

Schadenerfahrung mit dem Triebstrang von Windkraftanlagen

Experience of drive-chain damage in wind turbines

Dipl. Ing. Helmut Krüger

Ing.(grad.) Uwe Heller

Allianz Versicherungs-Aktiengesellschaft, Hamburg

Die Allianz Versicherungs- AG, Zweigniederlassung Norddeutschland, hat derzeit ca. 1.500 Windenergieanlagen in der Maschinenversicherung versichert.

Im Rahmen von Montage- und Garantiedeckungen für WEA – Hersteller wurden weiterhin seit 1985 rund 2500 WEA durchlaufend versichert.

Die genannten Bauteilstandzeiten, Instandsetzungsmaßnahmen, Maßnahmen gegen Wiederholungsschäden und Kosten basieren im wesentlichen auf bei der Schadenabwicklung gewonnenen Erfahrungen.

Ingenieure der Allianz begleiten nach Eintritt eines Schadens die Reparaturabwicklung, unterstützen bei Problemlösungen, ggf. unter Hinzuziehung der Experten des **Allianz Zentrum für Technik (AZT)** oder anderer technischer Institute und regulieren Maschinen- und Betriebunterbrechungsschäden gleichermaßen.

Die Windenergie ist in den letzten 10 Jahren sowohl in den Stückzahlen als auch in der Einzelleistung der Anlagen rasant gewachsen. Kurze Generationsfolgen haben nur wenig Zeit für die Umsetzung von gewonnenen Felderfahrungen gelassen. Mit zunehmenden Anlagenleistungen und Turmhöhen wurde die Forderungen nach Gewichtseinsparung immer stärker, und führten dazu, dass bestimmte Konstruktionen wie mehrstufige Stirnradgetriebe verdrängt wurden.

Permanent hohe Auftragszahlen für Neuanlagen haben zu Herstellungs- und Qualitätsmängeln und zur Erprobung der Anlagen beim Kunden geführt.

Durch die Leistungssteigerung der Anlagen kamen diese weiterhin in Auslegungsbereiche, in denen Betriebseinflüsse auf Anlagenkomponenten wirken, die mit konventionellen stationären Industrieanlagen nicht vergleichbar sind. **Insbesondere sind hier hohe Leistungsspitzen bei stall-geregelten Anlagen, Lastwechseleinflüsse im Triebstrang, hohe Schwachlastanteile und aeroelastische Schwingungen an den Rotorblättern zu nennen.**

Unzulänglichkeiten in der Instandhaltung, z.B. fehlende oder unzureichende Getriebeöl-Filtration oder fehlende Wartung an schwer zugänglichen Teilen (Rotorblätter und Tipp-Mechanismus), taten ihr übriges.

Eine hohe Nachfrage nach Fachpersonal war ebenfalls so schnell nicht zu befriedigen.

Dies alles wirkt sich in der Regel für die Anlagenkomponenten lebensdauerverkürzend aus.

Bauteilversagen und Schäden sowie die Schadenhöhen sind in den letzten Jahren, insbesondere bei Altanlagen, besorgniserregend angestiegen.

Nach unserer Einschätzung ist hier auch in den nächsten Jahren mit keiner Besserung der Situation zu rechnen.

Die überwiegende Anzahl der Mängel/Schäden an neuen Anlagen fallen unter die Gewährleistung der Herstellers. Einwirkungen von außen (Sturm, Blitz, Vereisung, Vandalismus und dergleichen) fallen dagegen eher unbedeutend aus.

The North German office of Allianz Versicherungs-AG currently provides machinery insurance for approx. 1,500 wind turbines.

Around 2,500 wind turbines have also been continuously insured under erection and guarantee cover for wind-turbine manufacturers since 1985.

The quoted useful life of components, corrective maintenance measures, measures to prevent damage from recurring and costs are largely based on experience gained from claims adjustment.

When damage occurs, Allianz engineers follow the repair process, provide assistance with problem solving, calling in the experts of the **Allianz Centre for Technology GmbH** or other technical institutes where necessary, and adjust both machinery breakdown and business interruption claims.

Wind energy has mushroomed in the past 10 years in terms of both numbers and the individual output of turbines. The rapid succession of generations has left little time for putting experience gained in the field into practice. As turbine outputs and tower heights have increased, the demands for weight savings have become ever stronger, with the result that certain constructions, such as multistage spur gearing, have been forced out.

Permanently healthy order books for new turbines have led to defects of workmanship and quality, and to wind turbines being tested after delivery to the customer.

The increase in the output of wind turbines has also brought them into design areas in which the operating parameters that affect system components are no longer comparable with conventional stationary industrial plant. **In particular, these parameters include high power peaks in the case of stall-controlled turbines, stress-cycle effects in the drive chain, a high light-load content and aeroelastic oscillation in the rotor blades.**

Inadequacies of corrective maintenance, e.g. lack of or insufficient gear-oil filtration or lack of maintenance of inaccessible parts (rotor blades and tip mechanism), have also had their effect.

