

Modellierung der räumlichen Ausdehnung von Einstrahlungsüberhöhungen und Analyse von deren Abbildung in sehr hoch aufgelösten Datensätzen

MIKE ZEHNER⁽¹⁾⁽³⁾ • PATRICIA BUNG⁽¹⁾ • VALERIAN KATHAN⁽¹⁾ • OLIVER SCHRANK⁽¹⁾ • LUCIA NAGL⁽¹⁾ • THOMAS HELLWEGER⁽¹⁾ • GERD BECKER⁽¹⁾
BERNHARD MAYER⁽²⁾ • THOMAS BETTS⁽³⁾ • RALPH GOTTSCHALG⁽³⁾ • DAVID RENNE⁽⁴⁾ • WERNER KNAUPP⁽⁵⁾ • BODO GIESLER⁽⁶⁾ • MICHAEL SCHMIDT⁽⁷⁾ • OLIVER MAYER⁽⁷⁾

1 Motivation

Einstrahlungsüberhöhungen (Irradiance Enhancements – IE) sind Ereignisse, bei denen die Dichten der Strahlungsleistung bei einem bewölkten Himmel die Werte bei klarem Himmel (clear sky) deutlich übersteigen. Interessant ist das Reaktionsverhalten von PV-Anlagen auf diesen Effekt (additiver Diffusstrahlungseintrag durch Reflektion an Cumuluswolken). Zur Analyse des Effekts wurde die räumliche Verteilung der Einstrahlungsüberhöhungen an der Erdoberfläche modelliert. Die zeitliche und räumliche Verteilung von IE-Ereignissen zeigt sich in der Analyse des Datensatzes eines Globalstrahlungsmessnetzes von NREL auf Kalaeloa Oahu (Hawaii).

2 Modellierung des IE-Effekts

Die Parametrierung der Strahlungstransportgleichung für die Berechnungen wurde mit den in Tab. 1 genannten und für unsere Breiten typischen Werten ausgeführt.

