

Genauigkeitsuntersuchungen einer Handykamera



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Geodätische Woche 2009 Karlsruhe

Dipl.-Ing. Verena Willert

Geodätisches Institut TU Darmstadt

23. September 2009

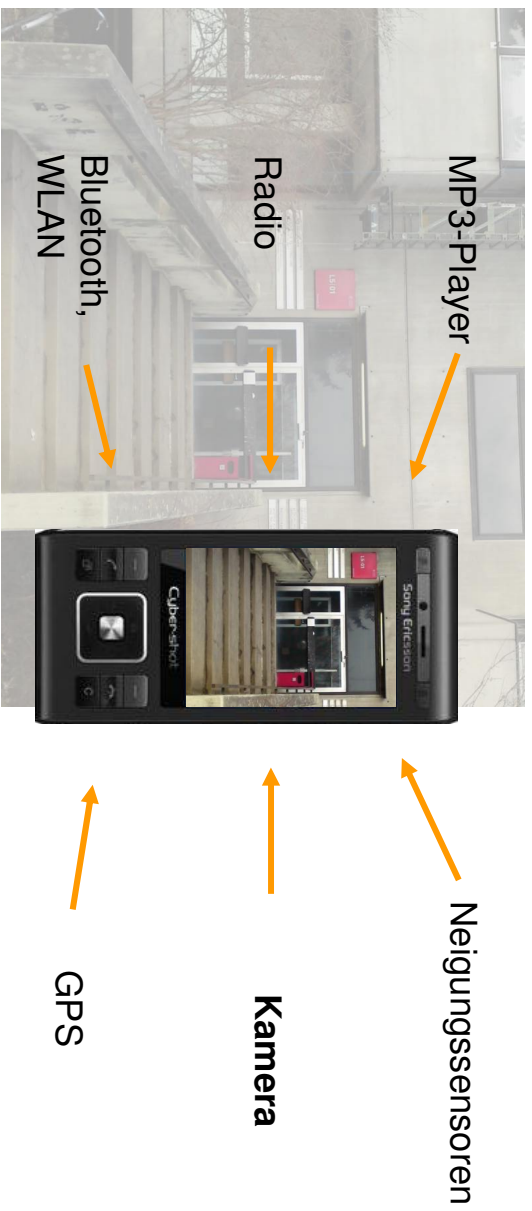
Gliederung



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

- Einsatz einer Handykamera zur Indoor-Positionierung
- Kalibrierung der Kamera
- Vorstellung der Einzelbildkalibrierung
- Praktische Untersuchungen
- Fazit und Ausblick

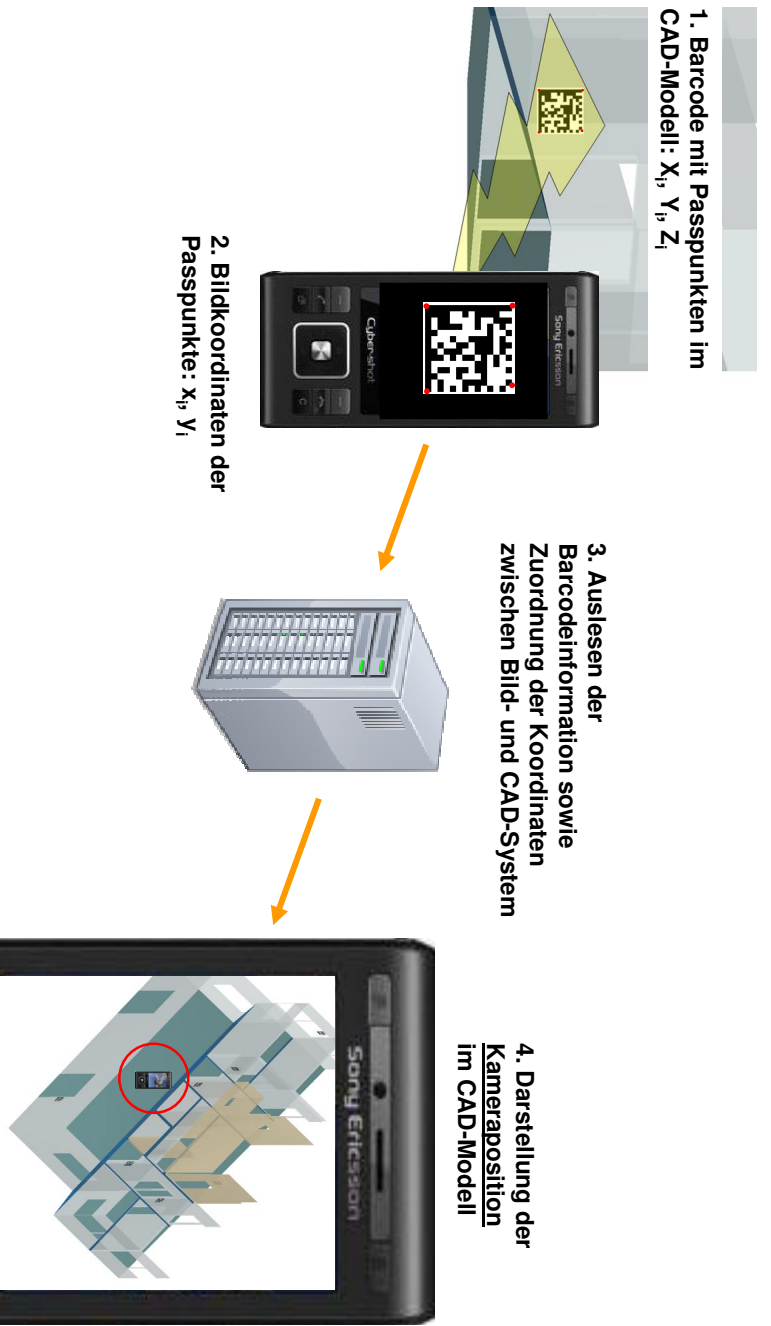
- Erweiterung in modernen Handys:



