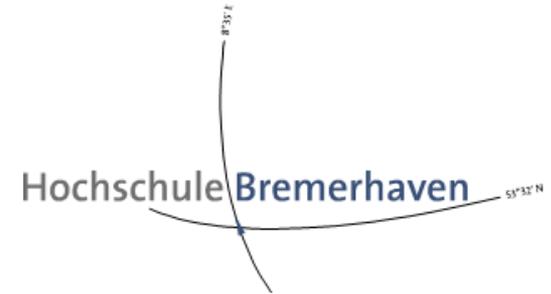


---

# **Betriebsweisen, technische Entwicklungen, normative Grundlagen**

## **Wie sicher sind unsere Windenergieanlagen?**

**Henry Seifert**



**Faktencheck „Sicherheit von Windenergieanlagen“  
6. Juni 2018, Forum Volksbank, Gießen**

---

# Inhalt

- **Technische Grundlagen Windenergieanlagen WEA**
- **Technische Entwicklungen WEA**
- **Überblick zu Normen und Richtlinien für WEA**
- **Zu welchen Zwischenfällen kann es kommen?**

Von alten Windmühlen mit viel “Handarbeit” zur modernen automatisch arbeitenden netzeinspeisenden Windenergieanlage, Eckpunkte der Entwicklung



# Entwicklung moderner WEA

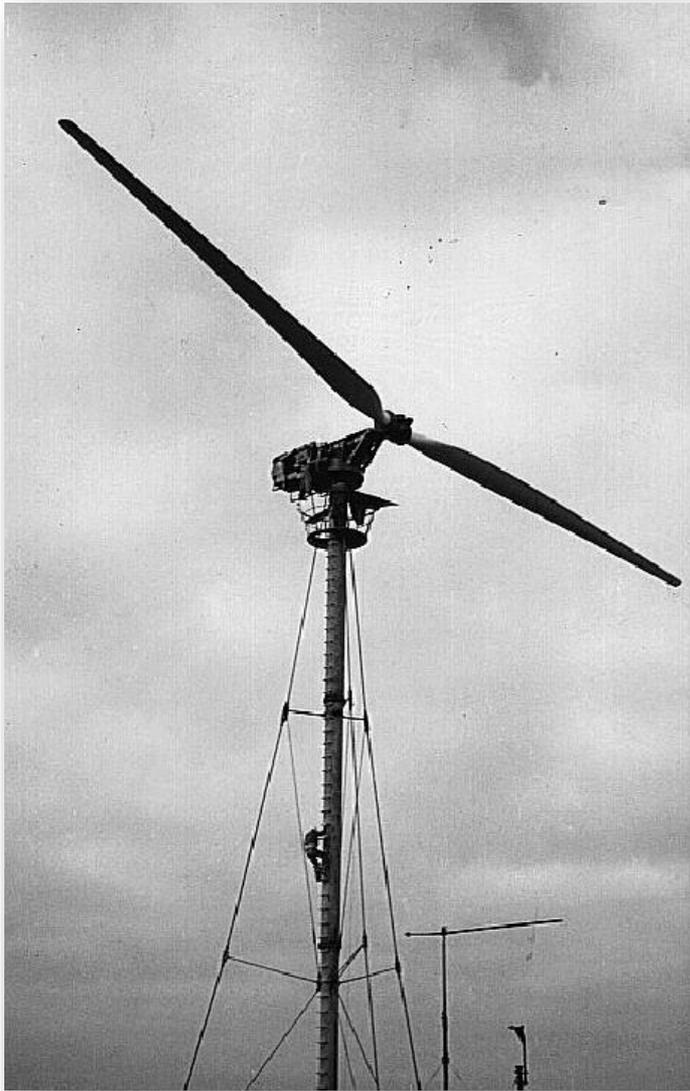
## Erster Windpark in Deutschland 8 WEA, „bush and tree“ 1956



