

Digitale Bildverarbeitung

DHBW Stuttgart, Vorlesung „Computergraphik und Bildverarbeitung“

Praktische Übung

Projekte in dieser Vorlesung

Automotive

Spurerkennung



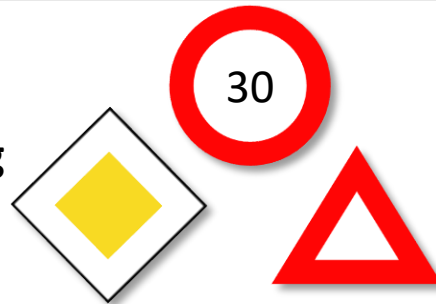
Farbräume

Bildanalyse (Morphologische Verfahren, Merkmalsextraktion, Kanten- und Flächenbestimmung)

Histogramme

Segmentierung

Verkehrszeichenerkennung



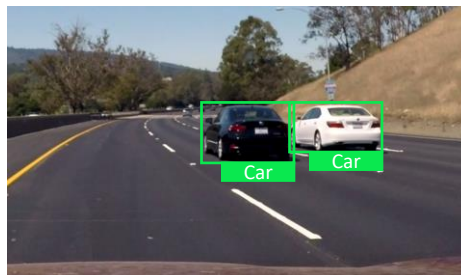
Farbräume

Kontrastverstärkung

Histogramme

Klassifizierung, Objekterkennung

Objekterkennung



Operationen im Ortsbereich (lokale Operatoren, Faltungsfilter)

Segmentierung

Optischer Fluss

Klassifizierung, Objekterkennung

Projektübersicht: Spurerkennung

Spurerkennung



Farbräume

Histogramme

Bildanalyse (Morphologische
Verfahren, Merkmalsextraktion,
Kanten- und Flächenbestimmung)

Segmentierung

Mindestanforderungen (entspricht der Note 1,7)

- **Segmentierung des Bildes:** schränken Sie das Bild auf den Bereich ein, in dem sich die Spurmarkierungen befinden
- **Vorverarbeitung:** Führen Sie eine Kamerakalibrierung (für Udacity-Bildquellen) und die Perspektivtransformation durch
- **Farbräume, Histogramme:** erkennen Sie die Spurmarkierungen in den Farben der angegebenen Quellen
Falls weitere Spurmarkierungen auf dem Bild gefunden werden, müssen die der eigenen Fahrspur priorisiert werden
- **Allgemeines:** Die Verarbeitung von Bildern muss in Echtzeit stattfinden --> Ziel: > 20 FPS
- **Allgemeines:** Beschleunigen Sie die Verarbeitung durch weitere Maßnahmen (bspw. Erkennung der Spurmarkierung in den ersten Frames, Tracking der Spurmarkierung in weiteren Frames solange, bis sich Spurmarkierungspositionen zu stark ändern) → mind. eine Maßnahme im Projekt verwenden
- **Curve / Polynom Fitting:** Erkennen Sie die Krümmung der Fahrspur und geben Sie diese im Ausgabebild aus
- **Allgemeines:** relevante Spurmarkierungen werden in den Udacity-Bildern und im Video „project_video“ durchgehend erkannt

Projektübersicht: Spurerkennung

Spurerkennung



Farbräume

Histogramme

Bildanalyse (Morphologische
Verfahren, Merkmalsextraktion,
Kanten- und Flächenbestimmung)

