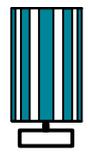


Kleinwindanlagen Grundlagen

Anlagenarten nach Achsenausrichtung

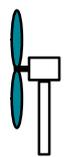
Vertikalrotor



- + o keinerlei Windrichtungsnachführung benötigt⁹
- o geringe Aufbauhöhen erleichtern Wartung, Instandhaltung und Reparaturen⁹
- Senkung Betriebskosten⁹
- o geringe Schallemissionen¹³
- o geringe Empfindlichkeit gegenüber schnellen Windrichtungsänderungen und Schräganströmung¹³
- geeignet für dicht besiedelte Aufstellungsorte¹³

- o niedrige Windgeschwindigkeit bei bodennahem Aufbau⁹
- geringe bis mäßige Leistung im Vergleich zu Horizontalrotor⁹
- o dynamische Belastung der Rotoren führt zu Eigenschwingungsproblemen, welche Materialermüdung bewirken⁹
- o schwerer als Horizontalrotor-Anlagen und bei gleicher Leistung höherpreisig¹³

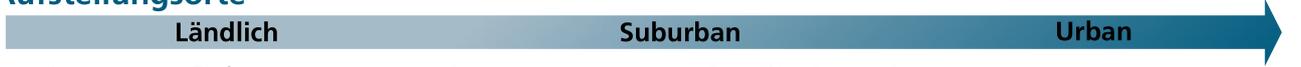
Horizontalrotor



- + o kompaktere und leichte Bauweise¹³
- unter konstanten Windbedingungen effizienter als Vertikalrotoren¹³

- o höhere Umlaufgeschwindigkeit als Vertikalrotor¹³
- höhere Schallemissionen
- o empfindlich gegenüber schnell wechselnden Windrichtungen und Schräganströmung¹³
- geringere Leistung¹³

Aufstellungsorte



Ländlich
Ländlich oder Einfamilienhaus-siedlungen, Speckgürtel oder Dorf (z.B. Blockland, Borgfeld, Huchting)

Suburban
Dicht bebaute Wohn- und Geschäftsviertel mit niedrigen Gebäudehöhen und Blockrandbebauung (z.B. Altbremer Häuserviertel, Walle, Findorff)

Urban
Zentrale Innenstadt, dichte Bebauung bzw. Hochhäuser (z.B. zentrale Innenstadt und nördliche Neustadt)

- o Mastaufstellung kann Alternative zur Dachaufstellung sein¹³
- + geringerer Umgebungseinfluss durch Bäume und Gebäude

- o feste Dachanbindung auf Wohn- und Nichtwohngebäuden^{9, 13}
- o Je höher die KWA ihre Umgebung überragt, und je größer der Abstand zu Gebäuden und Hindernissen ist, desto effizienter ist sie¹³
- wenig geeignete Standorte für eine Mastaufstellung aufgrund hoher Bebauungsdichte und Flächenkonkurrenz

Grundlegende Anwendungsfelder: Batterieladung, Eigenstromnutzung, Netzeinspeisung

- o Inselanlagen: speichern Energie ohne Netzanschluss in Batterie; Stromspeicher und Regelung für Nutzung nötig⁹

- o Netzparallelbetrieb: Windgenerator (bis 30 kW) ist an Stromnetz des regionalen Energieversorgers angeschlossen⁹

Steuerung und Regelung

- o Steuerfahne / Windfahne dreht Rotor bei Sturm aus dem Wind⁹
- o Reduktion der Windangriffsfläche durch Eklipsenregelung oder Helikopterstellung bei kleinen Systemen^{9, 13}
- o mechanische Bremse als Notfallsystem und Feststellbremse⁹

- o Stall-Regelung:⁹ Blätter in fest eingestelltem Winkel an Nabe verschraubt, Turbulenzbildung und kontrollierter Strömungsabriss, dadurch kein Auftrieb mehr an den Rotorblättern
- + keine beweglichen Teile
- + kein kompliziertes Regelsystem

