

Was tun, wenn Türme swingen?

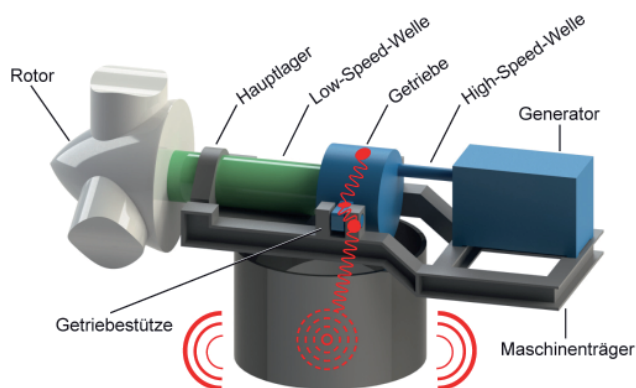
Getriebetonalitäten mit aktiven oder passiven Tilgern reduzieren



Tonalitäten schränken die akustische Qualität der Anlage ein

Wie entstehen Tonalitäten?

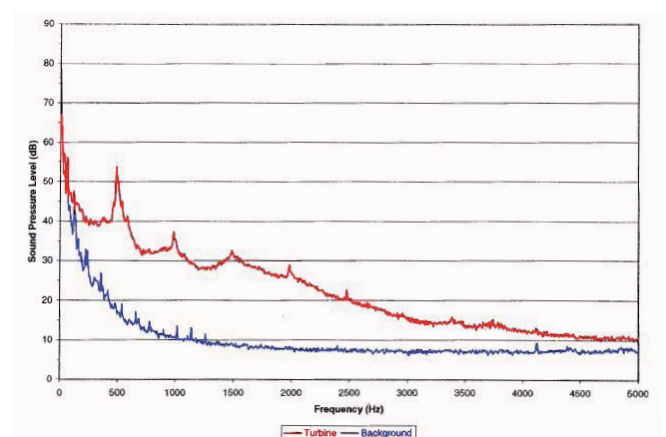
Tonalitäten haben ihren Ursprung im Getriebe: Die Verzahnungskräfte einer oder mehrerer Getriebestufen schwanken periodisch mit der jeweiligen Zahneingriffsfrequenz. Dies stellt eine dynamische Schwingungserregung im hörbaren Frequenzbereich dar, meist ab ca. 80 Hz bis hinauf zu einigen 100 Hz. Auf diese Anregung reagiert das Getriebe mit Schwingungen in der Anregungsfrequenz. Die Getriebebeschwingungen werden nach ihrer Entstehung in der Windenergieanlage weitergeleitet und setzen sich bis hin zu Rotorblättern und Turm fort.



Ausbreitung und Abstrahlung von Tonalitäten im Antriebsstrang

Auf diesem Übertragungsweg können sie eventuell durch Bauteilresonanzen weiter verstärkt werden. Übliche Getriebe-lagerungen mit ihrer schwingungs-isolierenden Wirkung sind häufig nicht in der Lage, die Schwingungen hinreichend zu vermindern, da die Eckfrequenz der Isolation nicht zu niedrig gewählt werden kann.

Turm und ggf. auch Rotorblätter wandeln die mechanische Schwingungsenergie nun mit ihrer riesigen Oberfläche in Schallenergie um und strahlen diese als hörbaren Schall ab: Tonaler Luftschall ist entstanden.



Tonhaltiges Schmalbandspektrum einer Windenergieanlage bei Schallmessung im Freifeld



Warum sind Tonalitäten problematisch?

Die akustische Güte von Windenergieanlagen wird anhand des Schallleistungspegels, der nach der IEC 61400-11 zu ermitteln ist, bewertet. Hauptsächlich wird das Geräusch einer Anlage von der Luft erzeugt, die die Rotorblätter umströmt. Hörbar wird ein Rauschen, das breitbandig ist, also aus vielen Frequenzen besteht, von denen keine besonders stark hervortritt.

