

Weiterbetrieb von Windenergieanlagen

>> Welche Faktoren bestimmen die
Nutzungsdauer einer Windenergieanlage? <<

Dipl.-Ing. Jürgen Holzmüller
8.2 GROUP



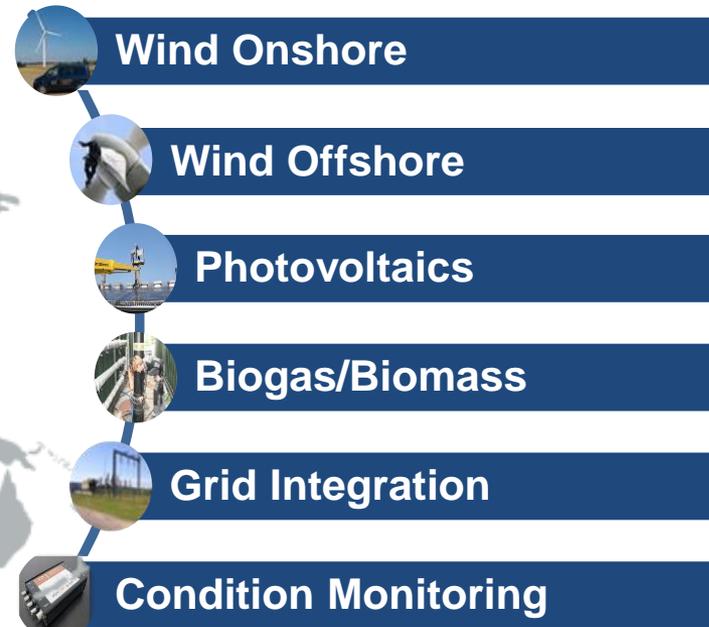
**Seit 27 Jahren im Bereich der
Windenergie tätig.**

- » Diplomingenieur Maschinenbau (Technische Hochschule Karlsruhe)
- » 1989 – 1998, Entwicklung und Konstruktion, Enercon GmbH
- » 1998 – heute, Sachverständiger für Windenergie
- » Öffentlich bestellt und vereidigt als Sachverständiger für Windenergieanlagen und deren Bewertung
- » Im Sprechergremium vom BWE-Arbeitskreis “Weiterbetrieb”
- » Präsident der 8.2 GROUP

8.2 GROUP

Decentralized network of independent experts in renewable energy

8.2 GROUP



Established for more than 20 years in the wind industry | 120 Experts | active in > 50 countries

8.2 Expertise



In-depth knowledge of all turbine types
> 20 000 turbines inspected

Due Diligence of more than 6 000 MW onshore/offshore worldwide



International Due Diligence of more than 2.5 GW PV projects

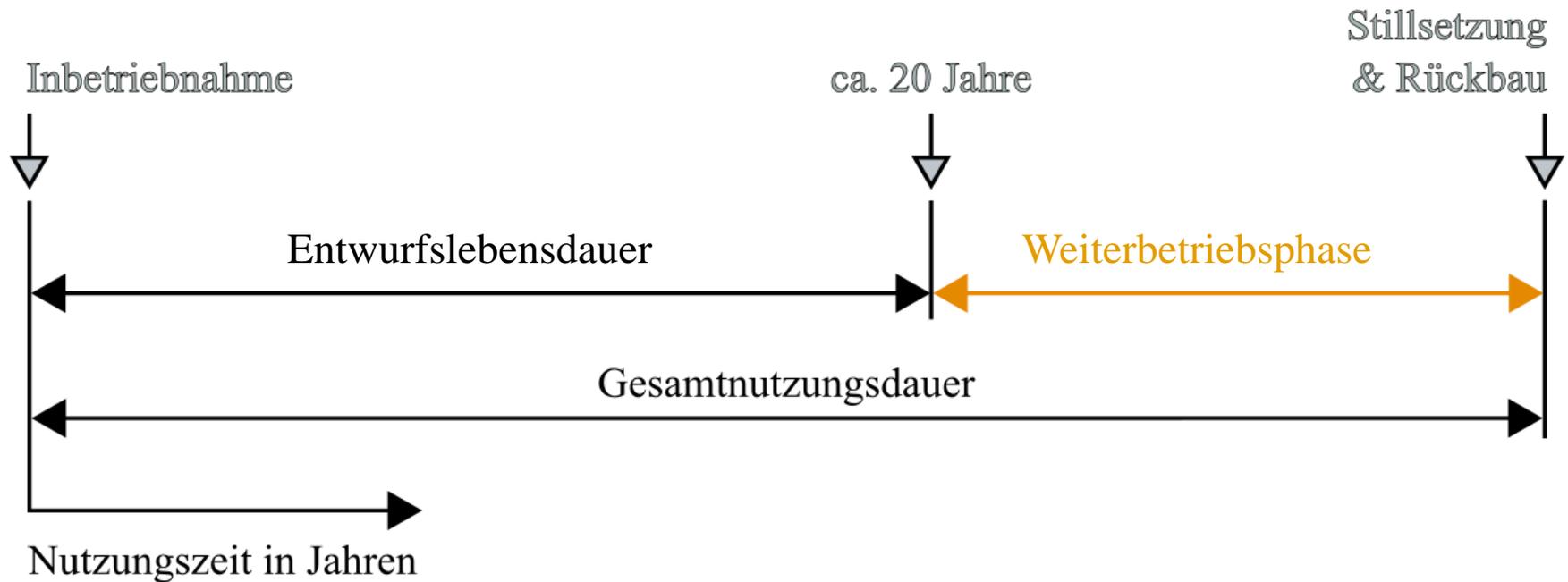
More than 17 years of experience in the area of CHP technology with biomass/biogas



Design review performed for most turbines (onshore / offshore)

- » Technical consulting
- » Technical due diligence
- » Technical inspections
- » Recurrent and condition based assessments
- » Rotor blade inspections
- » Damage and value analysis
- » Lifetime Extension of WTG (after 20 years)
- » Factory and warranty assessments
- » Grid connection expertise
- » Construction supervision
- » Operation optimization
- » Online und Offline Condition Monitoring
- » Video endoscopy
- » Design Review

Weiterbetrieb von Windenergieanlagen



Weiterbetrieb von Windenergieanlagen



Die Nutzungsdauer der Anlage ist mit mindestens 20 Jahren anzunehmen.

Der Betriebsfestigkeitsrechnung liegt eine Nutzungsdauer der WEA von 20 Jahren zu Grunde.



em an Seilen pendelnd aufgen in eine Ölfüllung eintaucht.

40 mm auf und werden aus Ble- Der Turmfußflansch wird aus

Der Turmkopfflansch wird aus kon-

Die ersten maximalen Biegemomente aus konstruktiven Gründen 200 kNm betragen.

stellt.

Die erste Eigenfrequenz der Anlage einschließlich der Maschine wurde für zwei Einspannungsverhältnisse unter Berücksichtigung des Dämpfereinflusses, rechnerisch untersucht. Bei der Annahme einer dynamischen Drehfederkonstante von $\min C_{\varphi} = 110000 \text{ MNm/rad}$ ergeben sich folgende Eigenfrequenzen:

elastische Einspannung:

$$f_0 = 0,211 \text{ Hz}$$

starre Einspannung:

$$f_0 = 0,247 \text{ Hz}$$

Der Betriebsfestigkeitsrechnung liegt eine Lebensdauer der Windenergieanlage von 20 Jahren zu Grunde.

Die Anlagen sind 20 Jahre nach IBN stillzulegen und abzubauen, wenn nicht bis dahin durch einen Nachweis die weiter bestehende Betriebsfestigkeit und Standsicherheit nachgewiesen worden ist.

manischer Lloyd Wind-
ätter (Nr. 1), und des
r Baustatik der Freien
otorblätter und die Be-
ene Lebensdauer von
eb der Anlagen beab-

sichtigt sein, ist rechtzeitig vor Ablauf der Betriebszeit die Betriebsfestigkeitsrechnung oder ein sonstiger zum Zeitpunkt der erforderlichen Nachweisführung dem Erkenntnisstand entsprechender anerkannter Nachweis für den Turm und die Rotorblätter zu erbringen.