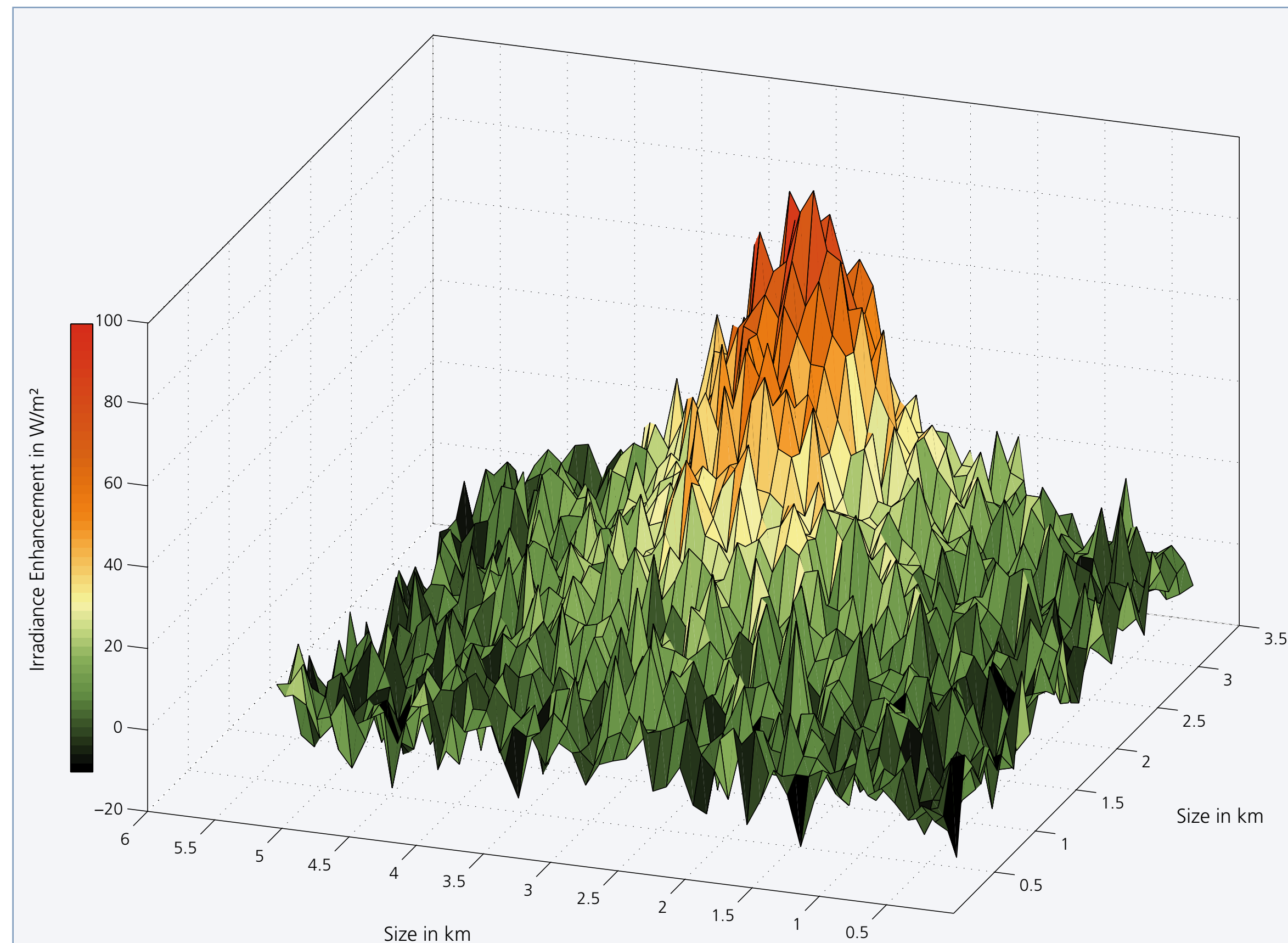


Abb. 1: Räumliche Verteilung einer Einstrahlungsüberhöhung südlich des Wolkenschattens, hervorgerufen von einer isolierten Wolke der Höhe 600 m bei einem Zenitwinkel von 60°.

Erdoberfläche	
Albedo	0,2
Betrachtete Oberfläche	13 x 13 km
Auflösung des Erdoberflächennetzes	200 x 200 m (1) und 100 x 100 m (2)
Erdatmosphäre und Wolken	
Atmosphäre	Gemäßigte Breite, Sommer
Wolkenanordnungen	Isoliert, Reihe, Feld
Wolkenform und -größe	Würfel mit einer Kantenlänge von 1 km
Wolkenhöhen	100 bis 2000 m in 100 m-Schritten
Flüssigwassergehalt	0,25 g/m ³
Tropfenradius	10 µm
Sonnenstand	
Azimutwinkel	Süd
Zenitwinkel	20° bis 70° in 10°-Schritten

Tab. 1: Input-Parameter für die Berechnung der Einstrahlungen an der Erdoberfläche. Blau gekennzeichnet sind die Variablen in den Parametervariationen.

Die räumliche Verteilung einer exemplarisch gerechneten Einstrahlungsüberhöhung im Süden einer Wolke für eine typische mittlere Wolkenhöhe von 600 m und einen Zenitwinkel von 60° wird in Abb. 1 dargestellt. Abb. 2 zeigt eine exemplarische Parametervariation für die Einstrahlungsverteilungen südlich des Wolkenschattens abhängig von Wolkenhöhe und Zenitwinkel. Sichtbar sind unterschiedlich stark ausgeprägte Überhöhungen der Einstrahlung auf der Erdoberfläche in ihrer räumlichen Verteilung.

