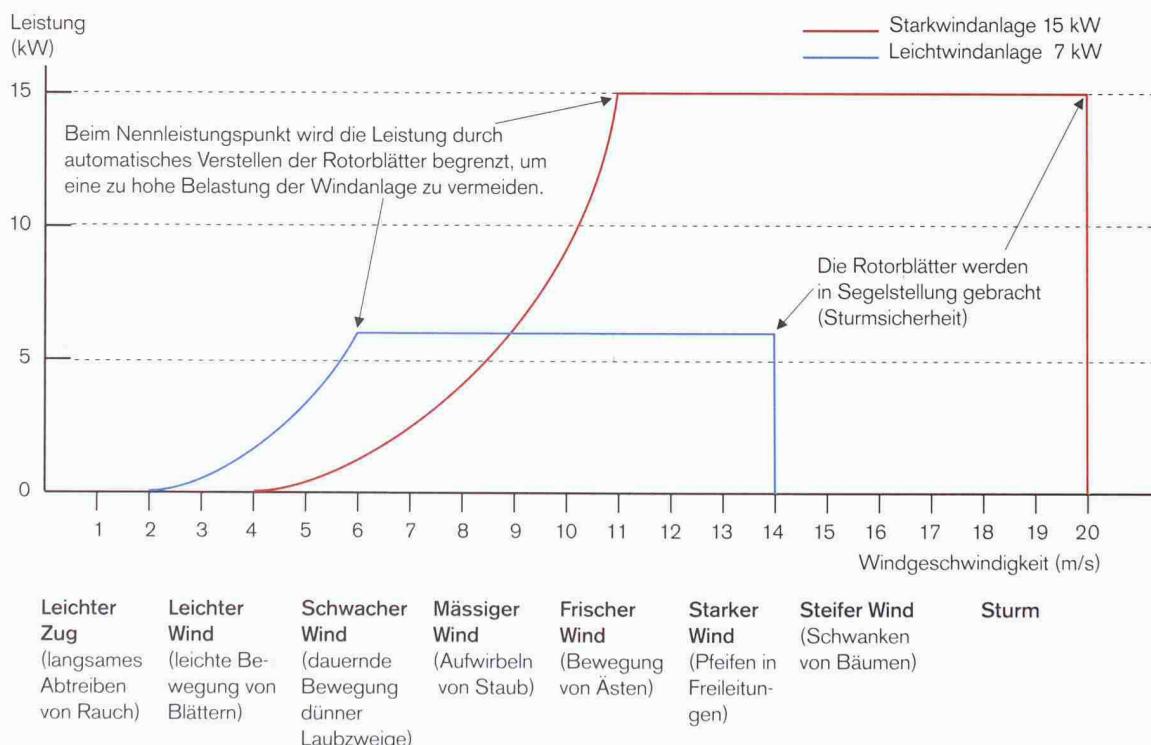
### Das Leichtwindkonzept

Bei der Entwicklung ihrer Leichtwindanlage hatten die Konstrukteure diese Randbedingungen zu berücksichtigen. Die Vorgabe war also, den Bereich der optimalen Windausnutzung in Richtung tiefere Windgeschwindigkeiten zu verschieben. Erreicht wurde dies durch



2/3

Leichtwindanlage mit einer 6-kW-Turbine in Oberhelfenschwil.  
Nabenhöhe 18 Meter. Rotordurchmesser 13 Meter. Durchschnittliche  
Jahresproduktion: 15 MWh (Bild: Aventa)



4

Unten: Schematischer Vergleich der Leistungskennlinien zweier Windanlagen (mit vergleichbaren Investitionskosten). Im Bereich von 3 bis etwa 7 m/s Windgeschwindigkeit ist die Energieausbeute der Leichtwindanlage höher als diejenige der Starkwindanlage. Dafür muss ihre Leistung wegen der grösseren Windkräfte schon früher begrenzt werden (Bild: Red.).

	Leichtwindanlage	Starkwindanlage
Nabenhöhe	18 m	60 m
Rotordurchmesser	13 m	60 m
Nennleistung	7 kW	1000 kW
Windgeschwindigkeit für Nennleistung	6 m/s	11 m/s
Anlaufwindgeschwindigkeit	2 m/s	4 m/s
Abschaltwindgeschwindigkeit	14 m/s	20 m/s
Rotordrehzahl	25–63 U/min	15–30 U/min
Stromgestehungskosten	60–90 Rp./kWh	5–35 Rp./kWh

## 5

**Vergleich von zwei unterschiedlich konzipierten Windanlagen. Die Stromgestehungskosten hängen sehr stark vom Standort und damit von den erreichbaren Vollaststunden ab. Der tiefere Wert wird bei grossen Küstenanlagen an sehr windigen Standorten erreicht. Im Schweizer Jura wird zu Kosten ab etwa 20 Rp./kWh produziert**

eine um etwa 80 % vergrösserte Rotorfläche. Damit läuft die Anlage bereits bei einem leichten Wind von lediglich 2 m/s an (im Vergleich zu etwa 4 m/s bei grösseren Anlagen). Das ist aber nicht der entscheidende Punkt. Viel wichtiger ist, dass im Bereich von etwa 3 bis 7 m/s die Auslegung der Anlage eine um ein Mehrfaches höhere Stromproduktion möglich macht, als dies bei Starkwindanlagen der Fall ist (siehe Diagramm, Bild 4). Auf der anderen Seite erreicht die Turbine schon bei einer Windgeschwindigkeit von 6 m/s ihre Nennleistung. Dann ist die Grenzbelastung der Anlage wegen der Luftkräfte an den grossen Rotorblättern erreicht, und die ertragreichen Starkwinde können nur noch teilweise ausgenutzt werden.

Die Leichtwindanlagen sind wesentlich niedriger, als dies bei den bisher üblichen Anlagen zum Beispiel auf dem Mont Crosin der Fall ist (siehe Bilder 1–3). Die Landschaft wird also weniger beeinträchtigt, und auch die Geräuschenwicklung (die bei Grossanlagen teilweise zu Klagen Anlass gibt) ist wesentlich geringer. Auf der anderen Seite sind die Kosten für eine produzierte kWh höher. Dies hat verschiedene Gründe: Erstens werden Leichtwindanlagen, wie der Name schon sagt, in weniger windigen Gegenden erstellt. Dazu kommt, dass der Wind in 60 Metern Höhe stärker bläst als in 20 Metern, was wiederum den Ertrag schmälert. Und drittens und hauptsächlich, weil das Prinzip der «economies of scale» spielt: Ein installiertes Kilowatt ist bei einer 1000-kW-Anlage viel billiger als bei einer 7-kW-Turbine, da die Kosten für Entwicklung, Steuerung, Fundament usw. nicht proportional zur Leistung ausfallen. Tabelle zeigt die wichtigsten Kennzahlen für typische Vertreter der zwei Konzepte im Vergleich.

### Weitere Entwicklung

Um am Markt eine reelle Chance zu haben, ging die Firma Aventa, Initiatorin des Leichtwindkonzeptes, bei der Entwicklung davon aus, dass sie den Stromgestehungspreis von Solarzellen unterbieten müsste. Dies ist ihr mit ihrem interessanten Konzept (mindestens vorläufig) gelungen. Bei grösseren Stückzahlen (gegenwärtig werden ca. fünf Anlagen pro Jahr in Betrieb genommen) könnten die Erstellungskosten von gegenwärtig rund 100 000 Fr. für eine 6-kW-Anlage beträchtlich gesenkt werden.