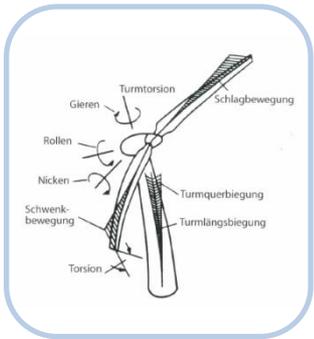
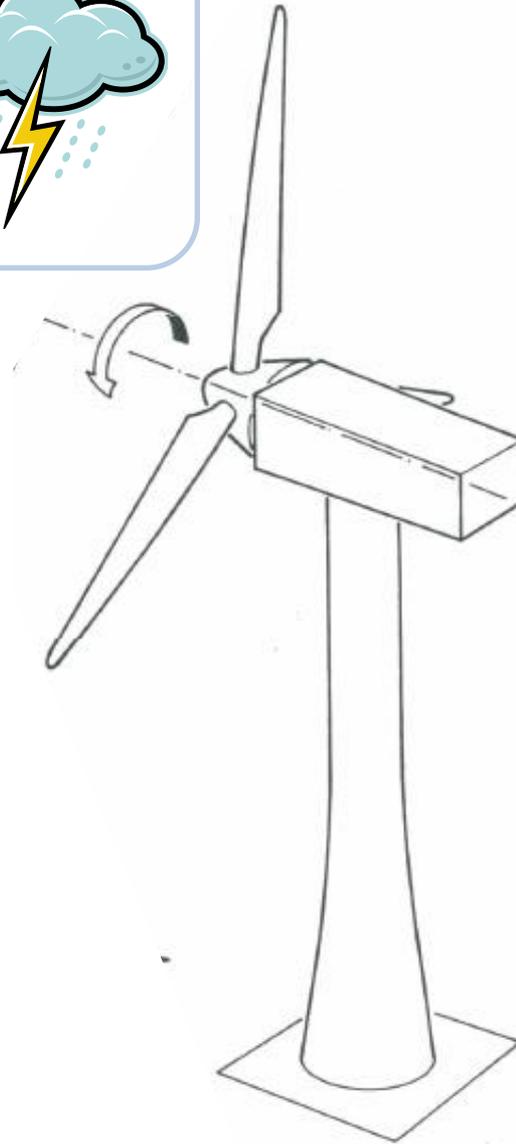
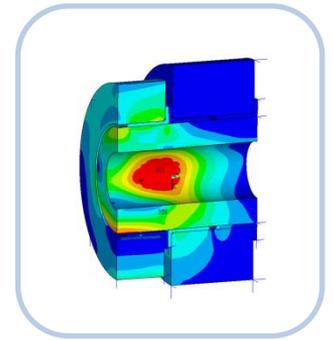
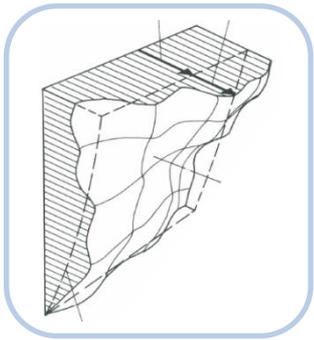
Die Anlagen sind 20 Jahre nach Inbetriebnahme stillzulegen und abzubauen, wenn nicht bis dahin durch einen Nachweis die weiter bestehende Betriebsfestigkeit und Standsicherheit nachgewiesen worden ist.

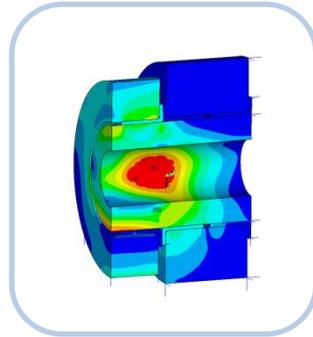
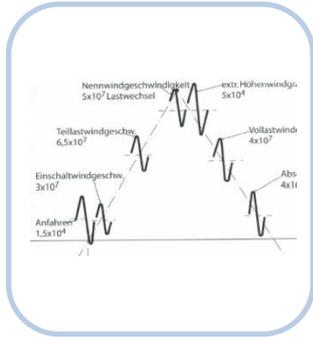
Weiterbetrieb von Windenergieanlagen

Die Nutzungsdauer der Anlage ist mit **mindestens 20 Jahren** anzunehmen.

Der Betriebsfestigkeitsrechnung liegt eine Nutzungsdauer der WEA **von 20 Jahren** zu Grunde.





