Die neuen Thies Anemometer klassifiziert nach IEC 61400-12-1:2017

Vincent Camier

Managing Director, Ammonit Measurement GmbH

Über uns

- 1989 in Berlin gegründet
- In mehr als 100 Ländern weltweit aktiv

- **Produktportfolio umfasst Messtechnik für Wind- und Solarenergie**

Messungen vor dem Bau eines Wind-/ Solarparks

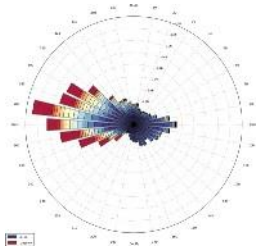
- Wind Resource Assessment
- Solar Resource Assessment
- Soiling Measurement

Messungen während des laufenden Betriebs

- Wind Monitoring Systems (SCADA)
- Solar Monitoring Systems
- Leistungskurvenvermessung
- Soiling Measurement

Solarmessung Windmessung

Über uns



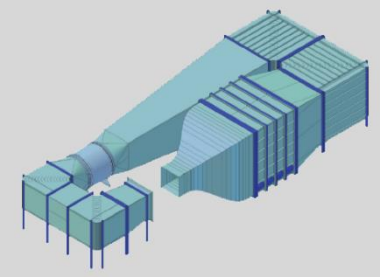
- **Eigene Produktentwicklung**

  Datenlogger → Meteo-40

  Online Software für das Kampagnenmanagement → AmmonitOR

- **Eigene DKD (IEC 17025) und Measnet Windtunnel**

  Kalibrierung von Anemometer und Windfahnen→
  Ammonit Wind Tunnel (in Kooperation mit Wind Consult)



- **Konfektioniert und vorkonfigurierte Messsysteme – alles aus einer Hand**

  Windsensoren von Thies Clima

  Solarsensoren von der Japanischen Firma EKO

  SoDAR-Geräte von der Schwedischen Firma AQ System

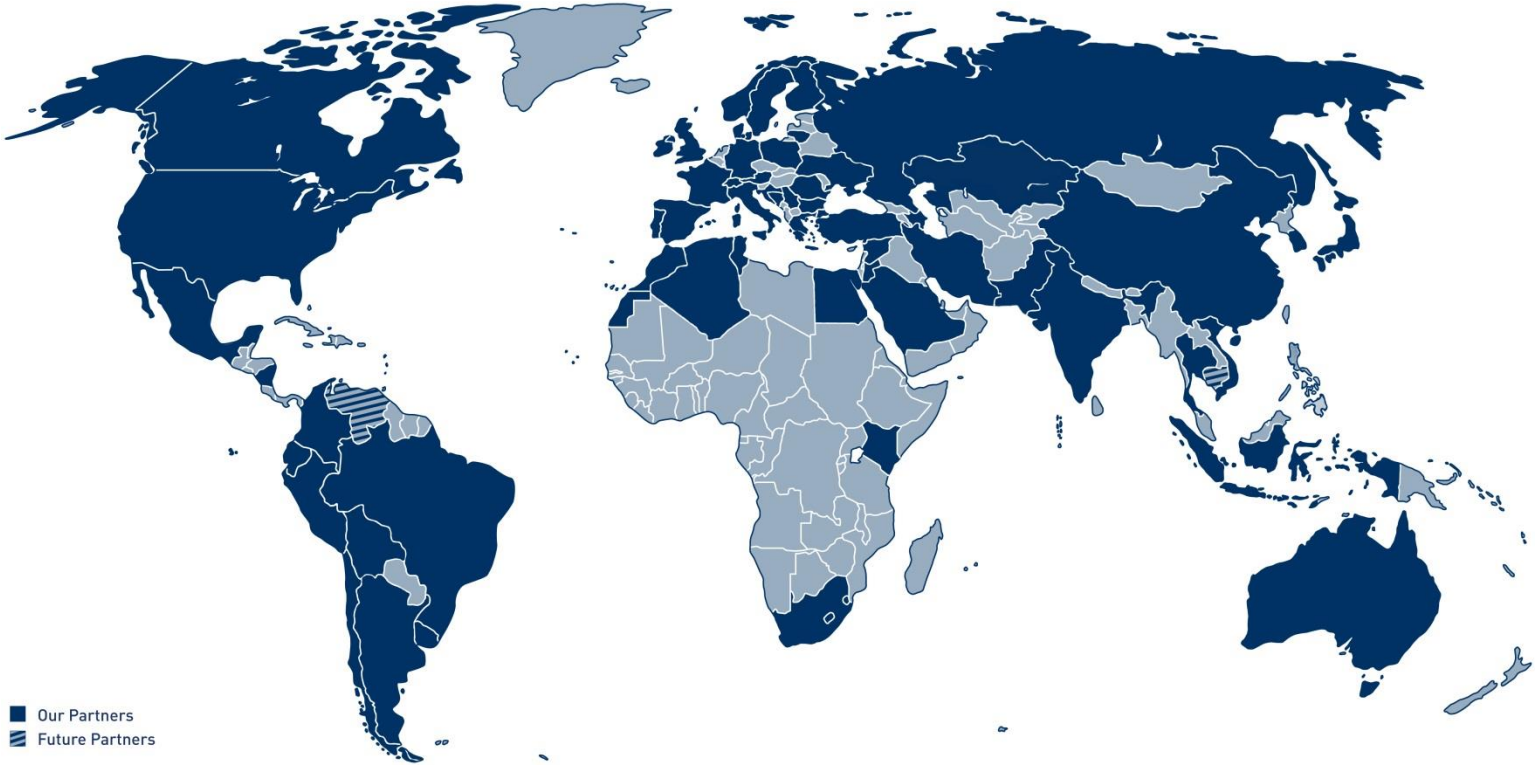
  LiDAR-Geräte von der Britischen Firma ZX LiDAR

  Konfektionierung von Kabeln, Schaltschränken, … → von Ammonit konzeptioniert und umgesetzt

Unser weltweites Partnernetz

Kooperation mit lokalen Partnern:

