

Anwendungen und technologische Entwicklung von Vertikalwindturbinen von Hi-VAWT Technology Corp.

Hi-Energy Technology Co., Ltd. wurde im Jahr 2005 gegründet. Durch die Unterstützung des SBIR (Small Business Innovative Research) Programms 1 und 2 begann die Firma 2006 Kleinvertikalwindkraftanlagen zu konstruieren.

Anwendungsstandorte

Mit den vorläufigen technischen Grundlagen suchte das Unternehmen nach der Zielgruppe für seine Produkte. Die Ereignisse in den folgenden Jahren, einschließlich Fukushima 2011, verursachte einen Vertrauensverlust in eine zentrale Energieerzeugung. Viele Länder fingen an eine dezentrale Energieerzeugung zu fördern, um die Abhängigkeit vom Energieversorgungssystem zu reduzieren. Traditionell wurden hierfür kleine dezentrale Dieselgeneratoren verwendet, aber Treibstofftransport- und Wartungskosten sind hoch, besonders für abgelegene netzungebundene Standorte. Aus diesem Grund begannen Regierungen erneuerbare Energien in Erwägung zu ziehen, auch in der Hoffnung, dass die Kosten für Betrieb und Wartung fallen werden.

Die Anwendungen für netzgebundene und -ungebundene Zwecke von Hi-VAWT hergestellten Windenergieanlagen für einen Zielmarkt einer dezentralen Energieerzeugung werden wie folgt beschrieben:

1. Netzegebundene dezentrale Energieerzeugung

Laut den Vereinten Nationen wird geschätzt, dass 600 Mio. Menschen in ländlichen und abgelegenen Gebieten in Entwicklungsländern bis 2015 mit Strom versorgt sein werden. Da der Bau von herkömmlichen zentralen Kraftwerken in diesen Gebieten und der Anschluss von Leitungen zu den Kunden zu teuer und nicht durchführbar sind, rückt eine dezentrale Energieerzeugung mit netzungebundenen Standorten in den Fokus. Produkte von Hi-VAWT für Anwendungen im Sinne von netzungebundener dezentraler Energieerzeugung sind:

a. Netzüberwachung/Telekommunikationsstation



Telekommunikationsstation, Korea



Telekommunikationsstation, Tibet, China



China Mobile Telekommunikationsstation, Xinjiang, China

b. Wind- und Solarlaternen



Wind-Solar-Hybridsystem für Parkplatzbeleuchtung, Ibaraki, Japan



Wind-Solar-Hybridsystem für Straßenbeleuchtung, Shanghai, China

c. Energieversorgung für polare Forschungsstation



Energieversorgung für Forschungsstation, Antarktis

2. Netzgebundene dezentrale Energieerzeugung

Wenn eine zentrale Energieerzeugungsstruktur vorliegt, kann ein lokaler Fehler eine Kettenreaktion und letztendlich einen großräumigen Stromausfall verursachen. In einem dezentralen Energieerzeugungssystem kann es vorkommen, dass der örtliche Bedarf den in das Netz eingespeisten Strom übersteigt. In solch einem Fall können benachbarte Gebiete mit dezentralen Kraftwerken benutzt werden. Dadurch ist das Netz nicht so fehleranfällig wie ein Netz, das durch zentralen Kraftwerken gespeist wird. Zudem verbessert es die Energieeffizienz. Anwendungen von Hi-VAWT Produkten für ein netzgebundenes dezentrales Erzeugungssystem sind:

a. Energierückgewinnungssystem



Energierückgewinnungssystem bei AU Optronics, Taichung, Taiwan

b. Energieversorgung auf Dächern in Metropolregionen



Dachanwendung auf dem EMSD Gebäude, Hongkong



Dachanwendung auf einer TESCO Filiale, Korea

c. Windparks



Kleinkraftwerk, Nemuro, Japan

Technologische Entwicklung

Um diesen Markt zu bedienen, treibt Hi-VAWT die Entwicklung der erforderlichen Technologien voran. Die notwendigen Eigenschaften dieser Technologien werden im Folgenden beschrieben:

