

# Einführung in die Luftbildphotogrammetrie



Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. h.c. Thomas Luhmann  
Jade University of Applied Sciences, Oldenburg, Germany  
Institute for Applied Photogrammetry and Geoinformatics

## Gliederung

1. Photogrammetrische Grundlagen
  - 1.1 Abbildungsmodell
  - 1.2 Genauigkeit
  - 1.3 Innere Orientierung
  - 1.4 Kamerakalibrierung
  
2. Luftbildphotogrammetrie
  - 2.1 Analoge und digitale Aufnahmesysteme
  - 2.2 Bildflugplanung
  - 2.3 Auswertung von Luftbildern
  - 2.4 Anwendungen
  
3. UAV-Photogrammetrie
  - 2.1 Drohnen und Plattformen
  - 2.2 Kameras und Zubehör
  - 2.3 Aufnahmekonfigurationen
  - 2.4 Anwendungsbeispiele

### ■ Lehrbücher

Förstner, W., Wrobel, B. (2016): Photogrammetric Computer Vision. Springer, Berlin

Chen & Baltsavias (eds): Advances in Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, ISPRS Congress Book, Taylor & Francis Group, London, ISBN 978-0-415-47805-2

Heipke, C. (2016): Photogrammetrie und Fernerkundung, Springer, Berlin

Kraus, K. (2000/2004): Photogrammetrie 1-3, de Gruyter.

Luhmann, T. (2016): Nahbereichsphotogrammetrie. Wichmann, 4. Aufl.

McGlone, J.C. (ed.) (2013): Manual of Photogrammetry. 6th ed., American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, 1318 p.

### ■ Internet

Wikipedia

Web sites of companies and universities

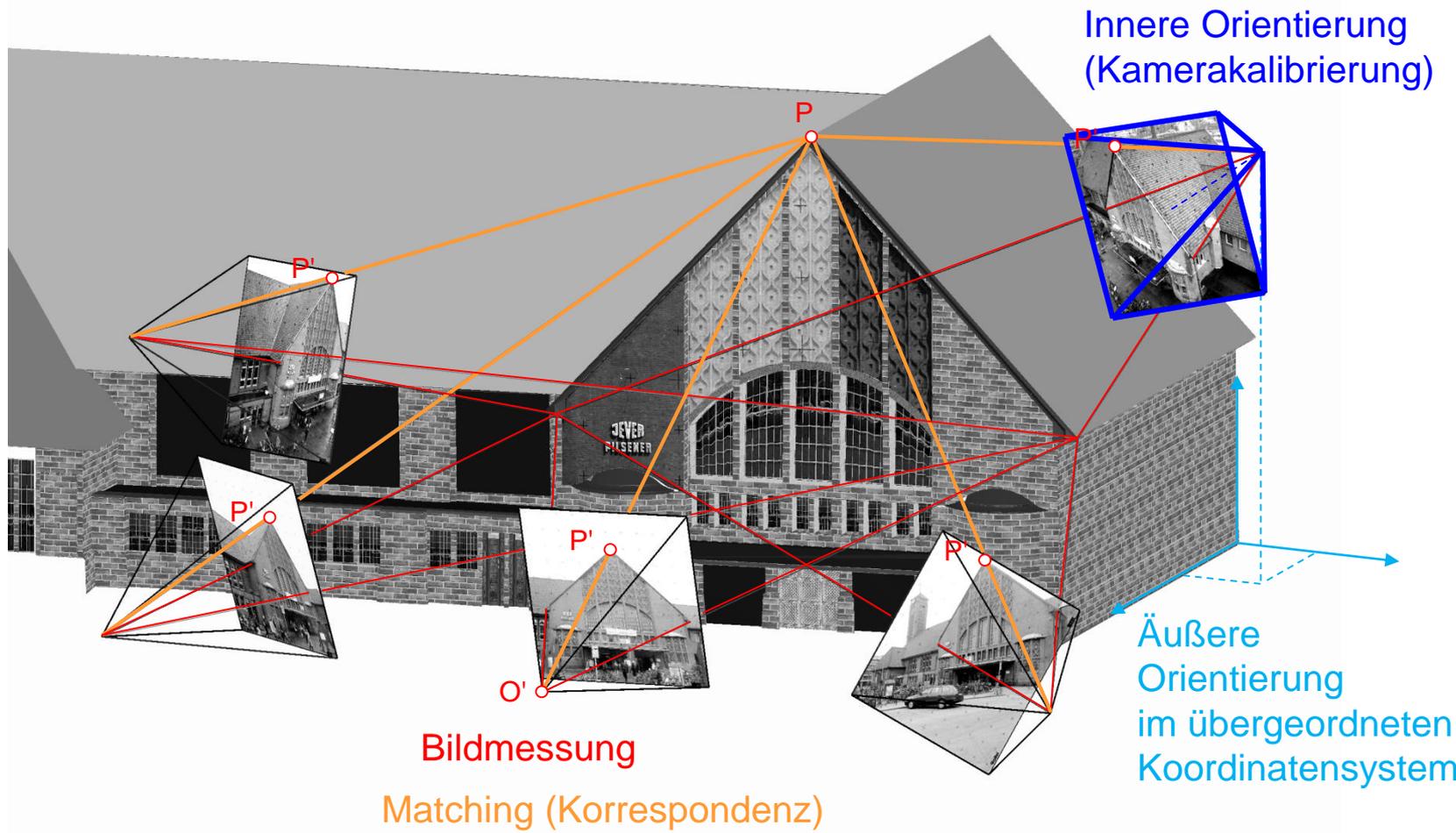
### ■ Communities

Deutsche Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung (DGPF): [www.dgpf.de](http://www.dgpf.de)

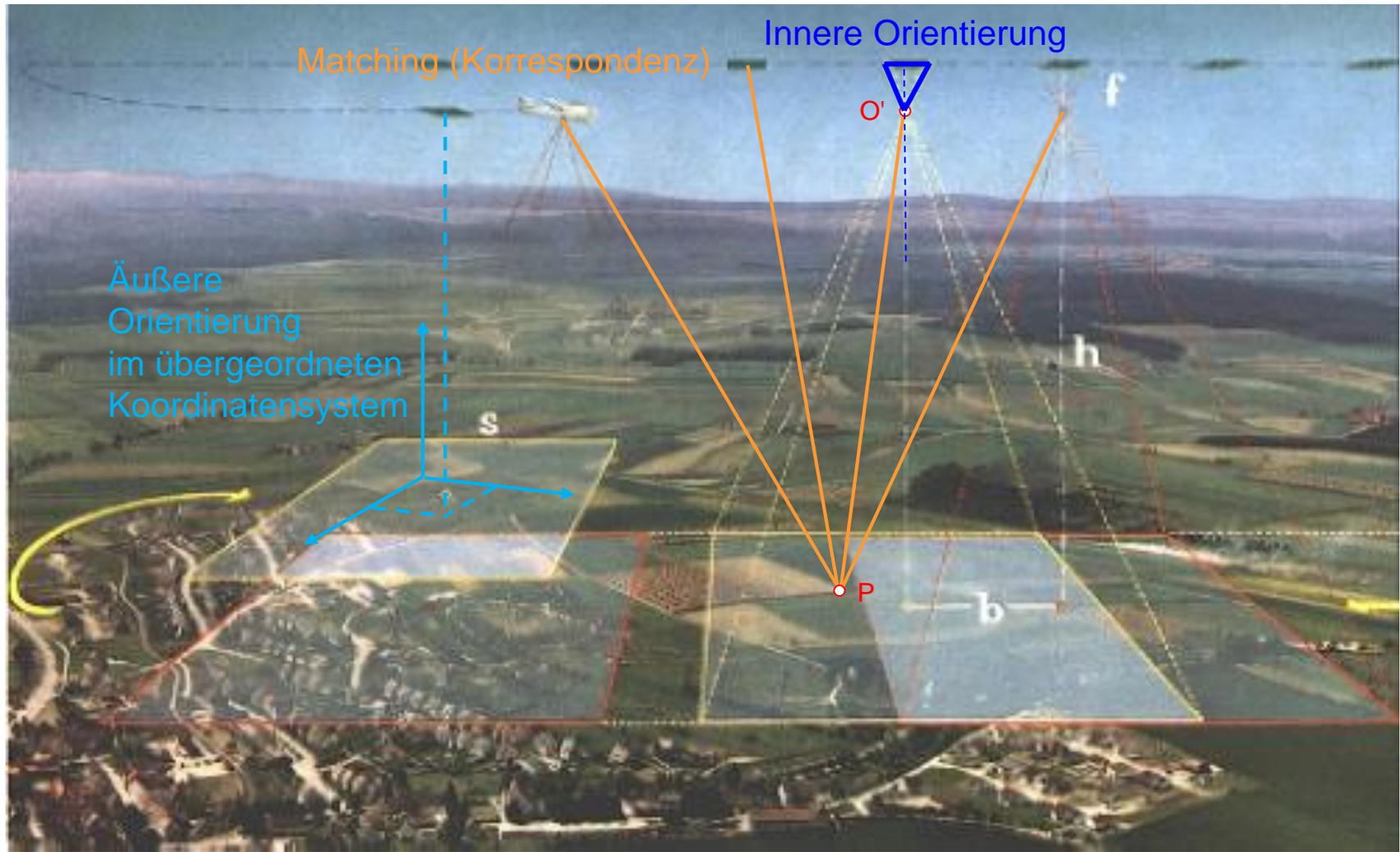
International Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS): [www.isprs.org](http://www.isprs.org)

EuroCOW: [www.eurocow.org](http://www.eurocow.org)

# Photogrammetrisches Prinzip

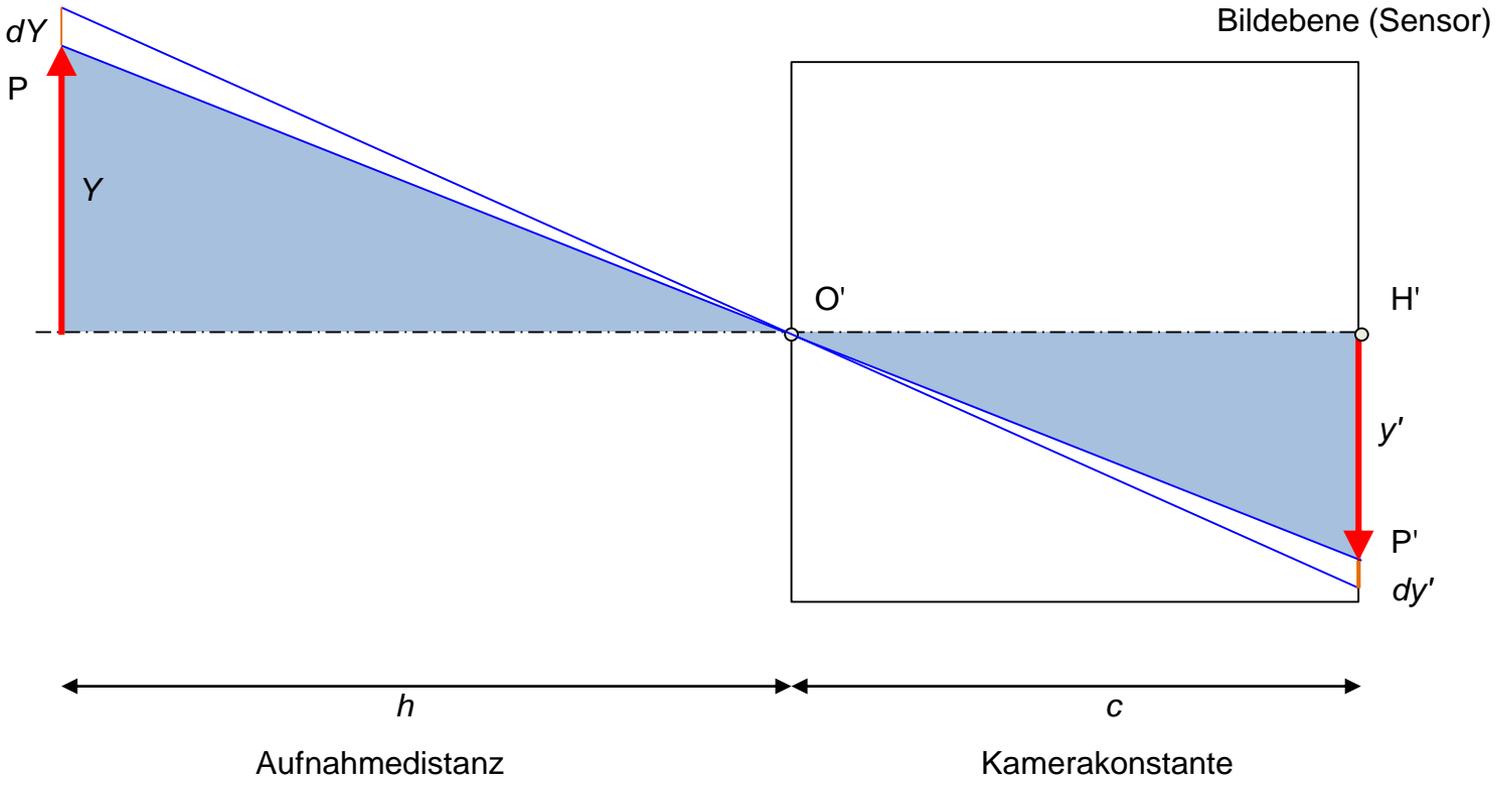


## Photogrammetrisches Prinzip



# Photogrammetrisches Prinzip

Lochkamera → Zentralprojektion



Bildmaßstab

$$m = \frac{h}{c} = \frac{Y}{y'}$$

$$Y = m \cdot y'$$

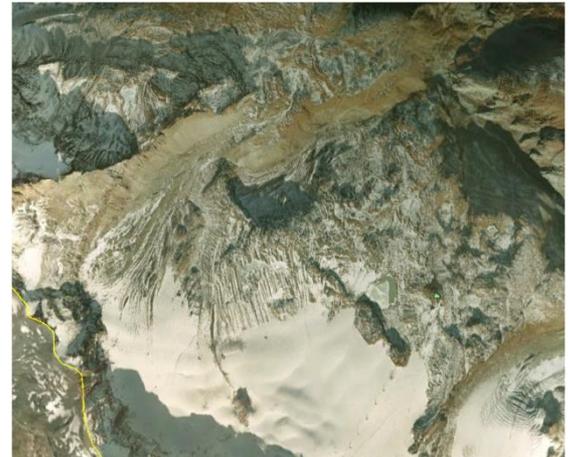
$$dY = m \cdot dy'$$

# Photogrammetrisches Prinzip

## Bildmaßstab



?



Approximately equal image scale over total image

Unequal image scales in total image

## Photogrammetrisches Prinzip

Wie messen wir den Bildmaßstab?

Beispiel 1: Luftbild

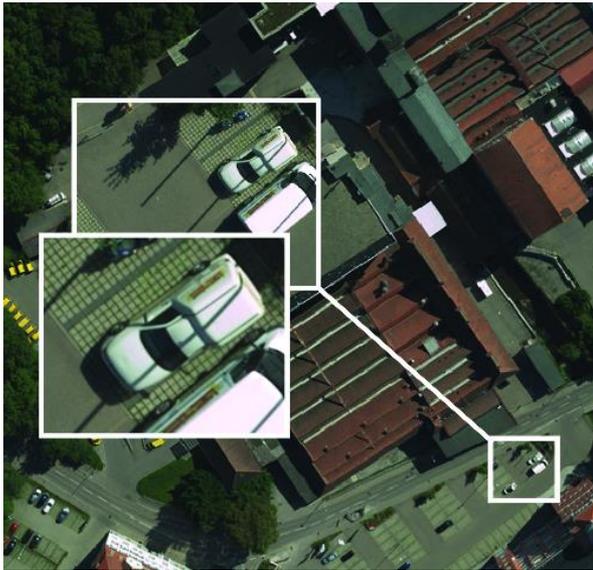
$h = 1500 \text{ m}$

$c = 100 \text{ mm}$

$m = h / c = 15000$

$\Delta x' = 5 \text{ }\mu\text{m}$  (Pixelgröße im Sensor)

$\Delta X = \text{GSD} = 75 \text{ mm}$  (ground sample distance)



$$m = \frac{h}{c} = \frac{S}{s'} = \frac{\Delta X}{\Delta x'}$$

$$\text{GSD} = m \cdot \Delta x'_{\text{pix}}$$

ground sample distance

Beispiel 2: Nahbereich, UAV

$S = 20 \text{ m}$

$\Delta x' = 6 \text{ }\mu\text{m}$  (Pixelgröße im Sensor)

$s' = 2400 \text{ px} = 2400 \cdot 0.006 = 14.4 \text{ mm}$

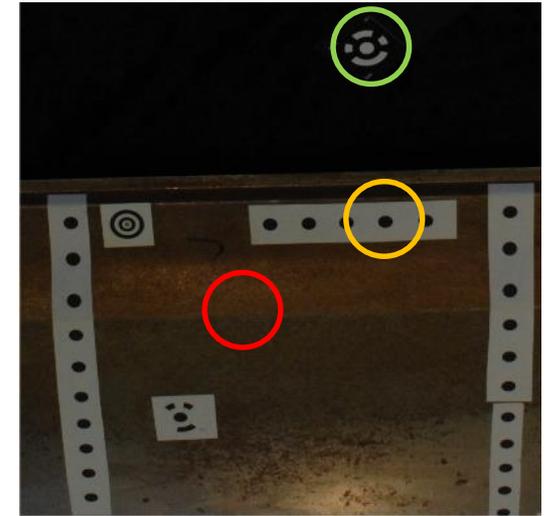
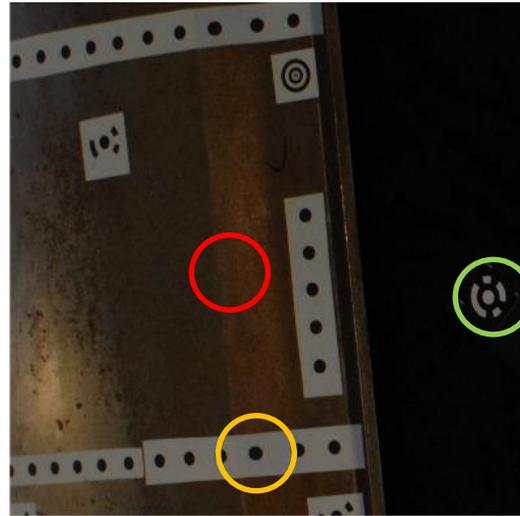
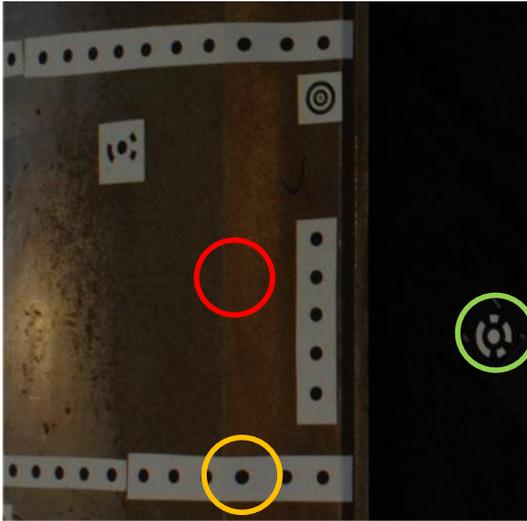
$m = S / s' = 1389$

