

# Photogrammetrie

-

## Stand der Technik und Beispiele

Werner Tecklenburg und **viele Andere** am

Institut für Angewandte Photogrammetrie und Geoinformatik

Fachhochschule Oldenburg/Ostfriesland/Wilhelmshaven  
Standort Oldenburg

[www.fh-oow.de/institute/iapg](http://www.fh-oow.de/institute/iapg)

Absolvententreffen, 28 Oktober 2005, Fachbereich Bauwesen und Geoinformation, Abteilung Geoinformatik



# Gliederung

- Einleitung
- Historie (die letzten 22 Jahre...)  
Stand der Technik 1983, Entwicklungen bis heute  
(an der FH, unvollständig!)
- Aktuelle fotogr. Aufnahme-/Auswertesysteme  
ein Überblick, vom Weltraum bis zum Nahbereich
- Beispiele aus den Arbeiten am IAPG
- Zusammenfassung



# Historie (die letzten 22 Jahre...)

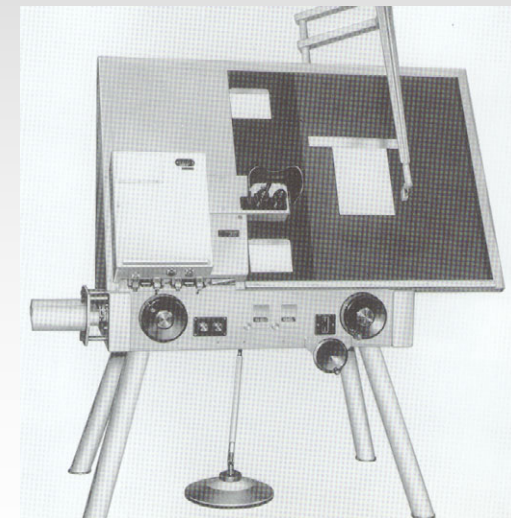
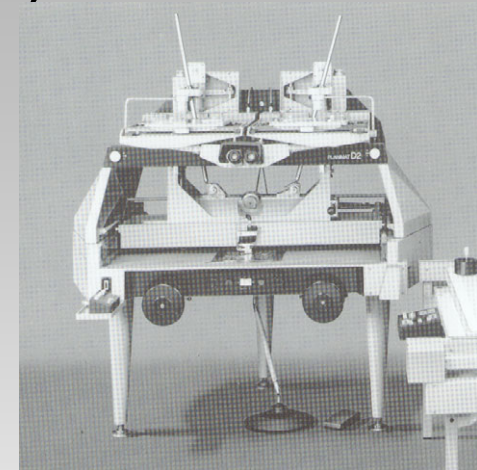
## ..damals an der Fachhochschule Oldenburg! (1983)

Analoge, mechanisch-elektrische Auswertegeräte

- Zeiss Planimat D1
- Zeiss Terragraph
- Zeiss SEG 5
- Zeiss DP1 (Doppelprojektor)

Aufnahmesysteme

- Zeiss Stereomesskammer SMK 120
- Wild P32 Aufsatzkamera für Theodolit



# Historie (die letzten 22 Jahre...)

## Anwendungsgebiete

Luftbildauswertung

Luftbildkarten (Entzerrungen)

Kartierungen

manuelle, stereoskopische

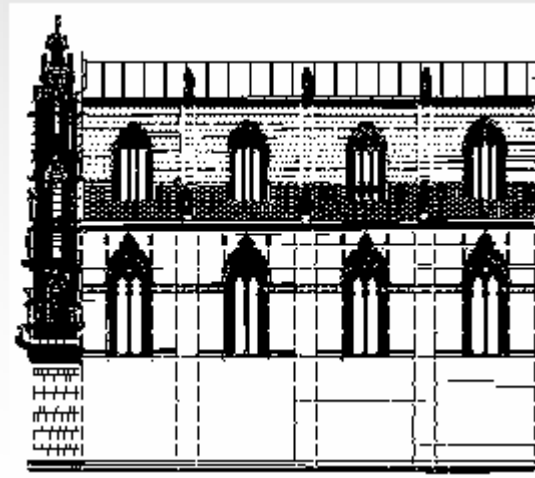
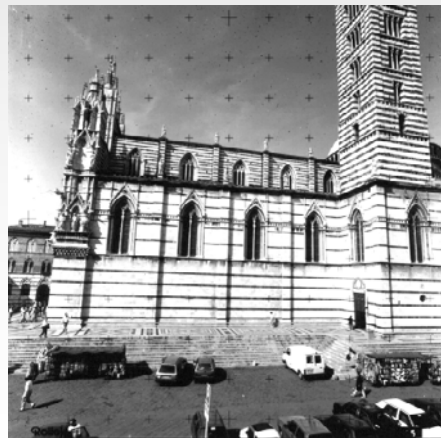
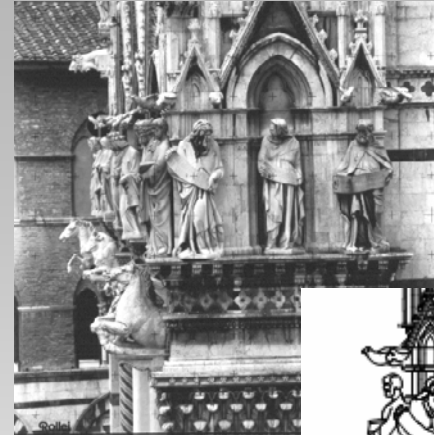
Einzelpunktmessungen für DHM etc.

Architekturphotogrammetrie

Bauwerksüberwachung

Archeologie

..



Dom von Siena

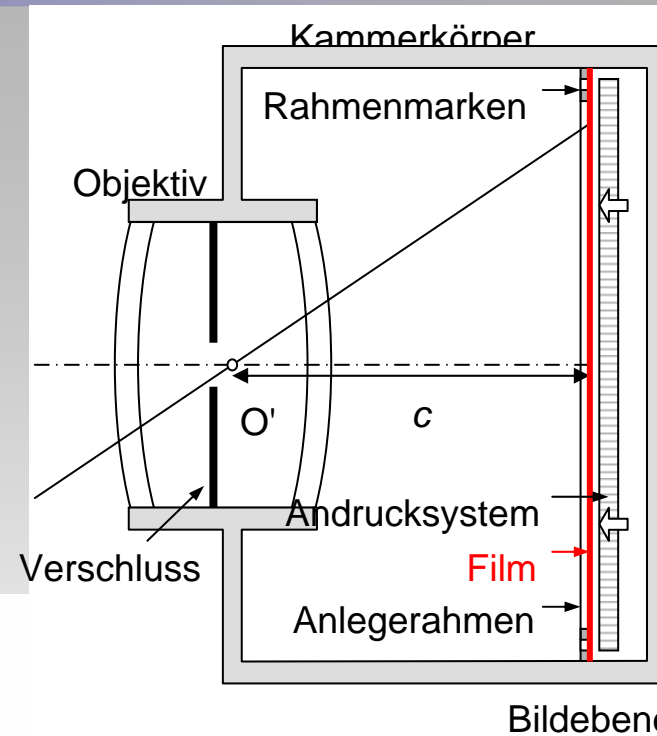
Kotowski et al. 1989



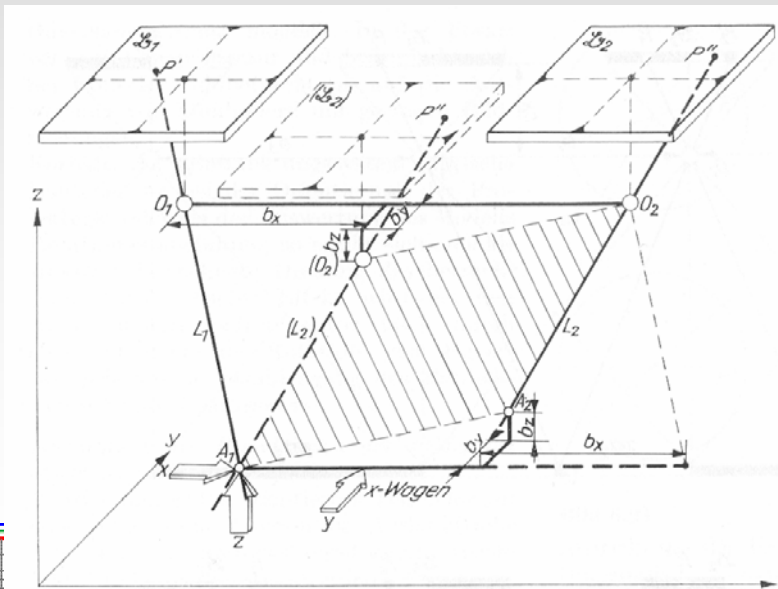
# Historie (die letzten 22 Jahre...)

Kameras:  
bekannte Bildgeometrie durch spezielle  
Herstellung und Kalibrierung

Auswertesysteme:  
Mechanische Darstellung der Ab-  
bildungsgleichungen und Modifikationen  
wg. mechanisch-geometrischer Zwänge



aus Luhmann, Nahbereichsphotogrammetrie, 2003



Aus Rüger u.a., Photogrammetrie, 1979

Bild 6.19  
Räumliches Zeiss-  
sches Parallelo-  
gramm

# Historie (die letzten 22 Jahre...)

## Analytische Plotter (hier Zeiss Planicomp P3)

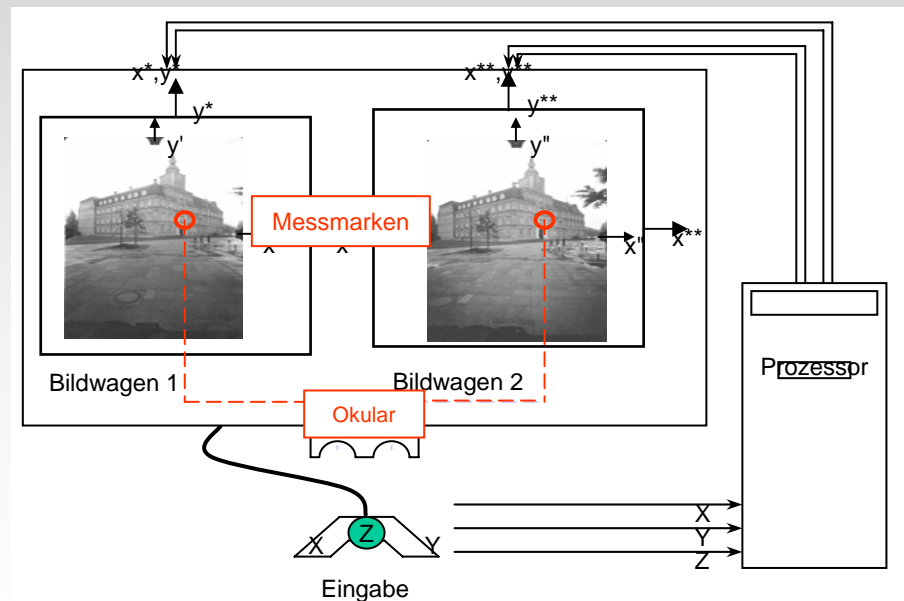
Umfangreiche Softwareentwicklung

Halbautomatische Orientierungs- und Auswerteverfahren

autom. Anfahren von Rahmenmarken und Verknüpfungspunkten

Autom. Anfahren von Punktrastern (nur noch Z einstellen)

USW.



# Historie (die letzten 22 Jahre...)

Entwicklung Teilmesskameras mit Resseaugitterplatte

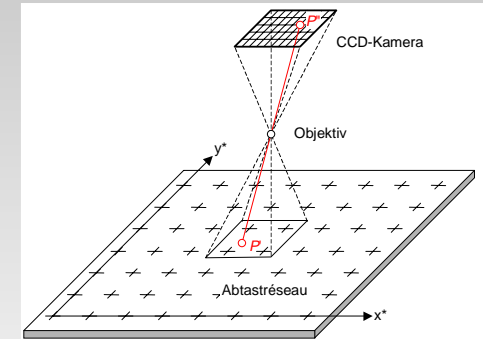
Rollei 6006/6008 mit Wechselobjektiven und Rasterfokussierung (Wild P32)

Nutzung von Videokameras und Resseauplatten zur semiautomatischen Punktmessung

Rollei RS1

Ende der 80er:  
Nutzung von Papierabzügen  
Kombination mit Rollei MR2 Software  
(einfacher PC und Digitalisiertablett ausreichend)

Sehr kostengünstig!

