



Berner Fachhochschule
Haute école spécialisée bernoise
Bern University of Applied Sciences



Erkennen von Hotspots an PV-Anlagen

Ein Mittelbauförderungsprojekt der BFH

Manuel Lanz

- ▶ Labor für Photovoltaiksysteme



Inhalt

1. Motivation
2. Technologie
3. Anwendung
4. Optimierung (Mittelbauförderungsprojekt)
5. Ausblick
6. Fazit



1. Motivation

1. Motivation

2. Technologie

3. Anwendung

4. Optimierung

5. Ausblick

6. Fazit

- ▶ Ertragssicherung und Betriebssicherheit
- ▶ Defekte durch Alterung
 - ▶ Ausfall von Strings
 - ▶ Ausfall von Zellenstrings im Modul
 - ▶ Defekte auf einer Zelle
 - ▶ Fehler in der Anschlussdose
- ▶ Mechanische Beschädigung
 - ▶ Hagel / Schnee
 - ▶ Tiere
 - ▶ Vandalismus
- ▶ Thermische Effekte durch Verschattung

2. Technologie - Thermografie

1. Motivation

2. Technologie

3. Anwendung

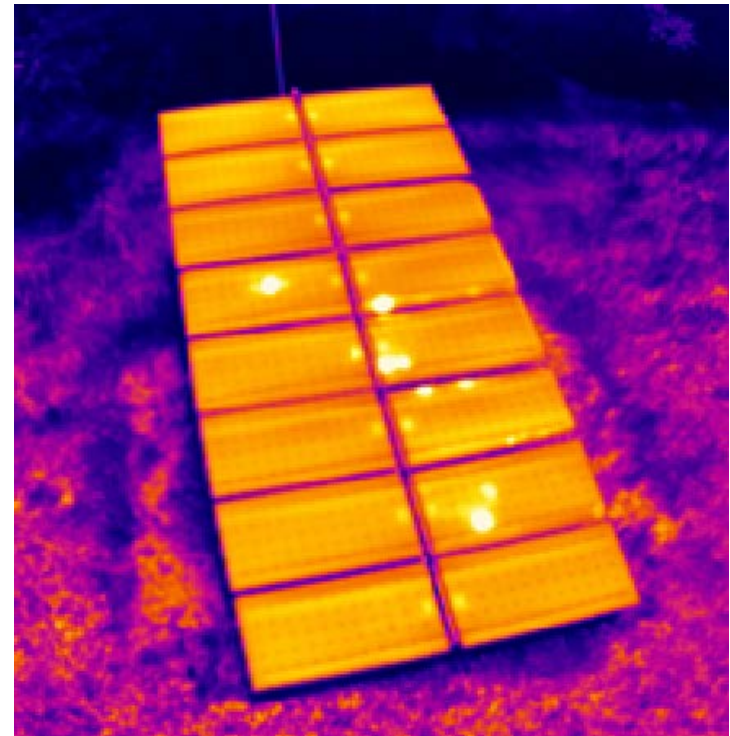
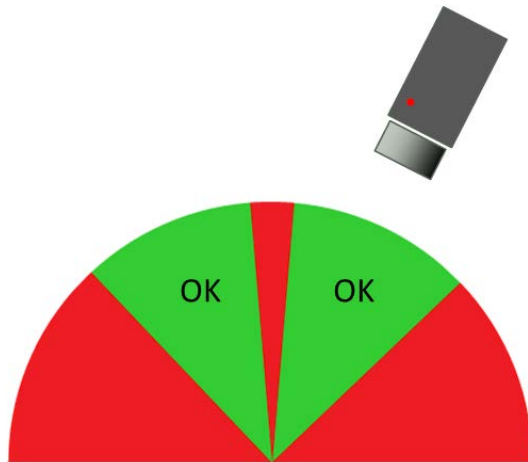
4. Optimierung

5. Ausblick

6. Fazit

Thermografie

- + Bildgebendes Verfahren (schnelle Detektion)
- + Defekte Stellen erwärmen sich
- + Inaktive Zellen erwärmen sich
- Sichtwinkel eingeschränkt



2. Technologie - Multikopter

1. Motivation

2. Technologie

3. Anwendung

4. Optimierung

5. Ausblick

6. Fazit

- ▶ Hersteller: DJI China / Modell S1000
 - ▶ 8 Motoren, je max. 500W
- ▶ Zwei Kameras
 - ▶ Kompaktkamera
 - ▶ IR-Kamera
- ▶ Live Videostream
- ▶ Max. Flugzeit: 20 min



