

Wirtschaftlichkeit von kleinen Windkraftanlagen

Vortrag im Rahmen des Fachforums
„Strom aus Klein-Windkraft-Anlagen „
16.05.2017 Bauzentrum München

Referent: Thomas Kopp
Sprecher Region Süd im BVKW e.V.

Agenda

1. Vorstellung des Verbandes
2. Motivation für eine Kleinwindanlage
3. Voruntersuchung Kleinwindkarte
4. Standort Auswahl / Micro Sitting
5. Aufarbeitung der Windmessung (Häufigkeit)
6. Leistungskurve der Windkraftanlage
7. Berechnung des Jahresertrags
8. Investitionskosten
9. Wirtschaftlichkeit



1. Vorstellung des Verbandes



Mitglied
1 Stimme



Bundesverband
Erneuerbare Energie e.V.

Steckbrief

Gegründet: 2009

Mitglieder: ~ 250 (Stand 12/2016)

Vorsitzende: 1. Stefan Schwartzkopf,
2. Norman Günther

Sitz des Vereins: seit 2016, Berlin im Büro der
Verbände

Hauptaufgaben: Baurecht, Technologie,
Öffentlichkeitsarbeit , Expertise , Anhörung

Beiräte: Technischer Beirat und juristischer Beirat

Regionalgruppen: Nord, Ost, Süd, West



2. Motivation für eine Kleinwindanlage

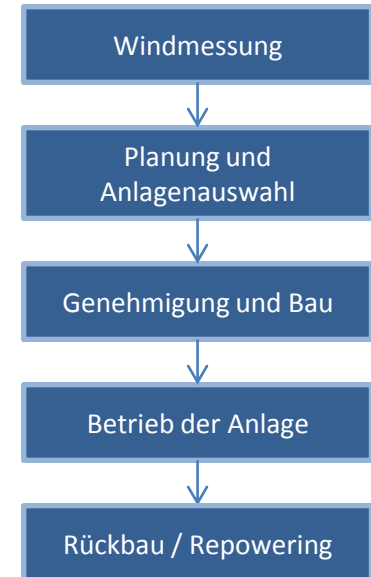
Hobby / Freude am
Windrad

- Spaß an der Technik
- Spaß an sichtbarer
Energieproduktion vor Ort
- ökologischer Gedanke

Image / Werbung

- Werbewindanlagen
- Imagesteigerung durch
Windanlage

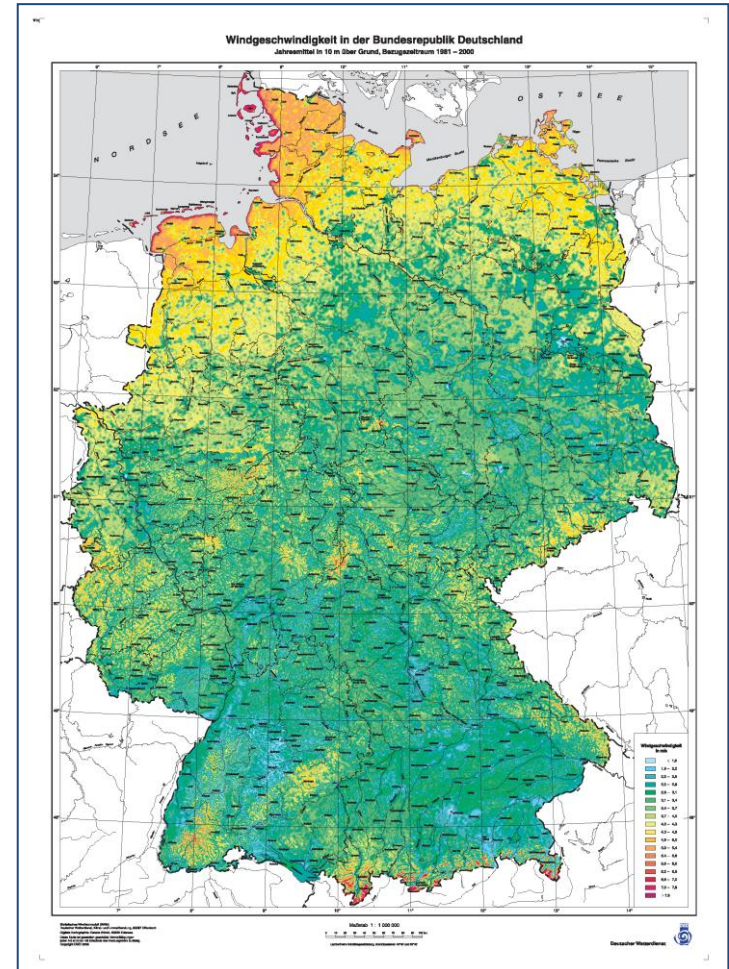
Wirtschaftlichkeit



3. Voruntersuchung zur Windhöfigkeit

Die Voruntersuchung kann durch folgende Werkzeuge oder einer Kombination dieser erfolgen:

- Windpotenzialatlas 10m über Grund, DWD
- Windfinder.com, historische Daten
- Tool TU Delft
- öffentliche Wetterstationen mit Zugang zu Daten
- weitere Online Tools zum site assessment



Quelle: Windfinder.com,
Messstation München- Stadt,



Monat des Jahres	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	1-12
Vorherrsch. Windrichtung	➤	➤	➤	➤	➤	➤	➤	➤	➤	➤	➤	➤	➤
Wind-Wahrscheinlichkeit >= 4 Beaufort (%)	12	11	13	8	8	5	7	5	4	5	9	13	8
Durchschnittliche Windgeschwindigkeit (m/s)	4	4	4	4	4	3	4	3	3	3	3	4	3
Durchschnittl. Lufttemp. (°C)	2	3	6	12	15	19	22	21	17	11	7	4	11

