

# Kleinwindkraftanlagen - Technische Konzepte und Wirtschaftlichkeit

Winfried Halbhuber<sup>1\*</sup>



**TU** Einführung

- Kleinwindkraft = Möglichkeit der regenerativen Stromerzeugung für Eigenbedarf.
- bis jetzt praktisch nur Nischenanwendung:
  - Batterieladung für Berghütten, Segelyachten,...
  - Idealisten
- Interesse an Eigenerzeugung von Verbrauchern
  - Gründe: Klimaschutz, Unabhängigkeit von Energieversorgern
  - Vorbild: Photovoltaik
- **Aber:**
  - kaum wissenschaftliche Literatur zum Thema
  - Kleinwindkraftanlagen ≠ kleine Windkraftanlagen

→ Diplomarbeit, TU Wien, 2009

**TU**

Teil I  
Grundlagen

**TU** Wieviel Energie steckt im Wind?

abhängig von:

- Windgeschwindigkeit  $v_{\text{Wind}}^3$
- Querschnittsfläche des Rotors  $A$
- Luftdichte  $\rho$  ( $\rho \approx \text{const.}$ )

→ im Wind enthaltene Leistung:

$$P_{\text{Wind}} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v_{\text{Wind}}^3$$

**TU** Wieviel davon kann ich nutzen?

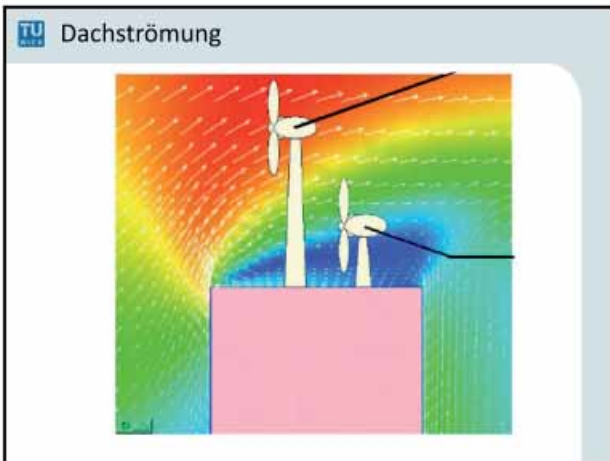
- Rotor des Windrads entnimmt mechanische Leistung  $P_{\text{mech}}$
- Anteil der entnehmbaren Leistung:  $P_{\text{mech}} = c_p \cdot P_{\text{Wind}}$ 
  - $c_p$  ist der Rotorleistungsbeiwert
- Betz'sches Gesetz:  $c_p$  ist maximal 0,59
  - → maximal etwa 60% der Windenergie nutzbar!
  - gilt für jede Rotorbauform!
  - tatsächlich: 10%...55%
- $c_p \neq$  Gesamtwirkungsgrad der Anlage

**TU** Höhenabhängigkeit des Windes

- unmittelbar über dem Boden ist  $v_{\text{Wind}} = 0$
- $v_{\text{Wind}}$  ist stark höhenabhängig
- Vorsicht bei Angaben zur Windgeschwindigkeit:
  - Referenzhöhe erfragen
  - in Windkarten üblicherweise 50m
  - Umrechnung auf Wunschhöhe näherungsweise möglich
- → auch sehr kleine Anlagen benötigen hohen Mast!
- Vorsicht bei Dachmontage:
  - turbulente Strömung
  - Lärmbelästigung durch Vibrationen

