

LASER
SCAN
HESSEN

Fernerkundung 5

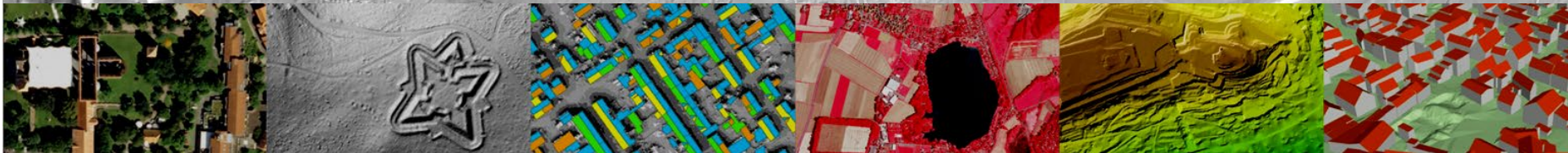
Bildflugplanung und Auswertung

- Bodenauflösung
- Überdeckung
- Passpunkte und Aerotriangulation
- Bildmessung -/Interpretation
- Stereoauswertung

GEOMATIKER AUSBILDUNG

Stand: 2026

Thomas Lesch

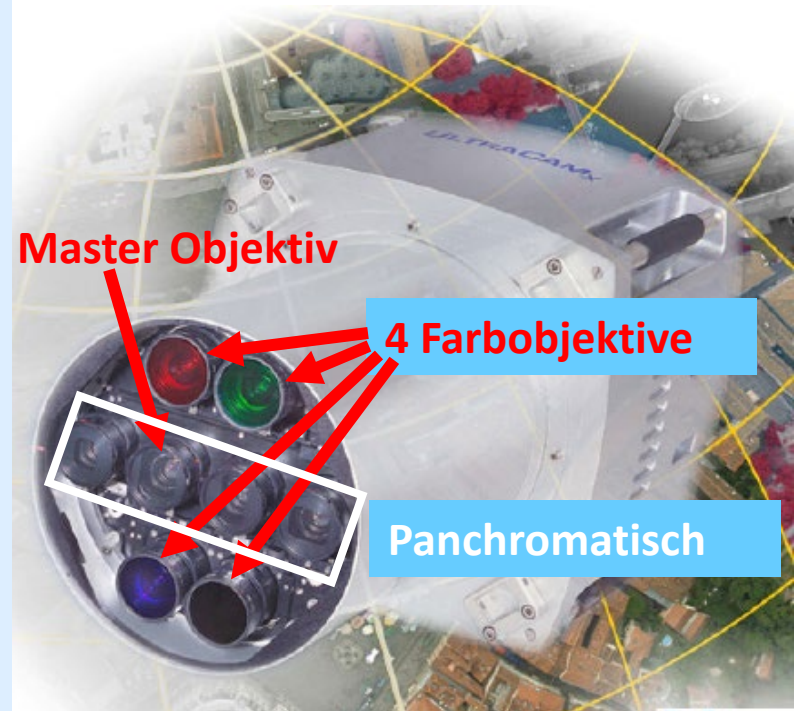


Kamerasensoren

Die zum Einsatz kommenden Fernerkundungssensoren bestehen aus mehreren Kameraköpfen, aus deren Einzelaufnahmen die Luftbilder zusammengesetzt werden.

Ein Luftbild hat - kann - ist:

- bis zu 4 GB groß
- sieht viel mehr als das menschliche Auge (4 Farbbänder von 380nm – 1100 nm)
- sehr detailreich (>20cm Pixelgröße am Boden aus 4000m Flughöhe).
- sehr genaues auswerten möglich



Kameratypen - Beispiel: DMC

Sensor	
Panchromatisch	7680 x 13824 Pixel
Bildformat	
Bildgröße	92.16 x 165.888 mm
Pixelgröße	
Panchromatisch	12 x 12 µm
Brennweite PAN / RGB	120 mm
Radiometrische Auflösung	16 Bit/Pixel
Spektralbereich	RGBI



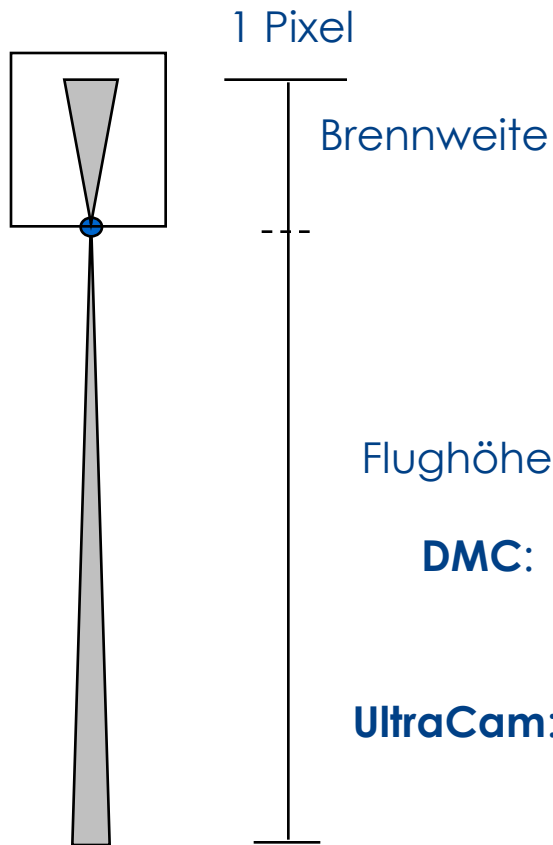
Kameratypen - Beispiel: UltraCam D

Sensor	7500 x 11500 Pixel
Panchromatisch	
Bildformat	
Bildgröße	67.5 x 103.5 mm
Pixelgröße	9 x 9 µm
Panchromatisch	
Brennweite PAN / RGB	101.4 mm
Radiometrische Auflösung	16 Bit/Pixel
Spektralbereich	RGBI



Vergleich beider Kameras

Wegen der unterschiedlichen Auflösung der CCD's ist ein direkter Bildmaßstab berechnet aus dem Verhältnis der Flughöhe zur Brennweite nicht aussagekräftig.



$$\frac{\text{Brennweite}}{\text{Pixelgröße}} = \frac{\text{Flughöhe}}{\text{Bodenauflösung}}$$

$$\text{Flughöhe} = \frac{\text{Brennweite} * \text{Bodenauflösung}}{\text{Pixelgröße}}$$

$$\text{DMC: Flughöhe} = \frac{120\text{mm} * 0.2}{0.012} = 2000 \text{ m}$$

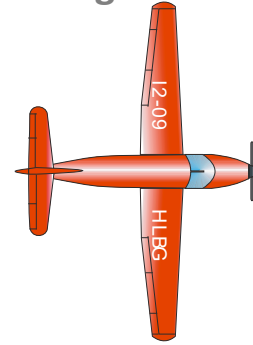
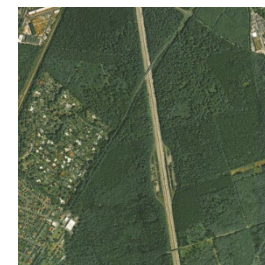
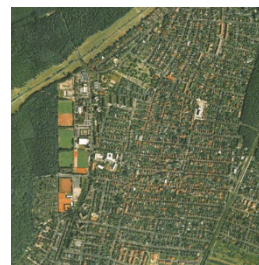
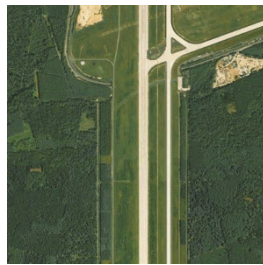
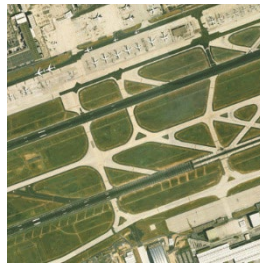
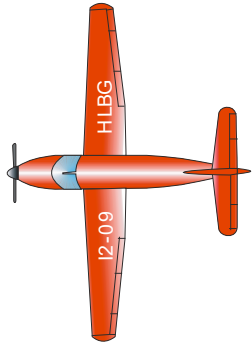
$$\text{UltraCam: Flughöhe} = \frac{101.4\text{mm} * 0.2}{0.009} = 2253 \text{ m}$$

Bodenauflösung (**GSD** = **G**round **S**ampling **D**istance, engl. für Bodenauflösung)



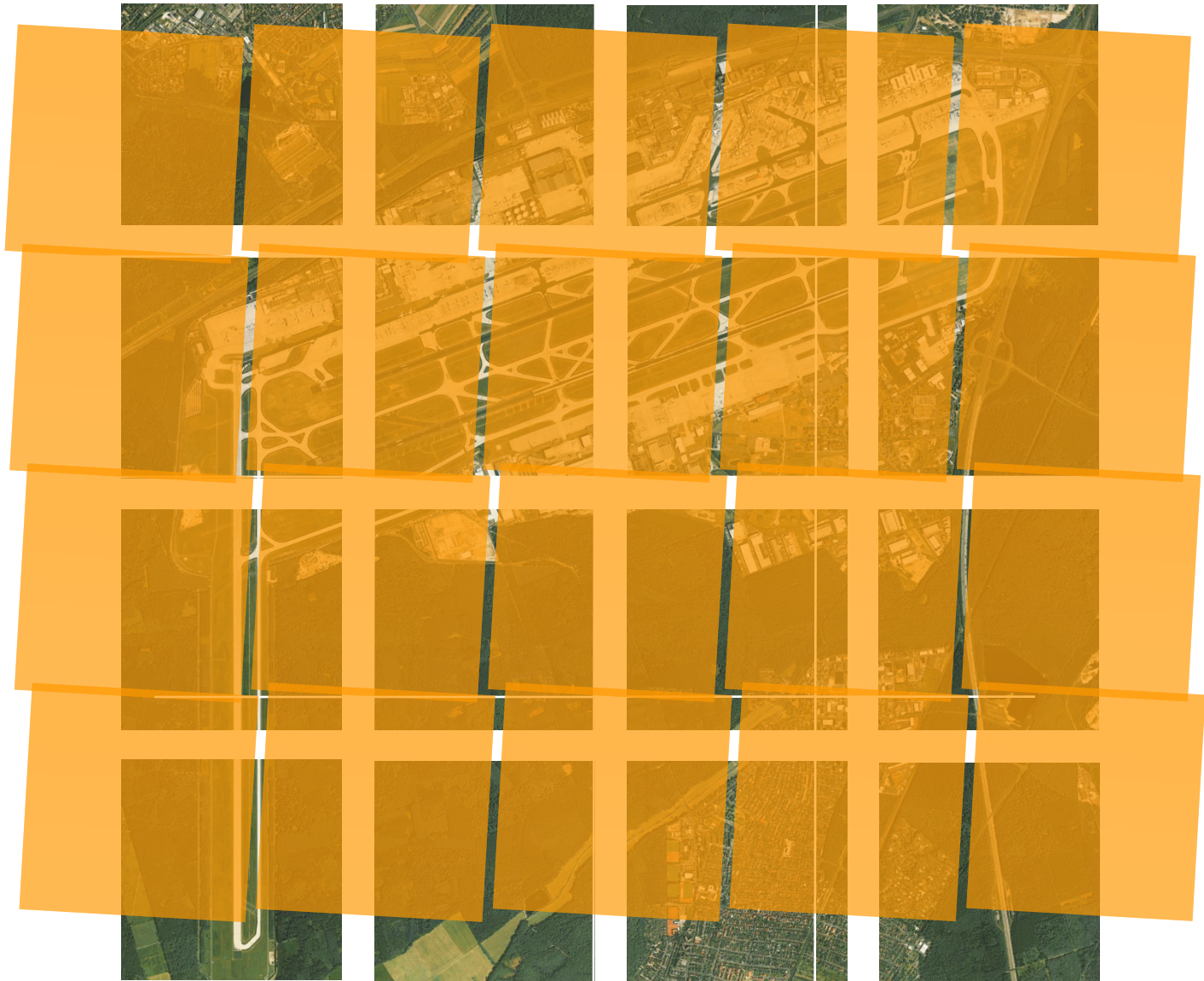
Bildflug im Rahmen einer Landesbefliegung

Flugzeug fliegt nach Koordinaten / in ca. 2000m – 4000m Höhe / in Ost-West Richtung