$\Delta X = \text{GSD} = 8 \text{ mm}$  (ground sample distance)



## Photogrammetrisches Prinzip

### Korrespondenzproblem

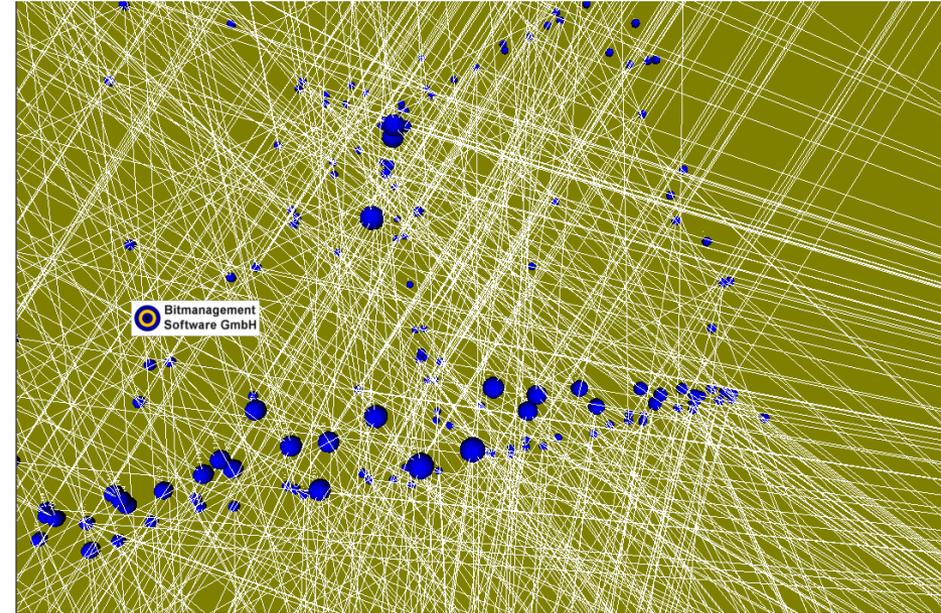
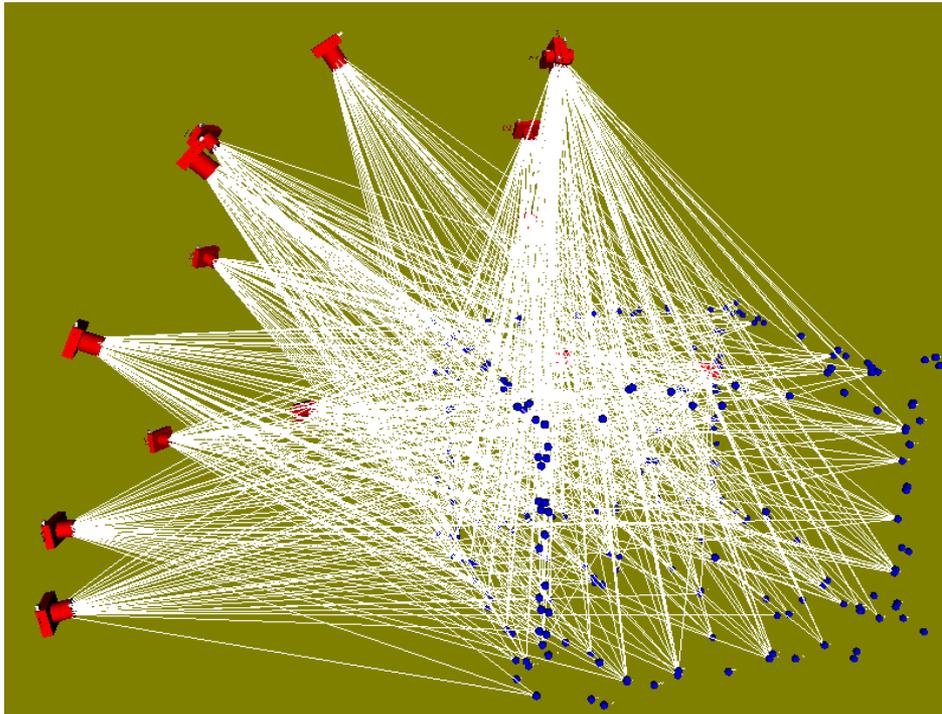


### Matching identischer Merkmale (features)

- Eindeutigkeit der Textur
- Identifizierung (Punktnummer)
- Geometrische Bedingungen (Epipolargeometrie)

## 3D-Rekonstruktion

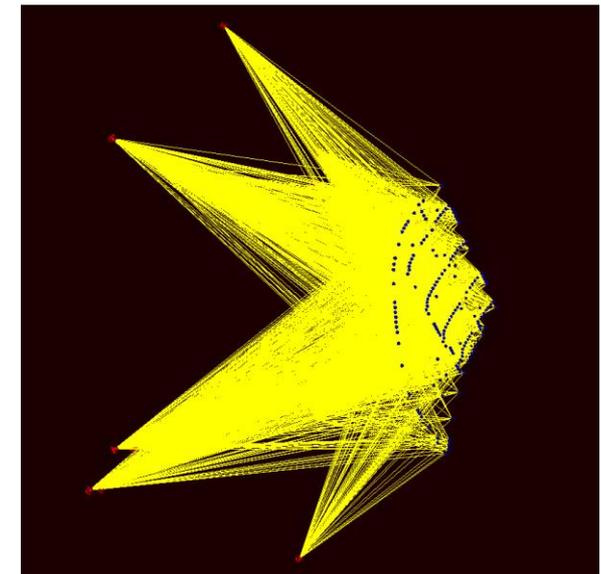
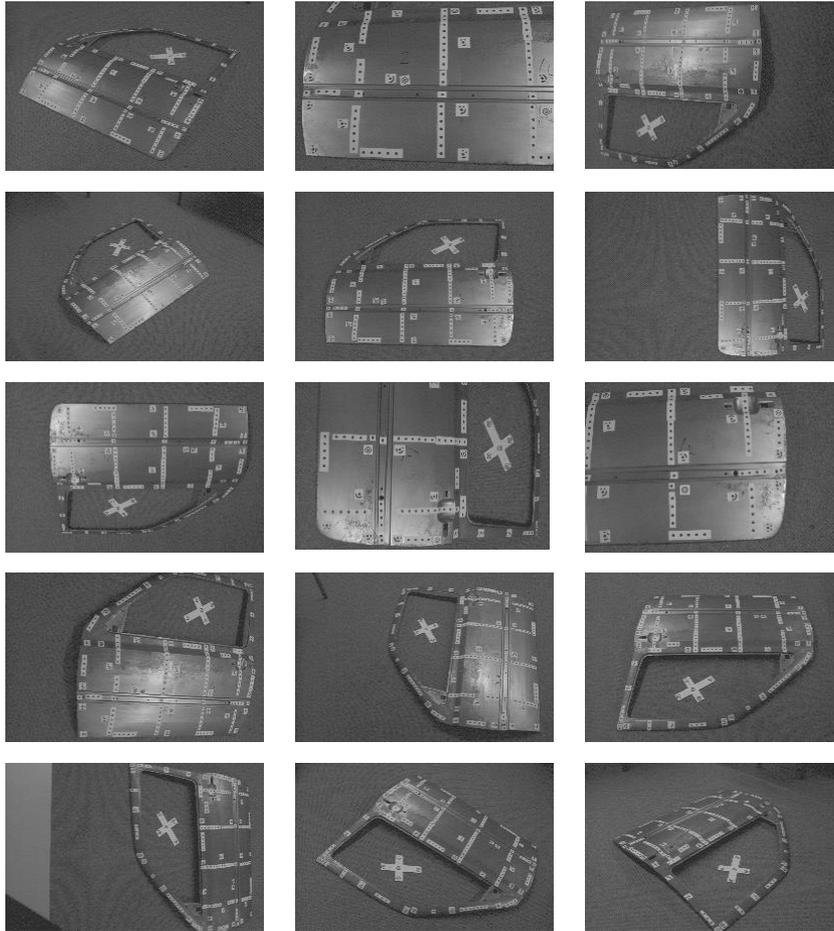
### Bündelausgleichung



- 3D Punktberechnung
- Orientierung und Simultankalibrierung
- Hohe Redundanz
- Kleinste-Quadrate-Ausgleichung
- Statistische Qualitätsaussagen
- Elimination von Ausreißern

## 3D-Rekonstruktion

### Bündelausgleichung mit Selbstkalibrierung



Mehrbildkonfiguration



Korrespondierende Merkmale



Bündelausgleichung

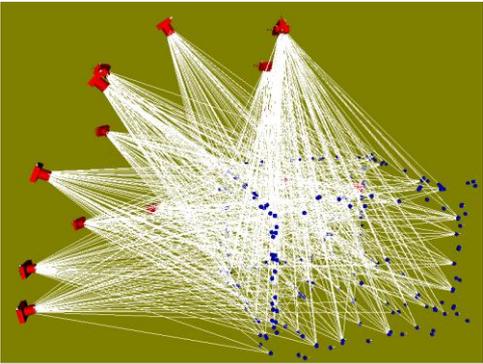


3D Objektkoordinaten  
Kameraparameter

3D-Rekonstruktion

Separate Kalibrierung und Objektrekonstruktion

1. Vorabkalibrierung



Testfeld  
oder  
Kalibrierobjekt

Mehrbildkonfiguration

Bündelausgleichung

3D Objektkoordinaten

Kameraparameter

reales Messobjekt

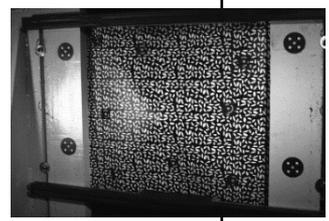
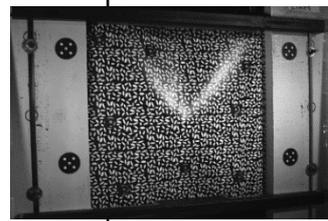
2. Objektmessung

Kameraparameter

Innere  
Orientierung

Äußere  
Orientierung

Stereobilder

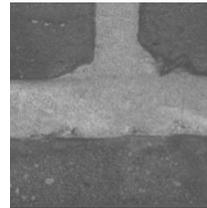


Räumlicher  
Vorwärtsschnitt

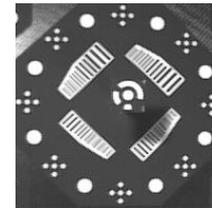
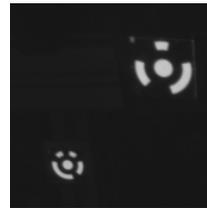
3D Objektkoordinaten

#### Messelemente, Objektmerkmale

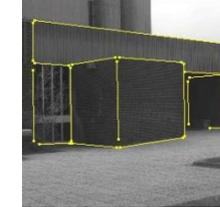
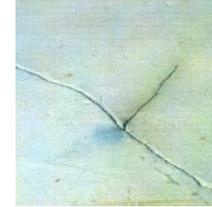
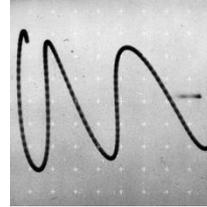
- Natürliche Punkte  
 $\pm 0.5 - 1.5 \text{ px}$



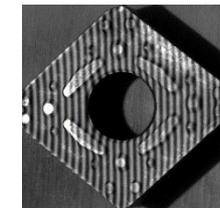
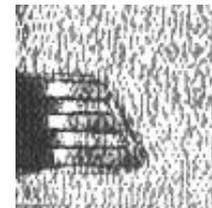
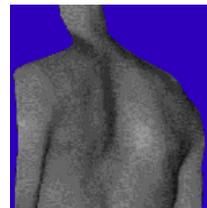
- Zielmarken  
 $\pm 0.02 - 0.2 \text{ px}$



- Linien und Konturen  
 $\pm 0.5 - 1.5 \text{ px}$



- Freiformflächen  
 $\pm 0.1 - 1 \text{ px}$



# Auflösung und Genauigkeit

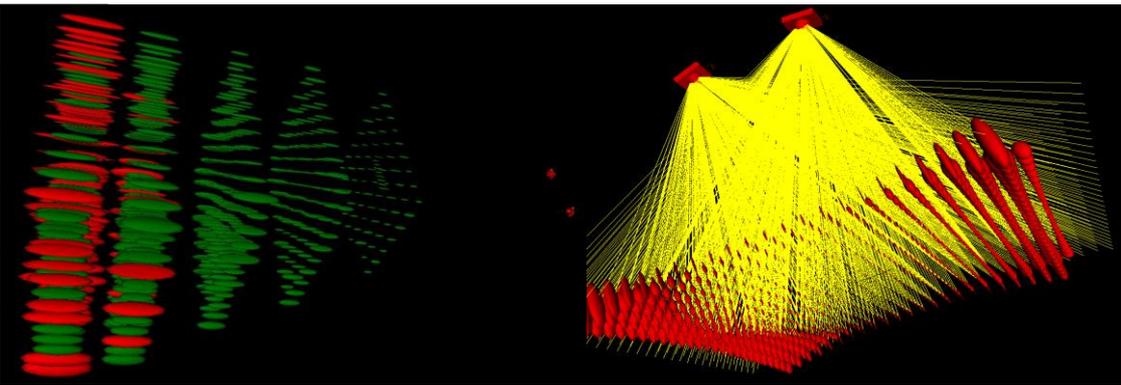
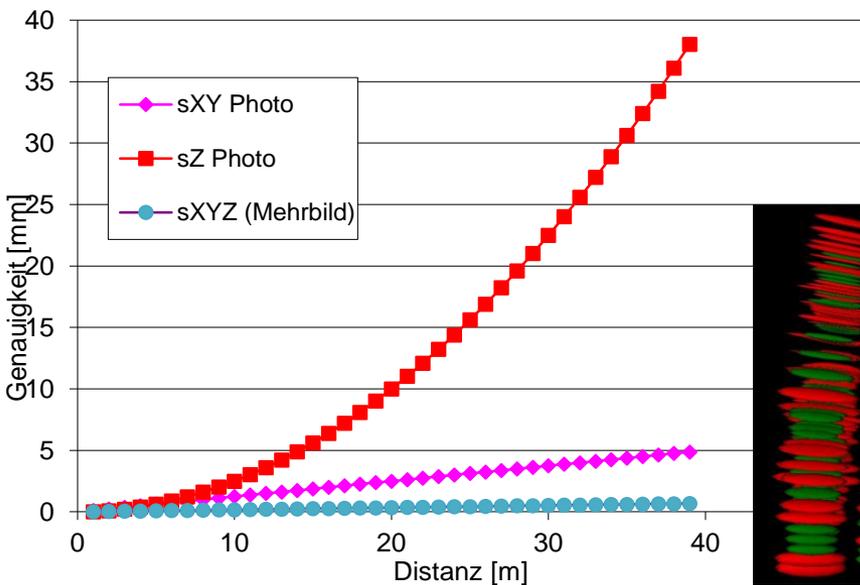
Abschätzung (Rundum-Mehrbildverband):

$$s_{XYZ} = q \cdot m \cdot s_{x'y'}$$

Abschätzung (Stereophotogrammetrie):

$$s_{XY} = m \cdot s_{x'y'}$$

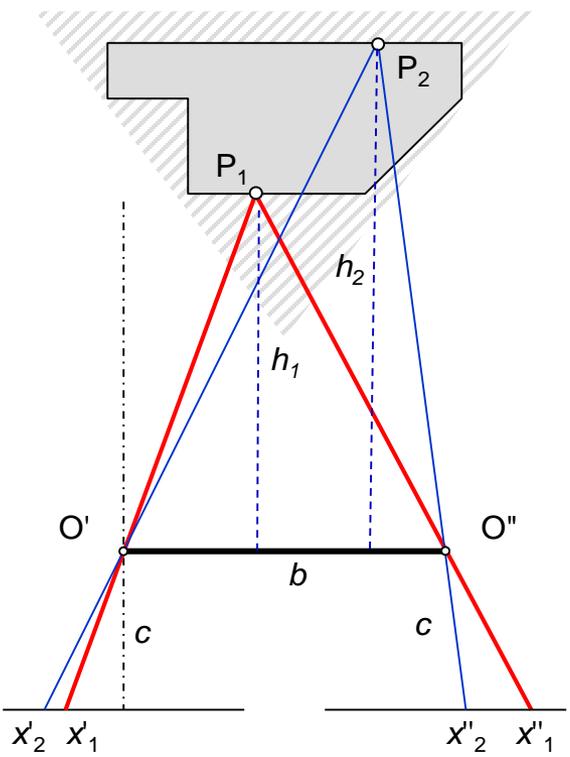
$$s_Z = \frac{h}{b} \cdot m \cdot s_{x'y'}$$



