

LASER
SCAN
HESSEN

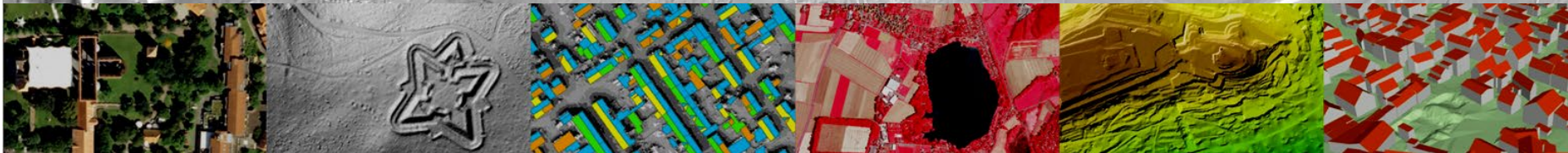
Fernerkundung 1

Geschichte und Grundlagen
der Photographie, Photogrammetrie und Fernerkundung
sowie korrespondierende Auswerteverfahren

GEOMATIKER AUSBILDUNG

Stand: 2026

Thomas Lesch



Fernerkundung

Unsere Aufgaben beispielhaft als „**Maßarbeit**“ (*Film*)



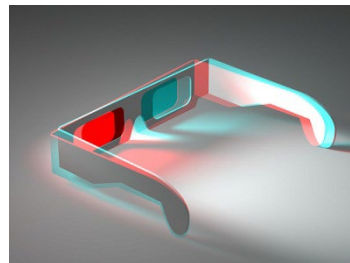
Fernerkundung der Gegenwart (*Film*)
„**Deutschland von Oben - Land**“ (ab 12:30)



Stereophotogrammetrie (*Spiegelstereoskop*)

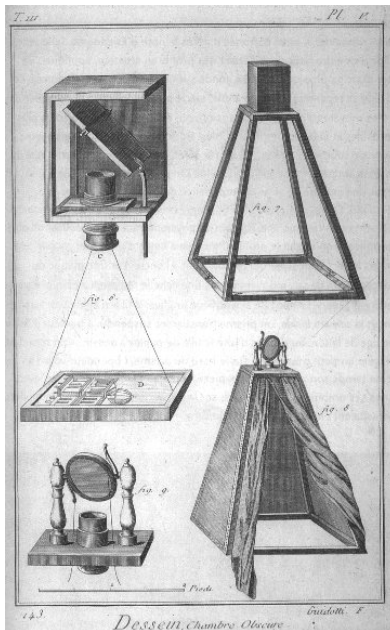
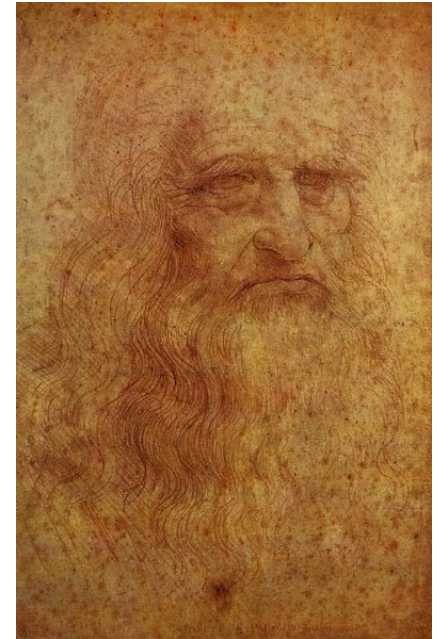


3D-Bilder (*Anaglyphenbilder*)



Geschichte der Photographie

Die Grundlage der Fernerkundung wurde während der Renaissance entwickelt. **Leonardo da Vinci**, **Piero della Francesca** und **Albrecht Dürer** erklärten den Gebrauch der Perspektive und setzten die seit Aristoteles bekannte Camera Obscura (**Lochkamera**) als erste in der Architektur bei der nachträglichen Erstellung von Bauplänen ein. Leonardo da Vinci verwendet als erster Sammellinsen als Objektiv.



1723 wird zum ersten mal eine **Lochkamera** zur Erstellung einer Karte eingesetzt. Die Aufnahme von Luzern erfolgte zeichnerisch vom Pilatusmassiv aus.



Geschichte der Fernerkundung

1826 erste Photographie (**Heliographie**) von Joseph Nicéphore Niépce [njɛps]

1839 verbessertes Verfahren (**Daguerrotypie**) von Louis Daguerre [da'ge:r]

1858 erste photographische Bilder aus **Fesselballon** in 80 m Höhe über Paris von Gaspar Tournachon, alias Nadar; Beginn der modernen Fernerkundung

1887 Förster kartieren **Baumarten** mithilfe von Luftaufnahmen **aus Ballons** (frühes Beispiel für photographische Interpretation)

1903 Entwicklung einer von **Brieftauben** getragenen Kleinkamera (Julius Neubronner)

1906 Luftaufnahme von Bord einer **luftdruckbetriebenen Rakete** aus einer Höhe von knapp 900m; die Kamera wurde in der Höhe ausgestoßen und landete per Fallschirm; Konstrukteur Albert Maul.

1919 erstes, thermales Infrarotbild aus einem **Flugzeug** (Hoffman)

1920er experimentelle, anwendungsorientierte Anwendung von Luftbildphotographie und Photogrammetrie (forstlich, geographisch, archäologisch), **erste großräumige Luftbilderkundungen** (Indonesien, Antarktis, Grönland)

1930er Entwicklung des **Radar** (D, UK, USA)



Geschichte der Fernerkundung

1939 - 1945 militärische Luftbildauswertung, Luftbildplanwerke, Farbfilmeneinsatz, CIR-Film (Aufdeckung von Tarnung), Einsatz von Flugzeugen

1957 Geräte zur Temperaturmessung an Bord des russischen **Sputnik I**

1959 erstes **photographisches Satellitenbild** (amerikanische Explorer-6-Mission)

1972 erstes **digitales Satellitenbild** der Erderkundung (Scanner an Bord des ERTS-1, syn. Landsat-1)

1981 erster **Space Shuttle-Flug**

ab 1986 stereophotogrammetrisch auswertbare Bilddaten mit dem Satellitensystem **SPOT**

ab 1990 Raumstationen zur operationellen Fernerkundung

1995 Start von **OrbView-1**, dem ersten kommerziellen Satelliten zur Erstellung von Satellitenbildern

2002 Start von **ENVISAT** - dem größten europäischen Umweltsatelliten

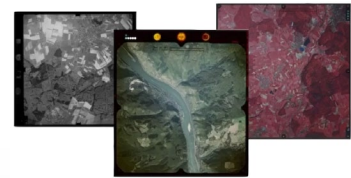
2014/16 Start von **Sentinel-1** - Radarsatelliten (Sentinel-1A & Sentinel-1B, -1C & -1D sind beauftragt)

2015/17 Start von **Sentinel-2** - optische Erdbeobachtungssatelliten (Sentinel-2A & Sentinel-2B)

Aktuell sind zwei Trends auszumachen, die einen zunehmend vielseitigen Einsatz erlauben: einerseits die Entwicklung zu immer feinerer spektraler Differenzierung und **höherer Auflösung**, andererseits die Entwicklung zu großräumiger Erfassung für **globales Monitoring**.



Historische Luftbilder



Im Landesluftbildarchiv des Hessischen Landesamtes für Bodenmanagement und Geoinformation befinden sich zurzeit ca. 500.000 Luftbild-Originale aus acht Jahrzehnten. Die Luftbilder liegen meist im Maßstab 1:13 000 vor, die Jahrgänge 1975, 1981, 1985, 1989 und 1999 im Maßstab 1:24 000. Die ältesten Aufnahmen sind aus dem Jahr 1934.

Anwendung

Luftbilder sind eine ideale Grundlage für eine Vielzahl von Anwendungen mit Raumbezug. Die Erdoberfläche mit ihrer Topographie wird real dargestellt. Historische Vergleiche mittels Zeitreihen zeigen anschaulich bauliche und natürliche Veränderungen der Landschaft.

Historische Luftbilder finden z. B. in folgenden Fällen Anwendung:

- Planungsgrundlage für Land- und Forstwirtschaft
- Ermittlungen von Umwelt-, Sturm- oder Hochwasserschäden
- Bodenkundliche Erhebungen



Historische Luftbilder



- Aufgaben im Bereich des Naturschutzes, zum Beispiel Altlastenermittlung
- Bestimmung von Geländeformen und -höhen mittels stereoskopischer Auswertung
- Zeitdokumentationen (Erstellung von Zeitreihen)
- Dokumentation und Beweissicherung
- Archäologische Forschungshilfe
- Kampfmittelbeseitigung
- 3D-Auswertungen von historischen Wegestrukturen, Boden- und Kulturdenkmälern
- Repräsentatives Geschenk

Ausgabe

Von den Filmnegativen oder Filmdias der Luftbild-Originale oder aus den digitalen Datenbeständen werden analoge Ausgaben auf hochwertigem Papier gedruckt oder als digitale Rasterdaten ausgegeben.

Seit 2001 stehen alle Luftbilder in Farbe zur Verfügung.

Auf Wunsch stellen wir auch Ausschnittvergrößerungen her.



Digitalisierung historischer Luftbilder

Photogrammetrischer Präzisionsscanner Leica DSW 700



- CCD Kamera, sie verfügt über ein Feld von 4000 x 2700 Pixel
- Scannen von Einzelbildern und Rollenfilmen
- Maximale Scanauflösung 12.5 μm (2016 dpi)
- Format bis 260 x 260 mm
- Speicherformat TIFF



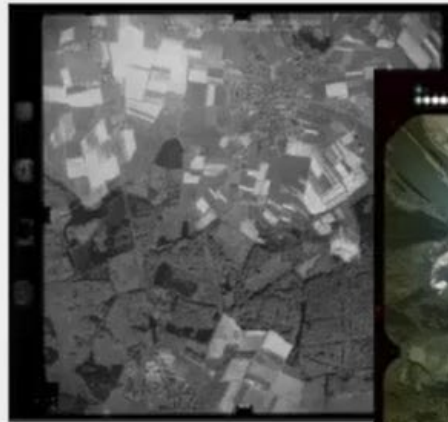
Historische Luftbilder

Formate

- 23 cm x 23 cm (überwiegend)
- 18 cm x 18 cm (meist Filme der 50er Jahre)