<sup>1</sup> Ortsstraße 86/2/3, A-2331 VÖSENDORF

\* Kontakt: Dipl.-Ing. Winfried HALBHUBER, e-mail: winfried(at)halbhuber.com



**TU Bauformen**

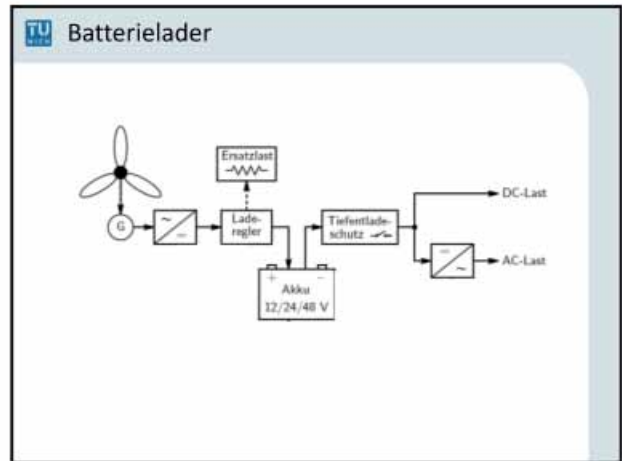
- horizontale Achse
  - Propellerbauform
  - bewährt
  - höchste Wirkungsgrade
- vertikale Achse
  - Savonius-Rotor
    - einfach zu bauen
    - sehr schlechter Wirkungsgrad
  - Darrius-Rotor
    - aufwändig
    - Anlaufhilfe erforderlich
  - H-Rotor
    - Weiterentwicklung des Darrius-Rotor

Labels: Savonius-Rotor, Darrius-Rotor, H-Rotor

**TU**

Teil II

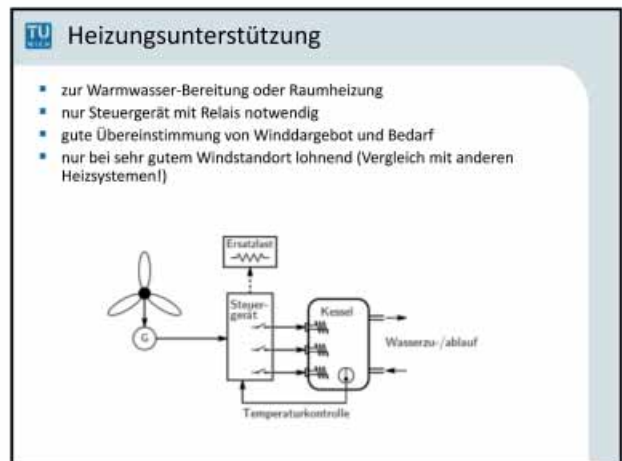
Systemkonzepte und Anwendungen



**TU Batterielader**

- viele Einsatzmöglichkeiten:
  - Wochenendhäuser, abgelegene Siedlungen
  - Bergbauernhöfe, Großfarmen
  - Segelyachten
  - Bohrinself (!)
  - Sendemasten
  - Straßenbeleuchtung
  - elektrischer Korrosionsschutz
  - Wetterstationen
  - Elektromobilität
  - ...

Images: A photograph of a wind turbine on a tall mast, and a photograph of a wind turbine on a roof structure.



**Netzeinspeisung**

größtes Problem: Netzeinspeisewechselrichter

- sehr hohe Anforderungen (Spannungsbegrenzung, Drehzahlregelung, ...)
- Photovoltaik-Wechselrichter absolut ungeeignet!
- nur eine Hand voll brauchbarer Geräte am Markt

**Probleme für Endkunden:**

- nur wenige Hersteller sind wirklich seriös und kompetent
- es werden fast nur Einzelteile verkauft
  - es gibt kaum schlüsselfertige Gesamtanlagen
  - Problem der Zusammenstellung bleibt beim Betreiber!
- Komponenten halten häufig nicht das, was sie versprechen
- es werden fast nie handfeste technische Datenblätter mitgeliefert
  - ingenieurmäßige Planung damit fast unmöglich
  - Anlagen funktionieren „irgendwie“, aber Erträge bleiben stark hinter den Erwartungen zurück

Teil III

Wirtschaftlichkeit

**Ertragsprognose**

Voraussetzungen:

- **Häufigkeitsverteilung der Windgeschwindigkeiten**
  - mittlere Jahreswindgeschwindigkeit nicht ausreichend!
  - Problem: Woher Daten nehmen?
- **Leistungskurve**
  - elektr. Leistung abhängig von Windgeschwindigkeit
  - wichtig: für Gesamtsystem!

