

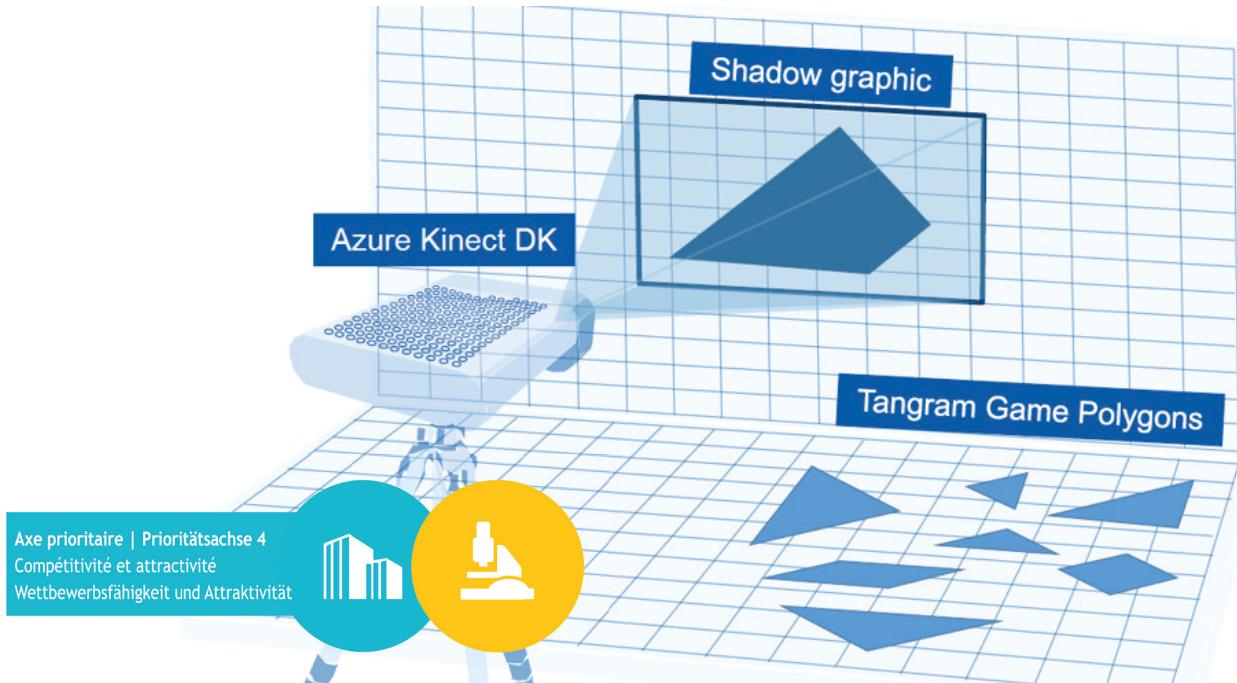
# Interreg

## Grande Région | Großregion

### Robotix-Academy



Fonds européen de développement régional | Europäischer Fonds für regionale Entwicklung

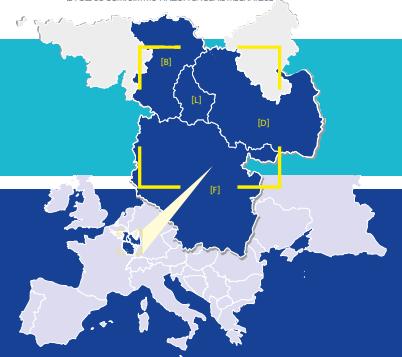


## Robotix-Academy Summer School September 2020 - Hackathon Umwelt-Campus Birkenfeld

Partenaires du projet | Projektpartner:



[www.robotix.academy](http://www.robotix.academy)





---

## Vorwort

Die Robotix-Academy blickt auf ein turbulentes Jahr zurück, das ganz im Zeichen der Corona-Pandemie stand. Trotz aller Widrigkeiten konnte ein Großteil der geplanten Veranstaltungen in hybrider Form oder als Online-Event durchgeführt werden. Wo immer es möglich war, sind die Projektpartner der Academy deshalb auf Online-Formate ausgewichen, um ihre Forschungsthemen zu platzieren und mit ihren Zielgruppen in Kontakt zu bleiben. Hier bewährte es sich, dass die Projektpartner inzwischen seit fünf Jahren erfolgreich zusammenarbeiten und vorhandene Ressourcen besonders effizient nutzen. Die Kooperation mit Verbänden und Unternehmen aus der Region hat sich sehr positiv entwickelt, so dass die Marke „Robotix-Academy“ inzwischen weit über die Großregion bekannt ist und als Referenzprojekt für gute grenzüberschreitende Zusammenarbeit gilt. Um die Reichweite der Academy weiter zu steigern und der erfolgreichen Projektverlängerung durch INTERREG Rechnung zu tragen, wurde die Website [www.robotix.academy](http://www.robotix.academy) modernisiert und einem Relaunch unterzogen. Zusammen mit der Webseite [www.robot-hub.org](http://www.robot-hub.org) soll ein größeres Publikum erreicht werden, wovon die Academy und Großregion gleichermaßen profitieren. In Bezug auf die Akquise neuer Forschungsprojekte blickt das Projekt-Konsortium optimistisch nach vorn: Infolge gefestigter und neu entstandener Kooperationen in 2020 ist die Robotix-Academy auch 2021 in der Lage, neue Vorhaben auf den Weg zu bringen und so an bestehende Forschungsthemen sowohl auf Ebene der Großregion als auch auf europäischer Ebene anzuknüpfen. Dabei werden wieder zahlreiche Unternehmen aus der Großregion aktiv eingebunden. Die gemeinsamen Veranstaltungsformate Vorlesung, Roadshow, Summer School und wissenschaftliche Konferenz sind mittlerweile ausgereift und fester Bestandteil des Aktionsplans. Die im Rahmen

