



Windenergie in Laborversuchen

- Grundlagen zur Aerodynamik
- Energiegewinnung aus Windkraft
- Getriebetechnik, Anlagensteuerung und Maschinenüberwachung für moderne Windkraftanlagen

Inhaltsverzeichnis

Technologie mit Zukunft

Während typische Windräder für mechanische Antriebe bereits seit Jahrhunderten verbreitet sind, erlebt speziell die Stromerzeugung mittels großer Windkraftanlagen gegenwärtig ihren wirtschaftlichen Durchbruch.

Der aktuelle Trend geht zu großen Windkraftanlagen mit großen Rotoren. Dies liegt vor allem daran, dass in großen Höhen hohe Windgeschwindigkeiten vorliegen. Die Windgeschwindigkeit hat einen sehr großen Einfluss auf die Drehgeschwindigkeit des Rotors. So sind Rotordurchmesser von ca. 100m heutzutage keine Seltenheit mehr.

Der Prozess der Energiegewinnung durch Windkraft beinhaltet neben den praktischen Aspekten auch umfangreiche theoretische Grundlagen. Daher unterscheiden wir in unserem didaktischen Konzept zum Bereich Windkraft die rechts aufgeführten Lernfelder.



E-Learning von GUNT bietet online umfangreiches Multimedia-Lehrmaterial zu den Laborversuchen und unterstützt so die technische Ausbildung und das ingenieurwissenschaftliche Studium.

Grundlagen der Windenergietechnik

Aerodynamik

HM 226
Windkanal zur visualisierung von stromlinien
HM 170
Offener windkanal
HM 170.09
Auftriebskörper tragfläche naca 0015
HM 170.22
Druckverteilung an einer tragfläche naca 0015

Energiegewinnung aus Windkraft

HM 170.70
Windkraftanlage mit Rotorblattverstellung
ET 210
Grundlagen Windkraftanlagen
ET 220
Energieumwandlung an einer Windkraftanlage
ET 220.01
Windkraftanlage
ET 220.10
Bediengerät für ET 220.01

Anwendungstechnik bei Windkraftanlagen

Getriebetechnik

AT 200
Wirkungsgradbestimmung von Getrieben

Anlagensteuerung

ET 222
Windkraft-Antriebsstrang
ET 224
Betriebsverhalten von Windkraftanlagen

Maschinenüberwachung

PT 500
System zur Maschinendiagnose, Basiseinheit
PT 500.11
Zubehörsatz Riss in der Welle
PT 500.15
Zubehörsatz Schäden an Getrieben

Basiswissen Windkraft

Der Erfolg moderner Windkraftanlagen wäre ohne Beiträge aus verschiedensten Teildisziplinen nicht denkbar. Für wirtschaftliche Aspekte beim Betrieb von Windparks gewinnen Systeme

zur Zustandsüberwachung (engl. Condition Monitoring Systems – CMS) zunehmend an Bedeutung.



Aerodynamik

Die Aerodynamik ist die Lehre des Verhaltens von Körpern in einem kompressiblen Gas (Luft). Die Aerodynamik beschreibt die Kräfte, die es ermöglichen, dass ein Windrad sich dreht oder ein Flugzeug vom Boden abhebt.

Die Auslegung eines Rotorblatts für moderne Windkraftanlagen muss sowohl die aerodynamischen Eigenschaften als auch die mechanische Belastbarkeit berücksichtigen. Um den Anforderungen gerade bei sehr großen Windkraftanlagen gerecht zu werden, kommen oft Flügelprofile zum Einsatz, die in umfangreichen Simulationen optimiert wurden.

Energiegewinnung aus Windkraft

Um Windenergie nutzen zu können, muss die kinetische Energie des Windes zunächst in Rotationsenergie umgewandelt werden. Die Rotationsenergie kann anschließend mit einem Generator zur Erzeugung elektrischer Energie genutzt werden. Wie bei allen Energieumwandlungsprozessen sind auch hier bei jedem Einzelschritt Verluste zu beobachten. Ausgehend von der maximal nutzbaren Windleistung (Betz-Kriterium) treten aerodynamische, mechanische und elektrodynamische Verluste auf.

Getriebetechnik

Bei der Leistungsübertragung von der Rotorachse auf den Generator müssen zwei Grundvoraussetzungen erfüllt sein:

- gute Gleichlaufereigenschaften mit möglichst geringen Schwankungen der Drehzahl und der Momente
- gute Anpassung des Drehzahlbereiches zwischen Rotor und Generator

Obwohl in den letzten Jahren große Fortschritte bei der Entwicklung von Frequenzumrichtern erzielt wurden, beruhen etablierte Triebstrangkonstruktionen auf dem Einsatz von Übersetzungsgetrieben. Die Getriebe ermöglichen es, Drehzahl bzw. Frequenz des Generators den Anforderungen des Wechselstromnetzes anzupassen.

Anlagensteuerung

Die Leistungsfähigkeit von Windkraftanlagen ist von mechanischen und elektrischen Komponenten sowie von einer effizienten Anlagensteuerung abhängig. Der Einfluss der wirksamen Parameter unter allen relevanten Betriebsbedingungen muss hierbei bekannt sein. Dazu wird die Abhängigkeit der Rotorleistung von Windgeschwindigkeit, Rotordrehzahl und Rotorblattwinkel in entsprechenden Kennfeldern berücksichtigt.

Maschinenüberwachung

Der Bau und Betrieb einer Windkraftanlage ist mit hohen Investitionskosten verbunden. Ein Ausfall von Rotorlagerung, Getriebe oder Rotorwelle führt zu finanziellen Einbußen.

Um einen Ausfall zu vermeiden, werden an Windkraftanlagen kontinuierlich Schwingungsanalysen durchgeführt. Ziel dieser Analysen ist es, beschädigte Komponenten frühzeitig zu erkennen und auszutauschen, bevor es zum Ausfall der Windkraftanlage kommt.

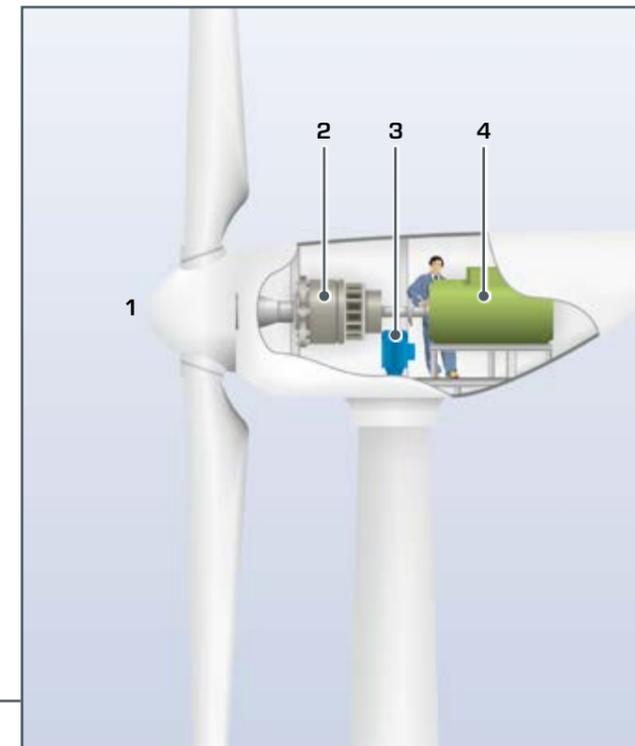
Windkraftanlagen bestehen neben dem Rotor und dem Generator aus vielen einzelnen Komponenten, die nur zusammen eine funktionsfähige und effiziente Windkraftanlage bilden.

Folgende Aspekte spielen bei der Ausbildung von Facharbeitern und Ingenieuren im Bereich der Windenergie-technik eine zentrale Rolle:

- Funktionsweise und Zusammenwirken der einzelnen Komponenten
- Montage und Betriebsüberwachung

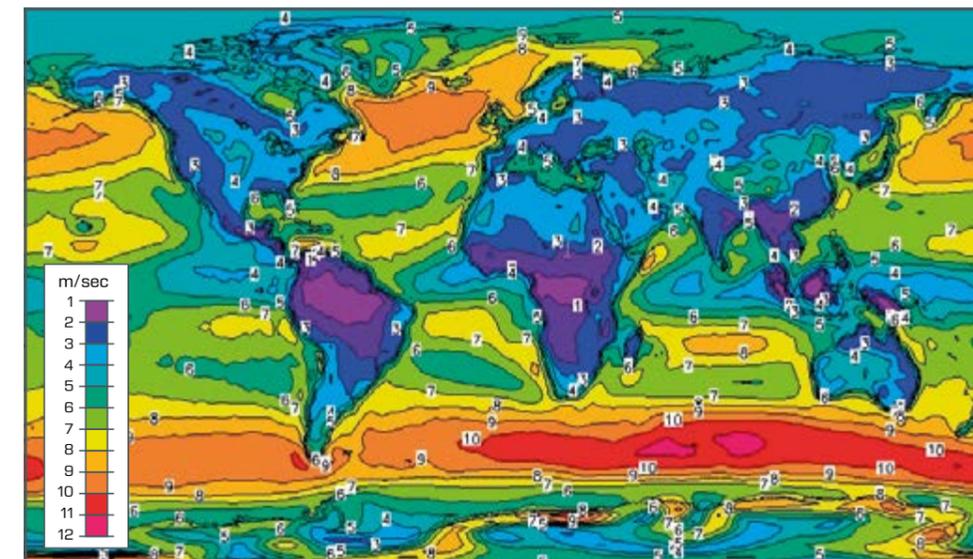
Aufbau einer typischen Windkraftanlage

- 1 Rotor, 2 Getriebe,
3 Azimut-Motor, 4 Generator



Globales Windenergieangebot

Die Grafik zeigt das mittlere globale Windenergieangebot als farblich gekennzeichnete Flächen