DJI S1000 Oktokopter mit installiertem Kamera-System

2. Technologie - Kameras

1. Motivation

2. Technologie

3. Anwendung

4. Optimierung

5. Ausblick

6. Fazit

OPTRIS PI Lightweight + PI400



- ▶ Vollradiometrisches IR-video
- ▶ Belichtungszeit: 1/80 s
- ▶ Bildfrequenz: 35 Hz
- ▶ Empfindlichkeitsspektrum:
7.5 bis 13 μm

GoPro Hero 3+



- ▶ Auflösung:
 - ▶ 1920x1080 px (full HD)
 - ▶ Bildfrequenz: 60 Hz

2. Technologie - Kameras

1. Motivation

2. Technologie

3. Anwendung

4. Optimierung

5. Ausblick

6. Fazit

test3 - Excel

MÖGLICHER DATENVERLUST Einige Funktionen gehen möglicherweise verloren, wenn Sie diese Arbeitsmappe im CSV-Format (Trennzeichen getrennt) speichern. Um diese Funktionen zu erhalten, speichern Sie sie in einem Excel-Dateiformat. Nicht mehr anzeigen Speichern unter...

LV	LW	LX	LY	LZ	MA	MB	MC	MD	ME	MF	MG	MH	MI	MJ	MK	ML	MM	MN	MO	MP	MQ	MR	MS	MT	MU	MV	MW	MX	MY	MZ	NA	NB	NC	ND	NE		
111	24.1	23.3	26.6	28.7	29.6	30.7	31.2	30.8	30.5	30.2	30.2	30.2	30.1	30.2	30.1	30.3	30.7	30.6	30.7	30.8	30.8	31	31	31.2	31.1	31.1	31	31	31.2	31.3	31.5	31.3	31.2	31.2	31.2		
112	24.1	23.3	26.7	29	30.1	31.3	31.6	31.1	30.6	30.4	30.3	30.3	30.3	30.2	30.5	30.8	30.7	30.6	30.6	30.7	30.8	31	30.9	31.2	30.9	31	31.1	31.1	31.2	31.1	31.5	31.3	31.1	31.1	31.4		
113	24.6	23.7	26.8	28.9	29.8	31.1	31.2	30.8	30.6	30.4	30.3	30.4	30.3	30.1	30.1	30.5	30.8	30.7	30.6	30.5	30.6	30.7	30.9	30.7	31	31.1	31	30.8	30.9	31	31	31	30.9	31	31.2	31	
114	24.1	23.2	26.3	28.6	29.7	30.3	30.5	30.3	30.2	30.2	30	30.1	30.1	30	29.9	30.3	30.6	30.6	30.5	30.4	30.5	30.6	30.7	30.6	30.6	31	31	31	31.1	31.2	31	31.1	31	30.9	30.8	30.7	
115	24.3	23.5	26.1	28.2	29.3	29.8	30	30.1	29.7	29.9	29.8	29.8	29.9	29.8	29.6	29.9	30.2	30.1	30.2	30.2	30.2	30.5	30.7	30.5	30.5	30.8	30.8	30.7	30.7	30.7	30.9	30.5	30.8	30.8	30.7	30.6	
116	24.8	24	26.1	28	28.8	29.1	29.7	29.7	29.7	29.8	29.8	29.7	29.5	29.3	29.4	29.6	29.7	29.6	29.8	30	30	30.2	30.4	30.4	30.2	30.4	30.4	30.2	30.3	30.4	30.5	30.1	30.1	30.1	30.3	30.4	
117	24.5	23.5	25.9	28.1	28.9	29.2	29.5	29.3	29.4	29.5	29.3	29.3	29.3	29	28.9	29.1	29	29	29.2	29.6	29.6	29.6	29.6	29.6	29.7	29.6	29.6	29.5	29.2	29.4	29.5	29.3	29	29.1	28.9	28.7	
118	24.4	23.4	25.8	28.1	28.8	29.1	29.4	29.1	28.9	29	28.7	28.6	28.8	28.5	28.3	28.2	28.4	28.8	29.2	29.8	29.6	29.4	29.4	29.3	29.3	29.2	29.1	29	29	29	28.9	29.1	29	28.9	28.8	28.7	
119	24.2	22.9	24.9	27.2	27.8	28	28.1	27.9	28.1	28.2	28.1	28	27.8	27.8	28.2	28.5	29.3	30.5	31.9	32.9	31.2	31.3	31	30.8	30.6	30.6	30.5	30.6	30.8	30.7	30.5	30.6	30.5	31.1	31.1	30.9	
120	24.9	23.3	25.7	28.4	29.5	30.1	30.4	30.2	29.9	29.9	30.1	29.8	29.6	29.6	29.9	30.4	31.6	33.3	35.6	36.6	34.6	33.7	33	32.8	32.1	31.9	31.7	31.6	31.5	31.6	31.5	31.5	31.5	31.6	31.8	31.7	
