

# FLIEGENDE MESSPLATTFORM FÜR DIE WETTERANALYSE

## ERMITTLUNG DES STRAHLUNGSTRANSFERS DURCH DIE ATMOSPHÄRE MIT QUADCOPTER ZUM BESSEREN VERSTÄNDNIS VON WOLKEN UND EINSTRAHLUNG

Wolken und deren Dynamik sind für komplexe Einstrahlungsszenarien verantwortlich und verursachen hauptsächlich die räumliche und zeitliche Variabilität der Solarstrahlung. Einzelne Einstrahlungssensoren in Solarkraftwerken oder in Verteilnetzen sind nicht in der Lage das komplexe Einstrahlungsprofil in der Fläche ausreichend detailliert abzubilden. Auch Satellitendaten können durch ihre begrenzte Auflösung die räumlichen Effekte nur bedingt darstellen und prognostizieren. Auf dieser Basis sind zeitlich und räumlich hochauflösende Solarstromprognosen aus „All Sky Imagern“ Bestandteil gegenwärtiger Forschung und Entwicklung an der TH Rosenheim. Die Ergebnisse sollen eine sinnvolle Ergänzung zu Vorhersagen aus Satelliten werden. Diese Daten sind besonders für Leitwarten in Verteilnetzen oder virtuelle Kraftwerken interessant. Durch den Einsatz einer fliegenden Messplattform soll dazu ein tieferes Verständnis für die räumliche Einstrahlung und für die Bedeutung von Wolkenarten und -rändern für den Strahlungstransfer durch die Atmosphäre entwickelt werden.

### Am Vorbild der Bienen orientiert – ‚Pollensäcke‘ transportieren Mess- und Kommunikationstechnik

Für den hochwertigen Quadrocopter mit zwei Kamera-Gimbals und 15 Minuten Flugzeit, wurde eine dreiteilige Messplattform entwickelt (Bild 1). Um den Schwerpunkt und die Flugeigenschaften der Drohne nicht wesentlich zu beeinträchtigen, wurden die Lasten neben einem Top-Case auf zwei ‚Pollensäcke‘ an den Drohnenbeinen aufgeteilt. Bienen transportieren auf diese Art den Blütenstaub an den Hinterbeinen zu ihrem Bienenstock. Durch einen weiterentwickelten Gehäuseaufbau konnten in einem 3D-Druckverfahren 30% Gewicht zu einem vorhergehenden Prototyp eingespart und dadurch wertvolle Flugzeit erhöht werden. Alle Cases und damit Komponenten sind durch den modularen

Aufbau leicht zugänglich. Das Top-Case besteht aus drei redundanten Si-Pyranometern, drei PT100-Temperatursensoren und einer 360°-Kamera, die als All Sky Imager fungiert. Die Antenne eines GNSS Empfängers zur Positionsbestimmung und Navigation der Drohne wurde auf einer Carbonverlängerung montiert, um nicht von anderen Sendern gestört zu werden. In dem einen Pollensack sind Sensoren für die Messung von Luftdruck und Luftfeuchtigkeit sowie weitere elektronische Komponenten für den Betrieb der Messstation untergebracht. In dem zweiten Pollensack sind Bauteile für den 2,4-GHz-Datentransfer zur Bodenstation, die Antenne zur Datenübertragung und die Stromversorgung der Messtechnik untergebracht.

### Datenübertragung und –analyse in Echtzeit

Die Hardware der Drohne arbeitet autonom. Kernstück ist ein Einplatinencomputer, auf dem die Steuerungssoftware läuft, um die Sensoren und den

GNSS-Empfänger zu erfassen. Die Software übersetzt die erfassten Daten in ein framebasiertes Datenübertragungsprotokoll. Nach der Serialisierung sendet die Software die Frames an die Funkeinheit zur Übertragung an die Bodenstation. Die Bodenhardware verbindet die Funkstrecke der Drohne mit einer LTE-Funkstrecke zu der nächstgelegenen LTE-Basisstation und sendet die Daten ohne Änderung an die LTE-Infrastruktur. Virtuelle Maschinen an der Hochschule beherbergen die Master Control und die Datenbank-Software. Die Messdaten werden zu einem datenbankfähigen Protokoll konvertiert, gespeichert und in Echtzeit visualisiert.