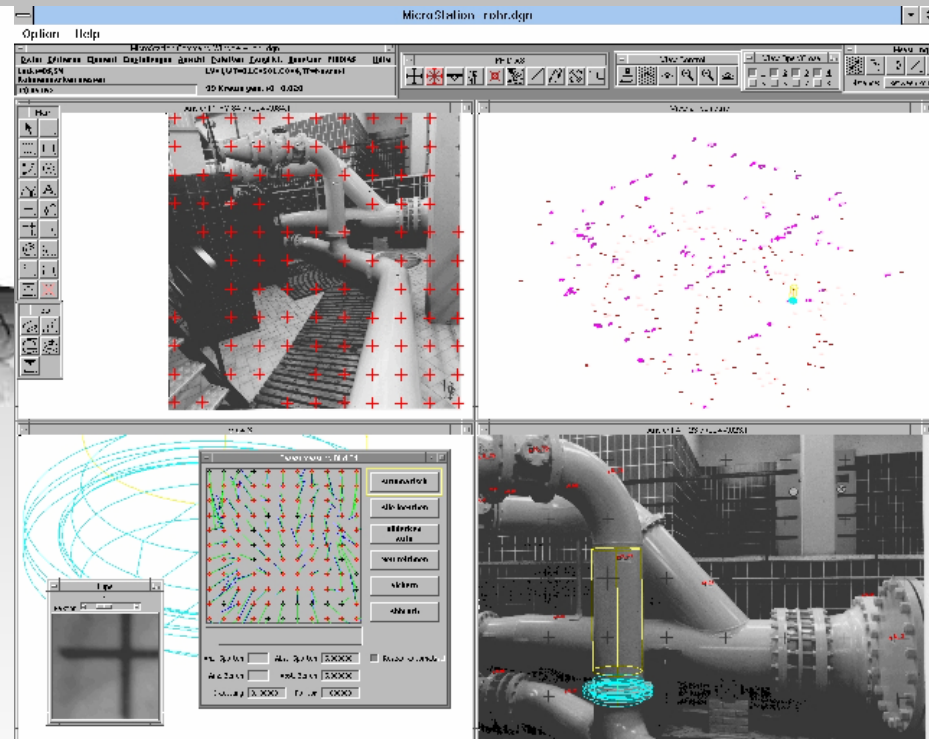


# Historie (die letzten 22 Jahre...)

## Digitale Auswertesysteme (ab Anfang/Mitte der 90er Jahre)



SOCET SET (LH Systems)



Phidias (PHOCAD GmbH)

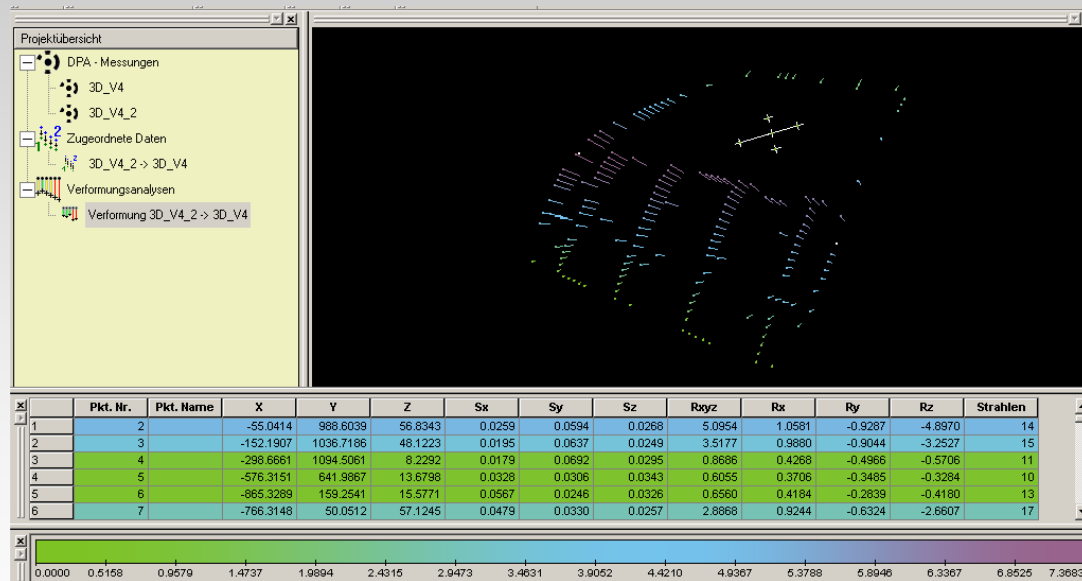


# Historie (die letzten 22 Jahre...)

Ab Anfang/Mitte der 90er Jahre bis heute:

Verbesserung und Neuentwicklung digitaler photogrammetrischer Systeme

Einsatz von Digitalkameras



Programmoberfläche von AICON 3Dstudio



Digitalkamera 8 Mio. Pixel (Kodak)



Highspeedkamera 1000 Bilder/sec (Weinberger)

# Aktuelle fotogr. Aufnahme-/Auswertesysteme

## Leica ADS40 Multispektral-Zeilenkamera



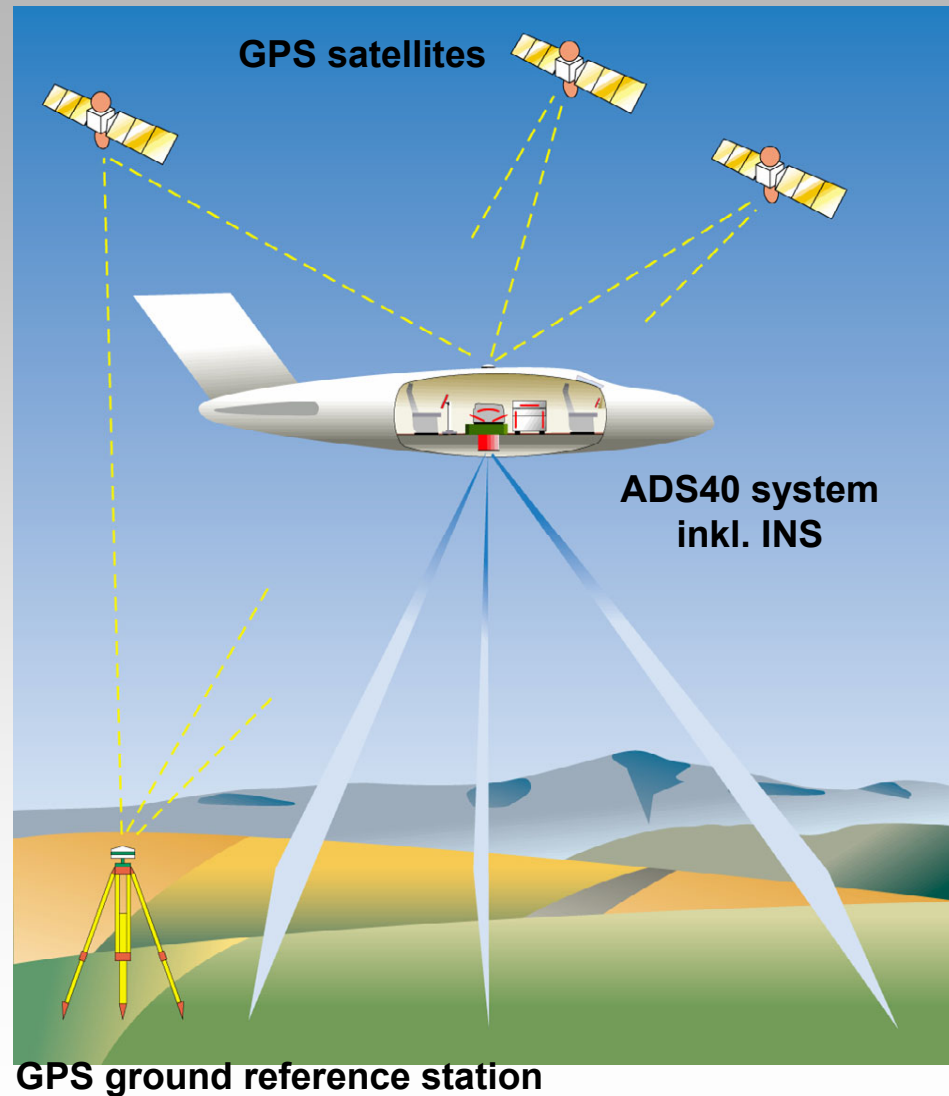
- 3 panchromatische CCD-Zeilen mit je 2 x 12,000 Pixel, Pixelversatz 3.25  $\mu\text{m}$
- 4 multispekturale CCD-Zeilen, mit je 12,000 Pixel
- Pixelgröße: 6.5  $\mu\text{m}$  x 6.5  $\mu\text{m}$
- Field of view (FoV): 64°
- Brennweite: 62.77 mm
- Stereowinkel: 14°, 28°, 42°



# Aktuelle fotogr. Aufnahme-/Auswertesysteme

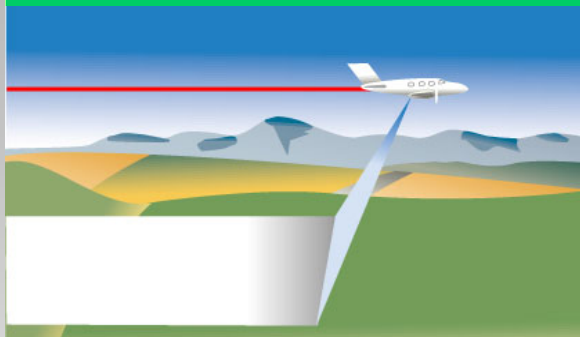
Leica ADS40

Die Arbeitsweise des Systems



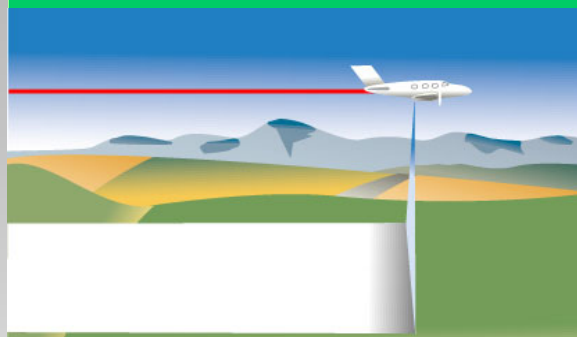
# Aktuelle fotogr. Aufnahme-/Auswertesysteme

