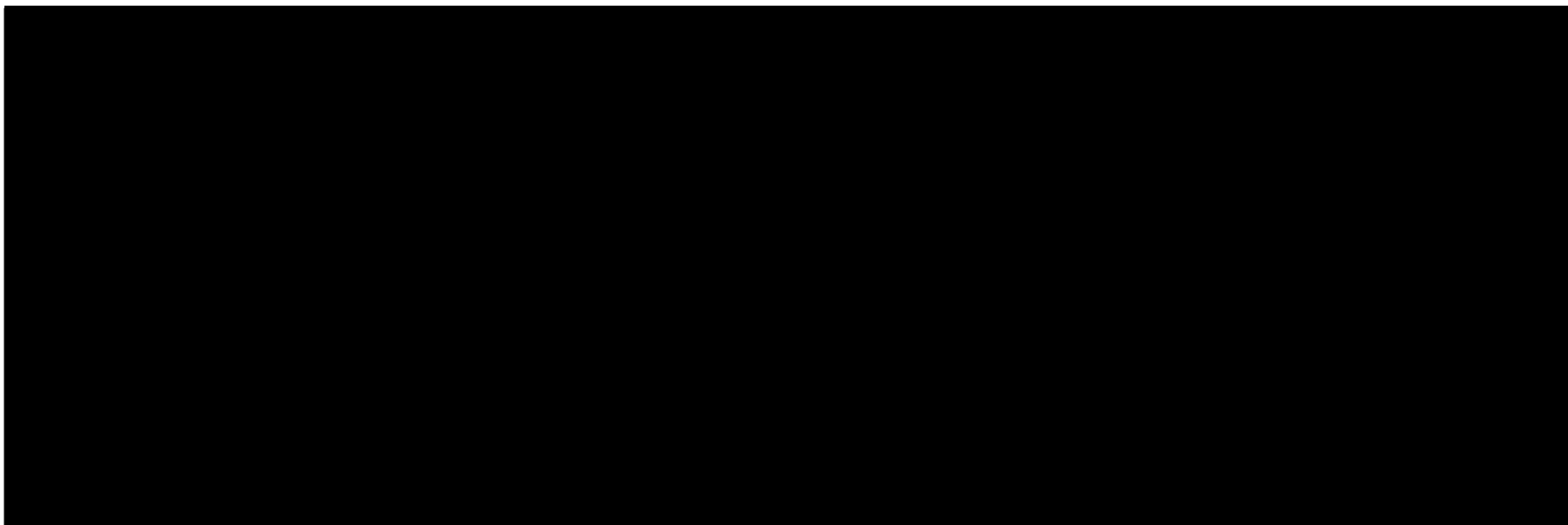

BERICHT PV-INSPEKTION

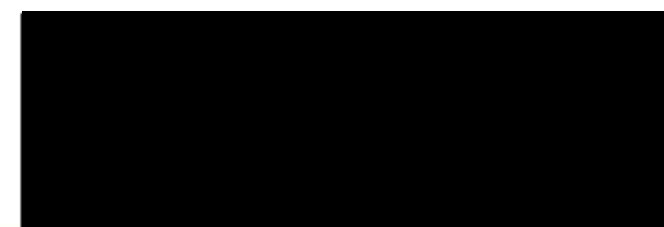
für die 750.0 kWp Anlage von

Max Mustermann GmbH

Bahnhofstr. 7, 12345 Musterstadt

17.06.2025 13:39 Uhr, 51° 20' 24.39" N 6° 9' 19.78" E

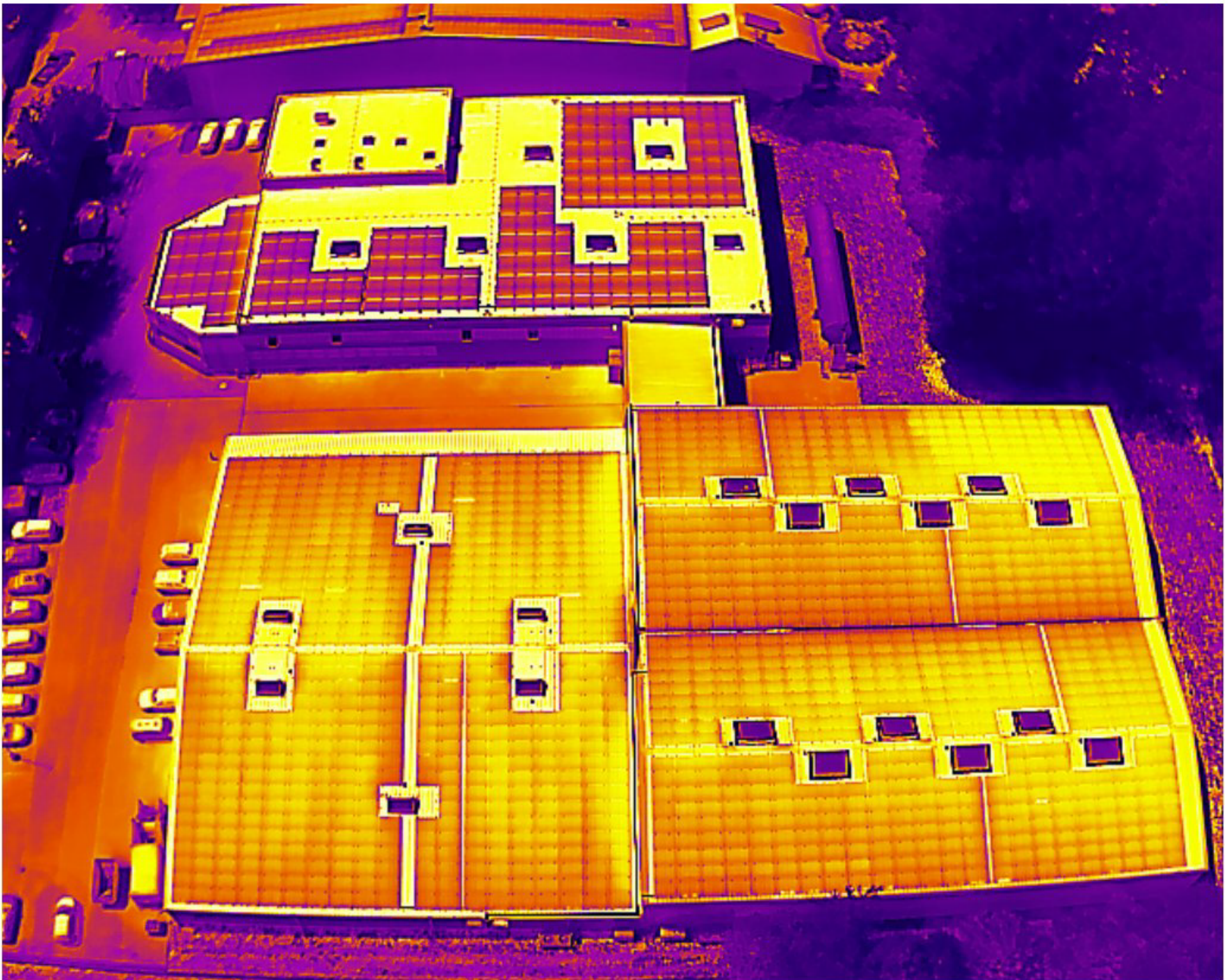




Anlagenübersicht



Drohnenaufnahme mit Weitwinkelkamera aus 103.63 m Höhe



Drohnenaufnahme mit Infrarotkamera aus 103.63 m Höhe

Ergebnis der drohnengestützten Thermografie-Inspektion

Am 17.06.2025 wurde die Photovoltaikanlage erfolgreich mittels einer spezialisierten Wärmebilddrohne des Typs DJI M30T thermografisch inspiziert. Die Befliegung erfolgte teilautomatisiert im Zeitraum von 13:21 Uhr bis 13:39 Uhr.

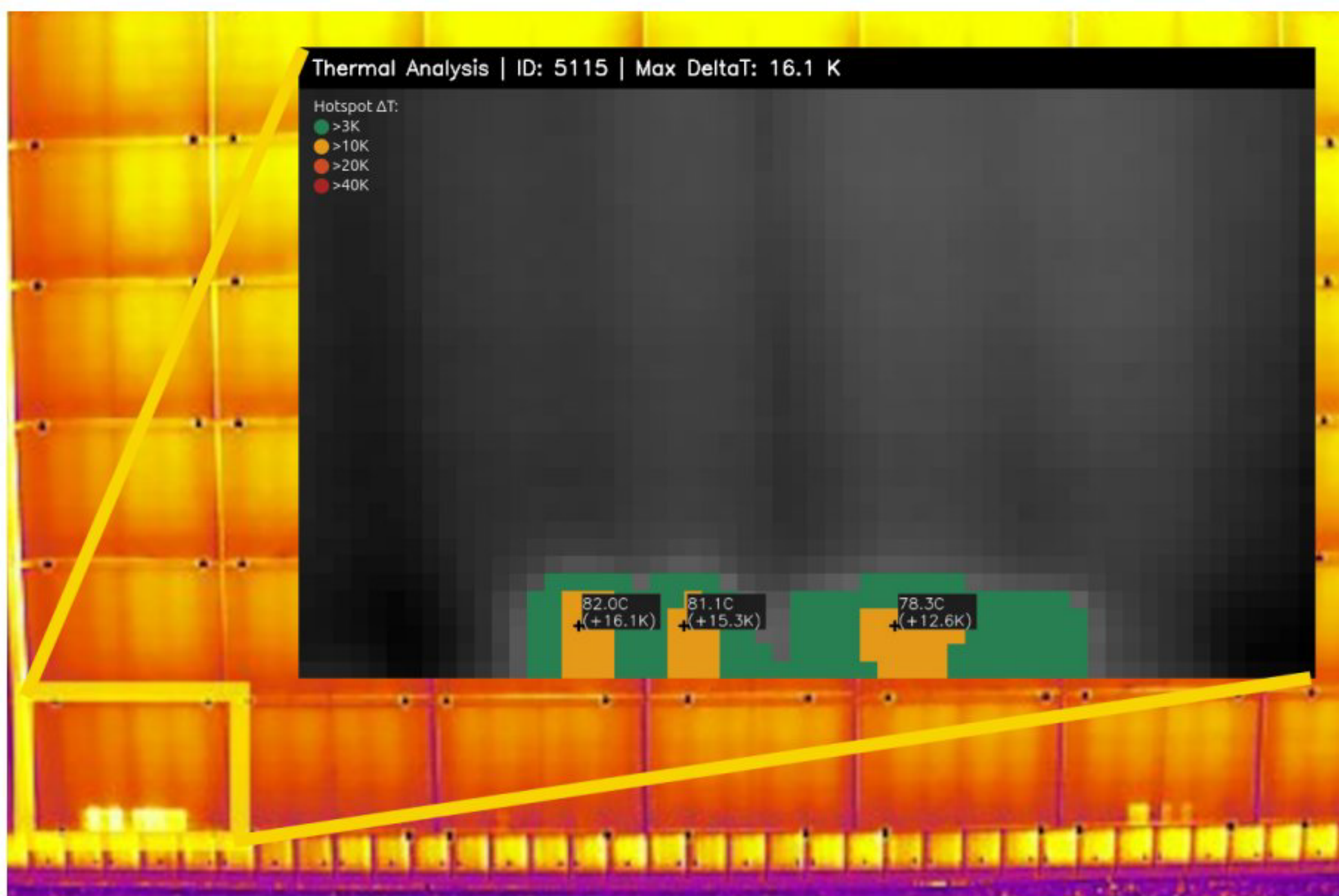
Während der Inspektion wurden insgesamt **213 hochauflösende radiometrische Infrarotaufnahmen** sowie **213 digitale Übersichtsaufnahmen** erfasst. Diese liefern eine vollständige und lückenlose thermografische Abdeckung der gesamten Photovoltaikanlage.

Mithilfe modernster, KI-gestützter Analyseverfahren wurden die Bilddaten anschließend zu einem präzisen digitalen 3D-Modell der Anlage verarbeitet. Auf dieser Grundlage konnte jedes einzelne Photovoltaikmodul automatisch erkannt, lokalisiert und hinsichtlich seines thermischen Verhaltens bewertet werden.

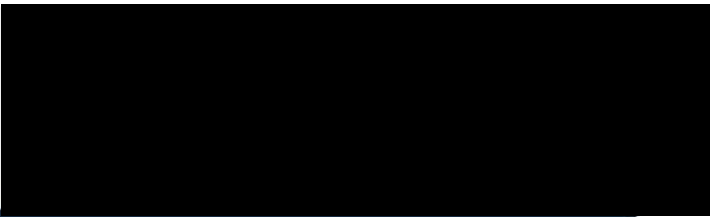
Durch eine detaillierte Analyse der Temperaturverteilung wurde für jedes Modul ein objektiver Zustandsindikator („Health Index“) ermittelt, der eine zuverlässige Bewertung des technischen Anlagenzustands ermöglicht.

Im Rahmen der Auswertung wurden insgesamt **1692 Photovoltaikmodule** identifiziert und analysiert.

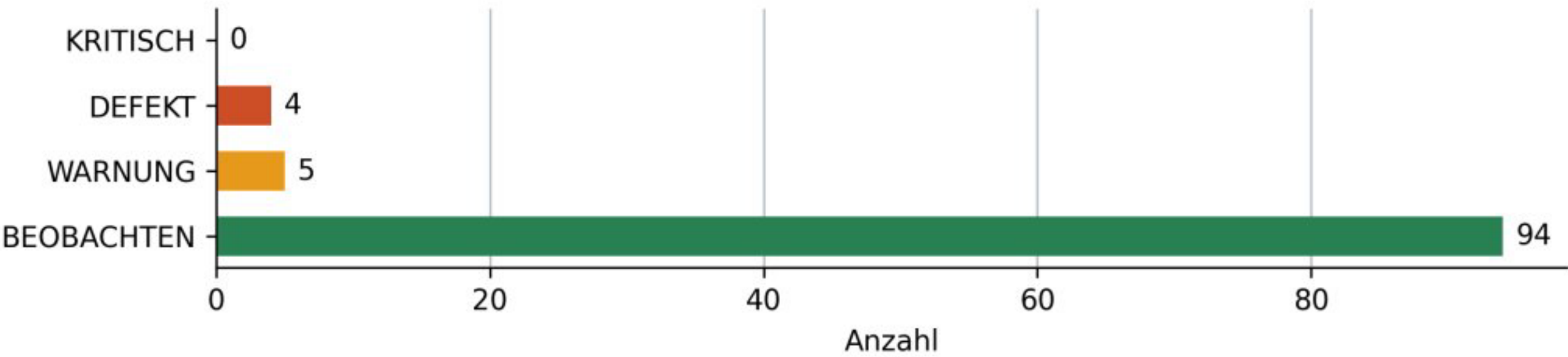
Davon zeigten **103 Module thermische Auffälligkeiten** und wurden einer vertieften thermografischen Detailanalyse unterzogen, bei der das Temperaturprofil der Modulfläche pixelgenau ausgewertet wird.