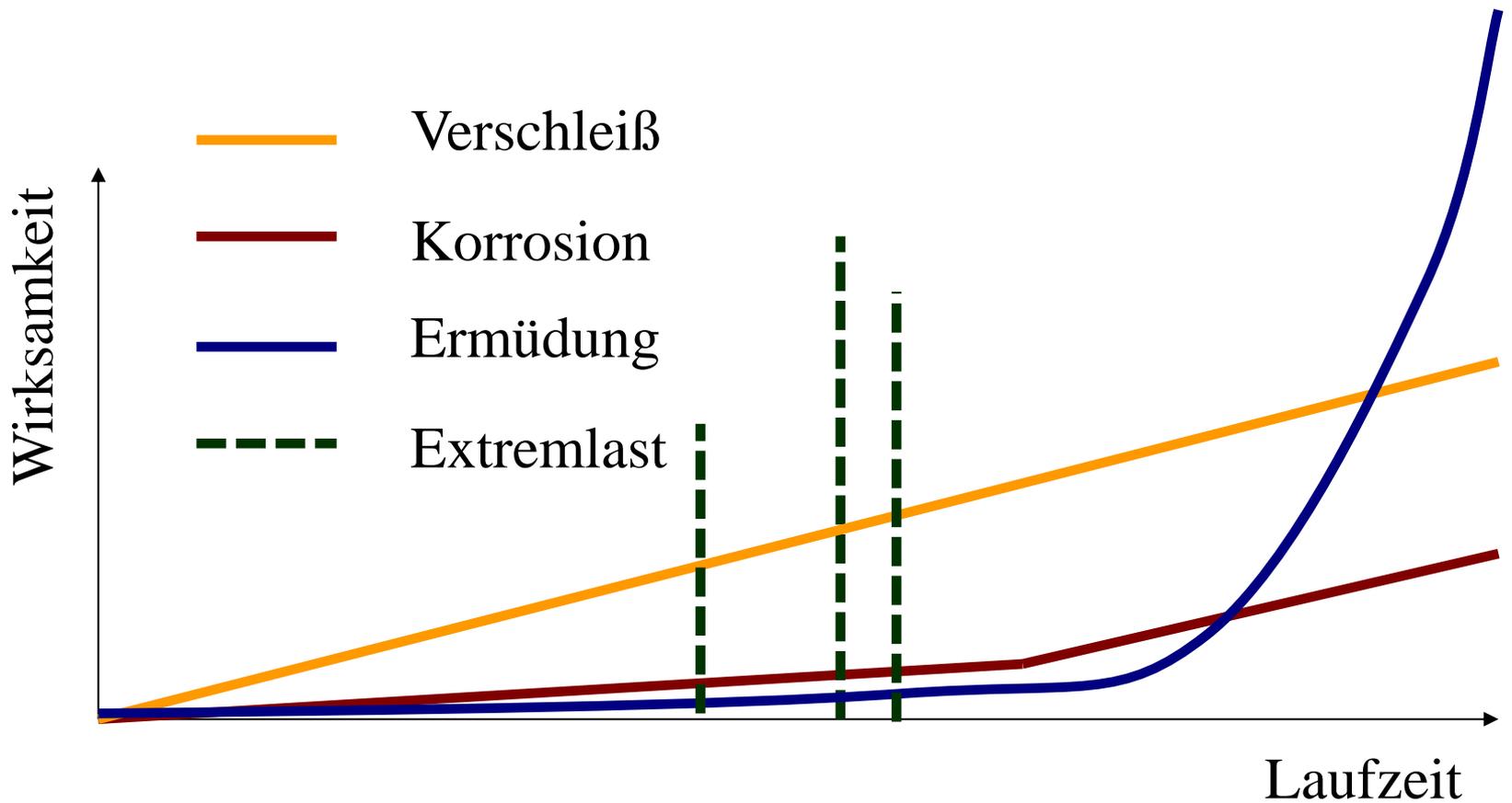


... größter Einflussfaktor auf Gesamtnutzungsdauer

MATERIALERMÜDUNG

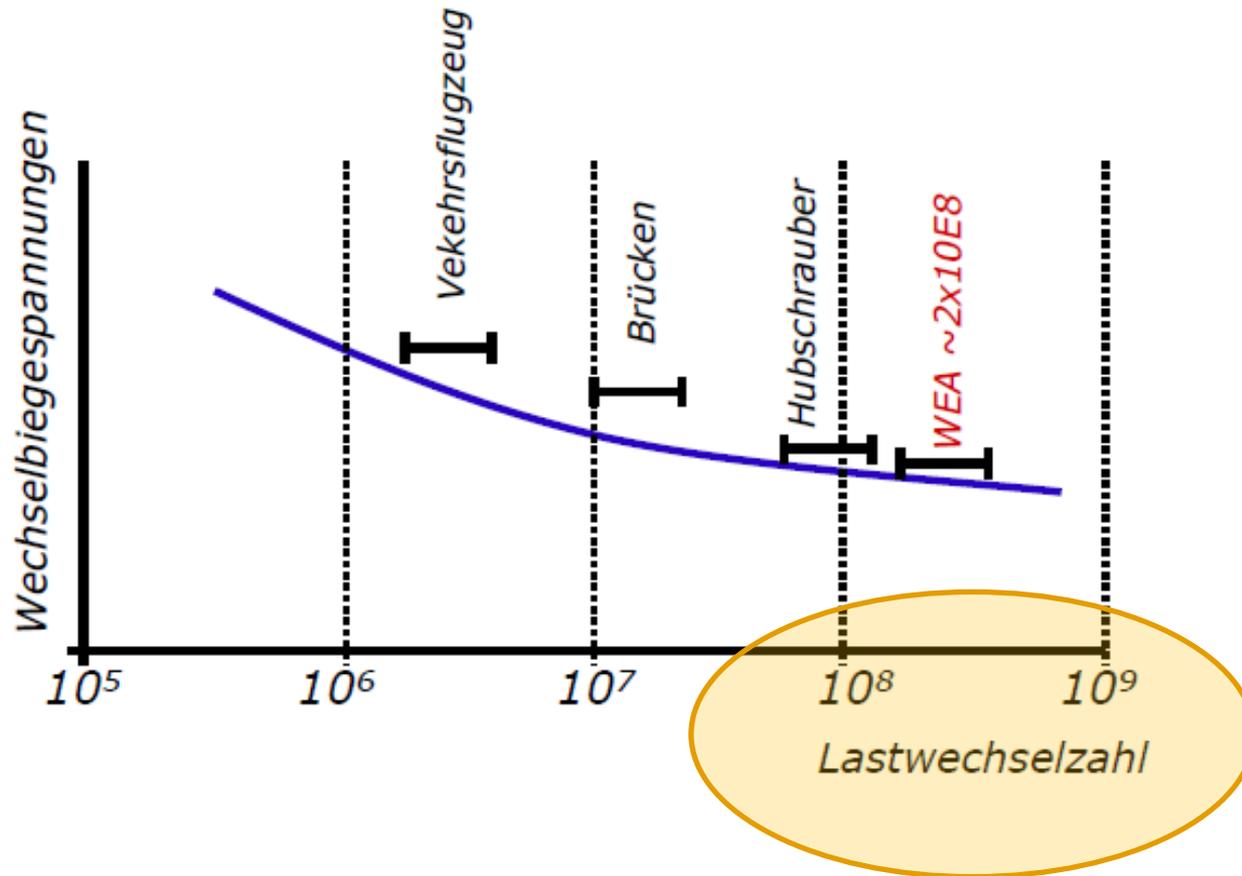
Weiterbetrieb von Windenergieanlagen

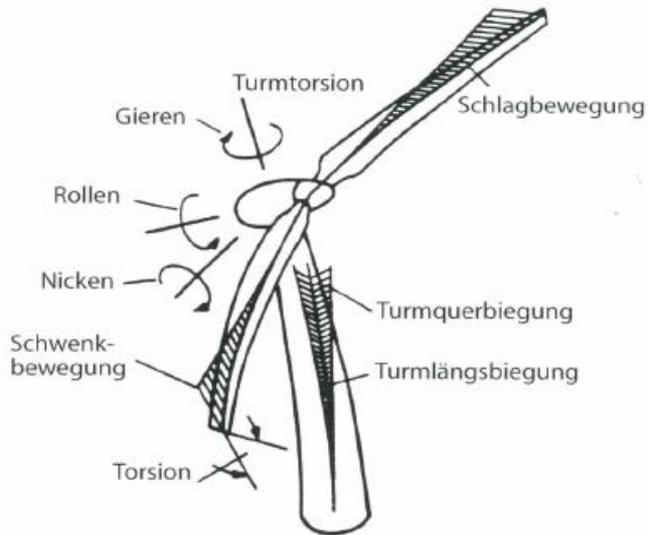
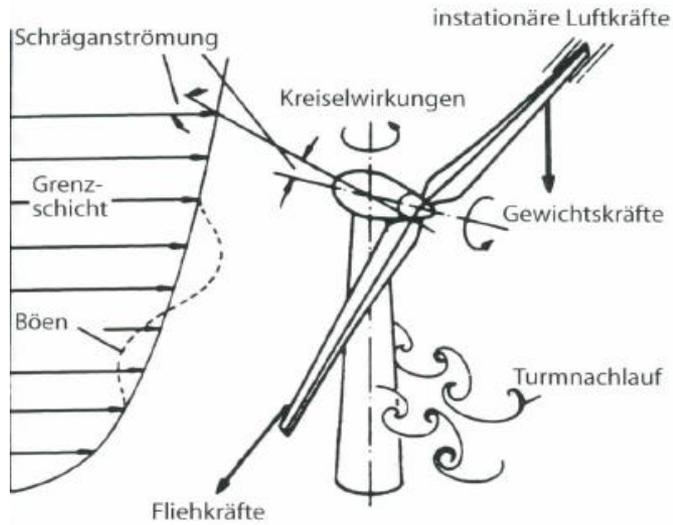
» Alterungsmechanismen



