

# Erweiterte Analyse der spektralen und Lichtinhomogenität eines LED-Sonnensimulators mit Doppelseitenbeleuchtung zur Leistungsbewertung von bifazialen PV-Modulen

Sebastian Dittmann<sup>1,2</sup>, Ralph Gottschalg<sup>1,2</sup>

E-Mail: sebastian.dittmann@hs-anhalt.de

<sup>1</sup>Hochschule Anhalt University of Applied Sciences, Bernburger Str. 55, 06366, Köthen, Germany

<sup>2</sup>Fraunhofer-Center for Silicon Photovoltaics CSP, Halle (Saale), Germany

## Motivation und Ziel

- Herausforderungen bei der elektrischen Charakterisierung von neuen PV-Modultechnologien wie bifazialen PV-Module und neuen Messinstrumenten zur elektrischen Charakterisierung wie LED-Sonnensimulatoren – bisher keine hinreichende Betrachtung der Messunsicherheit.
- Identifizierung von technologiespezifischen Messunsicherheitsquellen eines LED-Solarsimulators.
- Spezieller Fokus auf der spektralen und räumlichen Lichtinhomogenität.
- Messunsicherheitsberechnung für einen einseitigen und doppelseitigen LED-Solarsimulator.

## LED-Simulator

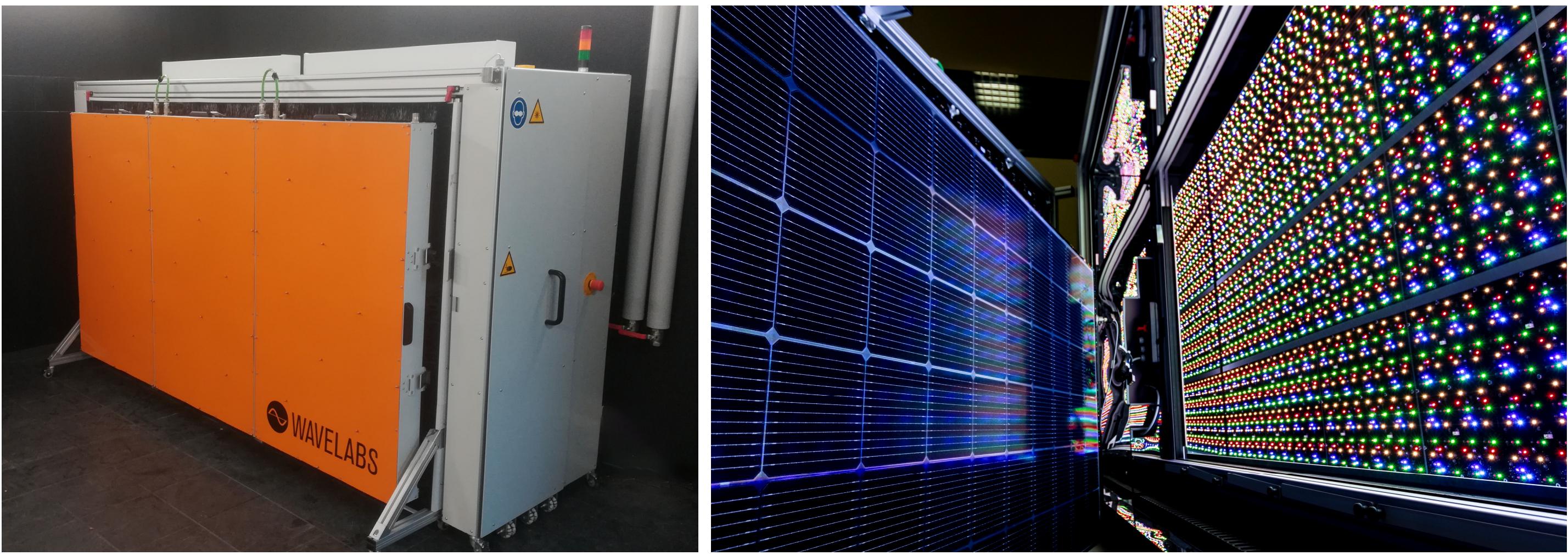


Abb. 1: (links) LED-Sonnensimulator des Anhalt Photovoltaic Performance and Lifetime Laboratory (APOLLO), (rechts) Lichtquelle mit den LED-Platinen.

TABELLE 1: Hersteller Spezifikationen

	Vorderseite	Rückseite
Dimension der Lichtquelle [mm]	1150 x 2100 mm	
Individuelle LED-Kanäle	18 Platinen mit je 428 LEDs, gesamt 7.704 LEDs	18 Platinen mit je 296 LEDs, gesamt 5.328 LEDs
Anzahl LED-Kanäle	Jede Platine hat 36 individuell betriebene LED-Kanäle	
Randbereiche der Lichtquelle	Spiegelbleche	
Abstand zu PV-Modul	25 cm	
Kühlsystem	Aktiv bei 20°C	passiv
Spektralbereich [nm]	350-1100	400-1100
Einstrahlungsbereich [W/m²]	100 - 1300	50 - 1000
Maximale Belichtungszeit [ms]	500 ms ohne Kühlung, Dauerlicht mit Kühlung	100 ms*
IEC-Klassifizierung	A+AA+	
Elektronische Last		
Messbereich Strom [A]	32 A	
Messbereich Spannung [V]	200 V	
Maximale Leistung [W]	500 W	

\* Limitierung für bifaziale PV-Module bei Messungen mit beiden Lichtquellen

## Messunsicherheitsquellen

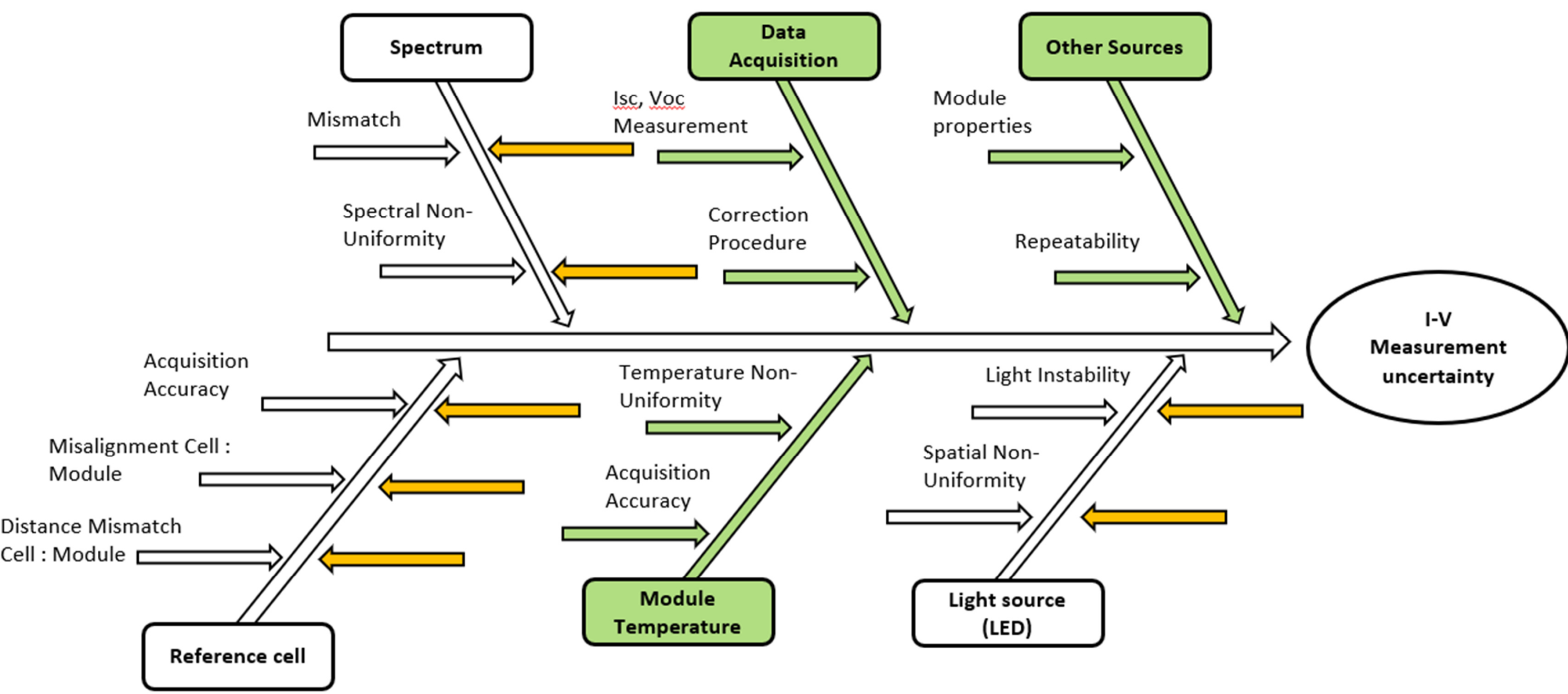


Abb. 2: Ishikawa-Diagramm zur Veranschaulichung der identifizierten Messunsicherheitsquellen. Die gelben Pfeile stellen den Beitrag der rückseitigen Lichtquellen bei beidseitiger Beleuchtung dar. Grüne Markierung kein Einfluss durch zweite Lichtquelle.

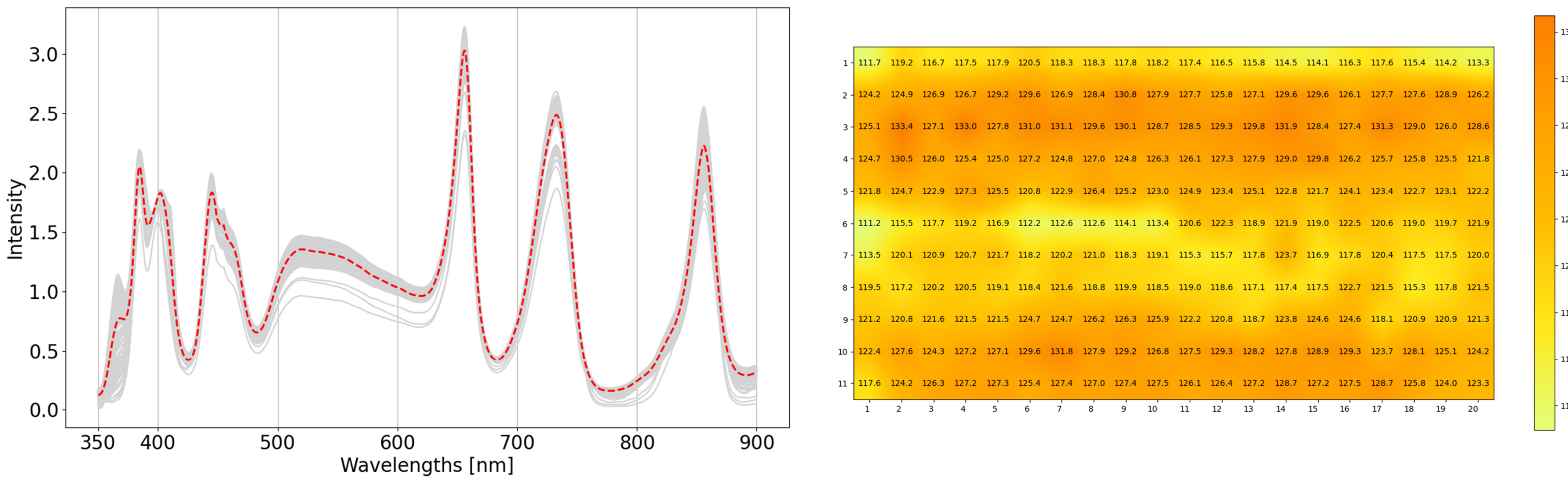


Abb 3: Messung des Spektrums für 220 Messpunkte. (rechts) Schwankungen innerhalb bestimmter Wellenlängenbereiche, Durchschnittswert (rote Line). (links) Spektrale Inhomogenität für den Wellenlängenbereich 500-600nm, 15%.