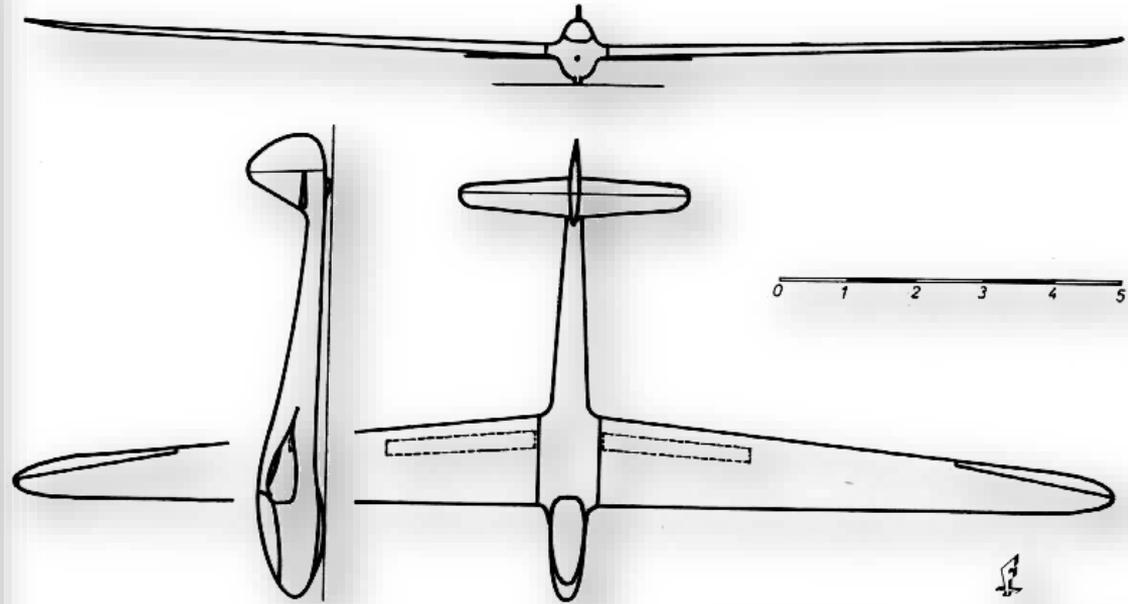
Bildquelle: DFVLR Stuttgart

**8 Hütter Allgaier, Ø 11.28 m, 100 m<sup>2</sup> Rotorfläche, 6 kW<sub>installiert</sub>**

# Der erste Kunststoff trägt Lasten



**Hütter W34**



**1957**



**Bildquellen: DFVLR, Akaflieg Stuttgart**

# Zu schnell zu groß

**1984**

**Growian**

**Lee-Läufer**

**Hohe Schnelllaufzahl**

**Pitch-Regelung**

**variable Drehzahl**

**2 Blätter aus Stahl mit GFK**

**Ø 100.4 m**

**100 m Nabenhöhe**

**3000 kW<sub>installiert</sub>**

**nur 500 Betriebsstunden,  
dann Abriss**



**Bildquelle: MAN**

# Serienanlage 33 Jahre später

**Durchschnittliche Anlagenkonfiguration  
Errichtung im Jahr 2017**

**Anlagenleistung 2.976 kW<sub>installiert</sub>**

**Rotordurchmesser 113 m**

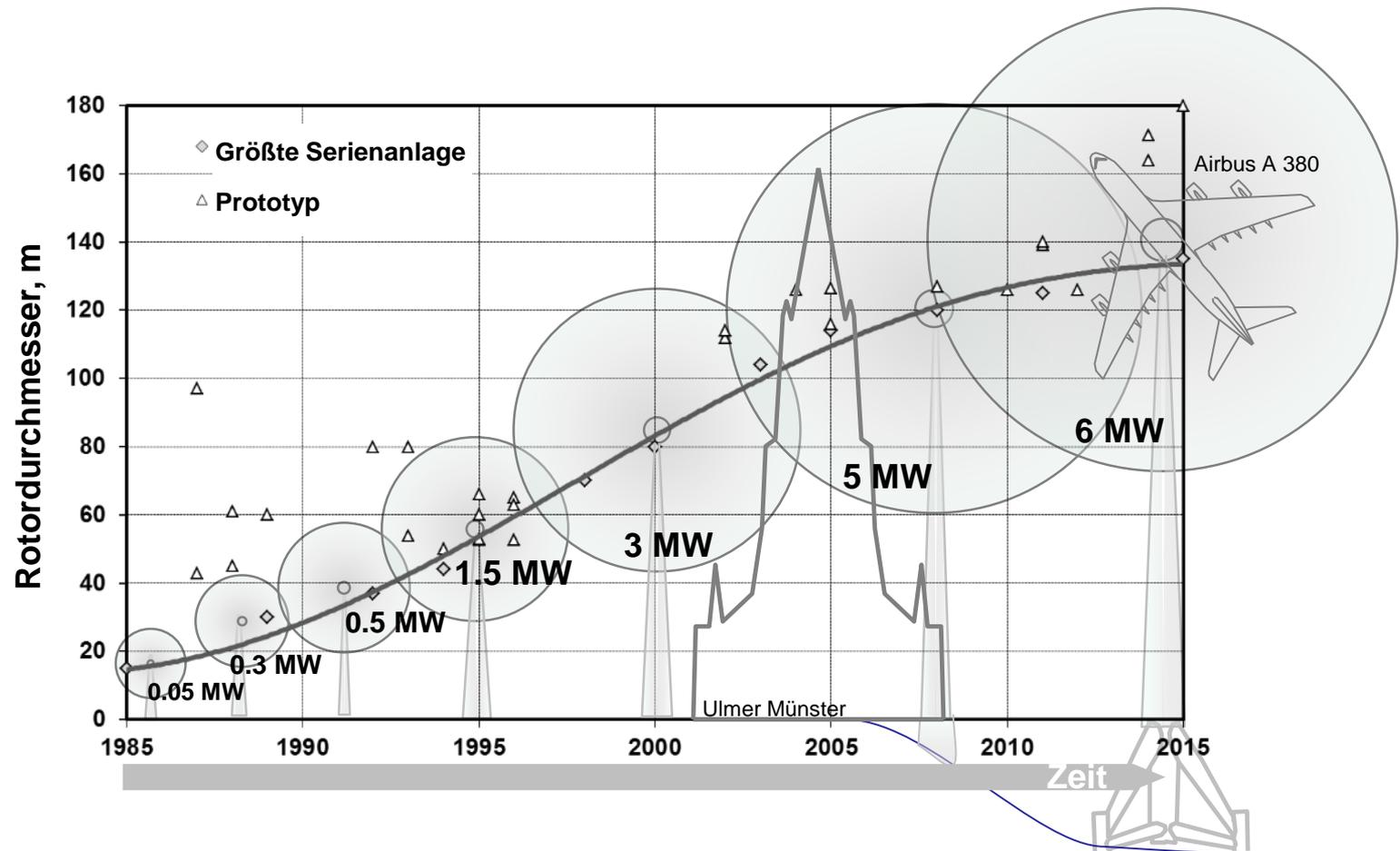
**Nabenhöhe 128 m**

**spezifische Leistung 309 W/m<sup>2</sup>**





# Entwicklung moderner WEA



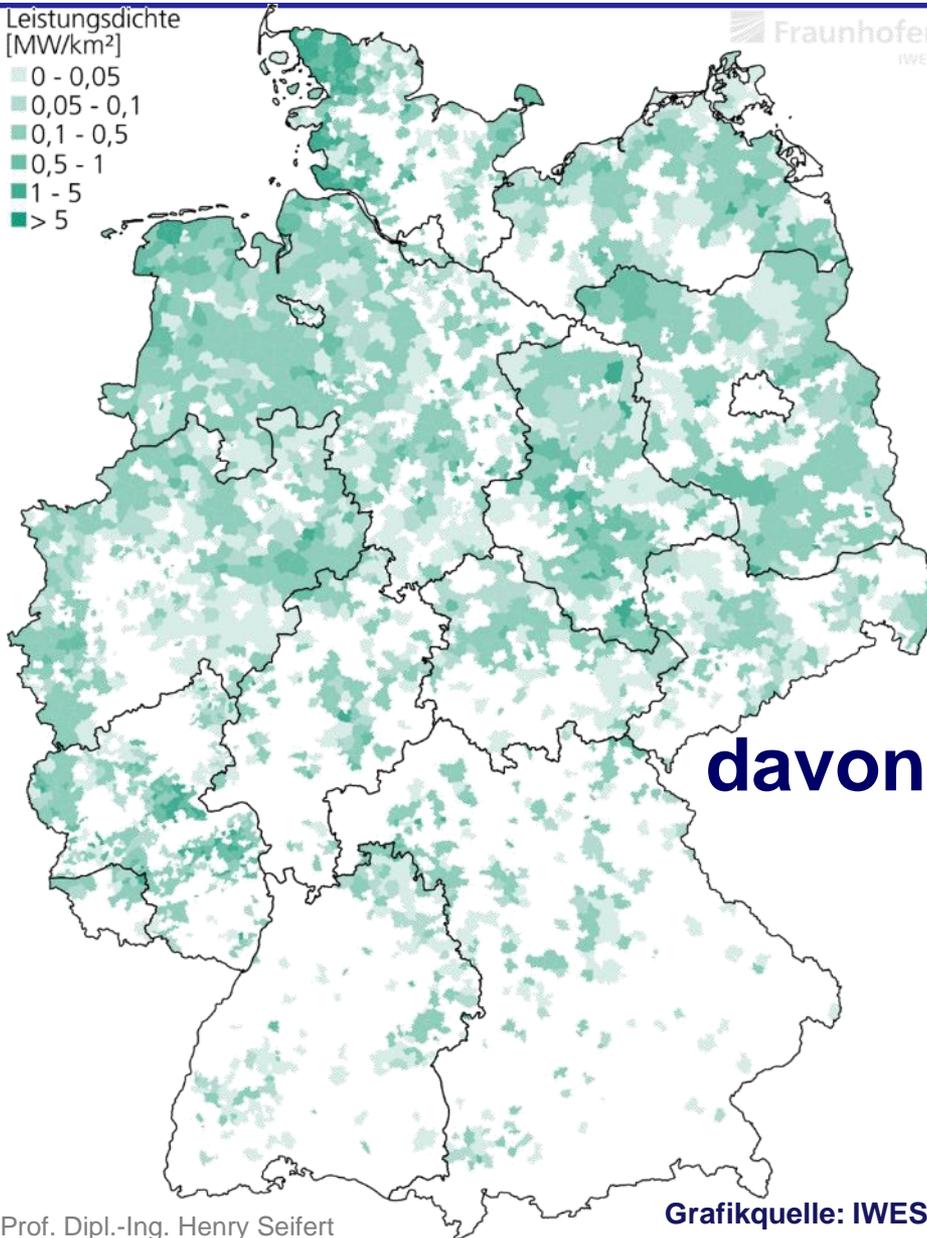
Datenquellen: fk-wind:, DEWI, BWE

# Windenergienutzung in Deutschland

Leistungsdichte  
[MW/km<sup>2</sup>]

- 0 - 0,05
- 0,05 - 0,1
- 0,1 - 0,5
- 0,5 - 1
- 1 - 5
- > 5

Fraunhofer  
IWES



**Stand Ende 2017**

**50 777 MW<sub>inst</sub>**

**28 675 WEA**

**davon 1 983 MW<sub>inst</sub> in Hessen**

Statistikquelle: BWE, Deutsche Windguard

---

**In der Entwicklung der WEA-Technik wurde immer die vom Markt geforderte größte Anlage gebaut und aufgestellt.**

**Es gab daher keine richtige „Ausentwicklung“ einer Größe und keine langfristigen Erfahrungen aus dem Betrieb einer Größenklasse.**

**Die Normen und Richtlinien für die Auslegung der Technik, die Gesetzesgrundlagen, die Netzeinspeisebedingungen, die Berechnungs- und Fertigungsmethoden, die Ausbildung der beteiligten Menschen, all dies hinkt immer hinterher.**

# Heutige Technologie (1)

- **Horizontale Rotorachse**
