Robotik

Priv.-Doz. Dr. Thomas Wiemann
Institut für Informatik
Autonome Robotik

SoSe 2021

Wdh: Online-Linienfinder

Sei $a_i, \ldots, a_j$ die aktuell konstruierte Linie…

Mit neuem Streckenpunkt darf die Streckensumme nur wenig von der Luftlinie abweichen:

$$[1 \geq] \frac{\|a_j, a_{k+1}\|}{\sum_{i=j}^{k} \|a_i, a_{i+1}\|} \geq 1 - \varepsilon(k)$$

$\|\ldots\|$: Euklidischer Abstand

$1 > \epsilon, \epsilon(k) > 0$

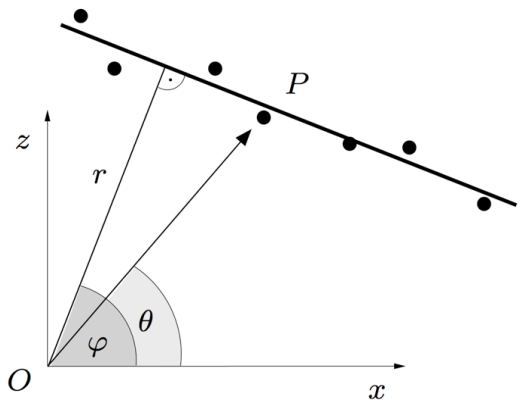
$\lim_{k \to \infty} \varepsilon(k) = 0$

“Luftlinien-Argument” lokal am Ort der Linienerweiterung

$$[1 \geq] \frac{\|a_{k-1}, a_{k+1}\|}{\|a_{k-1}, a_k\| + \|a_k, a_{k+1}\|} \geq 1 - \varepsilon$$

Direkter Abstand $\|a_k, a_{k+1}\|$ und oder Abstand $\|a_{k-1}, a_{k+1}\|$ darf festes Maximum nicht übersteigen (“keine Linien durchs Nichts”)

Wdh.: Linienfindung nach Lu / Milios



Seien:

$$\bar{x} = \frac{1}{k}\sum_i x_i \qquad S_{xx} = \sum_i (x_i - \bar{x})^2$$

$$\bar{z} = \frac{1}{k}\sum_i z_i \qquad S_{zz} = \sum_i (z_i - \bar{z})^2$$

$$S_{xz} = \sum_i (x_i - \bar{x})(z_i - \bar{z}_i)$$

Lemma (Lu/Milios):

Die gesuchte Regressionsgerade ist definiert durch

$$\varphi = \frac{1}{2}\arctan\frac{-2S_{xz}}{S_{zz} - S_{xx}} \quad \text{und} \quad r = \bar{x}\cos\varphi + \bar{z}\sin\varphi$$

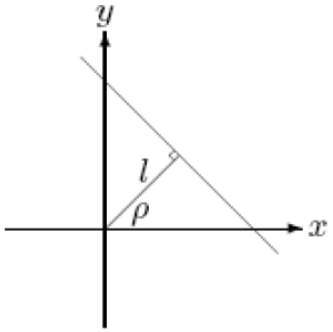
Dabei gilt für den Approximationsfehler $E_{\text{fit}}(r,\varphi)$ d. Reg-Geraden:

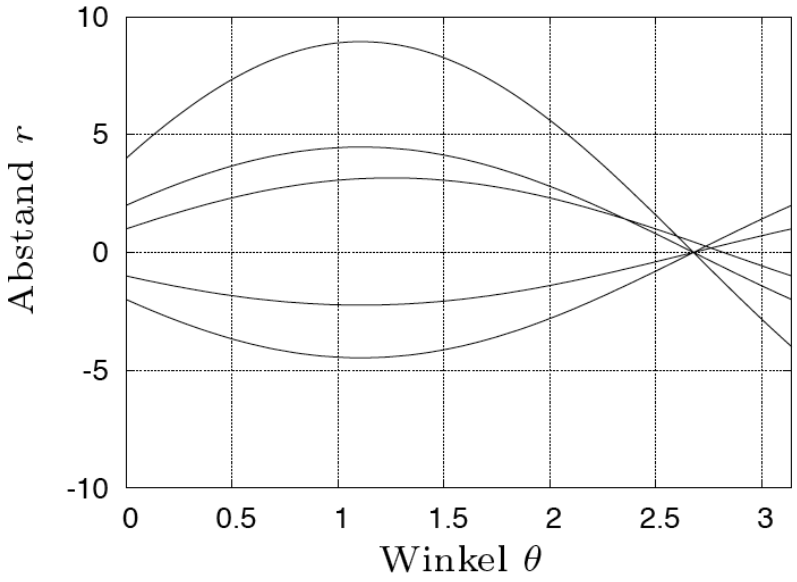
$$E_{\text{fit}}(r,\varphi) = \tfrac{1}{2}\left(S_{xx} + S_{zz} - \sqrt{4S_{xz}^2 + (S_{zz} - S_{xx})^2}\right)$$

Wdh.: Hough-Transformation

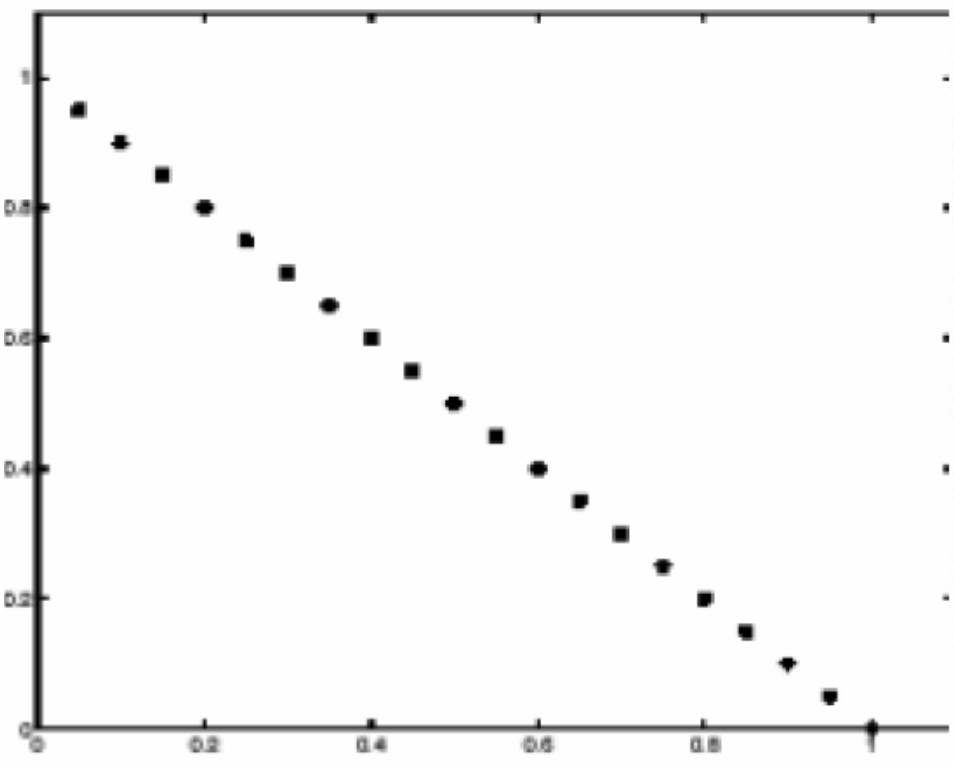
- Linien werden sich im Akkumulator-Array als Peaks darstellen
- Bei vielen Punktpaaren: $\mathcal{O}(n^2)$
- Akkumulator-Array mit wenigen Eingabepunkten problematisch
- Lösung: Betrachte alle Lösungen die die Randbedingung erfüllen
- Sinuide-Kurve im Hough-Raum