Nor has it been possible to satisfy the great demand for specialist staff quickly enough.

All of these factors generally have the effect of shortening the service life of system components.

Component failure and damage, together with the size of claims, have risen worryingly in recent years, particularly in the case of old wind turbines. Nor can we see this situation improving in the next few years.

The manufacturer's guarantee covers by far the majority of defects/damage in new wind turbines. External effects (gales, lightning, icing, vandalism, etc.), on the

Insbesondere Schäden durch Blitzeinschlag sind seit der konsequenten Umsetzung von Blitzschutzmaßnahmen selten geworden.

Schäden und Mängel nach Ursachen

Bei den von uns abgewickelten Schäden ist fast immer ein Zusammentreffen mehrerer Ursachen zu verzeichnen, die einen Schaden oder eine Lebensdauerverkürzung von Bauteilen bewirkt haben.

Konstruktion

- zu niedrig gewählte Lastannahmen (Unterdimensionierung)
- Getriebe ohne Ölpumpe, Filter, Ölkühler und mit zu kleinen Ölumlaufmengen
- Ungenügende oder preiswerte Überwachung und Steuerung
- mangelndes komponenten- bzw. systemübergreifendes Denken
- mangelnde Umsetzung von gewonnenen Betriebserfahrungen

Fertigung

- nicht ausreichend erprobte Bauteile
- Schleifbrand bei Getrieben
- Isolationsmängel bei Generatoren

Qualitätssicherung

- Unzureichende Fertigungs- und Materialkontrollen ggf. durch neutrale Sachverständige
- Unzureichende Testläufe und Felderprobungen (Bauteiltemperaturen, Laufgeräusche, Bauteilstandzeiten)
- Unzureichende Montage- und Inbetriebnahmeüberwachung (Ausrichtung, Anordnung, Drehmomente, Einstellungen)
- Unzureichende Dokumentation
- Unzureichende Auswertung von Ausfällen / Schäden
- Unzureichende Instandhaltungsvorgaben
- Unzureichende Leistungskontrollen

Logistik

- Ungenauer Bauzeitenplan (Wahl des Montagezeitpunktes > Netzanbindung, Witterungsbedingungen)
- Fehlender Witterungsschutz
- Ungenügende Ladungssicherung
- Zwischenlagerung bei Montageverzögerungen

Montage / Inbetriebnahme

- Unerfahrenes Personal
- Ausrichtfehler
- Falsche Kabelverlegung
- Fehlende Nachkontrollen (Leistungseinstellung, Regelung, Drehmomente, Ausrichtung, Leckagen, Leitungsführung, Schraubensicherungen, Betriebsparameter)
- Fehlende oder unvollständige Dokumentation
- Fehlender Einfahrbetrieb
- Mangelnde Einweisung

Wartung / Instandhaltung

- Mangelnde Qualifikation und Anlagenkenntnis
- Zeitmangel
- Unzureichende Vorgaben (Parameter, Austauschintervalle, Prüfvorschriften)
- Unvollständige oder fehlende anlagenspezifische Einstellendaten auf der Anlage

other hand, tend to be insignificant.

In particular, damage caused by lightning strike has become rare since the systematic implementation of lightning-protection measures.

Damage and defects according to cause

In the claims we adjust, damage or the reduction of the service life of a component is nearly always the result of a coincidence of causes.

Design

- Loading assumptions set too low (underdesign)
- Gearbox without oil pump, filter, oil cooler and with insufficient oil in circulation
- Inadequate or cheap monitoring and control
- Lack of inter-component/system thinking
- Failure to put operating experience into practice

Manufacture

- Components not tested enough
- Overheating when grinding gears
- Insulation defects in generators

Quality assurance

- Insufficient process and material inspections, where necessary by neutral experts
- Insufficient test runs and field tests (component temperatures, running noises, useful life of components)
- Insufficient supervision of erection and commissioning (alignment, layout, torques, settings)
- Insufficient documentation
- Insufficient evaluation of failures/damage
- Insufficient maintenance requirements
- Insufficient output checks

Logistics

- Inaccurate construction schedule (choice of erection time > grid connection, meteorological conditions)
- Lack of protection from weather
- Cargo inadequately secured
- Temporary storage owing to erection delays

Erection/commissioning

- Inexperienced personnel
- Alignment errors
- Cables laid incorrectly
- Lack of follow-up checks (output setting, control, torques, alignment, leaks, cabling, screw locking, operating parameters)
- Lack of or incomplete documentation
- Lack of running-in
- Lack of training

Maintenance/repair

- Lack of qualifications and system knowledge
- Lack of time
- Insufficient requirements (parameters, replacement intervals, test regulations)
- Incomplete or lack of system-specific settings on the wind turbine
- Inadequate documentation of work carried out

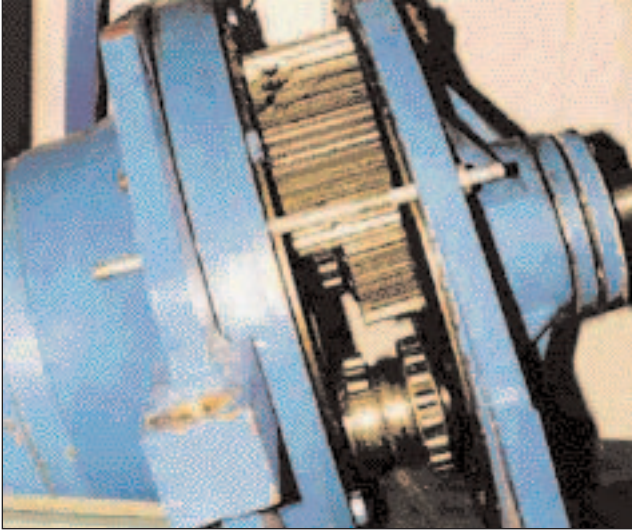


Bild 1

- Ungenügende Dokumentation der durchgeführten Arbeiten
- Provisorien aufgrund fehlender Bauteile (Bauteilvielfalt)
- Fehlende Wartungsvorschriften für Trafostationen (zum Teil werden Trafos und Mittelspannungsschalter nicht gewartet)

Der vorzeitige Ausfall von Bauteilen hat nicht selten erhebliche Folgeschäden an benachbarten Bauteilen zur Folge, z.B. Ermüdung (Schälung) eines Lagers im Getriebe mit Folgeschäden an Zahnflanken oder Lockerung des Passungsitzes bei Generatorlagern mit Drehen des Lagersinnenringes auf der Welle bis zum Anstreifen des Läufers. Derartige Folgeschäden wären oftmals mit einem höheren Überwachungsaufwand, z. B. einer Körperschallüberwachung, vermeidbar gewesen.

Getriebeverschleiß und Schäden

Über Schäden und Retrofitmaßnahmen an Getrieben, und hier insbesondere an den Wälzlagern, ist in den vergangenen Monaten viel zu lesen gewesen.

Bei den bei der AZ-Zweigniederlassung Hamburg versicherten WEA verzeichnen wir derzeit eine deutliche Zunahme an Getriebschäden, hiervon betroffen sind neben älteren Anlagen auch relativ neue Anlagen.

Wir gehen davon aus, dass die zur Zeit angewendeten Auslegungskriterien die tatsächlichen Lasten und Bewegungs- und Verformungsabläufe im Antriebstrang nicht genügend erfassen und haben daher im September 2000 bei einem Expertentreffen im Hause der Allianz Hamburg angeregt, hier weitergehende Messungen durchzuführen. Die hieraus hervorgegangene Arbeitsgruppe wird unter der Führung des VDMA weitreichende Messungen durchführen lassen, aus denen weitgehende Erkenntnisse für die Auslegung, Dimensionierung und Wahl geeigneter Bauteile insbesondere für den Off-shore Einsatz gewonnen werden dürften.

Verschleißformen

- Lagerverschleiß, insbesondere in Planeten- und Abtriebstufen (Bild1)
- Zahnflankenverschleiß / Graufleckigkeit
- Materialermüdung
- Ausgeschlagene Lagersitze durch betriebsbedingte Einflüsse

Begünstigt werden Verschleißerscheinungen durch zu



Bild 2

- Temporary repairs owing to lack of components (multiplicity of components)
- Lack of maintenance instructions for transformer substations (some transformers and medium-voltage switches are not maintained)

The premature failure of components often causes substantial consequential damage to neighbouring components, e.g. bearing fatigue (flaking) in the gearbox with consequential damage to tooth surfaces or loosening of the fit of generator bearings with rotation of the internal race of the bearing on the shaft until the rotor is touched. Such consequential damage would usually be avoided with greater monitoring provision, e.g. monitoring of structure-borne noise.

Gearbox wear and damage

In recent months, a great deal has been written about damage to and retrofitting measures for gearboxes in general and their antifriction bearings in particular.

In the case of the wind turbines insured with AZ's Hamburg office we are currently seeing a definite increase in gearbox damage affecting both old turbines and relatively new ones.

We assume that the design criteria currently in use do not adequately measure the actual loads and movement/deformation patterns in the drive chain and therefore proposed at a meeting of experts held at the Hamburg premises of Allianz in September 2000 that more detailed measurements should be carried out. The resulting working party will have far-reaching measurements carried out under the auspices of the VDMA (German Engineering Federation) with a view to obtaining extensive data for the design, dimensioning and choice of suitable components, particularly for offshore use.

Forms of wear

- Bearing wear, particularly in the planetary and output stages (fig. 1)
- Tooth-surface wear/grey stippiness
- Material fatigue
- Seat of bearings worn out owing to operating influences

The manifestations of wear are promoted by excessi-



Bild 3

hohe Öltemperaturen (Verschlammung), zu hoher Ölverschmutzung und zu langen Ölwechselintervallen.