## Préface

La Robotix-Academy a connu une année mouvementée, dominée par la crise de Covid-19. Malgré toutes les difficultés, une grande partie des événements prévus pourraient être réalisés sous forme hybride ou en ligne. Dans la mesure du possible, les partenaires de l'Academy ont donc opté pour des formats en ligne afin de présenter leurs sujets de recherche et de rester en contact avec leurs groupes cibles. Le fait que les partenaires du projet travaillent ensemble avec succès depuis maintenant cinq ans et utilisent de manière particulièrement efficace les ressources existantes a fait ses preuves ici. La coopération avec les associations et les entreprises de la région s'est développée de manière très positive, de sorte que la marque «Robotix-Academy» est maintenant connue bien au-delà de la Grande Région et est considérée comme un projet de référence pour une bonne coopération transfrontalière. Afin d'accroître encore la portée de l'Academy et de tenir compte de l'extension réussie du projet par INTERREG, le site web [www.robotix.academy](http://www.robotix.academy) a été modernisé et relancé. Avec le site web [www.robot-hub.org](http://www.robot-hub.org), l'objectif est de toucher un public plus large, ce qui est bénéfique à la fois pour l'Academy et pour la Grande Région. En ce qui concerne l'acquisition de nouveaux projets de recherche, le consortium de projet est optimiste quant à l'avenir : grâce à des coopérations consolidées et nouvellement établies en 2020, la Robotix-Academy pourra également lancer de nouveaux projets en 2021 et ainsi faire le lien avec des thèmes de recherche existants tant au niveau de la Grande Région qu'au niveau européen. Une fois de plus, de nombreuses entreprises de la Grande Région seront activement impliquées. Les formats d'événements communs à savoir le cours, le roadshow, l'école d'été et la conférence scientifique sont maintenant bien établis et font partie intégrante du plan d'action. Les

der Projektverlängerung neu hinzugekommenen Schwerpunkte Gesundheitstechnologie und Logistik werden bereits adressiert. Ebenso die neue Zielgruppe Schüler, die auf ein technisches Studium in der Großregion vorbereitet werden sollen. Das Programm INTERREG V A Großregion hatte dem Antrag auf Projektverlängerung zugestimmt und ermöglicht der Robotix-Academy, noch bis Mitte 2022 den Forschungscluster für industrielle Robotik weiter auszubauen und zu verstetigen.

nouveaux domaines d'intervention à savoir les soins de santé et la logistique, ajoutés dans le cadre de l'extension du projet, sont déjà pris en compte. Il en va de même pour le nouveau groupe cible d'élèves qui doivent être préparés à des études techniques dans la Grande Région. Le programme INTERREG V A Grande Région a approuvé la demande d'extension du projet et permet à la Robotix-Academy de continuer à développer et à consolider le pôle de recherche en robotique industrielle jusqu'à la mi-2022.

---

# Inhaltsverzeichnis

Vorwort	1
Préface	1
Robotix-Academy Summer School	1
Image processing and camera calibration for a Tangram game (ULg)	4
Identification of the precision parameters of a UR10 e-series robot (ZeMA)	14
(3D-)Computer Vision and Part Grasping (UCB)	24
Kontakt	32
Contact	32





## 4<sup>th</sup> Robotix-Academy Summer School

Birkenfeld, September 2020, Hackathon



# Robotix-Academy Summer School

Am 03. September 2020 startete am Umwelt-Campus Birkenfeld die vierte Robotix-Academy Summer School.

Hier trafen sich die wissenschaftlichen Mitarbeiter aller Partnerhochschulen der Robotix-Academy, um für Problemstellungen, z.B. bei der Implementierung von Demonstratoren, praktische Lösungen zu finden und voneinander zu lernen.

Aufgrund der Beschränkungen durch die Corona-Pandemie wurde statt eines Workshops vor Ort das Format eines Hackathons gewählt: Hier steuerte jeder Partner ein Projekt bei, das er nicht alleine bearbeiten bzw. lösen konnte und wurde dabei von jeweils einem anderen Partner unterstützt.

Nach vier Wochen Bearbeitungszeit und regelmäßigen Videokonferenzen wurden die Ergebnisse online in einer Abschlusspräsentation vorgestellt. Die Kommunikation erfolgte in erster Linie über Online-Werkzeuge wie z.B. Teams, GoTo-Meeting, Slack etc. Die zu bearbeitenden Fragestellungen waren sehr vielfältig. So war z.B. die Vermessung der Absolutgenauigkeit eines Industrieroboters oder auch die Erkennung und das Lokalisieren von verschiedenen Gegenständen Teil der Aufgaben. Auch in diesem ungewohnten Format liefen die Kommunikation und die Zusammenarbeit zwischen Aufgabensteller und Projektbearbeiter reibungslos.

Wenn auch in abgewandelter Form ist dies bereits die vierte Veranstaltung ihrer Art, nachdem die Summer School 2017 in Saarbrücken am ZeMA gestartet war und 2018 an der Universität Lüttich und 2019 an der Universität Lothringen in Metz ausgetragen wurde.

La quatrième école d'été de la Robotix-Academy a débuté le 3 septembre 2020 au Campus environnemental de Birkenfeld.

Ici, les assistants de recherche de toutes les universités partenaires de la Robotix-Academy se sont réunis pour trouver des solutions pratiques aux problèmes, par exemple la mise en œuvre de démonstrateurs, et pour apprendre les uns des autres.

En raison des restrictions causées par la crise du Covid-19, le format d'un hackathon a été choisi au lieu d'un atelier sur place : Ici, chaque partenaire a contribué à un projet qu'il ne pouvait pas traiter ou résoudre seul et a été soutenu par un partenaire différent à chaque fois.

Après quatre semaines de travail et des vidéoconférences régulières, les résultats ont été présentés en ligne lors d'une présentation finale. La communication s'est faite principalement via des outils en ligne tels que TEAMS, GoTo-Meeting, Slack etc.

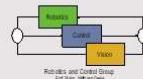
Les questions à traiter étaient très diverses. Par exemple, la mesure de la précision absolue d'un robot industriel ou la reconnaissance et la localisation de différents objets faisaient partie des tâches. Même dans ce format peu conventionnel, la communication et la coopération entre les responsables des tâches et les gestionnaires de celles-ci se sont déroulées sans heurts.

