

Neue Chancen für die Landwirtschaft mit Photovoltaik

18.01.2023

Technik und Wirtschaftlichkeit von Kleinwindanlagen

B. Sc. Vera Kragl

C.A.R.M.E.N.



C.A.R.M.E.N.

PARTNER

TEAM ENERGIEWENDE BAYERN



Bayerisches Staatsministerium für
Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie
Bayerisches Staatsministerium für
Ernährung, Landwirtschaft und Forsten

C.A.R.M.E.N. e.V.

Das Centrale Agrar-Rohstoff Marketing- und Energie-Netzwerk



C.A.R.M.E.N.



C.A.R.M.E.N.

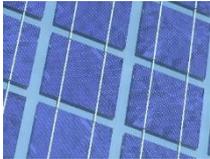


Unsere Themen



Holzenergie & Wärmenetze

Brennstoffe, Biomasseheizwerke, Biomasseheizkraftwerke, Wärmenetze, Häusliche Feuerstätten



Erneuerbare Energien

Solarenergie, Windenergie, Umweltwärme, Stromspeicher, Stromvermarktung



Biogas

Einsatzstoffe, Wirtschaftlichkeit, Ausschreibungen, Technik



Mobilität

Elektromobilität, Alternative Kraftstoffe



Stoffliche Nutzung

Ökologisch Bauen, Biowerkstoffe, Nachhaltige Beschaffung, Bioraffinerie, Mikroplastik, Sonderkulturen



Bioökonomie

Energieeffizienz

Akzeptanz

Nachhaltigkeit

C.A.R.M.E.N. – Was wir bieten



Beratung und Koordination

Biomasse / NawaRo
Erneuerbare Energien
Energieeffizienz

Erstinformation
Fördermöglichkeiten

Öffentlichkeitsarbeit

Publikationen
Vorträge
Veranstaltungen
Exkursionen
Messen
Internetauftritt

Technologie- und
Informationstransfer

Vernetzung

Mitarbeit in Verbänden
Vernetzen von Betreibern

Begutachtung,
Betreuung und
Evaluierung
einschlägiger Projekte

Gliederung

1. Definition Kleinwindenergieanlage
2. Potenzial für Kleinwindenergieanlagen
3. Technische Grundlagen
4. Wirtschaftlichkeit
5. Fazit





Definition Kleinwindenergieanlage

C.A.R.M.E.N.

Definition Kleinwindenergieanlage

Anlagengrößen von Kleinwindenergieanlagen

- Gesamthöhe: < 50 m („BlmSchG-Grenze“)
- Rotorfläche: < 200 m² (Rotordurchmesser < 16 m)
- Anlagenleistung: < 100 kW

C.A.R.M.E.N.

Definition Kleinwindenergieanlage

Leistungsklassen von Kleinwindenergieanlagen (gemäß BWE)