Filmmaterial

- schwarz/weiß
- farbig
- Infrarotfilm



Historische Luftbilder

Kennzeichnung

Libelle

Uhr

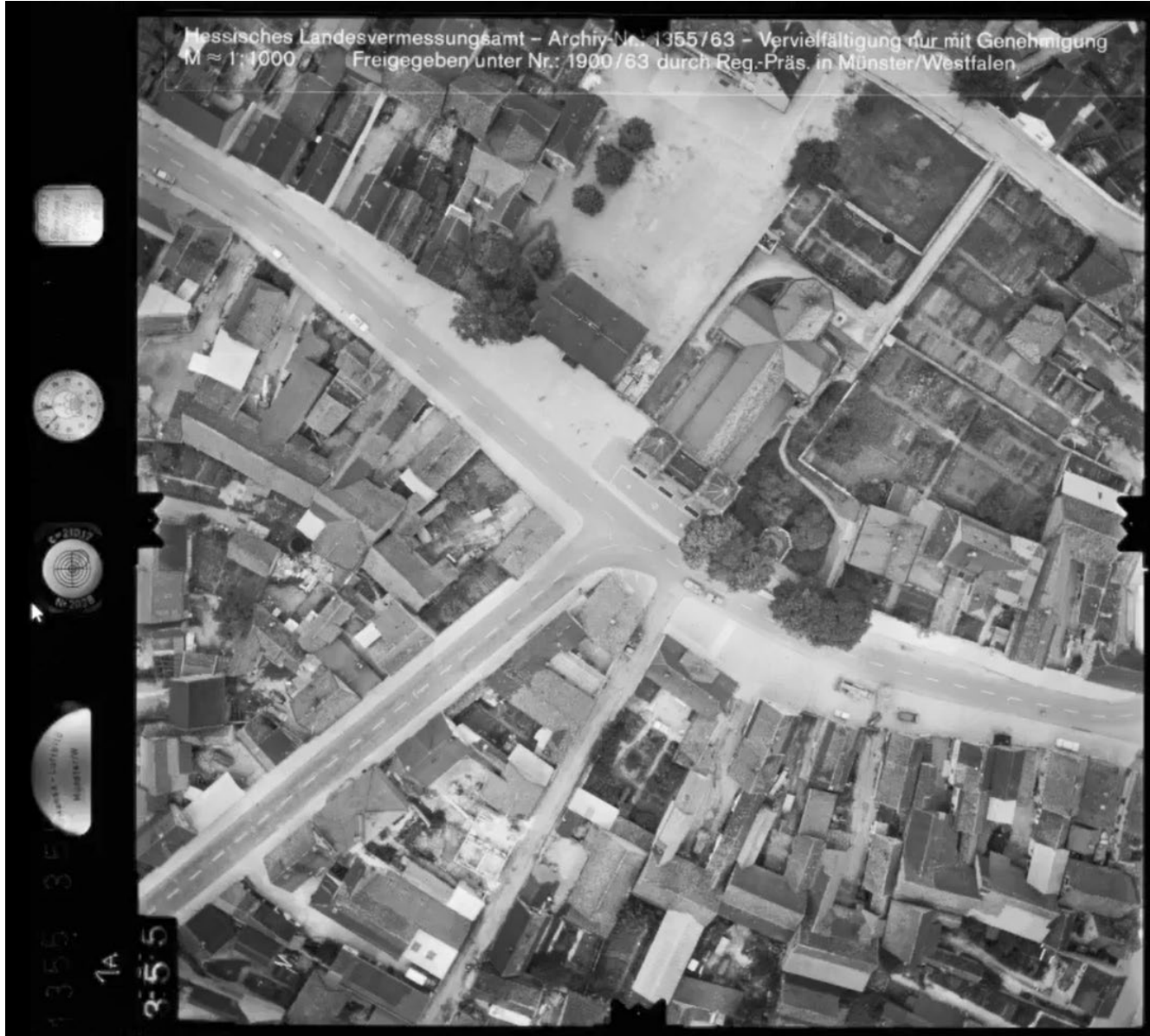
Höhenmesser

Bildnummer



Am nördlichen Bildrand ist der Aufkleber „Hessisches Landesvermessungsamt“ montiert, der auch zur Ausrichtung beim Scannen dient.

Historische Luftbilder (Beispiel 1:1000 SW)



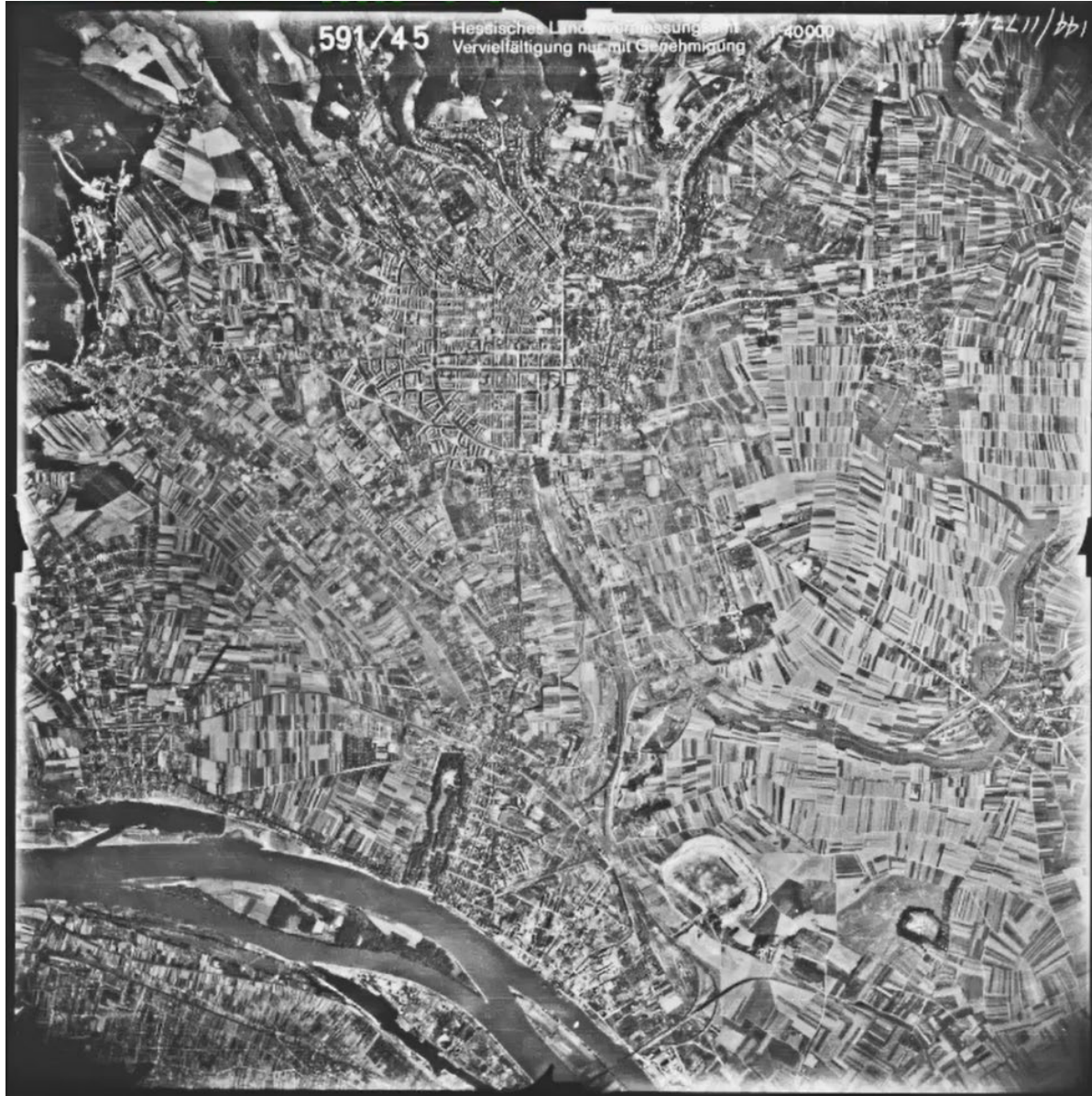
Historische Luftbilder (Beispiel 1:13000 SW)



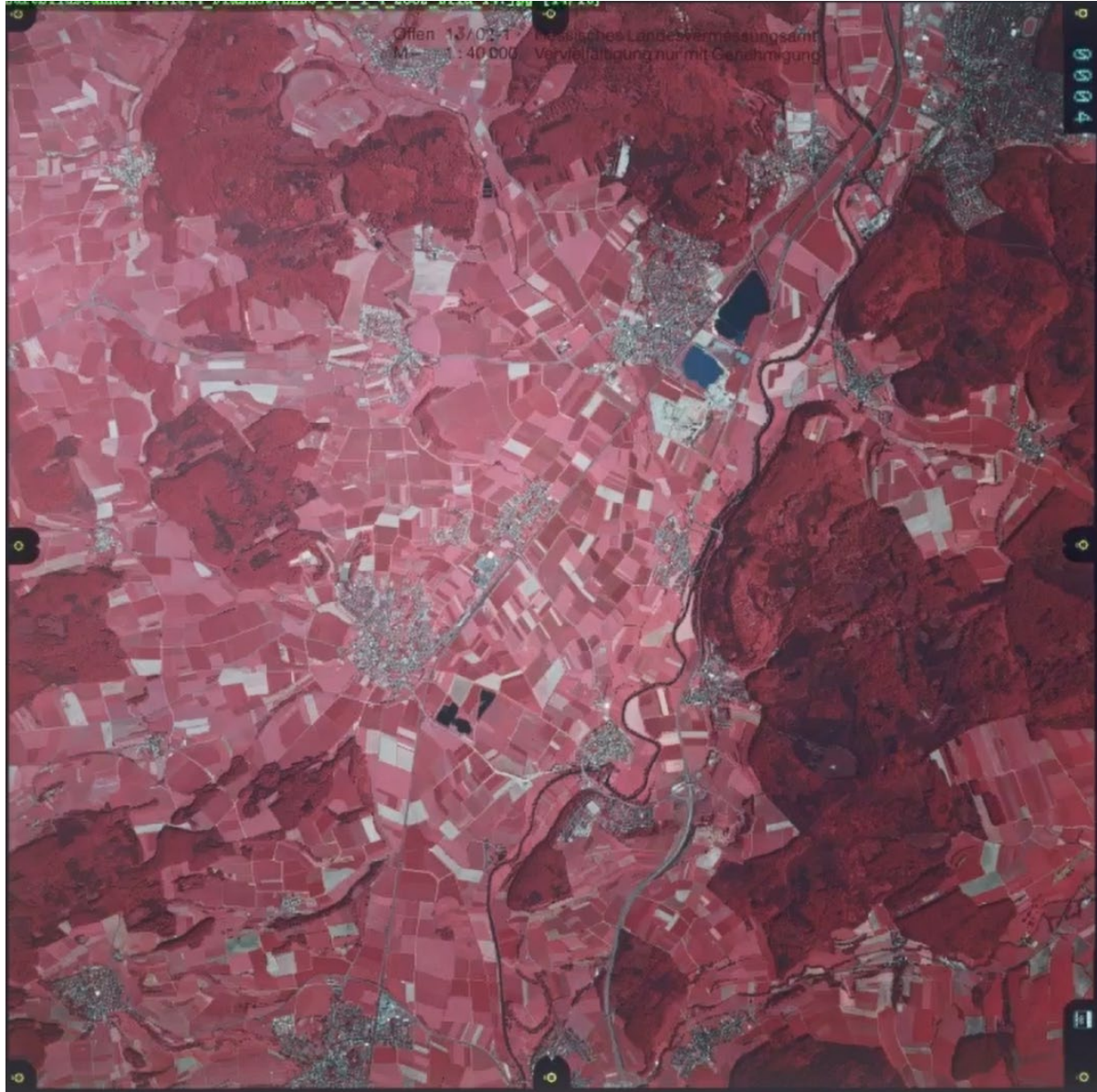
Historische Luftbilder (Beispiel 1:25000 SW)



Historische Luftbilder (Beispiel 1:40000 SW)



Historische Luftbilder (Beispiel 1:40000 CIR)



Historische Luftbilder (Beispiel 1:4000 RGB)



Grundlagen der Fernerkundung

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



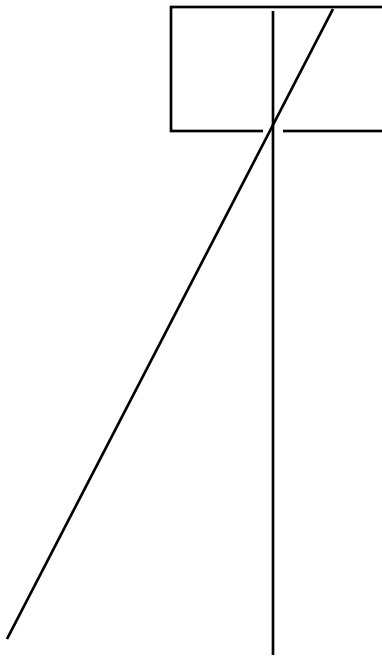
Luftbild zur **photogrammetrischen Auswertung** (Luftbildmessung) der Topographie mit dem Ziel der Kartenherstellung.



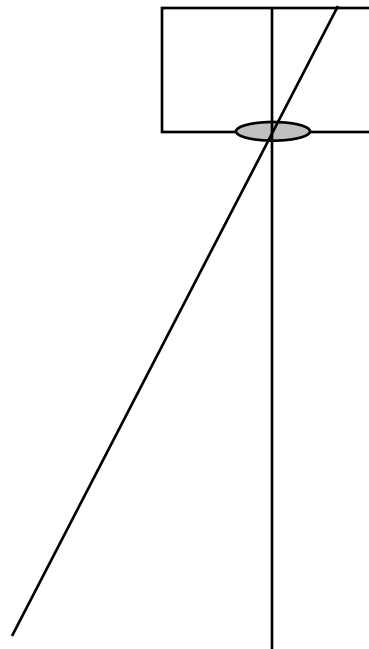
Grundlagen

Die Techniken beziehen sich auf die **Geometrie der Abbildung einer Lochkamera**.