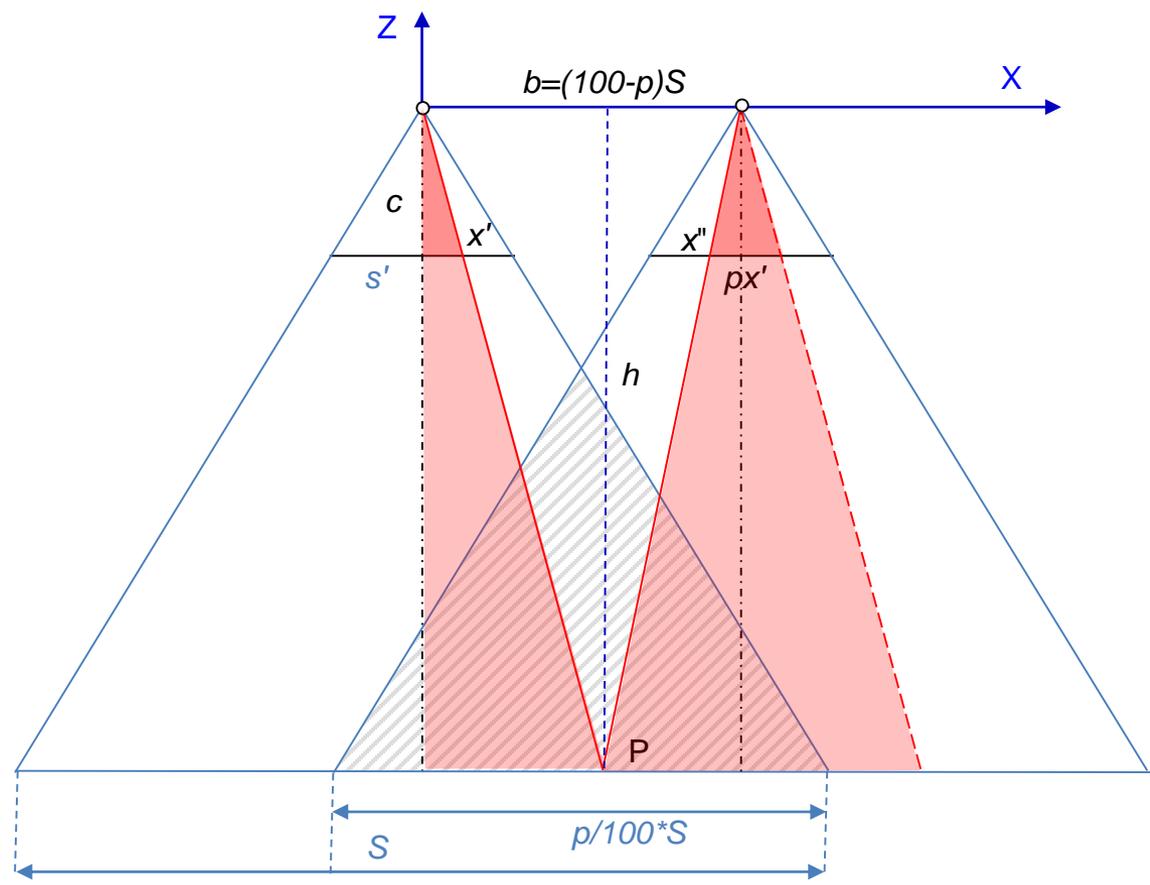
Stereophotogrammetrie:  $c = 20\text{mm}$ ,  $s_{x'} = 2.5\mu\text{m}$ ,  $b = 5\text{m}$   
 Mehrbildphotogrammetrie:  $c = 20\text{mm}$ ,  $s_{x'} = 0.5\mu\text{m}$ ,  $q = 0.7$

Monte-Carlo Simulation der Messgenauigkeit eines photogrammetrischen Stereosystems

Auflösung und Genauigkeit



$$px' = x' - x'' = f(h)$$



- s': Bildformat
- S: Geländeseite
- p: Längsüberdeckung (%)
- b: Stereobasis

$$X = \frac{h}{c} x' = m \cdot x'$$

$$Y = \frac{h}{c} y' = m \cdot y'$$

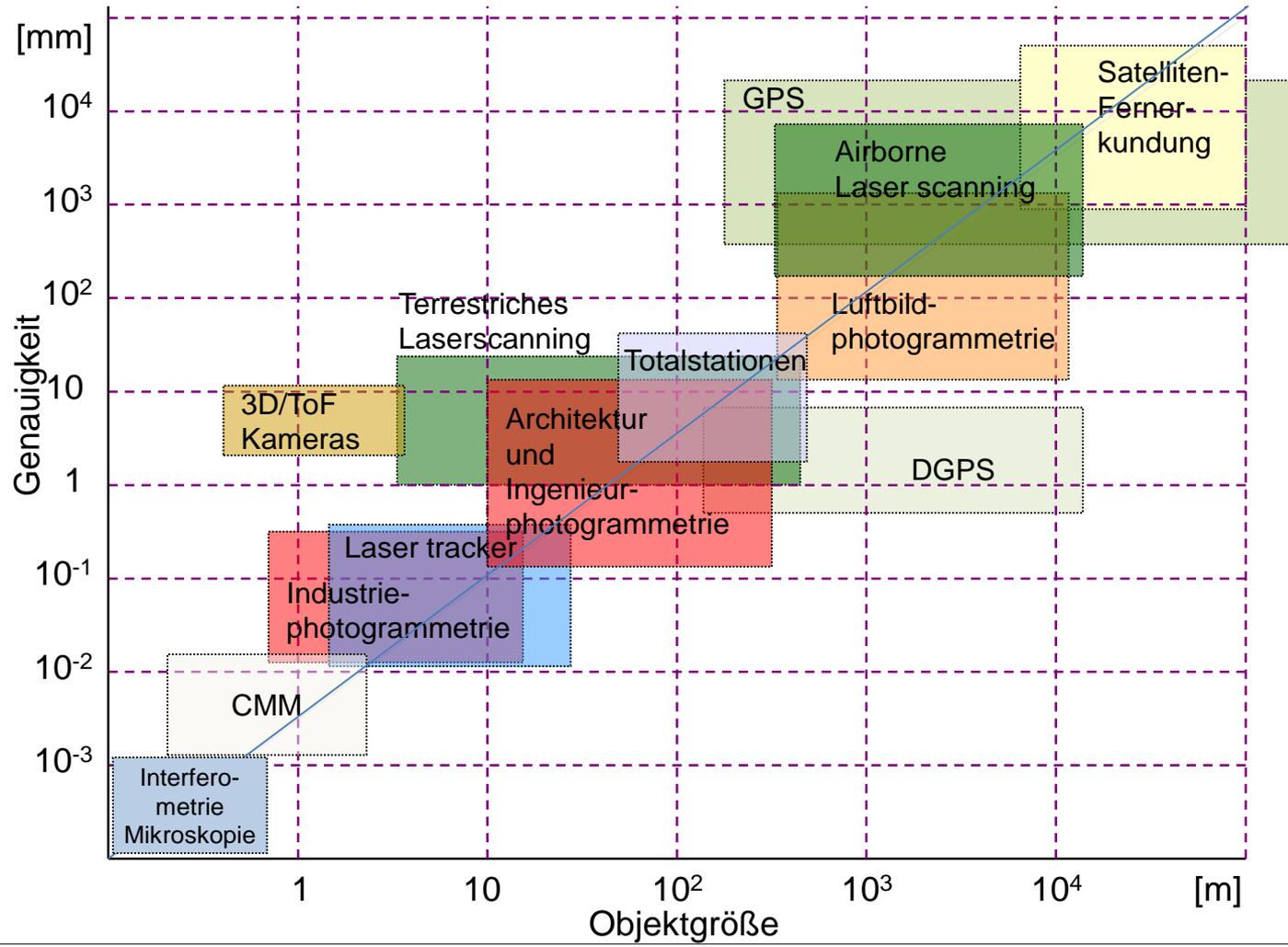
$$\frac{h}{b} = \frac{c}{x' - x''}$$

$$Z = h = \frac{b \cdot c}{px'}$$

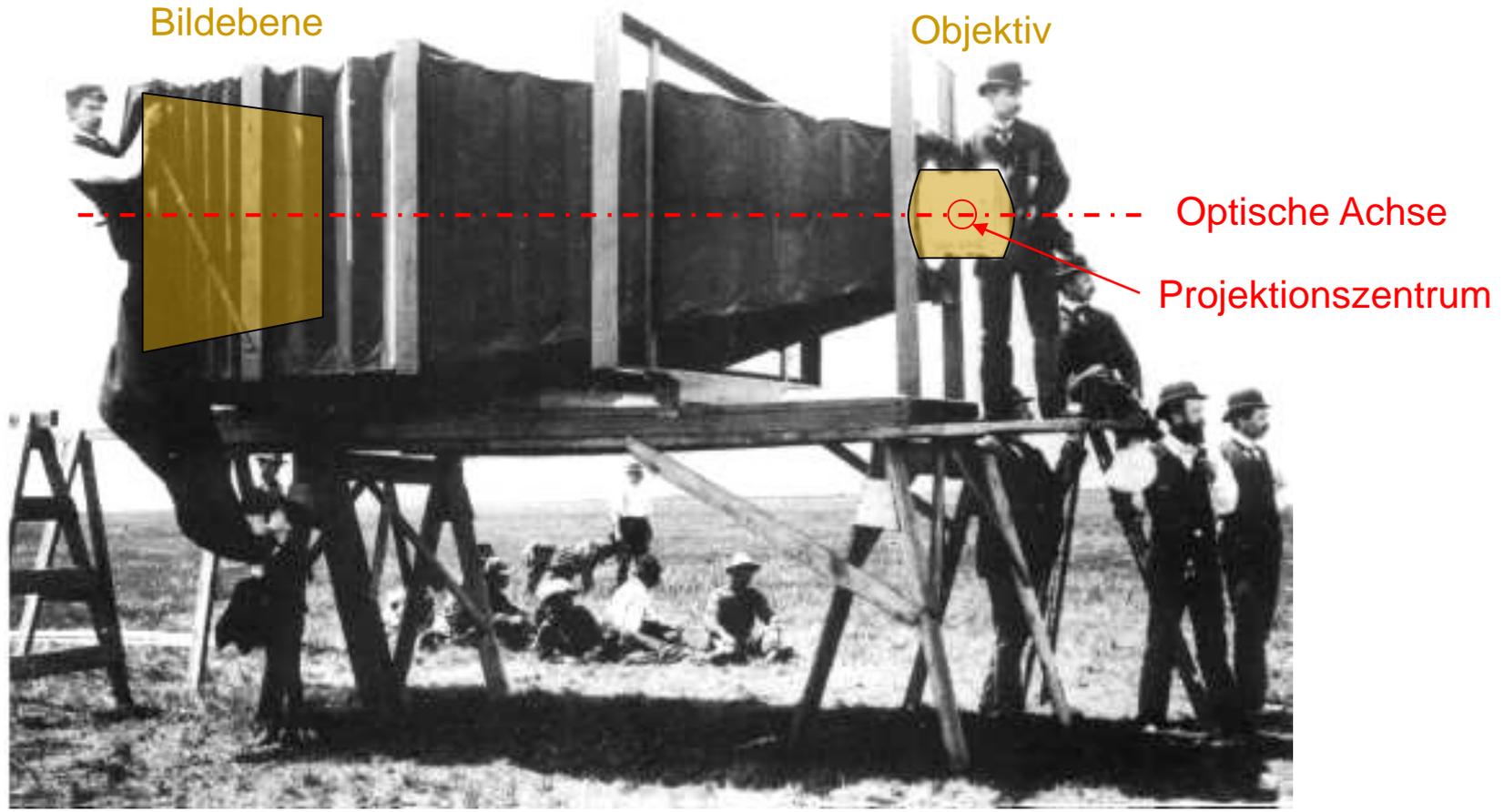
## Auflösung und Genauigkeit

			Luftbild analog	Luftbild digital	UAV
$\Delta x$	Pixelgröße	mm	0,02	0,006	0,0025
$n_{col}$	Anzahl Pixel			13500	4800
$s'$	Bildformat	mm	230	81	12
$c$	Brennweite	mm	305	100	6
$h$	Flughöhe	m	1500	1500	75
$m$	Bildmaßstab		4918	15000	12500
$GSD$	GSD	mm	98	90	31
$S$	Geländebreite	m	1131	1215	150
$p$	Längsüberdeckung	%	60%	60%	90%
$b$	Basis	m	452	486	15
$h/b$	Basis-Höhen-Verhältnis		3,3	3,1	5,0
$s_{x'y'}$	Bildmessgenauigkeit (px)	px	1	1	1
$s_{x'y'}$	Bildmessgenauigkeit (mm)	mm	0,02	0,006	0,0025
$s_{XY}$	Lagegenauigkeit XY	mm	98	90	31
$s_Z$	Höhengenauigkeit Z	mm	326	278	156

# Messvolumen und Messgenauigkeit

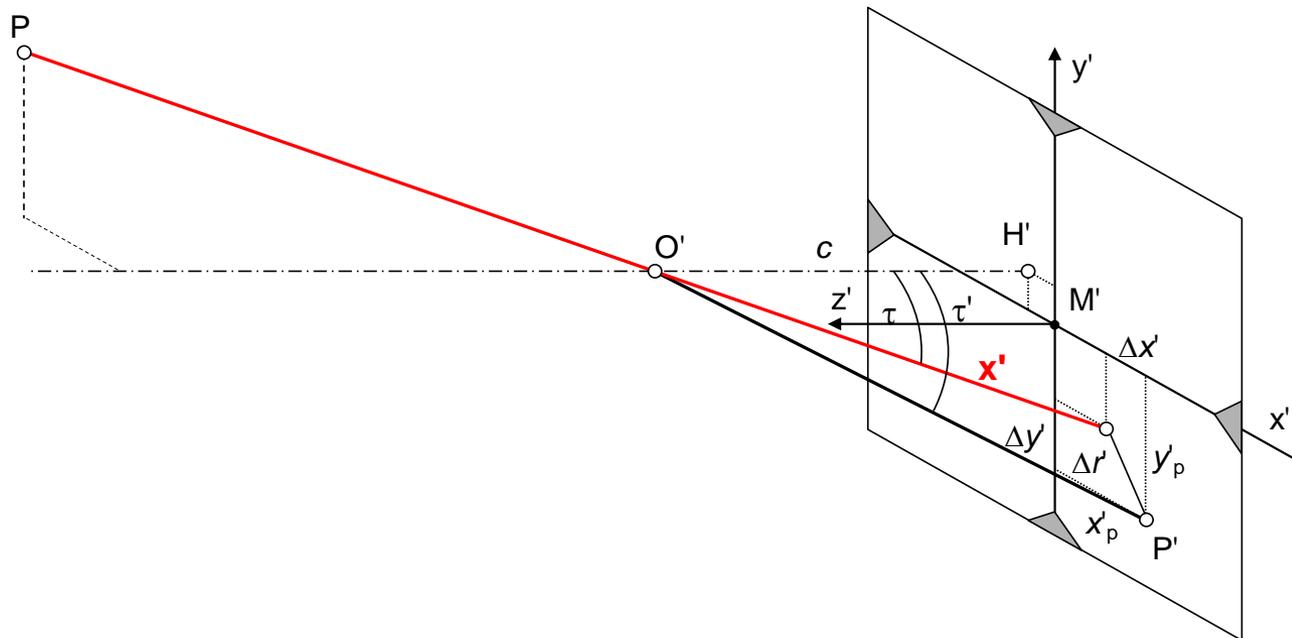


# Innere Orientierung



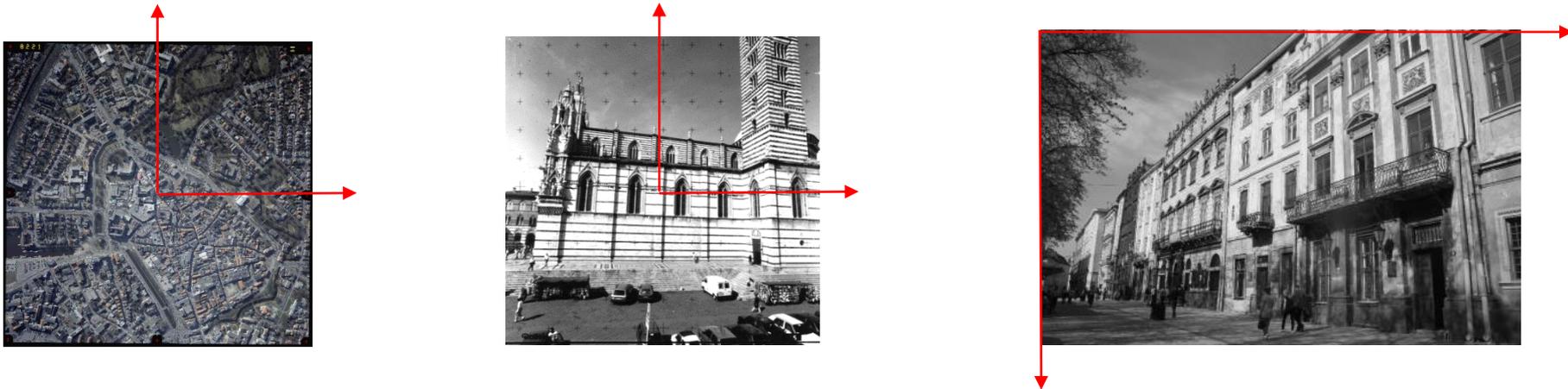
## Innere Orientierung (Kameramodell, intrinsische Parameter)

- Ebenes kartesisches Bildkoordinatensystem
- Reproduzierbar im Kamerasystem
- Räumliche Position des Projektionszentrums im Bildkoordinatensystem  
Kamerakonstante  $c$ , Bildhauptpunkt  $H'$
- Funktionen zur Beschreibung von Abbildungsfehlern (z.B. Verzeichnung  $\Delta r'$ )