Weiterbetrieb von Windenergieanlagen

» Die WEA als „perfekte Ermüdungsmaschine“



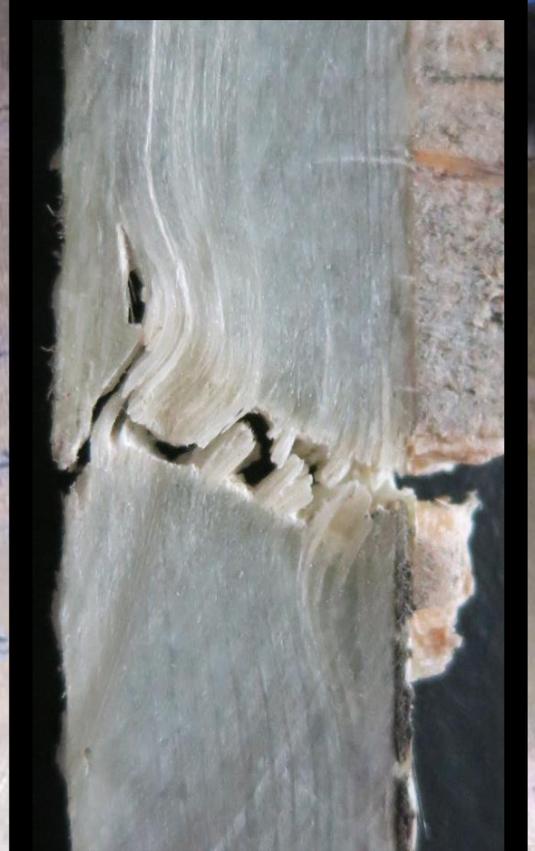


		Luftkräfte	Massenkräfte
Stationäre Belastungen		<p>mittlere Windgeschwindigkeit</p>	<p>Fliehkräfte</p>
	Instationäre Belastungen	<p>Höhenprofil der Windgeschwindigkeit Turmschatten beim leeseitigen Rotor</p>	<p>Gewichtskräfte Kreisel- und Corioliskräfte</p>
		<p>Schräganströmung Turmvorau beim luvseitigen Rotor</p>	
	nicht periodische, stochastische Belastungen	<p>Windturbulenzen</p>	

Ermüdung an Hauptwelle



Ermüdung Blattwurzel



Ermüdung Schraubverbindung



Richtlinien zum Thema „Weiterbetrieb“

DIBt- Richtlinie

Analytischer Nachweis

Berechnung der Gesamtnutzungsdauer

Die Gesamtanlage ist durch den Sachverständigen hinsichtl. ihrer Ermüdung zu beurteilen.



Praktischer Nachweis

Inspektion der WEA

Ausgestaltung und Umfang entspricht dem Umfang einer „Wiederkehrenden Prüfung“

Schwachstellenanalyse

Besondere Beachtung von Typen- und Serienspezifischen Risiken.

Richtlinien zum Thema „Weiterbetrieb“

Grundsätze
für die Durchführung einer
Bewertung und Prüfung
über den Weiterbetrieb von
Windenergieanlagen
(BPW)

Mindestanforderungen
an den
analytischen Nachweis



Weiterbetrieb von Windenergieanlagen

» Eingangsparemeter für Nachweisverfahren

- Extreme Windgeschw. → WZ IV...III...II...I
- Mittlere Windgeschw. → WZ IV...III...II...I
- Turbulenz → 20%12%
- Zeitperiode → ≥ 175.200 h / ≥ 20 a
- Betriebsweise → Div. Lastfälle

Weiterbetrieb von Windenergieanlagen

» Windpotenzial in Deutschland

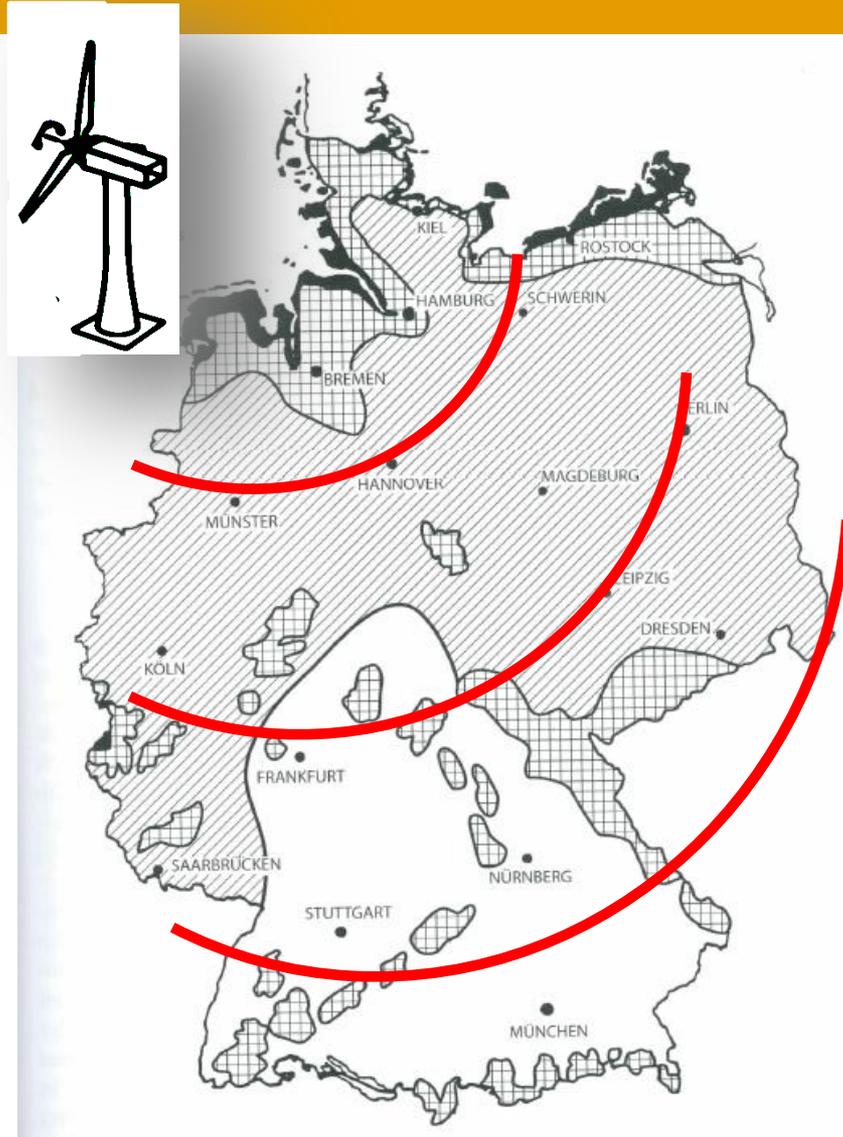
durchschnittliche
Windgeschwindigkeit
in 10m Höhe