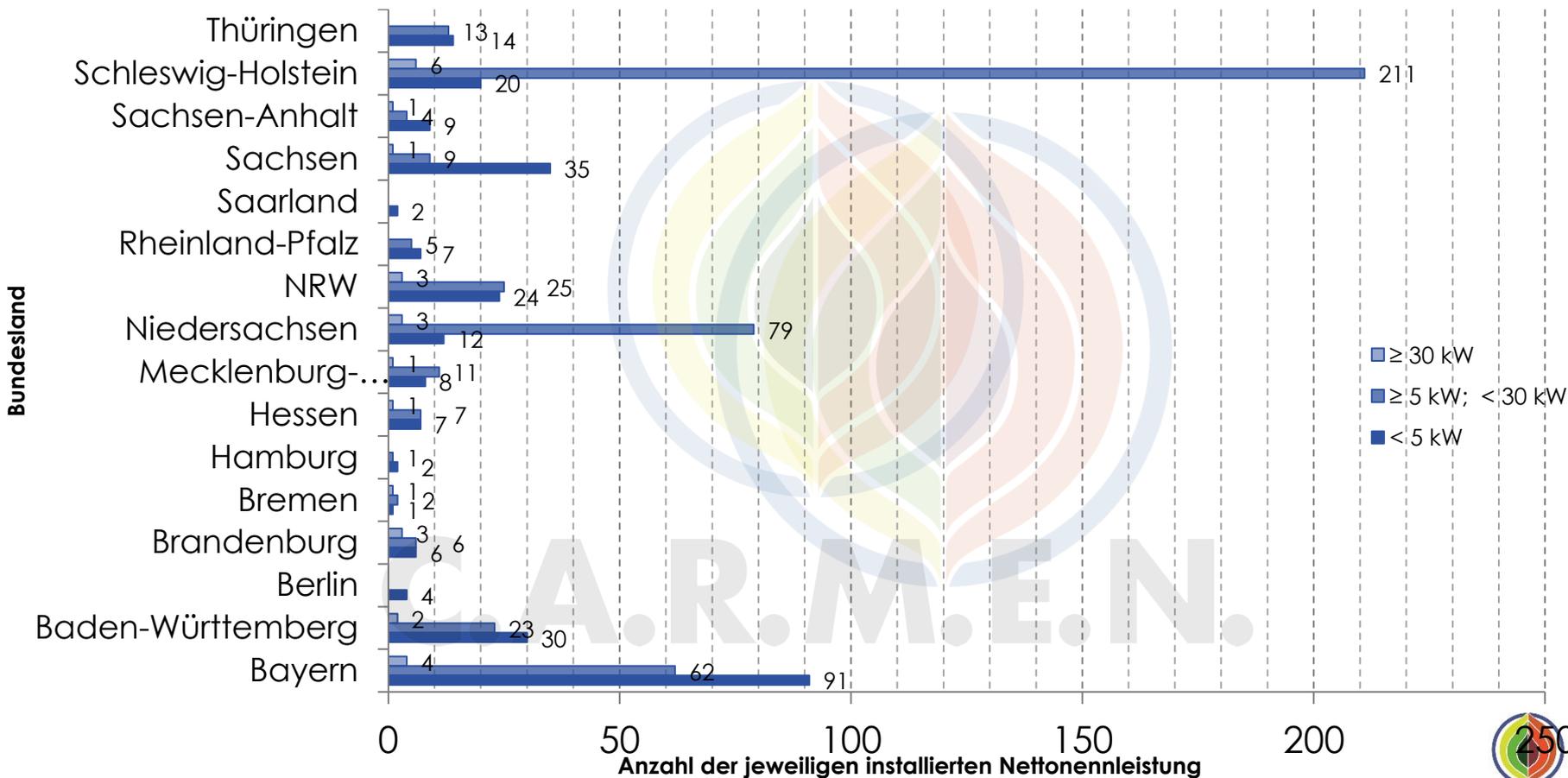
Leistungsklasse 1	bis 5 kW	Mikrowindenergieanlagen	<ul style="list-style-type: none">• Wohngebäude• Gekoppelt ans Stromnetz oder batteriegestütztes Inselsystem
Leistungsklasse 2	5–30 kW	Miniwindenergieanlagen	<ul style="list-style-type: none">• Gewerbebetriebe und Landwirtschaft• Netzkopplung zur Überschusseinspeisung
Leistungsklasse 3	30–100 kW	Mittelwindenergieanlagen	<ul style="list-style-type: none">• Gewerbebetriebe und Landwirtschaft• Netzkopplung zur Überschusseinspeisung



Potenziale für Kleinwindenergieanlagen

C.A.R.M.E.N.

