

Nutzung der Windenergie zur Tränkwasserversorgung auf Weiden

Ing. M. Kopplin, KDT, VEB Ingenieurbüro für Meliorationen Bad Freienwalde

Verwendete Formelzeichen

A	m ²	Windradfläche
c _m		Drehmomentenbeiwert
c _p		Leistungsbeiwert
c' _p		Leistungsbeiwert der Windradausführung
D	m	Windraddurchmesser
F _r	N	Kraft am Flügelradius
H _s	MPa	Saughöhe
H _d	MPa	Druckhöhe
M _d	Nm	Drehmoment der Windradwelle
m _l	kg	Masse der Luft
m ₀	kg/s	Massendurchsatz
n _w	U/min	Nennrehzahl des Windrades
n _{opt}	U/min	optimale Drehzahl des Windrades
P _{w0}	W	Bruttowindleistung
P _w	W	theoretisch nutzbare Leistung
P _M	W	Leistung an der Windradwelle
P _N	W	Nennleistung
R	m	Windradradius
u _r	m/s	Umfangsgeschwindigkeit am Radius
u ₀	m/s	Umfangsgeschwindigkeit des Windrades
V̇	m ³ /h	Förderleistung
v ₀	m/s	Windgeschwindigkeit vor dem Windrad
v̄	m/s	mittlere Windgeschwindigkeit
W _e	Ws	kinetische Energie der strömenden Luft
ζ	%	Ausnutzungsgrad
η _{opt}	%	Wirkungsgrad des Windrades
λ _{opt}		Schnellaufzahl
ρ	kg/m ³	Dichte der Luft

Windkraftanlagen in der Landwirtschaft

In einer vom VEB Ingenieurbüro für Meliorationen Bad Freienwalde erarbeiteten Studie über die Nutzung von Alternativ- und Anfallenergie in der sozialistischen Landwirtschaft wird der Nutzung der Windkraft besonders im Meliorationswesen und in der Binnenfischerei der Vorrang gegeben [1]: Kriterien für einen effektiven Einsatz von Windkraftanlagen sind:

- relativ große Entfernungen zwischen Einsatzort und Elektrizitätsnetz
- objektbezogener geringer Energiebedarf
- Energieentnahme ist nicht auf bestimmte Zeiten begrenzt
- Zeiten hoher Windgeschwindigkeiten sind identisch mit Zeiten hohen Energiebedarfs
- Verbraucher kann sich nach dem Windangebot richten
- zusätzliche Energieträger sind nicht erforderlich.

Eine maßgebliche Größe für den Einsatz der Windenergie ist der standortabhängige Windanfall. Deshalb sind Maschinen zu entwickeln, die schon bei Windgeschwindigkeiten von v₀ = 2,5 m/s anlaufen und bei mittleren Windgeschwindigkeiten von v̄ = 3,5...4,4 m/s die Energie des Luftstroms in mechanische Arbeit umwandeln [2].

Um von Windrichtung und Windgeschwindigkeit, vor allem von Böen, unabhängig zu sein, sind Windnachführungseinrichtungen und Regelungssysteme erforderlich, die von der einfachen Mechanik bis zur elektronischen Regelung und Steuerung reichen [3]. Bestimmte Typen von Windkraftanlagen haben auch in windschwachen Regionen für einfache Technologien ihre Berechtigung. In

exponierten Gebieten an der Küste und im Mittelgebirge, die elektroenergetisch nicht erschlossen sind, kann auch die Erzeugung von elektrischem Strom wirtschaftlich sein. In der DDR-Landwirtschaft wird die Windkraft u. a. für die Förderung von Tränkwasser aus Brunnen eingesetzt. 15 Windkraftanlagen unterschiedlicher Baugrößen wurden bisher in 6 Bezirken getestet. Für die Praxis wurden 3 Varianten von Windkraftanlagen entwickelt, erprobt und staatlich begutachtet.