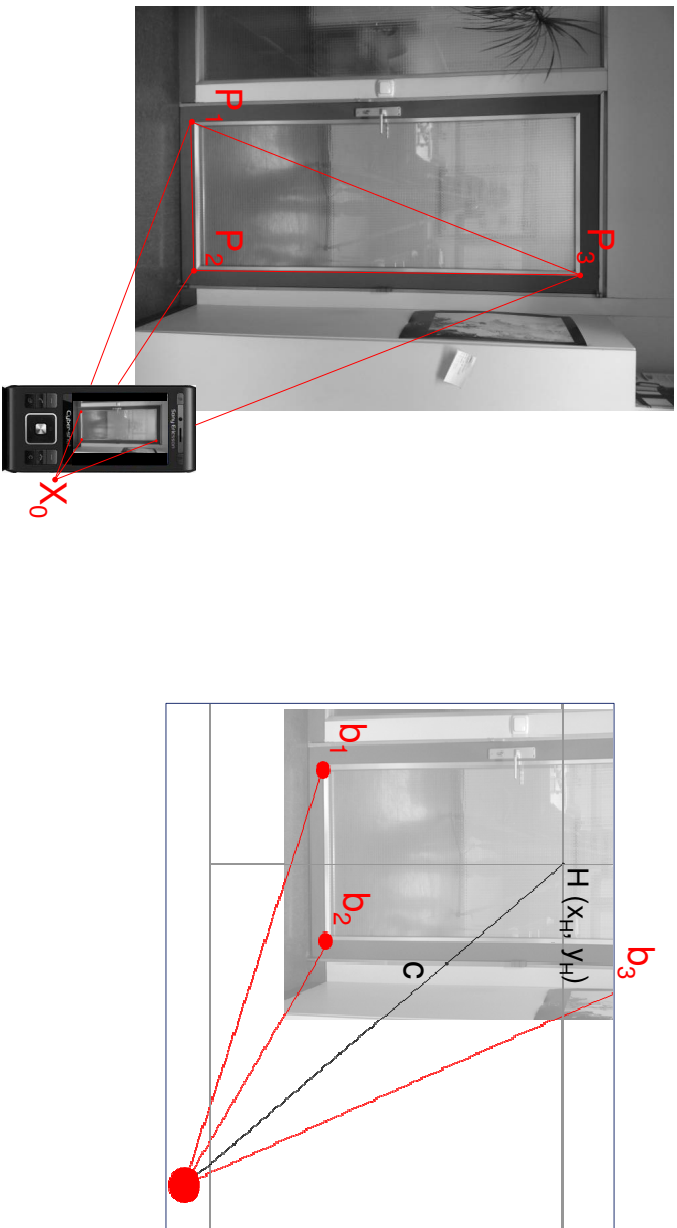
- Handy zur **Positionierung** in Gebäuden
- Kamera als ein Basis- Messinstrument

