

Steuerungskonzept zur Vermeidung des Schattenwurfs einer Windkraftanlage auf ein Objekt

Autor: K. Brinkmann



Lehrgebiet Elektrische Energietechnik

Feithstraße 140, Philipp-Reis-Gebäude, D-58084 Hagen, fax: +49/2331/987 357,

e-mail: klaus.brinkmann@fernuni-hagen.de

Rückfragen bitte an: Dipl.-Phys. Klaus Brinkmann, Adresse siehe oben

Kurzfassung:

Einschränkend für die Standortwahl einer Windkraftanlage, insbesondere im Binnenland, könnte in einigen Fällen die Möglichkeit eines unerwünschten Schattenwurfs auf ein Objekt sein. Daraus ergeben sich zeitweise unangenehm flackernde Lichtverhältnisse die dann eine Beeinträchtigung von Lebens- oder Arbeitsbedingungen bedeuten können. Dies kann eventuell die Aufstellung einer Windkraftanlage trotz ansonsten guter Bedingungen verhindern. Aufbauend auf die im 11. Internationalen Sonnenforum 1998 in Köln vorgestellten physikalischen Grundlagen /4/, die eine Vorausberechnung des Schattenwurfs über das ganze Jahr hinweg ermöglichen, wird im folgenden dazu ein Steuerungskonzept zur gezielten Schattenvermeidung am Objekt vorgestellt.

Einleitung:

Analog zu den Sonnenstandsberechnungen /2/,/3/ wie sie u.a. im Zusammenhang mit Fragestellungen zu Photovoltaikanlagen /1/ genutzt werden, ist eine Formel zur Vorausberechnung des Schattenwurfs eines rotierenden Rotorkreises einer Windkraftanlage erstellt worden /4/. Damit können die ein bestimmtes Objekt betreffenden kritischen Zeitintervalle mit möglicher Schattenbildung vorab in einem elektronischen Speicher hinterlegt werden. Diese Informationen werden von dem im folgenden vorgestellten Steuerungskonzept genutzt, um gezielt eingreifen zu können. Somit ist der unerwünschte Schattenwurf bei *minimaler Ertragseinbuße* vermeidbar.

Steuerungskonzept:

Betrachte eine Windkraftanlage mit einer Höhe H relativ zum Objekt im Ursprung eines kartesischen Koordinatensystems, dessen Achsen nach den Himmelsrichtungen ausgerichtet sind, wie in Bild 1 dargestellt. Ein vom Schattenwurf gefährdetes Objekt sei durch einen 'Sperrkreis' mit dem Radius r_{min} umgeben, der mit Hilfe der Steuerung frei von rotierendem Schattenwurf bleiben soll (\rightarrow Bild 2).

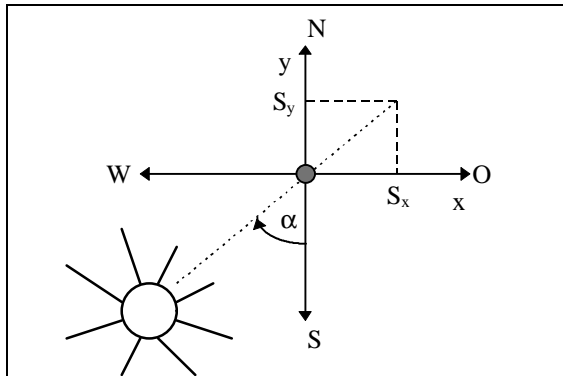


Bild 1: Sonnenazimut und Koordinatensystem

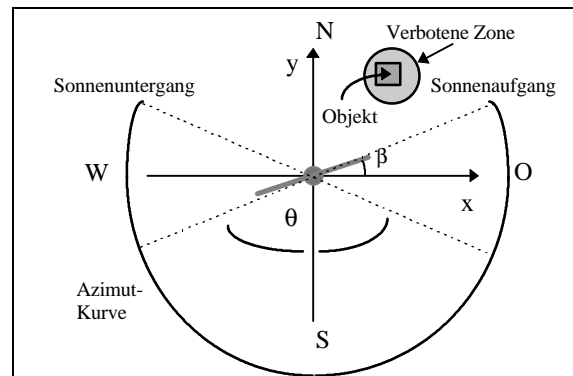


Bild 2: Betroffenes Objekt mit 'Verbotener Zone'

Die geometrischen Zusammenhänge für die mathematische Darstellung der schattenbildenden Projektion sind Bild 3 zu entnehmen. Ein Mindestradius für den 'Sperrkreis' kann angegeben werden [4]. Damit lassen sich die Zeitintervalle mit Schattenwurf auf das Objekt im Voraus berechnen (\rightarrow Bild 4).