4. Genau Standort Wahl/ micro sitting

Die Hauptwindrichtung sollte möglichst frei angeströmt werden!
Keine Bäume, Häuser oder Büsche in Hauptwindrichtung->Turbulenzen, Abstand zu Hindernissen

Art der Messung	Genauigkeit der Messung	Kosten des Messsystems
Flutterband	-	~ 50 €
Wetterstation	+	~ 150 €
Semi -Professionelles Messgerät	++	Kauf ~ 500€ Miete ab 50 €
Professionelles Messgerät	+++	Kauf ab ~4.000 Miete ab 400 €

Die Windmessung sollte mindestens ein Jahr durchgeführt werden.

4. Genau Standort Wahl/Micro Sitting



Quelle: ELV.de

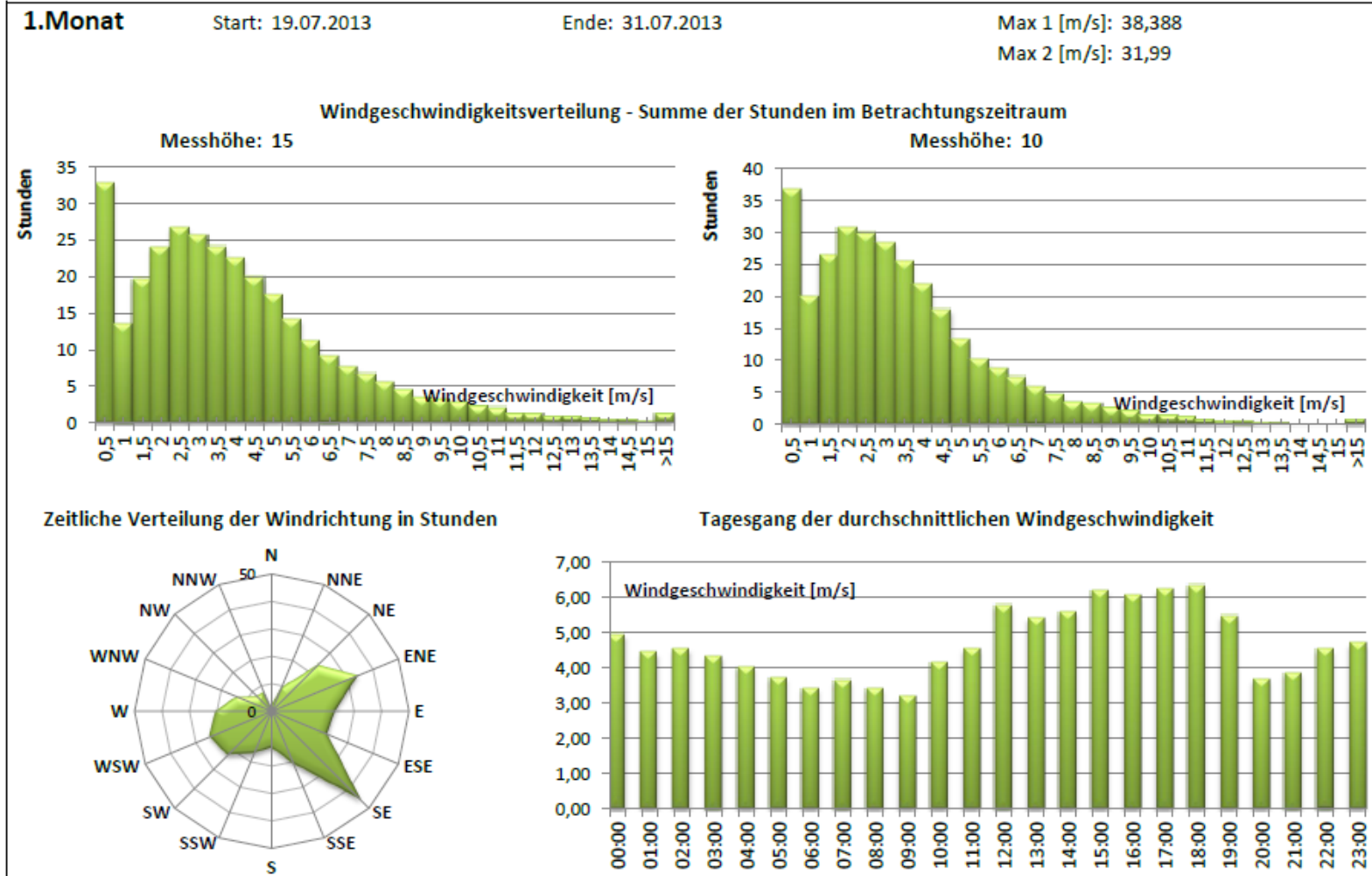


Quelle: LogicEnergy, Eigenwindenergie.de

Bei der Windmessung ist besondere Sorgfalt geboten.
Da die Windgeschwindigkeit mit der 3 Potenz in die Leistung eingeht.

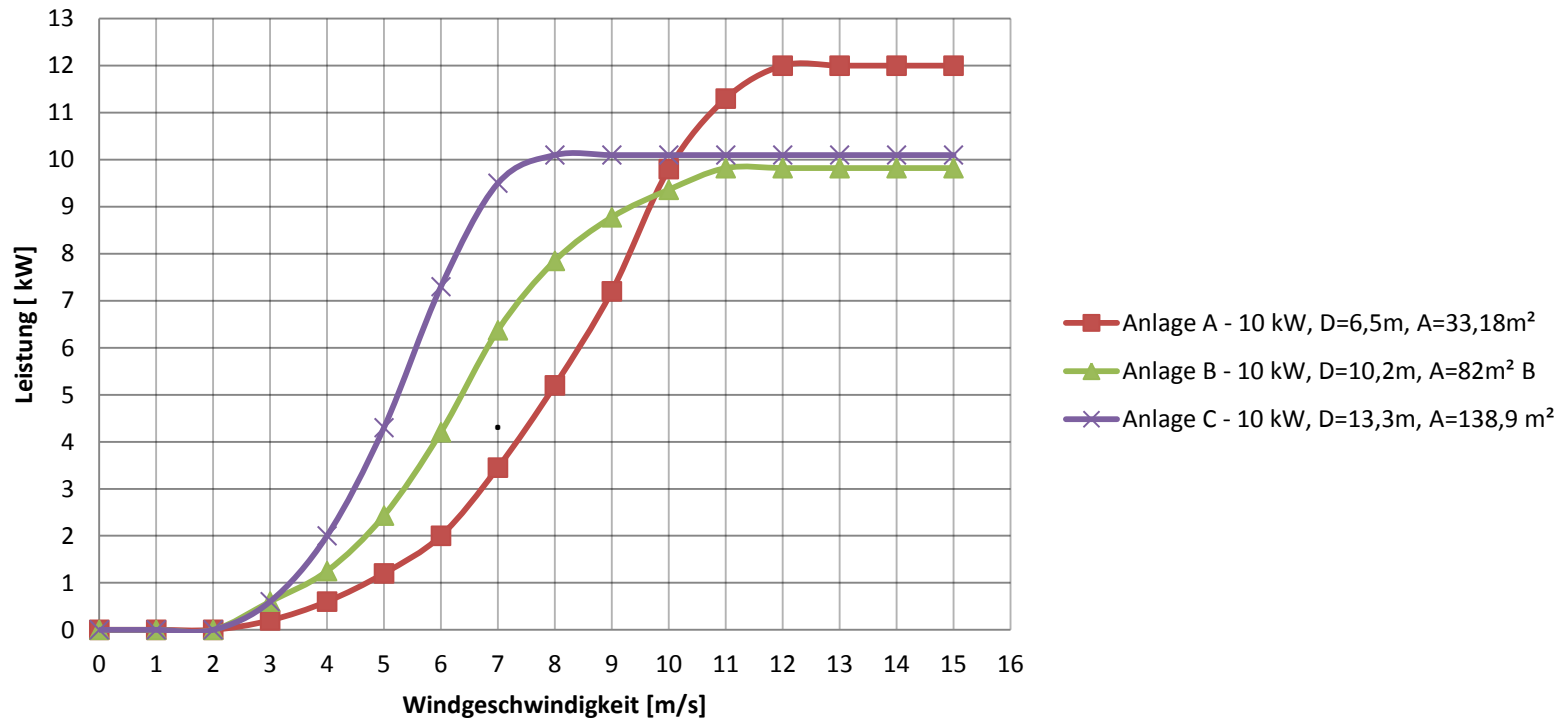
Man kann die Höhe der Messung noch korrigieren ebenso wie die Höhe über Meeresspiegel

5. Aufarbeitung der Windmessdaten



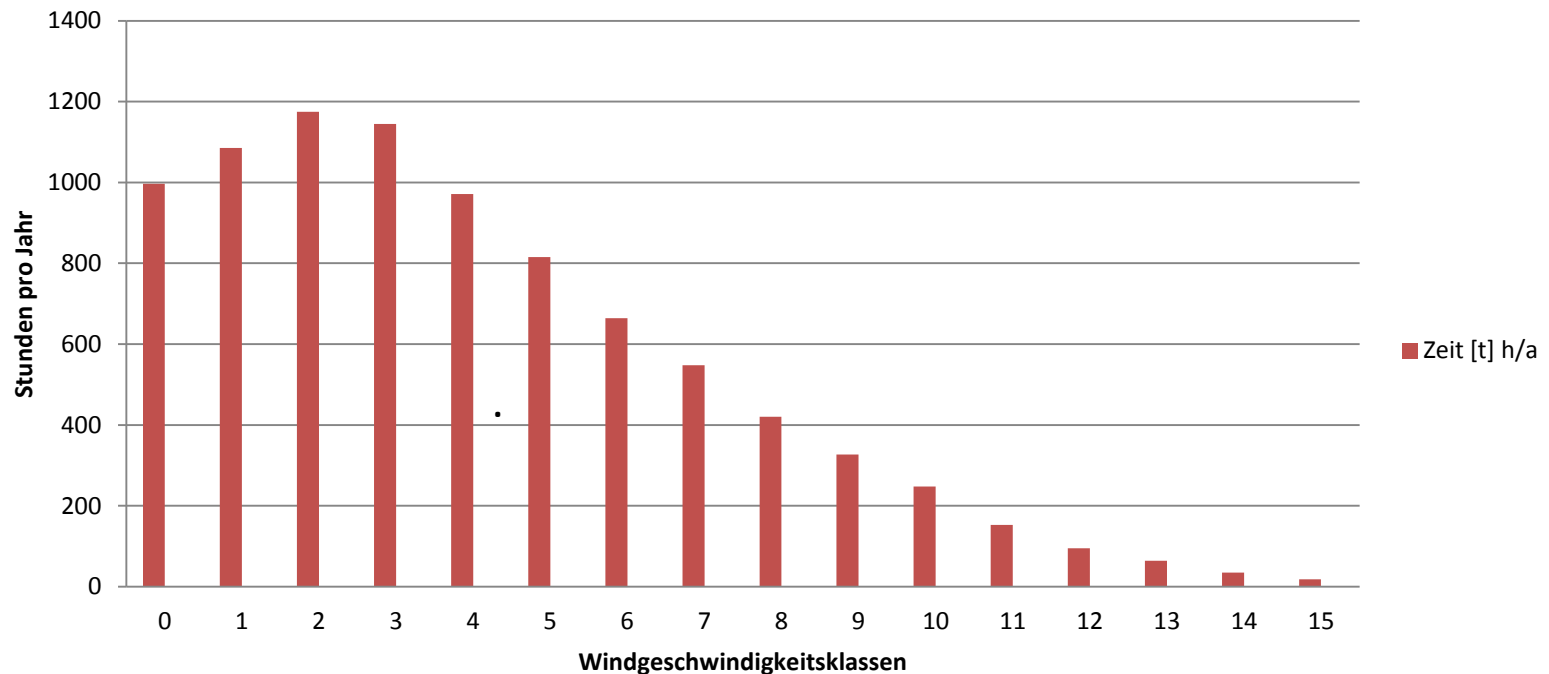
6. Leistungskurve der Windkraftanlage

Kennlinien Vergleich 10 kW Anlagen

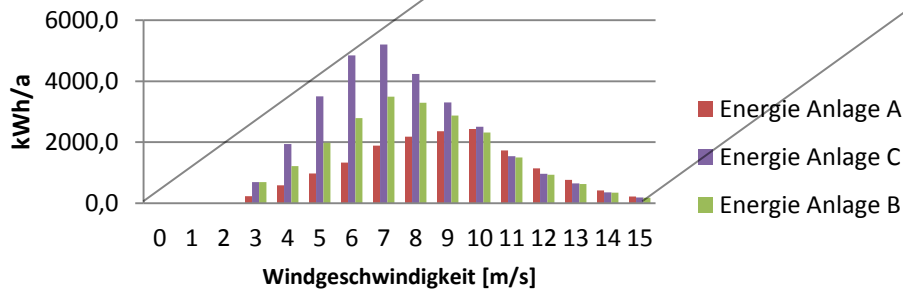
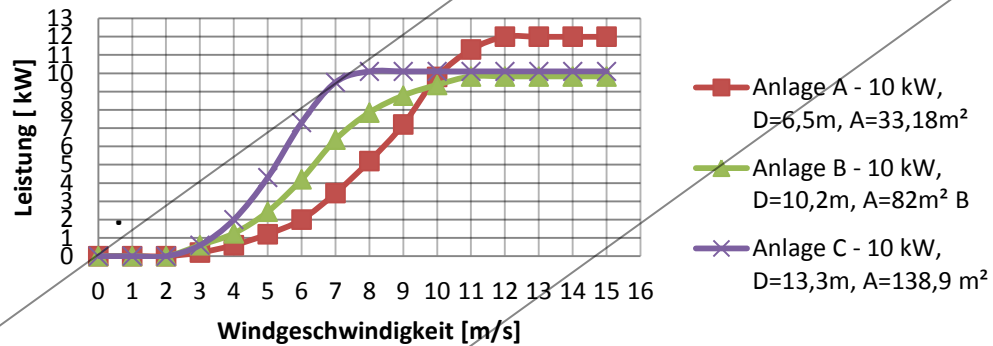
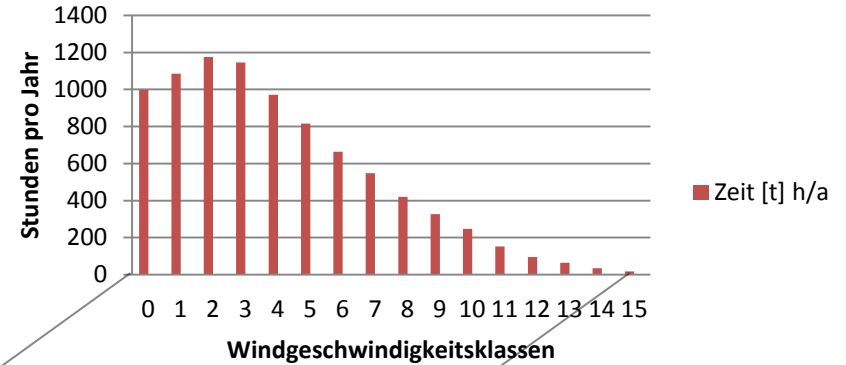


7. Berechnung des Jahresertrags

Häufigkeitsverteilung [t] h/a

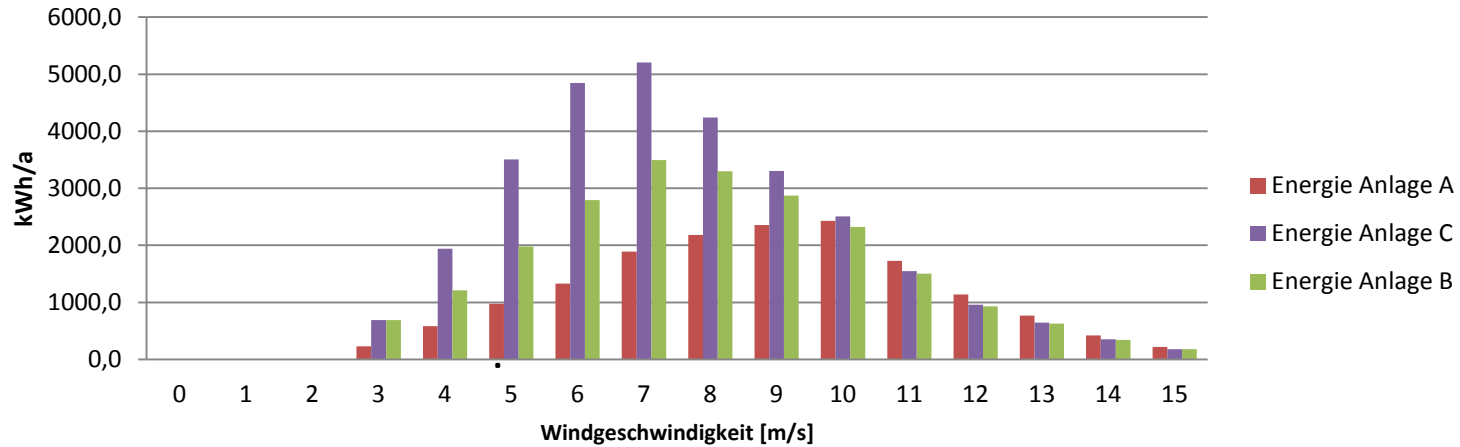


7. Berechnung des Jahresertrags



7. Berechnung des Jahresertrags

Energieerzeugung



	Energieertrag pro Jahr [kWh]
Energie Anlage A	16250
Energie Anlage B	22235
Energie Anlage C	29923

8. Investitionskosten

Projektkosten zur Netzeinspeisung in Deutschland

- Windmessung und oder Windgutachten
- Windturbine mit Generator
- Mast
- Gründung (Fundament, Erdanker, Seile....)
- Beratung, Baugenehmigung und zugehörige Gutachten (Statik und UVP)
- Einspeiseelektronik mit Vorschaltbox (Gleichrichter, Netzüberwachung)
- Stoppschalter, Überspannungsschutz (zur Turbine, vom Netz)
- Messgeräte und Energiezähler EVU
- Blitzschutz, Potenzialausgleich
- Anschlusskabel (Leistungskabel und Steuerkabel)
- Monitoring, Windmessung, Temperatur,...

Laufende Kosten:

- Betriebskosten (Reparatur, Wartung, Versicherung)
- Annuität (Zins, Tilgung für Fremdkapital)

8. Investitionskosten

Strompreise in Deutschland im Vergleich

Durchschnittlicher Preis in Cent je Kilowattstunde



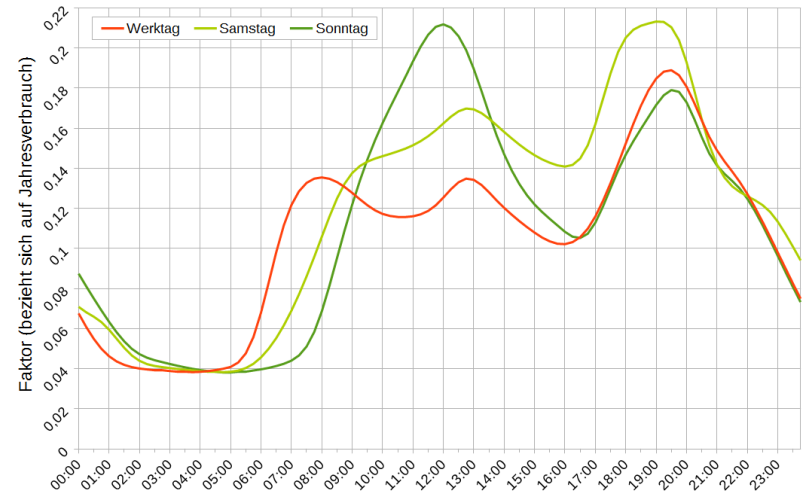
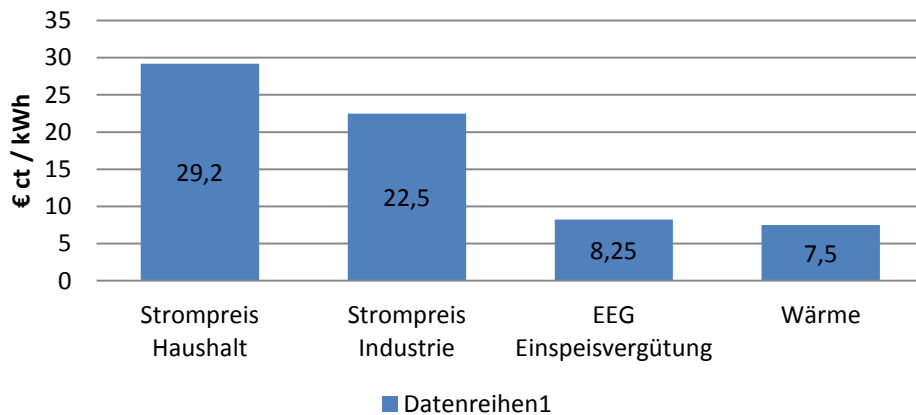
Quellen: BDEW, Eurostat, BNetzA, eigene Berechnungen
Stand: 10/2014



AGENTUR FÜR
ERNEUERBARE
ENERGIEN
unendlich-viel-energie.de

8. Investitionskosten

Energiebezugspreise und Einspeisevergütung



Quelle: Standardlastprofil H0 nach VDEW, Winter

Immer zuerst den Eigenverbrauch maximieren.