Schäden

- Lagerschäden (Fremdkörperdurchgang, Einbaufehler, Schmiermittelmangel usw.)
- Zahnflankenschäden (Überlast, Schmiermittelmangel, Fertigungsfehler (Bild 2), Ausrichtfehler, Ausbrüchen infolge einseitigem Tragen)
- Ausgeschlagene oder gelöste Lagersitze
- Stillstandsmarken
- Korrosion

Getriebschäden nach Leistungsklassen

Für Anlagen der Leistungsklasse **250/300 kW** gebaute Planetengetriebe erreichen zur Zeit vielfach Standzeiten von max. 50-60000 Betriebsstunden. Diese Getriebe sind in der Regel tauchgeschmiert, haben keinen Ölkühler und keine Ölfiltration. Die Lagerung der Planetenstufen weist als Besonderheit einen Ersatz des Lageraußenringes durch die Innenbohrung des Planetenrades auf. Diese Konstruktion hat sich u.E. nicht bewährt.

Die Lagerausfälle haben zu massiven Getriebschäden geführt.

An Stirnradgetrieben der **500/600 kW** Klasse haben wir folgende Schäden und Lagerausfälle festgestellt:

- Fressen der Zahnflanken
- Lagerschälung in Pendelrollenlagern (Bild 3)
- Drehen von Lagern auf der Abtriebswelle
- Anlaufen von Dichtungen
- Verschlammung, insbesondere in Abtriebsstufen
- Ausbrüche im Zahnfußbereich
- Risse in den Zahnflanken

Bei Planeten-Stirnradgetrieben haben wir folgende Schäden vorgefunden:

- Lagerschäden, insbesondere in Planetenstufen, mit Folgeschäden an Radsätzen
- Fremdkörperdurchgang im Hohlrad
- Wellenbruch
- Passungsrost

Die **MW Klasse**, von denen die überwiegende Zahl der Anlagen noch in der Gewährleistung ist, ist ebenfalls bereits von Lagerschäden in den Planetengetrieben betroffen.

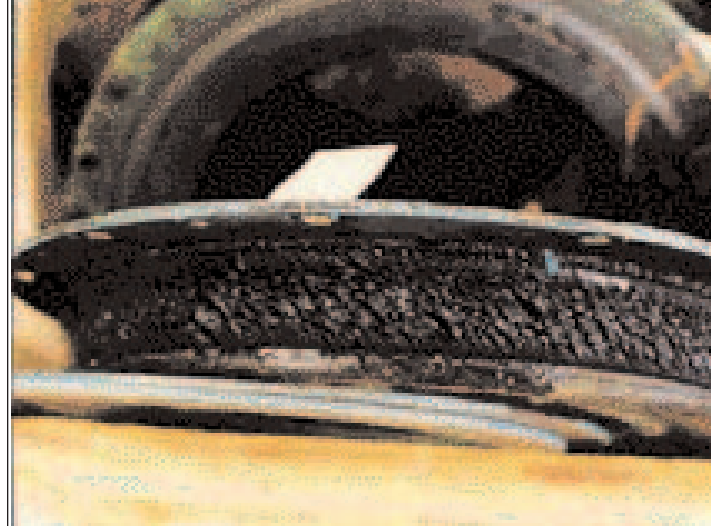


Bild 4

ve oil temperatures (sludge accumulation), excessive oil contamination and overlong oil-change intervals

Damage

- Bearing damage (ingress of foreign bodies, installation faults, lack of lubricant, etc.)
- Tooth-surface damage (overloading, lack of lubricant, manufacturing defects (fig. 2), alignment faults, spalling caused by one-sided contact)
- Seat of bearings worn out or loose
- Stop marks
- Corrosion

Damage according to capacity class

In many cases, planetary gears built for wind turbines in the **250/300 kW** output class currently achieve a useful life of max. 50-60,000 hours of operation. These gears are generally splash lubricated and have no oil cooler or oil filtration. As a special feature, the arrangement of bearings for the planetary stages requires replacement of the external bearing race through the inner hole of the planet wheel. This design has not proved itself in our opinion.

Bearing failures have led to massive gearbox damage.

We have found the following damage and bearing failures in spur gears of the **500/600 kW class**:

- Scoring of tooth surfaces
- Bearing flaking in self-aligning roller bearings (fig. 3)
- Rotation of bearings on output shaft
- Seal tarnishing
- Sludge accumulation, particularly in output stages
- Spalling in area of dedendum
- Cracks in tooth surfaces

We have found the following damage in the case of planetary spur gears:

- Bearing damage, particularly in the planetary stages, with consequential damage to wheel sets
- Ingress of foreign bodies in internal geared wheel
- Shaft fractures
- Fretting corrosion

The **MW class**, where the majority of wind turbines are still under guarantee, has also already been affected by bearing damage in planetary gears.

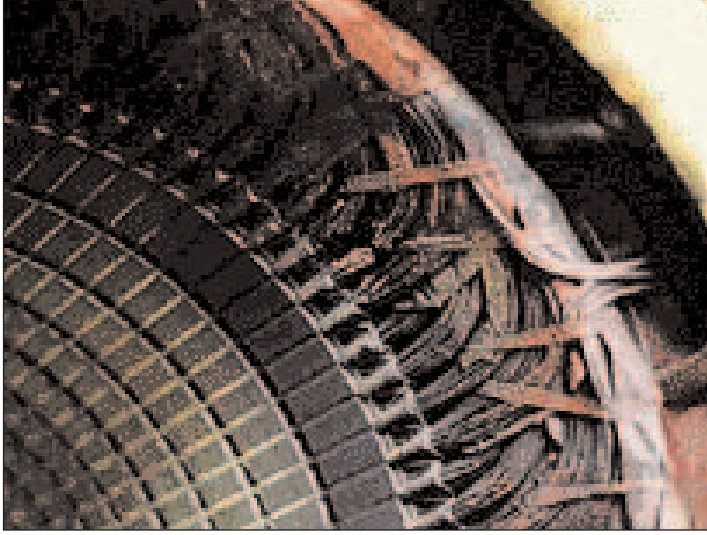


Bild 5

Kupplungsverschleiß und Schäden

Insbesondere bei stall-geregelten Anlagen mit den bekannter weise höheren Lastspitzen als bei pitch-geregelten Anlagen haben wir Bauteilstandzeiten beobachtet, die zum vorzeitigen Austausch der Kupplungen bzw. der Verschleißelemente geführt haben. (Bild 4)

Nach ca. 40000 Betriebsstunden verschlissene elastische Elemente einer Kupplung sind bei einer Bauart der Regelfall.

Generell kann hier jedoch gesagt werden, dass Kupplungen nicht unbedingt zu den Problembauteilen im Antriebsstang zählen.

Generatorverschleiß und Schäden

Bei den stall-geregelten Anlagen werden überwiegend Drehstromasynchrongeneratoren eingesetzt. Für eine bessere Anpassung an die unterschiedlichen Windverhältnisse werden die meisten Generatoren für zwei Drehzahlen ausgelegt, das heißt, es werden polumschaltbare Maschinen eingesetzt.

Bei der Schaltungsauslegung ist es angeraten, die nichtspeisende Wicklung komplett vom Netz zu schalten. Für eine lange Lebensdauer der Wicklung sollte sowohl das Zuschalten der Wicklung ans Netz, wie auch die Umschaltung von einer auf die andere Polzahl über eine strom- und damit auch momentenbegrenzende Umschalt-elektronik gesteuert werden, dessen Funktion im Rahmen der 1/2 jährlich Wartungen sorgfältig überprüft werden sollte. (Bild 5)

Bei Anlagen > 1 MW kommen sowohl für Pitch- wie auch Stallanlagen vermehrt Drehstrom-Schleifringläufer-Maschinen mit stromrichter-gespeisten Läuferkreis zum Einsatz.

Sofern kein separater Schleifringraum vorgesehen ist, führt die Kohlestaubbeaufschlagung schnell zu Überschlügen sowohl in den Ständer- wie auch den Läuferwicklungen.

Für die Abschätzung der Wälzlagerlebensdauer sollte nicht nur das Traglastkollektiv (Bild 6) herangezogen werden, sondern auch der Wellen- und Lagerschildsitze sollte Beachtung finden. Bei den meisten von uns nach 40.000 Betriebsstunden inspizierten Generatoren zeigte sich sowohl im Lagerschild wie auch auf den Wellenenden Passungsrost und bei einer nicht unerheblichen Anzahl der Maschinen war die zulässige Passung nicht mehr gegeben.



Bild 6

Coupling wear and damage

Particularly in the case of stall-controlled wind turbines, which are known to have higher load peaks than pitch-controlled systems, we have observed that the useful service life of components has led to the premature replacement of the couplings and/or wearing elements (fig. 4).

Elastic elements that are worn after approx. 40,000 hours of operation are the rule with one type of construction.

In general, however, it can be said in this context that couplings are not one of the problem components in the drive chain.

Generator wear and damage

Stall-controlled wind turbines mainly use three-phase asynchronous generators. To facilitate adjustment to the various wind conditions, most generators are designed for two speeds, i.e. pole-changing machines are used.

When it comes to circuit design, it is advisable to disconnect the non-feeding winding from the mains completely. To extend the service life of the winding, both connection of the winding to the mains and switching from one pole number to another should be controlled via current-limiting and therefore also torque-limiting changeover electronics, the functioning of which should be checked carefully at 6-monthly services (fig. 5).

In the case of wind turbines > 1 MW, three-phase slipring machines with a converter-fed rotor circuit are being used more and more widely for both pitch and stall systems.

If there is no separate slipring compartment, carbon dust emissions soon lead to arcing in both the stator and rotor windings.

When it comes to assessing the service life of antifriction bearings, more than just the ultimate load population (fig. 6) should be considered. Attention should be paid to the end shield seat of both the shaft and bearings. In most of the generators that we have inspected after 40,000 hours of operation there was fretting corrosion of both the bearing end shields and the shaft ends, while a not insubstantial number of the machines no longer had the permitted fit.



Bild 8

Rotorlagerverschleiß und Schäden

Anhand eines Beispiels einer älteren WEA ist ersichtlich, welche Auswirkungen auf die Lagerstandzeit zu erwarten ist, wenn eine Lagerbauform gewählt wird, die sich bei waagrechttem Einbau als Drehkranzlager zwar bewährt hatte, als Rotorlager jedoch vorzeitig versagte. In diesem Fall wurden Großwälzlager in dreireihige Rollen-Bauweise eingesetzt.

Die eingesetzten Lager fielen frühzeitig durch Laufbahnschäden aus (Bild 8).

Bei der gewählten Bauform kam hinzu, dass der Lageraußenring für die aufgetretenen Betriebslasten zu schwach ausgeführt war.

Hieraus ist abzuleiten, dass der Wahl der Lagerbauform und der Gestaltung des Gehäuses eine besondere Aufmerksamkeit in der Auslegung und Berechnung zukommen muss, egal ob es sich um ein freistehendes Gehäuse oder um die Einbettung des Lagers im Getriebe handelt. Anlagen neuerer Bauart sind in dem bei uns versicherten Bestand bisher nicht besonders durch Rotorlagerschäden aufgefallen.

Instandsetzungskosten und Betriebsunterbrechungsausfall

Bei den Instandsetzungskosten unterscheidet der Maschinenversicherer zwischen den schadenbedingten Instandsetzungsarbeiten und den verschleißbedingten Kosten.

Der Maschinenversicherer erstattet nur die schadenbedingt entstandenen Kosten, während die verschleißbedingten Kosten durch den Betreiber zu tragen sind.

Gleiches gilt für den Unterbrechungszeitraum.

In der Praxis bedeutet dies, dass die Kosten für Aufarbeitung, Austausch oder Erneuerung von Bauteilen, die das Ende der Lebensdauer erreicht haben, vom Betreiber zu tragen sind, unabhängig von der tatsächlich erreichten Standzeit.

Die Maschinenversicherung deckt in **keinem Fall** normalen und vorzeitigen betrieblichen Verschleiß, Korrosion, Erosion und Schäden, die auf die dauernden Einflüsse des Betriebes zurückzuführen sind.

Ein **Getriebelager**, das nach 40.000 Betriebsstunden Materialermüdung aufweist, und zu dessen Austausch in der Regel eine vollständige oder teilweise Demontage und Zerlegung des Getriebes erforderlich wird, ist **kein Fall für den Maschinenversicherer**.

Die Höhe der Instandsetzungskosten und des Betriebsausfalls hängen dabei von folgenden Faktoren ab:

- Standort und Zugänglichkeit der Anlage
- Bauart des Getriebes
- Verfügbarkeit von Austauschteilen

Rotor-bearing wear and damage

Using the example of an older wind turbine, it is apparent what effects on bearing life are to be expected if a bearing design is chosen that may have proved itself in horizontal installation as a slewing-ring bearing, but fails prematurely as a rotor bearing. In this instance, live rings were used in a three-row roller construction.

The bearings used failed prematurely owing to raceway damage (fig. 7).

With the type of construction chosen, the external bearing race was also too weak for the operating loads that occurred.

It can be deduced from this that the choice of bearing type and the housing design must be given special attention in layout and calculations, irrespective of whether the housing is freestanding or the bearing is embedded in the gearbox.

The wind turbines of newer design among those we insure have not yet attracted our attention to any particular extent as a result of rotor-bearing damage.

Repair costs and business interruption

When it comes to repair costs, the machine insurer distinguishes between damage-related repair work and wear-related costs.

The insurer only pays damage-related costs, while wear-related costs have to be borne by the operator.

The same applies to business interruption.

In practice this means that the costs of regenerating, replacing or renewing components that have reached the end of their service life have to be borne by the operator, irrespective of the useful life actually achieved.

Under no circumstances does machine insurance cover normal and premature operating wear, corrosion, erosion and damage that can be attributed to the continuous effects of operation.

A gear bearing that shows material fatigue after 40,000 hours of operation and where the gearbox would have to be completely or partially removed and dismantled for it to be replaced **is no concern of the machine insurer**.

The cost of repair and business interruption depends on the following factors:

- Location and accessibility of the wind turbine
- Gearbox design
- Availability of spare parts

Anlagen, die in geringen Stückzahlen gebaut wurden oder deren Hersteller zwischenzeitlich Konkurs gegangen sind, können sehr schnell zum Problemfall für den Betreiber und im Schadenfall auch für den Versicherer werden. Die Kosten für Instandsetzung und insbesondere auch für den Betriebsausfall werden sich bei diesen Anlagen vornehmlich im oberen Kostenbereich bewegen.

Wir beobachten hier insbesondere bei älteren Anlagen hohe Ersatzteilkosten und Lücken in der Ersatzteilversorgung bis hin zur nicht mehr Verfügbarkeit von Neuteilen. Für derartige Altanlagen wird es für den Betreiber künftig immer schwieriger werden, die Anlagen zu üblichen Prämien zu versichern, bzw. überhaupt Versicherungsschutz zu bekommen.

Die Versicherbarkeit einer WEA hängt mit zunehmendem Alter immer stärker davon ab, ob Instandhaltung betrieben wird, die über die übliche Wartung hinausgeht und die eine hohe Verfügbarkeit der Anlage und einen schadenarmen Betrieb gewährleistet.

Der Austausch oder die Instandsetzung vorzeitig ermüde-ter Bauteile ist bei Windenergieanlagen deutlich kostenintensiver als bei vergleichbaren Bauteilen von stationären Anlagen. Die gewählten Konstruktionen, insbesondere bei Getrieben, sind meistens nicht besonders instandsetzungsfreundlich ausgeführt. Ein Lagerschaden in der Planetenstufe des Getriebes erfordert die Demontage des Getriebes und meistens auch des Rotors bzw. bei einigen Herstellern auch der Gondel.

Bei Stirnradgetrieben ist hier in der Regel eine Reparatur ohne Gondeldemontage und ggf. auch ohne vollständige Demontage des Getriebes möglich.

Kupplungswechsel können die Demontage des Generators erforderlich machen.

Generatorlagerwechsel erfolgen ebenfalls meistens nicht auf der Gondel.

**Beispiel: Instandsetzungskosten 600 kW Anlage
Getriebeinstandsetzung (AT-Getriebe)**

130 bis 150 TDM

Stirnradgetriebe Abtriebsstufe neu lagern

50 bis 70 TDM

Generator Lagerwechsel

15 bis 30 TDM

Generator Wicklung erneuern

50 bis 90 TDM

Einfache Kupplungselemente

10 TDM

Herstellerbedingte Preisunterschiede und anlagenbedingte De- und Remontagekosten sind nicht unerheblich.

**Maßnahmen zur Standzeiterhöhung von
Bauteilen und Vermeidung von Schäden**

Lange Bauteilstandzeiten und hohe Funktionssicherheiten sind immer auch das Ergebnis gewissenhafter Detailarbeit. Dies gilt für die Auslegung, Erprobung, Qualitätssicherung, Inbetriebnahme und Betriebsführung ebenso wie für die Umsetzung aller gewonnenen Betriebserfahrungen. Jeder Herstellerwechsel eines Bauteils kann u.U. ungeahnte Ausfälle und Schäden nach sich ziehen. Die ordnungsgemäße Funktion jedes Bauteils ist sicherzustellen, dies gilt für alle Betriebs- und Wetterbedingungen (Eisansatz am Blatt > Abstellung der WEA oder Anemometervereisung > Einrichtungen zum Enteisen – z.B. In-

Wind turbines that are built in small numbers or whose manufacturers have since gone into liquidation can very quickly become a problem for the operator and, in the event of a claim, the insurer too. The cost of repair and, in particular, business interruption will presumably be at the top end with such wind turbines.

In the case of older wind turbines in particular we see high spare-part costs and gaps in the supply of spare parts, including new parts no longer being available. Old wind turbines of this sort will be come increasingly difficult for the operator to insure at ordinary premiums, if they can be insured at all.

As age increases, the insurability of a wind turbine depends increasingly on whether the corrective maintenance carried out goes beyond ordinary servicing and guarantees high availability of the installation with low-claim operation.

The replacement or repair of prematurely fatigued components is far more cost intensive for wind turbines than for comparable components in stationary plant. The designs chosen, particularly in the case of gearboxes, are for the most part not especially repair friendly. Bearing damage in the planet stage of the gearbox necessitates removal of the gearbox and usually the rotor as well, or even the nacelle in the case of some manufacturers.

With spur gears, repair is usually possible without removing the nacelle and sometimes without completely removing the gearbox.

If a coupling has to be replaced, the generator may have to be removed.

Generator bearings are not usually replaced in the nacelle.

**Example: Repair costs for 600 kW wind turbine
Gearbox repair (replacement gearbox)**

DEM 130,000 to 150,000

Replace bearings for output stage of spur gear

DEM 50,000 to 70,000

Replace generator bearings

DEM 15,000 to 30,000

Replace generator winding

DEM 50,000 to 90,000

Simple coupling elements

DEM 10,000

Manufacturer-dependent price differences and turbine-dependent disassembly and reassembly costs are not insubstantial.