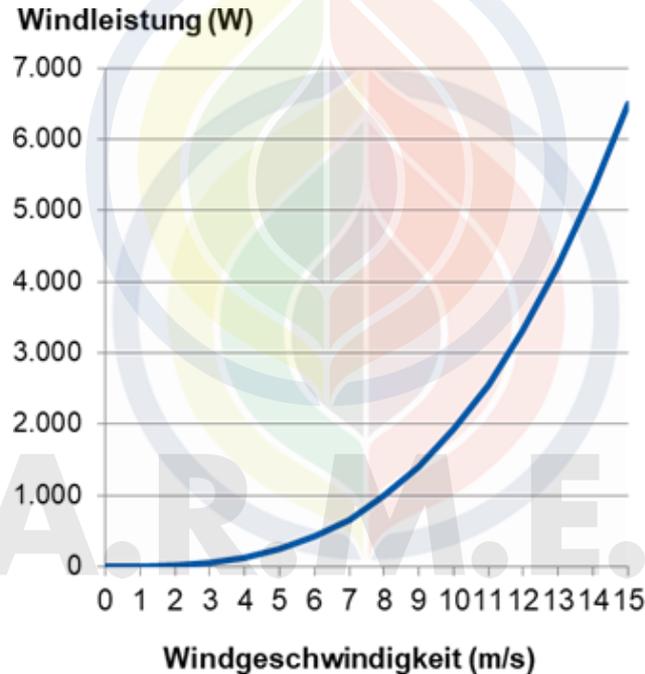
Nutzung Kleinwindenergieanlagen in Dt.



Quelle: Marktstammdatenregister, eigene Darstellung (Stand 15.03.2022)

Potenziale für Kleinwindenergieanlagen

Einfluss der Windgeschwindigkeit



Potenziale für Kleinwindenergieanlagen

Windgeschwindigkeit und Leistung des Windes

$$P = \frac{1}{2} \cdot A_R \cdot \rho_L \cdot v_W^3$$

$$P_1 = \frac{1}{2} \cdot 28 \text{ m}^2 \cdot 1,2041 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \left(5 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^3 \approx 2.107,2 \text{ W} \quad (\text{A})$$

$$P_2 = \frac{1}{2} \cdot 28 \text{ m}^2 \cdot 1,2041 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \left(10 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^3 \approx 16.857,4 \text{ W} \quad (\text{B})$$

$$\begin{aligned} \rho_L &= 1,2041 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \\ r_R &= 3 \text{ m} \\ v_{W,1} &= 5 \frac{\text{m}}{\text{s}} \\ v_{W,2} &= 10 \frac{\text{m}}{\text{s}} \end{aligned}$$

$$\frac{(\text{B})}{(\text{A})} = 8$$

→ Verdopplung der Windgeschwindigkeit führt zur Verachtfachung der Leistung!

Potenziale für Kleinwindenergieanlagen

Leistungsverhalten der Kleinwindanlage

$$P_{el} = c_p * \frac{1}{2} * \rho * A_R * v_w^3$$

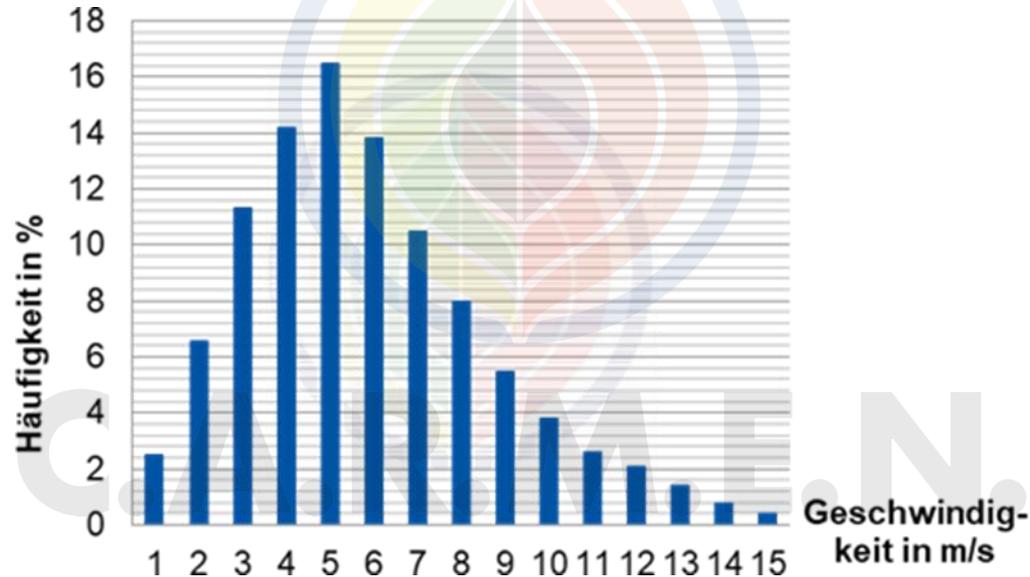
- Leistungsbeiwert c_p : Wirkungsgrad (Vereinfacht dargestellt)
- Überstrichene Rotorfläche A_R : „Winderntefläche“
→ Sollte möglichst groß sein

C.A.R.M.E.N.

