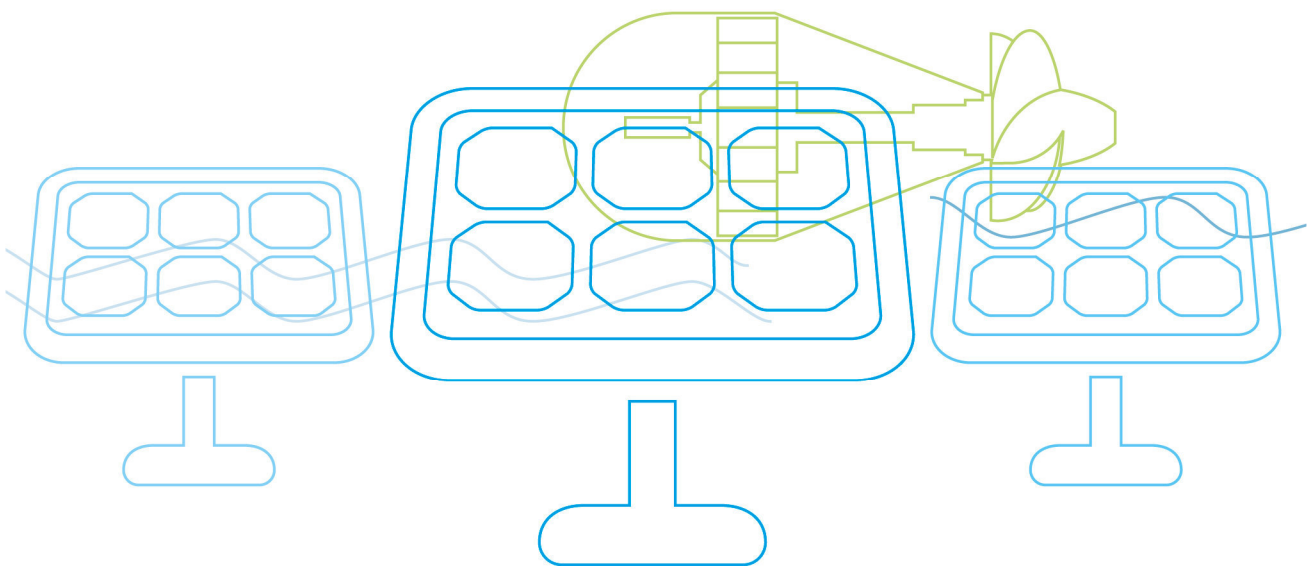




Kleinwindkraftanlagen

Qualitätssicherung, Netzeinbindung,
Geschäftsmodelle und Information



VORWORT

Die Publikationsreihe **BLUE GLOBE REPORT** macht die Kompetenz und Vielfalt, mit der die österreichische Industrie und Forschung für die Lösung der zentralen Zukunftsaufgaben arbeiten, sichtbar. Strategie des Klima- und Energiefonds ist, mit langfristig ausgerichteten Förderprogrammen gezielt Impulse zu setzen. Impulse, die heimischen Unternehmen und Institutionen im internationalen Wettbewerb eine ausgezeichnete Ausgangsposition verschaffen.

Jährlich stehen dem Klima- und Energiefonds bis zu 150 Mio. Euro für die Förderung von nachhaltigen Energie- und Verkehrsprojekten im Sinne des Klimaschutzes zur Verfügung. Mit diesem Geld unterstützt der Klima- und Energiefonds Ideen, Konzepte und Projekte in den Bereichen Forschung, Mobilität und Marktdurchdringung.

Mit dem **BLUE GLOBE REPORT** informiert der Klima- und Energiefonds über Projektergebnisse und unterstützt so die Anwendungen von Innovation in der Praxis. Neben technologischen Innovationen im Energie- und Verkehrsbereich werden gesellschaftliche Fragestellung und wissenschaftliche Grundlagen für politische Planungsprozesse präsentiert. Der **BLUE GLOBE REPORT** wird der interessierten Öffentlichkeit über die Homepage www.klimafonds.gv.at zugänglich gemacht und lädt zur kritischen Diskussion ein.

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus dem Forschungs- und Technologieprogramm „Neue Energien 2020“. Mit diesem Programm verfolgt der Klima- und Energiefonds das Ziel, durch Innovationen und technischen Fortschritt den Übergang zu einem nachhaltigen Energiesystem voranzutreiben.

Wer die nachhaltige Zukunft mitgestalten will, ist bei uns richtig: Der Klima- und Energiefonds fördert innovative Lösungen für die Zukunft!



Theresia Vogel
Geschäftsführerin, Klima- und Energiefonds



Ingmar Höbarth
Geschäftsführer, Klima- und Energiefonds

1 Inhaltsverzeichnis

1	Inhaltsverzeichnis	2
2	Einleitung	4
2.1	Aufgabenstellung	4
2.2	Methodik	5
2.3	Aufbau dieser Arbeit.....	5
3	Inhaltliche Darstellung.....	6
3.1	Leistungskurvenvermessung	6
3.2	Evaluierung des Betriebsverhaltens	7
3.3	Power-Quality Messungen und Netzanschlussbedingungen	7
3.4	Zertifizierungsstandard.....	8
3.5	Geschäftsmodell „Kleinwindkraft“	9
3.6	Zielgruppenspezifische Kommunikation	10
4	Ergebnisse und Schlussfolgerungen	10
4.1	Energieforschungspark Lichtenegg	10
4.1.1	Installierte Kleinwindkraftanlagen	14
4.2	Leistungskurvenvermessung	22
4.2.1	ECOVENT 10kW.....	22
4.2.2	EASYWIND 6AC.....	23
4.2.3	SCHACHNER SW5.....	24
4.2.4	SILENT FUTURE-TEC 4,2kW	25
4.2.5	MINVENTO m'2500.....	26
4.3	Evaluierung des Betriebsverhaltens	27
4.4	Netzanschlussbedingungen für Kleinwindkraftanlagen.....	35
4.5	Power-Quality Messungen	37
4.5.1	Stromoberwellen	37
4.5.2	Stromflicker und Spannungseinbrüche.....	38
4.5.3	Leistungsfaktor und maximale Leistung.....	41
4.6	Zertifizierungsstandard.....	42
4.7	Geschäftsmodell „Kleinwindkraft“	43
4.7.1	Windkraft Potenzial-Analyse.....	44
4.7.2	Ablauf Windmessung	47
4.7.3	Kauf einer Kleinwindkraftanlage	47
4.7.4	Erfahrungen aus dem „Geschäftsmodell“ Kleinwindkraft	48
4.8	Kriterien der Qualitätssicherung von Kleinwindkraftanlagen	49
4.9	Zielgruppenspezifische Kommunikation	51
4.9.1	Leitfaden für Gemeinden und EndkundInnen	51

5	Ausblick und Empfehlungen.....	54
	Literaturverzeichnis	56
6	Abbildungsverzeichnis	56
7	Tabellenverzeichnis	57
8	Anhang	58

2 Einleitung

Die guten Windstandorte in Österreich sind bereits belegt – durch Abstandsregelungen zu bewohntem Gebiet, Natur- und Vogelschutzgebieten sind die Flächen zur Windstromgewinnung auch nur begrenzt verfügbar. Anfang 2014 waren laut [IGW14] insgesamt 872 Windkraftanlagen mit einer installierten Leistung von knapp 1.684 MW in Betrieb, davon rund 90% der Anlagen im Osten Österreichs (Burgenland und Niederösterreich). Mit der zunehmenden und teilweise limitierenden Belegung guter Windstandorte durch die Großwindkraft, gewinnt das Interesse für Kleinwindkraftanlagen an Bedeutung. Auch das Bedürfnis nach individuellen Lösungen, wie vor allem der rasante Ausbau der Photovoltaik in Österreich zeigt, sowie die Unabhängigkeit von Energiepreisen, führen zu einer erhöhten Nachfrage nach Kleinwindanlagen.

2.1 Aufgabenstellung

Trotz steigendem Interesse und erhöhter Anzahl der Nachfragen bei Interessensvertretungen und Herstellern, sind die Herausforderungen für den immer noch jungen Markt für Kleinwindkraftanlagen verhältnismäßig groß. Zu Projektbeginn sah man sich mit folgender Ausgangslage und Problemen konfrontiert:

- **Mangelnde Qualität und Sicherheit der Anlagen durch fehlende Zertifizierung:** Kaum eine der am Markt angebotenen KWKA ist zertifiziert. Gründe dafür sind die mangelnde Qualität der Anlagen und kostspielige Zertifizierungsverfahren.
- **Leistungsangaben sind häufig nicht zuverlässig:** Durch eine fehlende Leistungskennlinienermittlung mittels Vermessung kommt es zu Herstellerangaben, die die wahre Leistungsfähigkeit der KWKA oft übersteigen. Das geht so weit, dass Leistungskurven publiziert werden, „die nach den Regeln der Physik nicht darstellbar sind“ (Kirchwegger (2009)).
- **Vielfach ungeeignete Wechselrichter:** Die Anforderungen an die Wechselrichter für KWKA sind die nächste Unbekannte: Meist werden Wechselrichter eingesetzt, die eigentlich für PV-Anlagen konzipiert sind, viele KWKA werden ohne dazu passenden Wechselrichter angeboten. Andere Hersteller bieten KWKA an, die sich aus aufeinander nicht abgestimmten Einzelkomponenten zusammensetzen und daher keine optimalen Erträge erreichen.
- Die beschriebenen Defizite führen zur **Intransparenz des Marktes** und zu einer **Verunsicherung aller Marktteilnehmer:** Für viele am Markt verfügbare KWKA stehen keine verlässlichen Angaben zur Verfügung. Darüber hinaus ist auch der Angebotsumfang sehr unterschiedlich: Manche Hersteller bieten ein Komplettpaket (KWKA, Wechselrichter) an, während andere nur Komponenten anbieten und die Zusammenstellung der Anlage dem Betreiber bzw. Planer obliegt.
- **Uneinheitliche Genehmigungsbedingungen und fehlende Erfahrungen der Baubehörde erster Instanz (Gemeinden):** Ein Hindernis für die Errichtung von KWKA sind häufig unklare Genehmigungsprozesse. Vielfach sind die Gemeinden – als Baubehörden erster Instanz – mit

Genehmigungen von KWKA überfordert, da es ihnen an Erfahrung und Know-how fehlt und andererseits der rechtliche Rahmen nicht klar ist. Die Rahmenbedingungen werden sehr unterschiedlich interpretiert, was zu Unsicherheiten für die InvestorInnen und PlanerInnen führt.

- **Ungenügende (energie-)wirtschaftliche Bewertung und Förderungsmöglichkeiten:** Aufgrund der derzeitigen Kosten- und Ertragssituation für KWKA und den Preisen auf dem Strommarkt, ist ein wirtschaftlicher Betrieb von KWKA ohne Förderung nicht möglich. Gleichzeitig stehen auf Seiten der öffentlichen Hand keine maßgeschneiderten Förderinstrumente für diese Technologie zur Verfügung. Gründe dafür sind einerseits die beschriebenen mangelnden Qualitätskriterien, die für die Fördergeber einen nachhaltigen Einsatz der Fördermittel gewährleisten, andererseits sind viele energiewirtschaftliche Aspekte der Kleinwindkraft noch ungenügend beleuchtet.

2.2 Methodik

Der methodische Ansatz verfolgte in einem ersten Schritt das Screening bestehender Normen und Regelwerke zur Zertifizierung von KWKA und die Darstellung des Ablaufs und der Kosten von Zertifizierungen nach diesen Standards. Ergänzt durch Interviews mit Herstellern und Zertifizierungsinstitutionen wurde aus den gewonnenen Erkenntnissen ein vereinfachter Zertifizierungsstandard gemeinsam mit den Amtssachverständigen der Länder erarbeitet. Die Vermessung der Leistungskennlinien wurde eingangs von einem deutschen Prüfinstitut konzipiert und anhand einer Kleinwindkraftanlage angewendet. Die Vermessung wurde entsprechend den Vorgaben der internationalen Norm EN 61400-12 durchgeführt. Jede Windturbine wurde über einen Zeitraum von 2 bis 3 Monaten auf dem Prüfstand montiert und in Bezug auf ihr Leistungsverhalten vermessen. Die Evaluierung des Betriebsverhaltens wurde unter praxisnahen Bedingungen mit Netzeinspeisung betrieben. Trotz der überaus herausfordernden Bedingungen, vor allem in den Wintermonaten, konnten einige Anlagen gut oder sehr gut abschneiden. Die Bewertung der technischen Verfügbarkeit erfolgte auf Grundlage der aufgezeichneten Daten der Einspeisezähler und der Aufzeichnungen des Betriebspersonals. Die elektrischen Eigenschaften der einzelnen KWKA werden jeweils über einen Zeitraum von 3 Monaten an jeder Anlage einzeln vermessen. Die Netzqualität bzw. Netzzrückwirkungen von vier installierten KWKA-Typen und den dazugehörigen Wechselrichtern wurde durch Messungen am Projektstandort mithilfe eines Netzqualitätsanalytoren ermittelt. Unter Einbeziehung der beschriebenen Ergebnisse wurde ein Konzept für ein Geschäftsmodell erarbeitet, das in weiterer Folge am Markt mit Pilotprojekten umgesetzt werden soll. Dazu wurden Kunden- und Potentialanalyse durchgeführt, die Rahmenbedingungen zusammengefasst und Preis für ein modulares „Produkt Kleinwindkraft“ festgelegt.

2.3 Aufbau dieser Arbeit

Kapitel 3 beschreibt die gesteckten Ziele, welche die Vielzahl der anfangs ungelösten Probleme mit Kleinwindkraftanlagen adressierten. Darunter zählten die Unsicherheiten über die Qualität und den zu

erwartenden Energieertrag, offene Fragen zu Netzurückwirkungen und geeigneten Wechselrichtern sowie Rechtsunsicherheiten bei der Genehmigung von Anlagen. Begleitend sollten Informationsmaterialien für die öffentliche Hand und die interessierte Öffentlichkeit erarbeitet werden um ein Bewusstsein für diese junge Technologie zu bilden.

Im **Kapitel 4** sind die Projektergebnisse und Outputs zusammengefasst. Neben der Publikation der nach Norm vermessenen Leistungskennlinien von fünf Anlagen und der technischen Verfügbarkeit der am Projektstandort installierten Anlagen, widmet sich ein weiteres Unterkapitel den Netzanschlussbedingungen und -rückwirkungen. Neben den technischen Belangen werden in diesem Kapitel auch rechtliche und organisatorische Aspekte angesprochen. Die Erarbeitung eines vereinfachten Verfahrens der Zertifizierung von Kleinwindkraftanlagen und Kriterien der Qualitätssicherung stellten dabei einen wesentlichen Schwerpunkt dar. Am Kapitelende wird ein kurzer Einblick in die erarbeiteten zielgruppenspezifischen Kommunikationsmaterialien gegeben, mit Verweis darauf, wo diese bezogen werden können. Aufgrund der umfangreichen Anhänge erschien die Zusammenfassung von wesentlichen Ergebnissen als zielführender.

Ein abschließendes Kapitel (**Kapitel 5**) gibt einen Ausblick auf weitere Schritte, die der Technologie Kleinwindkraft aufgrund der im Projekt gesammelten Ergebnisse und gewonnenen Erfahrungen hin zu einer marktfähigen Technologie mit zuverlässigen Rahmenbedingungen verhelfen soll. Die Empfehlungen richten sich gleichermaßen an die Vielzahl involvierter Stakeholder und EndkundInnen.

3 Inhaltliche Darstellung

3.1 Leistungskurvenvermessung

Sowohl zu Beginn des Projekts als auch heute liegen für die wenigsten derzeit am Markt erhältlichen KWKA von einem unabhängigen Prüfstelle vermessene Leistungskennlinien vor. Ein Hauptziel des Projekts war es daher, die Vermessung der Leistungskennlinien von fünf unterschiedlichen Kleinwindkraftanlagen am Standort in Lichtenegg vorzunehmen. Die Vermessung wurde entsprechend den Vorgaben der Norm EN 61400-12 durchgeführt, wobei mit der Konzeption eines standardisierten Prüfverfahrens an einem einzigen Teststandort die Leistungskurven unterschiedlicher Anlagen effizient und kostengünstig vermessen werden können. Um die Energieerträge der unterschiedlichen Windkraftanlagen entsprechend den Herstellerangaben und der zum Teil bereits vermessenen Leistungskurven unter Einbeziehung der jeweiligen tatsächlichen Windverhältnissen an den Standorten der Anlagen zu berechnen, wurde eine Modellrechnung zur Validierung (auch Plausibilitätsprüfung) der Ertragsdaten vorgenommen.

Während der Projektlaufzeit wurde aus Rücksicht gegenüber der Konkurrenzsituation der Anlagenhersteller untereinander und Überprüfung der Ergebnisse die Zwischenergebnisse der Öffentlichkeit anonymisiert vorgestellt, u.a. bei Führungen im Forschungspark oder bei der vom Klima- und Energiefonds durchgeführten Veranstaltung „Science Brunch“ am 16. April 2013.

Jede Windturbine wurde über einen Zeitraum von bis zu 3 Monaten auf dem Prüfstand montiert und in Bezug auf ihr Leistungsverhalten vermessen. Nach der Vermessung wurden die einzelnen Kleinwindkraftanlagen wieder an ihrem Standort innerhalb des Testfeldes installiert und das Langzeitverhalten weiter evaluiert.

Besonders zu erwähnen ist das überaus freundliche und hilfsbereite Entgegenkommen aller(!) Anlagenhersteller, die ihre Anlagen während der gesamten Projektlaufzeit unentgeltlich zur Verfügung gestellt haben und bei Schadensfällen bzw. Störungen rasch vor Ort waren, um den sicheren Betrieb wiederherzustellen. Selbstverständlich konnten die Hersteller den Testpark für Optimierungen an den Anlagen nutzen oder Prototypen fachgerecht testen und die Ergebnisse im Nachhinein auswerten. Die Zusammenarbeit und Kommunikation zwischen dem Projektteam und den Herstellern funktionierte einwandfrei und kann als besonders Highlight des Projekts gelten.

3.2 Evaluierung des Betriebsverhaltens

Neben der Vermessung der Leistungskennlinie ist eine Aussage über die Langzeitverfügbarkeit und das Betriebsverhalten der Anlage von enormer Wichtigkeit. Die Windkraftanlagen wurden daher an unterschiedlichen Standorten innerhalb des Testfeldes installiert und dort unter praxisnahen Bedingungen mit Netzeinspeisung betrieben. Der Betrieb der Anlagen wurde über einen Zeitraum von 2 Jahren aufgezeichnet und die erwirtschafteten Energieerträge, die technische Verfügbarkeit, das Regelungsverhalten, die elektrischen Eigenschaften, die Störanfälligkeit und der Wartungsaufwand evaluiert.

Die Bewertung der erwirtschafteten Energieerträge erfolgte anhand der Gegenüberstellung von Ist-Erträgen mit den aus den aufgezeichneten Messdaten berechneten Soll-Erträgen. Die Bewertung der technischen Verfügbarkeit und der Störanfälligkeit erfolgten auf der Grundlage der aufgezeichneten Daten der Einspeisezähler und der Aufzeichnungen des Betriebspersonals. Die elektrischen Eigenschaften der einzelnen KWKA wurden jeweils über einen Zeitraum von 3 Monaten an jeder Anlage einzeln vermessen.

3.3 Power-Quality Messungen und Netzanschlussbedingungen

Die verstärkte Einbindung von kleinen dezentralen Stromerzeugern in die Stromverteilnetze bringt neue Herausforderungen für die Stromnetze mit sich. Sicherheit, Zuverlässigkeit und Netzverträglichkeit sind die wesentlichen Themen dabei. Ähnlich wie bei Photovoltaik, werden auch Kleinwindgeneratoren über Wechselrichter mit dem Stromnetz verbunden. Wind-Wechselrichter wandeln die drehzahlvariable Spannung von Windgeneratoren in netzkonforme Wechselspannung um. Während aber beim Solarmodul die Spannung bei schwankender Einstrahlung weitgehend gleich bleibt und sich nur der Strom ändert, verändert sich beim Windrad mit der Drehzahl die Spannung ständig, bei Böen sogar äußerst dynamisch. Diese deutlich unterschiedliche Charakteristik der Erzeugung durch Kleinwind im

Gegensatz zur Photovoltaik bringt neue Herausforderungen mit sich, die im Zuge dieses Projektes in realen Versuchen untersucht wurden.

Derzeit werden zur Netzanbindung von KWKA meist Wechselrichter eingesetzt, die für PV-Anlagen konzipiert und (im besten Fall) für den Betrieb mit KWKA adaptiert sind. So sind etwa verschiedene Verfahren des Maximum Power Point Trackings bis jetzt kaum noch implementiert, was aber im Hinblick auf eine Ertragsoptimierung wichtig wäre [HAL09]. Problematisch ist vielfach auch die mangelnde Abstimmung der einzelnen Komponenten – auch des Wechselrichters – einer KWKA aufeinander, was zu suboptimalen Ergebnissen führt.

