

# SRH 2023

## Die Zukunft sehen

### Photogrammetrie und Wärmebild mit Drohnen

Dr.-Ing. Michael Goll

# Gliederung

## Teil 1

### 01 Unmanned Aircraft System

- 1. UAS-Typen
- 2. Technik (Flug, Kamera)

### 02 Software

- 1. WebODM
- 2. DJI Thermal Analysis Tool

### 03 Aufgaben

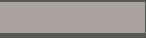
- 1. WebODM
- 2. DJI Thermal Analysis Tool

## Teil 2

### 04 Diskussion der Lösungen

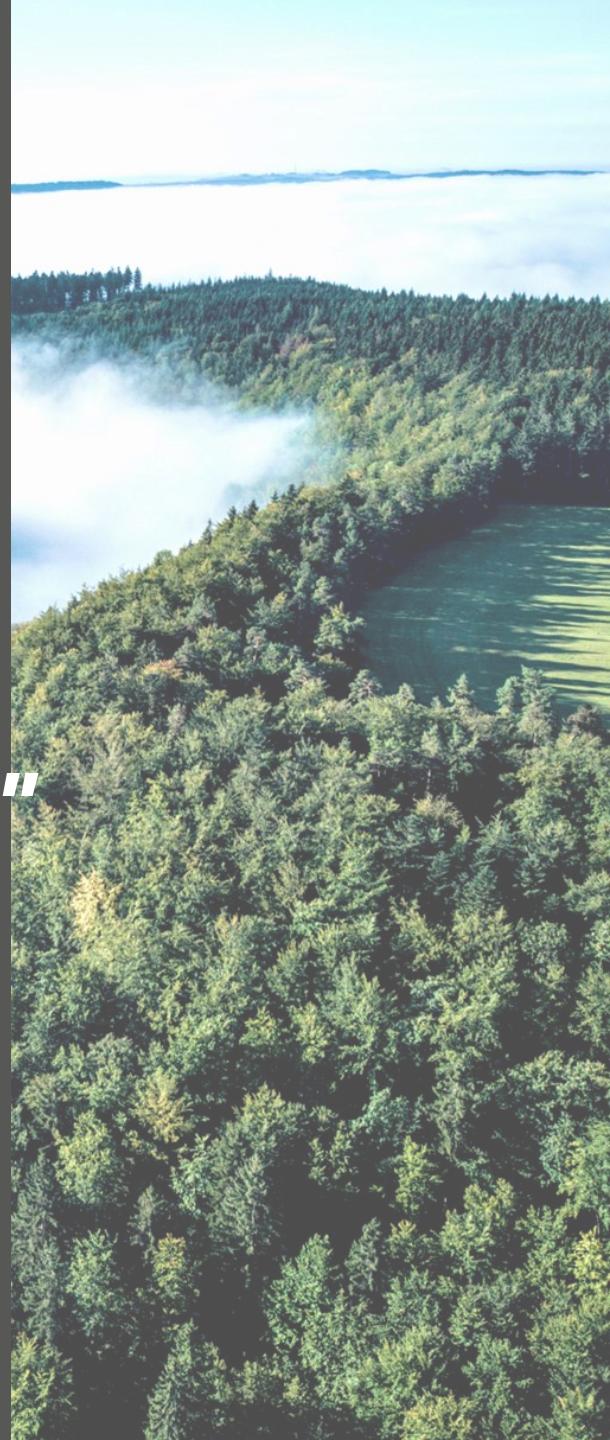
### 05 Einsatzmöglichkeiten

- 1. Photogrammetrie (3D-Modell, DSM, DTM, Orthomosaik)
- 2. Wärmebild (Photovoltaik, Rehkitzrettung)



**“Es scheint immer unmöglich, bis es getan ist.”**

(Nelson Mandela)



# Unmanned Aircraft System

01

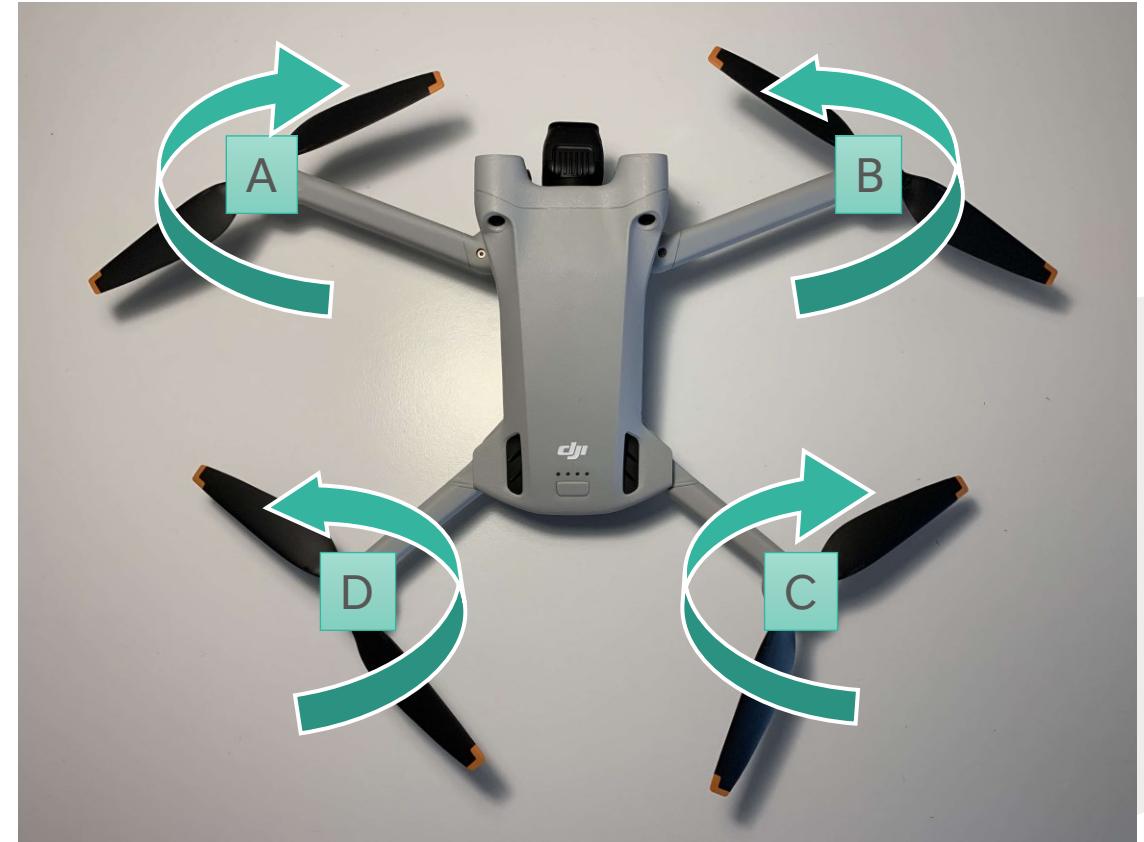
# Definition

- UAS (Unmanned Aircraft System; oder auf Deutsch Unbemanntes Luftfahrtsystem)
- Luftfahrzeuge ohne menschliche Piloten
- Vielzählige Anwendungsbereiche

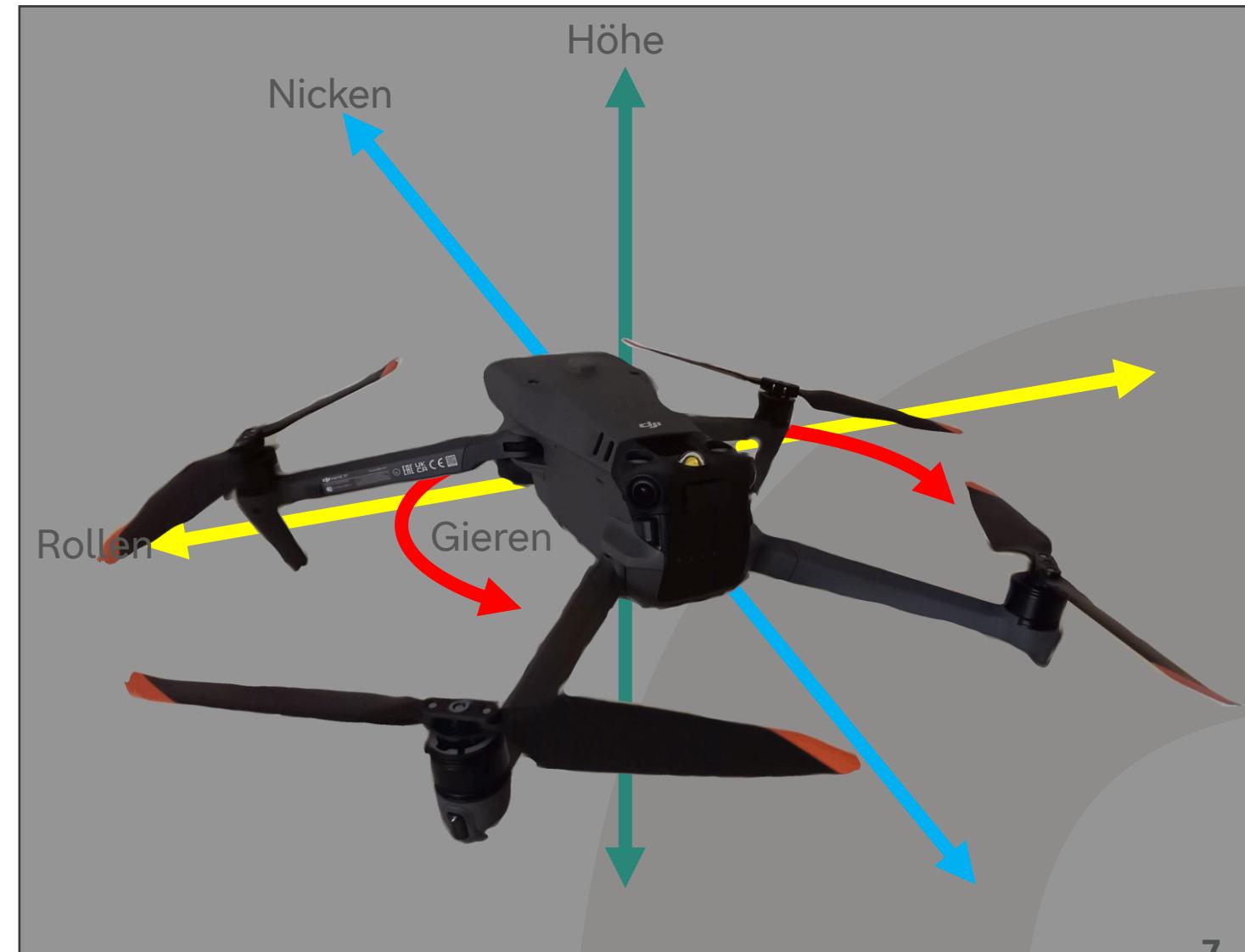
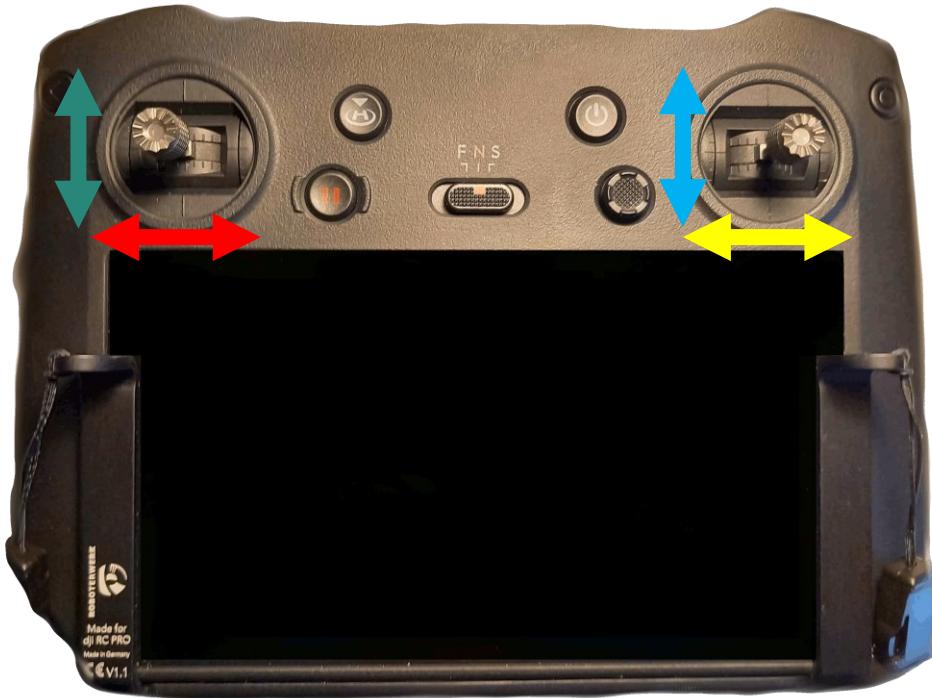


# Bewegungsarten

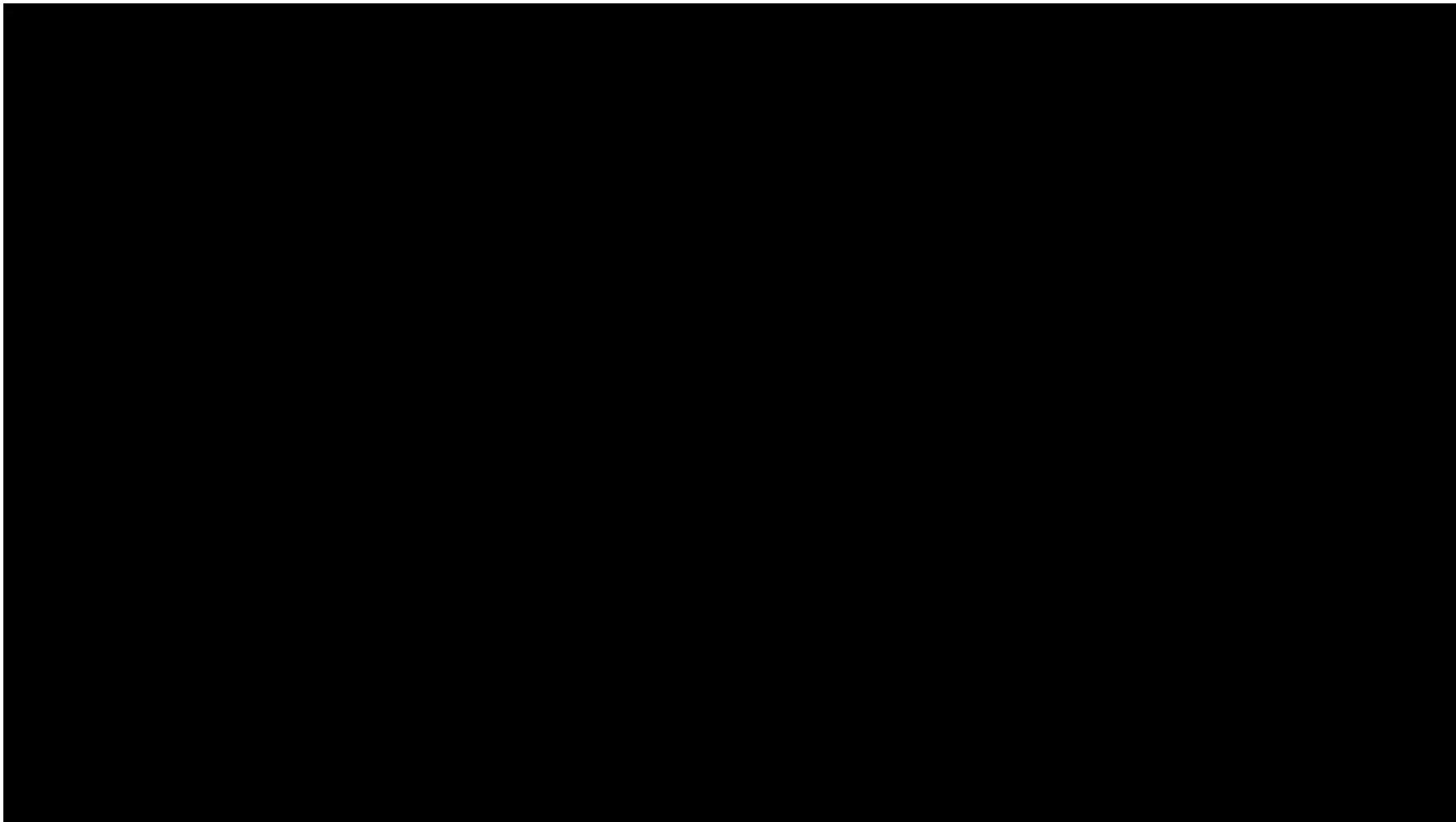
- Nicken
  - Schuberhöhung C und D -> Kippen vorne (Vorwärtsflug)
  - Schuberhöhung A und B -> Kippen nach hinten (Rückwärtsflug)
- Rollen
  - Schuberhöhung A und D -> Kippen rechts (Rechtsflug)
  - Schuberhöhung B und C -> Kippen links (Linksflug)
- Gieren
  - Schuberhöhung A und C (linksdrehende Rotoren) -> Drehen rechts
  - Schuberhöhung B und D (rechtsdrehende Rotoren) -> Drehen links



