



Verfügbarkeitssteigerung bei Windmessungen

Methoden im (Praxis)Vergleich

Jan Thomas Beißwenger & Erika Rosati



Verfügbarkeitssteigerung bei Windmessungen

Inhaltsverzeichnis

1

LiDAR bei JUWI

2

Methoden

3

Ergebnisse

4

Diskussion



Verfügbarkeitssteigerung bei Windmessungen

LiDAR bei JUWI

- JUWI führt derzeit Windmesskampagnen mit 22 LiDAR-Geräten an unterschiedlichen Standorten durch.
 - (4x Windcube 2.0, 14x Windcube 2.1 & 4x Windcube 2.1 XP)
- Das TSA bei JUWI hat mehr als 100 LiDAR-Messungen bei einer Gesamtmessdauer von > 60 Jahren erfolgreich durchgeführt.
- Derzeit werden 18 Standorte gleichzeitig vermessen, die übrigen vier Geräte befinden sich in Wartung oder in der Verifikation.
- Bei allen Messungen handelt es sich um Jahresmessungen, die vollständig den Anforderungen der Technischen Richtlinie TR6 Rev.12 entsprechen.

Ziel: Maximale Prognosesicherheit am Standort



Verfügbarkeitssteigerung bei Windmessungen

LiDAR bei JUWI

Grundlagen zur Durchführung hochwertiger Messungen durch JUWI:

- Planung der Messung nach Kriterien der aktuellen technischen Richtlinie TR6 Rev.12
- Durchführung von Verifikation vor und nach jedem Messeinsatz
- Wöchentliche Überprüfung der Messdaten und der Funktionstüchtigkeit der Geräte
- Kurze Einsatzzeiten bei technischen Problemen am Gerät
- Parallele Überwachung der Daten sowie Messabnahme durch akkreditierte Unternehmen



Verfügbarkeitssteigerung bei Windmessungen

LiDAR bei JUWI



Trotz hochwertiger Datenkontrolle kann es aus verschiedenen Gründen in der geplanten Nabenhöhe zu Verfügbarkeiten von weniger als 80% kommen. Mögliche Gründe können sein:

- Hohe Wolkendichte / Nebel
- Niederschlag
- Zu klare Luft
- Technische Probleme am Gerät oder der Energieversorgung
- Vandalismus

Verfügbarkeitssteigerung bei Windmessungen

Methoden - Übersicht

Zum Erreichen der Verfügbarkeit von 80% in der geplanten Nabenhöhe kommen verschiedene Möglichkeiten in Frage:

- Verlängerung des Messzeitraumes
- Veränderung der Datenfilterung in den 10-Minuten Daten
- Auffüllen über Regression logarithmierter Daten in den jeweiligen 10 Minuten Zeitschritten
- Auffüllen über Windshear in den jeweiligen 10 Minuten Zeitschritten
- Auffüllen über MCP-Verfahren über verschiedene Höhen

Alle Methoden werden in der Branche in unterschiedlicher Art und Weise angewandt. Ziel ist es im Folgenden, an ausgewählten Standorten die unterschiedlichen Methoden zu vergleichen.

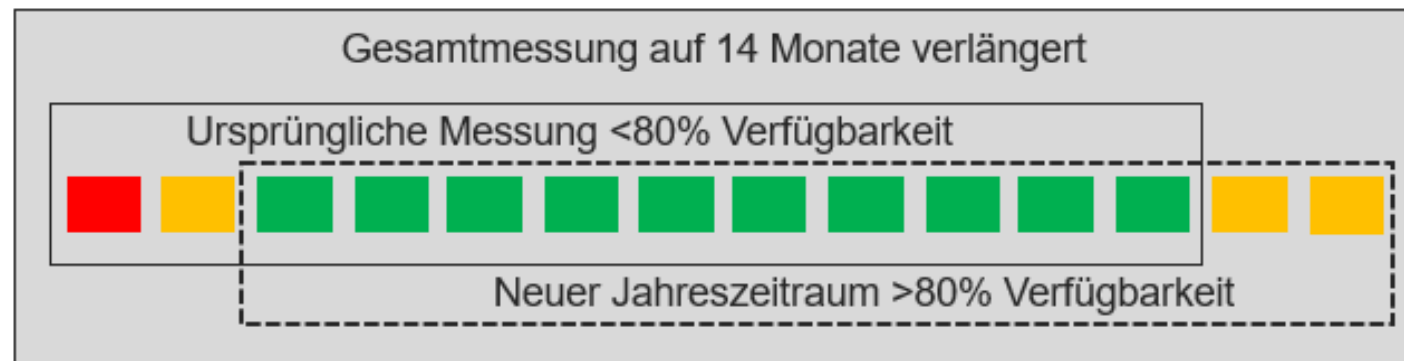


Verfügbarkeitssteigerung bei Windmessungen

Methoden – Verlängerung des Messzeitraumes

Verlängerung des Messzeitraumes, um Monate mit zu geringen Verfügbarkeiten auszugleichen und die Gesamtverfügbarkeit auf über 80% zu heben.