- **Luv-laufender Rotor mit 3 Blättern**
- **Aerodynamischen Auftrieb nutzend**
- **Direkte Netzeinspeisung**
- **MegaWatt bis Multi MegaWatt Installation**
- **Generator im Direktantrieb oder mit Getriebe**
- **Betrieb mit variabler Drehzahl**
- **Blattspitzengeschwindigkeit  $< 80$  m/s**
- **Leistungsregelung durch aktive Blattverstellung**
- **Rotorblätter aus Faserverbundwerkstoffen**
- **Türme aus Stahl, Beton oder Hybrid**
- **Offshore Fundamente: Tripods, Jackets oder Monopiles**
- **Spezifisch installierte Leistung standortangepasst**



## Heutige Technologie (2) Anforderungen

- **Geringe Geräusentwicklung**
- **Hohe Effizienz und hohe technische Verfügbarkeit<sup>\*)</sup>**
- **Niedrige Investitionen und geringe O&M<sup>\*\*)</sup> Kosten**
- **Standortoptimierter Betrieb**
- **Windparkbetrieb mit geringen Abständen**
  
- **Lange Betriebszeit (>20 Jahre) aller Komponenten unter extremen externen Bedingungen**



---

**Die Auslegung von Windenergieanlagen basiert heute auf den Lastannahmen der internationalen Normen und Richtlinien.**

**Als Berechnungsverfahren stehen computergestützte Simulationsprogramme zur Verfügung**

**Die Auslegung der Anlagen wird durch akkreditierte Zertifizierungsgesellschaften überprüft.**

**In Deutschland sind Turm und Gründung ein „Bauwerk“, Gondel und Rotor eine „Maschine“**

# Der wirtschaftliche Entwurf und der Nachweis der Standsicherheit eines WEA-Typs hängen von vielen Parametern ab.

- **Standort**
  - **Binnenland, flaches oder komplexes Gelände**
  - **Küste**
  - **Off-shore**
- **Infrastruktur**
  - **Straßen, Kräne, Entfernung zum Herstellerwerk**
- **Park- oder Einzelanlage**
- **Tarif**
- **Netz**