## Innere Orientierung (Kameramodell, intrinsische Parameter)

### Bildkoordinatensysteme



Originalbild = Sensorbild



Unzulässige Modifikationen

## Kameraklassen

### Messkamera

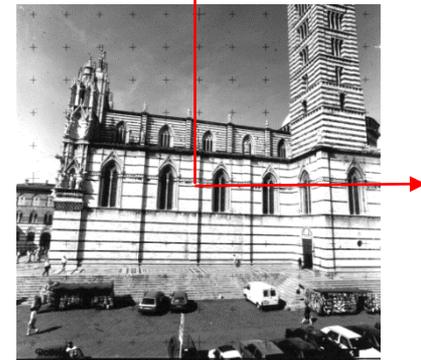
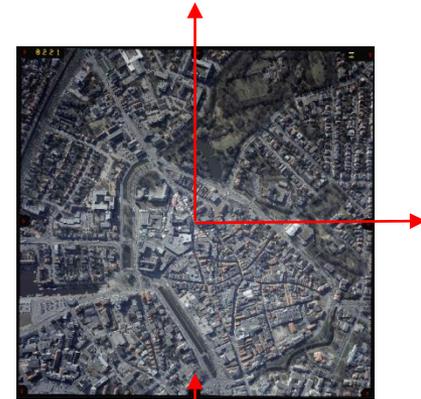
- ebenes Bildkoordinatensystem (Sensorsystem, mechanische Verebnung)
- bekannte und konstante innere Orientierung
- Kalibrierung durch Systemhersteller
- Gültigkeit abhängig von spezifizierter Genauigkeit

### Teilmesskamera

- ebenes Bildkoordinatensystem (Sensorsystem, Reseau)
- variable innere Orientierung (z.B.. durch Wechselobjektive, Fokus, Zoom)
- Kalibrierung durch Anwender
- Gültigkeit abhängig von spezifizierter Genauigkeit

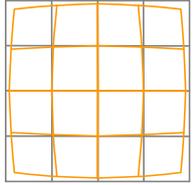
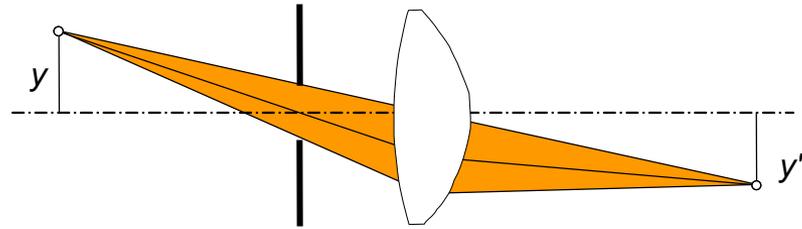
### Amateur oder nicht-metrische Kamera

- nicht reproduzierbares Bildkoordinatensystem
- nicht-ebene Bildfläche (Sensor- oder Filmunebenheit)
- variable innere Orientierung (z.B.. durch Wechselobjektive, Fokus, Zoom)
- Kalibrierung möglich mit verminderter Genauigkeit

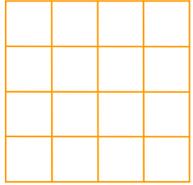
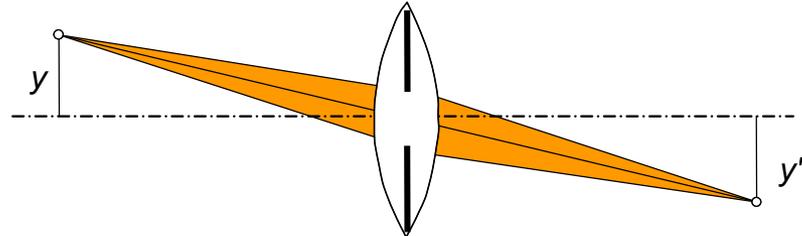


### Radial-symmetrische Verzeichnung

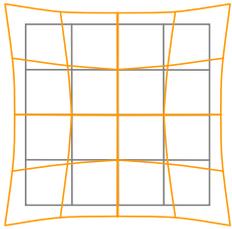
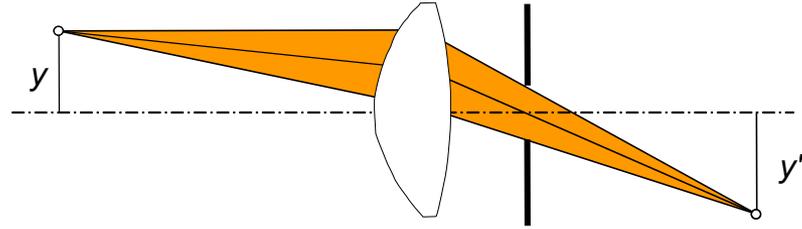
Ursache: Brechungsänderungen an Linsen (Medientrennflächen)



tonnenförmig



orthoskopisch

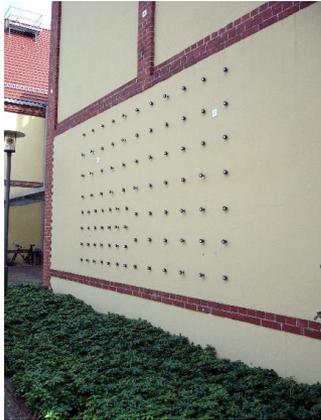


kissenförmig



## Kamerakalibrierung

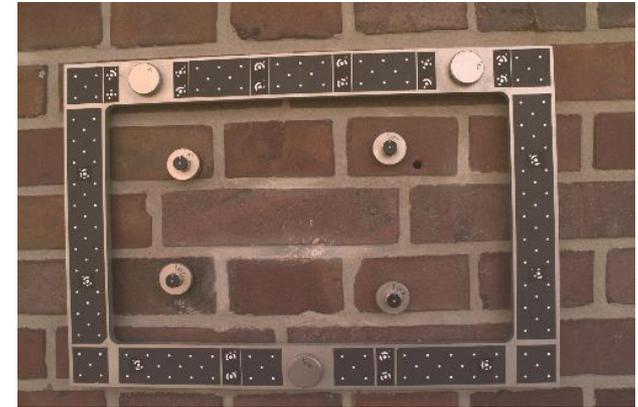
### Ebene Testfelder (2D)



Fassade



Schachbrett

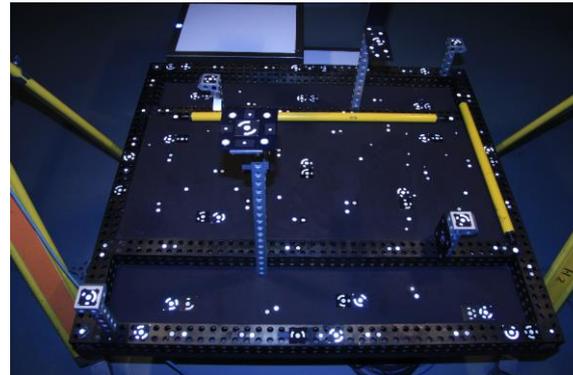


Mobiler Kalibrierrahmen

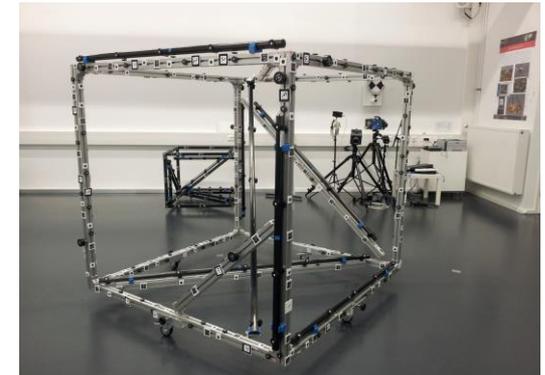
### Räumliche Testfelder (3D)



Mobiles Testfeld mit Hochpunkten



Räumliches Testfeld mit Hochpunkten und Maßstäben



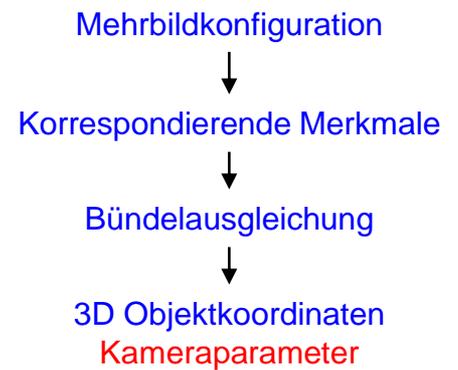
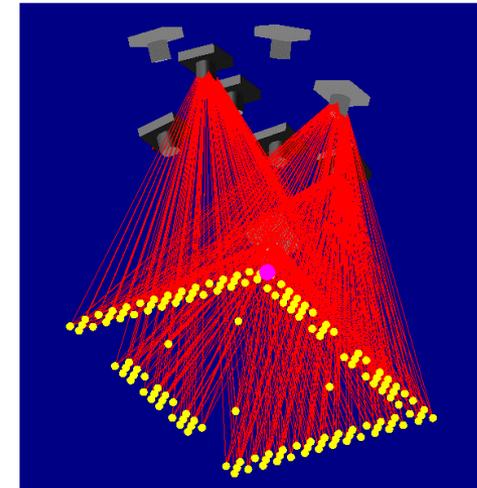
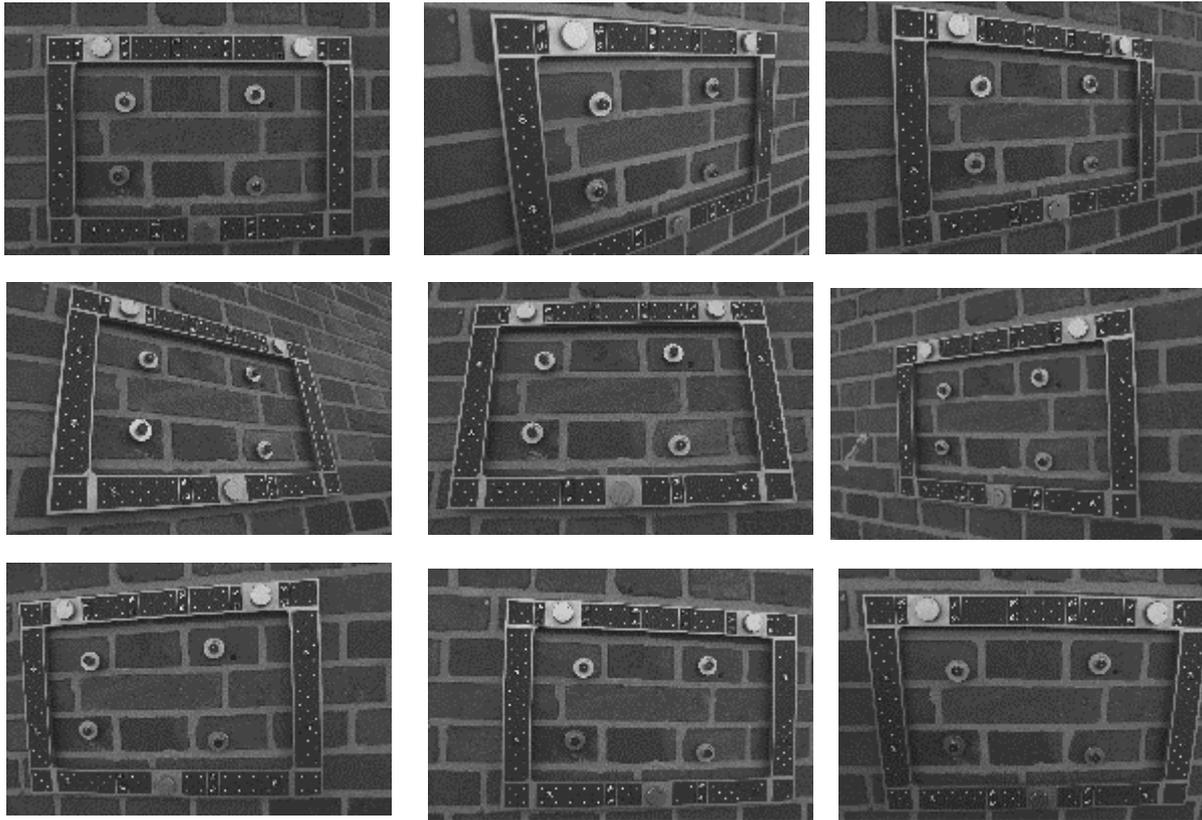
Räumliches Testfeld mit Maßstäben nach VDI 2634

Spatial testfields (3D)

## Kamerakalibrierung

### Testfeldkalibrierung

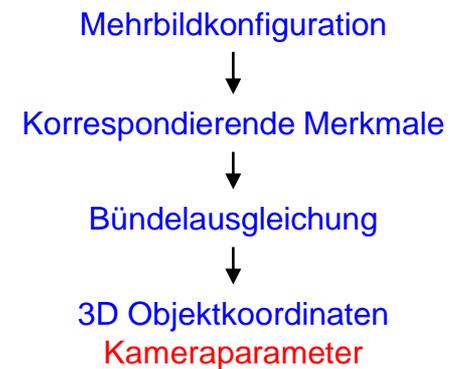
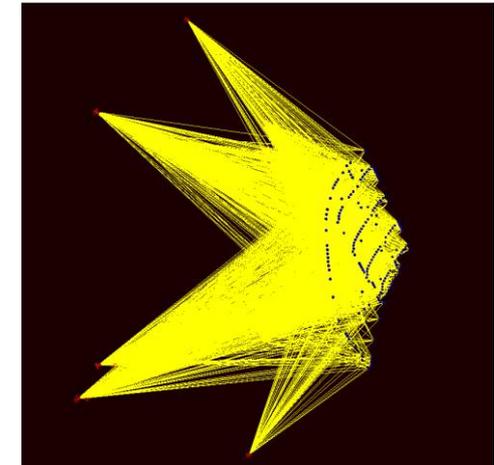
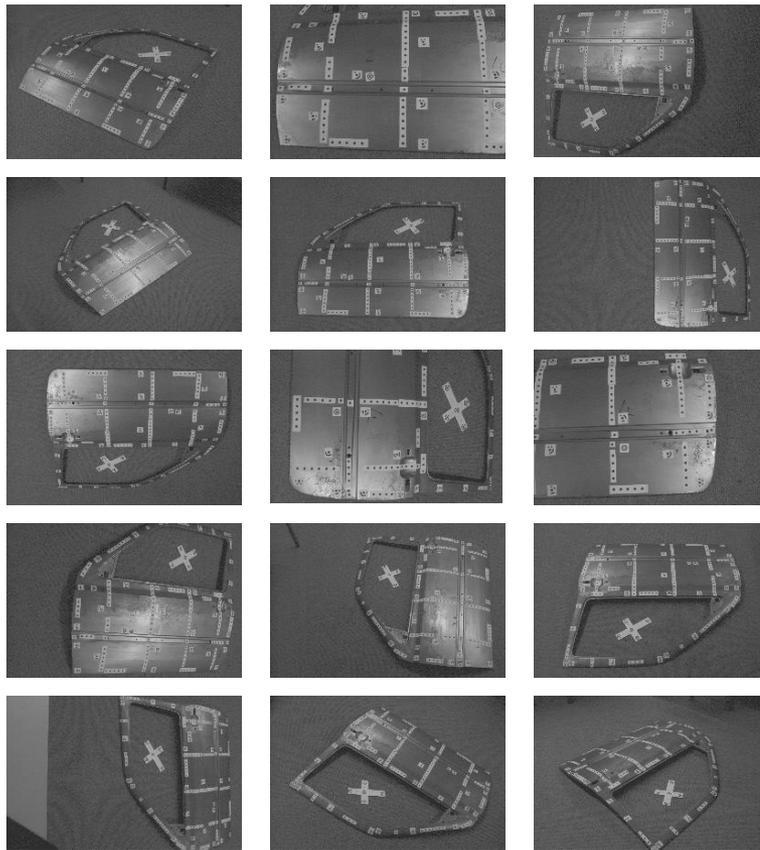
Photogrammetrische Kamerakalibrierung mit selbstkalibrierender Bündelausgleichung



## Kamerakalibrierung

### On-the-Job-Kalibrierung

Photogrammetrische Kamerakalibrierung mit selbstkalibrierender Bündelausgleichung

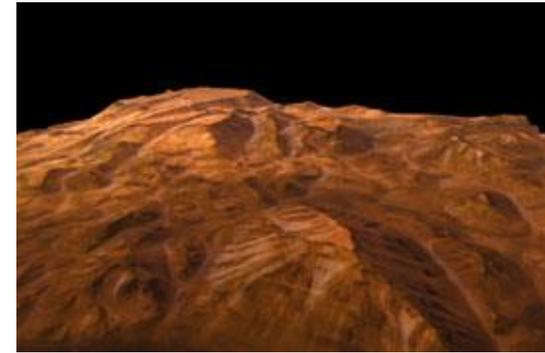


## Gliederung

1. Photogrammetrische Grundlagen
  - 1.1 Abbildungsmodell
  - 1.2 Genauigkeit
  - 1.3 Innere Orientierung
  - 1.4 Kamerakalibrierung
2. Luftbildphotogrammetrie
  - 2.1 Anwendungen
  - 2.2 Analoge und digitale Aufnahmesysteme
  - 2.3 Auswertung von Luftbildern
  - 2.4 Bildflugplanung
3. UAV-Photogrammetrie
  - 2.1 Anwendungen
  - 2.2 Rechtliche Bedingungen
  - 2.3 Drohnen
  - 2.4 Auswertebeispiele

#### Fernerkundung

$h = 250 \dots 25000 \text{ km}$



#### Luftbildphotogrammetrie

$h = 500 \dots 10000 \text{ m}$



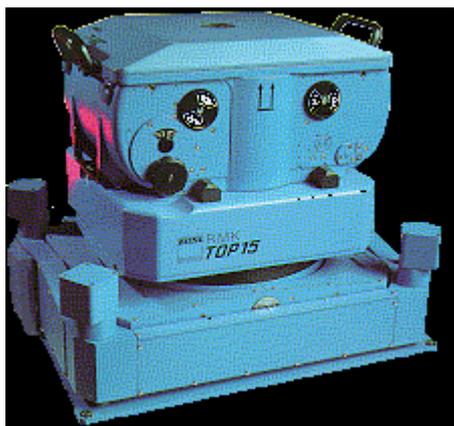
#### UAV-Photogrammetrie

$h = 10 \dots 100 \text{ m}$

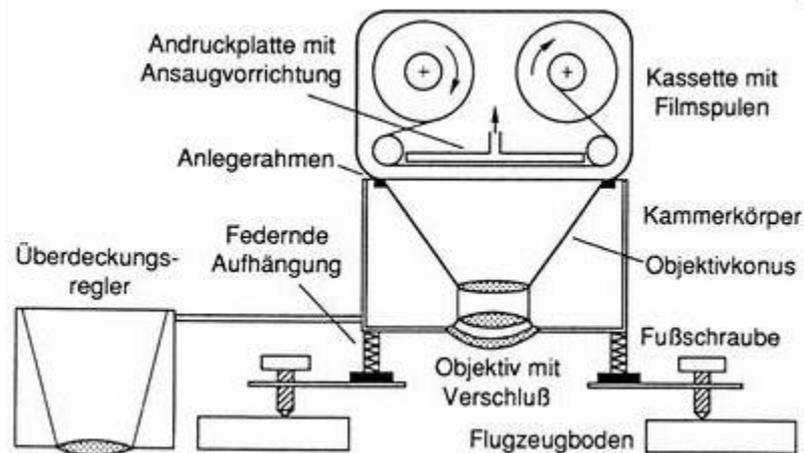


## Analoge Luftbildkameras

### Reihenmesskameras



Leica RC30 Aerial Camera



#### Technische Daten

Bildformat: 230 x 230 mm<sup>2</sup>  
Brennweiten: 305, 153 mm  
Forward Motion Compensation

#### Auflösung, Genauigkeit

AV = 20-50 Lp/mm  
 $s_{xy'} = 2-5\mu\text{m}$

#### Hersteller

Zeiss, ZI Imaging (Intergraph)  
Wild, Leica (Hexagon)  
Jenoptik

## Analoge Luftbildkameras

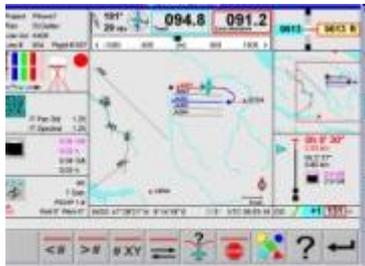
### Zubehör



Kameraträger



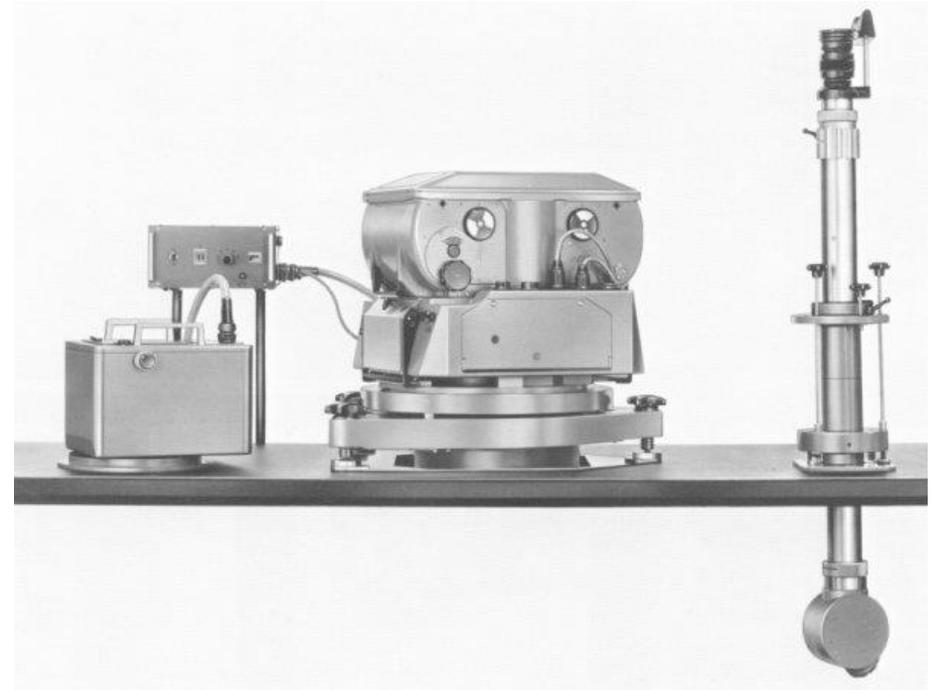
Inertial Measurement Unit  
(GPS/INU)



Flight Management System

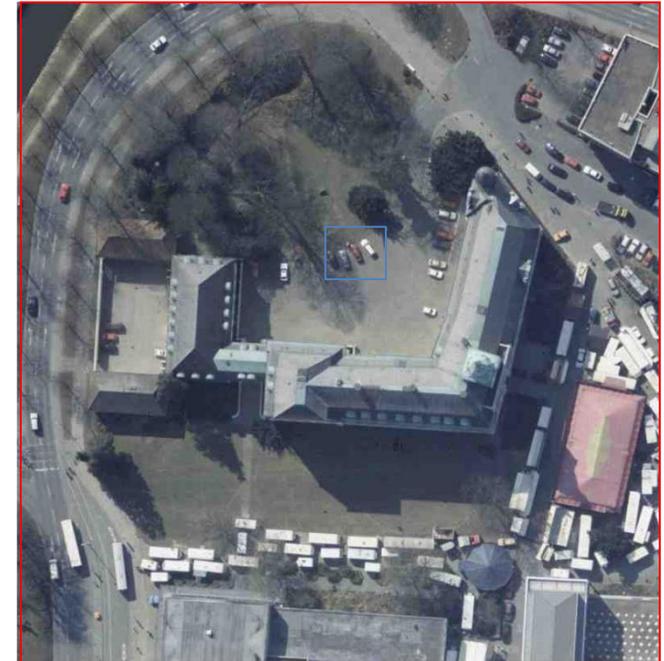


Airborne Laser Scanner

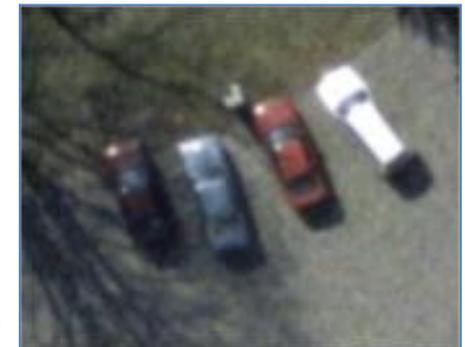


RMK, Überdeckungsregler und Navigationsfernrohr

## Analoges Luftbild



Originalausschnitt Schloss



Luftbild (0.1m)

## Digitales Luftbild



Leica ADS 40

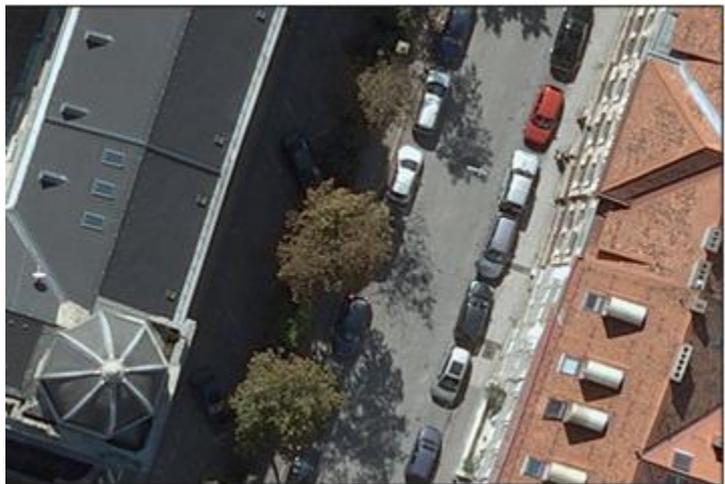


hg = 1500m

GSD = 15cm



## Digitales Luftbild



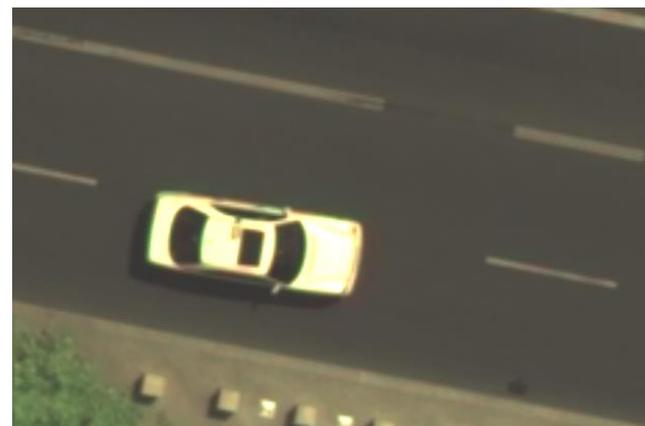
Digitales Luftbild Vexcel UltraCam



Digitales Luftbild ZI DMC



Digitales Stereobild HRSC

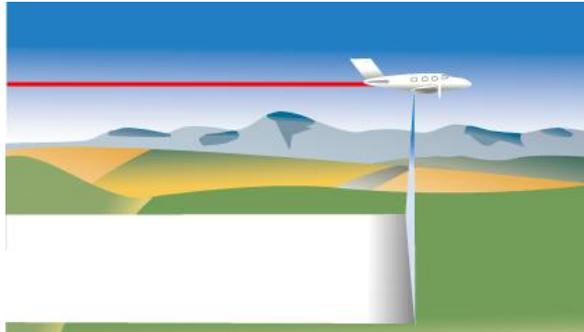


GSD = 8cm

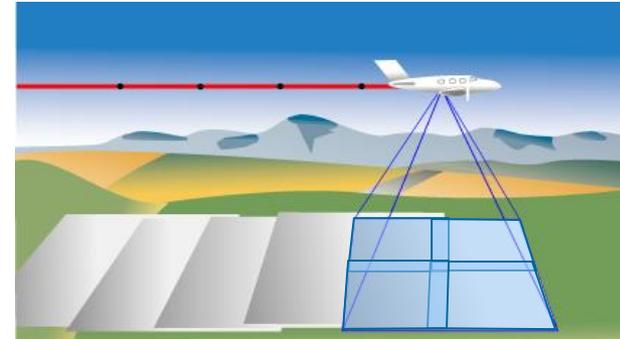
## Digitale Luftbildkameras

### Prinzipien der digitalen Luftbildaufnahme

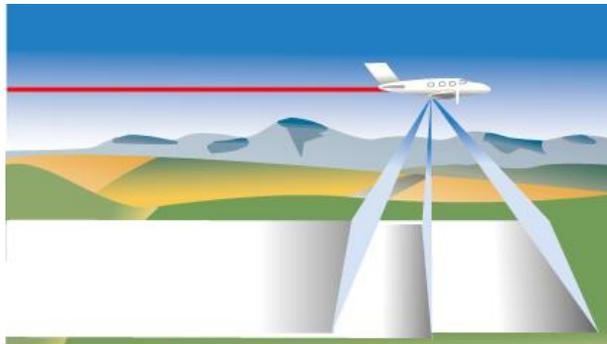
Einzeilenscanner



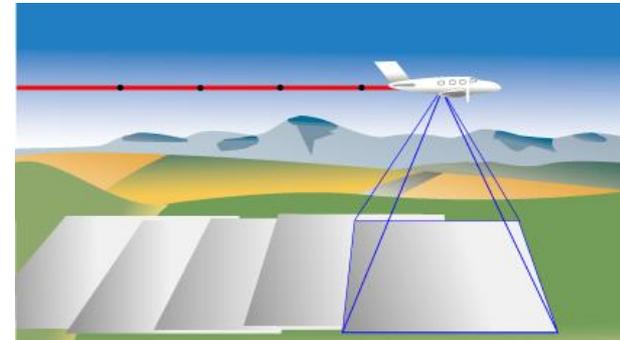
Kameras mit mehreren Flächensensoren



Mehrzeilenscanner

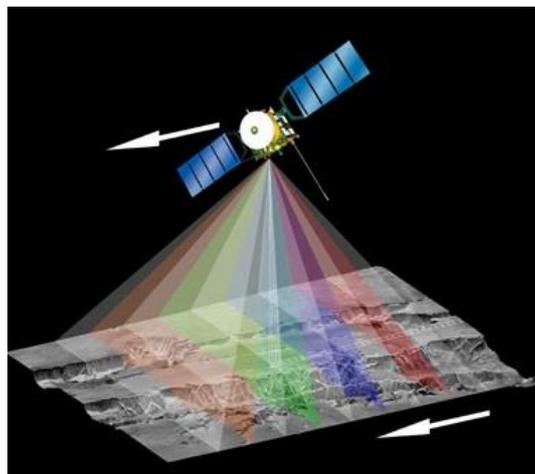


Kameras mit einem Flächensensor



## Digitale Luftbildkameras

### Zeilenabtastersysteme



DLR HRSC Mars Express Camera

[http://www.dlr.de/pf/desktopdefault.aspx/tabid-331/1198\\_read-2260/](http://www.dlr.de/pf/desktopdefault.aspx/tabid-331/1198_read-2260/)



DLR HRSC-AX Aerial Camera



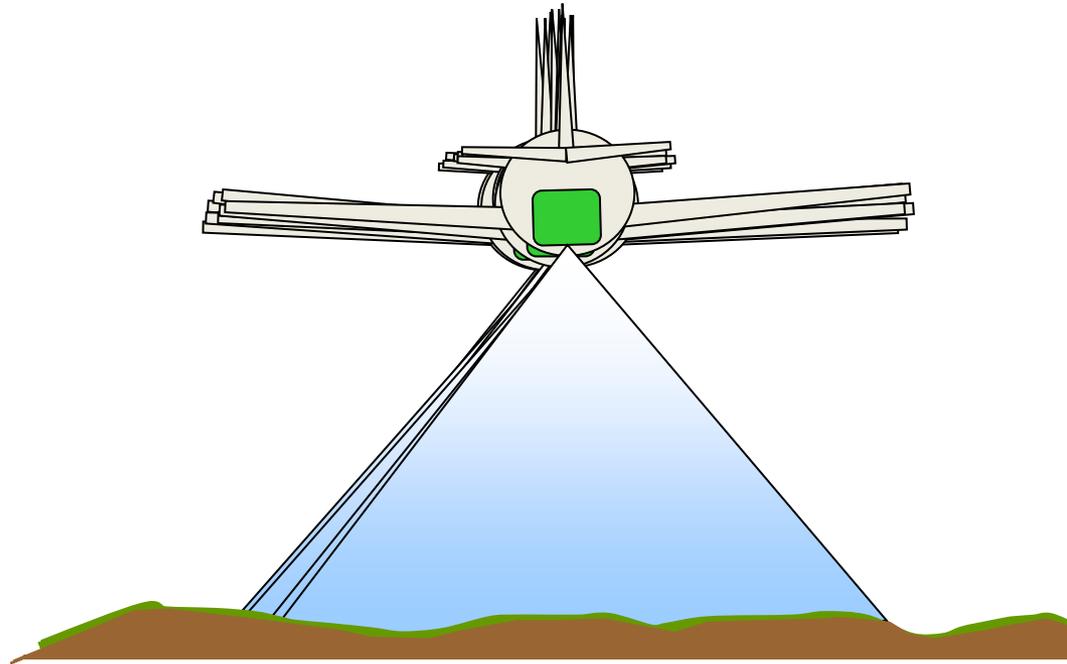
Jenoptik JAS



Leica ADS 40

## Digitale Luftbildkameras

### Zeilenabtastersysteme



Individuelle äußere Orientierung für jede einzelne Bildzeile



## Digitale Luftbildkameras

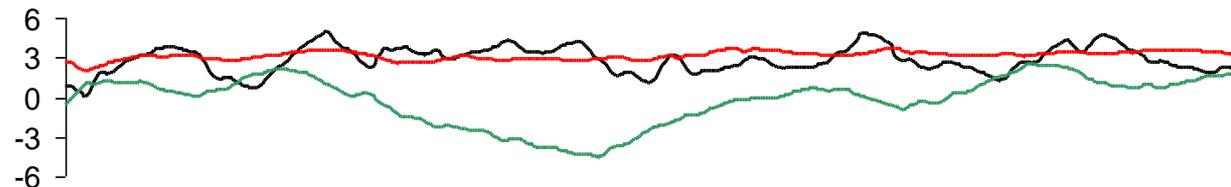
### Zeilenabtastersysteme

#### Original strip

(without gyro stabilization)



— Roll  
— Pitch  
— Yaw



#### Rectified strip



## Digitale Luftbildkameras

### Aufnahmesysteme mit mehreren Flächensensoren



Vexcel UltraCam XP

max. 17310 x 11310 Pixel  
196 Mpix



ZI DMC

max. 13500 x 8000 Pixel  
99 Mpix



Rollei AIF 4

max. 135 Mpix



IGI Penta DigiCam

max. 8,964 x 6,716 Pixel  
60 Mpix

<http://www.igi.eu/brochures.html>

## Digitale Luftbildkameras

### Aufnahmesysteme mit einem Flächensensor



Rollei AIF

max. 8984 x 6732 Pixel



Z/I Imaging RMK-D

max. 6096 x 6846 Pixel  
39 Mpix



Leica RCD 100

max. ??? x ??? Pixel  
39 Mpix



Intergraph DMC II

max. 17216 x 14656 Pixel  
250 Mpix

## Digitale Luftbildkameras

### Aufnahmesysteme mit einem Flächensensor (2)



Optech CS-6500

max. 6576 x 4384 Pixel  
29 Mpix



Optech CS-10000

max. 10320 x 7760 Pixel  
80 Mpix



Phase One iXU 150

max. 8280 x 6208 Pixel  
50 Mpix



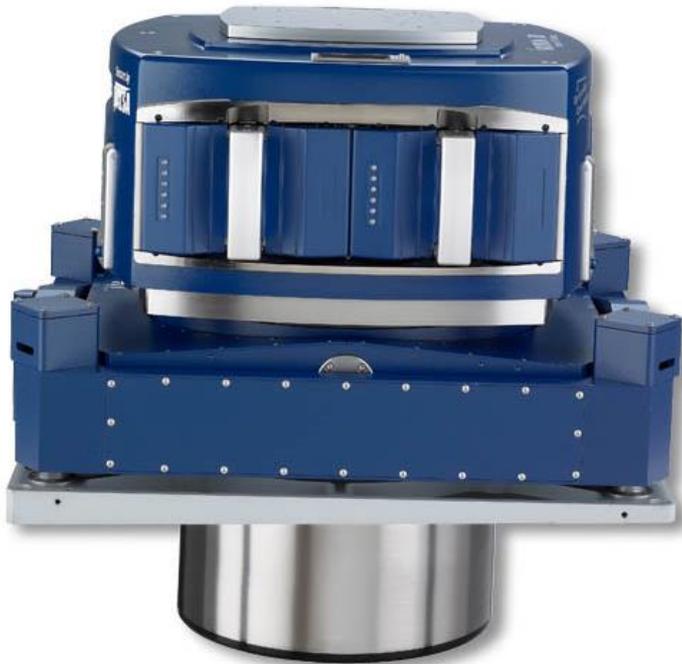
Vexcel UltraCam Falcon f100

max. 14430 x 10389 Pixel  
135 Mpix



## Digitale Luftbildkameras

### Z/I Imaging DMC II 250



#### Spektrale Auflösung

panchromatisch (max. 17216 x 14656 Pixel à 5.6µm)

R/G/B/NIR (6846 x 6096 Pixel à 7.2 µm)

#### Räumliche Auflösung

fix:  $c = 112$  mm

var.:  $h = 500$  m □ GSD = 2.5 cm

Radiometrische Auflösung: 14 bit

<http://www.ziimaging.com>

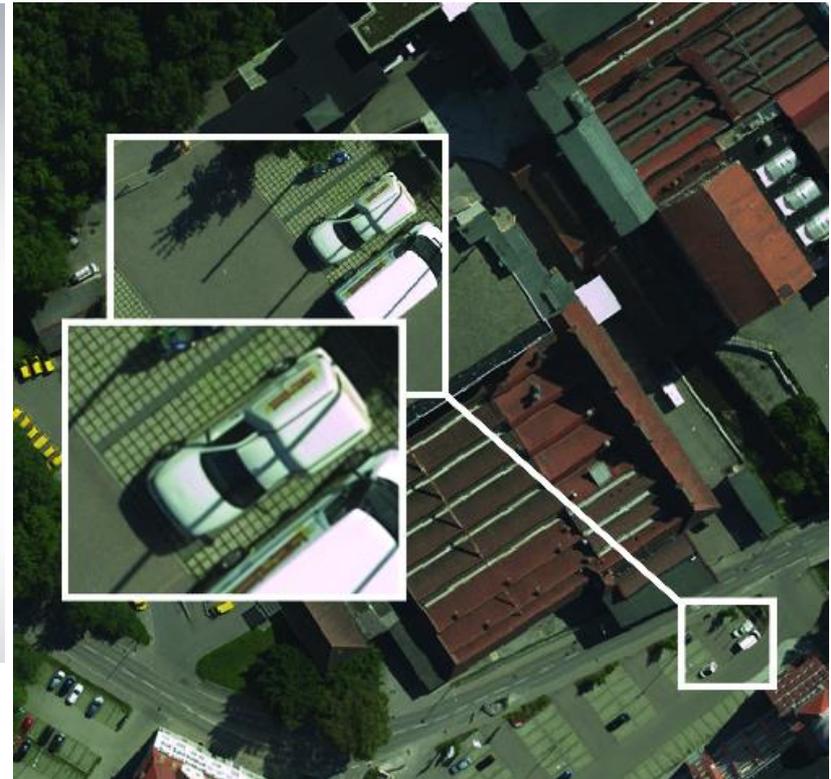


## Digitale Luftbildkameras

### Z/I Imaging DMC II



Z/I Imaging DMC II System



Auflösung GSD=2cm bei h=500m

## Digitale Luftbildkameras

### Leica DMC III



#### Spektrale Auflösung

panchromatisch (max. 25,728 x 14,592 Pixel à 3.9 $\mu$ m)

R/G/B/NIR (8956 x 6708 Pixel à 6  $\mu$ m)

CMOS mit 375 Mpix

#### Räumliche Auflösung

fix: c= 92 mm

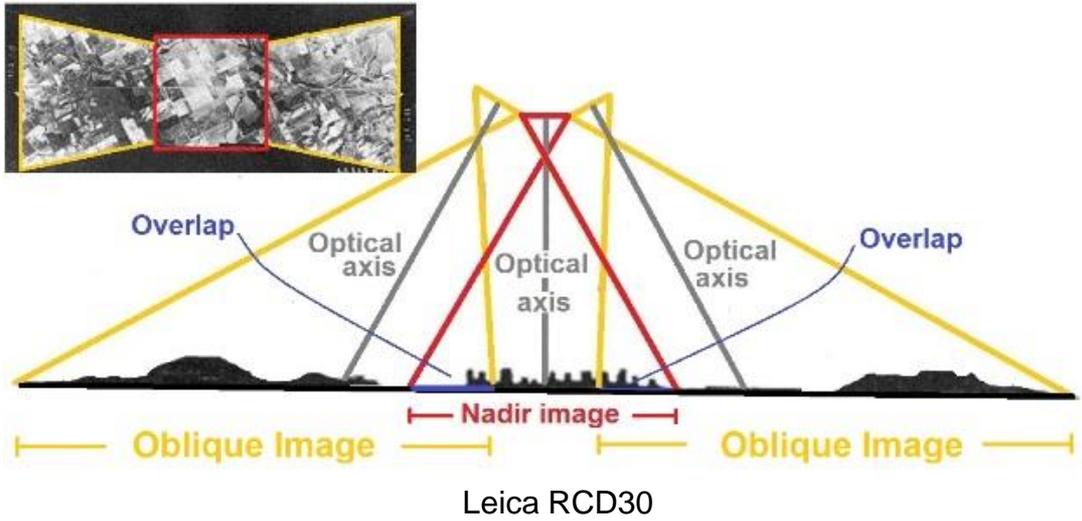
var.: h= 500 m  $\square$  GSD = 2.1 cm

Radiometrische Auflösung: 14 bit

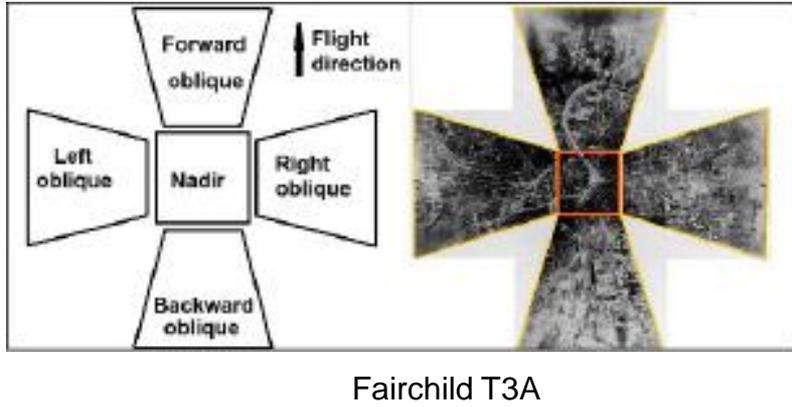
<http://www.leica-geosystems.com>

# Digitale Luftbildkameras

## Aufnahmesysteme für Schrägansichten

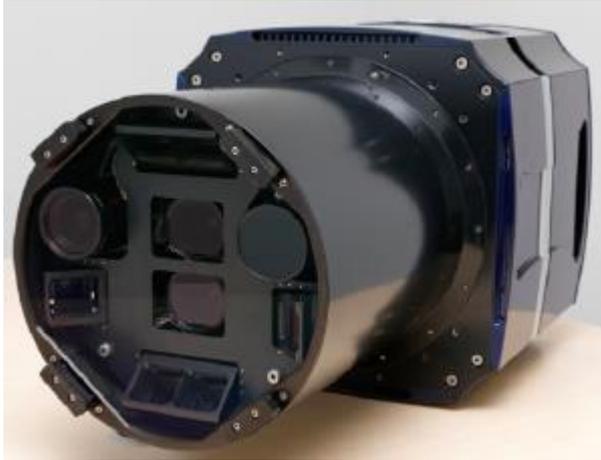


© GIM, April 2104



## Digitale Luftbildkameras

### Aufnahmesysteme für Schrägansichten



Vexcel UltraCam Osprey

11674 x 7514 Pixel

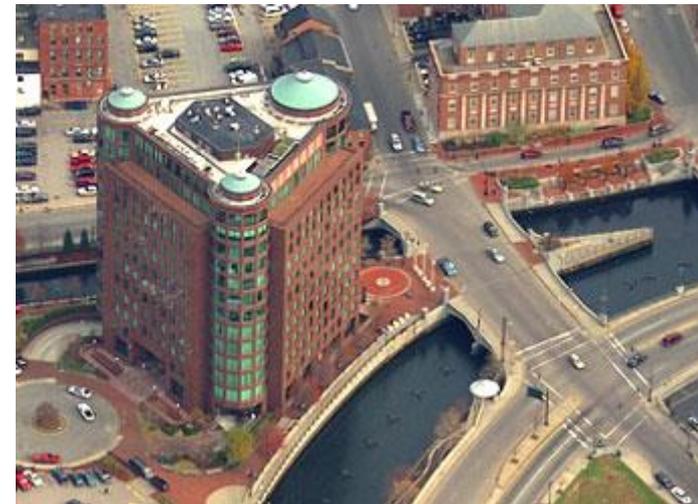


Leica CityMapper



MIDAS

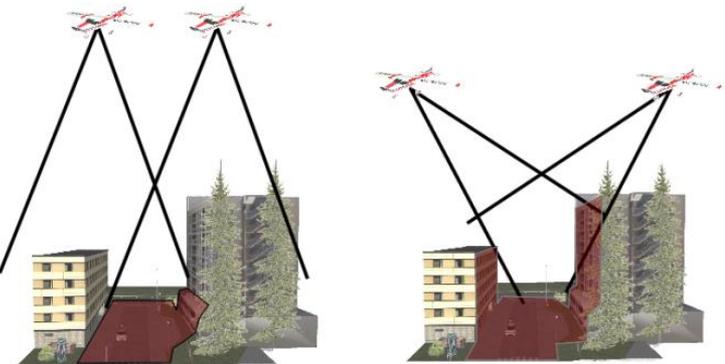
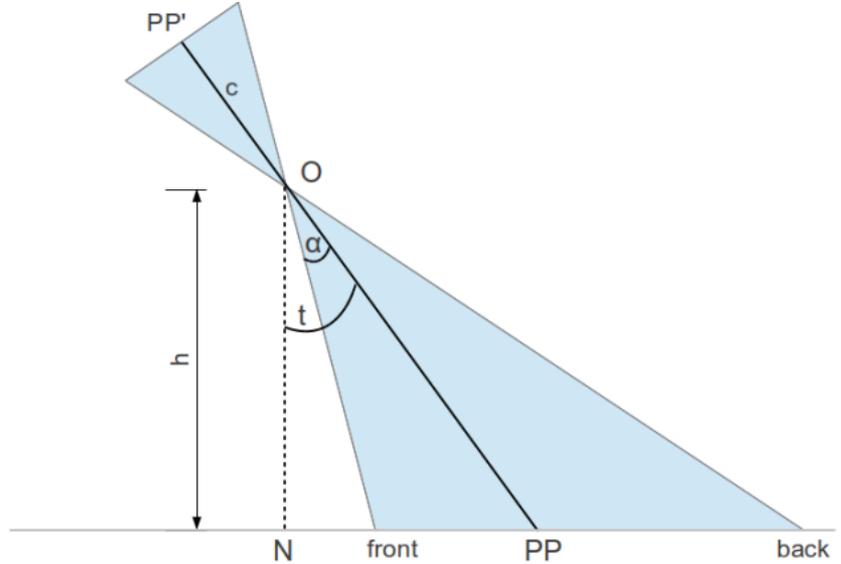
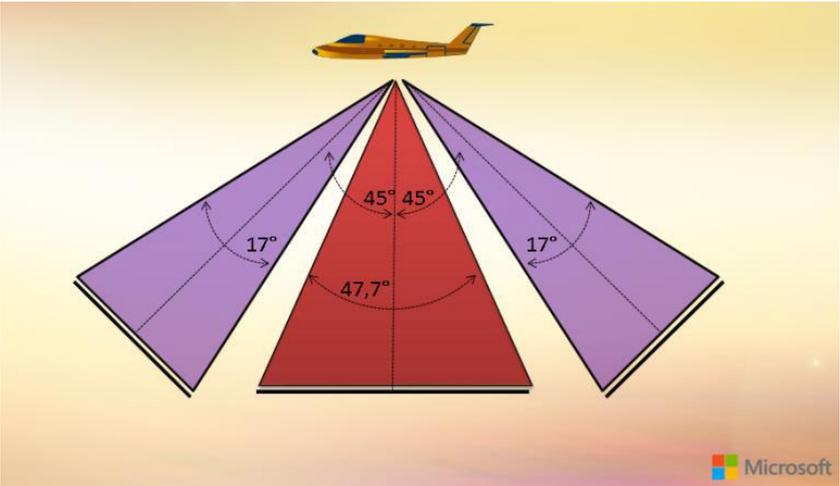
10320 x 7752 Pixel



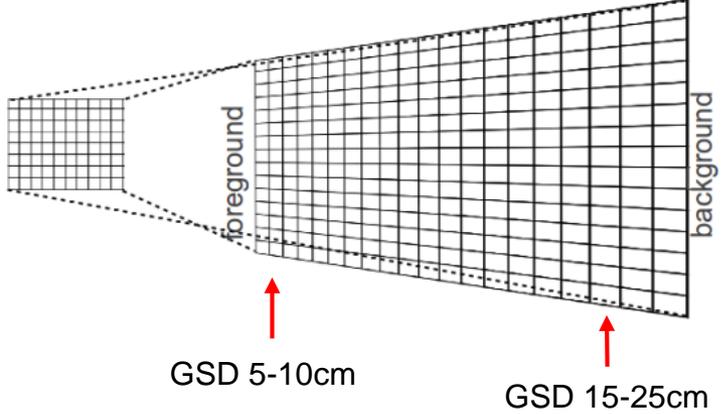
Schrägaufnahme (Pictometry)

# Digitale Luftbildkameras

## Aufnahmesysteme für Schrägansichten



Sichtbarkeiten

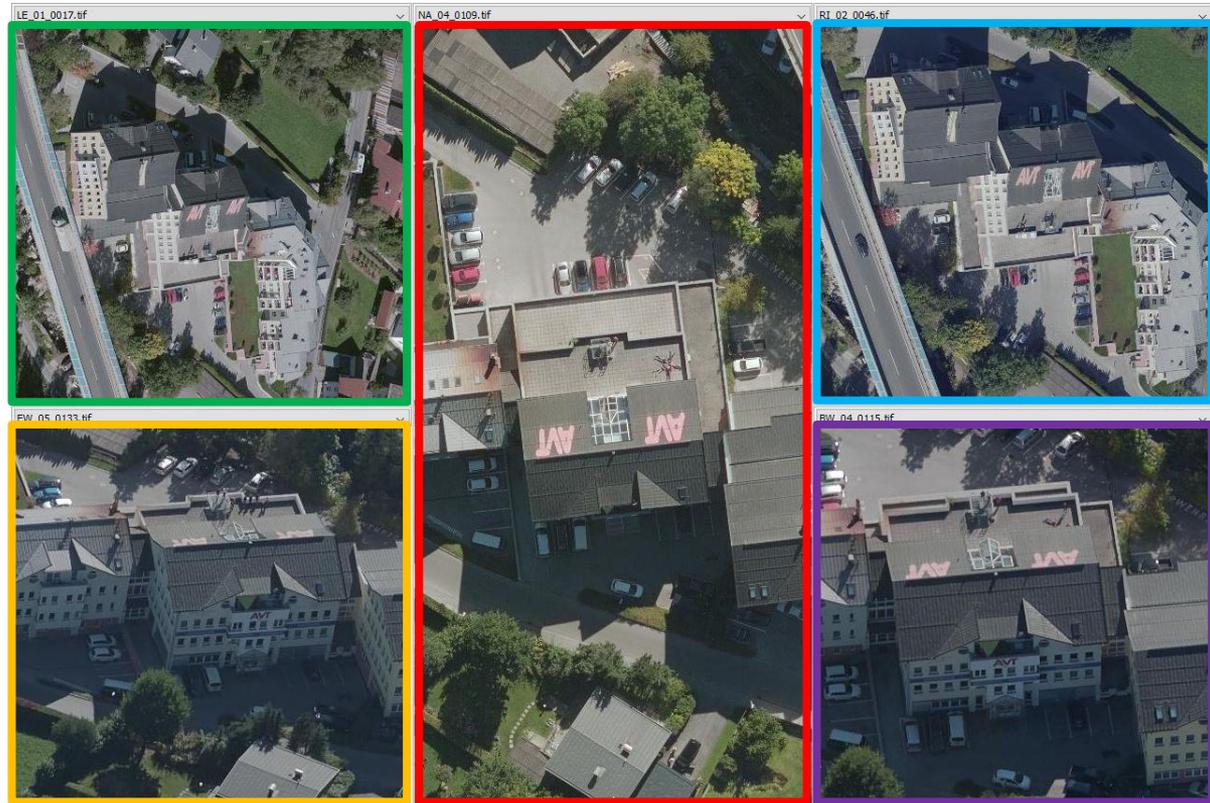
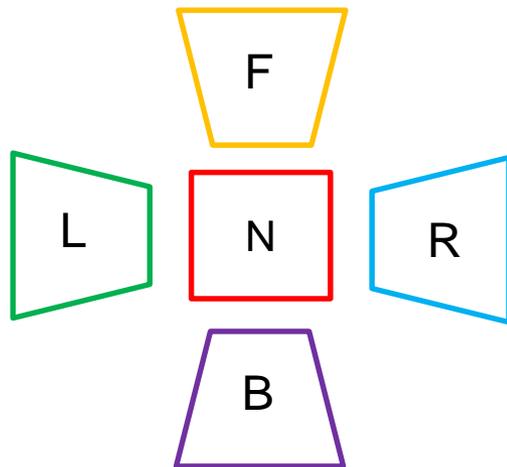


