



KEY**WIND**energy

Knowledge is the Key – Wind Energy is the Source.

GondelBox – Ertragssteigerung durch Erfassung des Erosionsmilieus auf einer WEA unter Einbeziehung von Betriebsdaten

28. Windenergietage, Potsdam
Profi(t) am Wind
06. November 2019

Jan Liersch / Aron Gruschinske

Key Wind Energy GmbH

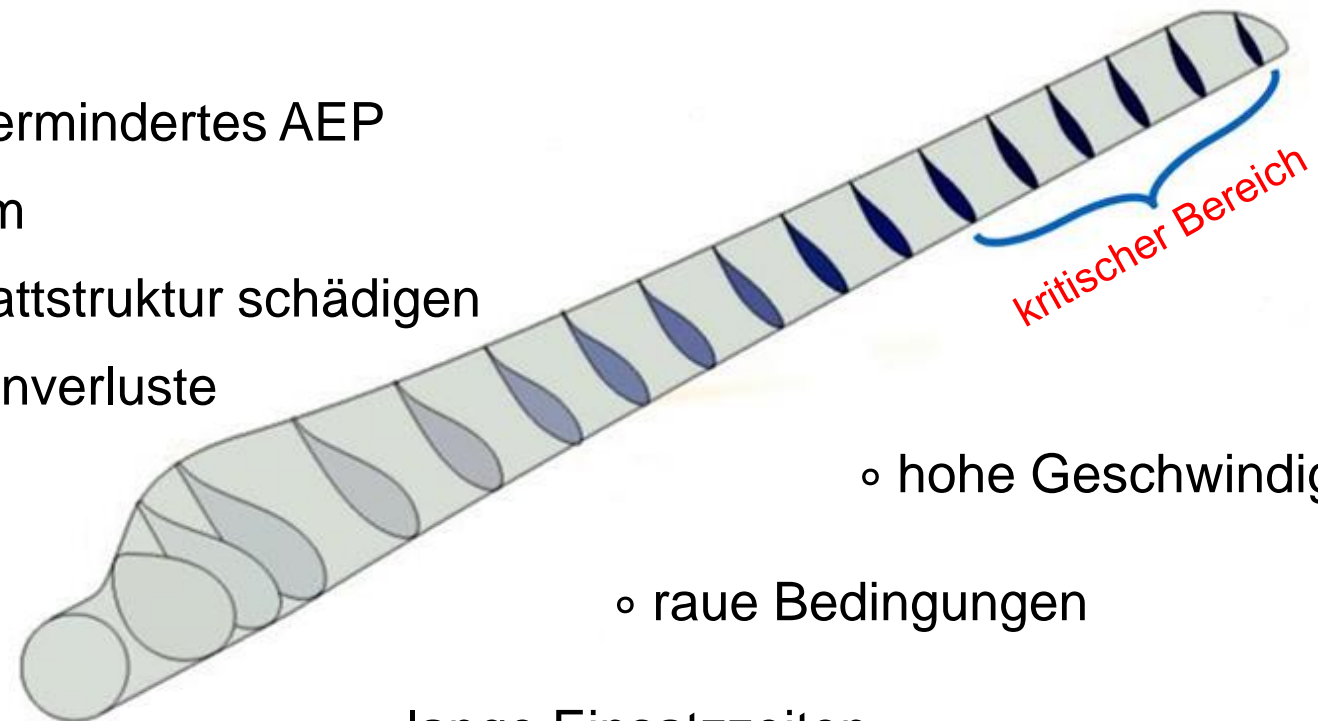
www.keywind.de



Vorderkantenerosion am Rotorblatt

► Auswirkungen der Vorderkantenerosion

- höherer Widerstandsbeiwert
- geringerer Auftriebsbeiwert
- geringerer Leistungsbeiwert und vermindertes AEP
- Folgeschäden durch Risswachstum
- eindringende Feuchtigkeit kann Blattstruktur schädigen
- Ggf. Unwuchten infolge der Massenverluste
- geringere Einsatzzeiten
- höhere OPEX



◦ hohe Geschwindigkeiten

◦ raue Bedingungen

◦ lange Einsatzzeiten

Vorderkantenerosion am Rotorblatt

- ▶ Haupttypen von Erosion
 - Wassertropfenerosion
 - Partikelerosion
- ▶ Erosionsmilieu – Einflussfaktoren für Erosionsbelastungen
 - hohe Abhängigkeit von den Standortbedingungen
 - Qualität von Blattmaterial und Beschichtung
 - Blattstruktur und Dynamik (Dehnung, Spannung)