Potenziale für Kleinwindenergieanlagen

Verteilung der Windgeschwindigkeit

Beispiel Verteilung an einem fiktiven Windmesstandort



Potenziale für Kleinwindenergieanlagen

Einfluss der Umgebung

Standort kann **a) laminare** und/oder **b) turbulente** Strömungen aufweisen

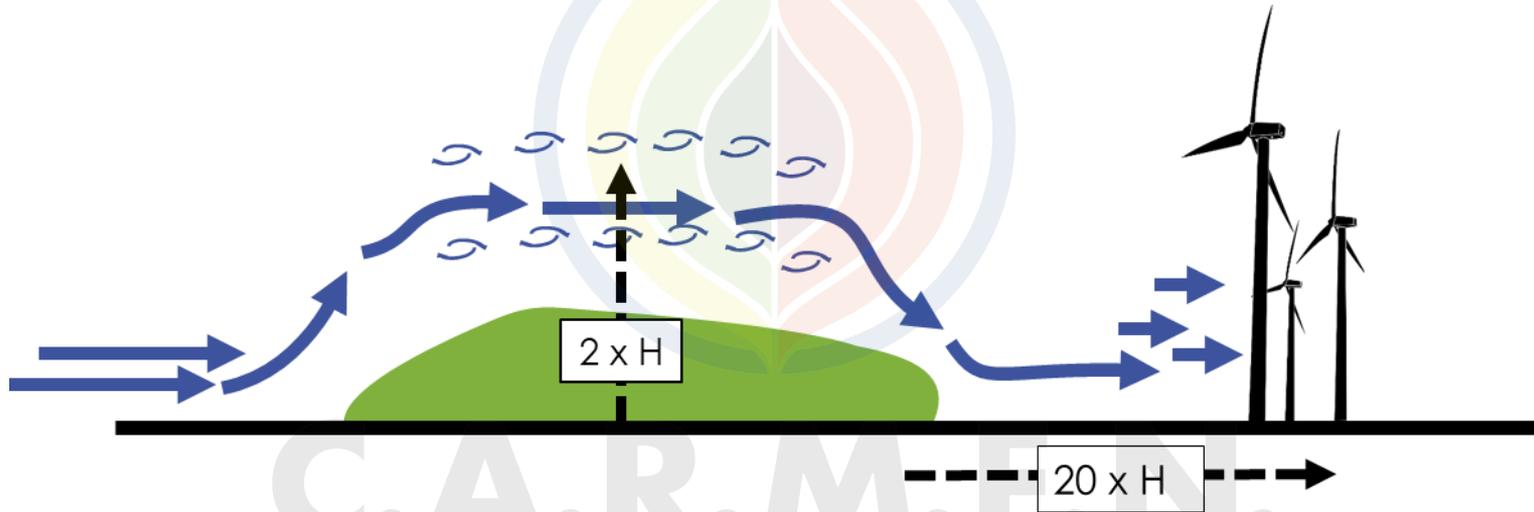


- laminare Strömungen sind effektiv verwertbar
- Verwirbelungen führen zu höheren mechanischen Beanspruchungen

Potenziale für Kleinwindenergieanlagen

Wind als Standortfaktor

Freie Anströmbarkeit aus der Hauptwindrichtung vorteilhaft



→ Turbulente Strömungen werden kaum in elektrische Energie umgewandelt

Potenziale für Kleinwindenergieanlagen

Windmessung

Arten der Windmessungen:

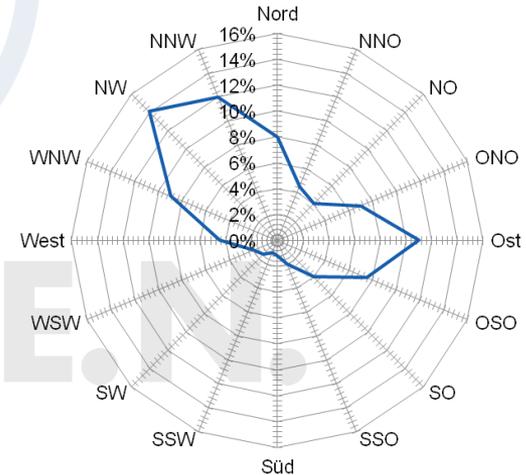
- Flatterbandtest → um Turbulenzen festzustellen
- Hand-Windmesser → zur groben Einschätzung des Windenergiepotentials
- Windmesstationen → für Langzeitmessungen zur fundierten Standortevaluierung

Potenziale für Kleinwindenergieanlagen

Windmessung

Ergebnisse der Windmessungen:

- Mittlere Jahreswindgeschwindigkeit in m/s
- Windrichtung
- Windhäufigkeitsverteilung





Technische Grundlagen

C.A.R.M.E.N.

Technische Grundlagen

Horizontalläufer

Merkmale:

- Auftriebsläufer → i.d.R. mit aktiver Windnachführung

Vorteile:

- Hohe Anlagenwirkungsgrade
- Bewährte Technologie
- Geringeres Gewicht
- Geringere Anlagenkosten

Nachteile:

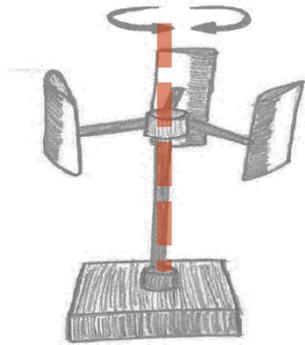
- Windnachführung erforderlich
- Schattenschlag



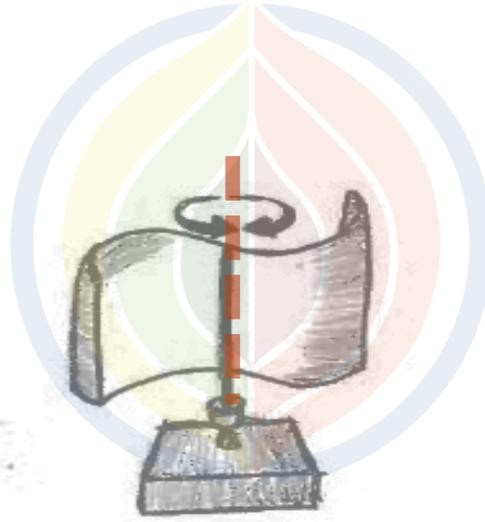
--- Drehachse

Technische Grundlagen

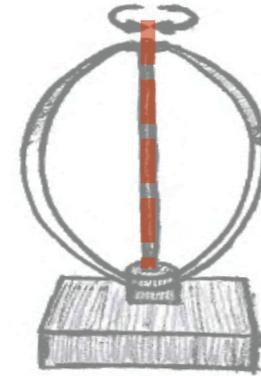
Vertikalläufer



H-Darrieus Rotor
(Auftriebsläufer)



Savonius Rotor
(Widerstandsläufer)



Darrieus Rotor
(Auftriebsläufer)

— Drehachse

Technische Grundlagen

Vertikalläufer

Vorteile:

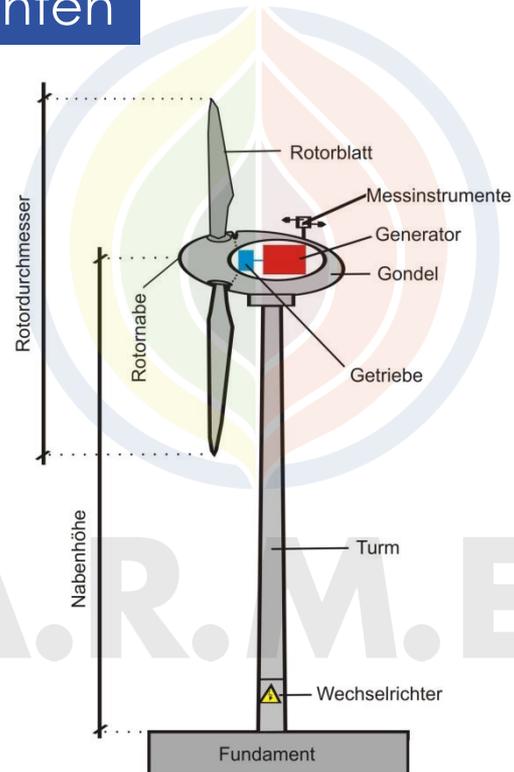
- Unempfindlich gegenüber drehenden Strömungen
- Gute Eignung als Werbeträger
- Niedrigere Schallemissionen

Nachteile:

- Niedriger Anlagenwirkungsgrad
- Begrenzte Masthöhen durch starkes Resonanzverhalten
- Hohes Gewicht
- Hohe Anlagen und Mastkosten
- Eigenstrombedarf zum Anlaufen

Technische Grundlagen

Technische Komponenten





Wirtschaftlichkeit

C.A.R.M.E.N.

Wirtschaftlichkeit

Einflussfaktoren



Wirtschaftlichkeit

Erlöse aus dem erzeugten Windstrom

- EEG-Einspeisevergütung für Windstrom: 9,18 ct/kWh
- Strompreis bei 37,30 ct/kWh (Stand: 2022)
(weitere jährliche Preissteigerungen realistisch)

→ **Mehrerlös bei Eigenverbrauch des Windstroms**

→ **Ziel: Eigenverbrauch maximieren**

- Nennleistung der Windanlagen nur so hoch wie nötig
- Windstrom zur Deckung der Grundlast

Wirtschaftlichkeit

Kosten einer Kleinwindenergieanlage

Investitionskosten

- Windmessung
- Techn. Anlagenkomponenten
- Zuwegung, Kranstellfläche
- Kabel, Anschlüsse
- Beratung, Planung, Genehmigung
- Evtl. Ausgleichsmaßnahmen

Bezogen auf Nennleistung:
3.000 – 7.000 €/kW

Betriebskosten

- Wartung, Reparaturen
- Versicherung
- Rücklagen für Anlagenrückbau
- Evtl. Pacht
- Zinsen

Ca. 2 % p.a. der Investitionskosten

Wirtschaftlichkeit

Parameter der Wirtschaftlichkeitsberechnung

- Zwei Szenarien:
 - 4 m/s in Nabenhöhe
 - 5 m/s in Nabenhöhe
- 2 % Strompreissteigerung
- 2 % Betriebskosten
- 3 % Betriebskostenentwicklung (Inflation)
- Verschiedene Eigenverbrauchsanteile:
 - 0 % → d.h. 100 % Netzeinspeisung gegen EEGVergütung
 - 50 % Eigenverbrauchsquote
 - 75 % Eigenverbrauchsquote
 - 100 % Eigenverbrauchsquote