Bien que sous une forme modifiée, il s'agit déjà de la quatrième édition de ce type, après le lancement de l'école d'été de 2017 au centre ZeMA à Sarrebruck, qui s'est tenu à l'Université de Liège en 2018 et à l'Université de Lorraine à Metz en 2019.



**4<sup>th</sup> Robotix-Academy Summer School Hackathon 2020,  
Trier University of Applied Sciences, Environmental-Campus  
Birkenfeld, September 2020**

**Robotix-Academy SummerSchool Hackathon 2020**



**Robotix-Academy SummerSchool Hackathon 2020**

- Processing of programming projects (i.e. solutions for implementing a demonstrator)
- Each partner can provide one project which should consist of a problem they can't solve but another partner can or even has done in the past
- Each project partner will work on two projects of other partners
- Kick-Off Meeting 03/09/2020 (video conference)
- Weekly video conferences with all project partners on the current status of the work
- Online or face-to-face final presentation and demonstration of the results
- **Duration:** 4 weeks
- **Workload per project:** max. 40 hours
- **Date:** September 2020
- **Communication:** Online tool (Slack, Teams, ...)
- **Goal:** Continuation of the exchange and cooperation between the project partners

**Hochschule Trier**  
Umwelt-Campus Birkenfeld

**Interreg**  
Grande Région | Großregion  
Robotix-Academy

**IBT** Institut für Betriebs- und Technologiemanagement  
Institute for Operational and Technology Management





## Image processing and camera calibration for a Tangram game (ULg)

Der Summer School-Workshop ist Teil eines größeren Projekts innerhalb des ZeMA. Das Ziel dieses Projekts ist es, einen Roboter das Tangram-Spiel autonom spielen zu lassen. Werkzeuge der künstlichen Intelligenz werden benötigt, um das Problem zu lösen, aber dieses Projekt erfordert auch Objekterkennung, Manipulation... Der Workshop der Summer School konzentrierte sich auf die Erkennung der zu reproduzierenden Form und die Erstellung einer Benutzeroberfläche für den Menschen beim Spiel.

Zur Erstellung der Benutzeroberfläche haben wir die wxPython-Bibliothek verwendet. Die tkinter-Bibliothek wurde uns vorgeschlagen, aber es scheint, dass tkinter bereits ein wenig veraltet ist, so dass wir es vorgezogen haben, uns einer moderneren Bibliothek zuzuwenden. Wir haben jedoch einen ersten Entwurf mit tkinter gemacht und es hat genauso gut funktioniert. Die grafische Oberfläche ermöglicht es Ihnen,

L'atelier de la Summer School s'inscrit dans un projet de plus grande envergure au sein de ZeMA. Ce projet a pour but de faire jouer un robot au jeu du Tangram de façon autonome. Des outils d'intelligence artificielle sont nécessaires pour résoudre le problème, mais ce projet nécessite aussi de la reconnaissance d'objet, de la manipulation... L'atelier de la Summer School portait sur la reconnaissance de la forme à reproduire et la création d'une interface utilisateur pour que l'humain puisse jouer.

Pour créer l'interface utilisateur, nous avons utilisé la librairie wxPython. La librairie tkinter nous était proposée, mais il semble que tkinter est déjà un peu désuète, nous avons donc préféré nous tourner vers une librairie plus moderne. Cependant, nous avons fait un premier jet avec tkinter et cela fonctionnait tout aussi bien. L'interface graphique permet de prendre une image, via une caméra Kinect v1, d'une forme à reproduire.

über eine Kinect v1-Kamera ein Bild von einer zu reproduzierenden Form aufzunehmen. Über eine Schaltfläche wird das Verfahren zum Extrahieren dieser Form aus dem von der Kamera aufgenommenen Bild gestartet. Die Teile des Tangram-Spiels sind auf der Oberfläche verfügbar und können verschoben werden (Translation + Rotation). Die Schnittstelle erfüllt ihren Zweck, bedarf aber einiger Verbesserungen. Ein Click-and-drag wäre bequemer.

Im Rahmen des Workshops sollten auch die Konturen einer zu reproduzierenden Form aus einem Kamerabild extrahiert werden. Wir haben die openCV-Bibliothek verwendet. Diese Bibliothek verfügt über eine Funktion, mit der wir direkt die Konturen von SSpotsäuf einem Binärbild extrahieren können. Es wird eine Auswahl getroffen, um Konturen zu eliminieren, die nicht mit der zu reproduzierenden Form übereinstimmen. Schließlich muss die Kontur so skaliert werden, dass sie zu den auf der grafischen Oberfläche vorhandenen Teilen des Spiels passt. Beim Aufsetzen der Teile auf die Kontur wurden Defekte in der extrahierten Kontur sichtbar, darunter vermeintlich rechte Winkel, die nicht ganz richtig sind. Wir haben eine Bildkorrektur durch Schätzung der internen Kameraparameter einbezogen. Die Schätzung dieser Kameraparameter erfolgt anhand eines Satzes von Schachbrettbildern. OpenCV bietet Funktionen, um die Schätzung und Korrektur einfach durchzuführen.

Die grafische Benutzeroberfläche erfüllt die Zielvorgaben und die Konturextraktion funktioniert, wenn auch fehlerhaft. Die Kamerakalibrierung korrigiert nicht alle Konturenfehler. Dieser Workshop ermöglichte es uns, uns mit openCV vertraut zu machen, welches in der Robotik sehr nützlich ist, und mit wxPython, das zur Verbesserung unseres Demonstrators verwendet werden konnte.

#### **Kontakt:**

Universität Lüttich  
Robin Pellois  
E-Mail: [robin.pellois@ulg.ac.be](mailto:robin.pellois@ulg.ac.be)

Un bouton permet de lancer la procédure pour extraire cette forme de l'image prise par la caméra. Les pièces du jeu Tangram sont disponibles dans l'interface et déplaçables (translation + rotation). L'interface répond à l'objectif de l'atelier, mais plusieurs améliorations sont possibles, particulièrement pour changer l'orientation d'une pièce du tangram. Un Click-and-drag serait plus pratique.