121	25.1	23.2	25.7	28.8	30.1	30.4	30.6	30.8	30.4	30.5	30.6	30.3	30.1	30.1	30.5	31	32.5	34.7	37.3	38.4	35.8	34.7	33.9	33.4	32.4	32	31.9	31.8	31.7	31.6	31.6	31.7	31.7	31.6	31.6	31.7	
122	25.3	23.5	26	28.8	29.9	30.3	30.4	30.5	30.9	30.6	30.7	30.5	30.5	30.6	30.8	31.5	32.9	35.2	37.8	39.1	36.5	34.9	33.9	33	32.4	31.8	31.7	31.7	31.6	31.5	31.6	31.7	31.5	31.5	31.6	31.6	
123	25.9	24.1	26.2	28.7	29.6	30.2	30.5	30.7	30.8	30.7	30.6	30.7	30.8	31	31.6	32.7	34.1	36	36.3	34.9	34	33.2	32.7	32.2	31.7	31.6	31.5	31.5	31.5	31.6	31.6	31.6	31.6	31.8	31.8	31.7	
124	26.4	24.3	26.2	28.8	30.2	30.9	31.3	31.6	31.2	31.2	31	31	31	31.1	31.2	31.7	32.8	33.3	33.5	33.4	32.7	32.7	32.4	32.1	31.9	31.7	31.7	31.6	31.6	31.6	31.7	31.7	31.6	31.9	31.9	31.9	
125	26.5	24.4	26.6	29.1	30.7	31.6	32	31.9	31.6	31.2	31.1	30.9	31	31.1	31.2	31.7	32.5	32.9	32.6	32.6	32.2	32.2	32.1	32	32	31.5	31.7	31.7	31.7	31.7	31.7	31.7	31.7	31.7	31.8	32	31.9
126	27	24.5	26.4	29.2	30.7	31.6	32.2	32.2	31.6	31	31	31.1	31.1	31	31.1	31.5	31.8	32.1	32.2	32.3	32	32	32.1	32	32	31.6	31.7	31.7	31.8	31.7	31.6	31.6	31.6	31.6	31.7	31.9	31.8
127	27.2	24.6	26.8	29.1	30.5	31.5	32.1	31.9	31.4	31	30.9	30.9	31	31	31.1	31.3	31.6	31.8	31.9	32.1	31.9	31.8	31.8	31.9	31.8	31.8	31.9	31.9	31.8	31.7	31.5	31.5	31.5	31.4	31.4	31.6	31.6
128	27.2	24.6	26.6	28.9	30.2	30.8	31	31	30.9	30.9	30.6	30.4	30.7	31	30.9	30.9	31.2	31.5	31.7	31.6	31.6	31.6	31.9	31.7	31.7	31.7	31.7	31.8	31.8	31.7	31.5	31.4	31.3	31.2	31.2	31.2	
129	27.3	24.8	26.6	28.6	29.8	30.4	30.5	30.6	30.5	30.6	30.6	30.6	30.6	30.6	30.6	30.9	31.3	31.2	31.4	31.6	31.7	31.7	31.8	31.7	31.6	31.4	31.5	31.6	31.6	31.4	31.2	30.9	30.9	30.8	30.8		
130	26.6	25	26.5	28.6	29.7	30.1	30.4	30.6	30.4	30.5	30.8	30.4	30.5	30.4	30.3	30.4	30.7	31	31.1	31.2	31.5	31.7	31.6	31.5	31.3	31.1	31.2	31	31.1	31	30.9	30.9	30.5	30.5	30.4	30.4	
131	27.1	25	26.5	28.1	29	29.6	29.9	30	30.1	30.1	30.4	30	29.8	29.5	29.4	29.7	30	30.3	30.1	30.1	30.4	30.7	31.1	31.1	30.6	30.3	30.4	30.2	30.2	30.3	30.2	29.9	29.7	29.7	29.5	29.6	
132	26.1	24.6	26.2	27.8	28.6	29	29.2	29.2	29.1	29.2	29.3	28.9	28.6	28.3	28.1	28	28.1	28.4	28.7	29	29.1	29.3	29.1	29	29.3	29.5	29.7	29.4	29.6	29.4	29.3	29.3	29.5	29.6	29.5	29.3	
133	26.8	25	25.9	27.3	28.2	28.5	28.7	28.8	28.8	28.8	29	28.7	28.6	28.8	28.8	28.8	29.1	29.5	29.6	30.4	30.8	30.7	30.9	31	31	31.1	31.5	31.2	31.5	31.4	31.2	31.3	31.3	31.5	31.1	31.1	
134	27.8	25.4	26.8	28.6	29.7	30.1	30.2	30.4	30.4	30.5	30.2	30.2	30.3	30.2	30	30	30.3	30.7	31	31.2	31.7	31.8	32	32	32	31.9	32	31.9	32	32.1	32	31.9	31.8	32	31.5	31.5	
135	28.1	25.6	26.8	28.6	29.7	30.3	30.6	30.6	30.5	30.5	30.6	30.4	30.2	30.3	30.1	30	30.4	31	31.2	31.5	31.8	32	32.1	32.2	32.2	32	31.8	31.7	31.6	31.9	31.9	31.7	31.7	31.8	31.6	31.5	