# Steuerung (1/2)



# Steuerung (2/2)



# Betriebskategorien (1/2)

## Offene Kategorie (open category)

- Drohnenbetrieb mit geringem Risiko
- Keine Genehmigungen erforderlich
- Drohnen mit CX-Zertifizierung notwendig

## Spezielle Kategorie (specific category)

- Drohnenbetrieb, der nicht in offene Kategorie fällt
- Vier Möglichkeiten
  - Allgemeinverfügung
  - Standardszenario
  - Betriebsgenehmigung (SORA-Analyse)
  - Betreiber-Zertifikat (LUC)

## Zulassungspflichtige Kategorie (certified category)

- Drohnenzulassung notwendig
- Fernpilotenzeugnis notwendig
- LUC-Zeugnis (Zeugnis der Betreibergesellschaft) notwendig

# Betriebskategorien (2/2)

Kategorie

Offene Kategorie  
(open category)

Spezielle Kategorie  
(specific category)

Zulassungspflichtige  
Kategorie  
(certified category)

Unter-  
kategorie

A1  
(nahe  
Menschen)

A2  
(sichere  
Distanz zu  
Menschen)

A3  
(weit  
entfernt zu  
Menschen)

UAS-  
Klasse

C0

C1

C2

C3

C4

# Software

# 02

# WebODM

- Open-Source-Softwareplattform (MIT-Lizenz)
- Verarbeitung von geografischen Daten und Erstellung von 3D-Karten und Modellen aus Drohnenbildern
- ODM steht für OpenDroneMap (wurde ursprünglich aus der gemeinnützigen Organisation OpenDroneMap entwickelt)
- Webbasierte Benutzeroberfläche
- Skalierbar

# WebODM: Hardware-Voraussetzungen

- Mit der folgenden Hardware können etwa 100-200 Bilder verarbeitet werden
  - 64bit CPU manufactured on or after 2010
  - 20 GB of disk space
  - 4 GB RAM
- Mit der folgenden Hardware können einige hundert Bilder verarbeitet werden
  - Latest Generation CPU
  - 100 GB of disk space
  - 16 GB RAM

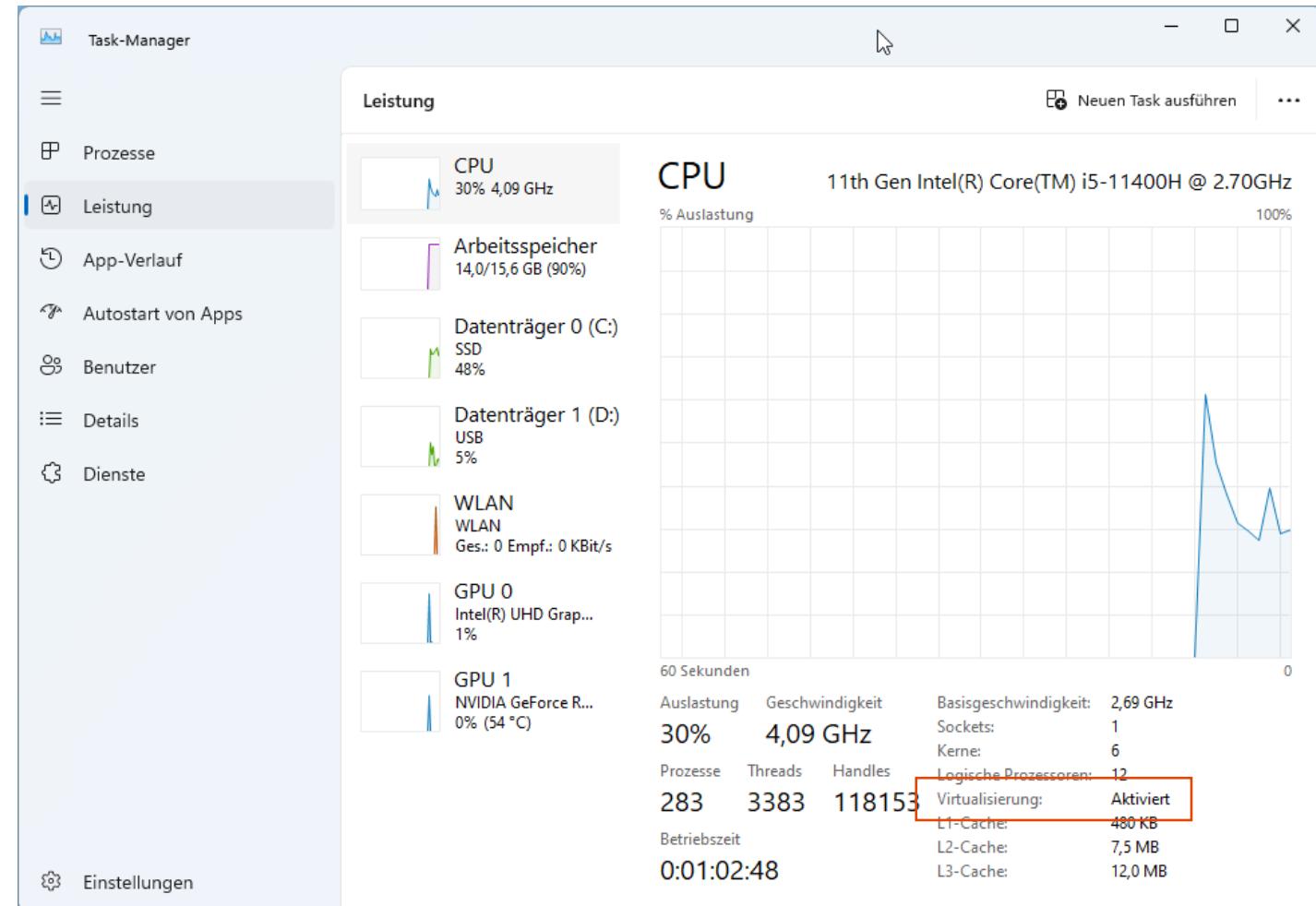
Anzahl Bilder	Benötigter RAM
40	4
250	16
500	32
1500	64
2500	128
3500	192
5000	256

# WebODM: Benötigte Software

- Git
  - <https://git-scm.com/downloads>
- Python (latest version 3)
  - <https://www.python.org/downloads/windows>
- Docker for Windows
  - <https://download.docker.com/win/stable/Docker%20for%20Windows%20Installer.exe>

# WebODM: Docker-Installation

- Container-Plattform
- Virtualisierung wird benötigt

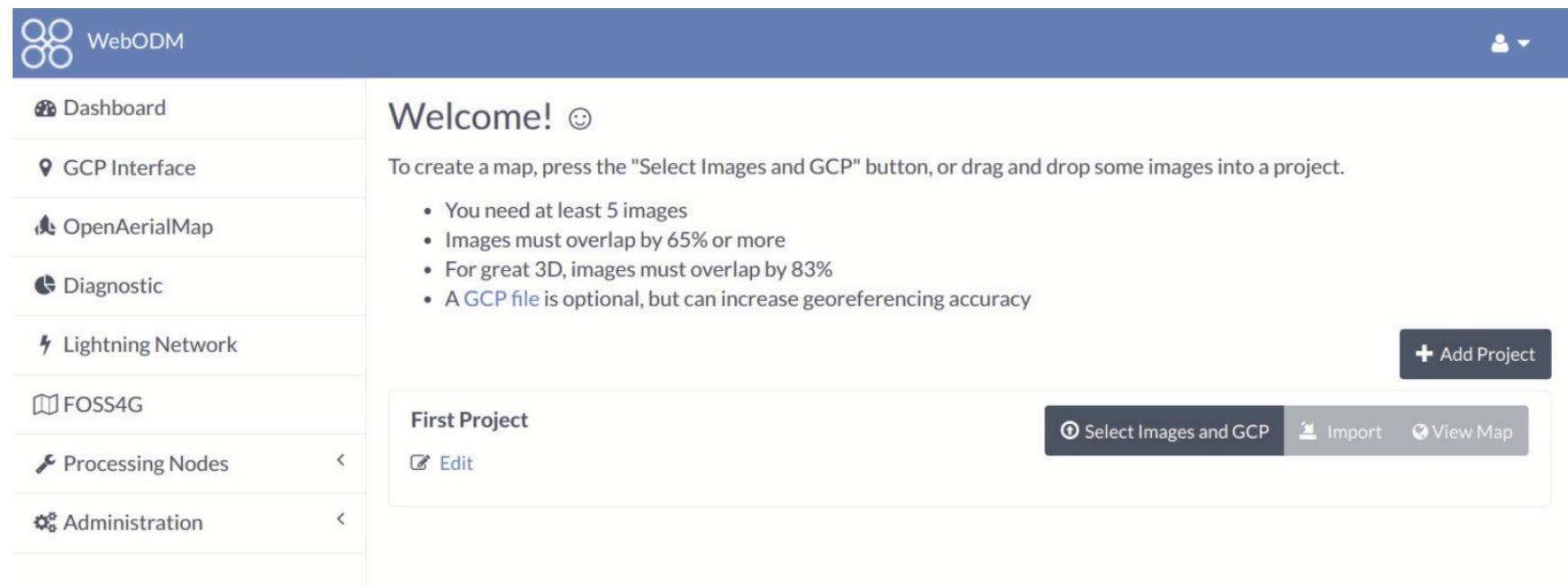


# WebODM: Installation

- Repository klonen
  - <https://github.com/OpenDroneMap/WebODM>

- WebODM über Git Bash starten
  - ./webodm.sh start &

- Starten der Oberfläche
  - <http://localhost:8000>



# WebODM: Optionen

**Benutzerdefiniert** (Default)

**Standard** (auto-boundary: true, dsm: true)

**High Resolution** (auto-boundary: true, dsm: true, pc-quality: high, dem-resolution: 2.0, orthophoto-resolution: 2.0)

**Fast Orthophoto** (auto-boundary: true, fast-orthophoto: true)

**Field** (sfm-algorithm: planar, fast-orthophoto: true, matcher-neighbors: 4)

**DSM + DTM** (auto-boundary:true, dsm:true, dtm:true)

**Forest** (auto-boundary:true, min-num-features:18000, use-3dmesh:true, feature-quality:ultra)

**Point of Interest** (auto-boundary:true, mesh-size:300000, use-3dmesh:true)

**Buildings Ultra Quality** (auto-boundary:true, mesh-size:300000, feature-quality:ultra, pc-quality:ultra)

**Buildings** (auto-boundary:true, mesh-size:300000, feature-quality:high, pc-quality:high)

**3D Model** (auto-boundary:true, mesh-octree-depth:12, use-3dmesh:true, pc-quality:high, mesh-size:300000)

**Volume Analysis** (auto-boundary:true, dsm:true, dem-resolution:2, pc-quality:high, use-3dmesh:true)

**Multispectral** (auto-boundary:true, radiometric-calibration:camera)

The screenshot shows the WebODM interface with a sidebar menu and a main project details page.

**Sidebar Menu:**

- Dashboard
- Lightning Network
- Diagnostic
- GCP Interface
- Processing Nodes
- Administration
- About

**Welcome! ☺**

To create a map, press the "Select Images and GCP" button, or drag and drop some images into a project.

- You need at least 5 images
- Images must overlap by 65% or more
- For great 3D, images must overlap by 83%
- A GCP File is optional, but can increase georeferencing accuracy

**Project Details:**

**Drone Pilot Tutorial**  
Learn how to use WebODM

**Options:**

32 files selected. Please check these additional options:

Name	Moatize - 18/12/2019
Processing Node	Auto
Options	Default
Resize Images	Yes ▾ 2048 px

**Buttons:**

- Select Images and GCP
- Import
- View Map
- Edit
- Cancel
- Review

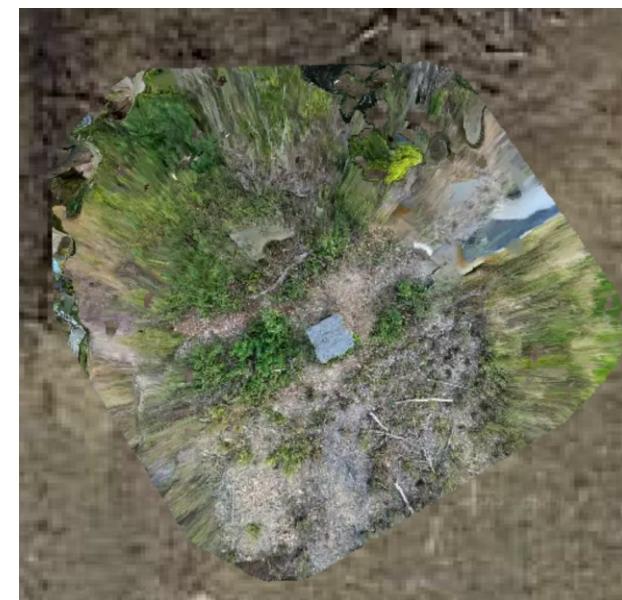
# WebODM: Parameter (auto-boundary)

Festlegung einer automatischen Grenze, indem Sie die Positionen der Kameraaufnahmen verwendet werden, um den Bereich der Rekonstruktion zu begrenzen. Dies kann helfen, weit entfernte Hintergrundartefakte (Himmel, Hintergrundlandschaften usw.) zu entfernen.

Voreinstellung: false



auto-boundary : true

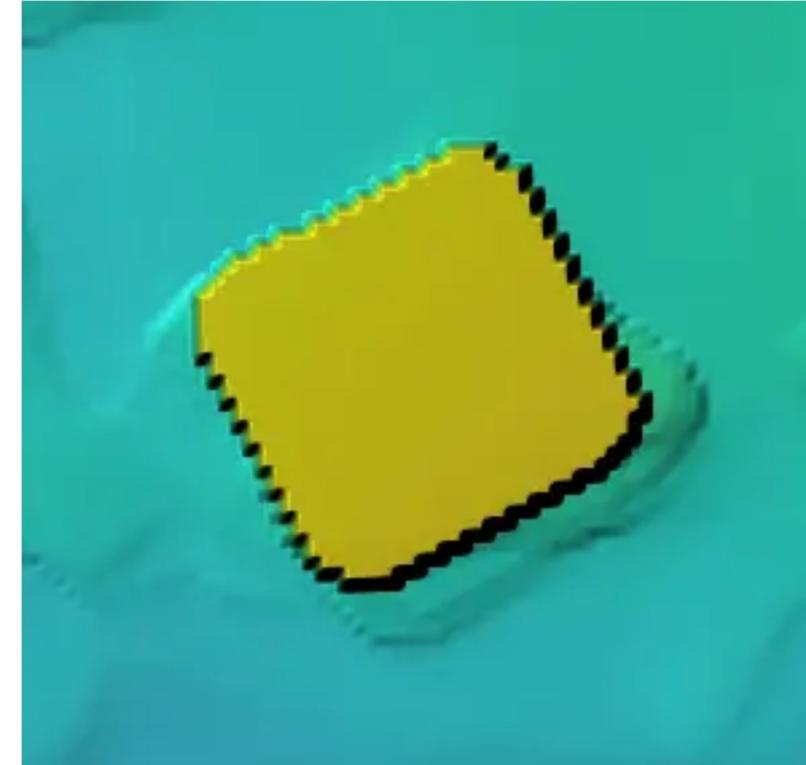
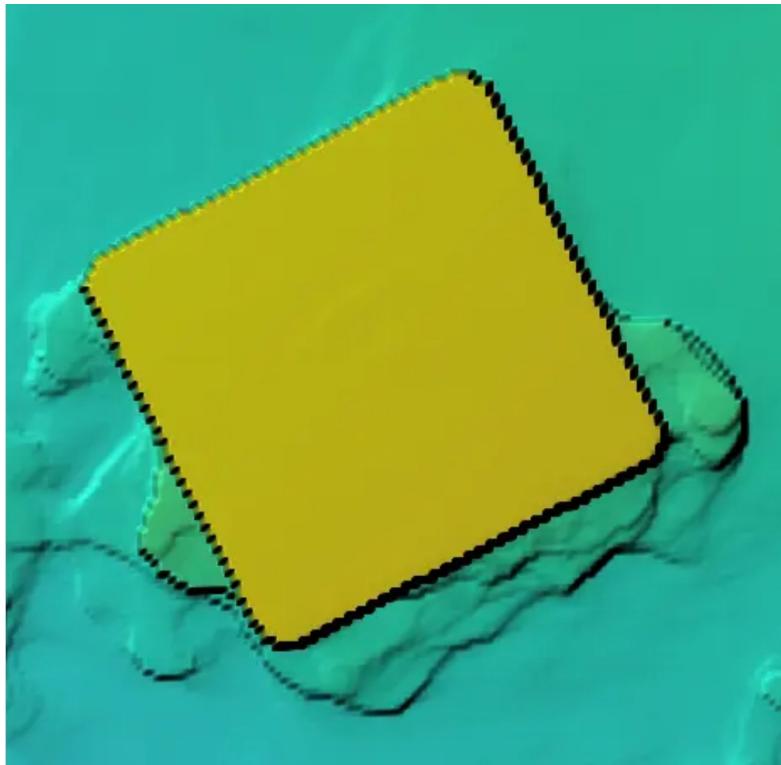


auto-boundary : false

# WebODM: Parameter (dem-resolution)

DSM-/DTM-Auflösung in cm pro Pixel. Der Wert wird durch den GSD-Wert (Ground Sampling Distance) limitiert, d.h. die Qualität der Bilder geben die untere Grenze vor.