1. Netzegebundene Anlagen müssen ausreichend zuverlässig sein

Aufgrund der geringen Größe der Windkraftanlagen stellt der Transport zum Aufstellungsort kein großes Problem dar. Die Anlagen können Energie für elektrische Anwendungen an entlegenen Orten liefern, wo die Netzleistung und Zuverlässigkeit stabil gehalten werden muss. Eine neue Serie von Hi-VAWT Windenergieanlagen, die speziell für netzegebundene dezentrale Anwendungen konzipiert wurden, beinhalten die folgenden Technologien:

a. Steigerung der Erzeugungskapazität durch verbessertes Maximum Power Point Tracking (MPPT)

Die kinetische Energie des Windes wird in kinetische Energie der rotierenden Rotorblätter der Windturbine umgewandelt. Die Umdrehungsgeschwindigkeit wird von der Windgeschwindigkeit bestimmt. Bei einer festen Windgeschwindigkeit zeigt die Windturbine die folgenden Prozesse: Die Rotorblätter erfahren eine Widerstands- und Auftriebskraft, hervorgerufen durch den Wind, und wandeln die kinetische Energie des Windes in Rotationsenergie um. Je höher die Windgeschwindigkeit dabei ist, desto höher ist die Umdrehungsgeschwindigkeit. Die Beschleunigung der Rotation steigt bis die Geschwindigkeit einen bestimmten Wert erreicht hat. Die Windturbine hat ein maximales Drehmoment.

Die Windturbine entnimmt die maximale Energie bei maximaler Leistung. Das Verfahren, das diesen Punkt findet, heißt Maximum Power Point Tracking (MPPT).

Allerdings verändert sich die Windgeschwindigkeit sehr schnell in der Natur. Es gibt keinen einfachen Weg, dass das MPPT diese schnellen Wechsel erfassen kann. Aus diesem Grund wird eine Überprüfungstabelle benutzt.

Da die Windgeschwindigkeit mit der 3. Potenz in die Leistung eingeht, wird die kinetische Energie der rotierenden Blätter der Windturbine ebenfalls von der 3. Potenz der Windgeschwindigkeit beeinflusst. Folglich ist die maximale Energie proportional zur 3. Potenz der Windgeschwindigkeit und es ist entscheidend die Proportionalitätskonstante zu finden. Die unbekannt Umdrehungsgeschwindigkeit bei unterschiedlichen Windgeschwindigkeiten kann in einem Windkanal ermittelt werden. Sobald genug Werte erfasst wurden, kann eine c_p -TSR-Kurve gezeichnet werden.

Es gibt einen maximalen c_p -Wert bei $16/27=0,59259\dots$. Wenn Windkraftanlagenhersteller behaupten ihre Turbinen können einen c_p -Wert höher als dieses Maximum erreichen, dann ist dies einfach eine falsche Angabe. Zudem zu sagen, dass man einen c_p -Wert größer als 1 erreicht, bedeutet, dass mehr Energie entnommen werden würde als ursprünglich existierte. Dies würde nicht mit dem Energieerhaltungssatz übereinstimmen. Dennoch gibt es Methoden die Turbine zu optimieren wie aerodynamische Eigenschaften, um die Effizienz einer Windturbine zu erhöhen und sich dem theoretischen c_p -Maximum anzunähern. Leistungstests können durchgeführt werden, um den c_p -Wert zu ermitteln. Das Testverfahren ist durch die

Norm IEC61400-12-1 vorgeschrieben. Teststätten und alle Messgeräte, die für den Test verwendet werden, müssen durch die TAF (Taiwan Accreditation Foundation) zertifiziert sein. Laut dem BSMI (Bureau of Standards, Metrology and Inspection) gibt es 2 Standorte in Taiwan, die diese Zertifizierung besitzen: Das Testgelände des Metallverarbeitungszentrums in Chigu und die Leistungsteststätte in Penghu.

b. Hohe Winderzeugungskapazität durch Verbesserung des Schutzes und Kontrolle der Umdrehungsgeschwindigkeit