Einsatz einer Handykamera zur Indoor-Positionierung

Prinzipskizze zur Positionsbestimmung



- Positionsbestimmung über räumlichen Rückwärtsschnitt:



Kalibrierung der Kamera

Voraussetzung für Messeinsatz

- Innere Orientierung der Kamera muss bekannt sein, wird aber vom Hersteller nicht angegeben

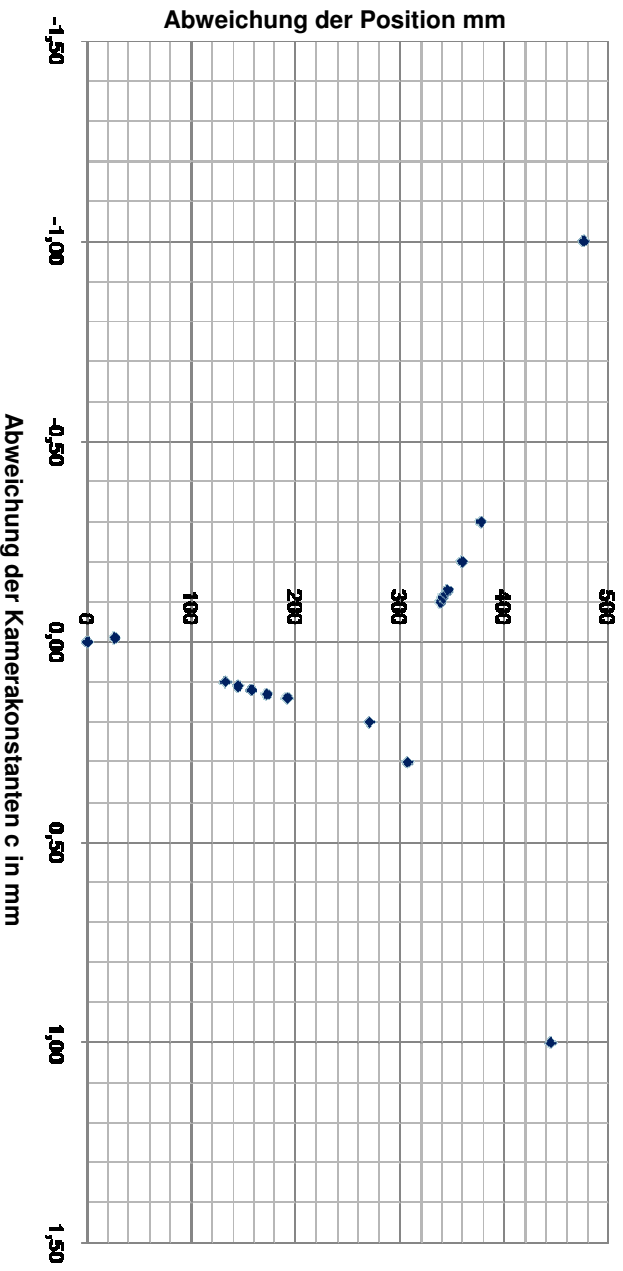
→ Kalibrierung zur Bestimmung:

- der intrinsischen Parameter (Kamerakonstante c , Bildhauptpunkt (x_h, y_h))
- der Verzeichnungsparameter d_1, d_2, d_3, d_4

→ Kamera kann wie Messkamera benutzt werden

- Fragestellungen:
 - Muss die Kamera für derartige Zwecke kalibriert werden?
 - Welchen Einfluss haben die Parameter?

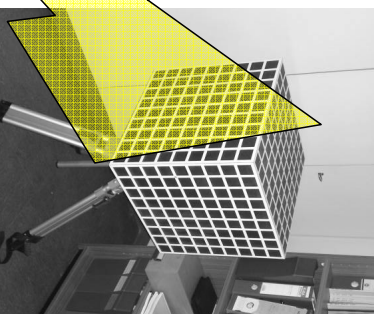
- Einfluss der Kamerakonstanten auf Güte der Positionsbestimmung
(Abstand Kamera - Objekt 1,30m)