Lors de cet atelier, il nous était demandé aussi de pouvoir extraire les contours d'une forme à reproduire à partir d'une image d'une caméra. Nous nous sommes servis de la librairie openCV. Cette librairie a une fonction permettant d'extraire directement les contours de « taches » sur une image binaire. Une sélection est faite pour éliminer les contours ne correspondant pas à la forme à reproduire. Enfin, le contour doit être mis à l'échelle pour correspondre aux pièces du jeu présentes sur l'interface graphique. Des défauts dans le contour extrait étaient visibles lorsque les pièces étaient placées sur le contour, notamment des angles supposés droits qui ne le sont pas réellement. Nous avons inclus une correction de l'image grâce à une estimation des paramètres internes de la caméra. L'estimation de ces paramètres de la caméra se fait grâce à un set d'images d'un damier. OpenCV propose des fonctions permettant de faire l'estimation et la correction facilement.

L'interface graphique répond aux objectifs et l'extraction de contour fonctionne, mais des erreurs persistent. La calibration de la caméra ne permet pas de corriger toutes les erreurs sur le contour. Cet atelier nous a permis de nous familiariser avec openCV, très utile en robotique et avec wxPython qui pourrait nous servir pour améliorer notre démonstrateur.

#### **Contact:**

Université de Liège  
Robin Pellois  
e-mail: [robin.pellois@ulg.ac.be](mailto:robin.pellois@ulg.ac.be)

# Image processing and camera calibration for a Tangram game

*2020 Robotix Academy summer school*

**Robin Pellois, Olivier Devigne, Alejandro Cosimo**

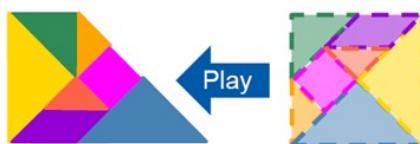
Multibody and Mechatronic Systems Lab

Department of Aerospace and Mechanical Engineering

University of Liège

## Aim of the project

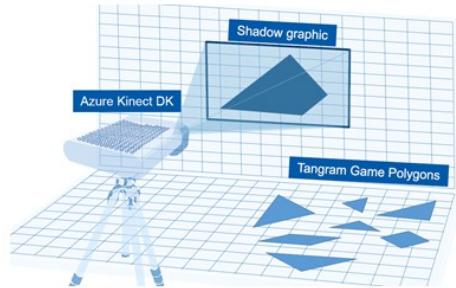
- Extract the **coordinates of the corner points** of a contour identified on a **given shadow graphic**
- Create a **puzzle game**: with 7 given pieces, the contour extracted from the shadow graphic should be reconstructed
  - The pieces must **not overlap**
  - The pieces must **touch each other**
  - **All 7 pieces** should be used



2

## Strategy

- The original shadow graphic is an image captured by an **Azure Kinect**



- **Python** and the library **OpenCV** will be used to extract the contour
- **wxPython** will be used to create the graphical user interface (GUI)

## Step 1: extracting the contour

- OpenCV provides features to directly extract the contour
  - The image is first converted to **black and white**  
`gray = cv2.cvtColor(dst, cv2.COLOR_BGR2GRAY)`
  - A **threshold** is applied on the image to keep only the shadow graphic  
`_ , threshold = cv2.threshold(gray, 110, 255, cv2.THRESH_BINARY_INV)`
  - **All the contours** can be extracted  
`contours, _ = cv2.findContours(threshold, cv2.RETR_EXTERNAL, cv2.CHAIN_APPROX_NONE)`

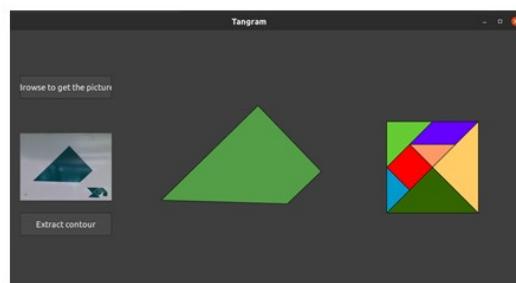
## Step 1: extracting the contour

- In order to get the correct contour and **eliminate noise**, only the **maximum area contour** is kept and then **scaled** to the appropriate scale which depends on the size of the 7 pieces in the GUI

```
the_contour = []
max_area = 0
for cnt in contours:
    M = cv2.moments(cnt)
    area = M['m00']
    if area > max_area:
        the_contour = [cnt]
        max_area = area
    center = [int(M['m10'] / M['m00']), int(M['m01'] / M['m00'])]
scale = (self.side) / math.sqrt(max_area)
the_contour_scaled = (the_contour[0] - center) * scale
the_contour_scaled = the_contour_scaled.astype(np.int32)
```

## Step 2: creating the interface

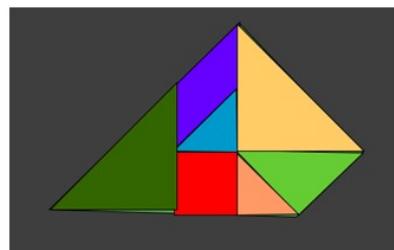
- The user can use a button to **load the image** corresponding to the shadow graphic
- The user can use another button to **extract the contour**
  - The scaled contour is drawn on the left of the window whereas the 7 pieces are drawn on the right
- By **holding the left mouse button**, the user can **drag and drop** one of the 7 pieces on the contour
- By **double clicking** on the left (right) mouse button, the selected piece **rotates** in an (anti-) clockwise manner