Im Rahmen des Projekts wurde die Netzqualität von vier unterschiedlichen Kleinwindkraftanlagen-Typen und den dazugehörigen Wechselrichtern ermittelt. Mithilfe eines Netzqualitätsanalysatoren wurden die Netzurückwirkungen durch eine mobile Messeinrichtung an den einzelnen KWKA gemessen. (Literatur-)recherchen zu (inter-)nationalen Standards zur Netzintegration von KWKA ergänzten die Untersuchungen.

Zur Erstellung eines Anforderungskatalogs an Wechselrichter für KWKA wurden nach einem Normenstudium infrage kommende Wechselrichter recherchiert und auf diese Anforderungen hin analysiert.

3.4 Zertifizierungsstandard

Die Zertifizierung stellt im Allgemeinen ein wesentliches Instrument der Qualitätssicherung dar bzw. wird damit die Anlagensicherheit von Kleinwindkraftanlagen sichergestellt. Nachdem der Markt für Kleinwindkraftanlagen nach wie vor ein Nischensegment darstellt, wird eine aufwändige und teure Zertifizierung nach internationalem Standard von vielen Kleinwind-Herstellern nicht in Betracht gezogen. Im Rahmen des Forschungsprojektes wurde die Entwicklung eines Standards für die vereinfachte Zertifizierung von Kleinwindkraftanlagen vorangetrieben. Ziel sollte es sein, eine kostengünstige und dennoch umfassende Zertifizierung als Alternative zur internationalen Norm zu bieten. Basierend auf dem Screening bestehender Normen und Regelwerke in Österreich sollten wertvolle praktische Erfahrungen von Herstellern und Zertifizierungsstellen in die Entwicklung integriert werden. Letztlich sollten daraus Verbesserungs- und Vereinfachungspotenziale abgeleitet werden sowie die Gründe für die schwache Bereitschaft von Anlagenherstellern analysiert werden.

Während der Arbeiten an einem vereinfachten Standard für die Zertifizierung von KWEA kam 2012 eine Anfrage der Amtssachverständigen (ASV) der Bundesländer für die Fachbereiche Elektro-, Maschinen-, Bau- und Umwelttechnik für eine Führung im Forschungswindpark Lichtenegg. Die ASV hatten aufgrund vermehrter Genehmigungsanfragen zu KWEA in mehreren Bundesländern und auch wegen einzelner Schadenfälle bei Anlagen eines österreichischen Herstellers einen Arbeitskreis zu diesem Thema gebildet und in Lichtenegg einen Workshop abgehalten. Im Rahmen der Führung durch den Testwindpark wurden zahlreiche Punkte zu den Themen Sicherheit, Energieertrag,

Genehmigungsfähigkeit von KWEA und mangelhafte Herstellerunterlagen diskutiert und in Folge auch in den Entwurf für einen Anforderungskatalog an KWEA eingebracht [ASV12]. Zusätzlich wurden Ergänzungen des Projektpartners SOLVENTO in den Katalog mit aufgenommen.

Im November 2012 wurde der Anforderungskatalog vom Ausschuss der ASV mit dem Bundesministerium (BMWFJ) abgestimmt – eine Veröffentlichung des Katalogs ist bisher ausgeblieben. Dennoch werden die Anforderungen für KWEA von den ASV nach eigenen Aussagen in der Praxis angewendet, wenn es Genehmigungsanfragen von betroffenen Gemeinden, Herstellern bzw. Betreibern von KWEA gibt. Der Katalog hat zwar nur den Rechtsstatus einer Empfehlung der ASV der Bundesländer, kann aber durchaus als Standard für Kleinwindanlagen gewertet werden.

3.5 Geschäftsmodell „Kleinwindkraft“

Unter Einbeziehung der im Projekt erzielten Ergebnisse wurde in einem begleitenden Arbeitsschritt ein Konzept für ein Geschäftsmodell erarbeitet. Wesentlicher Bestandteil des Geschäftsmodells sind Kunden- und Potentialanalysen, welche die Rahmenbedingungen abgesteckt und den Preis für ein modulares „Produkt Kleinwindkraft“ festgelegt haben. Der schwerpunktmäßige Inhalt bezieht sich nicht auf die Entwicklung und Errichtung von Kleinwindrädern sondern setzt einen Schritt davor, in der qualifizierten Kunden- und Standortberatung an. Denn für gute Energieerträge in der Kleinwindkraft sind vor allem gute Standorte mit hohen Windleistungen nötig – und das bei Masthöhen zwischen 15 – 20 Meter. Dazu ist es unabdingbar, dass neben einer ersten Standortpotentialabschätzung unter Abschätzung des umliegenden Geländes (Rauhigkeit) nachgelagert eine Windmessung für die Dauer von mind. 3 - 6 Monaten durchgeführt wird. Erst dann kann die Investitions-Entscheidung auf einer abgesicherten Basis getroffen werden.

Zur Marktuntersuchung wurden folgende Herangehensweisen / Methoden eingesetzt:

- eine umfassende Angebots-Recherche am österreichischen Markt
- Gespräche mit Kleinwindkraft-Anlagen-Herstellern über Marketing- und Verkaufsstrategien
- Gespräche mit Kleinwindkraft-Interessierten hinsichtlich annehmbarer Kosten und Nutzen einer Windmessung
- Marktrecherche bezogen auf verfügbare technische Lösungen wie Anemometer, Mastbeistellungen bzw. Lösungen zum Masteigenbau

Die Marktrecherche, welche den Ausgangspunkt für die Konzeption des Geschäftsmodells bildete, brachte hinsichtlich der unterschiedlichen Beteiligten, folgende Ergebnisse:

- **Windradhersteller**, die in der Akquisitionsphase selbst eine Windmessung anbieten. Deren Verkaufspreise für eine Windmessung liegen zwischen € 150 - € 1.000.- Sofern der Kunde sich für den Kauf der Windanlage entscheidet, werden 50 % bis 100 % der Gesamtkosten der Windmessung wieder refundiert bzw. als Gutschrift vom Verkaufspreis der Windanlage bei Kundenbestellung in Abzug gebracht. Es kann vermutet werden, dass die Windmesskosten als Akquisitions- und Werbungskosten angesetzt werden und für einen Anlagenverkäufer bereits im

Verkaufspreis der Windkraftanlage einkalkuliert sind. Damit werden Windmessungen aktuell mehrheitlich nicht auf Selbstkostenbasis angeboten.

- **Kleinwindkraft-Interessierte**, die sich selbst eine Windmessung „bauen“. Im Fachhandel bzw. bei Elektronik-Ketten (z.B.: CONRAD) gibt es Anemometer von € 290,- bis € 850,- die bereits sehr gute Kreuzschalen-Anemometer darstellen. Problematisch ist meistens die Datenauslesung und die Stabilität des Mastes, der eine stabile Position des Anemometers während der gesamten Windmessdauer gewährleisten muss um valide Ergebnisse bereitstellen zu können.

Ausgehend von der Problembeschreibung und der Identifikation der wesentlichen Einflussparameter für eine fundierte Entscheidungsgrundlage für den richtigen Standort für Kleinwindkraftanlagen, wurden die wesentlichen Entwicklungsschritte sowie Inhalte der konzipierten Dienstleistungen beschrieben.

3.6 Zielgruppenspezifische Kommunikation

Begleitend zur technischen Vermessung von Kleinwindkraftanlagen bestand ein weiterer Schwerpunkt des Projekts in der Entwicklung zielgruppenspezifischer Kommunikationsmedien. Aus den erzielten Projektergebnissen wurden Informationsprodukte entwickelt, in deren Fokus die jeweiligen Anforderungen und unterschiedlichen Zugänge einzelner Zielgruppen standen. Für EndkonsumentInnen (= potenzielle InvestorInnen) wurde ein gedruckter Leitfaden entwickelt, der unabhängig und umfassend über den Ablauf der Planung, Errichtung, Genehmigung, Netzeinbindung und Betrieb von KWKA informiert. Für ExpertInnen, AnlagenanbieterInnen und Elektroinstallateure konnte ein Schulungskonzept erarbeitet werden, welches im Zuge der EnergieberaterInnen-Ausbildung bereits eingesetzt werden konnte.

4 Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Das Folgende Kapitel fasst die wesentlichen Projektergebnisse zusammen und verweist teilweise auf die erstellten Materialien (Anhänge) als weiterführende Information.

4.1 Energieforschungspark Lichtenegg

Am 13. Juli 2011 erfolgte die Eröffnung des „EVN Energieforschungsparks Lichtenegg“ in der Gemeinde Lichtenegg in der Buckligen Welt. Die EVN errichtete am Standort einer bestehenden Windkraftanlage des Typs ENERCON E66 einen Teststandort für Energiespeicher, Kleinwindkraft- und Photovoltaikanlagen. Das Zusammenspiel von Wind- und Sonnenenergie in Kombination mit einem Energiespeicher sollte in diesem Forschungsvorhaben untersucht werden.

Folgendes Foto zeigt den Energieforschungspark in Lichtenegg. Darauf sind die installierten Kleinwindkraftanlagen, der Windmessmast, sowie die Großwindkraftanlage des Typs ENERCON E66 zu sehen. An dieser Anlage ist unterhalb der Gondel eine Aussichtsplattform angebracht.



Abbildung 1: Energieforschungspark Lichtenegg

Der Energieforschungspark - „EVN Energieforschungspark Lichtenegg – Bucklige Welt¹“ befindet sich in der Gemeinde Lichtenegg, Rote Pesendorf (Niederösterreich). Neben Windenergieanlagen unterschiedlicher Hersteller und Baugrößen, weist der Energieforschungspark Lichtenegg Photovoltaikanlagen und Speichersysteme unterschiedlichen Typs auf. Der Windpark wird von einer Großwindkraftanlage des Typs ENERCON E66, mit einer Nennleistung von 1.800 kW, einer Nabenhöhe von 68 m und einem Rotordurchmesser von 70 m dominiert. Diese Anlage liegt mit ihrer Rotorebene jedoch über den Blattspitzenhöhen der zu untersuchenden Kleinwindkraftanlagen, wodurch nur ein geringer Einfluss auf die Kleinwindkraftanlagen zu erwarten ist.

¹ Projektwebsite: <http://www.energieforschungspark.at/>

Die Kleinwindkraftanlagen des Energieforschungsparks Lichtenegg stehen auf einem langgezogenen Höhenrücken in ca. 800 m über Normalnull. Die nähere Umgebung ist gekennzeichnet durch überwiegend landwirtschaftlich genutzte Flächen, sowie ausgedehnte Wälder. Die Geländestruktur am Teststandort Lichtenegg kann als komplex beschrieben werden. Im näheren Umfeld des Windmessmastes ist die Geländeneigung jedoch moderat.



Abbildung 2: Topografische Karte mit dem Standort des Energieforschungsparks in Lichtenegg

Folgende Abbildung zeigt den Lageplan des Energieforschungsparks in Lichtenegg.

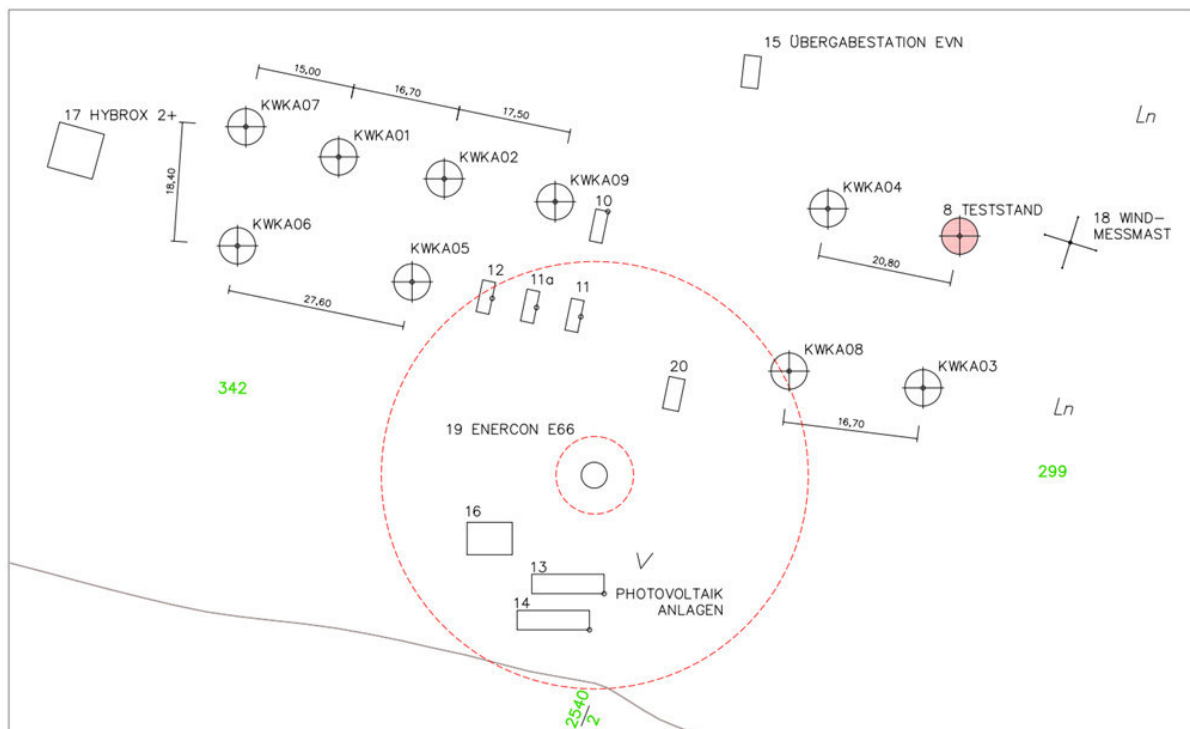


Abbildung 3: Lageplan

Der Lageplan zeigt alle Aufbauten im „EVN Energieforschungspark Lichtenegg – Bucklige Welt“. Die Positionsnummerierungen sind simultan zu den Nummerierungen in Tabelle 1 eingezeichnet. Im nordöstlichen Teil des Lageplans ist die Position des Windmessmastes und des Teststands dargestellt. Der Windmessmast wurde unter Berücksichtigung der orografischen Bedingungen und in Zusammenarbeit mit der DEWI GmbH platziert. Eine genauere Beschreibung kann dem „Konzept zur Durchführung von Leistungskurvenvermessungen an Kleinwindkraftanlagen unterschiedlichen Typs“ [DEW12] entnommen werden.

Tabelle 1: Koordinaten Energieforschungspark. (Koordinatensystem: geographische Koordinaten, Greenwich [Grad, Dezimalminuten])

Objekt		Nord	Süd
Pos. 8	Teststand	N47° 36.541	E16° 12.257
Pos. 18	Windmessmast (WMM)	N47° 36.537	E16° 12.273
KWKA 01	Windtronics	N47° 36.544	E16° 12.175
KWKA 02	Urban Wind Mill Don Qi	N47° 36.542	E16° 12.190
KWKA 03	Silent Future-Tec 4,2kW	N47° 36.527	E16° 12.255
KWKA 04	Easywind 6 AC	N47° 36.543	E16° 12.240
KWKA 05	Windsolar	N47° 36.539	E16° 12.190
KWKA 06	Ecovent 10kW	N47° 36.544	E16° 12.166
KWKA 07	Zemsauer	N47° 36.547	E16° 12.168

KWKA 08	Schachner SW5	N47° 36.530	E16° 12.237
KWKA 09	Minvento	N47° 36.539	E16° 12.206
Pos. 10	Trafostation EVN	N47° 36.538	E16° 12.213
Pos. 11	Messcontainer	N47° 36.540	E16° 12.202
Pos.11a	Messcontainer	N47° 36.540	E16° 12.202
Pos. 12	Cellstrom Speicher	N47° 36.538	E16° 12.194
Pos. 13 u. 14	Photovoltaik Anlagen	N47° 36.513	E16° 12.212
Pos. 15	Übergabestation EVN	N47° 36.554	E16° 12.237
Pos. 16	PV – Nachführungssystem	N47° 36.514	E16° 12.201
Pos. 17	Hybrox 2+	N47° 36.546	E16° 12.151
Pos. 19	Enercon E-66	N47° 36.523	E16° 12.216
Pos. 20	Aussichtsplattform	N47° 36.529	E16° 12.225

4.1.1 Installierte Kleinwindkraftanlagen

In diesem Kapitel werden die im Energieforschungspark installierten Kleinwindkraftanlagen vorgestellt und beschrieben. Die Beschreibung beinhaltet die technischen Daten der Kleinwindkraftanlagen.

Tabelle 2: WindTronics, Inc. Honeywell - BTPS 6500

Hersteller: WindTronics, Inc. Honeywell Typenbezeichnung: BTPS 6500 Position im Energieforschungspark: KWKA 01 Testzeit im Energieforschungspark: Januar 2012 – Juni 2013		
Leistungsregelung:	k.A.	
Achsenlage:	Horizontal	
Läuferart:	Luv	
Nennleistung:	2,2	kW
Nenngeschwindigkeit:	14	m/s
Einschaltgeschwindigkeit:	0,83	m/s
Abschaltgeschwindigkeit:	17	m/s
Rotordurchmesser:	1,82	m

Rotorfläche:	2,86	m ²
Rotorblattanzahl:	20	Stk
Nabenhöhe:	15	m
Drehzahl:	0-400	U/min
Generatortyp:	Permanentmagnet	

Tabelle 3: Sonkyo Energy – Windspot 1,5 kW


<p>Hersteller: Sonkyo Energy (Camargo Spain)</p> <p>Typenbezeichnung: Windspot 1,5 kW</p> <p>Position im Energieforschungspark: KWKA 01</p> <p>Testzeit im Energieforschungspark: Juli 2013 – Februar 2014</p>		
Leistungsregelung:	„passives Pitch-System“	
Achsenlage:	Horizontal	
Läuferart:	Luv	
Nennleistung:	1,5	kW
Nenngeschwindigkeit:	11	m/s
Einschaltgeschwindigkeit:	3	m/s
Abschaltgeschwindigkeit:	30	m/s
Rotordurchmesser:	4,05	m
Rotorfläche:	12,88	m ²
Rotorblattanzahl:	3	Stk
Nabenhöhe:	15	m
Drehzahl:	250	U/min
Generatortyp:	Permanentmagnet	

Tabelle 4: DonQi Independent Energy – Urban Windmill 1400



Hersteller: DonQi Independent Energy Typenbezeichnung: Urban Windmill 1400 Position im Energieforschungspark: KWKA 02 Testzeit im Energieforschungspark: Januar 2012 – Juni 2013		
Leistungsregelung:	k.A.	
Achsenlage:	Horizontal	
Läuferart:	Luv	
Nennleistung:	1,5	kW
Nenngeschwindigkeit:	12,5	m/s
Einschaltgeschwindigkeit:	2,5	m/s
Abschaltgeschwindigkeit:	30	m/s
Rotordurchmesser:	2,0	m
Rotorfläche:	1,77	m ²
Rotorblattanzahl:	3	Stk
Nabenhöhe:	15	m
Drehzahl:	0-2500	U/min
Generatortyp:	Asynchron polumschaltbar	

Tabelle 5: Wind2Power GmbH – Turbine 01

Hersteller: Wind2Power GmbH Typenbezeichnung: Turbine 01 Position im Energieforschungspark: KWKA 02 Testzeit im Energieforschungspark: Juli 2013 – Dezember 2013		
Leistungsregelung:	k.A.	
Achsenlage:	Horizontal	
Läuferart:	Luv	

Nennleistung:	1	kW
Nenngeschwindigkeit:	13	m/s
Einschaltgeschwindigkeit:	3	m/s
Abschaltgeschwindigkeit:	Keine	m/s
Rotordurchmesser:	1,07	m
Rotorfläche:	0,90	m ²
Rotorblattanzahl:	5	Stk
Nabenhöhe:	15	m
Drehzahl:	200 - 1.400	U/min
Generatortyp:	Permanentmagnet Synchrongenerator	

Tabelle 6: Silent Future-Tec GmbH – SFTV 4,2kW

<p>Hersteller: Silent Future-Tec GmbH</p> <p>Typenbezeichnung: SFTV 4,2kW</p> <p>Position im Energieforschungspark: KKWA 03</p> <p>Laufzeit im Energieforschungspark: April 2011 – September 2013</p>		
Leistungsregelung:	Wechselrichter	
Achsenlage:	vertikal	
Läuferart:	Darrieus	
Nennleistung:	4,2	kW
Nenngeschwindigkeit:	11,3	m/s
Einschaltgeschwindigkeit:	3	m/s
Abschaltgeschwindigkeit:	13	m/s
Rotordurchmesser:	4,0	m
Rotorfläche:	16	m ²
Rotorblattanzahl:	3	Stk
Nabenhöhe:	19	m
Drehzahl:	165	U/min
Generatortyp:	Permanentmagnet	

Tabelle 7: Easywind GmbH – Easywind 6AC


<p>Hersteller: Easywind GmbH</p> <p>Typenbezeichnung: Easywind 6AC</p> <p>Position im Energieforschungspark: KWKA 04</p> <p>Laufzeit im Energieforschungspark: April 2011 – Februar 2014</p>		
Leistungsregelung:	Pitch	
Achsenlage:	Horizontal	
Läuferart:	Luv	
Nennleistung:	6	kW
Nenngeschwindigkeit:	10,6	m/s
Einschaltgeschwindigkeit:	3	m/s
Abschaltgeschwindigkeit:	Keine	m/s
Rotordurchmesser:	6,0	m
Rotorfläche:	28,27	m ²
Rotorblattanzahl:	4	Stk
Nabenhöhe:	19	m
Drehzahl:	83-124	U/min
Generatortyp:	Asynchron polumschaltbar	