---

**Der Druck des Marktes und die zunehmende Größe der Anlagen führen dazu, dass die Konstrukteure immer näher an die Grenzen gehen müssen.**

**Die Folge ist, dass die einzelnen Anlagen sehr viel genauer an die spezifischen Standortbedingungen angepasst werden müssen.**

**Ein sicherer Betrieb dieser Anlagen muss dabei über die berechnete Lebensdauer aller Komponenten gewährleistet sein.**

**Vorgaben machen die Normen und Richtlinien**

# Was wird genormt?

**Lastannahmen**

**Testverfahren**

**Messverfahren**

**Netzeinbindung**

**Schnittstellen**

**Arbeitsschutz**

**andere .....**



## **Nationale Normen und Richtlinien**

**Deutsche Kommission Elektrotechnik DKE / VDE  
(Spiegelgremium K383)**

**Deutsches Institut für Bautechnik DIBt**

**Länderrichtlinien, Herausgeber FGW**

**Netzbetreiberrichtlinien**

**DNV GL (vormals Germanischer Lloyd Windenergie)**

# **Internationale Normen und Richtlinien**

**International Energy Agency IEA**

**International Electrotechnical Commission IEC**

**International Standardisation Organisation ISO**

**CEN / CENELEC**

**MEASNET**

**DNV GL**

**International Electrotechnical Vocabulary IEC 415**

# Auszug IEC Normen und Richtlinien



Quelle: [www.iec.ch](http://www.iec.ch)

**IEC 61400 - 1 Design requirements**

**IEC 61400 - 2 Design requirements for small wind turbines**

**IEC 61400 - 3 Design requirements for off-shore wind turbines**

**IEC 61400 - 4 Design requirements for gearboxes for wind turbines**

**IEC 61400 - 6 Design requirements for tower and foundation**

**IEC 61400 - 7 Safety of wind turbines power converters**

**IEC 61400 - 8 Design of wind turbine structural components**

**IEC 61400 - 11 Acoustic noise measurement techniques**

**IEC 61400 - 12.1, .2 Power performance measurement techniques**

**IEC 61400 - 13 Measurement of mechanical loads**

**IEC 61400 - 14 Declaration of apparent sound power level and tonality values**

**IEC 61400 - 15 Assessment of site specific wind conditions for wind power station**

# Auszug IEC Normen und Richtlinien



Quelle: [www.iec.ch](http://www.iec.ch)

- IEC 61400 - 21 Power quality requirements for grid connected wind turbines**
- IEC 61400 - 22 System for conformity test and certification of wind turbines**
- IEC 61400 - 23 Full - scale structural blade testing of rotor blades for WT**
- IEC 61400 - 24 Lightning protection for wind turbines**
- IEC 61400 - 25 Communications for monitoring and control of wind power plants**
- IEC 61400 - 26 Availability for wind power stations**
- IEC 61400 - 27-1 Electrical simulation models - Generic models**
- IEC 61400 - 30 Safety of WTGs - General principles for design**

# Normen für Arbeitssicherheit in Europa



**EN 50308 „Windenergieanlagen: Schutzmaßnahmen - Anforderungen für Konstruktion, Betrieb und Wartung“**

# Richtlinien Brandverhütung

## VdS Schadenverhütung GmbH

Veröffentlichungen der deutschen Versicherer (GDV e.V.) zur Schadenverhütung in Industrie- und Gewerbebetrieben

### VdS 3522: 2016-01 Offshore Windenergie

[https://vds.de/fileadmin/vds\\_publicationen/vds\\_3522\\_web.pdf](https://vds.de/fileadmin/vds_publicationen/vds_3522_web.pdf)

### VdS 3523 : 2008-07 Windenergieanlagen - Leitfaden für den Brandschutz

[http://vds.de/fileadmin/vds\\_publicationen/vds\\_3523\\_web.pdf](http://vds.de/fileadmin/vds_publicationen/vds_3523_web.pdf)