## Digitale Luftbildkameras

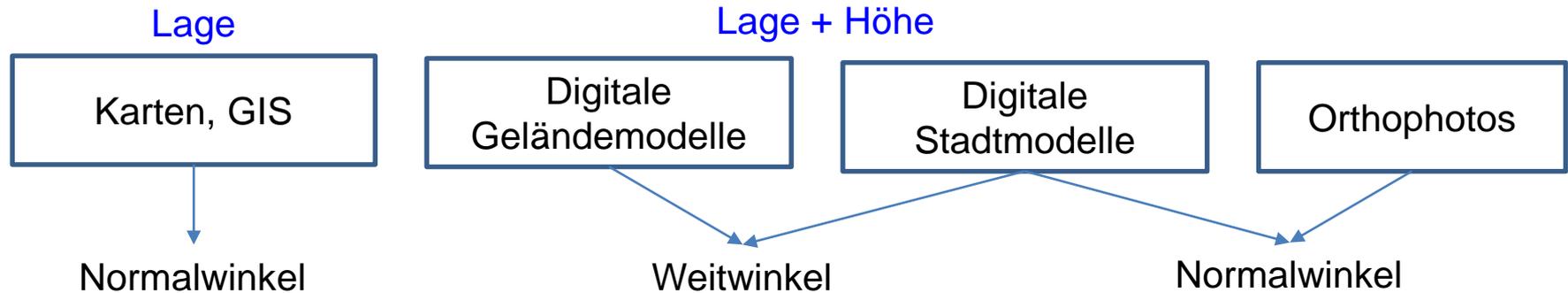
### Aufnahmesysteme für Schrägansichten

#### Herausforderungen

- sehr große **Maßstabsunterschiede** (kein konstantes GSD)
- große perspektive **Verzerrungen**
- **Verdeckungen** und Mehrdeutigkeiten
- große **Beleuchtungsunterschiede**

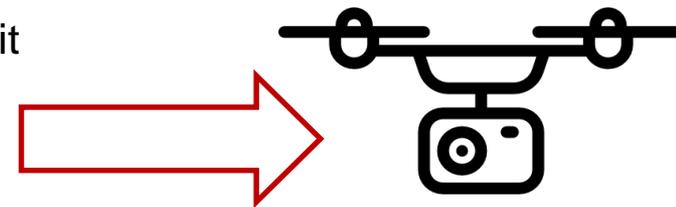


## Bildflugplanung



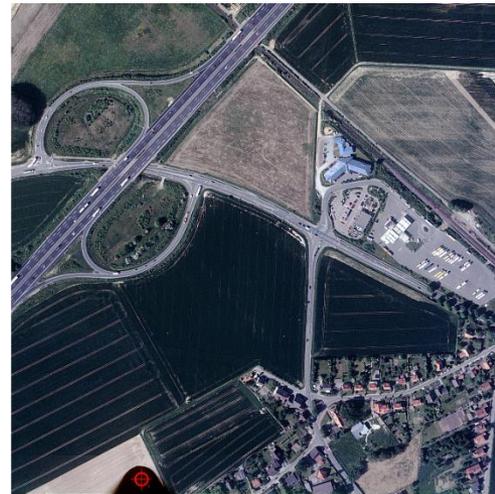
### Planungskriterien

- Bildmaßstab
- Flughöhe
- GSD
- Längs- und Querüberlappung
- Genauigkeit
- Interpretierbarkeit, Auflösung
- Belichtungszeit
- Bildfolgezeit
- Vollständigkeit
- Wirtschaftlichkeit
- ...

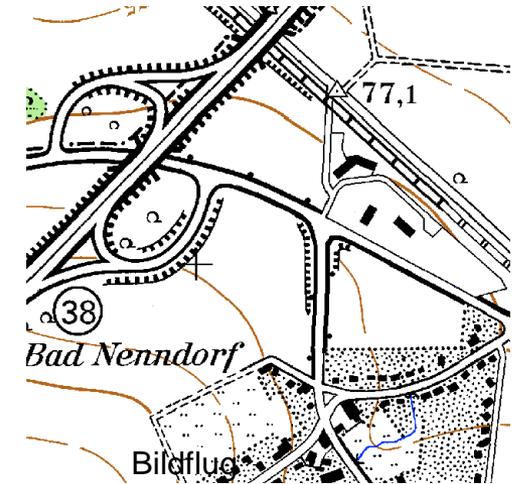


## Luftbildphotogrammetrie

- Topographische Karten, GIS-Daten
- Digitale Geländemodelle, Stadtmodelle, Oberflächenmodelle
- Orthophotos
- 3D-Visualisierungen
- Thematische Interpretationen
- Objektkoordinaten

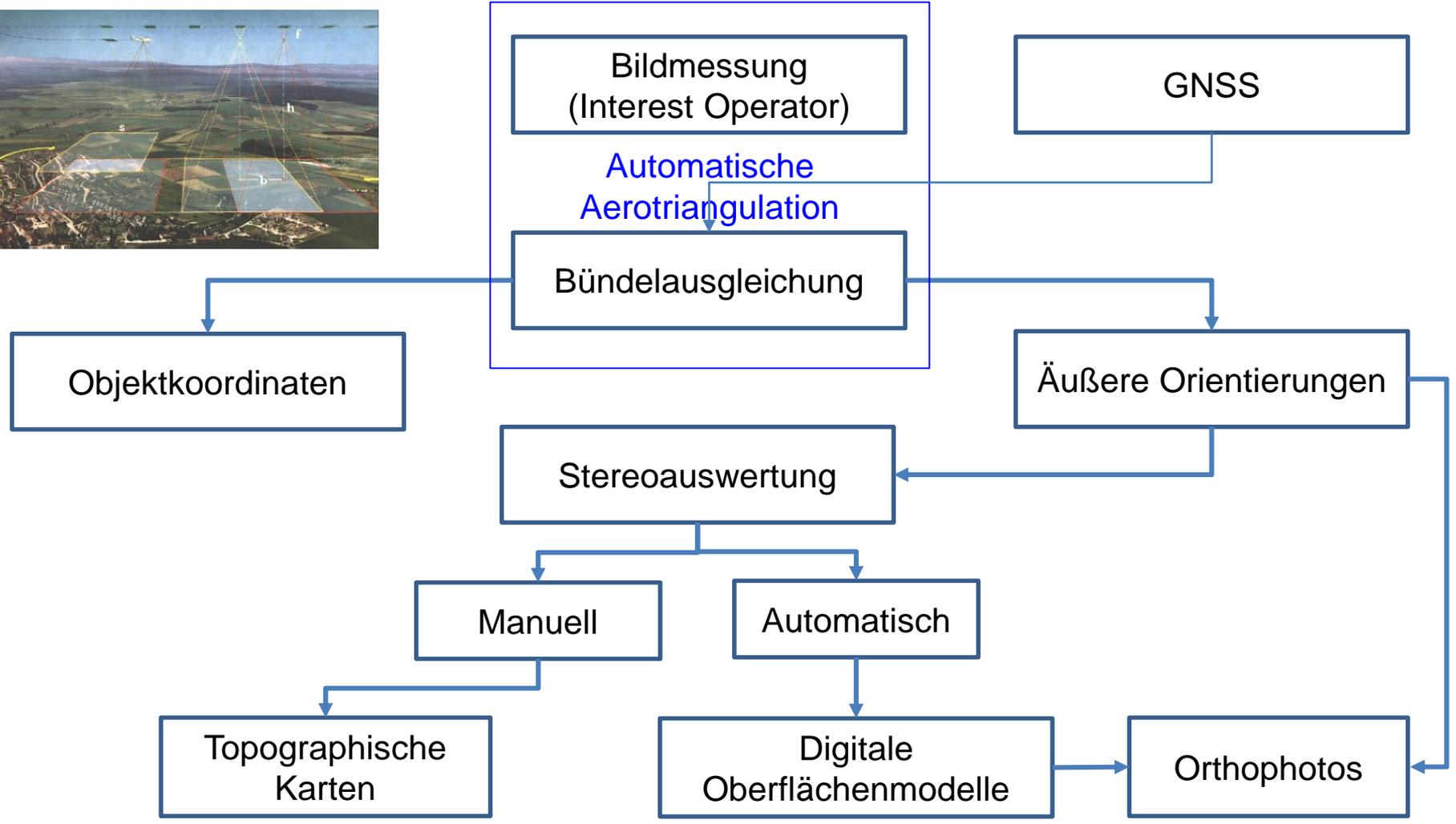
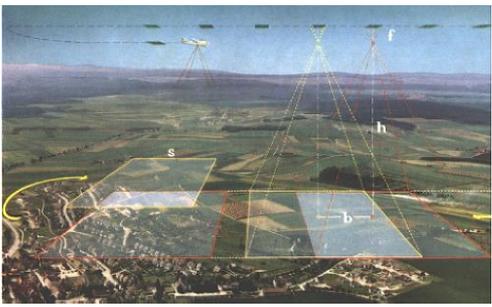


Luftbildausschnitt



Topographische Karte

Luftbildphotogrammetrie



## Luftbildarchäologie



Kreisgrabenanlage von Kyhna (Quelle: Landesamt für Archäologie Sachsen/Aufnahme: Ronald Heynowski)

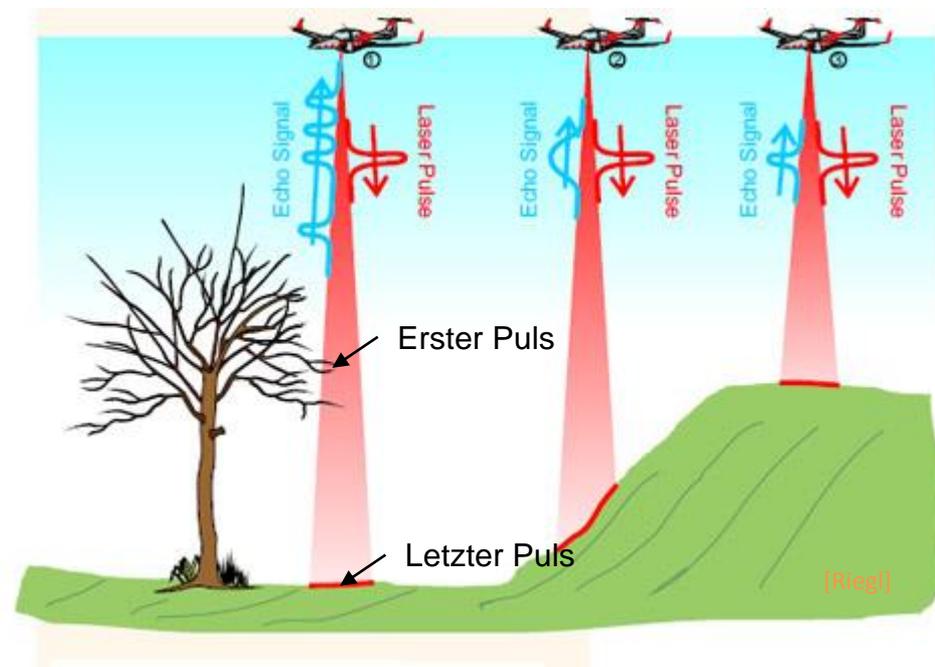
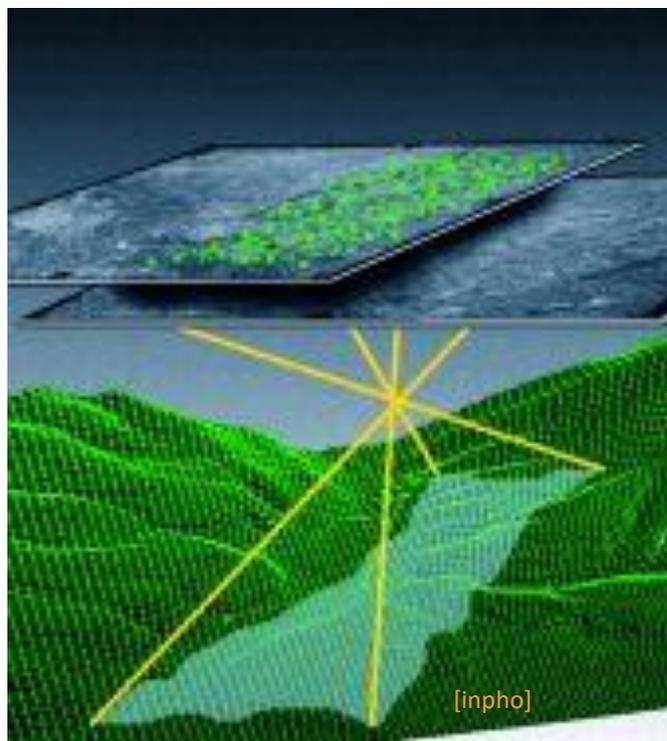


Verschollene Siedlungsstrukturen (Quelle: MDR)

## Digitale Oberflächenmodelle

### Airborne Laserscanning

### Stereomatching aus Luftbild- oder Satellitenbilddaten



Digitale Oberflächenmodelle (DOM - DSM)

Digitale Geländemodelle (DGM – DTM)

## Digitale Oberflächenmodelle

### Airborne Laserscanning



Campus Jade Hochschule Oldenburg

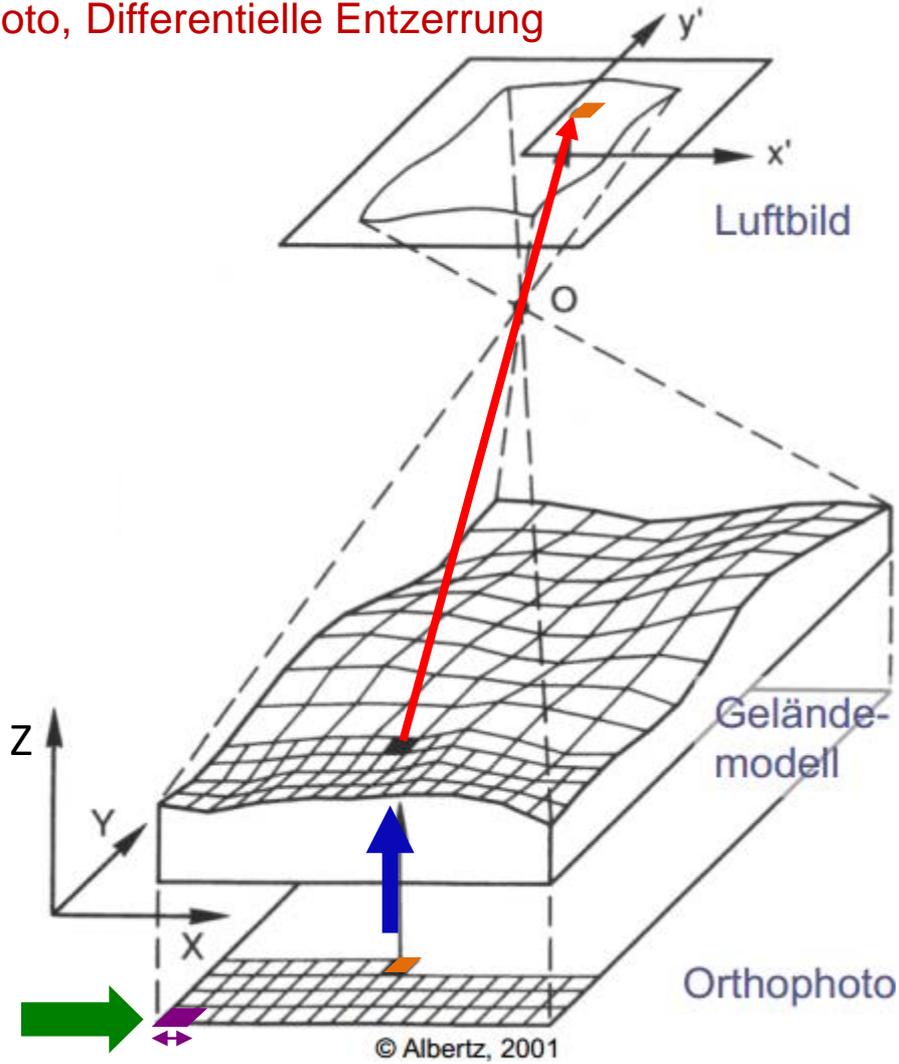


Erster Puls



Letzter Puls

### Orthophoto, Differentielle Entzerrung



Festlegung linke untere Ecke des Orthophotos im Objektkoordinatensystem

Festlegung der GSD des Orthophotos, quadratisch in XY

Für jedes Pixel im Orthophoto, d.h. für jede XY-Koordinate

Bestimmung der Z-Koordinaten zur Lage XY im Digitalen Geländemodell

Berechnung der Bildkoordinaten für den 3D-Punkte (über Kollinearitätsgleichungen) im orientierten Luftbild

Interpolation des Grauwertes aus der Nachbarschaft

Abspeichern des Grauwertes im Orthophoto

## Orthophoto, Bezugsmodell

*Geländehöhe  
(DGM)*



*Oberflächenhöhe  
(DOM)*



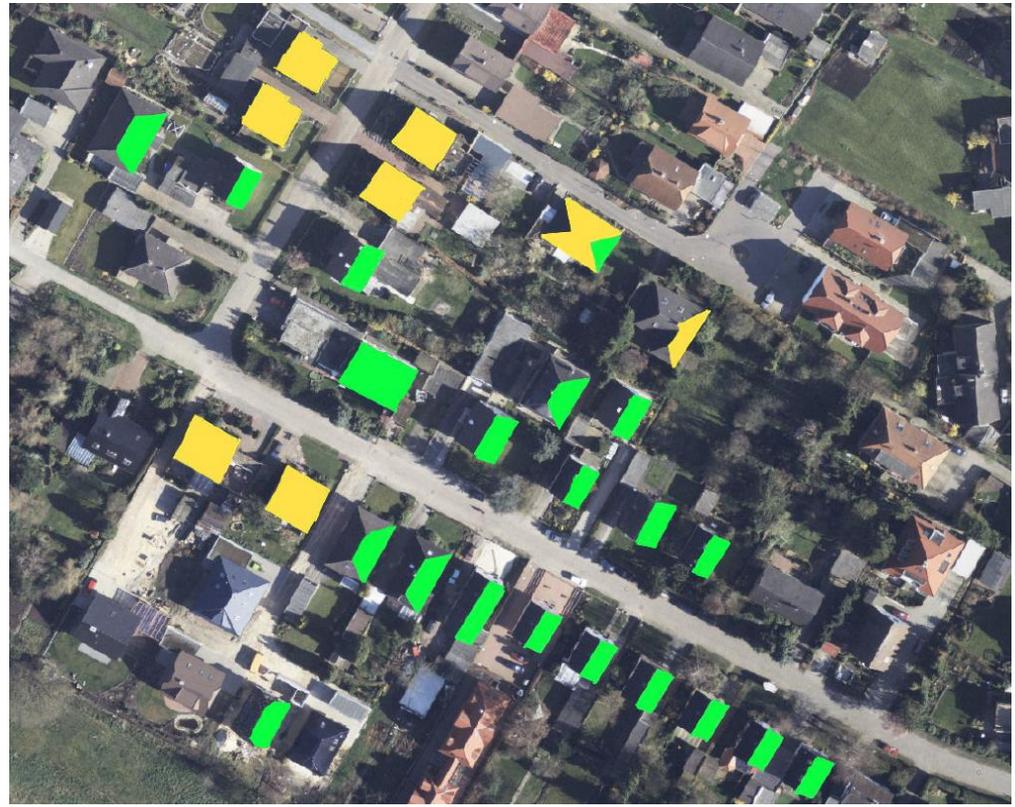
Haala, Uni Stuttgart



## True Orthophoto



# Regionale Potenzialanalyse für Solartechnik



Ergebnis der stereoskopischen Luftbildanalyse

- Dach ist **besonders gut** geeignet für Solartechnik
- Dach ist **gut bis befriedigend** geeignet für Solartechnik



**IAPG**  
Institut für  
Angewandte Photogrammetrie  
und Geoinformatik

IAPG  
Institut für Angewandte  
Photogrammetrie und  
Geoinformatik  
Offener Straße 16-19  
26121 Oldenburg

Dipl.-Ing. Jirka Tetzl  
Tel.: 0441-7208-3024  
Fax: 0441-7208-3170  
e-mail: jirka.tetzl@iapg-oldenburg.de

Oldenburg, den 16. August 2007

Auftrags-/Angebotsnummer: 360°/0°

### Potenzialanalyse

für das Objekt:

Straße:	Schamhorststraße
Hausnummer:	nicht vorhanden
Postleitzahl:	66119
Ort/Stadt:	Saarbrücken

Bemerkungen: Objekt 1 ..... 270°  
.....