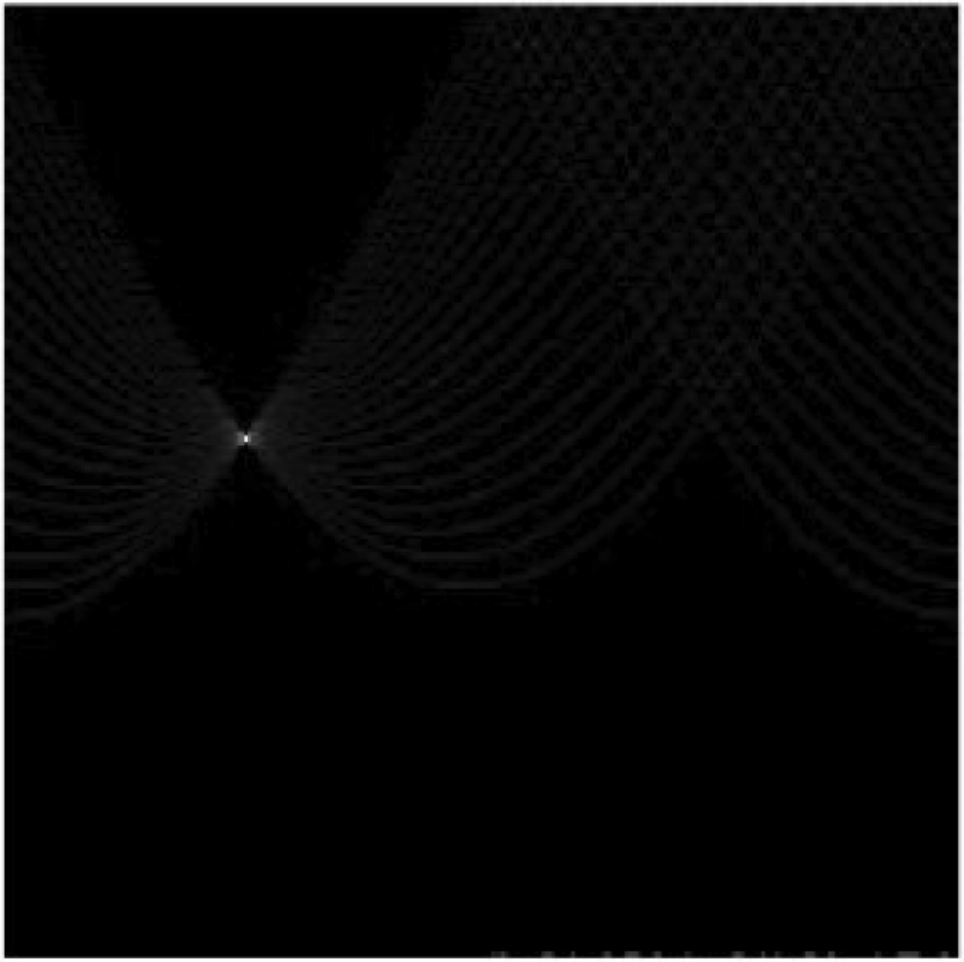
$$l = x\cos\rho + y\sin\rho; \quad 0 \leq \rho < 2\pi,\ l \geq 0$$





Wdh.: Hough-Transformation



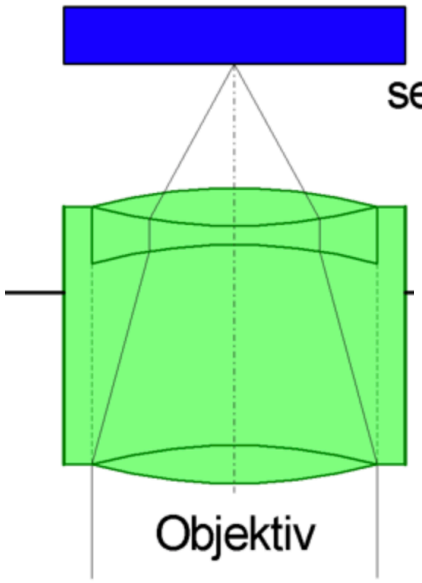


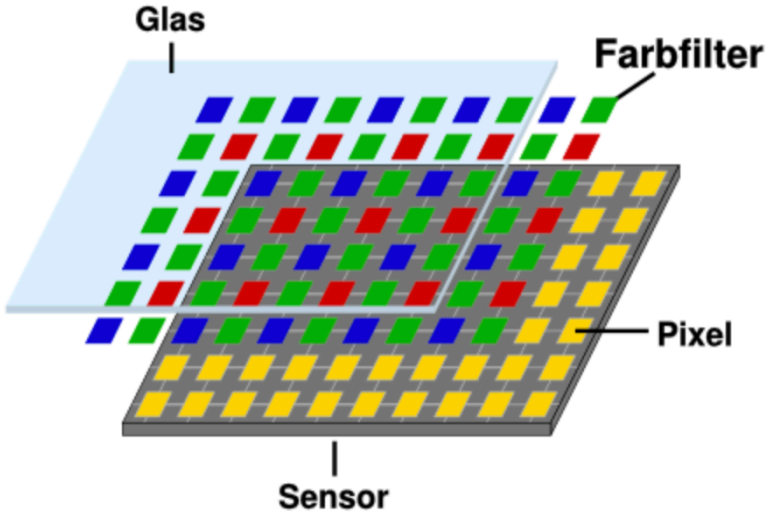
Inhalt

Gliederung

4. Sensordatenverarbeitung
    1. Entfernungsdaten
    2. Bildverarbeitung

Erinnerung:

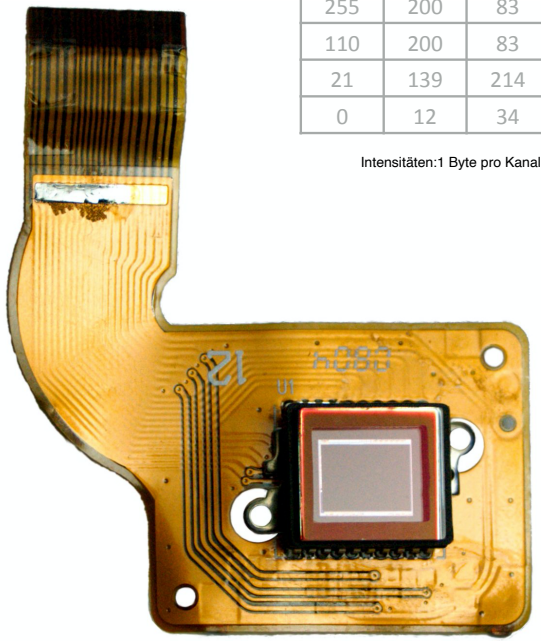




Quelle: https://www.elmar-baumann.de/fotografie/techtutorial/sensoren-02.htm..

255	200	83	83
255	200	83	83
110	200	83	21
21	139	214	0
0	12	34	28

Intensitäten:1 Byte pro Kanal

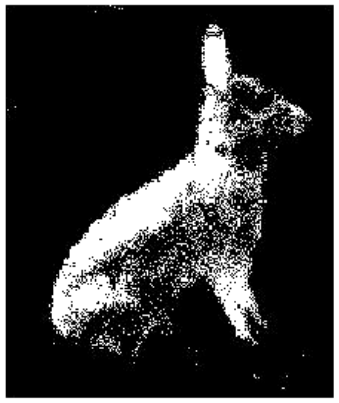


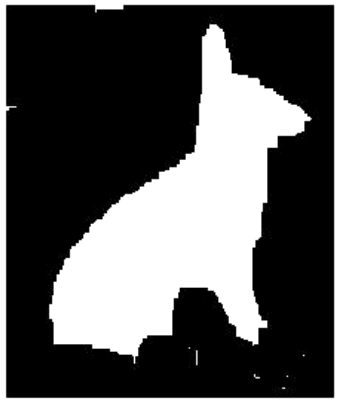
Von C-M - Eigenes Werk, CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=2150801

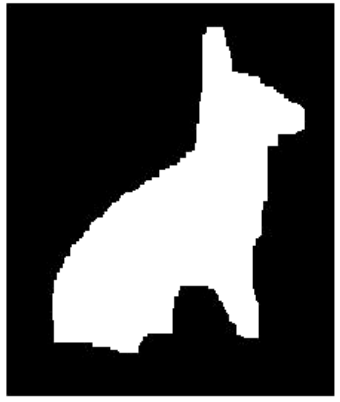
Segmentierung (1)

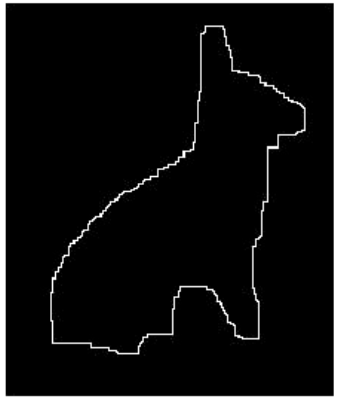
- Zerteilung eines Bildes in Segmente 👉 Trenne interessantes (Objekte) vom Hintergrund
- Übersegmentierung (zu viele Segmente) vs. Untersegmentierung (zu wenig Segmente)
- Bottom Up - Segmentierung aufgrund lokaler Affinität
- Top Down - Segmentierung aufgrund von Objektzugehörigkeit
- Flächen vs. Keypoints

Segmentierung (2)