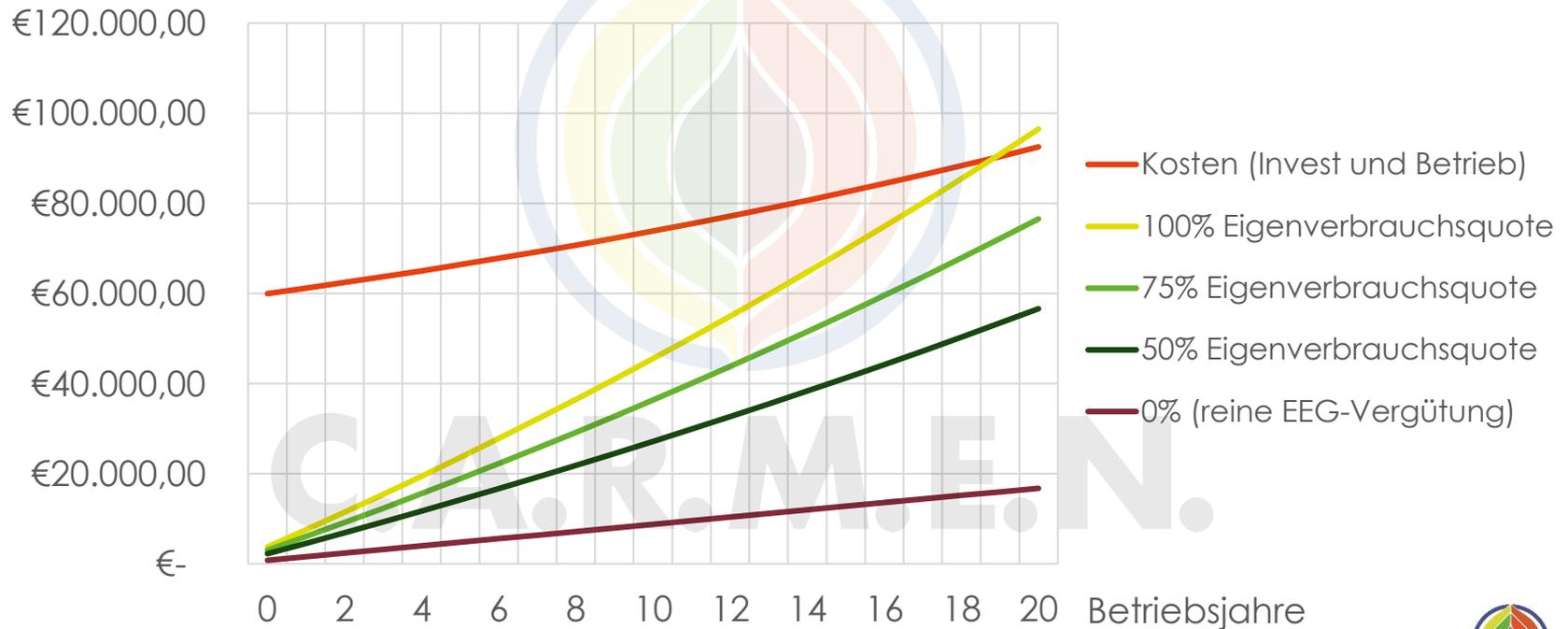
Wirtschaftlichkeit

Beispielanlage

Windkraftanlage – 10 kW		
Rotordurchmesser (m)		7,5
Rotorfläche (m ²)		176,7
Investition (€)		58.800,00
Investitionskosten bezogen auf Leistung (€/kW)		5.880,00
Jährliche Betriebskosten (€/a)		1.176,00
Jahresstromertrag (kWh/a) bei	4 m/s	10.033
Jahresstromertrag (kWh/a) bei	5 m/s	17.356