**Standortdaten:**

Koordinaten Nord (°):	49.22
Ost (°):	7.01
Datum der Aufnahme:	nicht vorhanden



180° 90°

180°

**Dachdaten:**

Dachtyp:	Flachdach	Eindeckung:	
Ausrichtung:	Fläche (m²) ll: 148.2	Fläche (m²) re:	
Dachneigung:	Fläche (m²) ll: 45.9	Fläche (m²) re:	
Dachmaße:	Länge (m): 45.9	Breite (m):	24.8
Traufhöhe:	Traufhöhe 1 (m):	Traufhöhe 2 (m):	
Finsthöhe (m):	9.7		
Storflächen:	Fläche ll (m²): 107.7	Fläche re (m²):	
Nutzbare Fläche:	Fläche ll (m²): 1141.3	Fläche re (m²):	
Verschattung Dach:	0 % (Zeitpunkt der Aufnahme)		
Verschattung Umgebung:	0 % (Zeitpunkt der Aufnahme)		

Qualifizierte Objektanalyse

## Flugsysteme

	typische (max.) Flughöhen <sup>1</sup> [m]	Nutzlast [kg]	Reichweite <sup>2</sup> [m]	Anzahl Bediener	max. Flugdauer <sup>3</sup> [min]
<b>Starrflügler</b>	50–100 (500)	0.2–15	5000	1–2	30–120
<b>Modellhubschrauber</b>	10–100 (150)	1–20	5000	1–2	10–120
<b>Multikopter</b>	10–100 (150)	0.3–7	3000	1	bis 60
<b>Heißluftballon, -luftschiff</b>	10–100 (1000)	10–50	5000	3–5	60
<b>Gasballon, -luftschiff</b>	10–100 (1000)	10	stationär	2–3	beliebig <sup>4</sup>
<b>Drachen</b>	50–100 (300)	10–50	stationär	2	beliebig <sup>4</sup>

1) in Deutschland auf 100 m begrenzt; 2) in der Regel Sichtkontakt, bei autonomen Systemen auch größere Reichweiten möglich;

3) nutzlasterabhängig; 4) wetterabhängig

UAV: unmanned aerial vehicle  
 RPAS: remotely-piloted aerial systems  
 UAS: unmanned aerial system

## Flugsysteme



Hubschrauber (Aeroscout)



Quadrokopter mit Laserscanner (Riegl)



Quadrokopter (DJI, Uni Rostock)



Starrflügler (SenseFly)



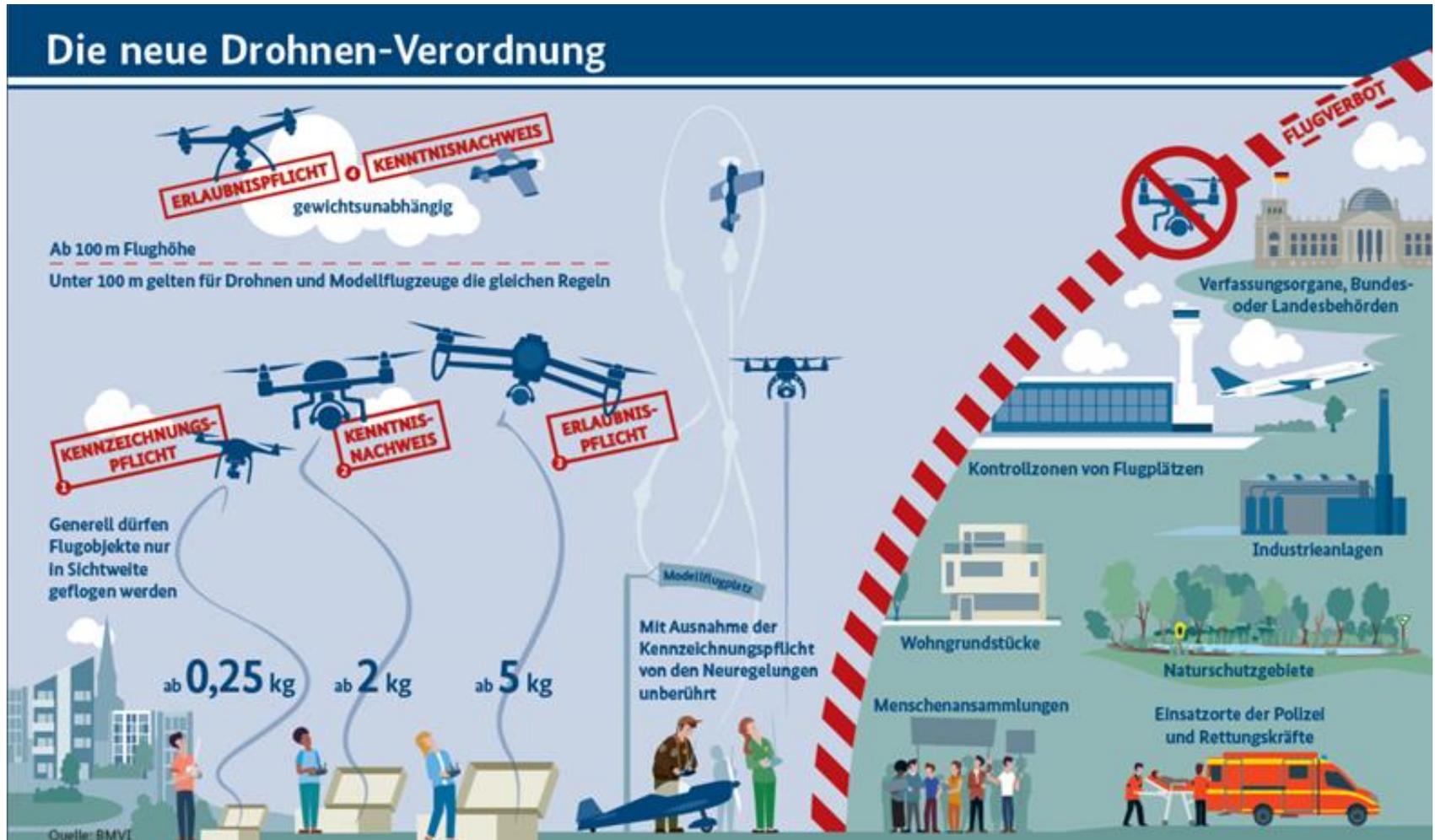
Heißluftballon (DBM)

## Flugsysteme



DJI Mavic Mini  
250g, 30 min Flugzeit, GNSS, 12 Mpix Kamera

## Rechtliche Rahmenbedingungen



## Aufnahmesysteme



Low-Cost  
Foxeer, 0.7 MP, 30 €



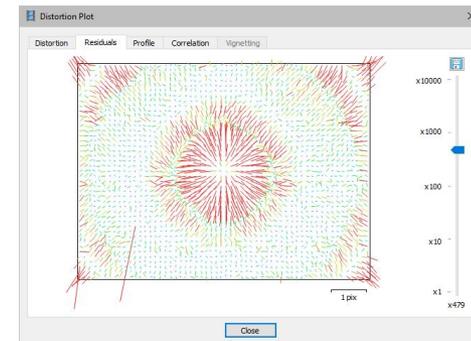
Medium Cost  
Sony, VideoDrone, 42 MP, 4.000 €



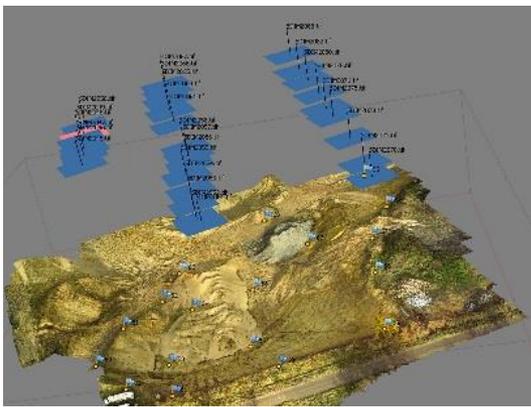
High-End  
Phase One, 100 MP, 40.000 €

## Zubehör

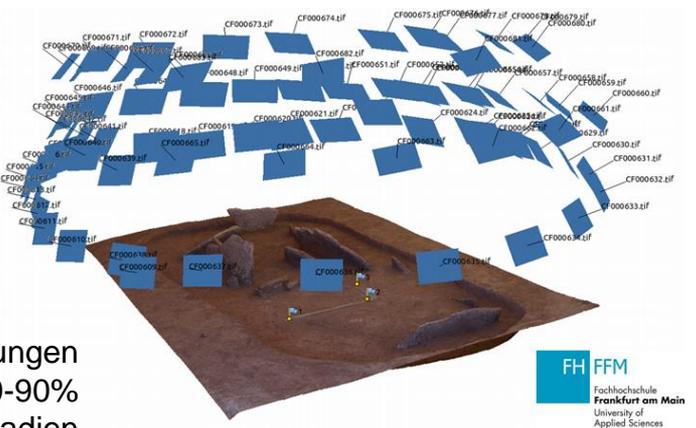
- GNSS
- Gimbal



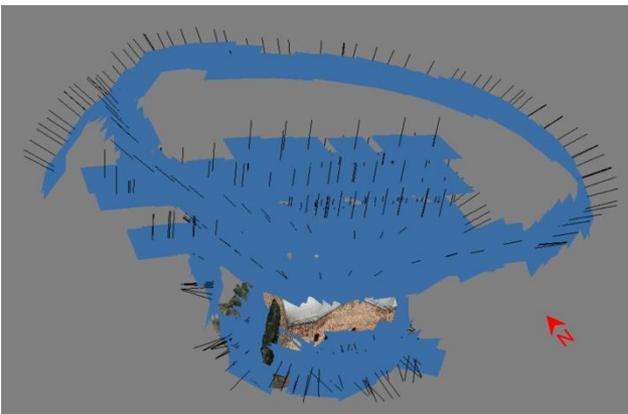
# Aufnahmekonfigurationen



Streifenförmige Befliegungen  
 $p=80-90\%$ ;  $q=80-90\%$   
 Kreuzbefliegungen (N-S, O-W)  
 Befliegungen in unterschiedlichen Höhen

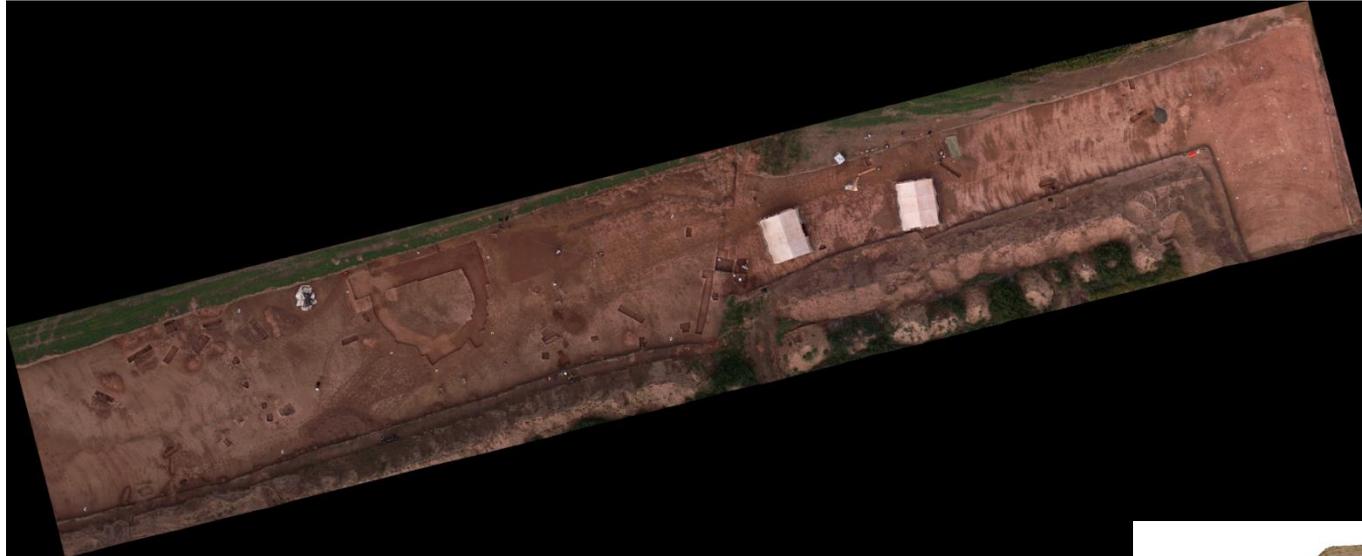


Kreisförmige Befliegungen  
 $p=80-90\%$   
 verschiedene Radien  
 Befliegungen in unterschiedlichen Höhen

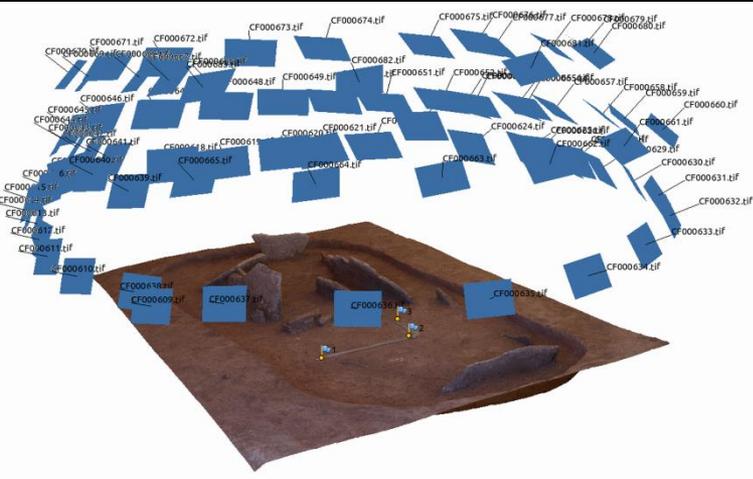


Kombination von UAV-Bildern und  
 terrestrischen Aufnahmen

# UAV Photogrammetrie / SfM: Archäologische Ausgrabungsstätte Hessen



**FH FFM**  
 Fachhochschule  
**Frankfurt am Main**  
 University of  
 Applied Sciences



## UAV-Photogrammetrie / SfM: Archäologische Feldforschung Armenien



Panoramaaufnahme der pleistozänen Lavablockhalde im Vorfeld des Vulkanes Naseli

(© Landesamt für Denkmalpflege und Archäologie Sachsen-Anhalt, Befliegung Poppe GEO-METRIK)



microdrones.com



Ingenieurgesellschaft mbH Magdeburg

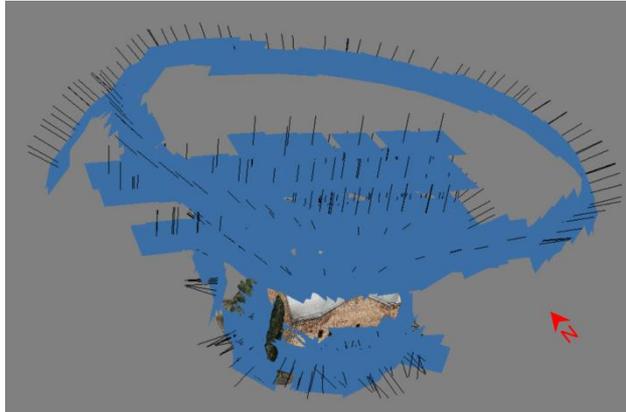
<http://microdrones.com/references/case-study/Archaeological-Fieldwork-in-the-Highlands-of-Syunik.pdf>

## Lavablockhalde



Bildmontage der Einzelaufnahmen einer Lavablockhalde mit anschließender Entzerrung und Georeferenzierung (© Landesamt für Denkmalpflege und Archäologie Sachsen-Anhalt, Befliegung Poppe GEO-METRIK)

## Historische Kirchen in Tbilisi (Georgien)



Kombination von UAV-Bildern und  
terrestrischen Aufnahmen