Genau Betrachtung über das Lastprofil oder noch besser ein gemessenes Lastprofil.

8. Investitionskosten spezifische Investitionskosten

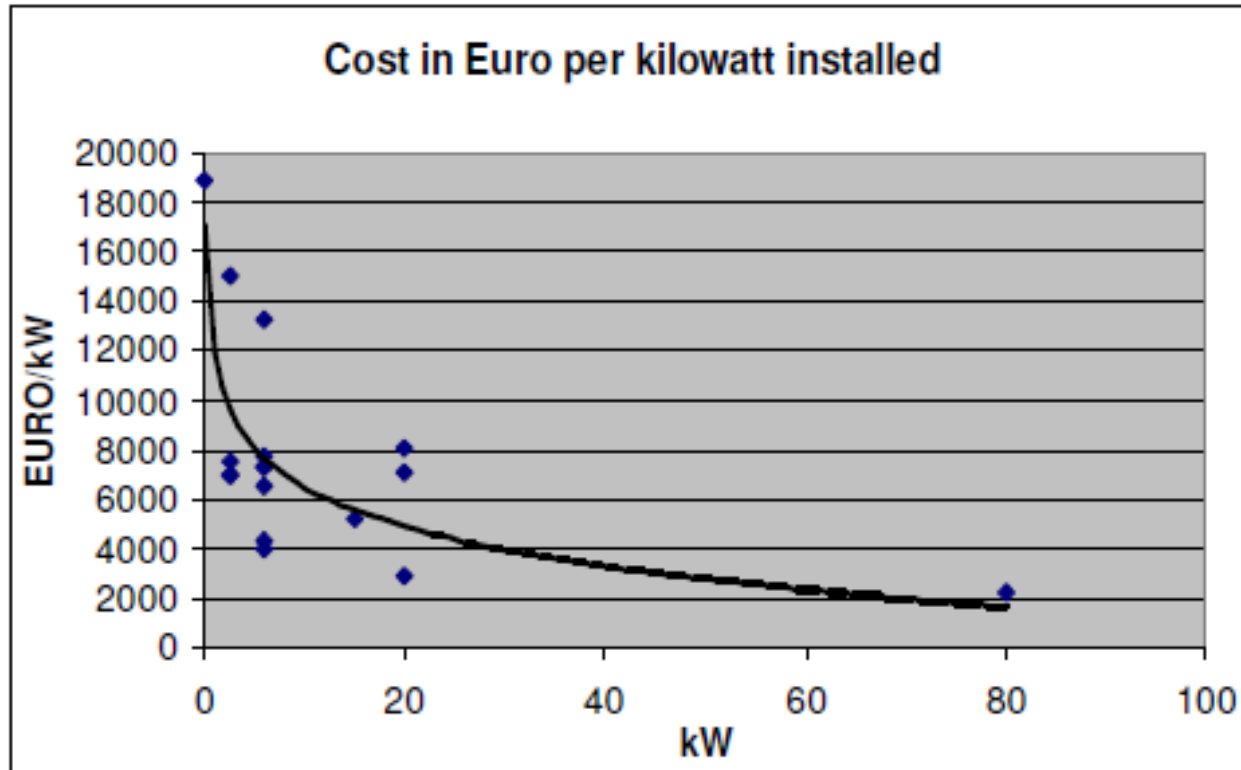


Figure 4. Cost per installed kW – Case study data, UK

Quelle: WINEUR Techno-Economic Report, Wind Energy Integration, 2005

9. Wirtschaftlichkeit

Daten

Windenergie

Windgeschwindigkeit (Messung)	3,35 m/s	Mittlere Windgeschwindigkeit in Messhöhe 10 m
k-Wert	1,80	Weibull Formfaktor
a-Wert	3,77	Weibull Skalierungsfaktor
Masthöhe	18 m	
Bodenrauigkeit	0,500	Parklandschaft / Vorstadtgebiete
Windgeschwindigkeit (Masthöhe)	4,01 m/s	Mittlere Windgeschwindigkeit in Masthöhe

Nennleistung	10,00 Kilowatt
Nennwindgeschwindigkeit	7 m/s
Rotor ø	13,20 m
Rotorfläche	136,70 m ²
Anzahl Flügel	3
Bauform	Horizontal
Windausrichtung	Luvläufer
Stromertrag / Jahr brutto	25.052 kWh
Systemverluste in Prozent	5%
Stromertrag / Jahr netto	23.799 kWh