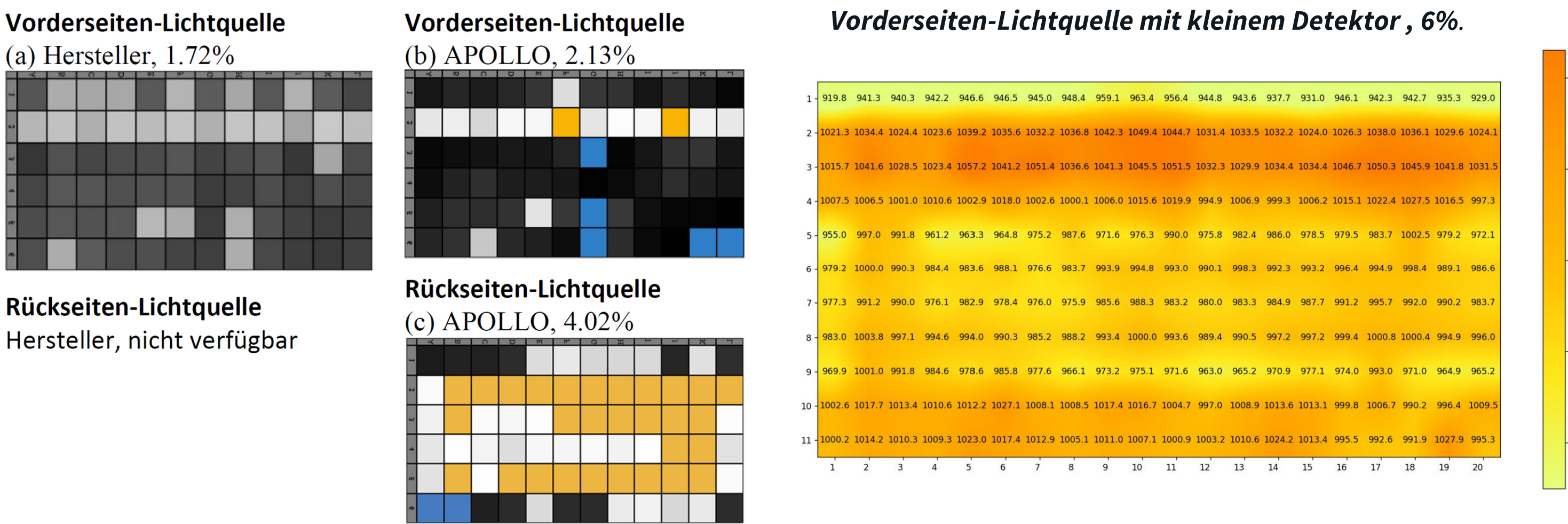


Abb 4: (links) Visualisierung der Ergebnisse der gemessenen räumlichen Inhomogenität bei 1000W/m² mit zwei unterschiedlichen Uniformitätsmodulen (a) Hersteller des Simulators, (b und c) gleiches Messmodul von APOLLO. (rechts) Visualisierung der Messung mit einem kleineren Detektor (2x2cm mit 220 Messpunkte).

## Zusammenfassung

- Erweiterte Messunsicherheit (k=2) für die Vorderseitenmessung beträgt für  $P_m \pm 3,5 \%$ , für die Rückseite  $\pm 6,7 \%$  und für die Doppelseite bei 1000/200 W/m²  $\pm 8,4 \%$ .
- Spektrale und räumliche Inhomogenität sind kritische Quellen aufgrund der hohen Anzahl unabhängig versorgter LED-Kanäle.
- Individuelle Messmethoden und deren Messunsicherheiten sind zu beachten und im Gesamtbudget mit einzubringen, z.B. Größe des Detektors bei Uniformitätsmessung.
- Verbesserungen der Messunsicherheit durch individuelle Anpassung der einzelnen Kanäle möglich