### Erste Datenauswertungen zur räumlichen Verteilung von Strahlungsleistungen

Erste ‚serpentinenförmige‘ Flugmanöver bei annähernd stehender Bewölkung also sehr kleinen Wolkengeschwindigkeitsvektoren (Cloud Motion Vector - CMV), zeigten schon sehr schön die Möglichkeiten zur Charakterisierung der



Bild 1: Das Bild zeigt den verwendeten Quadrocopter (DJI Matrice 210 RTK) mit einem Gesamtgewicht unter 5 kg und einer maximalen Traglast von 2,3 kg. Schön zu sehen sind der Top-Case als Sensorplattform – auch für weitere, neue Sensoren und die beiden Side-Cases oder Pollensäcke mit der Mess- und Kommunikationstechnik.

räumlichen Einstrahlungsverteilung und deren Korrelation zu Wolken durch die Kameraaufnahmen. Bei größeren CMVs wurden andere Flugmanöver gewählt. Es wurden anschließend Flugbahnen senkrecht zu den Wolkenbewegungsvektoren (Cloud Motion Vektoren) geflogen. Die aufgenommenen Messdaten wurden mit Hilfe der gerechneten, anliegenden CMVs in die Fläche projiziert [1]. Bild 2 zeigt in einer exemplarischen Datenauswertung die Methode und sehr deutlich die räumliche und zeitliche Variabilität der Solarstrahlung. Die hier in der Grafik visualisierten Daten können beispielsweise für die Simulation räumlich verteilter PV-Systeme oder die genaue Berechnung des Betriebsverhaltens großer PV-Anlagen verwendet werden. Auch wurde auch Basis bisheriger Arbeiten zur zeitlichen Charakterisierung [2] [3] mit der Entwicklung von Kenngrößen zur räumlichen Einstrahlungsverteilung begonnen.

## Potenziale

Unbemannte Flugsysteme bieten eine hohe Flexibilität und die Möglichkeit direkter Anpassung (Responsivität) an die Witterungssituation in der Messung flächiger und räumlicher Solarstrahlung. Im Gegensatz zu bodengebundenen Messstationen sind Drohnen nicht an einen Ort gebunden und können in kurzer Zeit große Flächen abfliegen und hochauflösende Daten sammeln. Durch den modularen Aufbau der Elektronik lassen sich die Messtechnik an beliebige weitere Anforderungen und Fragestellungen anpassen, weshalb sich ein über die Energiemeteorologie hinaus denkbare Potenzial ergibt.

## Resümee und Ausblick

Die entwickelte Messtechnik und Datenkommunikation im Rahmen des ICAROS-Projektes funktioniert bereits sehr zuverlässig und in Echtzeit [4] [5]. Erste Analysen zeigen die räumliche und zeitliche Variabilität der Solarstrahlung. In einem nächsten Schritt soll die Korrelation der Bestrahlungsstärke zu All Sky Images und Cloud Motion Vektoren hergestellt und untersucht werden. Dazu werden weitere automatisierte Messflüge durchgeführt und die Datenauswertungen in Matlab optimiert. Parallel wird die Hardware sukzessive weiterentwickelt und der Umfang der Messsensoren erweitert. Während der Entwicklungen werden regelmäßig Testflüge absolviert, um die Flugeigenschaften und Flugmanöver zu testen und um weitere Messdaten zu sammeln. Zudem sollen zukünftig die Messungen in einem Drohenschwarm absolviert werden, um räumliche Effekte zeitgleich zu erfassen.

## Quellen

- [1] Andreas Boschert, Mike Zehner, Josef Schreder, Fabian Flade, Cloud Motion Vektoren in All Sky Images für die Vorhersage einer zeitlich und räumlich hochauflösenden Einstrahlung, 35. PV-Symposium 2020.
- [2] Mike Zehner, Toni Weigl, Matthias Hartmann, et al., Europaweite Untersuchung des Irradiance Enhancement Effects und erste Analysen der Bedeutung im PV-System, 26. PV-Symposium 2011.
- [3] Natalie Stut, Andreas Boschert, Florian Kaiser, Mike Zehner, et al., Analyse von Einstrahlungsvolatilität und -überhöhungen in hoch aufgelösten Datensätzen des DWD und MIM zur

Untersuchung von Korrelationen zu meteorolog. Messdaten, 35. PV-Symposium 2020.

