

Herbert Schwarz, Fa. AEV, Osnabrück

# Stallregelung - Pitchregelung

## Wo liegen die Unterschiede, wo liegen die Vorteile?

Wollte man mit einer Windkraftanlage die in sehr hohen Windgeschwindigkeiten enthaltene Energie vollständig nutzen, müßte man einen unrentablen Aufwand treiben, denn diese Windgeschwindigkeiten treten nur sehr selten auf. Deshalb ist es sinnvoll, die Leistungsaufnahme auf die Nennleistung zu begrenzen. Hierzu werden gegenwärtig vor allem zwei Prinzipien angewandt:

### Stall- und Pitchregelung.

Diese beiden Regelungsarten unterscheiden sich prinzipiell durch die Art der Rotorblat- t umströmung bei Volleistung. Bei einem Querschnitt durch ein Rotorblatt wird sichtbar, daß sich die Anströmung vom Blatt aus gesehen zusammensetzt aus

- einer Anströmung in der Rotorebene, die nur von der Drehzahl abhängt (dies kann man sich als "Gegenwind" vorstellen) und
- einer Anströmung senkrecht dazu, die vom Wind herrührt.

Diese beiden Strömungskomponenten sind in Abb.1 punktiert gezeichnet. Die aus diesen Komponenten zusammengesetzte effektive Anströmung ist durchgezogen gezeichnet. Den Winkel, den diese resultierende Anströmung zur Blattsehne (das ist die Verbindungslinie von Vorderkante und Hinterkante) bildet, nennt man "Anstellwinkel".

### Stallregelung

Die Stallregelung beruht darauf, daß bei steigender Windgeschwindigkeit und gleichbleibender Drehzahl die Rotorblätter unter immer größeren Anstellwinkeln angeströmt werden und daher irgendwann die Strömung abreißt. ("Stall" ist das englische Wort für Strömungsabriß.) Damit ist die Blat- t umströmung gestört und die Leistung wird begrenzt. Hierfür müssen die Rotorblätter nicht verstellt werden, es handelt sich also um einen passiven Vorgang. Der Strömungsabriß kann nicht mehr beeinflußt werden. (Strenggenommen müßte es deshalb "Leistungsbegrenzung per Stall" heißen, denn das Wort "Regelung" beschreibt aktiv beeinflußte Vorgänge.) Dies ist der Grund für die nicht-lineare Leistungskurve der Stallanlagen im Vollastbereich (siehe Abb.2) Mit steigender theoretischer und praktischer Beherrschung der Aerodynamik des Strömungsabrisse wird es gelingen, in diesem Bereich einen konstan-

ten Leistungsverlauf anzunähern. Da die Rotorblätter nicht verstellt werden, müssen sie von vornherein so eingestellt werden, daß der Abriß bei der gewünschten Leistung auftritt. Bei dieser Einstellung kann dann der Ertrag im Bereich der niedrigen Windgeschwindigkeiten ungünstiger sein, als es wünschenswert wäre. Andererseits wird die Maximalleistung bei korrekter Einstellung des Blattes sicher begrenzt.

### Pitchregelung

Bei der Pitchregelung werden die Rotorblätter zur Leistungsregelung (oder Drehzahlregelung) im Bereich der Nennleistung kontinuierlich aktiv verstellt. Hierbei wird der Anstellwinkel für eine Verringerung der Leistung so weit reduziert, bis der gewünschte Maximalwert erreicht ist. Durch die Verkleinerung des Anstellwinkels liegt die Strömung weiterhin an, d.h. sie fließt glatt über das Blatt. Bei Pitchanlagen werden normalerweise im Teillastbereich die Blätter nicht verstellt (außer beim Anfahren), sondern es wird der für die niedrigen Windgeschwindigkeiten im Mittel günstige Blattwinkel eingestellt.

### Unterschiede

#### Stall- / Pitchregelung

○ Zum einen ist die Maximalleistung für ein neu entworfenes Stall-Rotorblatt schwer vorherzusagen. Zum anderen kann die Leistungskurve der Stallanlage nicht mehr beeinflußt werden (z.B. bei Blattverschmutzung, Schräganströmung oder Abschattung im Windpark), wenn die Blätter montiert sind. Bei der Pitchanlage kann die Maximalleistung beliebig eingestellt werden. Da die Leistung geregelt wird, findet eine Anpassung an die jeweilige Situation statt.

○ Da bei Blattverstellung die Maximalleistung geregelt werden kann, können die Rotorblätter bei der Auslegung ohne Rücksicht auf ihr Verhalten bei höheren Windgeschwindigkeiten auf möglichst hohe Erträge im Teillastbetrieb optimiert werden. Daher ist der Energieertrag der pitchgeregelten Anlagen in Bezug auf den Rotordurchmesser oder die Nennleistung (Ausnutzungsgrad) normalerweise höher als der der stallgeregelten.

○ Bei Sturmabschaltung können die Rotorblätter der Pitchanlagen in Fahnenstellung gebracht werden. Dadurch werden die für die Dimensionierung einiger Bauteile, ins-

besondere des Turms, relevanten Lasten reduziert. Bei Stallanlagen trifft der Wind frontal auf die Blätter, die Sturm- lasten sind höher.

○ Die meisten Stallanlagen verfügen über verdrehbare Blattspitzen als aerodynamische Bremse. Die Blattverstellung der pitchgeregelten Anlagen ist jedoch aufwendiger zu bauen als die Blattspitzenbremsen der stallgeregelten. Außerdem verbraucht die Blattverstellung der Pitchanlagen im Betrieb einige Energie, während der Energiebedarf der Blattspitzenverstellung vernachlässigbar ist. Dies gilt insbesondere für hydraulische Pitchregelungen, denn diese verbrauchen konstruktionsbedingt auch dann Energie, wenn sie nur einen Winkel konstant halten sollen.

○ Da bei pitchgeregelten Anlagen die Strömung am Blatt anliegt, herrschen grob gesehen lineare Zusammenhänge zwischen Windgeschwindigkeit und Leistungsaufnahme. Anders ausgedrückt: Jede Bö, Turbulenz, Turmvorstau etc. wird sofort von den Rotorblättern aufgenommen. Bei netzgekoppelten Anlagen (Asynchrongeneratoren) führt dies zu enormen kurzzeitigen Leistungsschwankungen, auch wenn die gemittelte Leistungskurve im Vollastbereich einen geraden Strich zeigt. Deshalb gibt es relativ viele pitchgeregelte Anlagen mit Wechselrichter und variabler Drehzahl. Diese vermeiden die Leistungsspitzen zu einem großen Teil. Bei beiden Typen muß allerdings die Blattverstellung sehr schnell reagieren, damit die Leistungs- bzw. Drehzahlspitzen möglichst gering gehalten werden. Bei Strömungsabriß (Stallanlagen) hängt die Leistung nur noch mäßig von der Windgeschwindigkeit ab. Die kurzzeitigen Leistungsschwankungen im Vollastbereich sind wesentlich geringer. Deshalb werden nur wenige Stallanlagen mit variabler Drehzahl betrieben. Ähnliches gilt für die Belastungen, mit der Ausnahme, daß sich die Lastschwankungen der drehzahlvariablen pitchgeregelten Anlagen nicht wesentlich von denen der netzgekoppelten, pitchgeregelten unterscheiden [1]. Dies liegt zum Teil daran, daß die drehzahlvariablen Anlagen nicht unendlich schnell auf Böen reagieren, sich also im Moment des Auftretens einer Bö zunächst nicht wesentlich von den drehzahlstarrten Anlagen unterscheiden. Vor allem aber hängt dies mit dem unverändert starken Einfluß des Turmvorstaus



(bzw. Turmschattens) zusammen. Bei Stallanlagen sind diese Lastschwankungen normalerweise wesentlich geringer, wie in Experimenten gefunden wurde [4]. So wie die abgerissene Strömung Windgeschwindigkeitsänderungen und Böen kaum registriert, ist auch der Einfluß des Turmvorstaus geringer. Allerdings ist aus aerodynamischen Gründen der Mittelwert der Lasten im Stall größer. Dies hat vor allem Einfluß auf die Rotorblatt- und Turmauslegung.

○ Bei Schrägströmung muß zum vorher gesagten eine Ausnahme gemacht werden. Im Stall führt Schräganströmung zu enormen Wechsellasten auf die Rotorblätter und die gesamte Anlage. Pitchgeregelte Anlagen sind relativ unempfindlich gegenüber Schräganblasung [3]. Dies kann auch theoretisch begründet werden, was den Leser(inne)n hier aber erspart bleiben soll.

○ Da Stallanlagen im Vollastbereich auf Windgeschwindigkeitsschwankungen nur schwach reagieren, kann vermutet werden, daß die Bauteilermüdung in Windparks aufgrund gegenseitiger Abschattung bei ihnen schwächer ansteigt als bei Pitchanlagen. Diese Vermutung wird durch Messungen in einem schwedischen Windpark unterstützt [2].

○ Auch akustisch unterscheiden sich pitch- und stallgeregelte Anlagen, jedoch vor allem im Vollastbereich, der im Bezug auf die Schallemissionen nur eine untergeordnete Bedeutung hat. Ausnahme bilden dabei manche pitchgeregelte Anlagen, die kurz oberhalb der Nennwindgeschwindigkeit in eng begrenzten Anstellwinkelbereichen leichte Pfeifgeräusche erzeugen. Da die akustische Erforschung der Windkraftanlagen-Aerodynamik mittlerweile auf breiter Basis begonnen wurde, wird dieses Problem voraussichtlich bald vermieden werden können.

○ In Bezug auf die Geräuschentwicklung ist außerdem interessant, daß Pitchanlagen derzeit in der Regel auf höhere Drehzahlen ausgelegt werden als Stallanlagen mit gleichem Durchmesser, wodurch die Geräusch-

emissionen stärker ausfallen. Aus der Wahl des Pitchprinzips für die Regelung folgt jedoch nicht zwingend die Wahl einer höheren Auslegungsdrehzahl.

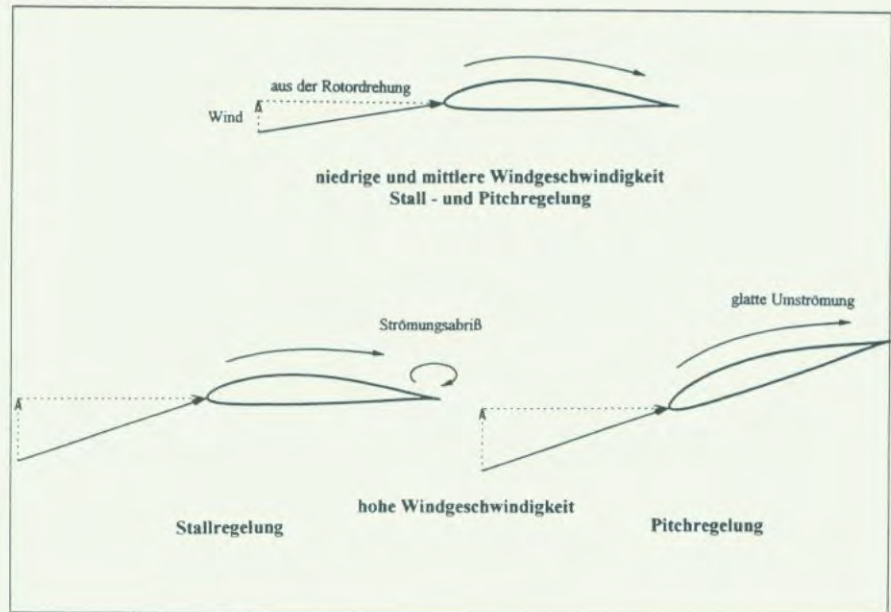
Literatur:

[1] D.C. Quarton: A Theoretical Investigation of Pitch Control on the Fatigue of Wind Turbines. ECWEC 90. Madrid

[2] M. Poppen, J.A. Dahlberg: Fatigue Loads on Wind Turbine Blades in a Wind Farm. FFA, Stockholm 1992

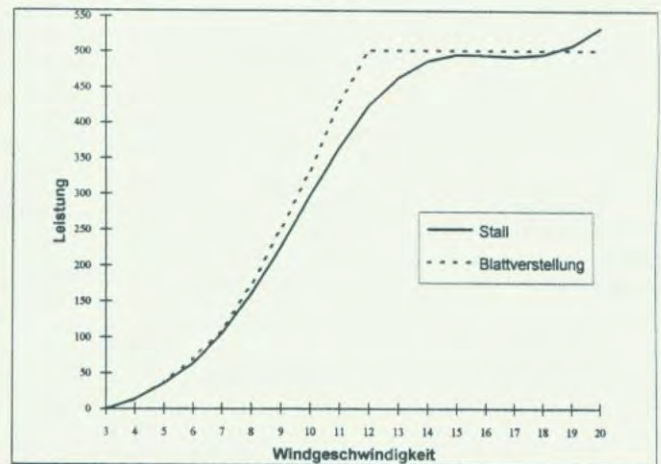
[3] H. Schwartz, H. Arnold: Ergebnisse aus experimentellen Parameter- und Konzeptstudien mit der Horizontalachsen-Windturbine UNI-WEX.DEWK'92. Wilhelmshaven

[4] H. Schwartz: Ein experimenteller Vergleich von stall- und pitchgeregelten Windturbinen mit starrer Nabe. Universität Stuttgart, in Vorb.



**Abb. 1 oben :  
Blattstellungen und  
Strömungsverläufe bei  
Stall- und Pitchregelung**

**Abb. 2  
Theoretischer Leistungs-  
verlauf zweier  
Anlagen gleicher Rot-  
ordurchmesser und  
Drehzahlen mit und  
ohne Blattverstellung**



## Aufstellungsbericht Seewind

In der Gemeinde Arkebek stehen 2 Seewind 20/110 Anlagen mit 110 kW, Rotordurchmesser 20 m und einer Turmhöhe von 25,2 m. Gründe für die Auswahl dieses Anlagentyps waren:

- sehr gutes Preis/Leistungsverhältnis
- schnelle und problemlose Förderung, da neuer Hersteller
- kompetente Beratung und persönliche Ausstrahlung des Herstellers
- geringe Schallemission

Als Ausgleich zum Natur- und Umweltschutz ist eine Stilllegung von 2200 m<sup>2</sup> landwirtschaftlicher Nutzfläche vorgeschrieben, die vom Betreiber für 100,- DM Jahrespacht dazu gepachtet wird.

Die Leistungsprognose für jede Anlage ist mit 170.000 - 200.000 kWh/Jahr berechnet worden..Die Gesamtkosten des Projektes belaufen sich auf ca. 540.000,-. Die Kosten für 2 Windkraftanlagen belaufen sich auf 403.000,-.

Das Land Schleswig-Holstein und das BMFT fördert dieses Projekt nach dem 250 MW Programm (6 Pf) . Die Antragstellung beim Land Schleswig-Holstein erfolgte am 28.02.92 und wurde am 13.10.92 beschieden. Die Antragstellung in Jülich erfolgte am 13.01.92 und wurde am 17.09.92 beschieden. Die Kredite wurden durch KfW und DAB gefördert. Finanzierende Bank = Volksbank Dithmarschen. (Übernahme der Anlage als Sicherheit zu 60%). Die Kosten für ein Normalfundament betragen 21.500,- pro Anlage. Für die Zuwegung entstehen in diesem Falle keine Kosten.Die Planungskosten wurden in Eigenleistung erbracht. Die Netzstärke beträgt 20 kV