Tabelle 8: Windsolar GmbH – WS 1500W

<p>Hersteller: Windsolar GmbH</p> <p>Typenbezeichnung: WS 1500W</p> <p>Position im Energieforschungspark: KWKA 05</p> <p>Laufzeit im Energieforschungspark: April 2011 – Februar 2014</p>		
Leistungsregelung:	Elektrische Anlagenanhebung	
Achsenlage:	Horizontal	
Läuferart:	Luv	

Nennleistung:	1,5	kW
Nenngeschwindigkeit:	10,5	m/s
Einschaltgeschwindigkeit:	1	m/s
Abschaltgeschwindigkeit:	-	m/s
Rotordurchmesser:	2,85	m
Rotorfläche:	6,38	m ²
Rotorblattanzahl:	3	Stk
Nabenhöhe:	15	m
Drehzahl:	-	U/min
Generatortyp:	Dreiphasen Synchrongenerator	

Tabelle 9: Mischtechnik Hoffmann & Partner KG - Ecovent 10kW


<p>Hersteller: Mischtechnik Hoffmann & Partner</p> <p>Typenbezeichnung: Ecovent 10kW</p> <p>Position im Energieforschungspark: Pos. 8 / KWKA 06</p> <p>Laufzeit im Energieforschungspark: April 2011 – Februar 2014</p>		
Leistungsregelung:	Pitch	
Achsenlage:	Horizontal	
Läuferart:	Lee	
Nennleistung:	10	kW
Nenngeschwindigkeit:	9	m/s
Einschaltgeschwindigkeit:	3	m/s
Abschaltgeschwindigkeit:	25	m/s
Rotordurchmesser:	8,5	m
Rotorfläche:	56,74	m ²
Rotorblattanzahl:	3	Stk
Nabenhöhe:	18,5	m
Drehzahl:	90	U/min
Generatortyp:	Synchrongenerator	

Tabelle 10: Zemsauer Elektrotechnik – Micro Windturbine WT3



<p>Hersteller: Zemsauer Elektrotechnik</p> <p>Typenbezeichnung: Micro Windturbine WT3</p> <p>Position im Energieforschungspark: KWKA 07</p> <p>Laufzeit im Energieforschungspark: April 2011 – Februar 2014</p>		
Leistungsregelung:	„Furling Protection“ - Turbine dreht aus Hauptwindrichtung	
Achsenlage:	Horizontal	
Läuferart:	Luv	
Nennleistung:	3,0	kW
Nenngeschwindigkeit:	13,0	m/s
Einschaltgeschwindigkeit:	2,5	m/s
Abschaltgeschwindigkeit:	13,5	m/s
Rotordurchmesser:	2,5	m
Rotorfläche:	4,9	m ²
Rotorblattanzahl:	3	Stk
Nabenhöhe:	15	m
Drehzahl:	145-780	U/min
Generatortyp:	18 Pol Permanent Magnetgenerator	

Tabelle 11: Schachner Wind GmbH – Schachner SW5

<p>Hersteller: Schachner Wind GmbH</p> <p>Typenbezeichnung: Schachner SW5</p> <p>Position im Energieforschungspark: KWKA 08</p> <p>Laufzeit im Energieforschungspark: April 2011 – Februar 2014</p>		
Leistungsregelung:	pitch	
Achsenlage:	horizontal	

Läuferart:	Lee	
Nennleistung:	5,25	kW
Nenngeschwindigkeit: Urban	11	m/s
Einschaltgeschwindigkeit:	4,5	m/s
Abschaltgeschwindigkeit:	36	m/s
Rotordurchmesser:	5,6	m
Rotorfläche:	24,6	m ²
Rotorblattanzahl:	3	Stk
Nabenhöhe:	12,4	m
Drehzahl:	240	U/min
Generatortyp:	Permanent Synchrongenerator	

Tabelle 12: Minvento S.r.l - m'2500

<p>Hersteller: Minvento S.r.l</p> <p>Typenbezeichnung: m'2500</p> <p>Position im Energieforschungspark: KWKA 09</p> <p>Laufzeit im Energieforschungspark: April 2011 – Februar 2014</p>		
Leistungsregelung:	Stall	
Achsenlage:	Horizontal	
Läuferart:	Luv	
Nennleistung:	2,5	kW
Nenngeschwindigkeit:	-	m/s
Einschaltgeschwindigkeit:	4	m/s
Abschaltgeschwindigkeit:	15	m/s
Rotordurchmesser:	3,2	m
Rotorfläche:	8	m ²
Rotorblattanzahl:	3	Stk
Nabenhöhe:	15	m
Drehzahl:	0-2500	U/min
Generatortyp:	Permanentmagnet	

Insgesamt konnten in der Projektlaufzeit dreizehn Anlagen am Projektstandort in Lichtenegg installiert werden. Die zwei Anlagen des Herstellers Braun/Söser sind in den Darstellungen nicht enthalten, da

diese vor Beginn der Betriebsevaluierung im März 2012 bereits wieder abgebaut wurden. Dennoch zeigten diese Anlagen eine sehr gute Performance hinsichtlich des spezifischen Ertrags und Jahresvolllaststunden.

4.2 Leistungskurvenvermessung

Ausgangspunkt für die Vermessung von Leistungskennlinien von Kleinwindkraftanlagen war die Erstellung eines Messkonzepts, adaptiert an den Standort in Lichtenegg. Mit der Ausarbeitung wurde die deutsche DEWI GmbH in Wilhelmshaven beauftragt. Anhand der KWKA Ecovent 10kW wurde das Messkonzept konzipiert und die Leistungskurvenmessungen von weiteren Anlagen nacheinander am selben Standort durchgeführt. Das Ziel der Untersuchungen war die Bestimmung der Leistungskennlinie auf der Basis von gemessenen Leistungs- und Windgeschwindigkeitswertepaaren. Zur Durchführung der Leistungskurvenmessung und der Auswertung der Daten wurden die Vorgaben der IEC Norm 61400-12-1 [IEC05] berücksichtigt. Dabei war insbesondere auch der Anhang H „Power performance testing of small wind turbines“ zu beachten, da die vom Rotor überstrichenen Flächen der zu vermessenden Windkraftanlagen kleiner als 200 m² sind und sie somit zu den Kleinwindanlagen zählen.

Eine ausführliche Beschreibung des erstellten Messkonzepts und der verwendeten Messgeräte(-anordnung) findet sich im Anhang.

4.2.1 ECOVENT 10kW

Das Hauptergebnis der Leistungsmessung der KWKA Ecovent 10kW kann aus der Abbildung 4 entnommen werden. Dargestellt sind die abgegebene elektrische Leistung [P_{el}] und der Gesamtleistungsbeiwert [c_p], aufgetragen über der Windgeschwindigkeit [v]. Die KWKA pendelt sich bei einer Windgeschwindigkeit von zirka 9,0 m/s auf eine Leistung von 6.000 W ein. Den höchsten Wirkungsgrad zeigt die KWKA Ecovent 10kW bei einer Windgeschwindigkeit von 6,5 m/s. Die besten Leistungsbeiwerte werden im Bereich von 5,5 – 7,5 m/s erreicht, wobei der höchste Wert in diesem Bereich bei 36 % liegt.

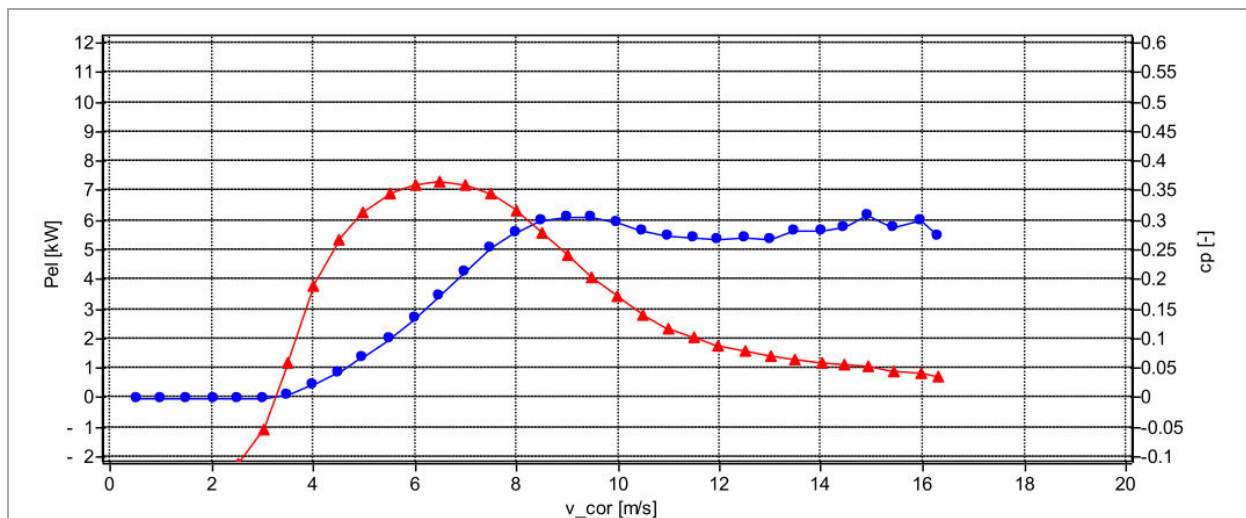


Abbildung 4: Bin-gemittelte Leistungskurve ECOVENT 10kW

Gemäß den Forderungen der IEC Norm 61400-12-1 wurde der AEP sowohl basierend auf der gemessenen Leistungskurve, als auch basierend auf der extrapolierten Leistungskurve für die Normluftdichte von $1,225 \text{ kg/m}^3$ und unter Annahme einer Rayleigh-Häufigkeitsverteilung berechnet. Dabei ergeben sich die nachfolgend dargestellten AEPs für die mittleren Jahreswindgeschwindigkeiten von 4,0 - 11,0 m/s.

Tabelle 13: Jahresenergieertrag (AEP) der KWKA als Funktion der mittleren Jahreswindgeschwindigkeit in Nabenhöhe

v mittel	AEP	AEP extrapoliert	AEP/AEP extrapoliert	IEC 61400-12-1
[m/s]	[MWh]	[MWh]	[-]	
4,00	10,11	10,11	1,000	
5,00	17,15	17,17	0,999	
6,00	23,12	23,36	0,990	
7,00	27,34	28,31	0,966	
8,00	29,74	32,15	0,925	*
9,00	30,59	36,01	0,850	*
10,00	30,21	37,19	0,815	*
11,00	29,31	38,57	0,760	*

* gemäß IEC 61400-12-1 „unvollständig“ (AEP um mehr als 95% geringer als AEP extrapoliert)

4.2.2 EASYWIND 6AC

Das Hauptergebnis der Leistungsmessung der KWKA Easywind 6AC kann aus der Abbildung 5 entnommen werden. Dargestellt sind die abgegebene elektrische Leistung $[P_{el}]$ und der Gesamtleistungsbeiwert $[cp]$, aufgetragen über der Windgeschwindigkeit $[v]$. Die KWKA pendelt sich bei einer Windgeschwindigkeit von zirka 13,0 m/s auf eine Leistung von 5.200 W ein. Den höchsten Wirkungsgrad zeigt die KWKA Easywind 6AC bei einer Windgeschwindigkeit von 8 m/s. Die besten Leistungsbeiwerte werden im Bereich von 6,0 – 8,5 m/s erreicht, wobei der höchste Wert in diesem Bereich bei 34 % liegt.

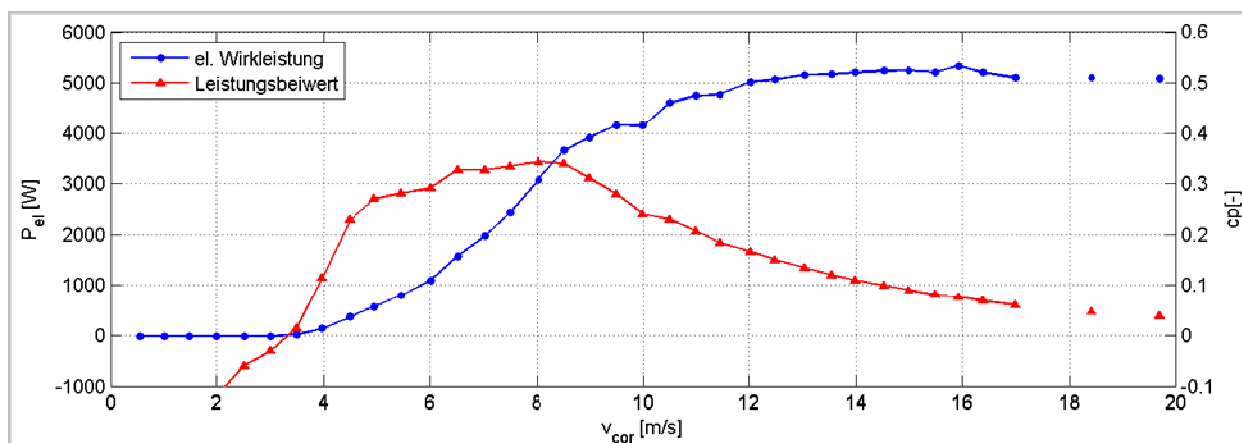


Abbildung 5: Bin-gemittelte Leistungskurve Easywind 6AC

Gemäß den Forderungen der IEC Norm 61400-12-1 wurde der AEP sowohl basierend auf der gemessenen Leistungskurve, als auch basierend auf der extrapolierten Leistungskurve für die Normluftdichte von $1,225 \text{ kg/m}^3$ und unter Annahme einer Rayleigh-Häufigkeitsverteilung berechnet. Dabei ergeben sich die nachfolgend dargestellten AEPs für die mittleren Jahreswindgeschwindigkeiten von 4,0 - 11,0 m/s.

Tabelle 14: Jahresenergieertrag (AEP) der KWKA als Funktion der mittleren Jahreswindgeschwindigkeit in Nabenhöhe

v mittel [m/s]	AEP [MWh]	AEP extrapoliert [MWh]	AEP / AEP extrapoliert [-]	IEC 61400-12-1
4,00	4,93	4,93	1,000	
5,00	9,37	9,40	0,997	
6,00	13,83	14,13	0,979	
7,00	17,42	18,54	0,940	*
8,00	19,75	22,39	0,882	*
9,00	20,87	25,58	0,816	*
10,00	21,05	28,07	0,750	*
11,00	20,59	29,85	0,690	*

* gemäß IEC 61400-12-1 "unvollständig" (AEP um mehr als 95% geringer als AEP extrapoliert)

4.2.3 SCHACHNER SW5

Das Hauptergebnis der Leistungsmessung der KWKA Schachner SW5 kann aus der Abbildung 6 entnommen werden. Dargestellt sind die abgegebene elektrische Leistung [P_{el}] und der Gesamtleistungsbeiwert [cp], aufgetragen über der Windgeschwindigkeit [v]. Die KWKA erreicht bei einer Windgeschwindigkeit von zirka 13,0 m/s eine Leistung von 5.000 W. Den höchsten Wirkungsgrad zeigt die KWKA Schachner SW5 bei einer Windgeschwindigkeit von 8,5 m/s. Die besten Leistungsbeiwerte werden im Bereich von 7,0 – 9,5 m/s erreicht, wobei der höchste Wert in diesem Bereich bei 29 % liegt.

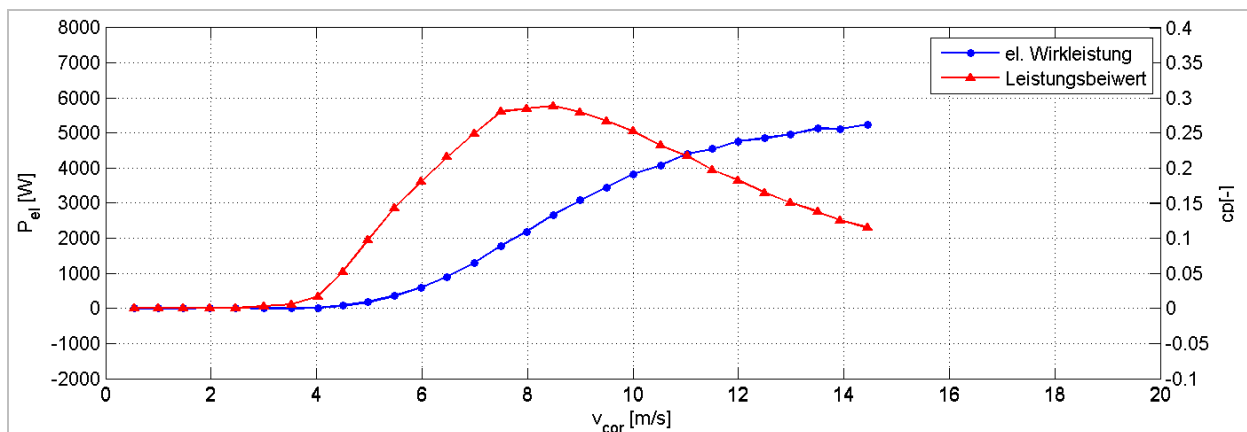


Abbildung 6: Bin-gemittelte Leistungskurve Schachner SW5

Gemäß den Forderungen der IEC Norm 61400-12-1 wurde der AEP sowohl basierend auf der gemessenen Leistungskurve, als auch basierend auf der extrapolierten Leistungskurve für die Normluftdichte von $1,225 \text{ kg/m}^3$ und unter Annahme einer Rayleigh-Häufigkeitsverteilung berechnet. Dabei ergeben sich die nachfolgend dargestellten AEPs für die mittleren Jahreswindgeschwindigkeiten von 4,0 - 11,0 m/s.

Tabelle 15: Jahresenergieertrag (AEP) der KWKA als Funktion der mittleren Jahreswindgeschwindigkeit in Nabenhöhe

v mittel [m/s]	AEP [MWh]	AEP extrapoliert [MWh]	AEP / AEP extrapoliert [-]	IEC 61400-12-1
4,00	3,08	3,08	1,000	
5,00	6,63	6,69	0,992	
6,00	10,52	10,93	0,963	
7,00	13,77	15,19	0,906	*
9,00	16,99	22,47	0,756	*
10,00	17,23	25,18	0,684	*
11,00	16,90	27,20	0,621	*
* gemäß IEC 61400-12-1 "unvollständig" (AEP um mehr als 95% geringer als AEP extrapoliert)				

4.2.4 SILENT FUTURE-TEC 4,2kW

Während der Vermessung der Leistungskurve wies die KWKA Silent Future-Tec 4,2kW vor allem in hohen Windgeschwindigkeitsbereichen häufige Anlagenstillstände auf. Durch die bauartbedingten fixen Rotorblätter muss die Anlage ab ca. 13 m/sek abgestellt werden um eine Überdrehzahl zu vermeiden. Die häufig sehr böige Windsituation am Anlagenstandort führte zu häufigen Überschreitungen der 13 m/sek und damit zu Abschaltungen. Die Anlagenstillstände wirkten sich in Folge auf die Leistungskurve aus, da gemäß den Vorgaben der IEC Norm 61400-12-1 für die Auswertung der Leistungskurve ein zusammenhängender Messzeitraum zu verwenden ist.

Das Hauptergebnis gemäß der IEC Norm 61400-12-1 der Leistungsmessung der KWKA Silent Future-Tec 4,2kW kann aus der Abbildung 3 entnommen werden. Dargestellt sind die abgegebene elektrische Leistung [Pe] und der Gesamtleistungsbeiwert [cp], aufgetragen über der Windgeschwindigkeit [v]. Die KWKA erreicht bei einer Windgeschwindigkeit von zirka 12,5 m/s ihre höchste Leistung von 1.390 W. Den höchsten Wirkungsgrad zeigt die KWKA Silent Future-Tec 4,2kW bei einer Windgeschwindigkeit von 8,0 m/s. Die besten Leistungsbeiwerte werden im Bereich von 7,0 – 8,5 m/s erreicht, wobei der höchste Wert in diesem Bereich bei 19 % liegt.