## Deutscher Feuerwehrverband e. V.

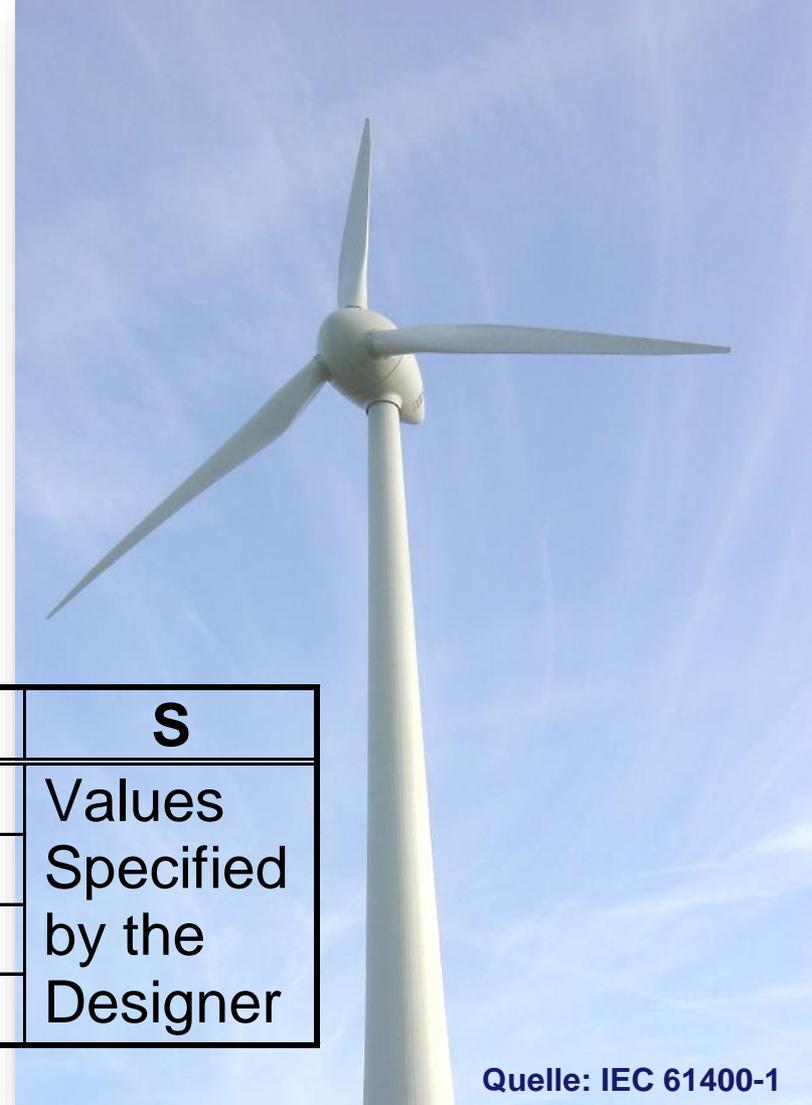
Fachempfehlung Nr. 1 März 2008

Einsatzstrategien an Windenergieanlagen

[www.dfv.org](http://www.dfv.org)



# WEA - Klassen nach IEC 61400 - 1



Wind Turbine Class		I	II	III	S
$V_{ref}$	(m/s)	50	42.5	37.5	Values Specified by the Designer
A	$I_{ref}$ (-)		0.16		
B	$I_{ref}$ (-)		0.14		
C	$I_{ref}$ (-)		0.12		

Quelle: IEC 61400-1

# Philosophie der Auslegungslastfälle nach IEC

**Lastfall = Kombination externer Bedingungen und Betriebsbedingungen**

	Externe Bedingungen	
Betriebsbedingungen	normal	extrem
Normale Betriebsbedingungen	N	E
Auftreten von Fehlern	A	-
Transport, Errichtung, Wartung	T	-

**N = Normal**

**E = Extrem**

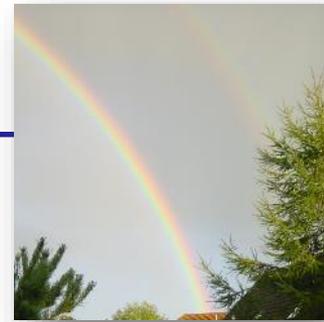
**A = Abnormal**

**T = Transport**

Quelle: IEC



# IEC 61400 - 1



## Externe Bedingungen

### Windbedingungen

50-Jahres-Bö

Jahreswindgeschwindigkeiten

Mittlere Windgeschwindigkeits-  
verteilung

Turbulenz des Windes

Böen im Betrieb

Windrichtungsänderungen

Höhengradient

Extremer Gradient

## Atmosphäre

Temperatur, Luftfeuchte, Luftdichte,  
Intensität der Sonneneinstrahlung,  
Regen, Hagel, Schnee und Eis,  
chemisch und mechanisch aktive  
Partikel, Blitzschlag, Erdbeben

## Bedingungen des elektrischen Netzes

Spannung

Frequenz

Spannungsunsymmetrie

Abschaltungen (Netzausfall)

---

**Die Normen und Richtlinien müssen mit dem rasanten Größenwachstum mitentwickelt werden.**

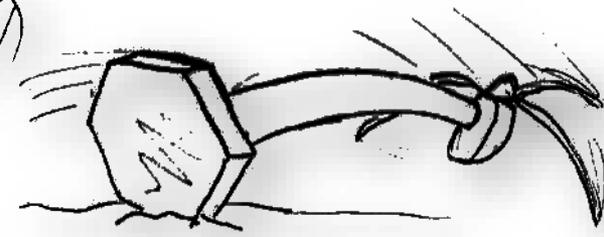
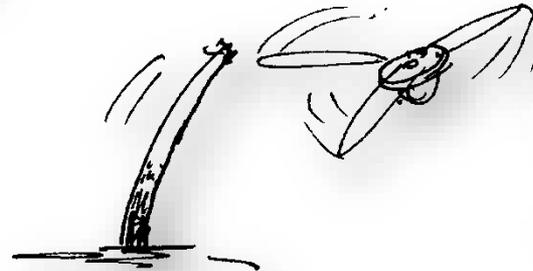
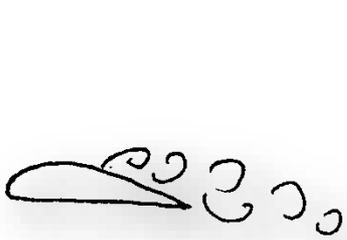
**Dazu ist es notwendig, Simulationsmodelle anhand von Freifeldmessungen und Betriebserfahrungen zu validieren.**

**Forschungsprojekte mit Beteiligung von Industrie und Wissenschaft sind hier zwingend notwendig.**

**Der entstehende Personalbedarf verlangt auch eine hochqualifizierte Ausbildung.**

# Was kann alles schief gehen?

## „Aus Fehlern lernen“



„Leistungsregelung“ durch:

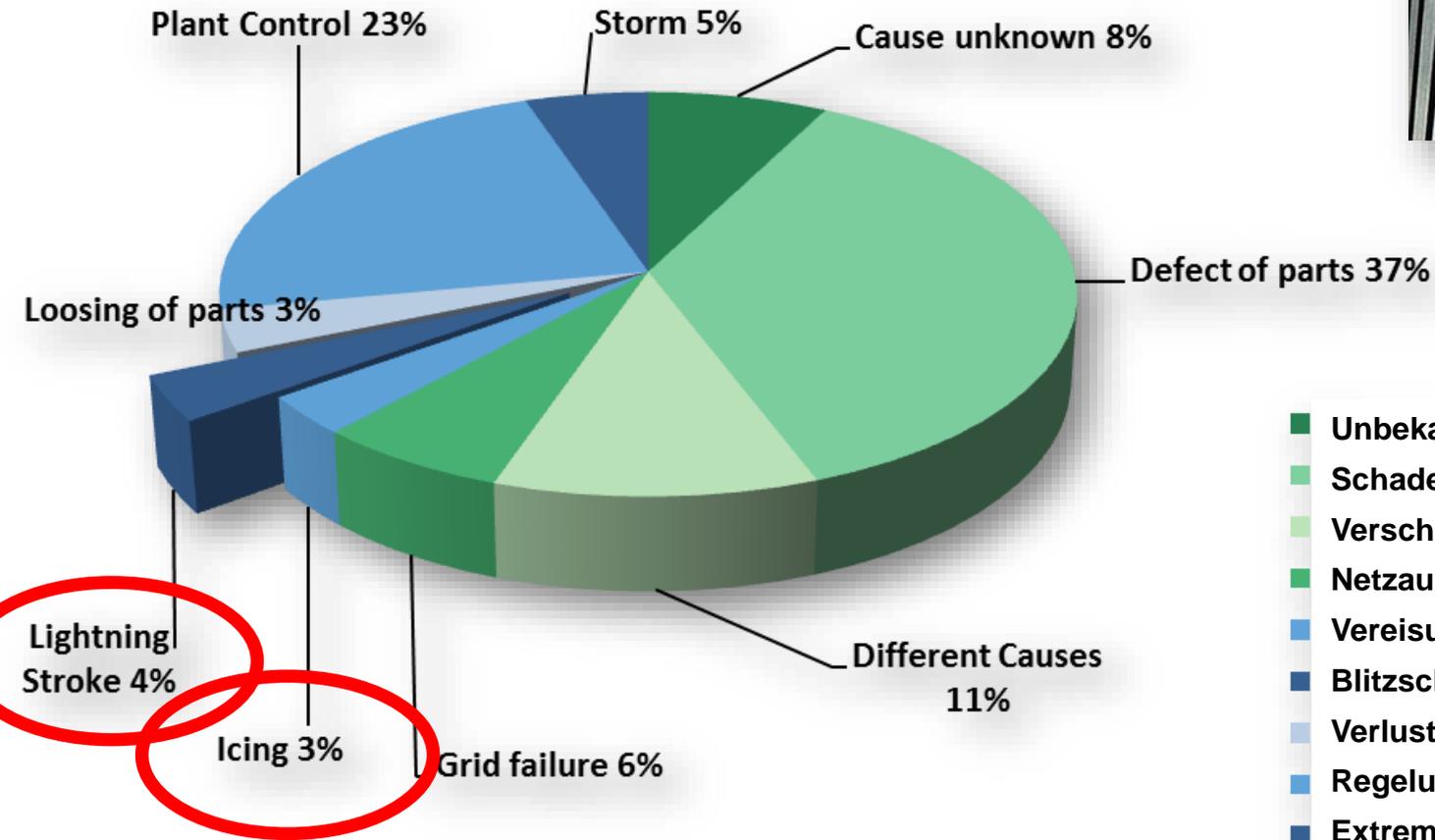
**Strömungsabriß  
(stall)**

**Blattabriß**

**Gondelabriß**

**Fundamentausriß**

# Fehlerstatistiken



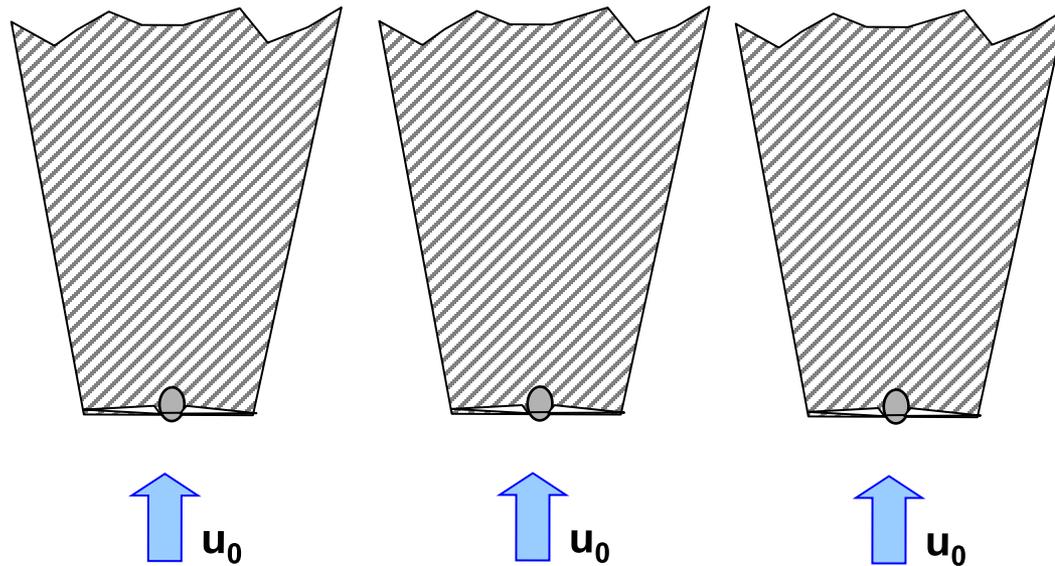
- Unbekannter Schaden / Fehler
- Schaden an Komponenten
- Verschiedene / multiple Fehler
- Netzausfall
- Vereisung
- Blitzschlag
- Verlust von Teilen
- Regelungs- / Betriebsführungsfehler
- Extreme Windgeschwindigkeiten