2. Technologie - Kameras

1. Motivation

2. Technologie

3. Anwendung

4. Optimierung

5. Ausblick

6. Fazit

OPTRIS PI Lightweight + PI400



- ▶ Vollradiometrisches IR-video
- ▶ Belichtungszeit: 1/80 s
- ▶ Bildfrequenz: 35 Hz
- ▶ Empfindlichkeitsspektrum: 7.5 bis 13 μm

GoPro Hero 3+



- ▶ Auflösung:
 - ▶ 1920x1080 px (full HD)
 - ▶ Bildfrequenz: 60 Hz

3. Anwendung

1. Motivation

2. Technologie

3. Anwendung

4. Optimierung

5. Ausblick

6. Fazit

- ▶ Aufnahme der PV-Anlage
 - ▶ Manuelles Abfliegen der gesamten PV-Anlage
- ▶ Auswertung im Büro
 - ▶ Sichten des Bildmaterials
 - ▶ PV-Module mit Defekten im Stringplan markieren
 - ▶ Anhand der Erscheinungsform und Temperatur die Ursache bestimmen
- ▶ Erstellen des Berichts mit Auflistung der defekten PV-Modulen
 - ▶ Wärmebild des Moduls
 - ▶ Angabe des Temperaturunterschiedes des Hot Spots gegenüber dem intakten Modul