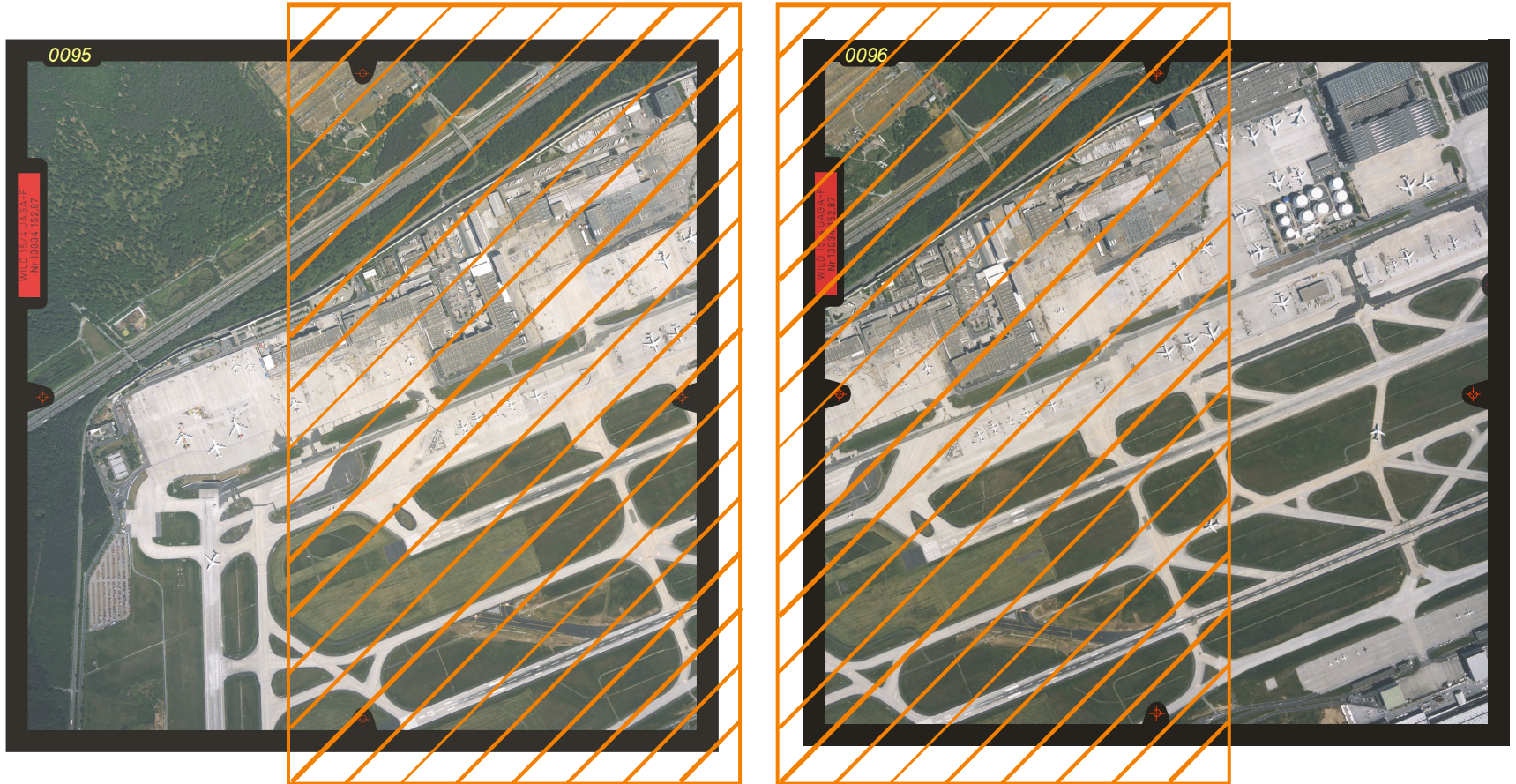
Bildflug

Hauptbilder Stereobildpaar Zwischenbilder



Stereobilder

mind. 60% Überdeckung in Flugrichtung



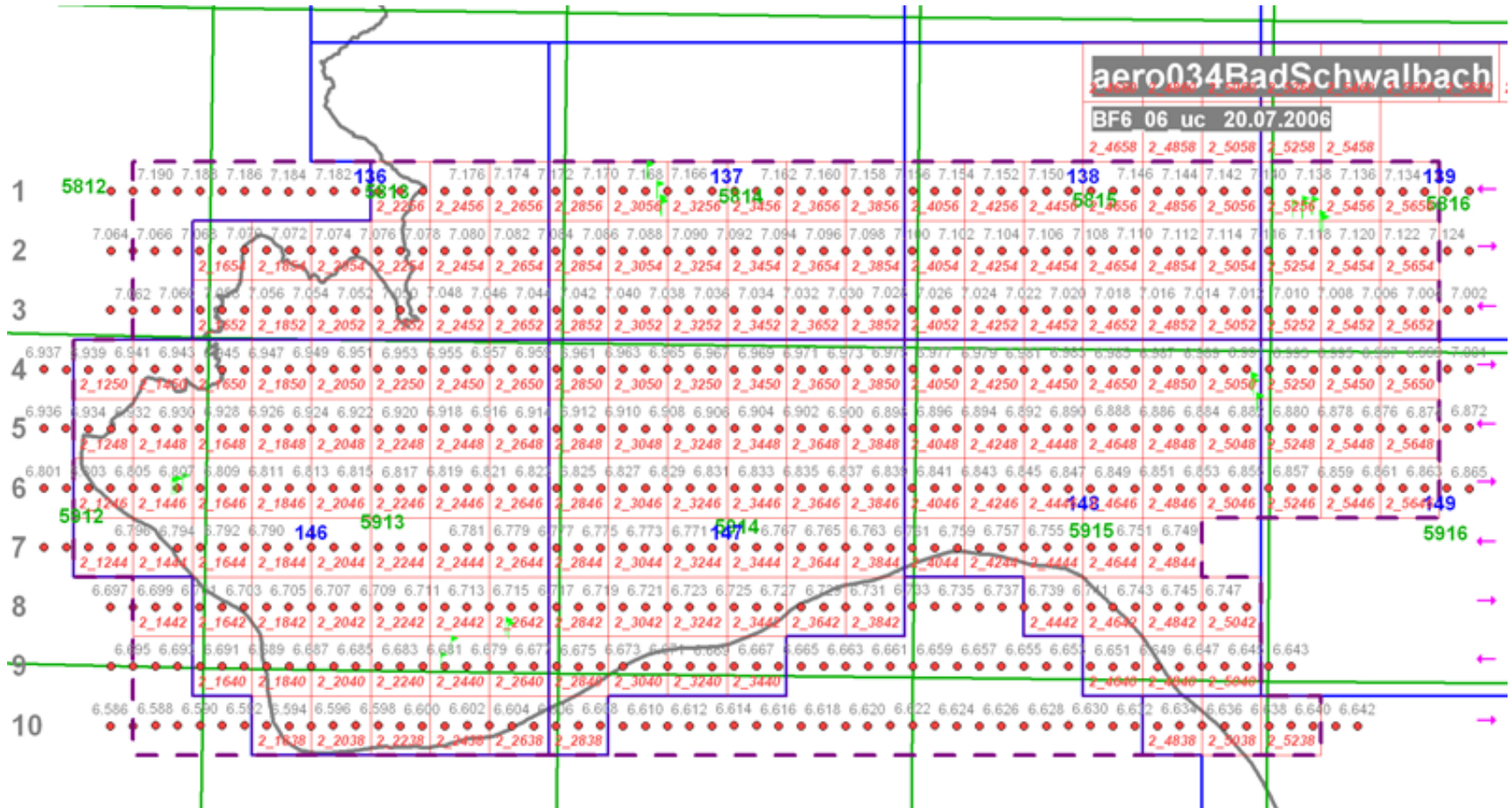
Produktion - Bildflugdurchführung

Ausschreibungsparameter

Befliegungszeitraum	Mai – Juli (Sommerbefliegung)	
Sensor	Flächensensor	
Überdeckung	Längsüberdeckung bezogen auf höchsten Geländepunkt	60 % - 80 %
	Streifenüberdeckung bezogen auf höchsten Geländepunkt	30 % - 80 %
Flugstreifentrichtung	Ost - West / West - Ost	
Bodenauflösung	< 20 cm / Pixel	
DGPS	Lage- und Höhengenaugigkeit der Projektionszentren	< 10 cm
Intertialsystem	Genauigkeit der Winkel ω und φ	± 0.005 gon
	Genauigkeit der Winkel α	± 0.02 gon
Direkte Georeferenzierung	Abweichungen in Lage und Höhe für Bodenpunkte	$\pm 0,7$ m



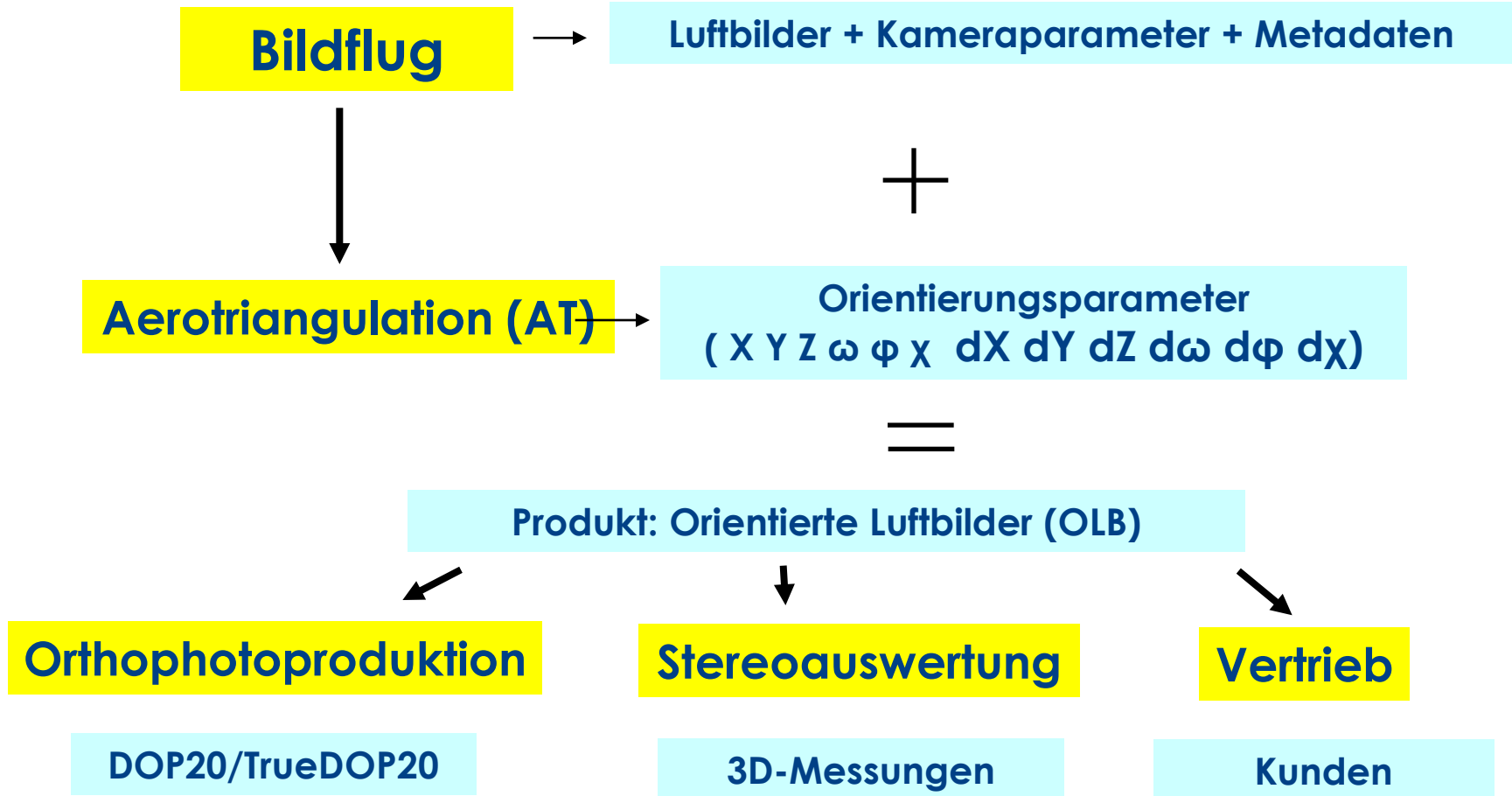
Produktion OLB - Gebiete



Ein Beispiel eines Aerotriangulationsgebietes umfasst ein halbes Bildfluglos (ca. 6 TK25), das sind ca. 600 – 800 Bilder mit DGPS und IMU gestützter, direkter Georeferenzierung.



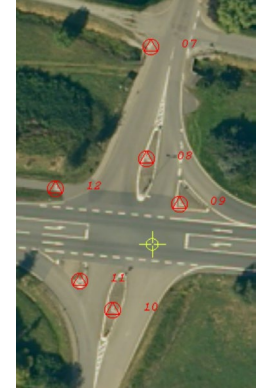
Produktion OLB - Ablaufdiagramm



Produktion OLB - Gebiete

Die **Aerotriangulation** (AT) wird mit dreierlei **Passpunkttypen** prozessiert:

1. Die hochwertigsten und aktuellsten sind mittels RTK-GPS bestimmte Punkte auf **Straßenkreuzungen** in Form von Punktnestern, die sich in den Ecken und Mitten der Lose befinden. Je Los sind es um die 40 bis 50 Punkte mit Genauigkeiten um 3 cm für Lage und Höhe.



2. Zur Stützung der Höhen in den AT-Gebieten werden zusätzlich **luftsichtbare TP's** angemessen, deren Bodenhöhe bekannt ist.

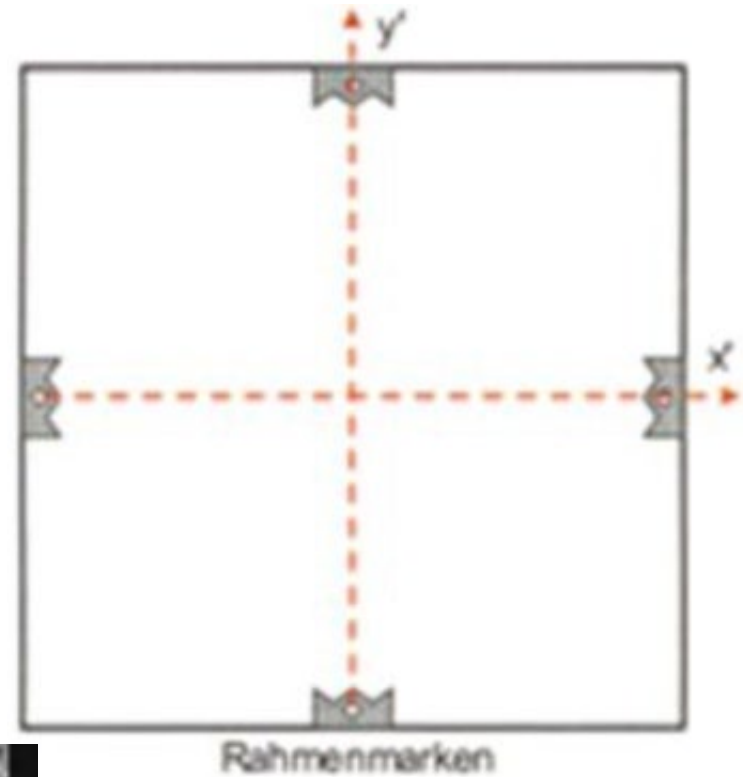
Die Höhengenaugigkeit der ca. 60 bis 70 Punkte liegt bei wenigen cm.



3. Sollten weitere Passpunkte erforderlich sein, wird auf sogenannte **topographische Dauerpasspunkte** zurückgegriffen, die photogrammetrisch ermittelt wurden. Ihr Genauigkeit kann zwischen 1-4 dm liegen. Es handelt sich um ein fast historisches Passpunktfeld, das auf Grund der modernen Genauigkeitsanforderungen nicht mehr gepflegt wird.



Analoge Luftbilder - Rahmenmarken



4. Der Abstand der Rahmenmarken beträgt in beiden Richtungen 226 mm. Dieser Wert ist bestimmt mit einer Genauigkeit von $\pm 0,02$ mm.



Messfelder / Passpunkte Signalisierung bisher

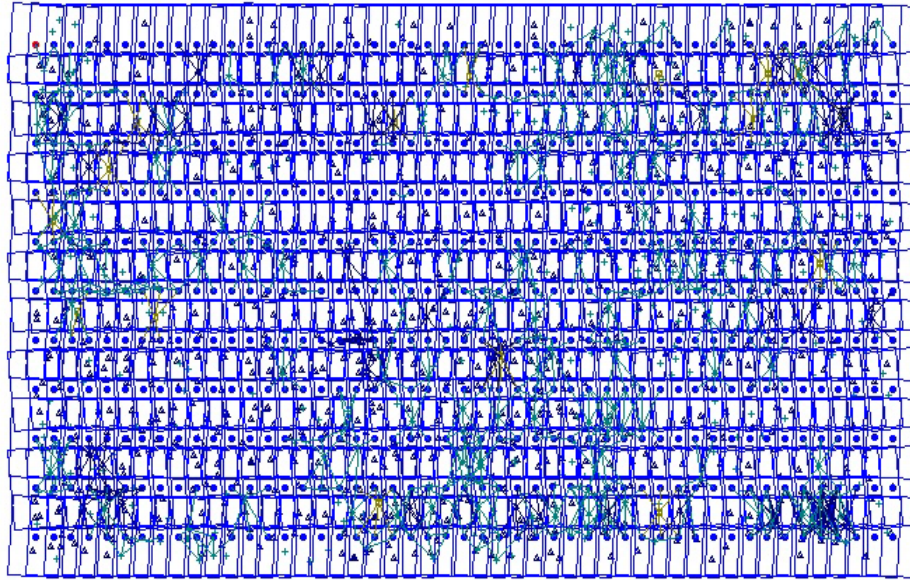


Signalisierung 1

Signalisierung 2



Aerotriangulation - ein wesentliches Qualitätsmerkmal



P-A Sigma0 : 2.9
Control Points
RMS-X : 0.082
RMS-Y : 0.082
RMS-Z : 0.062
Antenna Centers
RMS-X : 0.037
RMS-Y : 0.020
RMS-Z : 0.050
Variance Comp.
X : 1.094
Y : 1.071
Z : 1.031
O : 0.995
P : 0.982
K : 1.028

Beispiel einer Aerotriangulation

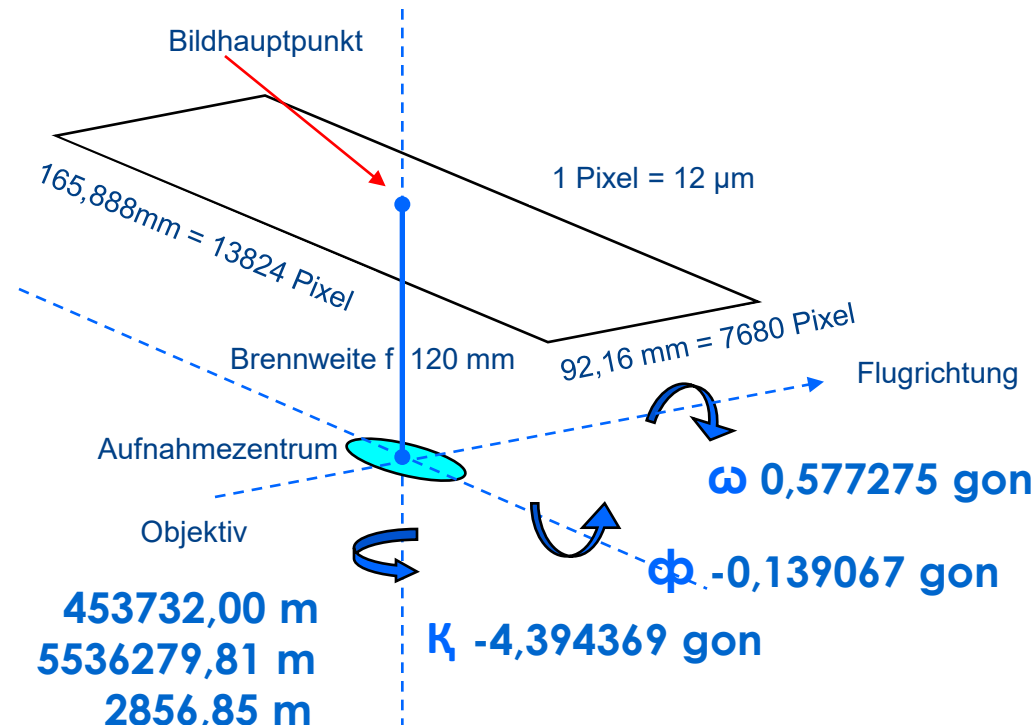
mit einer Vielzahl an unterschiedlichen Passpunkten



Orientierte Luftbilder - Orientierungsparameter

Aerotriangulation mit *DGPS*- und *IMU*-Georeferenzierung

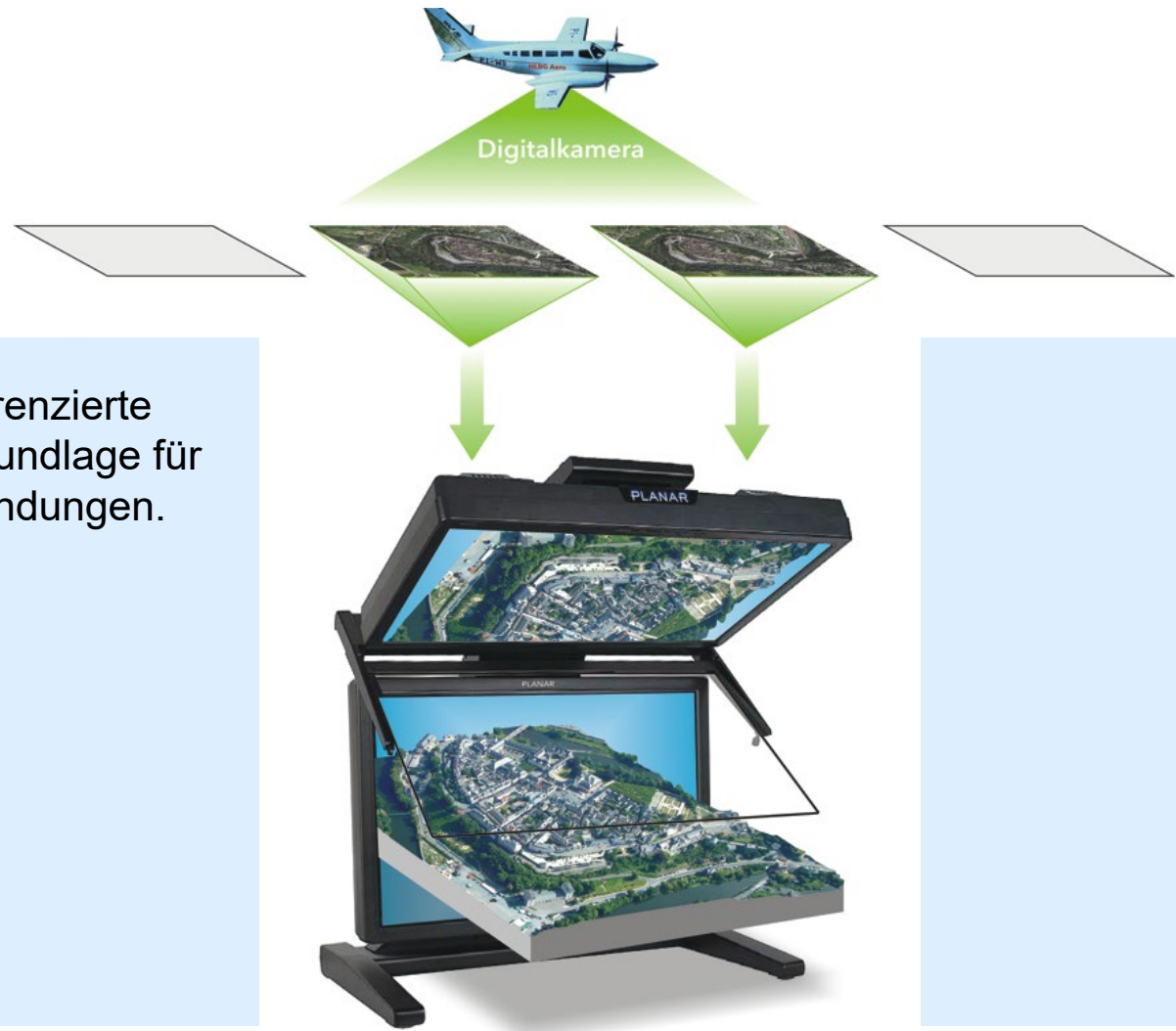
je 6 Orientierungselemente für ca. 10.000 - 20.000 Luftbilder pro Jahr mit höchster Genauigkeit