- Es werden keine Daten ergänzt
- Funktioniert nur, wenn Datenlücken zu Beginn oder am Anfang einer Messung auftreten
- Bei konstant geringer Verfügbarkeit muss eine Verlängerung der Messung über einen größeren Zeitraum erfolgen
- Verschiebung der Zeitplanung in den nachfolgenden Messkampagnen



Verfügbarkeitssteigerung bei Windmessungen

Methoden – Datenfilterung

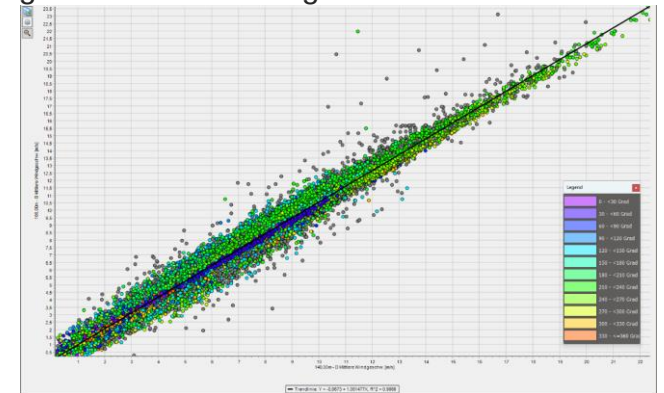
- Die Datenfilterung in den 10-Minuten Daten wird von 80% auf niedrigere Werte abgesenkt
- Das Kriterium der 80% Verfügbarkeit im Gesamtmesszeitraum bleibt erhalten
- Erhöhung der als gültig geltenden Daten hilft, das 80% Messkriterium zu erreichen
- Die unter abweichenden Filterkriterien als gültig geltenden Daten müssen hinsichtlich Datenkonsistenz überprüft werden
- Es werden keine Daten synthetisch erzeugt, sondern vorhandene Daten mit minimal schlechterer Qualität in der Gesamtauswertung verwendet

Unbenannte Meteodaten.166,00m - B	%	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
08.2024	100,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
09.2024	95,1	144	144	144	144	144	144	144	144	144	140	143	132	144	126	143	133	142	144	135	144	144	144	144	138	129	127	78	99	144	144	138
10.2024	94,6	85	125	143	144	143	144	144	127	143	114	102	142	141	129	144	144	144	144	144	144	144	144	128	144	111	144	144	144	144	143	144
11.2024	86,7	144	144	144	144	107	144	144	144	88	2	112	118	133	136	144	144	137	132	89	137	121	144	134	126	137	134	142	144	115	61	
12.2024	83,4	121	143	144	142	138	136	126	140	140	144	144	144	144	140	61	144	122	89	144	102	90	144	144	144	64	9	43	128	129	76	
01.2025	71,8	132	137	142	144	108	49	95	102	105	144	138	144	137	126	121	137	64	72	109	132	79	87	124	106	20	67	4	78	59	100	144
02.2025	90,9	144	134	141	144	143	103	144	144	144	144	144	144	144	121	144	122	84	93	134	75	144	144	144	144	114	136	121	131	142		
03.2025	81,9	137	130	111	49	50	144	144	144	144	144	144	144	134	142	128	140	125	19	4	57	109	144	144	144	144	98	144	99	123	129	142
04.2025	70,6	104	141	109	117	107	8	41	83	136	141	144	144	100	117	133	70	144	132	96	79	23	50	108	138	107	74	115	84	120	85	
05.2025	72,0	75	124	118	121	111	116	144	111	109	131	115	115	116	129	99	113	58	44	89	98	88	136	94	123	116	96	109	87	82	74	75
06.2025	60,7	45	137	118	96	78	64	65	106	110	119	117	108	68	43	97	94	81	118	80	117	70	82	86	83	67	56	88	88	57	83	
07.2025	55,7	49	89	100	94	75	56	26	94	91	81	33	135	74	72	102	50	129	87	60	66	102	83	63	85	96	86	77	93	71	58	110
08.2025	62,0	66	84	80	84	126	79	66	66	81	86	91	64	113	102	92	105	131	49	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
All	78,6																															

Autoflag 80 Filterung: <80% Datenverfügbarkeit

Unbenannte Meteodaten,166,00m - B	%	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
08.2024	100,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
09.2024	96,1	144	144	144	144	144	144	144	144	143	143	133	144	137	143	139	143	144	135	144	144	144	144	141	132	129	89	100	144	144	141		
10.2024	95,8	95	128	144	144	144	144	135	144	129	108	142	143	132	144	144	144	144	144	144	144	144	130	144	112	144	144	144	144	144	143	144	
11.2024	88,0	144	144	144	144	110	144	144	144	89	2	113	123	137	137	144	144	143	134	96	138	121	144	137	137	142	136	143	144	117	63		
12.2024	84,7	125	143	144	143	142	140	131	142	141	144	144	144	144	140	66	144	126	91	144	106	92	144	144	144	64	9	48	128	138	84		
01.2025	74,3	135	137	142	144	121	55	99	108	112	144	140	144	140	132	128	137	65	75	109	135	80	90	132	113	24	70	11	85	62	103	144	
02.2025	91,7	144	136	141	144	144	144	105	144	144	144	144	144	144	122	144	123	86	94	139	80	144	144	144	144	114	140	122	135	144			
03.2025	82,8	139	131	115	53	56	144	144	144	144	144	144	144	144	137	142	130	143	126	19	5	59	110	144	144	144	144	144	100	144	101	126	130
04.2025	73,4	109	141	116	125	111	14	44	89	137	142	144	144	105	120	135	77	144	137	106	80	31	56	115	142	109	77	119	92	121	89		
05.2025	75,0	80	130	122	127	115	120	144	112	113	136	120	116	119	133	103	119	63	55	93	101	95	136	100	127	122	98	114	93	85	79	76	
06.2025	63,6	49	140	121	104	84	66	74	110	115	127	123	110	72	47	105	95	88	119	87	119	72	85	92	90	70	57	91	91	60	85		
07.2025	58,7	52	93	106	95	82	63	28	96	93	85	39	141	79	78	109	52	131	93	62	70	108	88	68	89	99	86	79	101	77	63	114	
08.2025	64,8	70	85	86	87	136	81	72	69	84	97	94	67	116	104	94	108	132	54	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
All	80,4																																

Autoflag 70 Filterung: >80% Datenverfügbarkeit



R^2 zwischen 166m und 140m > 98%

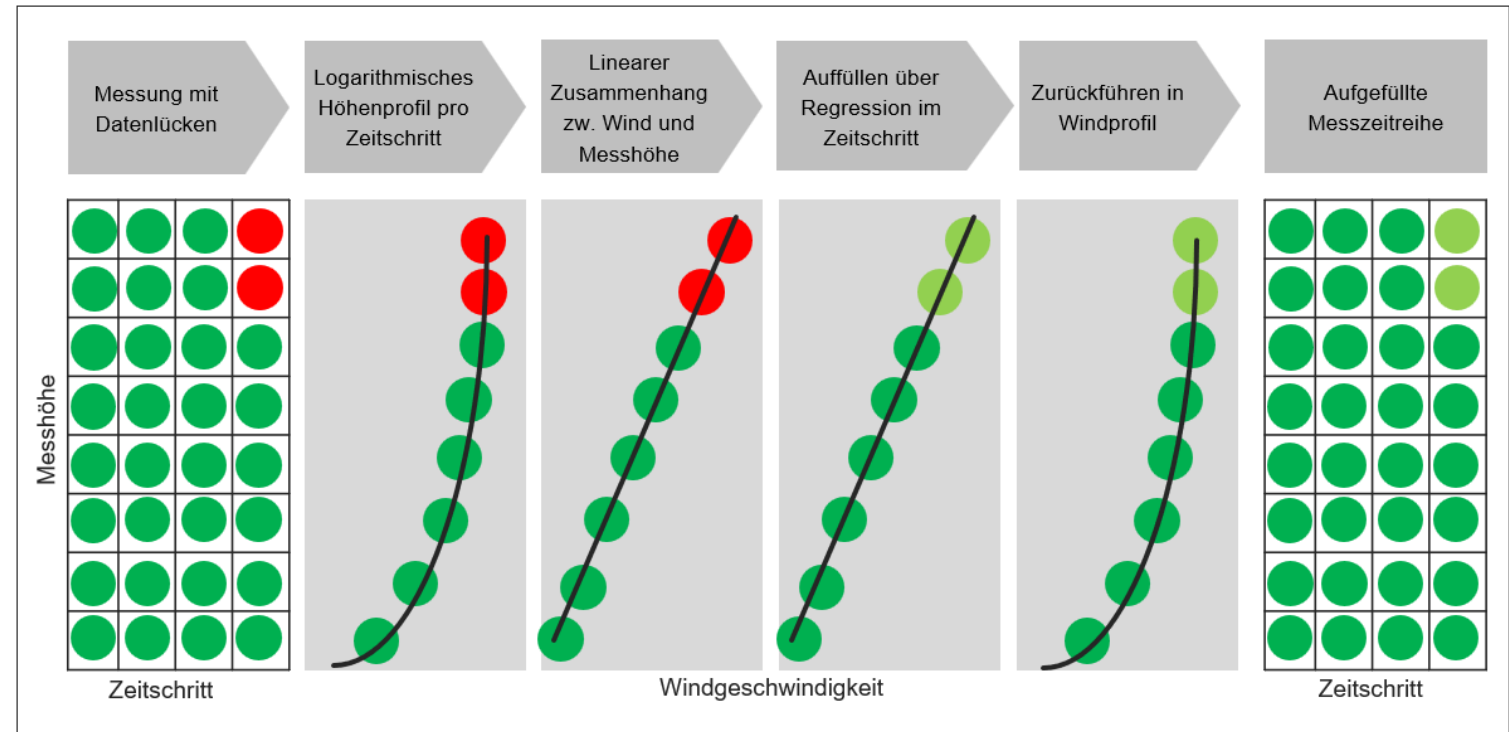
Verfügbarkeitssteigerung bei Windmessungen

Methoden - Auffüllen über Regression logarithmierter Daten

- Daten werden in jedem Zeitschritt aufgefüllt
- Unabhängigkeit von:
 - Windrichtung
 - Veränderten Umweltbedingungen
- Relativ kleine Datenbasis