3. Anwendung



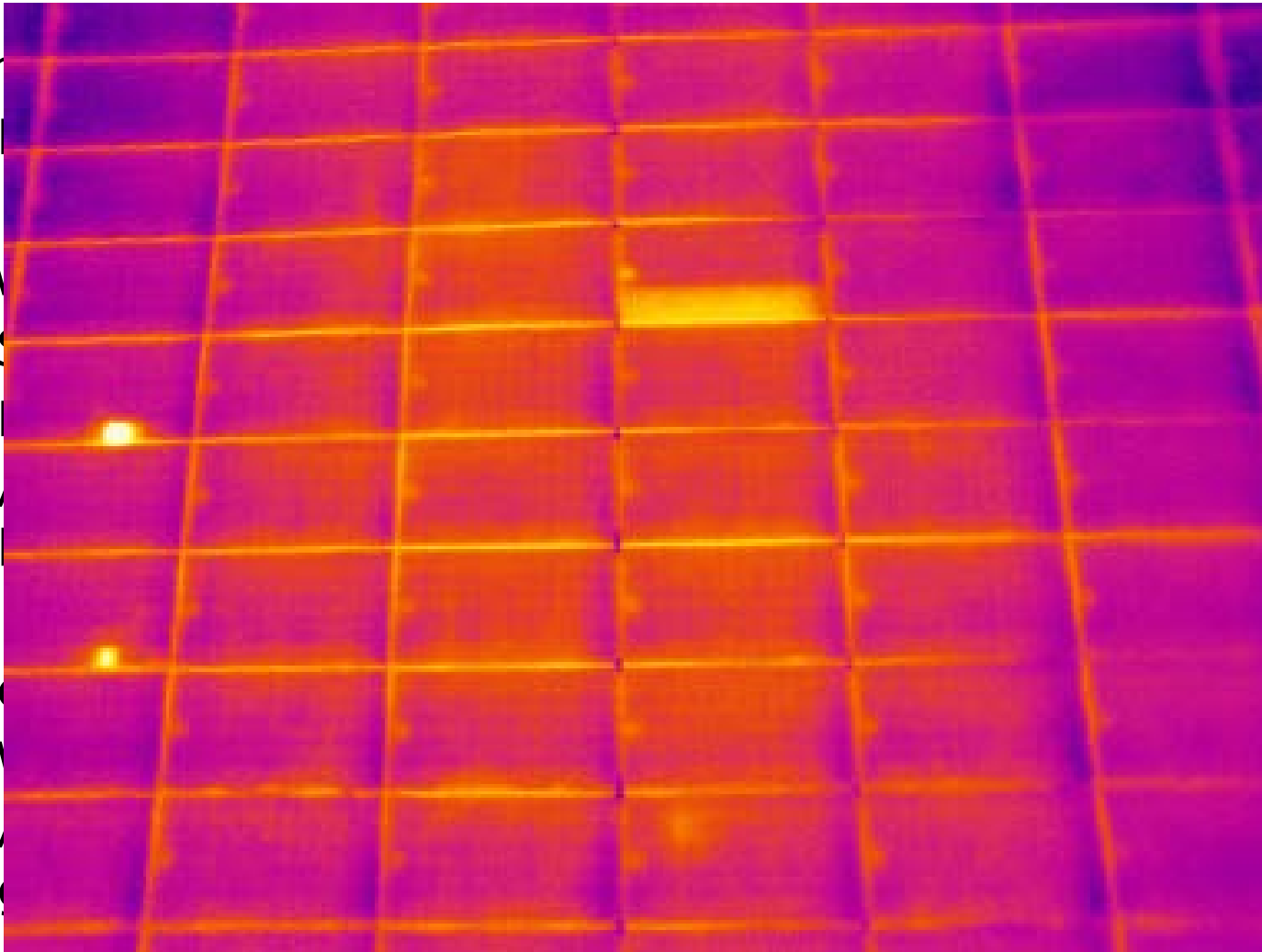
- ▶ Aufre



- ▶ Ausv



- ▶ Erste



rsache

ulen

3. Anwendung

1. Motivation

2. Technologie

3. Anwendung

4. Optimierung

5. Ausblick

6. Fazit

- ▶ Aufnahme der PV-Anlage
 - ▶ Manuelles Abfliegen der gesamten PV-Anlage
- ▶ Auswertung im Büro
 - ▶ Sichten des Bildmaterials
 - ▶ PV-Module mit Defekten im Stringplan markieren
 - ▶ Anhand der Erscheinungsform und Temperatur die Ursache bestimmen
- ▶ Erstellen des Berichts mit Auflistung der defekten PV-Modulen
 - ▶ Wärmebild des Moduls
 - ▶ Angabe des Temperaturunterschiedes des Hot Spots gegenüber dem intakten Modul

4. Optimierung (Mittelbauförderungsprojekt)

1. Motivation

2. Technologie

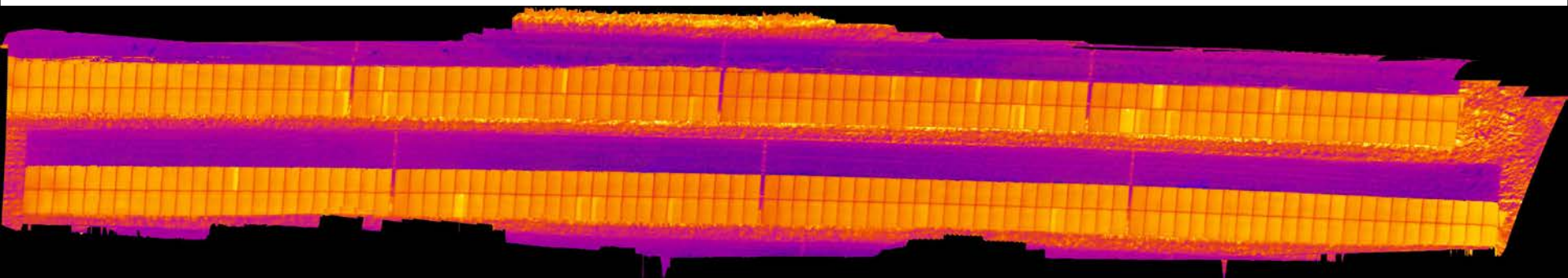
3. Anwendung

4. Optimierung

5. Ausblick

6. Fazit

- ▶ Aufrüsten der Drohne
 - ▶ Hochauflösende Wärmebildkamera
 - ▶ Autonomes Fliegen nach GPS-Punkten
- ▶ Hilfssoftware
 - ▶ Generierung eines Orthophotos / IR-Übersichtsplan
 - ▶ Automatische Hot Spot Erkennung



Quelle: kitawa.de

4. Optimierung (Mittelbauförderungsprojekt)

1. Motivation

2. Technologie

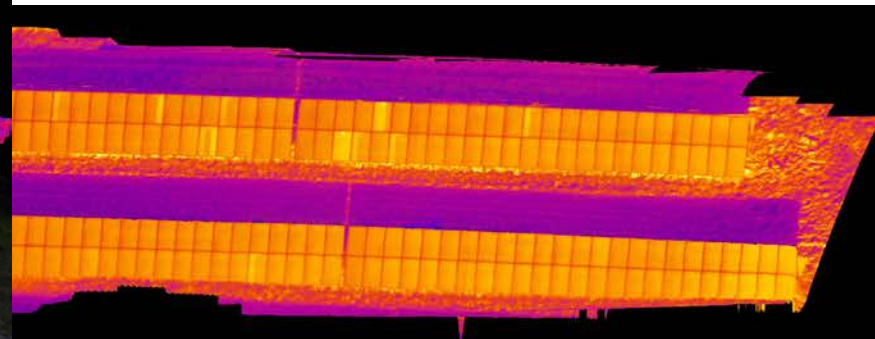
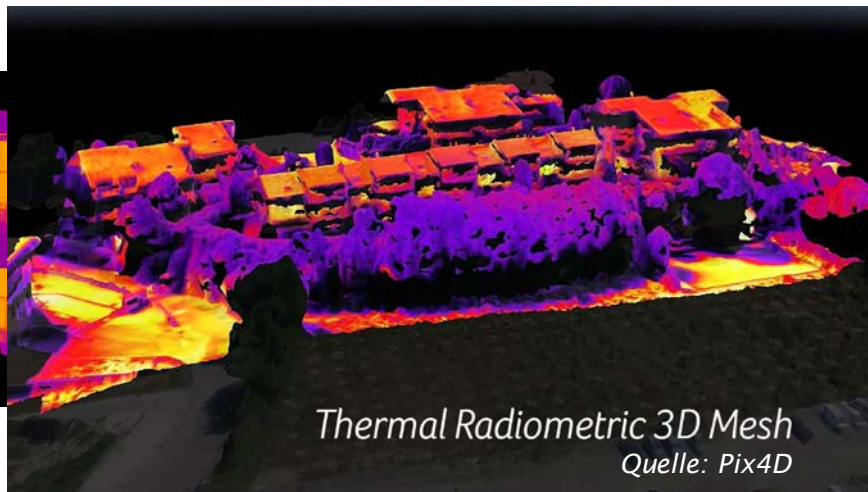
3. Anwendung

4. Optimierung

5. Ausblick

6. Fazit

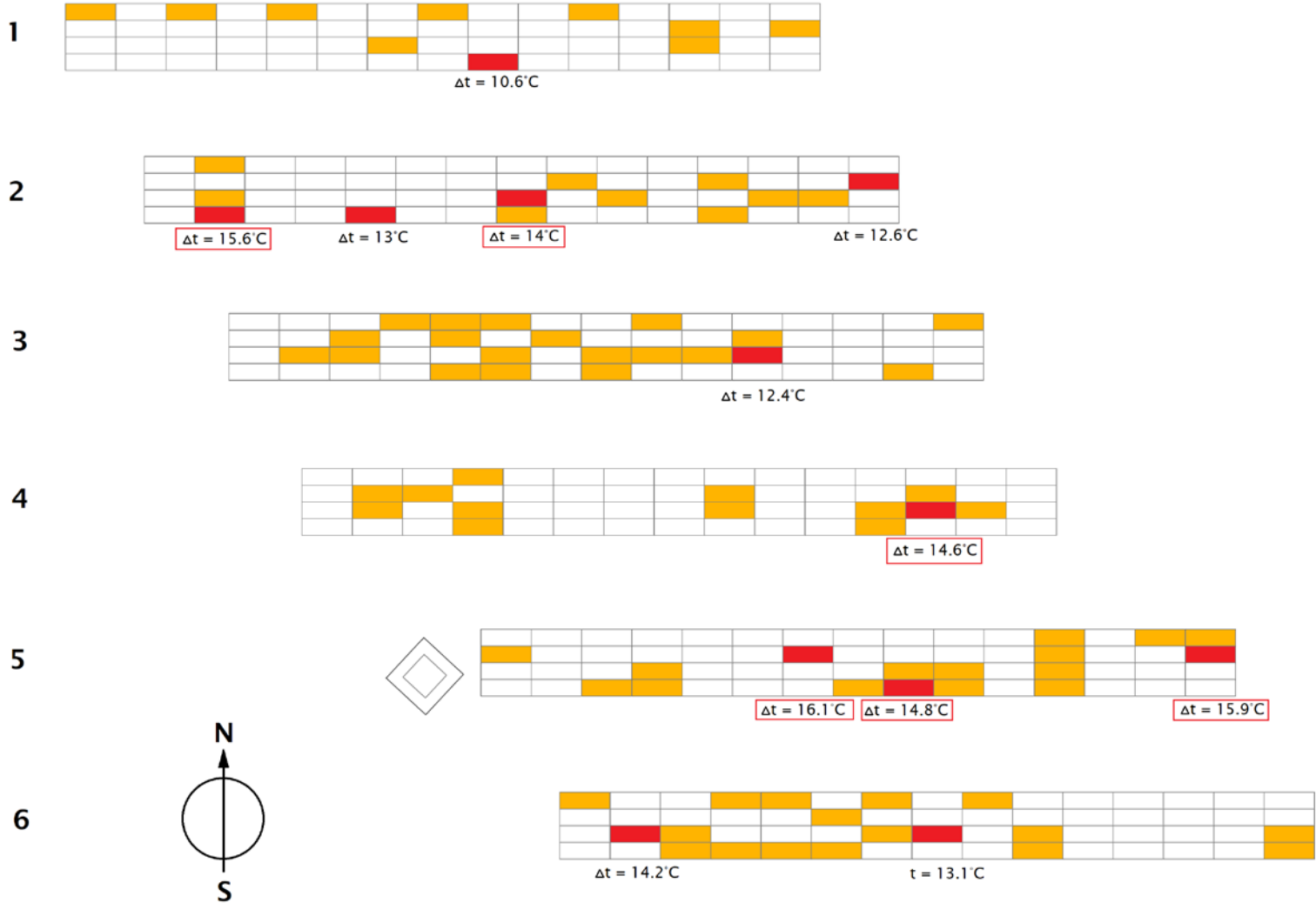
- ▶ Aufrüsten der Drohne
 - ▶ Hochauflösende Wärmebildkamera
 - ▶ Autonomes Fliegen nach GPS-Punkten
- ▶ Hilfssoftware
 - ▶ Generierung eines Orthophotos / IR-Übersichtsplan
 - ▶ Automatische Hot Spot Erkennung



Quelle: kitawa.de

4. Optimierung (Mittelbauförderungsprojekt)

1. Motivation → 2. Technologie → 3. Anwendung → 4. Optimierung → 5. Ausblick → 6. Fazit



4. Optimierung (Mittelbauförderungsprojekt)

1. Motivation

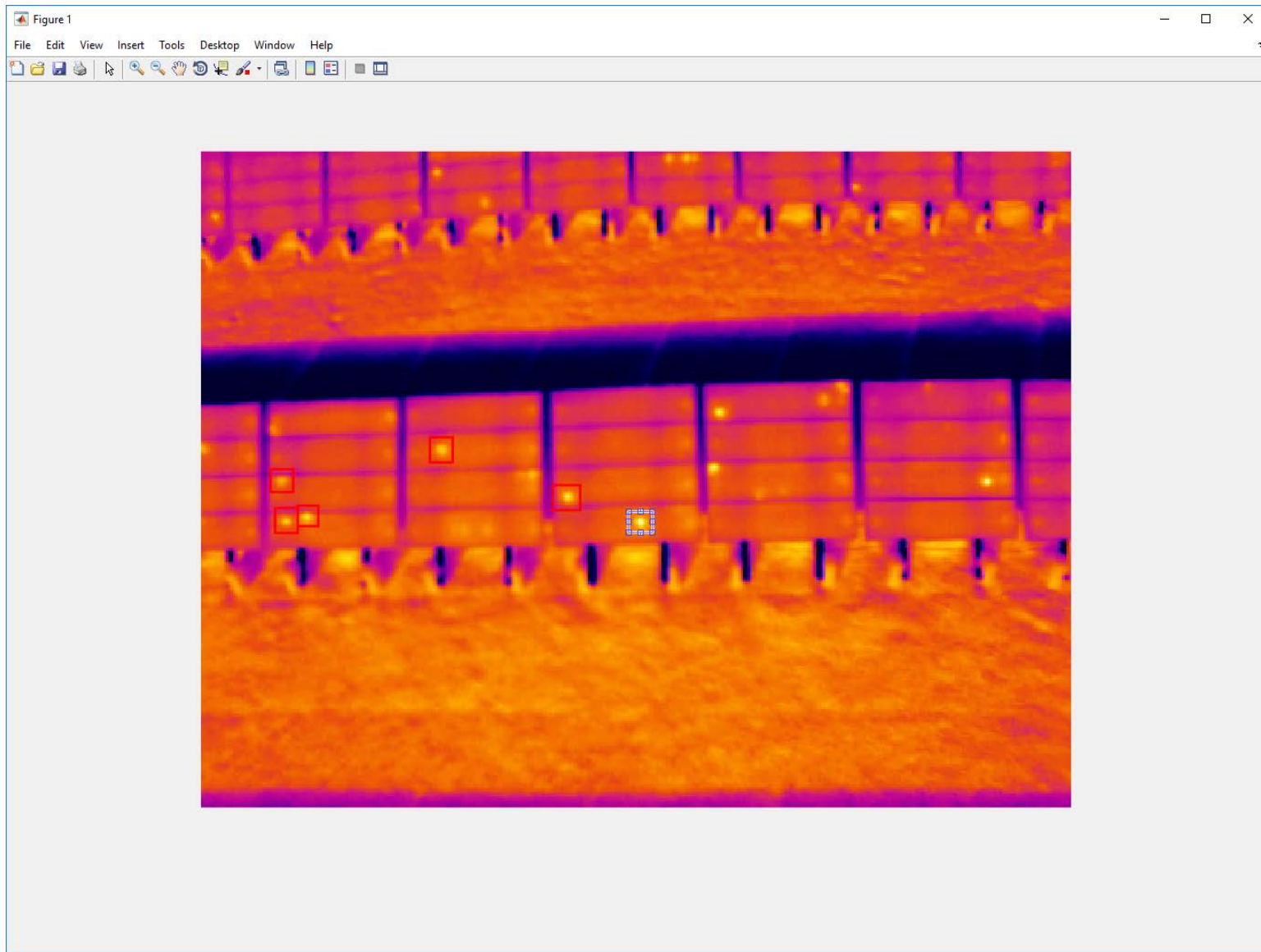
2. Technologie

3. Anwendung

4. Optimierung

5. Ausblick

6. Fazit



5. Ausblick

1. Motivation

2. Technologie

3. Anwendung

4. Optimierung

5. Ausblick

6. Fazit

- ▶ Mittelbauförderungsprojekt
 - ▶ Von ausgewählter PV-Anlage
 - ▶ Module demontieren und ausmessen
 - ▶ Von weiteren PV-Anlagen Daten Sammeln
 - ▶ Verschiedene Anlagentypen
 - ▶ Verschiedene Modulformate
- ▶ Weiterführendes Projekt
 - ▶ Entwicklung des Algorithmus

6. Fazit

1. Motivation

2. Technologie

3. Anwendung

4. Optimierung

5. Ausblick

6. Fazit

1. Eine Wärmebilddrohne eignet sich hervorragend für schnelle, genaue und günstige Überprüfungen von PV-Anlagen.
2. Inspektion von schwer- oder unzugänglichen PV-Anlagen möglich
3. Berührungsfreies und unterbrechungsfreies Messen
4. Identifikation von defekten Modulen
5. Automatisiert: Keine thermische Auffälligkeiten übersehbar
6. Automatisiert: Hilfe bei der Defektbeurteilung für unerfahrene Thermografen



Herzlichen Dank für Ihre
Aufmerksamkeit!

urs.muntwyler@bfh.ch
manuel.lanz@bfh.ch