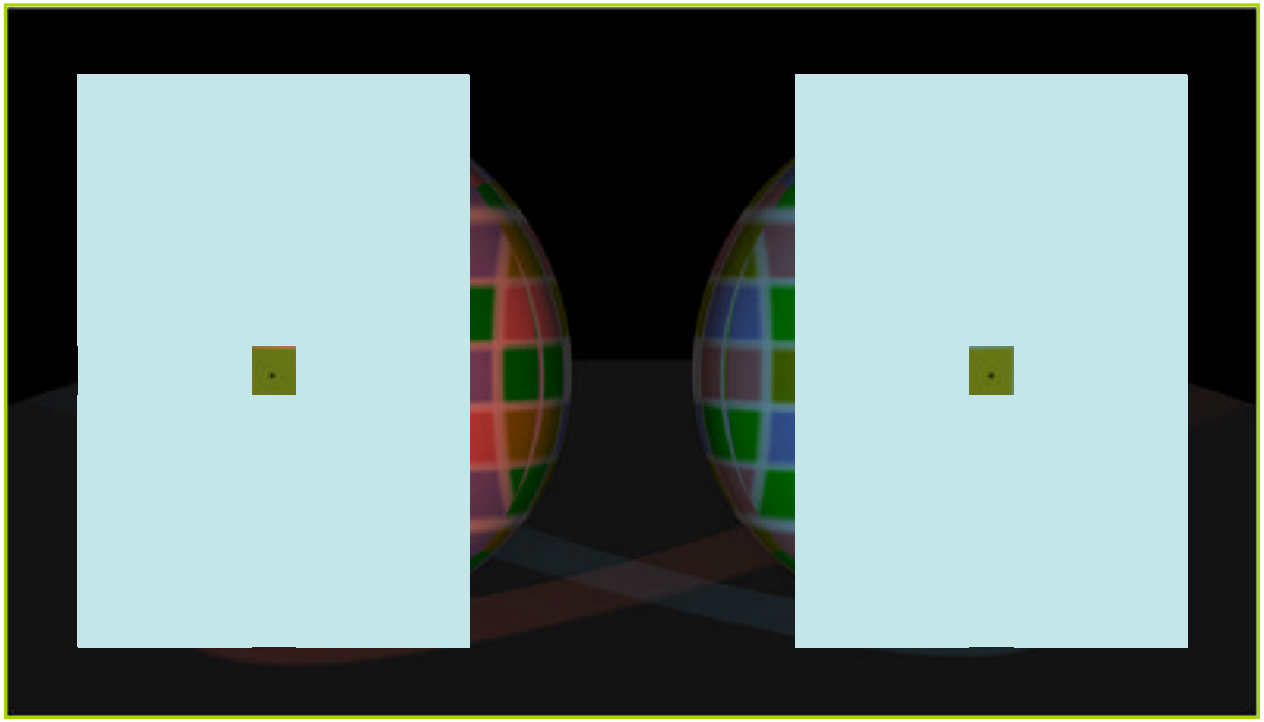






Bildmerkmale (1)

- Was ist ein Bildmerkmal ?

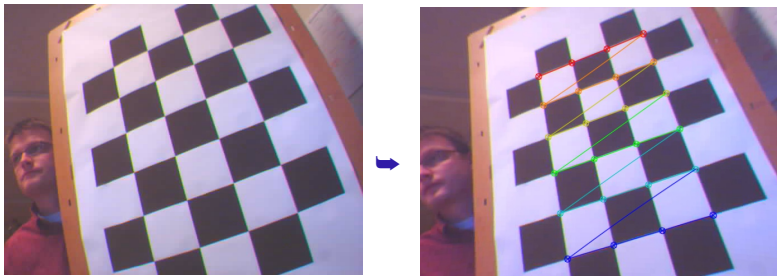


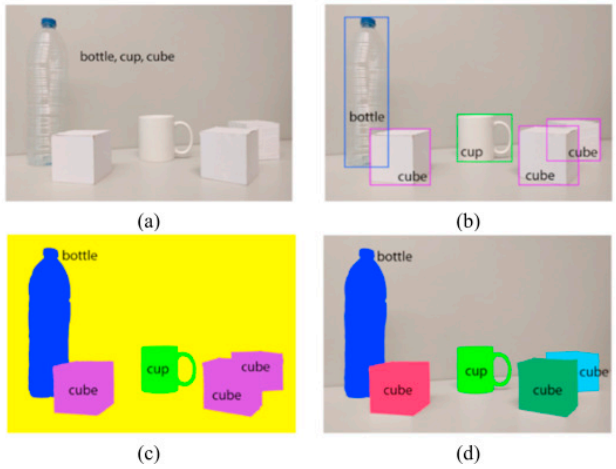
- Informationen über bedeutungsvolle Teile eines Bildes, die es ermöglichen
- Häufig werden Features für Objekterkennung und Bild-Bild-Matching benutzt

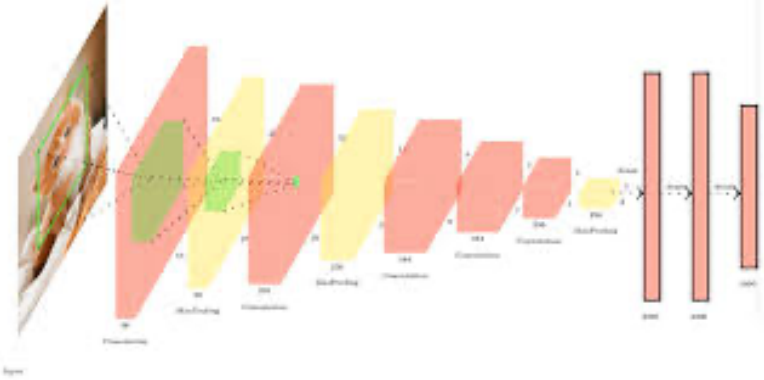
Bildmerkmale (2)

- Was ist ein Merkmal?
  - Eine Bildregion, in der sich was verändert
  - Formen, Konturen, Texturen
  - Warum verwendet man Merkmale
- Hohe Informationsdichte
  - Invariant gegen Änderung des Blickwinkels und Beleuchtung
  - Reduziert die Anzahl notwendiger Berechnungen

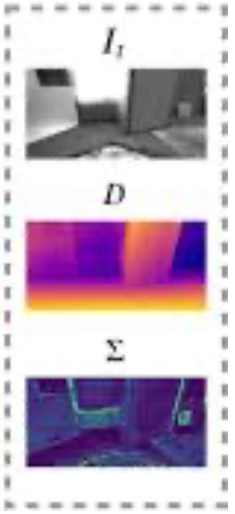
Wofür braucht man Bildmerkmale?







- Kamerakalibrierung
- Matching / Stiching von Bildern
- Korrespondenzsuche in Bildsequenzen
  - Stereo
  - Structure from Motion
- Objekterkennung / Klassifikation
- Gute Bildmerkmale unterstützen diese Verfahren



Bildmerkmale und Computer Vision

UNIVERSITÄT OSNABRÜCK

Beispiel: Lokalisierung mit vis. Features

UNIVERSITÄT OSNABRÜCK

Beispiel: Stitching

[Wikipedia]

- Füge mehrere Bilder zu einem Gesamtbild zusammen
- Matching der überlappenden Bildausschnitte
  - Direkter Pixelvergleich
  - Userinteraktion
  - Matching von Merkmalsdeskriptoren
  - In der Regel approximativ
- Kalibrierung
  - Ausgleich von Verzerrungen
  - Projektion
- Blending
  - Globaler Beleuchtungsausgleich

Kanten- und Eckenerkennung

- Ziel: Plötzliche Wechsel (Diskontinuitäten) in Bildern finden
- Das sind die Stellen, die den höchsten Informationsgehalt haben

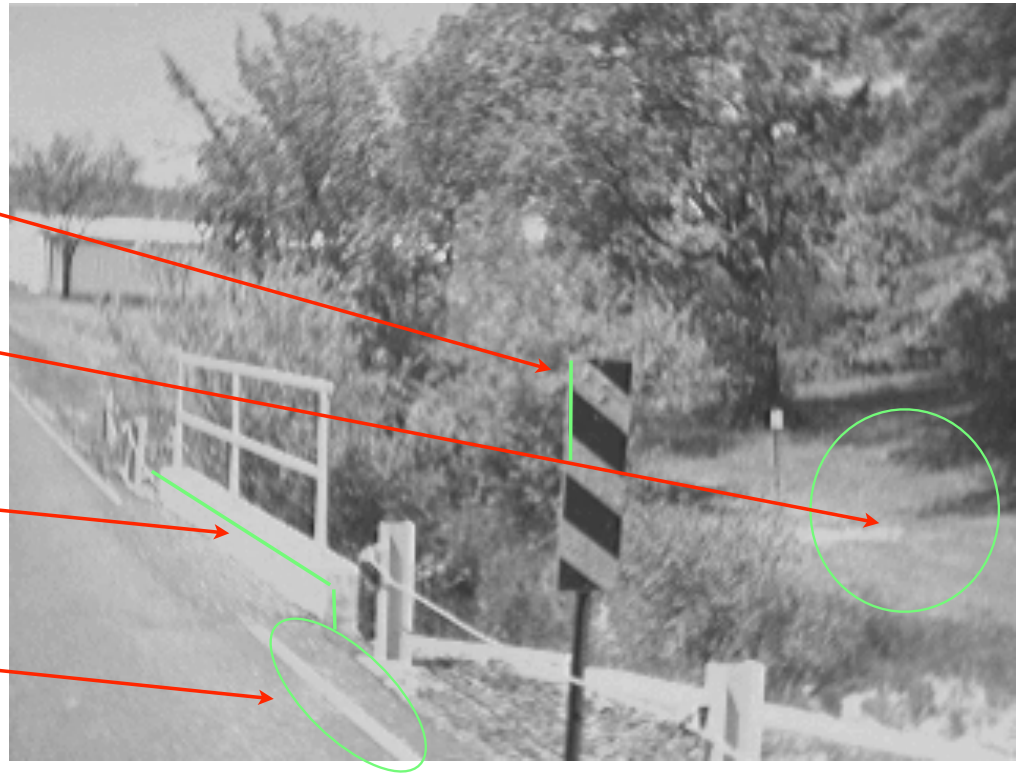
Wodurch entstehen Kanten?