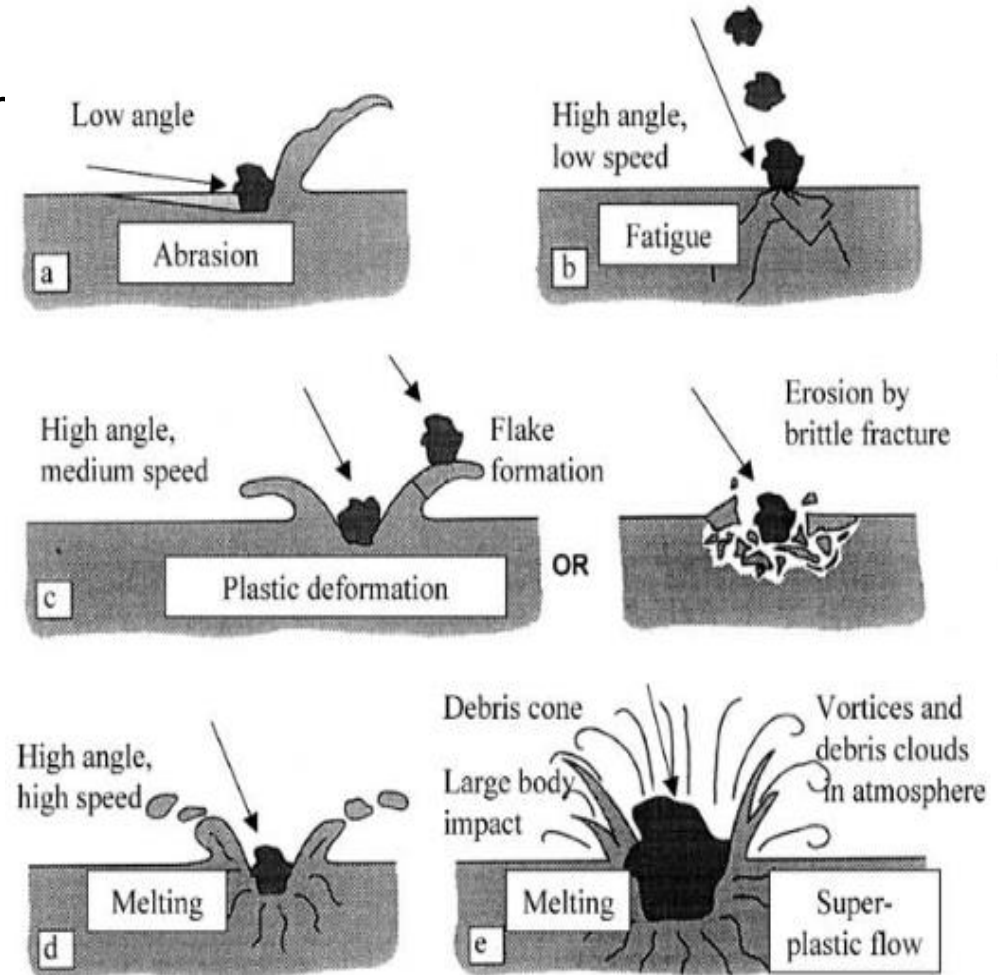
Quelle: sainshandwindpark.mn

Partikelerosion - Entstehung

- ▶ Schädigungsvorgang
- ▶ kleine Partikel furchen bei niedrigem Aufprallwir
- ▶ bei größeren Aufprallwinkeln bewirken sie Mate

Einflussfaktoren

- | | |
|-------------------------------|-------------------------------|
| ▪ Materialien der Stoßpartner | ▪ Auftreffwinkel |
| ▪ Partikeldurchmesser | ▪ Vorschädigung des Materials |
| ▪ Partikelform | ▪ Partikelkonzentration |
| ▪ Auftreffgeschwindigkeit | ▪ Partikelrotation |



Quelle: N.-. M. Barkoula und J. Karger-Kocsis, „Process and influencing parameters of the solid particle erosion of polymers and their composites“

Erosionsmilieu Tropfen - Niederschlag

| Niederschlagsart | Durchmesser in mm | Eigenschaften | Fallgeschwindigkeit in m/s |
|------------------|-------------------|---|----------------------------|
| Hagel | 5 – 25 | in warmen Jahreszeiten, in mittleren Breiten tritt selten auf | 8-20 |
| Regen | 0,5 – 5 | Konvektiver Regen bei aufsteigenden Wolken | 2-8 |
| Sprühregen | 0,1 – 0,5 | Stratiformer Regen aus Stratuswolken | 1-5 |
| Wolkentröpfchen | 0,02 – 0,10 | | 0,01-0,25 |

Extreme Niederschlagsmengen in Deutschland

| Menge | Ort | Dauer | Datum |
|--------|----------------------|---------|------------|
| 126 mm | Füssen (Ostallgäu) | 8 Min. | 25.05.1920 |
| 245 mm | Münster (LANUV) | 2 Std. | 28.07.2014 |
| 312 mm | Zinnwald-Georgenfeld | 1 Tag | 12.08.2002 |
| 779 mm | Aschau-Stein | 1 Monat | Juli 1954 |

▲ Beispiele für in Deutschland erfasste, sehr extreme Niederschlagsmengen. Die genannten Niederschlagshöhen treten seltener als einmal in 100 Jahren auf.