Bei Windkraftanlagen wird die kinetische Energie in kinetische Rotationsenergie umgewandelt. Wenn die Windgeschwindigkeit zu hoch ist, wird die Umdrehungsgeschwindigkeit ebenfalls zu hoch und die Fliehkraft übersteigt die obere Grenze der mechanischen Festigkeit der Turbine und kann Schaden verursachen. Deshalb sollte während des Auslegens einer Windenergieanlage ein Schutz gegen Umdrehungsgeschwindigkeitsüberschreitung beachtet werden. Aus diesem Grund muss eine Menge von Tabellen, niedergeschrieben in der Norm IEC61400-2 für das Auslegen von Kleinwindkraftanlagen, berücksichtigt werden. Im Fall eines einfachen Lastfalls E wird eine Abschätzung der maximalen Geschwindigkeitslast für Windkraftanlagen verwendet. Lastfall H ist die Abschätzung der maximalen Lastgrenze einer Windkraftanlage bei Schubkrafteinwirkung.

Da die alte IEC-Vorschrift für den einfachen Lastfall von Kleinvertikalwindkraftanlagen nicht gültig ist, startete Hi-VAWT 2010 eine Zusammenarbeit mit dem Institute of Nuclear Energy Research (INER), um eine Vertikalwindkraftanlage für den einfachen Lastfall zu konstruieren. Das Ergebnis wird in "CNS15176-2-1" in der Norm GB/T29494 "Small vertical axis wind turbines" von 2014 gezeigt. Leistungs- und Sicherheitsanforderungen werden im Anhang B beschrieben. Im Juni desselben Jahres wurden ähnliche Lastfälle in der japanischen Norm "JSWTA-0001" im Anhang C beschrieben. Die Internationale Energieagentur (IEA) gründete eine Arbeitsgruppe (IEA Wind Task-27) für Windsystemforschung und -entwicklung durch den Zusammenarbeitsvereinbarung Artikel 27. Taiwan konzentriert sich auf die Ergebnisse dieser Arbeitsgruppe, für die die IEC61400-2 die Grundlage darstellt.

Durch die Berechnungen des einfachen Lastmodells ist es offensichtlich, dass die Lastgrenze der maximalen Umdrehungsgeschwindigkeit des Lastfalls E die Fliehkraft ist. Unter Lastbedingungen wie in Lastfall H ist die maximale Belastungsgrenze höher für Schubkraft bei höheren Windgeschwindigkeiten. Bei Horizontalwindkraftanlagen kann der Anstellwinkel der Rotorblätter normalerweise verändert werden, um hohe Umdrehungsgeschwindigkeiten bei hohen Windgeschwindigkeiten zu vermeiden. Bei Vertikalwindkraftanlagen ist es nicht einfach die Intensität auf die Rotorblätter durch einen Umdrehungsgeschwindigkeitsschutz zu reduzieren. Die Windenergieanlage kann hier in einer sicheren Art und Weise laufen mithilfe eines Geschwindigkeitsreglers. Hi-VAWT beendete 2013 erfolgreich seinen Produktentwicklungsplan nach den Regularien des Wirtschaftsministeriums. Dieser Plan beinhaltet die oben genannten Merkmale. Der Regler ist ein internationales Patent.

Wenn die Windenergieanlage keinen Schutz für Umdrehungsgeschwindigkeitsüberschreitung besitzt, muss die Anlage abgeschaltet werden bevor die Windgeschwindigkeitsgrenze erreicht ist und somit die Möglichkeit, bei hohen Windgeschwindigkeiten Strom zu erzeugen, verpasst wird. Wenn solch ein zuverlässiger und effizienter Schutz installiert ist, kann nicht nur Strom bei hohen Windgeschwindigkeiten erzeugt, sondern auch der gesamte Stromertrag gesteigert werden. Die Ergebnisse müssen von einem Feldtest geprüft werden, um sicherzustellen, dass der erreichte Stromertrag zuverlässig ist. Das Testverfahren wird in der Norm IEC61400-12-1

festgeschrieben. Neben der Steigerung der Leistung muss die Sicherheit der Windkraftanlagen gewährleistet sein. Dies wird durchgeführt durch einen Langzeittest, niedergeschrieben in der Norm IEC61400-2 und CNS15176-2 Anhang G.