6

## How to improve the current setup?

- It can be seen that the contour is **distorted** at some places



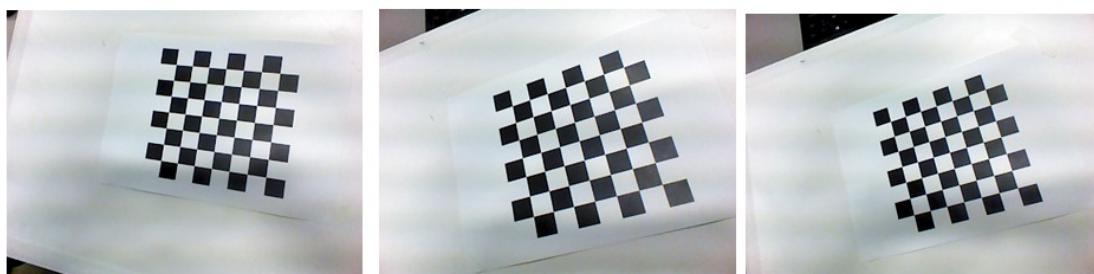
- Two different **calibrations** could improve the results
  - Calibration of the **inner parameters of the camera** (accounting for lens deformation,...)
  - Calibration of the **camera with respect to the robot** (allows for non planar images)
- Due to the time dedicated to the project, only the **first solution** is investigated

7

## Step 3: calibration of the inner parameters of the camera

- 1: Get calibration pictures from the Kinect (at least 10):

```
device = cv2.VideoCapture(2) ← Change to 0, 1 , ... if not working  
ret, CamImg = device.read()
```



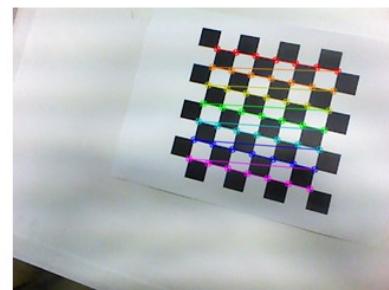
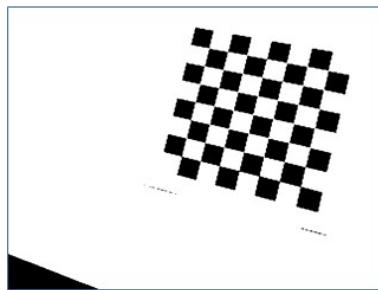
8

## Step 3: calibration of the inner parameters of the camera

- 2: Find corners:

```
image = cv2.imread(imagePath)
imageGray = cv2.cvtColor(image, cv2.COLOR_BGR2GRAY)
ret,imageThreshold = cv2.threshold(imageGray, 120, 255, cv2.THRESH_BINARY)
retval, corners = cv2.findChessboardCorners(imageThreshold, CHECKERBOARD, None)
corners2 = cv2.cornerSubPix(imageThreshold, corners, winSize, zeroZone, criteria)
imageCorners = cv2.drawChessboardCorners(image, CHECKERBOARD, corners2, retval)
```

Really sensitive. works with  
CHECKERBOARD = (7,7)



## Step 3: calibration of the inner parameters of the camera

- 3: Get inner parameters:

```
objpoints = []
objp = np.zeros((1, CHECKERBOARD[0] * CHECKERBOARD[1], 3), np.float32)
objp[:, :, :2] = np.mgrid[0:CHECKERBOARD[0], 0:CHECKERBOARD[1]].T.reshape(-1, 2)
objpoints.append(objp)
imgpoints = []
imgpoints.append(corners2)

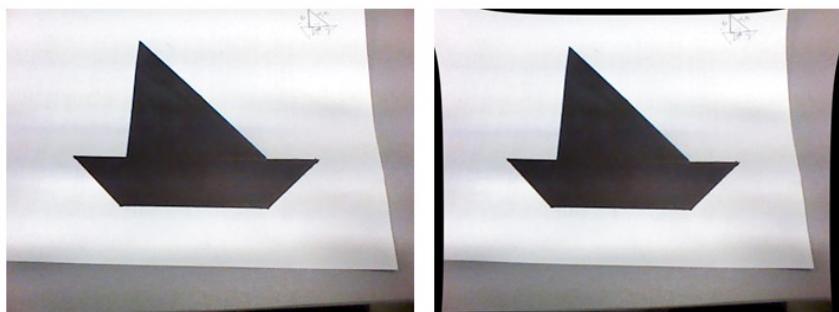
ret, self.K, self.dist, rvecs, tvecs = cv2.calibrateCamera(objpoints, imgpoints, imageGray.shape[::-1],
None, None)

K = Camera Matrix
Dist = distortion
```

## Step 3: calibration of the inner parameters of the camera

- 4 : Apply parameters to image:

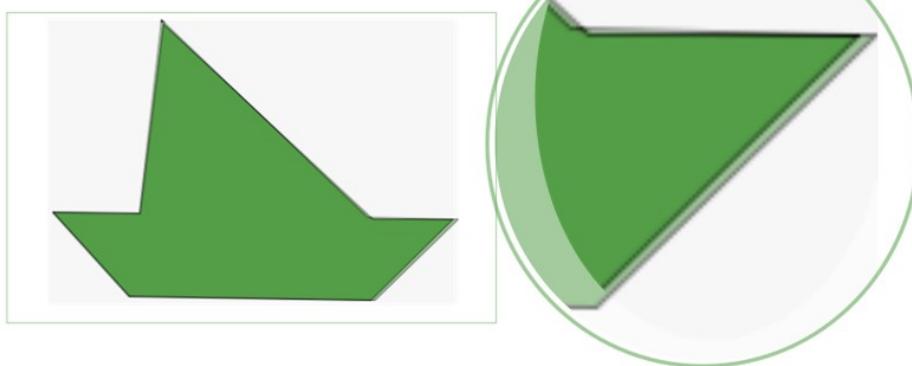
```
newcameramtx, roi=cv2.getOptimalNewCameraMatrix(self.K, self.dist,(w,h),1,(w,h))  
dst = cv2.undistort(img, self.K, self.dist, None, newcameramtx)
```