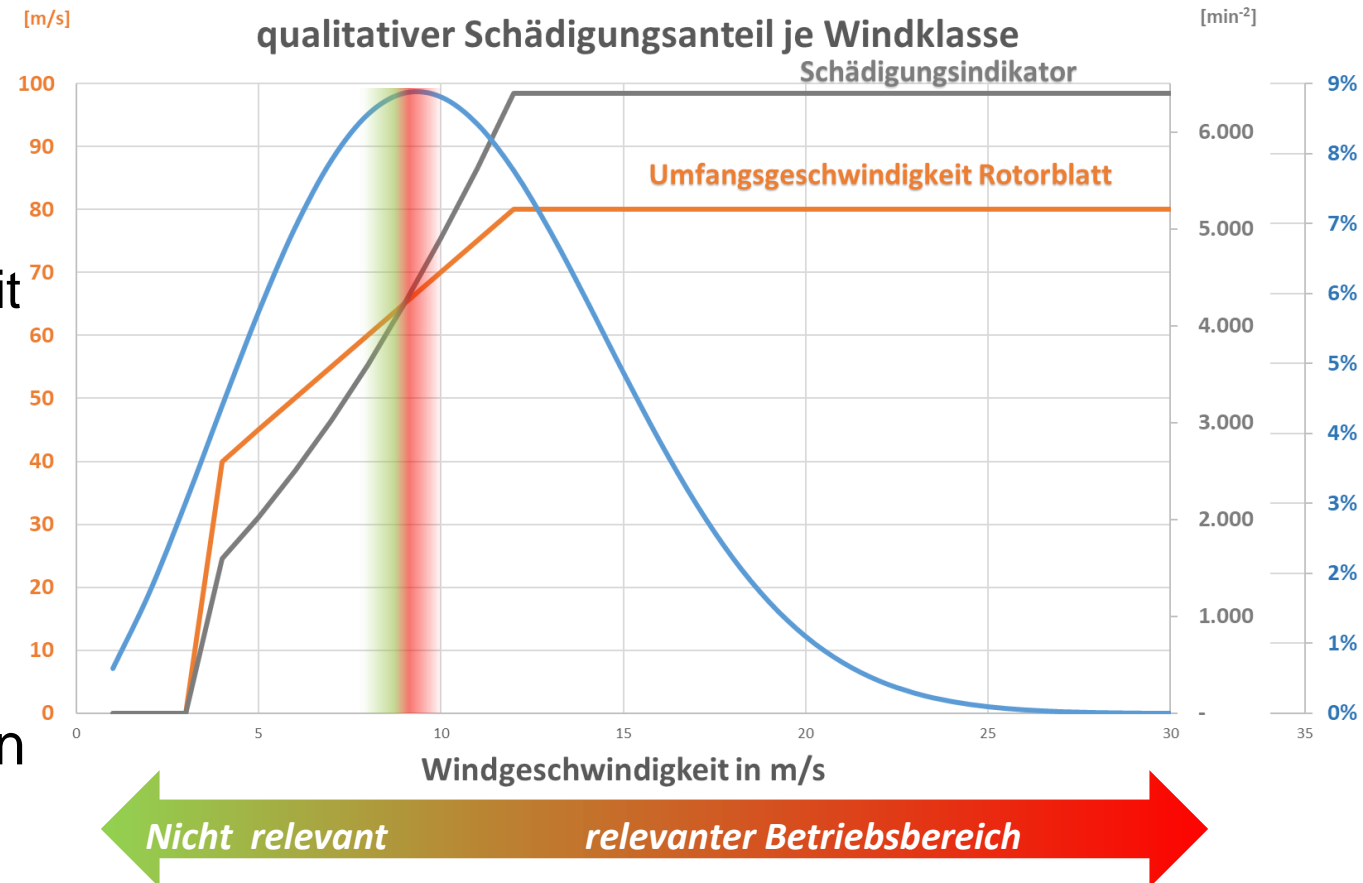
Wiederkehrintervalle von Niederschlagsmengen

| D | 5 Min. | 15 Min. | 30 Min. | 1 Std. | 3 Std. | 6 Std. | 24 Std. | 72 Std. |
|-----------|--------|---------|---------|--------|--------|--------|---------|---------|
| T = 1 a | 8 | 15 | 19 | 24 | 40 | 60 | 120 | 180 |
| T = 10 a | 18 | 32 | 40 | 45 | 80 | 110 | 200 | 320 |
| T = 100 a | 30 | 45 | 60 | 80 | 100 | 140 | 280 | 450 |

▲ Auflistung von maximalen Niederschlagshöhen (in mm) je Dauerstufe (D), die statistisch einmal in 1, 10 und 100 Jahren in Deutschland auftreten (Wiederkehrintervall T).

Abschätzung Erosionsmilieu

- ▶ WEA-Drehzahl gibt Aufprallgeschwindigkeit vor
- ▶ die Relativgeschwindigkeit ist
 - von der Drehzahl (und Windgeschwindigkeit) abhängig
 - deutlich höher als die Fallgeschwindigkeit eines Tropfens (von der Tropfengröße abhängig, aber kleiner 10m/s)
- ▶ das Rotorblatt „sieht“ durch Wind und Rotation eine größere Regenmenge als die projizierte Fläche auf dem Boden
- ▶ es besteht ein Zusammenhang zwischen Tropfengröße und Regenintensität



Quantifizierung Erosionsmilieu

| Windpark | Standort | Typ | KWE Windklasse | Jährlicher Niederschlag in mm/a | Sandmenge in kg bei Sichtweite 1 km |
|--------------------|---------------------|-----------|----------------|---------------------------------|-------------------------------------|
| Alta Wind Energy | Kalifornien | Nearshore | 3 - 5 | 300 | 3,2 |
| BARD Offshore 1 | Nördlich von Borkum | Offshore | 4 - 7 | 800 | 1,7 |
| Fântânele-Cogealac | Rumänien | Onshore | 1 | 600 | 1 |
| Gansu | China | Onshore | 1 | 50 | 20 |
| London Array | London | Offshore | 4 - 6 | 750 | 1,7 |
| Roscoe | Texas | Onshore | 1 - 3 | 750 | 2,3 |
| Tarfaya | Marokko | Nearshore | 3 | 15 | 28 |
| | | Nearshore | 2 - 4 | 750 | 1,28 |

| Standort | KWE Windklassen | Windgeschwindigkeit in m/s |
|-----------|-----------------|----------------------------|
| Onshore | 1 - 2 | $0 < v_{wind} < 7$ |
| Nearshore | 3 - 5 | $7 < v_{wind} < 8,6$ |
| Offshore | 5 - 7 | $8,1 < v_{wind}$ |

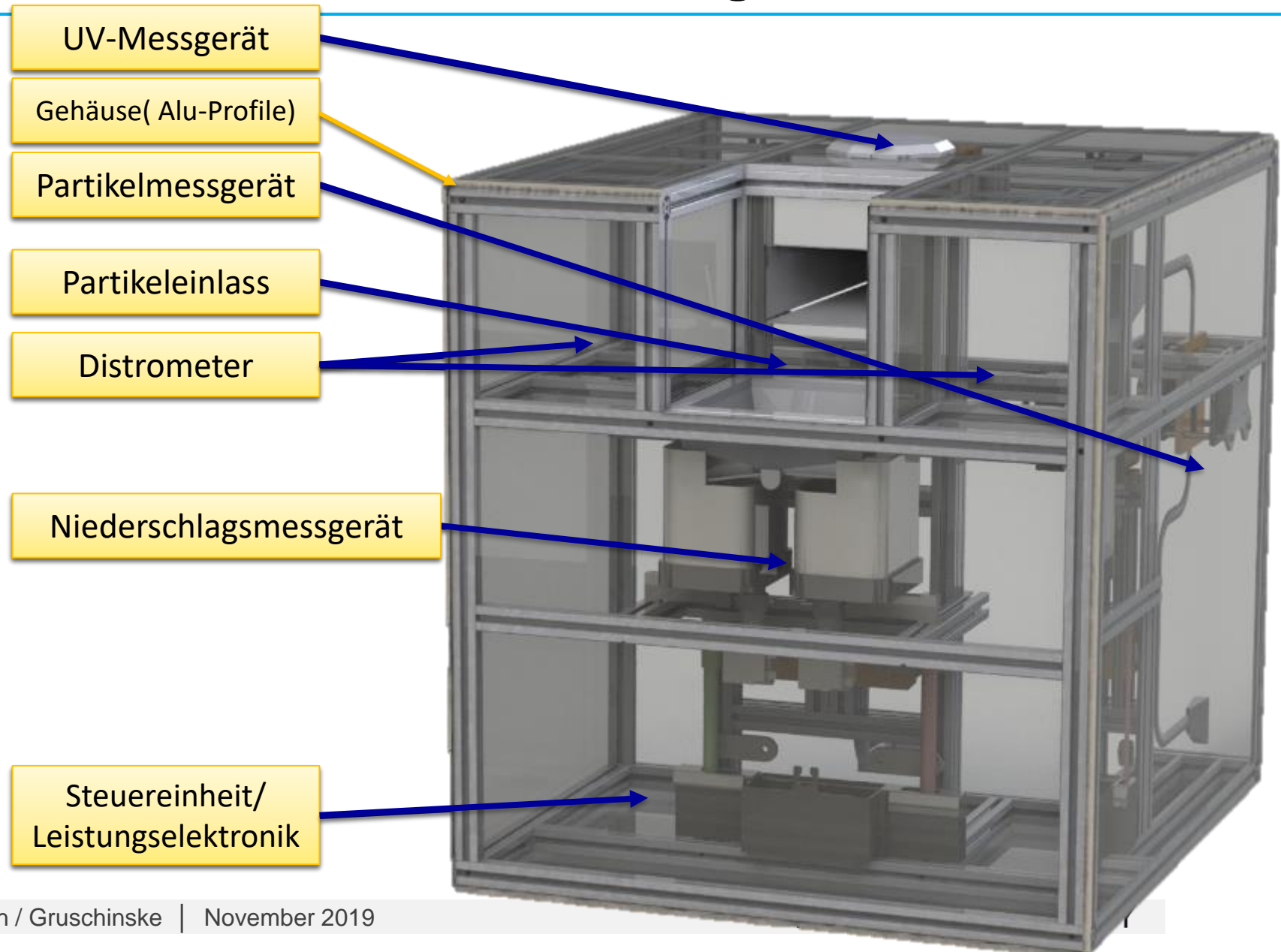
Erosionsmilieu verschiedener Standorte

GondelBox – Erfassung des Erosionsmilieus am Standort

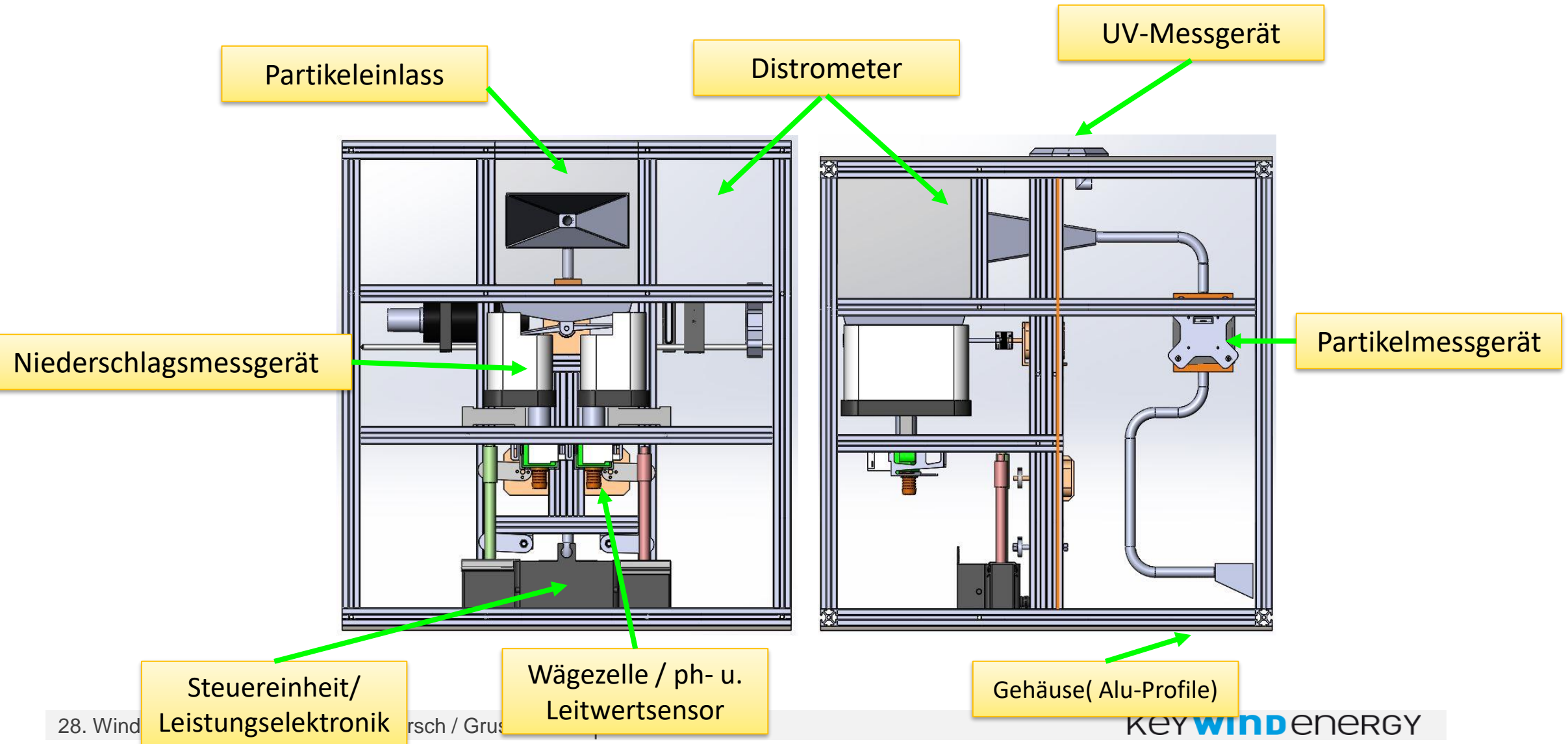
- ▶ Erosionsbedingungen standortspezifisch und repräsentativ bestimmen
- ▶ Erweiterte Analyse der Umweltparameter Niederschlagsparameter, Staubpartikel und UV-Strahlung
- ▶ Erosionsbelastungen evaluieren und Instandhaltungsplan optimieren



