

Vorteil einer hydraulischen Getriebeabstützung: Die Steifigkeit lässt sich einstellen.

Foto: Powerwind

# Starke Stränge

**Der Antriebsstrang ist das Herz einer Windenergieanlage und Objekt stetiger Optimierung. Aber auch komplett neue Konzepte werden diskutiert.**

**D**ass man auch ohne revolutionäre Neuerungen bestehende Antriebskonzepte optimieren kann, versucht der Hamburger Hersteller Powerwind mit seinem neuesten Baby zu beweisen – der Powerwind 90 mit 2,5 MW Nennleistung. Die Maschine kam erstmals in den Genuss eines teilweise verblüffend einfachen Getriebeschutzes, das vier Hauptmaßnahmen vorweist. Sie sollen die Lebensdauer des Getriebes deutlich erhöhen.

Die Ingenieure des erst 2007 in die Branche eingestiegenen Conergy-Ablegers, allen voran Entwicklungschef Thomas Korzeniewski, bedienen sich bei der Entwicklung der Powerwind 90 zunächst eines durchaus konventionellen Antriebskonzeptes. Sie optimierten die klassische Anordnung allerdings unter der Fragestellung, wie man die dynamischen Lasten, die das Getriebe beanspruchen, minimieren kann.

Diese dynamischen Belastungen rühren nur zum Teil von der Drehbewegung des Rotors her. „Wenn man die Bewegung des Rotors analysiert, merkt man schnell, dass es weniger ein Drehen als vielmehr ein ‚Straucheln‘ ist“, erklärt Korzeniewski. Die Vorstellung, hier drehe sich eine Scheibe im Wind, sei idealtypisch. Tatsächlich wirke auf den Rotorstern eine Vielzahl von unterschiedlich großen Kräften aus unterschiedlichen Richtungen ein. Das führe zu Kippmomenten in der Achse. „Wenn ich das nicht festhalten kann, landet das alles im Getriebe. Wir haben uns dann den Antriebsstrang Stück für Stück vorgenommen und überlegt, welche unerwünschten Zusatzlasten auftreten und wie wir diese reduzieren können“, beschreibt Korzeniewski das weitere Vorgehen. „Wir wollten das Getriebe behandeln wie ein rohes Ei und den maximalen Schutz suchen.“

## Grundrahmen geschlossen

Die erste Maßnahme ist eher unspektakulär: Korzeniewski spendierte dem Antriebsstrang ein zweites Hauptlager. Eher ungewöhnlich ist allerdings, dass er dieses Lager unmittelbar vor dem Getriebe als

Festlager konstruierte. Hinsichtlich der dynamischen Lasten aus dem Rotorstern bringt diese Anordnung gegenüber der klassischen Ausführung – Festlager vorn, Loslager hinten – kaum Vorteile, wohl aber hinsichtlich unerwünschter Zusatzlasten wie sie etwa aus der Wärmedehnung der Rotorwelle resultieren. Das zweite Hauptlager als Festlager möglichst dicht vor dem Getriebe fängt diese Belastungen ab.

Die Vierpunktlagerung ist statisch überbestimmt – zusammen mit dem Spiel in den Lagern selbst ergeben sich daraus Zwangskräfte im Getriebe. Powerwind spendierte daher der 90er WEA eine hydraulische Getriebeabstützung. Im Gegensatz zu den vielfach eingesetzten Elastomerlagerungen ließe sich die hydraulische Abstützung einstellen: bezogen auf die Torsionskräfte steif, hinsichtlich der vertikalen Kräfte weich. Das sei die Einstellung, die das Getriebe am wenigsten belastet, betont Korzeniewski.

Die wohl wichtigste Optimierung betrifft das Maschinenfundament – auch Grundrahmen genannt. „Wir haben hier eine Lösung gefunden, die nahe lag, aber trotzdem bisher nicht gemacht wurde“, sagt Korzeniewski. „Wir schlossen das Rahmenprofil.“ Ein herkömmlicher Rahmen ist geformt wie ein „U“ mit offen bleibenden Enden. Genau auf diesen beiden Enden jedoch sitzt das Getriebe mit seinen zwei Abstützungen.