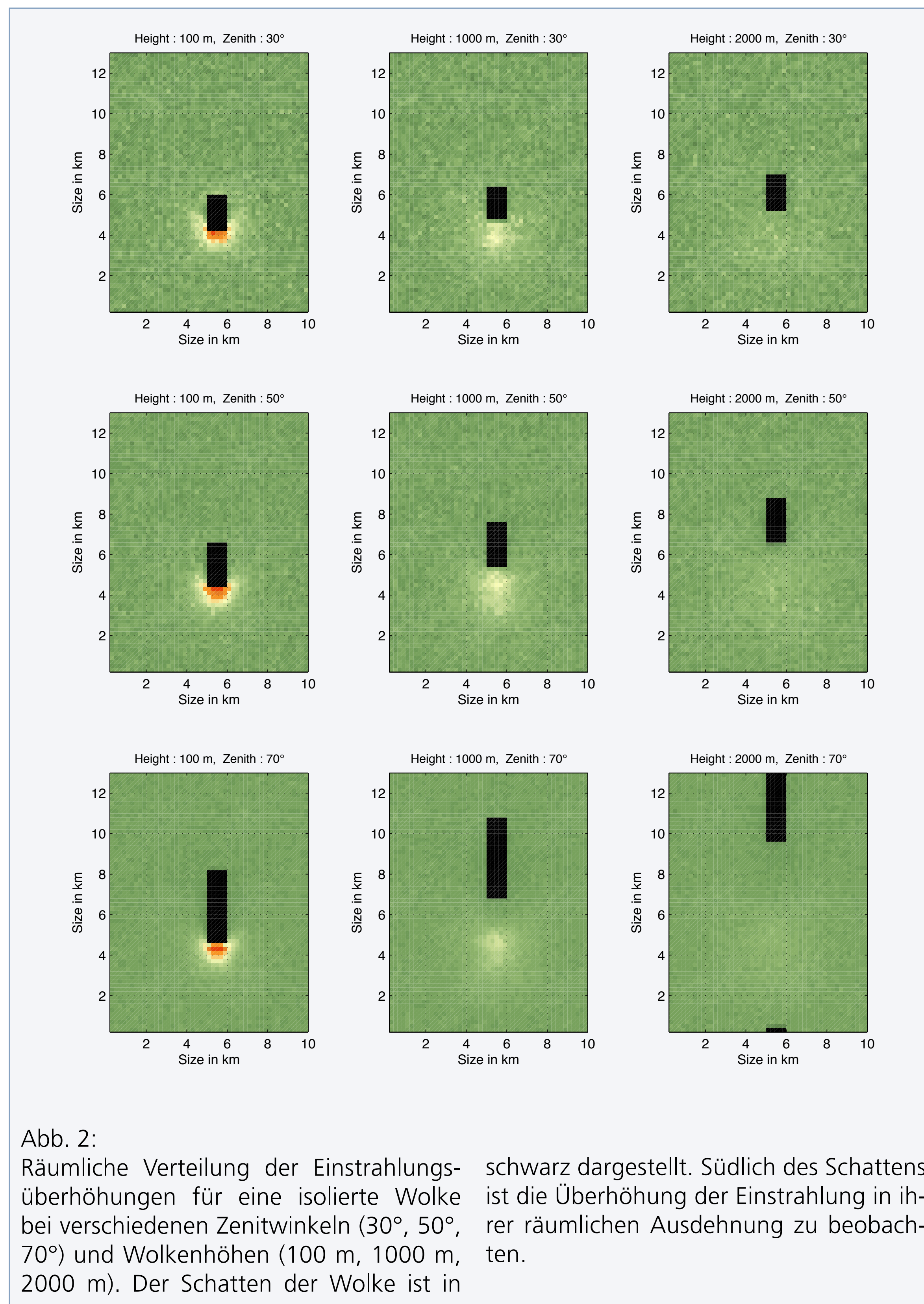


Abb. 2: Räumliche Verteilung der Einstrahlungsüberhöhungen für eine isolierte Wolke bei verschiedenen Zenitwinkeln (30°, 50°, 70°) und Wolkenhöhen (100 m, 1000 m, 2000 m). Der Schatten der Wolke ist in schwarz dargestellt. Südlich des Schattens ist die Überhöhung der Einstrahlung in ihrer räumlichen Ausdehnung zu beobachten.