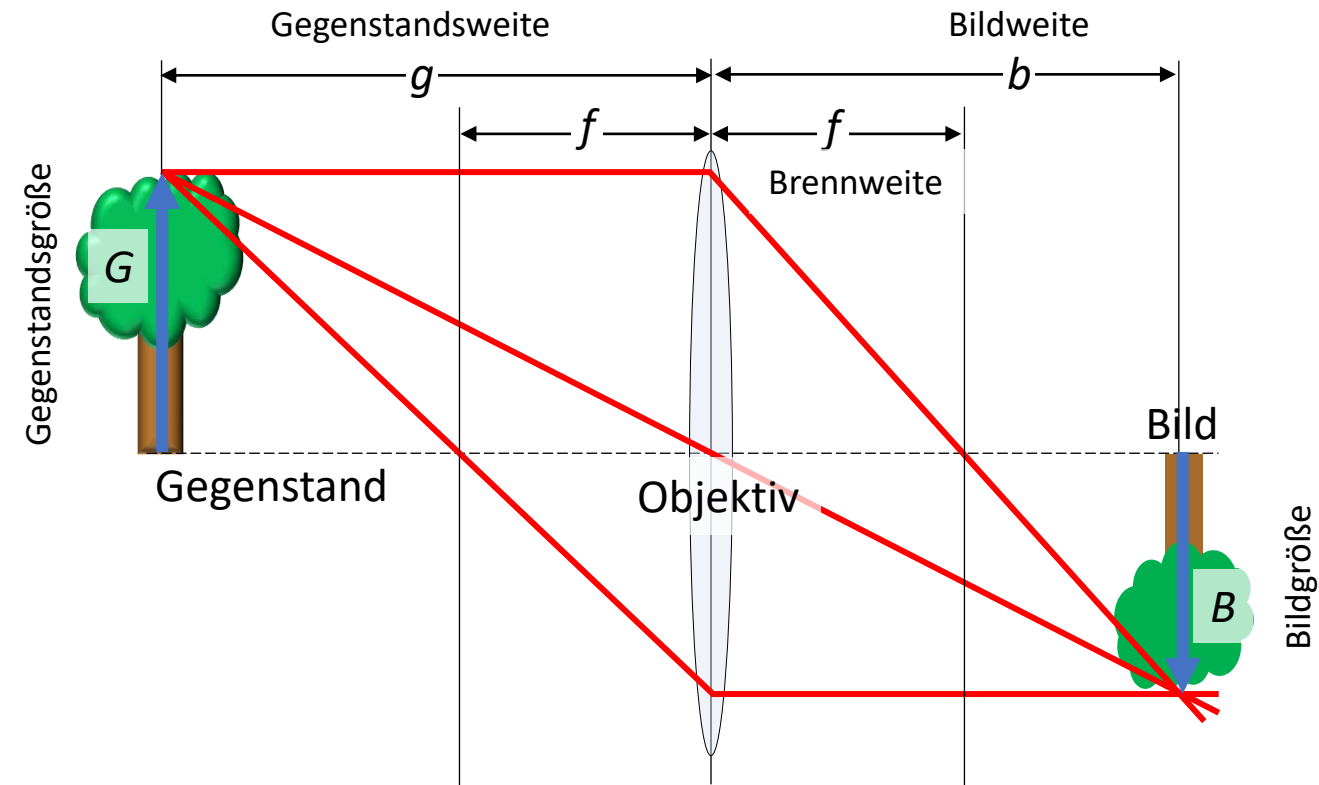
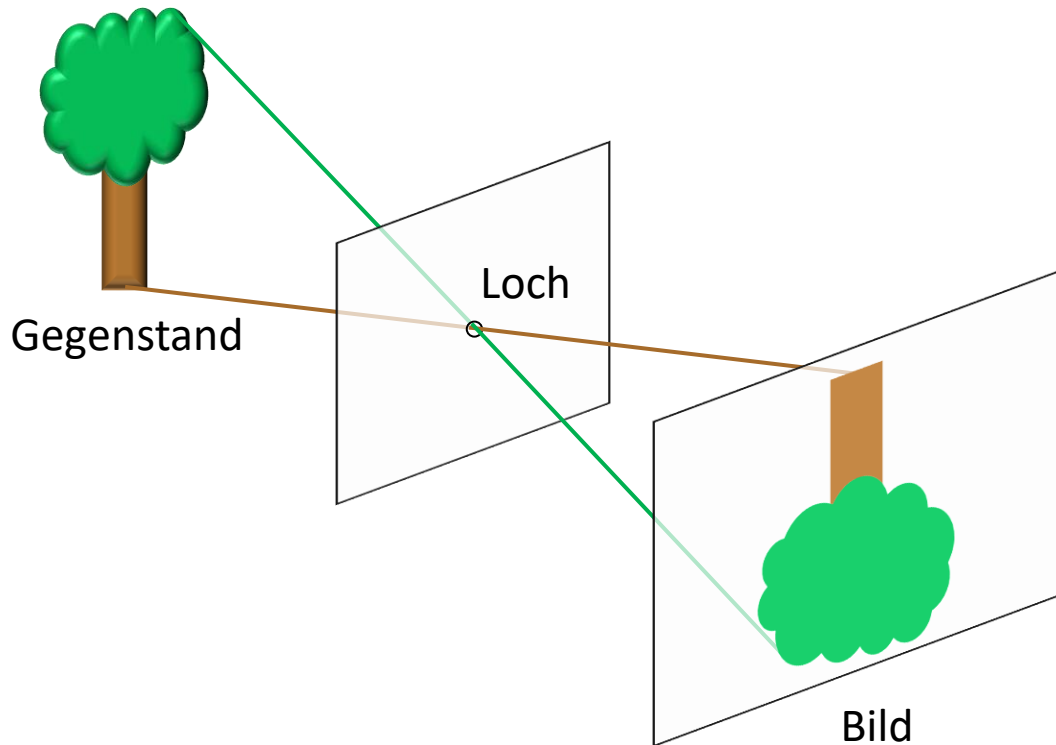
Segmentierung

Zusatzaufgaben (Mindestanforderungen + 2x Zusatzaufgaben = 1,0)

- relevante Spurmarkierungen werden im Video "challenge_video" und "harder_challenge_video" (nahezu) durchgehend erkannt
- relevante Spurmarkierungen werden auf den Datensatz KITTI angewendet. Welche Anpassungen müssen vorgenommen werden, damit Ihr Algorithmus übertragen werden kann?
- Erarbeiten Sie weitere Maßnahmen zur Geschwindigkeitsverbesserung Ihres Algorithmus
- Erkennen Sie Objekte im Bild und visualisieren Sie diese (z.B. weitere Fahrzeuge, Motorräder, etc.)
Die Objekterkennung bitte so implementieren, dass sie deaktivierbar ist und nicht in FPS-Berechnung einzahlt.
- Gerne können Sie eigene Zusatzaufgaben zur Verbesserung Ihres Algorithmus einführen. (Aufwand sollte vergleichbar sein zu o.g. Punkten).

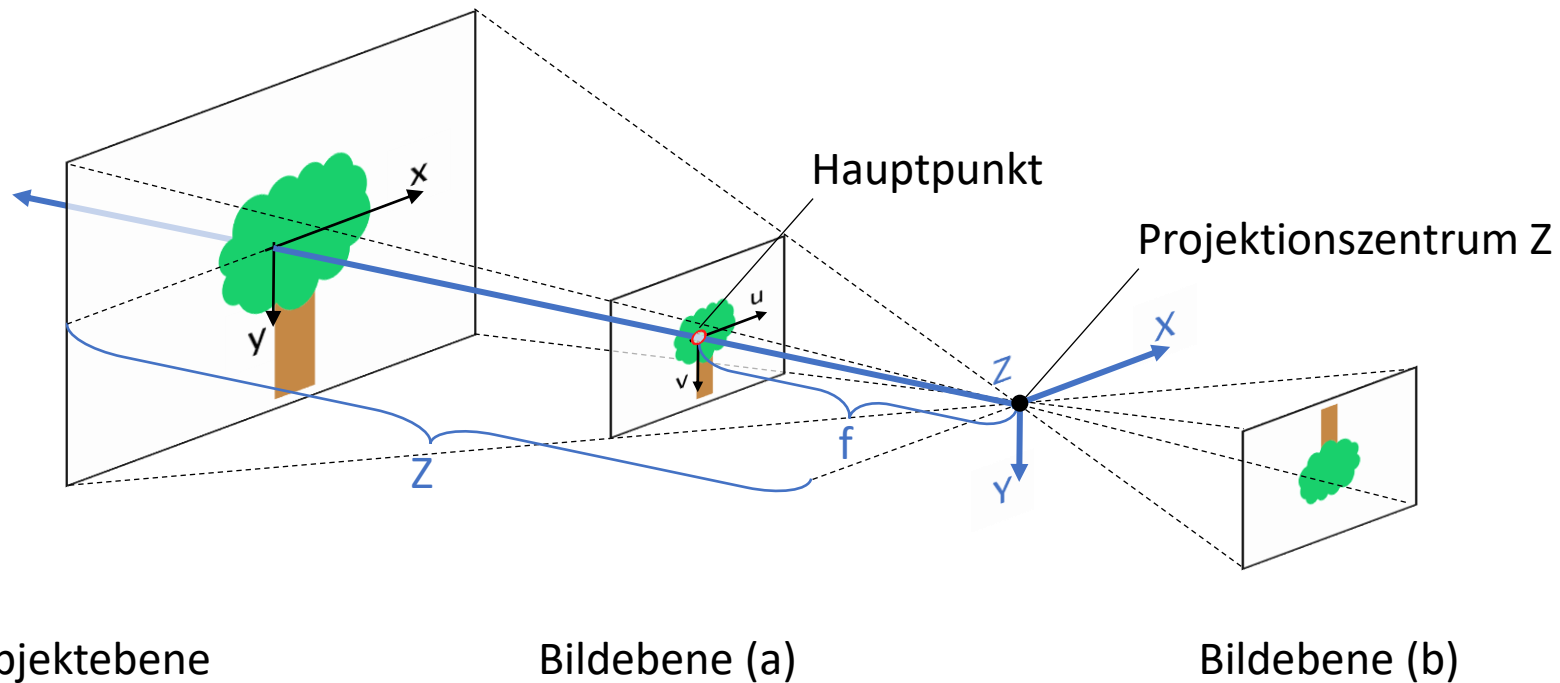
Exkurs 1: Kamerakalibrierung

Wiederholung: Lochkameramodell



Exkurs 1: Kamerakalibrierung

Lochkameramodell



Projektion Objekt (x,y,z) auf Bildebene

$$\begin{pmatrix} u \\ v \end{pmatrix} = \frac{f}{z} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix}$$

z-Komponente geht verloren

Rückprojektion

$$\begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} = \frac{z}{f} \begin{pmatrix} u \\ v \end{pmatrix}$$

Exkurs 1: Kamerakalibrierung

Erweitertes Kameramodell

- unabhängige Brennweiten f_x und f_y

$$\mathbf{f} = \begin{pmatrix} f_x \\ f_y \end{pmatrix}$$

- Hauptpunkt (c_x, c_y) nicht identisch mit Ursprung des Kamera-KOS

$$\begin{pmatrix} u \\ v \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} c_x \\ c_y \end{pmatrix} + \frac{1}{z} \begin{pmatrix} f_x \cdot x \\ f_y \cdot y \end{pmatrix}$$

bzw.

$$\begin{pmatrix} u \\ v \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} f_x/z & 0 & c_x/z \\ 0 & f_y/z & c_y/z \\ 0 & 0 & 1/z \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}$$

$\underbrace{\hspace{10em}}$
 K

Rückprojektion

$$K^{-1} = \begin{pmatrix} 1/f_x & 0 & c_x \\ 0 & 1/f_y & c_y \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Exkurs 1: Kamerakalibrierung

Erweitertes Kameramodell

- Parameter in der Kalibriermatrix K werden als **intrinsische** Parameter bezeichnet

$$\begin{pmatrix} u \\ v \\ 1 \end{pmatrix} = K \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}$$

- Beziehung zwischen Kamera-Koordinatensystem (KOS) und Welt-KOS wird durch **extrinsische** Parameter beschrieben (R : Rotationsmatrix, t : Translationsvektor)

$$p_c = R p_w + t$$

- Kombination von extrinsischen und intrinsischen Parametern ergibt Projektionsmatrix P

$$P = K(R|t)$$

Exkurs 1: Kamerakalibrierung

Kamerakalibrierung

- ist die Bestimmung der extrinsischen und intrinsischen Parameter der Kamera
- erfordert **mindestens 6 Korrespondenzen** zwischen nicht-koplanaren Weltpunkten \mathbf{p}_w und ihren Projektionen in die Bildebene \mathbf{p}_c .
Für jede Korrespondenz gilt die Beziehung:

$$\begin{pmatrix} u \cdot w \\ v \cdot w \\ w \end{pmatrix} = P \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{pmatrix} \text{ mit } P = K(R|t) = \begin{pmatrix} p_1 & p_2 & p_3 & p_4 \\ p_5 & p_6 & p_7 & p_8 \\ p_9 & p_{10} & p_{11} & p_{12} \end{pmatrix}$$

Exkurs 1: Kamerakalibrierung

Kamerakalibrierung

- Die Gleichung kann aufgelöst werden nach

$$u = \frac{p_1X + p_2Y + p_3Z + p_4}{p_9X + p_{10}Y + p_{11}Z + p_{12}}, v = \frac{p_5X + p_6Y + p_7Z + p_8}{p_9X + p_{10}Y + p_{11}Z + p_{12}}$$

bzw. mit Normalisierung $p_{12} = 1$

$$\begin{aligned} p_1X + p_2Y + p_3Z + p_4 &= u p_9X + u p_{10}Y + u p_{11}Z + u \\ p_5X + p_6Y + p_7Z + p_8 &= v p_9X + v p_{10}Y + v p_{11}Z + v \end{aligned}$$

→ Jede Korrespondenz zwischen Weltpunkt p_w und Bildpunkt p_c ergibt **2 lineare Gleichungen**

$$\begin{pmatrix} X_1 & Y_1 & Z_1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -u_1X_1 & -u_1Y_1 & -u_1Z_1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & X_1 & Y_1 & Z_1 & 1 & -v_1X_1 & -v_1Y_1 & -v_1Z_1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ X_n & Y_n & Z_n & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -u_nX_n & -u_nY_n & -u_nZ_n \\ 0 & 0 & 0 & 0 & X_n & Y_n & Z_n & 1 & -v_nX_n & -v_nY_n & -v_nZ_n \end{pmatrix} \begin{pmatrix} p_1 \\ p_2 \\ \dots \\ p_{10} \\ p_{11} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} u_1 \\ v_1 \\ \dots \\ u_n \\ v_n \end{pmatrix}$$

A

x = b

Exkurs 1: Kamerakalibrierung

Kamerakalibrierung

- Die optimale Lösung \mathbf{x}^* wird mit Hilfe der Kleinste-Quadrate-Methode für ein solches überbestimmtes lineares Gleichungssystem bestimmt:

$$A\mathbf{x}^* = \mathbf{b}$$

$$\Leftrightarrow A^T A\mathbf{x}^* = A^T \mathbf{b}$$

$$\Rightarrow \mathbf{x}^* = (A^T A)^{-1} A^T \mathbf{b}$$

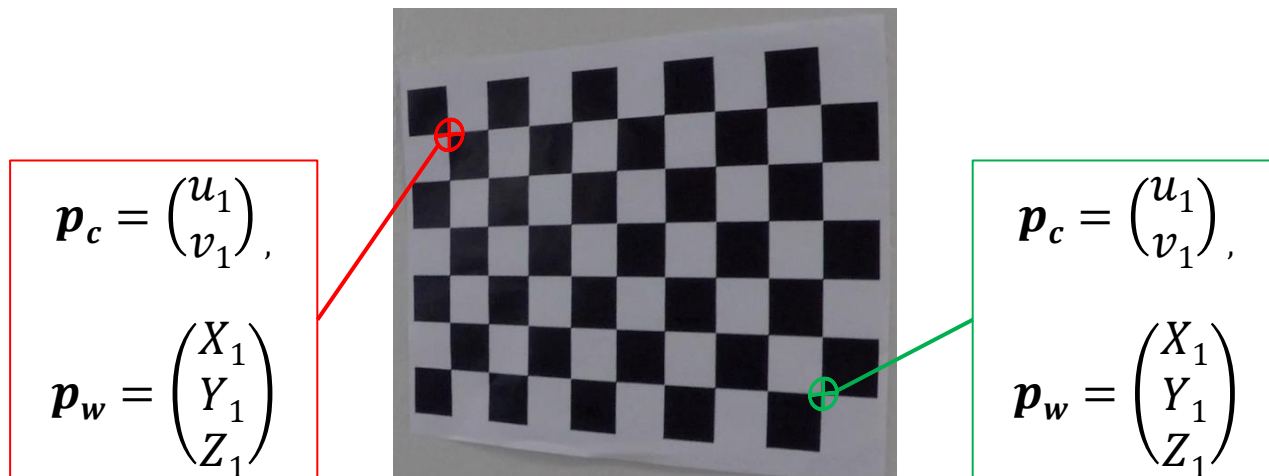
wobei $(A^T A)^{-1}$ durch die Moore-Penrose Pseudeinverse bestimmt wird

Exkurs 1: Kamerakalibrierung

Kamerakalibrierung

- Ziel: Bestimmung der Projektionsmatrix P bzw. Projektionsvektor \mathbf{x}^*

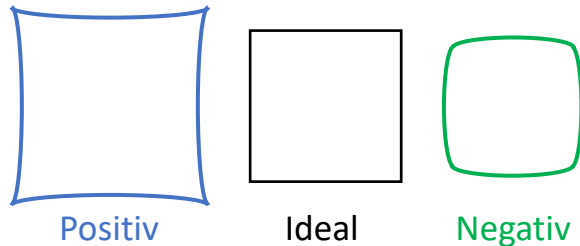
$$\begin{pmatrix} \boxed{X_1} & \boxed{Y_1} & \boxed{Z_1} & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -u_1X_1 & -u_1Y_1 & -u_1Z_1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \boxed{X_1} & \boxed{Y_1} & \boxed{Z_1} & 1 & -v_1X_1 & -v_1Y_1 & -v_1Z_1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \boxed{X_n} & \boxed{Y_n} & \boxed{Z_n} & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -u_nX_n & -u_nY_n & -u_nZ_n \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \boxed{X_n} & \boxed{Y_n} & \boxed{Z_n} & 1 & -v_nX_n & -v_nY_n & -v_nZ_n \end{pmatrix} \begin{pmatrix} p_1 \\ p_2 \\ \vdots \\ p_{10} \\ p_{11} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \boxed{u_1} \\ v_1 \\ \vdots \\ \boxed{u_n} \\ v_n \end{pmatrix}$$



Exkurs 1: Kamerakalibrierung

Kamerakalibrierung: Verzeichnung

- zwei Arten von Verzeichnungen:
 - **radial** → Versatz der idealen Position nach innen (Tonne) oder außen (Nadelkissen)
Ursache: fehlerhafte radiale Krümmung der Linse