Tiefensprünge

Beleuchtungsänderungen

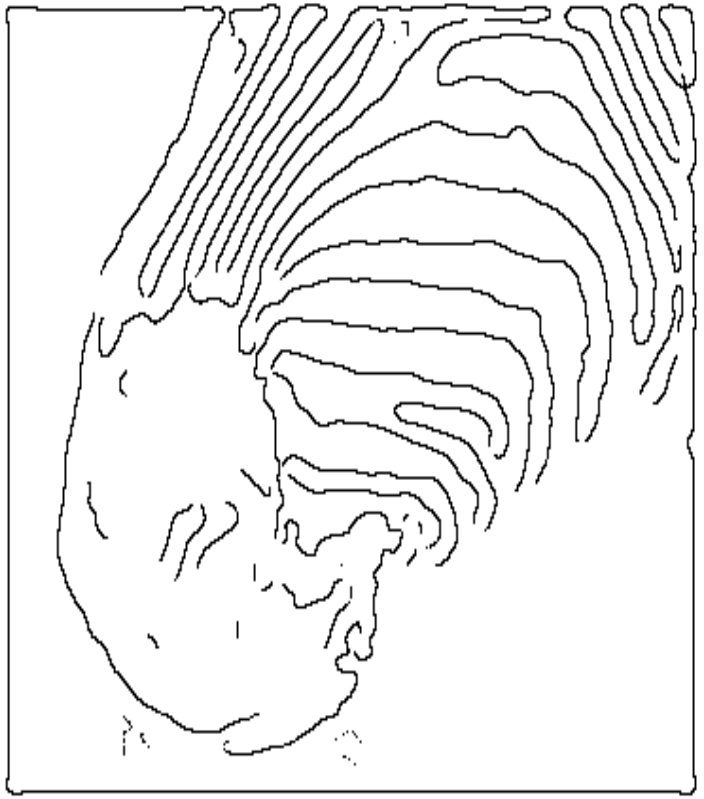
Unterschiedliche Flächenausrichtungen

Beleuchtungsänderung (Schatten)



Quelle: Christopher Rasmussen

Wie findet man Kanten?



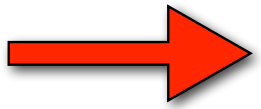
Betrachtung lokaler Ableitungen / Gradienten ➪ Bildfilter / Kernel

Bildfilter

- Ersetze die Pixel eines Bildes durch einen neuen Wert der durch funktionale Auswertung der Nachbarpixel entsteht

10	5	3
4	5	1
1	1	7

Funktion



	7	

- Lineare Kernel sind die einfachsten und wirkungsvollsten
  - Ersetze einen Pixel durch eine Linearkombination der Nachbarn
  - Kodiere die Parameter in einer N x N-Matrix (Kernel)
  - „Faltung des Bildes mit einem Kernel“

10	5	3
4	5	1
1	1	7

$\otimes$

0	0	0
0	0.5	0
0	1.0	0.5

$=$

	7	

Bildfaltung (1)

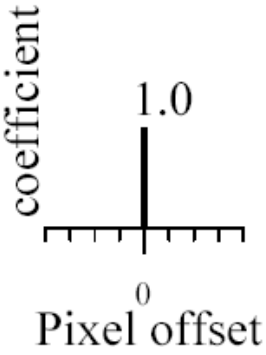
- Mathematisch:

$$(\mathbf{I} * \mathbf{H})(x, y) := \sum_{i=-n}^{n} \sum_{j=-n}^{n} \mathbf{I}(x+i, y+j)\mathbf{H}(n+i, n+j)$$

wobei $\mathbf{H} \in \mathbb{R}^{(2n+1)\times(2n+1)}$

$$\sum_{i,j} H(i,j) = 1$$

original



Filtered
(no change)

[Sebastian Thrun]

Bildfaltung (2)

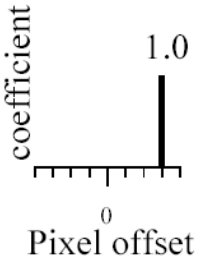
- Mathematisch:

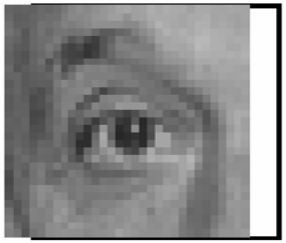
$$(\mathbf{I} * \mathbf{H})(x, y) := \sum_{i=-n}^{n} \sum_{j=-n}^{n} \mathbf{I}(x+i, y+j)\mathbf{H}(n+i, n+j)$$

wobei $\mathbf{H} \in \mathbb{R}^{(2n+1)\times(2n+1)}$

$$\sum_{i,j} H(i,j) = 1$$

original





shifted

[Sebastian Thrun]

Bildfaltung (3)

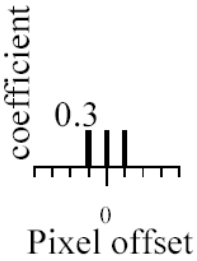
- Mathematisch:

$$(\mathbf{I} * \mathbf{H})(x, y) := \sum_{i=-n}^{n} \sum_{j=-n}^{n} \mathbf{I}(x+i, y+j)\mathbf{H}(n+i, n+j)$$

wobei $\mathbf{H} \in \mathbb{R}^{(2n+1)\times(2n+1)}$

$$\sum_{i,j} H(i,j) = 1$$

original



Blurred (filter applied in both dimensions).

[Sebastian Thrun]

Verfahren 1. Ordnung

Betrachten den Gradienten der Bildfunktion, d.h.

$$\nabla f = \begin{pmatrix} \frac{\partial f}{\partial x} & \frac{\partial f}{\partial y} \end{pmatrix}$$

Betrag des Gradienten $|\nabla f| = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)^2}$

ist Maß für die Stärke des Anstiegs

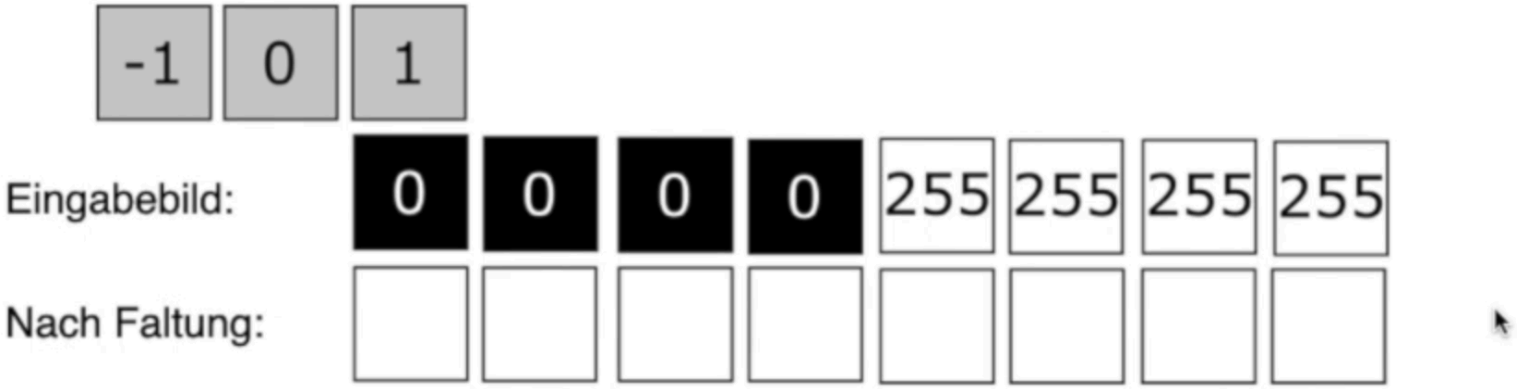
Richtung des Anstiegs: $\Phi = \arctan\left(\frac{\partial f/\partial y}{\partial f/\partial x}\right)$

Approximation der Ableitung durch diskrete Differenzen:

$$\frac{\partial f}{\partial x} \approx \frac{f(x+1,y) - f(x-1,y)}{2}$$

Kantenfilter (1)

- Beispiel:



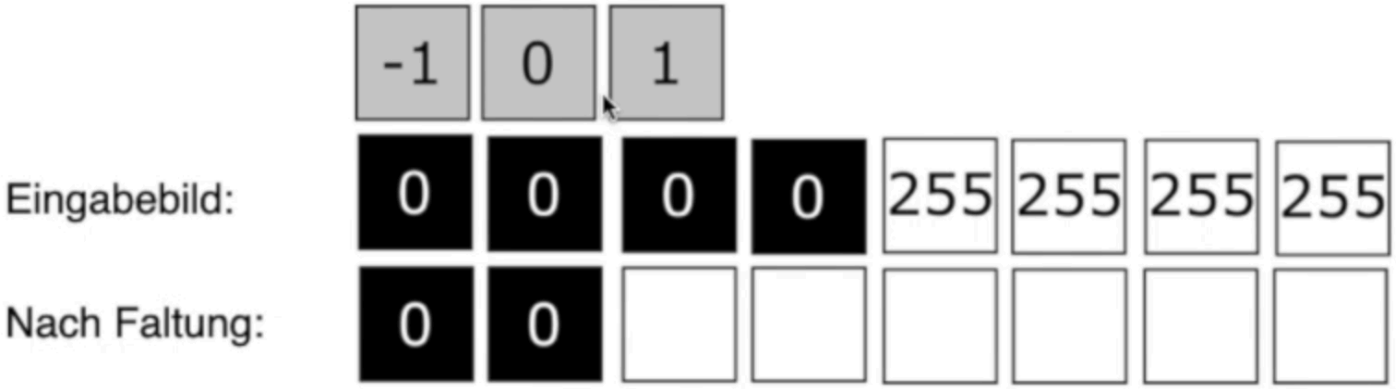
Kantenfilter (1)

- Beispiel:

	-1	0	1							
Eingabebild:	0	0	0	0	255	255	255	255		
Nach Faltung:	0									

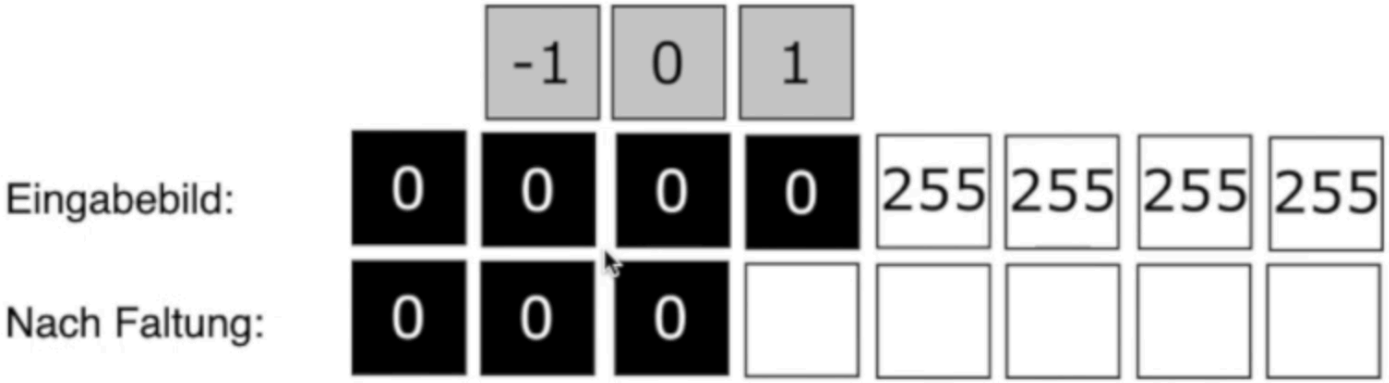
Kantenfilter (1)

- Beispiel:



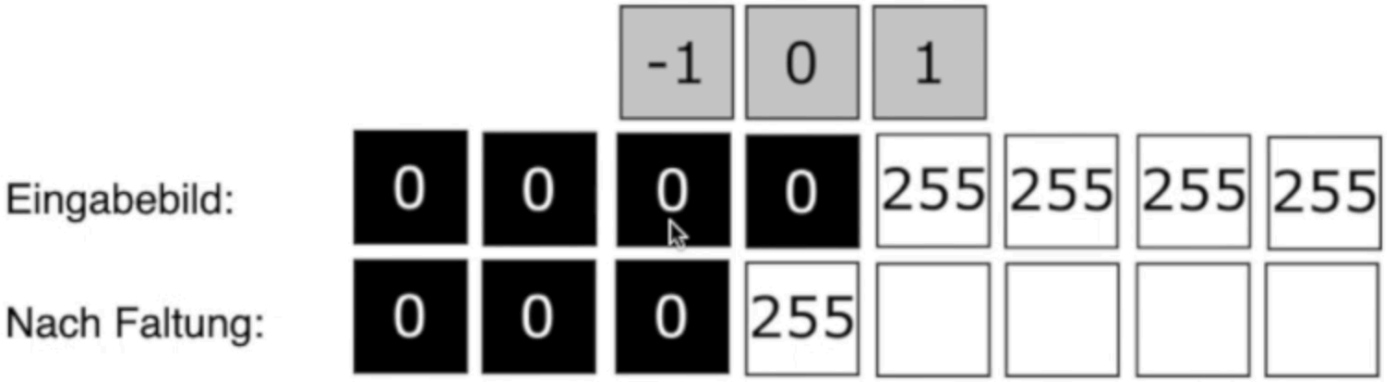
Kantenfilter (1)

- Beispiel:



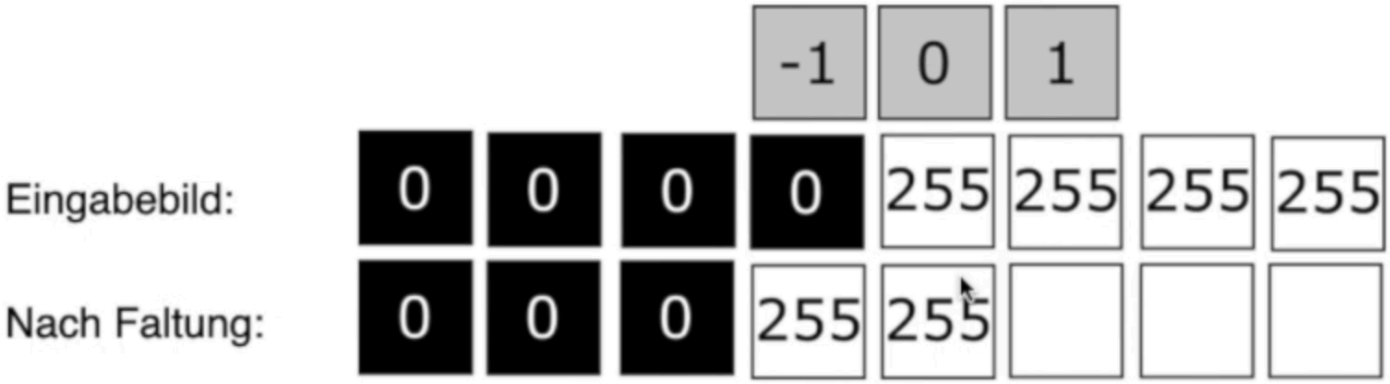
Kantenfilter (1)

- Beispiel:



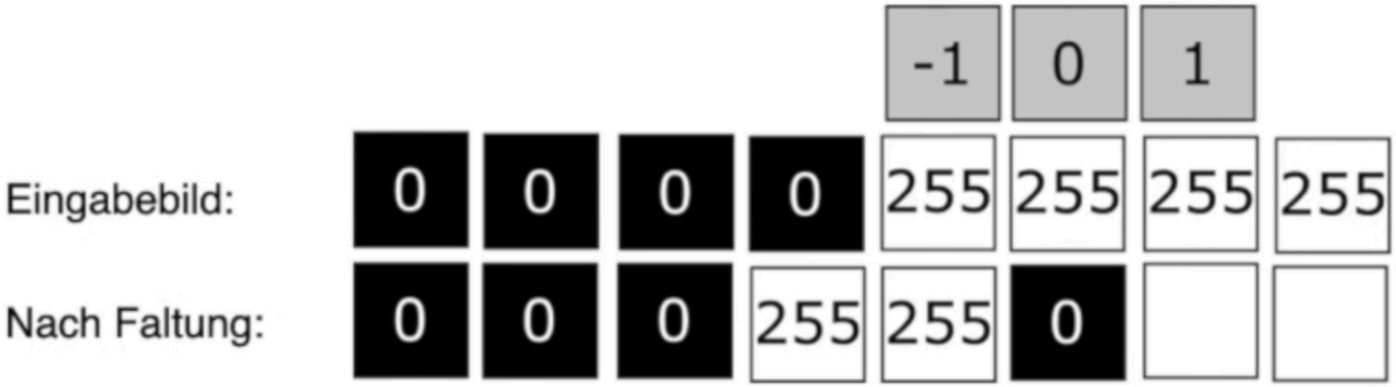
Kantenfilter (1)

- Beispiel:



Kantenfilter (1)

- Beispiel:



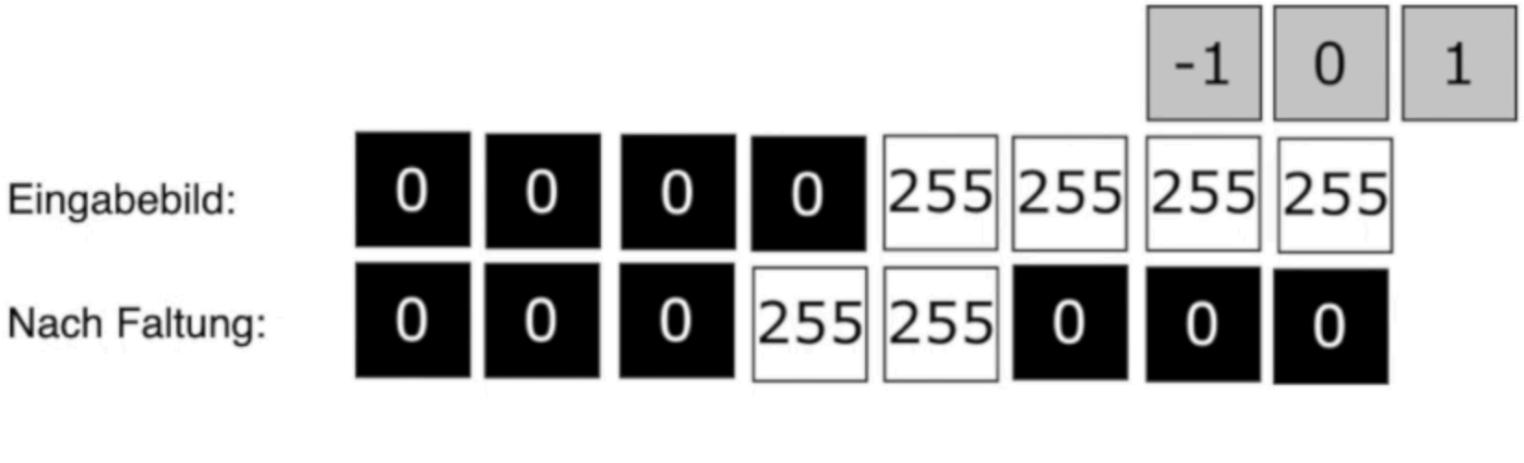
Kantenfilter (1)

- Beispiel:

					-1	0	1	
Eingabebild:	0	0	0	0	255	255	255	255
Nach Faltung:	0	0	0	255	255	0	0	

Kantenfilter (1)

- Beispiel:



Kantenfilter (2)

- Sobel-Operator:

$S_1 =$

-1	-2	-1
0	0	0
1	2	1

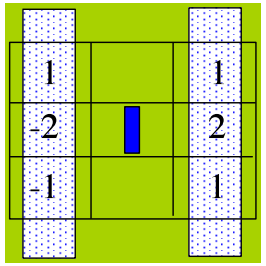
$S_2 =$

-1	0	1
-2	0	2
-1	0	1

- Kantenstärke: $S = \sqrt{S_1^2 + S_1^2}$
- Richtung: $D = \tan^{-1}\left(\frac{S_1}{S_2}\right)$

$$\mathbf{G_x} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 2 & 0 & -2 \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix} * A = \begin{bmatrix} 1 \\ 2 \\ 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} +1 & 0 & -1 \end{bmatrix} * A$$

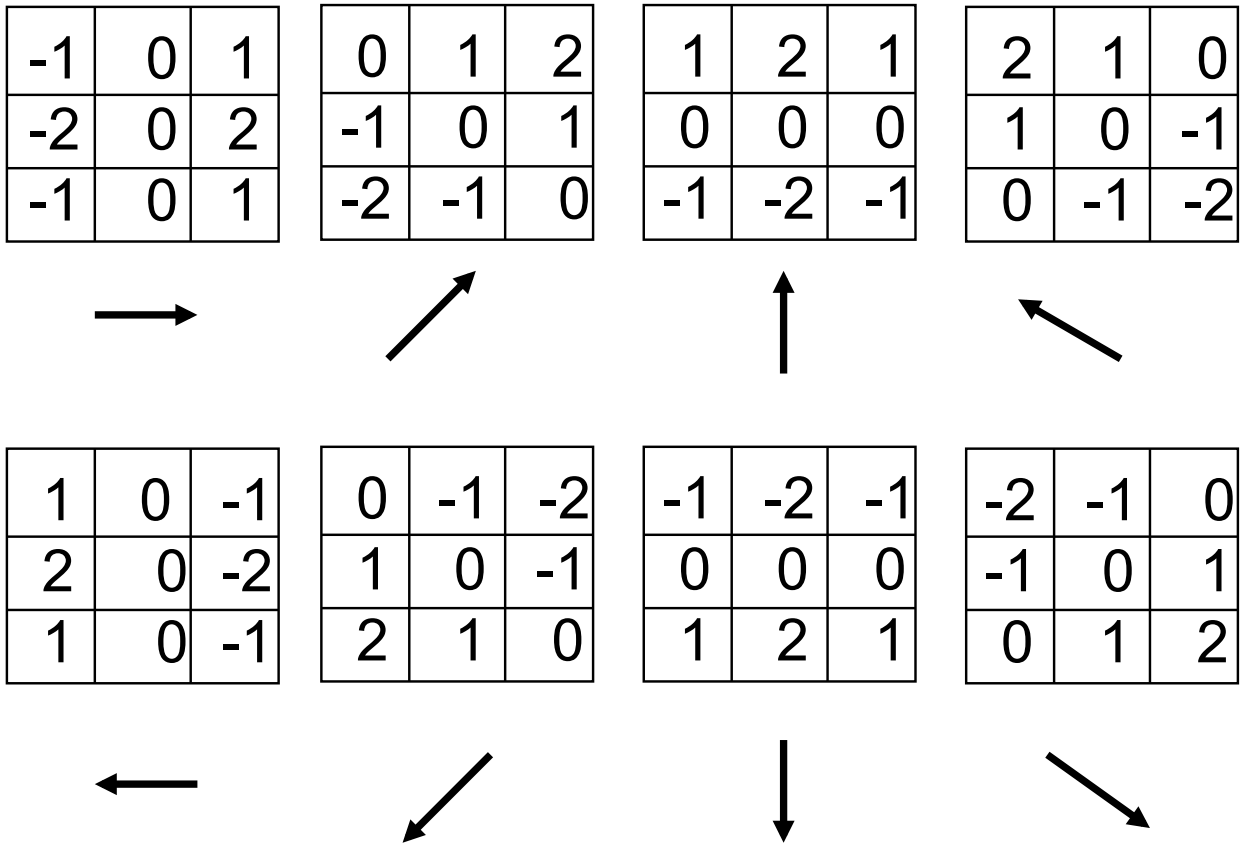
Sobel-Filter sind separierbar



Mittelwertbildung entlang von Kanten

Kantenfilter (3)

- Robinson Compass Masks

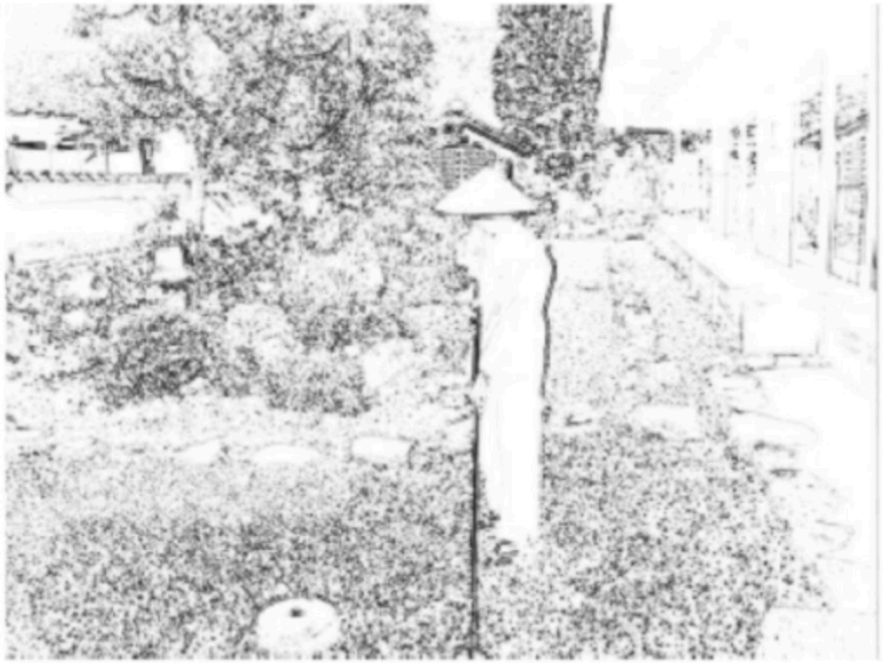


Laplace-Filter

- Bisher haben wir Filter erster Ordnung (Gradienten) betrachtet
- Filter zweiter Ordnung -> Laplace Operator