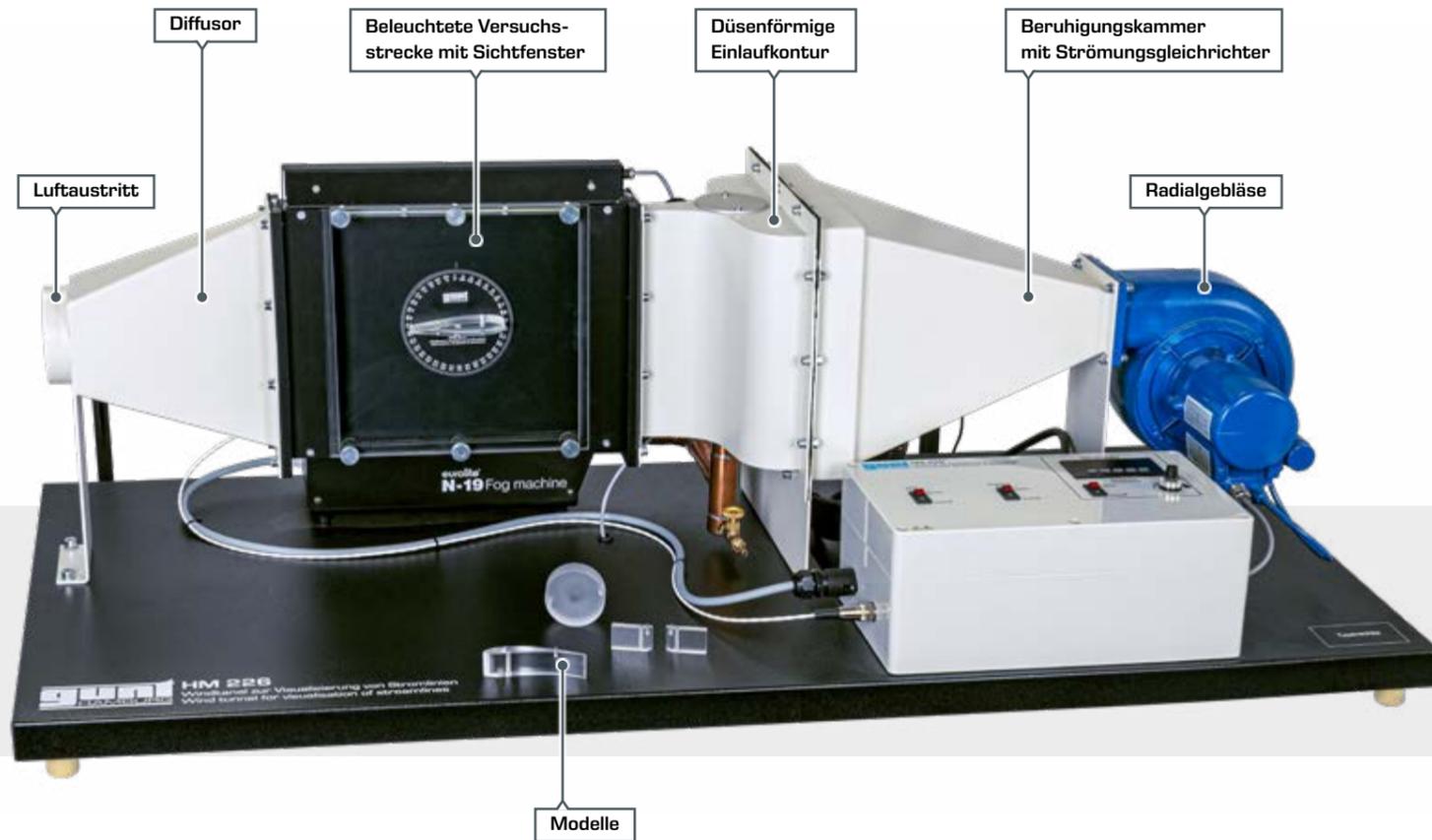


HM 226

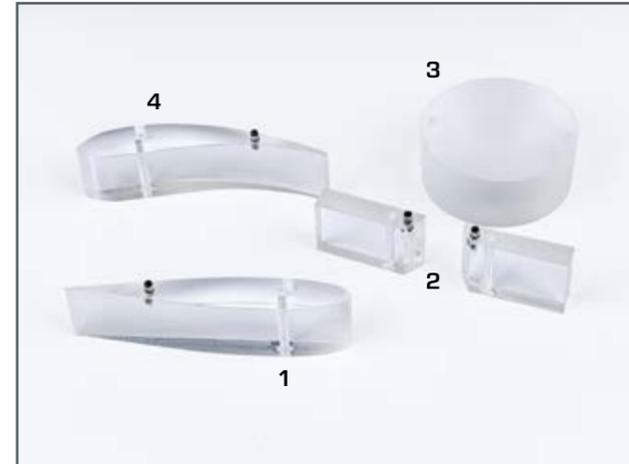
Windkanal zur Visualisierung von Stromlinien

Das Versuchsgert HM226 ist ein offener Windkanal, in dem Stromlinien, Strmungsablösungen und Turbulenzen mit Hilfe von Nebel sichtbar gemacht werden. Das verdampfte Nebelfluid ist ungiftig, wasserlsllich und der Niederschlag greiftbliche Materialien nicht an.

Die Versuchsstrecke besitzt einen schwarzen Hintergrund und eine transparente Scheibe; durch eine zusatzliche Beleuchtung sind die Stromlinien gut sichtbar.

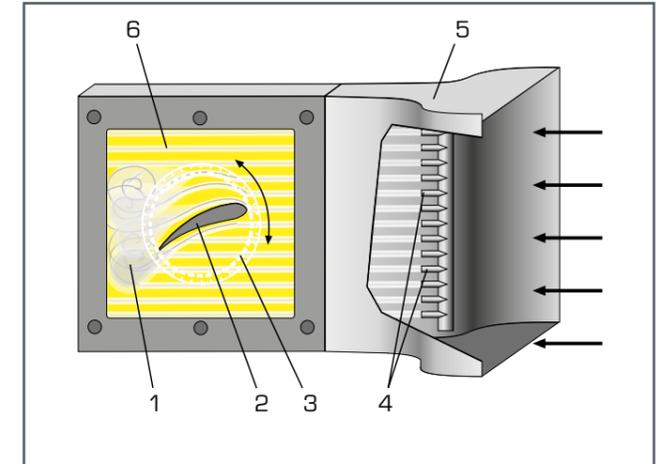


Vier austauschbare Modelle sind im Lieferumfang enthalten. Der Anstellwinkel der Tragfläche ist einstellbar.



Modelle

1 Tragfläche, 2 Blende, 3 Zylinder, 4 Leitschaukelprofil



Aufbau der Versuchsstrecke

1 Verwirbelung, 2 Modell, 3 Skala zur Einstellung des Anstellwinkels, 4 Düsen zur Einleitung von Nebel, 5 düsenförmige Einlaufkontur, 6 beleuchtete Versuchsstrecke

Zum Produkt:

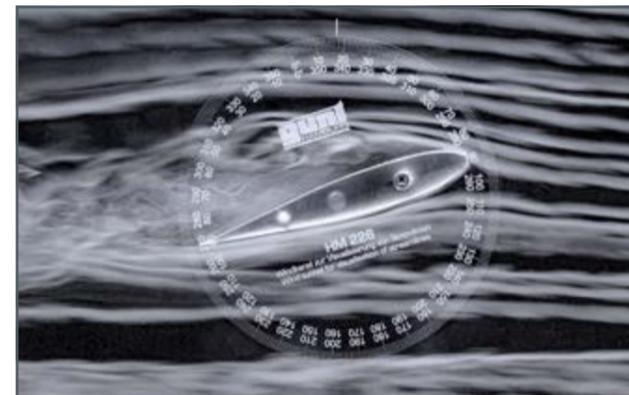


Lerninhalte

- Visualisierung von Stromlinien
- Umströmung bzw. Durchströmung von verschieden geformten Modellen
- Strömungsablösung und Turbulenzen
- Strömungsabriss in Abhängigkeit vom Anstellwinkel

Features

- transparenter, beleuchteter Sichtbereich zur optimalen Beobachtung der Stromlinien
- turbulenzarme Strömung
- Stromlinienfeld wird durch Injektion von Nebel aus mehreren Düsen erzeugt
- Nebelgenerator im Lieferumfang enthalten



Detailansicht der Versuchsstrecke
Strömungsabriss in Abhängigkeit des Anstellwinkels

HM 170

Offener Windkanal mit Zubehör

Grundlagen der Windenergieumwandlung

Am Anfang der Wirkungskette einer Windkraftanlage steht der Rotor. Wie viel Windenergie in mechanische Arbeit umgesetzt wird, hängt ganz wesentlich von den aerodynamischen Eigenschaften des Rotorblatts ab.

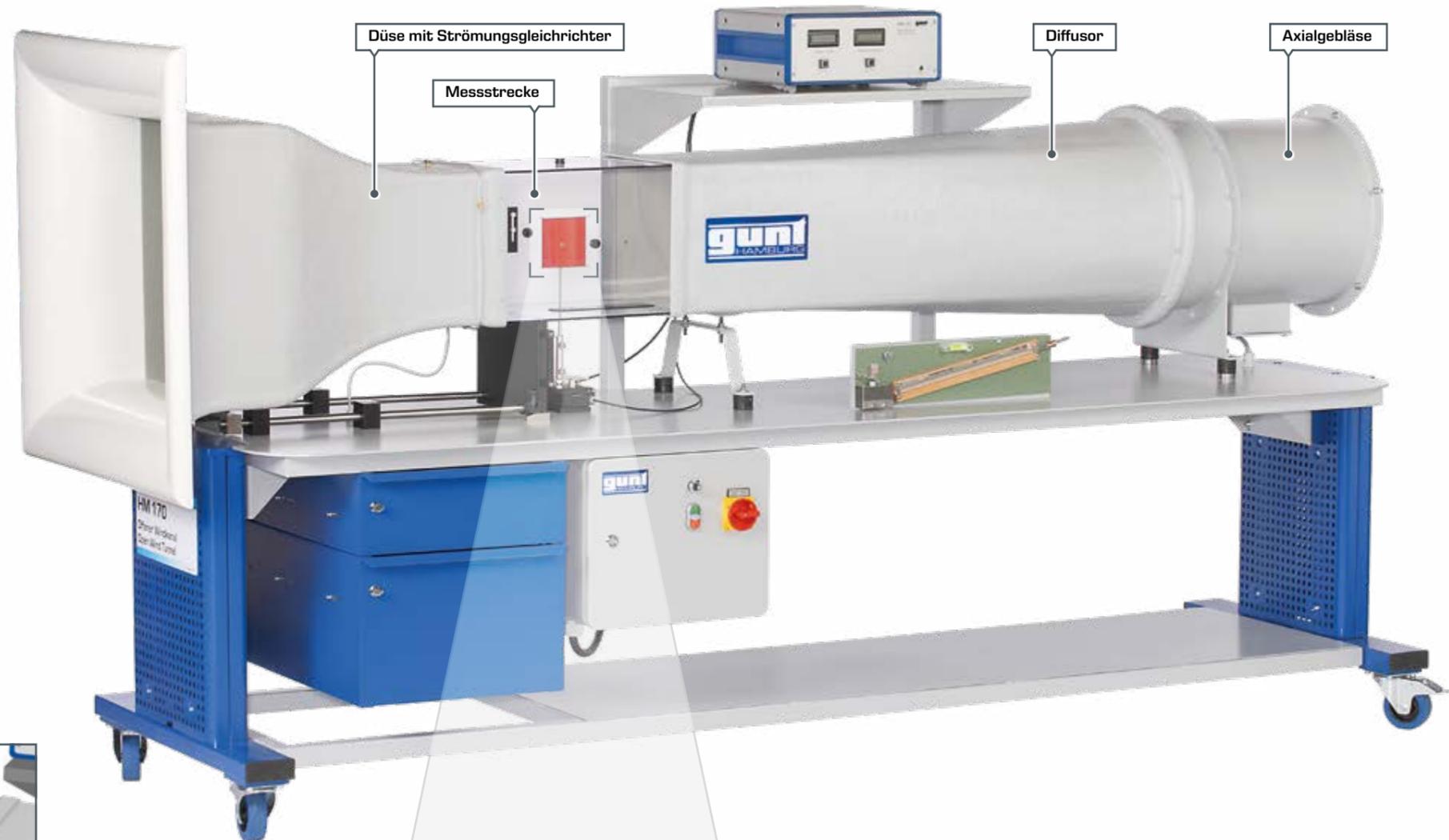
Am Windkanal HM 170 können Versuche mit verschiedenen Profilformen und Widerstandskörpern durchgeführt werden. Dabei kann z.B. der Einfluss des Anstellwinkels auf die Druckverteilung am Profil gemessen werden. Daraus resultierende Auftriebskräfte und Widerstandskräfte bestimmen die Umwandlung der kinetischen Energie des Windes in mechanische Arbeit an der Rotorwelle.

HM 170 ist ein offener Windkanal vom Typ „Eiffel“, mit dem die aerodynamischen Eigenschaften verschiedener Modelle demonstriert und gemessen werden. Dazu wird Luft aus der Umgebung durch einen Strömungsgleichrichter angesaugt und beschleunigt.

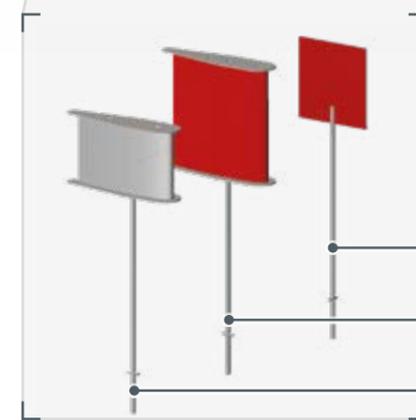
In einer Messstrecke umströmt die Luft ein Modell, z.B. eine Tragfläche. Anschließend wird die Luft durch das antreibende Gebläse wieder ins Freie gefördert.

Für die einzelnen Versuche mit HM 170 ist umfangreiches Zubehör verfügbar.