## Backward scene



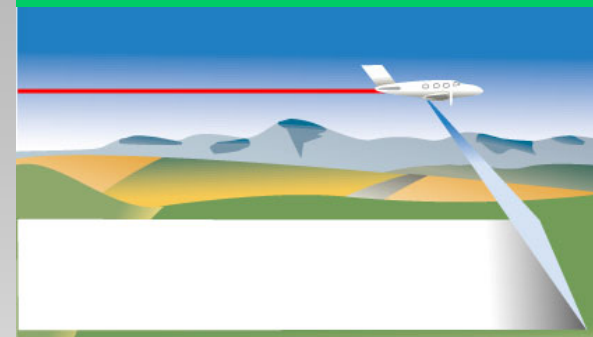
composed  
of backward view lines

## Nadir scene



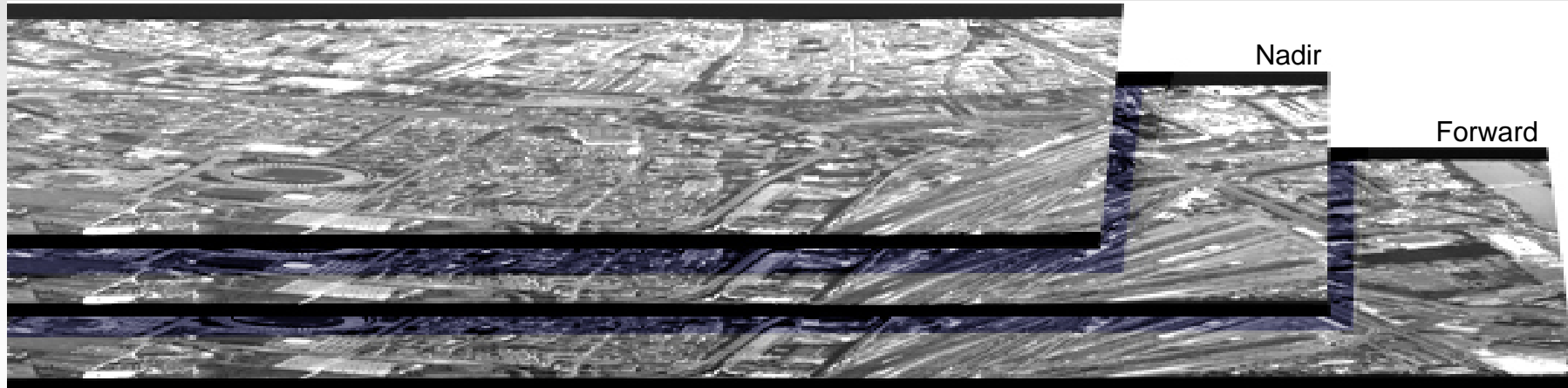
composed  
of nadir view lines

## Forward scene



composed  
of forward view lines

Backward



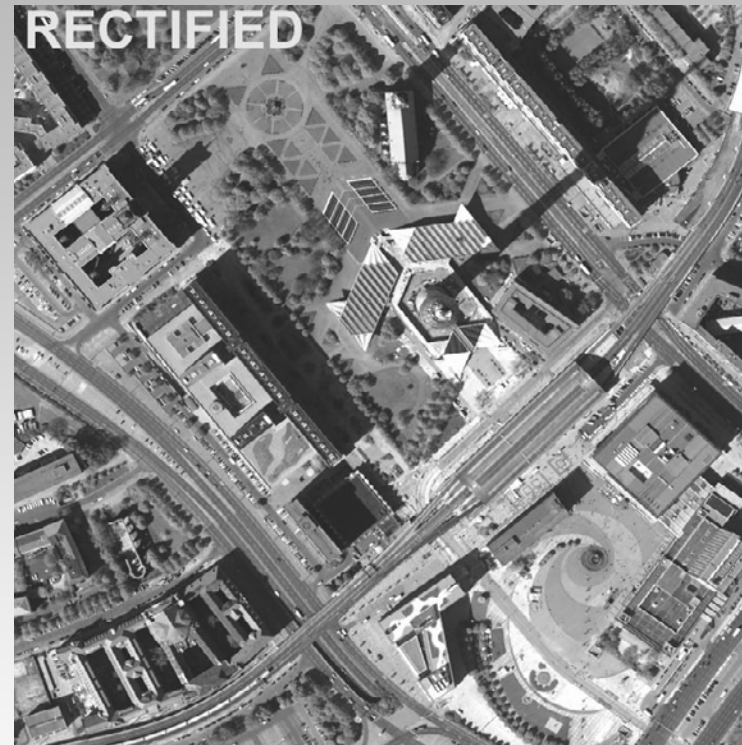
Nadir

Forward



# Aktuelle fotogr. Aufnahme-/Auswertesysteme

Leica ADS 40 Multispektral-Zeilenkamera



Herstellung der rektifizierten Bilder durch Nutzung von GPS+INS Daten

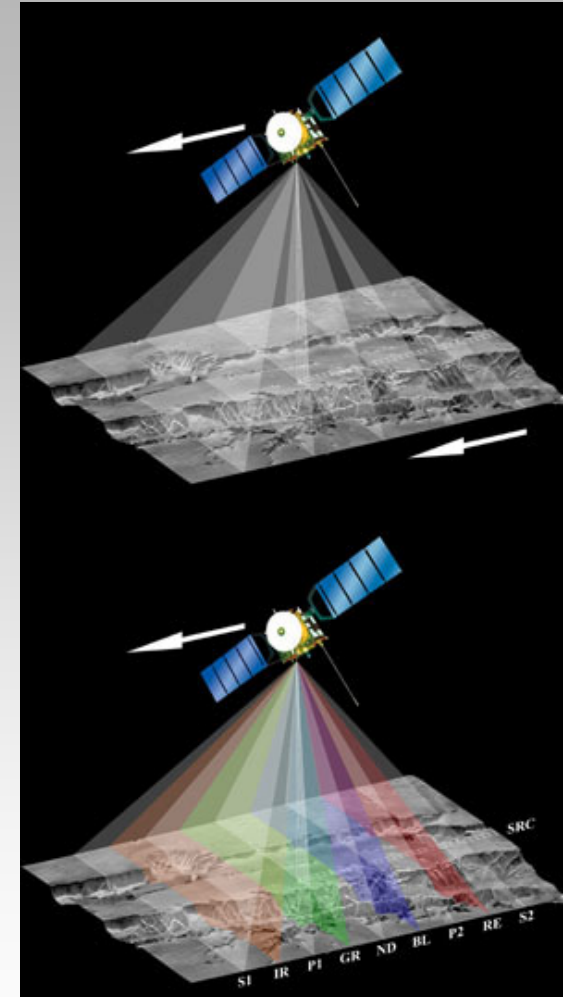
# Aktuelle fotogr. Aufnahme-/Auswertesysteme

HRSC (die "Marskamera")



5 Panchromatische CCD-Zeilen a 5184 Pixel

4 Multispektrale CCD-Zeilen



Infos unter <http://solarsystem.dlr.de/Missions/express>



# Aktuelle fotogr. Aufnahme-/Auswertesysteme

## HRSC (die "Marskamera")

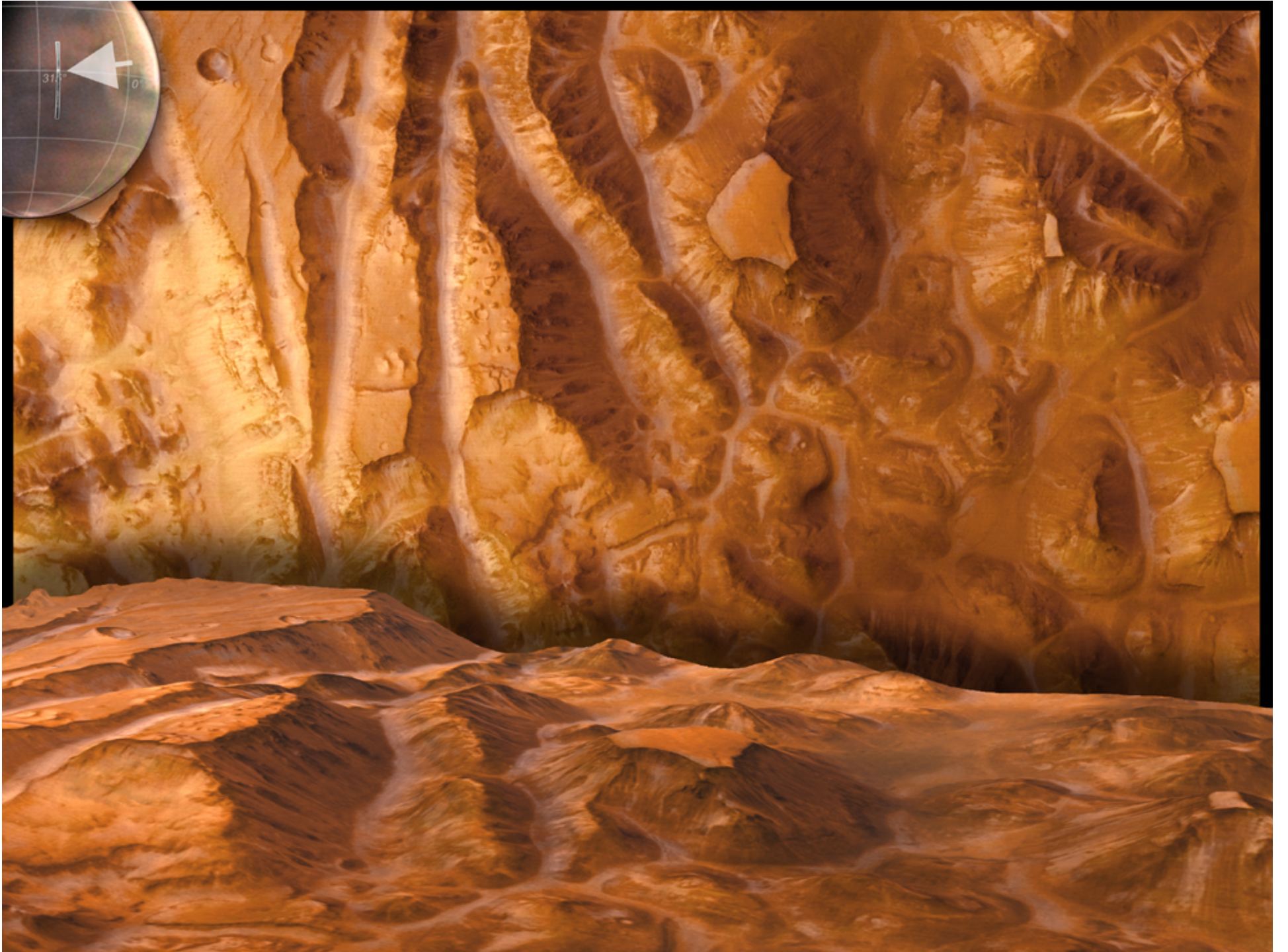


**HRSC**  
**Mission Mars Express**

*Mars-Canyon*  
*Valles Marineris*

14. Januar 2004  
Flughöhe = 275 km  
Szene 54 km x 26 km  
Bodenpixel 12 m

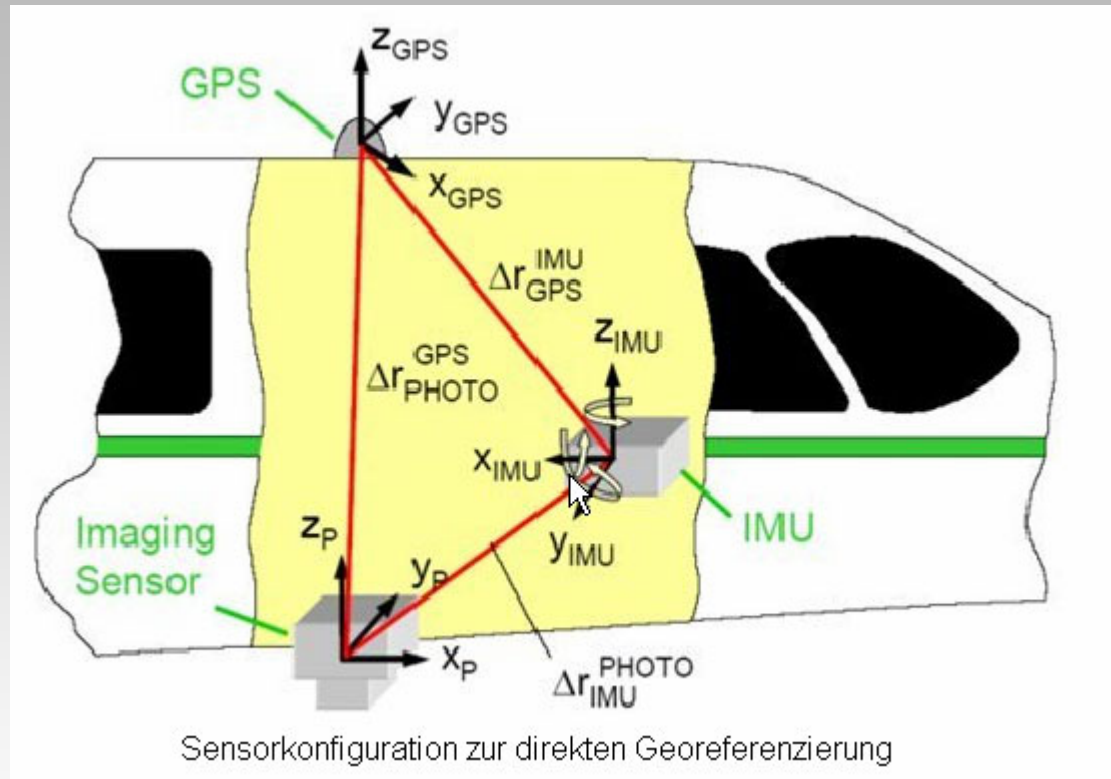






# Aktuelle fotogr. Aufnahme-/Auswertesysteme

## Reihenmesskameras mit "direkter" Sensororientierung



AEROcontrol Systeminstallation befestigt an RMK-TOP Kamera

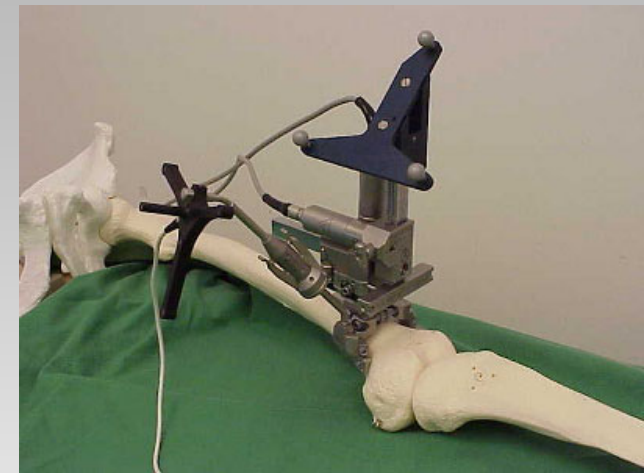
Cramer, IPF Stuttgart

# Aktuelle fotogr. Aufnahme-/Auswertesysteme

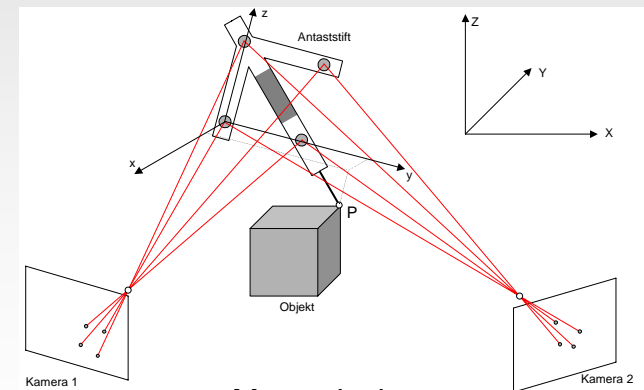
## Computergestützte Chirurgie: Einsatz eines künstlichen Hüftgelenks