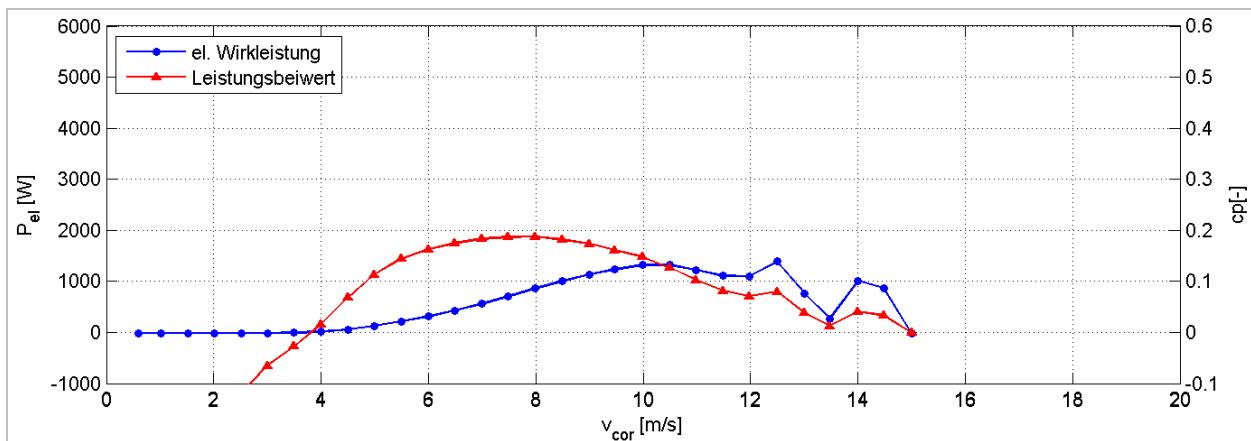


Abbildung 7: Bin-gemittelte Leistungskurve Silent Future-Tec 4,2kW

Entgegen der IEC Norm 61400-12-1 wurde für eine weitere Auswertung des Leistungsverhaltens der KWKA Silent Future-Tec 4,2kW die Datenbasis von den Anlagenstillständen und den Betriebsstörungen bereinigt. Die bereinigte Leistungskurve kann der folgenden Abbildung entnommen werden.

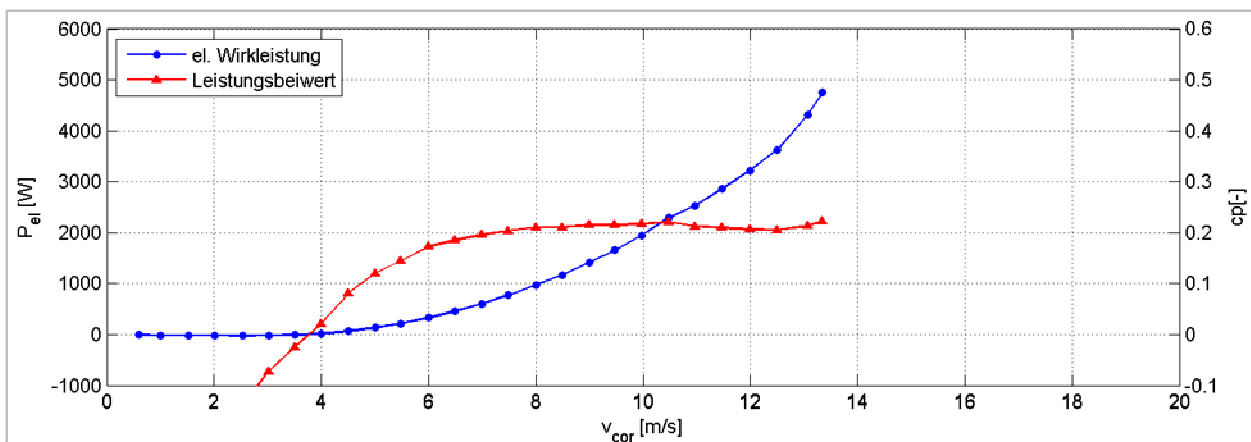


Abbildung 8: Bin-gemittelte bereinigte Leistungskurve (nicht IEC Norm 61400-12-1 konform)

4.2.5 MINVENTO m'2500

Die Kleinwindkraftanlage Minvento m'2500 wurde am 08.10.2013 auf dem Teststand im Energieforschungspark montiert und mit der Vermessung der Leistungskurve begonnen. Bereits zu Beginn der Vermessung wies die KWKA Minvento m'2500 mehrere Betriebsstörungen auf. Am 12.10.2013 um 20:09 Uhr fiel die Anlage komplett aus. Ab diesem Zeitpunkt lieferte die Anlage keine Leistung mehr und ging trotz mehrmaligen Bemühungen des Lieferanten nicht mehr in Betrieb. Auf Grund der geringen Datenbasis, bedingt durch die häufigen Betriebsstörungen, konnte die Ermittlung der Leistungskurve für die Minvento m'2500 nicht normgerecht durchgeführt werden. Um die aufgezeichnete Datenreihe nicht zusätzlich zu dezimieren, wurde entgegen der IEC Norm 61400-12-1 auf die Einschränkung des Messsektors verzichtet und die Datenreihe von ungültigen Werten (Betriebsstörungen und Anlagenstillstände) bereinigt. Das Hauptergebnis der Untersuchung kann aus Abbildung 5 entnommen werden. Dargestellt sind die abgegebene elektrische Leistung [P_{el}] und der Gesamtleistungsbeiwert [cp], aufgetragen über der Windgeschwindigkeit [v]. Die KWKA erreicht bei

einer Windgeschwindigkeit von zirka 10,5 m/s ihre höchste Leistung von 1.710 W. Die besten Leistungsbeiwerte werden im Bereich von 5,0 – 7,5 m/s erreicht, wobei der höchste Wert in diesem Bereich bei 43 % liegt.

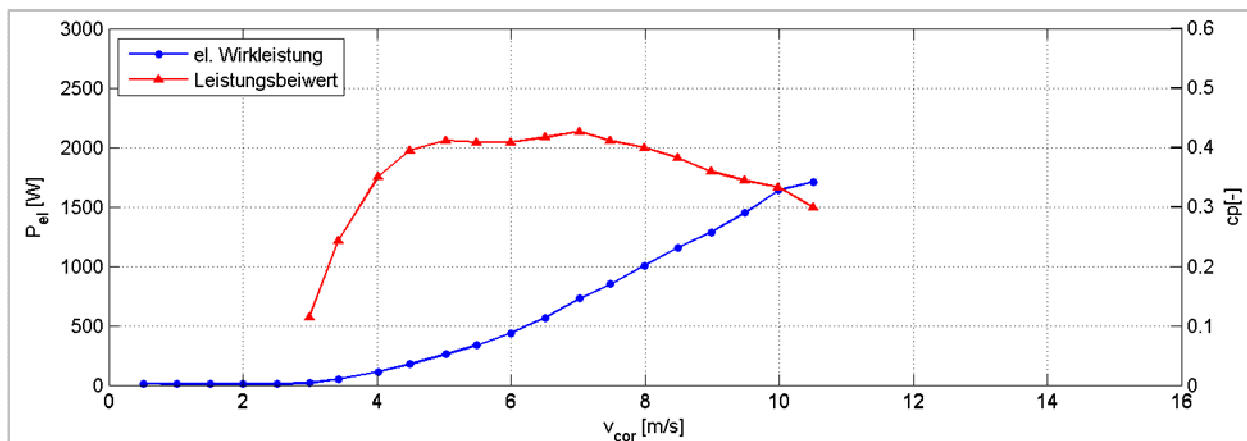


Abbildung 9: Bin-gemittelte Leistungskurve (nicht IEC Norm 61400-12-1 konform)

Gemäß der IEC Norm 61400-12-1 wurde der AEP sowohl basierend auf der gemessenen Leistungskurve, als auch basierend auf der extrapolierten Leistungskurve für die Normluftdichte von 1,225 kg/m³ und unter Annahme einer Rayleigh-Häufigkeitsverteilung berechnet.

Tabelle 16: Jahresenergieertrag (AEP) der KWKA als Funktion der mittleren Jahreswindgeschwindigkeit in Nabenhöhe

v mittel [m/s]	AEP [MWh]	AEP extrapoliert [MWh]	AEP / AEP extrapoliert [-]	IEC 61400-12-1
4,00	1,94	1,99	0,974	
5,00	3,12	3,50	0,891	*
6,00	3,91	4,97	0,788	*
7,00	4,24	6,08	0,698	*
8,00	4,23	6,72	0,629	*
9,00	4,03	6,97	0,579	*
10,00	3,75	6,92	0,542	*
11,00	3,43	6,68	0,514	*

* gemäß IEC 61400-12-1 "unvollständig" (AEP um mehr als 95% geringer als AEP extrapoliert)

4.3 Evaluierung des Betriebsverhaltens

Um eine Aussage über die Qualität der Kleinwindkraftanlagen treffen zu können, wurde die technische Verfügbarkeit der Kleinwindkraftanlagen berechnet. Die technische Verfügbarkeit gibt den prozentualen Anteil der Betriebszeiten an, in dem die Anlage ohne technische Mängel zur Verfügung stand. Des Weiteren ist sie eine brancheninterne Richtgröße mit der die technische Produktionsbereitschaft von Windkraftanlagen gemessen wird.

Die technische Verfügbarkeit wurde für alle Kleinwindkraftanlagen, die während dem 01.03.12 und dem 28.02.14 im Energieforschungspark Lichtenegg installiert waren, ausgewertet. Da für diese Auswertung

keine Statussignale der Kleinwindkraftanlagen zur Verfügung standen, musste die technische Verfügbarkeit über ein statistisches Verfahren berechnet werden. Die Basis dieser Auswertung bildet eine Zeitreihe von gemittelten Windmessdaten des Topanemometers sowie die Aufzeichnungen der Zählerstände von der EVN in Lichtenegg. Die Daten wurden von der EVN bereitgestellt und liegen mit einer zeitlichen Auflösung von 15 Minuten vor.

Für die Auswertung wurden die Einschaltgeschwindigkeiten laut Herstellerangaben um einen m/s nach oben korrigiert. Anschließend konnte anhand folgender Beziehungen ermittelt werden, ob die Anlage entweder „leistungsbereit“ war oder still stand („nicht leistungsbereit“).

Die Anlage war **leistungsbereit**, wenn

- die Windgeschwindigkeit über der korrigierten Einschaltgeschwindigkeit lag und die Anlage Leistung erbracht hatte.
- die Windgeschwindigkeit unter der korrigierten Einschaltgeschwindigkeit lag und die Anlage in den vorherigen 12 Stunden Leistung erbracht hatte.

Die Anlage war **nicht leistungsbereit**, wenn

- die Windgeschwindigkeit über der korrigierten Einschaltgeschwindigkeit lag aber von der Anlage zum Zeitpunkt der Messung, sowie 12 Stunden vorher, keine Leistung erbracht wurde.

Mittels des Quotienten aus den leistungsbereiten Zeiten und den nicht leistungsbereiten Zeiten konnte die technische Verfügbarkeit berechnet werden.

Tabelle 17: Tabellarische Darstellung der technischen Verfügbarkeit

Anlagentyp	Auswertungszeitraum	Einschaltgeschwindigkeit laut Hersteller	Einschaltgeschwindigkeit + 1m/s	Anzahl 15 min Werte	davon Leistungsbereit	davon nicht Leistungsbereit	Technische Verfügbarkeit
		[m/s]	[m/s]		[-]	[-]	
Windtronics, Inc. Honeywell BTPS 6500	Mrz. 12 - Feb. 13	0,83	1,83	33.883	16.352	17.531	48,26
	Mrz. 13 - Juni.13			11.708	0	11.708	0,00
Sonkyo Energy Windspot 1,5 kW	Aug. 13 - Feb.14	3,00	4,00	19.724	19.720	4	99,98
DonQi Urban Windmill 1400	Mrz. 12 - Feb. 13	2,50	3,50	33.883	823	33.060	2,43
	Mrz. 13 - Juni.13			11.708	0	11.708	0,00
Wind2Power GmbH Turbine 01	Jul. 13 - Dez. 13	3,00	4,00	15.085	9.913	5.172	65,71
Silent Future-Tec GmbH SFTV 4,2 kW	Mrz. 12 - Feb. 13	3,00	4,00	33.883	17.811	16.072	52,57
	Mrz. 13 - Sept.13			21.253	17.615	3.638	82,88
Easywind GmbH Easywind 6AC	Mrz. 12 - Feb. 13	3,00	4,00	33.883	33.318	565	98,33
	Mrz. 13 - Feb.14			35.040	29.861	5.179	85,22
Windsolar GmbH WS 1500W	Mrz. 12 - Feb. 13	1,00	2,00	33.883	0	33.883	0,00
	Mrz. 13 - Feb. 14			35.040	0	35.040	0,00
Mischtechnik H. & P. KG Ecovent 10kW	Mrz. 12 - Feb. 13	3,00	4,00	33.883	32.093	1.790	94,72
	Mrz. 13 - Feb. 14			35.040	34.164	876	97,50
Zemsauer Eletechnik Micro Windturbine WT3	Mrz. 12 - Nov.12	3,00	4,00	24.026	10.799	13.227	44,95
Schachner Wind GmbH Schachner SW5	Mrz. 12 - Feb. 13	4,50	5,50	33.883	31.970	1.913	94,35
	Mrz. 13 - Feb. 14			35.040	34.433	607	98,27
Mivento S.r.l m'2500	Mrz. 12 - Feb. 13	4,00	5,00	33.883	2.231	31.652	6,58
	Mrz. 13 - Feb. 14			35.040	3.238	31.802	9,24

Sechs der insgesamt dreizehn Windkraftanlagen haben für ihre Leistungsklasse einen nennenswerten Ertrag erwirtschaftet und weisen darüber hinaus eine hohe technische Verfügbarkeit auf.

Darunter befinden sich folgende Anlagen:

- Sonkyo Energy – Windspot 1,5kW
- Silent Future-Tec GmbH – SFTV 4,2kW
- Easywind GmbH – Easywind 6AC
- Mischtechnik Hoffmann & Partner KG – Ecovent 10kW
- Schachner Wind GmbH – Schachner SW5
- Braun/Söser (vor Beginn der Langzeitevaluierung abgebaut)

Die restlichen sieben Anlagen waren fast den gesamten Zeitraum nicht in Betrieb, was sich deutlich in der technischen Verfügbarkeit zeigt. Auf Grund dessen weisen diese Anlagen auch keine zufriedenstellende Energieproduktion auf.

Bei vier der dreizehn Anlagen zeigte sich bei der Plausibilitätsprüfung, dass die Leistungskurven der Hersteller über den Grenzwerten nach Betz liegen und die berechneten Erträge in der Realität nicht möglich sind.

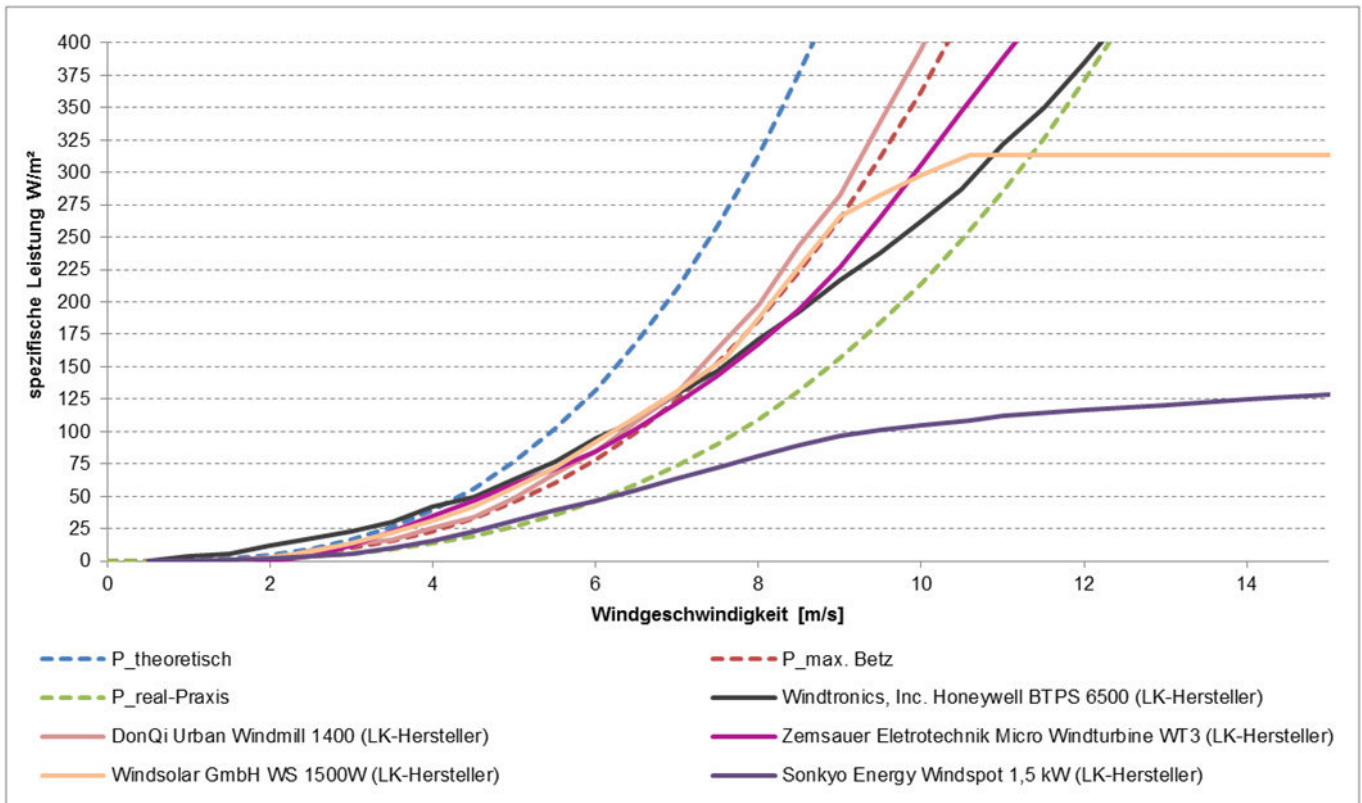


Abbildung 10: spezifische Leistungskurven (Quelle: energiewerkstatt°)

Die Jahresenergieerträge der Anlagenhersteller DonQi, Windsolar GmbH, Windtronics Inc. und Zemsauer Elektrotechnik sind auf Grund der durchgeführten Plausibilitätsprüfung nicht in der Realität zu erwarten.

Der berechnete Jahresertrag der Anlage **Schachner SW5** liegt unter Verwendung der zertifizierten Herstellerleistungskurve in beiden Auswertungszeiträumen über dem erwirtschafteten IST-Ertrag. Mit der am Standort Lichtenegg vermessenen Leistungskurve konnte der tatsächliche Ertrag im ersten Auswertungszeitraum nachvollzogen werden. Die Ist-Produktion für den Zeitraum März 2012 bis Februar 2013 belief sich für die Anlage des Typs Schachner SW5 auf 5.854 kWh. Im zweiten Auswertungszeitraum erwirtschaftete die KWKA Schachner SW5 bei gleichbleibender technischer Verfügbarkeit im Vergleich zum ersten Zeitraum einen tatsächlichen Ertrag von 7.100 kWh. Die Produktionssteigerung kann durch eine verbesserte Anlagenperformance gegenüber dem ersten Auswertungszeitraum erklärt werden.

Tabelle 18: Zusammenfassung KWKA Schachner Wind GmbH – Schachner SW5

Schachner Wind GmbH – Schachner SW5								
Nennleistung	Durchmesser	Nabenhöhe	Auswertungszeitraum	v_{mea} ¹	tech. Verfügbarkeit	Ist Ertrag	spez. Ertrag	Soll Ertrag ²
[kW]	[m]	[m]		[m/s]	[%]	[kWh]	[kWh/m ²]	[kWh]
5,25	5,60	12,4	1.	4,73	94,35	5.854	237,7	7.390
			2.	4,82	98,27	7.130	289,5	7.600
Erkenntnis:		Sehr hohe technische Verfügbarkeit Sehr hohe spezifische Erträge Sehr bemühter Hersteller						
¹ modellierter Mittelwert am Standort und in Nabenhöhe der KWKA (vgl. Kap.8) ² mit Leistungskurve des Herstellers modellierter Soll-Ertrag								

Die Anlage des Herstellers **Easywind GmbH** konnte den berechneten Ertrag laut Herstellerangaben im ersten Auswertungszeitraum beinahe erreichen. Die Ist-Produktion von 9.763 kWh übersteigt den berechneten Ertrag mit der am Standort Lichtenegg vermessenen Leistungskurve. Die vermessene Leistungskurve zeigt im Bereich 5 bis 7 m/s eine schlechtere Performance an, welche nach gründlicher Recherche auf die Anlagenregelung zurückzuführen ist. Die Anlage schaltet zwischen einem Betriebsmodus mit 4 Polen und 8 Polen je nach Bedarf um. Dieser Umschaltvorgang ist wahrscheinlich während der Leistungskurvenvermessung anders gewesen als während des Gesamtzeitraums. Der berechnete Ertrag mit der am Standort Lichtenegg vermessenen Leistungskurve liegt um 6,4 % unter der tatsächlichen Produktion. Diese Unterbewertung kann nicht auf einen anderen Standort übertragen werden, da die Anlagenregelung von den standortspezifischen Windbedingungen wie den Turbulenzen und Windspitzen abhängig ist.