Windzone IV: ca. 6 m/s

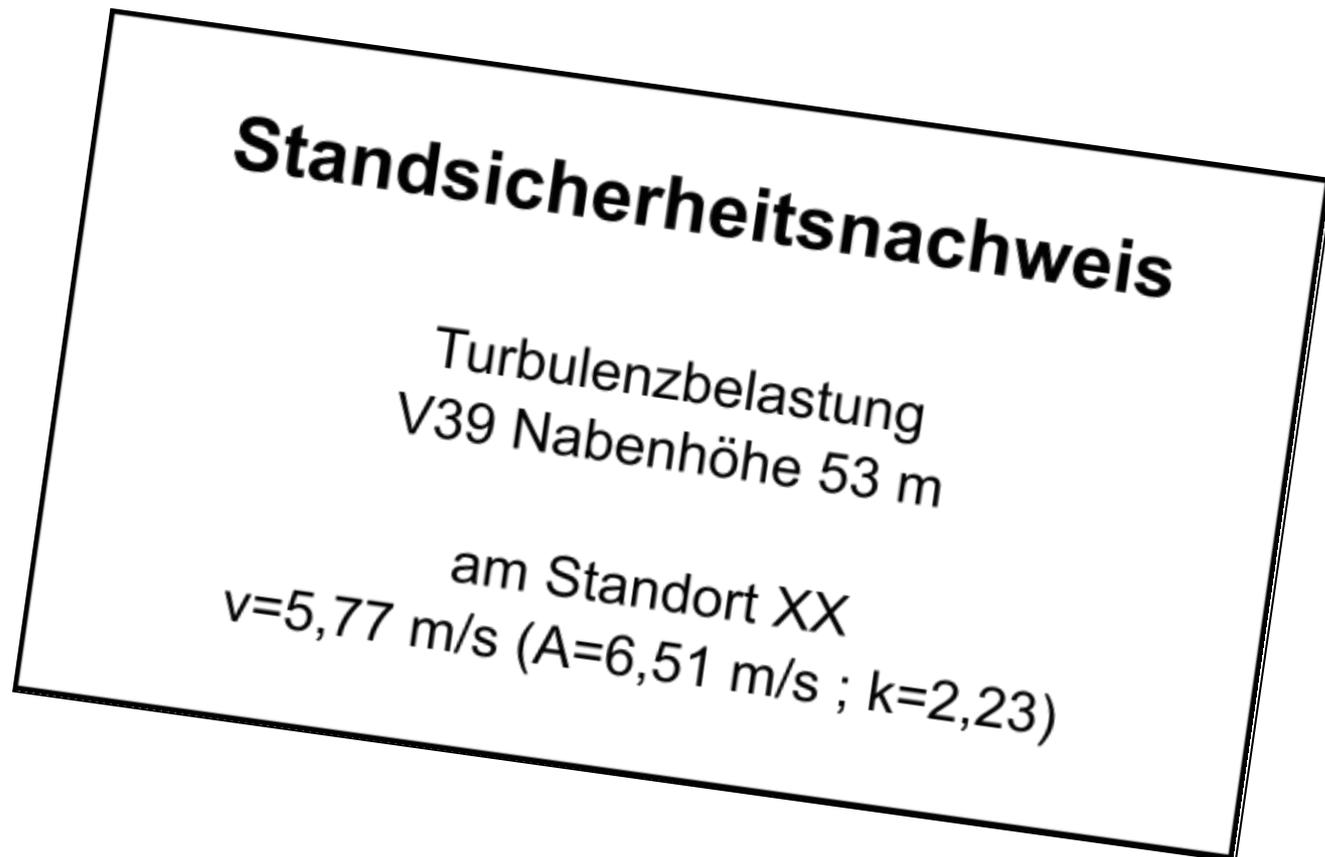
Windzone III: ca. 5 m/s

Windzone II: ca. 4 m/s

Windzone I: ca. 3 m/s



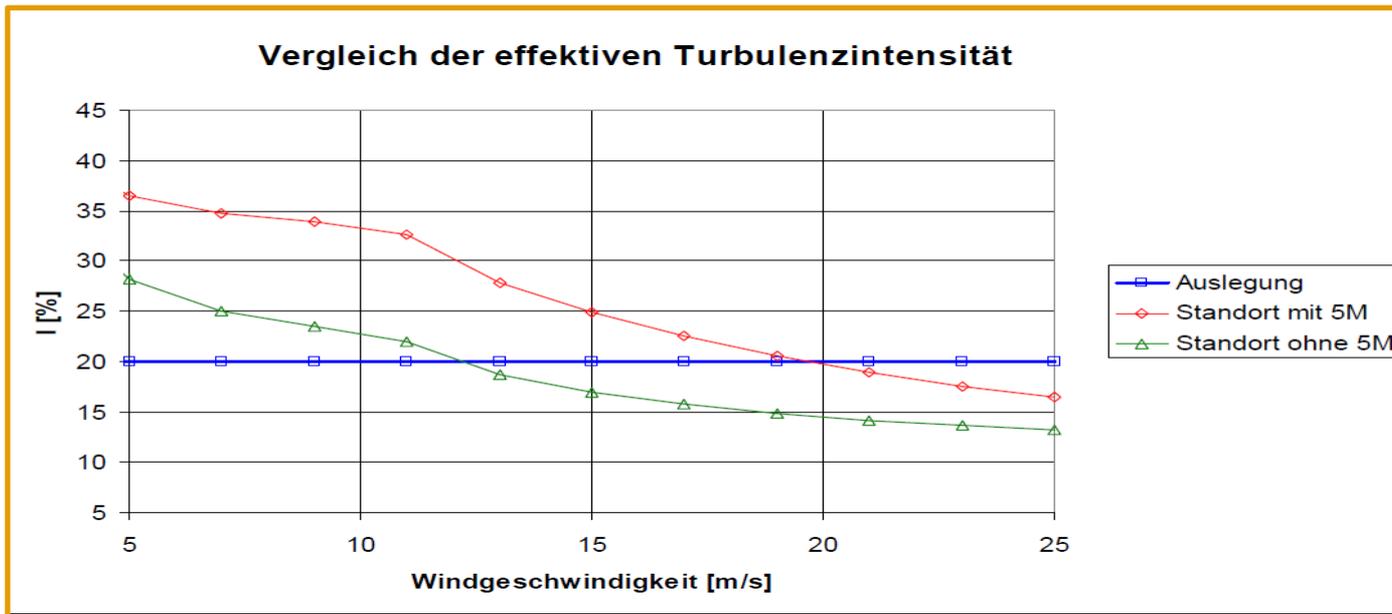
» BPW: Analytischer Teil / V39 mit 53m Nabenhöhe



Weiterbetrieb von Windenergieanlagen

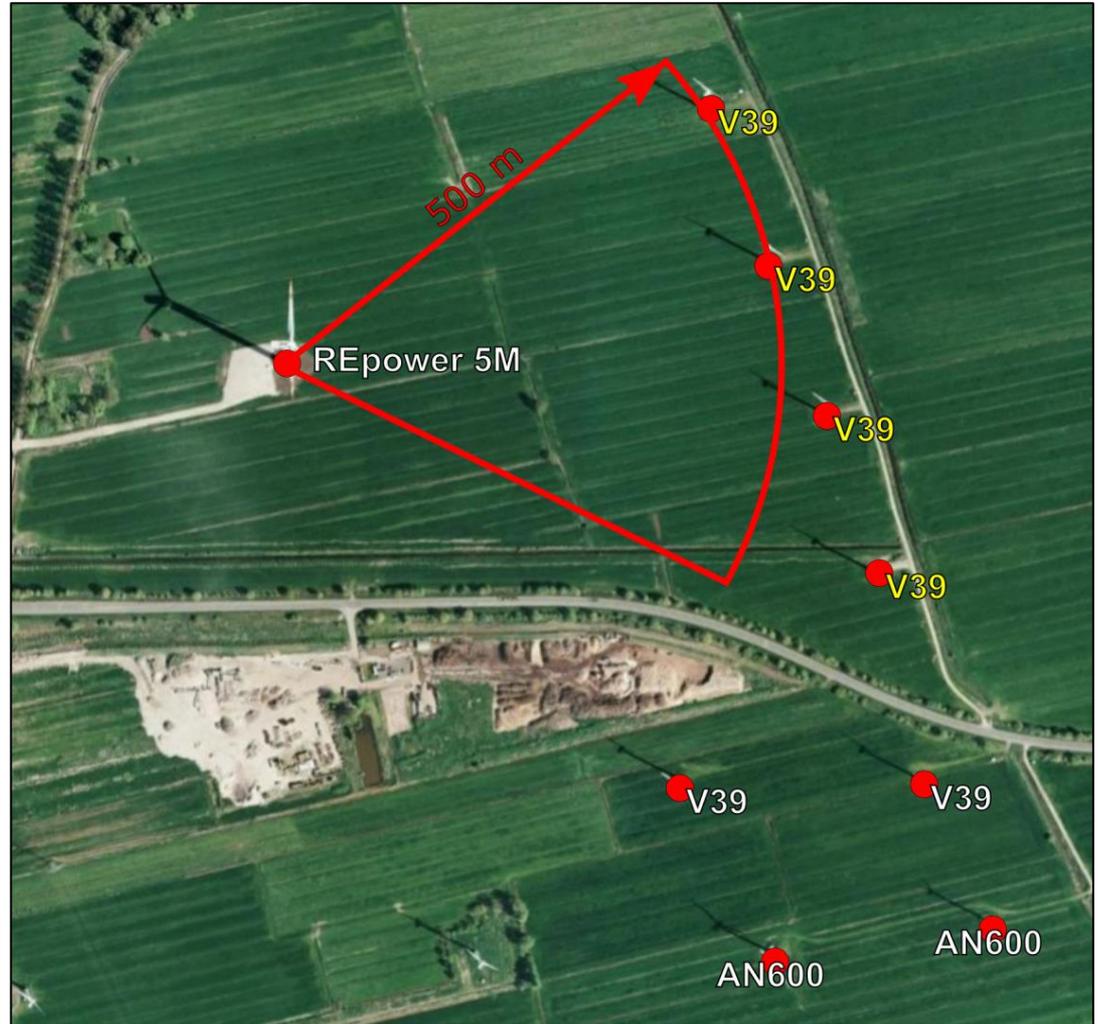
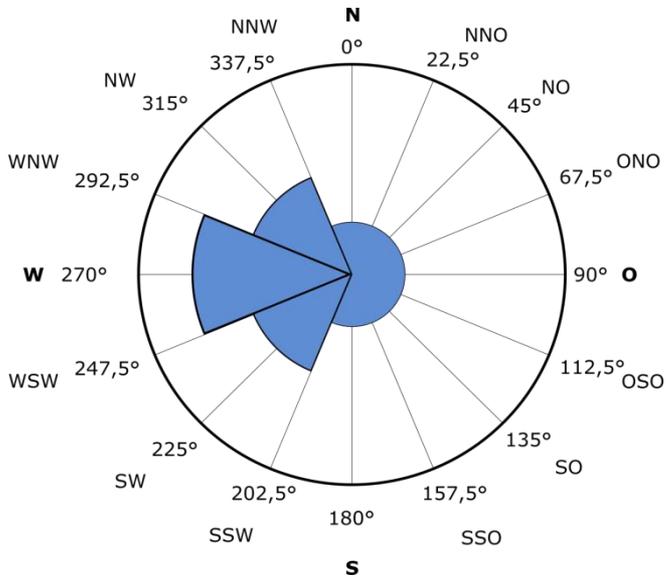
» Eingangsparemeter: Windgeschwindigkeit + Turbulenz