11

## Step 3: calibration of the inner parameters of the camera

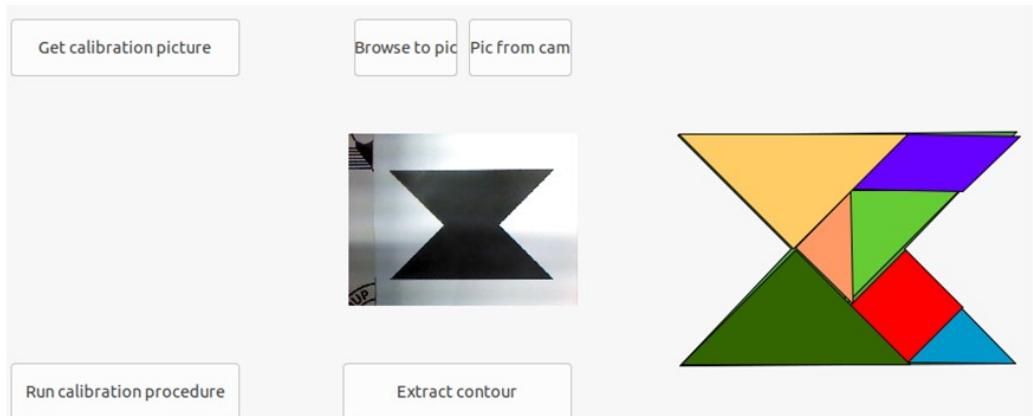
- 5: Effect on the shadow design:



12

## Results

- It works but it is not robust



13

## Results

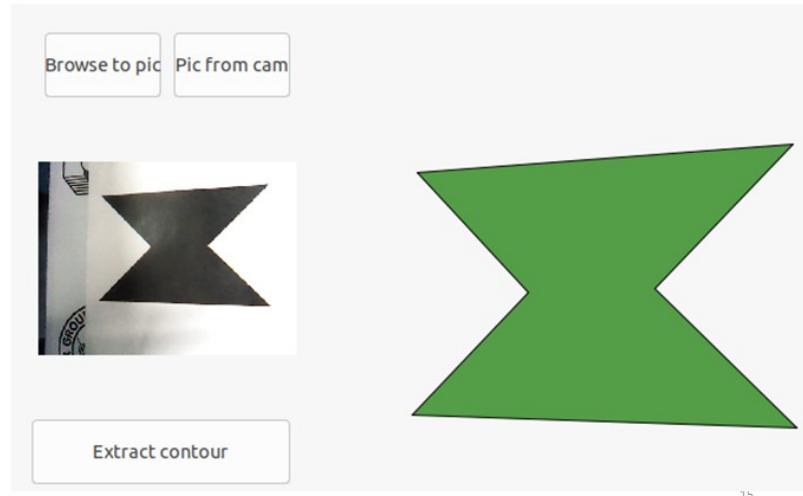
- Threshold issue



14

## Results

- Not robust to the  
Inclination of the  
camera



15



## Identification of the precision parameters of a UR10 e-series robot (ZeMA)

Die Kenngrößen eines Industrieroboters sind in der Norm ISO 9283 definiert. Häufig werden die Pose-Wiederholgenauigkeit (RP) und die Pose-Genauigkeit (AP) detailliert betrachtet. Die Norm gibt auch eine Methode vor, um die Genauigkeitswerte zu bestimmen. Diese Norm hat aber verschiedene Schwächen. Deswegen wurde die Methode an das jeweilige Anwendungsszenario angepasst, so dass die Berechnung der Genauigkeitskenngrößen von der Norm übernommen wurde. Dabei basiert die Verteilung der Punkte auf dem Anwendungsszenario. Als Messgerät wurde ein Laser Tracker der Firma API genommen. Ein Versuchsaufbau und ein Roboterwerkzeug werden am ZeMA entwickelt, um die Versuche durchzuführen. Hierbei wird der UR10 e-series Roboter vermessen. Die Ergebnisse sind in der Power-Point Präsentation dokumentiert.

**Kontakt:**  
ZeMA  
Ali Kanso  
E-Mail: [a.kanso@zema.de](mailto:a.kanso@zema.de)

Les caractéristiques d'un robot industriel sont définies dans la norme ISO 9283. La répétabilité de la pose (RP) et la précision de la pose (AP) sont souvent examinées en détail. La norme fournit également une méthode pour déterminer les valeurs de précision. Toutefois, cette norme présente plusieurs faiblesses. Par conséquent, la méthode a été adaptée au scénario d'application respectif, de sorte que le calcul des paramètres de précision a été tiré de la norme. La répartition des points est basée sur le scénario de demande. Un laser tracker de l'API a été pris comme appareil de mesure. Un dispositif expérimental et un outil robotique sont développés au centre ZeMA pour réaliser les expériences. C'est ici que le robot UR10 de la série e est mesuré. Les résultats sont documentés dans la présentation Power-Point.

**Contact:**  
ZeMA  
Ali Kanso  
e-Mail: [a.kanso@zema.de](mailto:a.kanso@zema.de)

## Vermessung UR10 e Series

Ali Kanso, Ms.Sc.

Aaron Braun, M.Sc.

ZeMA - Zentrum für Mechatronik und  
Automatisierungstechnik gemeinnützige GmbH

Saarbrücken, 17.09.2020

© ZeMA gGmbH

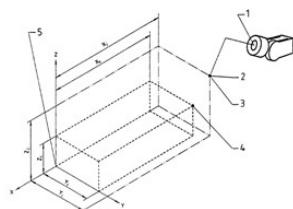


## Industrieroboter Kenngrößen – EN ISO 9283

RP AP vAP

### Pose-Wiederholgenauigkeit (RP)

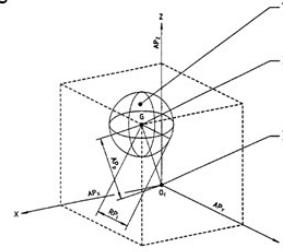
gibt die Exaktheit der Übereinstimmung zwischen den Istposen nach n wiederholten Anläufen zu derselben Sollpose in derselben Richtung an.