Zum Produkt:



Kraftaufnehmer für 2 Komponenten



Für detaillierten Einstieg in die Aerodynamik von Windkraftanlagen empfehlen wir zunächst Versuche mit folgendem Zubehör:

HM 170.05
Widerstandskörper Quadratscheibe

HM 170.09
Auftriebskörper Tragfläche NACA 0015

HM 170.22
Druckverteilung an einer Tragfläche NACA 0015

Features

- offener Windkanal für vielseitige aerodynamische Versuche
- homogene Strömung durch Strömungsgleichrichter und spezielle Düsenkontur
- transparente Messstrecke

Lerninhalte

- Untersuchungen an umströmten Körpern
- Druckverteilung an einer umströmten Tragfläche aufnehmen
- Auftriebskraft und Widerstandskraft messen
- Auftrieb und Strömungsablösung in Abhängigkeit des Anstellwinkels und der Strömungsgeschwindigkeit

HM 170

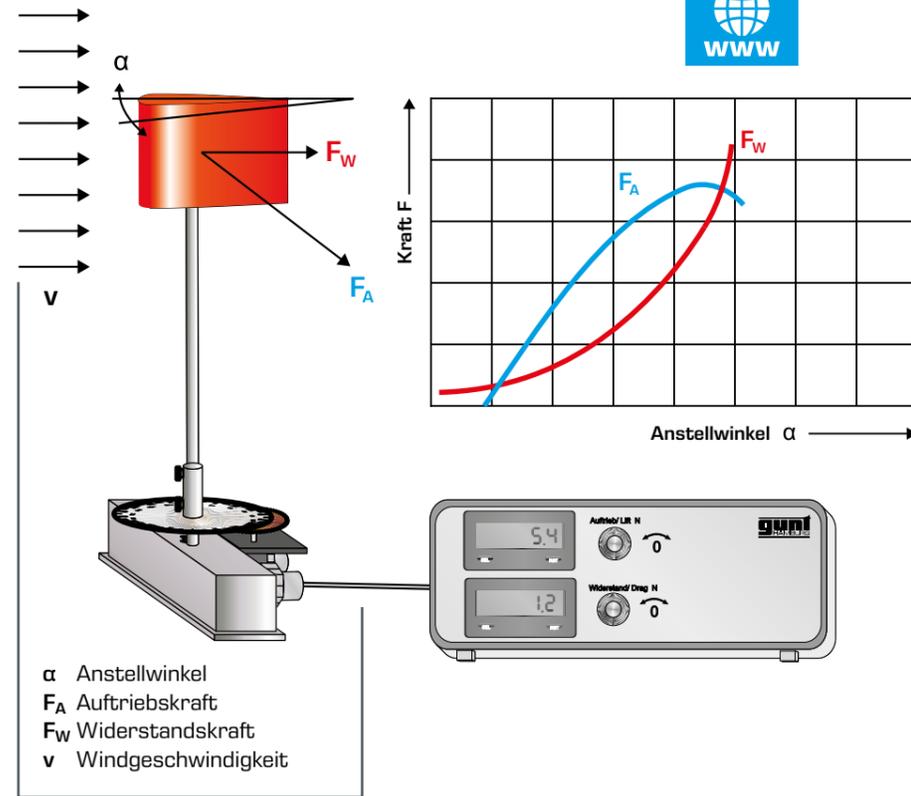
Offener Windkanal mit Zubehör

HM 170.09 Auftriebskörper Tragfläche NACA 0015

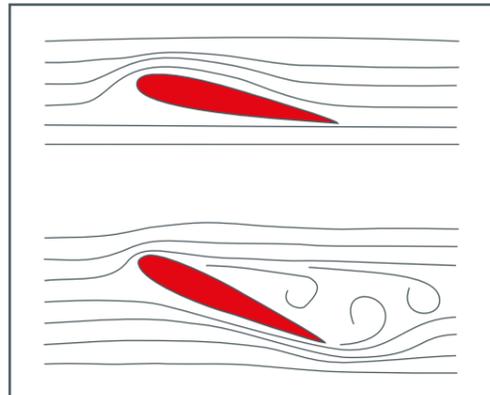
Die Auftriebskraft steht definitionsgemäß senkrecht zur Anströmungsrichtung. Bei gegebener Windgeschwindigkeit lässt sich die maximale Auftriebskraft unter einem Anstellwinkel beobachten, der charakteristisch für das verwendete Flügelprofil ist.

Mit HM 170.09 nehmen Sie systematisch die wirkenden Kräfte an einem Flügelprofil auf.

Zum Produkt:



Lerninhalte	
■	Untersuchungen an umströmten Körpern
■	Bestimmung des Widerstandsbeiwerts (c_w -Wert)
■	Bestimmung des Auftriebsbeiwerts
■	zusammen mit Kraftaufnehmer HM 170.40 ▶ Bestimmung des Momentbeiwerts



„Pitch“ und „Stall“ bestimmen das Betriebsverhalten der Windkraftanlage

Die wirksame Kraft auf das Rotorblatt lässt sich über den Anstellwinkel (Pitch) einstellen.

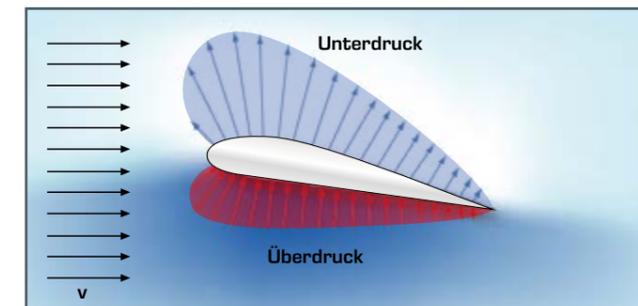
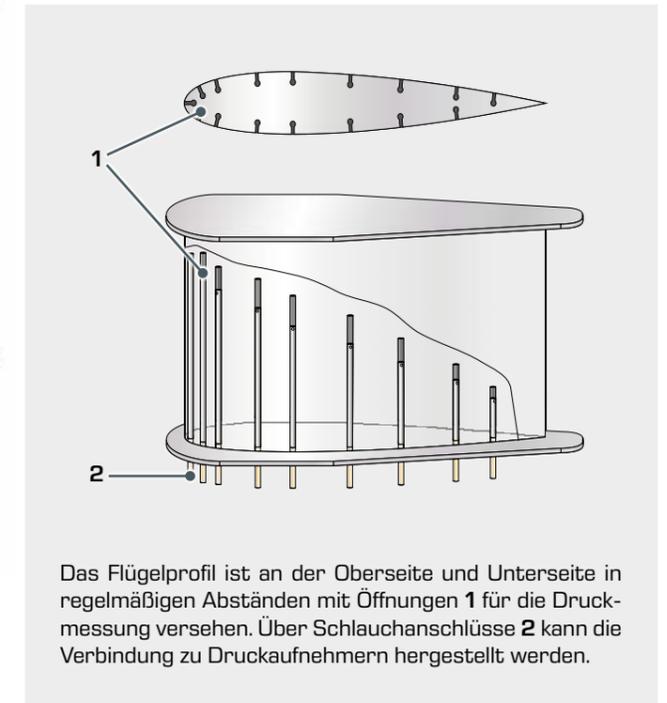
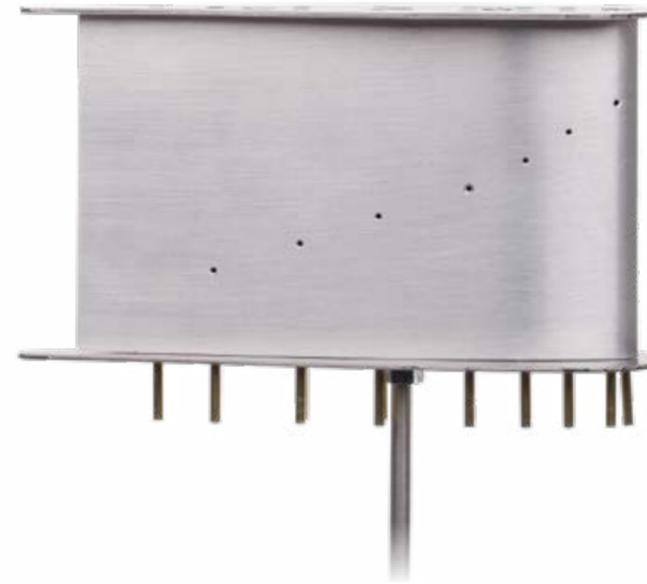
Der Strömungsabriss (Stall) wird speziell bei kleineren Windkraftanlagen gezielt genutzt, um die Drehzahl des Rotors zu begrenzen.

HM 170.22 Druckverteilung an einer Tragfläche NACA 0015

Die Messung der Druckverteilung um ein umströmtes Tragflächenprofil vermittelt den Studierenden grundlegende Erkenntnisse zur Entstehung der Auftriebskraft.

Mit HM 170.22 wird die Druckverteilung am Flügelprofil NACA 0015 demonstriert.

Zum Produkt:



Damit an einem umströmten Körper Auftrieb entsteht, muss an der Unterseite Überdruck und an der Oberseite Unterdruck vorliegen.

Lerninhalte	
■	Druckverteilung an einer umströmten Tragfläche aufnehmen ▶ in Abhängigkeit des Anstellwinkels

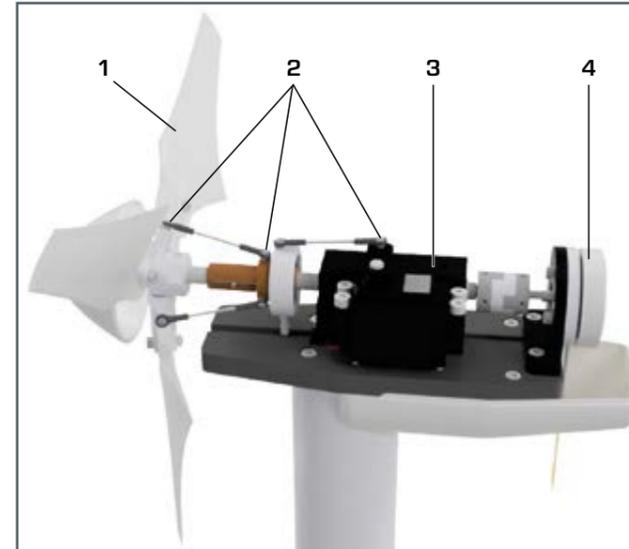
HM 170.70

Windkraftanlage mit Rotorblattverstellung

HM 170.70 ermöglicht zusammen mit dem Windkanal HM 170 die Demonstration einer Windkraftanlage mit Rotorblattverstellung und drehzahlvariablem Generator. Das Axialgebläse im Windkanal verfügt über eine variable Drehzahl und liefert die benötigte Luftströmung für die Versuche. Der Generator wird direkt von einem 3-Blatt-Rotor angetrieben. Mit Hilfe eines Servomotors wird der Einstellwinkel der Rotorblätter verändert.

Um verschiedene Betriebspunkte anzufahren, kann über einen Regler die Soll-drehzahl des Generators vorgegeben werden. Über integrierte Hall-Sensoren wird die Rotordrehzahl präzise erfasst. Für die Untersuchung unterschiedlicher Formen, sind im Lieferumfang Rotorblätter mit geradem und mit optimiertem Profil enthalten.

