

## **Praktikum Bildverarbeitung, Übung 1**

### **Kamerakalibrierung**

Ziel dieser Praktikumsübung ist es, die Kalibrierungsparameter einer Kamera zu ermitteln, Bilder mittels Software zu kalibrieren, den Bezug zwischen den kalibrierten Bildern und einem Weltkoordinatensystem herzustellen und schließlich im kalibrierten Bild detektierten Punkten ihre Position im Weltkoordinatensystem zuzuordnen.

In Aufgabe 1 werden die Bilder zum Versuch aufgenommen.

In Aufgabe 2 werden die Parameter der verwendeten Kamera ermittelt.

In Aufgabe 3 werden sinnvolle Werte für die intrinsischen Parameter der virtuellen, senkrecht ausgerichteten Kamera und für die Bildgröße des entzerrten Bilds ermittelt.

In Aufgabe 4 wird Programmcode zum Aufnehmen, Entzerren und Abspeichern eines kalibrierten Bildes erstellt.

In Aufgabe 5 wird der Bezug zu einem Weltkoordinatensystem in der Mitte der Arbeitsplatte des Kameraständers hergestellt.

In Aufgabe 6 wird schließlich die Position in Weltkoordinaten von Punkten im entzerrten Bild ermittelt.

**Bereiten Sie alle Aufgaben vor dem Praktikumstermin gründlich vor.**

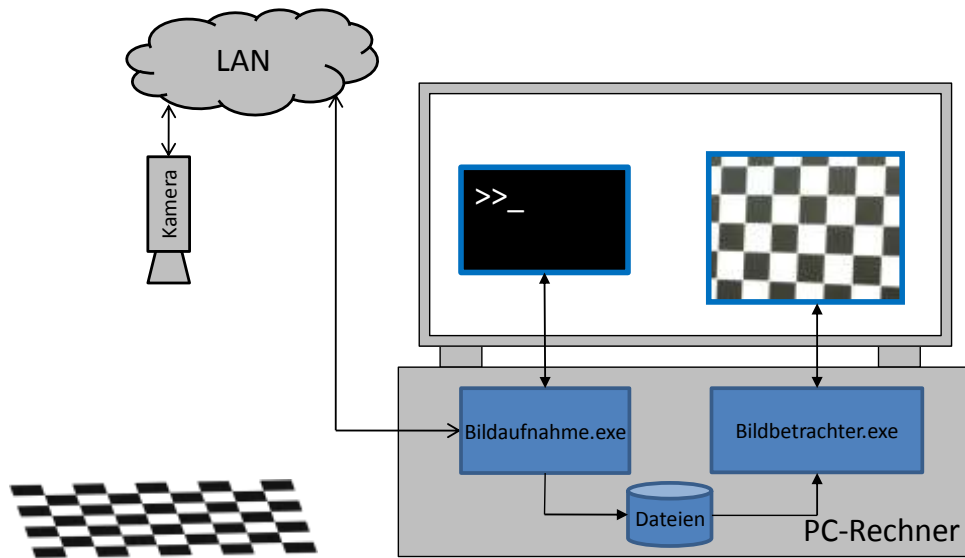
**Erstellen Sie soweit wie möglich schon vor dem Praktikumstermin den Programmcode für die Aufgaben 3 und 4 und bereiten Sie sich auch schon auf die Berechnungen in Aufgabe 5 und 6 vor.**

Bei Interesse steht Ihnen auf den Praktikumsrechnern ein OpenOffice mit Calc zur Verfügung.

Kopieren Sie die vorgegebenen Dateien in den Ordner "C:\Praktikum" auf dem Praktikumsrechner.

## Aufgabe 1: Aufnehmen von Bildern

In dieser Aufgabe sollen Sie mindestens 10 Kalibrieraufnahmen, ein Bild der Arbeitsfläche und ein Bild mit einem Objekt bekannter Höhe aufnehmen.



Dazu stehen Ihnen die Programme "Bildaufnahme" und "Bildbetrachter" auf den Praktikumsrechnern zur Verfügung:

**Bildaufnahme** kann Bilder von der im Praktikum verwendeten Netzwerkkamera in Dateien abspeichern.

**Bildbetrachter** dient zur Wiedergabe und Analyse der Bilder.

Öffnen Sie **Bildaufnahme**, starten Sie „Bildvorschau“ und nehmen Sie mit „Bild speichern“ folgende Bilder auf:

- Mindestens 10 Kalibrieraufnahmen der Kalibrierplatte mit unterschiedlichen Ausrichtungen. Bei der ersten Aufnahme soll die Kalibrierplatte flach und leicht gedreht auf der Arbeitsplatte liegen.
- 1 Bild der Arbeitsplatte ohne Kalibrierplatte und ohne Objekt
- 1 Bild der Arbeitsplatte mit einem Objekt bekannter Höhe

## Aufgabe 2: Ermittlung der Kameraparameter

In dieser Aufgabe sollen Sie die extrinsischen, die intrinsischen und die Verzerrungsparameter der verwendeten Kamera aus den Kalibrieraufnahmen ermitteln. Verwenden Sie dazu das Programm "ComputeCameraParameters.exe". Es wird mit "ComputeCameraParameters.bat" gestartet und erwartet als Parameter den Namen einer Initialisierungsdatei.