3 IE-Ereignisse eines Messdatennetzes

Abb. 3a - 4c zeigen Grafiken aus den ersten Analysen des Datensatzes der 17 NREL-Messstationen auf Kalaeloa Oahu (Hawaii) für einen exemplarischen Zeitablauf. Diese Auswertungen liefern erste Anhaltspunkte zur räumlichen und zeitlichen Verteilung der aufgezeichneten IE-Ereignisse (Abb. 5). Diese Abläufe können mit den in Abb. 6 dargestellten Parametern wie Sonnenstand, Windrichtung und -geschwindigkeit, Wolkenhöhe und -typ in Verbindung gebracht werden. Für diese aktuell laufenden Auswertungen wurden weitere Werkzeuge in MATLAB entwickelt.

4 Zusammenfassung

Bisher wurden die Einstrahlungsüberhöhungen nur anhand hoch aufgelöster Messdaten eines Messplatzes identifiziert. Mit Hilfe von Simulationsrechnungen in libRadtran und anhand von einem Messdatennetz von NREL auf Kalaeloa Oahu können die IE-Ereignisse auch in ihren räumlichen und zeitlichen Verteilungen

gen beobachtet und genauer untersucht werden. Die Berechnungsergebnisse zeigen klare Abhängigkeiten zwischen Charakteristika der Einstrahlungsüberhöhungen und Zenitwinkel sowie der Wolkenhöhe. Mit steigendem Zenitwinkel und fallender Wolkenhöhe steigt die relative Intensität der Einstrahlungsüberhöhung