Rechtswert: 453732,00 m
Hochwert: 5536279,81 m
Höhe: 2856,85 m



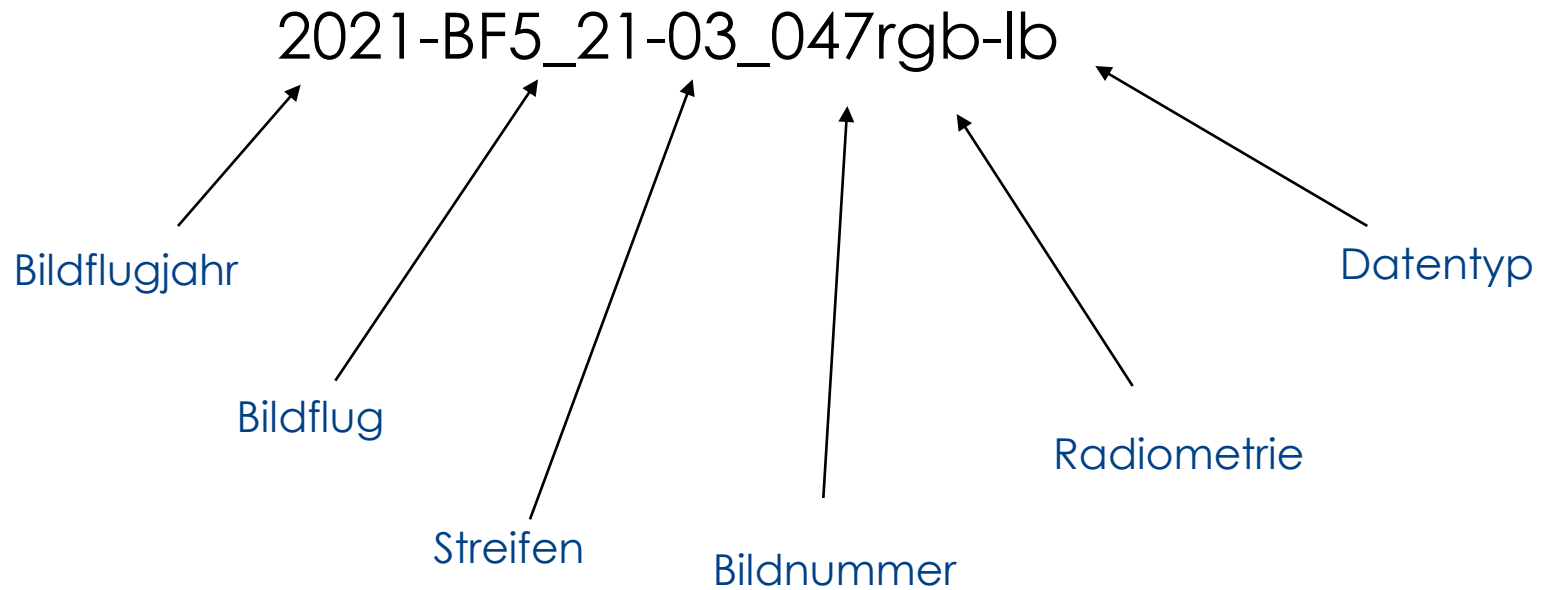
Orientierte Luftbilder



Digitale georeferenzierte
Luftbilder als Grundlage für
räumliche Anwendungen.



Produktion OLB - Namenskonvention



Metadatendatei

2021-BF5_21-09_065rgb-lb.tif BF5_21_dmc 3502891,43 5531377,31 2860,93 -0,464529 ...
2021-BF5_21-09_066rgb-lb.tif BF5_21_dmc 3503658,50 5531384,03 2859,27 -0,042508 ...

2021-BF5_21-09_066rgb-lb.tif	Bildname
BF5_21_dmc	Kamera
3503658,50	Rechtswert des Aufnahmezentrums
5531384,03	Hochwert des Aufnahmezentrums
2859,27	Höhe des Aufnahmezentrums
-0,042508	Drehung Omega
0,031956	Drehung Phi
-3,769547	Drehung Kappa
BF5_21	Bildflugnummer
04.06.2021	Aufnahmedatum
m	Einheit Meter
gon	Einheit gon
ETRS89 UTM 32N	Raumbezug



Übung 1. zur eigenständigen Berechnung

1.) Bei einem Bildflug wird mit einem Luftbild ein quadratischer Geländeausschnitt von 2200 m Seitenlänge erfasst.

Das Flugzeug fliegt mit 295 km/h und löst alle 9 Sekunden eine Aufnahme aus.

a) Welche Längsüberdeckung (in %) ergibt sich dabei?

b) Welchen Maßstab hat das quadratische Luftbild, wenn das Gelände mit 529 cm^2 abgebildet wird?



Übung 2. zur eigenständigen Berechnung

2) Ein Satellit umkreist die Erde. Die mittlere Flughöhe über der Erdoberfläche beträgt 8630 km. Die Umlaufzeit um die Erde beträgt 5 Stunden, 4 Minuten 43 Sekunden.

a) Wie lang ist die Kreisbahn (Kreisumfang in km)?

b) Mit welcher Geschwindigkeit (km/h) umkreist der Satellit die Erde?



Grundlagen der Fernerkundung

Aufnahme im nahen Infrarot zur Untersuchung des Bewuchses und der Landnutzung. Die **Interpretation** des Bildmaterials steht im Vordergrund.



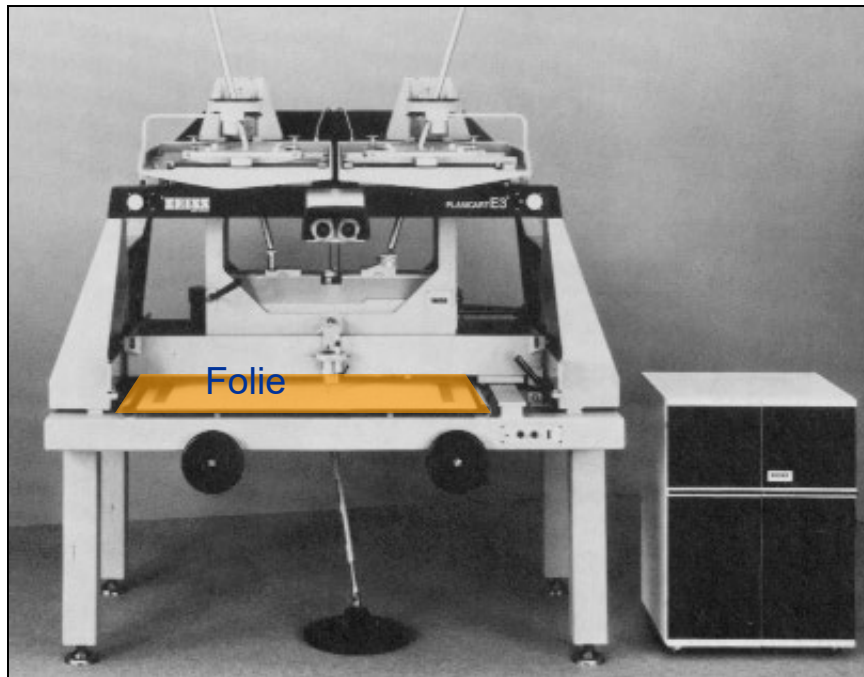
Luftbild zur **photogrammetrischen Auswertung** (Luftbildmessung) der Topographie mit dem Ziel der Kartenherstellung.



Photogrammetrische Auswertegeräte - Analog

Optische Präzisionsgeräte. Dem Auswerter wird über ein Linsen- und Spiegelsystem (analog und analytisch) dem linken und rechten Auge ein Bild zugeführt, das vom Gehirn zu einem Raumbild verschmolzen wird (wie beim natürlichen Sehen). Zusätzlich wird eine virtuelle Messmarke eingeblendet, die im Raummodell bewegt werden kann.

Der Auswerter setzt die **Messmarke** auf ausgewählte Punkte im Modell auf und die Position der Messmarke wird dabei in einem 3-dimensionalen Koordinatensystem (z.B. Gauß-Krüger) registriert.



Analog

Zeiss Planicart E3

Rein optisch/mechanisches Gerät
Gewicht: 560 kg

Messung: Blattbezogen 2 x 2 km

Luftbilder: analog

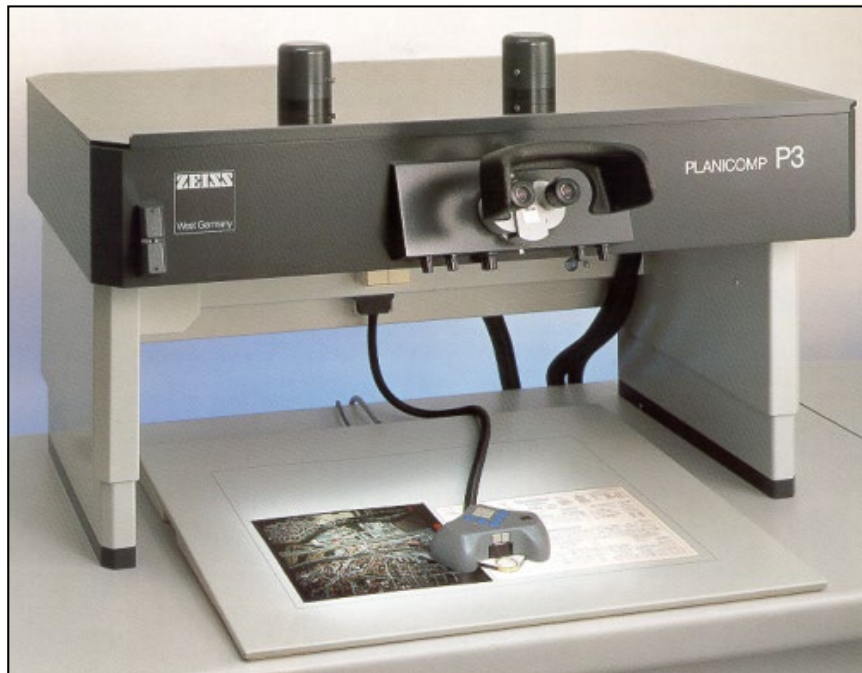
Messungsergebnisse:
analog auf Folie/Papier, nach
Digitalisierung für das DGM nutzbar.



Photogrammetrische Auswertegeräte - Analytisch

Optische Präzisionsgeräte. Dem Auswerter wird über ein Linsen- und Spiegelsystem (analog und analytisch) dem linken und rechten Auge ein Bild zugeführt, das vom Gehirn zu einem Raumbild verschmolzen wird (wie beim natürlichen Sehen). Zusätzlich wird eine virtuelle Messmarke eingeblendet, die im Raummodell bewegt werden kann.

Der Auswerter setzt die **Messmarke** auf ausgewählte Punkte im Modell auf und die Position der Messmarke wird dabei in einem 3-dimensionalen Koordinatensystem (z.B. Gauß-Krüger) registriert.



Analytisch

Zeiss Planicomp P3

Viele mechanische Komponenten durch elektronische Messsysteme und Computer ersetzt.

Messung: Blattbezogen 2 x 2 km

Luftbilder: analog

Messungsergebnisse: digital



Photogrammetrische Auswertegeräte - Digital

Digitale Workstation. Das Stereomodell wird an einem 3D-Monitor (Monitor mit Aufsatz) angezeigt. Zur Betrachtung ist eine Polarisationsbrille nötig. Dem linken und rechten Auge wird ein Bild zugeführt, das vom Gehirn zu einem Raumbild verschmolzen wird (wie beim natürlichen Sehen). Zusätzlich wird eine virtuelle Messmarke eingeblendet, die im Raummodell bewegt werden kann. Der Auswerter setzt die **Messmarke** auf ausgewählte Punkte im Modell auf und die Position der Messmarke wird dabei in einem 3-dimensionalen Koordinatensystem (z.B. Gauß-Krüger) registriert.



Digital

Leica DPW770

Rein digitales Gerät. Der komplette Auswerteprozess findet am Computer statt.

Messung: Objektbezogen

Luftbilder: digital. Zur Betrachtung ist eine Polarisationsbrille nötig.



Messungsergebnisse: digital

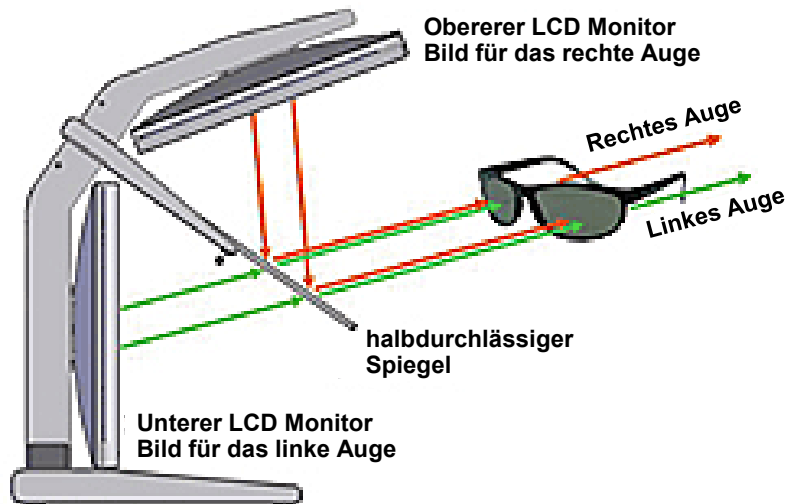


Photogrammetrische Auswertegeräte - Digital

Digital

PLANAR-System / DTMaster

Das Stereomodell wird durch zwei TFT-Monitore und einen halbdurchlässigen Spiegel erzeugt. Zur Betrachtung ist eine Polarisationsbrille nötig.



Luftbildphotogrammetrie - Stereo Auswertung

Mit Hilfe photogrammetrischer Auswertestationen sind Messungen aus dem Standardbildmaterial (bis 2005 analog, Maßstab 1 : 13.000, ab 2006 digital, Bodenauflösung/Pixelgröße ca. 20 cm) in Genauigkeitsbereichen zwischen +/- max. 2 bis 4 dm für Höhenmessungen sowie für die Lagemessungen zwischen +/- 1 bis max. 3 dm möglich.

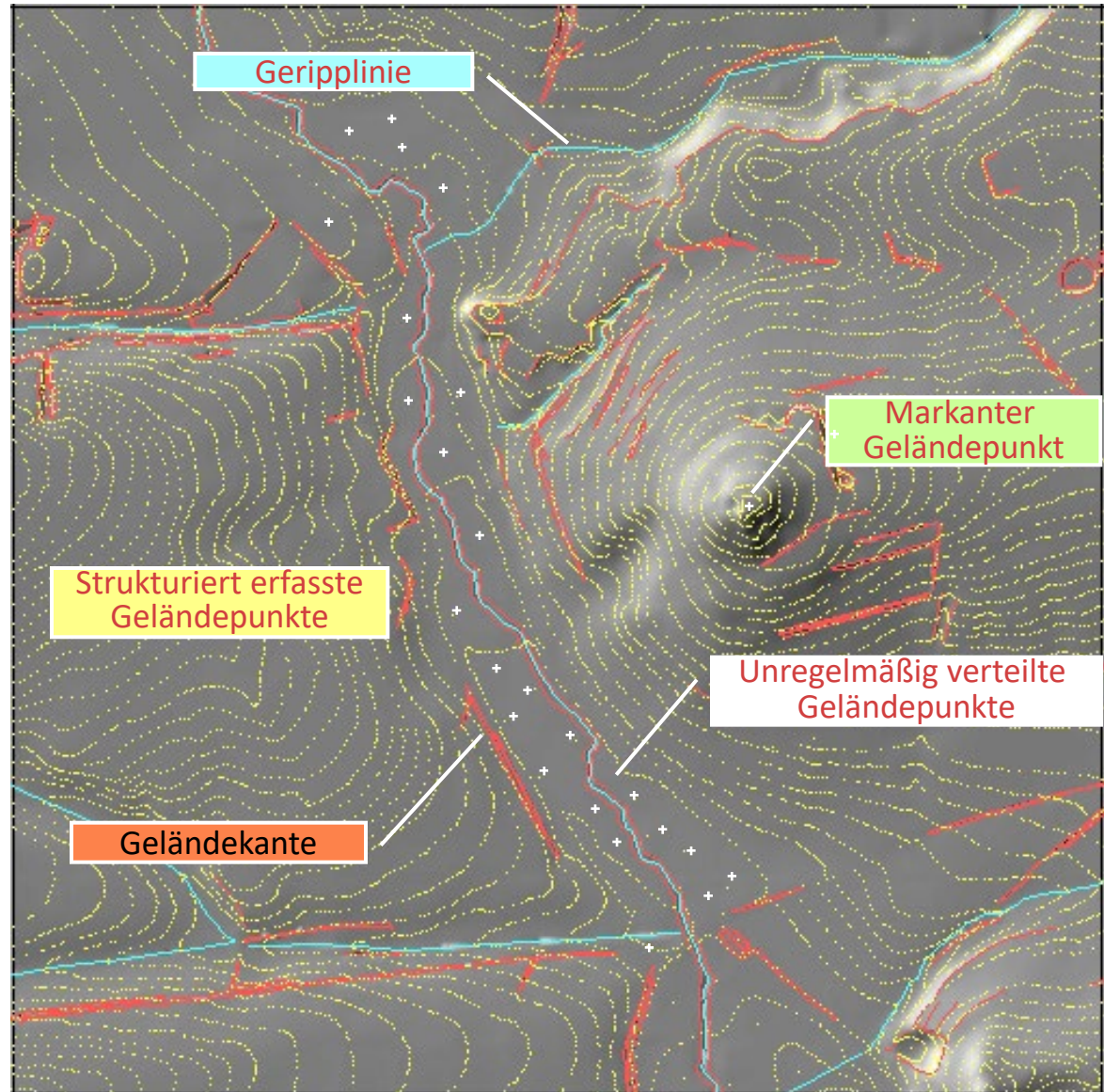
Die Auswertungsmöglichkeiten sind ausschließlich auf Objekte beschränkt, die in der Zentralperspektive gänzlich stereoskopisch erfasst wurden.



Inhalte der stereoskopischen Auswertung



Inhalte der stereoskopischen Auswertung



Objektklassen laut ATKIS-OK DGM

Primäre DGM		
Massenpunkte	Morphologische Strukturelemente	Besondere Informationen
<ul style="list-style-type: none">• Unregelmäßig verteilte Geländepunkte• Strukturiert verteilte Geländepunkte• Nicht-Geländepunkte	<ul style="list-style-type: none">• Geländekante• Gewässerbegrenzung• Geripplinie• Markanter Geländepunkt	<ul style="list-style-type: none">• Aussparungsflächen• Besonderer Höhenpunkt
Sekundäre DGM		
<ul style="list-style-type: none">• DGM-Gitter• Abgeleitete Höhenlinie		

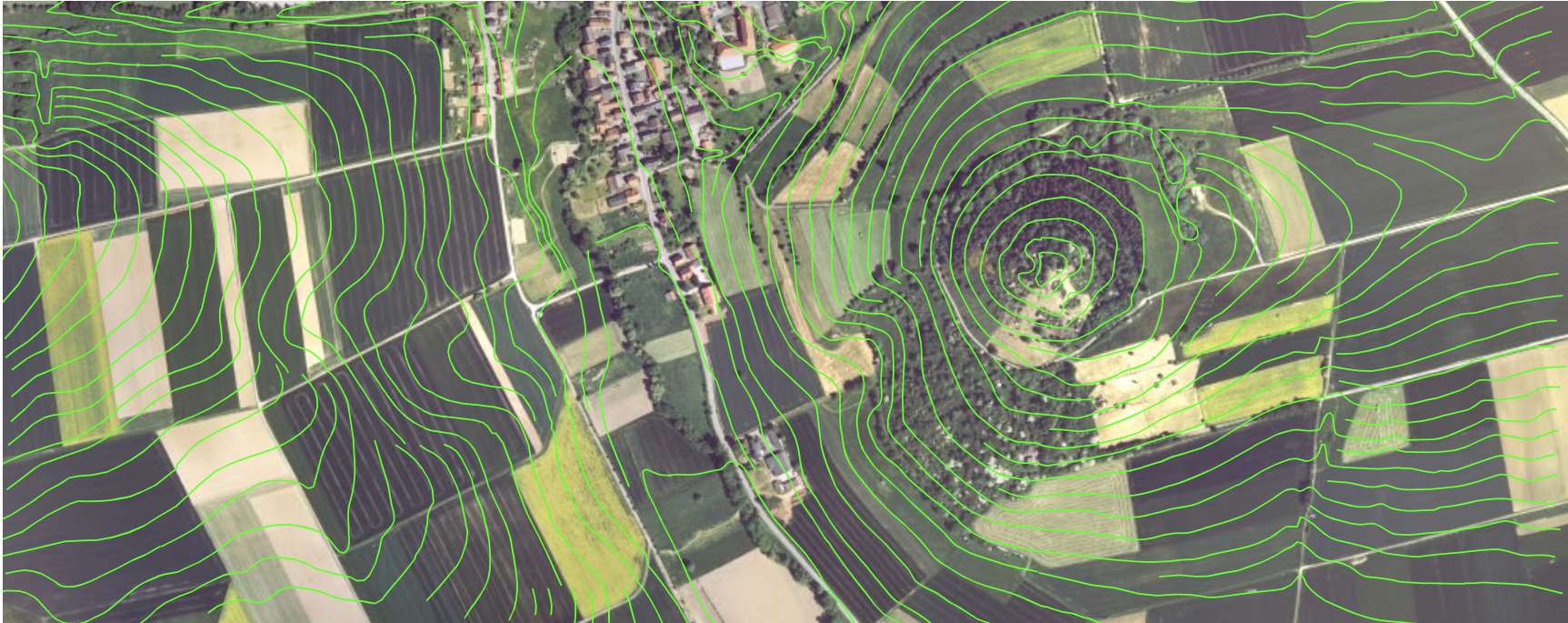


1 Objektbereich „Primäres DGM“

1.1 Objektartengruppe „Massenpunkte“

1.1.2 Strukturiert erfasste Geländepunkte

Beispiel: Höhenlinien



1 Objektbereich „Primäres DGM“

1.2 Objektartengruppe „Morphologische Strukturelemente“

1.2.1 Geländekante

Beispiel: Böschungen mit Ober- und Unterkanten



1 Objektbereich „Primäres DGM“

1.2 Objektartengruppe „Morphologische Strukturelemente“

1.2.3 Geripplinie

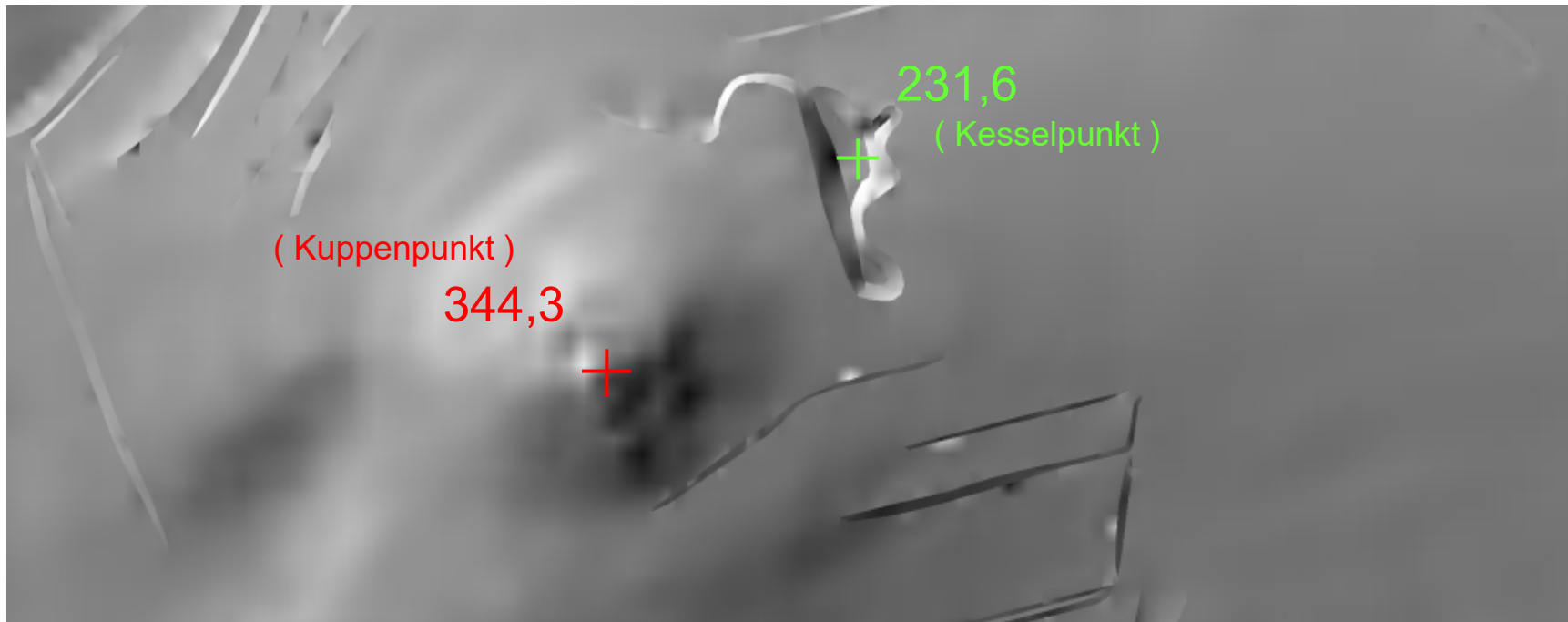
Beispiel: Muldenlinien



1 Objektbereich „Primäres DGM“

1.2 Objektartengruppe „Morphologische Strukturelemente“

1.2.4 **Markanter Geländepunkt**



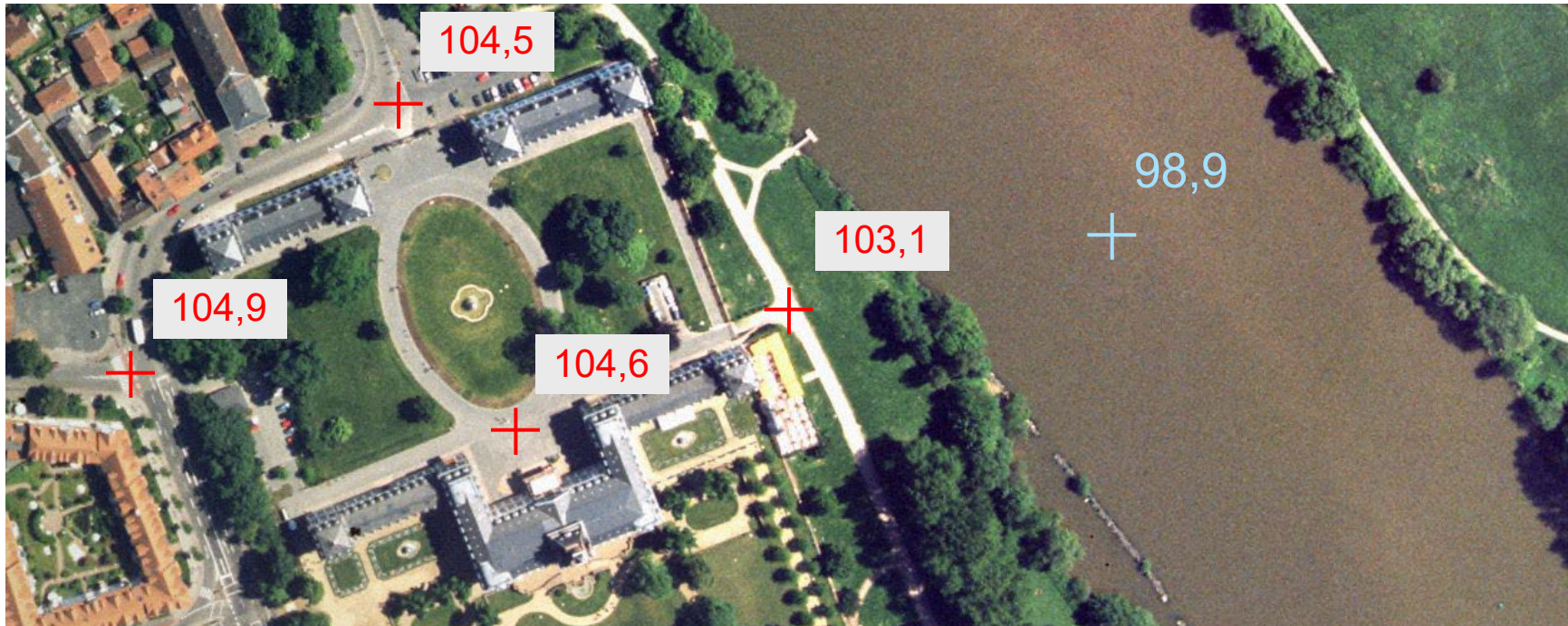
1 Objektbereich „Primäres DGM“

1.3 Objektartengruppe „Besondere Informationen“

1.3.2 Besonderer Höhenpunkt

Beispiel: Wegepunkte

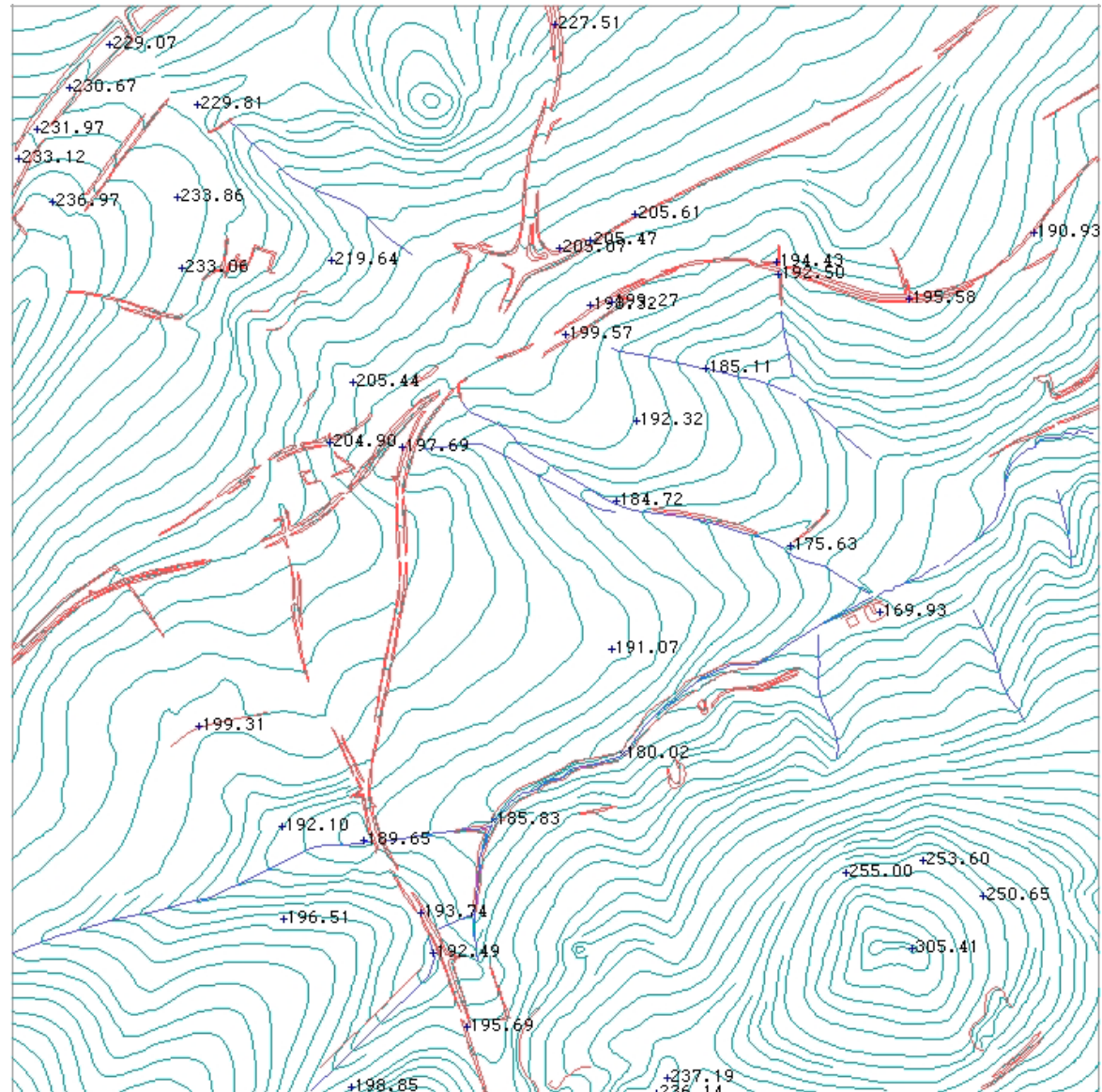
Beispiel: Höhenpunkt auf Wasserfläche



Klassische, Photogram- metrische Messung

mit Höhenlinien,
Höhenpunkten und
Bruchkanten

2 km

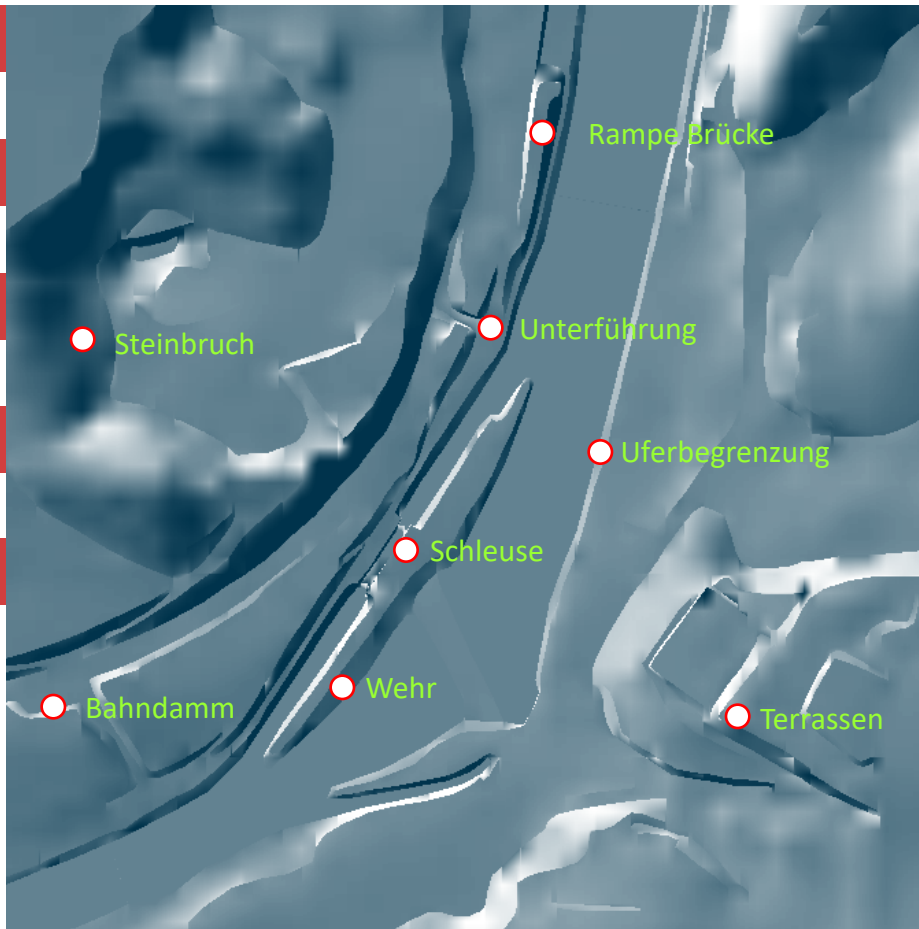


Schummerung DGM5



Orthophoto

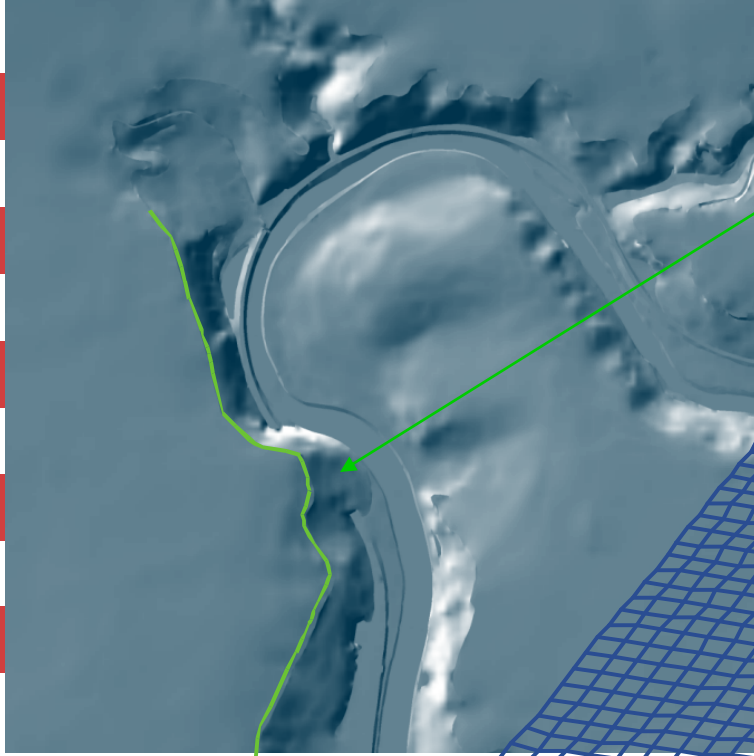




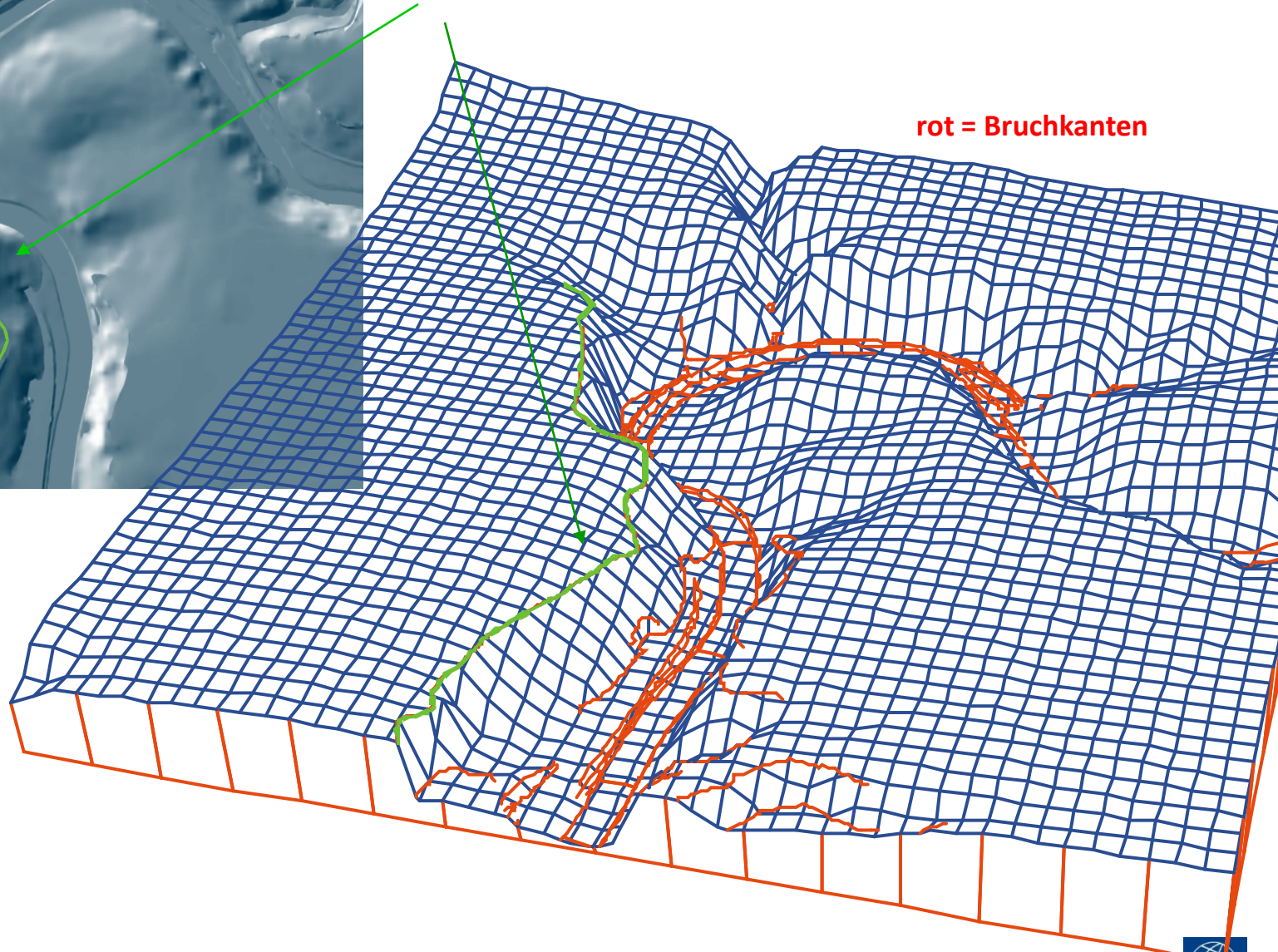
Markante Objekte



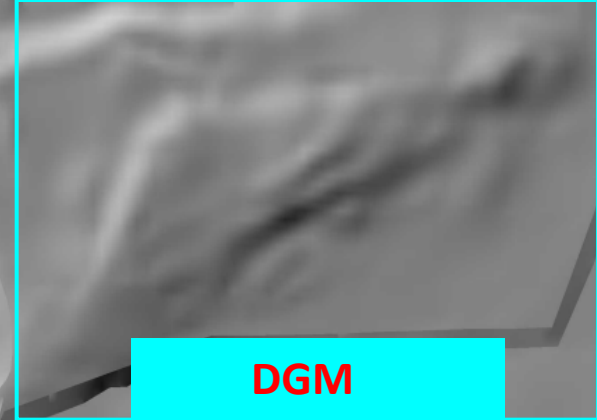
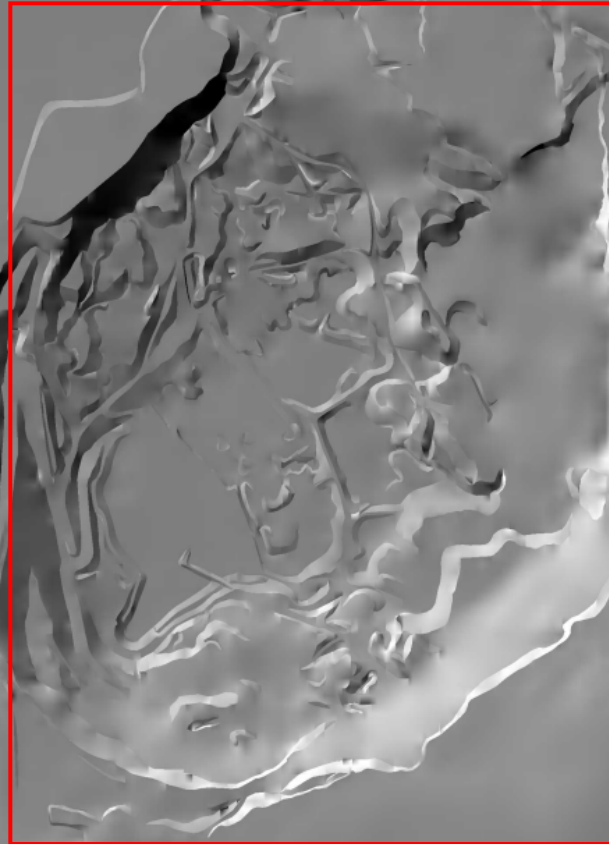
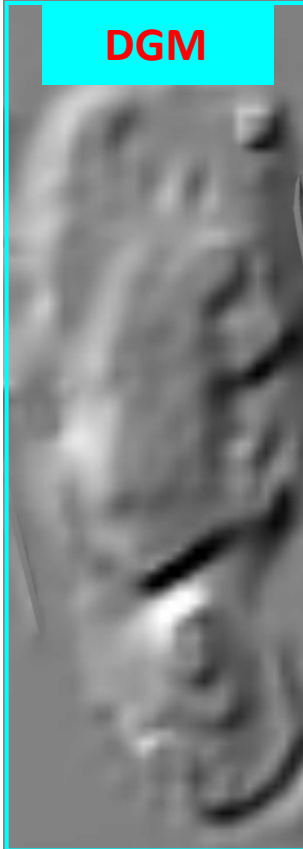
Bruchkante



rot = Bruchkanten



Gegenüberstellung:

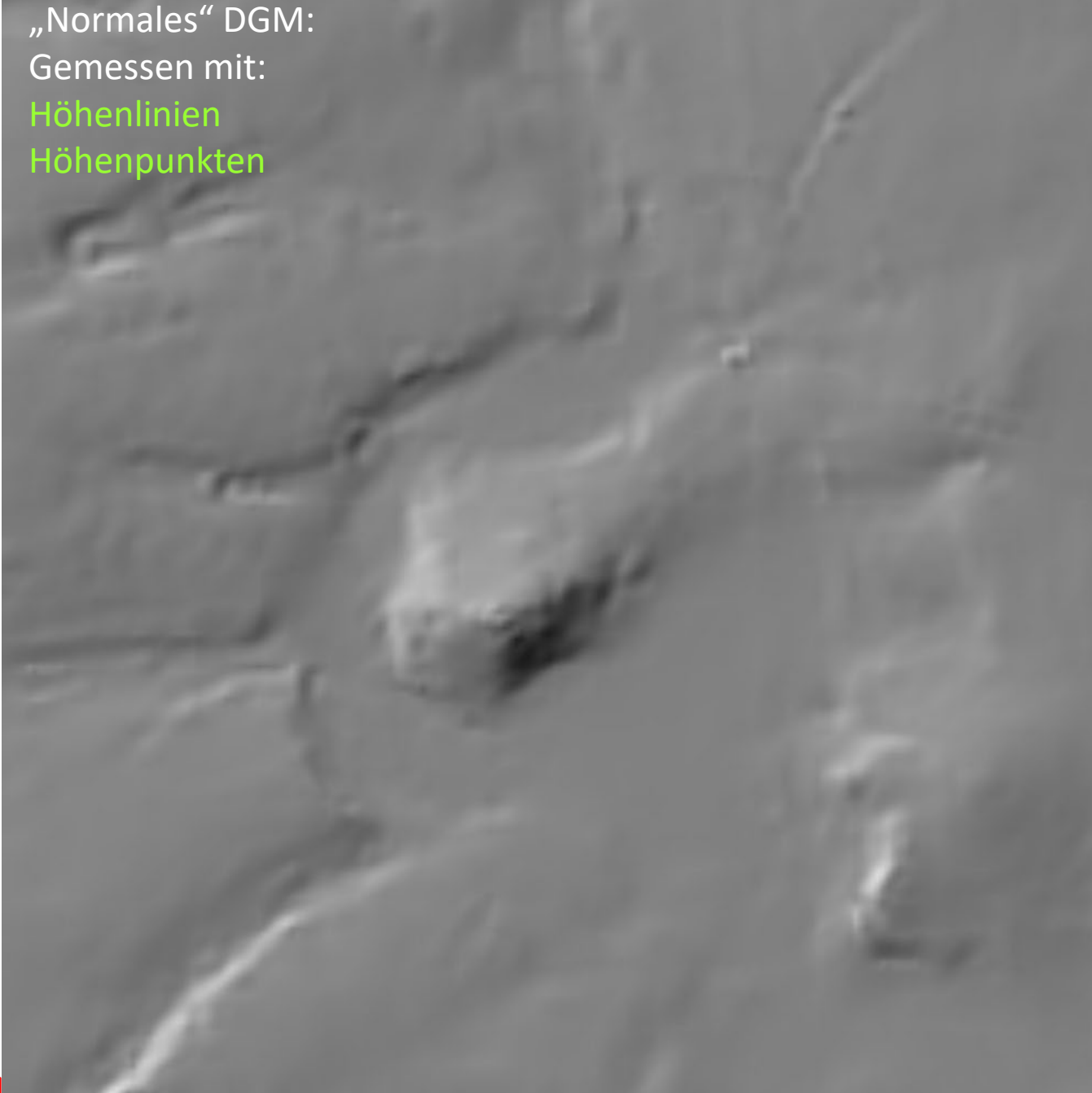


Grube
Messel

- Böschungen
- Bruchkanten
- Muldenlinien

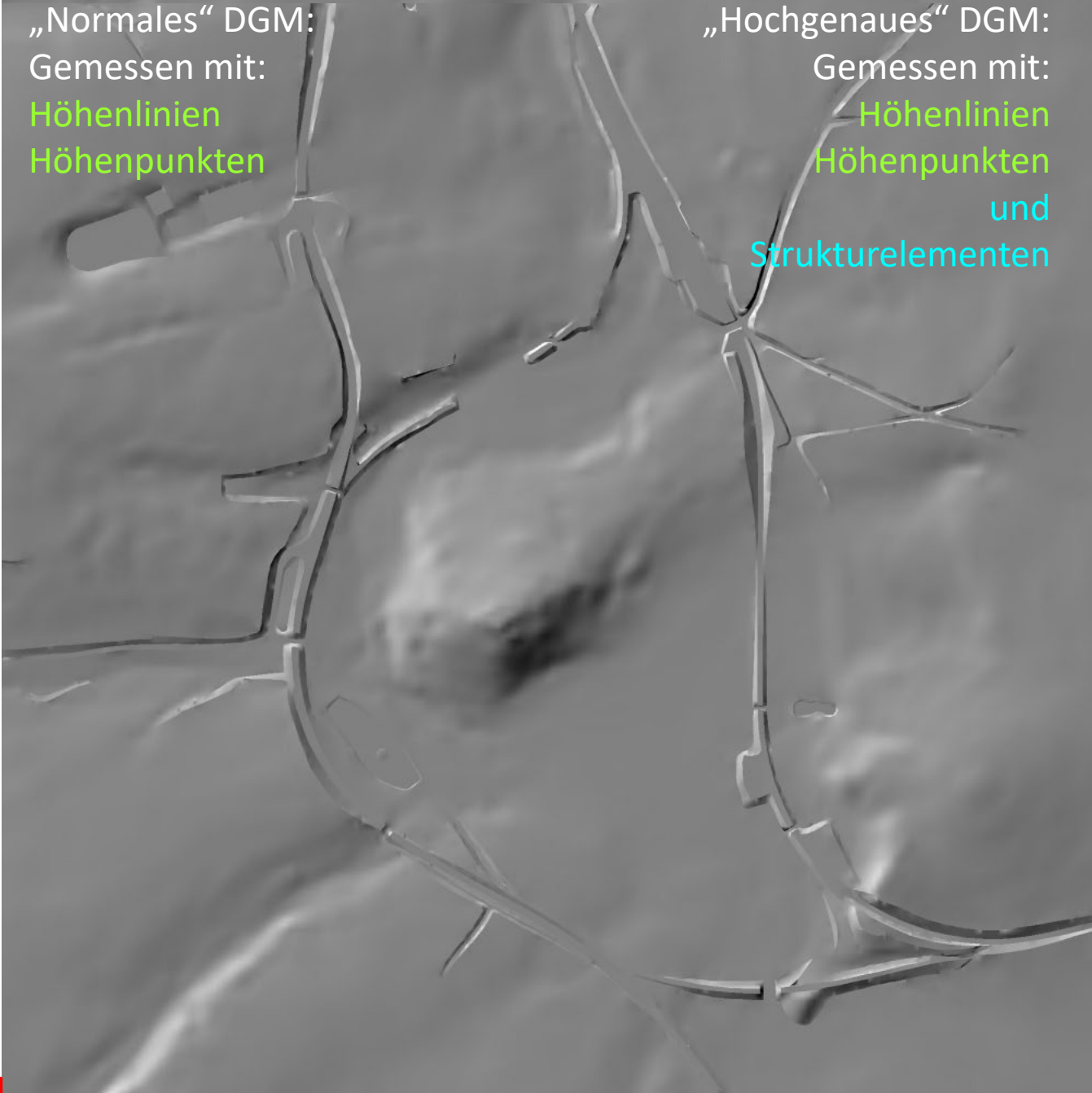


„Normales“ DGM:
Gemessen mit:
Höhenlinien
Höhenpunkten



„Normales“ DGM:
Gemessen mit:
Höhenlinien
Höhenpunkten

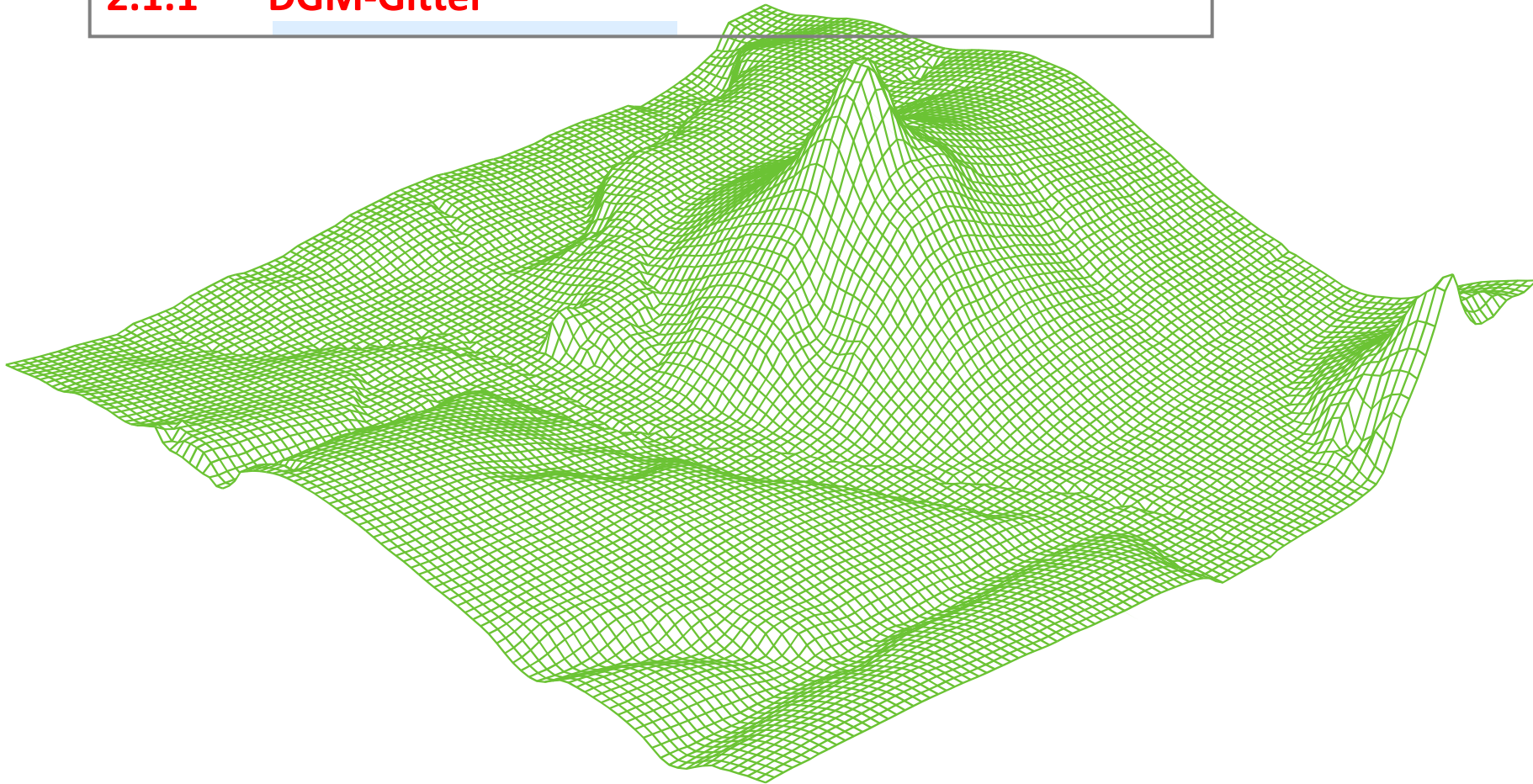
„Hochgenaues“ DGM:
Gemessen mit:
Höhenlinien
Höhenpunkten
und
Strukturelementen



2 Objektbereich „Sekundäres DGM“

2.1 Objektartengruppe „DGM-Gitter“

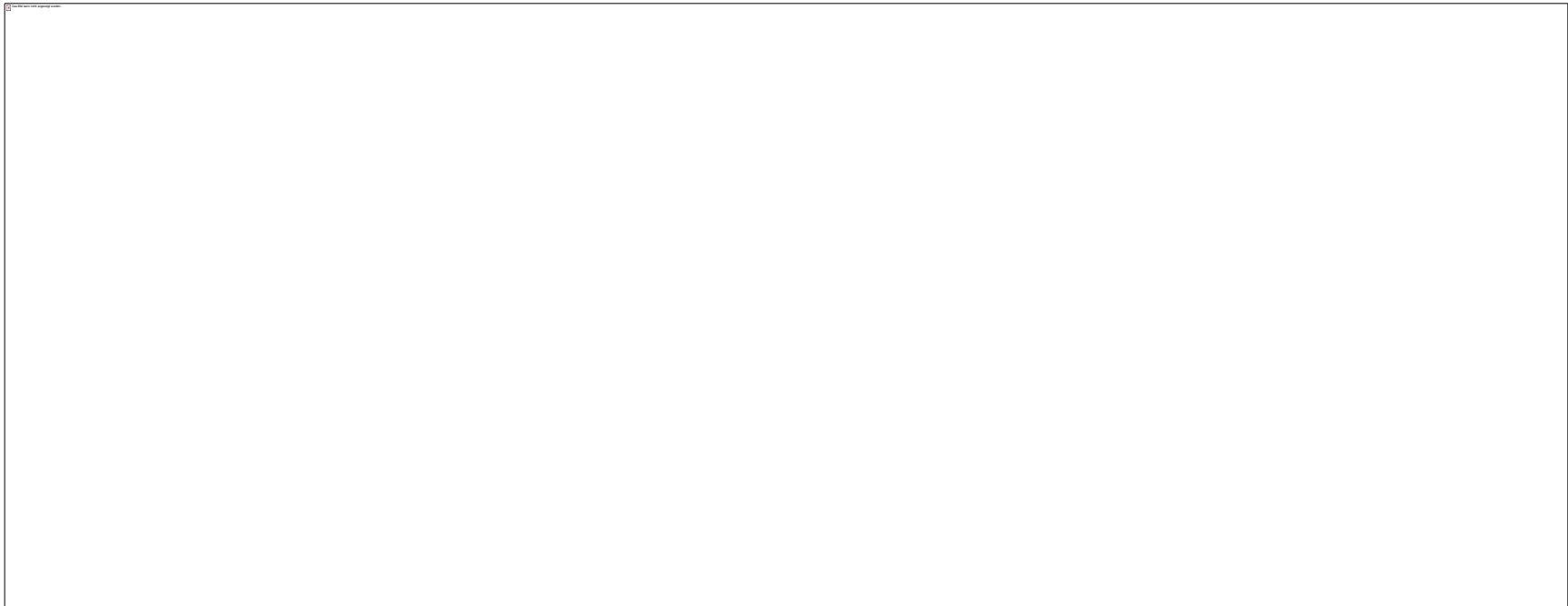
2.1.1 DGM-Gitter



2 Objektbereich „Sekundäres DGM“

2.2 Objektartengruppe „Abgeleitete Höhenlinien“

2.2.1 Abgeleitete Höhenlinien



DGM - Gitter nach AdV-Standard

DGM1	Genauigkeit $\leq 0,4$ m	1 m-Gitter
DGM5	Genauigkeit ≤ 1 m	5 m-Gitter
DGM10	Genauigkeit ≤ 2 m	10 m-Gitter
DGM25	Genauigkeit ≤ 5 m	25 m-Gitter
DGM50	Genauigkeit ≤ 10 m	50 m-Gitter

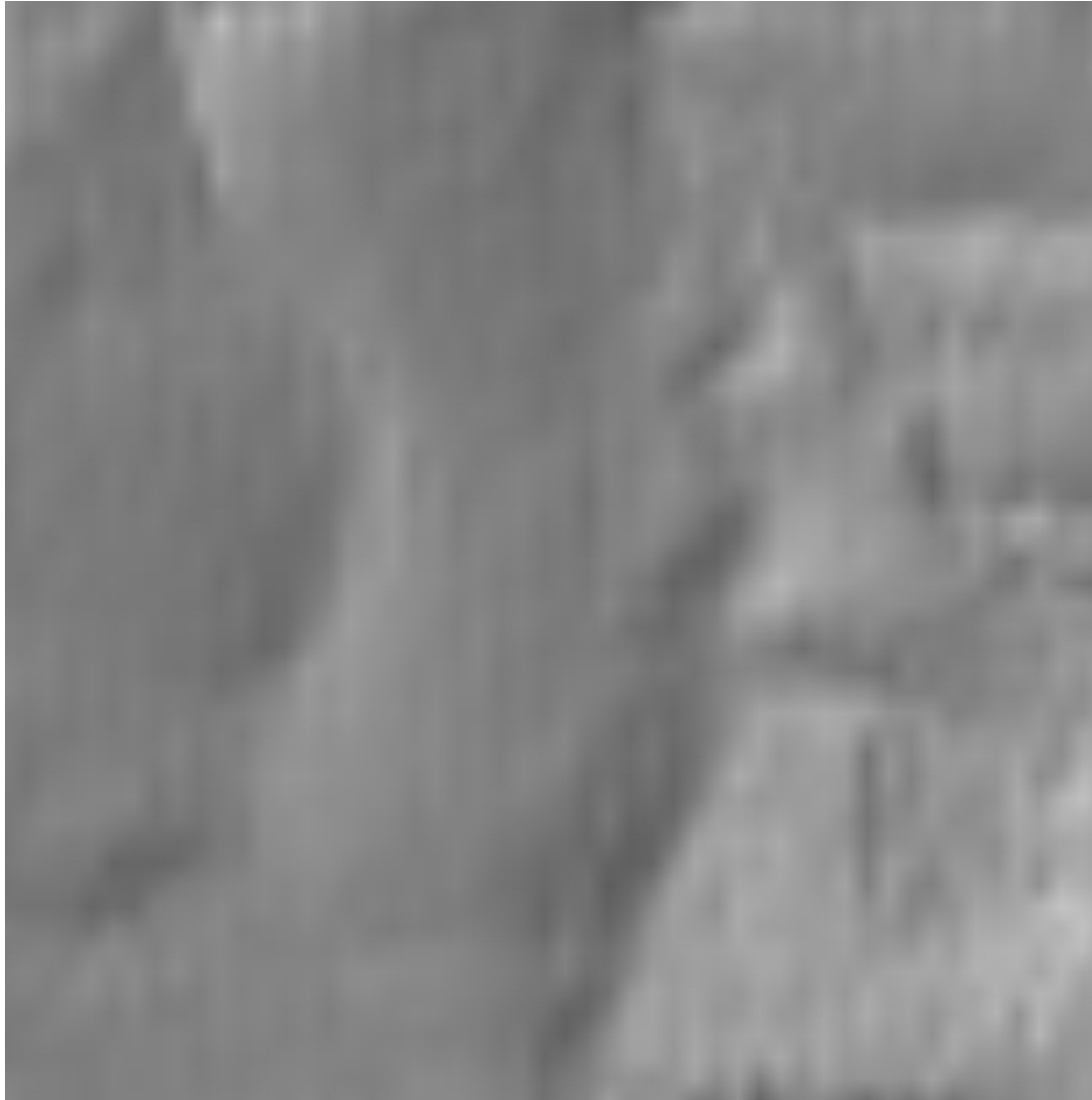
Die Angaben zur Geometrischen Genauigkeit beziehen sich auf eine Sicherheitswahrscheinlichkeit von 95% (2σ).
Aus technischen Gründen ist in Abhängigkeit von Gelände und Bewuchs maximal eine Genauigkeit von 0,15 bis 0,40 m erreichbar.



Laserscanning Beispiele



Ableitung von DGM und DOM

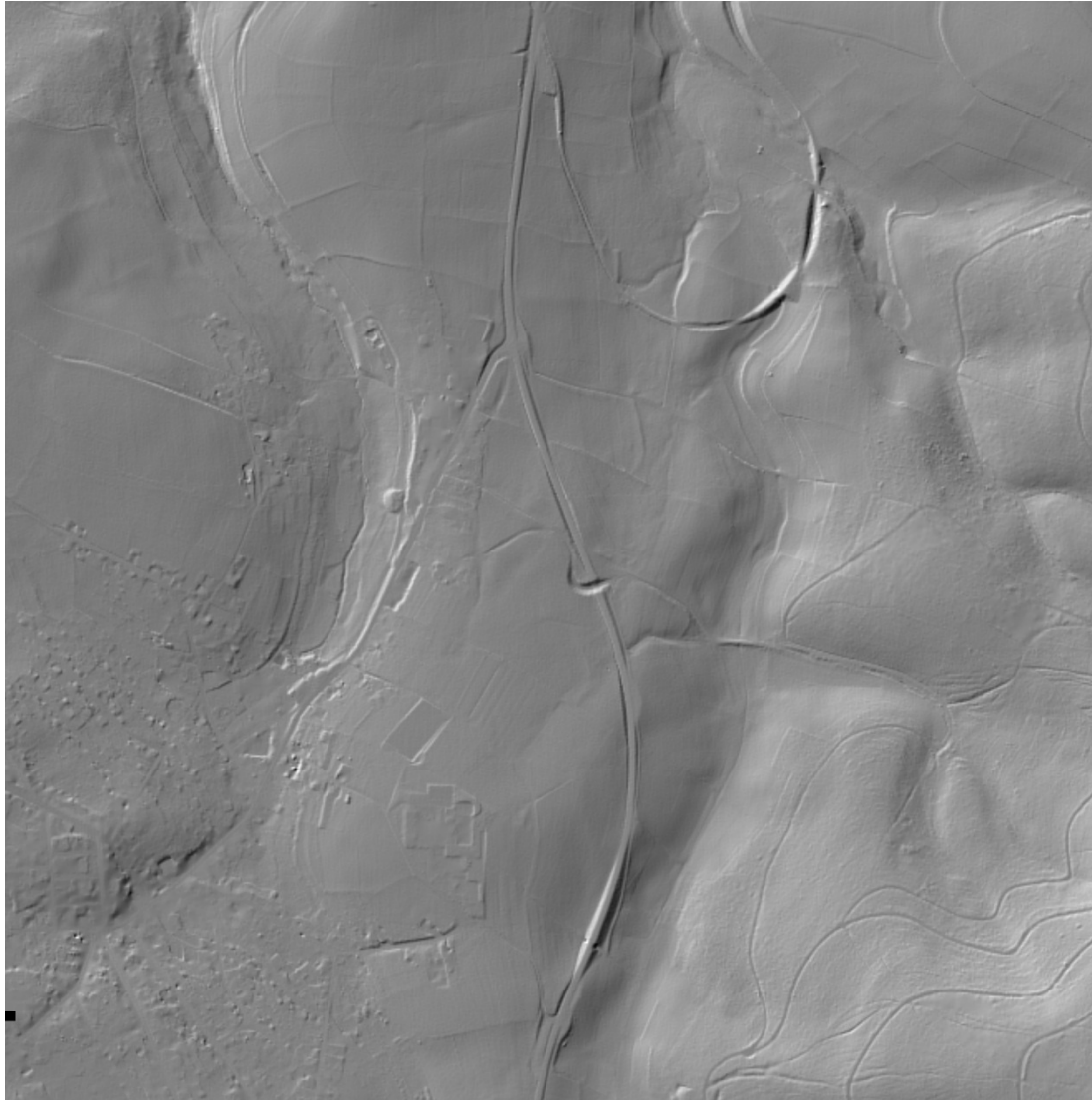


DHM40 – Vorläufer DGM25
Schummerung aus
photogrammetrischen
Profilmessungen
(vor Laserscanning)

Beerfelden, Odenwald



Ableitung von DGM und DOM aus Laserscanningdaten



DGM

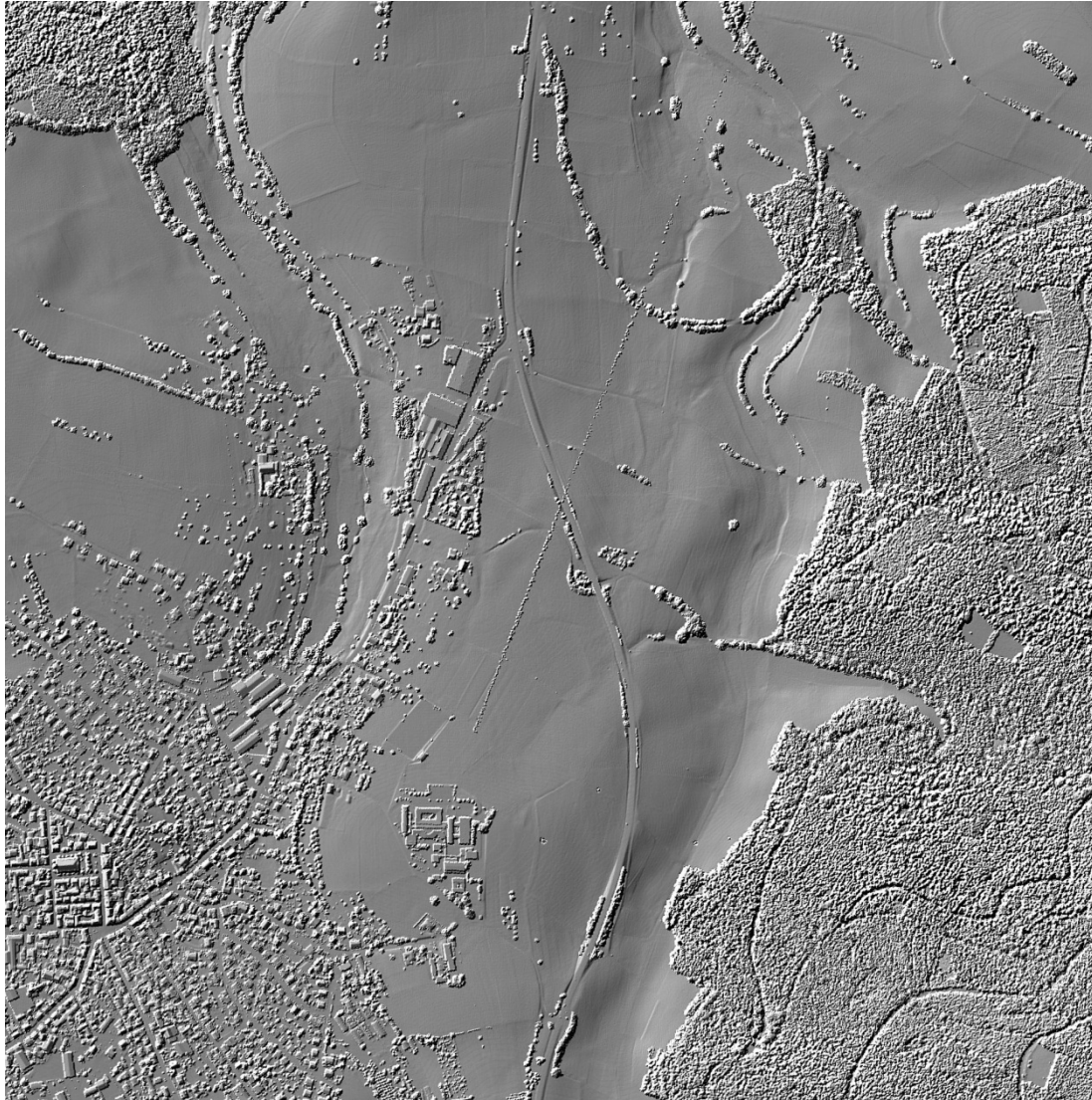
Schummerung aus
Laserdaten

Punktabstand 1 - 3 m

Beerfelden, Odenwald



Ableitung von DGM und DOM aus Laserscanningdaten



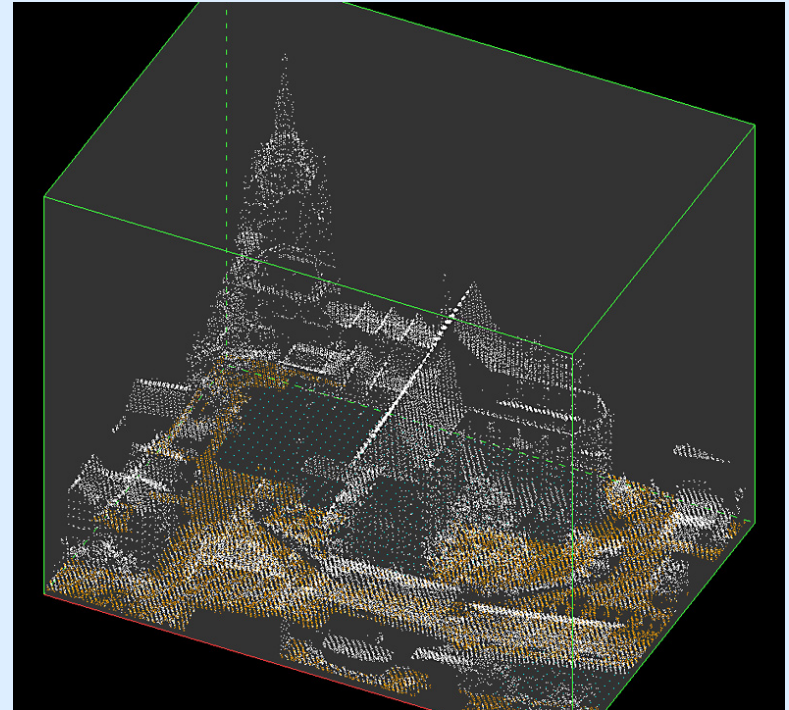
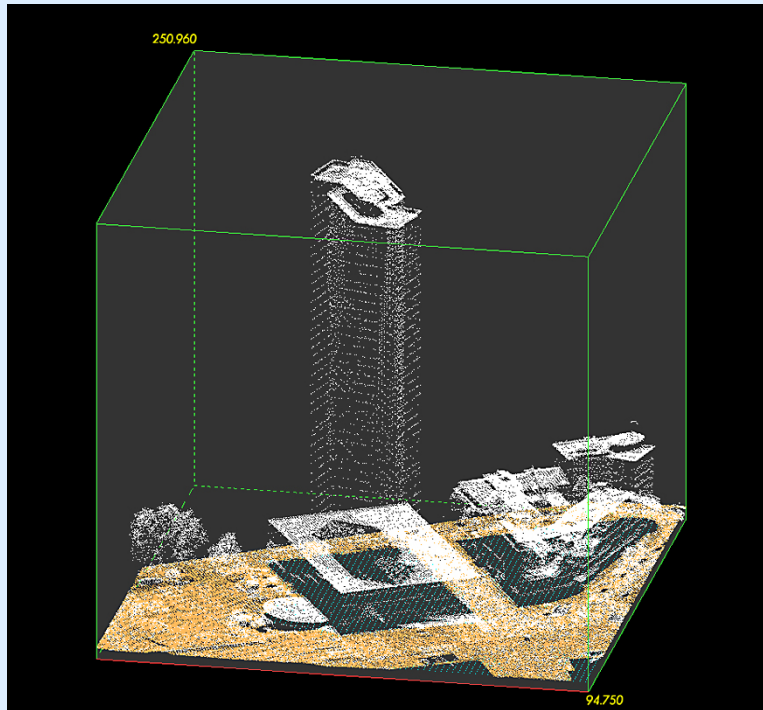
DOM

Schummerung aus
Laserdaten
Punktabstand 1 - 3 m



Beerfelden, Odenwald



Laserscandaten



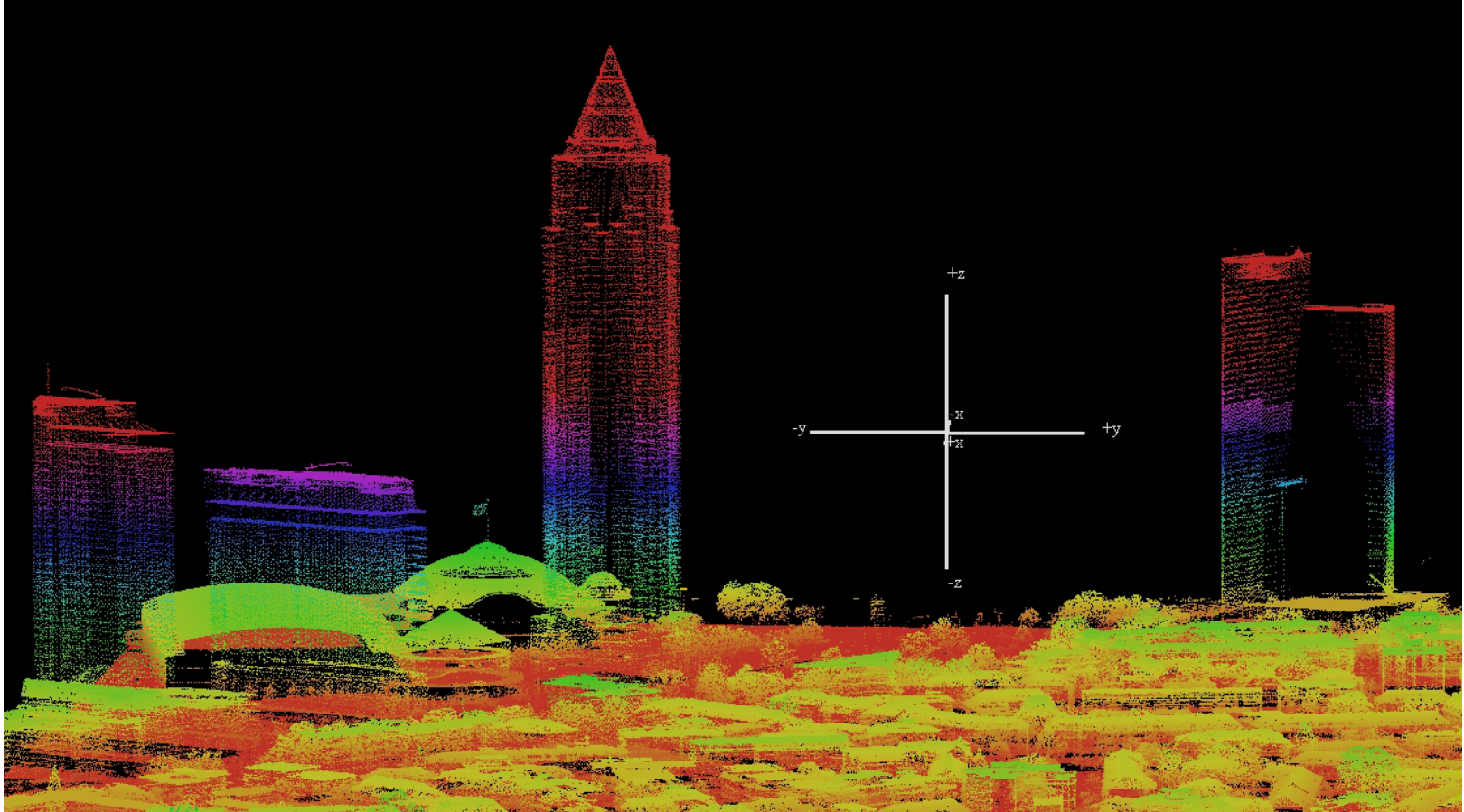
Frankfurt am Main

-  Bodenkpunkte (DGM relevante Punkte)
-  Nicht Bodenkpunkte (Gebäude, Vegetation, etc.)



Laserscandaten - Punktwolken

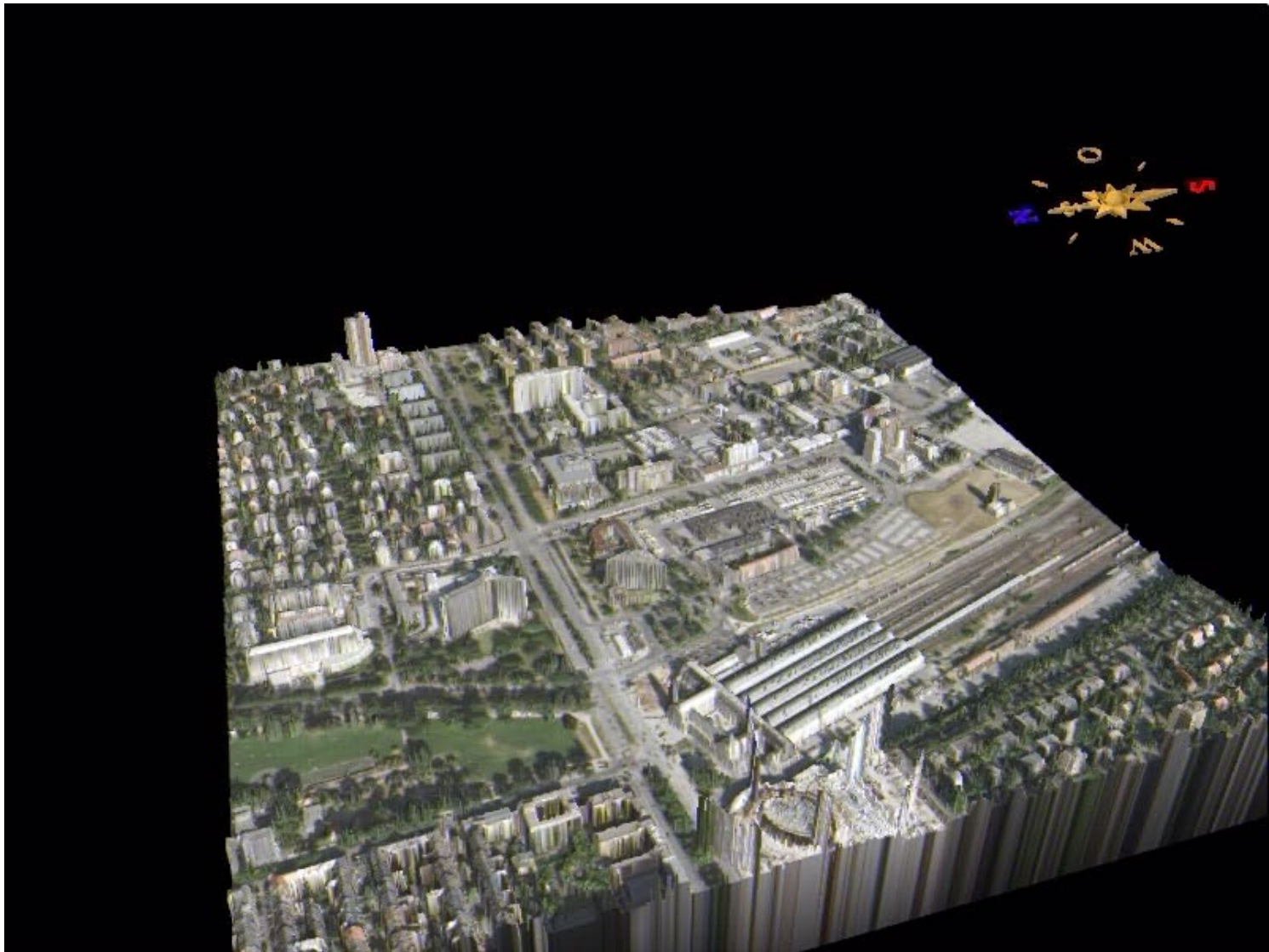
Demo mit PointVue LE - Viewer von GeoCue



Frankfurt am Main, Messeturm



3D Modelle aus DOP20 und DOM1 (Laserdaten)



Start: Mausklick auf Animation



Anwendungsbeispiele - DGM

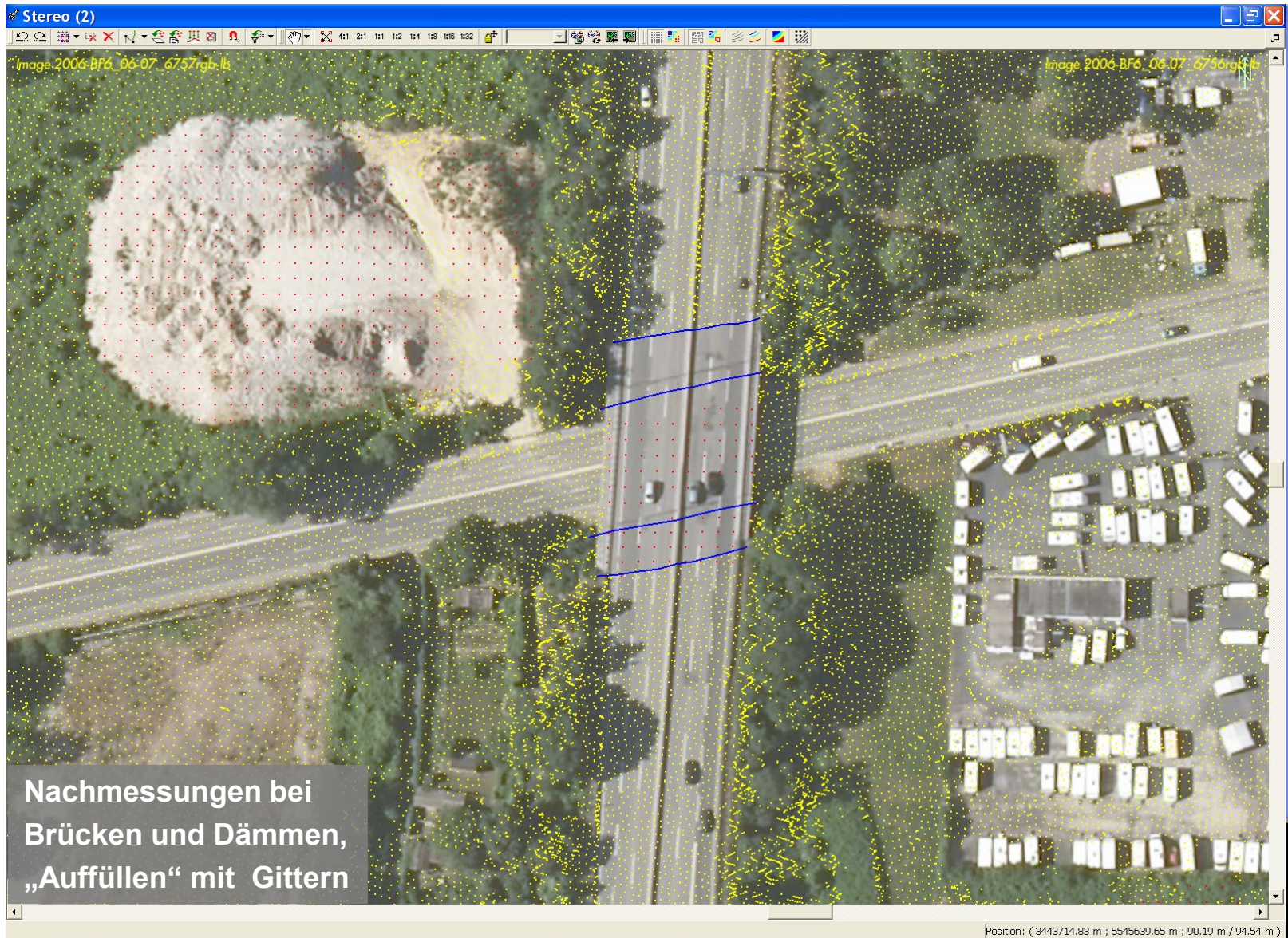
Stereoskopische
Auswertestation
„DT-Master“
wird primär zur
stereoskopischen
Bearbeitung, sowie
Klassifizierung und
Kontrolle von
Laserdaten
eingesetzt



Anwendungsbeispiele - DGM



Anwendungsbeispiele - DGM



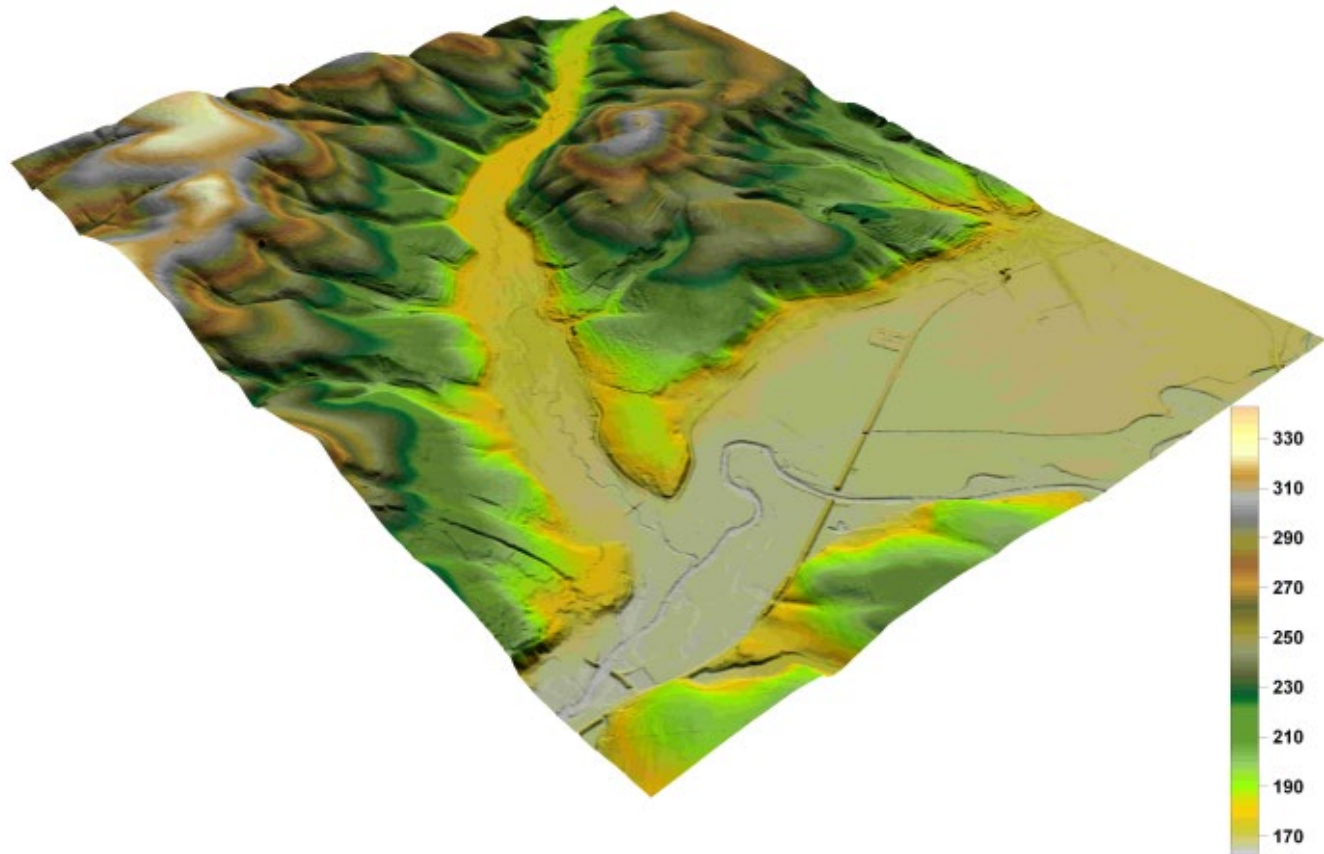
Nachmessungen bei
Brücken und Dämmen,
„Auffüllen“ mit Gittern



Anwendungsbeispiele

Geodäsie:

- DGM
- DOM



Anwendungsbeispiele

Umweltschutz:

- Hochwasserschutz



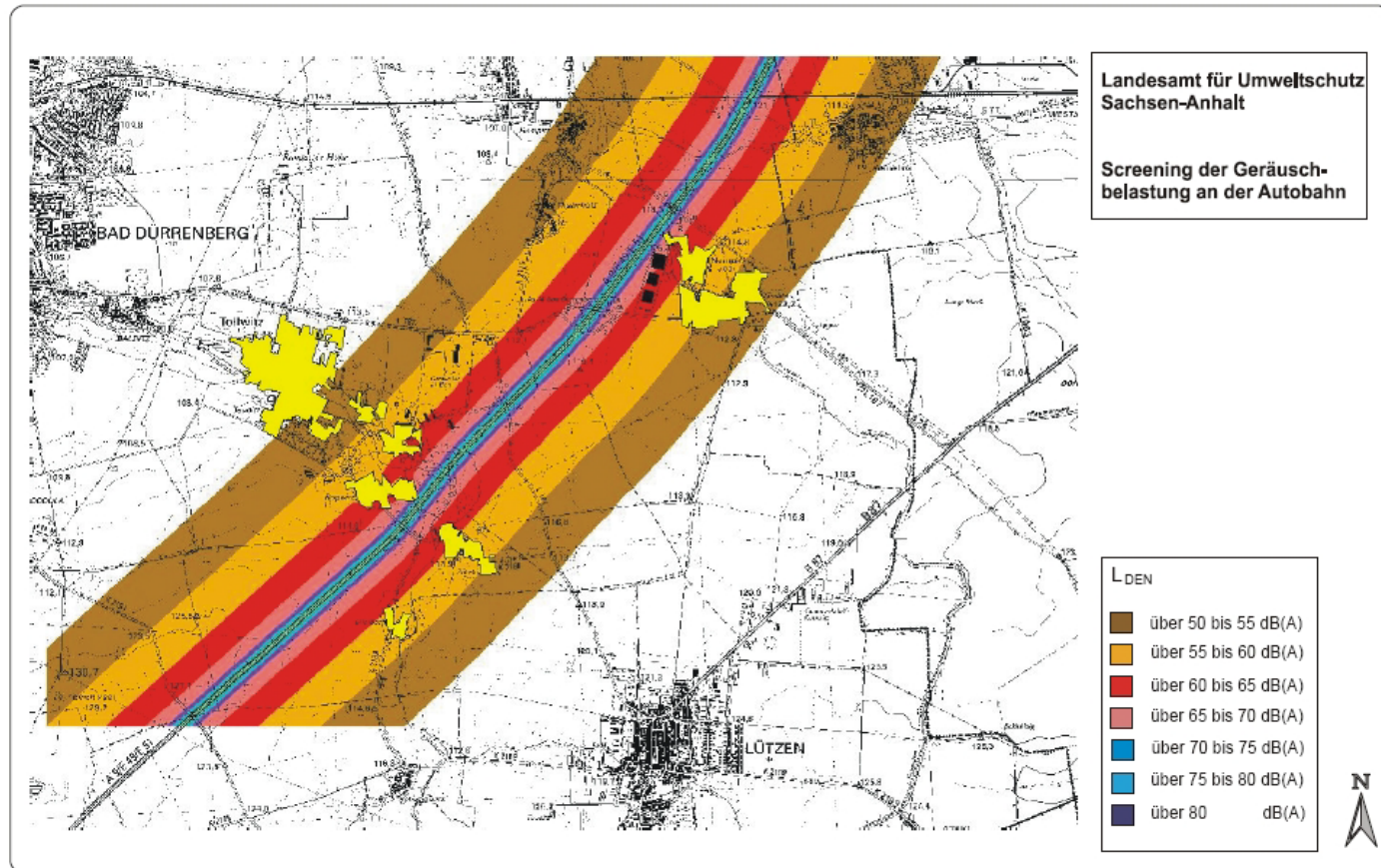
Wiesbaden - Biebrich bei
einem Wasserstand des
Rheins von ca. 90 m ü. NHN



Anwendungsbeispiele

Umweltschutz:

- Lärmschutz



Anwendungsbeispiele

Raum- und Stadtplanung:

- **Bauen im Bestand**

Hier werden Planungen der Architekten in die bestehende Umgebung eingepasst um die Gesamtwirkung beurteilen zu können.

- **Versiegelungsflächen**
- **3D-Stadtmodelle**
- **Dachformen und Gebäudehöhen**
- **Baumkataster**



Fortführung 3D-Daten

Aus OLB20 werden mittels Dense Matching 3D-Punktwolken der Oberfläche prozessiert, aus denen nach Vorhandensein aktueller OLB20 DOM1 berechnet und die DGM punktuell fortgeführt werden.



Ergebnisvisualisierung der pixelweise gematchten OLB20 im Bereich des Darmstädter Bahnhofs als colorierte 3D-Punktwolke mit einer Auflösung von 25 Punkten/m².



Was ist Luftbildphotogrammetrie?

Die Daten werden zu folgenden Produkten in der Landesverwaltung aufbereitet:

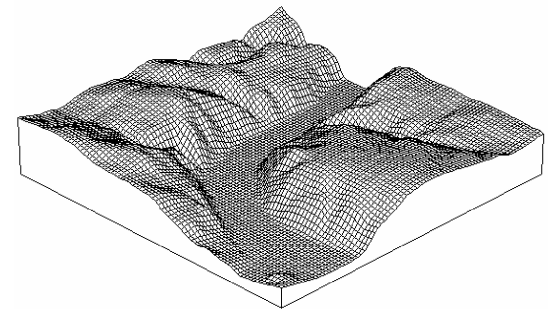
- Luftbildausschnitte
- Luftbildkarten
- Digitale Orientierte Luftbilder
- Digitale Orthophotos (DOP)
- Digitale Geländemodelle (DGM)¹⁾
- Digitale Oberflächenmodelle (DOM)¹⁾

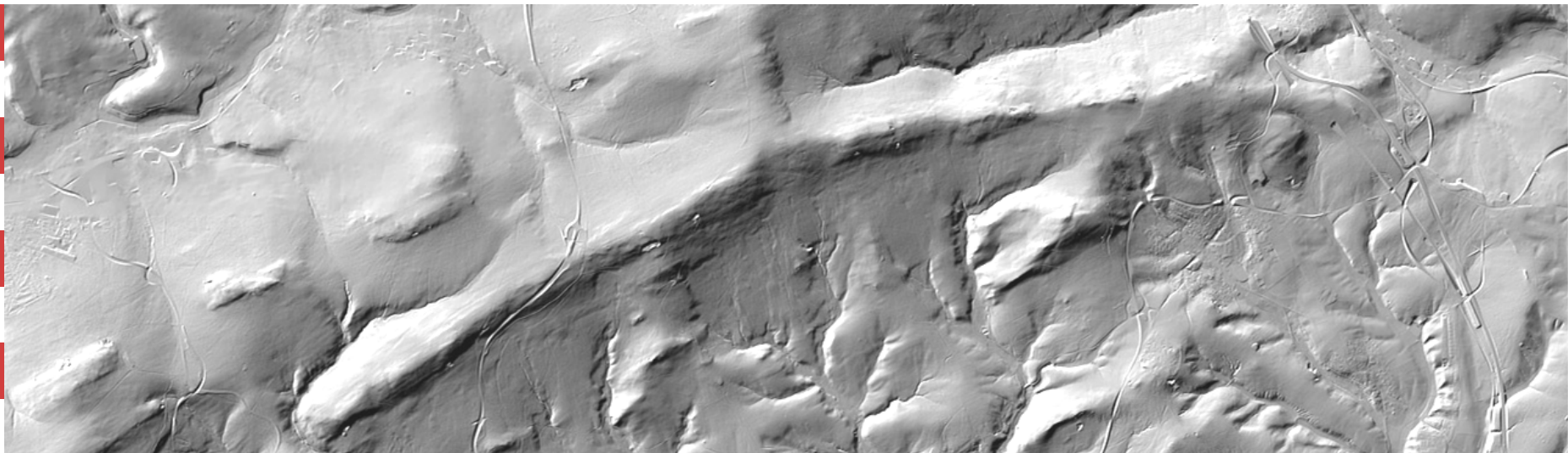
Ferner werden die Daten zur Aktualisierung

- des ATKIS Basis-DLM²⁾
- und
- der Topographischen Karten 1 : 25.000 und 1 : 50.000 genutzt

1) Vorwiegend aus Laserscannerbefliegungen abgeleitet

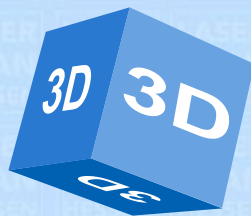
2) ATKIS = Amtliches Topographisches Kartographisches Informationssystem
DLM = Digitales Landschaftsmodell





LANDESWEITES LASERSCANNING HESSEN

Vielen Dank für die Aufmerksamkeit



Hessisches Landesamt für
Bodenmanagement und Geoinformation
Schaperstraße 16, 65195 Wiesbaden
www.hvbg.hessen.de

Thomas Lesch
Fernerkundung, 3D-Geoinformation
Tel.: 0611-535 -5565
thomas.lesch@hvbg.hessen.de

Literaturverzeichnis und Links

Karl Kraus: Photogrammetrie I + II, DeGruyter bzw. Dümmler Verlag

Jörg Albertz: Grundlagen der Interpretation von Luft- und Satellitenbildern.

www.hvbg.hessen.de

www.aerokart.ch

www.milan-flug.de

www.avt.at

www.dlr.de

www.vexcel-imaging.com

www.zeiss.de

www.meditec.zeiss.de

www.jena-optronik.com

www.leica-geosystems.com

www.zf-laser.com

www.riegl.com

www.inpho.de

www.intergraph.com

www.phocad.de

www.bullardextrem.com

www.socetset.com

www.wikipedia.org

www.fe-lexikon.info

www.uni-stuttgart.de

www.google.com



Übung 1. mit Lösung

1.) Bei einem Bildflug wird mit einem Luftbild ein quadratischer Geländeausschnitt von 2200 m Seitenlänge erfasst.

Das Flugzeug fliegt mit 295 km/h und löst alle 9 Sekunden eine Aufnahme aus.

a) Welche Längsüberdeckung (in %) ergibt sich dabei?

b) Welchen Maßstab hat das quadratische Luftbild, wenn das Gelände mit 529 cm² abgebildet wird?

Lösung

1.a)

$$295000\text{m}/3600\text{s} \times 9\text{s} = 738\text{m}$$

$$2200\text{m} - 738\text{m} = 1462\text{m}$$

$$1462\text{m}/2200\text{m} \times 100 = 66,5\%$$

1.b)

$$M = 220000\text{cm}/\sqrt{529\text{cm}^2} = 9565,22$$

Maßstab 1:9565



Übung 2. mit Lösung

2) Ein Satellit umkreist die Erde. Die mittlere Flughöhe über der Erdoberfläche beträgt 8630 km. Die Umlaufzeit um die Erde beträgt 5 Stunden, 4 Minuten 43 Sekunden.

a) Wie lang ist die Kreisbahn (Kreisumfang in km)?

b) Mit welcher Geschwindigkeit (km/h) umkreist der Satellit die Erde?

Lösung:

2.a)

$$U = 2 \times r \times \Lambda$$

$$U = 2 \times (6370 + 8630) \times \Lambda \\ = 94247,77961 \text{ km}$$

2.b)

$$5 \text{ Std. } 4 \text{ Min. } 43 \text{ Sec.} = 5,078611111 \text{ Std.}$$

$$94247,77961 \text{ km} / 5,078611111 \text{ Std.} = 18557,78628 \text{ km/h}$$