Beispiel für pixelgenaue Auswertung der Hotspot-Zonen



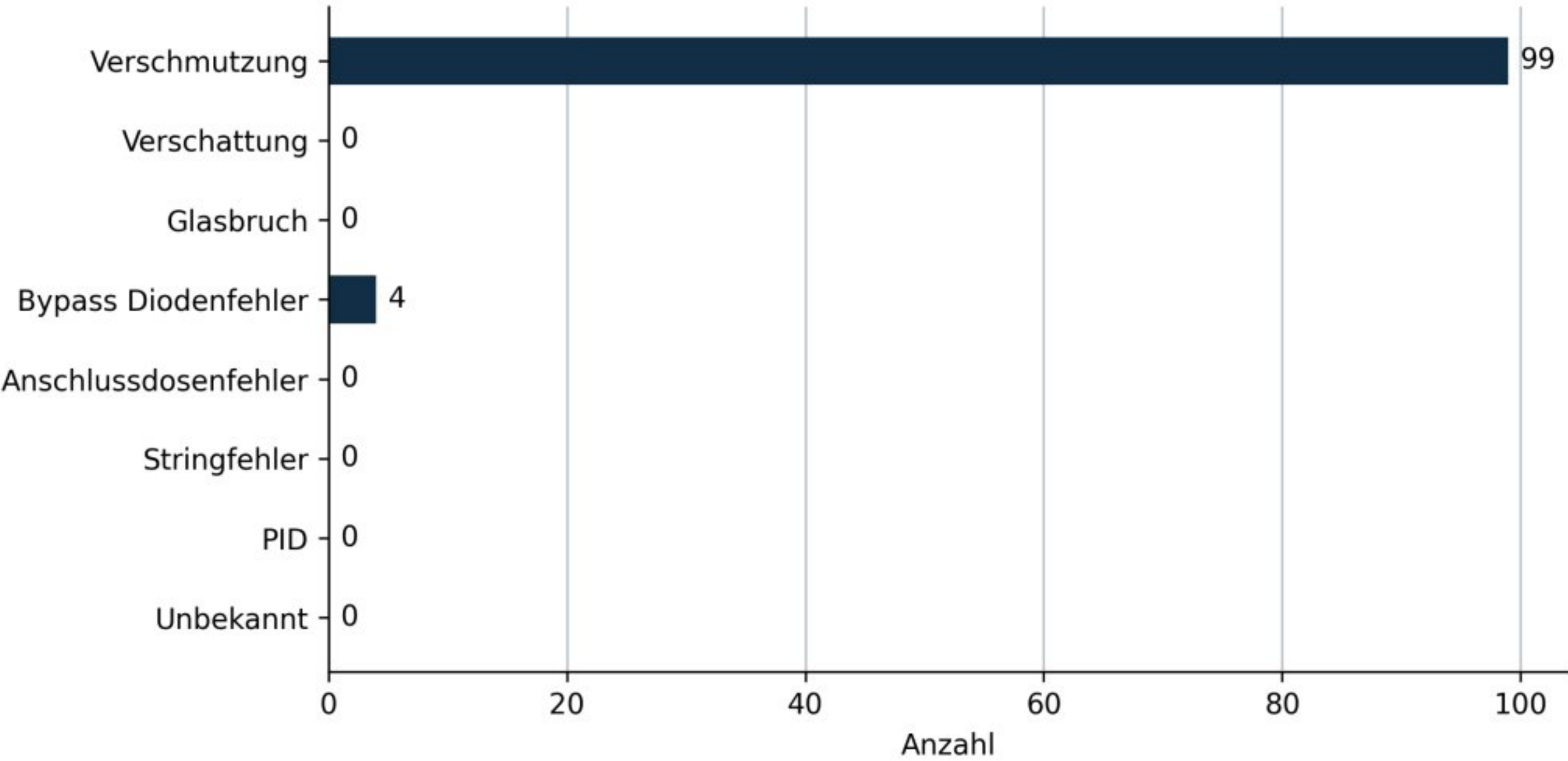
Als Ergebnis der Detailanalyse konnten die **103** auffälligen von insgesamt **1692** Photovoltaikmodulen folgenden Kategorien zugeordnet werden:

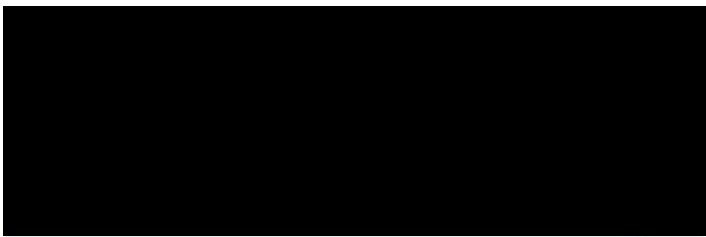


Dabei sind die Kategorien wie folgt definiert:

	Definition	Erläuterung
	KRITISCH ΔT Hotspot > 40K oder T_{max} > 120°C	akuter Handlungsbedarf, Modul sofort austauschen oder entfernen, um schwere Folgeschäden oder Brandrisiken zu vermeiden
	DEFEKT ΔT Hotspot > 20K oder Bypass Fehler	Es liegt mindestens ein schwerer Hotspot oder Bypass Fehler vor. Das Modul sollte kurzfristig ausgetauscht, repariert oder entfernt werden
	WARNUNG ΔT Hotspot > 10K	Es liegt mindestens ein signifikanter Hotspot vor. Es wird empfohlen, das Modul zeitnah zu untersuchen und ggf. mittelfristig zu tauschen.
	BEOBACHTEN ΔT Hotspot > 3K oder leichte Auffälligkeiten	Es liegen leichte Hotspots vor oder kleine thermische Auffälligkeiten. Es wird empfohlen, das Modul ggf. zu Reinigen und im Rahmen der regelmäßigen Wartung zu beobachten.

Es konnten folgende mögliche Ursachen identifiziert werden:





Gesamtwertung



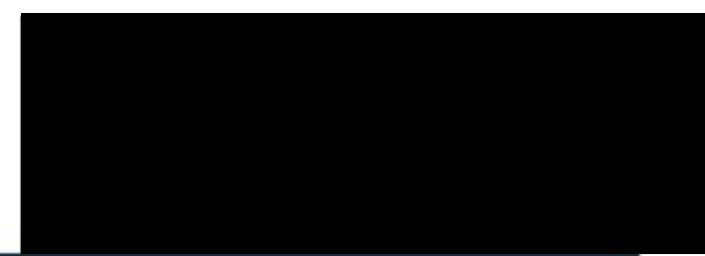
Die mittels Monte-Carlo-Simulation abgeschätzte Leistungsdegradation der Gesamtanlage beträgt **0.11 %**. Davon entfallen **0.11 %-Punkte** auf erkannte Modulfehler und **0.00 %-Punkte** auf String- bzw. Verschaltungsfehler.

Der daraus resultierende geschätzte jährliche Minderertrag beträgt ca. **920 kWh**, entsprechend einem wirtschaftlichen Verlust von rund **92.04 € pro Jahr** (10.0 ct/kWh).

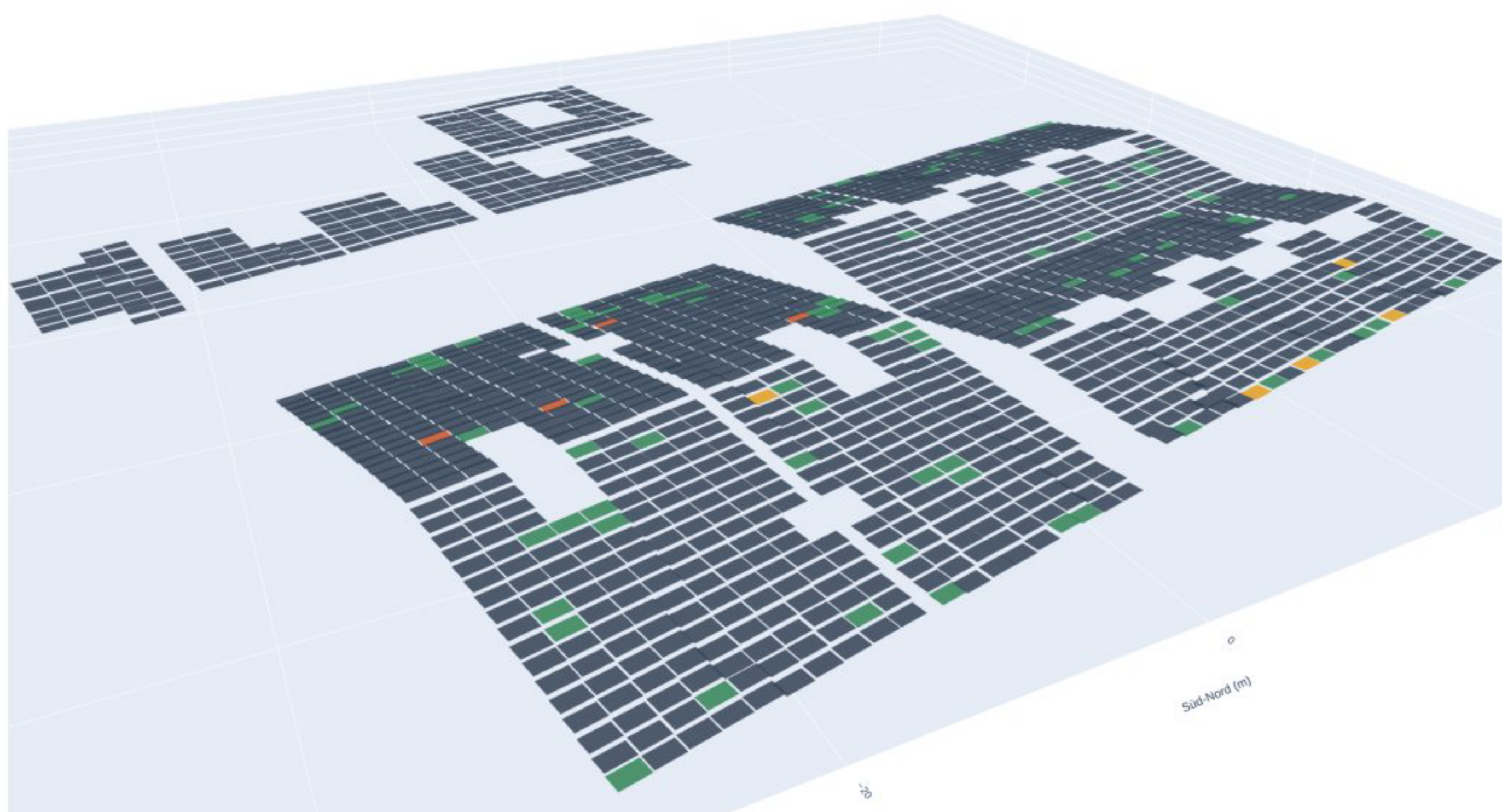
Kritische Befunde (Maßnahmen erforderlich)	0
Potenzielle Garantiefälle	0

Technische Gesamtbewertung:

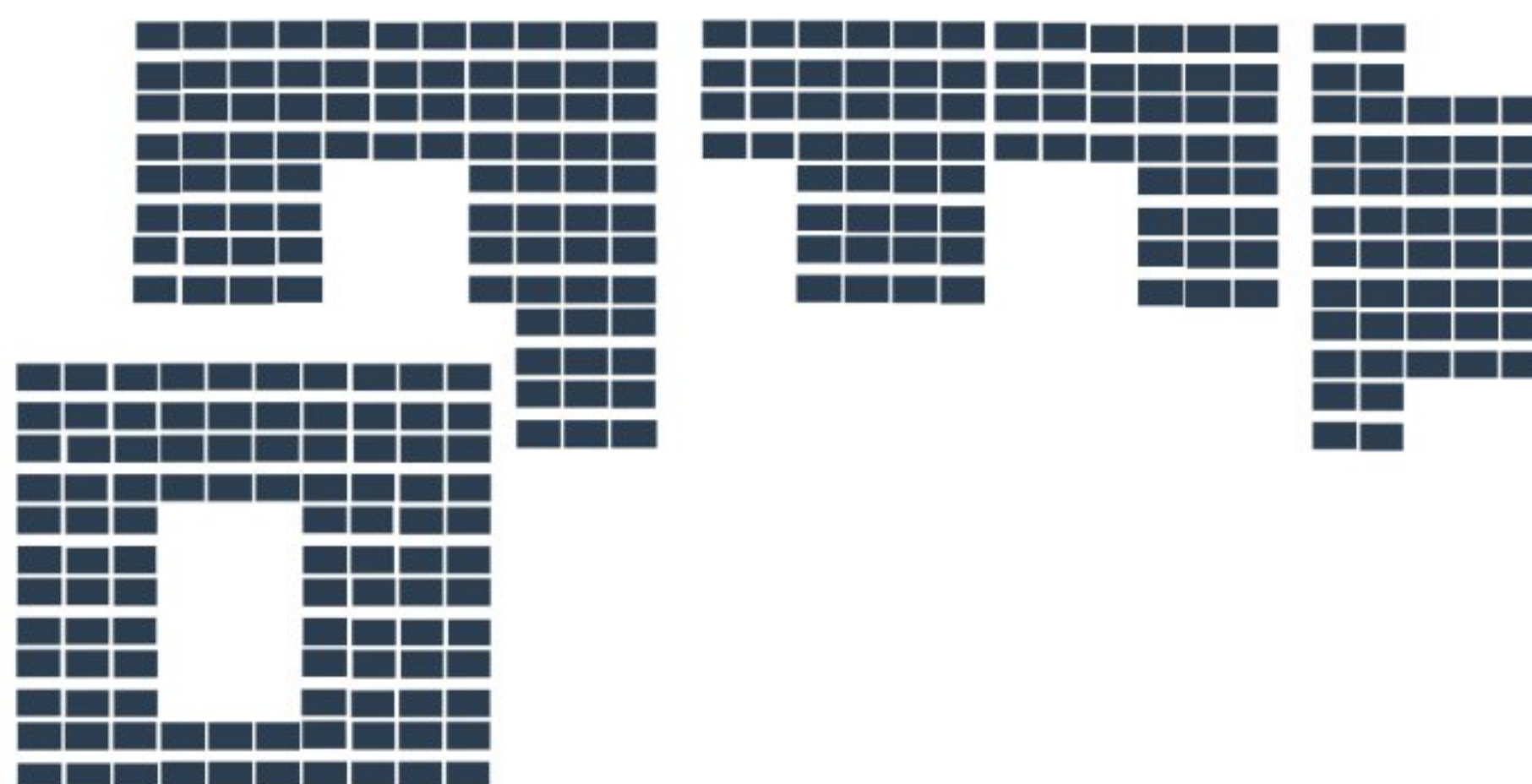
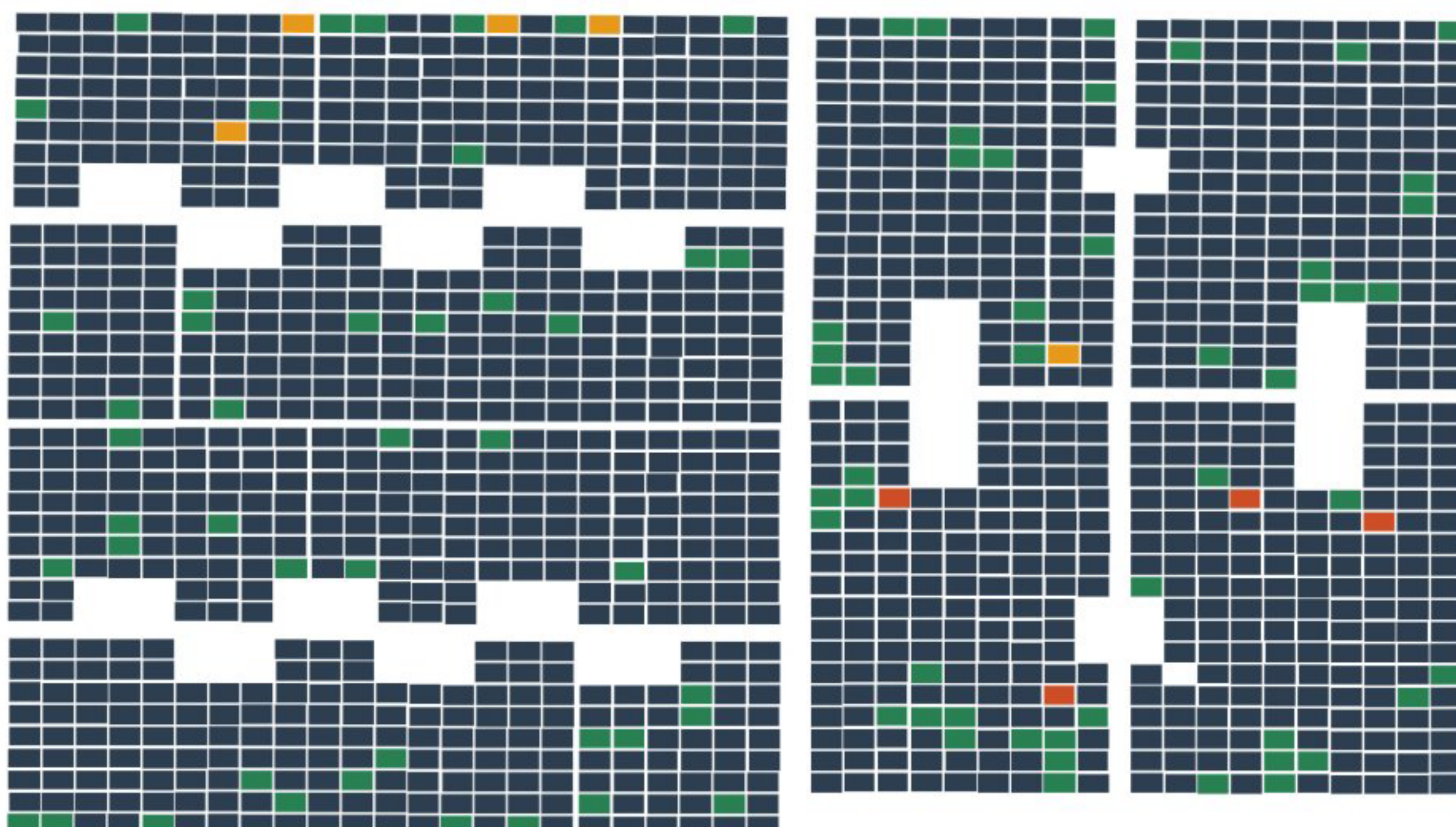
Die Anlage befindet sich in einem sehr guten technischen Zustand. Akuter Handlungsbedarf besteht nicht. Die Auffälligkeiten der Kategorien DEFEKT und WARNUNG sollten kurz- und mittelfristig untersucht bzw. beseitigt werden.



Erzeugtes 3D Modell der PV Module

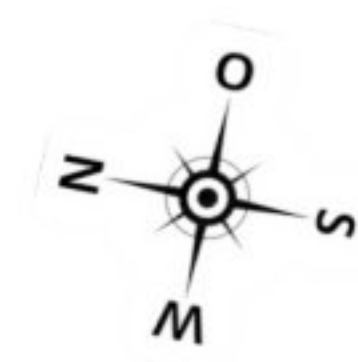


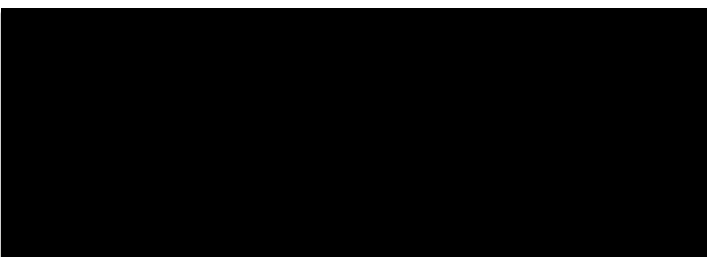
2D Ansicht mit Kategorisierung der Module



1692 Module, davon:

- NORMAL: 1589
- BEOBACHTEN: 94
- WARNUNG: 5
- DEFEKT: 4
- KRITISCH: 0





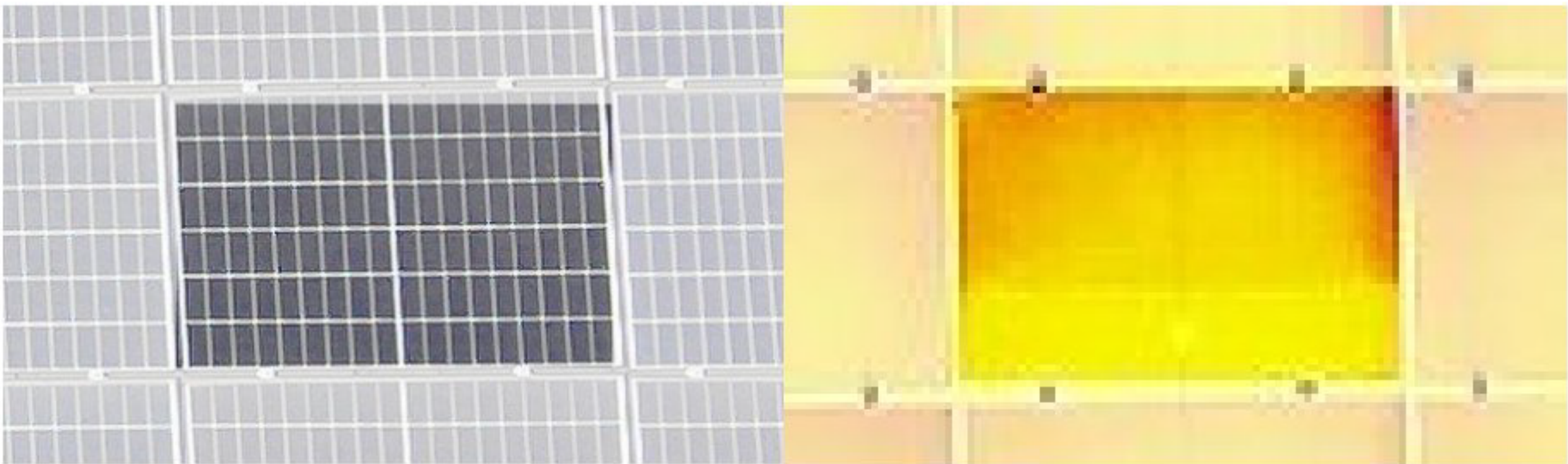
Thermografische Einzelauswertung der Module

auf den Folgeseiten, aufsteigend nach Health Index

Umgebungsparameter der Thermografie	Wert
atmosphärische Temperatur [°C]	30.0
reflektierte Temperatur [°C]	-20.0
Emissionsgrad	0.9
Abstand [m]	10.0
Luftfeuchtigkeit [%]	80
Sonneneinstrahlung G [W/m²]	1060
Wind [Beaufort]	2 (Leichte Brise)
Bewölkung [Okta]	0 (wolkenlos)
Blickwinkel auf Modul	>50°
Seriennummer Drohne (DJI M30T)	08154711abc
Seriennummer IR-Kamera	47110815abc



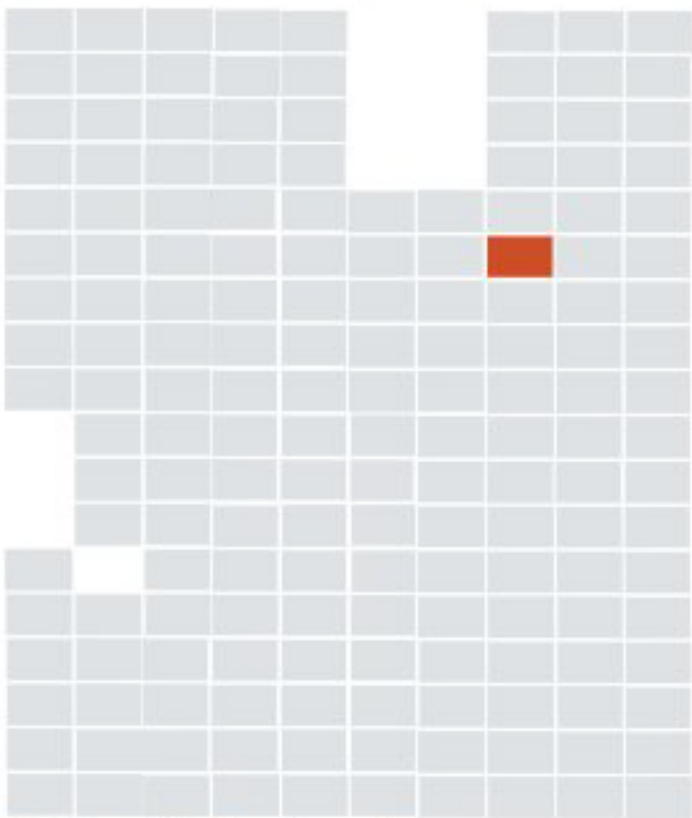
Modul ID:4234



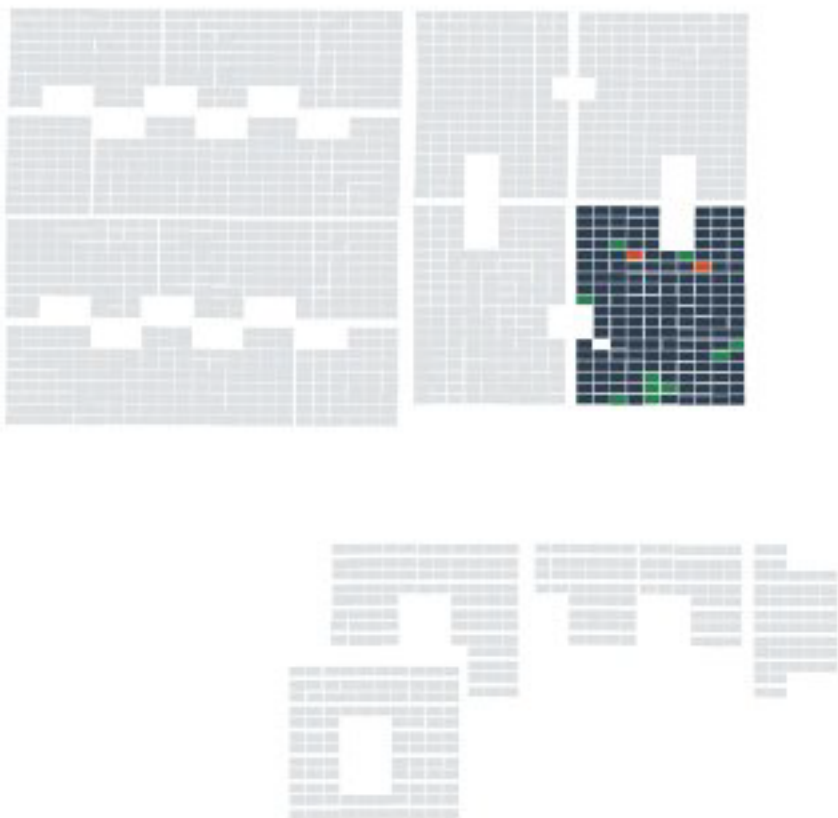
Normalbild im sichtbaren Spektrum

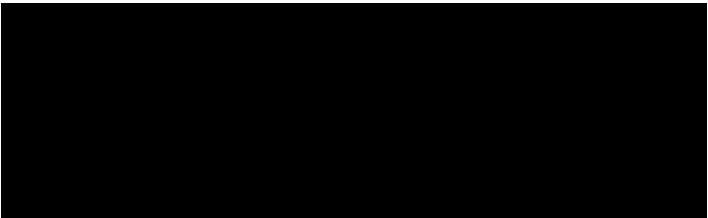
Radiometrische Thermografieaufnahme

Metrik	Wert
GPS Koordinate	51° 19' 44.95" N 5° 56' 30.98" E
Mittlere Temperatur (T_median) [°C]	69.47
Maximale Temperatur (T_max) [°C]	78.17
Max. Temperaturdifferenz zum Median (ΔT_max) [K]	8.7
Anzahl der Hotspots mit ΔT > 3K 10K 20K 40K	0 0 0 0
PID-Verdachtsindex	0/100
Anzahl Bypassfehler	1
Gesamtzustandsindex (Health Index)	66.7/100
Bewertung	DEFEKT
Mögliche Grundursachen	Bypass Diode defekt
DJI_20250617132352_0056_T.JPG 2025-06-17 13:23:52+02:00, Pixelauflösung 27.6 mm, Fluggeschwindigkeit: 1.6 m/s	