- Zusammenstellen der Systemkomponenten (Kabel, Stromversorgung, ...)
- Mast- und Systeminstallation
- Systemwartung



Die neuen Anemometer aus der First Class Advanced Serie

- Weiterentwicklung des erfolgreichen Anemometers Thies First Class Advanced
- Anpassungen für verbessertes Anströmungsverhalten
- Beide Anemometer nach **IEC 61400-12-1:2017 klassifiziert**

Thies First Class Advanced

Thies First Class Advanced II	Thies First Class Advanced X
• **Klassifiziert nach IEC 61400-12-1:2017** • **Frequenzausgang**	• **Klassifiziert nach IEC 61400-12-1:2017** • **RS485-Schnittstelle** • **Erweiterung des Messumfangs und verbesserte Genauigkeit**

Thies First Class Advanced II

Thies First Class Advanced II
Nachfolger des Thies First Class Advanced (IEC 61400-12-1:2005)
Klassifiziert nach IEC 61400-12-1:2017
Frequenzausgang
Messung der **horizontalen Windgeschwindigkeit**
Elektrisch geregelte **Heizung** für Gehäuse (Option)

Thies First Class Advanced X

Thies First Class Advanced X
Nachfolger des Thies First Class Advanced (IEC 61400-12-1:2005)
Klassifiziert nach IEC 61400-12-1:2017
Serielle **RS485-Schnittstelle** (Modbus RTU)
Messungen: • **Horizontale Windgeschwindigkeit** • **Absoluter und relativer Luftdruck** • **Neigung** • **Vibration** • **Gehäusetemperatur**
Korrektur der Windgeschwindigkeitsdaten anhand des gemessenen Luftdrucks (Daten enthalten Originalmessdaten sowie korrigierte Werte)
Speicherkapazität für bis zu 10 Kalibrierwerte
Elektrisch geregelte Heizung für **Gehäuse** (Option)

Klassifizierung und Genauigkeit von Anemometer

- Klassifizierung von Cup Anemometern und Ultrasonic Anemometern in IEC 61400-12-1:2017 definiert

- Klassifizierungsergebnis zur Ermittlung der maximalen Unsicherheit bzw. Messwertabweichung eines Anemometers

- **Operational Standard Uncertainty**
  → max. Abweichung der vom Anemometer gemessenen Windgeschwindigkeit von der tatsächlichen Windgeschwindigkeit

$$u_{v2j} = \left(0.05\ \mathrm{m/s} + 0.005\ \cdot U_j\right) \cdot \frac{k}{\sqrt{3}}$$

U_j ist die Windgeschwindigkeit; k die Klassifizierung

Klassifizierung: Ermittlung der Sensitivität des Sensors zu den Umweltparameter

Bei der IEC 61400-12-1 (2017) wird die Sensitivität des Anemometers zu diesen Umweltparameter untersucht

- Turbulenzintensität
- Umgebungstemperatur
- Luftdichte (beeinflußt durch Temperatur und Druck)
- Neigungswinkel des Winds
- Strömungsrichtung (yaw/azimuth)

Altes Beispiel von Einfluß der Umweltparameter

- Vorgängerversion IEC 61400-12-1:2005 → im Jahr 2005 veröffentlicht!
- Studien zum Einflusses von Umweltparametern auf die Windgeschwindigkeit → Sitepariden
  - Bis zu 7% Abweichung zwischen verschiedenen Anemometern bei Freifelduntersuchungen
  - Vertikale Turbulenz als Parameter mit dem größten Einfluss
  - Sitepariden (2001):
    Mit steigender Turbulenz (Komplexität des Terrains) erhöht sich die Diskrepanz der vom Anemometer gemessenen Werte

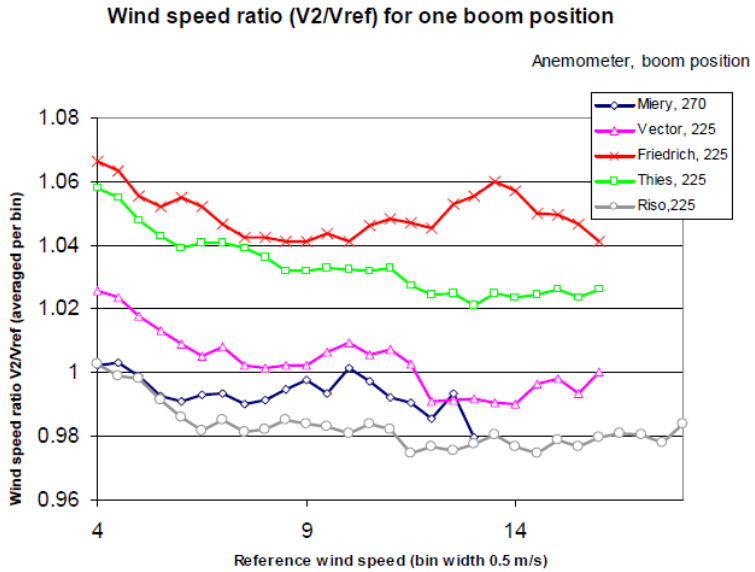


Figure 6. Measured wind speed ratios versus reference wind speed for 5 different cup anemometers.

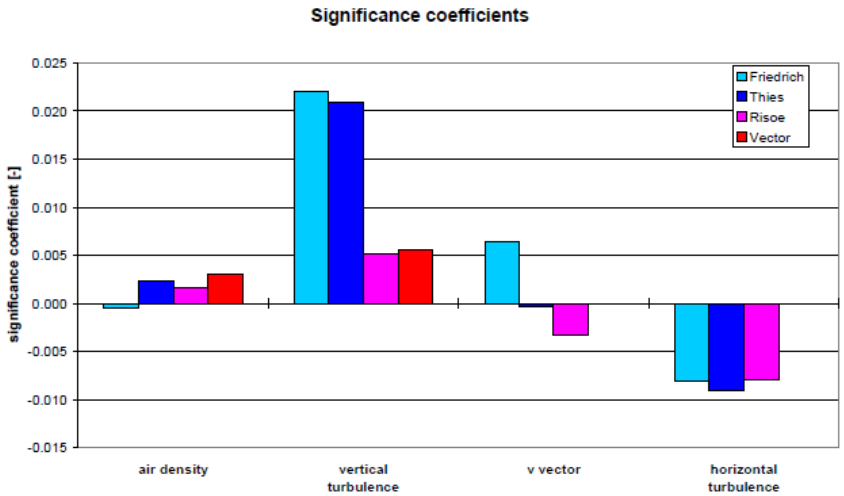


Fig 10. Significance Coefficients ske with V2/Vref as dependent variable.