GondelBox – Spezial-Sensoren zur Bestimmung der Erosion



Ansicht GondelBox



Testinstallation – Erste Messungen im Freifeld 2019

- ▶ WEA GE 1.5 Ladeburg



Vergleichende Erosionstests – Bestimmung des Test-Szenarios

- ▶ Unterschiedliche Testszenarien zur vergleichenden Standortabbildung
- ▶ Eingangsparmeter:
 - Windverteilung am Standort
 - Kombination von Erosionsmilieu-Daten zu Testszenarien für den Teststand
- ▶ Testziele / Aussagen:
 - Vergleich ähnlicher Standorte
 - Vergleich von Beschichtungen

| Niederschlags-szenario | Windpark | Wassermenge [l/5a] | Testdauer [h] | Raffung bei 3,5 |
|------------------------|-----------------|--------------------|-------------------------------------|--------------------------------|
| A | Tarfaya | 20 | 0,10 | 4599 |
| E | Roscoe | 895 | 4,26 | 102 |
| H | BARD Offshore 1 | 1040 | 4,95 | 884 |
| Partikelszenario | Windpark | Vegetations-typ | Sandmenge in kg (a) Sichtweite 1 km | Sandmenge in kg (a) Sichtweite |
| $\gamma a/b$ | BARD Offshore 1 | 4 | 1,7 | 34 |
| $\delta a/b$ | Roscoe | 3 | 2,3 | 46 |
| $\eta a/b$ | Tarfaya | 2 | 28 | 56 |

Ergebnisse Erosionstests

Tropfen-Erosion



Testszenario E (beendet)
4,5h Testzeit $\hat{=}$ 5 Jahre Betriebszeit *)

Quelle: KWE

Sand-Erosion



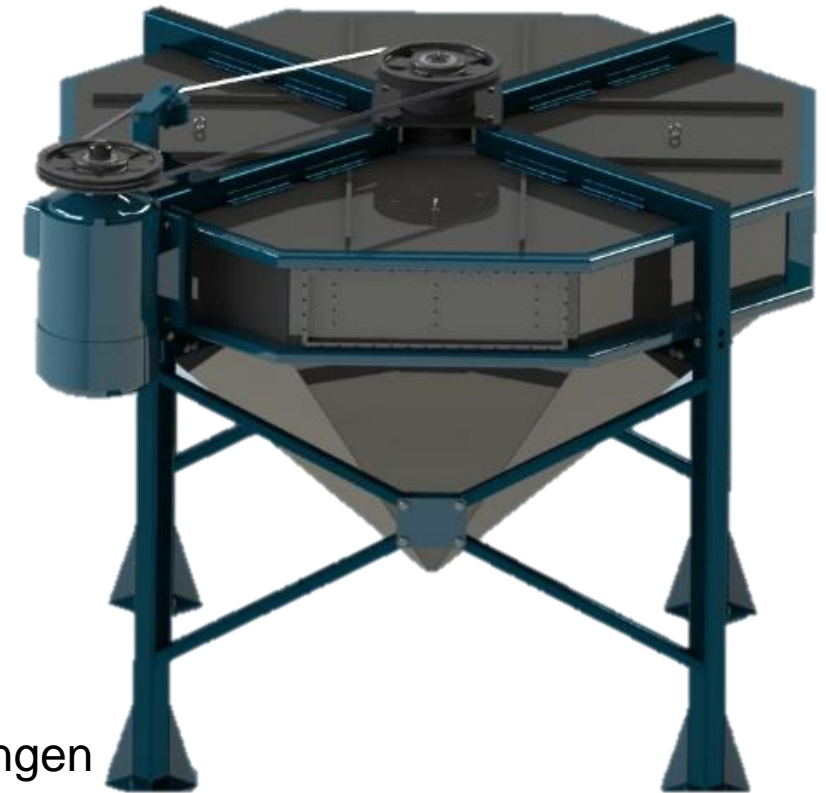
Testszenario δa (Schadensverlauf)
2,3 Kg auftreffende Partikel (ca. 30min Testzeit) $\hat{=}$ 5 Jahre Betriebszeit *)

Quelle: KWE

*) *statistische Aussage für untersuchten Standort*

Erosionsteststand ETL

- ▶ Flexibel – Wiederholbar – Aussagekräftig
 - Standardtestverfahren
 - Analyse und Vergleich verschiedener Beschichtungen
 - Individueller Test und optimale Standortanpassung
 - Verschiedene Partikel und Einspritzmengen
 - Vielseitige Ergebnisverwertung
 - Direkter Vergleich von Beschichtungen
 - Standorteignung bestimmter Schutzsysteme
 - Gezielte Analyse und Auswertung spezifischer Beschichtungen
 - Verständnis und Vergleich erosiver Schadensbilder