Tabelle 19: Zusammenfassung KWKA Easywind GmbH – Easywind 6AC

Easywind GmbH – Easywind 6AC								
Nennleistung	Durchmesser	Nabenhöhe	Auswertungszeitraum	v_{mea} ¹	tech. Verfügbarkeit	Ist Ertrag	spez. Ertrag	Soll Ertrag ²
[kW]	[m]	[m]		[m/s]	[%]	[kWh]	[kWh/m ²]	[kWh]
6,0	6,0	19,0	1.	5,02	98,33	9.763	345,3	10.196
			2.	5,18	84,22	8.118	287,1	10.990
Erkenntnis:		Hohe technische Verfügbarkeit Sehr hohe spezifische Erträge Sehr bemühter Hersteller						
¹ modellierter Mittelwert am Standort und in Nabenhöhe der KWKA (vgl. Kap.8) ² mit Leistungskurve des Herstellers modellierter Soll-Ertrag								

Im zweiten Auswertungszeitraum erwirtschaftete die KWKA Easywind 6AC mit 8118 kWh bei einer höheren durchschnittlichen Windgeschwindigkeit im Vergleich zum ersten Auswertungszeitraum einen geringeren Ertrag. Sowohl der berechnete Ertrag mit der Leistungskurve des Herstellers, als auch der Ertrag mit der in Lichtenegg vermessenen Leistungskennlinie liegen deutlich über dem tatsächlich

erwirtschafteten Ertrag. Die Ursache für den Produktionseinbruch liegt in der technischen Verfügbarkeit der KWKA Easywind 6AC. Die Verfügbarkeit fiel im zweiten Auswertungszeitraum auf 87 % ab.

Die Ist-Produktion der Windkraftanlage **Ecovent 10kW** von 17.362 kWh konnte mit der vermessenen Leistungskurve nachvollzogen werden. Der Hersteller Mischtechnik Hoffmann & Partner KG hat seine Leistungskurve, durch die im Projekt gewonnenen Erkenntnisse, korrigiert. Der tatsächlich erwirtschaftete Ertrag des Herstellers konnte mit der korrigierten Leistungskurve im ersten Auswertungszeitraum nachvollzogen und bestätigt werden.

Tabelle 20: Zusammenfassung KWKA Mischtechnik Hoffmann und Partner KG - Ecovent 10kW

Mischtechnik Hoffmann und Partner KG - Ecovent 10kW								
Nennleistung	Durchmesser	Nabenhöhe	Auswertungszeitraum	v_{mea} ¹	tech. Verfügbarkeit	Ist Ertrag	spez. Ertrag	Soll Ertrag ²
[kW]	[m]	[m]		[m/s]	[%]	[kWh]	[kWh/m ²]	[kWh]
10	8,5	18,5	1.	5,07	94,72	17.362	306,0	17.479
			2.	5,26	97,50	16.227	286,0	18.800
Erkenntnis:		Sehr hohe technische Verfügbarkeit Sehr hohe spezifische Erträge Sehr bemühter Hersteller						
¹ modellierter Mittelwert am Standort und in Nabenhöhe der KWKA (vgl. Kap.8) ² mit Leistungskurve des Herstellers modellierter Soll-Ertrag								

Im zweiten Auswertungszeitraum liegt der berechnete Ertrag für beide zur Verfügung stehenden Leistungskurven deutlich über dem im Energieforschungspark erwirtschafteten Ertrag. Bei gleichbleibender technischer Verfügbarkeit der KWKA Ecovent 10kW in beiden Auswertungszeiträumen, sowie einem höheren Windangebot im zweiten Auswertungszeitraum, muss der Produktionsabfall im zweiten Auswertungszeitraum in der Anlagenperformance liegen.

Die Leistungskurve der Anlage des Herstellers **Silent Future-Tec GmbH** wurde im Zeitraum von April bis September 2013 im Energieforschungspark vermessen. Das Hauptergebnis gemäß der IEC-Norm 61400-12-1 kann der Abbildung 6 entnommen werden. Aus der während der Vermessung gewonnenen Erkenntnis ist ersichtlich, dass die KWKA Silent Future-Tec 4,2kW eine hohe Anzahl an bauartbedingten Anlagenstillständen aufweist. Diese Anlagenstillstände wirken sich auf die Leistungskurve aus und spiegeln sich auch in der technischen Verfügbarkeit der Anlage wieder. Entgegen der IEC-Norm 61400-12-1 wurde die während der Leistungskurvenvermessung erhobene Datenbasis von den Anlagenstillständen und den Betriebsstörungen bereinigt. Mit dem bereinigten Datensatz wurde eine „bereinigte“ Leistungskurve berechnet. Mit dieser Kurve wurde der Ertrag für beide Auswertungszeiträume berechnet. Sowohl der mit der bereinigten Leistungskurve berechnete Ertrag, als auch der Ertrag nach Hersteller Informationen liegen über dem tatsächlich produzierten Ertrag.

Tabelle 21: Zusammenfassung KWKA Silent Future-Tec GmbH – SFTV 4,2kW

Silent Future-Tec GmbH – SFTV 4,2kW								
Nennleistung	Durchmesser	Nabenhöhe	Auswertungszeitraum	v_{mea}^1	tech. Verfügbarkeit	Ist Ertrag	spez. Ertrag	Soll Ertrag ²
[kW]	[m]	[m]		[m/s]	[%]	[kWh]	[kWh/m ²]	[kWh]
4,2	4,00	19,0	1.	5,08	52,57	1.160	72,5	6.300
			2.	5,09 ³	82,88 ³	1.238 ³	77,4 ³	3.853 ³
Erkenntnis:		Geringe spezifische Erträge Häufige Stehzeiten Sehr bemühter Hersteller						
¹ modellierter Mittelwert am Standort und in Nabenhöhe der KWKA (vgl. Kap.8) ² mit Leistungskurve des Herstellers modellierter Soll-Ertrag ³ Auswertung bezieht sich nicht auf ein vollständiges Jahr								

Auf Grund von häufigen Betriebsstörungen konnte während der Vermessung der Leistungskurve der KWKA **Minvento m'2500** kein längerer zusammenhängender Zeitraum als vom 09.10.2013 – 16.10.2013 für die Auswertung der Leistungskurve verwendet werden. Daher wurde die Datenreihe entgegen der IEC Norm 61400-12-1 von ungültigen Werten (Betriebsstörungen und Anlagenstillstände) bereinigt. Mit der bereinigten Leistungskurve konnte der Ertrag, der Anlage **Minvento m'2500**, der laut Herstellerangaben zu erwarten ist, bestätigt werden. Eine detailliertere Beschreibung der Vermessung kann dem Messbericht entnommen werden. Die tatsächliche Produktion lag in beiden Auswertungszeiträumen deutlich unterhalb der zu erwartenden Erträge. Diese Ursache kann mit einer unzufrieden stellenden technischen Verfügbarkeit erklärt werden.

Tabelle 22: Zusammenfassung KWKA Minvento S.r.l – m'2500

Minvento S.r.l – m'2500								
Nennleistung	Durchmesser	Nabenhöhe	Auswertungszeitraum	v_{mea}^1	tech. Verfügbarkeit	Ist Ertrag	spez. Ertrag	Soll Ertrag ²
[kW]	[m]	[m]		[m/s]	[%]	[kWh]	[kWh/m ²]	[kWh]
2,5	3,2	15,0	1.	4,81	6,58	94,6	11,8	3.000
			2.	4,95	9,24	175,6	21,8	3.208
Erkenntnis:		Anlage lief immer nur für kurze Zeit Mangelhafte Betreuung durch Hersteller Starke Vibrationen am Mast						
¹ modellierter Mittelwert am Standort und in Nabenhöhe der KWKA (vgl. Kap.8) ² mit Leistungskurve des Herstellers modellierter Soll-Ertrag								

Der erwirtschaftete Ertrag der KWKA Windspot 1,5kW konnte mit der zugehörigen Leistungskurve des Herstellers Sonkyo Energy bestätigt werden. Diese Anlage zeigte darüber hinaus auch eine hervorragende technische Verfügbarkeit.

Tabelle 23: Zusammenfassung KWKA Sonkyo Energy– Windspot 1,5kW

Sonkyo Energy – Windspot 1,5kW								
Nennleistung	Durchmesser	Nabenhöhe	Auswertungszeitraum	V_{mea}^1	tech. Verfügbarkeit	Ist Ertrag	spez. Ertrag	Soll Ertrag ²
[kW]	[m]	[m]		[m/s]	[%]	[kWh]	[kWh/m ²]	[kWh]
1,5	4,05	15,0	2.	4,97 ³	99,98 ³	1.933 ³	150,1 ³	2.145 ³
Erkenntnis:		Sehr hohe technische Verfügbarkeit (keine Störung im Testzeitraum) Sehr hohe spezifische Erträge Geräuscharmer Lauf						
¹ modellierter Mittelwert am Standort und in Nabenhöhe der KWKA (vgl. Kap.8) ² mit Leistungskurve des Herstellers modellierter Soll-Ertrag ³ Auswertung bezieht sich nicht auf ein vollständiges Jahr								

Anmerkung: Aufgrund des vorzeitigen Abbaus (vor Aufnahme der Windmessung und offiziellen Langzeitevaluierung) der zwei Kleinwindkraftanlagen des Herstellers Braun/Söser, konnten diese Anlagen nicht im Evaluierungsbericht berücksichtigt werden. Es zeigt sich jedoch, dass die Anlagen hinsichtlich spezifischer Ertrag und Jahresvolllaststunden eine überdurchschnittliche Performance lieferten (Abbildung 11).

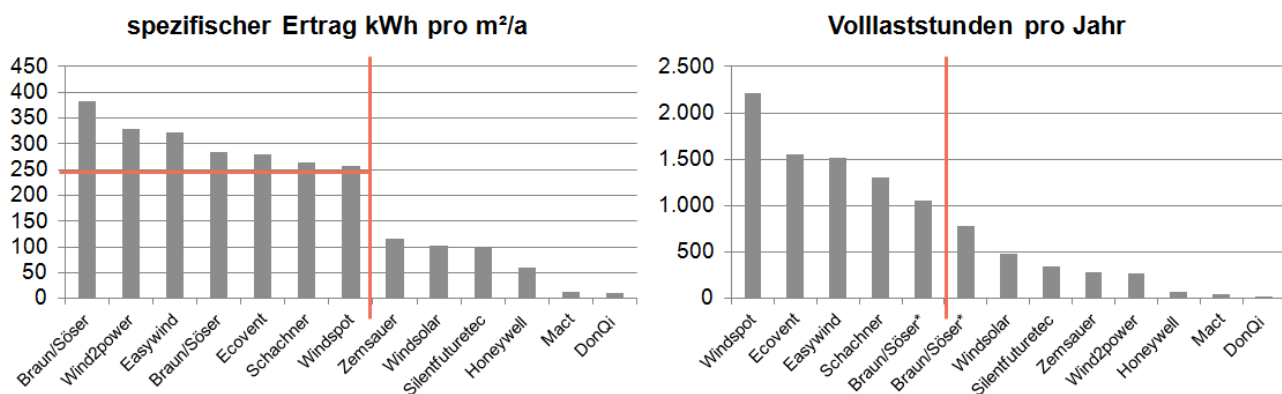
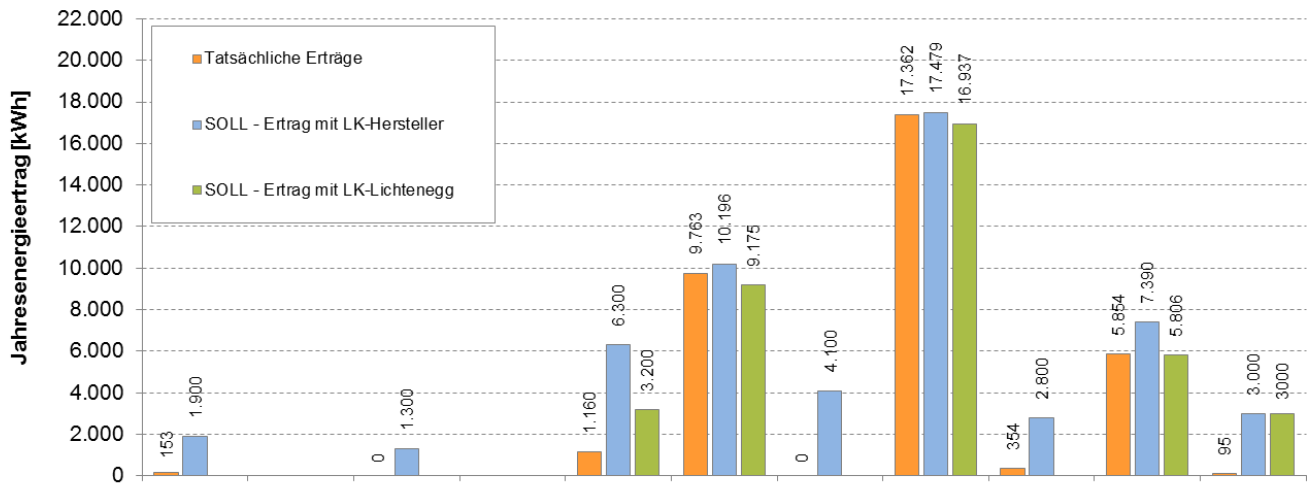


Abbildung 11: spezifischer Ertrag (in kWh/m²*a) und Volllaststunden pro Jahr der dreizehn KWKA

Für die Gegenüberstellung der tatsächlichen Produktionsdaten aus der Langzeitevaluierung mit den Berechnungsergebnissen musste eine zusätzliche Bewertung durchgeführt werden. Die Windkraftanlagen welche am Standort Lichtenegg vermessen wurden, waren zu verschiedenen Zeitpunkten unterschiedlich lange am Prüfstand. Da die Windbedingungen am Prüfstand besser sind als an den eigentlichen Anlagenpositionen und die Produktion auch während der Zeit der Leistungskurvenvermessung aufgezeichnet wurde, musste eine Verschneidung der Zeiträume vorgenommen werden. Dafür wurden die Soll-Erträge anhand der Windverhältnisse und den vermessenen Leistungskurven an den Anlagenpositionen und an der Position des Prüfstandes berechnet. Diese Erträge wurden anschließend analog zu den Zeiträumen der Leistungskurvenvermessung zusammengeführt (siehe Abbildung 12).

IST-Erträge und berechnete Erträge (1. Auswertungszeitraum)



IST-Erträge und berechnete Erträge (2. Auswertungszeitraum)

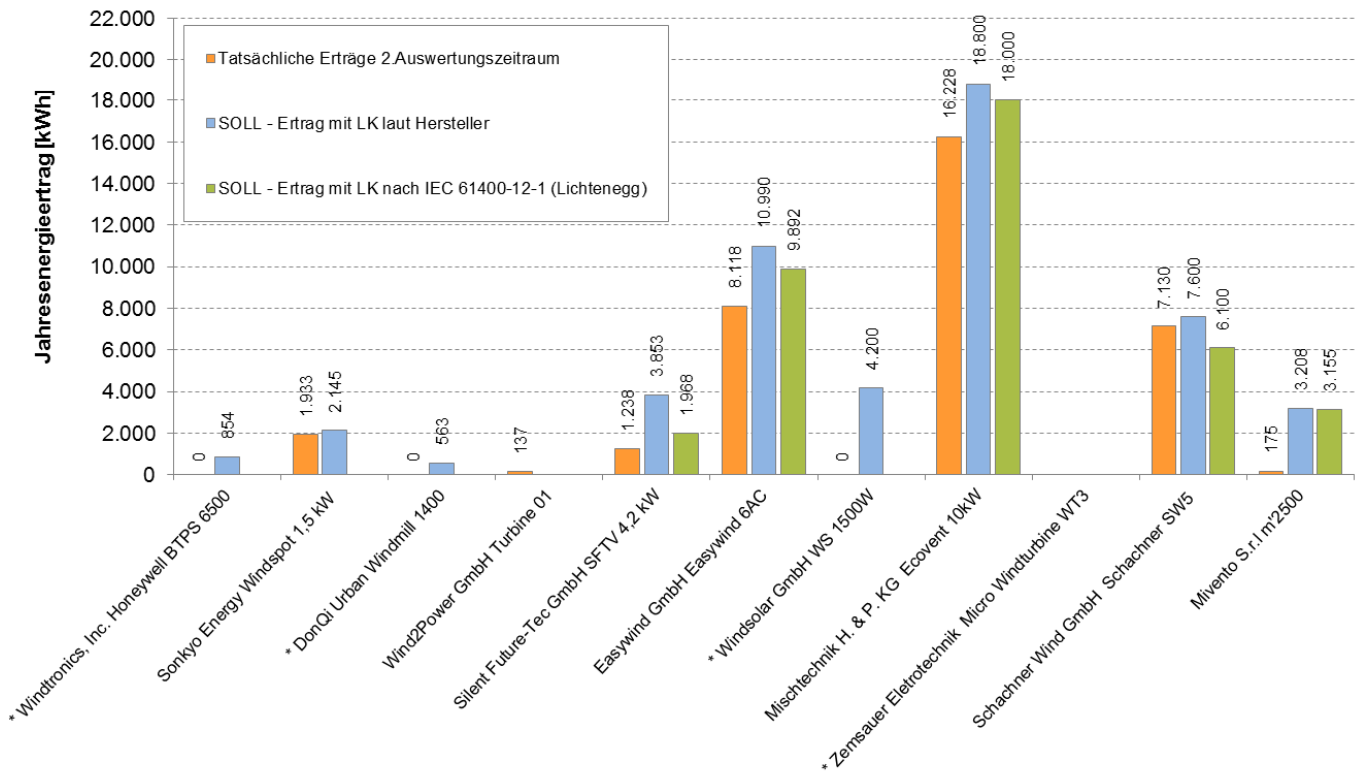


Abbildung 12: Gegenüberstellung der IST-Erträge aus zwei Auswertungszeiträumen (Quelle: energiewerkstatt⁹)

4.4 Netzanschlussbedingungen für Kleinwindkraftanlagen

In einer Literaturrecherche wurden die nationalen Anschlussbedingungen (NAB) von insgesamt 11 europäischen Staaten untersucht und die Anforderungen für den Anschluss von KWEA miteinander verglichen.

Es bestätigte sich, dass die Prozesse für die Erlangung eines Anschlusses ebenso wie die technischen Voraussetzungen sehr länderspezifisch sind und noch lange nicht harmonisiert. In der folgenden Tabelle wird einen Überblick über die Anschlussbedingungen von Kleinwindanlagen in den unterschiedlichen Ländern gegeben.

Tabelle 24: Netzanschlussbedingungen für Kleinwindkraftanlagen

Land	Leistungsgrenzen	Schutz	Richtlinien	Hinweis auf Kleinwindkraftanlagen
Österreich	<4,6 kVA einphasig >4,6 kVA dreiphasig	✓	TOR EN 61000 EN 50160 E2750	nein
Deutschland	<4,6 kVA einphasig >4,6 kVA dreiphasig	✓	D-A-CH-CZ VDEW-Richtlinien EN 61000 EN 50160 EN 50438	nein
Schweiz	<4,6 kVA einphasig >4,6 kVA dreiphasig	✓	D-A-CH-CZ Verordnung über das Planungsgenehmigungs- verfahren Werkvorschriften	nein
Tschechien	<4,6 kVA einphasig >4,6 kVA dreiphasig	✓	D-A-CH-CZ EN 50438	nein
Belgien	<10 kVA einphasig >10 kVA dreiphasig	✓	Synergrid C10/11 EN 50438 EN 61000	nein
Spanien	<5 kVA einphasig >5 kVA dreiphasig	✓	RD842/2002 ICT-BT 40 EN 61000 EN 50160	nein
Frankreich	<18 kVA einphasig >18 kVA dreiphasig	✓	NF C15-100 NF C14-100 EN 61000	nein
Italien	<6 kVA einphasig >6 kVA dreiphasig	✓	CE11-20 DK 5949 EN 61000 EN 50160	nein
Niederlande	<5,5 kVA einphasig >5,5 kVA dreiphasig	✓	EN 61000 EN 50160 EN 60034	nein
Kroatien	<5 kVA einphasig >5 kVA dreiphasig	✓	Gridcode	nein
Großbritannien	<3,6 kVA einphasig >3,6 kVA dreiphasig	✓	G59/2 G83/1-1 EN 61000	ja

Sämtliche Ergebnisse bezüglich der Recherche über nationale und internationale Netzanschlussbedingungen für Kleinwindkraftanlagen sind im Anhang detailliert dargestellt.

4.5 Power-Quality Messungen

Mit der IEC 61400-21 existiert schon eine normative Grundlage für Windräder deren Anschlusspunkt auf der Mittel- und Hoch-Spannungsebene ist. Diese auf die Kleinwindkraft 1:1 umzulegen würde allerdings zu nicht tragbaren Zertifizierungskosten führen. Es galt daher, basierend auf bereits existierenden Normen, ein Verfahren zur kostengünstigen Überprüfung der Netzurückwirkungen zu erstellen. Basis der Prüfung ist hierfür die EN 50438 mit dem Titel „Requirements for the connection of micro-generators in parallel with public low-voltage distribution networks“.

Prüfung nach der Norm EN 50438:2012

Die EN 50438 beinhaltet viele Verweise auf weitere Prüf- und Anwendungs-Normen. Für die Prüfung der Betriebssicherheit und Netzurückwirkung gibt es darin zwei relevante Kapitel, Kap. 4 „Interface Protection“ und Kap. 5 „Power-Quality“. Eine vollständige Überprüfung nach EN 50438 ist technisch aufwendig und setzt eine Vermessung unter Laborbedingungen voraus. Vor allem die Überprüfung der Sicherheitseinrichtungen und -abschaltungen erfordert eine Einflussnahme auf die Netzparameter Spannung und Frequenz womit eine vollständige Überprüfung im Feldtest nicht möglich ist. Da im Wesentlichen all die Tests der Sicherheitseinrichtung mit der Anwendungsregel E-VDE AR-N 4105 bereits abgedeckt sind, wurde auf eine erneute Vermessung verzichtet. Nahezu alle am Markt befindlichen Wechselrichter für den Anschluss von dezentralen Energieerzeugungsanlagen sind nach dieser Anwendungsregel zertifiziert. Dadurch ist es möglich sich auf die Messung der Stromqualität zu beschränken. Diese kann im Feldtest erfolgen, womit eine Zertifizierung nach EN 50438 mit vertretbarem Aufwand möglich war.