Windenergie für die Tränkwasserversorgung

Leistung der Luftströmung

Bei den vorgestellten Varianten wird die strömende Luft über ein turbinenartiges Windrad mit profilierten Flügeln (Schaufeln) geleitet. Windräder sind Einrichtungen, die die kinetische Energie der strömenden Luft in mechanische Energie umwandeln und auf die Windradwelle übertragen. Diese mechanische Energie wird entweder indirekt über Generatoren in elektrische Energie umgewandelt oder direkt über Getriebe zum Antrieb von Arbeitsmaschinen (z. B. Kolbenpumpen) genutzt. Kolbenpumpen passen sich der Charakteristik des Windrades nicht an, haben andererseits aber den Vorteil, bereits bei kleinen Drehzahlen zu fördern. Die sich besser anpassenden Kreiselpumpen benötigen hohe Drehzahlen. Die Bewegungsenergie der Luft ergibt sich aus

$$W_e = \frac{m}{2} v_0^2 \quad (1)$$

Der Massendurchsatz durch eine Fläche ist $m_0 = A \rho v_0$.

$$\text{Man erhält die Bruttowindleistung} \quad (2)$$

$$P_{w0} = \frac{1}{2} A \rho v_0^3 \quad (3)$$

Die Luftdichte wird mit $\rho = 1,22 \text{ kg/m}^3$ eingesetzt.

Nutzbare Leistung

Mit Gl. (3) kann die Leistung einer Luftströmung mit der Windgeschwindigkeit v₀ ermittelt werden. Die Luft wird innerhalb des Windrades abgebremst und hat hinter dem Windrad noch eine bestimmte Restgeschwindigkeit behalten, d. h., der strömenden Luft wurde Energie entzogen [4]. Das Verhältnis der theoretisch nutzbaren Leistung zur Bruttowindleistung ergibt den theoretischen Leistungsbeiwert c_p:

$$c_p = \frac{P_w}{P_{w0}} \quad (4)$$

Betz hat im Jahr 1926 nachgewiesen, daß der theoretische Leistungsbeiwert c_p = 16/27 = 0,593 beträgt. Diesen Leistungsbeiwert konnten die Konstrukteure bisher noch bei keiner Ausführung von Windrädern erreichen. Bekannt sind 2-Blatt-Rotoren mit einem c'_{p, opt} ≈ 0,480.

Die vorgestellte Variante hat einen optimalen Leistungsbeiwert von c'_{p, opt} ≤ 0,35. Für jede

Tafel 1. Dauerleistung der Windräder bei v₀ = 3,5 m/s und 4,4 m/s

Windrad-durchmesser D m	Windrad-leistung		Nenn-leistung P _N W
	P _{M 3,5} W	P _{M 4,4} W	
3,5	90	195	1 100
4,0	120	240	1 450
5,0	190	375	2 250

Windradausführung ergibt sich ein Optimalwert für das Verhältnis der Umfangsgeschwindigkeit an den Flügelspitzen des Windrades und der Windgeschwindigkeit vor dem Windrad, den man als Schnellaufzahl λ_{opt} bezeichnet:

$$\lambda_{opt} = \frac{u_0}{v_0} = \frac{2\pi n_w}{v_0 60} \quad (5)$$

Der Umwandlungswirkungsgrad η_{opt} ist der „Gütegrad“ des Windrades:

$$\eta_{opt} = \frac{P_N}{P_w} = \frac{P_N}{c'_{p, opt} P_{w0}} \quad (6)$$

Multipliziert mit dem Wert c_p, ergibt er den Leistungsbeiwert des Windrades:

$$c'_{p, opt} = \eta_{opt} c_p \quad (7)$$

Diese Werte gelten nur für die Schnellaufzahl λ_{opt}, die bei der vorgestellten Variante dem Wert λ_{opt} = 1,1 nahe kommt. Dreht sich das Windrad schneller oder langsamer, wird auch der Leistungsbeiwert kleiner.

Tafel 2. Jahresmittelwerte der Windgeschwindigkeiten ausgewählter Stationen [5]

Meßstation	Jahresmittel v̄ 1956/70	Häufigkeit v ₀ = 8 m/s von 8 760 h/a %
	m/s	
Warnemünde	5,1	4,1
Schwerin	4,1	3,2
Neustrelitz	3,5	1,7
Potsdam	4,4	2,7
Weimar	3,9	3,5
Fichtelberg	8,2	9,7

Bild 1. Spezifische Windradleistung in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit (Langsamläufer)