Zum Produkt:



Komponenten der Windkraftanlage

1 Rotorblatt, 2 Rotorblattverstellung, 3 Servomotor, 4 Generator



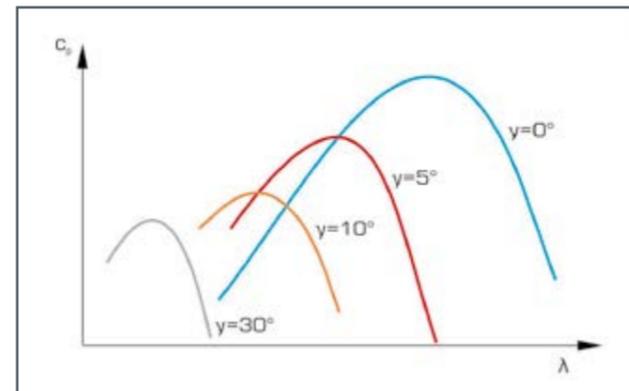
HM 170.70 angeschlossen an den offenen Windkanal HM 170

Features

- Windkraftanlage mit variabler Drehzahl
- Einstellwinkel der Rotorblätter über Servomotor verstellbar
- Untersuchung eigener Rotorblattformen (3D Druck) möglich
- Netzwerkfähigkeit: Versuche verfolgen, erfassen, auswerten über kundeneigenes Netzwerk

Lerninhalte

- Umwandlung von kinetischer in elektrische Energie
- Leistungsanpassung durch
 - ▶ Drehzahleinstellung
 - ▶ Rotorblattverstellung
- Verhalten bei Schräganströmung
- Bestimmung des Leistungsbeiwert-Schnellaufzahl-Kennfeldes
- Vergleich von unterschiedlichen Rotorblattformen



Leistungsbeiwert über Schnellaufzahl bei unterschiedlichen Einstellwinkeln des Rotorblatts und konstanter Windgeschwindigkeit

ET 210

Grundlagen Windkraftanlagen

Bei modernen Windkraftanlagen wird die Leistungsentnahme aus dem Wind an die wechselnden Windverhältnisse angepasst. Im Starkwindbereich wird die Leistungsentnahme zum Schutz der Anlage begrenzt. Dazu dient die Rotorblattverstellung. Diese ändert durch Winkelverstellung die wirkenden Kräfte am Rotorblatt. Im Normalwindbereich wird über Generatorsysteme mit variabler Drehzahl die Leistungsentnahme optimiert.

ET 210 demonstriert eine Windkraftanlage mit Rotorblattverstellung und Generator mit variabler Drehzahl. Die Luftströmung wird von einem Gebläse erzeugt. Ein Strömungsgleichrichter sorgt für eine gleichmäßige und turbulenzarme Strömung. Ein 3-Blatt-Rotor treibt den Generator direkt an. Für die Untersuchung unterschiedlicher Formen, sind im Lieferumfang Rotorblätter mit geradem und mit optimiertem Profil enthalten.

Zum Produkt:

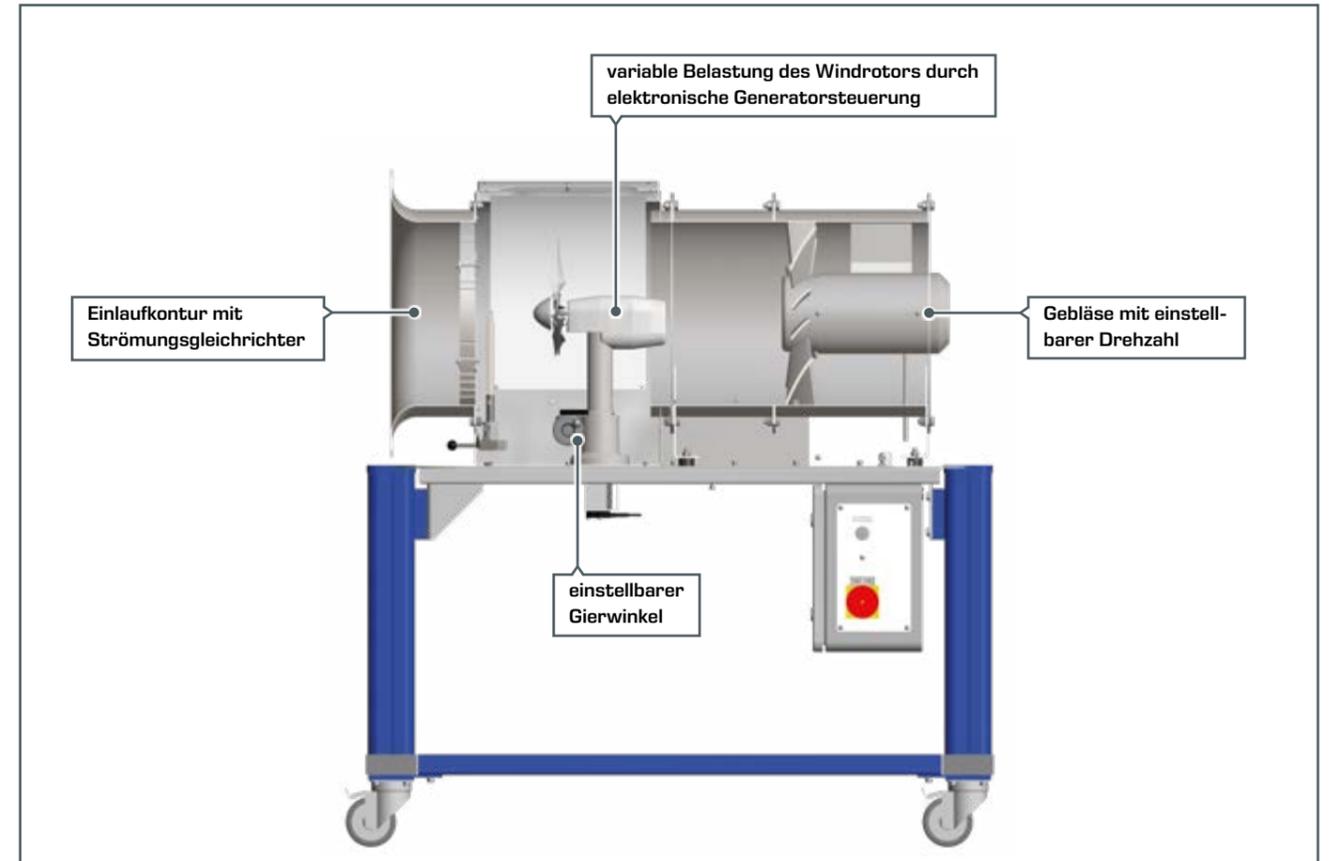
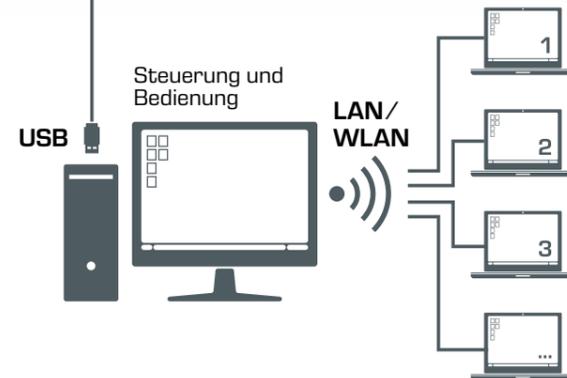


Features

- kompaktes Gerät, Versuche ohne weiteres Zubehör durchführbar
- Windkraftanlage mit variabler Drehzahl
- Verstellung von Rotorblatt und Gierwinkel
- Netzwerkfähigkeit: Versuche verfolgen, erfassen, auswerten über kundeneigenes Netzwerk

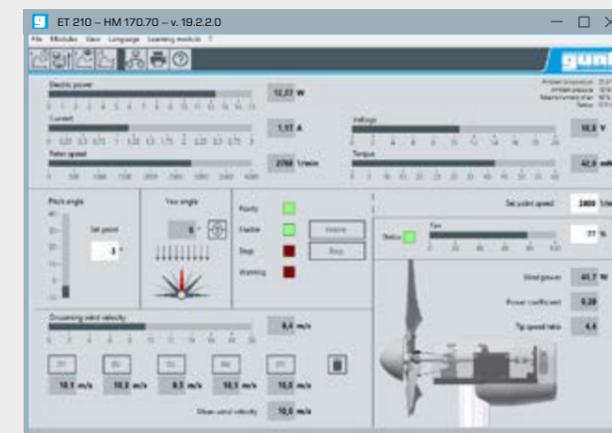
Lerninhalte

- Umwandlung von kinetischer in elektrische Energie
- Leistungsanpassung durch
 - ▶ Drehzahleinstellung
 - ▶ Rotorblattverstellung
- Verhalten bei Schräganströmung
- Bestimmung des Leistungsbeiwert-Schnellaufzahl-Kennfeldes
- Vergleich von unterschiedlichen Rotorblattformen

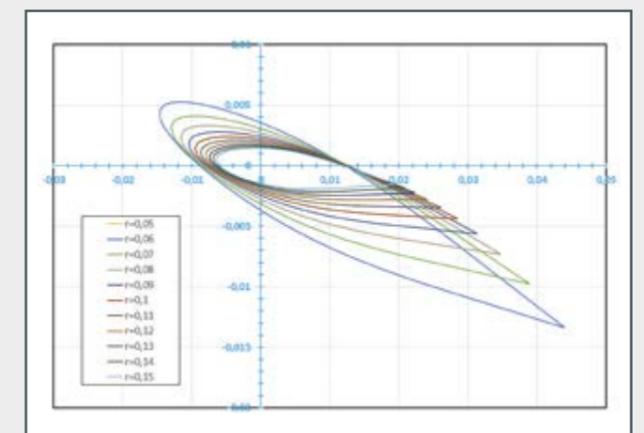


Software

Die Software berechnet die umgewandelte elektrische Leistung, das Generatordrehmoment sowie anlagenspezifischen Kennwerte.



GUNT-Software zur Gerätesteuerung und Messdatenerfassung via PC



Berechnete Ergebnisse für eine Folge von Segmenten an einem Rotorblatt. Änderung der Blatttiefe und der Verwindung in Abhängigkeit vom Blattradius.

ET 220

Energieumwandlung an einer Windkraftanlage

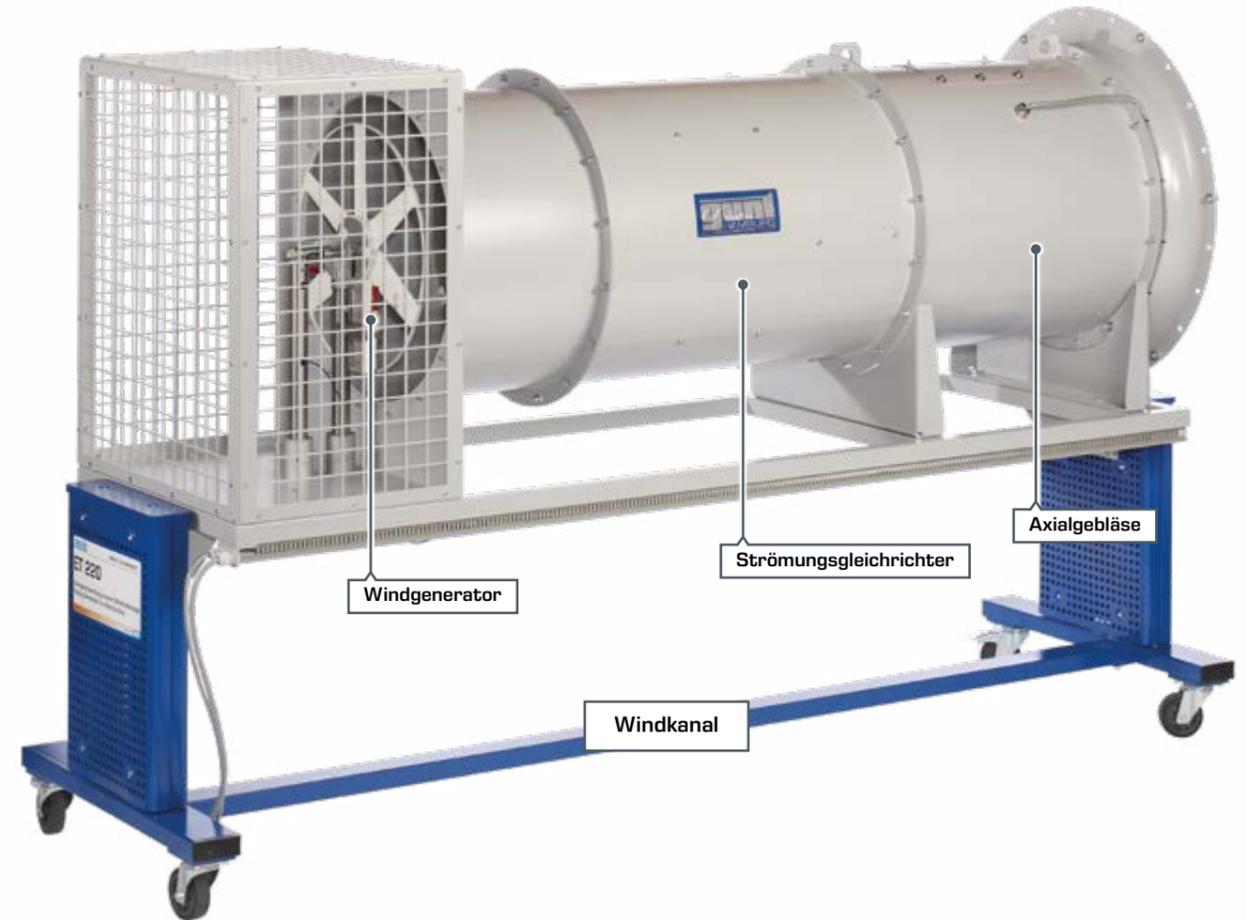
Mit ET 220 können Sie die einzelnen Stufen von der Umwandlung der Windströmung in Rotationsenergie bis zur Speicherung der elektrischen Energie in Akkumulatoren in anschaulichen Schritten unterrichten.