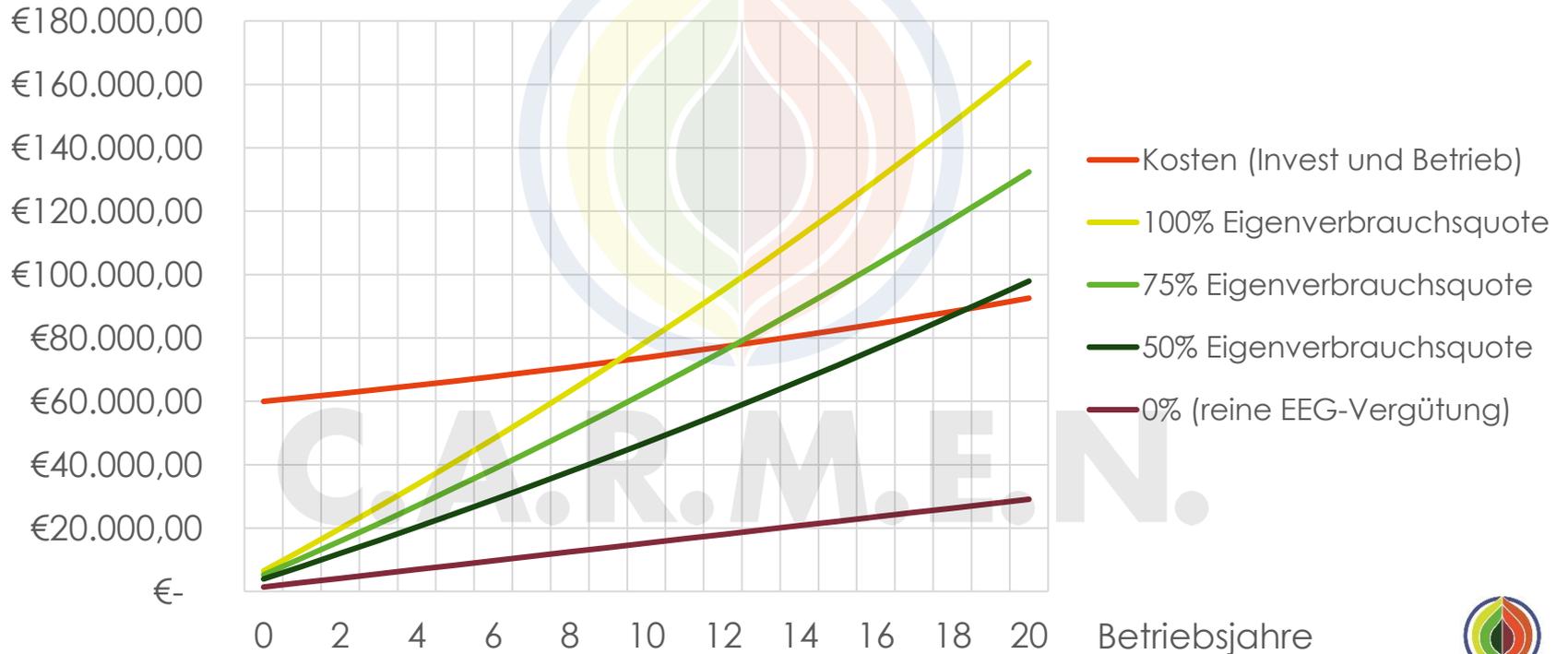
Wirtschaftlichkeit

Amortisationsdauer bei 4 m/s



Wirtschaftlichkeit

Amortisationsdauer bei 5 m/s



Wirtschaftlichkeit

Begünstigende Faktoren für die Wirtschaftlichkeit

- Hohe Eigenverbrauchsquote
 - Direkter Verbrauch vor Ort spart den Strombezug vom Energieversorger
 - Je weniger Strom eingespeist wird, desto höher ist der Wert des erzeugten Windstroms
- Höhere Strompreissteigerungen
 - Berechnungen basieren auf 2 % p.a.
 - Aber: durchschnittliche Steigerungen der letzten 10 Jahre: > 5 %

Fazit

- Eigenen Bedarf decken
 - Einspeisung minimieren
 - Nur so groß wie nötig dimensionieren:
Nennleistung \leq Grundlast
 - Unabhängigkeit von steigenden Energiepreisen erlangen
- Der **wirtschaftliche Betrieb** von Kleinwindanlagen ist möglich!

C.A.R.M.E.N. Kleinwindbroschüre



TEAM ENERGIEWENDE BAYERN



Bayerisches Staatsministerium für
Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie
Bayerisches Staatsministerium für
Ernährung, Landwirtschaft und Forsten



C.A.R.M.E.N.

Neue Chancen für die Landwirtschaft mit Photovoltaik

18.01.2023

Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!

B. Sc. Vera Kragl

C.A.R.M.E.N. e.V.

Schulgasse 18, 94315 Straubing

Tel: 09421/960-300

contact@carmen-ev.de www.carmen-ev.de



C.A.R.M.E.N.

Hilfreiche Links

- Globaler Windatlas: <https://globalwindatlas.info/en>
- BVKW e.V. → Infos zu Genehmigungen je Bundesland: <https://bundesverband-kleinwindanlagen.de/recht/>

C.A.R.M.E.N.