Jahreswindmittel v_m in m/s	
Auslegung	8,14
Standort	5,77
Abweichung Standort zu Auslegung	-28,4%



Weiterbetrieb von Windenergieanlagen

Hauptwindrichtung



» BPW: Grunddaten

- 4x Vestas V39
- IBN 1995
- ausgedehntes Windfeld

» BPW: Einflussfaktoren

- Windrichtungsverteilung beim Tragwerk
- Zubau einer Nachbaranlage REpower 5M im Jahr 2005
- Reduzierung der Belastungen durch Lastmanagement

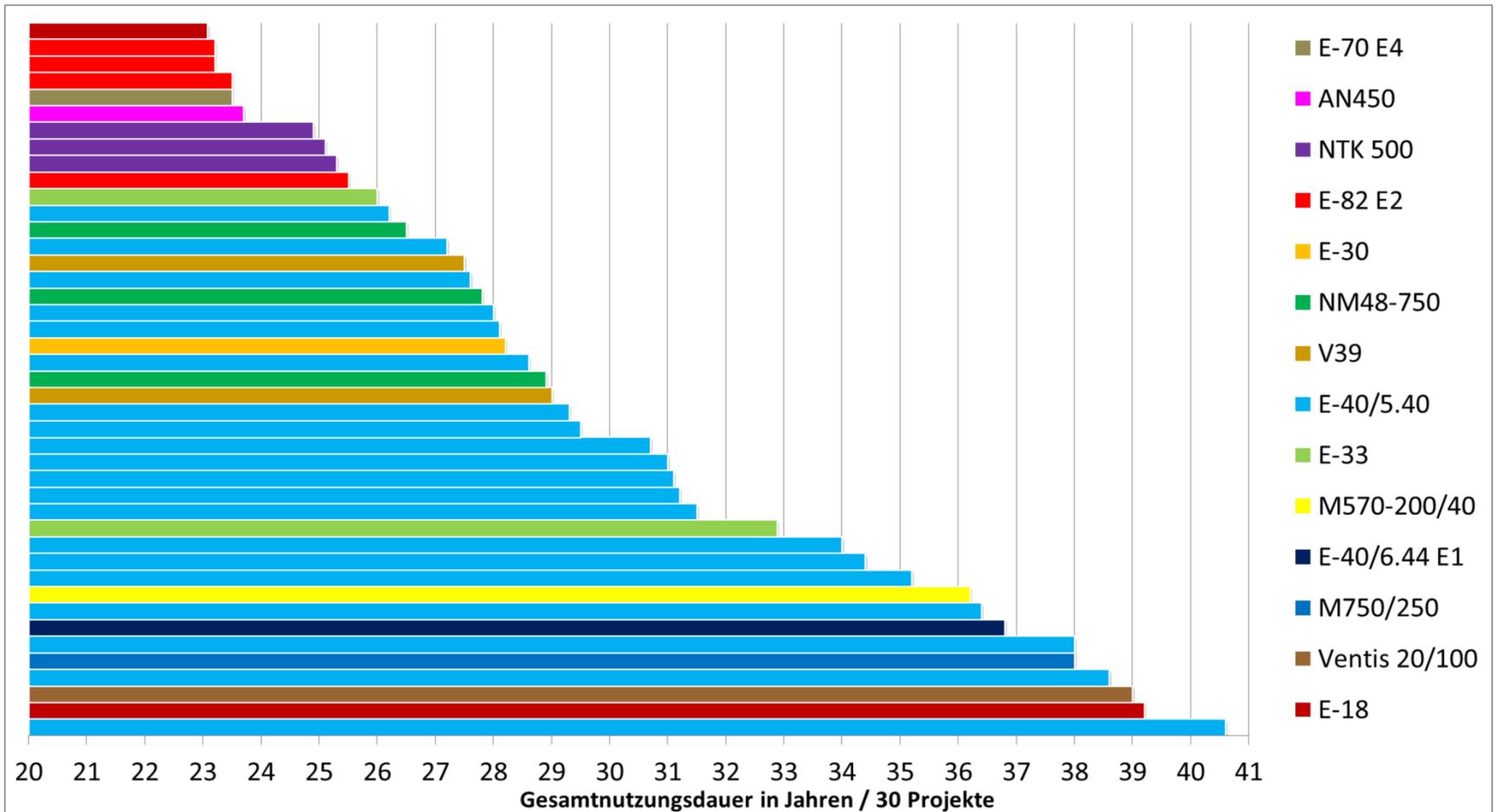
Weiterbetrieb von Windenergieanlagen

» BPW: Ergebnis der Simulation // Einflussfaktoren

Komponente	GND Normal	GND Inkl. Lastmanagement	GND ohne 5M Ohne Lastm.	GND mit Windrichtungsverteilung
Fundament (Einbausektion) und Turmanschluss an das Fundament (Schrauben)	27,5 Jahre	28,2 Jahre	37,9 Jahre	> 33 Jahre
Stahlurm (inkl. Schweißnähte und Schraubverb.)	33 Jahre	34 Jahre		> 33 Jahre
Maschinenträger (Schweißnähte u. Schraubverbindg.)	31,3 Jahre	32,2 Jahre		31,3 Jahre
Hauptwelle (vergüteter Stahl)	31,3 Jahre	32,2 Jahre		31,3 Jahre
Nabe (Gusswerkstoff)	> 50 Jahre	> 50 Jahre		> 50 Jahre
Blattanschluss (Schrauben)	31,6 Jahre	32,5 Jahre		32 Jahre
Rotorblatt (GFK)	> 50 Jahre	> 50 Jahre		> 50 Jahre