In der Initialisierungsdatei sind die Dateinamen der Kalibrieraufnahmen, der Name der zu erzeugenden Datei mit den Kameraparametern und weitere Einstellparameter des Programms anzugeben. Überprüfen Sie die Werte in der vorgegebenen Datei "ComputeCameraParameters.ini" und passen sie wenn nötig an.

Führen Sie das Programm aus und inspizieren Sie anschließend mit einem Texteditor die erzeugte Datei "Kameraparameter.csv" mit den Kameraparametern.

## Aufgabe 3: Bereich des entzerrten Bildes festlegen

In dieser Aufgabe sollen die intrinsischen Parameter der entzerrten, senkrecht ausgerichteten, virtuellen Kamera und die Eckpunkte des verzerrten Bilds im entzerrten Bild bestimmt werden. (Siehe Abschnitt im Skript: "Berechnung eines unverzerrten Bildes aus einem verzerrten Bild")

Die Bestimmung soll mittels eines C++-Programms "Entzerren" (Ordner "Uebung\_01\_Programmierung") erfolgen, dessen Rahmen Ihnen vorgegeben ist. Die Bibliothek "libBV" (Ordner "lib") und das Programm lassen sich bereits mit der Code::Blocks-IDE und dem MinGW-Compiler übersetzen. "Entzerren" liest die ermittelten Kameraparameter aus der Datei "Kameraparameter.csv" ein. Zu Testzwecken sind bereits ein Bild und Kameraparameter vorgegeben.

Ergänzen Sie zunächst im Programm den Code, um die Positionen der Eckpunkte des verzerrten Bilds im entzerrten Bild zu berechnen. Die Bildweite soll als  $f = f_x''$  gewählt und zunächst  $c_x = c_y = 0$  gesetzt werden. Berechnen Sie anschließend mit den entzerrten Positionen der Eckpunkte geeignete Werte für  $c_x$ ,  $c_y$  und für die Breite  $N$  und Höhe  $M$  des entzerrten Bilds, so dass weitgehend alle Pixel des verzerrten Bilds im entzerrten Bild enthalten sind.

**Hinweis:** Zum Einlesen der Kameraparameter aus der CSV-Datei steht Ihnen die Funktion "Kameraparameter\_einlesen" und zur Entzerrung von Punkten die Funktion "UndistorePoints" zur Verfügung.

Notieren Sie die intrinsischen Parameter Ihrer entzerrten Kamera:

$$f = \quad c_x = \quad c_y =$$

#### Aufgabe 4: Entzerren und Abspeichern einer Kameraaufnahme

Erweitern Sie das Programm aus Aufgabe 3, dass es BMP-Bilder einliest, eine Entzerrung mit gleichzeitiger senkrechter Ausrichtung auf die Arbeitsplatte vornimmt und dieses abspeichert. Die Namen der zu entzerrenden Bilder werden dem Programm bereits als Parameter übergeben.

Verwenden Sie die Parameter, die im Programm eingelesen und die berechnet worden sind, als Parameter bei der Entzerrung.

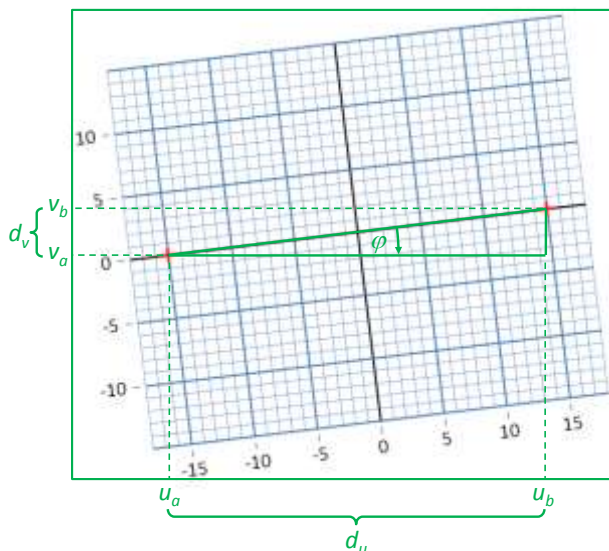
**Hinweis:** Zur Entzerrung von `Img<RGB_Pixel>`-Bildern aus steht Ihnen die Funktion `"UndistoreImage"` zur Verfügung.