**Ertragsprognose**

Berechnung des Jahresertrags:

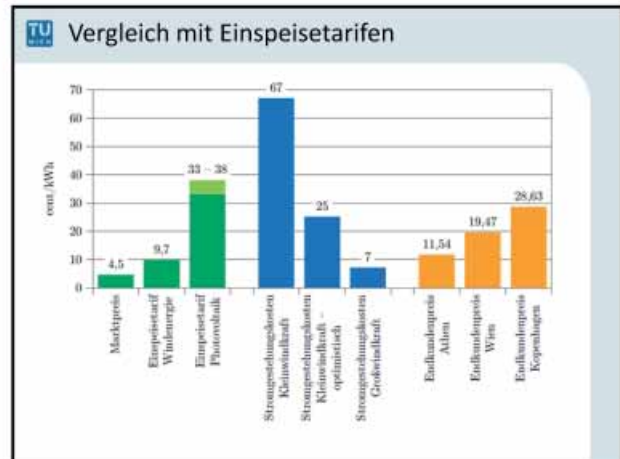
- Ergebnis: starke Abhängigkeit von Windgeschwindigkeit!
- Hersteller / Händler fragen:
  - Wie wurde gerechnet?
    - Welche mittlere Jahreswindgeschwindigkeit?
    - Welche Geschwindigkeitsverteilung?
    - Welche Leistungskurve?
- In der Praxis werden nur Bruchteile der erwarteten / versprochenen Erträge erreicht!

**Was kostet eine Kleinwindkraftanlage?**

- **Investitionskosten:**
  - nicht nur Kosten der Windturbine alleine!
  - Kosten der Komponenten (Mast + Fundament, Wechselrichter, Blitzschutz, Messgeräte, ...)
  - Transport und Montage
  - Nebenkosten (Versicherung, Windgutachten, Anschlussgebühr, ...)
  - minus: Förderungen, Eigenleistung
- **spezifische Investitionskosten:**
  - Investitionskosten bezogen auf Nennleistung
  - sinken mit wachsender Anlagengröße
  - Grund: Fixkosten von Mast, Wechselrichter, ...
  - **3.000 – 30.000 €/kW**

### TU Was kostet eine kWh Windstrom?

- **Bestimmungstücke:**
  - Investitionskosten
  - Lebensdauer
    - üblicherweise 20 Jahre
  - Zinssatz (für Investitionsrechnung)
  - Volllaststundenzahl
    - Wert aus der Ertragsprognose
    - z.B. 1000h
- **→ Ergebnis:**
  - Stromgestehungskosten: **67 cent/kWh** = erster Richtwert
  - optimistischere Annahmen führen auf **25 cent/kWh**
  - stark abhängig von Volllaststundenzahl und Investitionskosten!



### TU Zusammenfassung

- Technik ist noch nicht ausgereift
  - Probleme stecken in den Details
  - großes Verbesserungspotential bei Wechselrichtern
  - Hersteller/Händler versprechen häufig zu viel
  - unterscheide:
    - Anlage funktioniert im Prinzip
    - Anlage hat maximale Energieausbeute
- Betrieb i.d.R. wirtschaftlich (noch) nicht lohnend
  - Anlagen noch zu teuer
  - Einspeisetarife berücksichtigen Kleinwindkraftanlagen nicht
  - Verbesserung zu erwarten durch höhere Stückzahlen, Verbesserung in der Herstellung, steigende Energiekosten.

### TU weiterführende Literatur

- Günther Hacker:
  - „Wind ins Netz: Netzeinspeisung und Akkuladung mit neuen Kleinwindrädern“
  - Eigenverlag, St. Georgen (D), 2007
  - Erfahrungsberichte
  - Praxistests
- Christian Kirchweiger:
  - „Kleinwindkraft in der Praxis – Grundlagen, Markt, Potenziale, Probleme“
  - Diplomarbeit, BOKU Wien, 2009
- Winfried Halbhuber:
  - „Betrieb von Kleinwindkraftanlagen – ein Überblick über Markt, Technik und Wirtschaftlichkeit“
  - Diplomarbeit, TU Wien, 2009