2. Anwendungen müssen die Bedürfnisse von Wohngebieten berücksichtigen

Kleinwindkraftanlagen werden oft nahe Wohngebieten eingesetzt. Aus diesem Grund müssen Sicherheit und Komfort ernst genommen werden. Die wichtigsten technischen Entwicklungen neuer Produkte von Hi-VAWT, die das berücksichtigen, sind:

a. Verbesserung der mechanischen Festigkeit der Turbine

Hi-VAWT konstruierte eine Windkraftanlage im Frühjahr 2005. Diese Anlage wurde von Sandia National Laboratories, USA, untersucht, um eine Vielzahl von Daten durch Windkanaltests und anderen Verfahren zu gewinnen. Die hybride Rotorblattstruktur erlaubt einen einfachen Start aufgrund der Widerstandstyp- und eine hohe Effizienz durch die Auftriebstyprotorblätter.

Gemäß dem einfachen Lastmodell in CNS15176-2-1 Anhang B kann der Lastfall A abgeschätzt werden. Bei normalen Betrieb erfahren die Rotorblätter bei 20 Jahren Laufzeit nur 6-8 % Ermüdungsschäden. Rotorblätter können durch die mechanische Festigkeit verbessert werden. Dies kann durch Haltbarkeitsprüfungen belegt werden, niedergeschrieben in IEC61400-2 und CNS15176-2 Anhang G. Funktionalität und Sicherheit sind durch IEC61400-2 und CNS15176-2 Anhang G geregelt. Statische Belastungstest für die Rotorblätter sind in IEC61400-23 und CNS15176-2-1 beschrieben.

b. Reduzierung von mechanischen und aerodynamischen Geräuschen

Die Hauptgeräusche werden durch das Hochfrequenzrauschen der Blattspitzenwirbel und durch das Niederfrequenzrauschen der Schwingungen beim Getriebe und der Generatorspule verursacht. Das Hochfrequenzrauschen der Blattspitzen ist proportional zur 6. Potenz der relativen Windgeschwindigkeit. Die Schnelllaufzahl (TSR) gibt das Verhältnis zwischen der Strömungsgeschwindigkeit tangential zur Blattspitze und der Windgeschwindigkeit wieder. Windkraftanlagen von Hi-VAWT extrahieren die maximale Energie bei einer Schnelllaufzahl, die gering ist verglichen mit Horizontalwindkraftanlagen. Aus diesem Grund ist ihr Hochfrequenzrauschen viel geringer als das von Horizontalwindkraftanlagen.

Windkraftanlagen von Hi-VAWT verwenden direkt angetriebene Synchrongeneratoren. Folglich geht weniger Energie verloren und Niederfrequenzrauschen wird vermieden aufgrund des fehlenden Getriebes. Dennoch existiert noch Niederfrequenzrauschen, welches von mechanischen Schwingungen an der Generatorspule hervorgerufen wird. Dieses wird durch Resonanz verstärkt. Durch die Steigerung der mechanischen Festigkeit des Mantelmaterials können Schwingungen gefiltert und reduziert werden und folglich die Resonanz auch. Somit kann mechanisches Vibrationsrauschen der Generatorspule durch niedrigere Frequenz vermieden werden. Im Jahr 2007 erhielt Hi-VAWT das internationale Patent der Rauschvermeidung. Rauschen zu vermeiden ist ausschlaggebend, um Windkraftanlagen in Wohngebieten errichten zu können.