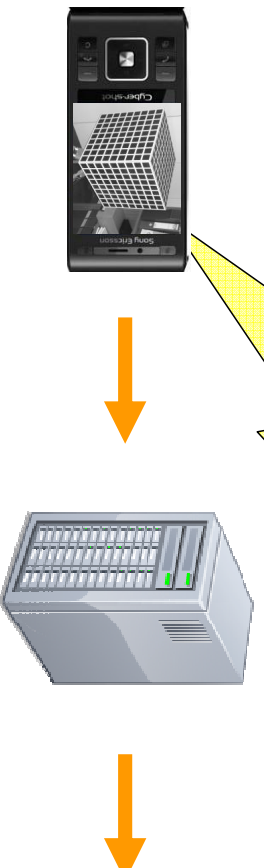
Kalibrierung der Kamera

Gewähltes Verfahren: Einzelbildkalibrierung

Kalibrierung anhand einer Aufnahme
unter Anwendung des DLT-Verfahrens
(Direkte Lineare Transformation)



Prüfkörper mit 972
Passpunkten



Intrinsische Parameter:
-Kamerakonstante c
-Bildhauptpunkt x_h, y_h
-Verzeichnung d_1, d_2, d_3, d_4

Vorstellung der Einzelbildkalibrierung

DLT-Algorithmus

- Zusammenhang zwischen Bild- und Objektkoordinaten:
- Transformationsgleichungen:

$$x^i = \frac{p_1 \cdot X + p_2 \cdot Y + p_3 \cdot Z + p_4}{p_9 \cdot X + p_{10} \cdot Y + p_{11} \cdot Z + p_{12}}$$

$$y^i = \frac{p_5 \cdot X + p_6 \cdot Y + p_7 \cdot Z + p_8}{p_9 \cdot X + p_{10} \cdot Y + p_{11} \cdot Z + p_{12}}$$

- Lineares System:

$$0 = p_1 \cdot X + p_2 \cdot Y + p_3 \cdot Z + p_4 - x^i \cdot p_9 \cdot X - x^i \cdot p_{10} \cdot Y - x^i \cdot p_{11} \cdot Z - x^i \cdot p_{12}$$

$$0 = p_5 \cdot X + p_6 \cdot Y + p_7 \cdot Z + p_8 - y^i \cdot p_9 \cdot X - y^i \cdot p_{10} \cdot Y - y^i \cdot p_{11} \cdot Z - y^i \cdot p_{12}$$

Liegen mindestens 6 Punktpaare vor, können die 12 Unbekannten ohne Näherungswerte bestimmt werden

Vorstellung der Einzelbildkalibrierung

DLT-Algorithmus

- Angewendetes Verfahren zur Problemlösung: Direkte lineare Transformation (DLT)
- 3x4 - Projektionsmatrix bestimmen:

$$P = \begin{pmatrix} p_1 & p_2 & p_3 & p_4 \\ p_5 & p_6 & p_7 & p_8 \\ p_9 & p_{10} & p_{11} & p_{12} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} u \\ v \\ w \end{pmatrix} = P \cdot \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \\ W \end{pmatrix}$$

- Aus der Projektionsmatrix lassen sich die innere und äußere Orientierung ableiten:

$$P = K \cdot (R | T_0)$$

innere Parameter

$$K = \begin{pmatrix} c & c \cdot s & x_H \\ 0 & c \cdot (1+m) & y_H \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

äußere Parameter

$$R = \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{pmatrix} \quad T_0 = \begin{pmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{pmatrix}$$

Vorstellung der Einzelbildkalibrierung

Bestimmung der Verzerrungsparameter

- Weitere Parameter zur vollständigen Beschreibung der Kamera sind Verzerrungsparameter:

- Radiale Verzerrung d_1 und d_2 :

$$\begin{pmatrix} x_d \\ y_d \end{pmatrix} = (1 + d_1 r^2 + d_2 r^4) \cdot \begin{pmatrix} x_n \\ y_n \end{pmatrix}$$

- Tangentiale Verzerrung d_3 und d_4 :

$$\begin{pmatrix} x_d \\ y_d \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_n \\ y_n \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} d_3(2x_n y_n) + d_4(r^2 + 2x_n^2) \\ d_3(r^2 + 2y_n^2) + d_4(2x_n y_n) \end{pmatrix}$$

- Verzerrungsparameter werden in iterativem Prozess zusammen mit der Bestimmung der inneren und äußeren Orientierung (DLT-Ansatz) bestimmt