**Measures for increasing the useful life
of components and avoiding damage**

Long component life and good functional reliability are also always the result of conscientious attention to detail. This applies to design, testing, quality assurance, commissioning and operation, as well as putting all the operating experience gained into practice. Every change in the manufacturer of a component can in certain circumstances lead to unsuspected failures and damage. The proper functioning of every component must be ensured in all operating and meteorological conditions (ice formation on blade >

frarotwärmequelle) ebenso wie für längeren Anlagenstillstand (z.B. bei fehlender Netzanbindung).

Abweichungen vom normalen Betriebszustand müssen durch die Überwachungs- und Sicherheitseinrichtungen sofort erkannt werden und die WEA selbsttätig in einen sicheren Betriebszustand führen.

Alle Bauteile sind vor Serieneinsatz eingehend zu erproben. Die Anwendung erweiterter Messprogramme, insbesondere im Antriebstrang, kann hier weitgehende Aufschlüsse über die richtige Auslegung und Wahl des Bauteils bringen.

Für Off-shore Anlagen sind Redundanzen erforderlich, die den wachsfreien Weiterbetrieb der WEA gewährleisten, wenn ein Bauteil ausgefallen ist.

WEA im Off-shore Einsatz, insbesondere in dem vorgesehenen Einsatz in der Nordsee, werden durch Sturm über einen langen Zeitraum unerreikbaar sein.

Bisher erzielte Bauteilstandzeiten sind für diesen Einsatzzweck völlig unzureichend.

Instandsetzungsarbeiten größeren Umfanges, z.B. Lagerwechsel im Getriebe, müssen autark auf der Anlage durchführbar sein. Derzeitige Konstruktionen, die den Austausch des ganzen Getriebes mit entsprechend hoher Hebezeugkapazität, wie bei Landanlagen üblich, erforderlich machen, sind u.E. nicht wirtschaftlich und nicht akzeptabel.

Schlussbemerkung

Die bisherigen Erfahrungen haben gezeigt, dass Bauteile, und hier insbesondere Wälzlager in Planetenstufen, nicht die erwarteten Standzeiten erreichen. Dies ist weder für den Anlagenhersteller, dem Betreiber noch für den Maschinenversicherer auf die Dauer tragbar.

Aus Sicht des Versicherers müssen für einen sicheren und schadenarmen Betrieb folgende Punkte erfüllt werden:

- Erweiterte Felderprobung aller neuen WEA Typen
- Erweiterte Messprogramme an den Anlagen (Einflüsse in den Triebstrang)
- Instandhaltungsorientierteres Konstruieren und systemübergreifendes Denken
- Verstärkte Modulbauweise (nicht jede WEA muss ein Unikat sein)
- Rückfluss gewonnener Betriebserfahrungen (auch an den Betreiber)
- Sicherstellung der Verfügbarkeit von Austauschkomponenten über die Lebensdauer der Anlagen
- Verkürzung von Lieferzeiten durch Lagerhaltung
- Optimierung der Bauteilstandzeiten und Vorgabe der Instandhaltungsumfänge (Instandhaltungskonzepte)
- Verbesserung der Dokumentation und des Informationsflusses
- Periodische Überprüfung aller Anlagen durch unabhängige Sachverständige

wind-turbine shutdown or anemometer icing > de-icing equipment – e.g. infrared heat source) and when the wind turbine is at a standstill for a prolonged period (e.g. no system connection).

The monitoring and safety systems must detect deviations from normal operating state immediately and return the wind turbine to a safe operating state automatically.

All components must be thoroughly tested before being used in series production. The use of extended measuring programmes, particularly in the drive train, can provide detailed information on correct design and choice of components.

Offshore turbines, especially those used for the planned deployment in the North Sea, will be inaccessible for extended periods owing to gales.

The useful life achieved for components so far is completely inadequate for this purpose.

It must be possible to carry out major repairs, e.g. replacing bearings in the gearbox, autonomously in situ. In our opinion, the designs currently in use for land-based installations, which necessitate replacement of the entire gearbox and a correspondingly high crane capacity, are neither economical nor acceptable.

Closing comments

The experience gained so far has shown that components in general, and antifriction bearings in planet stages in particular, are not achieving the expected useful life. This is not sustainable for the wind-turbine manufacturer, the operator or the machine insurer in the long term.

From the point of view of the insurer, the following points have to be satisfied in order to achieve safe, reliable operation.

- Extended field testing of all new wind-turbine types
- Extended measuring programmes for wind-turbines (influences in the drive chain)
- Repair-oriented design and inter-system thinking
- Greater use of modular construction (not every wind turbine has to be a one-off)
- Feedback from operating experience (including to operator)
- Ensuring the availability of replacement components for the service life of wind turbines
- Reduction of delivery times by keeping parts in stock
- Optimisation of component life and stipulation of scope of corrective maintenance (corrective-maintenance concepts)
- Improvement of documentation and flow of information
- Periodic inspection of all wind turbines by independent experts.



Allianz 

Dipl. Ing. Helmut Krüger
Abt. Industrie - Schaden TV 1
Grosser Burstah 3
20457 Hamburg
Tel. 040/3617-2417