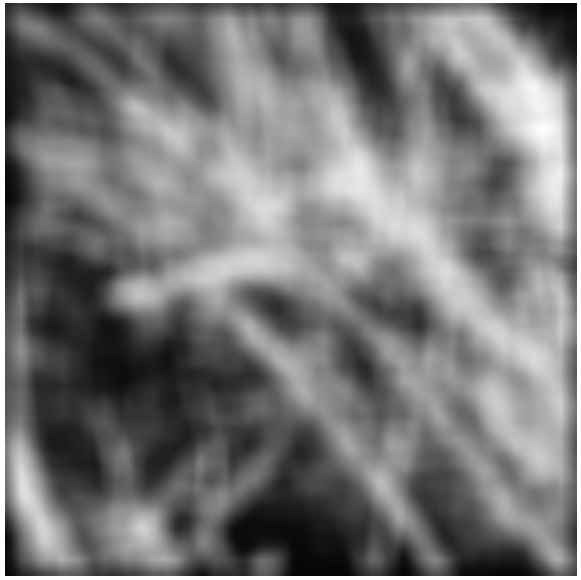
$$\begin{aligned}\frac{\partial^2 f(x,y)}{\partial x^2} &\approx \frac{\partial(f(x+1,y)-f(x,y))}{\partial x}\\ &\approx f(x+1,y)-f(x,y)-(f(x,y)-f(x-1,y))\\ &= f(x+1,y)-2f(x,y)+f(x-1,y)\end{aligned}$$

$$\mathbf{H}^L = \begin{bmatrix}0 & 0 & 0\\ 1 & -2 & 1\\ 0 & 0 & 0\end{bmatrix} + \begin{bmatrix}0 & 1 & 0\\ 0 & -2 & 0\\ 0 & 1 & 0\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}0 & 1 & 0\\ 1 & -4 & 1\\ 0 & 1 & 0\end{bmatrix}$$

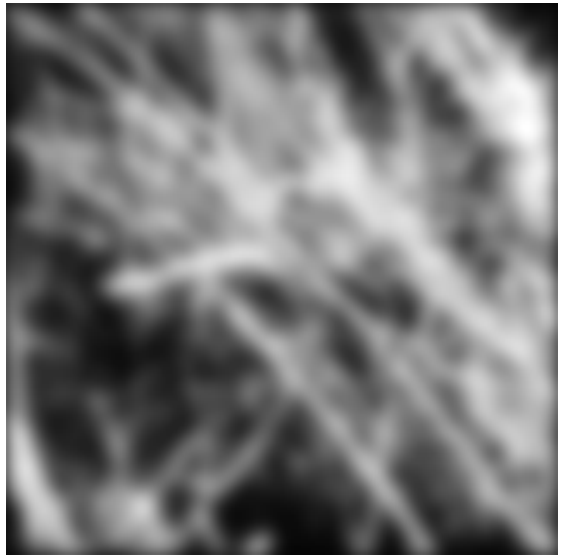


Weichzeichnen

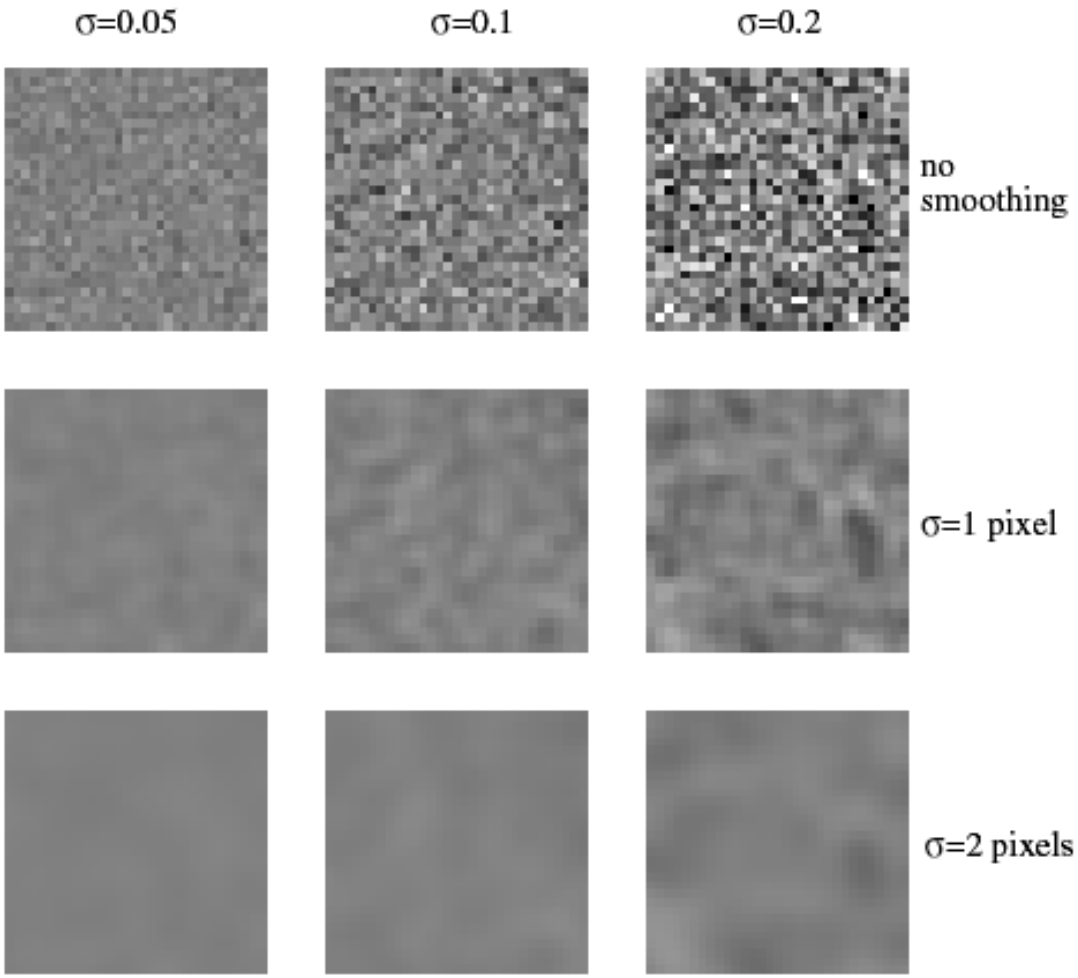
Averaging



Gaussian



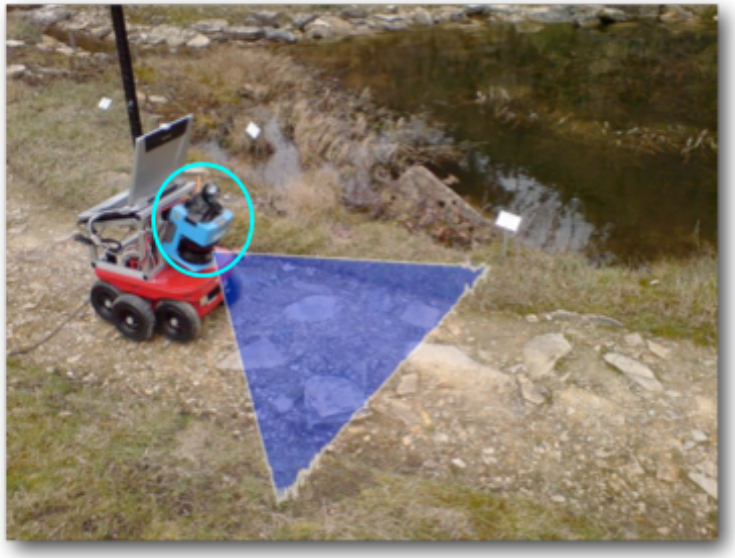
Rauschunterdrückung mit Gaußfiltern

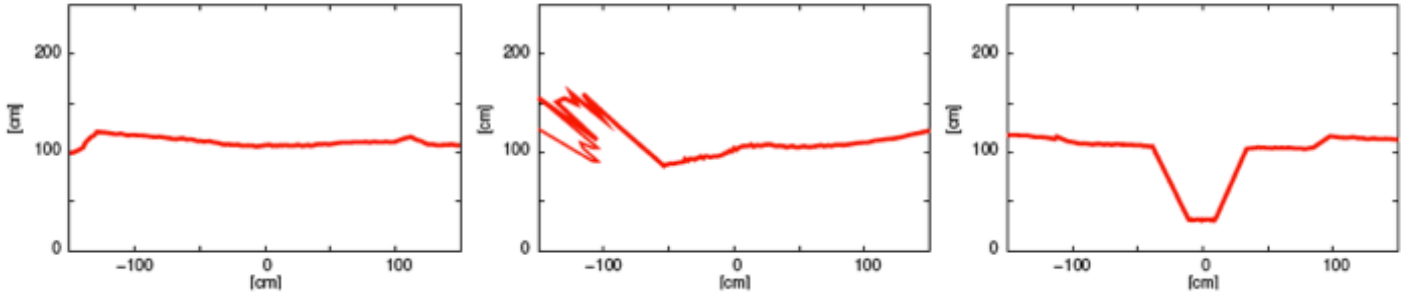


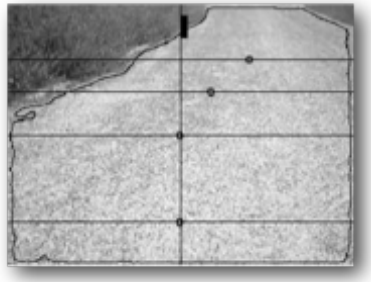
Zeilen: Filterbreite
Spalten: Unterschiedlich starkes Bildrauschen