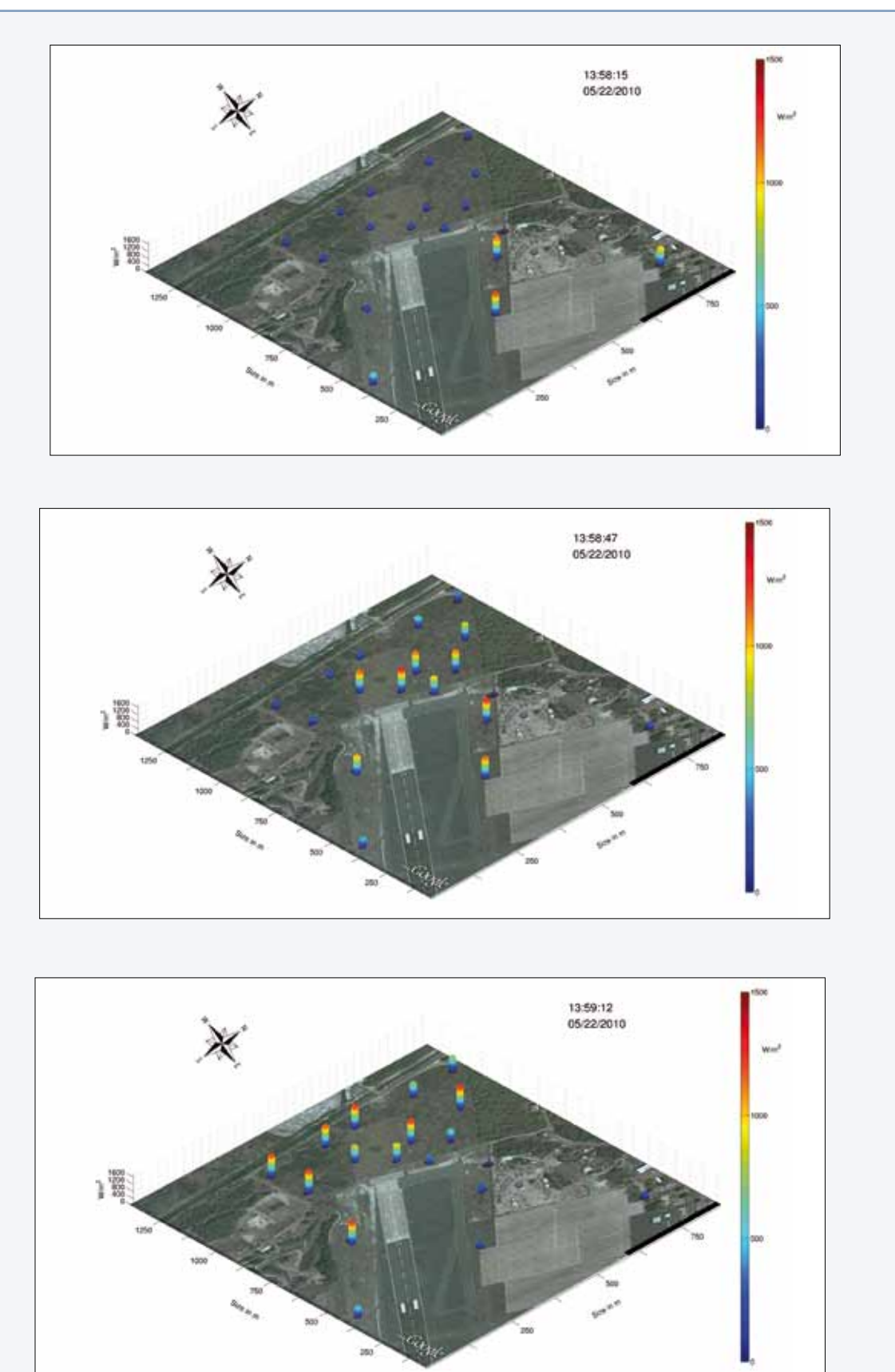


Abb. 3a-c: Exemplarische Grafiken aus den ersten Analysen des Datensatzes der 17 Messstationen zu Kalaeloa Oahu (Hawaii) zur räumlichen und zeitlichen Verteilung von IE-Ereignissen.