Im Zeitraum von Oktober 2013 bis Mai 2014 wurden im Energiepark Lichtenegg insgesamt vier Kleinwindkraftanlagen sowie eine Photovoltaikanlage als Referenz auf deren Netzurückwirkungen untersucht. Durch eine Normenrecherche wurde dabei vorbereitend ein Verfahren entwickelt, mit dem die Power Quality Charakteristiken eines Windrades einerseits möglichst umfangreich bestimmt werden können, andererseits aber auch kostengünstig im Feldtest durchführbar ist. Fasst man die Erkenntnisse aus den Messergebnissen zusammen, können folgende Schlussfolgerungen gezogen werden:

4.5.1 Stromoberwellen

Jede vermessene Anlage hält die Norm-Emissionswerte ein. Die Werte liegen teilweise jedoch knapp unter dem Grenzwert. Die im Anhang angeführten Messberichte zeigen die Ergebnisse der Messung und Limits nach EN 61000-3-2 Klasse A deutlich.

Tabelle 25: Kennzahlen der Harmonischen Strom-Komponenten am Beispiel Easywind 6kW

Harmonische Strom-Komponenten								
Messung und Limits nach EN 61000-3-2 Klasse A								
Harmonische	2	3	5	7	9	11	13	$15 \leq n \leq 39$
Limit [A]	1,08	2,3	1,14	0,77	0,4	0,33	0,21	$0,15 \cdot 15/n$
Messwert [A]	0,01	0,30	0,12	0,11	0,01	0,02	0,01	ok
Messwert das Maximum des 10min-Mittelwert aller Phasen								

Im Vergleich dazu die Kennzahlen der PV-Anlage mit einer Nennleistung von 10kW.

Tabelle 26: Harmonische Strom-Komponenten PV-Anlage 10kW

Harmonische Strom-Komponenten								
Messung und Limits nach EN 61000-3-2 Klasse A								
Harmonische	2	3	5	7	9	11	13	$15 \leq n \leq 39$
Limit [A]	1,08	2,3	1,14	0,77	0,4	0,33	0,21	$0,15 \cdot 15/n$
Messwert [A]	0,067	0,058	0,448	0,533	0,256	0,217	0,146	ok
Messwert ist das Maximum des 10min-Mittelwert der drei Phasen								

4.5.2 Stromflicker und Spannungseinbrüche

Hinsichtlich des Kurz- bzw. Langzeit-Flickers überschritten einzelne Messwerte mancher Anlagen die Grenzwerte. Zieht man allerdings das 99 % Quantil heran, liegen die Wechselrichter-gekoppelten Anlagen weit unter den Grenzwerten, direkt netzgekoppelte liegen eher knapp unter den Grenzwerten. Eine leichte Korrelation zwischen Windgeschwindigkeit und Flickerstärke ist grundsätzlich erkennbar.

Wie auch bei der Flickermessung liegen einzelne Messwerte beim Spannungseinbruch teilweise deutlich über den Grenzwerten, das 99 % Quantil ist aber durchgehend darunter. Die Messergebnisse sind allerdings mit Vorsicht zu interpretieren, da im Feldtest nicht gesagt werden kann ob die Einbrüche vom Netz oder von der Anlage kommen.

Im Folgenden die Ergebnisse der einzelnen Messungen.

Tabelle 27: Spannungseinbrüche und Strom-Flicker Easywind 6kW

Spannungseinbrüche und Strom-Flicker											
Messung und Limits nach EN 61000-3-3 bei Nennleistung											
Spannungseinbruch [%]		Strom-Flicker (Kurzzeit / Langzeit)									
		0,011 Ω; 85°		0,031 Ω; 70°		0,11 Ω; 50°		0,20 Ω; 30°		0,28 Ω; 30°	
		Pst	Plt	Pst	Plt	Pst	Plt	Pst	Plt	Pst	Plt
Limit	3,3	1,00	0,65	1,00	0,65	1,00	0,65	1,00	0,65	1,00	0,65
Messwert:											
99% Quantil	1,18 ¹	0,02	0,07	0,06	0,07	0,20	0,22	0,32	0,35	0,45	0,47
Maximum	103,5 ¹	0,39	0,07	0,39	0,08	0,96	0,27	1,51	0,43	1,97	0,57
Messwert ist das 99% Quantil / Maximum des Maximalwert aus den drei Phasen											
1: Spannungseinbruch muss nicht von der Anlage kommen, sondern kann auch netzbedingt sein											

Tabelle 28: Spannungseinbrüche und Strom-Flicker Ecovent 10kW

Spannungseinbrüche und Strom-Flicker											
Messung und Limits nach EN 61000-3-3 bei Nennleistung											
Spannungseinbruch [%]		Strom-Flicker (Kurzzeit / Langzeit)									
		0,011 Ω; 85°		0,031 Ω; 70°		0,11 Ω; 50°		0,20 Ω; 30°		0,28 Ω; 30°	
		Pst	Plt	Pst	Plt	Pst	Plt	Pst	Plt	Pst	Plt
Limit	3,3	1,00	0,65	1,00	0,65	1,00	0,65	1,00	0,65	1,00	0,65
Messwert:											
99% Quantil	1,15	-	-	0,10	0,07	-	-	-	-	-	-
Maximum	2,38	-	-	0,13	0,07	-	-	-	-	-	-
Messwert ist das 99% Quantil / Maximum des Maximalwert aus den drei Phasen											
1: Spannungseinbruch muss nicht von der Anlage kommen, sondern kann auch netzbedingt sein											

Tabelle 29: Spannungseinbrüche und Strom-Flicker Schachner SW6

Spannungseinbrüche und Strom-Flicker											
Messung und Limits nach EN 61000-3-3 bei Nennleistung											
Spannungseinbruch [%]	3,3	Strom-Flicker (Kurzzeit / Langzeit)									
		0,011 Ω; 85°		0,031 Ω; 70°		0,11 Ω; 50°		0,20 Ω; 30°		0,28 Ω; 30°	
		Pst	Plt	Pst	Plt	Pst	Plt	Pst	Plt	Pst	Plt
Limit	3,3	1,00	0,65	1,00	0,65	1,00	0,65	1,00	0,65	1,00	0,65
Messwert:											
99% Quantil	1,19 ¹	0,01	0,01	0,01	0,01	0,03	0,05	0,05	0,10	0,07	0,13
Maximum	34,09 ¹	0,03	0,01	0,08	0,01	0,70	0,10	0,95	0,13	1,20	0,17

Messwert ist das 99% Quantil / Maximum des Maximalwert aus den drei Phasen
 1: Spannungseinbruch muss nicht von der Anlage kommen, sondern kann auch netzbedingt sein

Tabelle 30: Spannungseinbrüche und Strom-Flicker Windspot 1,5kW

Spannungseinbrüche und Strom-Flicker						
Messung und Limits nach EN 61000-3-3 bei Nennleistung						
Spannungseinbruch [%]	3,3	Strom-Flicker (Kurzzeit / Langzeit)				
		0,011 Ω; 85°	0,031 Ω; 70°	0,11 Ω; 50°	0,20 Ω; 30°	0,28 Ω; 30°
		1 / 0,65	1 / 0,65	1 / 0,65	1 / 0,65	1 / 0,65
Limit	3,3	1 / 0,65	1 / 0,65	1 / 0,65	1 / 0,65	1 / 0,65
Messwert:						
99% Quantil	1,178 ¹	0,01 / 0,01	0,01 / 0,01	0,04 / 0,03	0,05 / 0,04	0,1 / 0,07
Maximum	18,307 ¹	0,04 / 0,01	0,04 / 0,01	0,32 / 0,05	0,47 / 0,10	0,89 / 0,16

Messwert ist das 99% Quantil / Maximum des Maximalwert aus den drei Phasen
 1: Spannungseinbruch muss nicht von der Anlage kommen, sondern kann auch netzbedingt sein

Tabelle 31: Spannungseinbrüche und Strom-Flicker PV-Anlage 10kW

Spannungseinbrüche und Strom-Flicker						
Messung und Limits nach EN 61000-3-3 bei Nennleistung						
Spannungseinbruch [%]	3,3	Strom-Flicker (Kurzzeit / Langzeit)				
		0,011 Ω; 85°	0,031 Ω; 70°	0,11 Ω; 50°	0,20 Ω; 30°	0,28 Ω; 30°
		1 / 0,65	1 / 0,65	1 / 0,65	1 / 0,65	1 / 0,65
Limit	3,3	1 / 0,65	1 / 0,65	1 / 0,65	1 / 0,65	1 / 0,65
Messwert:						
99% Quantil	1,187 ¹	0,01 / 0,04	0,01 / 0,04	0,03 / 0,04	0,06 / 0,05	0,09 / 0,07
Maximum	102,9 ¹	0,20 / 0,05	0,20 / 0,05	0,20 / 0,05	0,20 / 0,05	0,31 / 0,07

Messwert ist das 99% Quantil / Maximum des Maximalwert aus den drei Phasen
 1: Spannungseinbruch muss nicht von der Anlage kommen, sondern kann auch netzbedingt sein

4.5.3 Leistungsfaktor und maximale Leistung

Es kann die allgemeine Aussage getroffen werden, dass der vorgegebene Leistungsfaktor nur teilweise bei nahezu Nennleistung erreicht werden konnte. In den unteren Leistungsbereichen liegt der Leistungsfaktor deutlich unter dem Grenzwert. Die maximale Nennleistung liegt bei jedem Windrad über der Nennleistung. Hingegen liegt die Leistung bei Nennwindgeschwindigkeit teilweise knapp, teils deutlich unter der angegebenen Nennleistung.

Tabelle 32: Leistungskennzahlen Easywind 6kW

Leistungskennzahlen								
	cos(φ) bei % P _{Nenn}				P _{Max} [W] bei Mittel über x sek.			P [W]
	20%	50%	75%	100%	0,2s	60s	600s	@V _{Wind,Nenn}
Limit	+ 0,95 cos(φ) – 0,95				-	-	-	6000
Messwert	0,664	0,687	0,793	0,831	8.375	5.668	5.104	4.712
Der cos(φ) ist der Mittelwert aus allen Messpunkten bei angegebenen Leistungs-Bin $\pm 5\%$								
Die max. Leistung ist das Maximum der über 0,2s / 60s / 600s gemittelten Wirkleistung								

Tabelle 33: Leistungskennzahlen Ecovent 10kW

Leistungskennzahlen								
	cos(φ) bei % P _{Nenn}				P _{Max} [W] bei Mittel über x sek.			P [W]
	20%	50%	75%	100%	0,2s	60s	600s	@V _{Wind,Nenn}
Limit	+ 0,95 cos(φ) – 0,95				-	-	-	10.000
Messwert	0,95	0,99	0,99	-	11.268	8.663	7.227	5.454
Der cos(φ) ist der Mittelwert aus allen Messpunkten bei angegebenen Leistungs-Bin $\pm 5\%$								
Die max. Leistung ist das Maximum der über 0,2s / 60s / 600s gemittelten Wirkleistung								

Tabelle 34: Leistungskennzahlen Schachner SW6

Leistungskennzahlen								
	cos(φ) bei % P _{Nenn}				P _{Max} [W] bei Mittel über x sek.			P [W]
	20%	50%	75%	100%	0,2s	60s	600s	@V _{Wind,Nenn}
Limit	+ 0,95 cos(φ) – 0,95				-	-	-	4800
Messwert	0,572	0,881	0,949	0,978	7.303	6.500	5.971	4.697
Der cos(φ) ist der Mittelwert aus allen Messpunkten bei angegebenen Leistungs-Bin $\pm 5\%$								
Die max. Leistung ist das Maximum der über 0,2s / 60s / 600s gemittelten Wirkleistung								

Tabelle 35: Leistungskennzahlen Windspot 1,5kW

	Leistungskennzahlen							
	cos(φ) bei % P _{Nenn}				P _{Max} [W] bei Mittel über x sek.			P [W]
	20%	50%	75%	100%	0,2s	60s	600s	@V _{Wind,Nenn}
Limit	+ 0,95 cos(φ) – 0,95				-	-	-	1.500
Messwert	0,7382	0,913	0,946	0,963	2.003	1.943	1.886	1.492
Der cos(φ) ist der Mittelwert aus allen Messpunkten bei angegebenen Leistungs-Bin $\pm 5\%$								
Die max. Leistung ist das Maximum der über 0,2s / 60s / 600s gemittelten Wirkleistung								

Tabelle 36: Leistungskennzahlen PV-Anlage 10kW

	Leistungskennzahlen							
	cos(φ)				Max. Leistung [W]			
	20% P _{NENN}	50% P _{NENN}	75% P _{NENN}	100% P _{NENN}	P _{MAX} 0,2s	P _{MAX} 60s	P _{MAX} 600s	
Limit	+ 0,95 cos(φ) – 0,95				-	-	-	
Messwert	0,990	0,998	0,990	0,999	14126	11647	10977	
Der cos(φ) ist der Mittelwert aus allen Messpunkten bei angegebenen Leistungs-Bin $\pm 5\%$								
Die max. Leistung ist das Maximum der über 0,2s / 60s / 600s gemittelten Wirkleistung								

Grundsätzlich kann festgehalten werden, dass auch bei der PV-Anlage die Stromoberwellen nur knapp unter den Grenzwerten liegen. Der Flicker ist wie auch bei den Wechselrichter-gekoppelten Windrädern sehr gering. Größter Unterschied ist der Leistungsfaktor, der bei der PV-Anlage über den gesamten Leistungsbereich nahezu eins ist.

4.6 Zertifizierungsstandard

Eine Vollzertifizierung nach internationaler Norm IEC 61400-2 * [IEC07] schwankt von den Kosten her gesehen schätzungsweise zwischen EUR 150.000,- bis EUR 300.000,-. Obwohl es keine genauen Angaben über die Anzahl der vollzertifizierten KWEA gibt, liegen die Schätzungen hier zwischen 7 und 10 KWEA-Typen weltweit. In Österreich gab es bislang keine einheitlichen Anforderungen und eine sehr unterschiedliche Handhabung der einzelnen Länder in Bezug der Genehmigung von Kleinwindkraftanlagen. Die meisten nationalen Normen für eine Zertifizierung von KWEA sind oft an die IEC 61400-2 angelehnt – mit dem Unterschied, dass meist die aufwendigen Module der Konstruktionsprüfung entfallen und dafür mehr Augenmerk auf die Module Leistung, Dauerfestigkeit, Sicherheit und Schallemissionen gelegt wird. Diese nationalen Normen sind meist kostengünstiger als eine Vollzertifizierung nach IEC 61400-2, Nachteilig hingegen ist, dass diese nur lokal einsetzbar sind und sich nicht für den Export eignen, da hier wiederum andere rechtliche Bestimmungen gelten.

Zu den wesentlichen Einflussfaktoren der Zertifizierung zählen die Kosten der Zertifizierung und die Anlagensicherheit. Ein vereinfachter Standard sollte daher folgende Anforderungen erfüllen:

- hohe Sicherheit für Personen und Sachen beim Betrieb
- Genehmigungsfähigkeit der Anlage bei Behörden
- Netzverträglichkeit bei Verbindung mit dem Verteilernetz
- unabhängige Prüfung der Herstellerangaben zu Leistung und Energieertrag
- Hilfestellung für Konsumenten bei der Kaufentscheidung
- Verdrängung von qualitativ schlechten KWEA vom Markt

Der 2012 auf Initiative der Amtssachverständigen der Länder eingebrachte Anforderungskatalog für Kleinwindenergieanlagen bildet eine sehr gute Grundlage für eine vereinfachte Zertifizierung. In den Punkten Sicherheit, Statik und technische Unterlagen bringt der Katalog eine Steigerung der Qualität für KWEA mit sich. Andererseits fehlen im Katalog die Anforderungen hinsichtlich Leistungstests, Energieertrag und Dauerhaftigkeit, welche für die potenzielle Käufer von wesentlicher Aussagekraft sind. Ein weiterer Nachteil des Anforderungskatalogs ist, dass er (bislang) keinen Rechtsstatus besitzt, sondern lediglich eine Empfehlung für die Genehmigung und den Betrieb von Kleinwindkraftanlagen bildet.

Der ASV-Anforderungskatalog kann aber durchaus als Basis für einen vereinfachten Standard herangezogen werden, da der Katalog beinahe alle Kriterien für die Sicherheit von KWEA abdeckt und gleichzeitig für die Hersteller der meist nachgefragten Größenklasse von KWEA (2 m² - 60 m² Rotorfläche – das entspricht einer Nennleistung von ca. 0,5 kW bis ca. 15 kW) eine Kostenersparnis bei der Zertifizierung bringt. Weitere Module eines vereinfachten Standards, wie im Projekt erarbeitet, sind:

- Leistung und Energieertrag (z.B. von einer unabhängigen Prüfstelle ermittelte Leistungskurve)
- Verfügbarkeit und Dauerhaftigkeit (Langzeitevaluierung, u.a. Stillstand, Störungsanfälligkeit und Reparaturen)
- Prüfzeichen

Eine ausführliche Beschreibung zur Entwicklung einer vereinfachten Zertifizierung findet sich im Anhang.

4.7 Geschäftsmodell „Kleinwindkraft“

Vor allem die heute noch sehr unvorteilhafte Kosten-/Nutzensituation von Kleinwindkraftanlagen im Vergleich zu Photovoltaikanlagen hat zu einem modularen Aufbau möglicher Beratungs- Dienstleistungen rund um die Kleinwindkraft mit Schwerpunkt bezogen auf die Standortevaluierung geführt, sodass Interessierte zum Einen durch zu hohe Eintrittsbarrieren nicht gleich „abgeschreckt“ werden. Andererseits können jedoch fundierte wissenschaftliche bzw. mathematische Leistungen individuell auf den einzelnen Standort bezogen erbracht werden. Mit dem Ergebnis des jeweiligen Schrittes soll der Interessierte / Kunde in die Lage versetzt werden, eigenständig über die nächsten Schritte entscheiden zu können. Nur so wird der Besitzer einer Kleinwindkraftanlage in der bis zu 20ig-jährigen Betriebslaufzeit der Anlage immer wieder zufrieden auf den Entscheidungspfad zurückblicken können und als zufriedener Nutzer der beste Werbeträger dieser Technologie sein.

Es wurde daher folgender modularer Aufbau entwickelt (Abbildung 13):



Abbildung 13: Stufenmodell der Dienstleistungsschritte für die Kleinwindkraft (Quelle: EVN AG)

4.7.1 Windkraft Potenzial-Analyse

Mit der Windkraft-Potentialanalyse wird der erste Schritt in Richtung Kleinwindkraft-Nutzung besritten. Aufgrund einer regionalen Bewerbung in fach- und zielgruppeneinschlägigen Kommunikationsmedien sollen Interessierte angesprochen und auf die Möglichkeit einer Windkraft-Potentialanalyse aufmerksam gemacht werden. Nach telefonischer Terminvereinbarung mit einem Energieberater werden vor Ort folgende wesentliche Punkte untersucht:

- **Energieverbrauchssituation** des Kunden an Hand der Geräteausstattung und Nutzungsverhalten (auch hinsichtlich saisonaler Aspekte)
- **Untersuchung des geplanten Anlagen-Standortes** hinsichtlich der generellen Rauigkeit der weiteren und nahen Umgebung sowie hinsichtlich Windhindernissen und Abständen zu Nachbarn und Gebäuden
- **Unterteilung des Angeländes** anhand der vier Himmelsrichtungen in acht Sektoren zur Beschreibung und Einschätzung des Geländes in die Rauigkeitsklassen (siehe Abbildung 14)

Rauhigkeitsklassen

Rauhigkeits-Klasse	Rauhigkeits-Länge in m	Energien-Index Prozent	In Typen von Geländeoberflächen
0	0,0002	100	Wasserflächen
0,5	0,0024	73	Offenes Terrain mit glatter Oberfläche, z.B. Beton, Landebahnen auf Flughäfen, gemähtes Gras etc.
1	0,03	52	Offenes landwirtschaftliches Gelände ohne Zäune und Hecken, evtl. mit weitläufig verstreuten Gebäuden. Sehr sanfte Hügel.
1,5	0,055	45	Landwirtschaftliches Gelände mit einigen Häusern und 8 Meter hohen Hecken im Abstand von ca. 1250 Meter
2	0,1	39	Landwirtschaftliches Gelände mit einigen Häusern und 8 Meter hohen Hecken im Abstand von ca. 500 Meter
2,5	0,2	31	Landwirtschaftliches Gelände mit vielen Häusern, Büschen und Pflanzen, oder 8 Meter hohe Hecken im Abstand von ca. 250 Meter
3	0,4	24	Dörfer, Kleinstädte, landwirtschaftliches Gelände mit vielen oder hohen Hecken, Wäldern und sehr raues und unebenes Terrain.
3,5	0,8	18	Größere Städte mit hohen Gebäuden.
4	1,6	13	Großstädte mit hohen Gebäuden und Wolkenkratzern.