Um den Betrieb einer Windkraftanlage unter realen Wetterbedingungen im Außenbereich zu untersuchen, kann ET 220 zusammen mit ET 220.01 betrieben werden.

Der Windkanal von ET 220 ermöglicht Versuche unter definierten Bedingungen. Dadurch können Sie auch bei kürzeren

Versuchszeiten charakteristische Anlagenkenngrößen unabhängig von der Wetterlage systematisch untersuchen.

Zum Produkt:



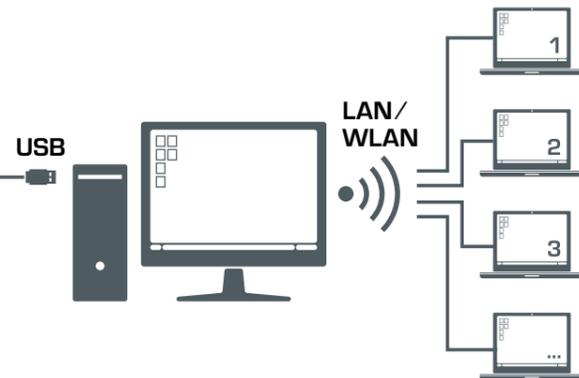
ET 220 wird auch an der University of Leeds/UK in der Ingenieurausbildung eingesetzt. Für verschiedene Ausbildungssituationen sowohl im Grundlagen- als auch in fortgeschrittenen Bereichen sind ausführlich dokumentierte Versuche durchführbar.

Features

- praxisgerechte Versuche im Labormaßstab
- Netzwerkfähigkeit: Versuche verfolgen, erfassen, auswerten über kundeneigenes Netzwerk

Lerninhalte

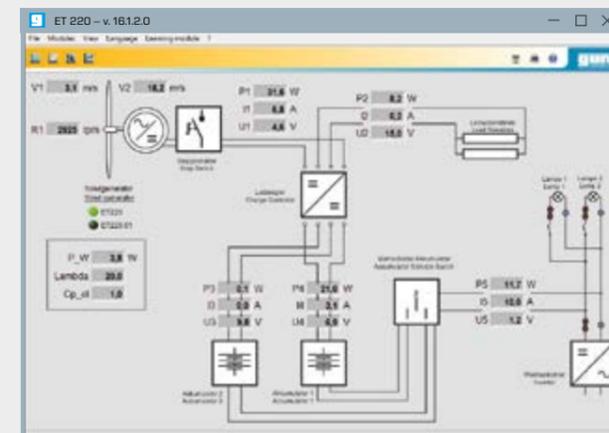
- Umwandlung von kinetischer Windenergie in elektrische Energie
- Funktion und Aufbau eines Inselsystems mit einer Windkraftanlage
- Ermittlung des Leistungsbeiwertes in Abhängigkeit von der Schnelllaufzahl
- Energiebilanz an einer Windkraftanlage
- Bestimmung des Wirkungsgrades einer Windkraftanlage



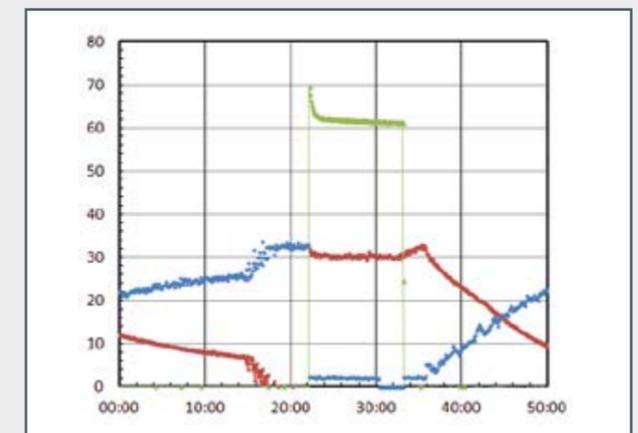
Software

Mit der Software werden Strom und Spannung an verschiedenen Stellen des Inselsystems erfasst.

Energiebilanzen sind für das Gesamtsystem und für einzelne Komponenten möglich.



GUNT-Software zur Messdatenerfassung via PC

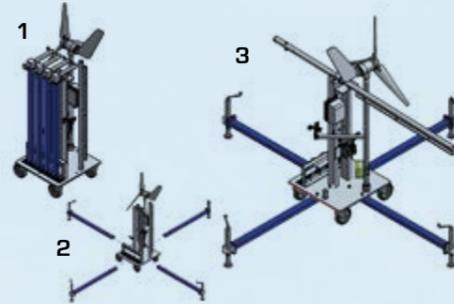


Gemessene Zeitverläufe der elektrischen Leistungen

ET 220.01
ET 220.10

Windkraftanlage
Bediengerät für Windkraftanlage ET 220.01

Der Ertrag einer Windkraftanlage ist von den vorherrschenden Windgeschwindigkeiten und der Nutzbarkeit des erzeugten Stroms abhängig. Die Windkraftanlage ET 220.01 wird entweder zusammen mit ET 220 verwendet oder zusammen mit ET 220.10.

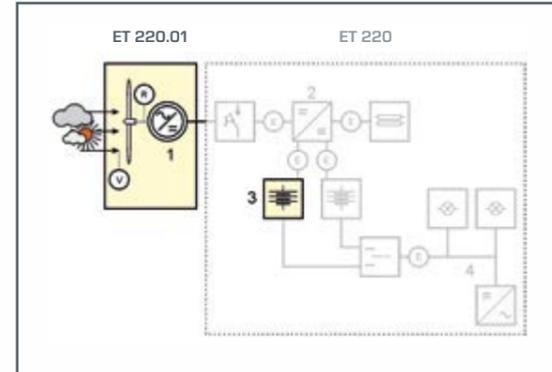


Inbetriebnahme von ET 220.01

Im Transportzustand **1** kann die Windkraftanlage leicht zum Versuchsort gebracht werden. Nach Montage der Stützen **2** wird die Windkraftanlage auf den schwenkbaren Mast aufgesetzt **3**.



Zum Produkt:



Die erzeugte elektrische Energie wird an das Bediengerät von ET 220 übertragen und kann zur Ladung von Akkumulatoren oder für den direkten Verbrauch eingesetzt werden.



Wie in einem typischen Diagramm der Anleitung von ET 220 gezeigt, werden witterungsbedingte Leistungsverläufe (rot) zur Berechnung der Energieerträge (blau) ausgewertet.



ET 220.10
Bediengerät für Windkraftanlage ET 220.01

Die elektrische Energie der Windkraftanlage ET 220.01 wird in das, vom Stromnetz unabhängige, Inselssystem von ET 220.10 eingespeist.

Aufnehmer erfassen Windgeschwindigkeit und Drehzahl des Rotors von ET 220.01, sowie Strom und Spannung des Inselsystems. Die Messwerte werden über USB direkt auf einen PC übertragen und dort mit Hilfe der mitgelieferten Software ausgewertet. Windgeschwindigkeit und Drehzahl des Rotors können zusätzlich an digitalen Anzeigen abgelesen werden.

Zum Produkt:



Lerninhalte

- Aufbau und Funktion einer Windkraftanlage im Inselbetrieb
- Energiebilanz einer Windkraftanlage unter realen Windbedingungen