Quelle: IWES 2016

# Windparkbetrieb bei zu dichter Aufstellung

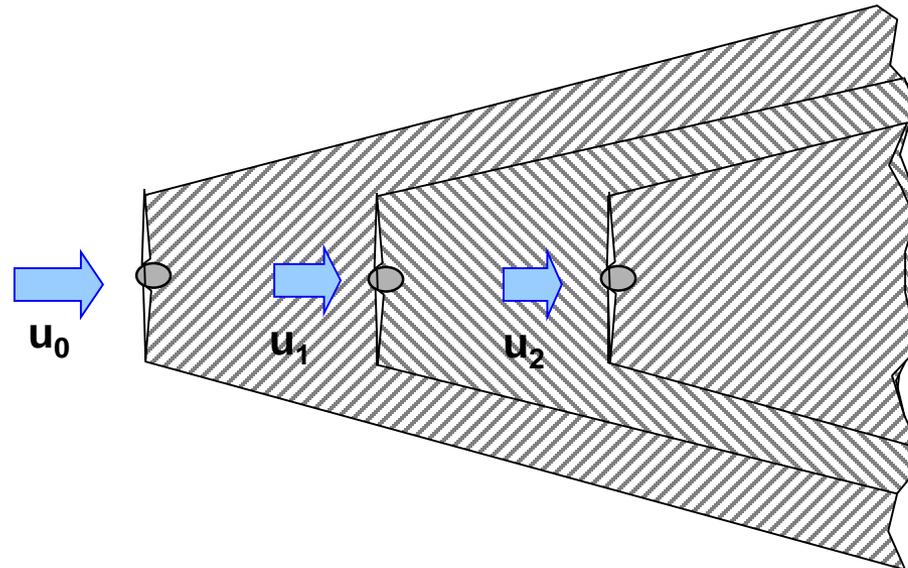


# Nachlaufeffekte in Windparks



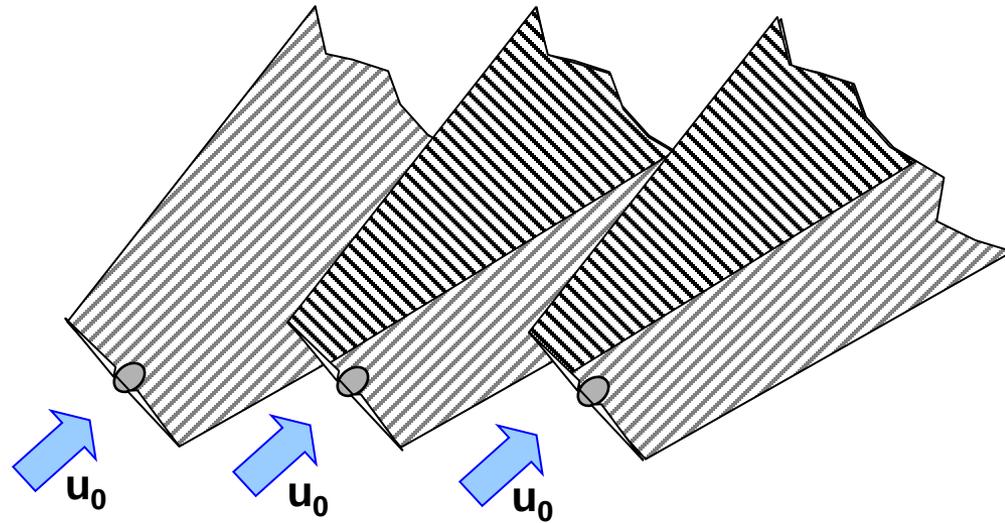
**Kein Effekt auf die einzelnen Park-WEA**

# Nachlaufeffekte in Windparks



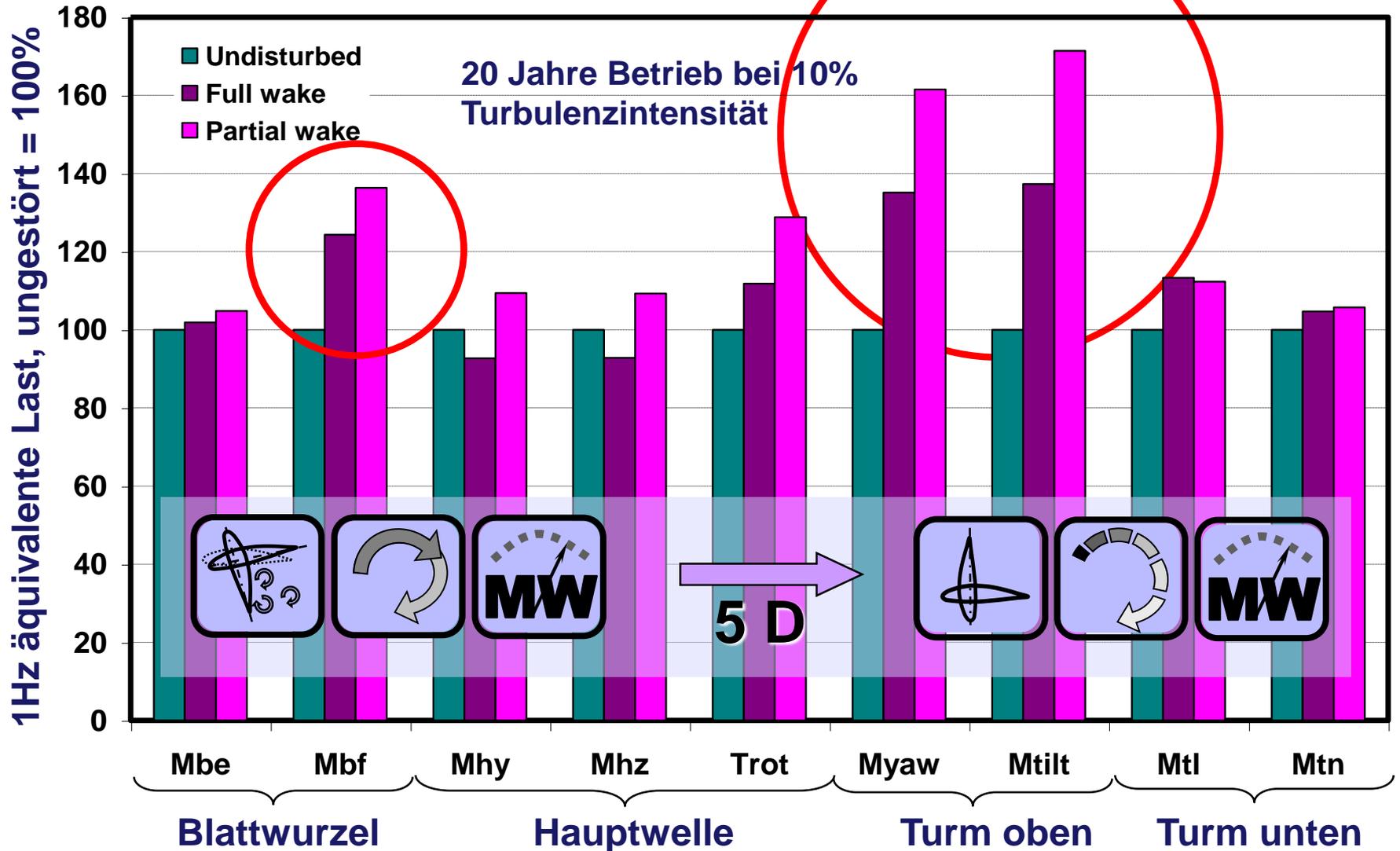
**Anstieg der Turbulenzintensität  
und Verringerung der Windgeschwindigkeit**