1. Mitte der mechanischen Schnittstelle
2. Messpunkt (Werkzeugarbeitspunkt)
3. j-te Istpose
4. Sollpose
5. Koordinatensystem parallel zum Basiskoordinatensystem

### Pose-Genauigkeit (AP)

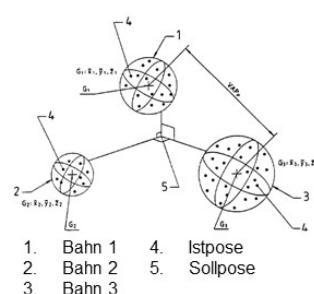
gibt die Abweichung zwischen einer Sollpose und dem Mittelwert der Istpose an, die sich beim Anfahren der Sollpose aus derselben Richtung ergeben.



1. Beispiele für eine Istposition
2. Position von G:  $\vec{x}$ ,  $\vec{y}$ ,  $\vec{z}$
3.  $O_c$  gegeben durch die Sollpose  $P_c$

### Mehrachrichtungsposengenauigkeit (vAP)

drückt die Abweichung zwischen den verschiedenen mittleren Istposen aus, die sich ergibt, wenn dieselbe Sollpose n-mal aus dreiorthogonalen Richtung angefahren wird



Quelle: EN ISO 9283

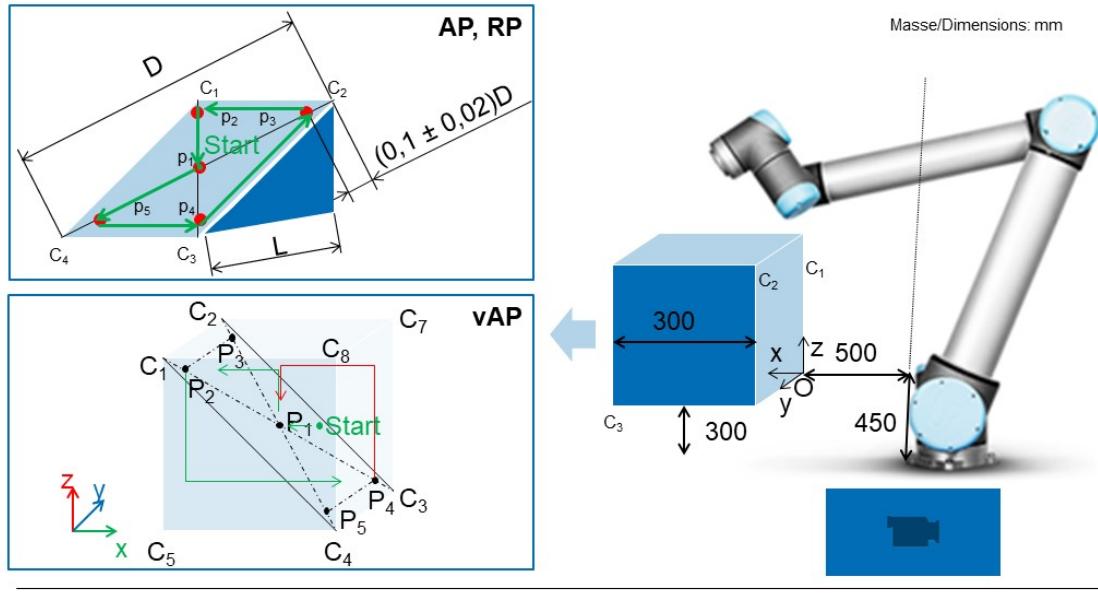
© ZeMA gGmbH

Seite 2



RP AP vAP

### Versuchsaufbau UR 10



© ZeMA gGmbH

Seite 3

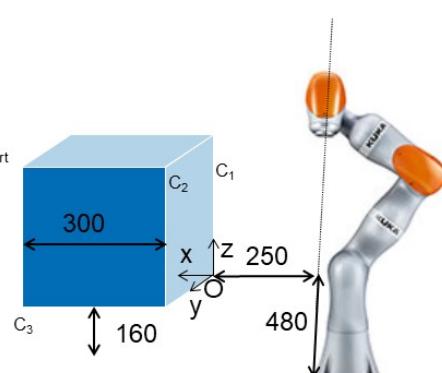
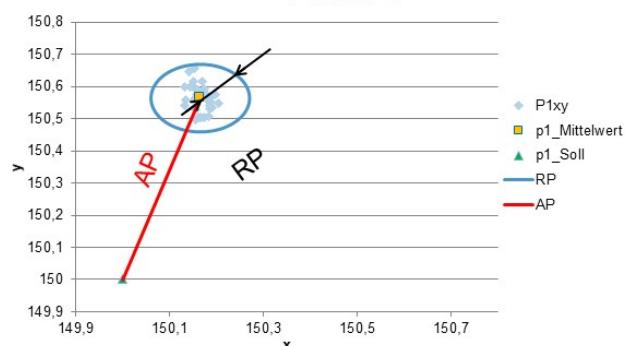
Ze/MA

RP AP vAP

### Versuchsaufbau KUKA LBR iiwa 14 R820

Masse/Dimensions: mm

#### Punkt P1



© ZeMA gGmbH

Seite 4

Ze/MA

## Lasertracker Messsystem

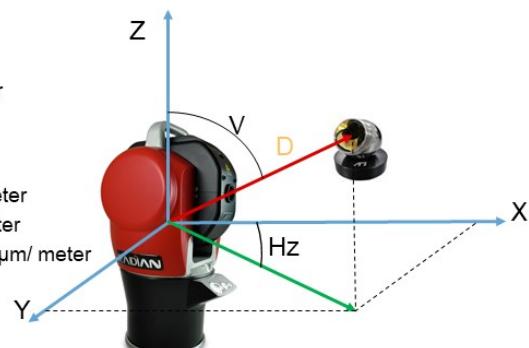
- Das Lasertracker Messsystem, ist das in der Handhabungstechnik am häufigsten verwendete Messmittel für die Posen Ermittlung.
- Mit der Hilfe von zwei Servomotoren, die den Vertikal- und Horizontalwinkel steuern, kann der Lasertracker den Reflektor verfolgen und damit dynamische Messungen durchführen.
- Der Laserstrahl, ausgehend von einem hochgenauen Kardangelenk trifft ein Kugelprisma. Dieses Kugelprisma wird als SMR bezeichnet (Spherically Mounted Retroreflectors). Der Spiegelreflektor reflektiert diesen Laserstrahl zurück zum Lasertracker.
- Der Abstand D wird im IFM oder ADM Mode bestimmt.
  - Zeitgleich werden auch noch der horizontale und der vertikale Winkel durch zwei Winkelgeber bestimmt.
    - $X = D \cdot \sin(V) \cdot \cos(Hz)$
    - $Y = D \cdot \sin(V) \cdot \sin(Hz)$
    - $Z = D \cdot \cos(V)$
- Mit diesen Informationen kann die genaue Lage des SMR im Raum ermittelt werden