Treten nun Getriebetonalitäten auf, so mischt sich ein Geräusch mit einer festen Frequenz, also ein Ton, unter dieses breitbandige Rauschen. Tonale Geräusche (Tonalitäten) sind, wie aus der Psycho-Akustik bekannt ist, besonders unangenehm für den Menschen, weshalb die Normen für tonale Anteile einen sogenannten Tonalitätszuschlag auf den ermittelten breitbandigen Schallleistungspegel vergeben, der bis zu +6 dB betragen kann. Inklusiv eines solchen Zuschlags werden häufig die Genehmigungsgrenzwerte für die Schallemission nicht eingehalten oder aber die dem Anlagenbetreiber vertraglich zugesicherten Geräuschwerte überschritten.

Wie können Tonalitäten vermindert werden?

Klassische Lösungsansätze für die Verminderung von Tonalitäten bestehen in

- der Verbesserung der Verzahnungsqualität;
- einer weicheren Getriebelagerung an den Drehmomentsützen; infolge der gewaltigen statischen Lasten sind dieser Strategie jedoch enge Grenzen gesetzt.



Tilger am Getriebe unterbinden Ausbreitung und Abstrahlung

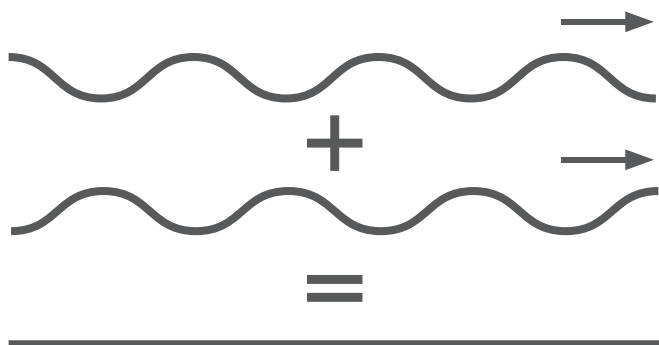
Die innovativen Ansätze von Wölfel beruhen darauf, die Ausbreitung der Getriebebeschwingungen – insbesondere in Richtung Turm – zu verhindern. Dies wird erreicht, indem die vorliegende Schwingung durch eine präzise eingeleitete Gegenschwingung kompensiert wird, bevor sie sich ausbreiten kann.

Gegen Tonalitäten mit fester Frequenz: TMD.Sound

Passiver schwach gedämpfter Tilger kompensiert eine Ordnung tonaler Getriebeschwingungen bei einer fest eingestellten Drehzahl, meist bei Nenndrehzahl der Windenergieanlage.

Anwendung und Wirkung

An beiden Drehmomentstützen wird je ein passiver Tilger TMD.Sound montiert, der exakt auf die Tonalitätsfrequenz bei Nenndrehzahl abgestimmt ist. Durch die Abstimmung wird vom Tilger eine der Anregung exakt entgegengesetzte Kraft eingeleitet, so dass sich die tonalen Kräfte an den Drehmomentstützen aufheben. Die Weiterleitung der Schwingungsenergie in den Turm wird unterbunden, sie wird „umgeleitet“ in die Bewegung der Tilgermasse des TMD.Sound, aus der keine Schallabstrahlung hervorgeht.



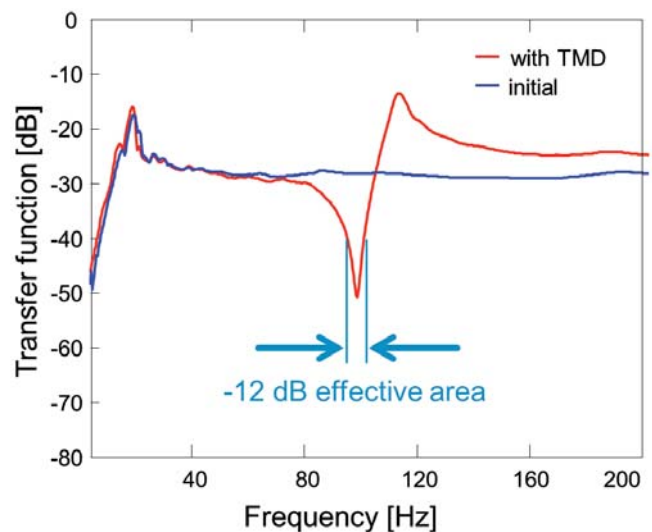
Auslöschung der Tonalität durch Gegenschwingungen