Die Anstrengungen Rauschen zu vermeiden kann durch verschiedene Geräuschmessungen an TAF zertifizierte Windturbinenteststätten belegt werden. Das Testverfahren folgt den Normen IEC61400-11 und CNS15176-2. Geräuschemissionen können in einer Art der AWEA

(American Wind Energy Agency) und BWEA (British Wind Energy Agency, unbenannt in RenewableUK) ausgedrückt werden. Obwohl die Testmethoden der IEC61400-11 folgen, schreibt der AWEA Standard vor, dass bei einer erforderlichen jährlichen Durchschnittsgeschwindigkeit von 5 m/s die Geräuschemissionen die Grenze während eines Jahres in 95 % der Zeit nicht überschreiten dürfen.

Die Vorgaben der BWEA schreiben vor, dass die Emissionsgrenze in 90 % der gesamten Zeit während eines Jahres nicht überschritten werden darf bei einer Durchschnittsgeschwindigkeit von 5 m/s.

Mittlerweile unterteilt auch die Norm IEC61400-11 Rauschmessungen. Die Taiwan EPA (Environmental Protection Administration) Geräuschemissionsnorm kann auch benutzt werden. Dieser Standard beinhaltet 4 Arten von Windenergiegeräuschen, abhängig von Landnutzung und -bereich. Diese 4 Arten werden in weitere 3 Tageszeiten unterteilt.

c. Lagerungsentwurf für die Vermeidung von Schwingungsübertragung

Aufgrund von Schub- und Schwingungsänderungen kann ein Multiachsenbeschleunigungsmesser am Turm angebracht werden. Schwingungen verursachen Ermüdungsschäden.

Effizientes Absorbieren von Luftdruck kann die Resonanzbeschleunigung reduzieren. Es wird geschätzt, dass Turmschwingungen bis zu 80 % verringert werden können.

Dämpfungstestergebnisse stimmen mit der Norm für Schwingungsmessung VDI3834 (Verein Deutscher Ingenieure) überein. Laut dieser Norm ist die Schwingungsbeschleunigung sicher, wenn sie weniger als $0,3 \text{ m/s}^2$ beträgt, mittel zwischen $0,3$ und $0,5 \text{ m/s}^2$ und stark, wenn sie mehr als $0,5 \text{ m/s}^2$ aufweist. Die DS3000 von Hi-VAWT wurde gemäß VDI3834 getestet. Die Schwingungsbeschleunigung betrug $0,261 \text{ m/s}^2$ und war somit geringer als $0,3 \text{ m/s}^2$. Folglich wurde die Turbine für den Langzeitbetrieb zertifiziert.

d. Einfluss von leeseitigen Wirbeln

Die Windgeschwindigkeit in der Rotorebene ist das arithmetische Mittel der luv- und leeseitigen Windgeschwindigkeiten. Um den maximalen Betrag an Energie zu gewinnen, muss die Windgeschwindigkeit auf Leeseite $1/3$ der Windgeschwindigkeit der Luvseite betragen.

Horizontalwindkraftanlagen zeigen einen typischen Wirbel im Leebereich. Aus diesem Grund ist es schwierig bei geringen Windgeschwindigkeiten den Wind im Leebereich zu mischen. Normalerweise erreicht der Wind in einer Entfernung des achtfachen Rotordurchmessers nach der Windkraftanlage wieder die gleiche Geschwindigkeit wie vor der Anlage.

Vertikalwindkraftanlagen haben nicht einen solch intensiven Wirbel. Deshalb benötigt der Wind nur den sechsfachen Rotordurchmesser nach der Windkraftanlage, um wieder die Ausgangsgeschwindigkeit zu erreichen. Die neuen Rotorblätter von Hi-VAWT verringern die Wirbelbildung im Luvbereich. Die DS3000-Turbine wurde mittels einer CFD-Simulation (Computational Fluid Dynamics) des INER entwickelt. Bei dieser Simulation wurde die Geschwindigkeit und die Wirbelstärke des Windes untersucht. Durch diese Analyse treten Wirbel nur noch in einem Leebereich auf, der die Länge des dreifachen Rotordurchmessers besitzt. Dadurch können mehrere Windkraftanlagen von Hi-VAWT dichter beieinander errichtet werden.

e. Hochhausanwendungen erhöhen die Turbulenzen und Leistung

Um die Situation von allen Typen von Windkraftanlagen auf Hausdächern in städtischen Gebieten zu regulieren, hat das taiwanische Wirtschaftsministerium 2014 an einem Projekt der IEA Wind Task-27 teilgenommen. Die NTU (National Taiwan University) maß den Betrag des Flusses Tamsui am Taipei College of Maritime Technology. Das Dach wurde für die neuen DS3000 Anlagen von Hi-VAWT errichtet.