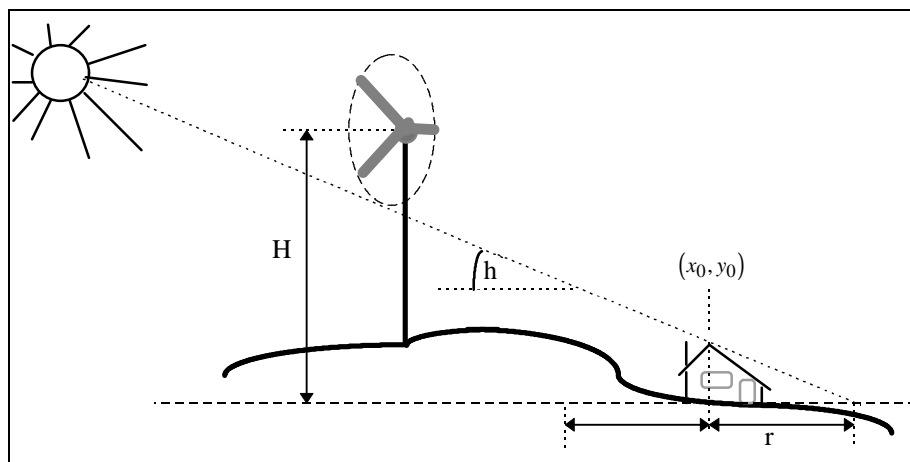


Bild 3: Geometrische Zusammenhänge

Mit Hilfe der Sonnenstandsberechnungsformeln [3],[4] können dann folgende Bestimmungsgleichungen zur Vorausberechnung des Schattenwurfs gelöst werden.

$$\tan(h_r) = \frac{H - R - H_{object}}{\sqrt{x_0^2 + y_0^2}} = \frac{H_{object}}{r_{min}}$$

$$R(\cos t_R \cdot \cos \mathbf{b}, \cos t_R \cdot \sin \mathbf{b}) + \frac{H + R \sin t_R}{\tan(h)} (\sin \mathbf{a}, \cos \mathbf{a})$$

$$= (x_0, y_0) + r_{min} \cdot (\cos(t), \sin(t))$$

mit $t, t_R \in [0, 2\pi]$

Bild 4: Bestimmungsgleichungen

Im Hinblick auf Fehlertoleranzen der Sonnenwinkelberechnungen läßt sich für r_{min} eine Korrekturformel angeben /4/. Ansonsten kann die Festlegung dieses Radius noch von individuellen Interessen bestimmt werden. Für die Berechnung des Schattenwurfs ist es zweckmäßig zwei Extrembedingungen bzgl. \mathbf{b} zu betrachten:

- | | | |
|-----------------------------|---|---|
| i) minimale Schattenfläche | ↔ | Rotorfläche immer <i>parallel</i> zum Azimut |
| ii) maximale Schattenfläche | ↔ | Rotorfläche immer <i>senkrecht</i> zum Azimut |

Mit Hilfe eines Computerprogramms lassen sich dann die entsprechenden Zeitintervalle für die beiden Fälle i) und ii) innerhalb des entsprechenden Jahres (beachte Schaltjahr) vorausberechnen und in einem elektronischen Speicher hinterlegen. Diese Zeitintervalle lassen sich wie folgt klassifizieren :

Monatsintervalle:

$$M_{s,1} = [M_i, M_j] \quad i < j \quad \text{mit} \quad i, j \in \{1..6\} \quad \text{d.h. erste Jahreshälfte} \quad \text{und}$$

$$M_{s,2} = [M_i, M_j] \quad i < j \quad \text{mit} \quad i, j \in \{6..12\} \quad \text{d.h. zweite Jahreshälfte}$$

Tagesintervalle:

$$T_s(\text{Monat}) = [d_i, d_j] \quad i < j \quad \text{mit} \quad i, j \in \{1..../28/,/29/,/30/,/31/\}$$

je nach Monat

Uhrzeitintervalle:

i) $Z_{S,1}(Tag) = [t_{\perp, ein}, t_{\perp, aus}]$ für maximale Schattenfläche

ii) $Z_{S,2}(Tag) = [t_{\parallel, ein}, t_{\parallel, aus}]$ für minimale Schattenfläche

(es gilt : $Z_{S,2}(Tag) \subset Z_{S,1}(Tag)$)

Folgende Größen müssen der Steuerung zur Verfügung gestellt werden:

- Datum, - Uhrzeit, - Direkteinstrahlungsintensität (d.h. Messung ob Schatten möglich),
- Rotorkreiswinkel b , - $a_{gr, ein}$ und $a_{gr, aus}$ Azimutgrenzwinkel mit Azimutlinie tangential zum Sperrkreis (d.h. Schatten rein/raus)

Mit Hilfe der jetzt verfügbaren Informationen läßt sich das folgende Steuerungsprogramm aufstellen:

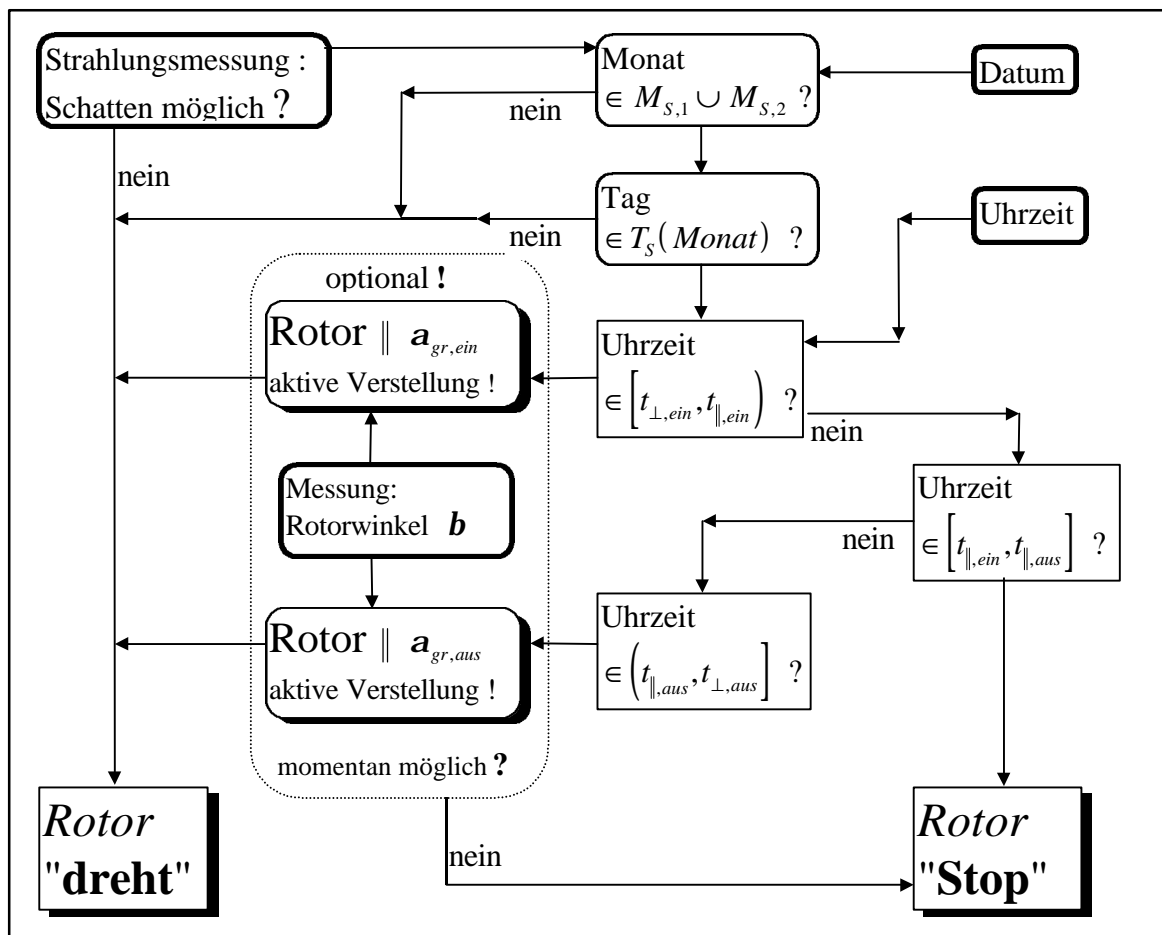


Bild 5: Schema des Steuerungskonzepts

Ausblick:

Es ist geplant, ein Simulationsprogramm zu erstellen, welches schon in der Planungsphase vor Aufstellung einer Windkraftanlage als Entscheidungshilfe dienen kann.

Vorschläge zur praktischen Realisierung eines solchen Steuerungskonzepts werden erarbeitet.

Zusammenfassung:

Es wurde ein Steuerungskonzept vorgestellt, welches es ermöglicht bei *minimaler Ertragseinbuße* einen unerwünschten Schattenwurf der rotierenden Rotorblätter einer Windkraftanlage auf ein bestimmtes Objekt aktiv zu vermeiden. Wichtig dabei ist es, den korrekten Höhenunterschied zwischen Windrad und Objekt zu berücksichtigen, entsprechend den Höhenlinien eines topographischen Lageplans.

Somit basiert das zu realisierende Steuerungsprogramm auf der Vorausberechnung eines *lokalen Schattenwurfs für ein definiertes Objekt /4/* und dessen näherer Umgebung.

Referenzen:

- /1/ Skriptum zur Experimentalvorlesung Photovoltaik II / Prof. Dr.-Ing. D. Hackstein
Kurs 2158 Fernuniversität Hagen
- /2/ Repetitorium der Technischen Thermodynamik / Dittmann; Fischer; Huhn; Klinger
Teubner Studienbücher 1995
- /3/ DIN 5034 Teil 2
- /4/ "Physical Foundations for the Development of Control Systems for Avoidance of
undesired Casting of Shadows from Wind Energy Converters on appointed Objects"
Klaus Brinkmann
11. Internationales Sonnenforum , Köln , Juli 1998