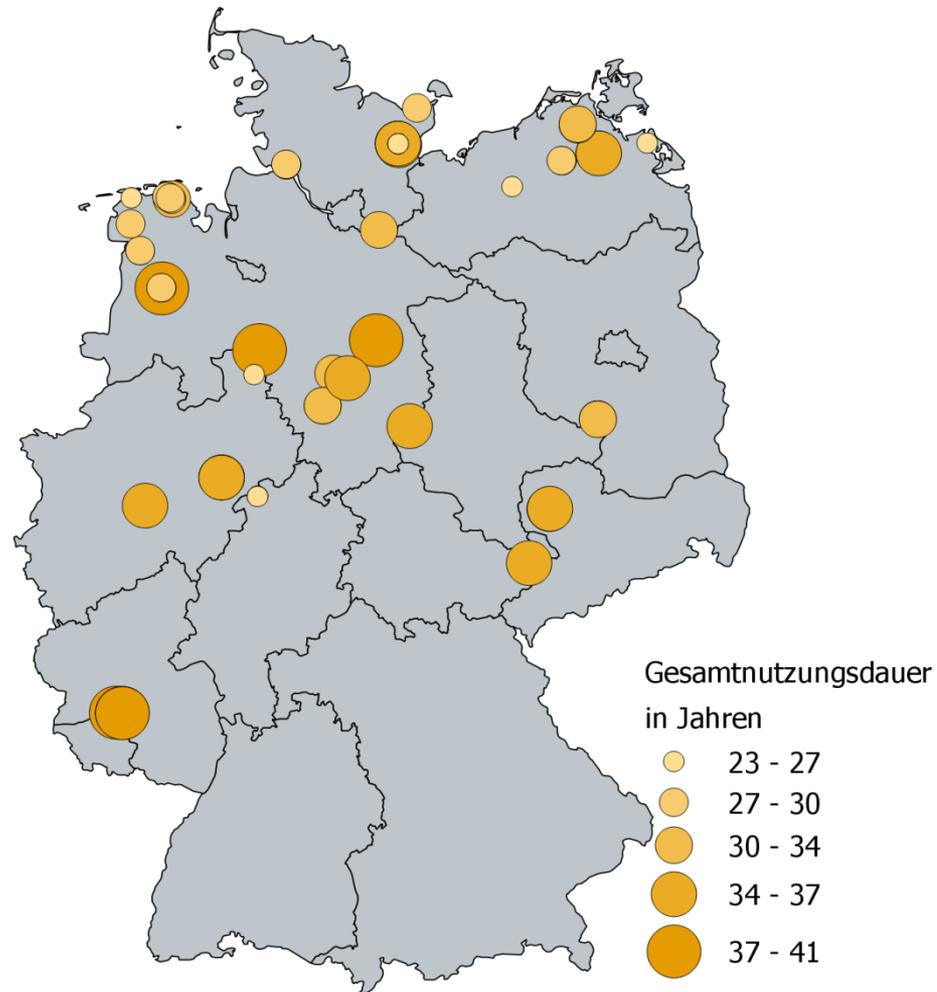
Weiterbetrieb von Windenergieanlagen

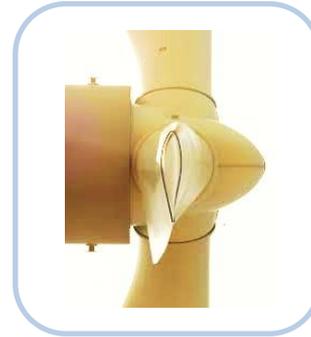
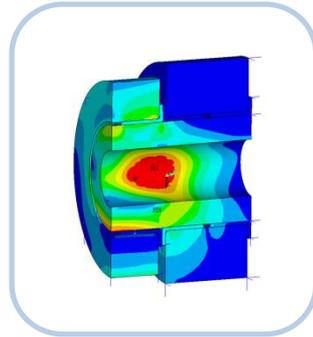
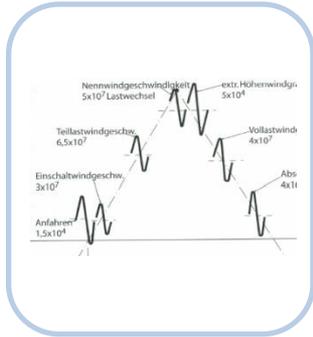
» Bisher von 8.2 ermittelte Gesamtnutzungsdauern



Weiterbetrieb von Windenergieanlagen

Regionale Verteilung

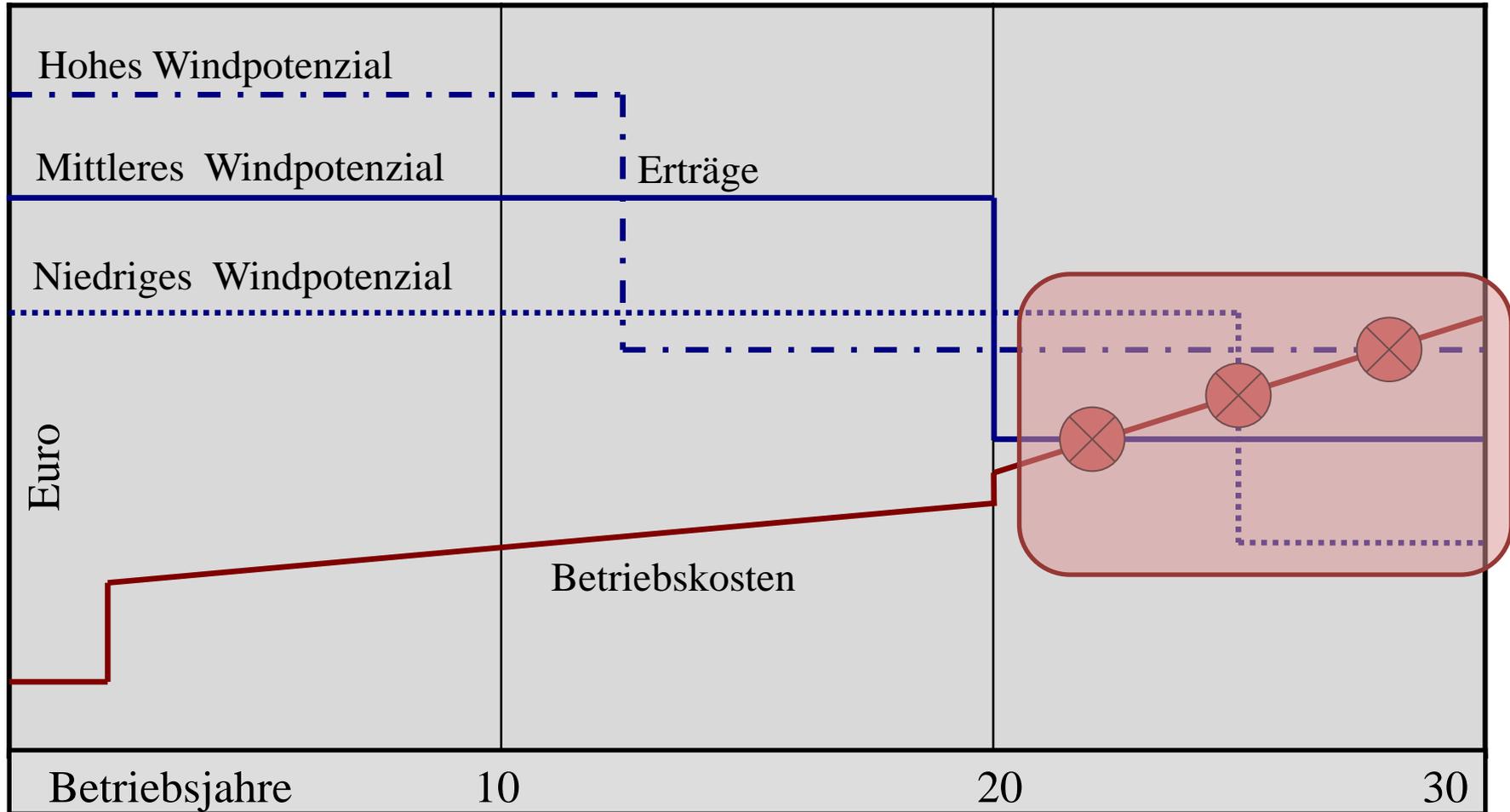




- » Jede Anlage hat eine individuelle Gesamtnutzungsdauer
- » Analytische Methoden zur Berechnung dieser Gesamtnutzungsdauer stehen zur Verfügung
- » Die Richtlinien, Normen, Grundsätze zum Thema „Weiterbetrieb“ sind in der Entwicklung