Praktische Untersuchungen

Kameratypen

- Hersteller: Sony Ericsson
- Typbezeichnung: Cybershot C905
- Auflösung: 8 Megapixel
- Brennweite $f = 5,91\text{mm}$
- Fokussierungseinstellungen:
automatisch oder unendlich
- Hersteller: Sony
- Typbezeichnung: DSC-W1
- Auflösung: 5 Megapixel
- Brennweite $f = 7,9\text{-}23,7\text{mm}$
- Fokussierungseinstellungen:
automatisch, unendlich,
manuell auf 0,5/1,0/3,0/7,0m



Praktische Untersuchungen

Ergebnisse mit der Handkamera



- Ergebnisse Handkamera Sony Ericsson C905 (Auflösung: 2 $\mu\text{m}/\text{pixel}$):

	Messung 1	Messung 2	Messung 3	Messung 4
c [mm]	6,84	6,54	6,82	7,37
x_H [mm]	3,31	2,74	3,26	2,76
y_H [mm]	2,37	2,90	2,41	2,3
d_1 [μm]	0,25	-2,36	0,38	-0,9
d_2 [μm]	-0,88	11,16	-1,96	-15,80
d_3 [μm]	-0,003	0,08	-0,01	0,00
d_4 [μm]	0,01	0,18	0,001	-0,1
s_0 [μm]	3,8	3,0	2,6	3,8

$$c_M = 6,89 \pm 0,3\text{mm} \quad x_H = 2,97 \pm 0,3\text{mm} \quad y_H = 2,49 \pm 0,2\text{mm}$$

Praktische Untersuchungen

Ergebnisse mit der Digitalkamera



- Ergebnisse Digitalkamera Sony DSC-W1 (Auflösung: 4,4 $\mu\text{m}/\text{pixel}$):

	Messung 1	Messung 2	Messung 3
c [mm]	12,03	12,76	12,55
x_H [mm]	4,14	5,77	5,98
y_H [mm]	4,28	1,91	3,18
d_1 [μm]	-4,76	-4,05	-0,79
d_2 [μm]	9,87	5,46	11,04
d_3 [μm]	0,06	0,37	-0,11
d_4 [μm]	0,56	0,13	0,03
s_0 [μm]	6,58	5,60	5,78

$$c_M = 12,45 \pm 0,3\text{mm} \quad x_H = 5,3 \pm 0,8\text{mm} \quad y_H = 3,12 \pm 1,0\text{mm}$$

Praktische Untersuchungen

Versuchsaufbau für Positionsvergleich Soll-Ist



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT



10. Oktober 2009 | Fachbereich Bauingenieurwesen und Geodäsie | Geodätisches Institut | Dipl.-Ing. Verena Willert |

15

Praktische Untersuchungen

Vergleich mit Sollposition



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

- Vergleich von C905 und DSC-W1 mit Sollposition (bestimmt durch Tachymeter)

	X0 [m]	Y0 [m]	Z0 [m]
Sollposition	-1,57	-2,46	0,90
DSC-W1	-1,57	-2,42	0,96
C905	-1,57	-2,43	0,97

- Vergleich mit Sollposition bestimmt durch Canon EOS D5 zwischen C905 und DSC-W1

	X0 [m]	Y0 [m]	Z0 [m]
Canon	-0,96	-1,15	0,99
DSC-W1	-0,96	-1,14	0,97
C905	-0,98	-1,17	0,99

Fazit und Ausblick

- Die Positionsbestimmung hängt wesentlich von der Güte der Bestimmung der Kamerakonstanten ab
- Herstellerangaben zu ungenau:
 $C_{\text{Hersteller}} = 5,91 \text{ mm}$ \leftrightarrow \rightarrow $C_{\text{Kalibrierung}} = 6,89 \text{ mm}$ (C905)
 $C_{\text{Hersteller}} = 7,9\text{-}23,7 \text{ mm}$ \leftrightarrow \rightarrow $C_{\text{Kalibrierung}} = 12,45 \text{ mm}$ (DSC W1)
- Die Verzeichnungsparameter haben keinen derartigen Einfluss, können eventuell vernachlässigt werden
- Wenn Kamerakonstante und Bildhauptpunkt genau genug bestimmt werden, ist eine Positionierung im cm-Bereich möglich
- Ergebnisse nur bezogen auf Kalibrierung

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit