

IEA Windenergie Task 32: Wind-Lidar Systeme für den Einsatz in der Windenergie

Arbeitsperiode 2016 - 2019

Ch. Tiefgraber, A. Stökl,
H. Winkelmeier

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

61/2019

Liste sowie Downloadmöglichkeit aller Berichte dieser Reihe unter <http://www.nachhaltigwirtschaften.at>

Impressum

Medieninhaber, Verleger und Herausgeber:
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Verantwortung und Koordination:
Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien
Leiter: DI Michael Paula

Auszugsweise Abdruck ist nur mit Quellenangabe gestattet. Es wird darauf verwiesen, dass alle Angaben in dieser Publikation trotz sorgfältiger Bearbeitung ohne Gewähr erfolgen und eine Haftung der Republik Österreich und der Autorin/des Autors ausgeschlossen ist. Nutzungsbestimmungen: <https://nachhaltigwirtschaften.at/de/impressum/>

IEA Windenergie Task 32: Wind-Lidar Systeme für den Einsatz in der Windenergie

Arbeitsperiode 2016 - 2019

Ing. Christoph Tiefgraber, Dr. Alexander Stökl, Mag. Hans Winkelmeier
Energiewerkstatt Verein

Friedburg, April 2019

Ein Projektbericht im Rahmen des Programms

IEA FORSCHUNGS
KOOPERATION

des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie

Vorbemerkung

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus dem Programm FORSCHUNGSKOOPERATION INTERNATIONALE ENERGIEAGENTUR. Es wurde vom Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie initiiert, um Österreichische Forschungsbeiträge zu den Projekten der Internationalen Energieagentur (IEA) zu finanzieren.

Seit dem Beitritt Österreichs zur IEA im Jahre 1975 beteiligt sich Österreich aktiv mit Forschungsbeiträgen zu verschiedenen Themen in den Bereichen erneuerbare Energieträger, Endverbrauchstechnologien und fossile Energieträger. Für die Österreichische Energieforschung ergeben sich durch die Beteiligung an den Forschungsaktivitäten der IEA viele Vorteile: Viele Entwicklungen können durch internationale Kooperationen effizienter bearbeitet werden, neue Arbeitsbereiche können mit internationaler Unterstützung aufgebaut sowie internationale Entwicklungen rascher und besser wahrgenommen werden.

Dank des überdurchschnittlichen Engagements der beteiligten Forschungseinrichtungen ist Österreich erfolgreich in der IEA verankert. Durch viele IEA Projekte entstanden bereits wertvolle Inputs für europäische und nationale Energieinnovationen und auch in der Marktumsetzung konnten bereits richtungsweisende Ergebnisse erzielt werden.

Ein wichtiges Anliegen des Programms ist es, die Projektergebnisse einer interessierten Fachöffentlichkeit zugänglich zu machen, was durch die Publikationsreihe und die entsprechende Homepage www.nachhaltigwirtschaften.at gewährleistet wird.

DI Michael Paula

Leiter der Abt. Energie- und Umwelttechnologien

Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie

Inhaltsverzeichnis

1	Kurzfassung	7
2	Abstract	8
3	Ausgangslage	9
4	Projekthalt	11
5	Ergebnisse	16
5.1.	Standortbewertungen	17
5.1.1.	On-Shore Windenergiestandorte.....	17
5.1.2.	Off-Shore Windenergie.....	18
5.2.	Leistungsvermessung von WKA	19
5.3.	Lasten und Anlagensteuerung.....	21
5.4.	Komplexe Strömungsbedingungen	23
5.5.	Publikationen des Task 32	25
6	Vernetzung und Ergebnistransfer.....	27
7	Schlussfolgerungen, Ausblick und Empfehlungen	28

1 Kurzfassung

Der Task 32 der IEA Wind setzt sich seit mehr als 6 Jahren mit der Weiterentwicklung und den vielfältigen Herausforderungen bei der Anwendung von LIDAR-Systemen (light detection and ranging) in der Windenergie auseinander. Die Ziele dieser internationalen Forschungskoooperation sind das Zusammenstellen von vorhandenem Wissen und Erfahrungen sowie das Generieren neuer Erkenntnisse durch wechselseitigen Austausch und globale Vernetzung. Die inhaltliche Arbeit wird dabei durch eine Reihe von Workshops ermöglicht, bei denen Erfahrungswerte und Forschungsergebnisse präsentiert und diskutiert werden. Die Zusammenfassungen und Schlussfolgerungen aus solchen Kooperation werden dann in Berichten publiziert. In diesem Zusammenhang werden für spezifische LIDAR-Anwendungen in der Windenergie internationale Empfehlungen publiziert, die erfolgreiche Praxisbeispiele und Leitfäden für die Realisierung von Messkampagnen enthalten.

In der zweiten Bearbeitungsperiode des Task 32 (2016 bis 2018) haben sich die Aktivitäten im Task 32 auf vier Schwerpunkt-Themenbereiche mit jeweils eigenen Herausforderungen und Fragestellungen konzentriert.

Standortbewertungen: LIDAR Messungen für die Beurteilung des Windenergiepotentiale an On- und Offshore Standorten werden bereits heute routinemäßig eingesetzt. In Hinsicht auf Kosten, Zuverlässigkeit und Genauigkeit gibt es jedoch noch Bedarf für weiter Verbesserungen was in Folge auch zu einer höheren Akzeptanz von LIDAR Messungen führen soll.

Leistungsvermessungen von WKA: Die Vermessung von Leistungskurven von WKA mit Gondel- oder Boden-basiertem LIDAR ist eine Vielversprechende Methode die derzeit vor Allem durch einen Mangel an Normen und Regelwerken behindert wird.

Anlagensteuerung mit Hilfe von LIDAR-Messdaten: Die zusätzliche Information über das heranströmende Windfeld durch LIDAR-Messungen kann potentiell sehr vorteilhaft für die Anlagensteuerung verwendet werden. Diese sehr vielversprechende Anwendung von LIDAR ist jedoch noch in einer frühen Entwicklungsphase und für eine breite Verwendung sind zunächst noch eine Reihe von technischen Fragestellungen zu klären.

Komplexe Strömungsfelder: LIDAR Messungen beproben ein sehr viel größeres Messvolumen als konventionelle Anemometer-Messungen. An Standorten mit komplexen Strömungsverhältnissen erfordert LIDAR daher einerseits eine sehr aufwendigere Datenanalyse („Rekonstruktion“), erlaubt andererseits aber auch Rückschlüsse auf das gesamte Strömungsfeld, und nicht nur für einen spezifischen Messpunkt.

Aufgabe der Energiewerkstatt bei der Teilnahme beim Task 32 war es, als nationale Schnittstelle zu den umfangreichen IEA-Aktivitäten zu fungieren und an der internationalen Vernetzung und dem Austausch teilzunehmen. In diesem Zusammenhang ist festzuhalten, dass die alpine geographische Lage vieler Windenergiestandorte in Österreich Herausforderungen dar stellt, die ansonsten in der internationalen Community des Task 32 kaum anzutreffen sind. Somit konnten mehrfach Anwendungsbeispiele und Erfahrungen aus laufenden österreichischen Projekten in die Kooperation eingebracht werden.

2 Abstract

For more than 6 years, Task 32 of IEA Wind has been concerned with the development and the multiple challenges in the application of LIDAR (light detection and ranging) applications in wind energy. The aims of this international research cooperation are the compilation of existing knowledge and experience as well as the elaboration of new conclusions through mutual exchange and global networking. A series of focused workshops is used to study the individual topics and for mutual sharing of experiences and research results. The summaries and conclusions from such cooperation are then published in public reports. International recommendations are published that are dealing with specific wind energy applications and containing successful examples and guidelines for the design of measurement campaigns.

During the second period of Task 32 (2016 to 2018), Task 32 activities focused on the following four main topics, each with its own challenges and open questions.

Site Assessments: As of today, LIDAR measurements for the assessment of wind energy potentials at onshore and offshore locations are already routinely used. In terms of cost, reliability and accuracy, however, there is still a need for further improvements, which in turn should lead to a higher acceptance of LIDAR measurements.

Performance testing of wind turbines: The measurement of power curves of wind turbines, either with nacelle- or with ground-based LIDAR, is a promising method that is currently hindered by the lack of standards and regulations.

Turbine control using LIDAR measurement data: The additional information from the approaching wind field through LIDAR measurements is potentially very useful for turbine control. However, this very promising application of LIDAR is still in an early stage of development and for large-scale deployment a number of technical issues needs to be addressed.

Complex flow conditions: LIDAR measurements probe a much larger volume than conventional anemometer measurements. At sites with complex flow conditions, LIDAR therefore requires a much more elaborate data analysis ("reconstruction"), but on the other hand also allows conclusions regarding the entire wind field, not just for a particular measuring position.

The objective of Energiewerkstatt in the participation in Task 32 was to act as a national interface to the numerous IEA activities and to take part in the international networking and exchange. In this context it has to be mentioned that the alpine geographic situation of many wind energy sites in Austria poses challenges that otherwise are only rarely encountered in the international community of Task 32. Hence, examples of applications and experiences from ongoing Austrian projects could be contributed to the cooperation.