- [4] Mike Zehner, Maximilian Brodbeck, Maik Jäkel, Martin Heigl, Andreas Boschert, et al., Einsatz von Quadrocoptern zur Messung räumlich verteilter Einstrahlungsdaten und Analyse von Cloud-Motion-Vektoren (CMV), 36. PV-Symposium 2021.
- [5] Mike Zehner, Maik Jäkel, Martin Heigl, Max Brodbeck, Florian Kaiser, Andreas Boschert, et al., Using Quadrocopters to Measure Spatially Distributed Irradiance Data and Analyse Cloud Motion Vectors, 38th EU PVSEC 2021

## ZU DEN AUTOREN:

### ► Prof. Mike Zehner

leitet das Labor für Solare Energiesysteme am Rosenheimer Technologiezentrum Energie und Gebäude (roteg) des Studiengangs Energie und Gebäudetechnologie der Technischen Hochschule Rosenheim.

michael.zehner@th-rosenheim.de

### ► Martin Heigl

ist Labor- und Entwicklungsingenieur für die Fachgebiete Konstruktion und Softwareentwicklung.

### ► Maik Jäkel

ist wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Fakultät für Informatik und ist ausgebildeter Drohnen-Pilot mit langjährigem Erfahrungshintergrund unterschiedlicher Fluggeräte, Drohnen-Führerschein und allen erforderlichen Kenntnissnachweisen.

### ► Maximilian Brodbeck

ist Master-Student in dem Studiengang Ingenieurwissenschaften und forscht im Rahmen seiner Projektarbeit an dem ICAROS-Projekt.

### ► Florian Kaiser

ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Zentrum für Forschung, Entwicklung und Transfer der Hochschule.

### ► Andreas Boschert

ist ebenfalls wissenschaftlicher Mitarbeiter in der F&E und forscht im Rahmen seiner kooperativen Promotion mit der Technischen Universität München an dem Thema Solarstromprognosen mit All Sky Imagern.

## Unterstützung

Das Projekt ICAROS wird von der Technischen Hochschule Rosenheim im Rahmen einer Vorlauforschungsförderung und von dem Solarenergieförderverein Bayern e.V. finanziell unterstützt. Die „Pollensäcke“ wurden am Rosenheimer Labor für interdisziplinäre Projekte (RO-LIP) im 3D-Druckverfahren hergestellt.

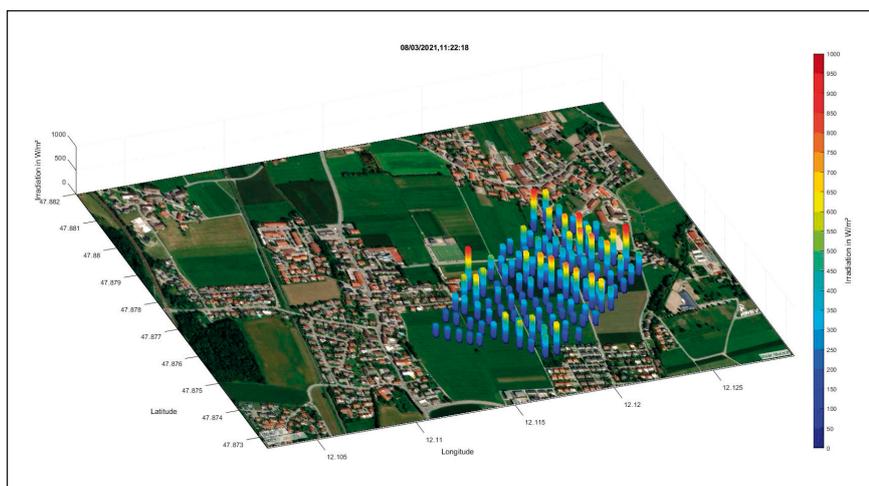


Bild 2: Ein Beispiel für die räumliche und zeitliche Strahlungsverteilung als ein erstes Ergebnis des Einsatzes der fliegenden Messplattform. Zu sehen ist das nördlich der TH Rosenheim gewählte Flugfeld von der aus sich die Einstrahlungsmatrix aufbaut. Diese räumliche Einstrahlungsverteilung wird analysiert, charakterisiert oder für räumliche Simulationsaufgaben verwendet.