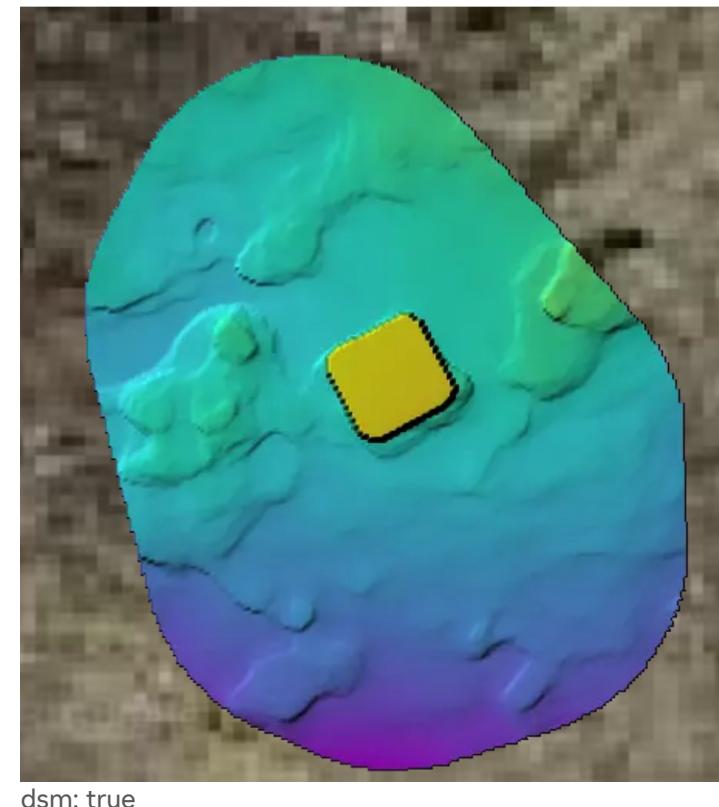
Voreinstellung: 5



# WebODM: Parameter (dsm)

Diese Einstellung wird verwendet, um ein DSM (Digital Surface Model) unter Verwendung eines progressiven morphologischen Filters zu erstellen. Ein Digital Surface Model beinhaltet die Oberfläche und die darauf befindlichen Objekte. Die Parameter -dem\* können für eine Feinabstimmung verwendet werden.

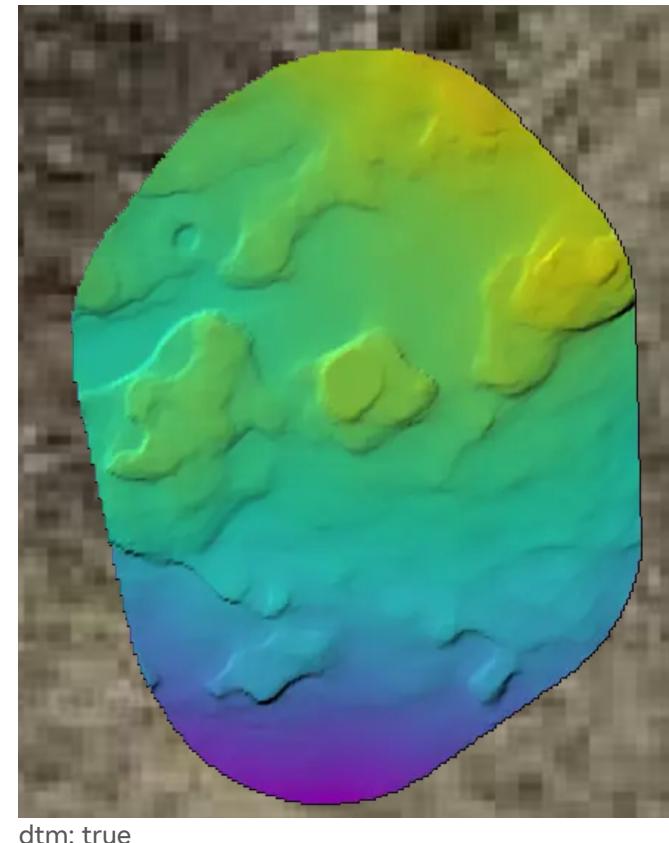
Voreinstellung: false



# WebODM: Parameter (dtm)

Diese Einstellung wird verwendet, um ein DTM (Digital Terrain Model) unter Verwendung eines einfachen morphologischen Filters zu erstellen. Ein Digital Terrain Model beinhaltet ausschließlich die Oberfläche. Die Parameter -dem\* können für eine Feinabstimmung verwendet werden.

Voreinstellung: false



# WebODM: Parameter (fast-orthophoto)

Überspringt die dichte Rekonstruktion und die Erstellung des 3D-Modells. Es wird direkt ein Orthofoto aus der spärlichen Rekonstruktion erzeugt. Wenn nur ein Orthofoto und kein vollständiges 3D-Modell benötigt wird, kann diese Option aktiviert werden.

Voreinstellung: false



fast-orthophoto : false



fast-orthophoto : true

# WebODM: Parameter (feature-quality)

Festlegung der Qualität der Merkmalsextraktion. Eine höhere Qualität erzeugt bessere Merkmale, erfordert aber mehr Speicherplatz und dauert länger. Eine geringere Qualität wird durch Reduzierung der Bildgröße erreicht.

Folgende Reduktionen sind verfügbar: ultra: 1.0 | high: 0.5 | medium: 0.25 | low: 0.125 | lowest: 0.0675

Voreinstellung: high



feature-quality : high



feature-quality : lowest

# WebODM: Parameter (matcher-neighbors)

Diese Option führt einen präemptiven Abgleich durch, indem nur die nächsten Nachbarn eines jeden Bildes berücksichtigt werden. Wenn die Matcher-Nachbarn beispielsweise auf 8 eingestellt sind, werden nur die 8 nächsten Nachbarn für den Abgleich verwendet. Bei Datensätzen mit vielen Überschneidungen kann es von Vorteil sein, diesen Wert zu erhöhen. Der Parameter kann zum Deaktivieren auf 0 gesetzt werden. Wenn keine OrtsangabenInformationen in die EXIF-Tags der Bilder eingebettet sind, ist diese Option automatisch deaktiviert.

Vorsteinstellung: 0



matcher-neighbors : 0



matcher-neighbors : 1



matcher-neighbors : 50

# WebODM: Parameter (mesh-octree-depth)

Dieser Parameter konfiguriert maßgeblich den Algorithmus, der für die Erstellung der eines Netzes auf Basis der Punktwolke verantwortlich ist. Je höher der Wert ist, desto feiner wird das resultierende Netz (es werden mehr Scheitelpunkte erzeugt). Eine Erhöhung verbessert die Dreidimensionalität. Allerdings steigt auf die Laufzeit und der Speicherverbrauch. Flache Gebiete können von niedrigeren Werten (6-8) profitieren, während städtische Gebiete einen höheren Wert erfordern (10-12). Bei Erhöhung des Werts sollte ebenfalls der Wert mesh-size erhöht werden, da eine größere Detailtiefe mehr Informationen erfordert.

Voreinstellung: 11



mesh-octree-depth: 5, mesh-size: 10000



mesh-octree-depth: 13, mesh-size: 10000



mesh-octree-depth: 5, mesh-size: 30000



mesh-octree-depth: 13, mesh-size: 300000

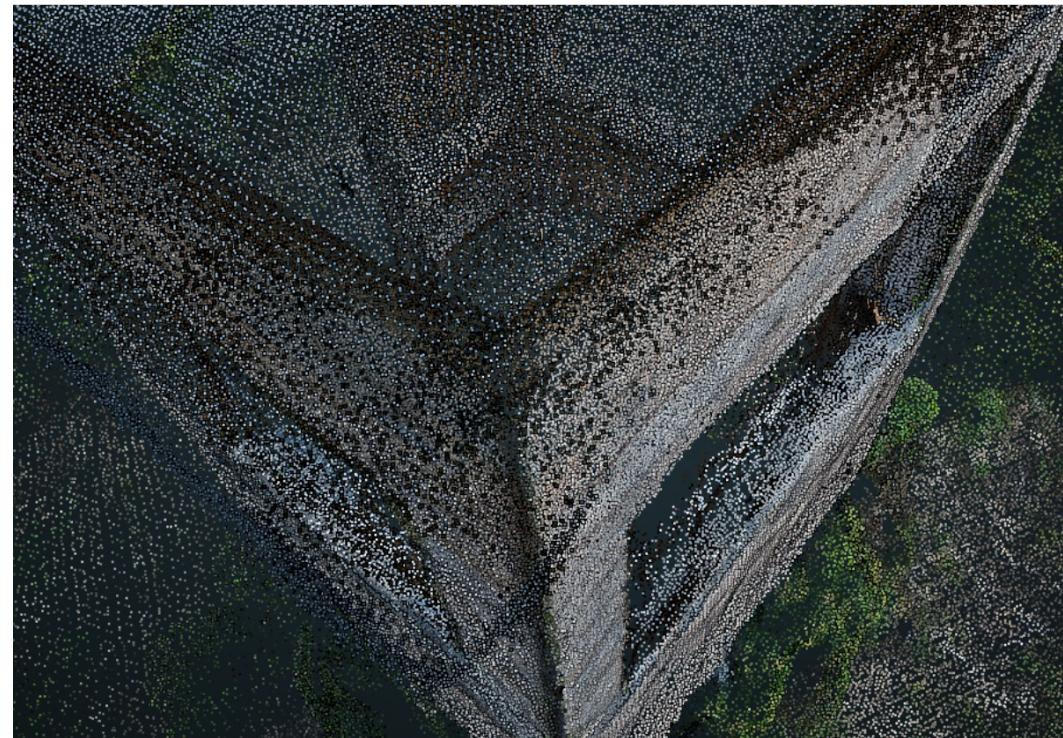
# WebODM: Parameter (mesh-size)

Die maximale Anzahl der Scheitelpunkte des Ausgangsnetzes kann hiermit festgelegt werden.

Voreinstellung: 200000



mesh-size : 450000



mesh-size : 10000

# WebODM: Parameter (min-num-features)

Mindestanzahl der zu extrahierenden Merkmale pro Bild. Mehr Merkmale können nützlich sein, um mehr Übereinstimmungen zwischen Bildern zu finden, was möglicherweise die Rekonstruktion von Bereichen mit geringer Überlappung oder unzureichenden Merkmalen ermöglicht. Mehr Merkmale verlangsamen aber auch die Verarbeitung. Beispielsweise können Wald-Aufnahmen einen höheren Wert erfordern, da sonst nur schwer Übereinstimmungen gefunden werden können.

Vorsteinstellung: 10000



min-num-features : 1

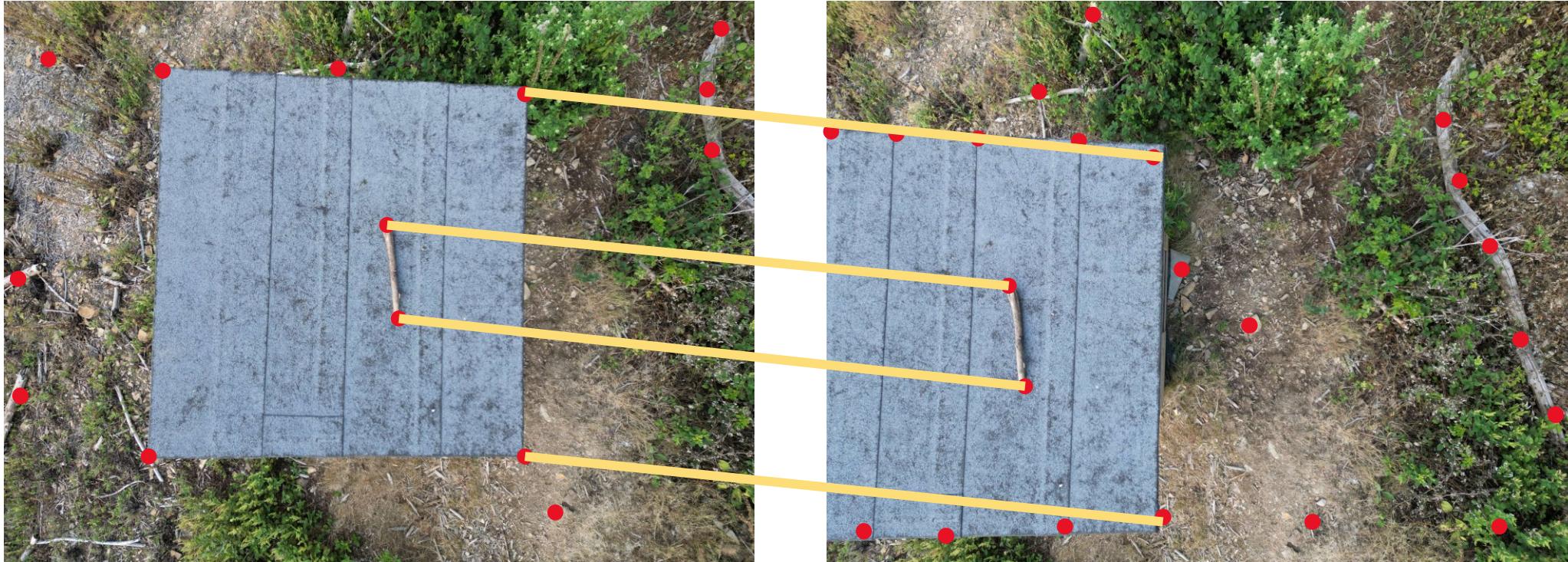


min-num-features : 100



min-num-features : 10000

# WebODM: Parameter (min-num-features)



# WebODM: Parameter (orthophoto-resolution)

Orthofoto-Auflösung in cm je Pixel. Der Wert wird durch den GSD-Wert (Ground Sampling Distance) limitiert, d.h. die Qualität der Bilder geben die untere Grenze vor.

Voreinstellung: 5



orthophoto-resolution : 2.0



orthophoto-resolution : 5.0

# WebODM: Parameter (pc-quality)

Qualität der Punktwolke einstellen. Eine höhere Qualität erzeugt bessere, dichtere Punktwolken, erfordert aber mehr Speicherplatz und dauert länger. Jede Qualitätsstufe erhöht die Verarbeitungszeit etwa um den Faktor 4.

Voreinstellung: medium



pc-quality : high



pc-quality : lowest

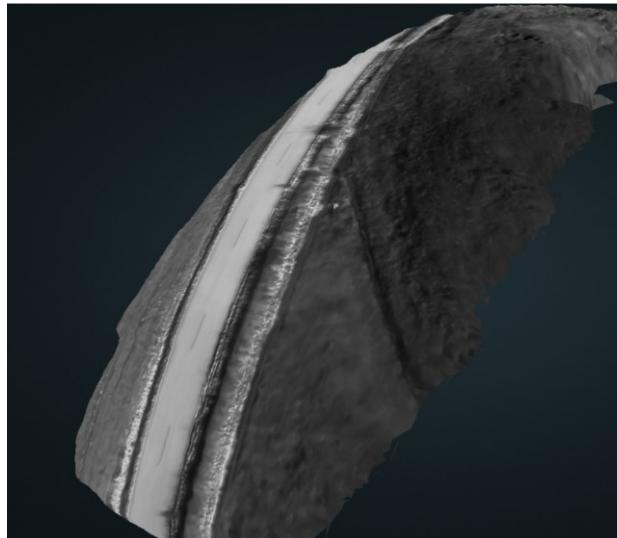
# WebODM: Parameter (radiometric-calibration)

Legt die radiometrische Kalibrierung fest, die für Bilder durchgeführt werden soll. Bei der Verarbeitung von Multispektral- und Wärmebildern sollte diese Option eingestellt werden, um Reflexions-/Temperaturwerte zu erhalten (ansonsten werden digitale Zahlenwerte verwendet).