# Nachlaufeffekte in Windparks

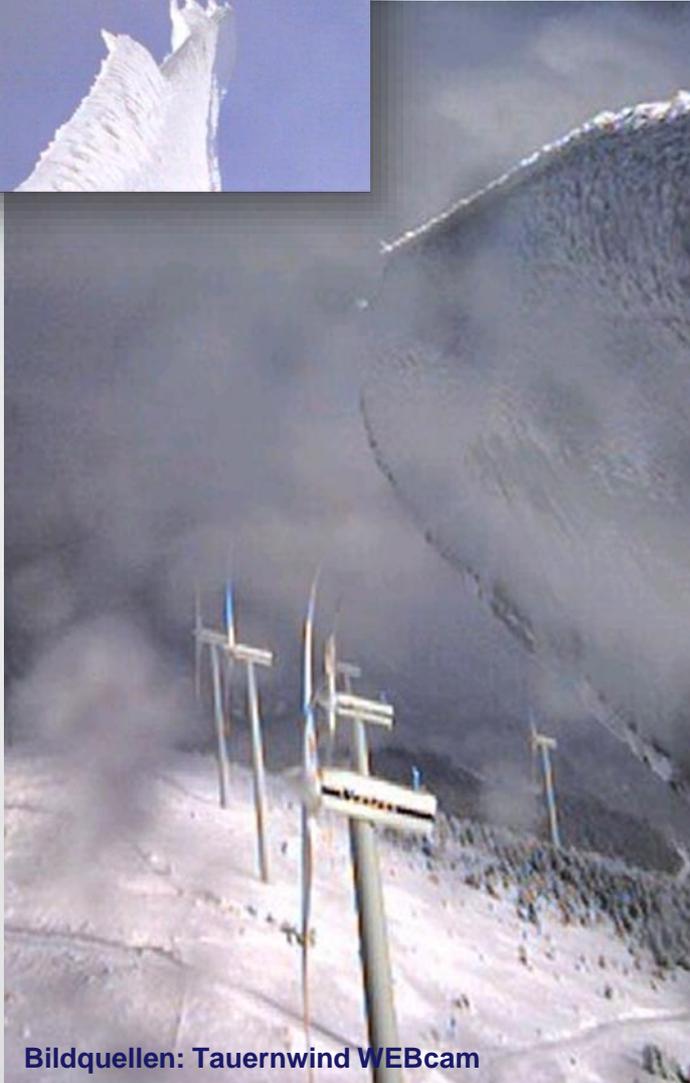


**Anstieg der Turbulenzintensität,  
unsymmetrische Verminderung der  
Windgeschwindigkeit, Randwirbel**

# Einfluss des Parkbetriebs auf die Ermüdungsbeanspruchung



# Vereisungsbedingungen



Bildquellen: Tauernwind WEBcam



Bildquelle: Rudolf Wiesnegger, Tauernwind



**VORSICHT**  
**EISABWURF**

Entsprechend der Witterung ist das Betreten  
des Windparkgeländes verboten!



[TauernWind.com](http://TauernWind.com)

# Materialien einer Windturbine, die brennen oder die Umwelt schädigen können

**Rotorblatt: Faserverbundstruktur mit Harzen, Farben und Lacken**

**Getriebe: Fette und Öle**

**Generator: Isolationsmaterialien**

**Gondel: Verkleidung (GFK), Kabel, Hydrauliköle**

**Wechselrichter: Elektronik, Kabel**

**Transformatoren: Öl, Kabel, Isoliermaterial**



---

**Welche Auswirkungen entstehen dabei?**

**Ziel einer Auslegung einer WEA muss es immer sein, dass die Standsicherheit gewährleistet ist und von der Anlage keine Gefahr auf Mensch und Umwelt ausgeht.**

**Alle Beteiligten an der Errichtung und dem Betrieb von Windparks haben dafür alles notwendige zu tun.**

**Alles in der Welt endet durch Zufall und Ermüdung**

Heinrich Heine (1797 - 1856), deutscher Dichter und Romancier



---

## Fazit

**Windparks sind technische Bauwerke, die sehr komplex aufgebaut sind und über einen sehr langen Zeitraum unbeaufsichtigt betrieben werden.**

**Um Gefährdungen von Mensch und Umwelt auszuschließen, muss diese Komplexität von allen Beteiligten verstanden sein.**

**Die Ausbildung der beteiligten Menschen muss verbessert werden und an die Anforderungen des Betriebs von Windenergieanlagen angepasst werden**

---

## **Fazit**

**Gravierende Vorfälle, die das Potential einer Gefährdung bieten, müssen an unabhängiger Stelle erfasst und analysiert werden, um Empfehlungen an Industrie und Normungsstellen auszusprechen.**

**Sachliche und konstruktive Kommunikation der beteiligten Stellen beim Betrieb eines Windparks und aus Fehlern lernen.**

**(kein „vertuschen“ von kritischen Schäden)**

**Es geht nicht um wirtschaftliche Schäden, sondern um die Sicherheit in der Öffentlichkeit**

**So etwas nur nach Ablauf der Betriebszeit**







**Viele störungsfreie Kilowattstunden  
und eine konstruktive Diskussion**