Quelle: KWE

Ausblick

„von qualitativen Aussagen zu quantitativen Bewertungen“

- ▶ Verbesserung der Aussagekraft hinsichtlich realer Standorte
 - Erfassung des Erosionsmilieus am realen Standort:
 - neue Partikelsorten und Tropfenarten
 - Entwicklung eigener Sensoren zur Erfassung von Partikelmenge, Größe und Form sowie Niederschlagstyp und –menge
 - Abgleich mit bzw. eigene Erhebung von meteorologischen Langzeitdaten
- ▶ Mehr Erfahrung durch verschiedene Parameterstudien
 - Einfluss von Vorschädigungen und Extrem-Ereignissen – z.B. Alterung, Salz, UV, Temperaturgradienten, Eisanhaftung, o.ä.
 - Einfluss von VK-Konturen auf genauen Schadensbeginn und –verlauf
 - Einfluss der Qualität von Beschichtungssystemen – Materialeigenschaften, Applikationsmängel

Fazit

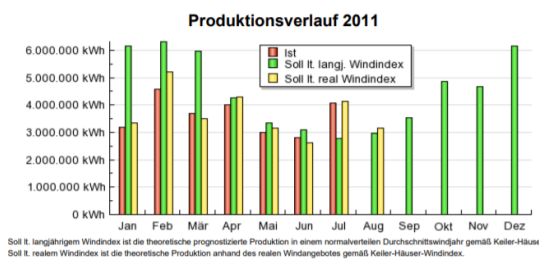
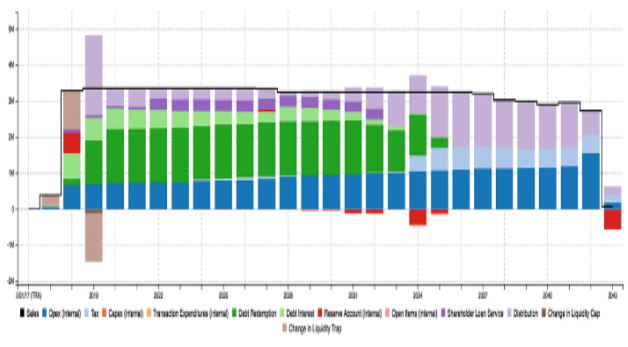
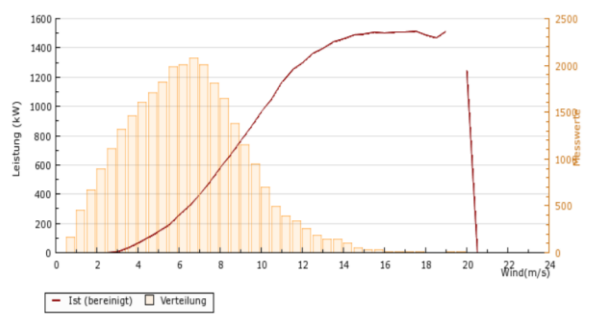
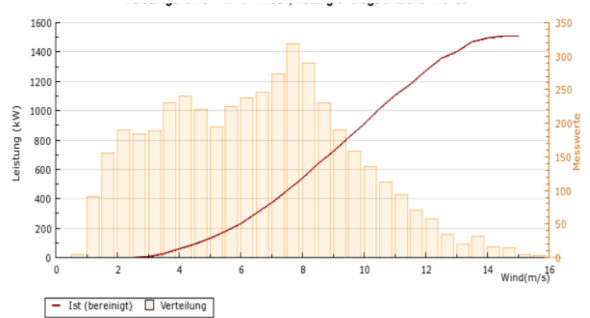
- ▶ Erosion ist als Phänomen bekannt, die Ursachen und beschreibenden Parameter aber nicht
 - Wassertropfen-Erosion häufig klarer im Schadensverlauf
 - Partikel-Erosion hat deutlich mehr Einflussfaktoren und ist schwerer zu bestimmen
 - Kombination beider Erosionstypen bilden „reales Szenario“
- ▶ Modellbildung zur Simulation am Anfang:
 - Erfassung Erosionsmilieu am Standort
 - Langzeiteffekte weitestgehend unbekannt
- ▶ Gute Erosionstests helfen Hersteller und Betreiber für die Ertragstüchtigkeit und Verbesserung von Materialien (LEP)