- o Pitch-Regelung:⁹ Blattanstellwinkel wird mechanisch verändert, Verdrehung der Längsachse steuert Leistungsaufnahme
- + geringeres Gewicht
- hoher konstruktiver Aufwand in Nabe führt zu höheren Kosten, aber Kompensation durch höhere Energieeffizienz möglich

Planung von Kleinwindanlagen

Einflüsse durch Gebäudeumgebung

Oberflächenrauigkeit

Der Geländeverlauf bestimmt die Oberflächenrauigkeit

Turbulenz

Turbulente Strömung ist ungeordnet, irregulär und weist instabile Wirbel verschiedener Größe auf

führt zu

- Hindernisse (Gebäude, Bäume, etc.) verlangsamen Luftströme⁴
- Mit der Nähe zum Hindernis nimmt Turbulenz zu⁴
- Turbulenz nimmt mit Höhe über urbanen Gebieten bedingt durch höhere Windgeschwindigkeiten ab⁴

Möglichkeit 1: Dicht bebaute Gebiete mit Gebäuden gleicher Höhe und flachen Dächern vermindern Bodenrauigkeit der Umgebung und sind durch niedrige Turbulenz am ehesten geeignet¹³

Möglichkeit 2: Montage auf Dach, welches Umgebung stark überragt¹³

Einflüsse durch Gebäudegeometrie

strukturelle Gegebenheiten des Gebäudes

Gebäudeausrichtung bzgl. dominanter Windrichtung

Gebäudeform

Dachform

→ Bei konstanter Windrichtung und flachem Dach empfiehlt sich Aufstellung einer kleinen KWA nah an der Gebäudekante in Hauptwindrichtung¹³

→ Bei wechselhafter Windrichtung empfiehlt sich höhere KWA in der Mitte des Gebäudedachs¹³

→ Flachdächer sind für Aufdachmontage wegen besserer Erreichbarkeit und einfacherer Installation am ehesten geeignet¹³

Gebäudekonstruktion

Statik

- Tragfähigkeit des Daches sollte durch Statiker geprüft und bestätigt werden¹³
- Auflagepunkte der KWA sollten möglichst nah an Auflager der Dachkonstruktion platziert werden, Standsicherheit muss gewährleistet sein¹³

Schallschutz

- Emissionen steigen mit der Windgeschwindigkeit¹³
- Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm (TA Lärm) beachten

Blitzschutz

- Äußerer Blitzschutz mittels Integration in vorhandenen Blitzschutz oder externe Fangeinrichtung sowie innerer Blitzschutz (Überspannungsschutz)¹³

Dynamische Lasten, Schwingungen

- Verringerung durch: Reduktion der Anregungen (z.B. durch Auswuchten), Verschieben oder Entfernen der kritischen Resonanzfrequenzen (z.B. durch Entfernen oder Nachspannen einzelner Komponenten) oder durch den Einsatz von Dämpfern¹³

Schattenwurf auf Gebäude (Fenster)

- Die maximale Beschattungsdauer darf 30 Stunden pro Kalenderjahr und darüber hinaus 30 Minuten pro Kalendertag nicht überschreiten; detaillierte Aussagen können nur durch geometrische Berechnungen des Sonnenbahnverlaufs und der jeweiligen Standortgeometrie getroffen werden¹³

Weitere Sicherheitsaspekte wie „Turbine failure projectile zone“ müssen ggf. in Betracht gezogen werden⁷

Simulation von KWA

- In bebauter Umgebung auf kleiner Skala ist die Simulation mit Wind- und Energiemodellen nicht von ausreichender Qualität^{4,7}

→ Langfristige On-site Messung von Windgeschwindigkeit, -richtung und -variabilität am konkreten geplanten Standort und Aufstellungspositionen nötig, um Wirtschaftlichkeit einzuschätzen^{7,9,13}