Abbildung 14: Übersicht und Beschreibung der Rauhigkeitsklassen

- **Ermittlung der mittleren Windgeschwindigkeit** aus dem österreichischen Windatlas am geplanten Anlagenstandort

AUSTRIAN WIND POTENTIAL ANALYSIS

PROJEKTINFO | ZIELE | METHODIK | ERGEBNISSE | KONSORTIUM | KONTAKT

News

- 18. Oktober, 2011 Präsentation beim AWES
- 13. April, 2011 Workshop zur Präsentation der Projektergebnisse
- 4. November, 2010 AuWiPot Arbeitstreffen – Besprechung der Modellierung des realisierbaren Potenzials
- 29. Juni, 2010 AuWiPot Arbeitstreffen – Besprechung der Windmodellierungsergebnisse

Downloads

- DEWEK Paper
- DEWEK Präsentation
- Poster bei der EGU 2010
- Projekt Flyer

Fördergeber

Dieses Projekt wird aus Mitteln des Klima- und Energiefonds gefördert und im Rahmen des Programms "Erneuerbare Energien 2020" durchgeführt.

AuWiPot – Windatlas und Windpotentialstudie Österreich (2009 – 2011)

Mittels geo-statistischer und numerischer Modellierung wird vom gesamten Bundesgebiet ein Windatlas in einer Auflösung von 100 x 100 Meter Rasterflächen gerechnet. Die Ergebnisse dienen anschließend als Grundlage für die Abschätzung theoretisch maximal mobilisierbarer Windenergiepotentiale, wobei umfassende Aspekte der Windenergie mitberücksichtigt werden.

Neben den neu ermittelten Windkarten für verschiedene Höhen über Grund wird das Hauptergebnis ein Szenariengenerator für theoretisch maximal mobilisierbare Windpotentiale sein, welches dem Benutzer die individuelle Eingabe einzelner Parameter ermöglicht, um die Realisierbarkeit von Windkraftanlagen unter geänderten Rahmenbedingungen abschätzen zu können.

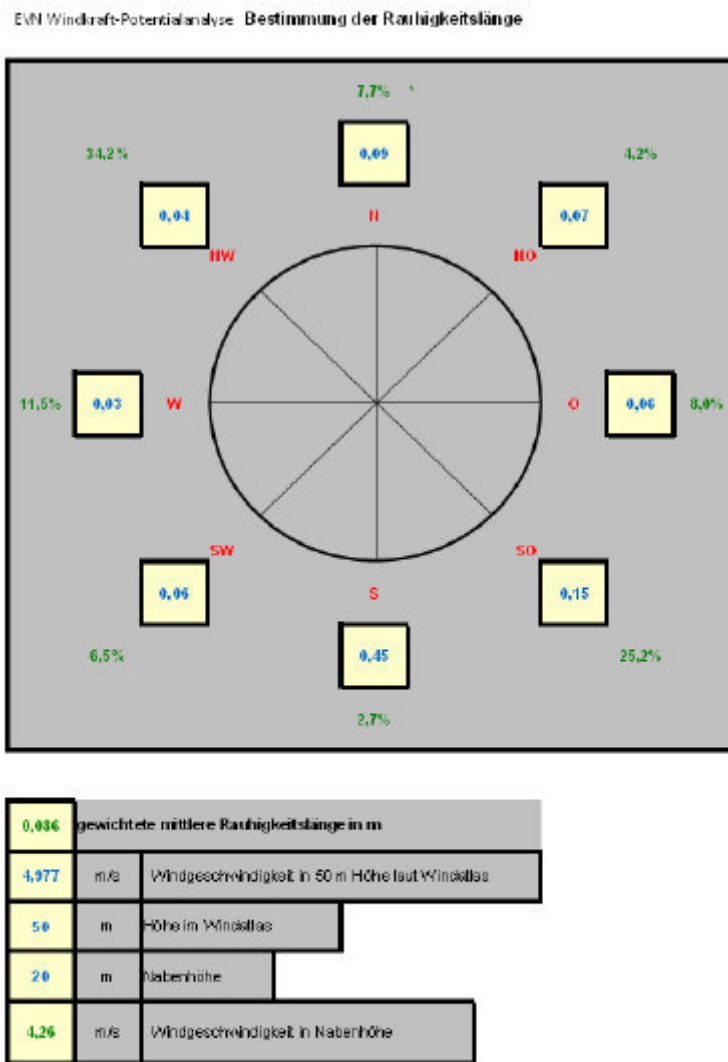
Die Ergebnisse zum Windatlas und der Windpotentialstudie liegen vor:

- Windkarte von Österreich – mittlere Jahres-Windgeschwindigkeiten
- Interaktiver Windatlas Österreich – Berechnung von Windpotenzialen
- Endbericht

ACHTUNG: Abrufbar nur über die Browser Mozilla Firefox (ab Version 3) oder Opera

Abbildung 15: Screenshot der Einstiegsseite des österreichischen Windatlasses (www.windatlas.at/)

- **Rechnerische Ermittlung** der am geplanten Anlagenstandort zu erwartenden **mittleren Windleistung**



*Windrichtungsverteilung laut Musterstandort: Prellenkirchen, NÖ

Wiskin 2012-01

Energie
vernünftig
nutzen **EVN**

Abbildung 16: Rechenmodell zur Ermittlung der zu erwartenden Jahreswindleistung (Quellen: Solvento, EVN AG)

Die weiteren Schritte zur Bewertung eines geeigneten Standortes sind JA/NEIN Empfehlungen, abhängig der Ergebnisse aus der Potenzialanalyse.

- Durchschnittliche Windgeschwindigkeiten UNTER 4 m/s sind für die Aufstellung von Kleinwindkraftanlagen nicht zu empfehlen.
- Durchschnittliche Windgeschwindigkeiten UM 4 m/s lassen ca. 600 – 800 Volllaststunden erwarten
- Durchschnittliche Windgeschwindigkeiten UM 4,5 m/s lassen ca. 800 – 1.000 Volllaststunden erwarten

- Durchschnittliche Windgeschwindigkeiten ÜBER 5 m/s lassen mehr als 1.000 Volllaststunden erwarten und sind für eine Nutzung der Kleinwindkraft interessant.

Grundsätzlich kann festgehalten werden, dass eine unabhängig und professionell durchgeführte Windmessung vor jeder Anschaffung von Kleinwindkraftanlagen durchgeführt werden sollte. Erst mit der Windklassenverteilung kann für den Standort eine Kleinwindkraftanlage gewählt werden, dessen Leistungskennlinie den für diesen Standort optimalen Ertrag bringt.

4.7.2 Ablauf Windmessung

Die Windmessung sollte im Idealfall genau am geplanten Aufstellungsort der Kleinwindkraft-Anlage erfolgen. Das Anemometer sollte dabei auf der geplanten Nabenhöhe positioniert werden. Dazu ist ein Teleskop-Mast mit einer Höhe von bis zu 20 Meter (oder auch höher) erforderlich. Das Anemometer sollte permanent an einem Übertragungsmodul angeschlossen sein, dass eine kontinuierliche Übertragung der Messdaten ermöglicht. Damit können Fehlfunktionen in der Datenübertragung rasch erkannt und noch während des Messverlaufes behoben werden.

Um die Messdauer und damit die Kosten der Messung möglichst gering zu halten, liegt dem gegenständlichen Geschäftsmodell eine Kooperation mit einem namhaften meteorologischen Institut zugrunde, dass nach einer Messdauer von 3 Monaten diese Daten mit einer nahegelegenen Wetterstation abgleicht und auf Basis valider Prognosemodelle und auf Abstützung der Daten der Wetterstation eine durchschnittliche Windverteilung auf einem 3-Jahres-Durchschnitt für den geplanten Standort für 12 Monate ermittelt.

Der abschließende Messbericht beinhaltet neben der Windverteilung (Weibull-Verteilung in m/s – Windklassen), eine Darstellung der Haupt- und Nebenwindrichtung sowie eine umfassende Beschreibung des Standortes (genaue Verortung) und der Messergebnisse.

Auf Basis einer vom Kunden beigebrachten oder von der EVN gestellten Leistungskennlinie einer unterstellten Kleinwindkraft-Anlage kann in Verbindung mit der gemessenen Windverteilung dann eine energetische Abschätzung des zu erwartenden Energieertrages errechnet werden. Auf Basis dieser Ergebnisse kann der Kunde wiederum entscheiden, ob und wenn ja, welche Anlage zum Zuge kommen soll.

4.7.3 Kauf einer Kleinwindkraftanlage

Die Entscheidung, welche Anlage letztlich beschafft wird, sollte abgestützt auf die am Standort durch die Windmessung erstellte Weibull-Verteilung erfolgen. In der Großwindkraft gibt es bereits Anlagen für Starkwind- und solche für Schwachwindstandorte. Auch die Frage nach einem Horizontal- oder Vertikal-Läufer gilt es aufgrund des Umfeldes des geplanten Standortes zu klären. Diese Frage kann durchaus mit der Ortsbildfrage im Zusammenhang stehen.

Generell sind zur professionellen Energieerzeugung aus Kleinwindkraft nur solche Anlagen zum heutigen Stand zu empfehlen, die folgende Kriterien erfüllen:

- Anlagen, die über ein eigenes Fundament und Mast sowie einer Leistung ab 5 kW verfügen
- Hersteller sollte im Idealfall einen Unternehmenssitz oder eine Niederlassung in Österreich haben
- Der Hersteller sollte zudem über eine Servicemannschaft verfügen, die im Falle von Betriebsunterbrechungen binnen 2 – 3 Werktagen vor Ort die Anlage servicieren kann
- Einige Hersteller bieten bereits ein permanentes Monitoring ihrer Anlagen an, was allerdings einen Internet-Zugang bei der Anlage bzw. beim Wechselrichter erfordert. Damit können schon vor dem Auftreten von Betriebsunterbrechungen Fehler erkannt und durch eine gezielte Wartung / Service im Vorfeld behoben werden, sodass eine Betriebsunterbrechungen vermieden werden kann.
- Der Hersteller sollte ebenfalls im Sinne eines Generalunternehmens von der
 - Antragsphase (Baugenehmigung, Beibringen sämtlich behördlich erforderlicher Unterlagen) bis hin zur
 - Dimensionierung des Fundaments,
 - Anlieferung des Masten und sämtlicher weiterer Bauteile,
 - Koordination der Aufstellung und Inbetriebnahme sowie
 - der Abnahme der Anlage mit dem Kunden
 sämtliche Schritte umfassend erbringen. Nur so kann aus Kundensicht gewährleistet werden, dass er eine funktionstüchtige Anlage mit aufeinander abgestimmten Komponenten erhält.

4.7.4 Erfahrungen aus dem „Geschäftsmodell“ Kleinwindkraft

Im Zuge des Projektes wurde mit der Erstellung und Auslegung der Windmessung begonnen. Nachdem die ersten drei Windmessungen wie oben beschrieben durchgeführt und eine Kostenanalyse danach aufgesetzt wurde, musste erkannt werden, dass die zu Beginn geplanten Verkaufspreise von € 1.200,- bis € 1.500,- (inkl. USt.) nicht kostendeckend waren. Daher wurden einerseits die Kostentreiber (das sind die Fahrt- und Aufstellungskosten) identifiziert und durch ein effizientes Terminmanagement optimiert, andererseits wurde auch der Verkaufspreis auf derzeit € 2.500,- (inkl. USt) angehoben, sodass eine moderate Wirtschaftlichkeit dargestellt werden könnte.

In Kundenbefragungen, konkreten Kundengesprächen und Angebotsverhandlungen zeigte sich, dass der Markt nur bedingt bereit ist, für € 2.500,- (inkl. USt.) eine Windmessung zu beauftragen, da diese Anfangsinvestitionen als sehr hoch eingestuft werden. Daher wurde eine vorgelagerte kostengünstigere Dienstleistung, die Windkraft-Potentialanalyse entwickelt, welche zu deutlich geringeren Kosten eine Erstabschätzung der mittleren Windleistung am geplanten Standort leistet. Aufbauend auf dieser Dienstleistung um aktuell € 480,- (inkl. USt) können sich Windkraft-Interessierte entscheiden, ob eine Windmessung gewünscht ist oder nicht.

Der Dialog mit dem Kunden im Zuge der Windkraft-Potentialanalyse zeigt bei ersten Testfällen, dass Kunden die Bedeutung der Windmessung besser verstehen und gegenüber Investitionssummen von ca. € 25.000,- (inkl. USt) für 5 kW-Kleinwindkraft-Anlagen und darüber, durchaus bereit sind, über eine kostenpflichtige Windmessung nachzudenken. Der schrittweise Aufbau bestätigt zum heutigen Zeitpunkt die geplante Vorgehensweise und den Inhalt des Geschäftsmodells. Jedoch konnten bis dato keine

aussagekräftigen Abschlusszahlen erzielt werden, sodass erst die weiteren Erfahrungen des Jahres 2014 abgewartet werden müssen und das Modell danach ggf. angepasst werden muss.

4.8 Kriterien der Qualitätssicherung von Kleinwindkraftanlagen

Unter den im Energieforschungspark Lichtenegg untersuchten Kleinwindkraftanlagen zwischen 1,5 kW bis 10 kW Nennleistung gab es Anlagen die ein sehr stabiles Betriebsverhalten und damit kaum Ausfallszeiten (Betriebsstörungen) aufwiesen. Einige dieser Anlagen am Forschungsstandort lieferten sehr gute Energieerträge, bei Betriebsdauer von > 1.500 Volllaststunden/a.

Dennoch gibt es nach wie vor Anlagen, die technisch noch nicht ausgereift sind und bei denen es häufig zu längeren Stillstandzeiten kommt. Fehlende Servicestrukturen oder ein verzögerter Wartungsdienst wirken sich zusätzlich negativ auf die Betriebsdauer und somit den Jahresertrag von Anlagen aus und letztlich ist die Ertragsfrage abhängig vom Standort und den vorherrschenden Windverhältnissen. Eine unabhängige Standortberatung und professionelle Vor-Ort-Windmessung sind also entscheidend für die Wirtschaftlichkeit von Kleinwindkraftanlagen.

Im Rahmen des Projekts wurde daher ein Grundlagenentwurf erarbeitet, der qualitätssichernde Aspekte bei der Standort- und Anlagenauswahl berücksichtigt und somit eine Empfehlung für jeweilige Förderstellen bei der Ausgestaltung bzw. Implementierung von Förderrichtlinien von Kleinwindkraftanlagen abgibt.

Tabelle 37: Entwurf qualitätssichernder Kriterien für Kleinwindkraftanlagen

Rubrik	Details	Gewichtung
Standort	<ul style="list-style-type: none"> • Windvermessung • Ertragsberechnung • Beeinträchtigung der Nachbarschaft 	30%
Anlage	<ul style="list-style-type: none"> • Qualität • Leistungskurve • Gut laufende Referenzanlagen des gleichen Typs • Anlagen die sich schon in Lichtenegg bewährt haben • Passende Anlagenwahl (Stark, Schwachwind), • Passende Anlagengröße zum Verbrauch 	40%
Bewertung des Herstellers	<ul style="list-style-type: none"> • Vermögen hinsichtlich der Erbringung von Wartungsleistungen • Garantieleistungen • Vorhalten entsprechender Servicestrukturen zur Erfüllung von Service Levels hinsichtlich Reaktions- und Instandsetzungszeiten • Haftung 	15%
Laufendes Ertragsmonitoring	<ul style="list-style-type: none"> • Bringt die Anlage den versprochenen Ertrag? 	15%

Bei der Beurteilung und Projektierung von Kleinwindprojekten sind verschiedene Aspekte zu bewerten, wobei einige Punkte als K.O. Kriterium zu sehen sind. Ein schlechter Standort braucht keine weitere Betrachtung. Aus diesem Grund ist auch eine reine Punktebewertung nicht unbedingt zielführend, sondern es kann Sinn machen, die Förderung in einem mehrstufigen Verfahren durchzuführen. Ein möglicher Verfahrensablauf könnte daher folgend aufgebaut sein:

Tabelle 38: Entwurf Verfahrensablauf der Förderkriterien

Schritt	Details	Förderintensität
1) Beratung – Erstgespräch Wenn positiv dann:	<ul style="list-style-type: none"> • Kommt Kleinwindkraft überhaupt in Frage? • Winddaten aus dem Windatlas als erster Anhaltspunkt • Einschätzung der Rauigkeit, Identifikation von Hindernissen 	bis 100%
2) Vermessung des geplanten Windstandortes Wenn positiv dann:	<ul style="list-style-type: none"> • Ideal 1-jährige (mind. 3monatige Vermessung + Hochrechnung mit Wetterdaten vom nächsten verfügbaren Gitterdatenpunkt des Wettermodells • Generische Ertragsberechnung 	bis 100%
3) Projektierung 3a) Monitoring	<ul style="list-style-type: none"> • Nur qualitativ hochwertige Anlagen kommen in Frage • Anlage soll zum Standort passen (Stark- od. Schwachwind), Dimensionierung • Anlagenauslegung soll ggf. zum Verbrauch des Anlagenerrichters passen <p>Mögliche Fördermodalität: Auszahlung in 2 Tranchen: Nach 1-2 Jahren Monitoring folgt die 2. Rate</p>	20% der Anlagenkosten

4.9 Zielgruppenspezifische Kommunikation

4.9.1 Leitfaden für Gemeinden und EndkundInnen

Ein weiteres wichtiges Mittel zur Förderung der Kleinwindkraft sind Information und Kommunikation. Dass das Interesse an Kleinwindkraftanlagen groß ist, zeigte einerseits das große Interesse an den angebotenen Führungen am Standort Lichtenegg, andererseits verbuchten Partner des Konsortiums eine ständig steigende Nachfrage an Informationen zur Performance installierter Anlagen sowie zu rechtlichen und organisatorischen Rahmenbedingungen. Die Erstellung zielgruppenspezifischer Informationsmaterialien, gerade für potenzielle AnlagenbetreiberInnen, sollte grundlegend dazu beitragen, einen umfassenden Überblick über alle relevanten Themenkomplexe der Kleinwindkraft zu geben.

Der im Zuge des Projekts erstellte Leitfaden² „Kleinwindkraft – Ein Leitfaden zur Planung und Umsetzung“ dient als Ratgeber und Informationssammlung sowohl für AnlagenbetreiberInnen und jene, die eine Anschaffung in Erwägung ziehen, als auch für Behörden, die durch zunehmende Anfragen konfrontiert sind. Der Leitfaden fasst in mehreren Kapiteln Fragen im Zusammenhang mit der Standortauswahl und -bewertung zusammen und gibt Hilfestellung für die technische Planung. Weiters

² verfügbar als Download ([Link](#)) und im Anhang

geht der Leitfaden auf rechtliche und organisatorische Aspekte ein und widmet sich auch der derzeitigen Wirtschaftlichkeit von Kleinwindkraftanlagen. Anhand der beispielhaften Berechnung der Wirtschaftlichkeit an einem „guten“ Standort erhalten die Leserin und der Leser einen übersichtlichen und leicht verständlichen Einblick.



Kleinwindkraft

Ein Leitfaden zur Planung und Umsetzung



Abbildung 17: Screenshot Deckblatt Leitfaden „Kleinwindkraft“ (Quelle: AEE NÖ-Wien)

Ergänzend findet sich am Ende des Leitfadens eine Check-Liste zur Vorgehensweise bei der Errichtung von Kleinwindkraftanlagen. Obwohl bei der Errichtung viele Punkte zu beachten sind, bietet diese chronologische Aufstellung zur Abhandlung der Themengebiete einen umfassenden Überblick.

Kleinwindkraft – was ist das?

Kleinwindkraftanlagen oder auch Kleinwindenergieanlagen (KWEA) erfreuen sich seit einigen Jahren großer Beliebtheit. Die Vorstellung, eigenen Strom aus Windenergie zu erzeugen, hat für viele etwas Reizvolles. Doch was versteht man eigentlich unter dem Begriff Kleinwindkraft? Prinzipiell gibt es keine strenge Definition. Die meisten Hersteller beschränken sich auf die Leistungsklasse bis zu 20kW. Diese Obergrenze ergibt sich aus mehreren Gründen. Einerseits gibt es gesetzliche Vorgaben, welche eine klare Leistungsobergrenze ziehen, bis zu der Anlagen errichtet werden dürfen. Geht es über diese Grenzwerte hinaus, so ist eine gesonderte Widmung des Grundstückes bzw. ein aufwendigeres Verfahren für die Errichtung notwendig. Diese Grenzen divergieren je nach Bundesland und EVU (EnergieVersorgungsUnternehmen). Auf der anderen Seite sind Kleinwindkraftanlagen für die Eigenversorgung von Haushalten, Landwirtschaften oder Kleinbetrieben gedacht. Aus diesem Grund wird, so wie auch bei der Photovoltaik, oft eine Eigendeckung des jährlichen Verbrauches angestrebt, woraus sich dann wiederum Anlagen in der oben genannten Größenordnung ergeben. Kleinwindkraftanlagen werden sich immer in der Nähe von Gebäuden finden, da ein einfacher Stromanschluss gewährleistet sein muss. An sehr guten Standorten am freien Feld ist die Großwindkraft aus Effizienz- und Kostengründen die erste Wahl.