Agenda

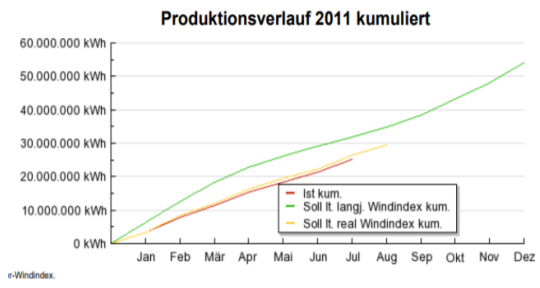
▶ Ansätze zur Performancebewertung



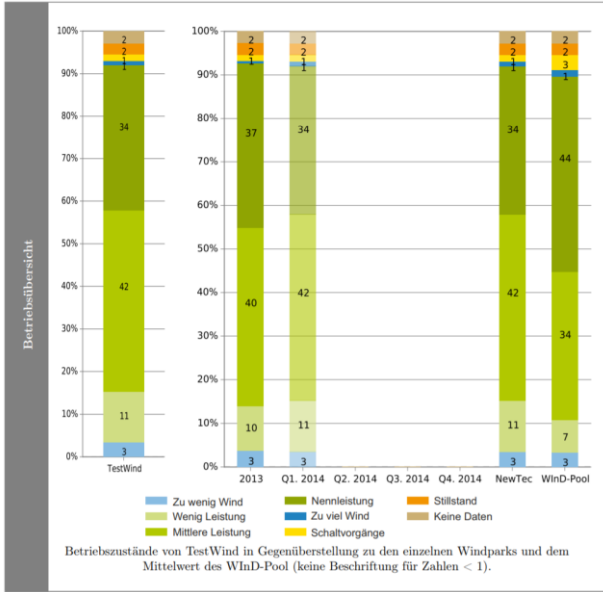
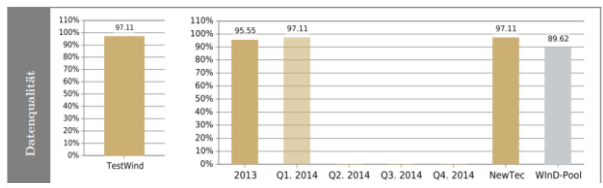
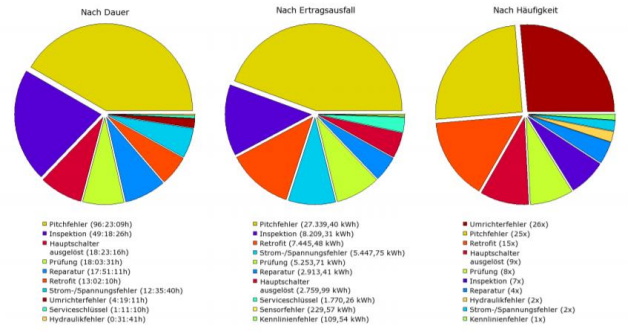
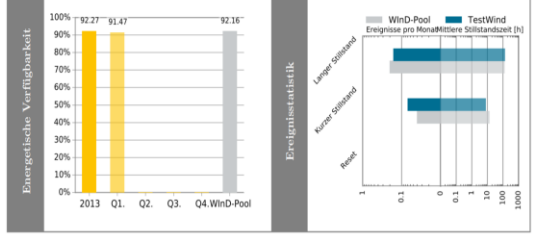
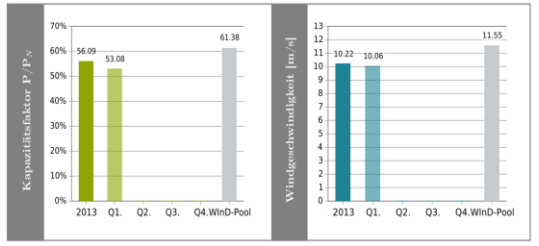
Wie ist die Performance? – Wo liegen die Probleme?



Soll lt. langjährigem Windindex ist die theoretische prognostizierte Produktion in einem normalverteilten Durchschnittswindjahr gemäß Keller-Häuser. Soll lt. realen Windindex ist die theoretische Produktion anhand des realen Windangebotes gemäß Keller-Häuser-Windindex.



e-Windindex



Betriebsqualität von Windparks

Ausgangslage

- Verfügbarkeit (technisch, energetisch)

Anforderungen von Stakeholdern

- aussagekräftig
- intuitiv
- zielführend

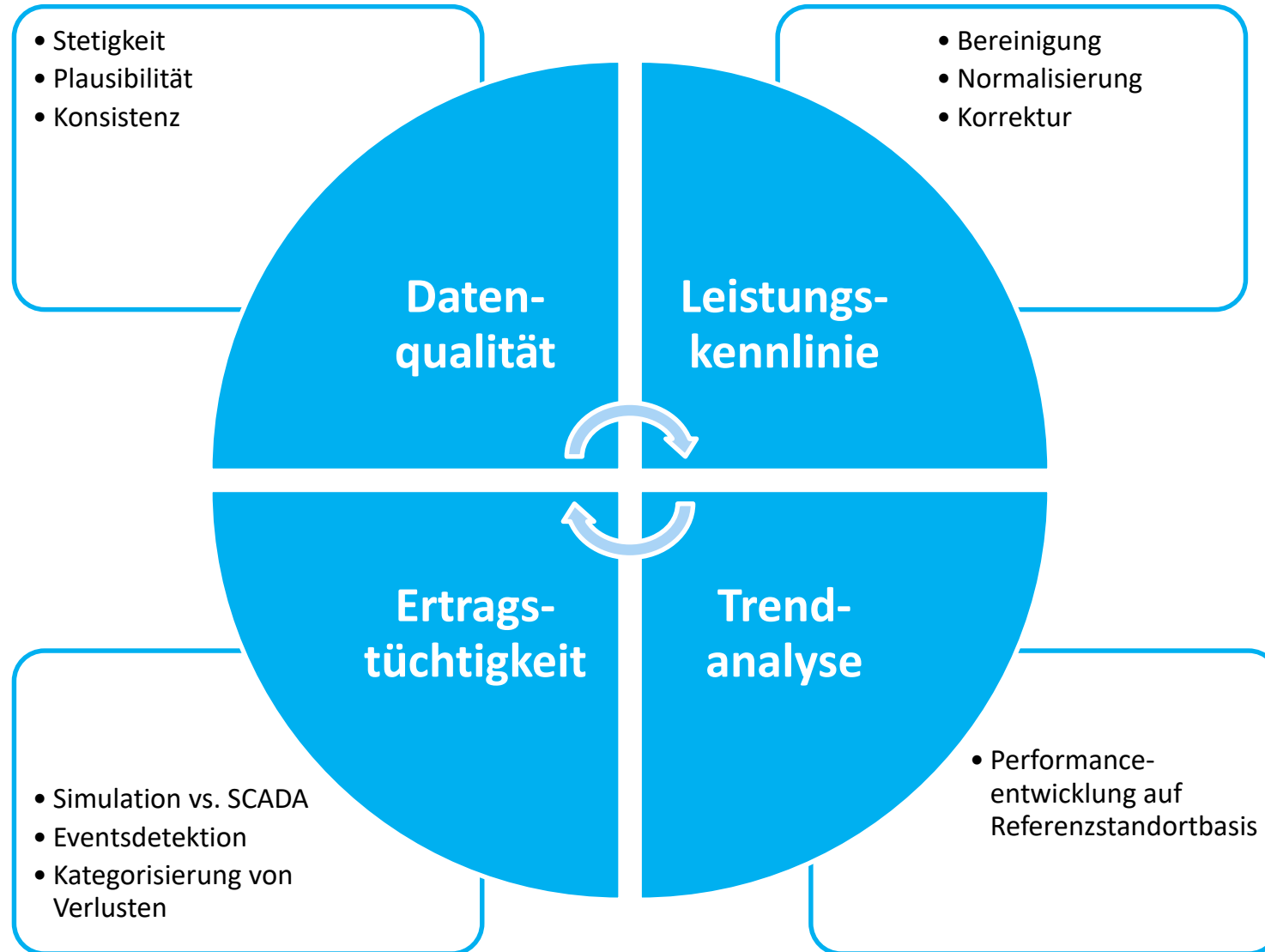
KWE Ansatz – BQ-Index

- Bestimmung der Datenqualität
- LK-Analyse über SCADA
- Ertragstüchtigkeit
- Analyse und Bewertung von Anomalien und Trends

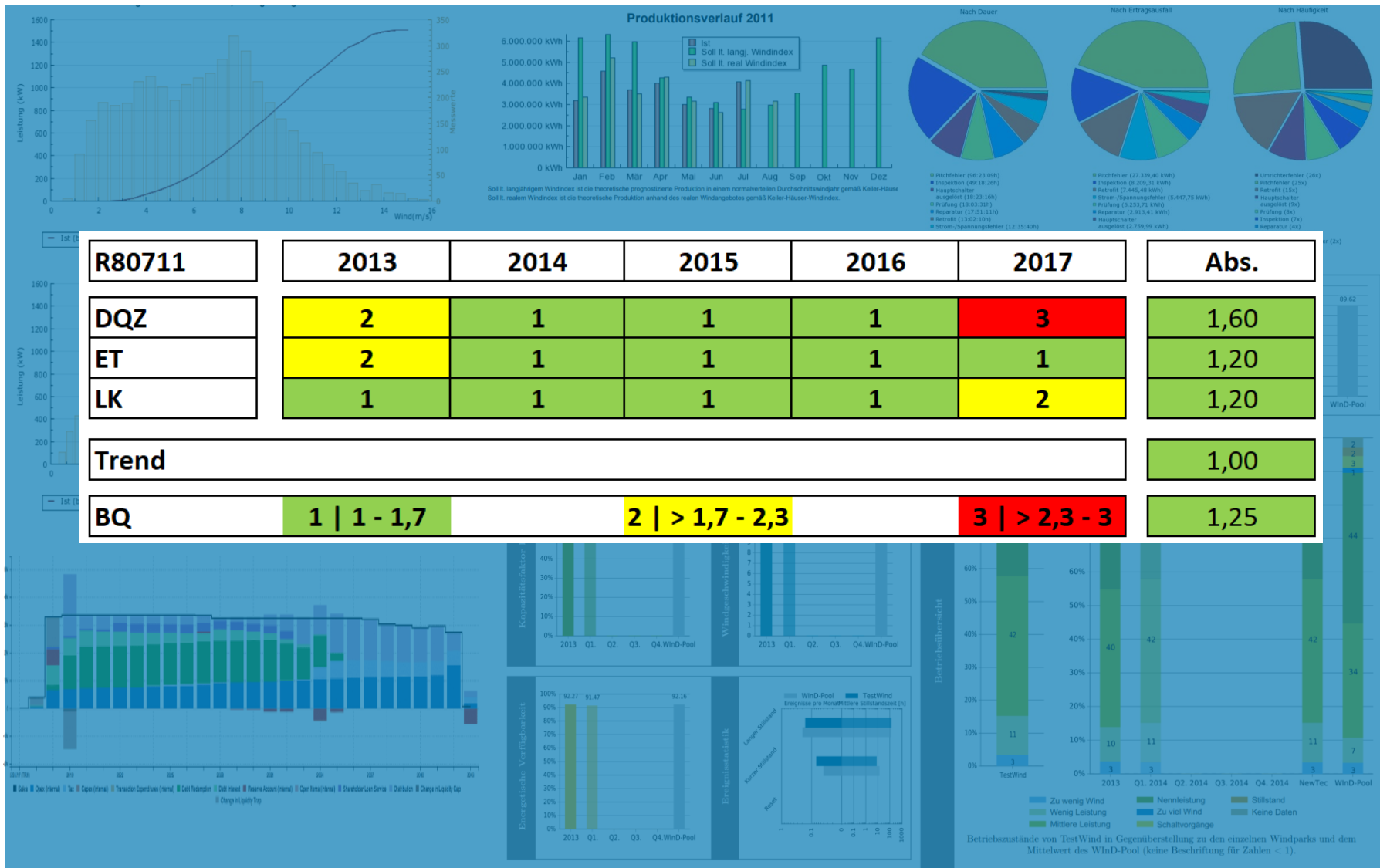
Vorteile

- Entlastung im Reporting
- Erweiterung des Performancebegriffs
- Benchmarking für Einzelanlagen bis zu heterogenen Portfolios

Elemente der BQ Definition



Wie ist die Performance? – Wo liegen die Probleme?



**Vielen Dank für Ihre
Aufmerksamkeit.**

KEY**WIND**energy

Jan Liersch

j.liersch@keywind.de

Aron Gruschinske

a.gruschinske@keywind.de

Key Wind Energy GmbH

Geneststr. 5

10829 Berlin

www.keywind.de