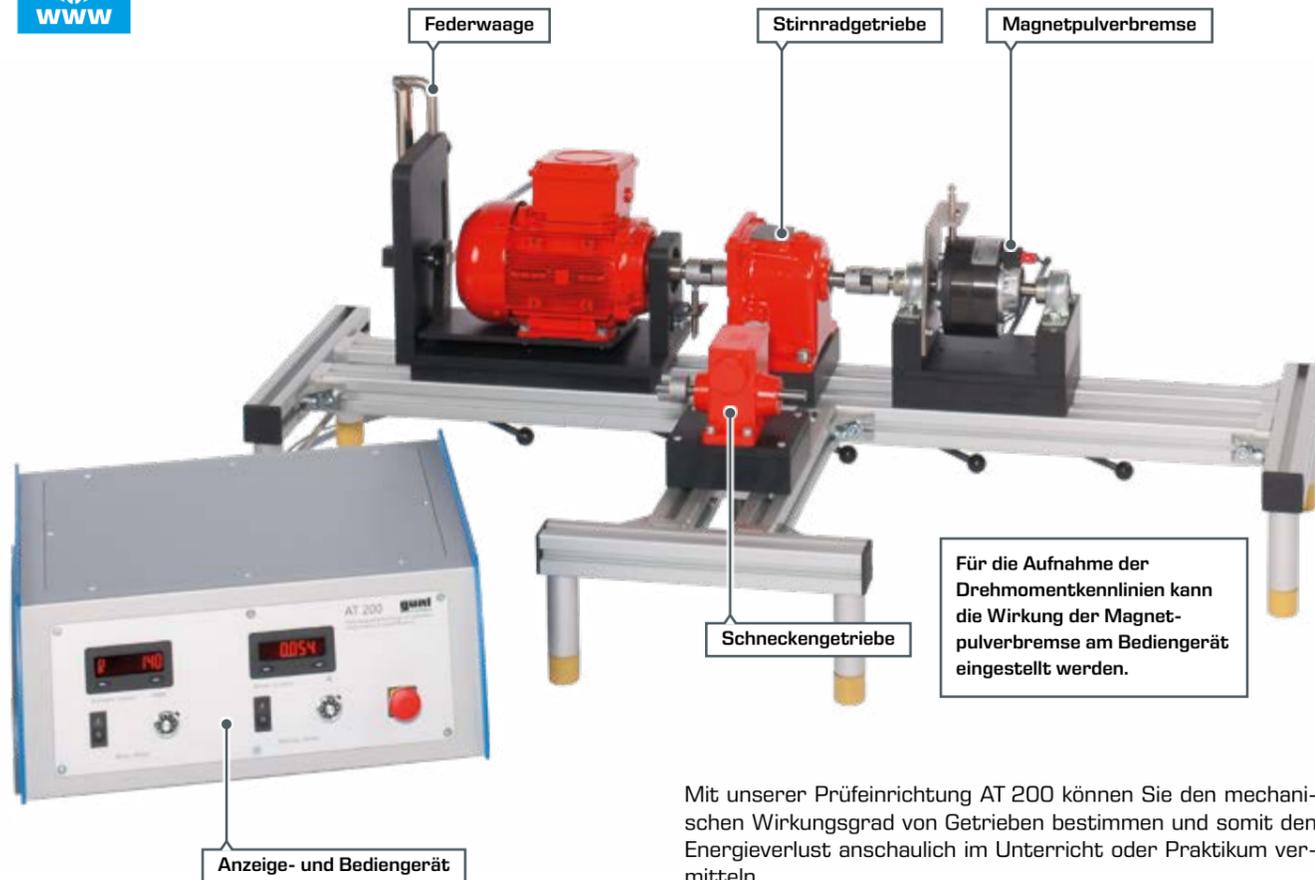
AT 200

Wirkungsgradbestimmung von Getrieben

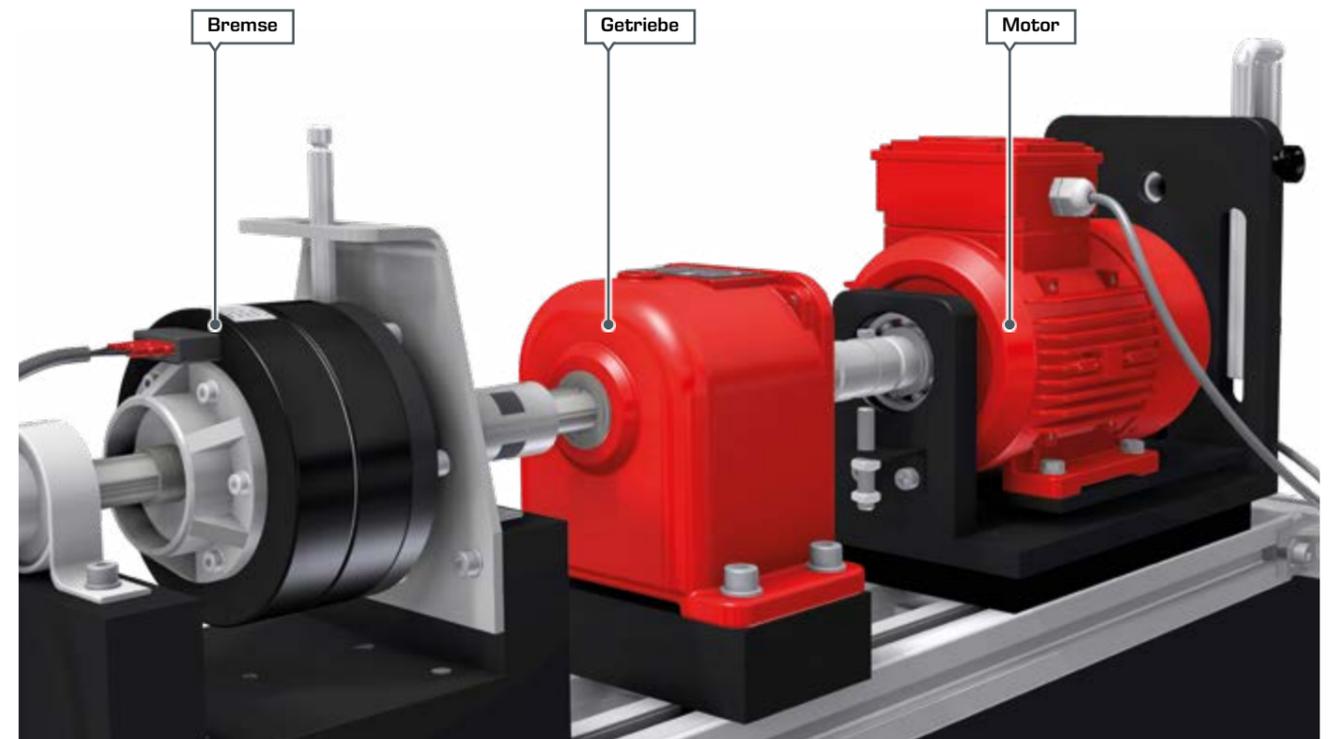
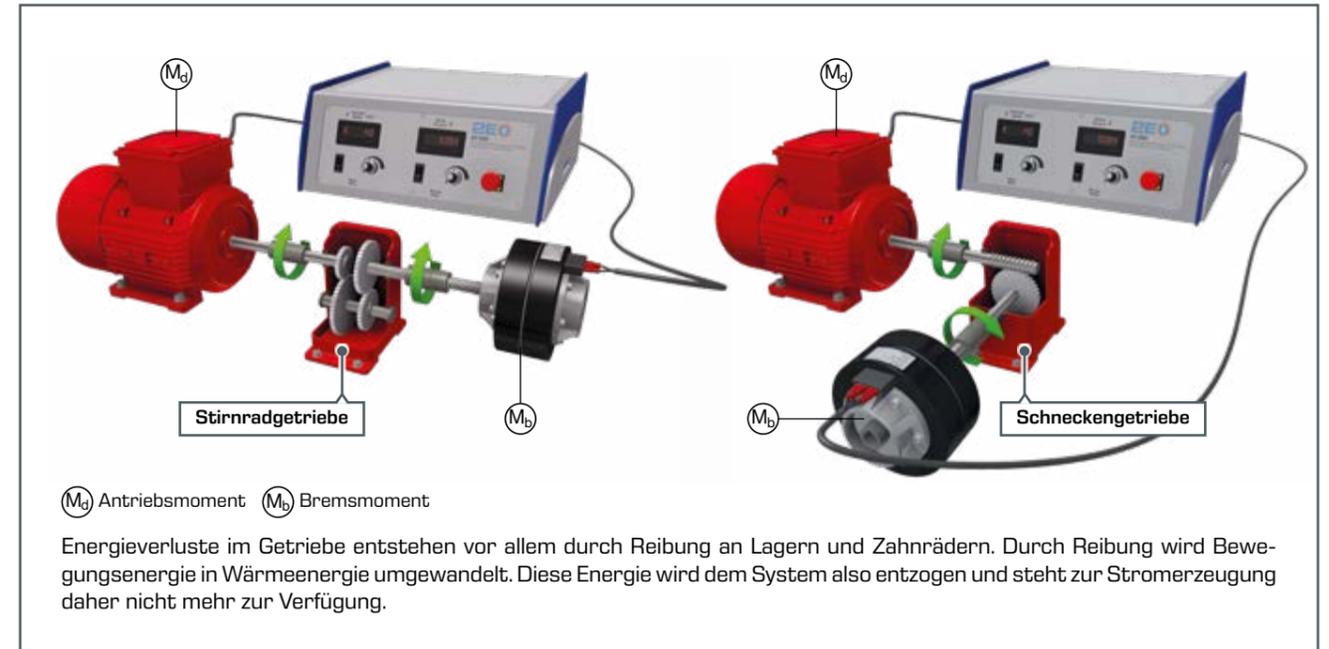
Getriebe spielen bei der Energieumwandlung in Windkraftanlagen eine sehr wichtige Rolle. Aufgabe eines Getriebes ist es, die kinetische Energie des Rotors mit möglichst geringen Verlusten auf den Generator zu übertragen. Bei

typischen Anwendungen muss die vergleichsweise geringe Drehzahl des Rotors an deutliche höhere Drehzahlen am Generator angepasst werden.

Zum Produkt:



Mit unserer Prüfeinrichtung AT 200 können Sie den mechanischen Wirkungsgrad von Getrieben bestimmen und somit den Energieverlust anschaulich im Unterricht oder Praktikum vermitteln.



Lerninhalte	
■	Bestimmung des mechanischen Wirkungsgrades von Getrieben durch Vergleich von mechanischer Antriebs- und Bremsleistung für <ul style="list-style-type: none"> ▶ Stirnradgetriebe, zweistufig ▶ Schneckengetriebe
■	Drehmoment-Strom-Kennlinie einer Magnetpulverbremse aufnehmen
■	Antriebs- und Regelungstechnik

ET 222

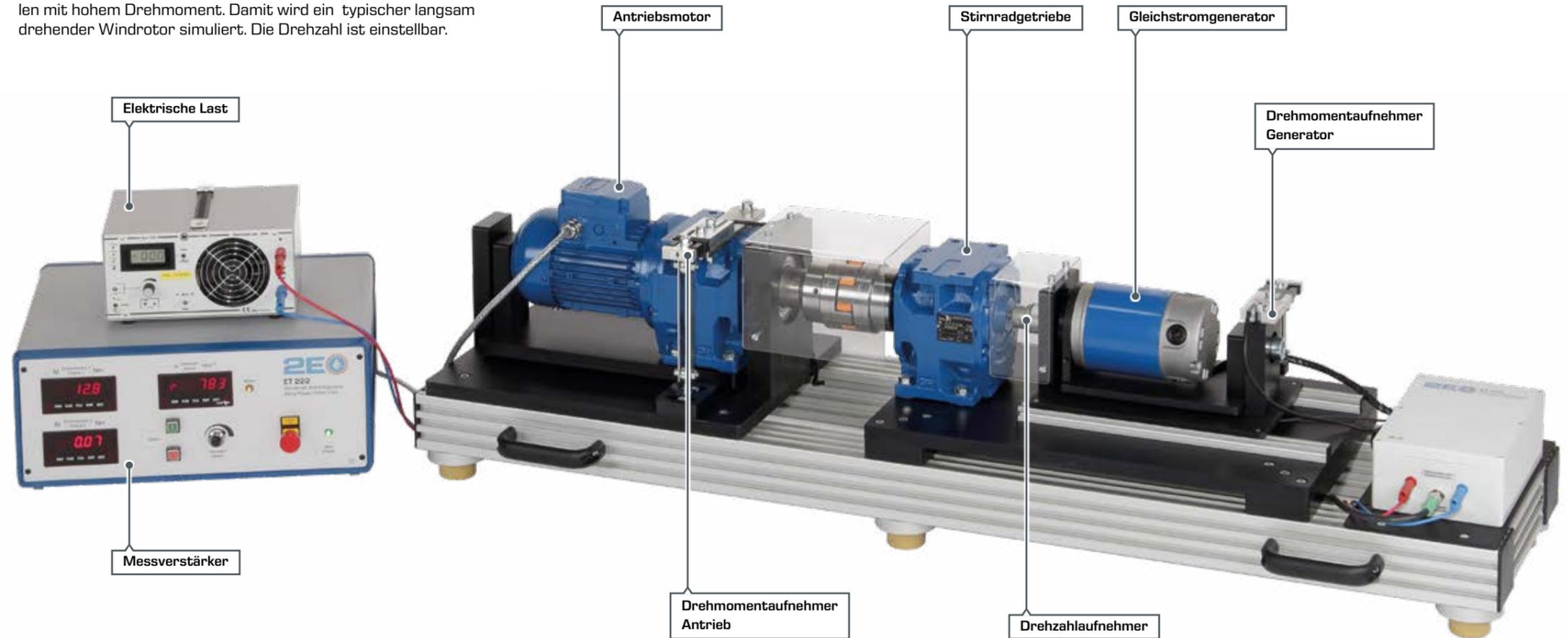
Windkraft-
Antriebsstrang

Moderne Windkraftanlagen sollten bestmöglich an das Windangebot ihres Standorts angepasst sein und effiziente Betriebsbedingungen ermöglichen. Neben dem Windrotor selbst sind insbesondere Komponenten des Antriebsstrangs wie das Getriebe und der elektrische Generator ausschlaggebend.

Zum Produkt:



Das Versuchsgert ET 222 enthlt einen typischen Windkraft-Antriebsstrang im Labormaastab, der durch einen Elektromotor angetrieben wird. Der Motor ermoglicht niedrige Drehzahlen mit hohem Drehmoment. Damit wird ein typischer langsam drehender Windrotor simuliert. Die Drehzahl ist einstellbar.