Abbildung 1: Was ist Kleinwindkraft, wo wird sie eingesetzt

Wirtschaftlichkeit

Die Frage, ob Kleinwindkraft in Österreich derzeit wirtschaftlich ist, kann rasch mit nein beantwortet werden. Die entscheidende Frage ist jedoch nicht:

Was kann ich mit Kleinwindkraft verdienen? sondern Was ist sie mir wert?

Wer primär nach hohen Renditen sucht, ist bei Windkraftbeteiligungsmodellen an großen Anlagen, PV-Beteiligungen, einer eigenen PV-Anlage oder überhaupt am Finanzmarkt besser aufgehoben.

Die Wirtschaftlichkeit wird im Wesentlichen durch 3 Faktoren bestimmt:

1) Anlagenkosten

Derzeit liegen die Anlagenkosten zwischen 3000 und 7000€/kW installierter Leistung. Also über jenem Preisniveau, in dem sich die Photovoltaik bewegt.

2) Ertrag

Das Um und Auf für Kleinwindkraftanlagen überhaupt ist der elektrische Energieertrag, der durch die Anlageneffizienz und den Standort bestimmt wird.

3) Vergütung und Förderung

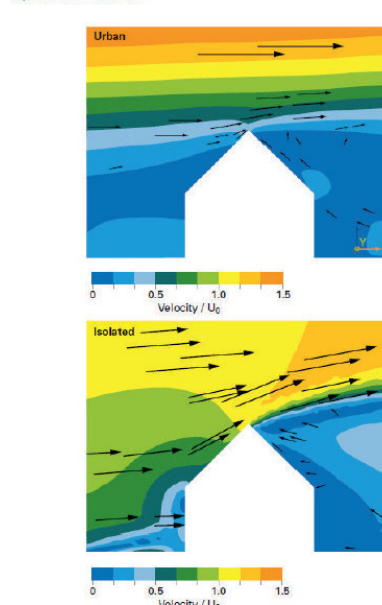
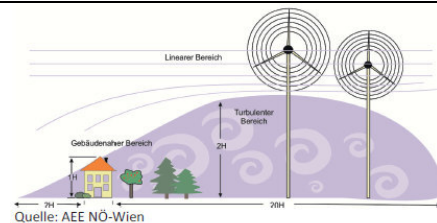
Der große Erfolg der Photovoltaik beruhte zuletzt auf einer attraktiven Förderung. Grundsätzlich gibt es verschiedene Varianten der Vergütung bzw. Förderung, die möglich wären:

Kleinwindkraft vs. Großwindkraft

Eine große Windkraftanlage liefert 1000-mal mehr Energie als eine Kleinwindkraftanlage, ist kosteneffizienter umzusetzen und kann, weil in größerer Höhe, aus einem besseren Windangebot schöpfen. Darum stellt sich für viele die Frage, ob es nicht effizienter und kostengünstiger ist, anstatt der Klein-, die bewährte Großwindkraft zu unterstützen. Die Windbranche ist in den letzten Jahren sehr stark gewachsen und wird diesen Kurs auch in Zukunft fortsetzen. Große Anlagen decken bereits in vielen Ländern einen beträchtlichen Teil des Stromverbrauchs ab.

Der voranschreitende Ausbau, sowie neue rechtliche Vorgaben, machen es jedoch zusehends schwieriger, Großwindanlagen zu realisieren. Gerade in und um Ortsgebiete ist es nicht möglich, Windräder der Megawattklasse zu errichten. Hier kann Kleinwindkraft ihre Stärken ausspielen. Die unmittelbare Nähe zum Verbraucher bringt auch Vorteile bezüglich Eigenversorgungsmöglichkeit / Beitrag zur Energieautarkie. Auch die Wind-„Mittelklasse“ im 100-kW Bereich kann zukünftig in Gewerbe- und Industriegebieten eine interessante Rolle spielen.

Bewusstseinsbildung spielt bei Kleinwindkraft ebenfalls eine große Rolle. Energie muss sichtbar gemacht werden. Durch greifbare regionale Energieerzeugung wird ein Bezug zur elektrischen Energie geschaffen, die im Normalfall anonym aus der Leitung kommt. Dies kann der Türöffner für weitere, auch größere, Projekte sein.



Quelle: Small Scale Wind Energy- Policy Insights and practical Guidance, Carbon Trust, 2008

Abbildung 18: Screenshots beispielhafter Themen aus dem Leitfaden (Quelle: AEE NÖ-Wien)

Im Rahmen des Projekts konnten zwei Schulungen für ExpertInnen durchgeführt werden. Mit dem Angebot sollten in erster Linie Impulse gesetzt werden, den TeilnehmerInnen eine Unterstützung bei der Erschließung eines neuen Geschäftsfeldes zu bieten. Grundlage für die Präsentationsunterlagen bildeten die erstellten Leitfäden in Kombination mit vorläufigen Ergebnissen zur technischen Anlagencharakteristik.

5 Ausblick und Empfehlungen

Die Nutzung der bodennahen Winde in Form der Kleinwindkraft ist trotz sehr erfolgreichem Bestehen des großen Bruders, der Großwindkraft, nach wie vor als eine sehr junge Technologie anzusehen. Fehlende Förderlandschaften, hohe behördliche Anforderungen vor, während und nach der Inbetriebnahme sowie geringe Verkaufszahlen machen es den Herstellerfirmen schwer, in vernünftige Preisbereiche zu gelangen. Trotzdem lässt sich nach drei Jahren Projekt-Laufzeit ein erstes **Fazit** ziehen: Sechs der dreizehn getesteten Anlagen schneiden in den Kategorien „Betriebsfestigkeit“ und „Energieerträge“ gut oder sogar sehr gut ab.

Mit der Errichtung des **Energieforschungsparks** Lichtenegg und Durchführung technischer Messungen bzw. mit der Klärung rechtlicher und organisatorischer Rahmenbedingungen konnte ein deutlicher Beitrag zur Unterstützung dieser noch jungen Technologie geleistet werden. Dennoch gibt es ein beachtliches Verbesserungs- und Entwicklungspotential. Vor allem neue Entwicklungen und Prototypen gehören vor einem Markteintritt ausgiebig getestet. Um künftig Anlagen mit entsprechender Qualität empfehlen zu können, wird der Forschungspark auch weiterhin zur Durchführung von Messungen betrieben. Für Hersteller ergibt sich der Vorteil, ihre Anlage an einem außerordentlich guten Windstandort in Österreich „auf Herz und Nieren“ zu überprüfen und technische Optimierungen vorzunehmen.

Hinsichtlich der **rechtlichen Aspekte** kann die Aussage getroffen werden, dass aufgrund der unterschiedlichen Gesetzeslagen in den einzelnen Bundesländern, derzeit keine einheitlichen Rahmenbedingungen vorherrschen. Mit dem Anforderungskatalog der Amtssachverständigen konnte ein erster Schritt in Richtung Harmonisierung der rechtlichen Bestimmungen gesetzt werden. Dennoch bleibt abzuwarten, ob der Katalog, welcher lediglich eine Empfehlung abgibt und nicht rechtlich verbindlich ist, in den Ländern angewendet wird und ob dennoch Interpretationsspielraum bleibt.

Was die **Wirtschaftlichkeit** von Anlagen betrifft, konnte festgestellt werden, dass ein möglichst hoher Anteil an Eigenverbrauch erstrebenswert ist. Bevor dies überhaupt eintreffen kann, müssen die Windverhältnisse vor Ort und die Anlagenkennlinie der einzusetzenden Kleinwindkraftanlage bekannt sein. An sehr guten Windstandorten in Österreich, wie beispielsweise in Lichtenegg, konnten Volllaststunden von > 1.500 Stunden/Jahr erreicht werden, vorausgesetzt die technische Verfügbarkeit von Anlagen war gegeben. Wesentlich wird auch sein, dass die Anlagendimensionierung (die installierten kW) immer auch unter Berücksichtigung der regional vorhandenen Verbraucherstruktur passt. Denn dezentrale Erzeugung benötigt auch dezentralen Verbrauch. Im Idealfall sollte die dezentral

erzeugte Energiemenge zu 100% lokal verbraucht werden. Dies wird mit den zu erwartenden Netzkosten und Zuschlägen wohl auch der einzig wirtschaftliche Ansatz aus heutiger Sicht sein.

Die im Projekt erarbeiteten und aufbereiteten Ergebnisse wurden bereits in weiteren **Publikationen** und Recherchen zum Thema berücksichtigt. So finden sich beispielsweise Ergebnisse aus dem Projekt in der Studie „Standorte für Windkraftanlagen in Wien unter bestimmten Rahmenbedingungen“ im Auftrag der MA19 (Architektur und Stadtgestaltung) [ENE13]. Der Besuch einer deutschen Zertifizierungsstelle (TÜV Rheinland), bei dem eine mögliche Kooperation ausgelotet wurde, zeigt auch das große Interesse im Ausland.

Im Prozess der Planung, Genehmigung, Errichtung und des Betriebs von KWKA sind viele Stakeholder-Gruppen involviert, die auf die Ergebnisse des Projektvorhabens zurückgreifen können:

- **Gemeinden/Baubehörden:** Die Abwicklung von Bauanzeigen bzw. Genehmigungen von KWKA wurde für die Behörden erster Instanz anhand des Anforderungskatalogs der Amtssachverständigen, die ihre Einschätzungen und Empfehlung aus den Ergebnissen aus Lichtenegg ableiteten, erleichtert. Der Leitfaden dient als fachliche Grundlage für die rechtliche Einordnung des Themas Kleinwindkraft.
- **KonsumentInnen / potenzielle InvestorInnen:** Durch die Entwicklung eines vereinfachten Zertifizierungsstandards, eines Verfahrens zur normgerechten Vermessung der Leistungskennlinie und die Publikation von Leistungsdaten und Langzeitmessergebnissen wurde die Markttransparenz erhöht und klare Qualitätskriterien für die Auswahl angeboten. Der speziell für diese Zielgruppe entwickelte Leitfaden stellt Informationen für den gesamten Prozess der Standortauswahl, Planung, die Errichtung, den Netzanschluss und den Betrieb von KWKA zur Verfügung. Darüber hinaus steht ihnen das im Rahmen des Projekts entwickelte Geschäftsmodell „Produkt Kleinwindkraft“ am Markt zur Verfügung.
- **Netzbetreiber:** Netzbetreiber erhalten wesentliche Informationen über die Eigenschaften von KWKA im (Niederspannungs-)Netz, in der Zusammenschaltung mit anderen KWKA und mit PV-Anlagen, die sie bei der Berteilung des Netzanschlusses von KWKA unterstützen.
- **Elektroinstallateure / Anlagenerrichter:** Diese Zielgruppe profitiert ebenfalls von der besseren Markttransparenz und der Qualitätssicherung durch ein Zertifizierungsverfahren und veröffentlichte Messergebnisse für einzelne am Markt angebotene KWKA. Zusätzlich hilft ihnen der Kriterienkatalog für Wechselrichter bei der Planung und Errichtung der konkreten Anlagen.
- **Anlagenanbieter und -entwickler:** Anlagenanbieter können bei der Entwicklung ihrer Produkte auf die Standards zur Zertifizierung, den Kriterienkatalog für Wechselrichter und das entwickelte Verfahren zur normgerechten Leistungskennlinienverfahren zurückgreifen. Auch die Ergebnisse der Evaluierung des Betriebsverhaltens verschiedener Anlagentypen unterstützt die Weiterentwicklung hochqualitativer Produkte.
- **Behörden und Förderstellen:** Anhand der entwickelten Qualitätsstandards (Zertifizierung) wird es für Fördergeber einfacher, Kriterien an die Qualität, die Langlebigkeit und den Ökostromertrag zur Förderung von KWKA anzulegen und damit den nachhaltigen Einsatz von Fördermitteln sicherstellen

Literaturverzeichnis

- [ASV12] Arbeitsausschuss Windenergieanlagen der Amtssachverständigen (ASV) für Elektro-, Bau- und Umwelttechnik der Bundesländer in Zusammenarbeit mit dem BMWFJ: Anforderungskatalog für die Aufstellung und den Betrieb von „kleinen Windenergieanlagen“ – KWEA, Dezember 2012.
- [DEW12] Bericht DEWI-GER-PV10-01466-01: Konzept zur Durchführung von Leistungskurvenvermessungen an Kleinwindkraftanlagen unterschiedlichen Typs, Januar 2012.
- [IGW14] Interessengemeinschaft Windkraft Österreich: Windkraft in Österreich, Jahresanfangspressekonferenz, Stand 9. Jänner 2014, [Link](#) zugegriffen am 14.08.2014
- [ENE13] Stifter, R., Farghadan, M. (2013): Standorte für Windkraftanlagen in Wien unter bestimmten Rahmenbedingungen – UPDATE, Endbericht, im Auftrag der MA19 – Architektur und Stadtgestaltung, Wien, 2013.
- [HAL09] Halhuber, W. (2009): Betrieb von Kleinwindkraftanlagen – ein Überblick über Markt, Technik und Wirtschaftlichkeit, 2009.
- [IEC05] IEC 61400-12-1 Ed.1: Wind turbines - Part 12-1: Power performance measurements of electricity producing wind turbines, Dezember 2005.
- [IEC07] IEC / EN 61400-2: 2006, April 2007.

6 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Energieforschungspark Lichtenegg.....	11
Abbildung 2: Topografische Karte mit dem Standort des Energieforschungsparks in Lichtenegg	12
Abbildung 3: Lageplan.....	13
Abbildung 4: Bin-gemittelte Leistungskurve ECOVENT 10kW	22
Abbildung 5: Bin-gemittelte Leistungskurve Easywind 6AC	23
Abbildung 6: Bin-gemittelte Leistungskurve Schachner SW5.....	24
Abbildung 7: Bin-gemittelte Leistungskurve Silent Future-Tec 4,2kW	26
Abbildung 8: Bin-gemittelte bereinigte Leistungskurve (nicht IEC Norm 61400-12-1 konform).....	26
Abbildung 9: Bin-gemittelte Leistungskurve (nicht IEC Norm 61400-12-1 konform)	27
Abbildung 10: spezifische Leistungskurven (Quelle: energiewerkstatt°)	30
Abbildung 11: spezifischer Ertrag (in kWh/m ² *a) und Volllaststunden pro Jahr der dreizehn KWKA.....	34
Abbildung 12: Gegenüberstellung der IST-Erträge aus zwei Auswertungszeiträumen (Quelle: energiewerkstatt°)	35
Abbildung 13: Stufenmodell der Dienstleistungsschritte für die Kleinwindkraft (Quelle: EVN AG).....	44
Abbildung 14: Übersicht und Beschreibung der Rauigkeitsklassen.....	45
Abbildung 15: Screenshot der Einstiegsseite des österreichischen Windatlases (www.windatlas.at/) ...	45

Abbildung 16: Rechenmodell zur Ermittlung der zu erwartenden Jahreswindleistung (Quellen: Solvento, EVN AG)	46
Abbildung 17: Screenshot Deckblatt Leitfaden „Kleinwindkraft“ (Quelle: AEE NÖ-Wien)	52
Abbildung 18: Screenshots beispielhafter Themen aus dem Leitfaden (Quelle: AEE NÖ-Wien)	53

7 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Koordinaten Energieforschungspark. (Koordinatensystem: geographische Koordinaten, Greenwich [Grad, Dezimalminuten]	13
Tabelle 2: WindTronics, Inc. Honeywell - BTPS 6500	14
Tabelle 3: Sonkyo Energy – Windspot 1,5 kW	15
Tabelle 4: DonQi Independent Energy – Urban Windmill 1400	16
Tabelle 5: Wind2Power GmbH – Turbine 01	16
Tabelle 6: Silent Future-Tec GmbH – SFTV 4,2kW	17
Tabelle 7: Easywind GmbH – Easywind 6AC	18
Tabelle 8: Windsolar GmbH – WS 1500W	18
Tabelle 9: Mischtechnik Hoffmann & Partner KG - Ecovent 10kW	19
Tabelle 10: Zemsauer Elektrotechnik – Micro Windturbine WT3	20
Tabelle 11: Schachner Wind GmbH – Schachner SW5	20
Tabelle 12: Minvento S.r.l - m‘2500	21
Tabelle 13: Jahresenergieertrag (AEP) der KWKA als Funktion der mittleren Jahreswindgeschwindigkeit in Nabenhöhe	23
Tabelle 14: Jahresenergieertrag (AEP) der KWKA als Funktion der mittleren Jahreswindgeschwindigkeit in Nabenhöhe	24
Tabelle 15: Jahresenergieertrag (AEP) der KWKA als Funktion der mittleren Jahreswindgeschwindigkeit in Nabenhöhe	25
Tabelle 16: Jahresenergieertrag (AEP) der KWKA als Funktion der mittleren Jahreswindgeschwindigkeit in Nabenhöhe	27
Tabelle 17: Tabellarische Darstellung der technischen Verfügbarkeit	29
Tabelle 18: Zusammenfassung KWKA Schachner Wind GmbH – Schachner SW5	31
Tabelle 19: Zusammenfassung KWKA Easywind GmbH – Easywind 6AC	31
Tabelle 20: Zusammenfassung KWKA Mischtechnik Hoffmann und Partner KG - Ecovent 10kW	32
Tabelle 21: Zusammenfassung KWKA Silent Future-Tec GmbH – SFTV 4,2kW	33
Tabelle 22: Zusammenfassung KWKA Minvento S.r.l – m‘2500	33
Tabelle 23: Zusammenfassung KWKA Sonkyo Energy– Windspot 1,5kW	34
Tabelle 24: Netzanschlussbedingungen für Kleinwindkraftanlagen	36
Tabelle 25: Kennzahlen der Harmonischen Strom-Komponenten am Beispiel Easywind 6kW	38
Tabelle 26: Harmonische Strom-Komponenten PV-Anlage 10kW	38
Tabelle 27: Spannungseinbrüche und Strom-Flicker Easywind 6kW	39

Tabelle 28: Spannungseinbrüche und Strom-Flicker Ecovent 10kW.....	39
Tabelle 29: Spannungseinbrüche und Strom-Flicker Schachner SW6.....	40
Tabelle 30: Spannungseinbrüche und Strom-Flicker Windspot 1,5kW.....	40
Tabelle 31: Spannungseinbrüche und Strom-Flicker PV-Anlage 10kW	40
Tabelle 32: Leistungskennzahlen Easywind 6kW	41
Tabelle 33: Leistungskennzahlen Ecovent 10kW.....	41
Tabelle 34: Leistungskennzahlen Schachner SW6.....	41
Tabelle 35: Leistungskennzahlen Windspot 1,5kW.....	42
Tabelle 36: Leistungskennzahlen PV-Anlage 10kW	42
Tabelle 37: Entwurf qualitätssichernder Kriterien für Kleinwindkraftanlagen	50
Tabelle 38: Entwurf Verfahrensablauf der Förderkriterien.....	51

8 Anhang

- Entwicklung eines Standards für die vereinfachte Zertifizierung von Kleinwindkraftanlagen
- Kurzstudie zu den rechtlichen Rahmenbedingungen
- Marktrecherche und Anforderungsprofil an Wechselrichter für Kleinwindkraftanlagen
- Netzanschlussbedingungen für Kleinwindkraftanlagen
- Leitfaden für Betreiber

IMPRESSUM

Verfasser

Österreichische Gesellschaft für Umwelt und Technik (ÖGUT)
Hannes Warmuth
Hollandstraße 10/46, 1020 Wien
E-Mail: hannes.warmuth@oegut.at
Web: www.oegut.at/de/themen/energie/e-kleinwindkraft.php
Energieforschungspark Lichtenegg:
www.energieforschungspark.at

AutorInnen

- Hannes Warmuth
- Florian Zimmer
- Harald Prokschy
- Kurt Leeb
- Daniel Reiterer
- Roland Sterrer
- Thomas Nenning

Projekt- bzw. KooperationspartnerInnen

- EVN AG
Abteilung Dienstleistungen, Teamleiter
Harald Prokschy
2344 Maria Enzersdorf, EVN Platz
E-Mail: harald.prokschy@evn.at
Web: www.evn.at
- AEE - Arbeitsgemeinschaft
ERNEUERBARE ENERGIE NÖ-Wien
- Solvento Energy Consulting GmbH
- Fachhochschule Technikum Wien GmbH
- energiewerkstatt° TECHNISCHES BÜRO
UND VEREIN ZUR FÖRDERUNG
ERNEUERBARER ENERGIE
- WICON Engineering GmbH

Eigentümer, Herausgeber und Medieninhaber

Klima- und Energiefonds
Gumpendorfer Straße 5/22
1060 Wien
E-Mail: office@klimafonds.gv.at
Web: www.klimafonds.gv.at

Disclaimer

Die Autoren tragen die alleinige Verantwortung für den Inhalt dieses Berichts. Er spiegelt nicht notwendigerweise die Meinung des Klima- und Energiefonds wider.

Der Klima- und Energiefonds ist nicht für die Weiternutzung der hier enthaltenen Informationen verantwortlich.

Gestaltung des Deckblattes

ZS communication + art GmbH