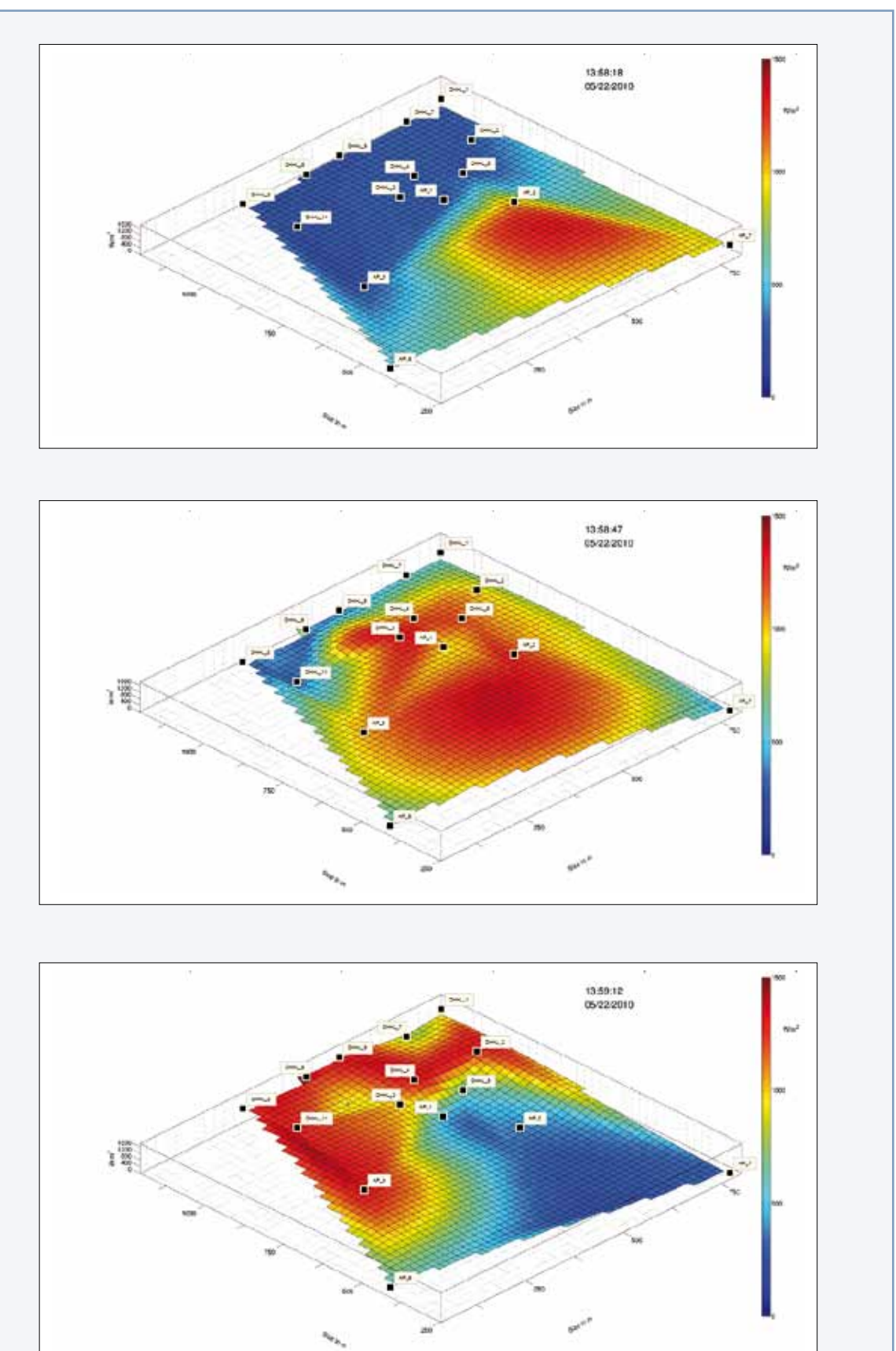


Abb. 4a-c: Interpolierte räumliche Verteilung der Einstrahlung und deren zeitlicher Verlauf hervorgerufen durch einen Wolkenzug, anhand der Stützstellen aus Abb. 3a-c.

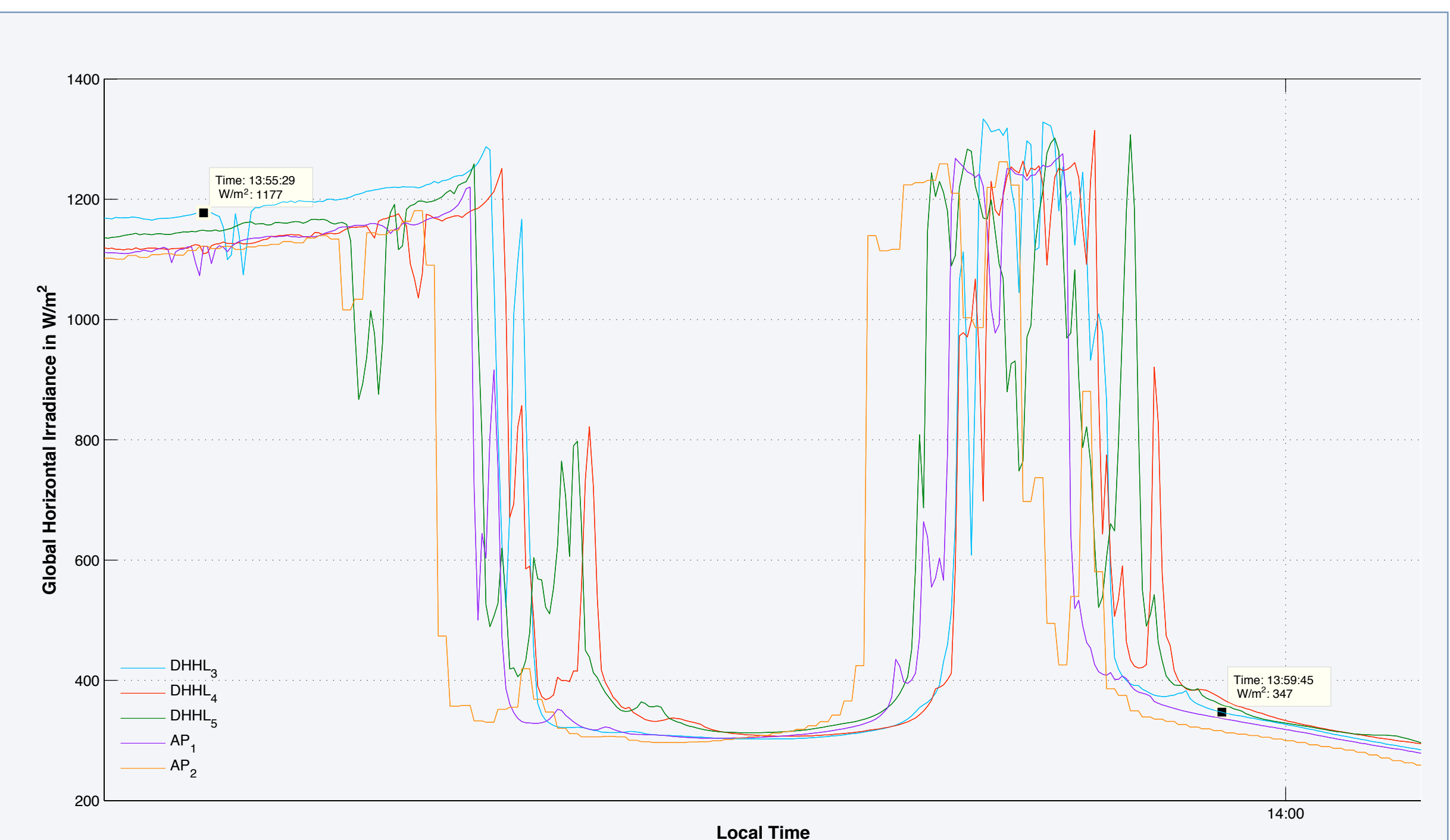


Abb. 5: Ausschnitt der Tagesgänge ausgewählter Sensoren des Messdatennetzes für den 22. Mai 2010. Die unterschiedlichen Profile sind auf den Sonnenstand, auf die räumliche Verteilung der Sensoren, die unterschiedlichen Wolkenformen, sowie Windgeschwindigkeit und -richtung rückführbar.

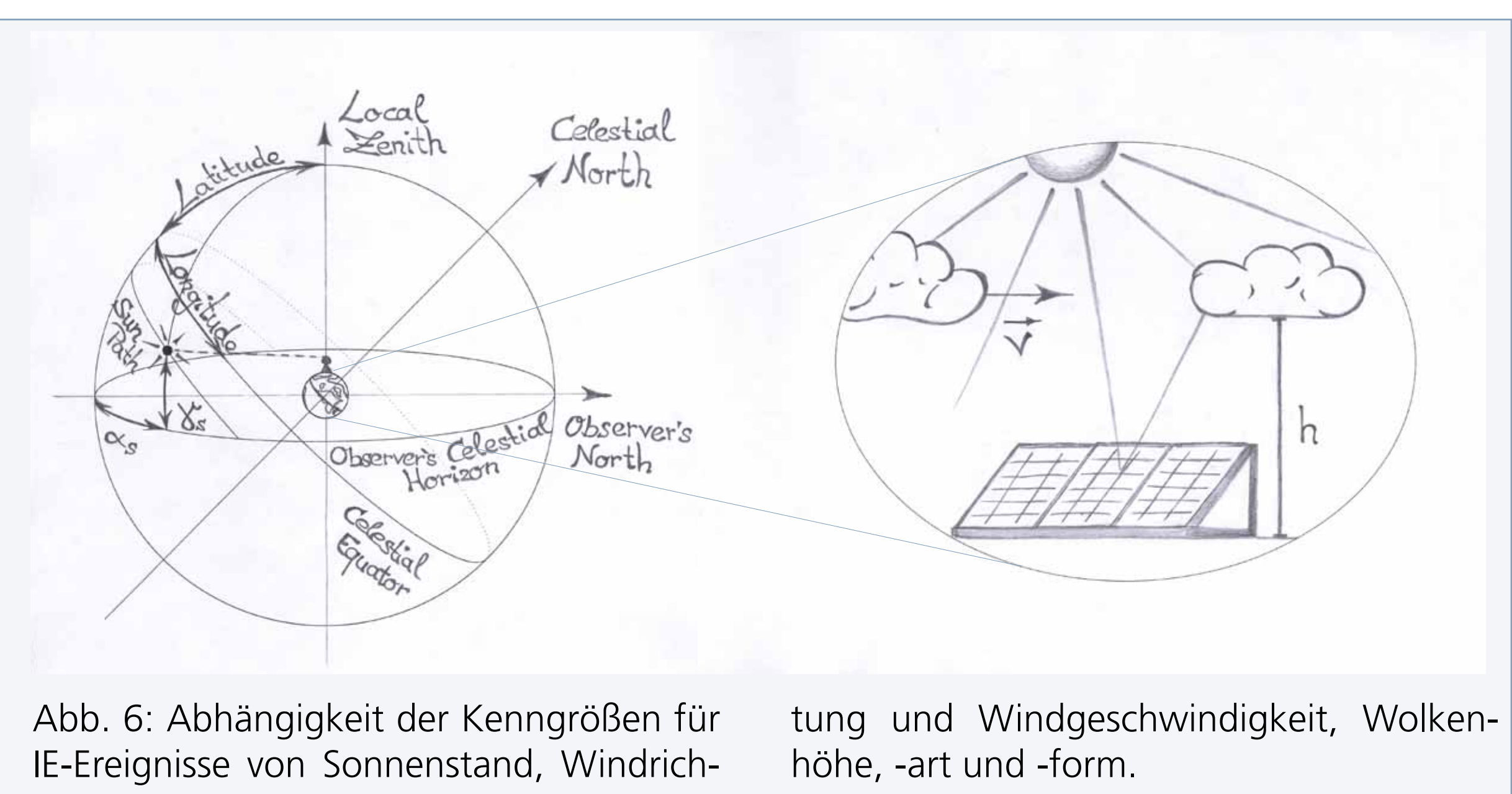


Abb. 6: Abhängigkeit der Kenngrößen für IE-Ereignisse von Sonnenstand, Windrichtung und Windgeschwindigkeit, Wolkenhöhe, -art und -form.

¹ Hochschule München
Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik
Arbeitsgruppe PV-Systeme im Studiengang
Regenerative Energien - Lothstr. 64 · 80335 München
Tel.: +49 (0)89 1265-4412 · mike.zehner@hm.edu

² Ludwig-Maximilians-Universität · Lehrstuhl für Experimentelle
Meteorologie · Theresienstr. 37 · 80333 München
³ Centre for Renewable Energy Systems Technology (CREST)
Department of Electronic and Electrical Engineering
Loughborough University · UK

⁴ U.S. Department of Energy's (DOE)
National Renewable Energy Laboratory (NREL)
1617 Cole Blvd. · Golden (Colorado, USA)
⁵ PV-plan, Probststr. 15 · 70567 Stuttgart

⁶ Siemens AG · IIA CE SE BD-PV EO · Würzburger Str. 121
90766 Fürth
⁷ GE Global Research - Freisinger Landstr. 50
85748 Garching bei München