Kosten & Finanzierung

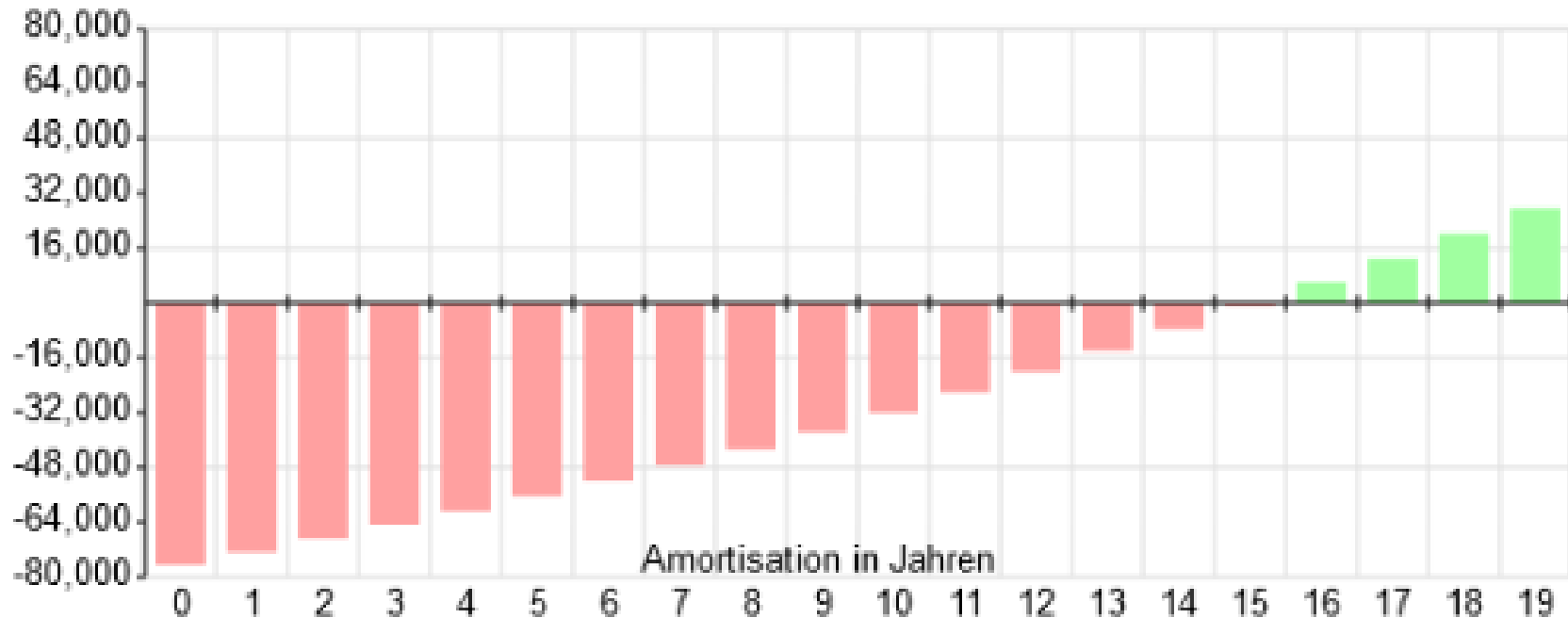
Gesamtkosten Windkraftanlage	80.000 Euro	Schlüsselfertige Anlage inkl. Projektkosten
Eigenkapital	25.000 Euro	
Anteil Eigenkapital	31%	
Fremdkapital	55.000 Euro	Gesamtkosten abzüglich Eigenkapital
→ Zinssatz	2,00%	
→ Laufzeit Darlehen	10 Jahre	
→ Rate pro Monat	506 Euro	
Betriebskosten 1. Jahr	360 Euro	
→ Steigerung pro Jahr	1,0%	
Betriebskosten 20. Jahr	435 Euro	

9. Wirtschaftlichkeit

Stromnutzung

Stromertrag netto	23.799 kWh	Aus Zeile 22 übernommen.
Eigenverbrauch	21.000 kWh	
Anteil Eigenverbrauch	88%	
Einspeisung	2.799 kWh	
Einspeisetarif	8,25 Cent pro kWh	
Strompreis aktuell	23,50 Cent pro kWh	
Strompreis-Steigerung p.a.	3,0%	
→ Strompreis 10. Jahr	30,7 Cent pro kWh	
→ Strompreis 20. Jahr	41,2 Cent pro kWh	

9. Wirtschaftlichkeit



132.605 € 4.619 € 7.927 € 5.729 €

Amortisation im Jahr:	15
Stromgestehungskosten:	19,7 Cent pro kWh
Einnahmen in 20 Jahren:	137.224 Euro
Ausgaben in 20 Jahren:	93.656 Euro
Ergebnis nach 20 Jahren:	43.568 Euro

Quelle: Tool von www.klein-windkraftanlagen.com

9. Wirtschaftlichkeit Stromgestehungskosten

Einflussfaktoren der Stromgestehungskosten

- Anschaffungsinvestitionen
- Standortbedingungen
- Betriebskosten
- Lebensdauer der Anlage

**Stromgestehungskosten Kleinwindkraft
0,18 -3,0 €/ kWh**

$$LCOE = \frac{I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{A_t}{(1+i)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{M_{el}}{(1+i)^t}}$$

LCOE Stromgestehungskosten in Euro/kWh

I_0 Investitionsausgaben in Euro

A_t Jährliche Gesamtkosten in Euro im Jahr t

M_{el} Produzierte Strommenge im jeweiligen Jahr in kWh

i realer kalkulatorischer Zinssatz in %

n wirtschaftliche Nutzungsdauer in Jahren

t Jahr der Nutzungsperiode (1, 2, ...n)

Quelle: Fraunhofer ISE, Studie
Stromgestehungskosten Erneuerbare Energien,
2013

9. Wirtschaftlichkeit

Wirtschaftlichkeit im Betrieb

Beispiel 1

Anlagenleistung: 10 kW

Nabenhöhe: 18m

Standort: bei Kiel

Mittlere Windgeschwindigkeit: ~ 4 m/s:

Jahresertrag: 24.000kWh



Beispiel 2

Anlagenleistung: 10 kW

Nabenhöhe: 18m

Standort: im Binnenland

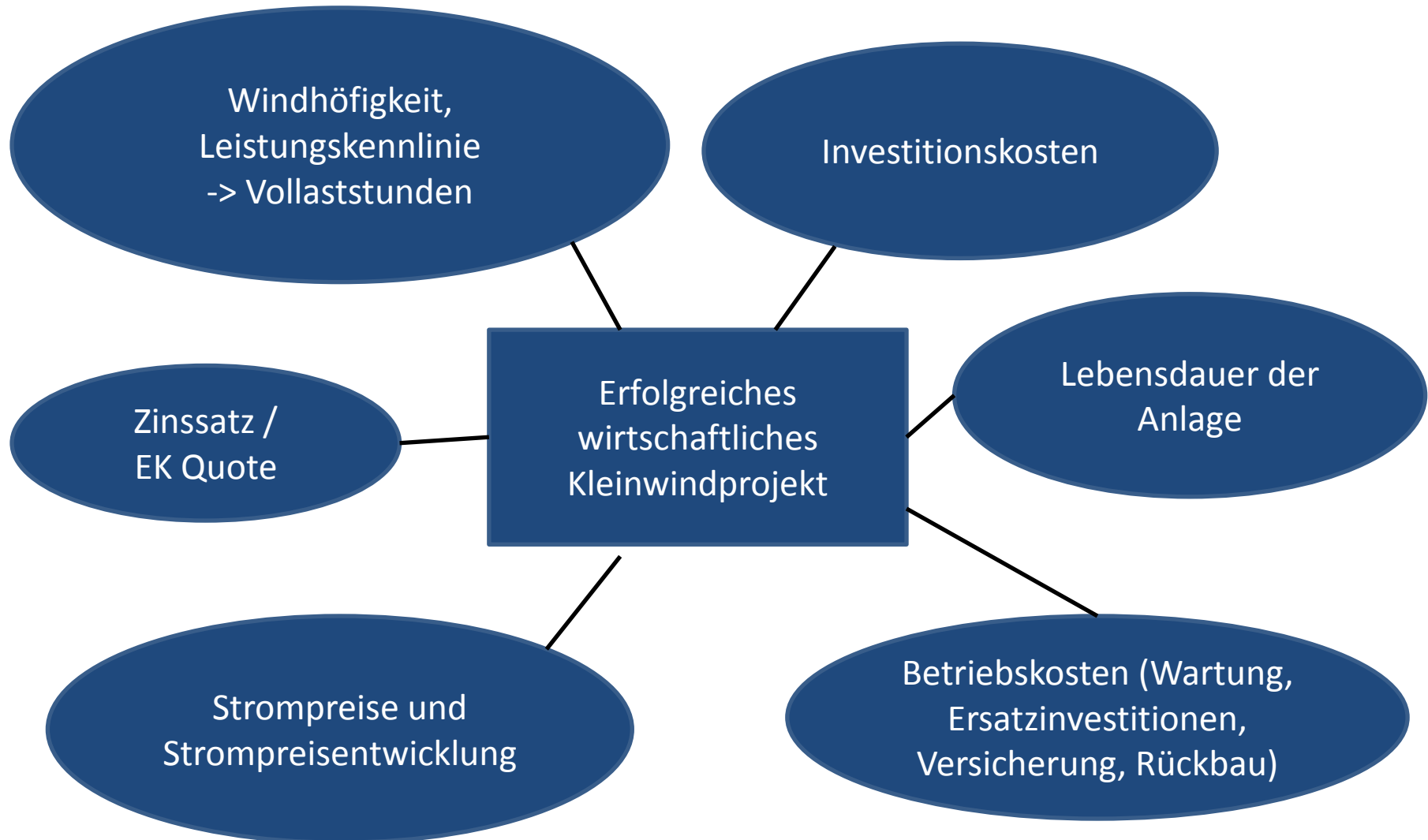
Mittlere Windgeschwindigkeit: ~ 3 m/s.

Jahresertrag: ca. 10.000kWh

Durch hohen Turbulenzen und Rauigkeit des Geländes stark verminderter Ertrag.

9. Wirtschaftlichkeit

Fazit





Kommenden Kleinwindveranstaltungen in Deutschland:

1-2.06.2017

**“SMALL WIND & SOLAR HYBRID SYSTEMS:
Key to a Self-Sufficient Energy Future”**

Inter Solar, Munich, Germany

<http://small-wind.org/events/world-small-wind-conference-2017/>



22.09.2017

**5. Kleinwindtagung
RENEXPO Augsburg**

Veranstalter: Messe Augsburg & BVKW e.V.

*[http://www.renexpo.de/de/kongress/gesamtu
bersicht.html](http://www.renexpo.de/de/kongress/gesamtubersicht.html)*



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Bundesverband Kleinwindanlagen / BVKW e.V.
Thomas Kopp – Sprecher Region Süd
Region.sued@bundesverband-kleinwindanlagen.de
Büro der Verbände
Charlottenstr. 65
10117 Berlin

<http://bundesverband-kleinwindanlagen.de>

<https://www.facebook.com/BvkwBundesverbandKleinwindanlagen>

- Gesamtsysteme Kleinwindkraft-Windfried Halhuber, Diplomica Verlag
- BWE Marktübersicht –Kleinwindanlagen, 2. Auflage , 2013
- Windkraftanlagen –Grundlagen, Entwurf, Planung und Betrieb, R. Gasch, J. Twele, 6. Auflage, 2010, Vieweg+Teubner
- Fraunhofer ISE, Studie: Stromgestehungskosten Erneuerbare Energien, 2013
- <https://www.klein-windkraftanlagen.com/kleinwindanlagen-rechner/>