[Marc Pollefeys]

Bildverarbeitung zur Wegerkennung

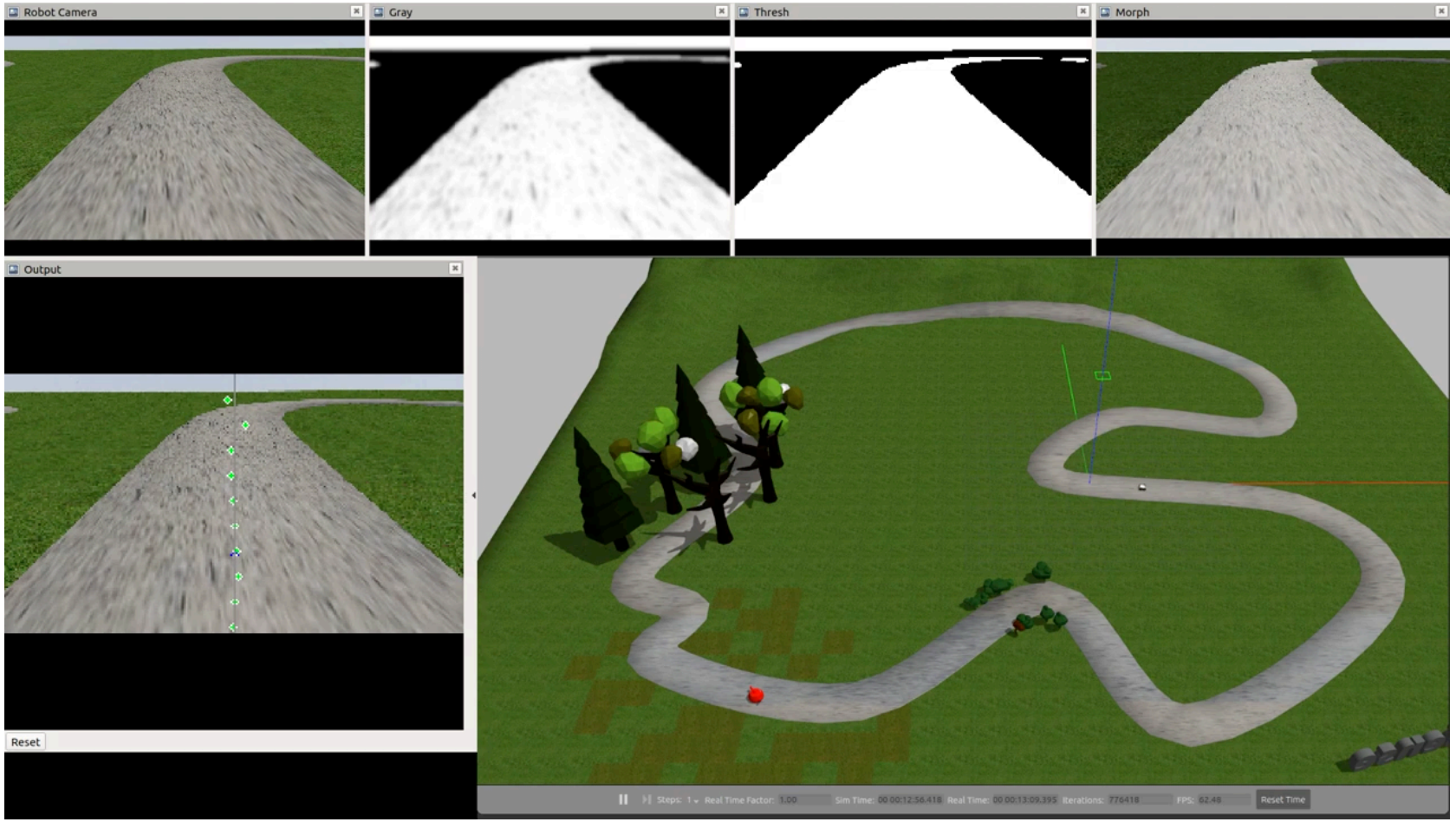






UNIVERSITÄT OSNABRÜCK

Bildverarbeitung zur Wegerkennung



https://myshare-4.rz.uni-osnabrueck.de/seafhttp/files/10d9144c-b7a5-4b2c-aadb-0ec9c86c62f5/FastSense%20Simulation.mp4

Bildverarbeitung zur Wegerkennung

- Beispiel:

https://myshare-4.rz.uni-osnabrueck.de/seafhttp/files/2df2d1aa-25c9-4deb-9568-dec7bf407dd3/kgc2_keynote.mov

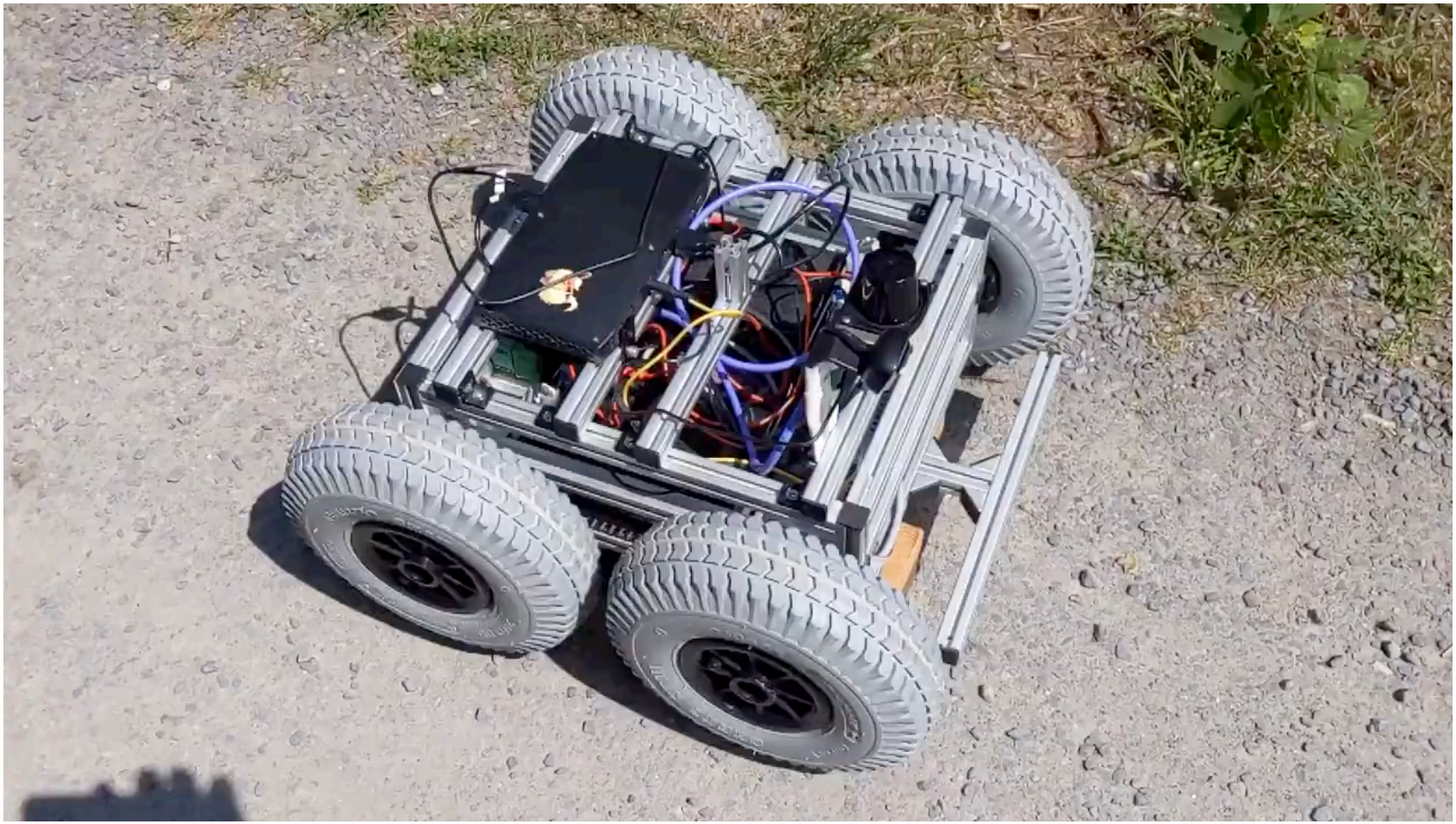
UNIVERSITÄT OSNABRÜCK

Bildverarbeitung zur Wegerkennung

https://
myshare-4.rz.uni-
osnabrueck.de/
seafhttp/files/
98b66dbe-7826-4811
-a06a-ca49a781b204/
kgc3_keynote.mov

UNIVERSITÄT OSNABRÜCK

Hardwareimplementierung auf Ceres



https://myshare-4.rz.uni-osnabrueck.de/seafhttp/files/315a90eb-aba7-4bda-84ce-a5918450cc64/FastSense%20Testfahrt.mp4