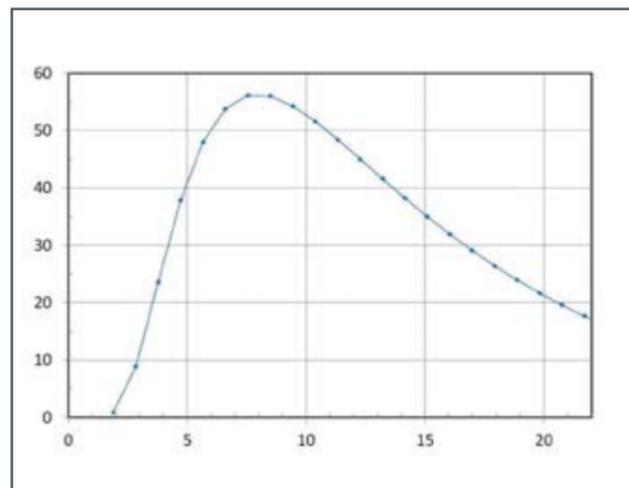


Features

- Elektromotor mit niedriger Drehzahl simuliert Windrotor
- Generator mit einstellbarer elektrischer Last
- Drehmomentmessungen an Antrieb und Generator

Lerninhalte

- Umwandlung von Rotationsenergie in elektrische Energie
- Einfluss von Drehmoment und Drehzahl auf den Wirkungsgrad des Getriebes
- Einfluss von Drehmoment und Drehzahl auf den Wirkungsgrad des Generators
- Einfluss der typischen Drehmoment-Kennlinie eines Windrotors auf den Gesamtwirkungsgrad des Antriebsstrangs



Simulierte Drehmoment-Kennlinie eines Windrotors:
x-Achse: Wellendrehzahl in min^{-1}
y-Achse: Drehmoment in Nm

In den Versuchen mit ET 222 werden typische Betriebsbedingungen eines Antriebsstrangs simuliert. Dazu werden die elektrische Last des Generators und die Drehzahl des Antriebsmotors variiert. Auf diese Weise können Arbeitspunkte einer typischen Drehmoment-Kennlinie angefahren werden. Die berechnete Kennlinie ergibt sich aus der mechanischen Leistung eines Windrotors für eine gegebene Windgeschwindigkeit.

Die Generatordrehzahl und die Drehmomente der Antriebsseite und des Generators werden mit Aufnehmern erfasst und digital am Messverstärker angezeigt. Die Messwerte stehen zudem als analoge Signale für eine optionale externe Erfassung oder Verarbeitung zur Verfügung.

NOTTINGHAM
TRENT UNIVERSITY

ET 222 wurde speziell für die Ausbildung im Bereich Windenergie an der NOTTINGHAM TRENT UNIVERSITY (UK) entwickelt.

ET 224

Betriebsverhalten von Windkraftanlagen

Die Leistungsfähigkeit von Windkraftanlagen ist von mechanischen und elektrischen Komponenten sowie von einer effizienten Anlagensteuerung abhängig. Der Einfluss der wirksamen Parameter unter allen relevanten Betriebsbedingungen muss daher bekannt sein.

Mit ET 224 werden die Komponenten eines Windkraft-Antriebsstrangs betrachtet. Für ein besseres Verständnis werden wichtige Anlagenparameter in Versuchen mit simulierten Kennfeldern untersucht. Ein Getriebemotor mit einstellbarer Drehzahl realisiert den typischen, langsam drehenden Windrotor mit hohem Drehmoment. Zwischen der langsam drehenden Antriebsseite und der schnell drehenden Generatorseite befindet sich ein dreistufiges Stirnradgetriebe. Ein Drehstrom-Synchrongenerator mit Gleichrichter wandelt die mechanische Energie in elektrische Energie. Die elektrische Energie wird an eine elektronische Last übertragen.



Software

Die elektronische Last kann direkt oder über das Simulationsmodul der mitgelieferten Software gesteuert werden. Einzelmessungen, automatisierte Aufnahmen von Kennlinien

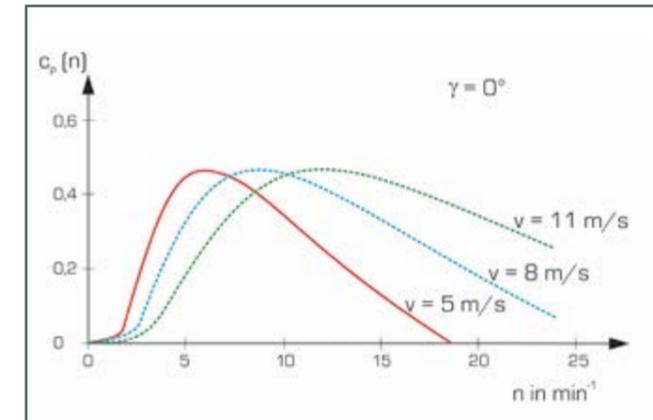
Automatisierte Messungen im Simulationsmodus

Anlagensteuerung ohne Simulation

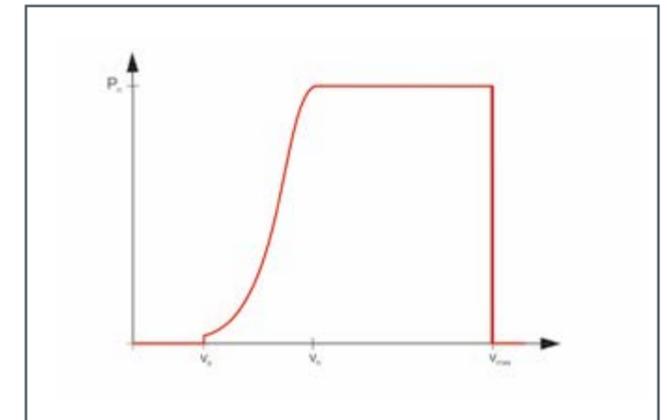
Zum Produkt:

- ### Lerninhalte
- Umwandlung von kinetischer Energie in elektrische Energie
 - Leistungsbeiwert und Schnellaufzahl
 - Einfluss von Drehmoment und Drehzahl auf den Wirkungsgrad des Getriebes und des Generators untersuchen
 - Einfluss von Windgeschwindigkeit und Rotorblattwinkel auf die typische Drehmoment-Kennlinie eines Windrotors untersuchen
 - Leistungsbegrenzung durch Steuerung von Drehzahl und Rotorblattwinkel
 - windgeführte Anlagensteuerung im autonomen Betrieb kennenlernen

- ### Features
- Antriebseinheit mit niedriger Drehzahl simuliert Windrotor
 - GUNT-Mess- und Simulationssoftware mit Steuerfunktion für elektronische Last
 - automatisierte Aufnahme von Kennlinienfeldern in Abhängigkeit von Windgeschwindigkeit, Rotorblattwinkel und Rotordrehzahl
 - Netzwerkfähigkeit: Versuche verfolgen, erfassen, auswerten über kundeneigenes Netzwerk



Leistungsbeiwert als Funktion der Rotordrehzahl: Simulation typischer Kennfelder bei verschiedenen Windgeschwindigkeiten und Rotorblattwinkeln



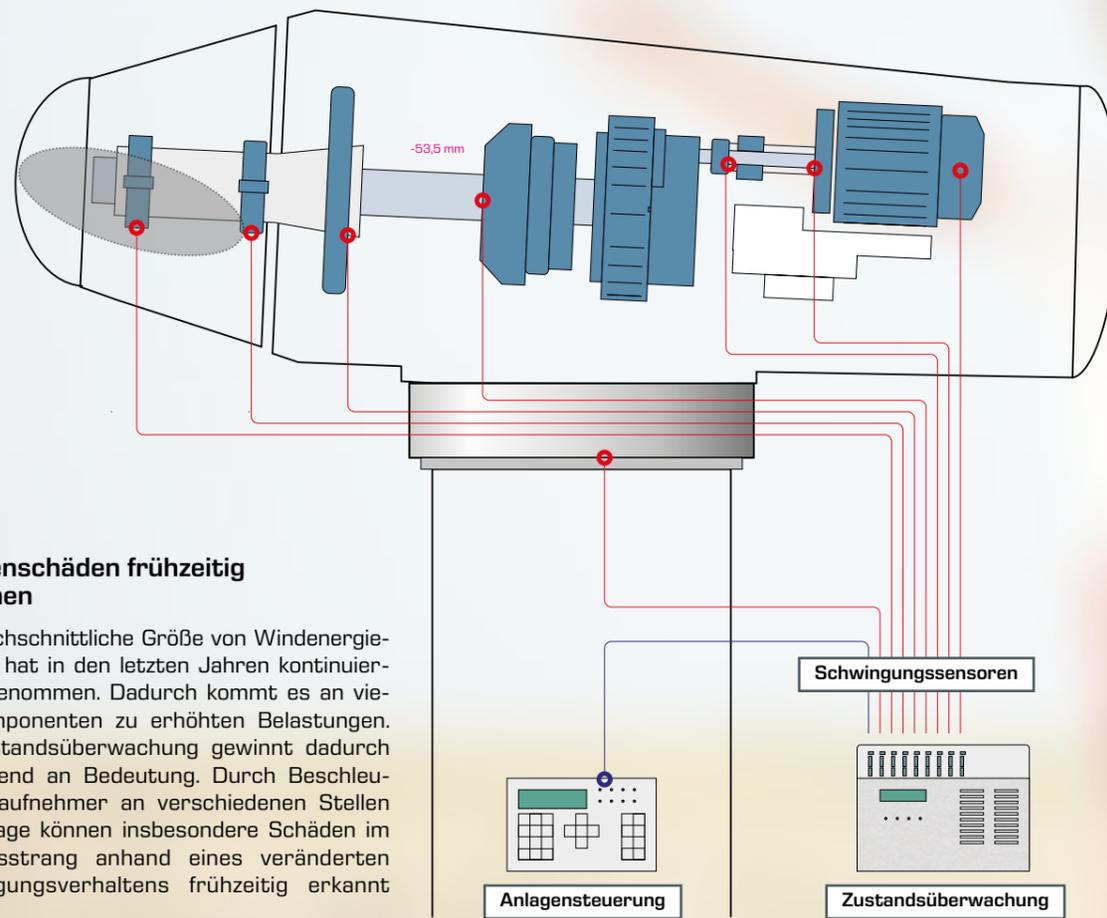
Leistungskennlinie für den autonomen Betrieb bei zunehmender Windgeschwindigkeit: abgegebene Leistung wird von der Anlagensteuerung durch Anpassung von Rotordrehzahl und Rotorblattwinkel begrenzt

Basiswissen Zustandsüberwachung bei Windkraftanlagen

Zur Reduzierung technischer und wirtschaftlicher Risiken werden inzwischen in allen größeren Windkraftanlagen Systeme zur Überwachung des Anlagenzustandes (engl. Condition Monitoring Systems: CMS) eingesetzt.

Neben typischen Daten, wie z.B. Windgeschwindigkeit, Drehzahl, elektrische Leistung und Temperatur, erfassen diese Systeme insbesondere Schwingungen an allen relevanten Stellen einer Anlage. Durch Analyse und Vergleich der Schwingungsdaten mit Sollwerten ist es möglich, beschädigte Komponenten frühzeitig zu erkennen und auszutauschen, bevor es zum Ausfall der

Komponenten kommt. Aus Sicht der Betriebsführung sind dabei sowohl die Anpassung geeigneter Wartungsintervalle als auch die frühzeitige Schadenserkenkung von Bedeutung. Unter Einbeziehung von CM-Systemen werden inzwischen z.B. in Verträgen zwischen Herstellern, Betreibern und Versicherungen von Windkraftanlagen, Ausfallzeiten von deutlich unter 10% vereinbart.



Anlagenschäden frühzeitig erkennen

Die durchschnittliche Größe von Windenergieanlagen hat in den letzten Jahren kontinuierlich zugenommen. Dadurch kommt es an vielen Komponenten zu erhöhten Belastungen. Die Zustandsüberwachung gewinnt dadurch zunehmend an Bedeutung. Durch Beschleunigungsaufnehmer an verschiedenen Stellen der Anlage können insbesondere Schäden im Antriebsstrang anhand eines veränderten Schwingungsverhaltens frühzeitig erkannt werden.

Gefahren vermeiden

An sensiblen Komponenten einer Windkraftanlage, wie Lager und Zahnräder, können Fehler durch verschiedene Ursachen auftreten. Dazu gehören regulärer Verschleiß, extreme Umweltbedingungen, Überlastungen sowie Montage- und Herstellungsfehler. Wenn daraus resultierende Defekte zu lange unentdeckt bleiben und nicht rechtzeitig behoben werden, können große Schäden entstehen, die bis zur Zerstörung einer Windkraftanlage führen können.