Variable Parameter

- Zulässige Mindesthöhe
- Mindesthöhen je Zeitschritt
- R^2 bei der Korrelation



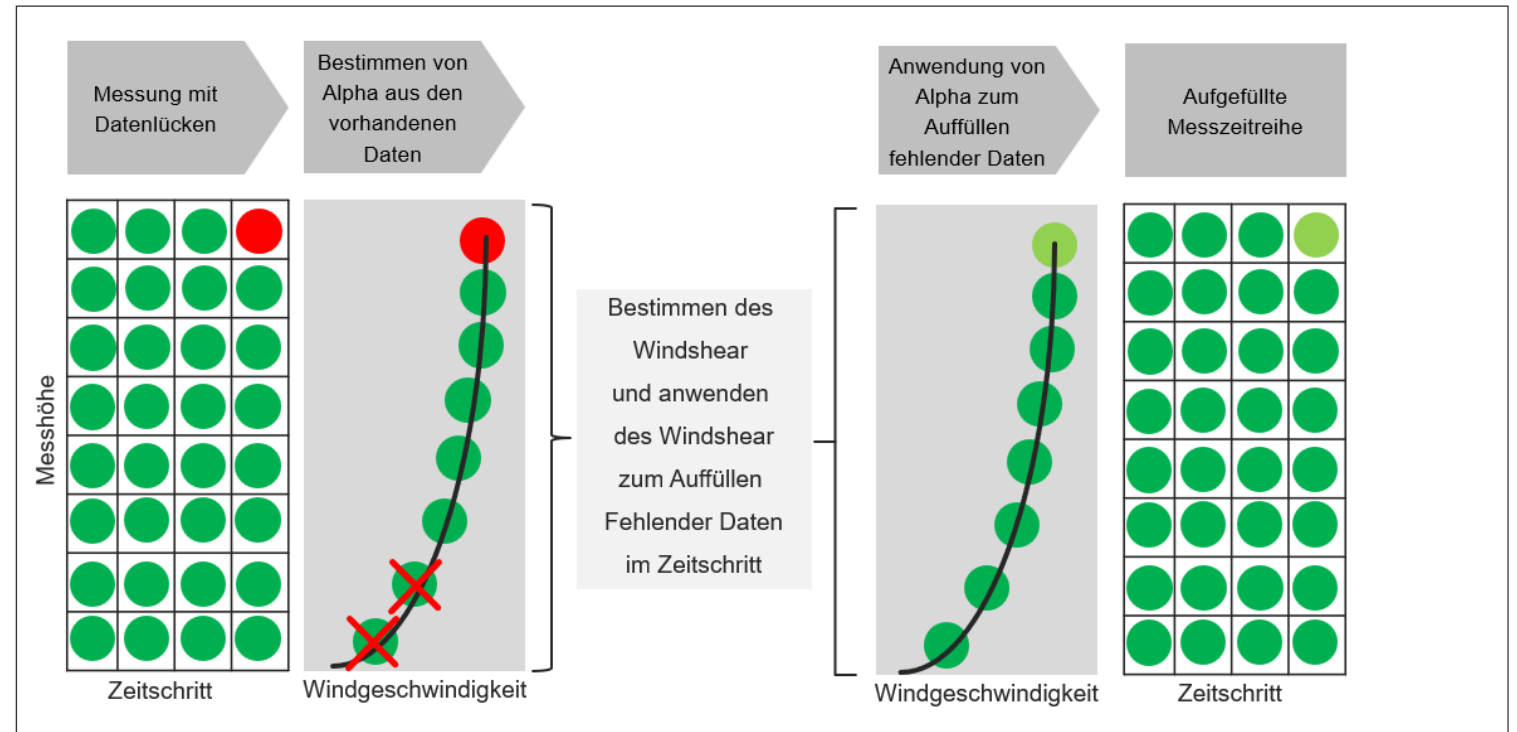
Auffüllen von Datenlücken in LiDAR Messzeitreihen

Methoden – Auffüllen über Windshear

- Daten werden in jedem Zeitschritt aufgefüllt
- Unabhängigkeit von:
 - Windrichtung
 - Veränderten Umweltbedingungen

Variable Parameter

- Anzahl der Höhen zur Berechnung des Windprofils
- Mindesthöhe zur Berechnung des Windprofils



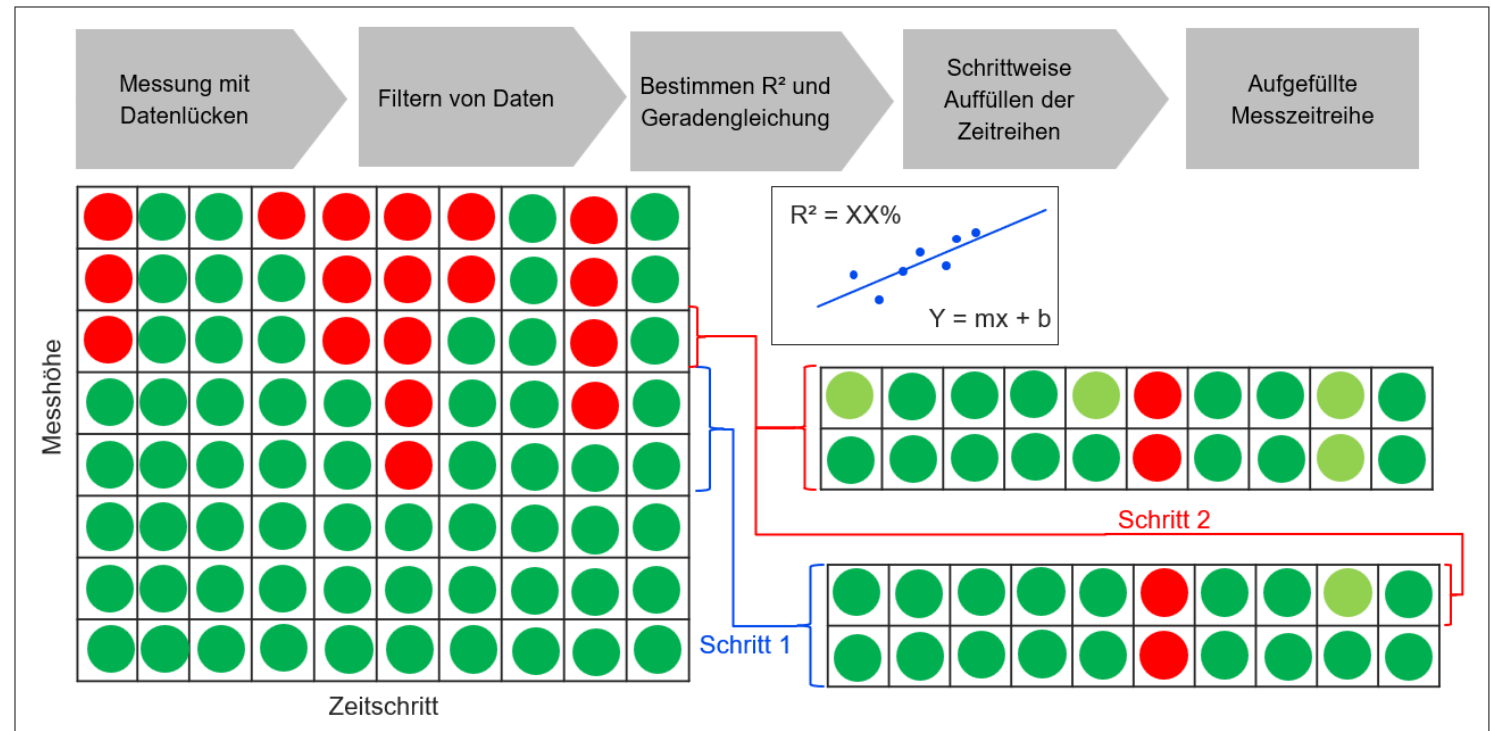
Verfügbarkeitssteigerung bei Windmessungen

Methoden - Auffüllen über MCP

- Daten werden für ganze Höhen über MCP-Verfahren aufgefüllt.
- Etabliertes Verfahren
- Abhängigkeit von Windrichtung und Witterungsbedingungen
- Datenfilterung zwingend notwendig (Richtung, Luftdichte, Jahreszeit)

Variable Parameter

- R^2 - Kriterium
- Höhe der Vergleichszeitreihen

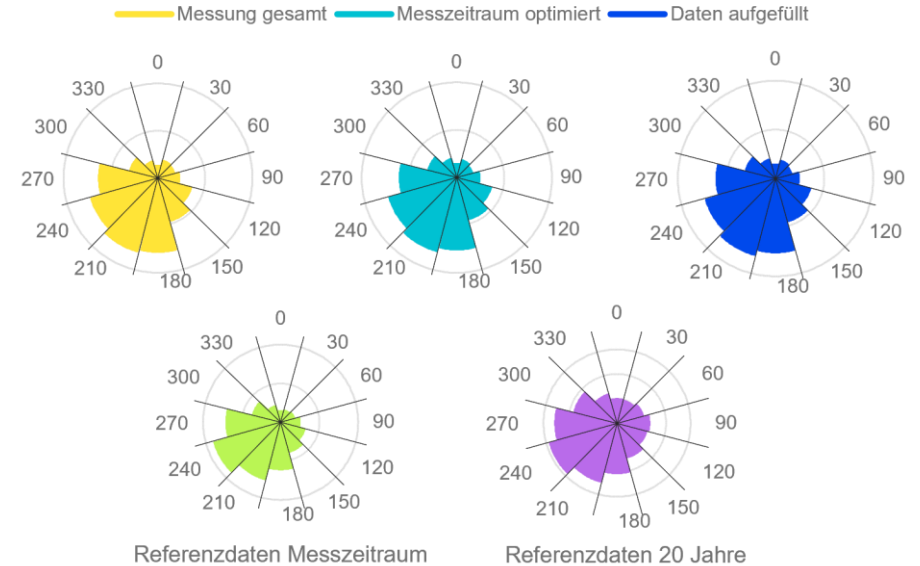
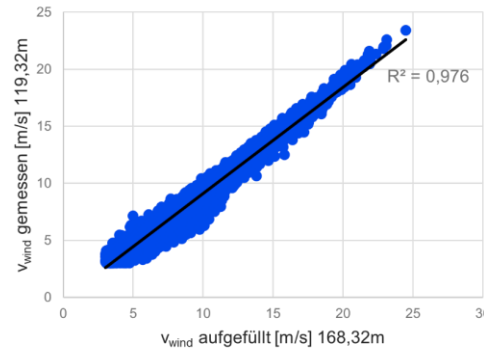


Verfügbarkeitssteigerung bei Windmessungen

Methoden – Bewertungskriterien und Datenbasis

Kriterien für die Bewertung der aufgefüllten Datenzeitreihen:

- R^2 aus der Regressionsanalyse mit benachbarten Messhöhen
- Tagesgang
- Richtungsverteilung
- Windprofil



Datenbasis

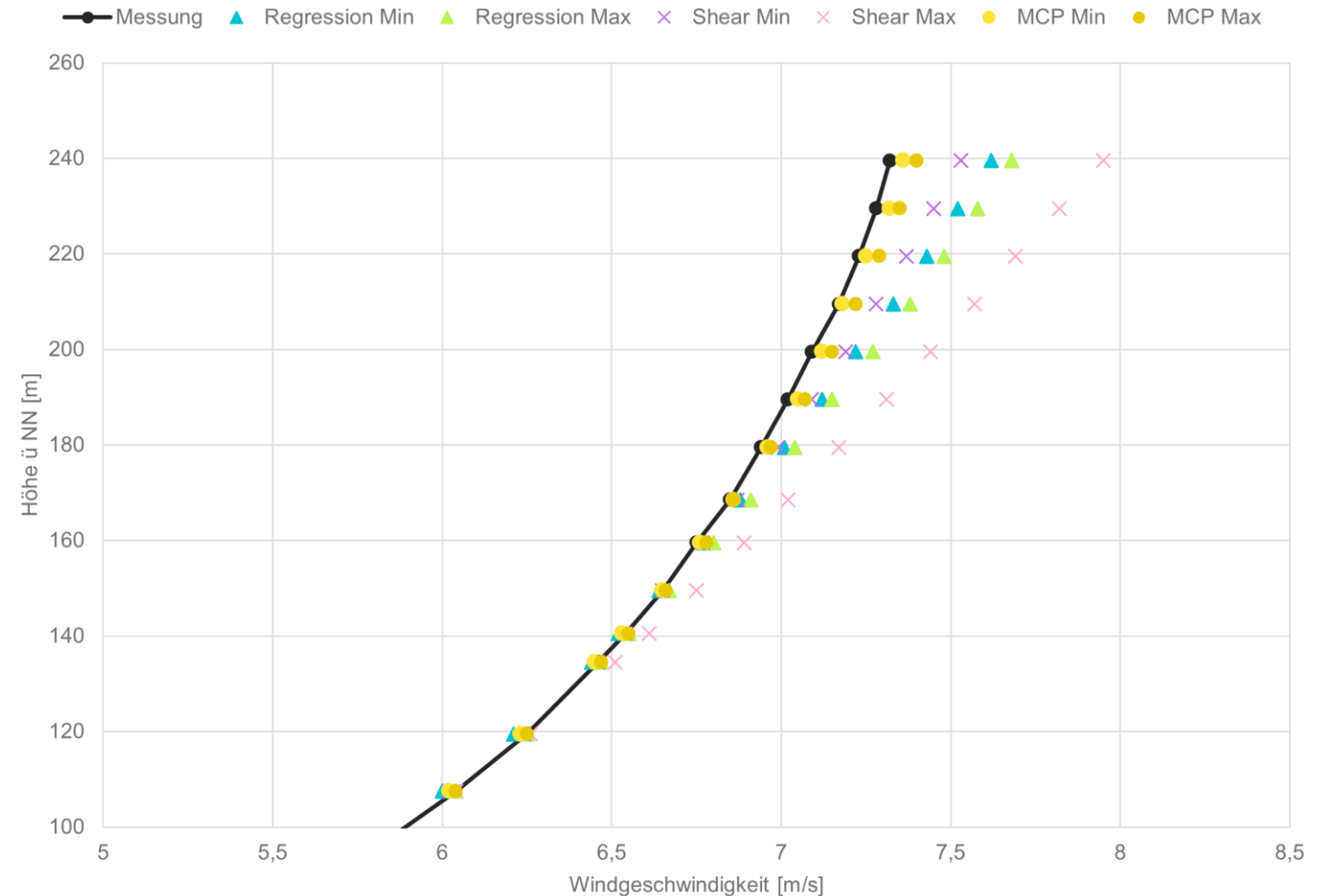
- LiDAR-Messungen an 4 verschiedenen Standorten mit insgesamt rund 500 Berechnungen.

Aufgrund der aktuell noch geringen Datenbasis sind alle Ergebnisse als vorläufig zu betrachten.

Verfügbarkeitssteigerung bei Windmessungen

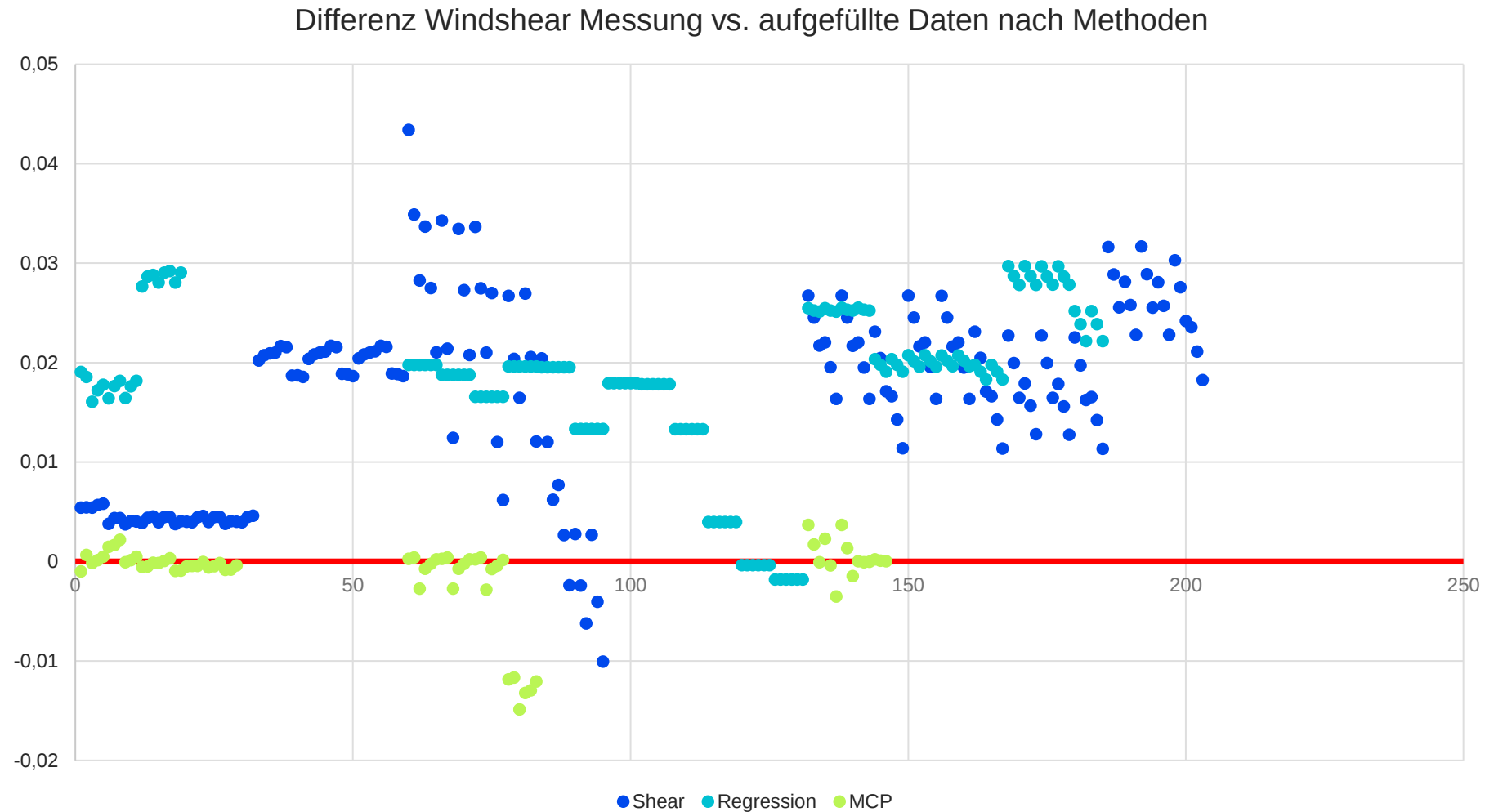
Ergebnisse – Methodenvergleich

- Stabile Ergebnisse im Windprofil und geringsten Abweichungen zu den gemessenen Werten bei MCP.
- Größere Schwankungen bei Regression und Shear-Methode - ohne eindeutige Tendenz.



Verfügbarkeitssteigerung bei Windmessungen

Ergebnisse – Methodenvergleich



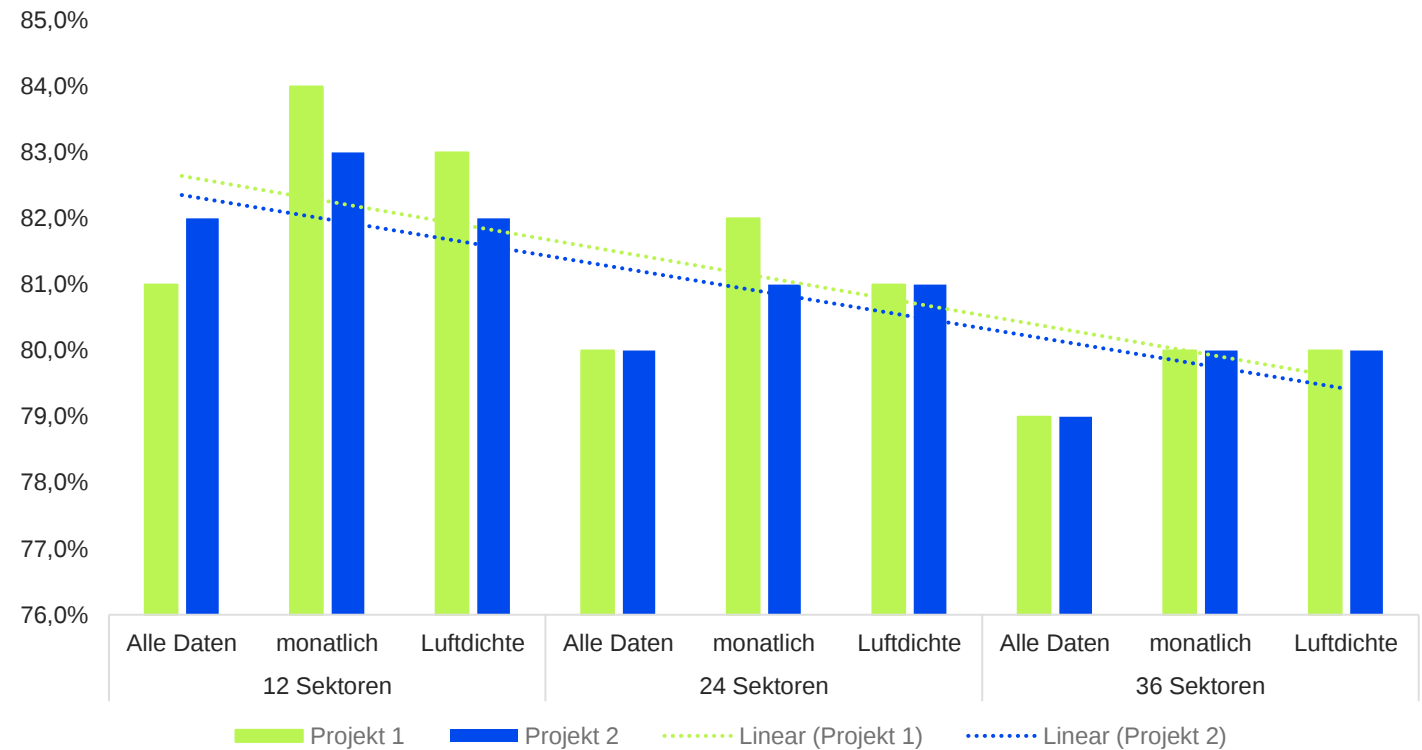
Verfügbarkeitssteigerung bei Windmessungen

Ergebnisse – MCP-Methode

Einfluss der Parameter Klassifikation und Sektorenanzahl

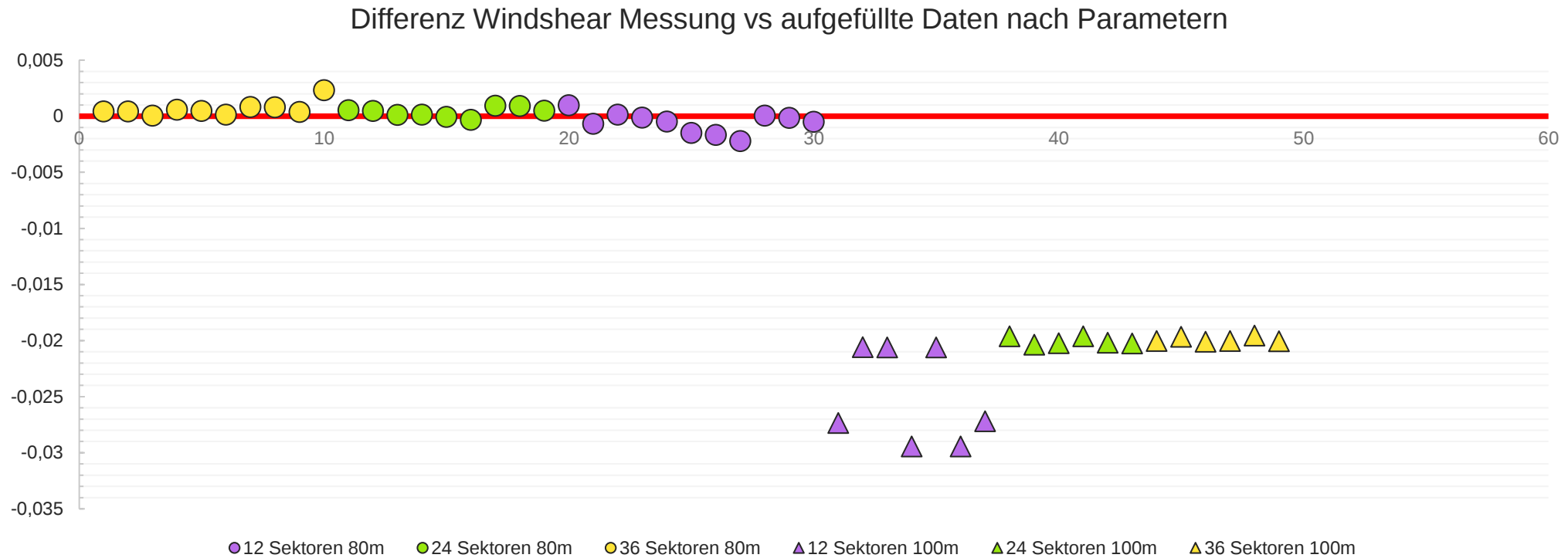
- Mehr Sektoren → niedrigere Verfügbarkeit
- Klassifikation nach Luftdichte oder Monat führt zu einer höheren Verfügbarkeit

Verfügbarkeit der aufgefüllten Daten in Zielhöhe in Abhängigkeit der Klassifikation und Sektorenanzahl



Verfügbarkeitssteigerung bei Windmessungen

Ergebnisse – MCP-Methode



Verfügbarkeitssteigerung bei Windmessungen

Ergebnisse – Weitere Erkenntnisse

Zusammenhänge zwischen Parametern und Ergebnissen

- Mindesthöhe und Mindestabstand
 - niedrigere Mindesthöhen und geringere Abstände führen zu höherer Verfügbarkeit in Zielhöhe
 - Mindesthöhe 60 - 100 m liefern gute Ergebnisse
→ nicht zu niedrig, um Boden-Effekte zu vermeiden
- Auswahl von R^2
 - Regression: kaum Einfluss auf Windgeschwindigkeit und Verfügbarkeit
 - MCP: deutlicher Einfluss auf Windgeschwindigkeit und Verfügbarkeit

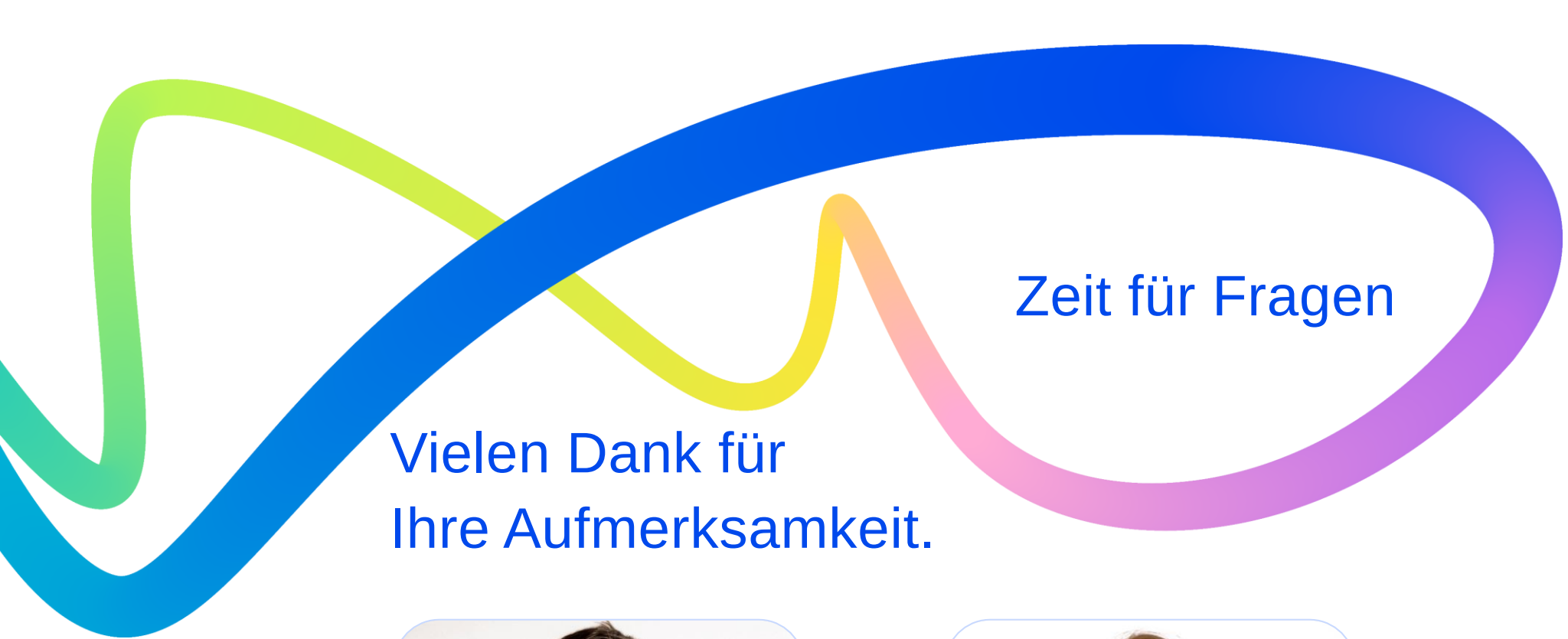


Verfügbarkeitssteigerung bei Windmessungen

Fazit

- MCP-Methoden füllen Datenlücken mit den geringsten Fehlergrößen im Vergleich zu anderen Ansätzen
- Bei LiDAR-Geräten der neueren Generation treten Datenlücken deutlich seltener auf
- Die Validierung einer Methode zur Auffüllung von Datenlücken mit verlässlichen Ergebnissen bleibt weiterhin wichtig





Zeit für Fragen

Vielen Dank für
Ihre Aufmerksamkeit.



Jan Thomas Beißwenger

Senior Consultant
Site Assessment



Erika Rosati

Expert Wind & Site
Site Assessment