AXIOS 3D Services GmbH



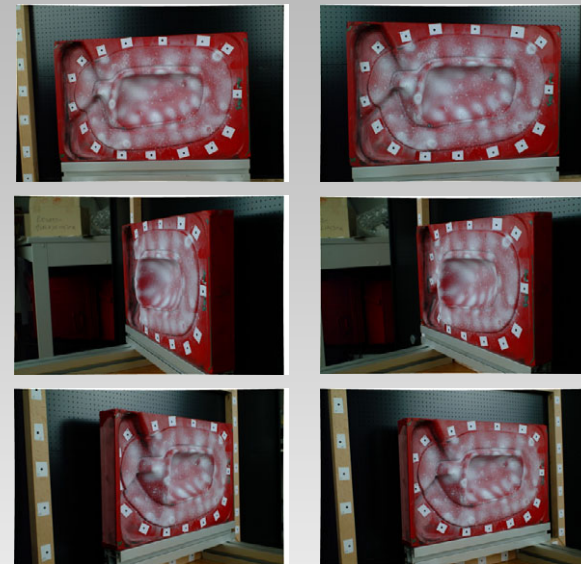
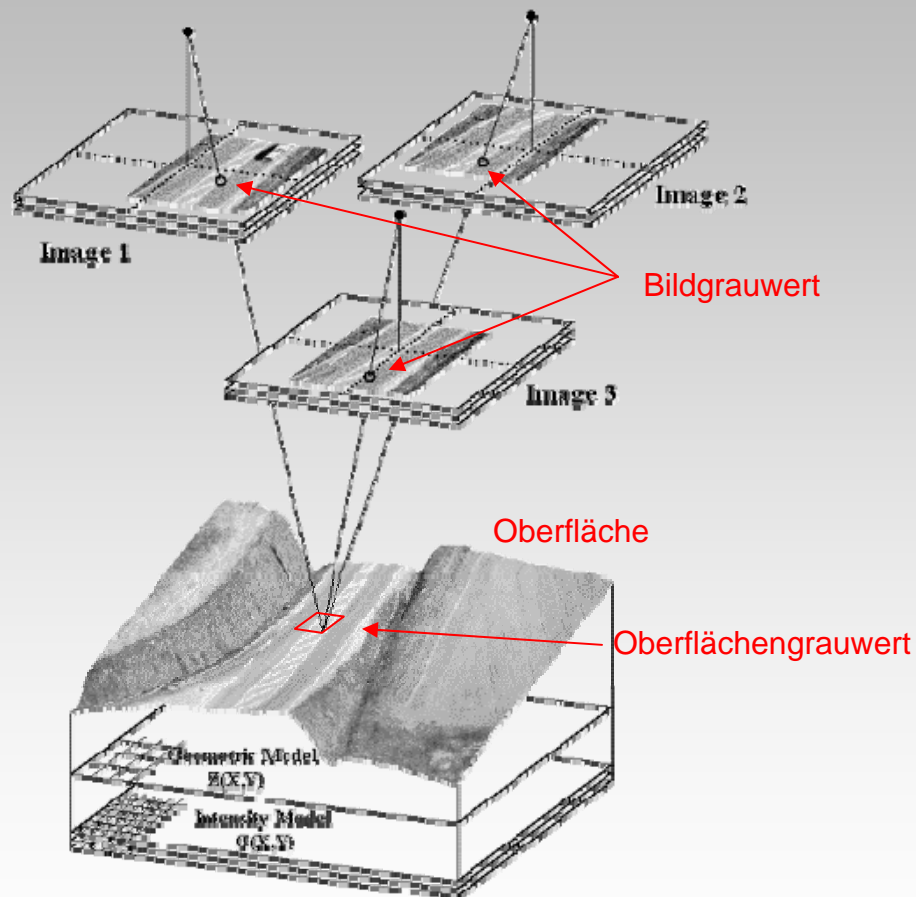
Operationsroboter



Messprinzip

# Aktuelle fotogr. Aufnahme-/Auswertesysteme

## FAST-Vision Facetten-Stereosehen



# Aktuelle fotogr. Aufnahme-/Auswertesysteme

## Streifenprojektionssysteme



Videofilm bei [www.Breuckmann.com](http://www.Breuckmann.com) abrufbar



# Aktuelle fotogr. Aufnahme-/Auswertesysteme

Steifenprojektion in Kombination mit Mehrbildphotogrammetrie



The Breuckmann logo features the company name in a bold, sans-serif font, followed by a stylized graphic of three overlapping rectangular shapes with diagonal hatching. Below the logo, the text 'digitising / measuring / testing' is displayed in a smaller font. A 3D model of a curved, metallic part is shown in the center, with a teal-colored base.

**breuckmann** ┌ ┌ ┌  
digitising / measuring / testing

**Industrial 3D Image Processing and Automation**

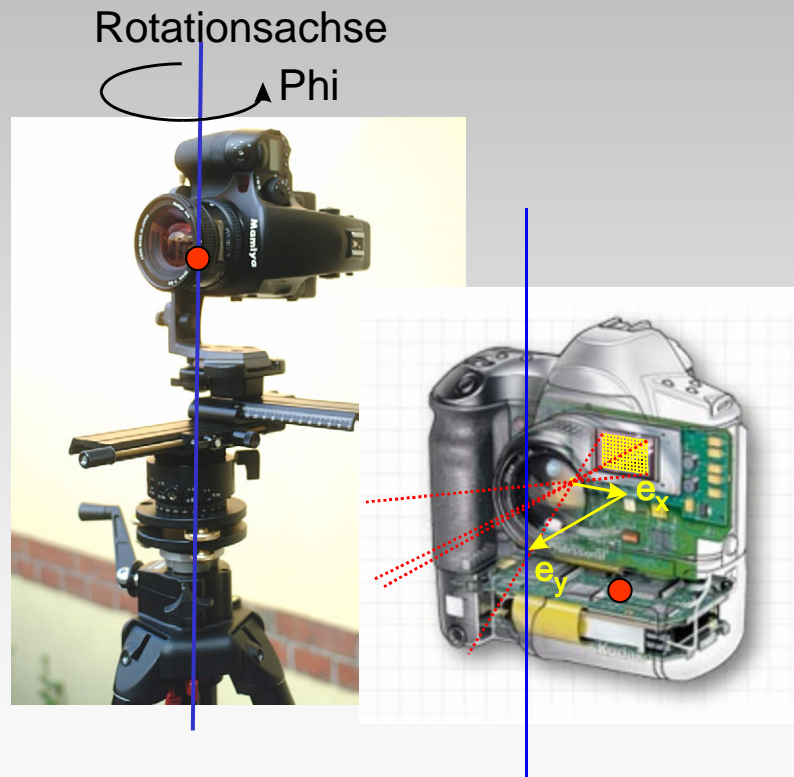
Torenstr. 14  
88709 Meersburg, Germany  
Phone: +49 (0) 7532 4346 0  
Fax: +49 (0) 7532 4346 50  
[www.Breuckmann.com](http://www.Breuckmann.com)

Videofilm bei [www.Breuckmann.com](http://www.Breuckmann.com) abrufbar



# Beispiele aus den Arbeiten am IAPG

## Erfassung von Innenräumen mit Panoramen



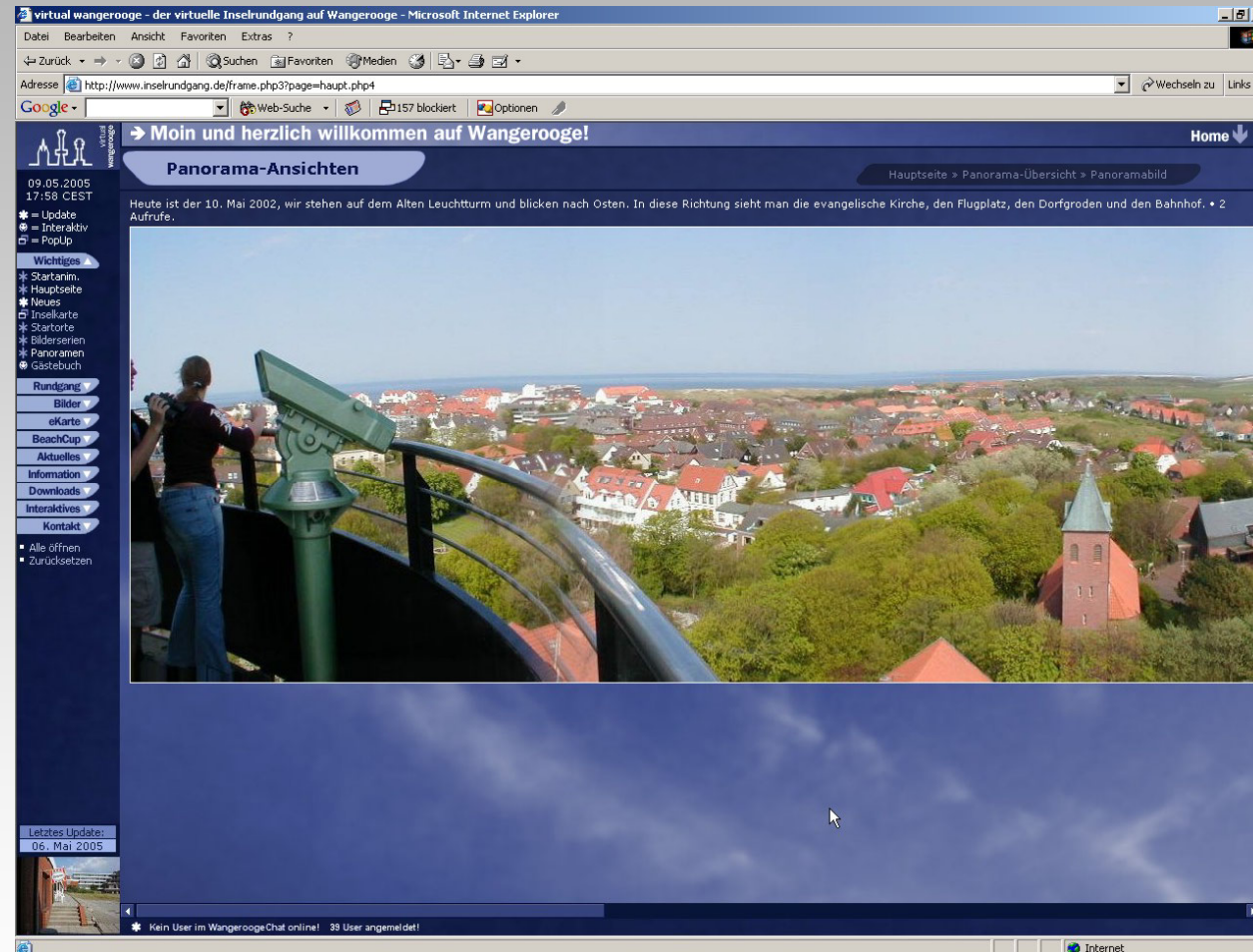
Vorabkalibrierung / Beseitigung  
der Exzentrizität zwischen  
Kameraprojektionszentrum und  
Rotationsachse

360° Panorama (z.B. 10 Bilder)

Einstellgenauigkeit ca. 0.2-0.4mm

# Erfassung von Innenräumen mit Panoramen

Fehlerhafte  
Exzentrizität

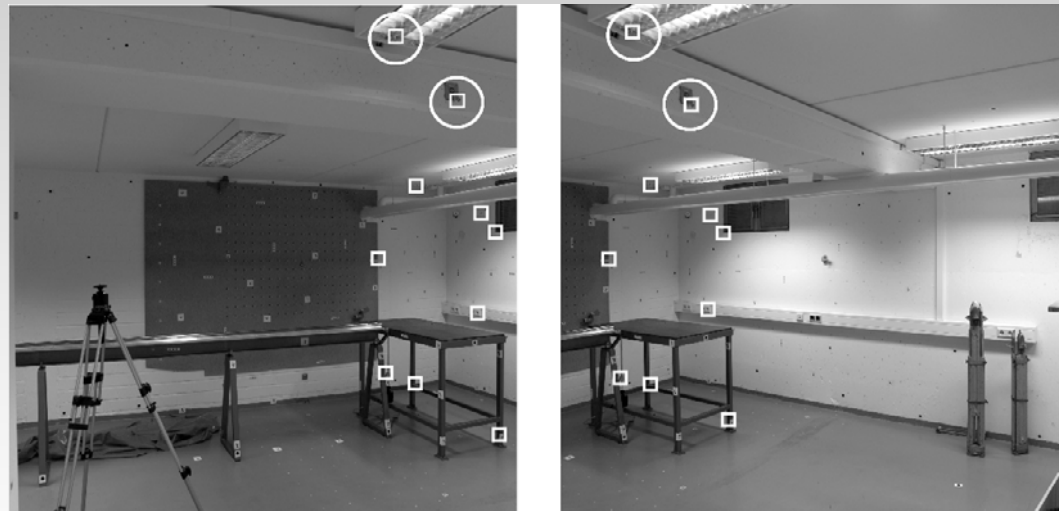
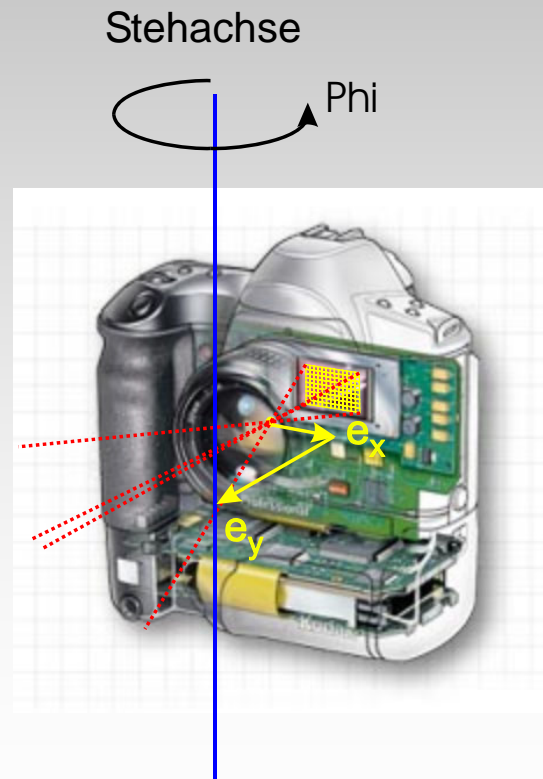


<http://www.inselrundgang.de>



# Erfassung von Innenräumen mit Panoramen

Definition: alle gemessenen Verknüpfungspunkte beschreiben "Richtungen ( $\alpha, \beta$ )" in den Objektraum  
sind die Bilder "exzentrisch" von der Stehachse aufgenommen, dann können die Richtungen nicht zueinander passen (Parallaxen)





# Erfassung von Innenräumen mit Panoramen

## Modifizierte Bündelorientierung

```
Sigma(0) a posteriori    0.00130mm
Entspricht
Punktmessgenauigkeit    0.17Pixel

Exzentrizität
Projektionszentrum - Stehachse (in mm)
-----
E(x):    -3.4792 +/-    0.6198
E(y):    -6.9426 +/-    0.0978
E(z):     0.1612 +/-    0.8854
```

Die ermittelten Exzentren sind Korrekturwerte für die Justierung der Kamera auf dem Stativ (Panoramaadapter)

```
Orientierungsdaten der Bilder (Koord. in m)
-----
Bildnr.:    1

Xpro: -0.00348    Phi   :    0.00000 +/- 0.00001
Ypro: -0.00694    Omega :    0.00000 +/- 0.00001
Zpro:  0.00016    Kappa :    0.00000 +/- 0.00001

Bildnr.:    2

Xpro: -0.00775    Phi   :   66.29585 +/- 0.00333
Ypro: -0.00050    Omega :  -0.14594 +/- 0.00951
Zpro:  0.00009    Kappa :  -1.51731 +/- 0.01384

Bildnr.:    3

Xpro: -0.00481    Phi   :  127.89012 +/- 0.00407
Ypro:  0.00610    Omega :   1.00610 +/- 0.01822
Zpro: -0.00009    Kappa :  -2.57011 +/- 0.01586

usw.
```



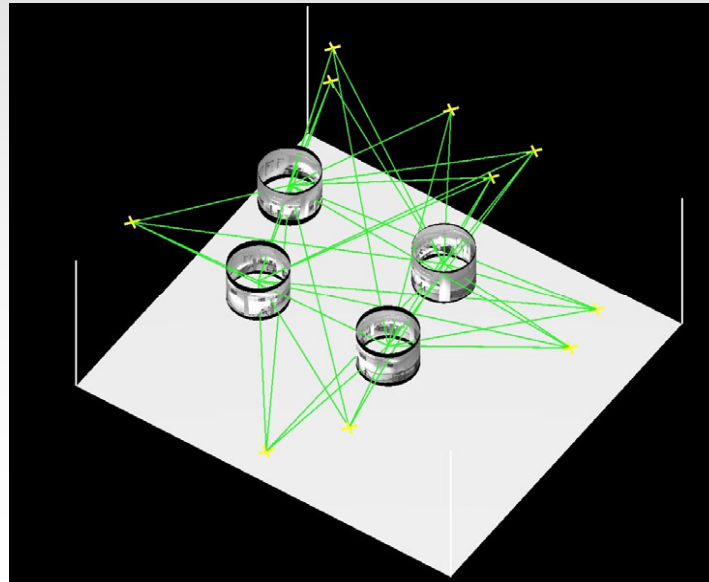
# Erfassung von Innenräumen mit Panoramen

## Panorama-Bündelorientierung

Beispiel einer Punktverteilung von 8 Verknüpfungspunkten



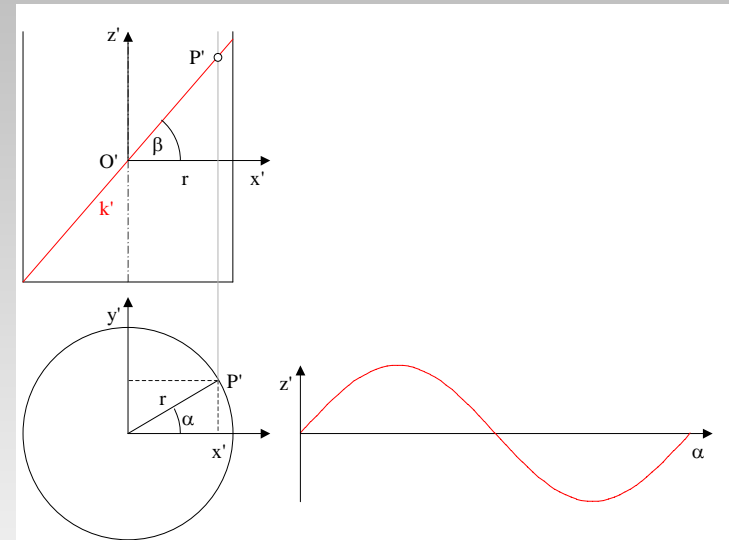
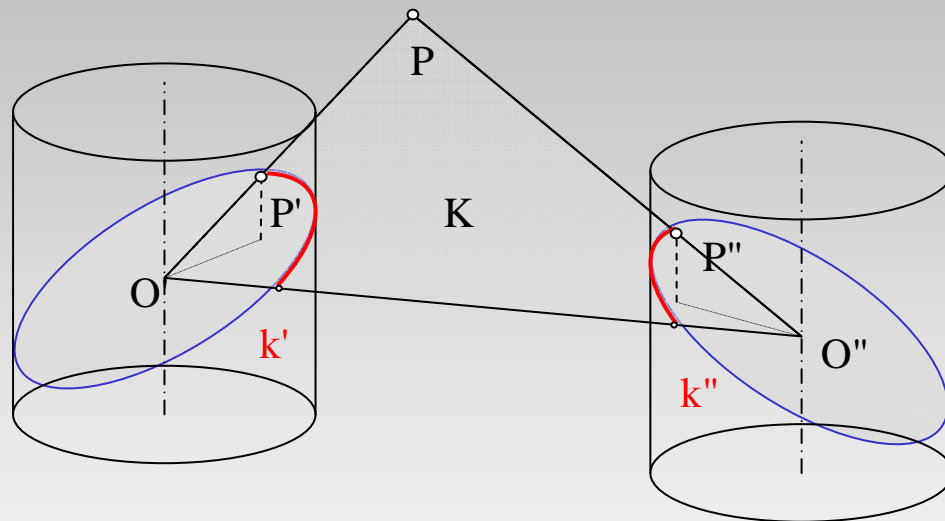
Eingangshalle der Fachhochschule



Orientierte Panoramen

# Erfassung von Innenräumen mit Panoramen

## 3D-Auswertung von Panoramen, Vorwärtsschnittberechnung (Epipolargeometrie)



Die Epipolarebene  $K$  gegeben durch die Punkte  $O'$ ,  $O''$  and  $P$  schneiden den Panoramazylinder als Ellipsen

Im Bild erscheinen die Epipolarlinien als Sinuskurven

# Erfassung von Innenräumen mit Panoramen

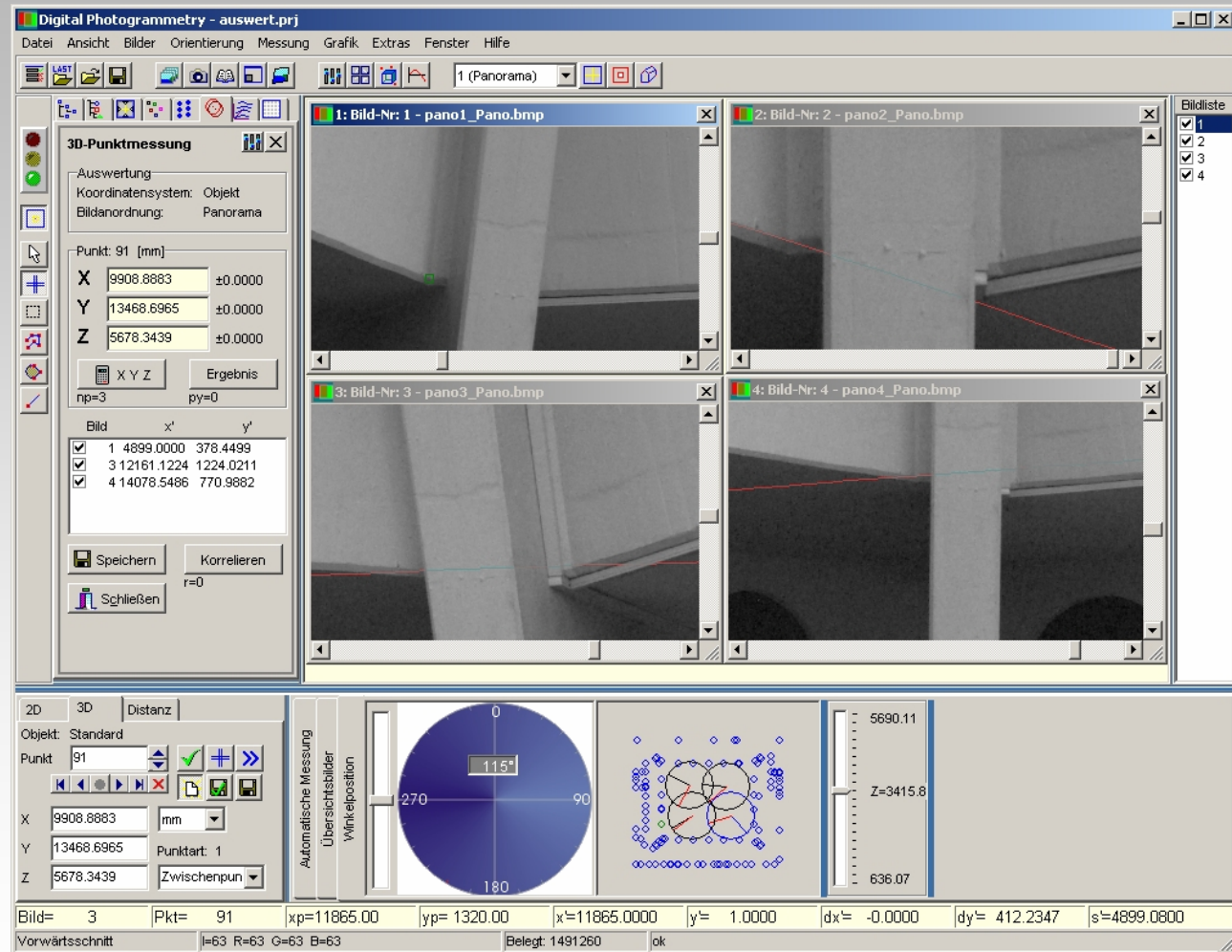
3D-Auswertung

StereoMess

Interaktive  
Punktmessung

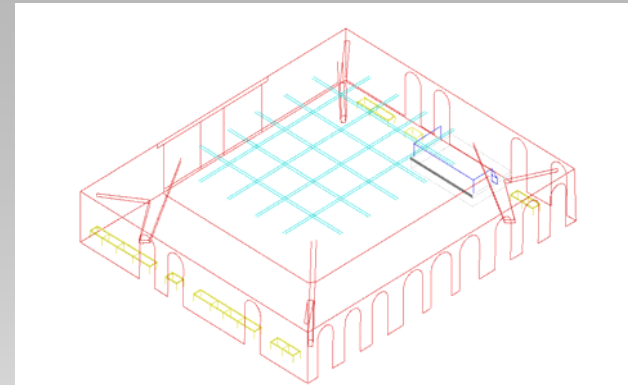
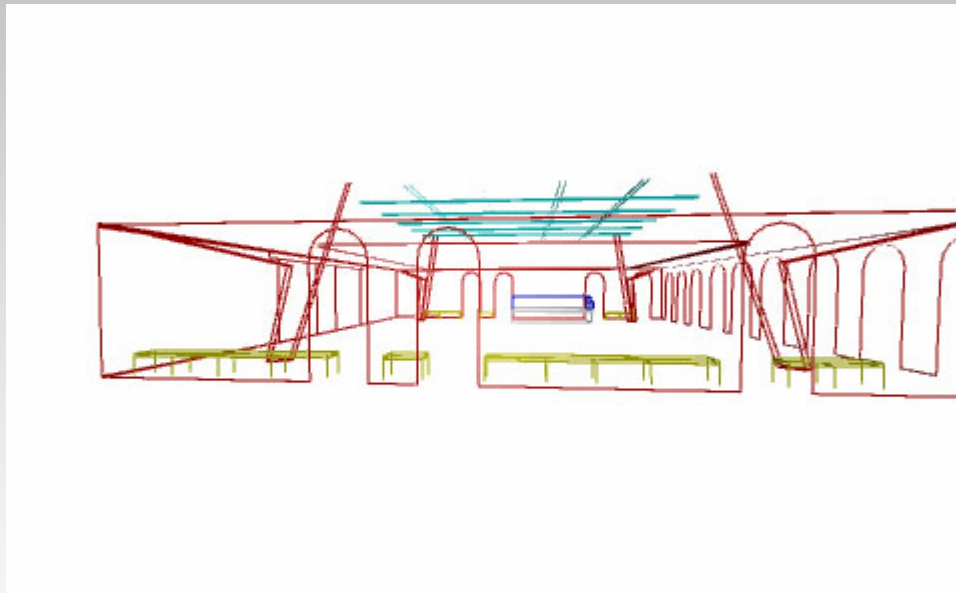
User-Interface

screenshot



# Erfassung von Innenräumen mit Panoramen

## Auswertebeispiel



4 Panoramen mit Kodak DCS 645  
(15500x2700 Pixel)

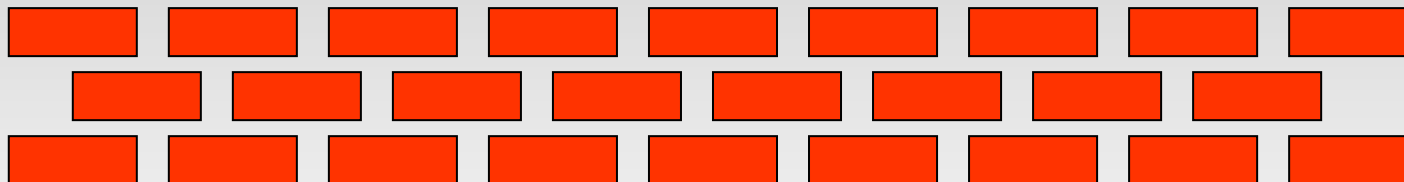
Pixelgröße in Objectraum ca. 2-5mm  
(Abhängig von Aufnahmeentfernung)

Bündelorientierung mit 16 Verknüpfungspunkten (Freie Netzausgleichung mit 4 Datumpunkten, Genauigkeit ca. 2mm in xyz)

Genauigkeit der 3D-Auswertung  
ca. 2-5mm (abhängig von den Schnittbedingungen)

# Beispiele aus den Arbeiten am IAPG

## Erstellung und Analyse von 3D-Oberflächenmodellen zur Beobachtung der Beständigkeit von Fugenmörtel



### Erprobung neuer Mörtelmischungen in Zusammenarbeit mit der niedersächsischen Landeskirche

- im Freilandversuch (St. Johanniskirche, Lüneburg)
- Zeitraum: ca. 10 Jahre
- umfangreiche Untersuchungen in 2-Jahres-Abständen

### Beteiligung des IAPG:

- Photogrammetrische Aufnahme der Probeflächen
- Stereoauswertung und Erstellung/Analyse von 3D-Oberflächenmodellen zur Beurteilung der Witterungsbeständigkeit

## ...Beständigkeit von Fugenmörtel

### Beispiel historischer Gipsmörtel:

Jahrzehntlang wurde zur Sanierung Zementmörtel genutzt!

Die Unverträglichkeit zeigte sich erst nach 10-20 Jahren

Kommt Gips mit Wasser und Zement in Berührung, entsteht eine neue chemische Verbindung, die sich etwa um das 10fache ausdehnt.





## ...Beständigkeit von Fugenmörtel

### Problem alternativer Mörtelmischungen:

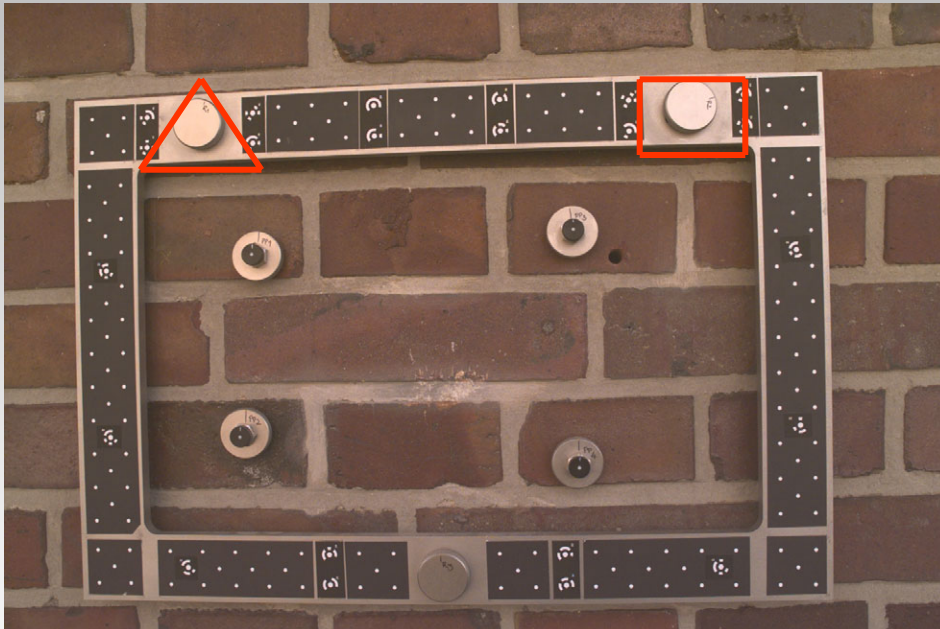


Hohe Verwitterungsanfälligkeit bei  
Frost-Tau-Wechsel-Beanspruchung



## ...Beständigkeit von Fugenmörtel

### Realisierung eines reproduzierbaren Koordinatensystems



Vergleich der Koord. der Realpasspunkte

Ermittelt aus fünf Epochem:

$$FRWS_{\Delta K_{\text{coord}}(x)} \equiv 0.1548 \text{ mm}$$

$$FRWS_{\Delta K_{\text{coord}}(y)} \equiv 0.1560 \text{ mm}$$

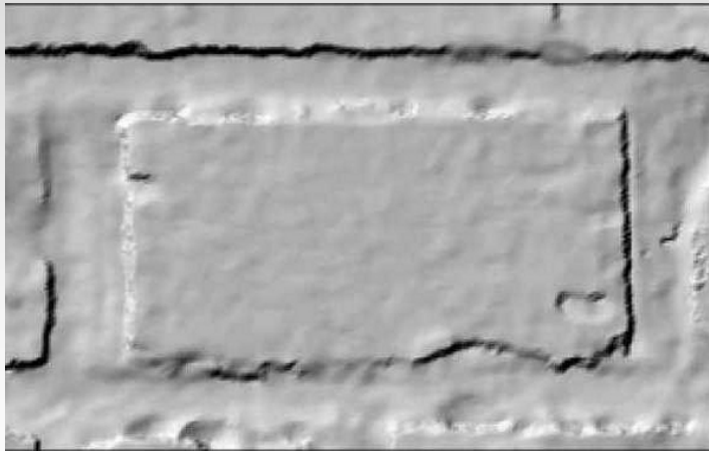
$$FRWS_{\Delta K_{\text{coord}}(z)} \equiv 0.0273 \text{ mm}$$

- Verknüpfungsrahmen aus Edelstahl (Größe 44x30 cm)
- Passpunkte im Mauerwerk
- Pixel im Objektraum: < 0.2mm

## ...Beständigkeit von Fugenmörtel

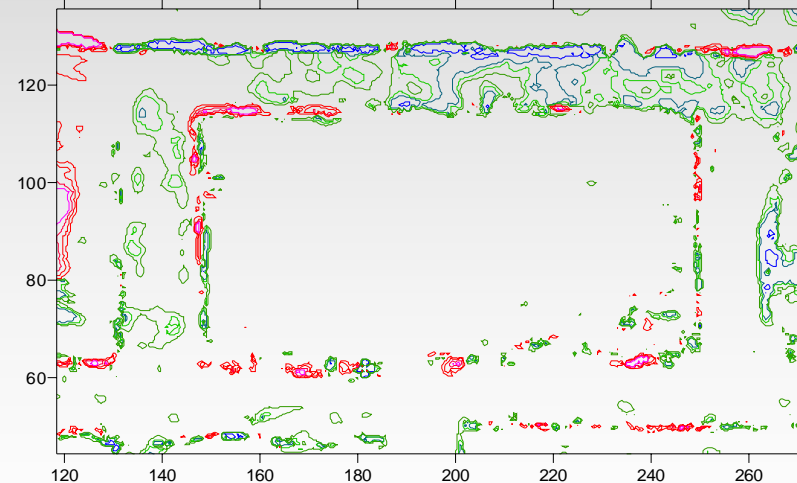
### Generierung der 3D-Oberflächenmodelle

- Auswertesystem: 3D-Workstation / LH Systems
- Software: Socet Set
- automatische Oberflächenmodellgenerierung über Kreuzkorrelation (ohne Least-Square-Matching)
- Größe des Musterbildes: 11x11-Pixel
- Rasterweite für das Oberflächenmodell: 0.5mm



Shaded relief model einer Epoche

(Darstellung: rot: pos, grün/blau; neg. ; mm-Schritte ab -0.3)



Differenzmodell 2er Epochen

# ...Beständigkeit von Fugenmörtel

## Ortstermin in Lüneburg Nullmessung Juli 2003



# Beispiele aus den Arbeiten am IAPG

## 3D-Erfassung von hoch-dynamischen Prozessen mit Spiegelstereovorsatz vor einer Hochgeschwindigkeitskamera

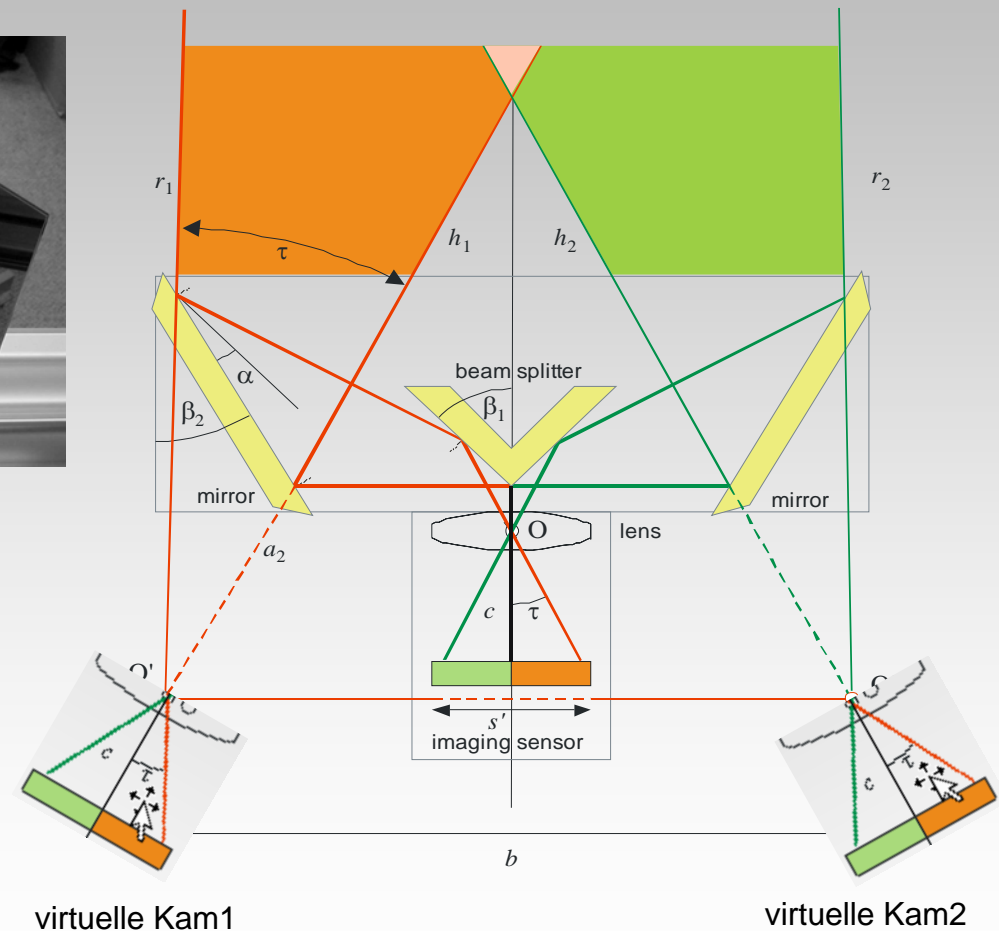
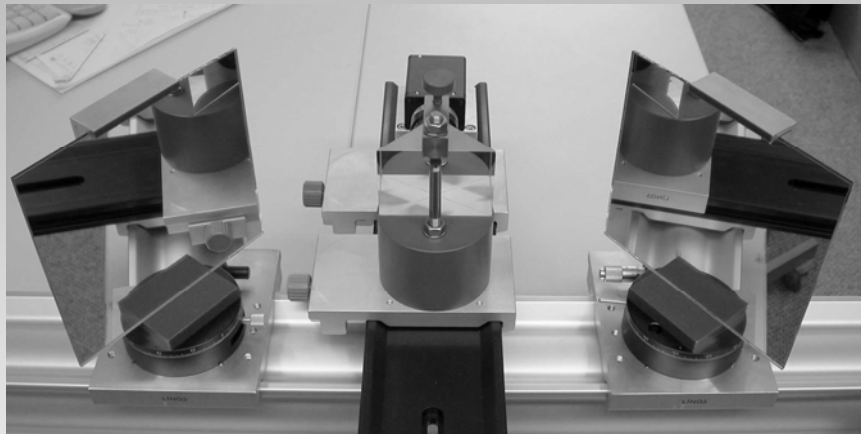
Problem: werden hoch-dynamische Prozesse (z.B. Crash-Versuchen in der Automobilindustrie) mit mehreren Hochgeschwindigkeitskameras aufgezeichnet, ist keine exakte Bildsynchronisation möglich

Fazit: Keine exakte Punktzuordnung in den Messbildern!

Folge: 3D-Punkte von qualitativ "schlechter" Genauigkeit

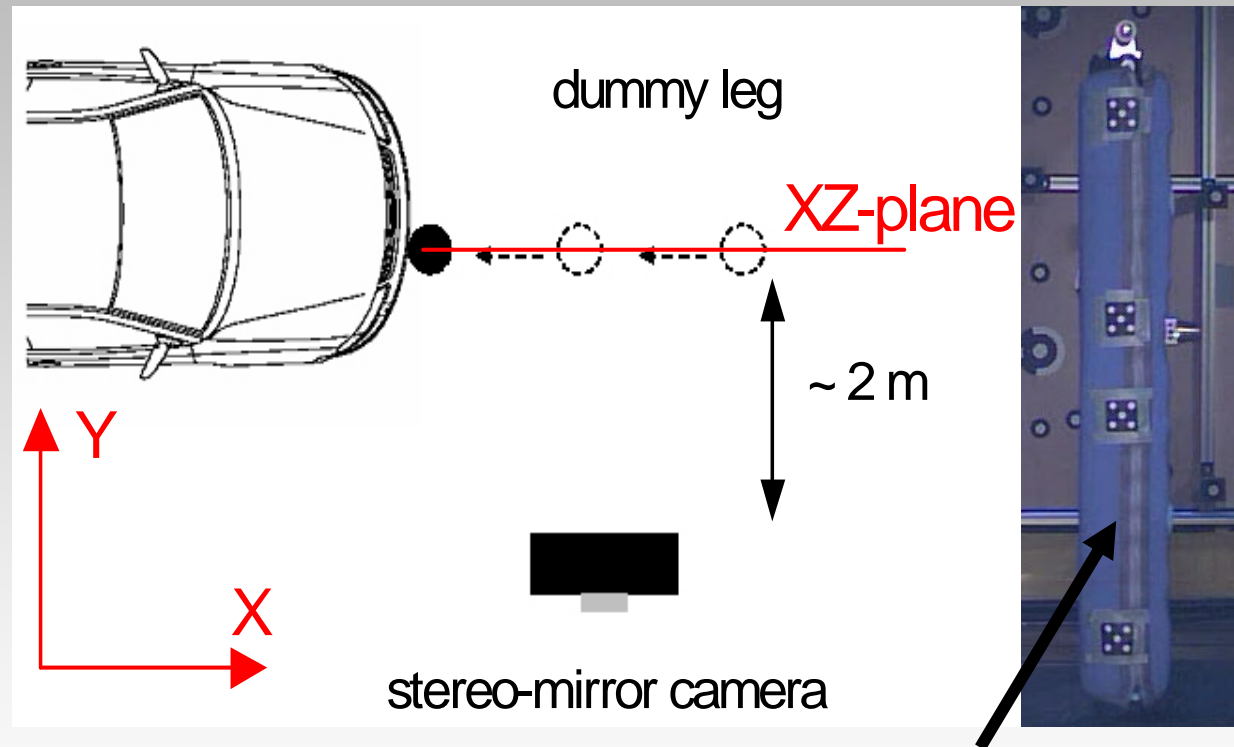
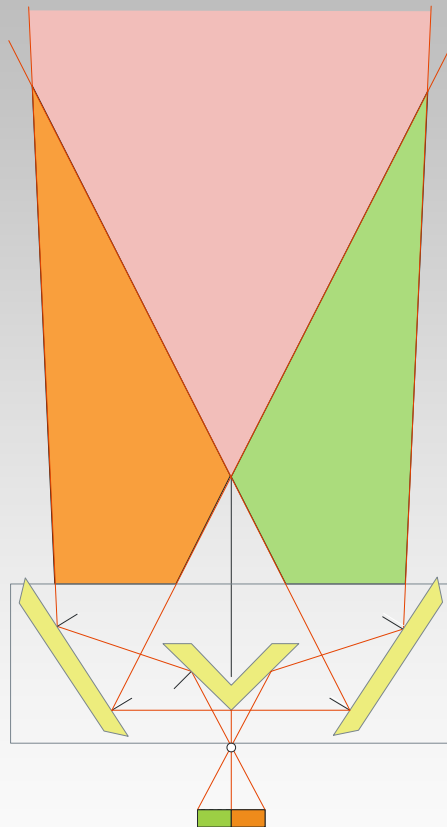
# Spiegelstereovorsatz für Hochgeschwindigkeitskamera

Lösung: bei Nutzung eines Spiegelstereovorsatzes mit nur einer Kamera entfällt die Synchronisation



# Spiegelstereovorsatz für Hochgeschwindigkeitskamera

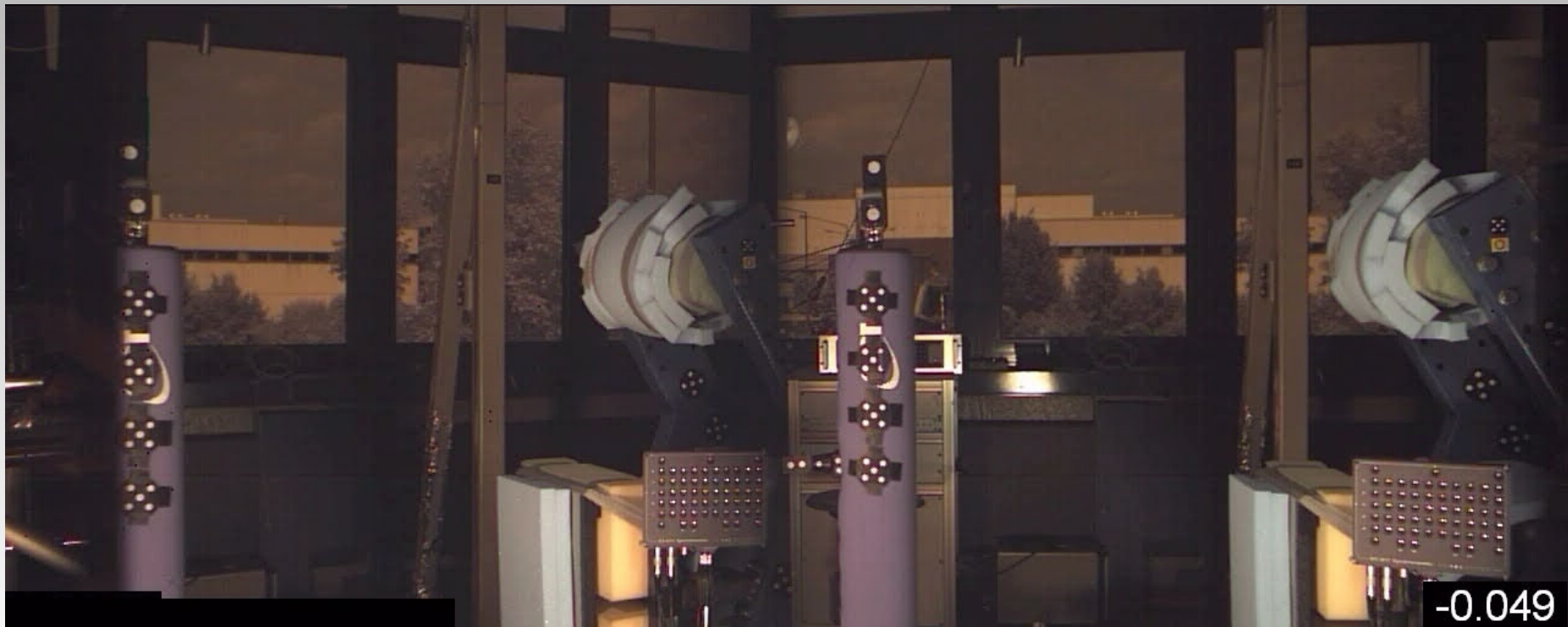
## 3D erfassbare Bereich, Versuchsaufbau



Aufprallelement (Beindummy)  
für Fußgängerschutz-  
experimente

# Spiegelstereovorsatz für Hochgeschwindigkeitskamera

Beispielvideosequenz, ca. 0.35 Sekunden!!



Genauigkeit der 3D Koordinaten der Beindummpunkte (über das gesamte Beobachtungsintervall)	Test	sX	sY	sZ
	T1	<0.5mm	<3mm	<0.5mm
	T2	<0.5mm	<4mm	<0.5mm

Ergebnisse der Vorwärtsschnittberechnungen aus 2 Tests



# Zusammenfassung

# photogr. Aufnahmetechnik



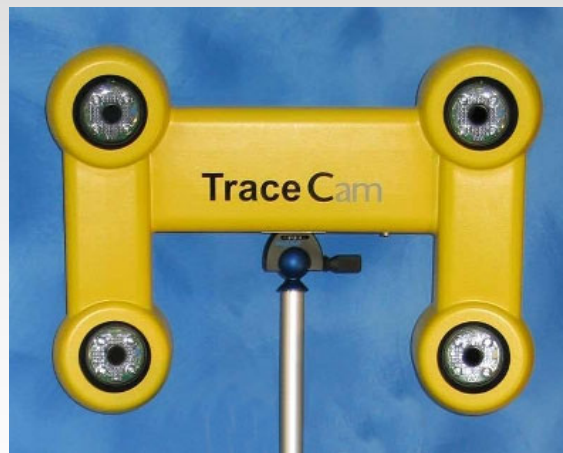
Digitalkamera 8 Mio. Pixel (Kodak)



Digitalkamera 16 Mio. Pixel (Kodak)



Highspeedkamera 1000 Bilder/sec  
(Weinberger)



Vierkammersystem (AICON)



Stereonavigationssystem (PI)



Panoramakamera (KST)

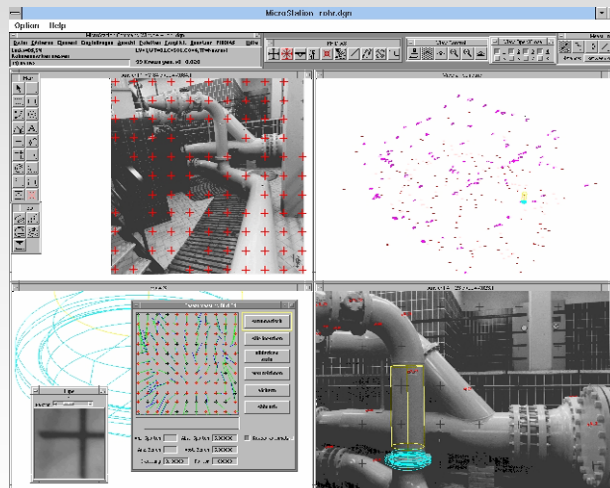
# Zusammenfassung

# photogr. Systeme

## Offline-Systeme

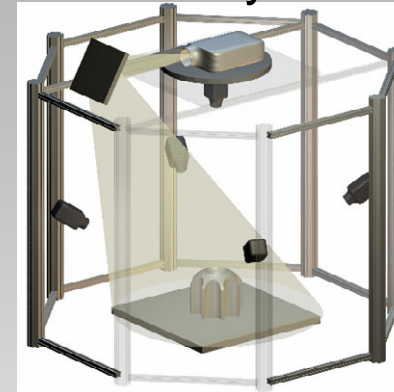


Digitale Stereoauswertestation (ZI Imaging)

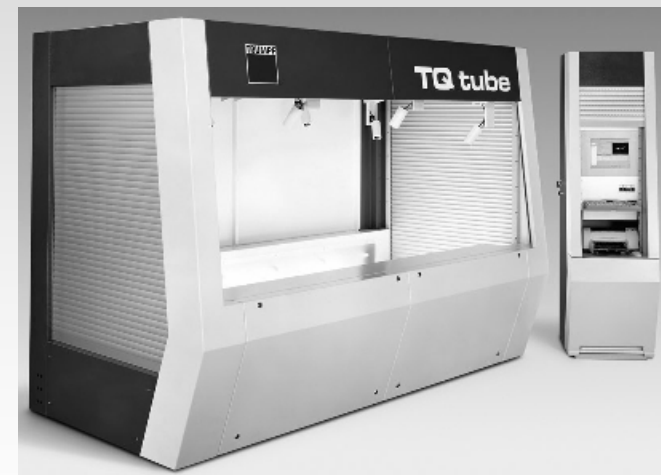


Digitales Mehrbildsystem PHIDIAS)

## Online-Systeme



Oberflächenscansystem (FhG Jena)



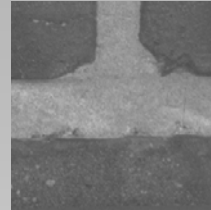
Rohrleistungsmesssystem (AICON)



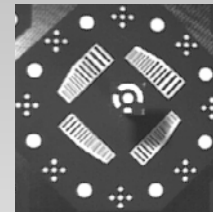
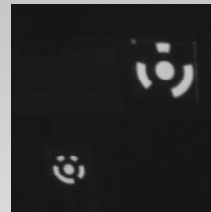
# Zusammenfassung

# Messelemente

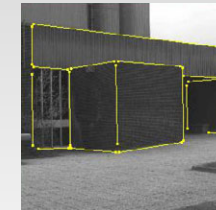
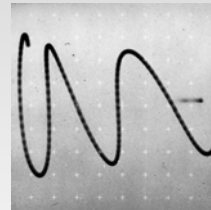
- Natürliche Punkte



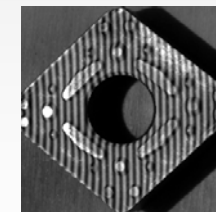
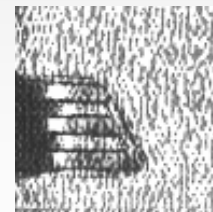
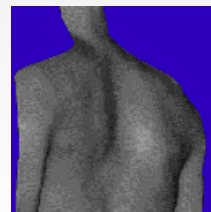
- Signalisierte Punkte



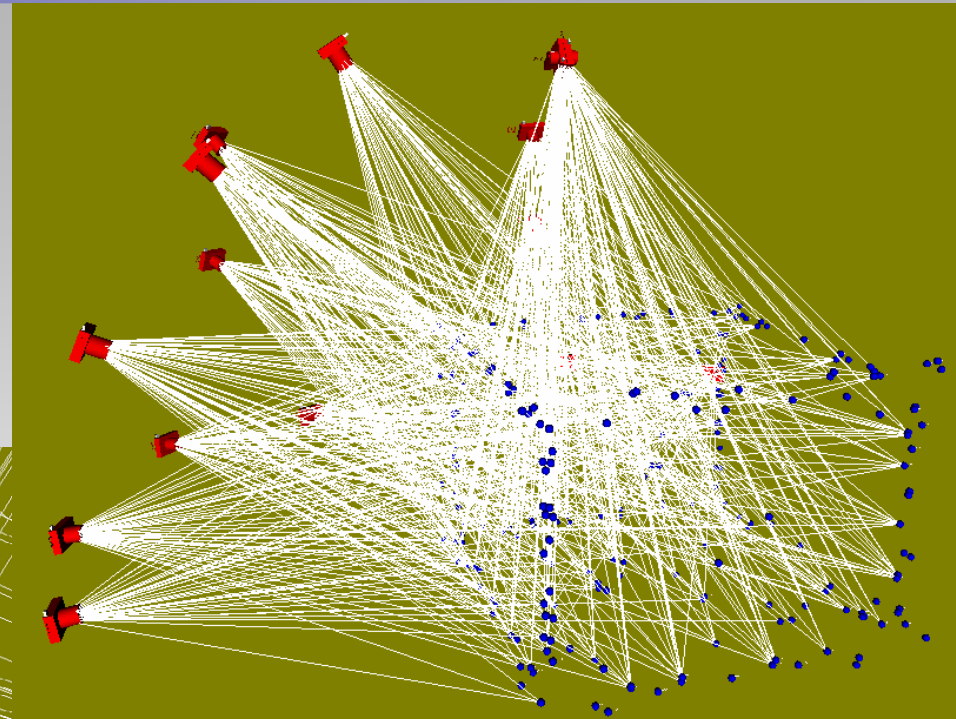
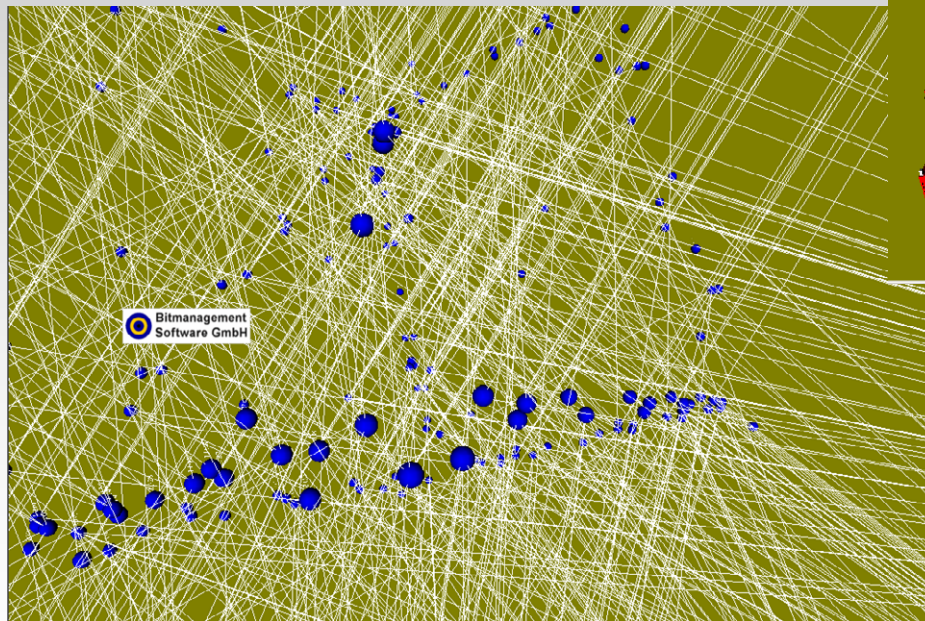
- Konturen



- Freiformflächen



## Bündelausgleichung



- 3D-Punktbestimmung
- simultane Kamerakalibrierung
- Kleinste-Quadrate-Ausgleichung
- Elimination von Ausreißern



# Zusammenfassung

## Messtechnik

Maschinenbau  
Flugzeugbau  
Automobilbau  
Windkraftanlagenbau

.....



Flugzeugbau

## Unfallvermessung

## Tatortvermessung



Unfallvermessung

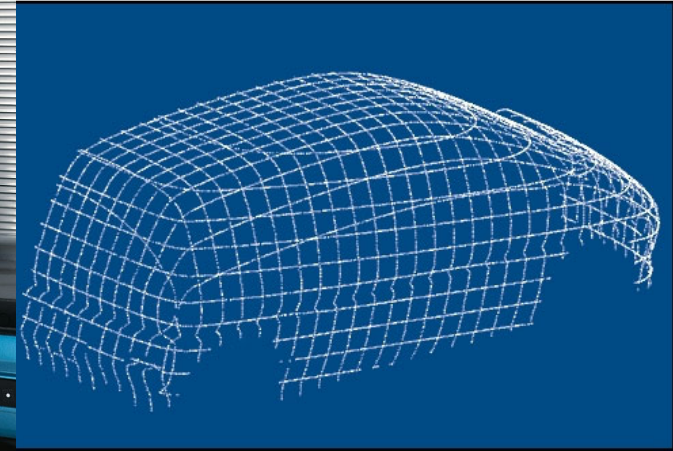
# Zusammenfassung

Design

Reverse Engineering



Oberflächenmesssystem (GOM)



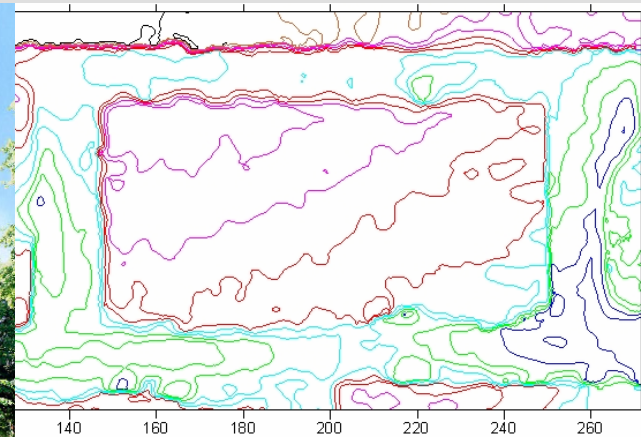
Oberflächenvermaschung

Ingenieurbau

Materialprüfung



Michaeliskirche Lüneburg



3D-Oberflächenmodell

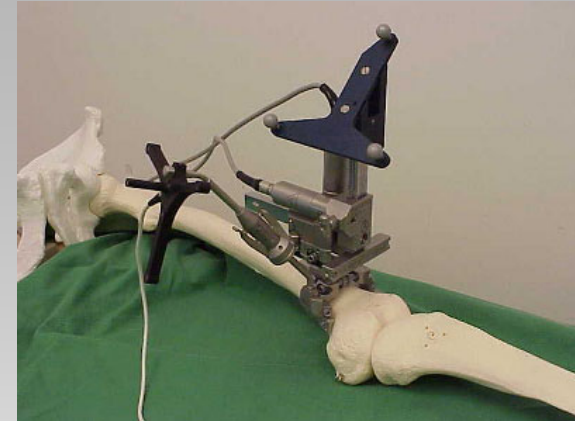


# Zusammenfassung

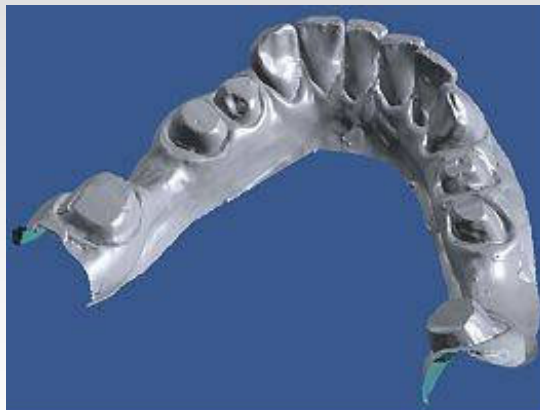
## Medizin

Computertomographie  
Operationsroboter  
Kieferorthopädie  
kosmetische +  
plastische Chirurgie  
OP-Navigation

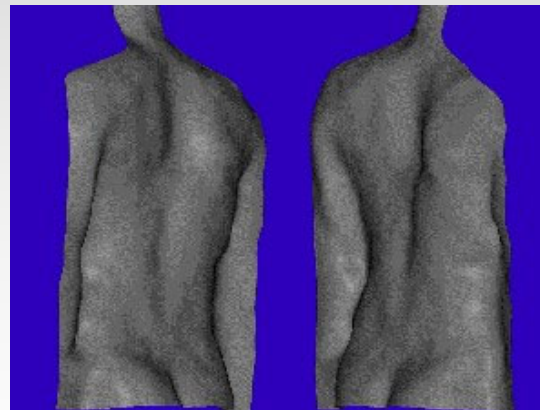
.....



Operationsroboter



Kiefervermessung



Rückenvermessung



Navigationssystem im OP



## Photogrammetrie

-

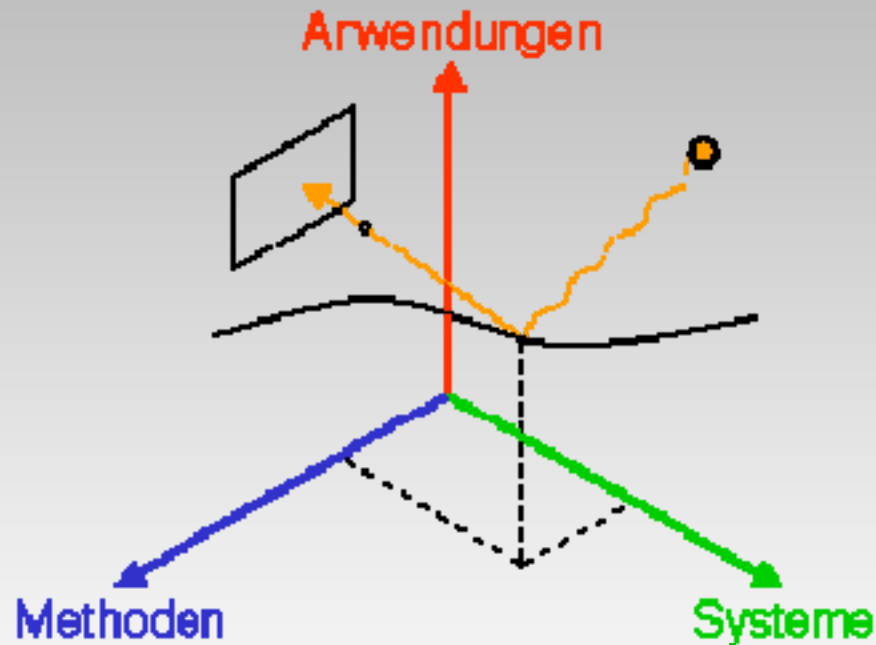
### Stand der Technik:

- berührungslose, dreidimensionale Messtechnik
- universell und flexibel
- Automatisierbar, z.T. schon Vollautomatisiert
- maßstabsabhängige Genauigkeit **bis hin zum  $\mu\text{m}$ -Bereich**
- Geeignet für statische und dynamische Messaufgaben
- hohe Punktdichten, exakte Oberflächen etc.





## Optische 3D-Messtechnik - Photogrammetrie - Laserscanning



Institut für  
Angewandte Photogrammetrie  
und Geoinformatik



Institut für Mess- und Auswertetechnik



EUROPÄISCHE UNION  
Europäischer Sozialfonds



Wissenschaftlich-technischer Workshop seit 2002  
2005: ca. 250 Teilnehmer, 20 Aussteller aus 6 Ländern

**Infos unter: <http://www.fh-oow.de/3dtage>**



Institut für  
Angewandte Photogrammetrie  
und Geoinformatik

Fachhochschule  
University of Applied Sciences

Oldenburg  
Ostfriesland  
Wilhelmshaven



## Photogrammetrie

-

in 22 Jahren:



Vielen Dank für die Aufmerksamkeit 😊