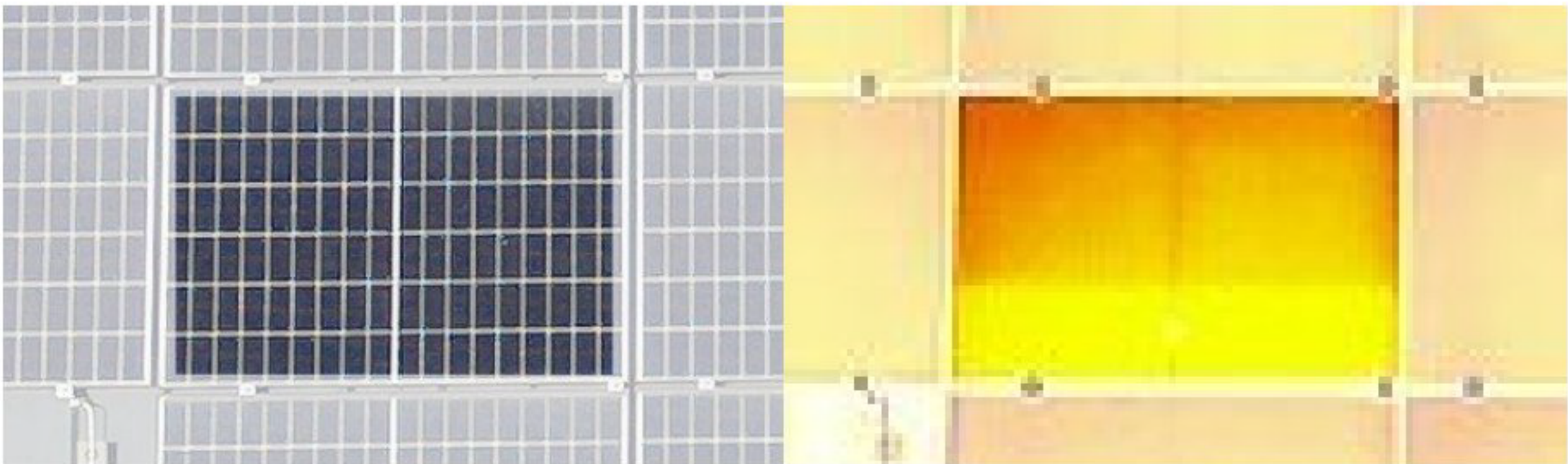


Reihe: 6, Position 8





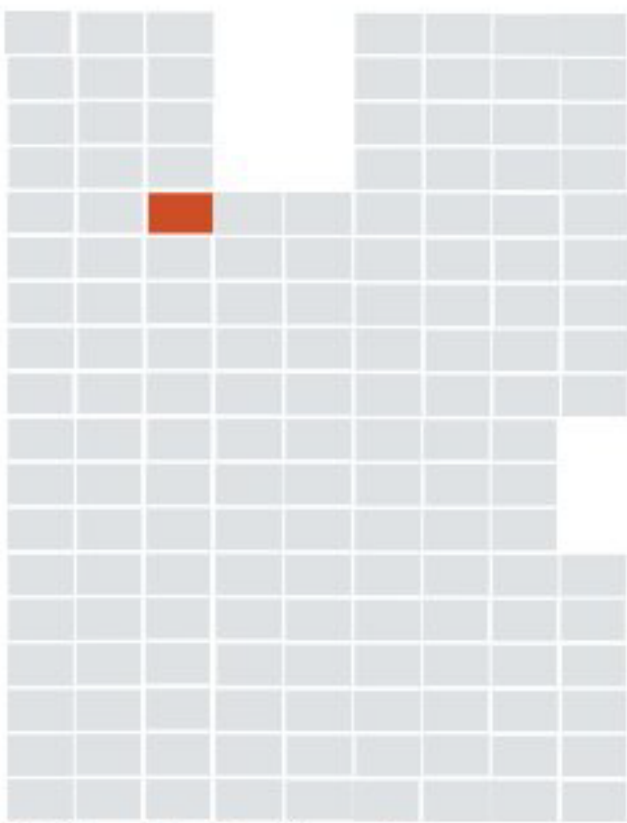
Modul ID:5536



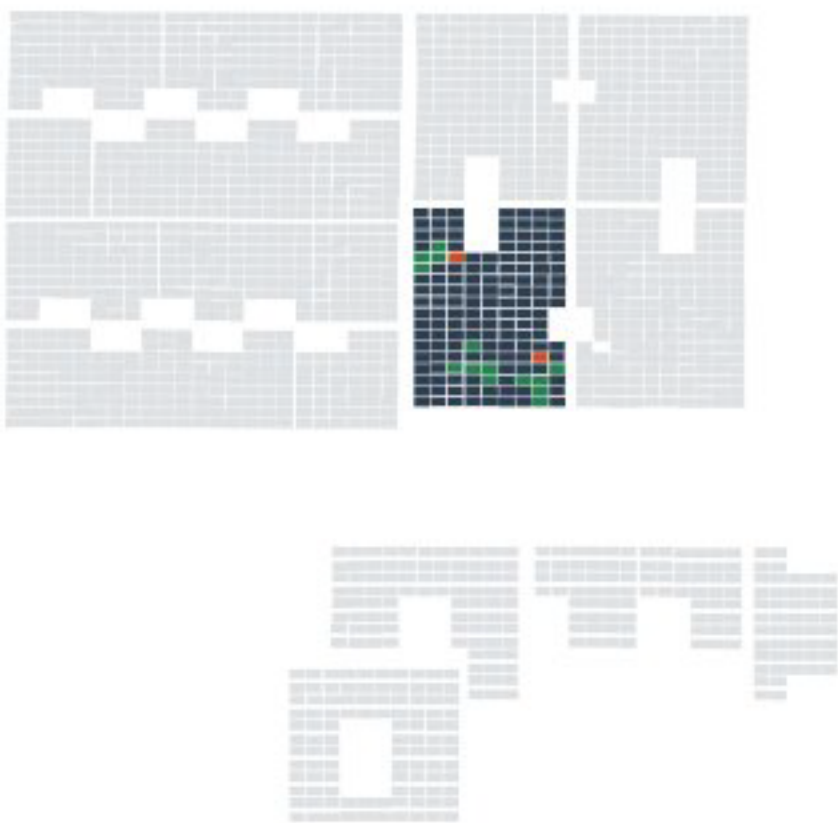
Normalbild im sichtbaren Spektrum

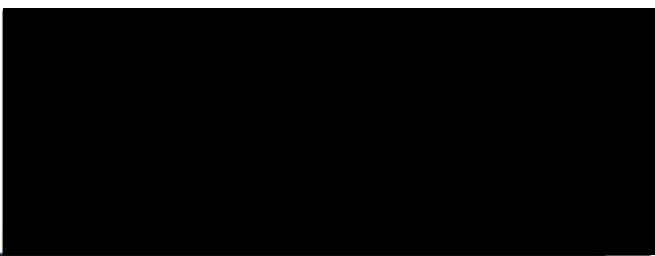
Radiometrische Thermografieaufnahme

Metrik	Wert
GPS Koordinate	51° 20' 48.91" N 6° 0' 4.62" E
Mittlere Temperatur (T_median) [°C]	71.73
Maximale Temperatur (T_max) [°C]	81.29
Max. Temperaturdifferenz zum Median (ΔT_max) [K]	9.6
Anzahl der Hotspots mit ΔT > 3K 10K 20K 40K	0 0 0 0
PID-Verdachtsindex	0/100
Anzahl Bypassfehler	1
Gesamtzustandsindex (Health Index)	66.7/100
Bewertung	DEFEKT
Mögliche Grundursachen	Bypass Diode defekt
DJI_20250617132933_0220_T.JPG 2025-06-17 13:29:33+02:00, Pixelauflösung 26.7 mm, Fluggeschwindigkeit: 1.5 m/s	

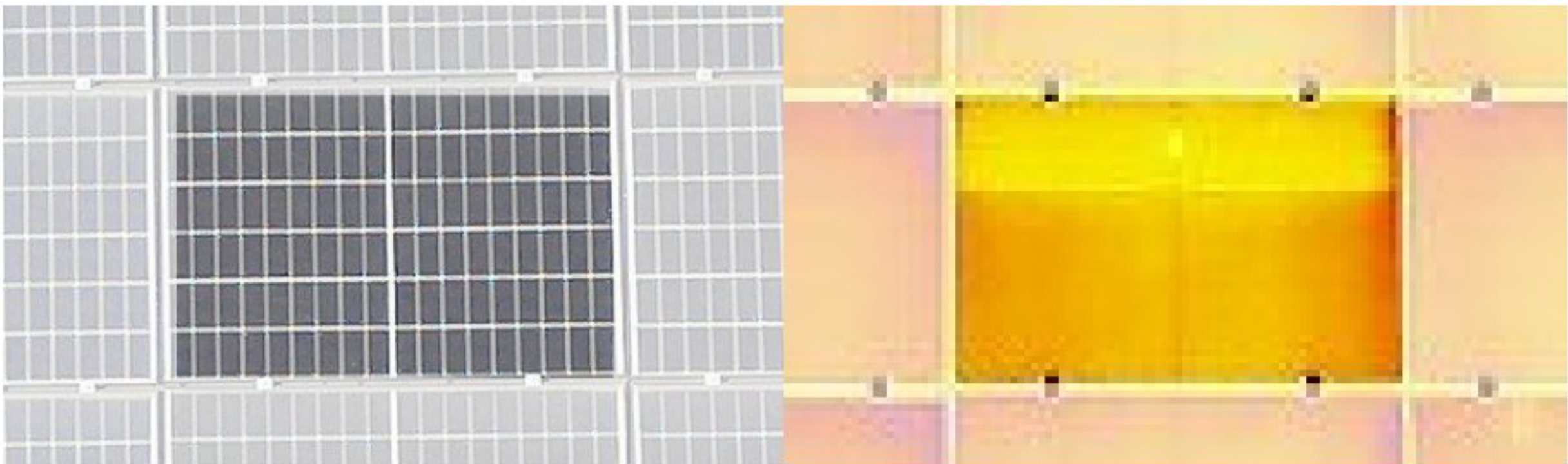


Reihe: 5, Position 3





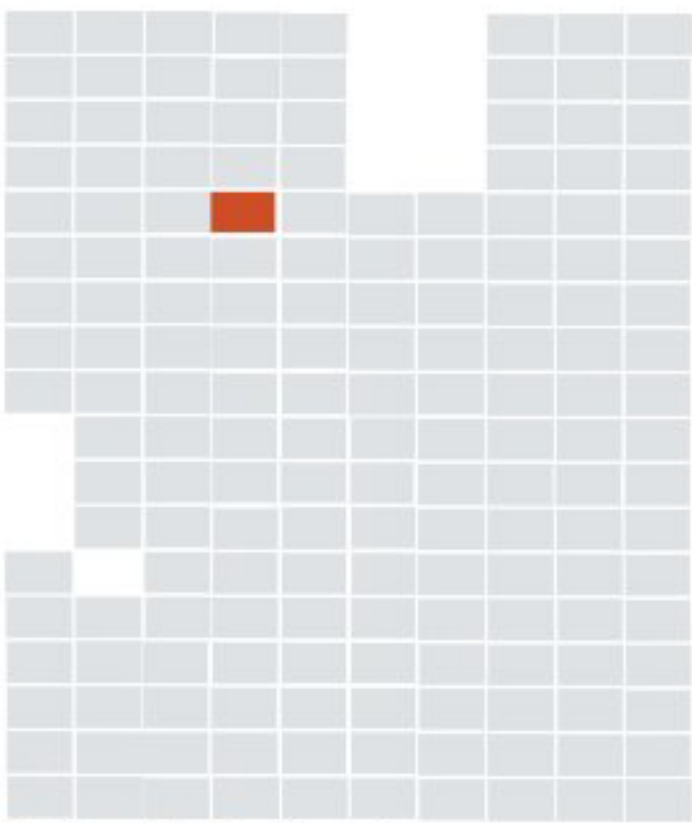
Modul ID:4233



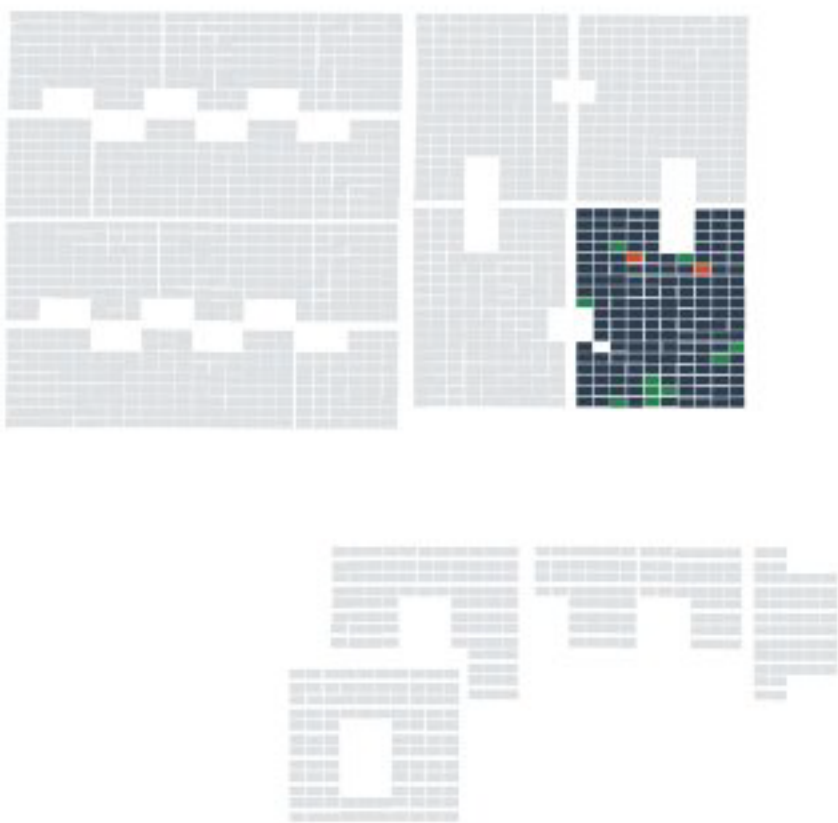
Normalbild im sichtbaren Spektrum

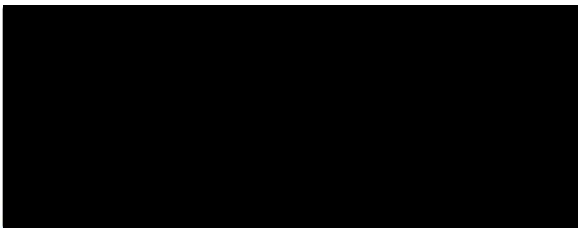
Radiometrische Thermografieaufnahme

Metrik	Wert
GPS Koordinate	51° 20' 27.00" N 6° 7' 53.73" E
Mittlere Temperatur (T_median) [°C]	71.98
Maximale Temperatur (T_max) [°C]	77.96
Max. Temperaturdifferenz zum Median (ΔT_max) [K]	6.0
Anzahl der Hotspots mit ΔT > 3K 10K 20K 40K	0 0 0 0
PID-Verdachtsindex	0/100
Anzahl Bypassfehler	1
Gesamtzustandsindex (Health Index)	66.7/100
Bewertung	DEFEKT
Mögliche Grundursachen	Bypass Diode defekt
DJI_20250617132544_0110_T.JPG 2025-06-17 13:25:44+02:00, Pixelauflösung 25.6 mm, Fluggeschwindigkeit: 1.5 m/s	

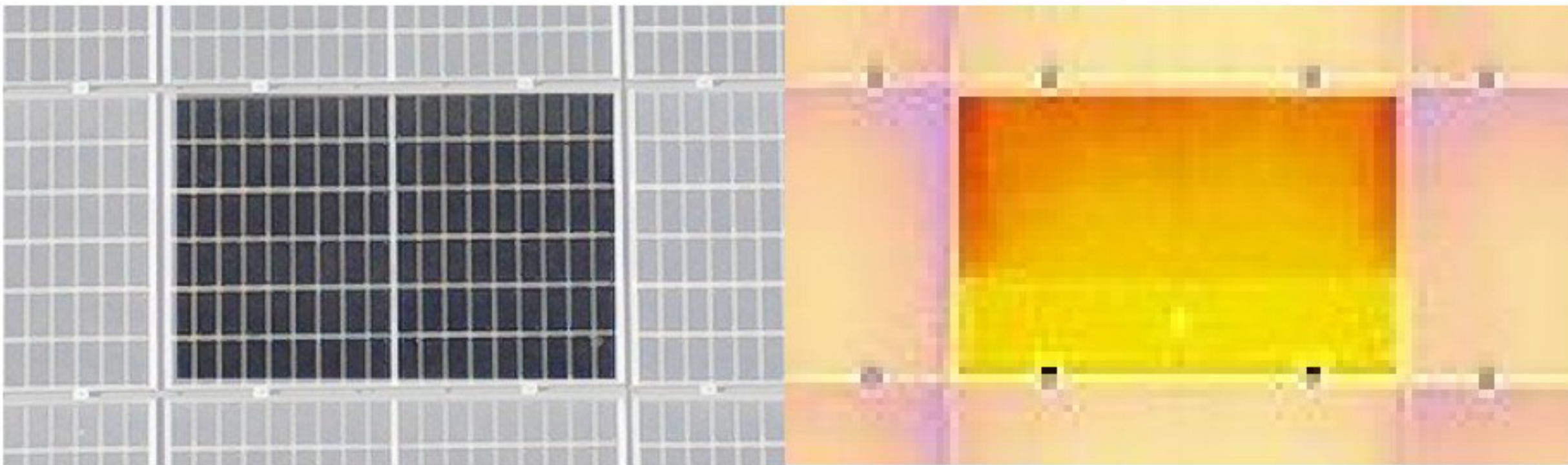


Reihe: 5, Position 4





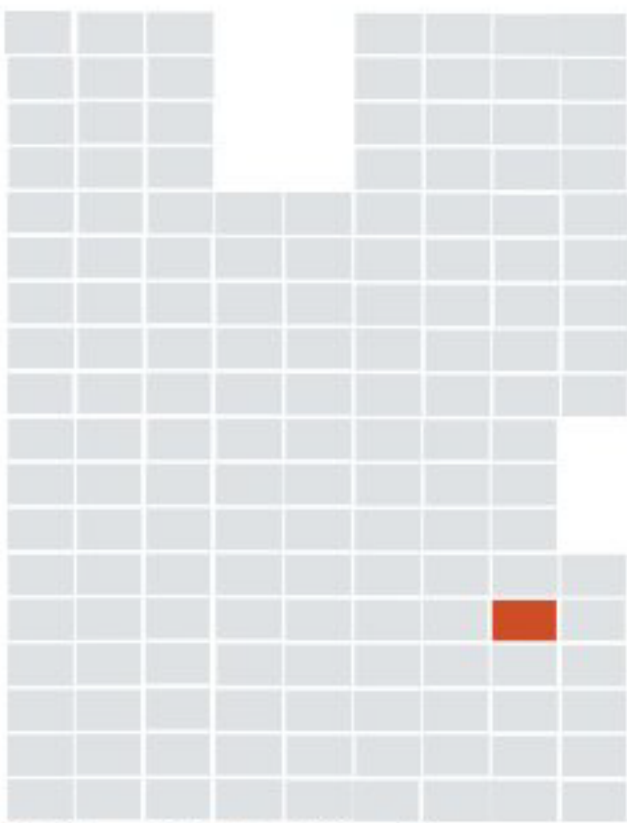
Modul ID:4597



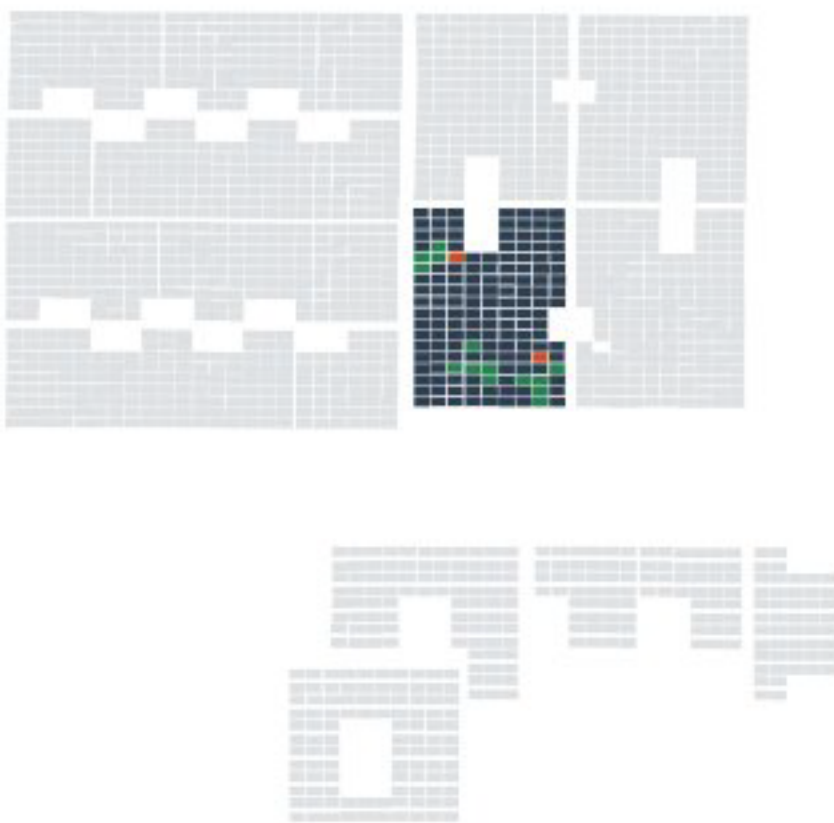
Normalbild im sichtbaren Spektrum

Radiometrische Thermografieaufnahme

Metrik	Wert
GPS Koordinate	51° 20' 36.67" N 6° 13' 14.75" E
Mittlere Temperatur (T_median) [°C]	69.89
Maximale Temperatur (T_max) [°C]	79.73
Max. Temperaturdifferenz zum Median (ΔT_max) [K]	9.8
Anzahl der Hotspots mit ΔT > 3K 10K 20K 40K	0 0 0 0
PID-Verdachtsindex	0/100
Anzahl Bypassfehler	1
Gesamtzustandsindex (Health Index)	66.7/100
Bewertung	DEFEKT
Mögliche Grundursachen	Bypass Diode defekt
DJI_20250617132745_0168_T.JPG 2025-06-17 13:27:45+02:00, Pixelauflösung 28.8 mm, Fluggeschwindigkeit: 1.6 m/s	

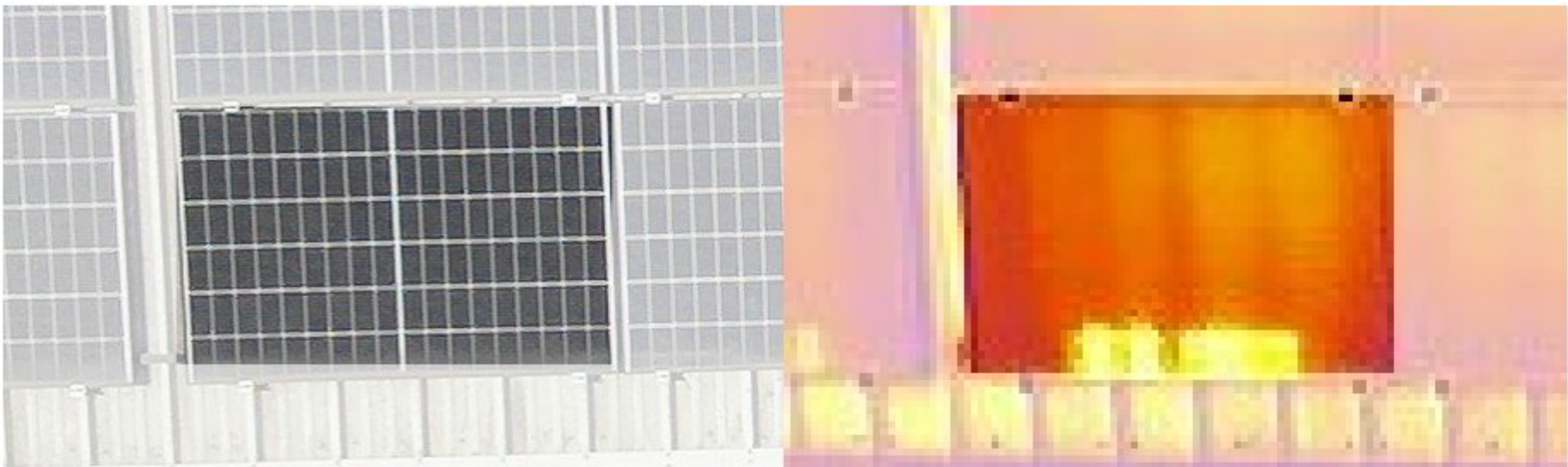


Reihe: 14, Position 8





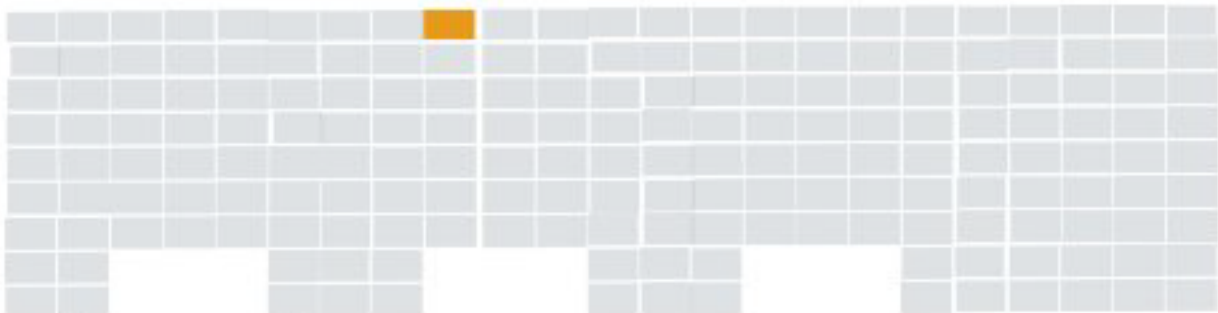
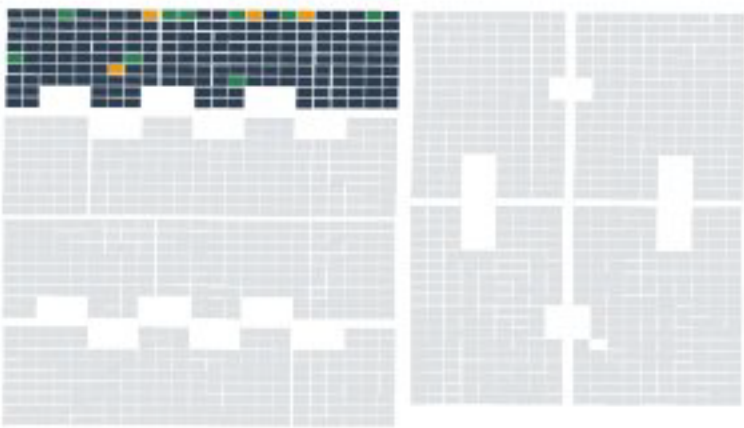
Modul ID:5746



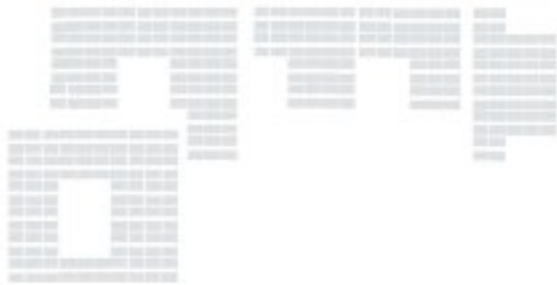
Normalbild im sichtbaren Spektrum

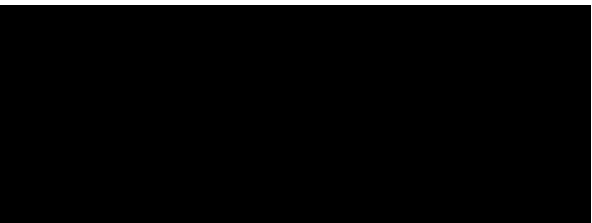
Radiometrische Thermografieaufnahme

Metrik	Wert
GPS Koordinate	51° 20' 49.47" N 6° 38' 43.14" E
Mittlere Temperatur (T_median) [°C]	65.99
Maximale Temperatur (T_max) [°C]	81.96
Max. Temperaturdifferenz zum Median (ΔT_max) [K]	16.0
Anzahl der Hotspots mit ΔT > 3K 10K 20K 40K	5 3 0 0
PID-Verdachtsindex	0/100
Anzahl Bypassfehler	0
Gesamtzustandsindex (Health Index)	96.0/100
Bewertung	WARNUNG
Mögliche Grundursachen	Verschmutzung
DJI_20250617133500_0377_T.JPG 2025-06-17 13:35:00+02:00, Pixelauflösung 26.8 mm, Fluggeschwindigkeit: 1.5 m/s	

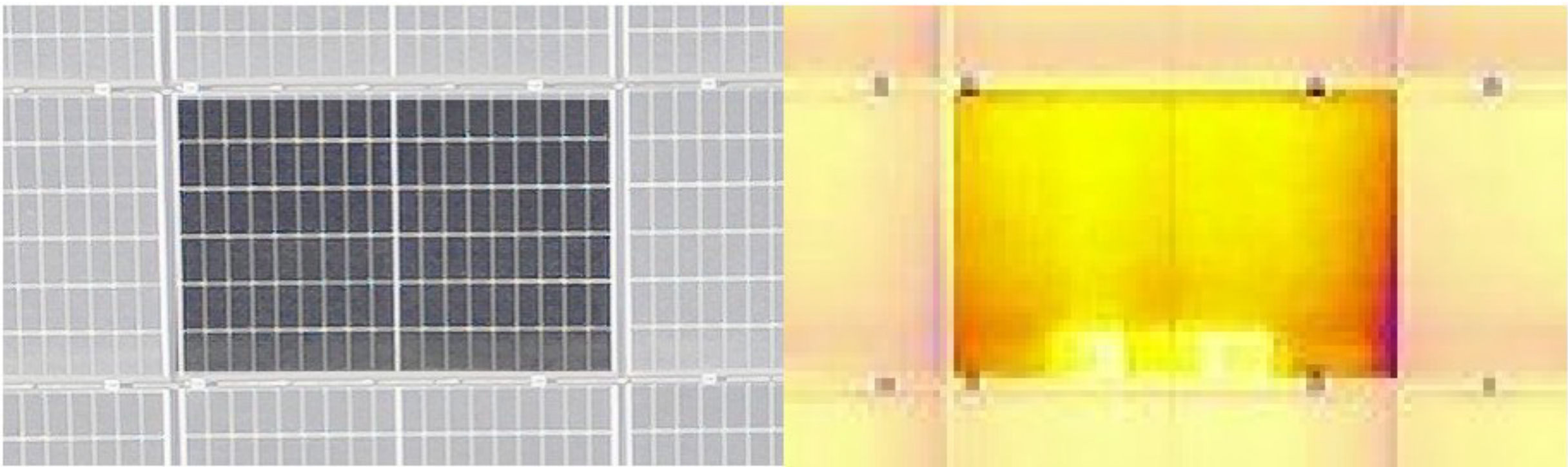


Reihe: 1, Position 9





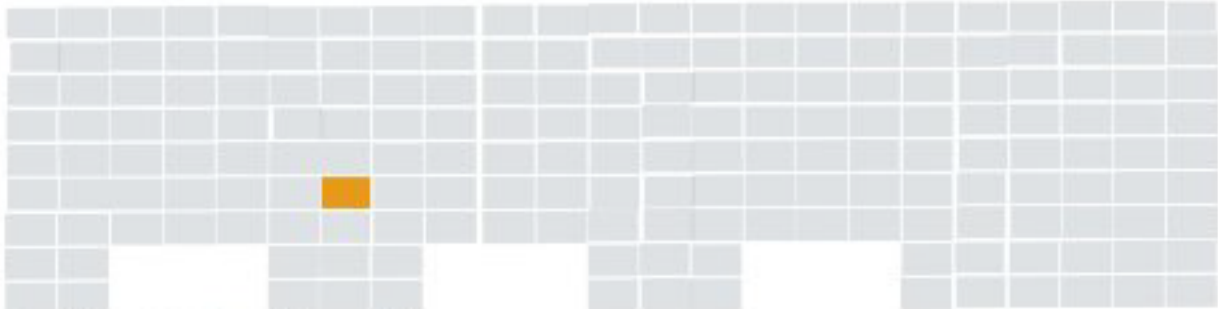
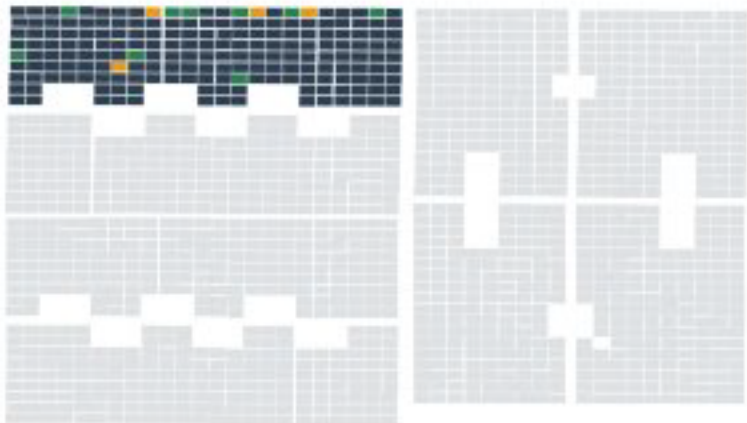
Modul ID:5170



Normalbild im sichtbaren Spektrum

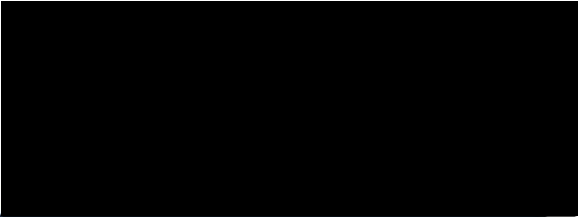
Radiometrische Thermografieaufnahme

Metrik	Wert
GPS Koordinate	51° 19' 55.29" N 6° 11' 23.56" E
Mittlere Temperatur (T_median) [°C]	70.47
Maximale Temperatur (T_max) [°C]	80.89
Max. Temperaturdifferenz zum Median (ΔT_max) [K]	10.4
Anzahl der Hotspots mit ΔT > 3K 10K 20K 40K	5 1 0 0
PID-Verdachtsindex	0/100
Anzahl Bypassfehler	0
Gesamtzustandsindex (Health Index)	97.3/100
Bewertung	WARNUNG
Mögliche Grundursachen	Verschmutzung
DJI_20250617133502_0378_T.JPG 2025-06-17 13:35:02+02:00, Pixelauflösung 24.8 mm, Fluggeschwindigkeit: 1.6 m/s	

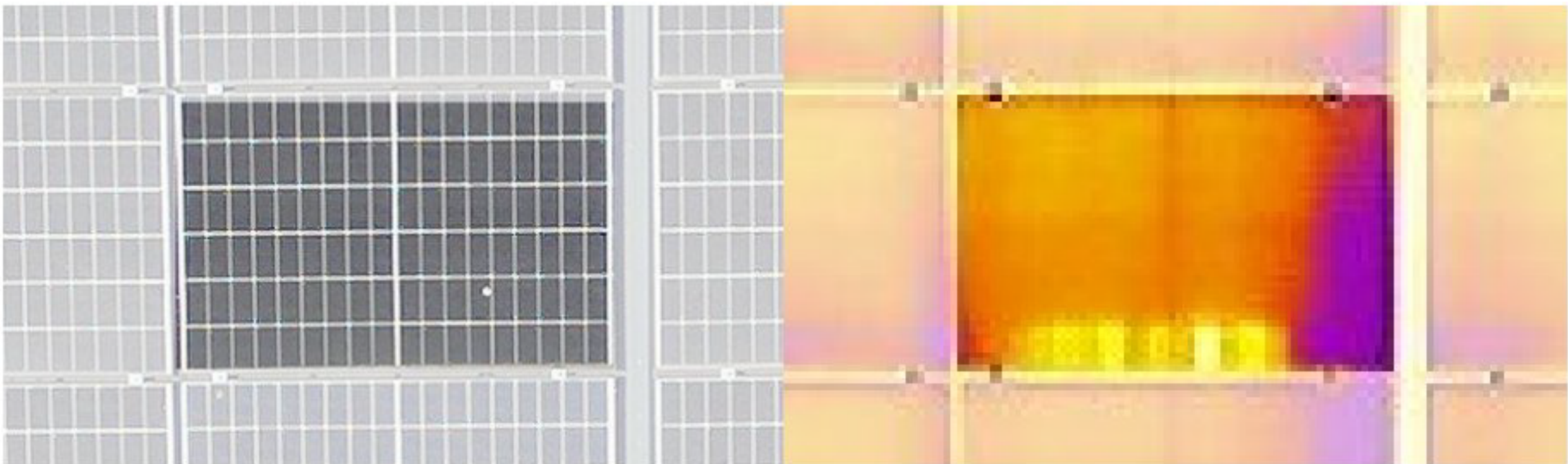


Reihe: 6, Position 7





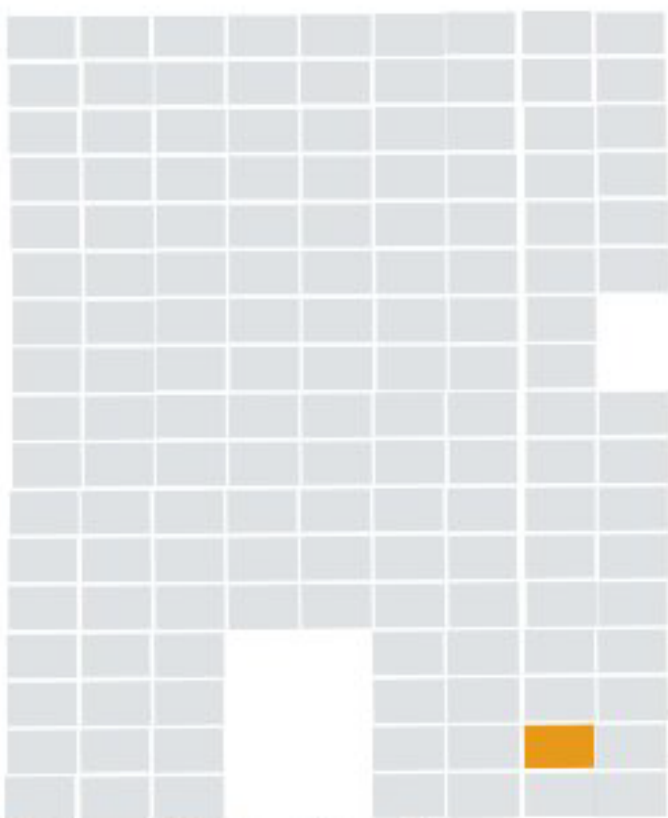
Modul ID:4365



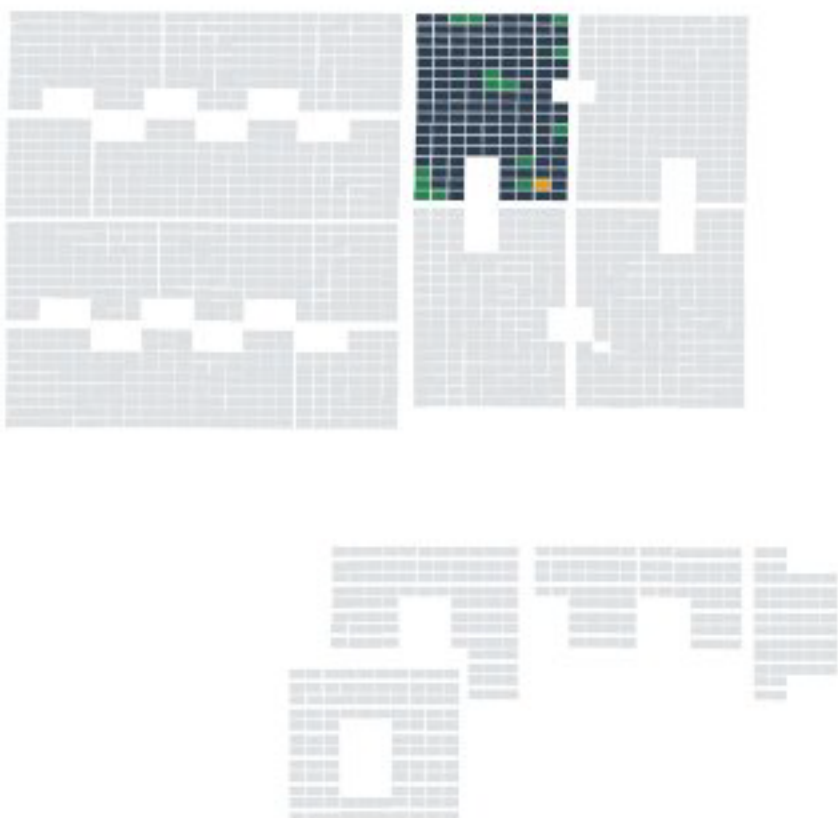
Normalbild im sichtbaren Spektrum

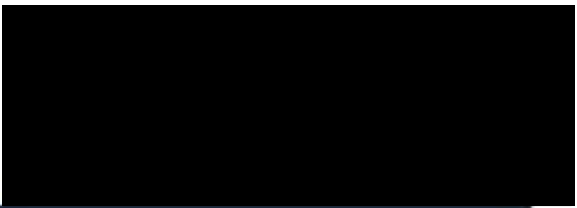
Radiometrische Thermografieaufnahme

Metrik	Wert
GPS Koordinate	51° 20' 45.84" N 6° 22' 48.66" E
Mittlere Temperatur (T_median) [°C]	69.64
Maximale Temperatur (T_max) [°C]	81.77
Max. Temperaturdifferenz zum Median (ΔT_{max}) [K]	12.1
Anzahl der Hotspots mit $\Delta T > 3K 10K 20K 40K $	6 1 0 0
PID-Verdachtsindex	0/100
Anzahl Bypassfehler	0
Gesamtzustandsindex (Health Index)	97.5/100
Bewertung	WARNUNG
Mögliche Grundursachen	Verschmutzung
DJI_20250617132735_0163_T.JPG 2025-06-17 13:27:35+02:00, Pixelauflösung 25.1 mm, Fluggeschwindigkeit: 1.5 m/s	



Reihe: 16, Position 6

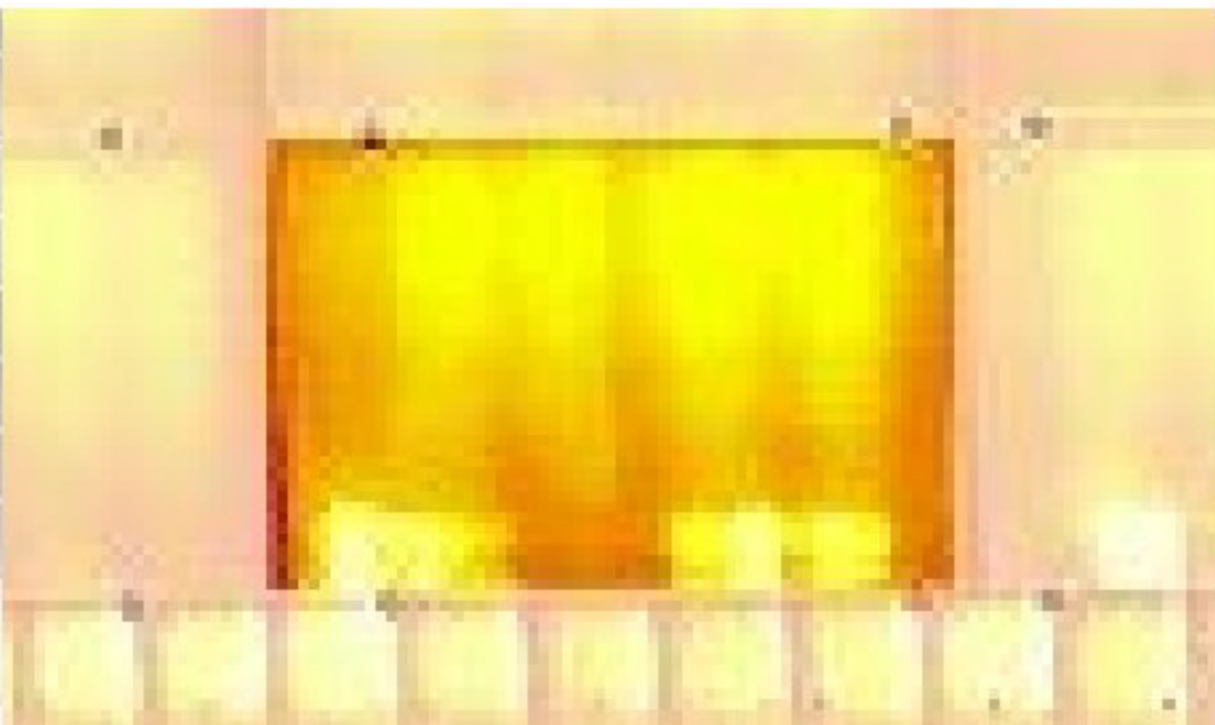




Modul ID:4873

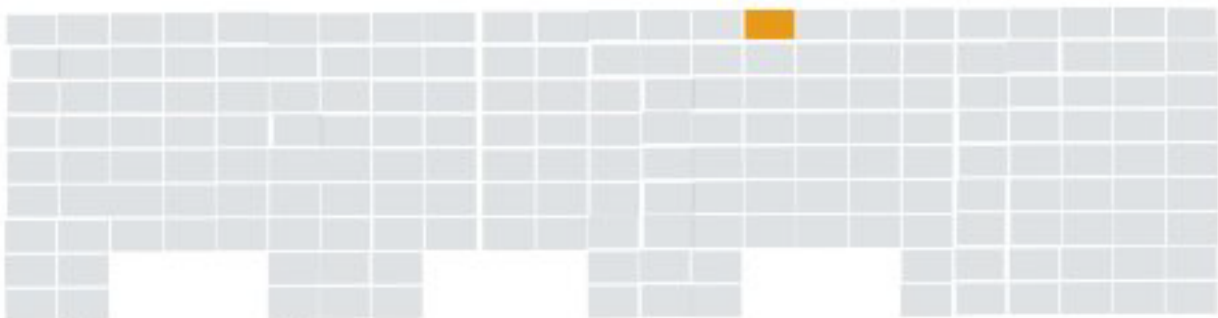
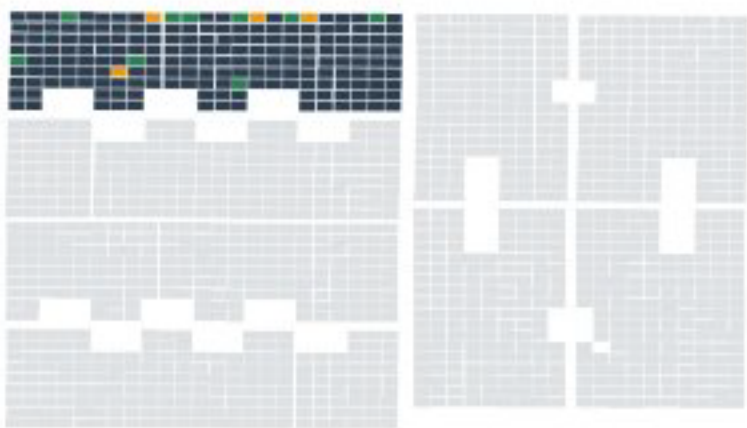


Normalbild im sichtbaren Spektrum

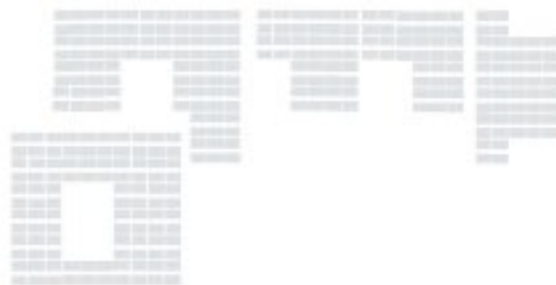


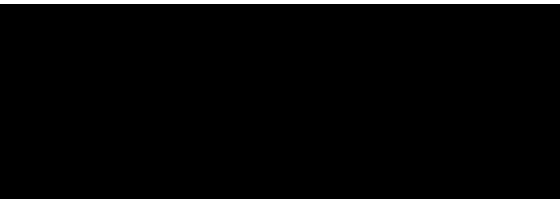
Radiometrische Thermografieaufnahme

Metrik	Wert
GPS Koordinate	51° 20' 53.67" N 5° 45' 2.67" E
Mittlere Temperatur (T_median) [°C]	66.07
Maximale Temperatur (T_max) [°C]	76.53
Max. Temperaturdifferenz zum Median (ΔT_max) [K]	10.5
Anzahl der Hotspots mit ΔT > 3K 10K 20K 40K	5 1 0 0
PID-Verdachtsindex	0/100
Anzahl Bypassfehler	0
Gesamtzustandsindex (Health Index)	97.7/100
Bewertung	WARNUNG
Mögliche Grundursachen	Verschmutzung
DJI_20250617133305_0322_T.JPG 2025-06-17 13:33:05+02:00, Pixelauflösung 26.4 mm, Fluggeschwindigkeit: 1.5 m/s	



Reihe: 1, Position 15

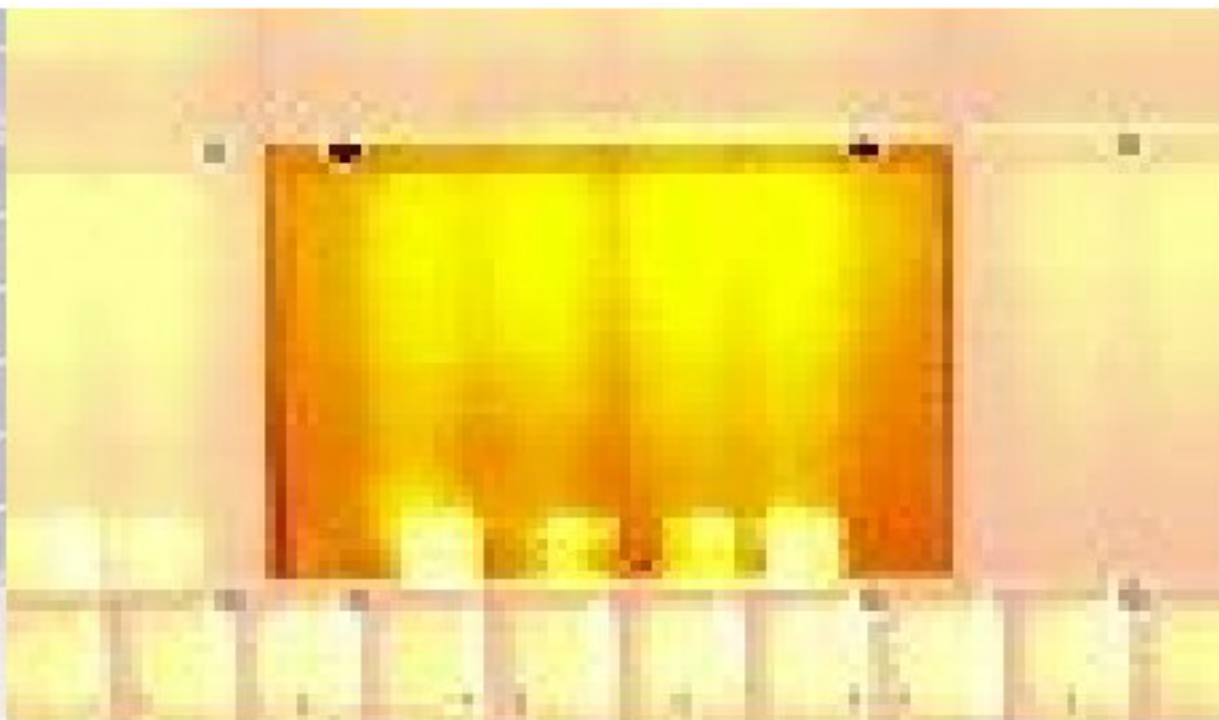




Modul ID:5677

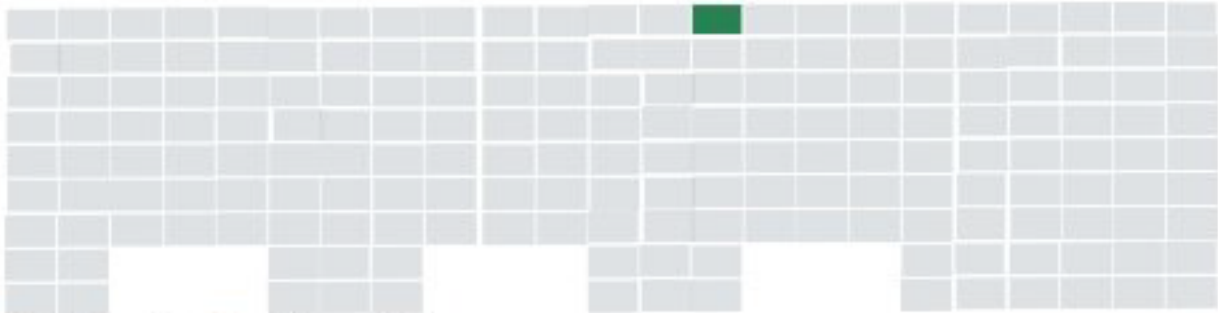
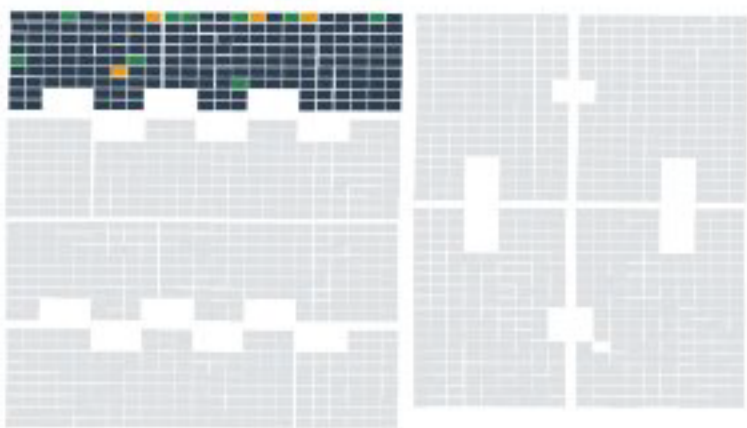


Normalbild im sichtbaren Spektrum

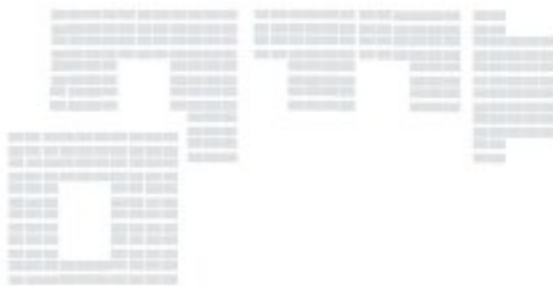


Radiometrische Thermografieaufnahme

Metrik	Wert
GPS Koordinate	51° 20' 50.77" N 5° 44' 55.08" E
Mittlere Temperatur (T_median) [°C]	65.9
Maximale Temperatur (T_max) [°C]	75.51
Max. Temperaturdifferenz zum Median (ΔT_max) [K]	9.6
Anzahl der Hotspots mit ΔT > 3K 10K 20K 40K	7 0 0 0
PID-Verdachtsindex	0/100
Anzahl Bypassfehler	0
Gesamtzustandsindex (Health Index)	97.9/100
Bewertung	BEOBACHTEN
Mögliche Grundursachen	Verschmutzung
DJI_20250617133305_0322_T.JPG 2025-06-17 13:33:05+02:00, Pixelauflösung 25.1 mm, Fluggeschwindigkeit: 1.5 m/s	



Reihe: 1, Position 14





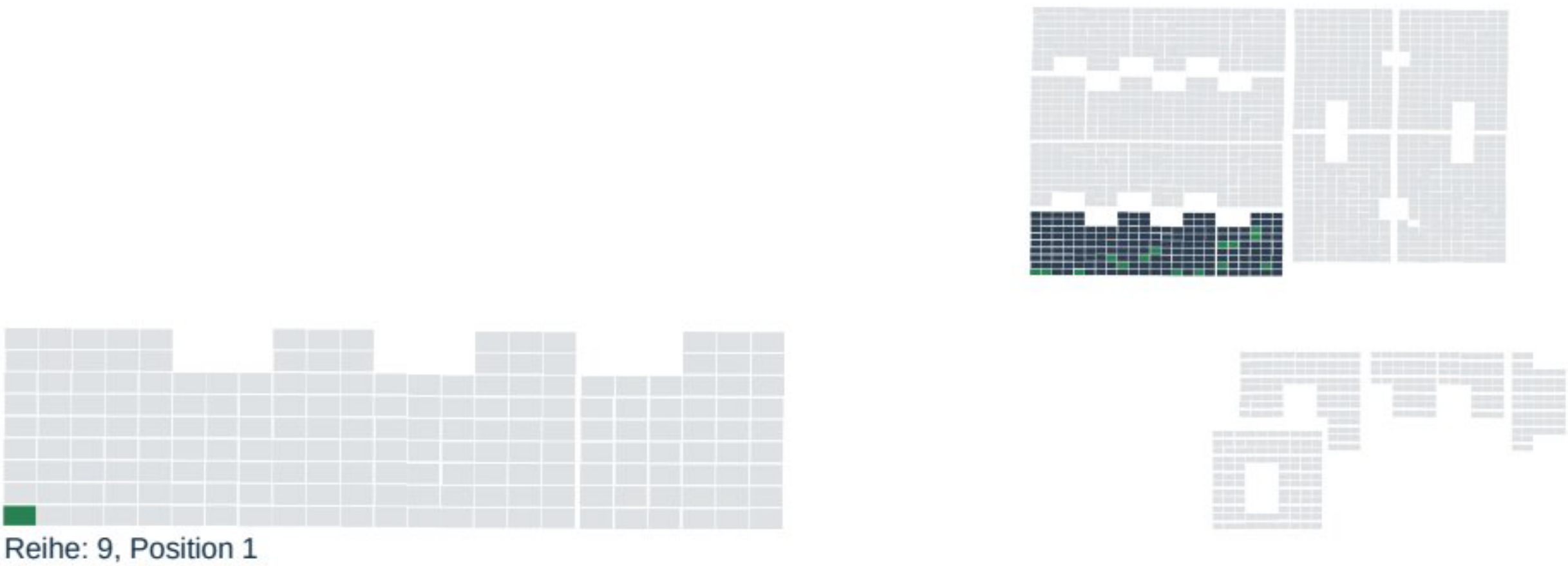
Modul ID:5298

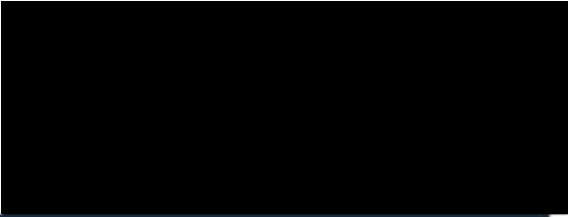


Normalbild im sichtbaren Spektrum

Radiometrische Thermografieaufnahme

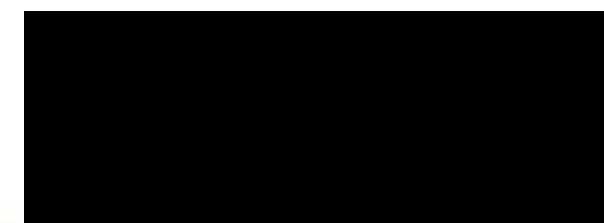
Metrik	Wert
GPS Koordinate	51° 20' 43.77" N 5° 55' 11.51" E
Mittlere Temperatur (T_median) [°C]	64.92
Maximale Temperatur (T_max) [°C]	75.3
Max. Temperaturdifferenz zum Median (ΔT_max) [K]	10.4
Anzahl der Hotspots mit ΔT > 3K 10K 20K 40K	4 0 0 0
PID-Verdachtsindex	0/100
Anzahl Bypassfehler	0
Gesamtzustandsindex (Health Index)	98.1/100
Bewertung	BEOBACHTEN
Mögliche Grundursachen	Verschmutzung
DJI_20250617133715_0442_T.JPG 2025-06-17 13:37:15+02:00, Pixelauflösung 26.0 mm, Fluggeschwindigkeit: 1.6 m/s	





String-Analyse

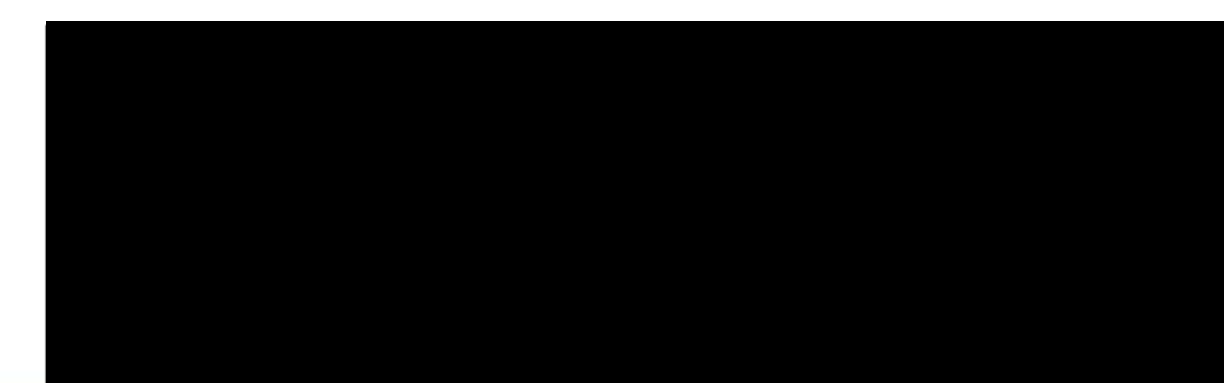
Metrik	Wert
Erkannte String-Mismatches	0
Erkannte kurzgeschlossene Strings	0
Erkannte offene Strings	0
Erkannte verpolte Strings	0



Erläuterung der Begriffe und Metriken

Begriff / Metrik	Erklärung
Health Index (0–100)	Der Health Index beschreibt den geschätzten Leistungszustand eines PV-Moduls in Prozent. Grundlage ist eine thermografisch basierte Abschätzung potenzieller Zell- bzw. Teilstringverluste (z.B. durch Hotspots oder Bypass-Diodenfehler). 100 entspricht einem thermisch unauffälligen Modul, reduzierte Werte deuten auf wahrscheinliche Leistungsdegradation hin.
ΔT_{max}	ΔT_{max} beschreibt die maximale Temperaturabweichung nach oben im Vergleich zur mittleren Temperatur (Median) des Moduls. Diese Metrik ist ein Maß dafür wie stark ein Modul ungleich thermisch belastet wird.
Hotspot ΔT	Das ΔT pro Hotspot beschreibt die maximale Temperaturdifferenz eines erwärmten Bereichs innerhalb eines Moduls im Vergleich zu den umliegenden Referenzbereichen. Lokale Übertemperaturen (Hotspots) können auf Zellschäden, Kontaktierungsprobleme oder erhöhte Serienwiderstände hinweisen und führen abhängig von ihrer Ausprägung zu einer teilweisen Leistungsreduktion. Bei dieser Metrik werden die ΔT Werte normiert auf die Nenneinstrahlung von 1000W/m^2 mit Exponent $x=1.5$
PID (Potential Induced Degradation)	PID bezeichnet eine spannungsinduzierte Degradation von Solarzellen, die zu flächigen oder substrukturartigen Erwärmungsmustern führen kann. Sie entsteht durch Leckströme zwischen Zellmaterial und Rahmen bzw. Erdpotential und kann erhebliche Leistungsverluste verursachen.
Bypassdioden-Fehler	Ein Defekt einer Bypassdiode führt typischerweise zum Ausfall eines Modul-Teilstrings (meist ca. ein Drittel der Modulleistung bei 3 Dioden). Thermografisch zeigt sich dies durch deutlich erhöhte Temperaturbereiche oder inaktive Zellzonen mit charakteristischem Muster.
Hotspot-Verlustabschätzung	Die Leistungsabschätzung bei Hotspots erfolgt zellbasiert. Das Modul wird virtuell in Zellsegmente unterteilt; abhängig von der gemessenen Temperaturdifferenz wird eine anteilige Leistungsreduktion pro betroffener Zelle modelliert. Höhere ΔT -Werte führen zu einer stärkeren Gewichtung des Leistungsverlustes.
Schätzung der Leistungsdegradation (Gesamtanlage)	Die Abschätzung der Anlagen-Gesamtdegradation erfolgt über eine Monte-Carlo-Simulation, welche Modulzustände, erkannte Fehlerklassen sowie mögliche Stringkonfigurationen probabilistisch berücksichtigt. Das Ergebnis stellt eine statistisch fundierte Näherung der wahrscheinlichen Gesamtleistungsreduktion dar, jedoch keine elektrische Ersatzmessung der Anlage.

Hinweis: Alle Kennwerte basieren auf zerstörungsfreier thermografischer Analyse zum Zeitpunkt der Befliegung unter den vorherrschenden Betriebs- und Umweltbedingungen.



Normative Grundlagen, Methodik und Haftungshinweise

Die durchgeführte Thermografie-Inspektion der Photovoltaikanlage erfolgte unter Berücksichtigung der technischen Richtlinie **DIN IEC/TS 62446-3 (VDE V 0126-23-3)** „Photovoltaik(PV)-Systeme – Anforderungen an Prüfung, Dokumentation und Instandhaltung – Teil 3: Thermografie von Photovoltaik-Modulen und -Anlagen“ in der jeweils gültigen Fassung. Die Aufnahmeparameter (u.a. Emissionsgrad, reflektierte Umgebungstemperatur, Einstrahlungsbedingungen, Betrachtungswinkel und Umgebungsbedingungen) wurden entsprechend den anerkannten Regeln der Technik gewählt und dokumentiert.

Die Datenerfassung erfolgte mittels unbemannter Luftfahrtsysteme (UAS) mit radiometrischer Infrarotkamera. Die Auswertung der Bilddaten wurde softwaregestützt unter Einsatz automatisierter Bildverarbeitung, KI-basierter Objekterkennung (u.a. Segmentierungs- und Klassifikationsmodelle) sowie photogrammetrischer 3D-Rekonstruktion durchgeführt. Hierbei wurden Modulflächen segmentiert und thermografische Kennwerte auf Pixelebene (u.a. T_{median} , ΔT_{max} , Hotspot-Detektion und Klassifizierung nach Temperaturdifferenzklassen) ermittelt.

Die dargestellten thermischen Auffälligkeiten stellen eine zum Zeitpunkt der Messung gültige Zustandsbewertung unter den herrschenden Betriebs- und Umweltbedingungen dar. Thermische Anomalien können betriebs-, last- oder einstrahlungsabhängig variieren. Die Bewertung erfolgt auf Grundlage relativer Temperaturdifferenzen innerhalb einzelner Module sowie im Vergleich zu Referenzbereichen gleicher String- oder Modulausrichtung.

Eine vollständige elektrotechnische Bewertung der Photovoltaikanlage, insbesondere eine quantitative Bestimmung der tatsächlichen Anlagenleistung oder des Jahresertrags, ist nicht Bestandteil dieser Untersuchung. Es wurden keine Kennlinienmessungen (I-V), Isolationsmessungen, Stringstrommessungen oder netzanalytischen Prüfungen durchgeführt, sofern diese nicht ausdrücklich separat beauftragt wurden. Mangels detaillierter Schaltpläne, Verschaltungsinformationen oder historischer Betriebsdaten erfolgt keine verbindliche Aussage zur elektrischen Gesamtperformance der Anlage.

Dieser Bericht stellt eine sachverständige technische Zustandsanalyse auf Basis zerstörungsfreier thermografischer Prüfverfahren dar. Eine rechtliche Bewertung im Sinne eines Sachmangels, einer Garantie- oder Gewährleistungsfrage obliegt ausschließlich dem Hersteller, Installateur oder einem hierzu befugten Gutachter. Aus den dargestellten thermischen Befunden können keine unmittelbaren Ansprüche auf Leistungszusagen oder Mindererträge abgeleitet werden. Eine Haftung für Folgeschäden oder Ertragsausfälle wird im Rahmen der gesetzlichen Zulässigkeit ausgeschlossen.

Die durchgeführte Inspektion liefert eine fundierte und normorientierte Aussage zum thermischen Gesundheitszustand der Photovoltaikanlage und stellt eine belastbare Entscheidungsgrundlage für Wartung, Instandhaltung und Garantieabwicklungen dar.