#### Aufgabe 5: Bestimmung des Winkels und des Translationsvektors zwischen Kamera- und Weltkoordinatensystem

(siehe Beispiel im Skript: "Festlegen eines Weltkoordinatensystems")

##### Ermittlung des Winkels:

Das auf die Arbeitsplatte des Kameraständers aufgebrachte Raster soll als Weltkoordinatensystem verwendet werden. Der Ursprung soll in der Mitte des Rasters liegen.



Entzerren Sie das in Aufgabe 1 aufgenommene Bild der Arbeitsplatte und laden Sie das Ergebnis in den Bildbetrachter. Bestimmen Sie die Positionen  $(u_a \ v_a)^T$  und  $(u_b \ v_b)^T$  von zwei weit auseinander liegenden Punkten auf der horizontalen Achse des Rasters. Beachten Sie, dass die vertikale Position vom unteren Bildrand gezählt werden muss.

Berechnen Sie aus diesen Positionen den Winkel  $\varphi$ , mit dem das Kamerakoordinatensystem um die  $z$ -Achse rotiert werden muss, damit es mit dem Weltkoordinatensystem gleich ausgerichtet ist:

$$\varphi =$$

Mit dem nun bekannten Winkel ergibt sich die Rotationsmatrix  $R_Z$  zwischen dem Weltkoordinatensystem der Arbeitsplatte und der senkrecht ausgerichteten virtuellen Kamera:

$$R_Z = \begin{pmatrix} \cos(\varphi) & \sin(\varphi) & 0 \\ -\sin(\varphi) & \cos(\varphi) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} & & 0 \\ & & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

### Ermittlung des Translationsvektors:

Bestimmen Sie mit dem Bildbetrachter im entzerrten Bild der Arbeitsplatte die genaue Position  $(u_w \ v_w)^T$  des markierten Ursprungs des Weltkoordinatensystems. Beachten Sie, dass die vertikale Position vom unteren Bildrand gezählt werden muss.

$$\begin{pmatrix} u_w \\ v_w \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \\ \end{pmatrix}$$

Ermitteln Sie den zur Berechnung von  $\vec{t}$  benötigten Wert  $t_z$ :

$$\begin{pmatrix} X_K \\ Y_K \\ Z_K \end{pmatrix} = R_f^T \cdot (-\vec{t}_f) \Rightarrow Z_K = (R_f[0][2] \ R_f[1][2] \ R_f[2][2]) \cdot (-\vec{t}_f)$$

$$Z_K = \begin{pmatrix} \\ \\ \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \\ \\ \end{pmatrix} =$$

$$t_z = |Z_K| + d_K =$$

**Hinweis:**  $R_f$  und  $\vec{t}_f$  stammen vom ersten Kalibrierbild (mit flacher Kalibrierplatte).  $\vec{t}_f$  kann der Datei "Kameraparameter.csv" entnommen werden, und  $R_f$  wird im Programm "Entzerren" bereits berechnet.

Berechnen Sie daraus den gesuchten Translationsvektor  $\vec{t}$ .

$$\vec{t} = \begin{pmatrix} (t_z/f) \cdot (u_w - c_x) \\ (t_z/f) \cdot (v_w - c_y) \\ t_z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \\ \\ \end{pmatrix}$$

## Aufgabe 6: Bestimmung von Punkten bekannter Höhe im Weltkoordinatensystem

(siehe Beispiel im Skript: "Lokalisieren eines Punktes bekannter Höhe im Weltkoordinatensystem")

Entzerren Sie das Bild mit dem Objekt bekannter Höhe  $H$  auf der Arbeitsplatte.

Bestimmen Sie mit dem Bildbetrachter im entzerrten Bild die Position  $(u_0 \ v_0)^T$  eines Punktes mit der bekannten Höhe  $H$ . Berechnen Sie daraus zunächst die Position  $\vec{P}_k$  im Kamerakoordinatensystem und daraus dann die Position  $\vec{P}_w$  in dem in Aufgabe 5 festgelegten Weltkoordinatensystem:

$$H =$$

$$\begin{pmatrix} u_0 \\ v_0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \phantom{0} \\ \phantom{0} \end{pmatrix}$$

$$\vec{P}_k = \begin{pmatrix} ((t_z - H)/f) \cdot (u_0 - c_x) \\ ((t_z - H)/f) \cdot (v_0 - c_y) \\ (t_z - H) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \phantom{0} \\ \phantom{0} \\ \phantom{0} \end{pmatrix}$$

$$\vec{P}_w = R_z^T \cdot (\vec{P}_k - \vec{t})$$

$$\vec{P}_w = \begin{pmatrix} \phantom{0} & \phantom{0} & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ \phantom{0} & \phantom{0} & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} - \\ - \\ - \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \phantom{0} \\ \phantom{0} \\ \phantom{0} \end{pmatrix}$$