Neue Klassen in IEC 61400-12-1:2017

- IEC 61400-12-1:**2017** definiert die Klassen neu → Klasse A, B, C und D + Sonderklasse S
- IEC-Klassen aus 2017 nicht mit IEC-Klassen aus 2005 vergleichbar!

- Klassendefinition aus IEC 61400-12-1:**2005**:

	Class A Terrain meets requirements in Annex B		Class B Terrain does not meet requirements in Annex B	
	Min	Max	Min	Max
Wind speed range to cover [m/s]	4	16	4	16
Turbulence intensity	0,03	0,12 + 0,48/V	0,03	0,12 + 0,96/V
Turbulence structure $\sigma_u/\sigma_v/\sigma_w$[8]	1/0,8/0,5 (non-isotropic turbulence)		1/1/1 (isotropic turbulence)	
Air temperature (°C)	0	40	−10	40
Air density (kg/m^3))	0,9	1,35	0,9	1,35
Average flow inclination angle (°)	−3	3	−15	15

Klassendefinition nach IEC 61400-12-1:2017

- Klassen in IEC 61400-12-1:2017

	Class A Terrain meets requirements in Annex B	Class B Terrain does not meet requirements in Annex B	Class C Terrain meets requirements in Annex B	Class D Terrain does not meet requirements in Annex B	Class S[33] Special class with user defined ranges
	Range	Range	Range	Range	Range
Wind speed V[m/s]	4 to 16	4 to 16	4 to 16	4 to 16	4 to 16
Turbulence intensity	0,03 to 0,12 + 0,48/V	0,03 to 0,12 + 0,96/V	0,03 to 0,12 + 0,48/V	0,03 to 0,12 + 0,96/V	User defined
Turbulence [34] structure $\sigma_u/\sigma_v/\sigma_w$	1/0,8/0,5*	1/0,8/0,5*	1/0,8/0,5*	1/0,8/0,5*	User defined or 1/0,8/0,5*
Air temperature (°C)	0 to 40	−10 to 40	-20 to 40	−20 to 40	User defined
Air density (kg/m^3)	0,9 to 1,35	0,9 to 1,35	0,9 to 1,35	0,9 to 1,35	User defined
Average upflow angle (°)	−3 to 3	−15 to 15	−3 to 3	−15 to 15	User defined
Wind direction (°)[35]	Cups and sonics: 0-360°	Cups and sonics: 0-360°	Cups and sonics: 0-360°	Cups and sonics: 0-360°	Cups: 0-360° Sonics: user defined

Vergleich IEC 61400-12-1:2005 vs. IEC 61400-12-1:2017

	Version 2005	Version 2017
Seiten Anhang I + J	11	18
Klassen	A, B + S	A, B, C, D + S
Sensortyp	Cup Anemometer	Cup Anemometer Ultraschall Anemometer
Geprüfte Geräte	2	5
Vorgeschriebener Feldversuch	Nein	Ja
Betrachtung der Windrichtung	Nein	Ja: 0 … 360° (Ultraschall Anemometer)
Berichtsformat	Nicht definiert	Definition für Ultraschall Anemometer: Festgelegte Einstellungen müssen für die Klassifizierung dokumentiert werden.

Neue Anforderung: Vergleichsmessungen im Feld

- Feldversuch als Vergleichsmessung, ob die zu klassifizierenden Instrumente konsistent reagieren
- Vergleich von zwei Cup Anemometern, die im selben Windtunnel kalibriert wurden
- Messung der Umweltparameter für Klassifizierungen entsprechend Klasse S mittels 3D Ultraschall Anemometer:
  - Anströmungswinkel
  - Turbulenzen
  - Turbulenzspektrum
- Bestimmung des Temperaturbereichs und der Luftdichte anhand weiterer Messungen:
  - Umgebungstemperatur
  - Luftdruck

→ **Test des Anemometerverhaltens unter realen Bedingungen**

Klassifizierungsprozedere für Cup Anemometer nach IEC 61400-12-1:2017

Anemometer Typ → **Berechnung des Verhaltens** → **Anemometer Klasse**

Messungen
- Kalibrierung im selben Windtunnel
- Schräganströmungs-verhalten (Tilt)
- Stufenverhalten
- Anströmungsverhalten (Yaw/Azimut)
- Umgebungstemperatur
- Luftdichte

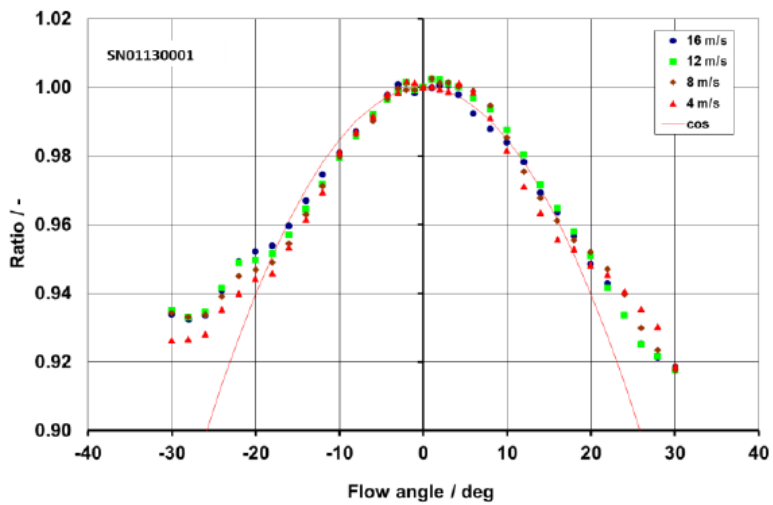
Umgebungsparameter
- Wind (u, v, w)
- Turbulenzintensität
- Umgebungstemperatur
- Luftdichte
- Neigungswinkel
- Strömungsrichtung

kX
[k = class number]
[X = class type]
kA
kB
kC
kD
+
kS

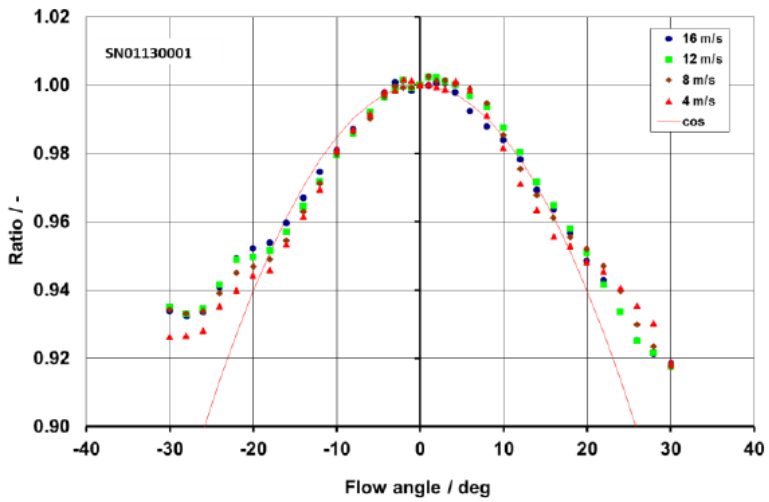
Klassifizierung des Thies First Class Advanced II und X

Schräganströmungsverhalten (Tilt angular response)

Thies First Class Advanced II



Thies First Class Advanced X



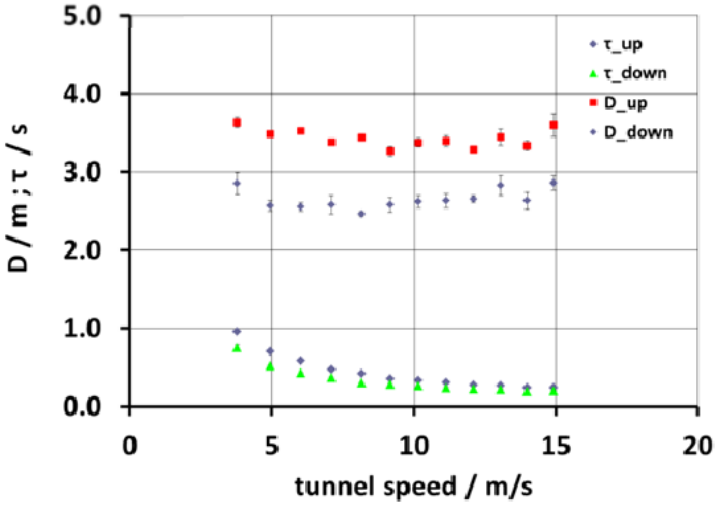
- Verhalten von 5 getesteten Anemometern bei 4, 8, 12 und 16 m/s Windgeschwindigkeit unter verschiedenen Anströmungswinkeln

Quelle: Klassifizierungsbericht Deutsche Windguard

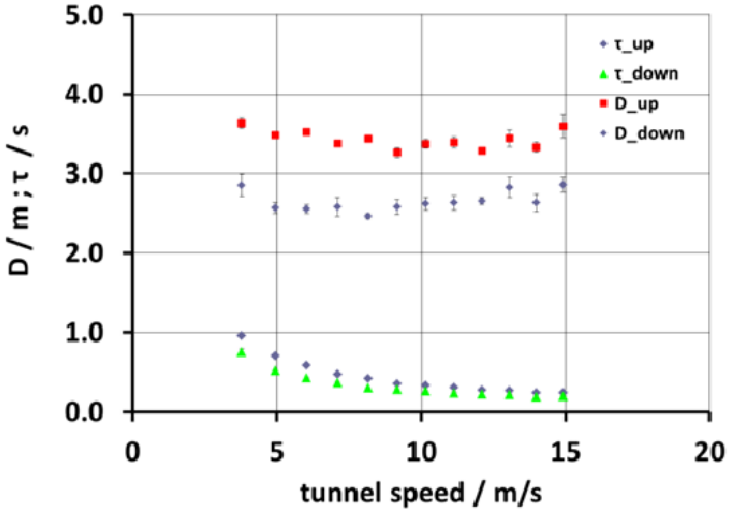
Klassifizierung des Thies First Class Advanced II und X

Stufenverhalten (Step response)

Thies First Class Advanced II



Thies First Class Advanced X



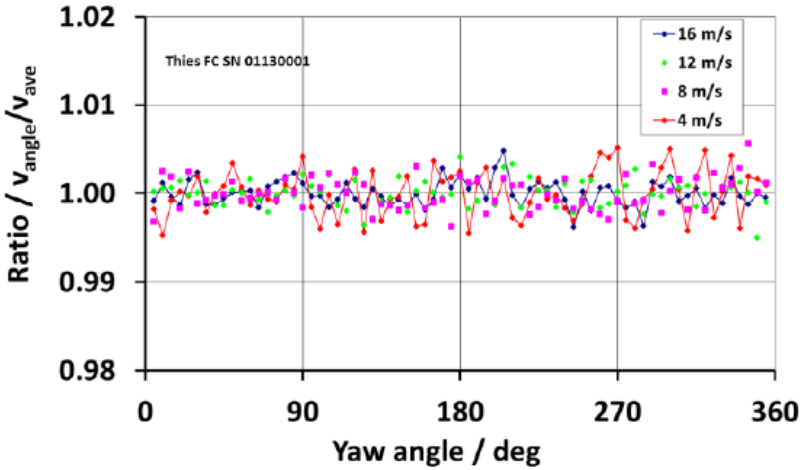
- Step up und Step down time Konstante bei verschiedenen Windgeschwindigkeiten
- Berechnete Entfernungskonstante (Distance constant) für Step up ist 2,60 m; für Step down 3,50 m

Quelle: Klassifizierungsbericht Deutsche Windguard

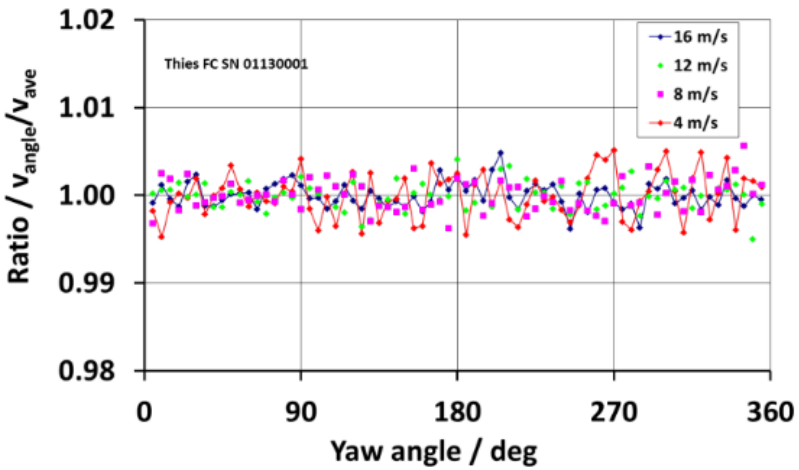
Klassifizierung des Thies First Class Advanced II und X

Azimut-Anströmungsverhalten (Yaw response)

Thies First Class Advanced II



Thies First Class Advanced X



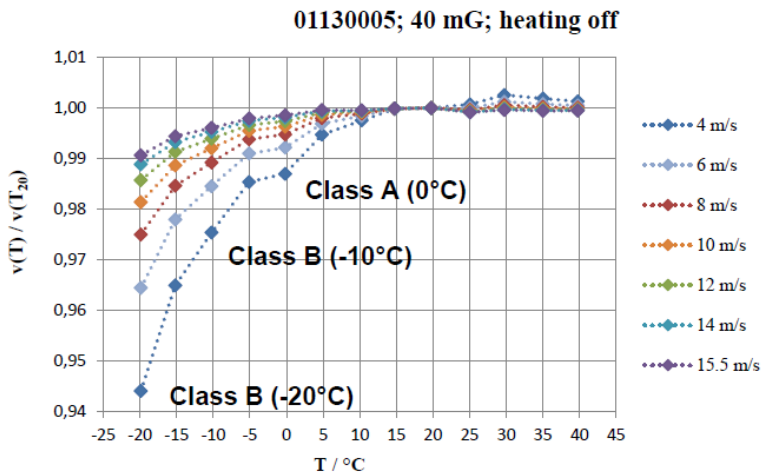
- Anströmungsempfindlichkeit zwischen 0 … 400 Grad

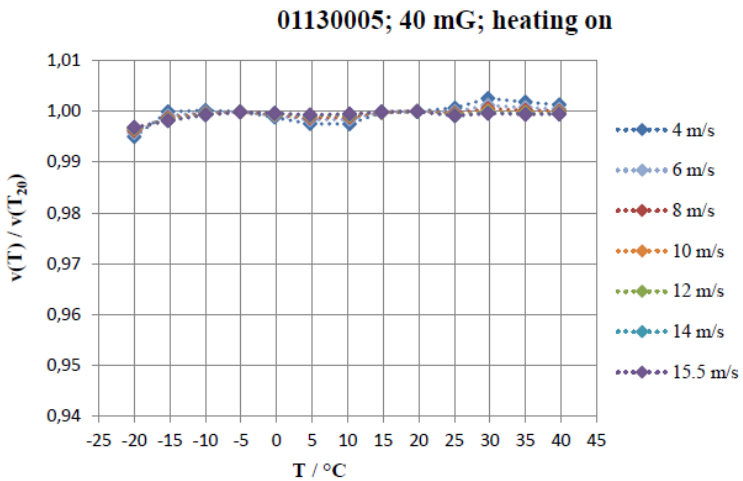
Quelle: Klassifizierungsbericht Deutsche Windguard

Klassifizierung des Thies First Class Advanced II und X

	Thies First Class Advanced II		Thies First Class Advanced X	
	Heizung EIN	Heizung AUS	Heizung EIN	Heizung AUS
Klasse A	1.8	2.3	0.65	1.1
Klasse B	2.0	2.7	0.9	1.8
Klasse C	1.8	4.4	0.7	3.3
Klasse D	2.0	4.6	0.9	3.3

- **Einfluss der Umgebungstemperatur** → bei eingeschalteter Heizung nur marginal



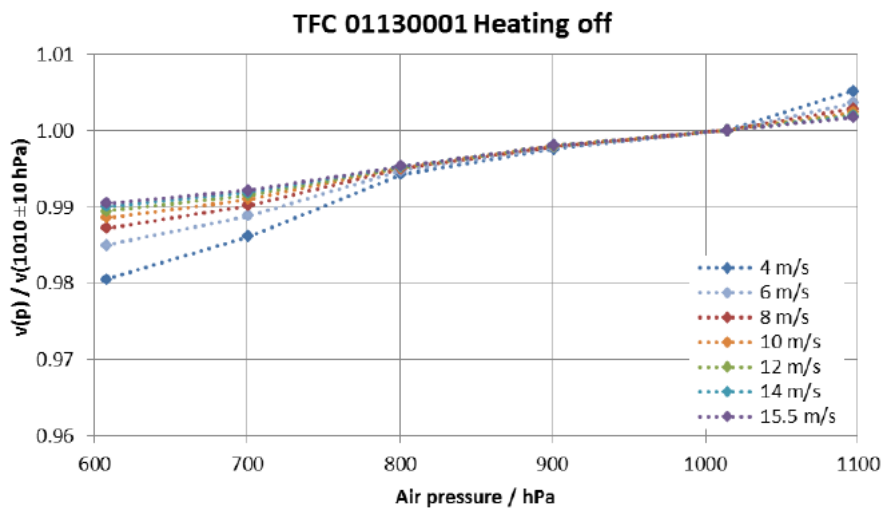


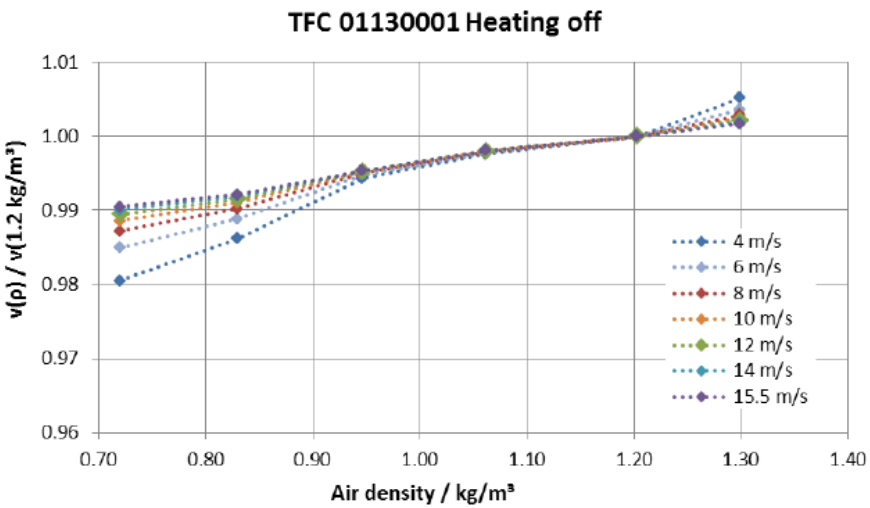
Quelle: Klassifizierungsbericht Deutsche Windguard

Klassifizierung des Thies First Class Advanced II und X

	Thies First Class Advanced II		Thies First Class Advanced X	
	Heizung EIN	Heizung AUS	Heizung EIN	Heizung AUS
Klasse A	1.8	2.3	0.65	1.1
Klasse B	2.0	2.7	0.9	1.8
Klasse C	1.8	4.4	0.7	3.3
Klasse D	2.0	4.6	0.9	3.3

- **Einfluss von Luftdruck und Luftdichte**

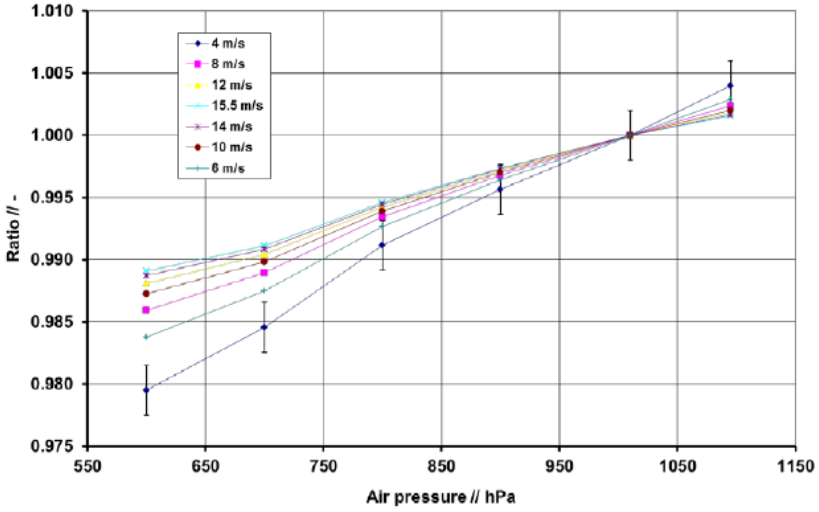




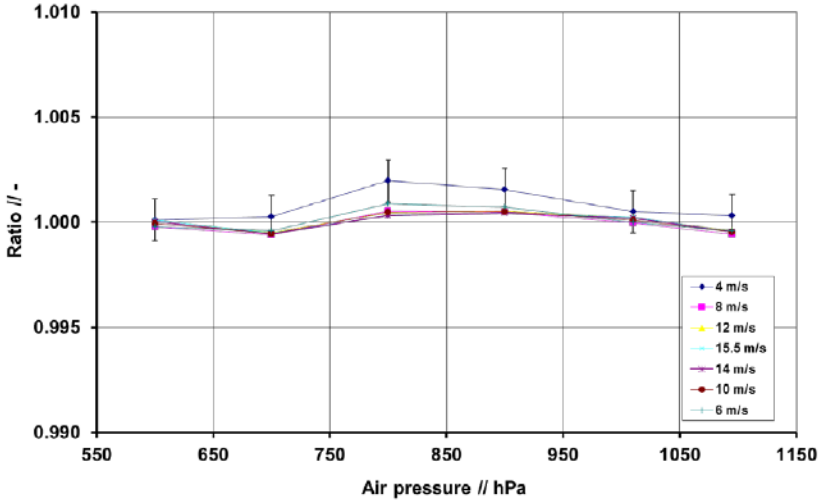
Quelle: Klassifizierungsbericht Deutsche Windguard

Messwertkorrektur aufgrund des ermittelten Luftdrucks

- Messwertabweichung aufgrund des Luftdrucks
  → Originaldaten



- Messwerte nach Anwendung des Korrekturverfahrens
  → Korrigierte Daten



Anemometer liefert Original- und korrigierte Daten

Quelle: Klassifizierungsbericht Deutsche Windguard

Thies First Class Advanced II vs. Thies First Class Advanced X

Thies First Class Advanced II

- Frequenzausgang
- Überarbeitetes Thies First Class Advanced mit Klassifizierung nach IEC 61400-12-1:2005
- Klassifiziert nach IEC 61400-12-1:2017

Thies First Class Advanced X

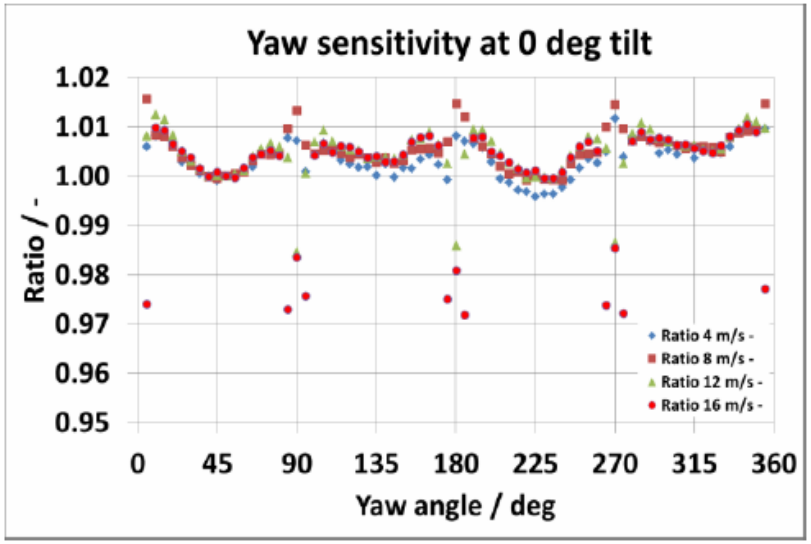
- Serielle RS485-Schnittstelle
- Überarbeitetes „intelligentes“ Thies First Class Advanced mit Klassifizierung nach IEC 61400-12-1:2005 mit zusätzlichen Messungen
- Klassifizierung nach IEC 61400-12-1:2017

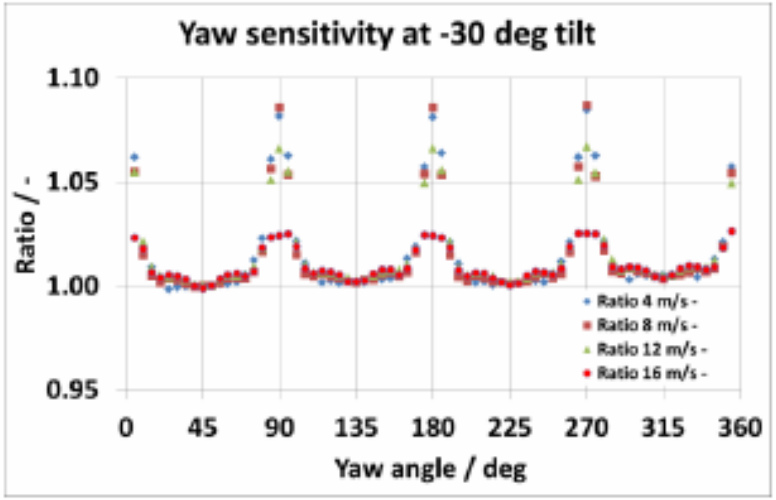
Klassifizierungsergebnis nach IEC 61400-12-1:2017

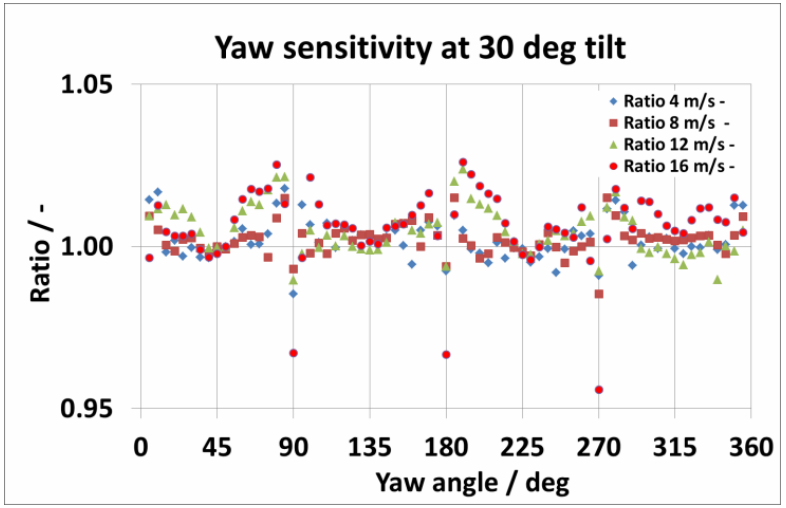
	Thies First Class Advanced II		Thies First Class Advanced X	
	Heizung EIN	Heizung AUS	Heizung EIN	Heizung AUS
Klasse A	1.8	2.3	0.65	1.1
Klasse B	2.0	2.7	0.9	1.8
Klasse C	1.8	4.4	0.7	3.3
Klasse D	2.0	4.6	0.9	3.3

Quelle: Klassifizierungsbericht Deutsche Windguard

Thies 2D Ultrasonic: Yaw sensitivity

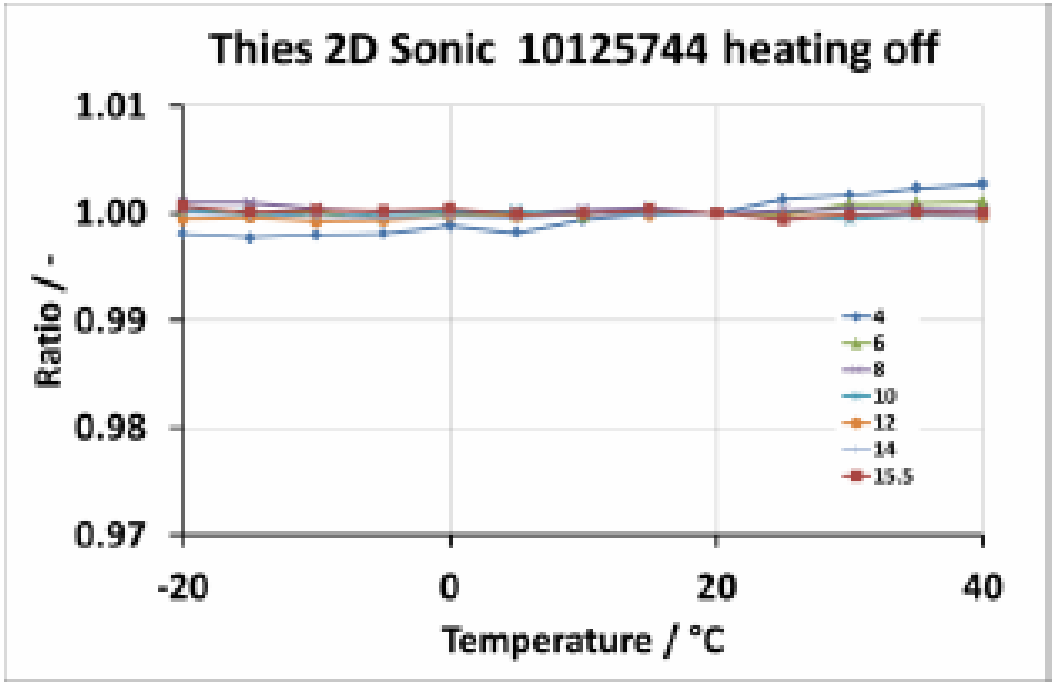






Quelle: Klassifizierungsbericht Deutsche Windguard

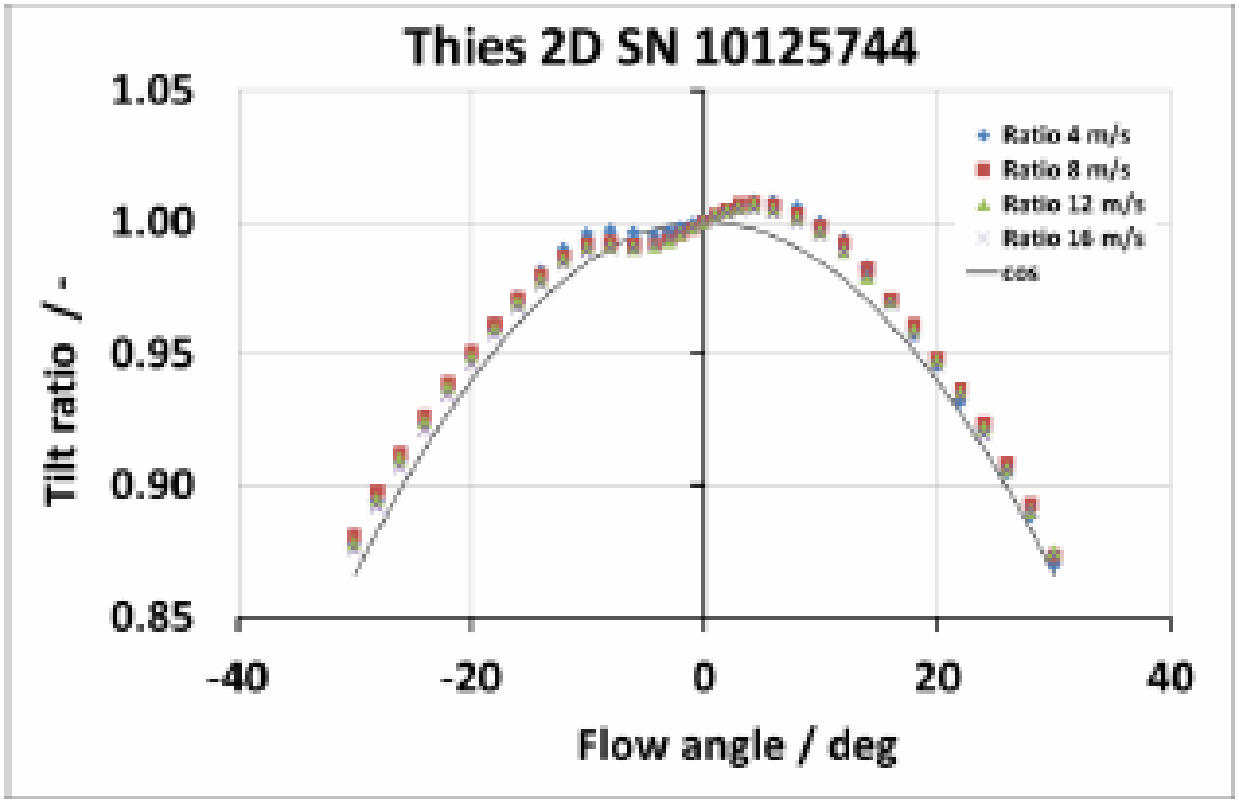
Thies 2D Ultrasonic: temperature sensitivity



Five 2D Sonic anemometers were tested. As there is only a very small variation due to temperature in all sonic's visible the influence of temperature was not taken into account for classification.

Quelle: Klassifizierungsbericht Deutsche Windguard

Thies 2D Ultrasonic: Tilt sensitivity



Five anemometers have been tested. Each individual tilt data was used for classification check.

Quelle: Klassifizierungsbericht Deutsche Windguard

Status der klassifizierten Anemometer

- Aktuell nur Thies First Class Advanced II und Thies First Class Advanced X klassifiziert
- Thies arbeitet an der Klassifizierung der **Ultraschall Anemometer Thies 2D und Thies 3D**

- **TrueWind Projekt** der Technical University of Denmark (DTU)
  - Zielsetzung: Verbesserung der Windmessung mit Cup Anemometern durch detaillierte Untersuchungen des Anemometerverhaltens basierend auf neuster LiDAR-Technik für Windtunnelkalibrierungen
  - Klassifizierung weiterer 4 Anemometer geplant
  - www.truewind.dk

Kontakt

Vielen Dank!

Ammonit Measurement GmbH

Wrangelstraße 100 • D-10997 Berlin (Germany)

T: +49 30 6003188-0

F: +49 30 6003188-10

info@ammonit.com

www.ammonit.com