Im Moment untersucht ein internationales Team der IEA Wind Task-27 die Leistung der Stromerzeugung auf Dächern von Hochhäusern bezüglich Turbulenzen. Unter den Teammitgliedern sind USA, Australien, Japan, Irland und Spanien. Eine CFD-Analyse wird verwendet. Bezüglich den USA führt das Wind Energy Research Center of the NREL (National Renewable Energy Laboratory) Turbulenzmessungen auf dem Dach des NASA Johnson Space Center durch.

In den vergangenen neun Jahren hat Hi-VAWT mehrere internationale Preise gewonnen wie z. B. den National Innovation Award of Korea 2009. Die Anlagen werden von SK Telecom als einzige zugelassene Kleinwindenergieanlagen angesehen. Weiterhin gewann Hi-VAWT den Korea Samsung Construction Award 2010 für die Null-Kohlenstoff-Baupläne. Die Produkte von Hi-VAWT wurden als einzige Kleinwindenergieanlagen bei der Shanghai World Expo 2010 verwendet. Die DS3000 wurde 2011 von Chunghwa Telecom Taiwan in die Liste der Materialbeschaffungsvorschriften aufgenommen.

Seit der Gründung hat Hi-VAWT zusätzlich zur Forschung und Entwicklung in Produkte investiert, die nicht zu Vertikalwindkraftanlagen zählen. Um Leistung und Sicherheit zu gewährleisten, folgen sie internationalen Standards. Deshalb hat Hi-VAWT in internationale Prüf- und Zertifizierungsverfahren kontinuierlich investiert. Im Jahr 2008 hat Hi-VAWT das britische Zertifizierungszentrum TÜ V nel mit der Zertifizierung der neuen DS3000 Anlagen beauftragt, was im Oktober 2010 abgeschlossen wurde. Damit ist sie weltweit die erste Windkraftanlage mit vertikale Achse, die das Kriterium der IEC61400-2 erfüllen konnte. Die Norm IEC61400-2 legte im Mai 2011 zum ersten Mal Regeln für das Testen von Kleinwindkraftanlagen fest. Alle Anlagen von Hi-VAWT (300 W, 1,5 kW und 3 kW) wurden auf dem nationalen Windtestfeld in Jeju, Korea, in Ü bereinstimmung mit ICE61400-2 erfolgreich getestet. Im Juni haben alle Anlagen (300 W, 1,5 kW, 3 kW) ihren Zertifizierungsprozess in Korea abgeschlossen.

Weiterhin erhielten die 1,5 kW und 3 kW Windkraftanlagen von Hi-VAWT im August 2012 das ETL-Sicherheitszertifikat von Intertek, einem Zertifizierungsunternehmen in Großbritannien.

Die DS3000 Turbine wurde im Juni 2013 von Nippon KaijiKyokai (ClassNK) zertifiziert. Damit sind sie die ersten Anlagen, die eine Zertifizierung in Japan bekommen haben. Dadurch sind sie jetzt berechtigt die Einspeisevergütung der japanischen Regierung zu beziehen. Zudem hat die DS3000 im Dezember desselben Jahren den Netzparallelwechselrichtertest in Japan bestanden.

Im März 2014 wurde Hi-VAWT vom BSMI authentifiziert sowie vom Metallverarbeitungszentrum der anerkannte technische Prüfbericht für die DS3000 übergeben. Das INER beurkundete die formelle Ü berprüfung der Technologieberichte der DS3000. Zur Zeit ist die DS3000 weltweit die erste Kleinwindenergieanlage, die die freiwillige Zertifizierung in Taiwan bekommen hat.