Messungen ergaben, dass die in die Getriebeabstützung eingeleiteten Torsionskräfte den Grundrahmen erheblich verformen – und zwar um die Längsachse verdrehen. Je nach Drehrichtung wird eines der beiden „U“-Enden wesentlich stärker belastet als das andere. Misst man die Abweichung der beiden Enden von der Horizontalen, ist die Differenz der Abweichungen ein anschauliches Maß für die ungleichmäßige Verdrehung des Grundrahmens. Bei einem herkömmlichen Rahmen beträgt das Delta knapp 4 mm. Ein Rahmen, der unter Belastung ungleich einknickt, schädigt auf Dauer nicht nur das Hauptgetriebe, sondern beispielsweise auch das Turmlager. Denn mit einem idealen Grundrahmen erfährt das Azimutlager eigentlich eine sinusförmige Belastungskurve – ein berechenbarer, damit für das Lager unproblematischer Lastfall. Nicht so bei dem konventionellen U-Grundrahmen: Hier kommt es durch die Verdrehung des Rahmens zu erheblichen Lastspitzen im Lager.

Korzeniewski griff zu einer einfachen Maßnahme: Er machte aus dem mehr oder weniger offenen „U“ des Grundrahmens durch das Einfügen von Streben ein geschlossenes O-Profil. Das senkte nicht nur die absolute Abweichung aus der Horizontalen auf fast die Hälfte, sondern minimierte auch das Delta der Verdrehdifferenz auf nur noch maximal 1 mm. Kurz: Der O-Rahmen verdreht weniger und verformt gleichmäßiger.

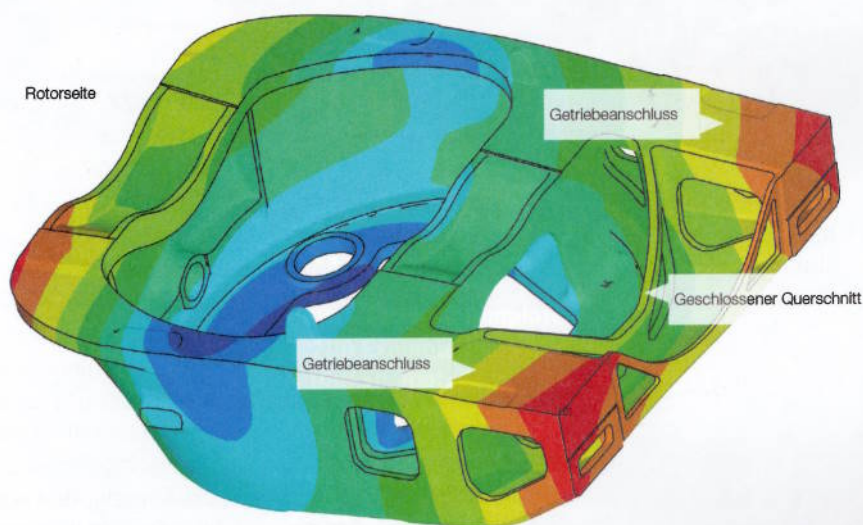
Um die Belastungen aus dem Netz zu reduzieren, griffen die Entwicklungsingenieure zu einem Vollumrichter. Die Wirkungsweise ist bekannt: Minimale und extrem kurze Spannungseinbrüche bedeuten für die WEA ein urplötzlich lastfreies Durchdrehen, das sich als eine Art Schlag im Getriebe bemerkbar macht. Teilumrichter nehmen rund 30 % dieser Energie weg,

Vollumrichter vollständig. Sie überbrücken sogar wesentlich längere Spannungseinbrüche.

## Hydrodynamische und elektrische Überlagerung

Neben der Optimierung aktueller Getriebekonzepte kommt es immer wieder zu mehr oder weniger überraschenden Neuentwicklungen, die eine grundsätzlich andere Bauart vorsehen. Ein Überlagerungsgetriebe ist so ein Fall. Darum geht es: Ins Netz einspeisen kann eine WEA nur einen Wechselstrom mit einer Frequenz von 50 Hz. Drehzahlvariable Generatoren liefern Wechselstrom unterschiedlicher Frequenz. Um die Netzfrequenz von 50 Hz zu erreichen, muss ein Generator mit der üblichen Polpaarzahl von zwei eine Synchrondrehzahl von exakt 1.500 Umdrehungen pro Minute besitzen.

In der Windindustrie hat Voith dafür sein Windrive-Konzept ins Spiel gebracht. Der Windrive überlagert das Planetengetriebe des Antriebsstrangs und wandelt die variable Drehzahl des Rotors in eine konstante Abtriebsdrehzahl um. Voith hat dieses Überlagerungsgetriebe als hydrodynamischen Wandler ausgeführt und erprobt das Prinzip in einer Turbine vom Typ Bard 5.0. Ein hydrodynamischer Wandler arbeitet mit Öl, das durch eine bestimmte Anordnung von Schaufelrädern strömt und damit die stufenlose Drehzahl-Momentwandlung erlaubt. „Das geht auch elektrisch“



sagt Bernd-Robert Höhn, Inhaber des Lehrstuhls für Maschinenelemente der Technischen Universität München. „Um die 50 Hz zu erreichen, wird der Wechselstrom des Generators mit großen Gleichrichtern in Gleichstrom umgewandelt“, erläutert Höhn, den Ausgangspunkt der Überlegungen. „Der Gleichstrom wird dann in einer zweiten Stufe wieder in Wechselstrom von exakt 50 Hertz transformiert. Knapp fünf Prozent Verlust muss der Betreiber dafür in Kauf nehmen.“ Die Forschungsstelle für Zahnräder- und Getriebebau (FZG) an der TU München hat jetzt die Verwendung eines „Torque-Vectoring-Getriebes“ vorgeschlagen.

Dabei sorgt ein Planetengetriebe wie bei Voith für den Großteil der Übersetzung. Dieses Planeten-

**Nur wenige Streben mehr erzeugen eine große Wirkung. Der Grundrahmen ist in der geschlossenen Form wesentlich steifer.**

Grafik: Powerwind

getriebe bekommt nun einen wesentlich kleineren Partner in Form eines Überlagerungsgetriebes mit einem zusätzlichen Elektromotor. Der wiederum kann als Motor oder als Generator arbeiten. Dieses System unterstützt die Leistung, die vom Rotor kommt oder zweigt einen Teil der Leistung ab, bis die konstante Abtriebsdrehzahl von 1.500 U/min am Generator erreicht ist. Höhn gibt an, dass für eine WEA mit 1,5 MW Leistung ein Elektromotor von 80 kW Nennleistung ausreicht. „Der Vorteil dieses Konzepts ist ein leichter Triebstrang, wodurch die Gondel der Anlage kleiner ausgeführt werden kann“, erläutert Höhn.

ist damit bereits zu Beginn des Windkraftbooms an die Branche herantreten. Sein Credo: Die Schiffsantriebstechnik ist durch die vorhandene Systemtechnik ein Vorbild für die Windenergie. Schäfer ist sich sehr wohl bewusst, dass sich der Betrieb von Schiffen von dem der Windenergieanlagen unterscheidet. „Windenergieanlagen laufen unter erschwerten Bedingungen durch die Grenzbelastungen, die aus Windstille oder Orkanböen herrühren“, sagt er. „Man muss sich vor Augen halten, dass das Getriebe in der WEA dadurch sehr belastet wird, dass die Trägheitsmasse des Rotors gegen die Generatormasse schwingt; letztere scheinbar sehr klein. Da diese aber mit dem Quadrat der Getriebeübersetzung  $i$  multipliziert werden muss – bei  $i = 100$  ist das der Faktor 10.000 – schwingen somit zwei große Massen bei Lastnulldurchgang gegeneinander. Das Getriebe ist dazwischen. Den Rest können Sie sich denken. Das ist etwa so, als wenn Sie sich zwischen den beiden sich boxenden Klitschko-Brüdern befinden würden.“

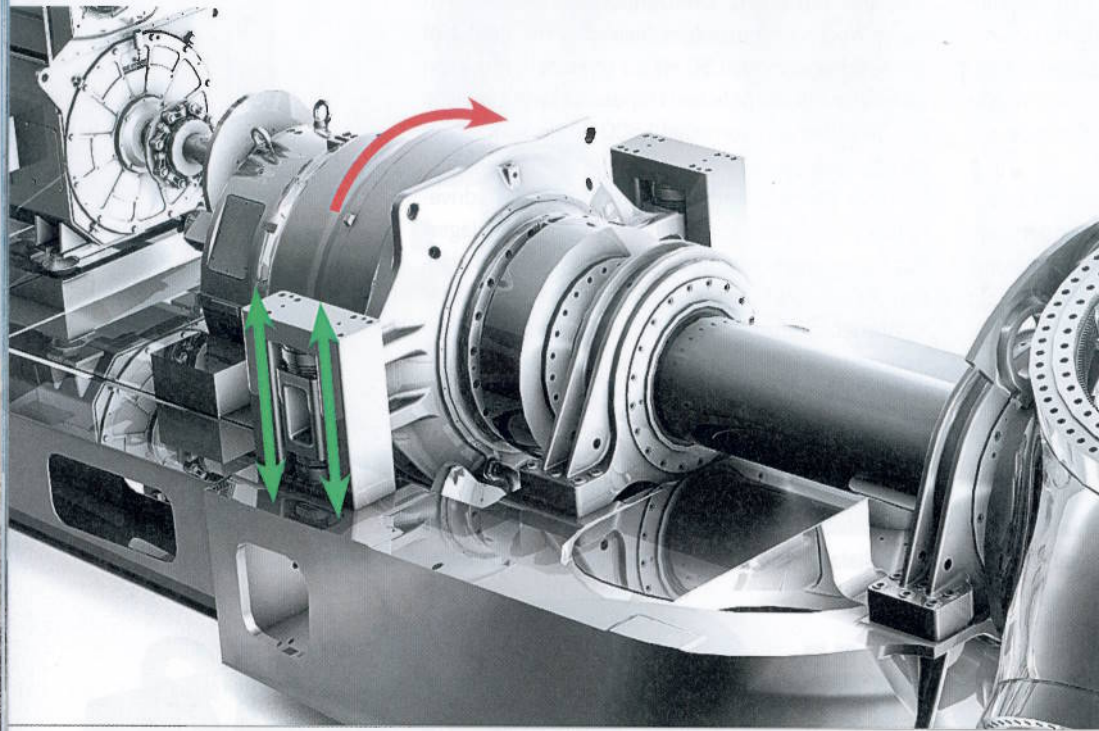
Kern des Übels sind für Schäfer und seinen ehemaligen Kollegen Hans Steinberg die vielfach eingesetzten Planetengetriebe. „Ein Planetengetriebe wird in einer Windkraftanlage nie 20 Jahre halten“, zeigt sich Schäfer im Gespräch mit SW&W überzeugt. „Wir legen mit über 100.000 Stunden Vollast aus und erreichen in der Praxis noch keine 15.000 Stunden.“ Der Grund dafür sei in den Schrägverzahnungen

der Planeten zu suchen. Sie führten zu Kippmomenten, die letztlich Lager- und Verzahnungsschäden im Planetenbereich verursachen.

## Stirnrادلösung gefragt

Das leistungsverzweigte Stirnrادلgetriebe, das Schäfer vorschlägt, erlaubt es, die Anzahl der Leistungszweige bis zu sechs zu wählen, angepasst an die jeweilige Übertragungsleistung. „Mit diesen kann dann problemlos bis 12 MW Nennleistung übertragen werden“, sagt Schäfer. „Die Staffelung erfolgt in etwa so: 2 Leistungszweige bis 4 MW, 4 Leistungszweige bis 8 MW und eben 6 Leistungszweige bis etwa 12 MW.“ Die Zahl der Zahneingriffe sei geringer, weil es anders als beim Planetengetriebe keine Doppel-eingriffe gibt, auch keine schädlichen Wechselbiegungen bei den Zähnen. Mit dieser Bauart wirke sich zudem ein Verzahnungsschaden bei Weitem nicht so gravierend aus wie bei einem Planetengetriebe – ein eingeschränkter Betrieb sei weiterhin möglich. Nach Schäfers Worten gibt es nach wie vor Interessenten für seinen Vorschlag – mit Winergy ist bereits ein bekannter Hersteller unter dem Namen Multi Duored in eine Stirnrادلösung für große Leistungen eingestiegen.

Jörn Iken



Gut zu erkennen ist die hydraulische Getriebeabstützung als Teil der Vierpunkt-Lagerung.

Grafik: Powerwind

„Zusätzlich kann ein robuster, wartungsarmer Synchron-generator verwendet werden, sodass keine Leistungselektronik zur Frequenzanpassung benötigt wird und damit der Wirkungsgrad der Anlagen gesteigert werden kann.“

Das Getriebeprinzip ist bereits – auch unter dem Namen Active Yaw – aus dem Automobilbau bekannt. Im Gegensatz zu einem normalen Sperrdifferential kann ein Torque Vectoring auch Drehmomente zum schnelleren Rad übertragen. Das Fahrzeug lässt sich dadurch in Kurven besser stabilisieren. Seit 1996 wird das Getriebeprinzip in der automobilen Oberklasse eingesetzt. Höhn hat das Torque-Vectoring-Konzept zwei Windkraft-Getriebeherstellern vorgestellt und stieß dort auf Interesse, das bislang aber – im Gegensatz zur hydrodynamischen Variante von Voith – folgenlos blieb. WEA-Hersteller seien offenbar eher konservativ, bemerkt der Getriebespezialist aus München.

## Abschied vom Planetengetriebe?

Bei Wilhelm Schäfer geht es ebenfalls um eine Adaption aus einer anderen Branche. Er ist ein unermüdlicher Kämpfer für eine Getriebeabstützung, die er aus dem Schiffbau abgeleitet hat. Der promovierte Ingenieur