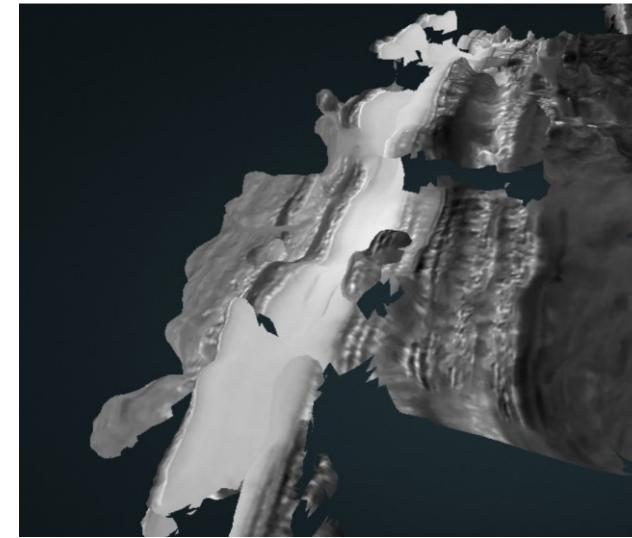
[camera] wendet Schwarzwert-, Vignettierungs-, Reihengradientenverstärkung/Belichtungskompensation an (wenn entsprechende EXIF-Tags gefunden werden) und berechnet absolute Temperaturwerte.

[camera+sun] ist experimentell, wendet alle Korrekturen von [camera] an und kompensiert zusätzlich die spektrale Strahldichte, die über einen abwärts gerichteten Lichtsensor (DLS) unter Berücksichtigung des Sonnenwinkels registriert wird.

Voreinstellung: keine



radiometric-calibration: camera

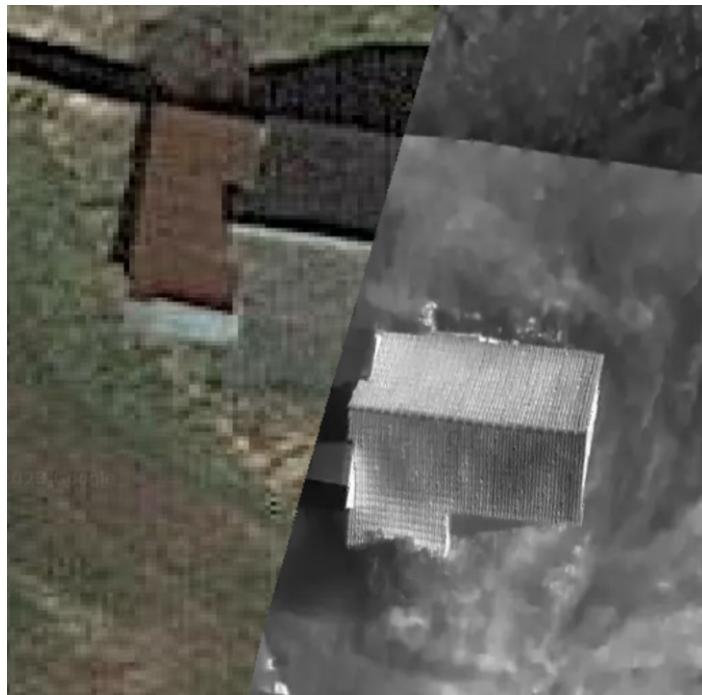


radiometric-calibration: none

# WebODM: Parameter (sfm-algorithm)

Strukturauswahl des Bewegungsalgorithms. Wenn bei Luftbilddaten die GPS-Positionen und -Winkel der Kameras verfügbar sind, kann "triangulation" bessere Ergebnisse liefern. Bei flächigen Szenen, die in fester Höhe mit reinen Nadir-Bildern aufgenommen wurden, kann "planar" viel schneller sein. Grundsätzlich ist die Empfehlung jedoch incremental, da die Winkel bei Luftbildaufnahmen in der Regel nicht bekannt sind. Bei planar ist es nicht immer eine Nadir-Aufnahme, da Details der Objekte mit einem anderen Winkel aufgenommen werden.

Voreinstellung: incremental



sfm-algorithm : incremental



sfm-algorithm : planar

# WebODM: Parameter (use-3dmesh)

Standardmäßig wird ein texturiertes 2,5D-Netz zum Rendern des Orthofotos verwendet. 2,5D-Netze sind für die meisten Luftbilddaten gut geeignet, können aber manchmal zu unzureichenden Ergebnissen führen, insbesondere wenn keine Nadir-Bilder in den Datensätzen enthalten sind. Der Grund dafür ist, dass der Texturierungsschritt sich zwischen 3D- und 2,5D-Netzen unterscheidet. Bei 2,5D-Netzen werden vorrangig Nadir-Bilder priorisiert. Falls diese fehlen, kann die Texturierung im Vergleich zum zu einem 3D-Netz von geringerer Qualität sein (bspw. Bei ausschließlicher Umkreisung eines Gebäudes aus nächster Nähe). Diese Option weist das Programm an, das vollständige 3D-Modell für das Orthofoto zu verwenden und die Erstellung des 2,5D-Modells zu überspringen.

Voreinstellung: false



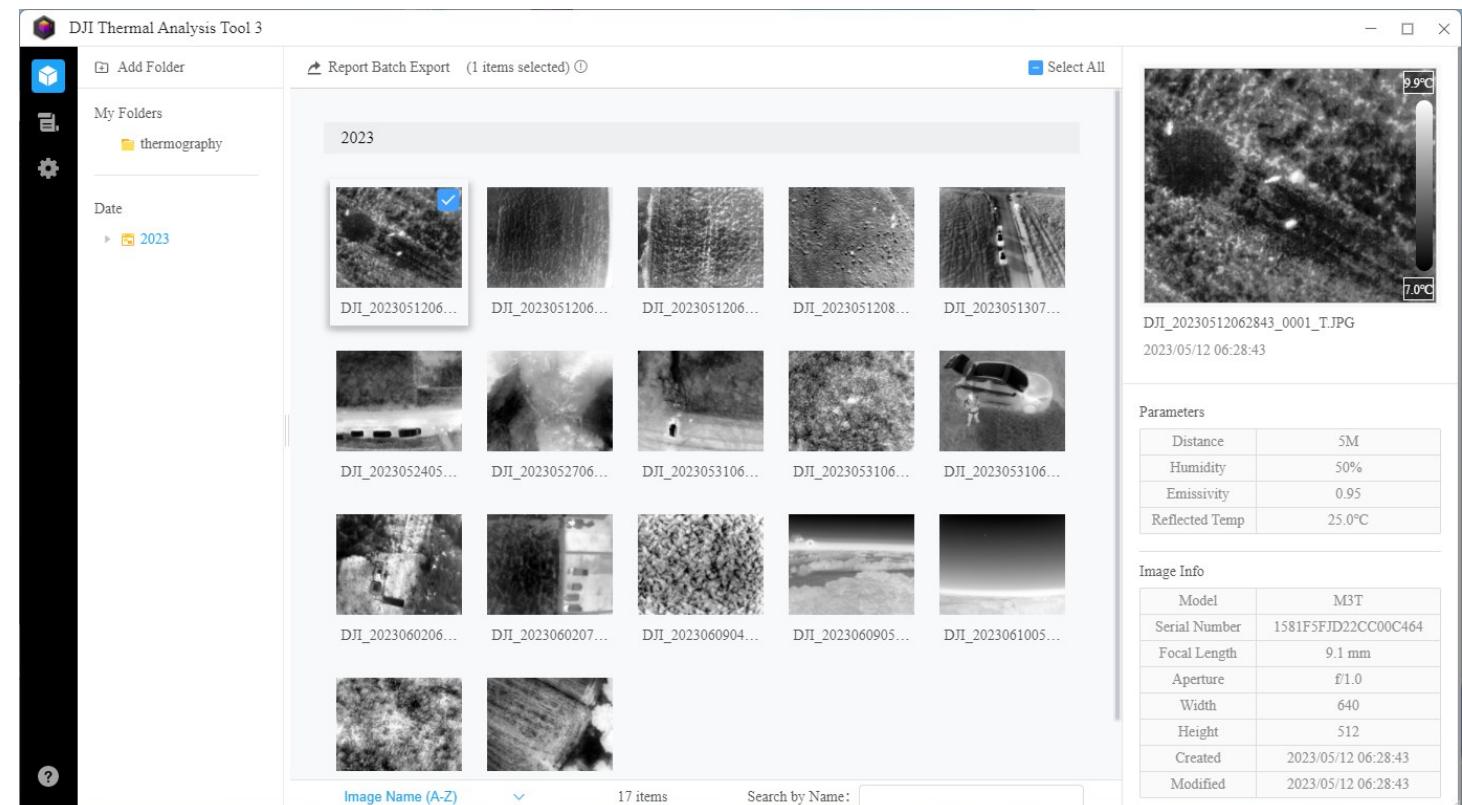
use-3dmesh : true



use-3dmesh : false

# DJI Thermal Analysis Tool: Installation

- DJI Thermal Analysis Tool 3.0
  - <https://www.dji.com/de/downloads/softwares/dji-dtat3>
- Funktionen
  - Analyse und Verarbeitung von Wärmebildern
  - Temperaturanomalien erkennen

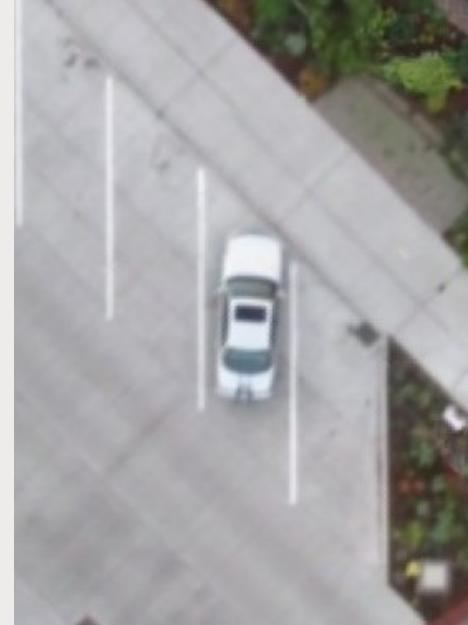


# Aufgaben

# 03

# Aufgaben: WebODM

- langley (EXIF = nein | GCP = nein | RTK = nein)
  - [https://github.com/OpenDroneMap/odm\\_data\\_langley/tree/master](https://github.com/OpenDroneMap/odm_data_langley/tree/master)

Optionen	Aufgabe
Bildgröße ändern: 1024  auto-boundary: true ignore-gsd: true min-num-features: 30000 orthophoto-resolution: 0.01 pc-quality: high	Wie groß ist dieses Auto? 

# Aufgaben: WebODM

- sance (EXIF = ja | GCP = nein | RTK = nein)
  - [https://github.com/merkato/odm\\_sance/tree/master](https://github.com/merkato/odm_sance/tree/master)

Optionen	Aufgabe
Bildgröße ändern: 1024  auto-boundary: true gps-accuracy: 2 orthophoto-resolution: 1 sfm-algorithm: planar	Wie groß (Fläche) ist dieses Dach?  

# Aufgaben: WebODM

- sheffield\_cross (EXIF = ja | GCP = ja | RTK = nein)
  - [https://github.com/pierotofy/drone\\_dataset\\_sheffield\\_cross/tree/master](https://github.com/pierotofy/drone_dataset_sheffield_cross/tree/master)

Optionen	Aufgabe
Bildgröße ändern: 1024  auto-boundary: true gps-accuracy: 2 orthophoto-resolution: 1 sfm-algorithm: planar	Welche Maße hat ein Tennisfeld?  

# Aufgaben: WebODM

- sheffield\_park\_2 (EXIF = ja | GCP = nein | RTK = nein)
  - [https://github.com/pierotofy/drone\\_dataset\\_sheffield\\_park\\_2/tree/master](https://github.com/pierotofy/drone_dataset_sheffield_park_2/tree/master)

Optionen	Aufgabe
Bildgröße ändern: 1024  auto-boundary: true orthophoto-resolution: 1	Wie groß ist das markierte Feld?   An aerial orthophoto showing a field with a yellowish-green color. A green polygonal boundary is drawn around a specific area within the field, likely representing a crop or a different land use type. The field is situated next to a road and some buildings.

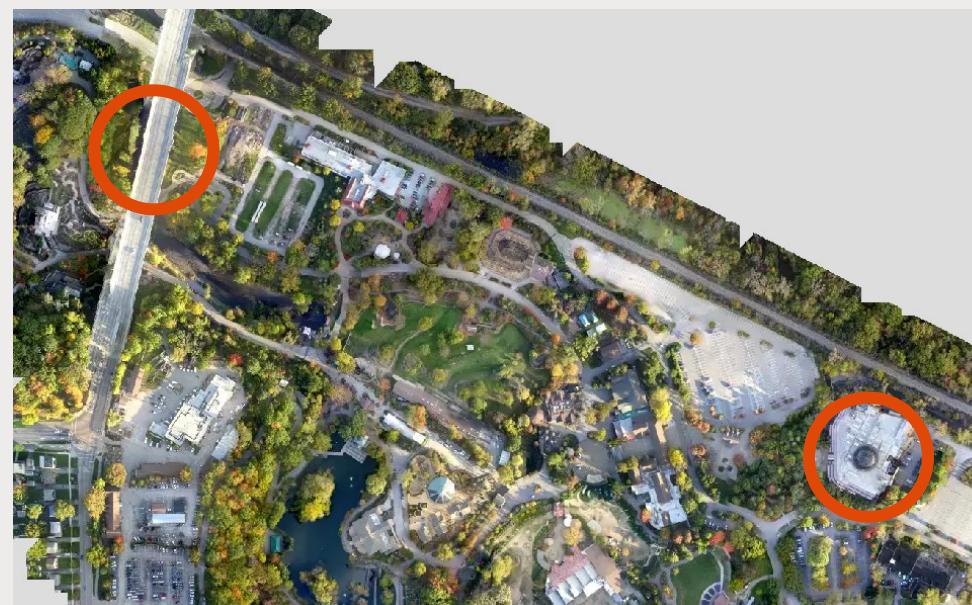
# Aufgaben: WebODM

- waterbury (EXIF = ja | GCP = nein | RTK = ja)
  - [https://github.com/OpenDroneMap/odm\\_data\\_waterbury/tree/master](https://github.com/OpenDroneMap/odm_data_waterbury/tree/master)

Optionen	Aufgabe
Bildgröße ändern: 1024  auto-boundary: true dem-resolution: 1 dsm: true dtm: true orthophoto-resolution: 1	Wie hoch ist der weiße Speicher? 

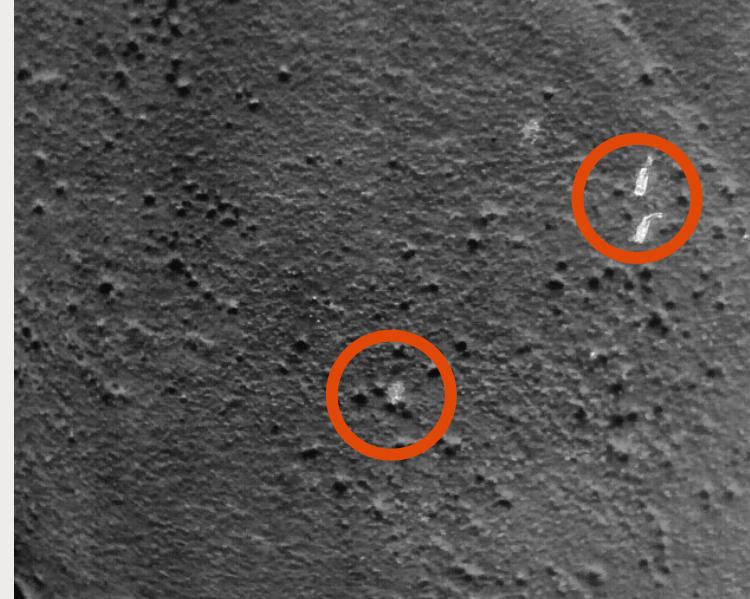
# Aufgaben: WebODM

- zoo (EXIF = ja | GCP = nein | RTK = nein)
  - [https://github.com/OpenDroneMap/odm\\_data\\_zoo/tree/master](https://github.com/OpenDroneMap/odm_data_zoo/tree/master)

Optionen	Aufgabe
Bildgröße ändern: 512  auto-boundary: true dem-resolution: 1 dsm: true dtm: true orthophoto-resolution: 1	Was ist höher – die Brücke oder die Kuppel?   An aerial photograph of a park area. A bridge spans a valley, and a large domed building is visible. Both the bridge and the dome are highlighted with red circles.

# Aufgaben: DJI Thermal Analysis Tool

- picture01.jpg
  - <https://github.com/goll-michael/thermography>

Optionen	Aufgabe
Distance: 25 Humidity: 50 Emissivity: 0,98 Reflected Temp: 10	Wie warm sind die Rehe und die Liegestelle? 

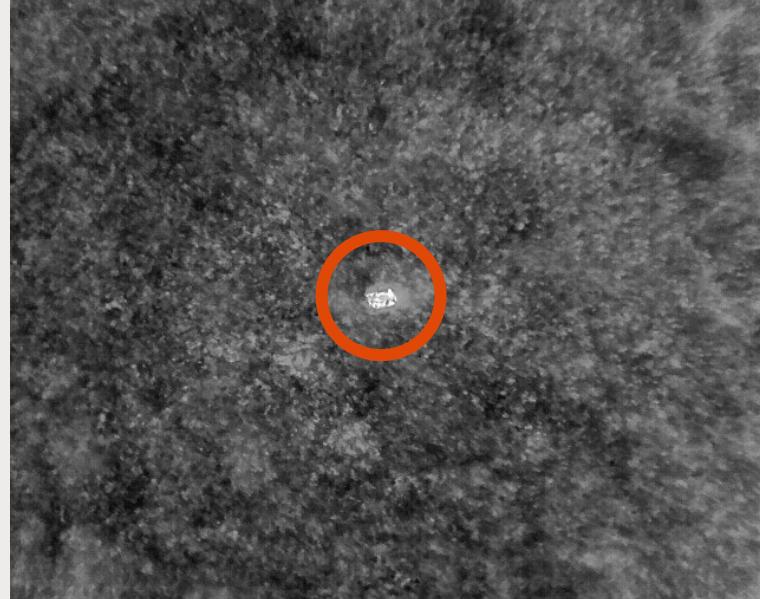
# Aufgaben: DJI Thermal Analysis Tool

- picture02.jpg
  - <https://github.com/goll-michael/thermography>

Optionen	Aufgabe
Distance: 30 Humidity: 50 Emissivity: 0,98 Reflected Temp: 8	Wie warm sind die Menschen? 

# Aufgaben: DJI Thermal Analysis Tool

- picture03.jpg
  - <https://github.com/goll-michael/thermography>

Optionen	Aufgabe
Distance: 10 Humidity: 50 Emissivity: 0,98 Reflected Temp: 12	Wie warm ist das Rehkitz? 

# Aufgaben: DJI Thermal Analysis Tool

- picture04.jpg
  - <https://github.com/goll-michael/thermography>

Optionen	Aufgabe
Distance: 20 Humidity: 50 Emissivity: 0,5 Reflected Temp: 12	<p>Welches Fahrzeug hat eine stärkere Wärmesignatur?</p> 

# Diskussion der Lösungen

# 04

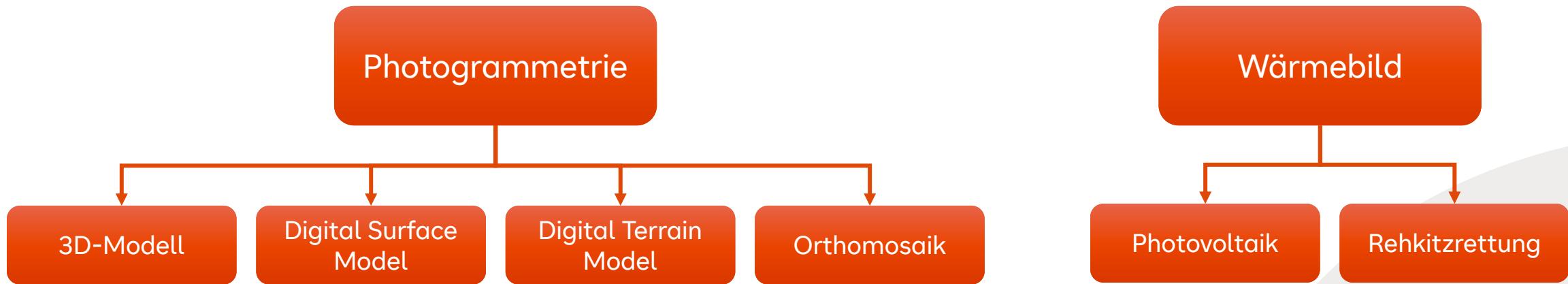
# Lösungen

- WebODM
  - langley: Wie groß ist dieses Auto?
  - sance: Wie groß (Fläche) ist dieses Dach?
  - sheffield\_cross: Welche Maße hat ein Tennisfeld?
  - sheffield\_park\_2: Wie groß ist das markierte Feld?
  - waterbury: Wie hoch ist der weiße Speicher?
  - zoo: Was ist höher – die Brücke oder die Kuppel?
- DJI Thermal Analysis Tool
  - picture01.jpg: Wie warm sind die Rehe und die Liegestelle?
  - picture02.jpg: Wie war sind die Menschen?
  - picture03.jpg: Wie warm ist das Rehkitz?
  - picture04.jpg: Welches Fahrzeug hat eine stärkere Wärmesignatur?

# Einsatzmöglichkeiten

05

# Übersicht

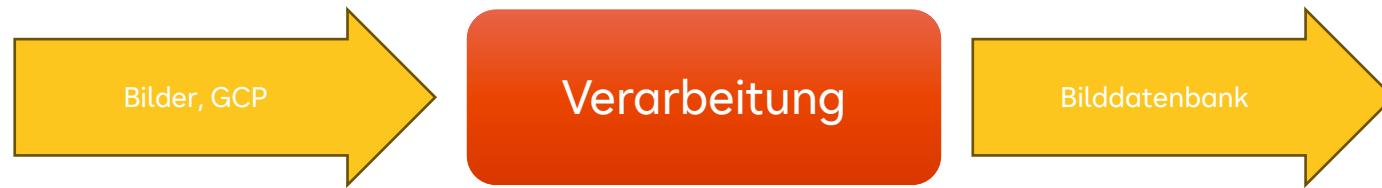


# Photogrammetrie: Ablauf

— Die folgenden Schritte werden bei der Photogrammetrie ausgeführt  
(WebODM-Terminologie)

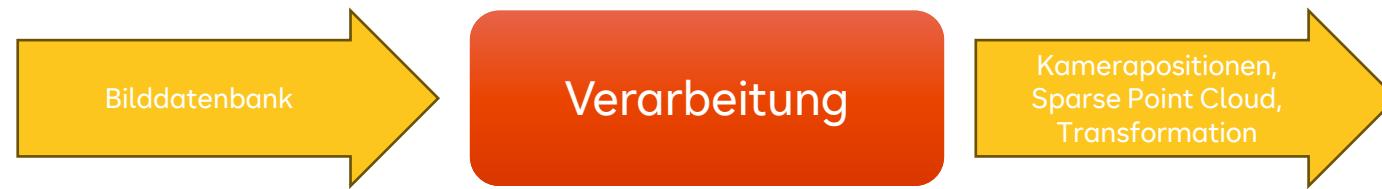
1. Datensatz laden
2. Structure from Motion
3. Multi View Stereo
4. Meshing
5. Texturing
6. Georeferencing
7. Digital Elevation Model
8. Orthomosaik

# Photogrammetrie: Ablauf: (1) Datensatz laden



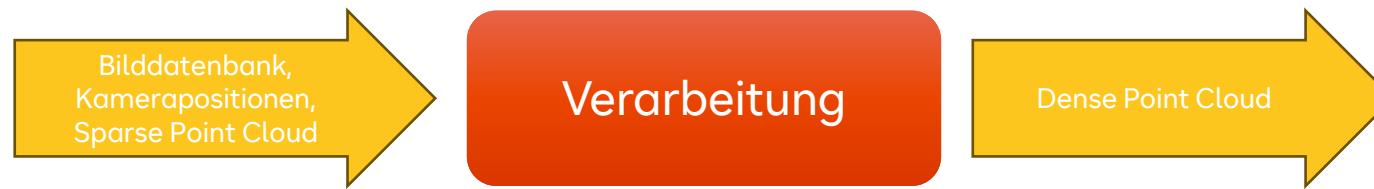
In diesem Schritt werden die Bilder gezählt, die Abmessungen extrahiert und die GPS-Informationen aus allen verfügbaren Bildern geparsst. Um den Speicherbedarf zu reduzieren, die Speichernutzung zu verringern und die Verarbeitungsgeschwindigkeit zu erhöhen, was allerdings zu Lasten der Qualität der Ergebnisse geht, kann die Größe der Bilder vor der Verarbeitung reduziert werden.

# Photogrammetrie: Ablauf: (2) Structure from motion



Structure from Motion ist eine Photogrammetrietechnik zur Schätzung von 3D-Objekten (Strukturen) aus überlappenden Bildsequenzen (aus der Bewegung einer Kamera, die Bilder aufnimmt). WebODM verwendet ein Softwarepaket namens OpenSfM zur effizienten Lösung des SFM-Problems.

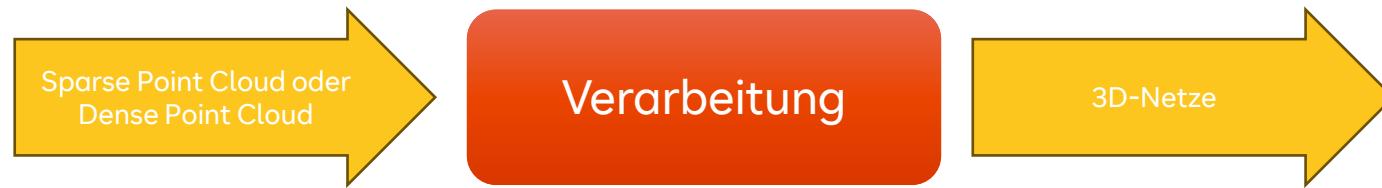
# Photogrammetrie: Ablauf: (3) Multi View Stereo



Während sich SfM hauptsächlich auf die Schätzung von Kamerapositionen konzentriert, fokussiert sich Multi-View Stereo (MVS) auf die Rekonstruktion von 3D-Modellen aus mehreren überlappenden Bildpaaren. MVS-Programme gehen davon aus, dass die Informationen über die Kameras bereits berechnet wurden und dies ermöglicht es ihnen, sich auf eine Sache zu konzentrieren: die Erstellung einer hochdetaillierten Menge von 3D-Punkten.

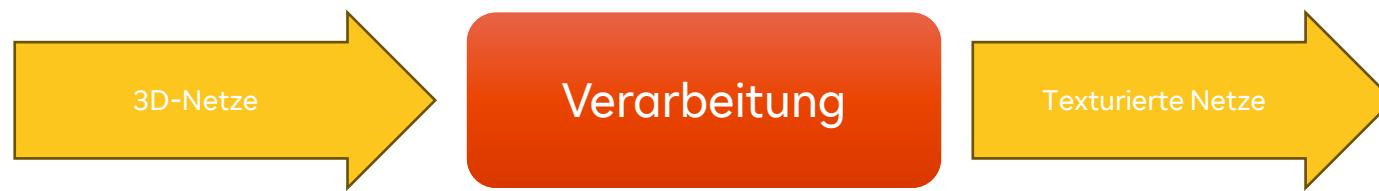


# Photogrammetrie: Ablauf: (4) Meshing

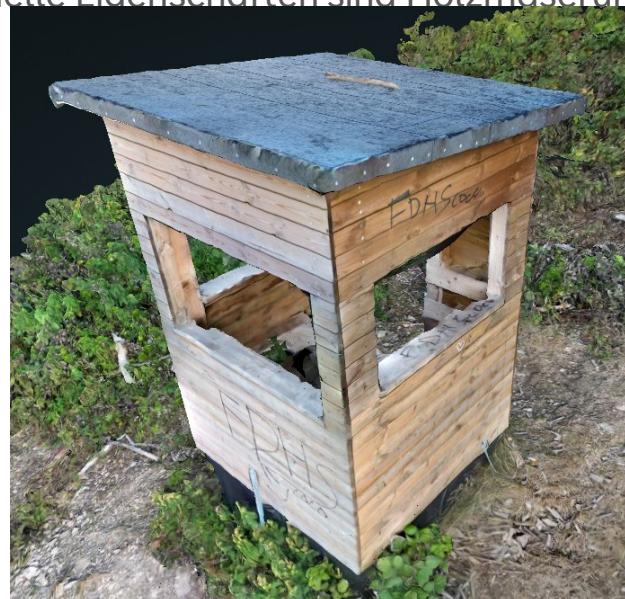


In einer Dense Point Cloud sind viele verschiedene Punkte vorhanden. Beim Meshing werden die Punkte miteinander verbunden, um die Geometrie eines 3D-Objekts zu definieren. Das Ergebnis wird als Meshes (oder auch 3D-Gitter oder 3D-Netz) bezeichnet. Meshes bestimmen die strukturelle Form eines 3D-Objekts und sind die Grundlage für die Darstellung von Formen und Strukturen in einer 3D-Umgebung.

# Photogrammetrie: Ablauf: (5) Texturing



Die 3D-Netze beinhalten die strukturelle Form von Objekten. Auf Basis dieser Struktur können die sog. Texturen „aufgelegt“ werden, um ein realistisches oder ästhetisch ansprechendes Ergebnis anzuzeigen. Es handelt sich um die Oberflächeneigenschaften (Farben, Muster, Bilder) eines Objektes. Weitere Beispiele für visuelle Eigenschaften sind Holzmaserung, Stoffmuster oder Hauttexturen.

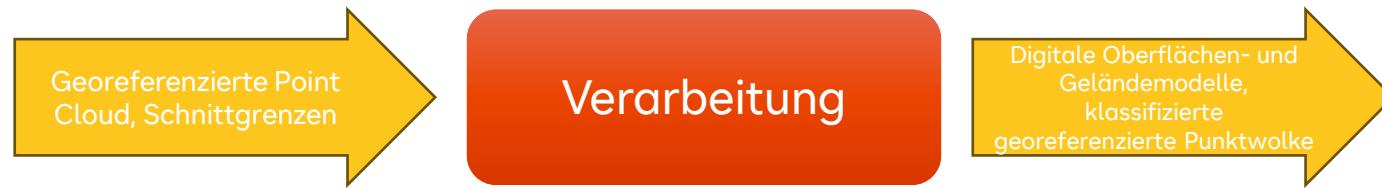


# Photogrammetrie: Ablauf: (6) Georeferencing



Georeferenzierung ist der Prozess der Konvertierung (Umwandlung) eines lokalen Koordinatensystems in ein Welt-Koordinatensystem. WebODM kann dies nur tun, wenn Standortinformationen über die Welt verfügbar sind; entweder über GPS-Koordinaten, die in die Eingabebilder eingebettet sind, oder über eine GCP-Datei. Wenn GCPs verfügbar sind, werden die GPS-Informationen grundsätzlich ignoriert und stattdessen GCPs für die Ausrichtung verwendet.

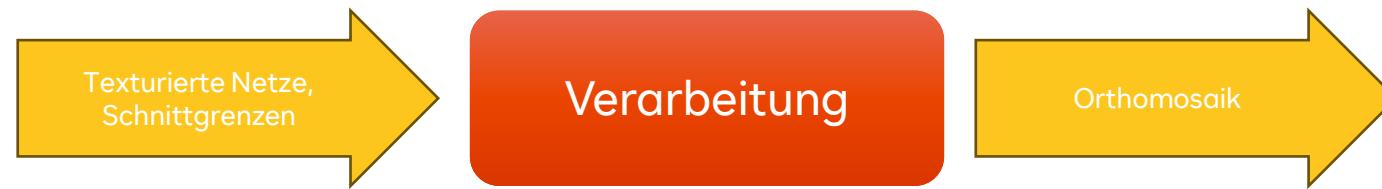
# Photogrammetrie: Ablauf: (7) Digital Elevation Model



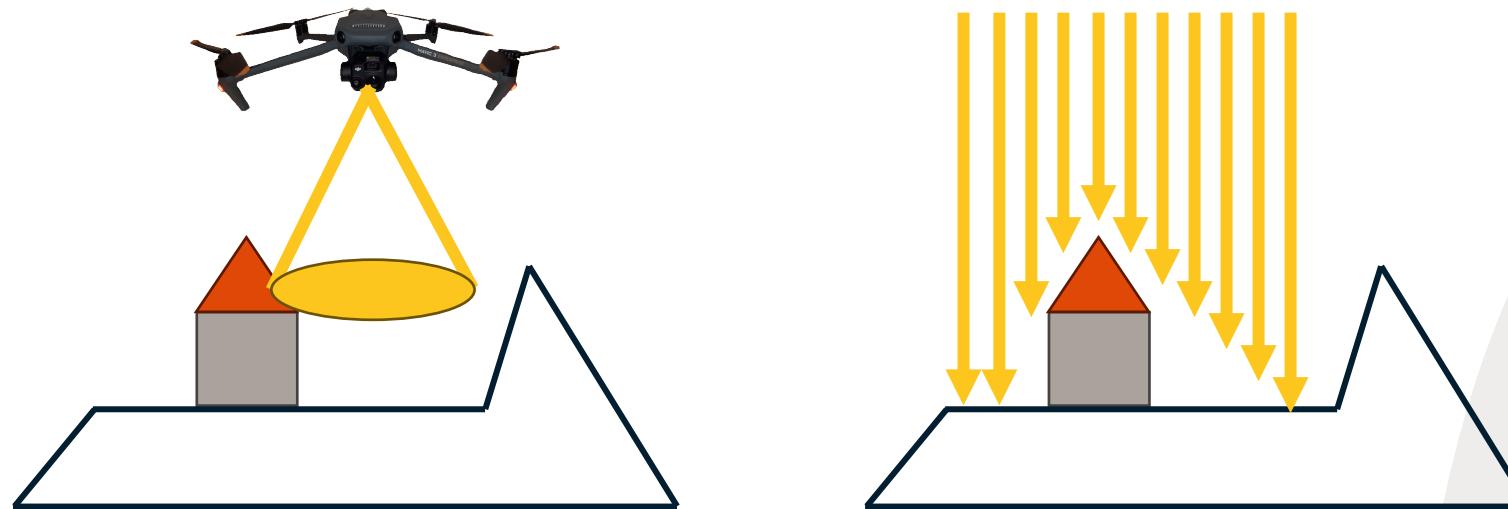
In diesem Schritt nimmt WebODM die georeferenzierte Punktwolke und extrahiert ein digitales Oberflächenmodell (Höhenmodell) mit Hilfe eines Interpolationsverfahrens mit inverser Abstandsgewichtung. Wenn das Modell Lücken aufweist (vielleicht fehlt ein Bereich), werden diese durch Interpolation gefüllt. Schließlich wird das Modell mit einem Medianfilter geglättet, um Rauschen (schlechte Werte) zu entfernen. Mit bestimmten Einstellungen kann auch versucht werden, die Punktwolke in Boden- und Nicht-Boden-Punkte zu unterteilen und beim Geländemodell alle Nicht-Boden-Punkte zu entfernen. Abschließend werden die Ergebnisse abgeschnitten.



# Photogrammetrie: Ablauf: (8) Orthofoto



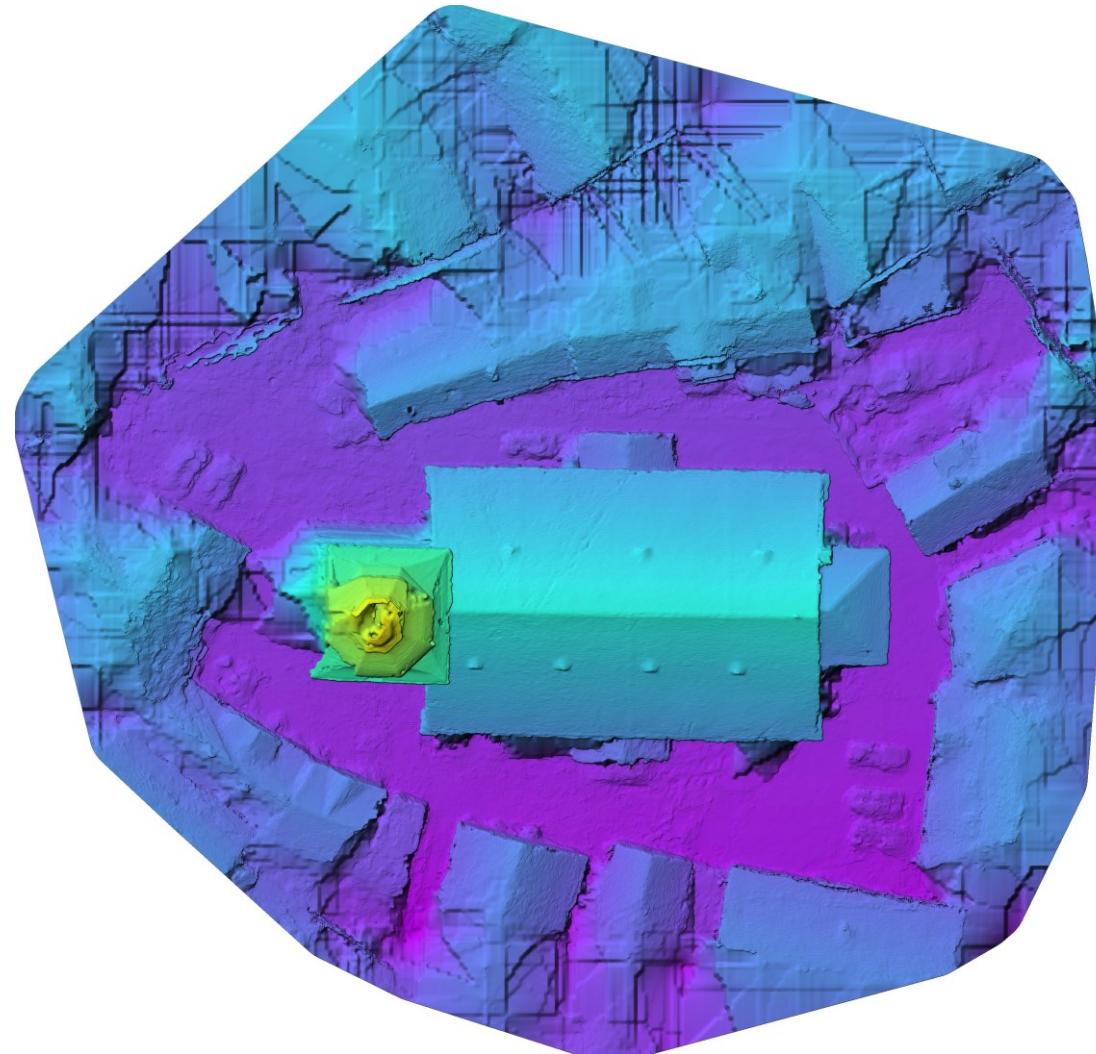
Das Orthofoto wird durch eine Aufnahme des texturierten 3D-Netzes von oben erstellt. Das Bild wird dann georeferenziert und in ein GeoTIFF konvertiert, wobei die Informationen, die im Schritt der Georeferenzierung berechnet wurden, verwendet werden.



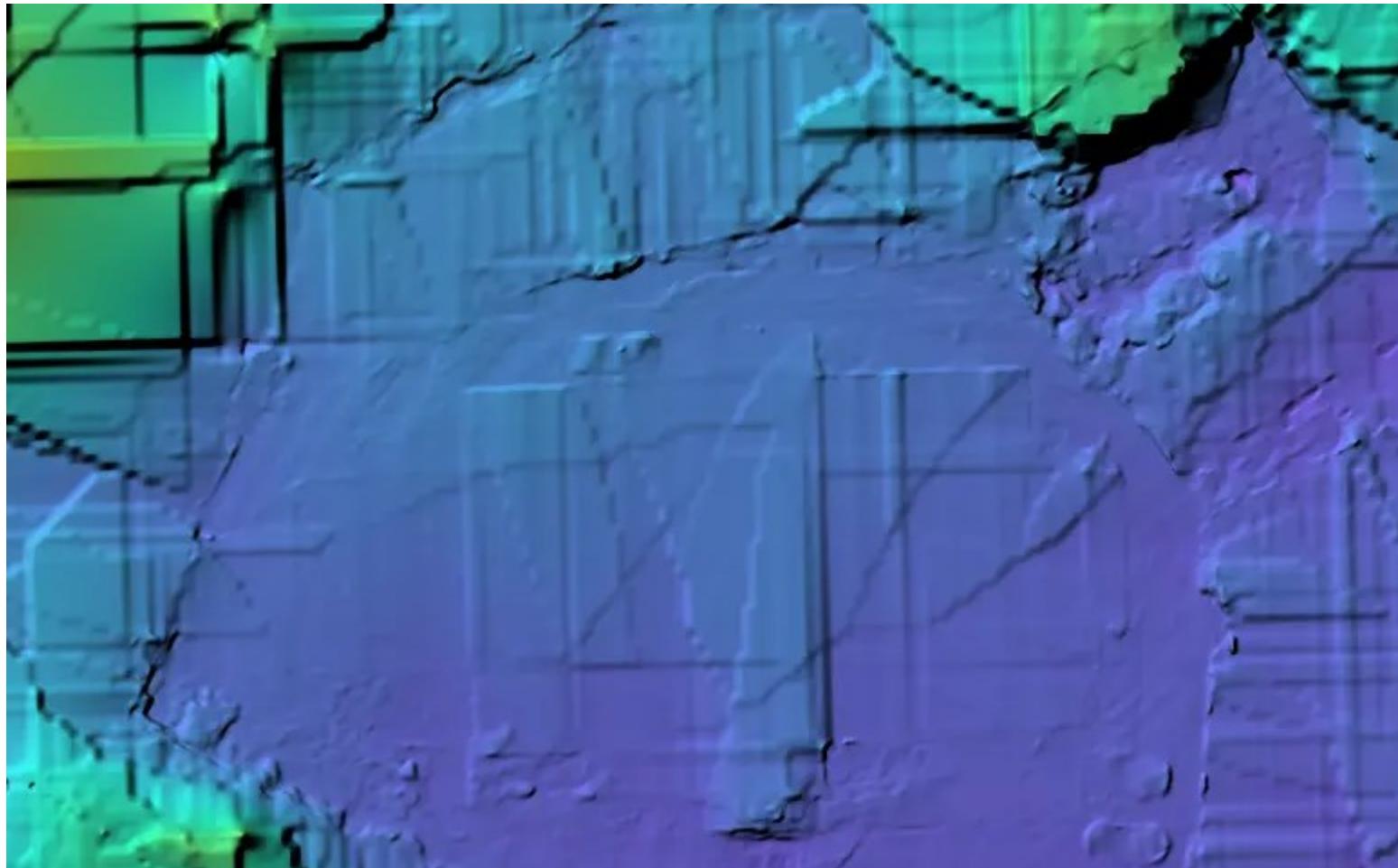
# Photogrammetrie: 3D-Modell



# Photogrammetrie: Digital Surface Model



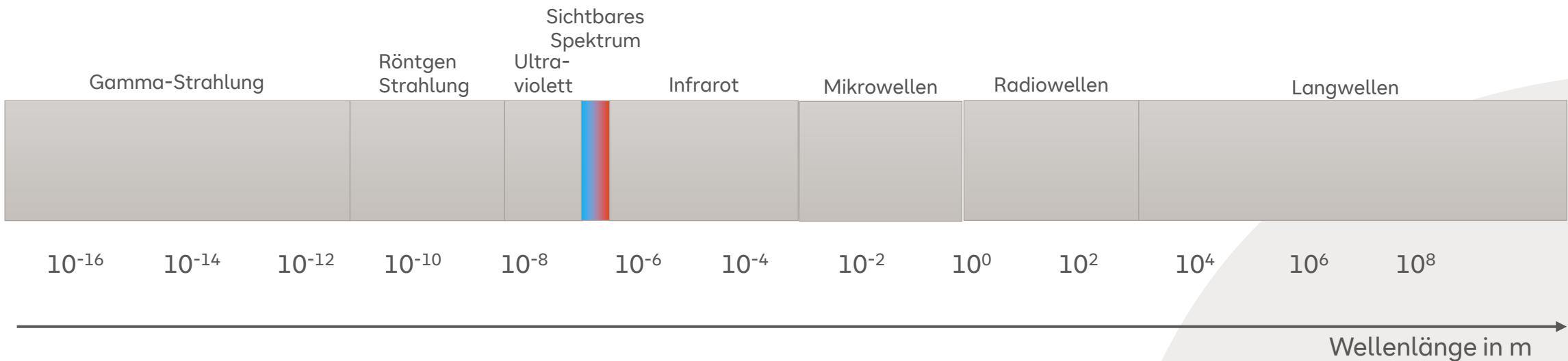
# Photogrammetrie: Digital Terrain Model



# Photogrammetrie: Orthomosaik



# Wärmebild: Lichtspektrum

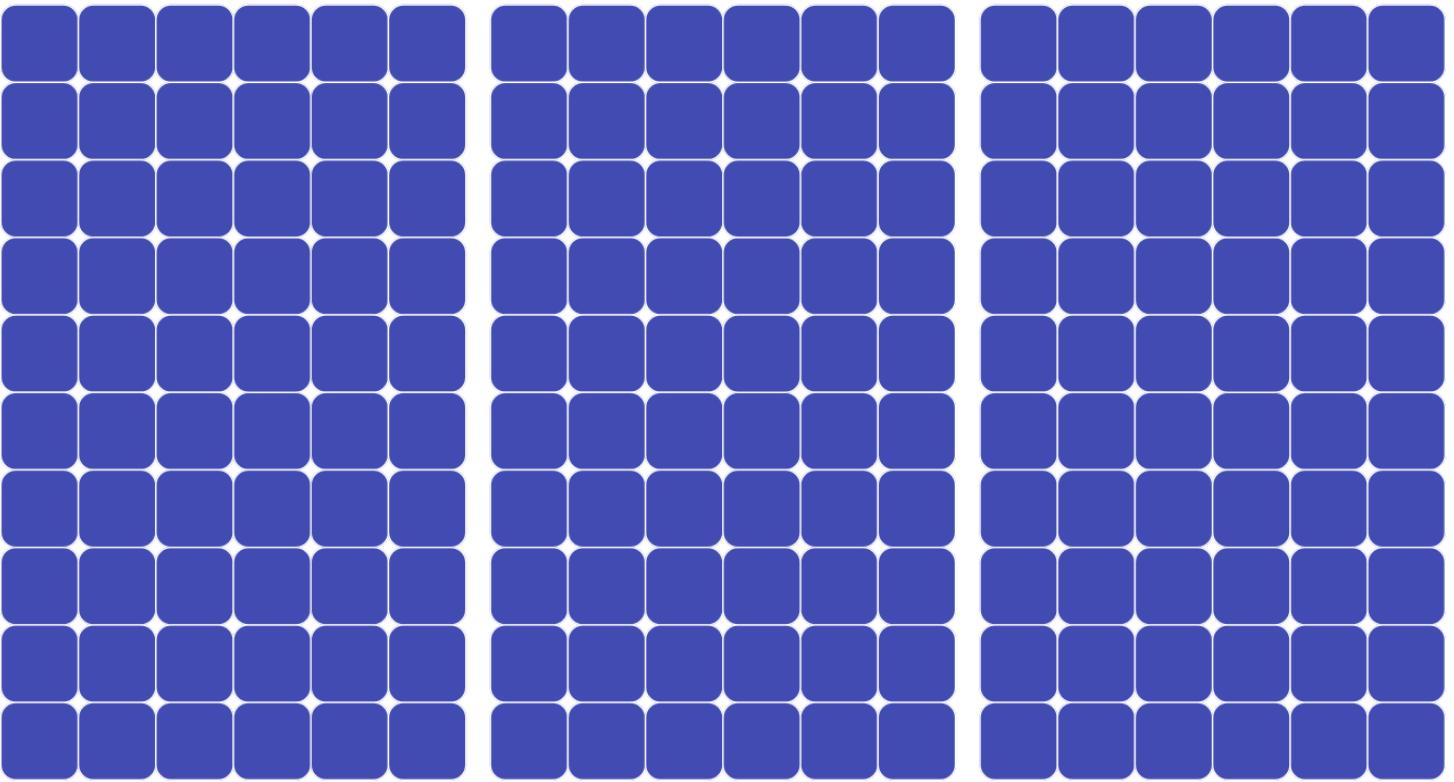


# Wärmebild: Photovoltaik

- Kurzschlussstrom
  - Strom, den eine Solarzelle liefert, wenn die Klemmen links und rechts ohne Widerstand miteinander verbunden werden
  - Es handelt sich um die größte Stromstärke, die eine Solarzelle liefern kann
  - In einem Solarmodul werden Zellen mit ähnlichen Kurzschlussströmen verbaut
- Hotspot
  - Erwärmung, wenn eine Zelle weniger Strom liefert als der Kurzschlussstrom
  - Zelle ist gezwungen in Sperrvorspannung zu arbeiten
  - Durch Sperrvorspannung hohe Verlustleistung und Überhitzung

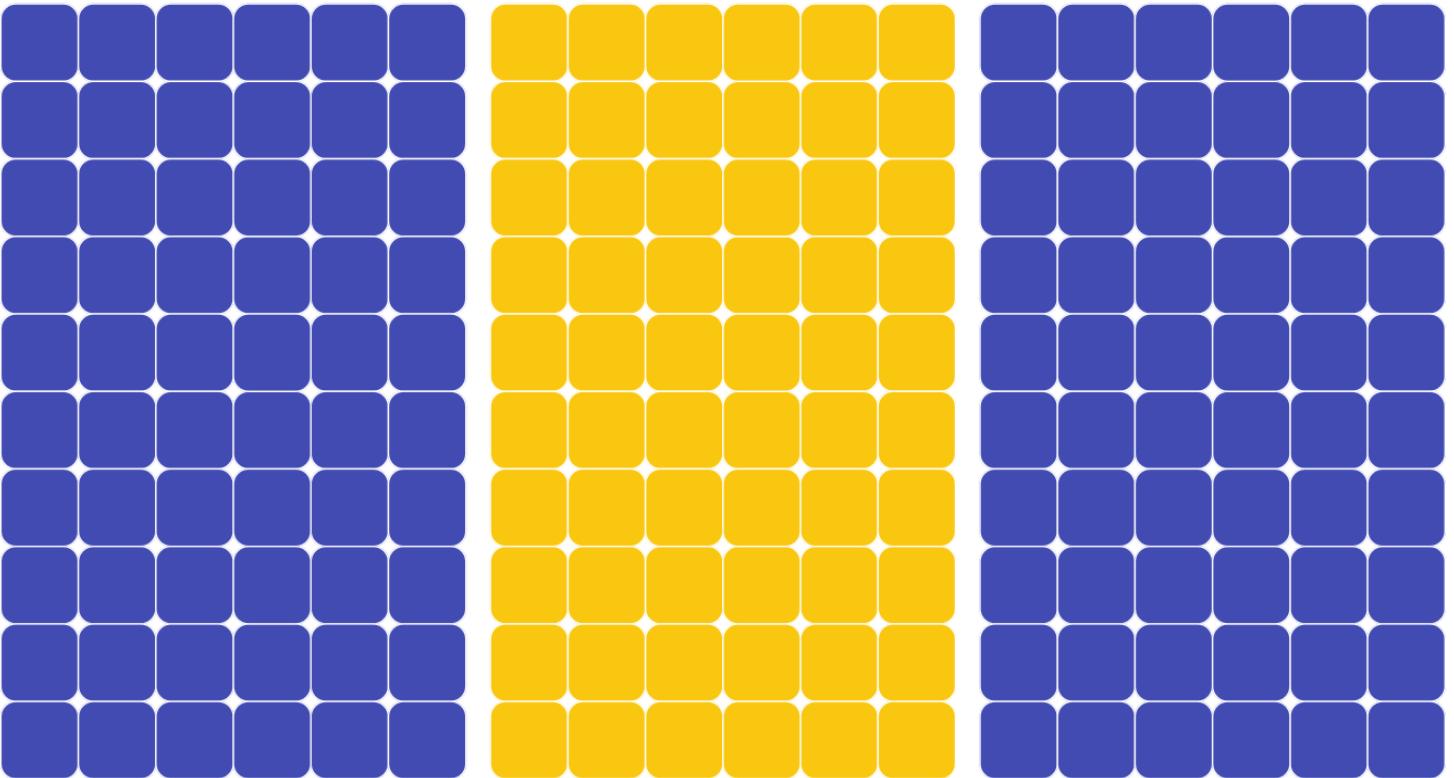
# Wärmebild: Photovoltaik (Beispiel)

— Normales Bild



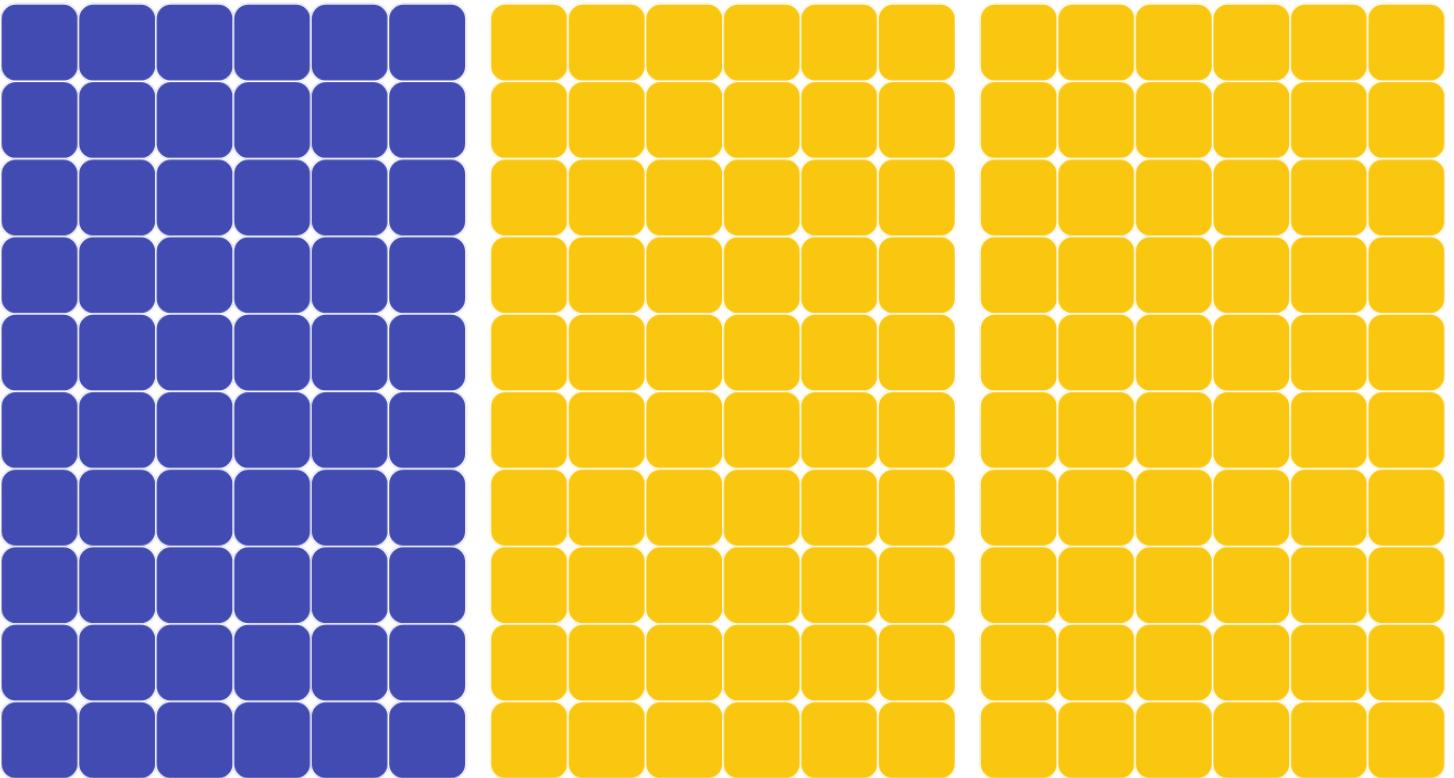
# Wärmebild: Photovoltaik (Beispiel)

- Problem
  - Gesamtes Modul ist wärmer
- Ursache
  - Modul nicht angeschlossen
  - Modul im Leerlauf



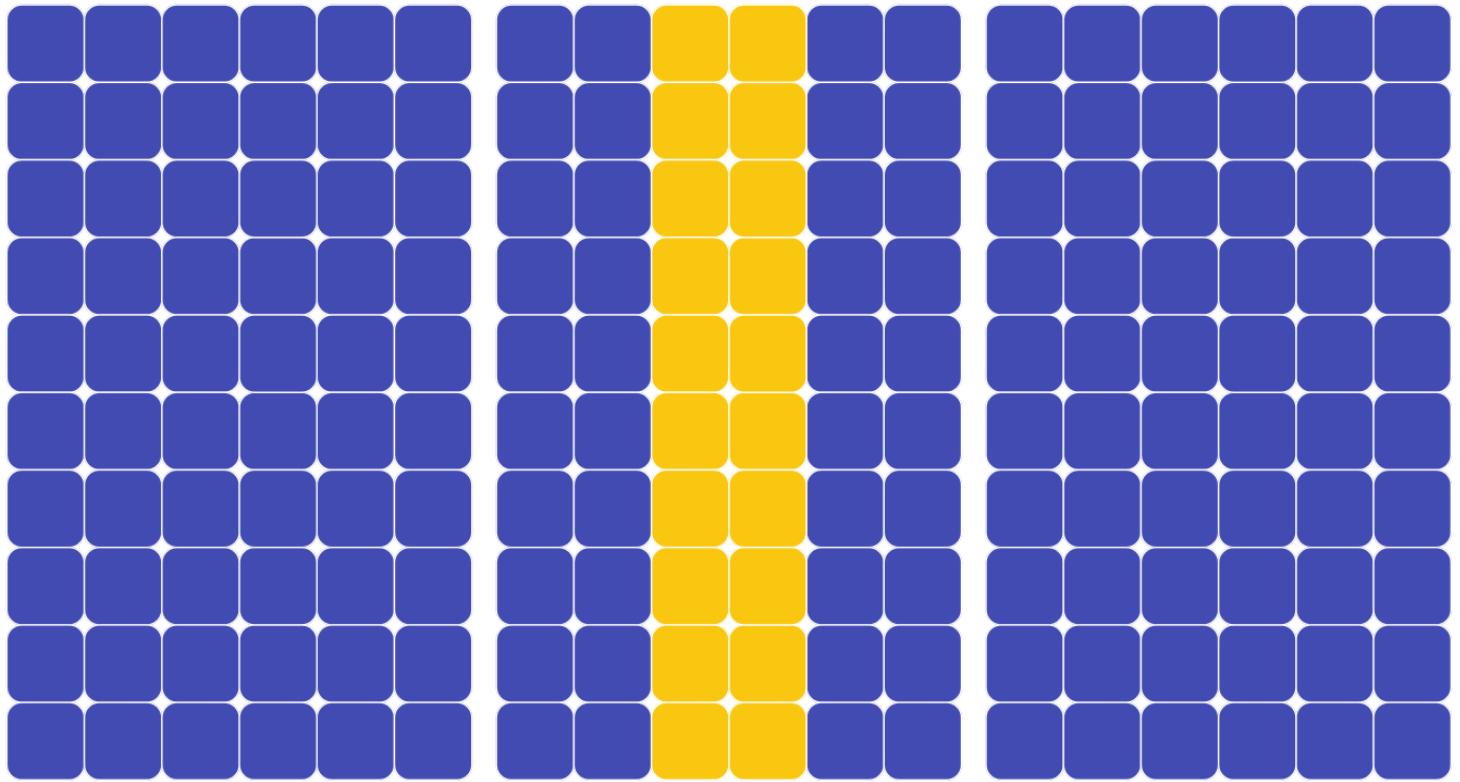
# Wärmebild: Photovoltaik (Beispiel)

- Problem
  - Mehrere Module sind gleichmäßig wärmer
- Ursache
  - Wechselrichter des betreffenden Anlagenabschnitts ist defekt
  - Es besteht ein Anschlussproblem
  - Spiegelungen



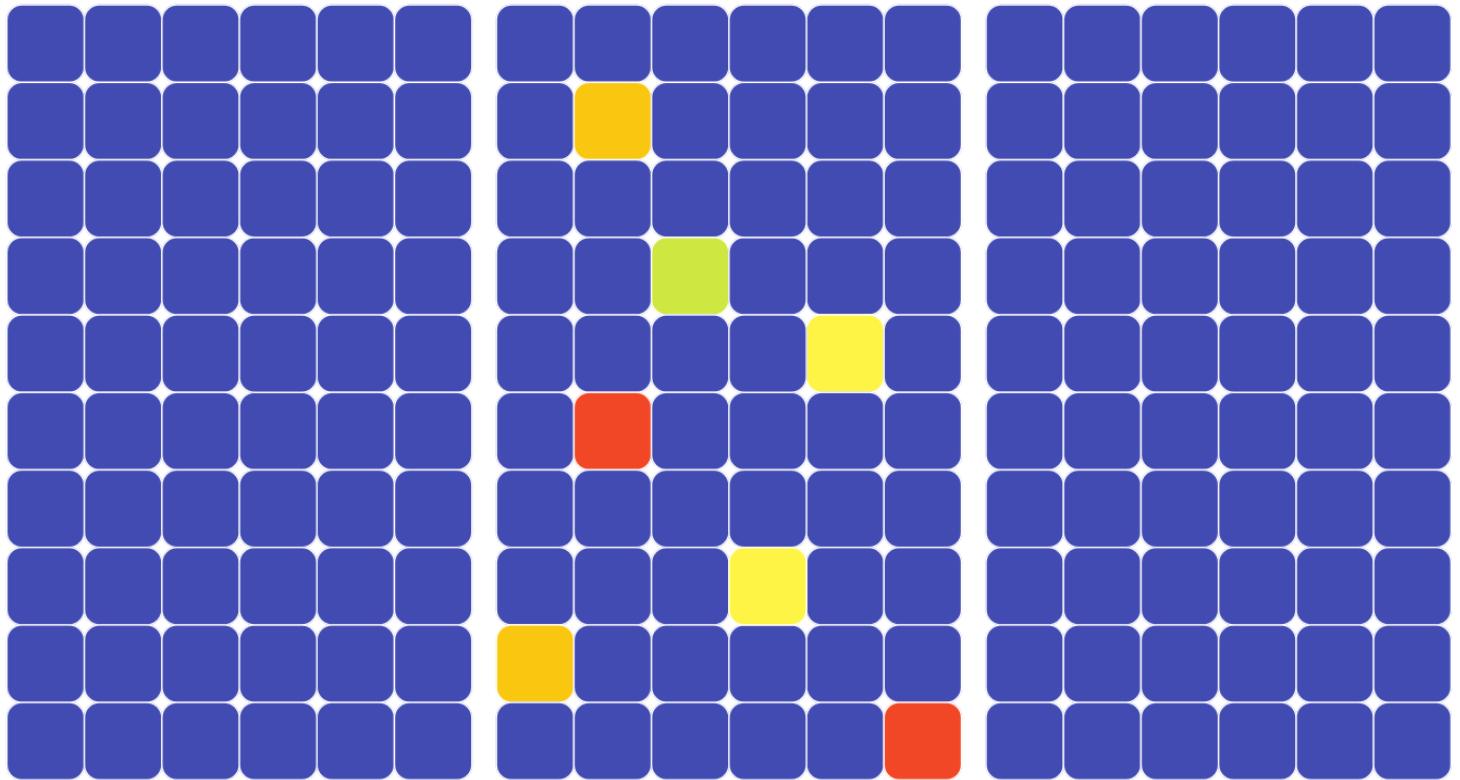
# Wärmebild: Photovoltaik (Beispiel)

- Problem
  - Einzelner String ist wärmer
- Ursache
  - Bypass-Diode hat durchgeschaltet (z.B. wegen Verschattung)
  - Bypass-Diode ist defekt
  - Modul-interner Kurzschluss



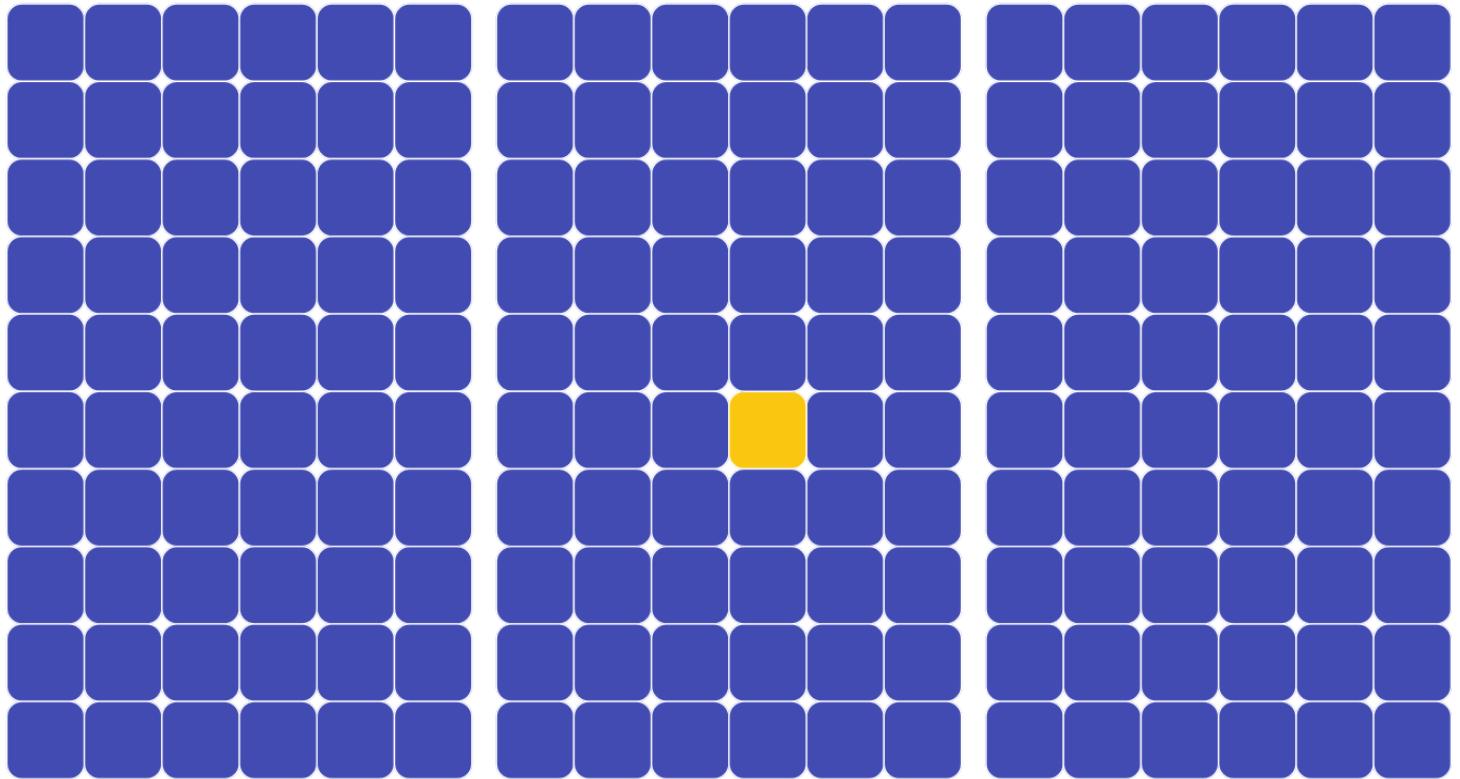
# Wärmebild: Photovoltaik (Beispiel)

- Problem
  - Ungleichmäßige Erwärmung einzelner Zellen
- Ursache
  - Zu geringe Sonneneinstrahlung (< ca. 500 w/m<sup>2</sup>)
  - Modul ist kurzgeschlossen



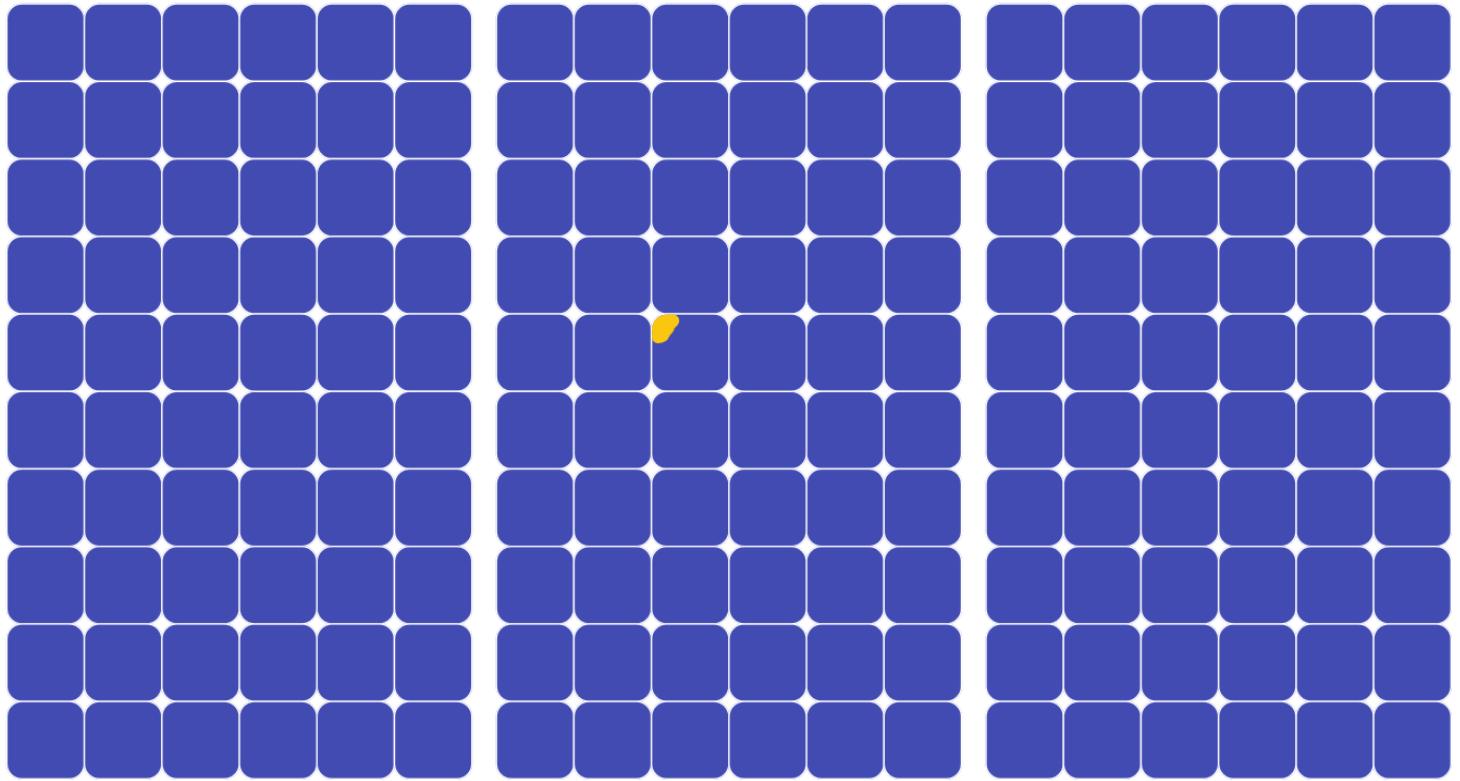
# Wärmebild: Photovoltaik (Beispiel)

- Problem
  - Einzelne Zelle ist wärmer
- Ursache
  - Betreffende Zelle ist defekt
  - Zelle ist verschattet oder teilverschattet (schwächste Zelle im Verschattungsbereich)



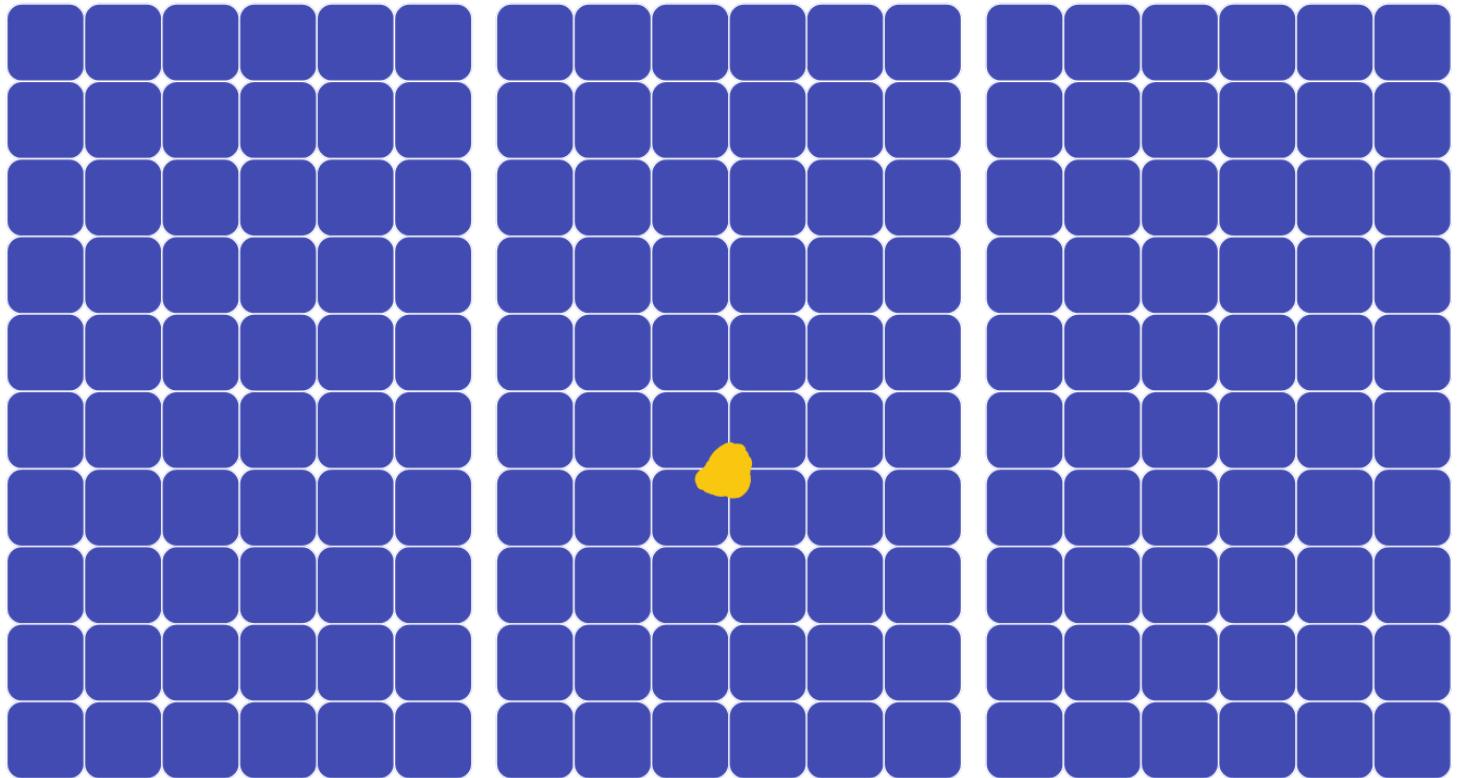
# Wärmebild: Photovoltaik (Beispiel)

- Problem
  - Teil einer einzelnen Zelle ist wärmer
- Ursache
  - Zelle gebrochen oder gerissen
  - Schlechte / defekte Lötstellen



# Wärmebild: Photovoltaik (Beispiel)

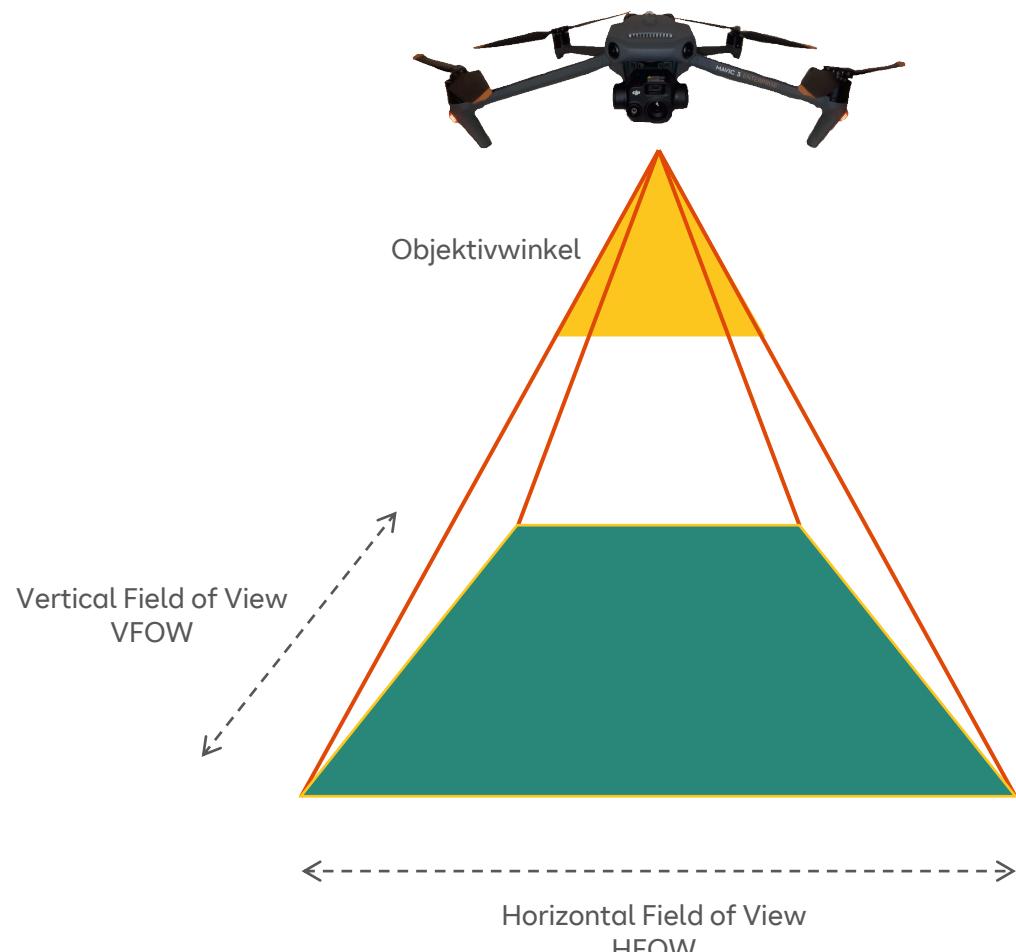
- Problem
  - Unregelmäßige und scharf abgegrenzte Erwärmungen
- Ursache
  - Äußere Verschmutzungen, z.B. Vogeldreck (erhöhte Absorption und Emission)



# Wärmebild: Rehkitzrettung (Ablauf)

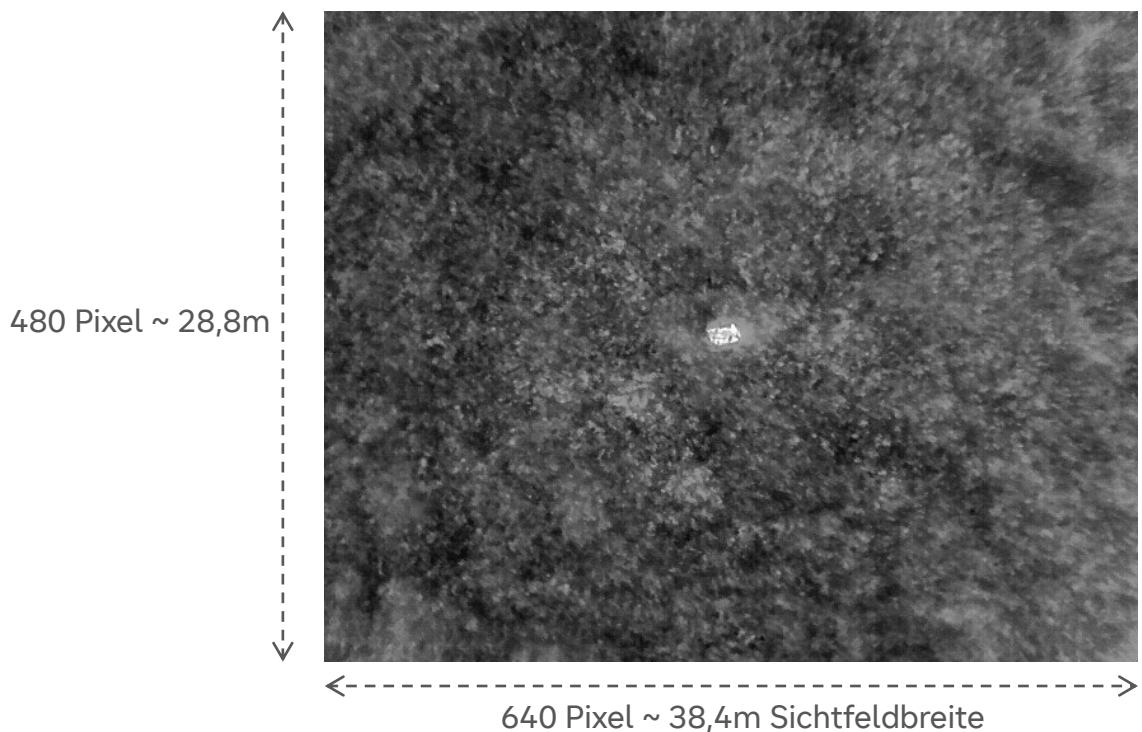
- Drohnen mit Infrarotkameras ausgestattet
- Flug in niedriger Höhe über die Felder
- Landwirte müssen vor dem Mähen informieren
- Risiko von Unfällen werden reduziert
- Effektive und effiziente Art der Rettung

# Wärmebild: Rehkitzrettung (Objektivwinkel)



# Wärmebild: Rehkitzrettung (Auflösung)

Kameraauflösung 640x480 Pixel bei etwa 45m



# Wärmebild: Rehkitzrettung (Nutzbarer Objektivwinkel)



# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

**Kontakt:**

Dr. Michael Goll

[michael.goll@extern.mobile-university.de](mailto:michael.goll@extern.mobile-university.de)

[www.srh.de](http://www.srh.de)