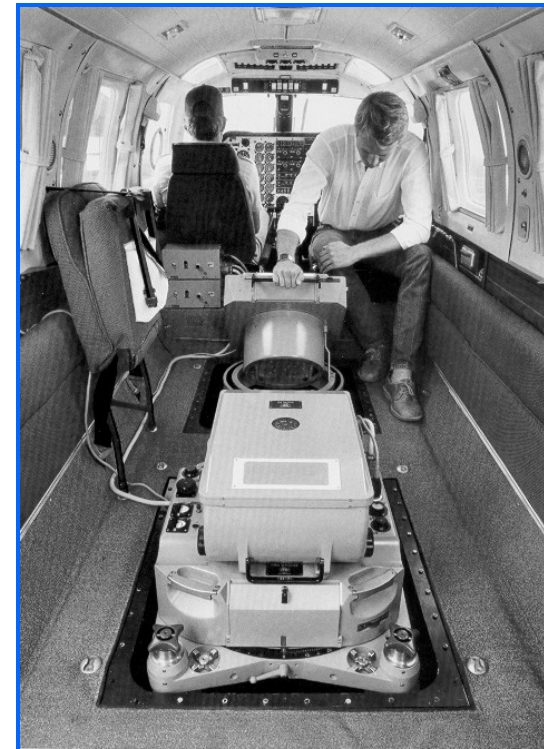
Lochkamera



Kamera mit
Objektivlinse



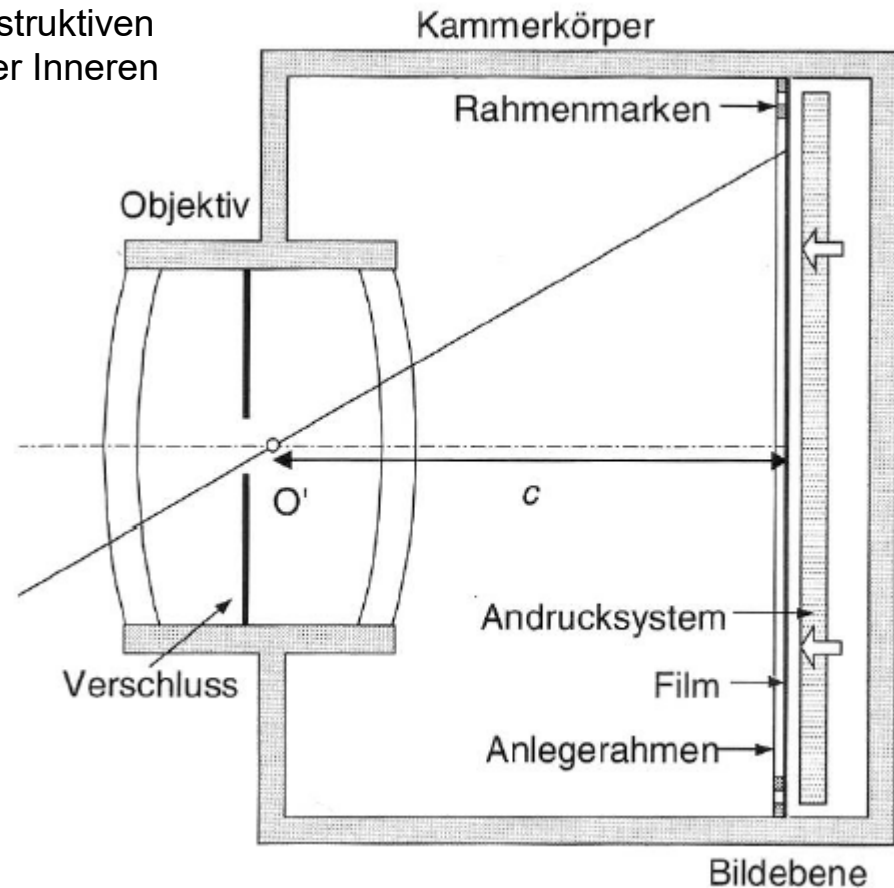
Reihenmesskammer



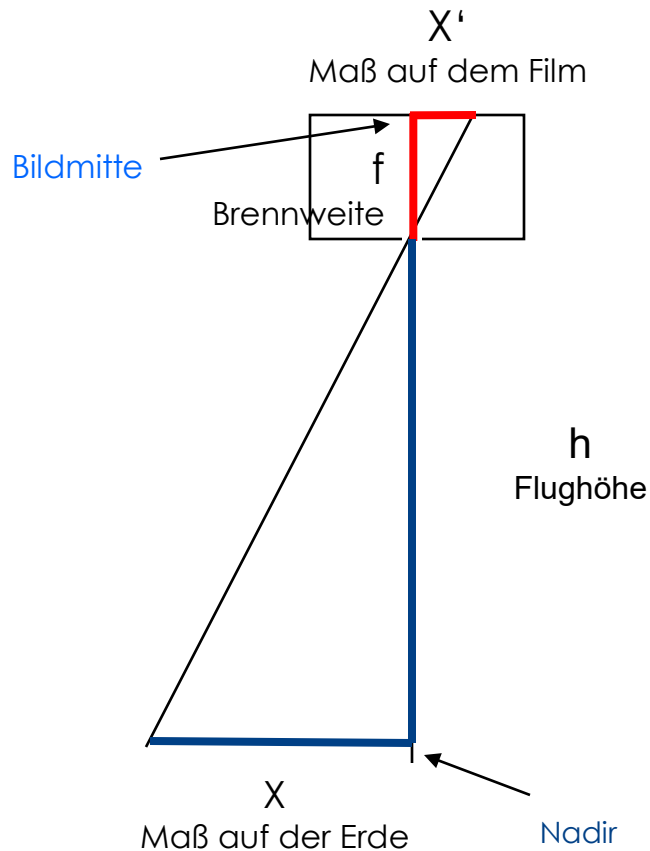
Grundlagen

Definition Messkamera

Mechanisch stabiles (schweres) Aufnahmegerät, das auf Grund seiner besonderen konstruktiven Merkmale über konstante Elemente der Inneren Orientierung verfügt.



Grundlagen



Der **Strahlensatz** ist die mathematische Grundlage der photographischen Abbildung

$$\frac{X'}{f} = \frac{X}{h}$$

Übertragen in die Photogrammetrie

$$\frac{\text{Maß auf dem Film}}{\text{Brennweite}} = \frac{\text{Maß auf der Erde}}{\text{Flughöhe}}$$

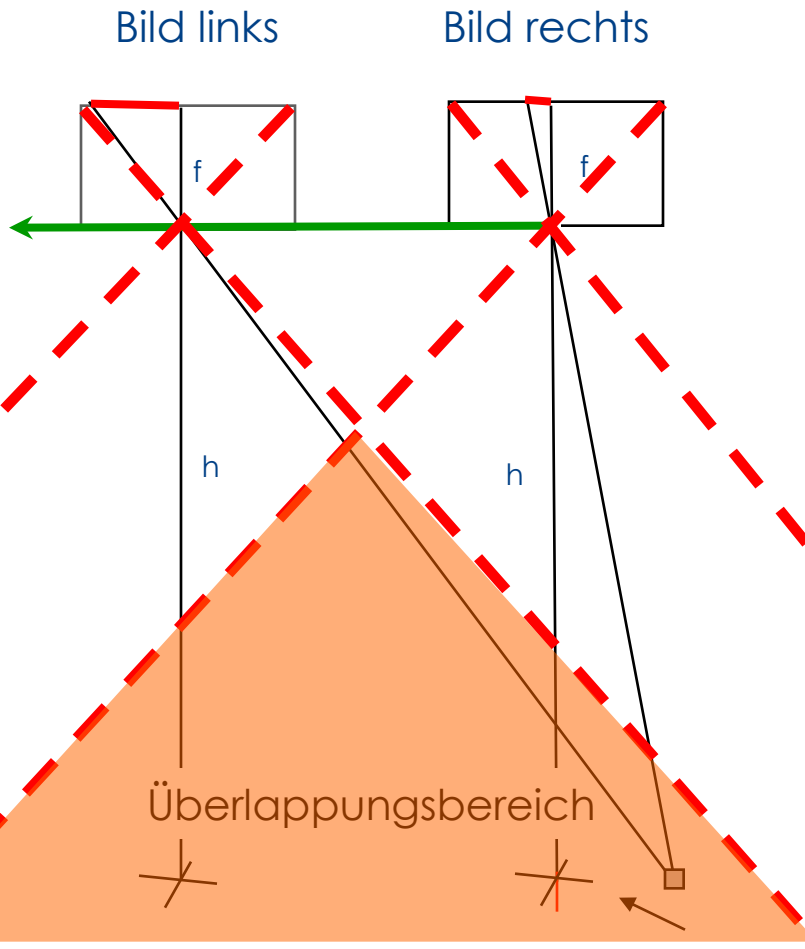
$$\frac{\text{Maß auf dem Film}}{\text{Maß auf der Erde}} = \frac{\text{Brennweite}}{\text{Flughöhe}}$$

Problem:
Die Flughöhe **h** ist nicht genau bekannt

Das Verhältnis von Brennweite zur Flughöhe ist der Bildmaßstab

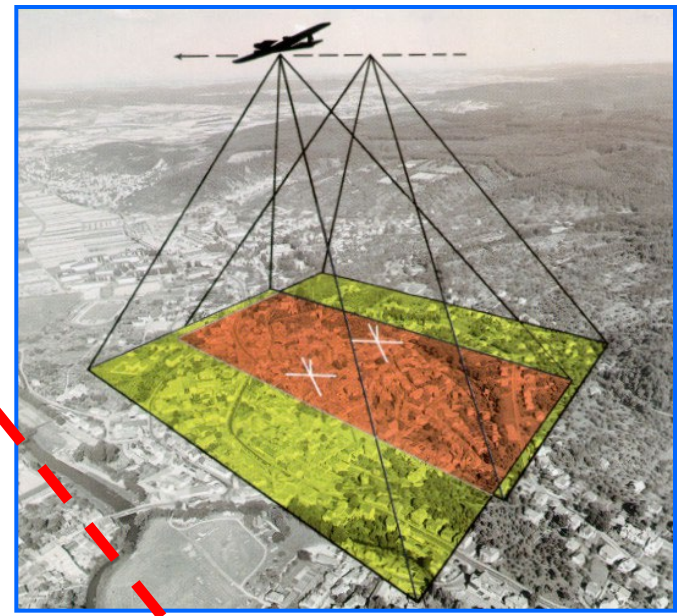


Grundlagen

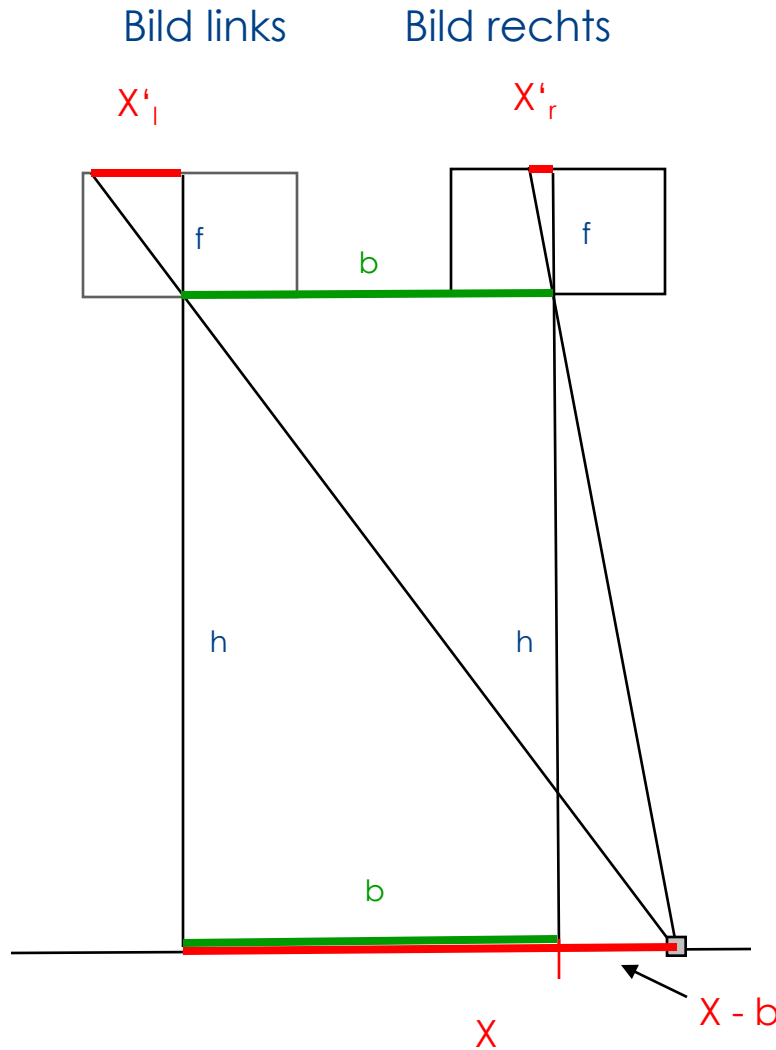


Stereobild

Zwei aufeinander folgende Aufnahmen mit gleicher Kamera parallel ausgerichtet aus gleicher Höhe.



Grundlagen



$$\frac{X'_l}{f} = \frac{X}{h}$$

$$\frac{X'_r}{f} = \frac{X-b}{h}$$

nach X auflösen

$$X = \frac{X'_l}{f} * h \quad X = \frac{X'_r}{f} * h + b$$

nach h auflösen

$$\frac{X'_l}{f} * h = \frac{X'_r}{f} * h + b$$

$$X'_l * h = X'_r * h + b * f$$

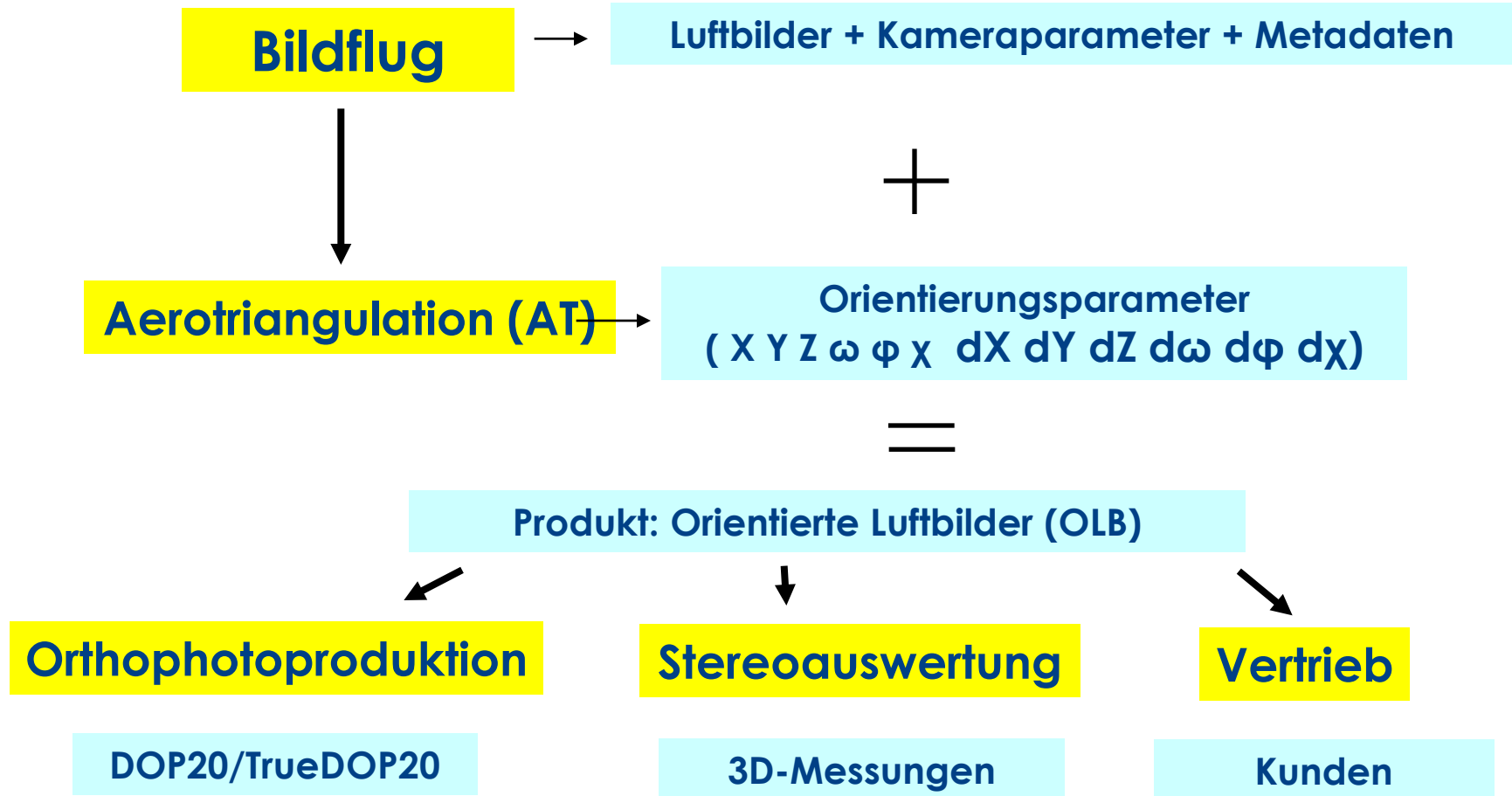
$$X'_l * h - X'_r * h = b * f$$

$$h = \frac{b * f}{X'_l - X'_r}$$

$$X = \frac{X'_l}{f} * h$$



Ablaufdiagramm



Aerotriangulation (AT)

Ergebnisse einer Triangulation mit überlappenden Luftbildaufnahmen



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



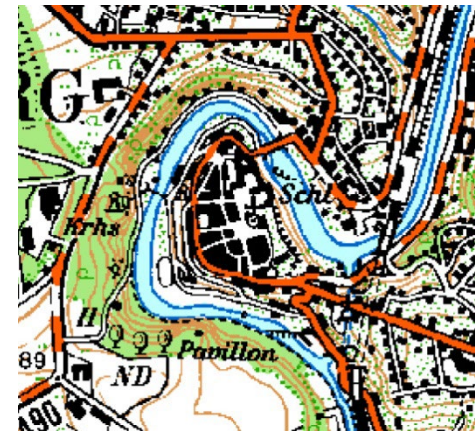
Orthophotos



Dieses Orthophoto zeigt die Altstadt Weilburgs. Das Bild ist entzerrt, d.h. es ist maßstabstreu. Die Geometrie des Photos ist die einer Karte.

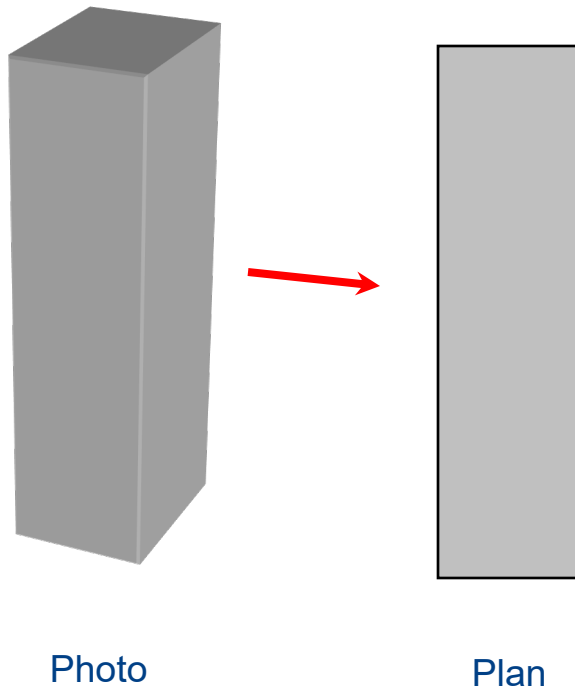
Orthophoto = orthogonal = rechteckig

Das Orthophoto verbindet den Vorteil des natürlichen Fotos mit der geometrischen Genauigkeit einer Karte (je nach Abbildung strecken- und winkeltreu). Beschriftet und mit Kartenrahmen ausgearbeitet, wird das Luftbild als Luftbildkarte bezeichnet.



Orthophotos

Bei der Herleitung der Abbildungsgleichung einer Kamera wurde nachgewiesen, dass es nicht möglich, ein Gelände aus einer Aufnahme zu rekonstruieren. Ist aber die Oberflächenform bekannt, kann durch eine Entzerrung ein Photo in ein Bildplan umgewandelt werden.

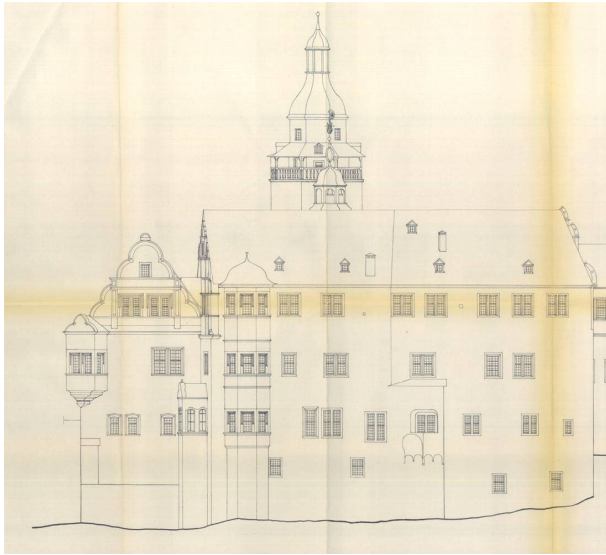


Eine solche bekannte Oberfläche kann z.B. eine Fassade sein, oder ein Geländemodell.

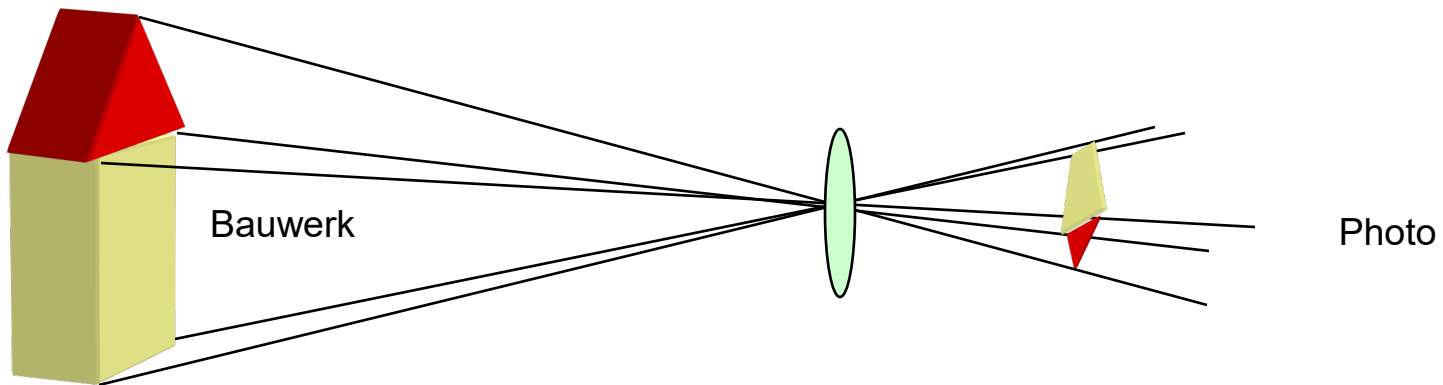
Bei einer Fassade oder bei Luftaufnahmen in ebenem Gelände kann man mit einer einfachen Methode einfache Kartierungen erstellen.



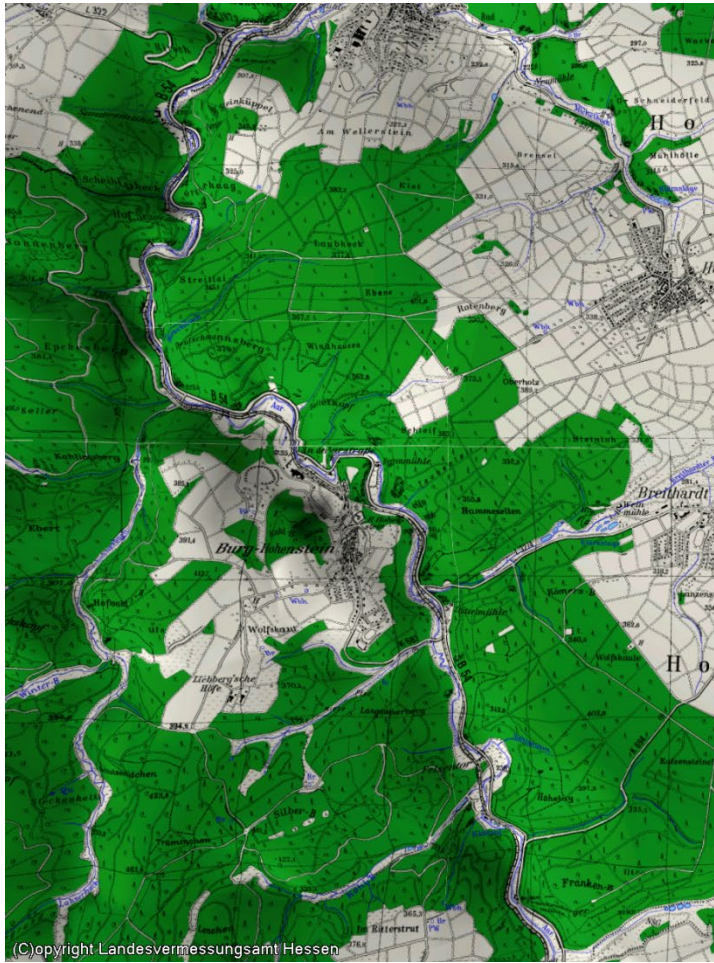
Orthophotos



Fassadenaufnahme
und Plan vom
Schloss Weilburg



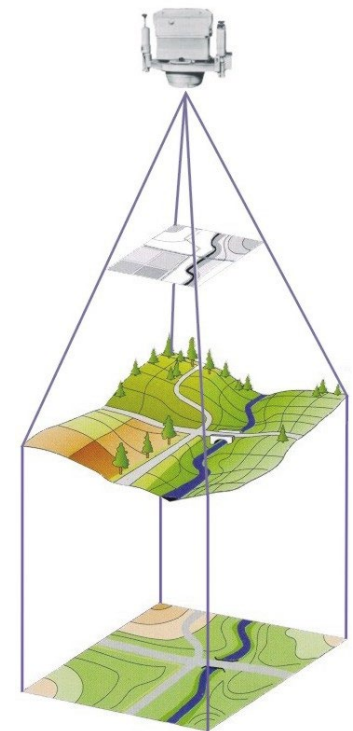
Orthophotos



Ein **Orthophoto** (griech.] orthós richtig, gerade, aufrecht) ist ein senkrecht zur Erdoberfläche aufgenommenes, perspektivisch entzerrtes und damit maßstabsgenaues **Luftbild**.

Hauptvorteil eines Orthophotos gegenüber einem perspektivisch verzerrtem Luftbild ist, dass Distanzen auf ihm gemessen werden können. Mehrere Orthophotos können zudem zu einem **Orthophotomosaik** zusammengesetzt werden. Luftbilder sind perspektivisch verzerrt und müssen, wenn sie Entfernungen richtig wiedergeben sollen, insbesondere dann entzerrt werden, wenn das Gelände sehr uneben ist.

Bei der Herstellung eines Orthophotos darf das Luftbild nicht als Ganzes einheitlich entzerrt werden. Vielmehr wird jede einzelne Stelle des Luftbildes individuell entzerrt (**differentielle Entzerrung**).



Luftbildkamera Beispiel 1 - 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



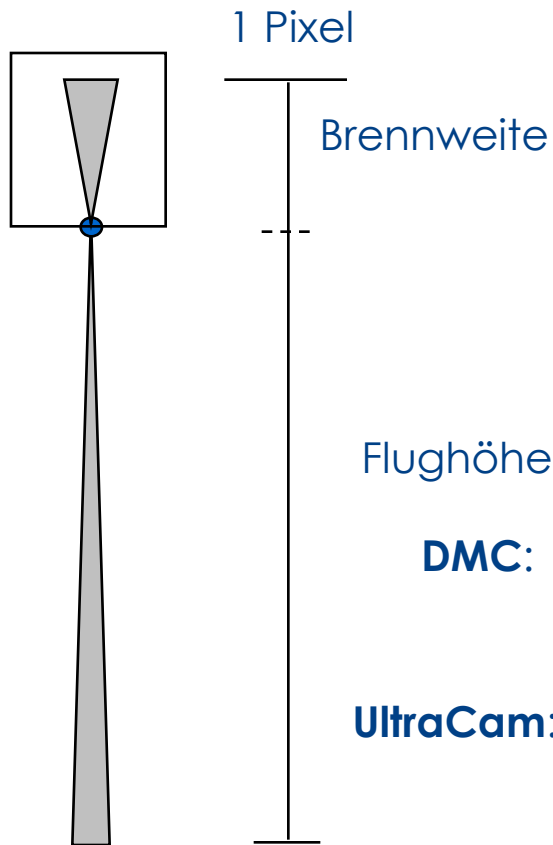
Luftbildkamera Beispiel 2 - UltraCamD

Sensor	
Panchromatisch	7500 x 11500 Pixel
Bildformat	
Bildgröße	67.5 x 103.5 mm
Pixelgröße	
Panchromatisch	9 x 9 μm
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)



Qualitätsanforderung

Bodenauflösung	min. 20 cm
Bildflug	Ost - West / West - Ost
Datentyp	Tiff Tiled
Farbtiefe	16 Bit
Farbraum	rgbi
Längsüberdeckung	60% - 80%
Querüberdeckung	30% - 80%
Standardabweichung der ext. Orientierung X , Y	$d_x , d_y \leq \pm 15 \text{ cm}$
Standardabweichung der ext. Orientierung der Höhe	$d_z \leq \pm 10 \text{ cm}$
Standardabweichung der ext. Orientierung ψ, φ	$d\psi, d\varphi \leq \pm 0.002 \text{ gon}$
Standardabweichung der ext. Orientierung α	$d\alpha \leq \pm 0.02 \text{ gon}$



Anwendungsbereiche

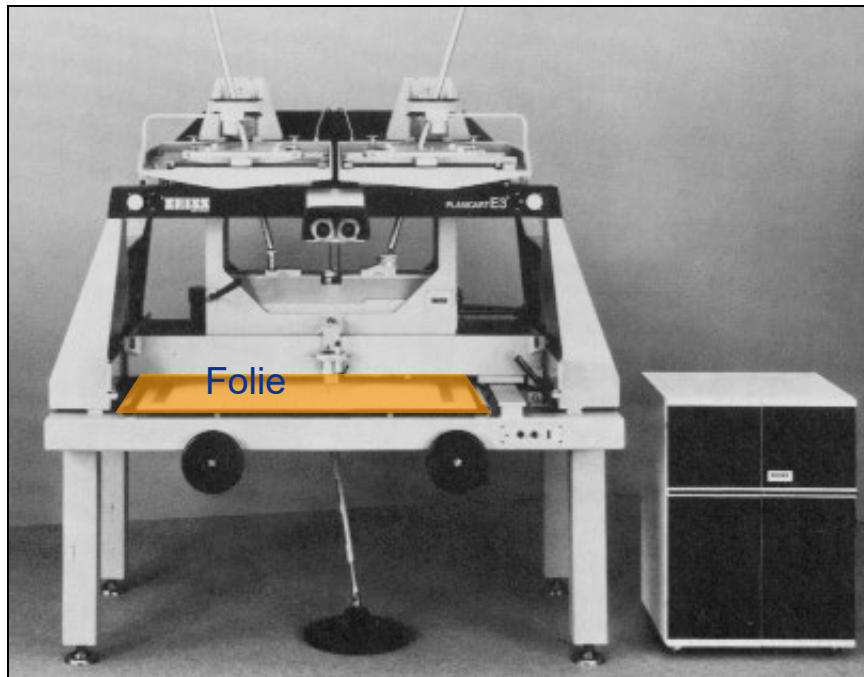
- Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben
- Raum- und Stadtplanung
- Tourismus
- Land- und Forstwirtschaft
- Umweltschutz
- Geologie
- Geographie
- Geodäsie
- Archäologie und Denkmalpflege
- Verkehrsplanung
- Forschung und Lehre



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

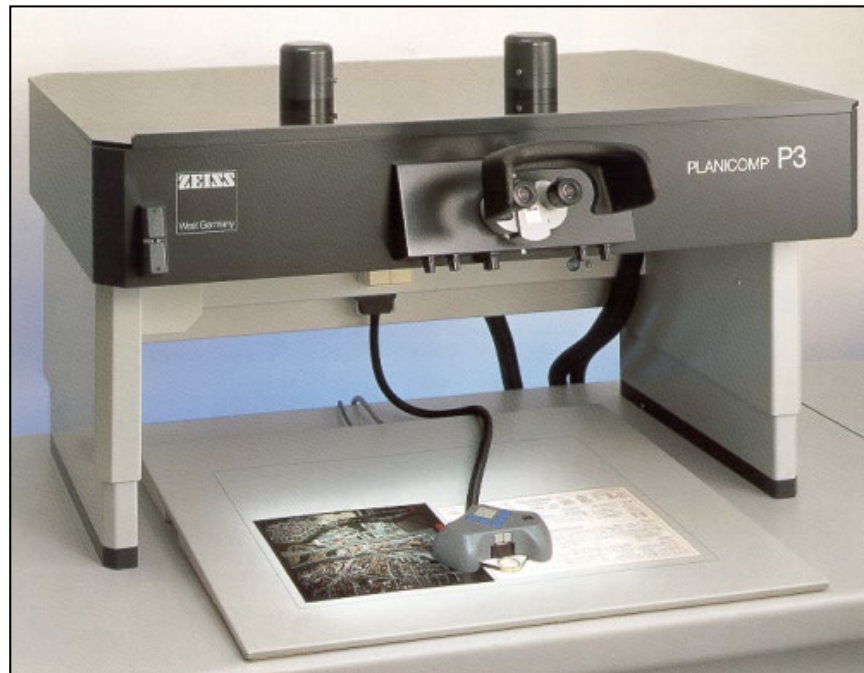
Messungsergebnisse:
analog auf Folie/Papier, nach
Digitalisierung für das DGM nutzbar.



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

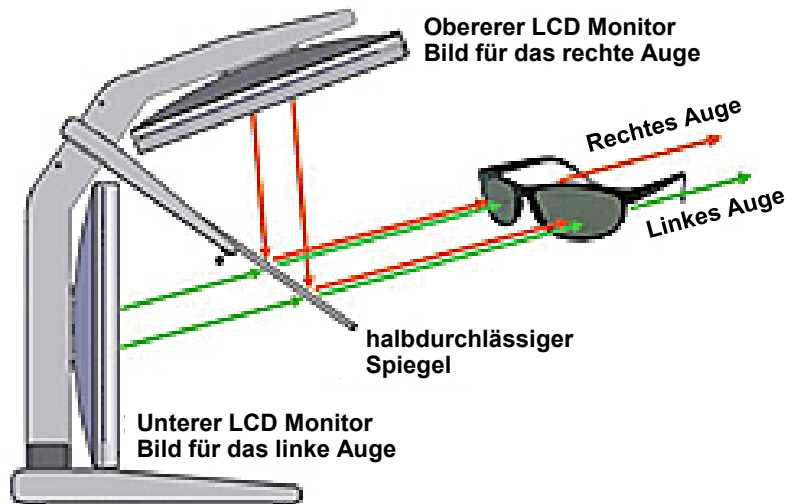


Photogrammetrische Auswertegeräte - Digital

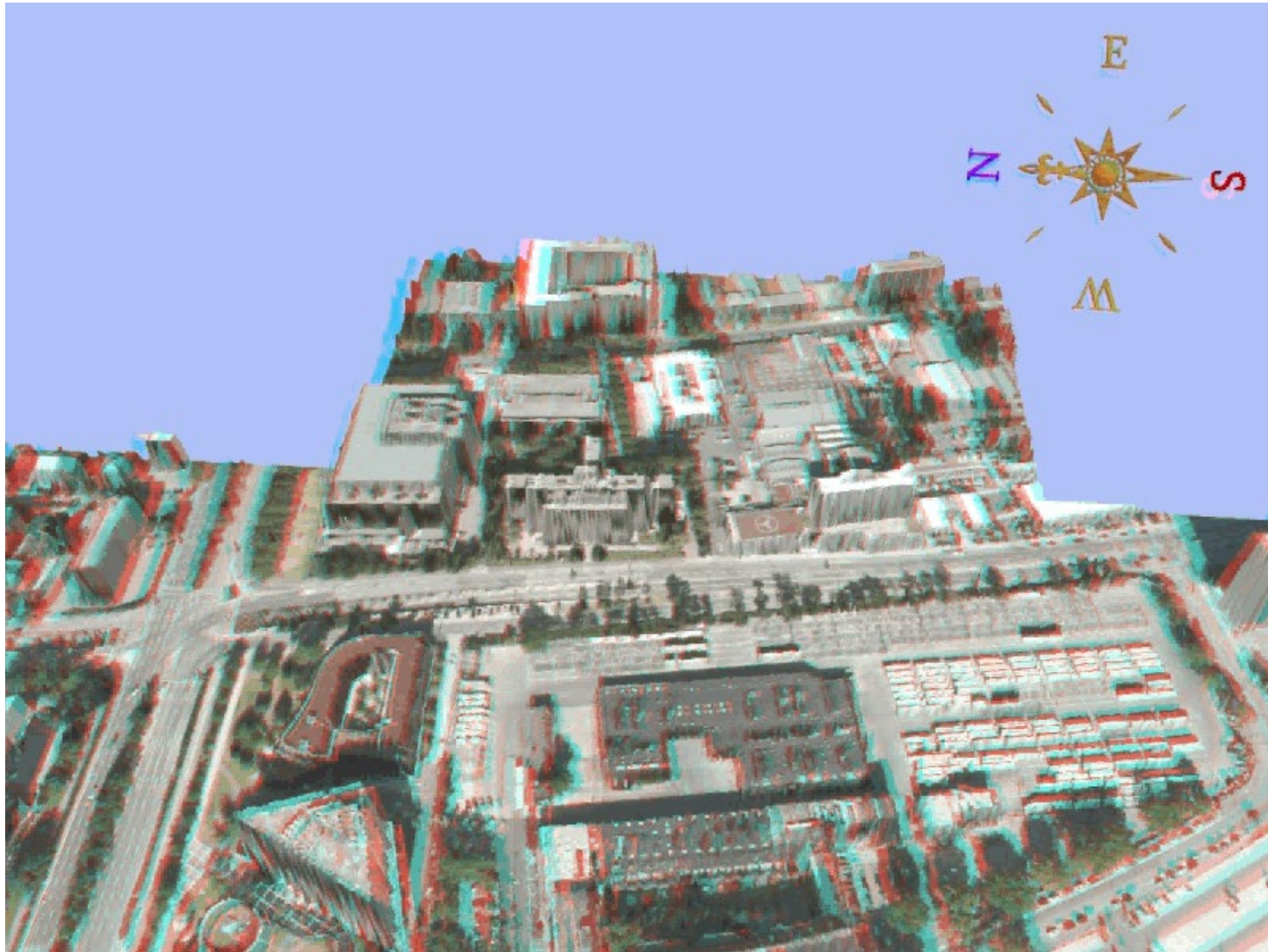
Digital

PLANAR-System / DTMaster

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



3D Modelle aus DOP20 und DOM1 (Laserdaten)

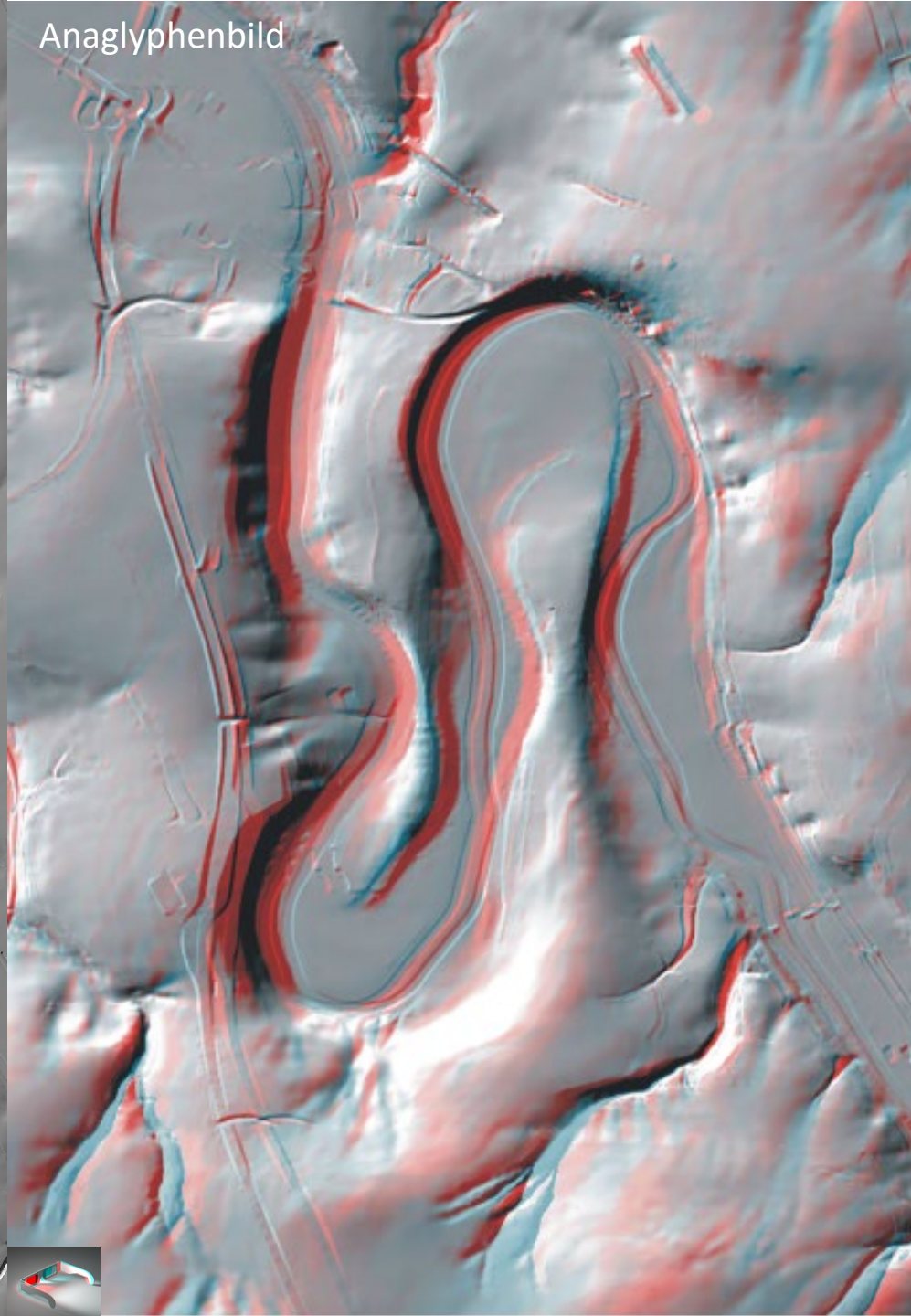


Fuldaschleife
bei Guxhagen

Schummerung



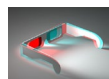
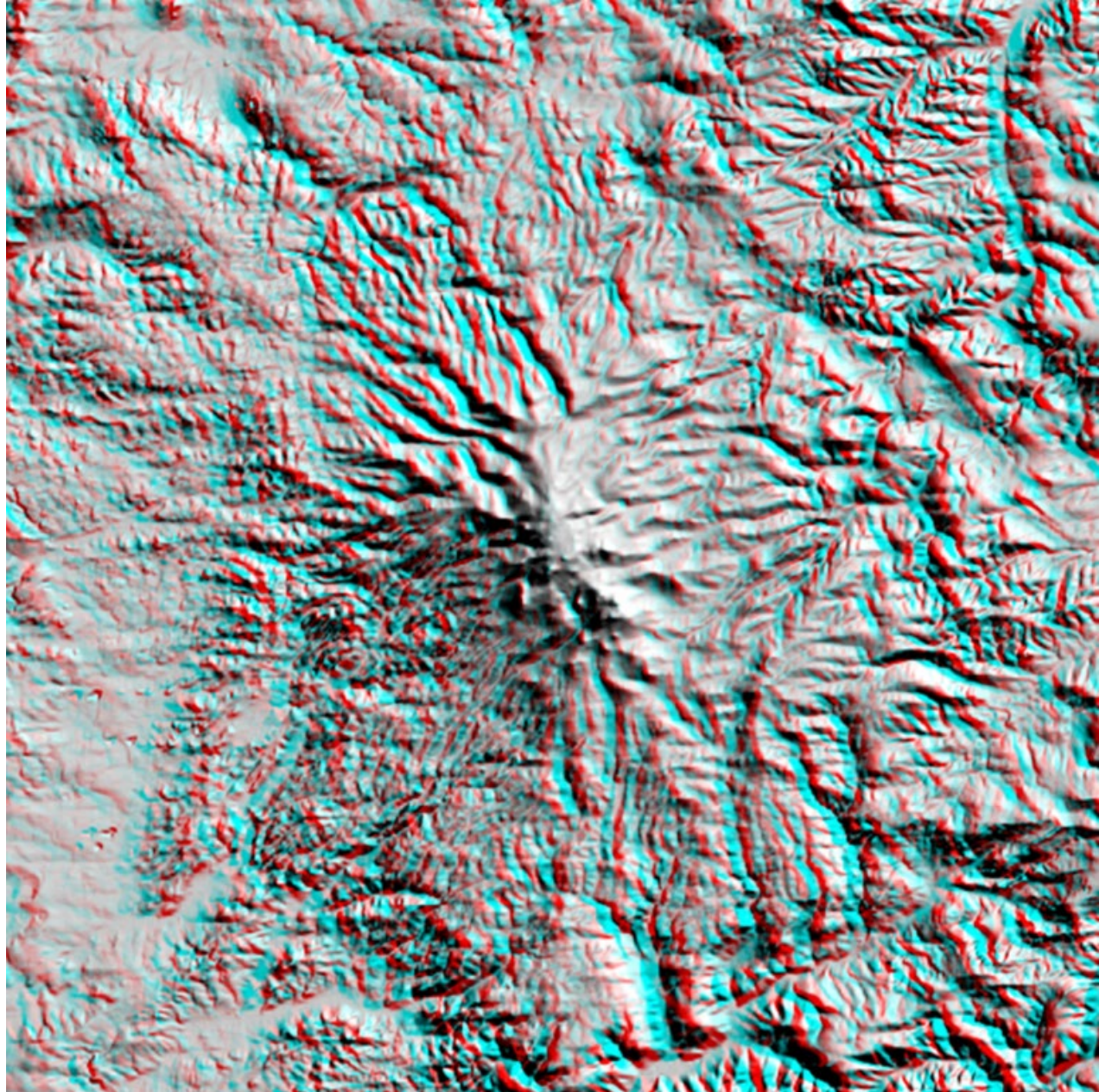
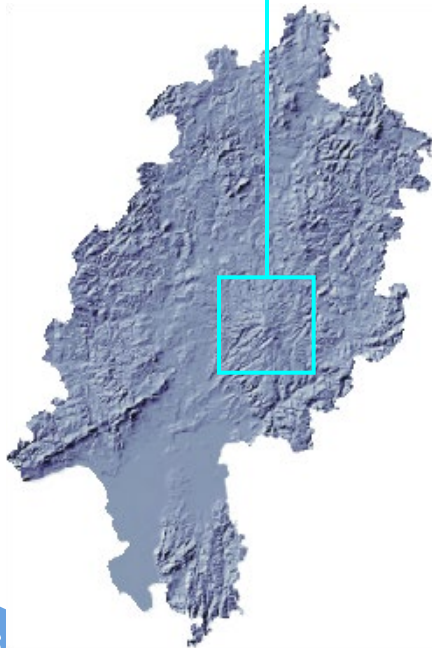
Anaglyphenbild



1

Vogelsberg

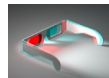
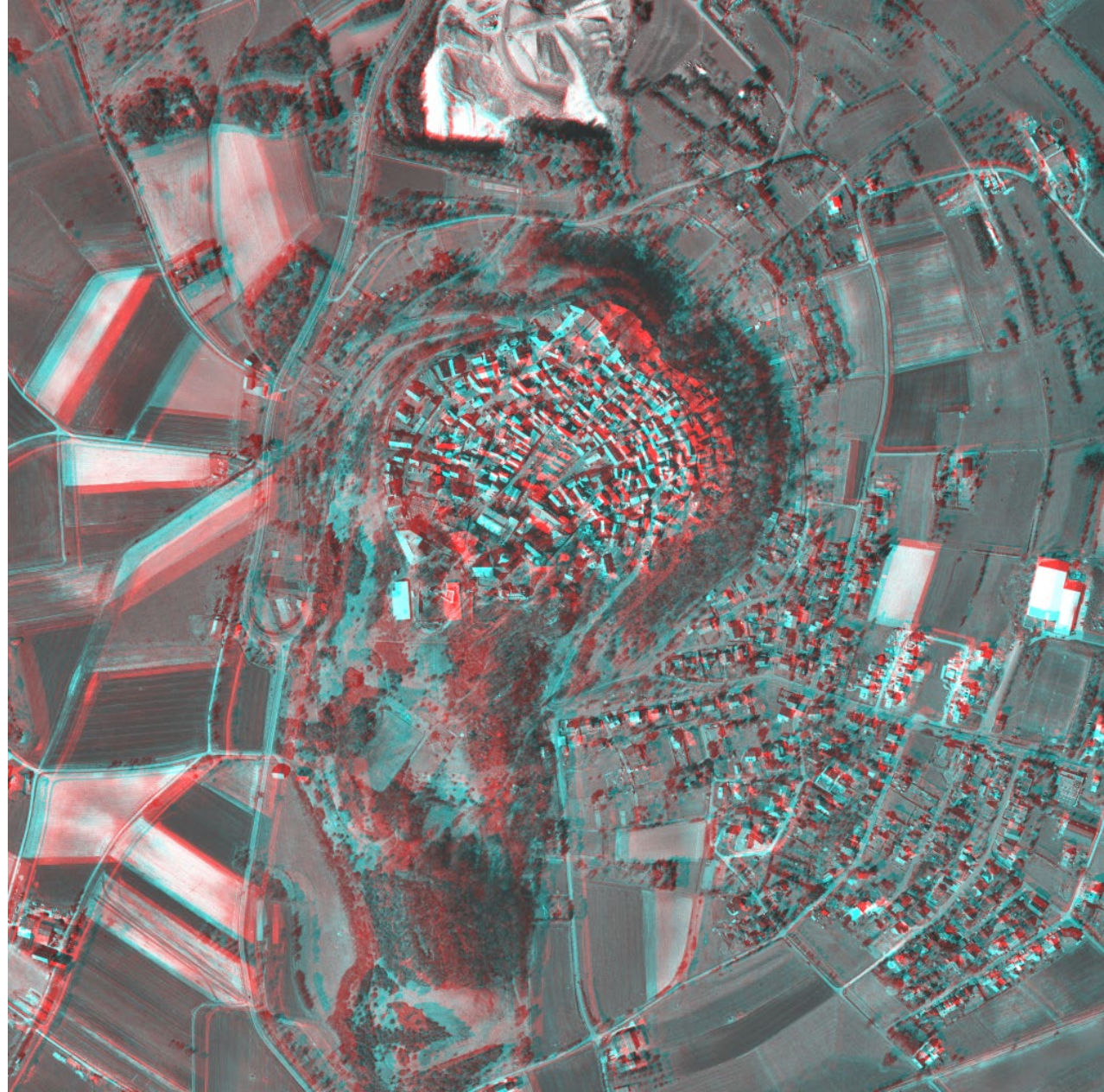
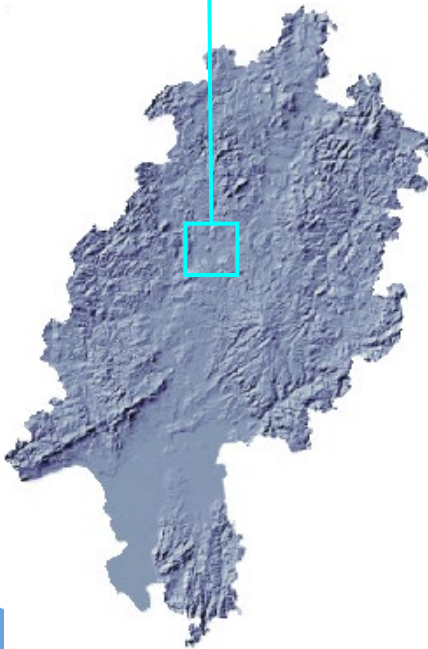
Abgeleitet aus dem Digitalen Geländemodell,
Reliefdarstellung (Schummerung)



2

Amöneburg

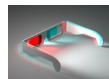
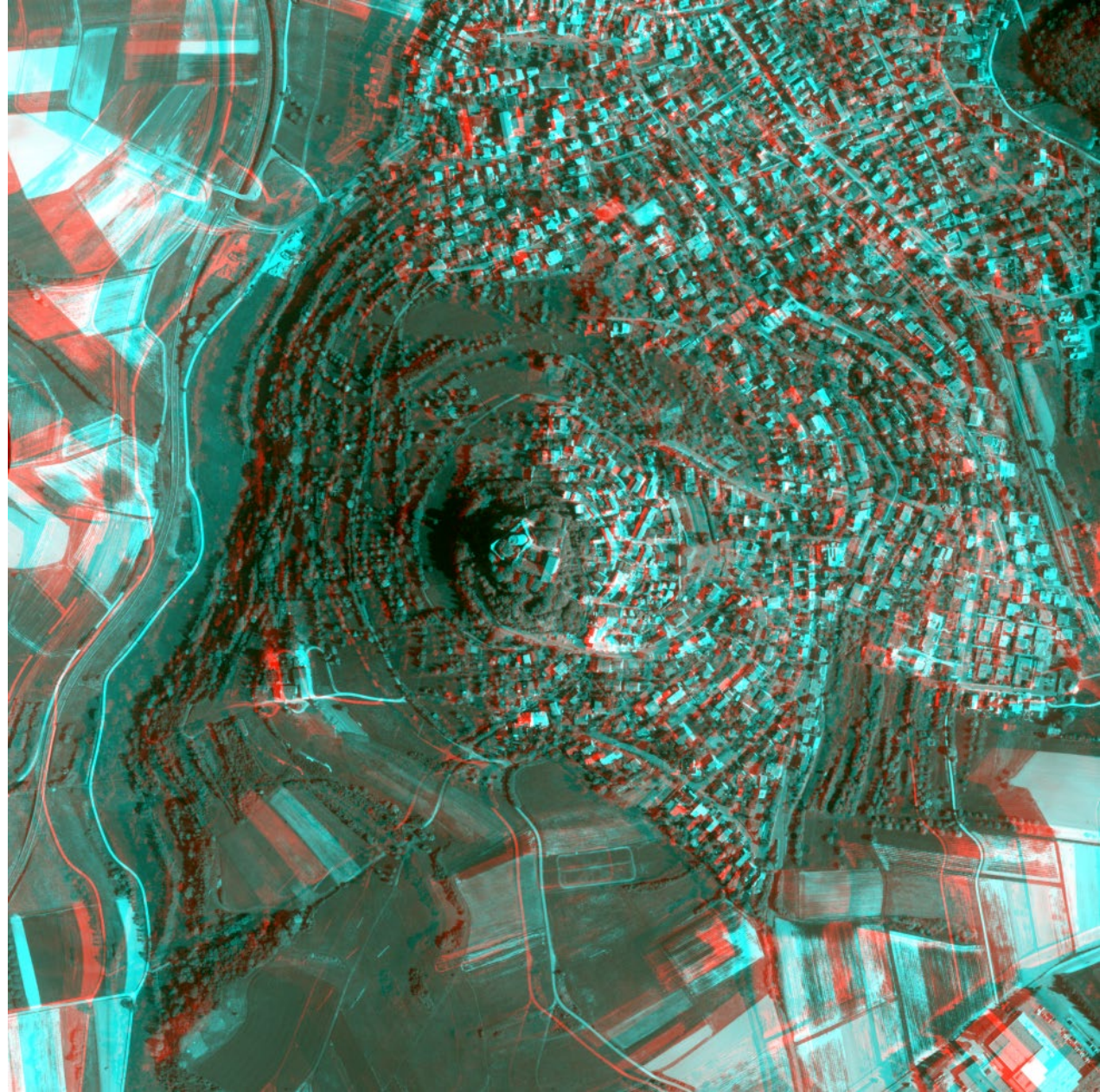
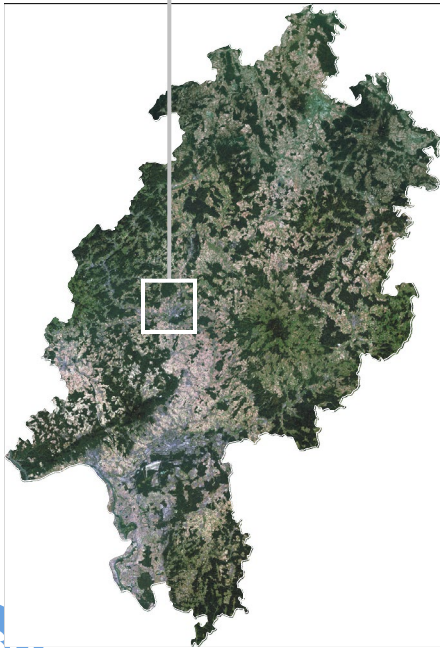
Abgeleitet aus Luftbildern,
Befliegung vom 2. April 1999, Flughöhe 2000 m



3

Gleiberg

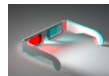
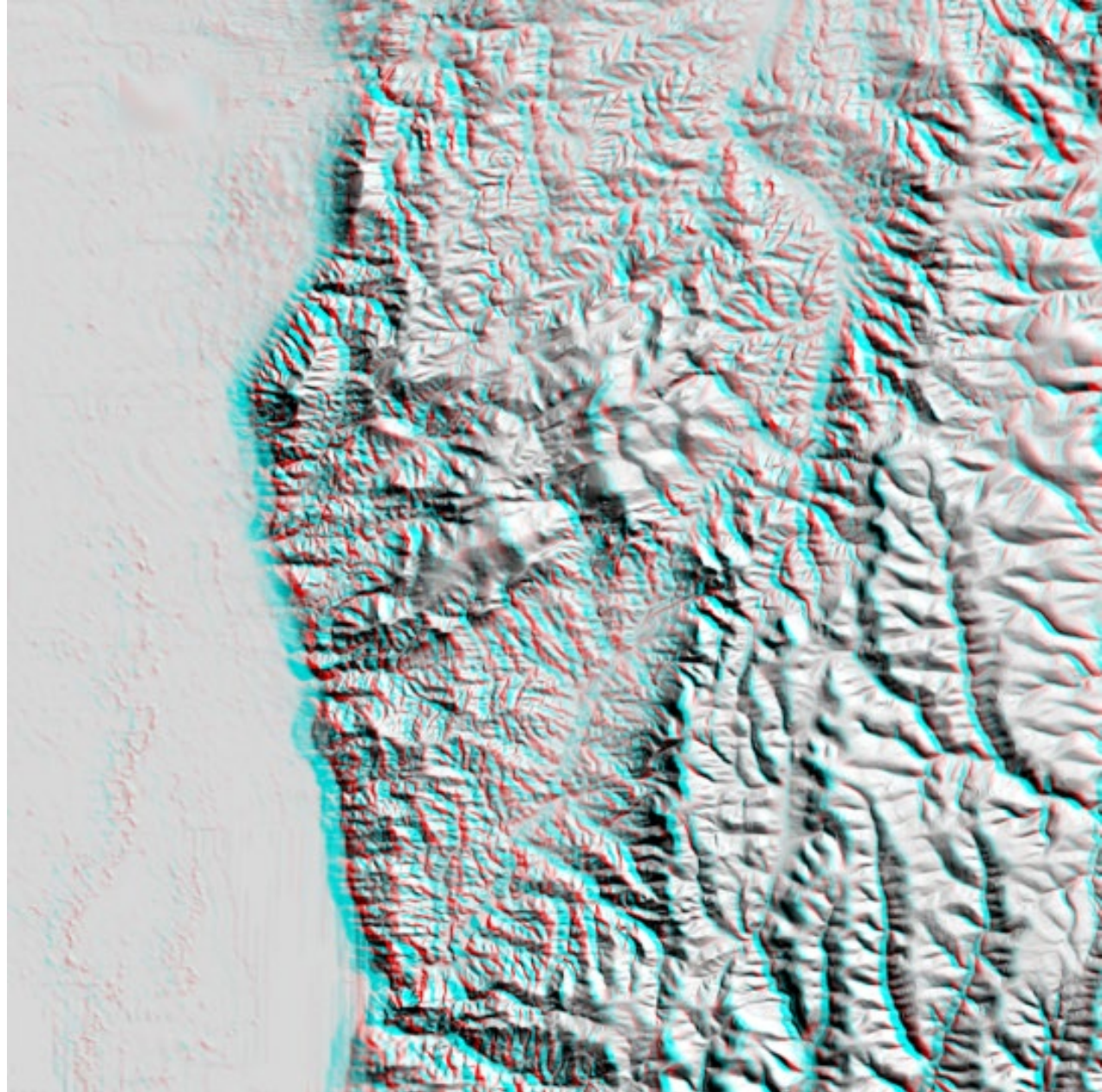
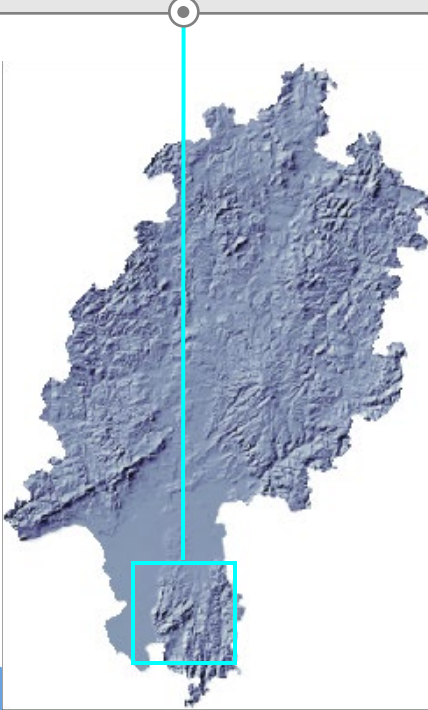
Abgeleitet aus Luftbildern,
Befliegung vom 2. April 1999, Flughöhe 2000 m



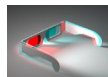
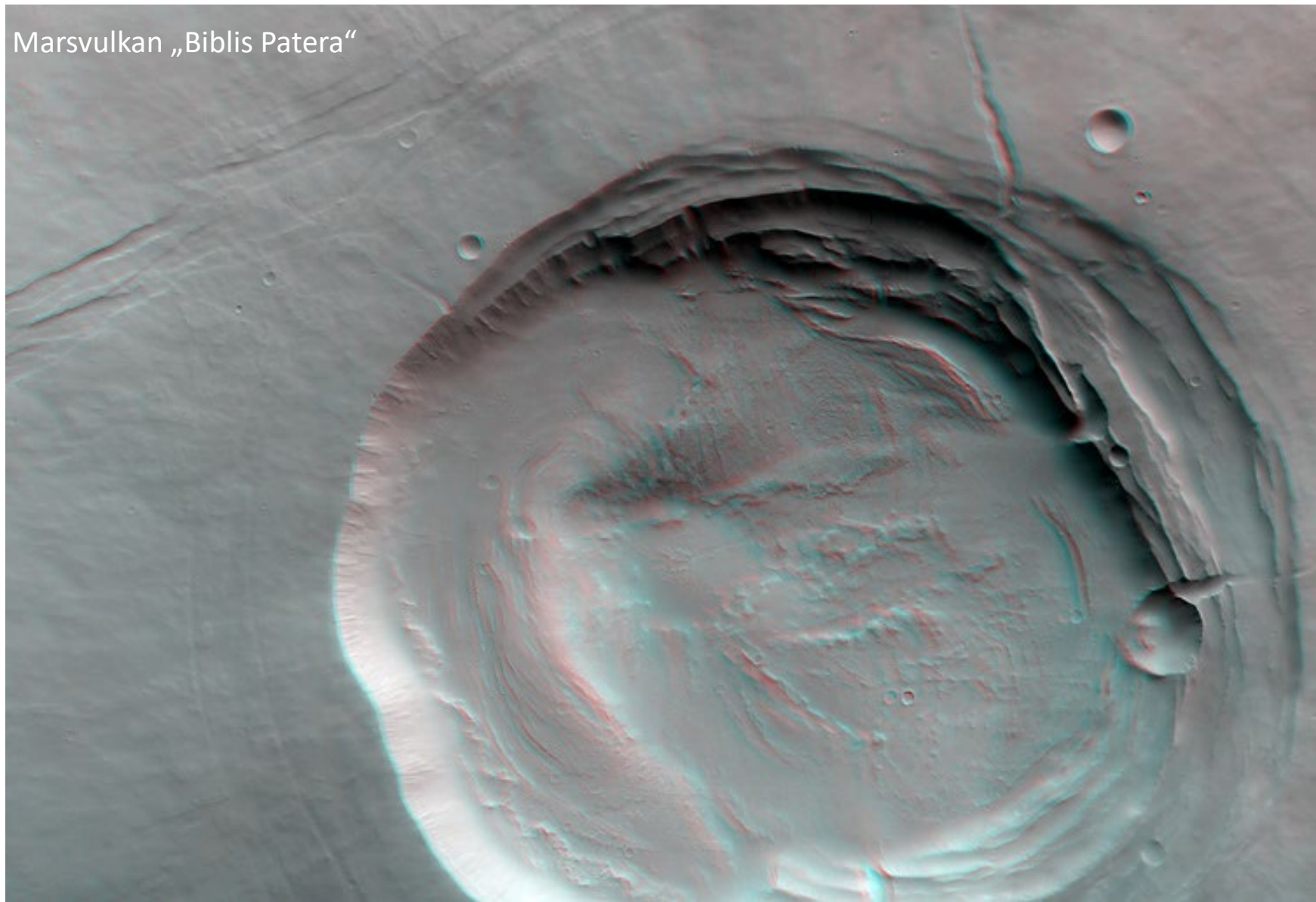
4

Bergstraße Odenwald

Abgeleitet aus dem Digitalen Geländemodell,
Reliefdarstellung (Schummerung)



Marsvulkan „Biblis Patera“

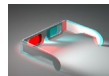
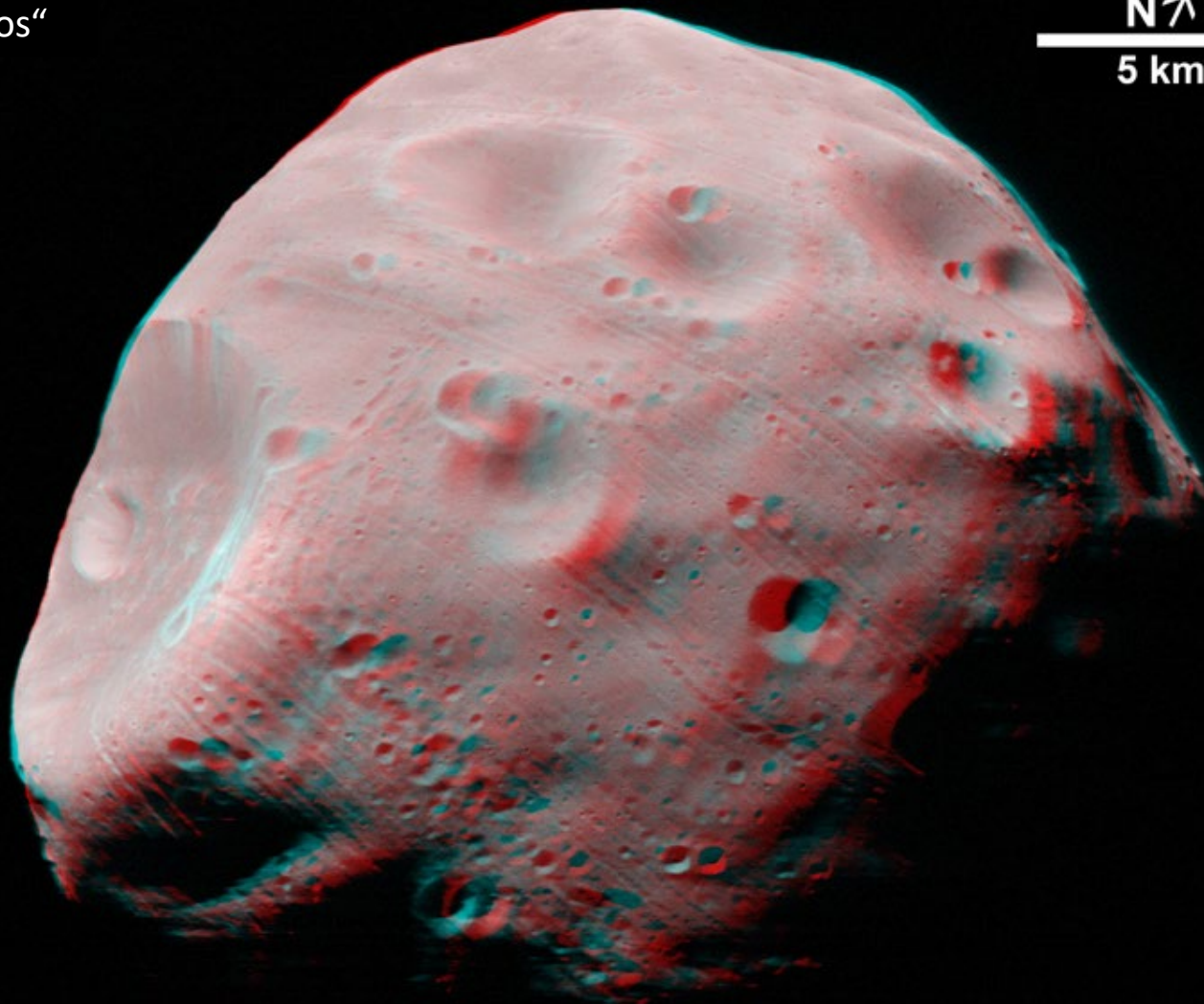


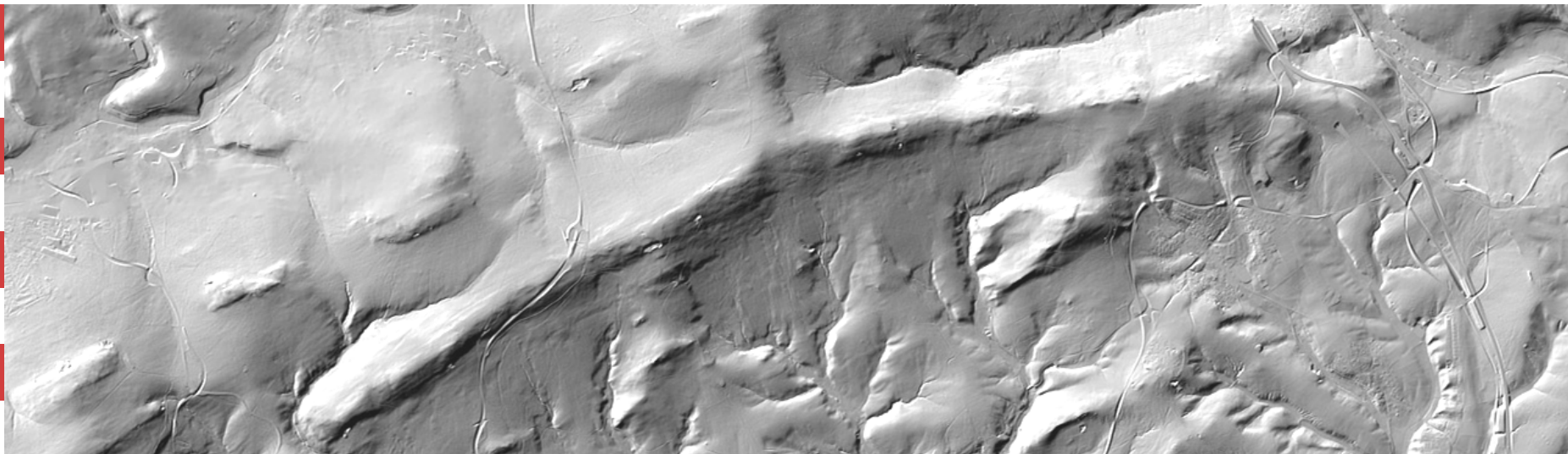
Marsmond „Phobos“

HRSC-Aufnahme
vom 22. August 2004.

Das aus einer Entfernung von weniger als 200 Kilometer fotografierte Bild hat eine Auflösung von ungefähr sieben Meter pro Bildpunkt. Phobos ist mit seinen unregelmäßigen Abmessungen von 27 mal 21,6 mal 18,8 Kilometer, anders als der Erdmond, kein kugelförmiger Trabant. Seine Form gleicht eher einem Asteroiden.

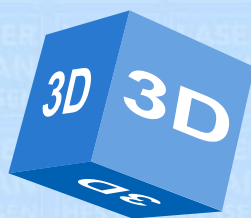
Auffallend ist das parallele Muster der Furchen auf Phobos. Es scheint die dem Mars zugewandte Seite zwischen Äquator und Nordpol vollständig zu überziehen, wobei die Abstände zwischen den Furchen sehr regelmäßig sind. Sie durchschneiden die meisten größeren Krater. Die Frage nach dem Ursprung der Furchen konnte noch nicht geklärt werden. Es könnte sich um "Schrammen" handeln, die durch Gesteinsbrocken, die den Mond getroffen haben, entstanden sind, oder sie sind das Ergebnis von starken Gezeiten-Wechselwirkungen mit dem Mars. Diese könnten tektonische Kräfte verursacht haben, die zu Spannungen im Inneren des Mondes führten.





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