**WEITERBETRIEB MÖGLICH
MIT HOHER ZUVERLÄSSIGKEIT**

Monetäre Situation für Weiterbetrieb



Monetäre Situation für Weiterbetrieb

» Betriebskosten Altanlagen [Cent / kWh]



Monetäre Situation für Weiterbetrieb

» Windpark mit 9 WEA der 2MW-Klasse

Kalenderjahr	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029
Betriebsjahr	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Ertrag P90 (kWh)	24.267.276	24.267.276	24.267.276	24.267.276	24.267.276	24.267.276	24.267.276	24.267.276	24.267.276	24.267.276	24.267.276	24.267.276	24.267.276
Versicherung WEA	16.922 €	16.922 €	16.922 €	16.922 €	16.922 €	16.922 €	16.922 €	16.922 €	16.922 €	16.922 €	16.922 €	16.922 €	16.922 €
Versicherung Haftpflicht	640 €	653 €	666 €	679 €	693 €	706 €	721 €	750 €	765 €	765 €	780 €	780 €	796 €
Pacht nach Verträgen	177.211 €	177.211 €	177.211 €	212.654 €	212.654 €	212.654 €	212.654 €	147.240 €	147.240 €	147.240 €	147.240 €	147.240 €	147.240 €
Strombezugskosten	36.049 €	36.770 €	37.506 €	38.256 €	39.021 €	39.801 €	40.597 €	42.238 €	43.082 €	43.082 €	43.944 €	43.944 €	44.823 €
Instandhaltung Außenanlagen	1.040 €	1.061 €	1.082 €	1.104 €	1.126 €	1.149 €	1.172 €	1.219 €	1.243 €	1.243 €	1.268 €	1.268 €	1.294 €
Wartung WEA	446.082 €	455.004 €	464.104 €	473.386 €	482.853 €	492.510 €	502.361 €	522.656 €	533.109 €	533.109 €	543.771 €	543.771 €	554.647 €
Wartung Fundament	5.306 €	5.412 €	5.520 €	5.631 €	5.743 €	5.858 €	5.975 €	6.217 €	6.341 €	6.341 €	6.468 €	6.468 €	6.597 €
Sicherheitsüberprüf. Gutachten	13.193 €	13.457 €	13.727 €	14.001 €	14.281 €	14.567 €	14.858 €	15.458 €	35.000 €	35.700 €	36.414 €	37.142 €	37.885 €
Technische Betriebsführung	81.632 €	83.264 €	84.930 €	86.628 €	88.361 €	90.128 €	91.931 €	95.645 €	97.558 €	97.558 €	99.509 €	99.509 €	101.499 €
Kaufm. Geschäftsführung	55.753 €	56.868 €	58.006 €	59.166 €	60.349 €	61.556 €	62.787 €	65.324 €	66.630 €	66.630 €	67.963 €	67.963 €	69.322 €
Entschädigung Wege, Nachbarn	6.000 €	6.000 €	6.000 €	6.000 €	6.000 €	6.000 €	6.000 €	6.000 €	6.000 €	6.002 €	6.003 €	6.004 €	6.005 €
Städtebauliche Verträge	51.130 €	51.130 €	51.130 €	51.130 €	51.130 €	51.130 €	51.130 €	51.130 €	51.130 €	51.130 €	51.130 €	51.130 €	51.130 €
Beiträge	569 €	581 €	592 €	604 €	616 €	629 €	641 €	667 €	681 €	681 €	694 €	694 €	708 €
Beirat	3.600 €	3.600 €	3.600 €	3.600 €	3.600 €	3.600 €	3.600 €	3.600 €	3.600 €	3.600 €	3.600 €	3.600 €	3.600 €
Beirat Versicherung	3.745 €	3.820 €	3.897 €	3.975 €	4.054 €	4.135 €	4.218 €	4.388 €	4.476 €	4.476 €	4.566 €	4.566 €	4.657 €
Jahresabschlusskosten	6.503 €	6.633 €	6.765 €	6.901 €	7.039 €	7.179 €	7.323 €	7.619 €	7.771 €	7.771 €	7.927 €	7.927 €	8.085 €
Rechts- und Beratungskosten	1.561 €	1.592 €	1.624 €	1.657 €	1.690 €	1.724 €	1.758 €	1.829 €	1.866 €	1.866 €	1.903 €	1.903 €	1.941 €
Versch. Betriebl. Kosten	10.777 €	10.993 €	11.212 €	11.437 €	11.665 €	11.899 €	12.137 €	12.627 €	12.879 €	12.879 €	13.137 €	13.137 €	13.400 €
Sonstige Aufwendungen	3.392 €	3.460 €	3.529 €	3.600 €	3.672 €	3.745 €	3.820 €	3.975 €	4.054 €	4.054 €	4.135 €	4.135 €	4.218 €
Rückstellungen für Rückbau	10.696 €	10.696 €	10.696 €	10.696 €	10.696 €	10.696 €	10.696 €	10.696 €	10.696 €	10.696 €	10.696 €	10.696 €	10.696 €
Kosten gesamt	931.803 €	945.128 €	958.719 €	1.008.025 €	1.022.165 €	1.036.589 €	1.051.300 €	1.016.199 €	1.051.044 €	1.051.746 €	1.068.070 €	1.068.799 €	1.085.464 €
Betriebskosten Cent/kWh	3,8	3,9	4,0	4,2	4,2	4,3	4,3	4,2	4,3	4,3	4,4	4,4	4,5

Monetäre Situation für Weiterbetrieb

5x WEA mit 1,5MW	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028
Betriebszeit	14a	15a	16a	17a	18a	19a	20a	21a	22a	23a	24a	25a
Verfügbarkeit Annahme	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,95	0,9	0,85	0,8	0,75
Wartung	99.700 €	100.700 €	101.700 €	101.700 €	102.700 €	103.700 €	104.800 €	95.200 €	74.800 €	54.000 €	32.700 €	11.000 €
Allgemein Rotorblätter Fundament Umrichter / Netzanbindung												
Inspektionen	22.300 €	22.500 €	22.700 €	22.700 €	23.000 €	23.200 €	23.400 €	21.300 €	16.700 €	12.100 €	7.300 €	2.500 €
WP/ZOP/SWA DGUV V3 Arbeitssicherheit												
Standsicherheitsnachweis								50.000 €				
Rückbaukosten	40.000 €	40.000 €	40.000 €	40.000 €	40.000 €	40.000 €	40.000 €	40.000 €	40.000 €	40.000 €	40.000 €	40.000 €
Kosten Antriebsstrang	65.500 €	67.400 €	69.300 €	70.600 €	72.600 €	74.600 €	81.200 €	64.900 €	53.800 €	40.500 €	14.200 €	0 €
Instandsetzungskosten	84.000 €	86.500 €	89.000 €	90.600 €	93.100 €	95.700 €	104.200 €	83.300 €	69.000 €	51.900 €	18.200 €	900 €
Rotorblätter Generator Pitch & Azimut Umrichter Turm Fundament Transformator												
Betriebskosten Cent/kWh	3,48	3,58	3,69	3,78	3,90	4,02	4,23	4,39	3,78	3,59	2,95	2,40

Potenzial für den Weiterbetrieb

» Windenergieanlagen, die von 1990 - 2000 installiert wurden und nach 2020 noch betrieben werden können:

~ 7.000 Stück (geschätzt)

~ 5.000 MW (geschätzt)

Danke für ihr Interesse

Bitte kontaktieren Sie uns,
falls Sie weitere Detailfragen haben:

8.2 Ingenieurbüro Holzmüller
Tjüchkampstraße 12 | 26605 Aurich
juergen.holzmueller@8p2.de

Telefon: 04941 – 60 444 110
Web: www.8p2.de