3 Ausgangslage

LIDAR (Light Detection And Ranging) ist eine optische Messmethode, bei der ein Laserstrahl in ein Luftvolumen gesendet wird. An Aerosolen in der Luft wird das Laserlicht gestreut, und durch Messung des Dopplereffekts mit dem zurückgestreuten Anteil des Lichts kann auf die Bewegungsgeschwindigkeit der Aerosole, und damit der Luft, geschlossen werden. Gemäß dem Prinzip dieser Messung lässt sich immer nur die Geschwindigkeitskomponente entlang der Ausbreitungsrichtung des Laserstrahls (line-of-sight, LOS) bestimmen. In vielen Fällen ist diese LOS-Komponente der Windgeschwindigkeit jedoch nicht die, an der man interessiert ist, beispielsweise, wenn man mit einem bodengebundenen LIDAR die horizontale Windgeschwindigkeit in einer bestimmten Höhe messen möchte. Deshalb ist es im Regelfall notwendig, aus eine Reihe von LIDAR Messungen entlang unterschiedlich ausgerichteter Messstrahlen das dreidimensionale Strömungsfeld zu rekonstruieren. Je nach Anwendungsfall und technischen Rahmenbedingungen gibt es für solche LIDAR Messung unterschiedliche Messkonzepte. In jedem Fall ist aber die Rekonstruktion des Geschwindigkeitsfeldes aus einer begrenzten Anzahl von Messungen ein hochgradig unterbestimmtes Problem, weshalb man entweder auf Rekonstruktions-Annahmen oder Modellierungen zurückgreifen muss. Insgesamt ist die Rekonstruktion des Geschwindigkeitsfeldes eine der wesentlichen Herausforderungen in der LIDAR Technologie und ein wesentlicher Aspekt bei der Abschätzung der Messunsicherheit.

LIDAR Messungen für kommerzielle Anwendungen gibt es in der Windenergie Industrie seit etwa 2006. Mittlerweile sind die LIDAR Geräte technisch weitgehend ausgereift und durch die größere Verbreitung sind die Anschaffungskosten für solche Geräte bereits gesunken. Durch die Fortschritte in der LIDAR Technologie und die wachsende Erfahrung sind LIDAR Messungen zunehmend in der Windenergiebranche akzeptiert und haben in den letzten Jahren laufend an Bedeutung gewonnen. So zeichnet es sich auch ab, dass in zukünftigen Richtlinien und Normen (z.B. der IEC 61400) LIDAR Messungen mehr Raum gegeben wird, was wiederum eine Voraussetzung für eine Reihe von Anwendungen ist, in denen eine normgerechte Messung verlangt wird. Zusätzlich zu oder anstelle von konventionellen Messtechniken sind LIDAR Fernerkundungsmessungen die wesentliche Technologie, der in den letzten Jahren eine große Bedeutung für die Vermessung des Windprofils und der Reduktion von Prognoseunsicherheiten beigemessen wird. Nicht nur in der Windpotentialbestimmung gewinnt diese Technologie an Bedeutung, sondern auch bei Leistungskurvenvermessung, Lastenbestimmung, Anlagensteuerung und der Vermessung der Nachlaufströmung von Windkraftanlagen.

Diese internationalen Entwicklungen und Trends wirken auch in der österreichischen Windenergiebranche. Aus diesem Grund ist die aktive Kooperation mit der internationalen Forschungsgemeinschaft im Rahmen des Task 32 sehr wichtig. Das betrifft einerseits den Transfer von internationaler Expertise nach Österreich. Andererseits ist aber auch eine adäquate Berücksichtigung der spezifischen Anforderungen und Fragestellungen der österreichischen Windenergie ein wesentliches Anliegen. Beispielsweise liegen durch die alpine geographische Lage Österreichs viele Windenergiestandorte in orographisch stark gegliedertem Gelände, wofür sich in der Windenergie der Begriff „komplexes Gelände“ (engl. complex terrain) etabliert hat. Es ist daher aus österreichischer Perspektive wichtig, dass die Aspekte und Methoden für LIDAR Messungen an solchen „komplexen Standorten“ Gegenstand von Forschungs- und Entwicklungstätigkeiten im

Task 32 sind und dann im Weiteren entsprechend Aufnahme in internationale Empfehlungen und Standards finden.

4 Projektinhalt

IEA Wind Task 32 „Wind Lidar“ wurde 2011 gegründet, um den Einsatz von LIDAR für Windenergieanwendungen zu voranzutreiben. Die Mitglieder des Task32 identifizieren dazu die Erfordernisse und Herausforderungen beim Einsatz von LIDAR in der Windenergie und erarbeiten Strategien und Vorgangsweisen, mit denen allfällige Hindernisse ausgeräumt werden können. Der Task 32 ist eine von mehreren internationalen kollaborativen Forschungs Kooperationen, die das sog. Technology Collaboration Program der Internationalen Energieagentur (IEA Wind TCP) ermöglicht. IEA Wind ist für die Mitgliedsländer eine Möglichkeit, um Informationen über die Planung und Durchführung von Windkraftprojekten international auszutauschen und kooperative Forschungs- und Entwicklungsprojekte durchzuführen. Die erste Periode des Task 32 lief über drei Jahre von 2011 bis 2014. Der gegenständliche Bericht behandelt die Aktivitäten des IEA Wind Task 32 in seiner zweiten Periode, die von 2015 bis 2018 gelaufen ist.

Der Task 32 begann mit ursprünglich vier teilnehmenden Ländern (Dänemark, Deutschland, Japan und den USA). In der gegenständlichen zweiten Periode des Task 32 haben sich acht weitere Nationen zur Mitwirkung im Task 32 verpflichtet (siehe Tabelle 1). Insgesamt haben in der zweiten Periode über 250 Personen aus den insgesamt zwölf Task 32-Mitgliedsstaaten an einer Task 32-Veranstaltung teilgenommen.

Teilnehmende Nation	Teilnehmende Organisationen
China	Envision, Goldwind, Huaneng Clean Energy Research Institute, MingYang, Zhejiang Windey Co. Ltd
Dänemark	conWX, COWI, DNV GL, DONG Energy, DTU Wind Energy, EMD International, Orsted, Siemens, Simens Gamesa Renewable Energy, Suzlon, Vestas, Windar photonics, Wind Solutions
Deutschland	4cast, Center for Solar Energy and Hydrogen Research (ZSW), Deutsche Windguard, DEWI, DLR, DNV GL, Enercon, EON, ForWind – Oldenburg, Fraunhofer IWES, GE, GE Global Research, GWU-Umwelttechnik, HAW Hamburg, KIT Institute of Meteorology, M.O.E. GmbH, Metek, Multiversum, Opticsense, Senvion, Siemens, sowento, SWE – Universität Stuttgart, Universität Kassel, Vattenfall, WEPROG, Wind-consult, WindForS, Windtest Grevenbroich
Frankreich	Ecole Centrale de Nantes, EDF, EOLFI, Epsiline, IFP Energie Nouvelles, Leosphere
Japan	Advanced Industrial Science and Technology, Mitsubishi Electric Corporation, Wind Energy Institute of Tokyo
Kanada	AXYS, TechnoCentre Éolien, Sentrex Wind Services, Sgurr Energy
Niederlande	ECN, Lagerwey Wind, Netherlands Enterprise Agency, Solidwinds, TU Delft, Vattenfall
Norwegen	Christian Michelsen Research, Equinor, Fugro, met.no

Teilnehmende Nation	Teilnehmende Organisationen
Österreich	Energiewerkstatt
Südkorea	Jeju National University, Korea Testing Laboratory, Jeju Energy Corporation, Korean Register
UK	Babcock International Group, Carbon Trust, DNV GL, DONG Energy, EDF Energy, Fraunhofer Centre for Applied Photonics, Frazer Nash, GE Renewables, Mott MacDonald, Natural Power, NEL, Nordex, ORE Catapult, RES, SgurrEnergy, SSE, Texo Drone Survey and Inspection, U. Glasgow, U. Strathclyde, Wind Farm Analytics, ZephIR Lidar
USA	AWS Truepower, Business Network for Offshore Wind, Colorado School of Mines, Cornell U., DNV GL, E.ON, DOE, GE, National Renewable Energy Laboratory (NREL), Pacific Northwest National Laboratory (PNNL), Renewable NRG Systems, Sandia, Siemens, U. Colorado Boulder, U. Maryland, U. Wyoming, V-Bar

Tabelle 1: Liste der Teilnehmenden Nationen und Organisationen.

Die Aktivitäten im Task 32 konzentrieren sich auf eine regelmäßige Serie von Workshop-Veranstaltungen sowie ein jährliches ‚General Meeting‘. Die jährlich stattfindenden ‚General Meetings‘ haben dabei (neben der Behandlung von organisatorischen Themen) den Anspruch, auf einem allgemeinen Niveau und unter einer größeren Anzahl von Teilnehmern für eine breitere Vernetzung und den Austausch von Ideen zu sorgen.

Die tiefere, inhaltliche Beschäftigung mit den einzelnen Sub-Themen aus dem Bereich des Task 32 erfolgt hingegen im Rahmen der Workshops, die jeweils von einem der teilnehmenden Partner organisiert werden. Die Teilnehmer eines solchen Workshops ergeben sich aus den Interessenslagen, Erfahrungen und der Expertise der einzelnen Organisationen und Partner im Task 32. Die einzelnen Workshops weisen demnach sehr unterschiedlich zusammengesetzte Teilnehmerkreise auf und bieten die Gelegenheit, sich über einige Tage hinweg gemeinsam intensiv einem speziellen Thema aus dem Bereich des Task 32 zu widmen. Die wesentlichen Fragestellungen sind dabei:

- Erheben des Stands der Technik zu einem bestimmten Thema oder Anwendung
- Identifizierung der Herausforderungen und Hemmnisse bei der Anwendung von LIDAR in diesen Fällen
- Analyse der Hintergründe und Ursachen
- Entwurf einer Vorgangsweise zur Überwindung der Probleme

Der Mehrwert ergibt sich dabei einerseits durch die konzentrierte Arbeitsweise, aber vor allem aus der Kombination von unterschiedlichen Perspektiven, Datensätzen und Erfahrungen. Als Abschluss werden die Ergebnisse eines Workshops im Regelfall in Form eines Berichts oder einer Publikation zusammengefasst und veröffentlicht.