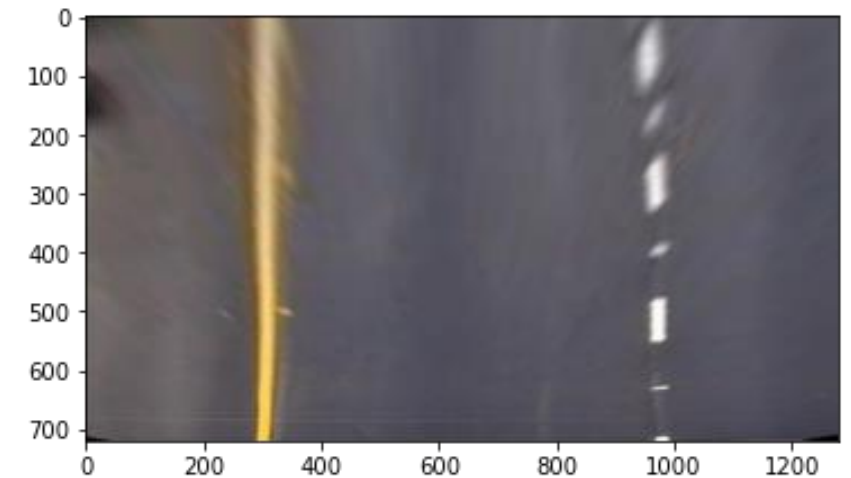
- **tangential** → Versatz der idealen Position
Ursache: fehlerhafte Ausrichtung der optischen, mechanischen und elektrischen Bauteile

Exkurs 2: Perspektivtransformation

- Krümmung der Linien im ursprünglichen Kamerabild entspricht nicht der realen Fahrspurkrümmung
→ Perspektivtransformation in Vogelperspektive

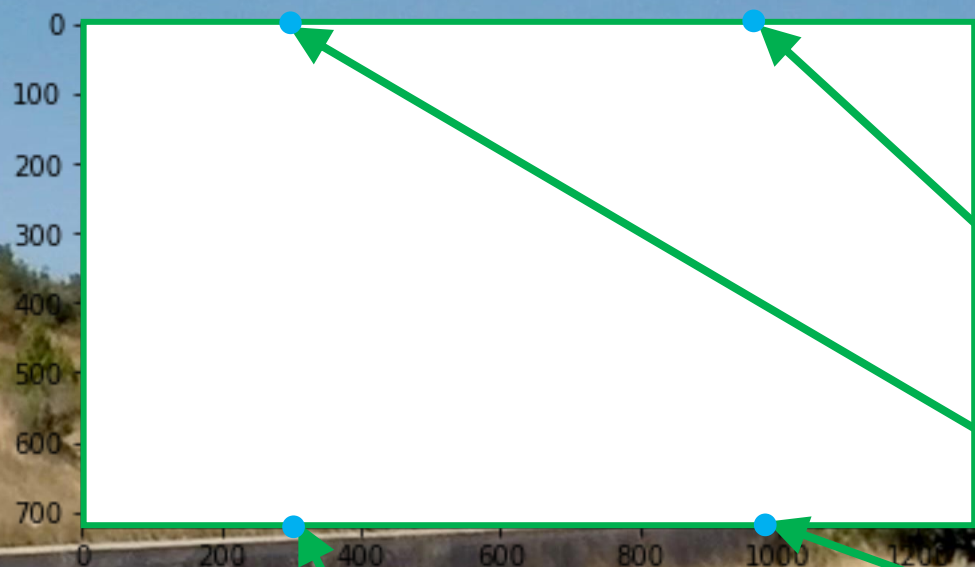


$$\begin{pmatrix} t_i u_i' \\ t_i v_i' \\ t_i \end{pmatrix} = A \begin{pmatrix} u_i \\ v_i \\ 1 \end{pmatrix}$$





Perspektivtransformation



1. Ermitteln Sie 4x Punkte auf dem Bild, die nach der Transformation in einer rechteckigen Beziehung zueinander stehen
2. Definieren Sie die 4x Zielpunkte, an denen die zu transformierenden Punkte nach der Projektion sein sollen

ID	Original		Transformiert	
1	598	448	300	0
2	684	448	980	0
3	1026	668	980	720
4	278	668	300	720