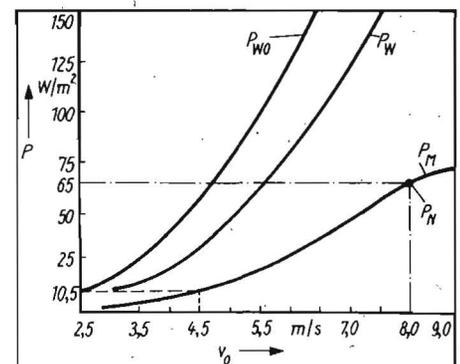




Bild 2. Windkraftanlage WiKA-4/18-W_{km} in der LPG(T) Glietz, Bezirk Cottbus

Die nutzbare Windradleistung ist von der Windgeschwindigkeit am Standort und vom Gütegrad des Windrades abhängig. Bild 1 verdeutlicht, wie mit der Windgeschwindigkeit v_0 die spezifische Leistung je Quadratmeter Windradfläche ansteigt. Im Binnentiefenland der DDR liegen die mittleren Windgeschwindigkeiten bei $\bar{v} = 3,5 \dots 4,4$ m/s, gemessen 10 bis 18 m über Oberkante Gelände. Die in den Prospekten angegebenen Nennleistungen P_N basieren auf durchschnittlichen Windgeschwindigkeiten von 8 bzw. 10 m/s [3]. Die Häufigkeit dieser Windgeschwindigkeiten ist sehr gering (rd. 3,0% von 8760 h im Jahr). Die Windradwellenleistung (Windmotorleistung) wird wie folgt errechnet:

$$P_M = \frac{1}{2} A \rho v_0^3 c_p' \text{opt} \quad (8)$$

Die optimale Drehzahl ist

$$n_{\text{opt}} = \frac{60 \lambda_{\text{opt}} v_0}{2\pi R} = \frac{60 \lambda_{\text{opt}} v_0}{\pi D} \quad (9)$$

Die Windradleistung steht mit dem Drehmoment des Windrades in folgender Beziehung:

$$P_M = F_r \cdot u_r = M_d \frac{2\pi n_w}{60} \quad (10)$$

Daraus folgt:

$$M_d = \frac{P_M \cdot 30}{\pi n_w} \quad (11)$$

Ist der Drehmomentenbeiwert bekannt, so ergibt sich das Drehmoment wie folgt:

$$M_d = \frac{1}{2} A \rho R v_0^2 c_m \quad (12)$$

Beim Langsamläufer ist das Anlaufdrehmoment c_m gegenüber dem eines Schnellläufers sehr groß, es beträgt rd. das 6,5fache. Mit den vorliegenden Windrädern (Durchmesser $D = 3,5 \dots 5,0$ m) können die in Tafel 1 zusam-

Tafel 3
Leistungsvermögen
der Windkraftanlagen
zur Tränkwasser-
versorgung

Baugröße	Förderhöhe		Förderleistung V m ³ /h	mittlere Tages- leistung V_d m ³ /d
	H _s MPa	H ₀ MPa		
WiKA-3/8-W _{im}	0,065	0,35	0,290...0,375	7...9
WiKA-5/16-W _{im}	-	0,25	0,415...0,580	10...14
WiKA-4/18-W _{km}	0,065	0,35	0,580...0,830	14...20

mengestellten Dauerleistungen bei den mittleren Windgeschwindigkeiten \bar{v} von 3,5 m/s und 4,4 m/s erreicht werden.

Der Ausnutzungsgrad $\zeta = (P_M/P_N)$ 100% liegt zwischen 8% und 16%. Obwohl er sehr gering erscheint, muß beachtet werden, daß Förder-, Transport- und Lagerkosten für den Energieträger nicht anfallen.

Windverhältnisse

Mit der Häufigkeitsverteilung der Windgeschwindigkeiten $v_0 \geq 2,5$ m/s ist eine Vorhersage der Leistungsabgabe der Windkraftanlage möglich. Von einer im Binnentiefenland der DDR getesteten Anlage sind im Küstenbereich beispielsweise bessere Leistungsparameter zu erwarten.

In Tafel 2 ist ein Auszug der Jahresmittelwerte der Windgeschwindigkeiten für einige Gebiete ausgewiesen. Mittlere Windgeschwindigkeiten $\bar{v}_0 < 4,0$ m/s sind für windelektrische Energieversorgungssysteme wenig geeignet.

Ökonomie

Die Ablösung des Verfahrens „Tränkwassertransport mit Traktor und Anhänger“ durch die Technologie „Windkraftanlage“ ist wirtschaftlich. Nach 2,5 bis 4 Jahren haben sich die Anlagen standortabhängig amortisiert. Bei entsprechender Wartung und Instandhaltung wird eine Nutzungsdauer von 20 Jahren angestrebt. Gegenwärtig werden in der DDR täglich bis zu 2000 Traktoren zum Tränkwassertransport auf die Weiden eingesetzt, die dabei rd. 40000 l DK verbrauchen. Dieser Kraftstoff könnte in der Landwirtschaft für andere Transport- und Arbeitsleistungen genutzt werden.

Windkraftanlagen – Hersteller und Baugrößen

Für 3 Baugrößen von Windkraftanlagen stehen Konstruktionsunterlagen zur Verfügung, für 2 Baugrößen gibt es zentrale Hersteller:

- Die Anlagen WiKA-3/8-W_{im} werden im VEB Kreisbetrieb für Landtechnik Perleberg hergestellt. Sie sollen im Zuge der Weiterentwicklung mit neuen Getrieben aus dem Bereich der Landtechnik ausgerüstet werden.
- Die Anlagen WiKA-5/16-W_{im} können nach Konstruktionsunterlagen des VEB Ingenieurbüro für Meliorationen Bad Freienwalde im Rationalisierungsmittelbau gefertigt werden.
- Die Anlagen WiKA-4/18-W_{km} mit Kurbeltrieb und Tiefkolbenpumpe (Bild 2) werden im VEB Landtechnischer Anlagenbau Cottbus, Betriebsteil Krausnick, produziert.

Die o. g. Einrichtungen waren auch maßgeb-

lich an der Entwicklung, Erprobung und fertigungstechnischen Gestaltung der Windkraftanlagen beteiligt. Die erste Variante wird in begrenzter Stückzahl auch von der Meliorationsgenossenschaft „Glietzer Polder“ Alt-Oranft, Bezirk Frankfurt (Oder), hergestellt.

In Tafel 3 ist das Leistungsvermögen der Windkraftanlagen aufgeführt, das unter den herrschenden Windverhältnissen erreichbar ist. In den Nachtstunden gehen die Windgeschwindigkeiten zurück, teilweise ist auch mit Flaute zu rechnen. Deshalb sind Speicher erforderlich.

Der VEB Ingenieurbüro für Meliorationen Bad Freienwalde gab 1988 einen Katalog „Windkraftanlagen für Tränkwasserversorgung auf Weiden“ PAW/DA701 heraus, den sich Interessenten dort bestellen können (Adresse: Goethestraße 1, Bad Freienwalde, 1310).

Zusammenfassung

Die Nutzung der Windkraft in der Landwirtschaft kann auch im Binnentiefenland für bestimmte Technologien, wie z. B. für die Tränkwasserversorgung auf Weiden, effektiv sein. Der Ausnutzungsgrad der Anlagen von $\zeta = 8 \dots 16\%$ ist relativ gering. Auch wenn der Leistungsbeiwert durch bessere und teurere Konstruktionen erhöht werden könnte, wird eine bessere Kontinuität der Fördermenge, die weitestgehend dem Tränkwasserverbrauch angepaßt sein soll, nicht erreicht, da diese Konstruktionen nur bei größeren Windgeschwindigkeiten anlaufen.

Der Wind ist eine regenerative, umweltfreundliche Energiequelle, die vor allem in der Landwirtschaft genutzt werden kann. In der DDR sollen ab 1989 jährlich 40 bis 50 Windkraftanlagen für die Landwirtschaft, speziell für die Tränkwasserversorgung auf Weiden, produziert werden.

Literatur

- [1] Baldauf, B.; Fleck, W.; Kopplin, M.: Nutzung von Alternativ- und Anfallenergie im Meliorationswesen. VEB Ingenieurbüro für Meliorationen Bad Freienwalde, 1981 (unveröffentlicht).
- [2] Kopplin, M.: Bericht zur Entwicklung einer Windkraftanlage mit Kurbeltrieb für den Antrieb von Tiefbrunnenpumpen. VEB Ingenieurbüro für Meliorationen Bad Freienwalde, 1986 (unveröffentlicht).
- [3] v. König, F.: Das praktische Windlexikon. Karlsruhe: Verlag C. F. Müller 1982.
- [4] Köthe, H. K.: Praxis solar- und windelektrischer Energieversorgung. Düsseldorf: VDI-Verlag 1982.
- [5] Klimadaten der DDR – Ein Handbuch für die Praxis – Reihe B, Band 4 „Wind“. Potsdam: Meteorologischer Dienst der DDR 1983. A 5272