Im Folgenden findet sich eine Zusammenfassung und kurze Beschreibung der in der abgelaufenen, zweiten Periode des Task 23 stattgefundenen Workshops. Für all diese IEA-Aktivitäten im Task 32

fungierte die Energiewerkstatt als nationale Schnittstelle, um für einen effektiven Transfer der internationalen Expertise zur Österreichischen Windenergiebranche zu sorgen.

Workshop #1: Schwimmende LIDAR Systeme

Februar 2016, Blyth, England

Dieser Workshop hat an die diesbezüglichen Aktivitäten des Task 32 in dessen erster Periode angeschlossen. Thema waren ein Update bezüglich der jüngeren technischen Entwicklungen und Trends sowie eine Diskussion der verbliebenen Herausforderungen. Anschließend wurde in Kleingruppen eine Vorgangsweise erarbeitet, um die Serienreife dieser Technologie weiter voranzubringen.

Workshop #2: Optimierung des LIDAR Designs für die Zwecke der Anlagensteuerung

Juli 2016, Boston, USA

Ziel dieses Workshops war es, die Kluft zwischen LIDAR-Herstellern und der Anlagensteuerung von WKA zu überbrücken. Dazu wurden die Anforderungen von LIDAR-unterstützten Steuerungen ermittelt und die Hindernisse, die einer weiteren Verbreitung von LIDAR-Anwendungen entgegenstehen, identifiziert. Darüber hinaus wurden Vorschläge, um eine bessere Einbindung von LIDAR für Steuerungszwecke zu ermöglichen, erarbeitet.

Workshop #3: LIDAR Messungen von Nachlaufströmungen (zusammen mit IEA Wind Task 31)

Oktober 2016, München, Deutschland

Der IEA Wind Task 31 beschäftigt sich mit der Beschreibung der turbulenten Nachlaufströmung hinter WKA. Solche Modelle spielen bei dem Entwurf von Windpark-Layouts eine ganz wesentliche Rolle. Der Zweck dieses Workshops war es, Experten vom Task 32 und Task 31 zusammen zu bringen und so die Möglichkeiten einer Verifizierung und Validierung von Nachlaufmodellen mittels LIDAR Messungen auszuloten.

Workshop #4: ‚Round Robin‘ Test zu LIDAR Messunsicherheiten in der IEC 61400 12-1 Ed. 2

Dezember 2016, Glasgow, Schottland

Für LIDAR-basierte Leistungsvermessungen von WKA ergeben sich aus der Anwendung der neuen IEC 61400 12-1 Ed. 2 potentielle Herausforderungen bezüglich der Betrachtung der Messunsicherheiten von LIDAR Daten. Um unterschiedliche Methoden zur Unsicherheitsbewertung zu vergleichen, wurde ein ‚Round Robin‘ veranstaltet, zu dem die einzelnen Teilnehmer jeweils Auswertungsergebnisse beisteuerten. Der Workshop wurde in Zusammenarbeit mit der Power Curve Working Group (PCWG) abgehalten.

Workshop #5: Anwendungsfällen für Messungen in komplexen Strömungsfeldern

Juni 2017, Glasgow, Schottland

Dieser Workshop hat eine Reihe von Anwendungsfällen von LIDAR in komplexen Strömungsfeldern untersucht, beispielsweise von turbulenten Nachlaufströmungen. Schwerpunkt waren insbesondere die Betrachtung der Unsicherheiten und deren Ursachen und Zusammenhänge. Die Ergebnisse zeigen, dass dabei die genaue Festlegung der Anforderungen an die Daten im Vorhinein und die Berücksichtigung der spezifischen Messverhältnisse wichtige Voraussetzungen sind.

Workshop #6: Leistungsvermessungen von WKA mittels Gondel LIDAR

September 2017, Gentofte, Dänemark

Zweck dieses Workshops war es, Informationen und Erfahrungen zur Verwendung von LIDARs bei der Leistungskurvenvermessung von WKA zu sammeln und zu diskutieren. Der Workshop konzentrierte sich dabei auf die folgenden zwei Themen:

- Kalibration von Gondel-LIDARs und damit verbundene Unsicherheiten
- Konzeption und Ablauf der Leistungsvermessung mit LIDAR

Workshop #7: LIDAR Messkampagnen in komplexen Gelände

November 2017, Stuttgart, Deutschland

Dieser Workshop befasste sich in Präsentationen und anhand von Fallstudien mit der Verwendung von LIDAR im komplexen Gelände und den damit verbundenen Herausforderungen. Als größte Hemmnisse ergaben sich dabei (1) der Mangel an einschlägigen Normen und Empfehlungen und (2) das hohe Niveau an notwendiger Expertise für die Durchführung solcher Messungen. Diese beiden Herausforderungen sind Gegenstand aktueller Anstrengungen in der Wind-LIDAR Gemeinschaft.

Workshop #8: Zertifizierung von LIDAR-unterstützter Anlagensteuerung

Jänner 2018, Hamburg, Deutschland

Dieser Workshop hat die Hersteller von LIDAR-Geräten und Windkraftanlagen sowie Forschungseinrichtungen und Zertifizierer zusammengebracht, um gemeinsam Vorschläge für Richtlinien für die Typenzertifizierung von WKA mit einer Steuerungseinbindung von LIDAR zu entwickeln. Zu den Herausforderungen zählen dabei die Berücksichtigung eines möglichen Ausfalls des LIDAR-Systems in den Extremlast-Lastfallannahmen und die Verbindung von standortspezifischen Einflüssen auf die LIDAR Messungen mit den für die Zertifizierung von WKA verwendeten Standard-Windklassen. Die Ergebnisse dieses Workshops bildeten die Grundlage für den Bericht "*IEA Wind Task 32: Best Practices for the Certification of Lidar-Assisted Control Applications*".

Workshop #9: Kurzzeitvorhersagen von Windenergie (Zusammen mit IEA Wind Task 36)

Juni 2018, Roskilde, Dänemark

Mit dem zunehmend größeren Anteil der Windenergie am Strom-Mix steigt der Bedarf an kurzfristigen Ertragsvorhersagen, um die Stabilität des Stromnetzes zu stützen. Neben klassischen Wettermodellen und der Vernetzung benachbarter Windparks kommt für solche Zwecke auch die Verwendung von LIDAR Messungen in Frage. Dieser Workshop ermöglichte einen diesbezüglichen Erfahrungsaustausch hinsichtlich kurzfristiger Prognosen und trug dazu bei, die Herausforderungen und mögliche Lösungsansätze zu identifizieren.

Workshop #10: Messung der Turbulenzintensität mit LIDARs

September 2018, Gentofte, Dänemark

Dieser zweitägige Workshop beschäftigte sich mit der Messung von Turbulenzintensitäten mit LIDAR-Geräten. Solche Daten werden beispielsweise für die Verifizierung von Lastannahmen und die Feststellung von Standorteignungen benötigt. Unterschiedliche Methoden zur Bestimmung der Turbulenzintensität aus LIDAR Daten wurden betrachtet, und diskutiert und die Strategien für die zukünftige weitere Vorgehensweise wurden festgelegt.

Workshop #11: Windfeld-Rekonstruktion in der Einlaufzone von WKA

Jänner 2019, Sevilla, Spanien

Im Vorfeld dieses Workshops wurde ein ‚Round Robin‘ organisiert, in dem die Teilnehmer einen Datensatz einer Gondel-LIDAR Messung zu analysieren hatten, mit dem Ziel einer Rekonstruktion der Windgeschwindigkeiten in der Einlaufzone der WKA. Mit Hilfe dieser Rekonstruktion ist es anschließend möglich ‚auf die ungestörte (freie) Windgeschwindigkeit zu schließen. Während des Workshops wurden die Ergebnisse vorgestellt und die unterschiedlichen Methoden und Ansätze diskutiert.

Workshop #12: e-Wind LIDAR

Oktober 2018, Roskilde, Dänemark

Bei der Speicherung von LIDAR Messdaten dominieren spezifische Datenformate der unterschiedlichen Hersteller und diese Daten sind auch nur zu einem geringen Teil mit Metadaten versehen. Diese unterschiedlichen Datenformate sind eine vermeidbare Barriere für den Austausch von Daten sowie in Datenverarbeitungswerkzeugen und erschweren somit die weitere Entwicklung und den breiteren Einsatz der LIDAR Technologie. Dieser Workshop war der sogenannten ‚e-WindLidar‘-Initiative gewidmet, welche den Weg zu einheitlicheren Datenformaten und zu der Umsetzung der von der Europäischen Kommission geforderten FAIR-Prinzipien (Findable, Accessible, Interoperable and Reusable) bereiten möchte.

Workshop 13#: Schwimmende LIDAR Systeme - Follow-Up

November 2018, Bremerhaven, Deutschland

Dieser Workshop war ein weiteres Update zum Workshop #1 um die aktuellen Entwicklungen der Technologie und die fortschreitende Akzeptanz in der Industrie weiter zu verfolgen. In dem Workshop wurden Entwicklungen vorgestellt und diskutiert und daraufhin die Strategie für die zukünftigen Aktivitäten und Arbeitsschwerpunkte festgelegt.

5 Ergebnisse

Die Teilnehmer des Task32 haben vier wesentliche Anwendungsfelder identifiziert, in denen durch eine internationale Zusammenarbeit von Forschern, Geräteherstellern und Anwendern Hemmnisse, die einer breiten Verwendung von LIDAR-Messungen im Wege stehen, abgebaut werden können. Diese Anwendungsfelder umfassen (1) Standortbewertungen, (2) Leistungsvermessungen von WKA, (3) Anlagensteuerung und (4) komplexe Strömungsbedingungen.

Diese Anwendungsbereiche befinden sich auf unterschiedlichen Stufen der technologischen Ausgereiftheit. Für Standortbewertungen und Leistungskurvenvermessungen werden LIDAR Systeme bereits herangezogen, die Hemmnisse liegen in diesen Bereichen daher in der Standardisierung und breiten Umsetzung. Für Zwecke der Anlagensteuerung (beispielsweise zur Verringerung von Betriebslasten) und für den Fall von komplexen Strömungsgeometrien sind hingegen noch grundsätzlichere Forschungsfragen zu beantworten (siehe Abbildung 1).

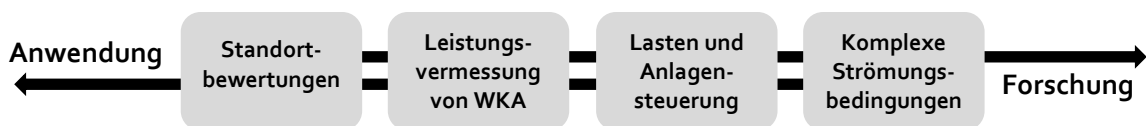


Abbildung 1: Themen im IEA Wind Task 32.

Zur Betrachtung der einzelnen Themenbereiche, wurde im Task 32 anhand von spezifischen *Anwendungsfällen* vorgegangen. Ein solcher Anwendungsfall könnte zum Beispiel „Einsatz eines Gondel-basierten vorwärts gerichteten LIDARs für Zwecke der Anlagensteuerung“ sein. Bei jedem Anwendungsfall werden jeweils drei Elemente betrachtet:

(1) Anforderungen an die Daten: Ein ganz wesentlicher Aspekt ist die Erhebung der tatsächlichen Anforderungen an die Messung im Vorhinein, ohne dass eine besondere Messmethode und /oder besondere Messgeräte bzw. deren Stärken und Schwächen berücksichtigt werden. Auf diese Weise soll eine ergebnisorientierte Konzeption der Messung gewährleistet werden. Dieser Ansatz steht im Gegensatz zu einer Konzeption, die sich an den spezifischen Limitierungen einer Messmethode orientiert, wie es oft bei meteorologischen Messmasten der Fall ist.

(2) Messmethode: Angesichts der Vielzahl von Messmethoden, die mit LIDAR realisiert werden können, ist es wichtig, dass eine Technik ausgewählt wird, welche einerseits die Anforderungen an die Daten erfüllt und andererseits die Dokumentationsauflagen und Anforderungen hinsichtlich Wiederholbarkeit und Nachvollziehbarkeit.

(3) Messsituation: Die Genauigkeit und Zuverlässigkeit einer gegebenen Messmethode hängen von den spezifischen Umständen der Messkampagne ab. Deshalb ist es wesentlich, dass die Umstände und Einflüsse unter denen eine LIDAR Messung betrieben wird, dokumentiert werden und deren Auswirkungen auf die Messergebnisse verstanden sind. So können beispielsweise Annahmen, die in der Strömungsrekonstruktion implizit vorausgesetzt werden, unter bestimmten Umständen ungültig sein. Die Kalibrierungsergebnisse eines LIDAR-Messgeräts nach einer gegebenen Methode

sind nur auf Messsituationen übertragbar, die den wesentlichen Punkten (bezüglich der LIDAR Messung) übereinstimmen.

Die Heranziehung von Anwendungsfällen zur Beschreibung von LIDAR-Messungen stellt sicher, dass alle relevanten Einflussgrößen systematisch erfasst werden und demnach der Einsatz von LIDAR auf eine sachlich gut fundierten und angemessene Weise erfolgt, die auch die Übertragbarkeit von Kalibrierungen und Unsicherheitsbewertungen berücksichtigt.

Die im Rahmen IEA Wind Task 32 und anderen Kooperationen untersuchten Datensätze unterliegen oftmals Einschränkungen hinsichtlich Veröffentlichung, um die kommerzielle Interessen der Dateneigentümer zu wahren. Notwendigerweise muss sich daher die Diskussion solcher Daten in veröffentlichten Berichten auf eine qualitative Beschreibung beschränken.

5.1. Standortbewertungen

In einer Standortbewertung werden die Wind- und Wetterbedingungen an einem potenziellen Windparkstandort (on-shore oder off-shore) analysiert und bewertet. Dazu müssen anhand von geeigneten Messungen die Verteilung der Windgeschwindigkeiten und -Richtungen, die Höhenzunahme des Windes (Windscherung) und die Böigkeit (Turbulenzintensität) am Standort quantifiziert werden. Diese Informationen werden dann dazu verwendet, das Layout des Windparks zu planen, geeignete Anlagentypen festzulegen, und die zu erwartenden Energieerträge abzuschätzen. Neben den unmittelbar notwendigen Informationen ist man dabei auch an möglichst geringen Messfehlern interessiert, da sich durch eine Verringerung der Unsicherheit der Daten (insbes. für die Energieerträge) die Finanzierungskosten für das Windenergieprojekt senken lassen.

5.1.1. On-Shore Windenergiestandorte

Wind LIDAR hat viele Anwendungen in der Entwicklung von Windenergie Projekten. Da mit LIDAR Geräten Windgeschwindigkeiten bis in einer Höhe von 300 m über dem Grund gemessen werden können (also weit über den Bereich hinaus der durch Messmasten zugänglich ist), ist die Messung des Höhenprofils der Windgeschwindigkeit eine wichtige Anwendung für LIDAR-Geräte. Mit dieser Information können dann mit Hilfe von Messmasten gewonnen Winddaten auf andere Höhenschichten extrapoliert werden.

Mit einem LIDAR gemessene Turbulenzintensitäten unterscheiden sich aufgrund der Art und Weise wie Messdaten gewonnen und verarbeitet werden grundsätzlich von klassisch gemessenen Turbulenzdaten, die auf einem sehr viel kleineren Messvolumen basieren (Schalenanemometer oder Ultraschallanemometer). Zu diesem Thema erstellten Mitglieder des Task 32 einen umfassenden Bericht, der die damit verbundenen Probleme und mögliche Lösungen zusammenfasst (Sathe, Mann, et al. 2015). Zusammengefasst sind die unterschiedlichen Turbulenz-Metriken von LIDAR und klassischen Messungen zwar ein Punkt der berücksichtigt werden muss, aber kein grundsätzliches Hindernis für die weiter verbreitete Akzeptanz und Verwendung von LIDAR.

Mit der zunehmenden Verbreitung von LIDAR und der Entwicklung von Windenergieprojekten, auch an Standorten mit komplexeren Strömungsverhältnissen, sind die damit verbundenen Herausforderungen in den Fokus der Aufmerksamkeit gerückt. Das Grundproblem ist dabei die Rekonstruktion eines instationären und inhomogenen Strömungsfeldes anhand der LIDAR-

Rohdaten. Die oben angesprochenen unterschiedlichen Messvolumina von LIDAR und traditionellen Anemometern erschweren zudem den direkten Vergleich in der Praxis. Frühe Überlegungen zu den Herausforderungen beim Einsatz von LIDAR im komplexem Gelände und mögliche Lösungsansätze wurden in einem Task 32-Bericht (Clifton, Boquet, et al. 2015) zusammengefasst. Der derzeit gebräuchlichste Ansatz bei Messungen im komplexen Gelände besteht darin, LIDAR- und Mast-Messungen vorzunehmen und die Ergebnisse mit numerischen Strömungsmodellen abzugleichen.

An einem vom Task 32 organisierten Workshop (Workshop #7, November 2017, Stuttgart, Deutschland) wurde die Verwendung von LIDAR für die Standortbewertung in komplexem Gelände diskutiert. Der Workshop verwendete eine Reihe von Planungs-Szenarien für den Einsatz von Wind LIDAR in komplexem Gelände. Viele der identifizierten Herausforderungen gelten im Prinzip auch für Messungen an einfacheren Standorten:

Strömungsmodellierung: Eine Methode, um mehr Information aus den LIDAR-Daten zu gewinnen, ist die Rekonstruktion des Windgeschwindigkeitsfeldes mit numerischen Strömungsmodellen. Das gilt insbesondere, aber keineswegs ausschließlich für Messungen in komplexem Gelände. Wenn sich diese Methode durchsetzen soll, dann erfordert das auch eine entsprechende Validierung und Akzeptanz der verwendeten Strömungsmodelle.

Messunsicherheiten: Ein aktuell verbreiteter Ansatz zur Quantifizierung der Messunsicherheit der Windgeschwindigkeit verwendet den quadratischen Mittelwert der Differenz von LIDAR-Messung und Schalenanemometer-Messung. Im Effekt unterstellt das eine perfekte (oder perfekt korrigierte) Schalenanemometer-Messung, was nur unter sehr günstigen Bedingungen gerechtfertigt ist. Im Allgemeinen, also unter realen Bedingungen und unter der Einwirkung von Turbulenz, Vertikalgeschwindigkeiten, Vereisung und Niederschlag muss davon ausgegangen werden, dass sowohl die LIDAR- als auch die Schalenanemometer-Messung einen signifikanten Messfehler aufweisen, dessen Größe aber im Detail unbekannt ist.

Fehlende oder uneindeutige Richtlinien: Bestehende Richtlinien und Standards decken nur einen Teil der möglichen Anwendungen von LIDAR ab. Existierende Standards lassen sich teilweise, in Hinblick auf die Fragestellungen bei LIDAR Messungen, nicht eindeutig Interpretieren.

Mangel an Experten: Der Einsatz und Betrieb von LIDAR Messgeräten erfordert Wissen und Erfahrung. Um die vielen Einsatzmöglichkeiten von LIDAR zu entwickeln, fehlen daher oft erfahrene Experten. Dies verzögert die Umsetzung und erhöht die Kosten.

Unabhängig davon wurde beim Workshop im November 2017 die Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit von LIDAR-Geräten als zufriedenstellend bewertet. Dieser Umstand spiegelt den technischen Fortschritt in den letzten zehn Jahren bei der Entwicklung von LIDAR als kommerzielles Produkt wieder.

5.1.2. Off-Shore Windenergie

Bei Offshore-Standortbewertungen mittels LIDAR kann das LIDAR-Gerät entweder auf festen, am Meeresgrund verankerten Plattformen oder auf schwimmenden Strukturen wie Bojen installiert werden. Schwimmende LIDAR Systeme (Englisch: FLS – floating lidar systems) sind im daher im Wesentlichen LIDAR-Geräte, die auf Bojen montiert sind. Die ersten FLS wurden Ende der 2000er Jahre entwickelt und getestet, um den Bedarf der Windindustrie nach Daten für die Bewertung von

Offshore-Windressourcen zu decken. Sie boten im Vergleich zu festen Messmasten den Vorteil von geringeren Kosten, lieferten ähnliche Daten und hatten zudem die Möglichkeit in gleichen oder sogar größeren Höhen über Wasser zu messen. Der erste kritische Test bei der Einführung dieser Systeme war die Frage, ob solch empfindliche Geräte unter den rauen Bedingungen überleben und die erforderlichen Daten liefern würden. Die ersten Ergebnisse waren jedoch vielversprechend, was zusammen mit den potenziellen Kosteneinsparungen, zur Akzeptanz von Offshore-LIDAR beigetragen hat.

IEA Wind Task 32 hat im Jahr 2012 eine Initiative gestartet, um Empfehlungen für die Anwendung von FLS zu erstellen. Die erste Ausgabe dieses Dokuments wurde Anfang 2016 als State-of-the-Art-Report veröffentlicht (Bischoff, Würth, et al. 2016). Darauf aufbauend wurde im Herbst 2017 ein IEA Wind Recommended Practices-Dokument veröffentlicht (Bischoff, Würth, et al. 2017). Heute gibt es etwa 10 verschiedene Anbieter für FLS-Systeme in unterschiedliche Designs. Die meisten aktuellen FLS basieren auf in der Industrie bewährte LIDARS, wie sie auch für den Einsatz an Land verwendet wurden. Die Erfahrung hat gezeigt, dass solche Geräte mit begrenzten Anpassungen (wie einer Offshore-qualifizierten Einhausung oder mit einem zusätzlichen Vogelschutz) für den Offshore-Einsatz tauglich gemacht werden können. Trotz dieser Erfolge bestehen nach wie vor einige Hemmnisse für die breite Verwendung von FLS. Dazu gehören:

Bewegung des LIDARS: In einem FLS bewirkt der Wellengang eine kontinuierliche Bewegung des LIDARS und somit der Messrichtung. Bei der Ermittlung von Windgeschwindigkeit und -richtung muss diese Bewegung korrigiert werden und beinhaltet damit auch eine zusätzliche Unsicherheitskomponente.

Zuverlässigkeit: Ein FLS wird häufig an abgelegenen Standorten in unter extrem schwierigen Umgebungen eingesetzt, was robuste, autonome und zuverlässige Mess-, Energieversorgungs-, Datenprotokollierungs- und Kommunikationssysteme erfordert.

Akzeptanz: Während eines Task 32 Workshops zum Thema FLS (Workshop #1, Februar 2016, Blyth, England) wurde die Akzeptanz der Technologie durch die Industrie als wesentliches Hindernis für die verbreitete Verwendung von FLS identifiziert.

Zusammengenommen scheint es klar, dass zukünftige Aktivitäten zur weiteren Förderung der FLS-Technologie noch stärker auf die Interessen der Benutzer ausgerichtet sein müssen. Das bedeutet eine Validierung der Leistung von FLS bei wirtschaftlich attraktiven Kosten. Sofern diese Ziele erreicht werden, werden FLS-Systeme in Zukunft sicherlich einen großen Teil der Messungen für Offshore-Standortbewertungen beitragen.

5.2. Leistungsvermessung von WKA

LIDAR-Messungen sind für die Leistungskurvenvermessungen von Windkraftanlagen eine interessante Option, da auf eine einfache Art und Weise die dafür notwendigen Winddaten gewonnen werden können. Es kann dabei entweder ein Boden-basiertes LIDAR oder ein von der Gondel aus nach vorne gerichtetes LIDAR verwendet werden. In jedem Fall können Windinformationen in unterschiedliche Höhen gemessen werden, wodurch sich der Effekt der Windscherung innerhalb des Rotorkreises charakterisieren lässt. Gondel-LIDAR haben darüber hinaus den Vorteil, dass grundsätzlich alle Windrichtungen in der Leistungsvermessung

berücksichtigt werden können, was insbesondere an Standorten mit komplexen Geländebedingungen ein wichtiger Vorteil sein kann. Aus diesen Gründen hat sich der Task 32 aktiv um eine Etablierung und Validierung von neuer Methoden zur Leistungsvermessung von WKA mit LIDAR Windmessdaten bemüht.

Bodengestützte Messungen

Der Task 32 hat für die zweite Ausgabe der IEC 61400-12-1 (IEC 2018) den Abschnitt zur Bewertung der Unsicherheiten von Boden-basierten LIDAR Messungen validiert. In diesem Zusammenhang wurde hinsichtlich der Verwendung von Boden-basierten LIDAR-Geräten für die Leistungsvermessung eine Reihe von Herausforderungen identifiziert. Dazu zählen:

- Die Berechnung einer Rotoräquivalentwindgeschwindigkeit (REWS) aus LIDAR-Messungen.
- Verringerung der LIDAR Messunsicherheit im Vergleich zu Schalenanemometern.
- Anwendung von LIDAR in komplexem Gelände.

All diese Themen sind, teilweise in Zusammenarbeit mit anderen Gruppen, Gegenstand von Aktivitäten des Task 32. So wurde im Jahr 2016 vom Task 32 mit Unterstützung der „Power Curve Working Group“ ein Workshop abgehalten (Workshop #4, Dezember 2016 in Glasgow, England), bei dem unterschiedliche Methoden zur Unsicherheitsbewertung anhand von zuvor ausgearbeiteten Beispielfällen verglichen wurden.

Daran anknüpfend wurde vom Task 32, wieder in Zusammenwirkung mit der „Power Curve Working Group“, eine weitere Runde von vergleichenden Auswertungen organisiert. Ziel war es dabei, die Unsicherheiten bei Leistungsvermessungen abzuschätzen, wenn ein LIDAR als alleinstehende Messung (ohne zusätzlichem Messmast) zur Anwendung kommt. Das Ergebnis dieses Vergleichs war, dass mit den derzeit verwendeten LIDAR Kalibrierungen und Messmethoden, die alleinige Verwendung von LIDAR eine höhere Messunsicherheit mit sich bringt (Simmons, et al. 2018). Diese zusätzliche Unsicherheit kann jedoch vermutlich auf einfache Weise durch verbesserte Kalibrierungsmethoden behoben werden.

Gondel-basierte Messungen

In bzw. auf den Gondeln von WKA montierte LIDAR-Geräte sind ein mögliches Konzept für Leistungskurvenvermessungen an Land, aber auch offshore. Als Richtlinie für solche Anwendungen befindet sich derzeit die Norm IEC 61400-50-3 in Ausarbeitung, die vermutlich im Jahr 2020 veröffentlicht wird.

Gondel-basierte LIDAR-Messungen sind zum guten Teil mit denselben Herausforderungen konfrontiert wie bodengebundene Messungen. Dazu gehören:

- Entwicklung einer einheitlichen Methodik für die Rekonstruktion des Windgeschwindigkeitsfeldes.
- Bestimmung der optimalen Methoden zur Kalibrierung und Klassifizierung von Gondel-LIDAR-Geräten.
- Quantifizierung der Messunsicherheiten.
- Messungen in komplexem Gelände.

Im Jahr 2017 organisierte der Task 32 einen Workshop zum Einsatz von Gondel-LIDAR für die Leistungsvermessung (Workshop #6, September 2017, Gentofte, Dänemark). Bei diesem Workshop wurden Windrekonstruktionsmethoden und Kalibrierungsmethoden behandelt. Die wesentlichen Erkenntnisse aus diesem Workshop waren:

- Die Anforderung, bei den zukünftigen Windkraftanlagen mit sehr großen Rotordurchmessern in Distanzen vom zweieinhalbfachen des Rotordurchmessers zu messen, stellt die Grenzen der Messgeometrie der derzeit verfügbaren Gondel-LIDARs in Frage.
- Messungen im näheren Bereich vor der WKA (innerhalb der Konvergenzzone der WKA), von denen dann auf die ungestörte, freie Windgeschwindigkeit zurückgerechnet wird, stellen eine vielversprechende Option dar.
- Gondel-LIDARs sind potenziell auch eine mögliche Lösung für Leistungsvermessungen von WKA im komplexen Gelände. Jedoch müssten dafür noch einige offene Punkte geklärt werden.
- Die Installation des LIDARs auf dem Gondeldach sollte in Zusammenarbeit von LIDAR-Herstellern (kleinere und leichtere LIDARs) und den Anlagen-Herstellern (Montagepunkte für ein LIDAR am Gondeldach) vereinfacht werden.

Für die dritte Periode des Task 32 (beginnend im Jahr 2019) plant der IEA Wind Task 32 die Organisation eines weiteren Workshops, um die Entwicklung eines gemeinsamen Rahmens für die Rekonstruktion von Windfeldern und die Anwendung von Gondel-LIDAR im komplexen Gelände weiterzubringen. Die Ergebnisse dieses Workshops sollen dann in die Erstellung der IEC PT 50-3 direkt einfließen.

5.3. Lasten und Anlagensteuerung

Herkömmliche Regelsysteme für Windkraftanlagen basieren auf Messungen der Rotordrehzahl. Daher kann die Steuerung auf geänderte Windbedingungen (bspw. eine Böe) erst reagieren, nachdem sie auf die Turbine einwirkt hat. Insbesondere in Fällen, bei denen es darauf ankommt, die WKA vor struktureller Überlastung zu schützen, wäre es hingegen wünschenswert, mit Regelungseingriffen schon beginnen zu können bevor die Windlasten eintreten. Durch Messung der Windgeschwindigkeit in der Vorlaufströmung der WKA durch ein Gondel-basiertes LIDAR kann genau das erreicht werden. Dadurch lassen sich einerseits die strukturellen Lasten, andererseits auch die Leistungsregelung systematisch verbessern. Gondel-LIDAR Systeme wurden bereits im Jahr 2003 im Feld erprobt, während simulationsbasierte Studien zur LIDAR-gestützten Feedforward-Regelung im Jahr 2005 begannen. Seitdem wurden LIDAR-unterstützte Anlagensteuerungen für verschiedene Anwendungen untersucht, darunter:

(1) Steuerung des Blatteinstellwinkels: Die Geschwindigkeit der Rotorblattverstellung ist technisch begrenzt, jede Änderung bedarf daher einer gewissen Zeit. Der durch LIDAR ermöglichte frühere Steuerungs-Input ist daher für die Rotor-Drehzahlregelung und die Reduzierung der Turmfuß- und Blattwurzellasten von großem Wert.

(2) Individuelle Blattverstellung: Schräganströmungen und das Höhenprofil der Windgeschwindigkeit (Windscherung) können durch zyklisch (während des Umlauf) verstellte Blatt-

Einstellwinkel kompensiert werden. Die Information über das Windfeld kann dabei durch LIDAR-Messungen bereitgestellt werden, was zu einer Optimierung der Erträge und zu einer Reduzierung der Belastung der Rotorblätter und Antriebsstrangkomponenten führt.

(3) Drehmomentsteuerung: Die vorausschauende Windinformation ist auch für den Betrieb in der Drehmomentsteuerung (unterhalb der Nennwindgeschwindigkeit) von Vorteil.

(4) Kombinierte Drehmoment- und Blatteinstellwinkel-Steuerung: Eine solche Steuerung kann zu einer Reduzierung der Lasten im Betrieb im Bereich der Nennwindgeschwindigkeit beitragen, d.h. beim Übergang zwischen Betrieb unter und über Nennleistung.

(5) Gondelnachführung: Die Information aus LIDAR Windmessungen erlaubt eine deutlich verbesserte und genauere Gondelnachführung mit der Windrichtung als es mit herkömmlichen Windfahnen möglich ist. Dadurch ergeben sich höhere Energieerträgen und geringere Anlagenlasten.

Trotz dieser Vorteile und erfolgreicher Feldtests haben LIDAR-unterstützte Steuerungen noch keine nennenswerte praktische Anwendung gefunden. Als Ursachen dafür wurden vom Task 32 folgende Punkte ausgemacht:

(1) Multidisziplinäre Natur der LIDAR-unterstützten Steuerung: Dadurch ergibt sich eine unzulängliche Zusammenarbeit zwischen Herstellern von LIDAR-Geräten und den WKA-Herstellern, die für den Entwurf der Steuerungsalgorithmen verantwortlich sind. Auch sind die Anforderungen an die LIDAR Messungen anders als in anderen (Mess)-Anwendungen (z.B. hohe geforderte Zuverlässigkeit, da sicherheitsrelevante Funktion). Die notwendigen Adaptierungen der LIDAR Systeme einerseits und der Steuerungsalgorithmen andererseits sind jedoch in gemeinsamer Zusammenarbeit beider Parteien sicherlich möglich.

(2) Auswirkungen auf Gesamt-Energiekosten sind unklar: Als Vorteil durch den Einsatz von LIDAR ergeben sich verringerte strukturellen Belastung, oder umgekehrt höhere Erträge bei gleichbleibenden Lasten. Beides bedeutet einen Kostenvorteil. Ein aufwendiger Sensor wie ein LIDAR verursacht jedoch auch höhere Anschaffungs- als auch Betriebskosten. Unter dem Strich kann es schwierig sein zu bestimmen, ob der Nutzen oder die zusätzlichen Kosten von LIDAR überwiegen.

(3) Fehlende Richtlinien für die Zertifizierung: Bei der Typen-Zertifizierung von Windkraftanlagen definiert die Norm IEC 61400-1 die Auslegungs-Lastfälle (DLCs), die vom Anlagen-Hersteller in numerischen Rechnungen in Hinsicht auf Extrem- und Ermüdungslasten nachzuweisen sind. Eine LIDAR-unterstützte Anlagensteuerung stellt dabei eine zusätzliche Anforderung dar, die durch Anpassung vorhandener DLC und/oder durch das Schaffen neuer, zusätzlicher DLC abgebildet werden muss.

Um diesen Herausforderungen zu begegnen, wurde vom Task 32 ein Workshop zu diesem Thema abgehalten (Workshop #2, Juli 2016, Boston, USA). Das Ziel dieses Workshops war es, Anlagenhersteller, LIDAR-Hersteller und die Forschungsgemeinschaft zusammenzubringen, um die Anforderungen von LIDAR für Steuerungsanwendungen zu erarbeiten. Diskutierte Maßnahmen waren z.B. eine Optimierung der Abtastmuster des LIDARs gemäß den Anforderungen in der Anlagensteuerung, um die LIDAR-Leistung zu verbessern. Durch eine geeignete Kommunikation des Verfügbarkeitsstatus des LIDAR sollte es auch ermöglicht werden, bei unzureichender

Verfügbarkeit des LIDARs die WKA in einem "sicheren Modus" mit verringerter Leistung weiter zu betreiben. Für weitere Aktivitäten wurde eine Zusammenarbeit mit IEA Wind Task 37 „Systems Engineering“ vorgeschlagen.

Um die Notwendigkeit klarer Richtlinien für die Zertifizierung zum Thema zu machen und um die Akzeptanz von LIDAR in der Anlagensteuerung zu fördern, hat der Task 32 in weiterer Folge einen weiteren Workshop durchgeführt (Workshop #8, Jänner 2018, Hamburg, Deutschland). Dabei wurden vier für die Zertifizierung wesentliche Themen angesprochen: (1) das LIDAR-System, (2) Simulationsmodelle und Lastsimulationen, (3) das Steuerungs- und Schutzsystem und (4) Prototypmessungen. Bei dem Workshop wurden gemeinsam von LIDAR-Herstellern, WKA-Herstellern, Forschungseinrichtungen sowie Zertifizierern Vorschläge für Richtlinien für die Typenzertifizierung von WKA mit einer Steuerungseinbindung von LIDAR erstellt. Zu den Herausforderungen zählen dabei die Berücksichtigung eines möglichen Ausfalls des LIDAR-Systems in den Extremlast-Lastfallannahmen und die Verbindung von standortspezifischen Einflüssen auf die LIDAR-Messungen mit den für die Zertifizierung von WKA verwendeten Standard-Windklassen. Die Ergebnisse diese Workshops wurden anschließend in einem IEA Bericht zusammengefasst und veröffentlicht (Schlipf, et al. 2018).

5.4. Komplexe Strömungsbedingungen

Die Möglichkeit mit LIDAR-Geräten Windprofile bis in größeren Höhen zu vermessen und große Messvolumen von einem Punkt aus zu erfassen, machen LIDAR zu einem potentiell sehr wertvollen Werkzeug für Windmessungen in komplexen Strömungsverhältnissen. Komplexe Strömungsverhältnisse findet man z.B. in der Vor- und Nachlaufströmung von WKA, können aber vor Allem auch aufgrund von Standortbedingungen wie Geländetopographie, Vegetation oder Bauwerke auftreten. Komplexen Strömungen sind im Allgemeinen sowohl räumlich heterogen als auch instationär, d.h. sie weisen eine zeitliche Variabilität auf unterschiedlichen Zeitskalen auf. Beide Aspekte erschweren die messtechnische Erfassung des Windgeschwindigkeitsfeldes.

Der erste Schritt des IEA Wind Task 32 die Herausforderungen von komplexen Strömungen anzugehen, war die in der Forschungsgemeinschaft vorhandene Expertise sowie Methoden in einem Dokument zusammengetragen und als Stand der Technik zu veröffentlichen (Clifton, Boquet, et al. 2015). Schon früh wurde es dabei klar, dass es keine eindeutige Definition für das Vorliegen von „komplexen Strömungsbedingungen“ gibt. Die praktische Empfehlung lautet daher, dass mit komplexen Strömungsbedingungen gerechnet werden muss, wenn einer der folgenden Indikatoren erfüllt ist:

- Komplexes Gelände
- Heterogene Oberflächenrauigkeiten, beispielsweise Bewaldung
- Das Vorhandensein natürlicher oder künstlicher Hindernisse die eine turbulente Nachlaufströmung haben können
- Lokale meteorologische oder topographische Bedingungen, die eine inhomogene Strömung bedingen könnten
- Erhöhte Abweichung zwischen LIDAR und „klassischen“ Windmessungen (Ultraschallanemometer oder Schalenanemometer)

Zum Thema LIDAR-Messungen in komplexen Strömungsverhältnissen wurde vom Task 32 eine Reihe von Workshops veranstaltet. In Zusammenarbeit mit dem IEA Wind Task 31 wurde 2016 ein Workshop zur LIDAR-Vermessung von Nachlaufströmungen hinter WKA (Workshop #3, Oktober 2016, München, Deutschland) abgehalten. Eine weitere Veranstaltung fand im Juni 2017 statt, bei der Anwendungsfälle für LIDAR in komplexen Strömungsverhältnissen definiert wurden (Workshop #5, Juni 2017, Glasgow, Schottland). Mit LIDAR ergeben sich eine Vielzahl von neuen Messkonzepten und -Strategien, die über die Möglichkeiten von konventionellen Messmasten weit hinausgehen. Ein Ergebnis dieses Workshops war somit die Erkenntnis, dass dem Verhältnis zwischen den Anforderungen an eine Messkampagne und den spezifischen Fähigkeiten von LIDAR oft nur ungenügend Aufmerksamkeit zuteilwird. Das hängt vermutlich damit zusammen, dass Messungen in der Windenergiebranche lange Zeit von den technischen Limitierungen bei Mastmessungen geprägt waren. Der theoretisch notwendige bzw. wünschenswerte Messumfang wurde daher nur selten überhaupt ausformuliert. Eine der Herausforderung von LIDAR ist nun die Notwendigkeit, grundlegende Ziele angesichts der jetzt verfügbaren Messmöglichkeiten zu überprüfen.

Im November 2017 fand ein weiterer Workshop statt, bei dem die Hindernisse für die Verwendung von LIDAR für Messungen in komplexem Gelände diskutiert und zusammengestellt wurden (Workshop #7, November 2017, Stuttgart, Deutschland). Bei diesem Workshop wurden durch die Teilnehmer die folgenden Hindernisse und Lösungsansätze identifiziert:

- Damit geeignete Methoden ausgewählt werden können, muss das mögliche Vorhandensein von komplexen Strömungsverhältnissen möglichst schon vor dem Entwurf der Messkampagne erkannt werden. Das wird dadurch erschwert, dass es, wie oben beschrieben, keine eindeutigen Kriterien für „komplexe Strömungen“ gibt. Das Vorliegen von komplexen Strömungsverhältnissen muss bei der Auswertung von Messdaten gegebenenfalls erkannt werden, damit geeignete Analysemethoden verwendet werden können.
- Multi-LIDAR-Messungen können im Prinzip die Schwierigkeiten der Strömungsrekonstruktion vereinfachen (mit zwei LIDAR-Geräten) oder ganz vermeiden (mit drei LIDARs). Die Verwendung von zwei oder mehr LIDAR ist jedoch aufgrund der Kosten für die Ausrüstung, der Notwendigkeit einer detaillierten Kampagnenplanung und den technischen Schwierigkeiten beim gleichzeitigen Betrieb mehrerer LIDARs mit sehr hohem Aufwand verbunden. Der Task 32 konnte anhand von erfolgreichen Beispielen für Multi-LIDAR-Messungen zeigen, dass solche Messungen auch in der Praxis sinnvoll funktionieren können. In einem von Task 31 und Task 32 gemeinsam abgehaltenen Treffen wurde eine Diskussion über Anwendungen von Multi-LIDAR in der Vermessung von Nachlaufströmungen angestoßen. Mit diesen Aktivitäten möchte der Task 32 die Anwendung von Multi-LIDAR in Bereiche voranbringen, die von den damit verbundenen Möglichkeiten stark profitieren würden, aber Multi-LIDAR aufgrund der technischen und Methodischen Hürden bislang nicht eingesetzt haben.
- Unklare Methoden für die Abschätzung der Messunsicherheit von LIDAR in komplexem Gelände: Eine Abschätzung der mit der Rekonstruktion von Windfeldern verbundenen Unsicherheit ist dabei eine besondere Herausforderung. In den Task 32-Workshops, wurden dafür zwei Lösungsansätze vorgeschlagen und diskutiert:
 - Simulation von Lidar-Messungen in High-Fidelity-Windfeldsimulationen.

- Anwendung der Fehlerfortpflanzung auf die Windfeldrekonstruktionsmethode.
- Generell bedarf die Auswertung von LIDAR Messdaten mittels numerischer Strömungssimulationen weiterer Entwicklung: Im Allgemeinen ist die LIDAR-Community hinsichtlich der Kombination von Messungen und Strömungssimulationen wegen dessen Komplexität, des breiten Umfangs des Themas und des aktuell frühen Entwicklungsstandes vorsichtig. Von Seiten des Task 32, wurde daher die Notwendigkeit für einen State-of-the-Art Bericht erkannt, um die weitere Entwicklung der Technologie zu fördern und voranzutreiben

5.5. Publikationen des Task 32

In Tabelle 2 sind die wichtigsten Publikationen aus der zweiten Periode des IEA Wind Task 32 zusammengefasst. In dieser Liste sind nur solche Publikationen erfasst, die in ausdrücklichem Bezug zum Task 32 stehen. Andere Publikationen von Mitgliedern des Task 32 zu Thema LIDAR, die sich jedoch nicht direkt auf den Task 32 beziehen, scheinen nicht auf.

Technische Berichte und Empfehlungen:
IEA Wind Expert Report: Estimating Turbulence Statistics and Parameters from Ground- and Nacelle-Based Lidar Measurements A. Sathe, R. Banta, L. Pauscher, K. Vogstad, D. Schlipf, S. Wylie. Oktober 2015
Remote Sensing of Complex Flows by Doppler Wind Lidar: Issues and Preliminary Recommendations A. Clifton, M. Boquet, E. Burin, M. Hofsäß, T. Klaas, K. Vogstad, P. Clive, M. Harris, S. Wylie, E. Osler, R. Banta, A. Choukulkar, J. Lundquist and M. Aitken. Dezember 2015
IEA Wind Task 32 State-of-the-Art Report: Recommended Practices for Floating Lidar Systems, Issue 1.0 O. Bischoff, I. Würth, J. Gottschall, B. Gribben, J. Hughes, D. Stein, H. Verhoef. Februar 2016
Expert Group Report On Recommended Practices 18. Floating Lidar Systems, 1st Edition O. Bischoff, I. Würth, J. Gottschall, B. Gribben, J. Hughes, D. Stein, H. Verhoef September 2017
Beiträge in Fachjournalen:
Minute-Scale Forecasting of Wind Power—Results from the Collaborative Workshop of IEA Wind Task 32 and 36 I. Würth, L. Valdecabres, E. Simon, C. Möhrlen, B. Uzunoğlu, C. Gilbert, G. Giebel, D. Schlipf, A. Kaifel Energies, Vol. 12, p.712, 2019
IEA Wind Task 32: Best Practices for the Certification of Lidar-Assisted Control Applications D. Schlipf, N. Hille, S. Raach, A. Scholbrock, E. Simley

Journal of Physics: Conf. Series 1102, 2018
<p>Optimizing Lidars for Wind Turbine Control Applications—Results from the IEA Wind Task 32 Workshop E. Simley, H. Fürst, F. Haizmann, D. Schlipf Remote Sens. Vol 10, p.863, 2018</p>
<p>IEA Wind Task 32: Wind Lidar Identifying and Mitigating Barriers to the Adoption of Wind Lidar A. Clifton, P. Clive, J. Gottschall, D. Schlipf, E. Simley, L. Simmons, D. Stein, D. Trabucchi, N. Vasiljevic, I. Würth Remote Sens. Vol. 10, p.406, 2018</p>
<p>Power curve measurement uncertainty – follow up comparative exercise for IEA Task 32 L. Simmons, K. Franke, C. Tsouknidas, J. Saez-Gallego, E. Weyer, & P. Gómez. Journal of Physics: Conf. Series 1037, 2018</p>
Konferenzbeiträge (Auswahl):
<p>Floating Lidar Systems: Current Technology Status and Requirements for Improved Maturity J. Gottschall, B. Gribben, J. Hughes, D. Stein, I. Würth, O. Bischoff, D. Schlipf, H. Verhoef, and A. Clifton. Wind Europe Summit 2016, Hamburg, September 2016</p>
<p>Identifying and Mitigating Barriers to Using Lidar for Wind Energy Applications A. Clifton Wind Energy Science Conference 2017, Lyngby, Juni 2017</p>

Tabelle 2 Publikationen des IEA Wind Task 32 in dessen zweiter Periode.

6 Vernetzung und Ergebnistransfer

Die Hauptziele des Task 32 sind es, die Entwicklung von LIDAR in den vielfachen technischen und methodischen Aspekten voranzubringen und darüber hinaus die kommerzielle Nutzung von LIDAR zu erleichtern und zu fördern. Die Zielgruppe für die Ergebnisse des Task 32 ist demgemäß sehr breit und umfasst Projektentwickler, Anlagenbetreiber, Hersteller von LIDAR-Geräten, WKA-Hersteller sowie Forschungseinrichtungen.

Um die Wirksamkeit der IEA Forschungskoooperation sicherzustellen, werden alle Berichte über die erzielten Ergebnisse auf der Webseite der IEA Wind frei verfügbar veröffentlicht (community.ieawind.org/publications). Dort finden sich demnach auch die wesentlichen Berichte aus dem Task 32. Zusätzlich wurden von Mitgliedern des Task 32 wissenschaftliche Publikationen verfasst, die in einschlägigen internationalen Journalen veröffentlicht worden sind. Die wissenschaftliche Anerkennung und das fachliche Renommée des IEA Wind und des Task 32 führen dazu, dass den Ergebnisberichten des Task 32 in der internationalen wie nationalen Windenergiebranche und unter den Technologieanwendern großes Gewicht beigemessen wird. Das gilt insbesondere für die sogenannten „Recommended Practices“ Dokumente, die für Anwendungsfällen, welche nicht durch einschlägige Normen beschrieben sind, vielfach den Charakter eines de-facto Standards haben.

Darüber hinaus finden die im Task 32 erarbeiteten Erkenntnisse auch direkt und indirekt Eingang in die Erstellung von Normen und Richtlinien (z.B. IEC-61400-12-1 zur Leistungskurvenvermessung). Auf die eine oder andere Weise haben also die im Task 32 diskutierten Fragestellungen und erarbeiteten Ergebnisse eine große Wirkung auf die kommerziellen Anwendungen von LIDAR-Geräten sowie die Entwicklung von Messkonzepten und die Methoden der Dateninterpretation.

Diese Wirkung der Ergebnisse des Task 32 gilt zunächst auf internationaler Ebene. Die Entwicklungen im Einsatz von LIDAR-Geräten auf österreichischer Ebene folgen den internationalen Trends und Vorgaben, weshalb die aktive Kooperation mit der internationalen Forschungsgemeinschaft im Rahmen des Task 32 sehr wichtig ist. Das betrifft sowohl den Transfer von internationaler Expertise in die österreichische Windenergiebranche, als auch die Kommunikation von Forschungsanliegen aus der LIDAR Anwendung an Österreichischen Standorten hin zur internationalen Forschungsgemeinschaft.

Zusätzlich zu den internationalen Kommunikations-Aktivitäten des Task 32 (www.ieawindtask32.org), wurde die österreichische Windenergie Branche auch bei nationalen Veranstaltungen wie bei den Treffen der IGW Branchenplattform von der Energiewerkstatt über die laufenden wissenschaftlichen Aspekte der LIDAR Technologien informiert. Darüber hinaus werden alle für die österreichischen Herausforderungen relevanten Publikationen des Task 32 auf der Homepage www.nachhaltigwirtschaften.at bereitgestellt.

7 Schlussfolgerungen, Ausblick und Empfehlungen

LIDAR Windmessungen sind eine Technologie mit vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten im Bereich der Windenergie. Diese reichen von der Standortbewertung, der Anlagenvermessung und der adaptiven Steuerung von WKA bis zur Messung von komplexen Strömungsbedingungen. Bei diesen Themen tragen Windmessungen mit LIDAR-Geräten z.B. durch die Vereinfachung des Messaufwandes, oder durch die Ermöglichung von höheren Energieerträgen dazu bei, die Erzeugungskosten von Windenergie weiter zu senken. Dennoch wird LIDAR in der Windenergiebranche noch nicht uneingeschränkt akzeptiert und verwendet. Ziel des IEA Wind Task 32 ist es deshalb, die Hindernisse die der uneingeschränkten Anwendung von LIDAR-Geräten für Standortbewertungen, Leistungsvermessungen, LIDAR-unterstützte Steuerung und für die Analyse komplexer Strömungsverhältnisse entgegenstehen, zu identifizieren und im Weiteren auszuräumen. Der Task 32 hat dabei folgende Themen ausgemacht, die in allen Anwendungsbereichen von Wind LIDAR in ähnlicher Form auftreten.

Mangel an Richtlinien und Normen: Für viele Anwendungen ist es entscheidend, dass Vorgaben und Empfehlungen durch internationale und allgemein anerkannte Regelungen verbindlich gemacht werden. In manchen Anwendungen gibt es diesbezüglich schon erste veröffentlichte Richtlinien, in anderen Fällen ist das in absehbarer Zukunft geplant.

Mangel an Expertise: Wie bei jeder neuen Technologie gibt es zunächst nur wenig Praxiserfahrung und eine kleine Anzahl von Anwendungs-Experten. Neben den technologischen Hürden wird auch dadurch der weitere Einsatz von LIDAR für Windenergieanwendungen erschwert.

Bedarf an Datenverarbeitungstools und einheitlichen Datenformaten: LIDAR Messungen arbeiten im Hintergrund mit deutlich komplexeren und umfangreicheren Daten und Algorithmen als dies bei konventionellen Windmessungen der Fall ist. Obwohl kommerzielle Schnittstellenprogramme die von einem LIDAR gelieferte Datenmenge im Regelfall auf einen handhabbaren Umfang reduzieren, gibt es eine Reihe von Fällen, in denen eine tiefere Analyse notwendig ist.

Bedarf an verbesserten physikalischen Modellen: Die Rekonstruktion des Windgeschwindigkeitsfeldes aus den LIDAR Messungen erfordert im komplexen Gelände und in einer Reihe anderer Anwendungen eine numerische Strömungsmodellierung. Obwohl in diesem Bereich schon einiges erzielt wurde, sind diesbezüglich weitere Anstrengungen notwendig.

Infolge dieser Hürden wird aktuell noch verhindert, dass das Potential der LIDAR Technologie bei Anwendungen im Bereich der Windenergie in vollen Umfang zur Geltung kommt. Trotz der Fortschritte bei der Etablierung von LIDAR für Windenergieanwendungen besteht noch erheblicher Forschungsbedarf auf diesem Gebiet. Dahingehend hat der TASK 32 bereits eine ganze Reihe von Aktivitäten gesetzt und weitere sind für die Zukunft geplant.

Literaturverzeichnis

- Bischoff, O., et al. „Expert Group Report On Recommended Practices 18. Floating Lidar Systems, 1st Edition.“ 2017.
- Bischoff, O., et al. „IEA Wind Task 32 State-of-the-Art Report: Recommended Practices for Floating Lidar Systems, Issue 1.0.“ 2016.
- Clifton, A. „Identifying and Mitigating Barriers to Using Lidar for Wind Energy Applications.“ *Wind Energy Science Conference 2017*. Lyngby, 2017.
- Clifton, A., et al. „IEA Wind Task 32: Wind Lidar Identifying and Mitigating Barriers to the Adoption of Wind Lidar.“ *Remote Sens. Vol. 10*, 2018: 406.
- Clifton, A., et al. „Remote Sensing of Complex Flows by Doppler Wind Lidar: Issues and Preliminary Recommendations.“ 2015.
- Gottschall, J., et al. „Floating Lidar Systems: Current Technology Status and Requirements for Improved Maturity.“ *Wind Europe Summit 2016*. Hamburg, 2016.
- IEC. „EN 61400-12-1 Windenergieanlagen Teil 12-1: Messung des Leistungsverhaltens von Windenergieanlagen (IEC 61400-12-1:2017).“ 2018.
- Sathe, A., J. Mann, N. Vasiljevic, und G. Lea. „A six-beam method to measure turbulence statistics using ground based lidars.“ *Atmos. Meas Tech. 8*, p.729, 2015.
- Sathe, A., R. Banta, L. Pauscher, K. Vogstad, D. Schlipf, und S. Wylie. „IEA Wind Expert Report: Estimating Turbulence Statistics and Parameters from Ground- and Nacelle-Based Lidar Measurements.“ 2015.
- Schlipf, D., N. Hille, S. Raach, A. Scholbrock, und E. Simley. „IEA Wind Task 32: Best Practices for the Certification of Lidar-Assisted Control Applications.“ *Journal of Physics: Conf. Series 1102*, 2018.
- Simmons, L., K. Franke, C. Tsouknidas, J. Saez-Gallego, E. Weyer, und P. Gómez. „Power curve measurement uncertainty – follow up comparative exercise for IEA Task 32.“ *Journal of Physics: Conf. Series 1037*, 2018.
- Würth, I., et al. „Minute-Scale Forecasting of Wind Power—Results from the Collaborative Workshop of IEA Wind Task 32 and 36.“ *Energies Vol.12*, 2019: 712.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Themen im IEA Wind Task 32. 16


Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Liste der Teilnehmenden Nationen und Organisationen. 12

Tabelle 2 Publikationen des IEA Wind Task 32 in dessen zweiter Periode. 26

Abkürzungsverzeichnis

bmvit	Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie
DLC	Englisch: „design load case“ Auslegungs-Lastfallannahme
ExCo	Executive committee der IEA Wind
FFG	Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft
FLS	Englisch: „floating lidar systems“ Schwimmende LIDAR Systeme.
IEA	International Energy Agency (Internationale Energieagentur)
IEC	International Electrotechnical Commission
IGW	Interessengemeinschaft Windkraft Österreich
LIDAR	Englisch: „light detection and ranging“, in Anlehnung an den Begriff RADAR für „radio detection and ranging“
LOS	Englisch: „line of sight“ Visierlinie der LIDAR Messung
REWS	Englisch: „rotor equivalent wind speed“ Rotoräquivalentwindgeschwindigkeit
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition (Anlagen-Leittechnik und Überwachung)
WKA	Windkraftanlage



Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie
Radetzkystraße 2, 1030 Wien
[bmvit.gv.at](https://www.bmvit.gv.at)