Vorteile

- Keine Energiezufuhr nötig
- Geringe Kosten durch einfachen Aufbau
- Nachrüstbar (troubleshooting)

Nachteile

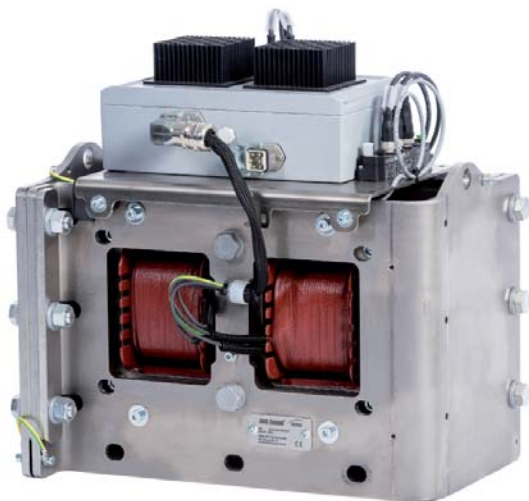
- Höhere Masse → größerer Bauraum
- Schmale Bandbreite: nur eine feste Frequenz
- Begrenzter Frequenzbereich





Gegen Tonalitäten mit veränderlicher Frequenz: ADD.Sound®

Aktiv geregelter Tilger kompensiert mehrere Ordnungen tonaler Getriebebeschwingungen bei über den gesamten Drehzahlbereich der Windenergieanlage veränderlicher Drehzahl.



ADD.Sound®

Anwendung und Wirkung

An beiden Drehmomentstützen wird je ein aktiver Tilger ADD.Sound® montiert. Für die Aufnahme der Regelungselektronik wird in der Gondel ein kompakter Schaltkasten montiert. Durch den drehzahladaptiven Regelalgorithmus erzeugen die im aktiven Tilger verbauten Leistungsaktoren eine Kraft im Bereich etlicher Kilonewton, die die tonalen Anregungskräfte

aus dem Getriebe exakt auslöscht. Die Weiterleitung der Schwingungsenergie in den Turm wird unterbunden, sie wird „umgeleitet“ in die Bewegung der Reaktionsmasse des ADD.Sound®, aus der keine Schallabstrahlung hervorgeht.

ADD.Sound® ist hundertfach im Feldeinsatz und hat sich bei der Beherrschung tonhaltiger Windenergieanlagen bewährt.

Vorteile

- Breitbandige Wirkung
- Kompensation mehrerer Tonalitäten gleichzeitig
- Geringere Masse → geringerer Bauraum
- Keine Abstimmung nötig
- Nachrüstbar (troubleshooting)

Nachteile

- Energiezufuhr wird benötigt
- Höhere Kosten als passiver TMD.Sound

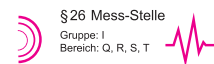


Was bewegt Wölfel?

Schwingungen, Strukturmechanik und Akustik – das ist die Welt von Wölfel. In dieser Welt sind wir die Experten. Sie ist unser Zuhause. Über 90 Mitarbeiter geben hier täglich ihr Bestes für die Zufriedenheit unserer Kunden. Seit mehr als vier Jahrzehnten unterstützen wir Sie weltweit mit Ingenieurleistungen und Produkten zur Analyse, Prognose und Lösung schwingungs- und schallinduzierter Aufgaben.

Sind Schwingungen wirklich überall? Ja! Darum brauchen wir ebenso vielfältige Lösungen! Ob als Ingenieurdienstleistung, als Produkt oder als Software – für jede Schwingungs- oder Lärmaufgabe gibt es eine spezifische Wölfel-Lösung, wie beispielsweise

- simulationsgestützte Auslegungen von Anlagen und Kraftwerken gegen Erdbeben
- Messungen der Schallemissionen von Windenergieanlagen
- universelle Mess-Systeme für Schall und Erschütterungen
- Lärmschutzgutachten und Schadstoffprognosen
- dynamische Insassen-Simulationen im Automobil und im Flugzeug
- und viele weitere branchenspezifische Wölfel-Lösungen ...



Wölfel-Gruppe

Max-Planck-Straße 15 / 97204 Höchberg
Tel.: +49 931 49708 0 / Fax: +49 931 49708 150
info@woelfel.de / www.woelfel.de