Literatur

- [1] Bashirzadeh Tabrizi, A. / Lyons, T. / Urmee, T. / Whale, J. (2015): Extent to which international wind turbine design standard, IEC61400-2 is valid for a rooftop wind installation. In: Journal of Wind Engineering & Industrial Aerodynamics. 139, 50-61.
- [2] Bundesministerium der Justiz (2023): Gesetz für den Ausbau erneuerbarer Energien (Erneuerbare-Energien-Gesetz – EEG 2023). Erneuerbare-Energien-Gesetz vom 21. Juli 2014 (BGBl. I S. 1066), das zuletzt durch Artikel 6 des Gesetzes vom 4. Januar 2023 (BGBl. 2023 I Nr. 6) geändert worden ist. Abrufbar unter: https://www.gesetze-im-internet.de/eeg_2014/BJNR106610014.html (letzter Zugriff: 28.04.2023).
- [3] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (2017): Sechste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz. Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm – TA Lärm.
- [4] Carpmann, N. (2011): Turbulence Intensity in Complex Environments and its Influence on Small Wind Turbines. Uppsala: Uppsala University Department of Earth Sciences Geotryckeriet.
- [5] Deutscher Wetterdienst / Der Senator für Umwelt, Bau und Verkehr (2018): Klimaanpassungsstrategie Bremen. Bremerhaven. Begleitstudie Wetter und Klima im Land Bremen. Bremen: Deutscher Wetterdienst / Der Senator für Umwelt, Bau und Verkehr.
- [6] Fadl, M. S. / Karadelis, J. (2013): CFD Simulation for Wind Comfort and Safety in Urban Area. A Case Study of Coventry University Central Campus. In: International Journal of Architecture, Engineering and Construction. Vol 2, No 2, 131-143.
- [7] Fields, J. / Oteri, F. / Preus, R. / Baring-Gould, I. (2016): Deployment of Wind Turbines in the Built Environment. Risks, Lessons, and Recommended Practices. Technischer Report. Denver: National Renewable Energy Laboratory.
- [8] Freie Hansestadt Bremen (2022): Bremische Landesbauordnung. Gesetzblatt der Freien Hansestadt Bremen, verkündet am 4. November 2022, Nr. 112.
- [9] Kleinhempel, A.-K. (2005): Klein-Windanlagen Abschlussbericht. Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen und Vergleich mit Photovoltaikanlagen, überarbeitete Fassung. Bremen: Bremer Energieinstitut im Auftrag von Bremer Energie-Konsens.
- [10] Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW): Internetpräsenz abrufbar unter: [https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Privatpersonen/Bestandsimmobilie/Förderprodukte/Erneuerbare-Energien-Standard-\(270\)/](https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Privatpersonen/Bestandsimmobilie/Förderprodukte/Erneuerbare-Energien-Standard-(270)/) (letzter Zugriff: 05.06.2023).
- [11] Schuchardt, B. / Wittig, S. / Spiekermann, J. (2011): Klimawandel in der Metropolregion Bremen-Oldenburg. Regionale Analyse der Vulnerabilität ausgewählter Sektoren und Handlungsbereiche. 11. Werkstattbericht des Forschungsverbundes „nordwest2050 – Perspektiven für klimaangepasste Innovationsprozesse in der Metropolregion Bremen-Oldenburg im Nordwesten“. Bremen: BioConsult Schuchardt & Scholle GbR.
- [12] Toja-Silva, F. / Peralta, C. / Lopez-Garcia, O. / Navarro, J. / Cruz, I. (2015): Roof region dependent wind potential assessment with different RANS turbulence models. In: Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. 142, 258-271.
- [13] Twele, J. (2013): Empfehlungen zum Einsatz kleiner Windenergieanlagen im urbanen Raum. Ein Leitfaden. Berlin: Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin.

Die Informationen wurden durch das Fraunhofer IFAM zusammengetragen