Nicht zuletzt aufgrund von Gefahren für die Umgebung ist insbesondere für größere Windkraftanlagen eine möglichst kontinuierliche Überwachung des Anlagenzustandes zwingend erforderlich.



Expertenwissen sichert zuverlässige Anlagenüberwachung

Zu den Aufgaben einer Zustandsüberwachung gehören insbesondere Schwingungsmessungen an verschiedenen Anlagenkomponenten in einem geeigneten Frequenzbereich. Aus der Analyse des Körperschalls können Rückschlüsse auf den Zustand der Komponenten gezogen werden. Weitere wichtige Messgrößen sind aber auch z.B. Drehzahl sowie die Temperaturen des Öls und des Lagers.

Für die sichere Unterscheidung von zustands- und betriebsbedingten Messwerten sind in vielen Fällen weiterhin erfahrene Experten erforderlich. Wir möchten Ihnen mit unseren Geräten im Bereich Windenergie wesentliche Versuche anbieten, um die erforderlichen Fachkenntnisse zu vermitteln.

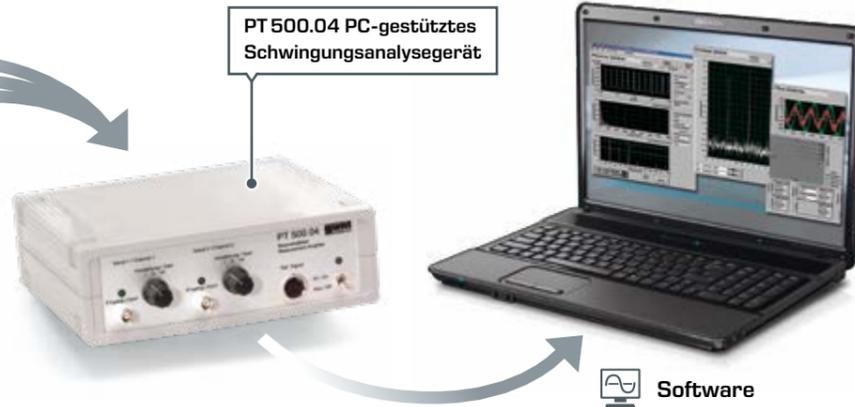
PT 500

System zur Maschinendiagnose,
Basiseinheit

Mit dem Lehrsystem zur Maschinendiagnose PT 500 können Sie gezielt Schwingungssignale verschiedener typischer Fehlfunktionen und Schäden simulieren, messen und auswerten. Die Interpretation der Messsignale kann somit ausführlich geübt

werden. Professionelle Messtechnik unterstützt die Übertragung der erworbenen Erfahrungen in den betrieblichen Alltag moderner Windenergieanlagen.

Zum Produkt:



Das Grundgerät PT 500 zusammen mit dem PC-gestützten Schwingungsanalysegerät PT 500.04 ermöglicht bereits eine Reihe von Übungen zum Thema Maschinendiagnose und Maschinenüberwachung. Die GUNT-Software bietet zur Auswertung vielfältige Analysemöglichkeiten. Dazu gehören z.B.:

- Oszilloskop
- Frequenzspektrum
- Schwingstärke
- Hüllkurvenanalyse
- Schadensanalyse an Wälzlagern und Getrieben über Hüllkurvenspektren

Ausführliche Informationen zum PT 500 System

Eine vollständige Übersicht zu allen Optionen des modularen Systems bietet auch unsere PT 500-Broschüre, die für Sie auf www.gunt.de zum download verfügbar ist.



Referenzen

Weltweit arbeiten viele Kunden bereits erfolgreich mit unserem Ausbildungssystem PT 500.

Hier einige ausgewählte Referenzen:

- HAW Hochschule für angewandte Wissenschaften, Hamburg
- HTW Hochschule für Technik und Wirtschaft, Dresden
- Reinhold-Würth-Hochschule, Künzelsau
- Warsaw University, Warschau/Polen
- RFPC Training Center, Bandar Iman/Iran
- INTECAP Instituto Technica de Capacitación y Productividad, Guatemala

Zubehör für das PT 500 System

- PT 500.01 Untergestell, fahrbar
- PT 500.04 PC-gestütztes Schwingungsanalysegerät
- PT 500.05 Brems- und Belastungsvorrichtung
- PT 500.10 Zubehörsatz elastische Welle
- PT 500.11 Zubehörsatz Riss in der Welle
- PT 500.12 Zubehörsatz Schäden bei Wälzlagern
- PT 500.13 Zubehörsatz Kupplungen
- PT 500.14 Zubehörsatz Riementrieb
- PT 500.15 Zubehörsatz Schäden an Getrieben
- PT 500.16 Zubehörsatz Kurbeltrieb
- PT 500.17 Zubehörsatz Kavitation in Pumpen
- PT 500.18 Zubehörsatz Schwingungen in Ventilatoren
- PT 500.19 Zubehörsatz elektromechanische Schwingungen
- PT 500.41 Zwei Wegaufnehmer



Das Grundgerät enthält eine schwingungsgedämpfte Aufspannplatte, einen drehzahlregulierten Antriebsmotor mit Tachometer, eine Welle mit zwei Massescheiben und zwei Lagereinheiten, eine Kupplung und

Wuchtgewichte. Durch ein breites Zubehörprogramm kann fast jede Thematik der Maschinendiagnose behandelt werden.

Lerninhalte

- Einführung in die Schwingungsmesstechnik an rotierenden Maschinensystemen:
 - ▶ Grundlagen der Messung von Wellen- und Lager-schwingungen
 - ▶ Grundgrößen und Parameter
 - ▶ Aufnehmer und Messgeräte
 - ▶ Einflüsse von Drehzahl und Wellenanordnung
 - ▶ Einfluss der Aufnehmerposition
- Frequenzspektren verstehen und interpretieren
- Umgang mit einem PC-gestützten Schwingungsanalysegerät

PT 500.11

Zubehörsatz
Riss in der Welle



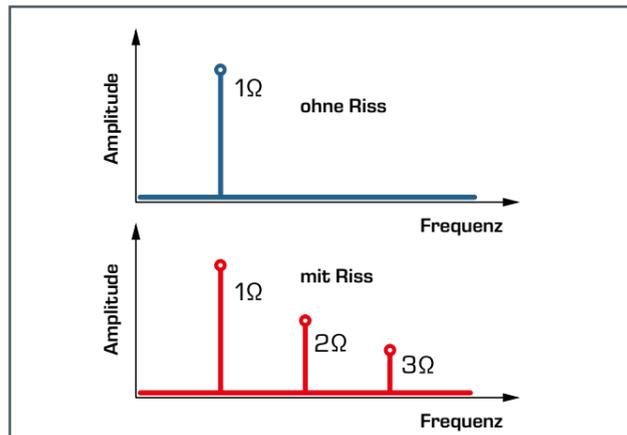
Die Rotorwelle einer Windkraftanlage überträgt die mechanische Energie vom Rotor an das Getriebe. Durch die frühzeitige Erkennung von Rissen in der Welle lässt sich das Risiko eines kostenintensiven Ausfalls bzw. die Gefahr einer Zerstörung der Anlage minimieren.

Mit unserem Zubehör PT.500.11 können Sie Schwingungsanalysen an defekten Wellen durchführen. Es stehen Ihnen unterschiedliche Wellen zur Verfügung, mit denen unterschiedlich große Risse simuliert werden können.

Zum Produkt:



Lerninhalte	
■	Veränderung des charakteristischen Schwingungsverhaltens (Eigenfrequenz, Resonanzdrehzahl, Amplitude und Phase der Schwingungen) durch einen Riss
■	Rissidentifikation aus der Veränderung des Schwingungsspektrums
■	Riss in der Welle beim übertragenden Wellenende
■	Frequenzspektren verstehen und interpretieren
■	Umgang mit einem PC-gestützten Schwingungsanalysegerät



Während einer Umdrehung der beschädigten Welle führt das Öffnen und Schließen eines Risses zu zusätzlichen Frequenzanteilen. Speziell die Harmonische der zweiten Ordnung steigt stark gegenüber der unbeschädigten Welle an.

PT 500.15

Zubehörsatz
Schäden an Getrieben



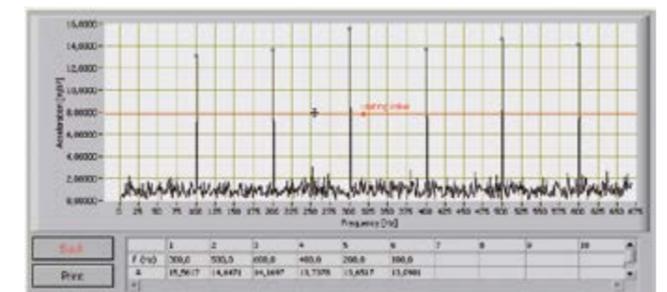
Mit dem Zubehörsatz PT 500.15 verfügen Sie über verschiedene Radsätze mit Zahnschädigungen. Zudem sind auch unbeschädigte Räder für vergleichende Messungen Bestandteil des Lie-

ferumfangs. PT 500.15 ermöglicht Ihnen gezielte Versuche zur Schwingungsanalyse von Verzahnungsschäden und die Schadenslokalisierung in Getrieben.

Zum Produkt:



Lerninhalte	
■	Identifikation von Getriebebeschäden anhand des Schwingungsverhaltens
■	Einfluss der Verzahnungsart
■	Lokalisierung des Schadens
■	Einfluss der Schmierung
■	Einfluss des Achsabstands und des Flankenspiels
■	Frequenzspektren verstehen und interpretieren
■	Umgang mit einem PC-gestützten Schwingungsanalysegerät



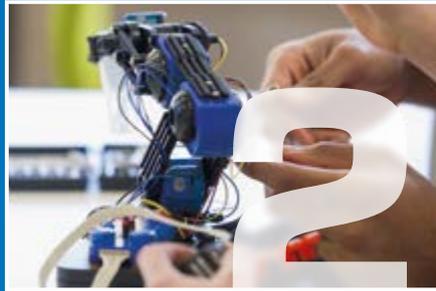
Spektrum eines geradverzahnten Getriebes bei 1800min⁻¹ und Zahn-eingriffsfrequenz von 752Hz

Das GUNT-Gesamtprogramm



Technische Mechanik und Konstruktionslehre

- Statik
- Festigkeitslehre
- Dynamik
- Maschinendynamik
- Konstruktionslehre
- Werkstoffprüfung



Mechatronik

- Technisches Zeichnen
- Schnittmodelle
- Längenprüftechnik
- Maschinen- und Gerätetechnik
- Fertigungstechnik
- Montagetechnik
- Instandhaltung
- Maschinenzustandsüberwachung
- Automatisierung und Regelungstechnik



Thermische Energietechnik

- Thermodynamische Grundlagen
- Wärmeübertrager
- Thermische Fluidenergiemaschinen
- Verbrennungsmotoren
- Kältetechnik
- Versorgungstechnik



Technische Strömungsmechanik

- Stationäre Strömung
- Instationäre Strömung
- Umströmung von Körpern
- Elemente aus dem Rohrleitungs- und Anlagenbau
- Strömungsmaschinen
- Verdrängermaschinen
- Wasserbau



Prozesstechnik

- Mechanische Verfahrenstechnik
- Thermische Verfahrenstechnik
- Chemische Verfahrenstechnik
- Biologische Verfahrenstechnik
- Wasserbehandlung



2E Energy & Environment

- | Energy | Environment |
|--|-------------|
| ■ Solarenergie | ■ Wasser |
| ■ Wasserkraft und Meeresenergie | ■ Luft |
| ■ Windkraft | ■ Boden |
| ■ Biomasse | ■ Abfall |
| ■ Geothermie | |
| ■ Energiesysteme | |
| ■ Energieeffizienz in der Gebäudetechnik | |

Kontakt

G.U.N.T. Gerätebau GmbH
Hanskampring 15-17
22885 Barsbüttel
Deutschland

+49 40 670854-0
sales@gunt.de
www.gunt.de



Besuchen Sie uns
im Internet unter
www.gunt.de