## Lasertracker API R-50 Radian

- Kombination Winkel-/ Distanzmessung
- Messprinzip - Polare Punktbestimmung
  - $X = D \cdot \sin(V) \cdot \cos(Hz)$
  - $Y = D \cdot \sin(V) \cdot \sin(Hz)$
  - $Z = D \cdot \cos(V)$
- Winkelbereich
 

– Horizontalwinkel	$\pm 320^\circ$
– Höhe	$\pm 79^\circ / -59^\circ$
– Winkelgenauigkeit	3,5 $\mu\text{m} / \text{meter}$
– Maximale Beschleunigung	2g
- Laser
 

– IFM Genauigkeit	$\pm 0,5 \mu\text{m} / \text{meter}$
– ADM (Lock-on) Genauigkeit	$\pm 10 \mu\text{m} / \text{meter}$
– Volumetrische Genauigkeit	$\pm 10 \mu\text{m} + 5 \mu\text{m} / \text{meter}$



## Spherically Mounted Retroreflector (SMR)

- Hauptziel
- Komplexe mechanische Strukturen
  - Präzisionsoptik
  - Edelmetalle
  - Hochleistungsklebstoffen
- Nahezu perfekte Geometrie
- Lasertracker – Reflektoren direkt voneinander abhängig



© ZeMA gGmbH

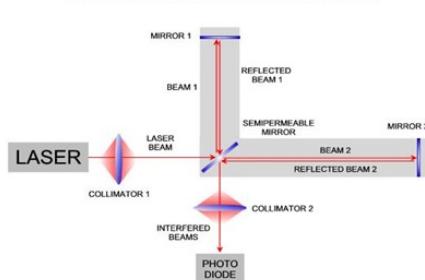
Seite 7

**Ze/MA**

## Streckenmessung Interferometrische Streckenmessung (IFM)

- Interferometrisches Verfahren welches seit dem späten 18. Jahrhundert Verwendung findet (Michelson-Interferometer)
- Interferenz zweier Lichtquellen mit gleicher Wellenlänge (Helium-Neon Laser,  $\lambda \sim 632 \text{ nm}$ ) welche sich je nach Entfernung überlagern oder auslöschen

MICHELSON INTERFEROMETER



$$\Delta D = \frac{1}{2} \left( (\lambda (\eta_B - \eta_A) + \frac{\lambda}{2\pi} (\Delta\phi_B - \Delta\phi_A)) \right)$$

$\eta_B, \eta_A$ : fringe counts  
 $\Delta\phi_B, \Delta\phi_A$  = Phasenverschiebung  
 $\Delta D$ : Weg

Hohe Auflösung ( $\frac{1}{4}\lambda \sim 158 \text{ nm}$ ), der Laserstrahl darf jedoch nicht unterbrochen werden

© ZeMA gGmbH

Seite 8

**Ze/MA**

## Absolute Abstandsmessungen Verfahren (ADM)

Absolute Abstandsmessungen verwenden Flugzeitinformationen (Implusverfahren), Phasenverschiebung (Phasenverschiebungsverfahren) oder eine Kombination der beiden Verfahren um den Absoluten Abstand zu bestimmten.

### Impulsverfahren

- Ein Infrarotlicht wird von einem Halbleiterlaser emittiert.
- Der Strahl wird am SMR reflektiert und wieder zum LT zurückgeschickt, wo er in ein elektrisches Signal umgewandelt wird.
- Eine elektronische Schaltung analysiert das Signal und bestimmt seine Flugzeit (T).

$$D = \frac{c \cdot T}{2}$$

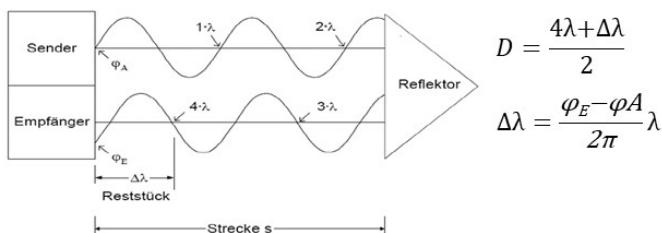
• Lichtgeschwindigkeit in Luft  $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$

• D: Abstand vom LT zum SMR.

## Absolute Abstandsmessungen Verfahren (ADM)

### Phasenvergleichsverfahren

- Die Messung besteht aus mehreren Messwellen unterschiedlicher Wellenlänge bei denen jeweils die Phasenverschiebung der reflektierten Welle gemessen wird
- Findet seit Mitte der 1990er Verwendung, damals waren jedoch die Messzeiten zu hoch um Oberflächen zu vermessen, daher wurden zusätzlich IFM in Laser-Trackern verbaut
- Heute sind die Messungen schnell genug weshalb Laser-Tracker ohne IFM auskommen



$$D = \frac{4\lambda + \Delta\lambda}{2}$$

$$\Delta\lambda = \frac{\varphi_E - \varphi_A}{2\pi} \lambda$$

- Wellenlänge der Grobmessung muss dabei größer als die doppelte zu messende Strecke sein

Genauigkeit aufgrund schneller Prozessoren ähnlich mit IFM, Laserstrahl darf unterbrochen werden

## Messaufbau

---

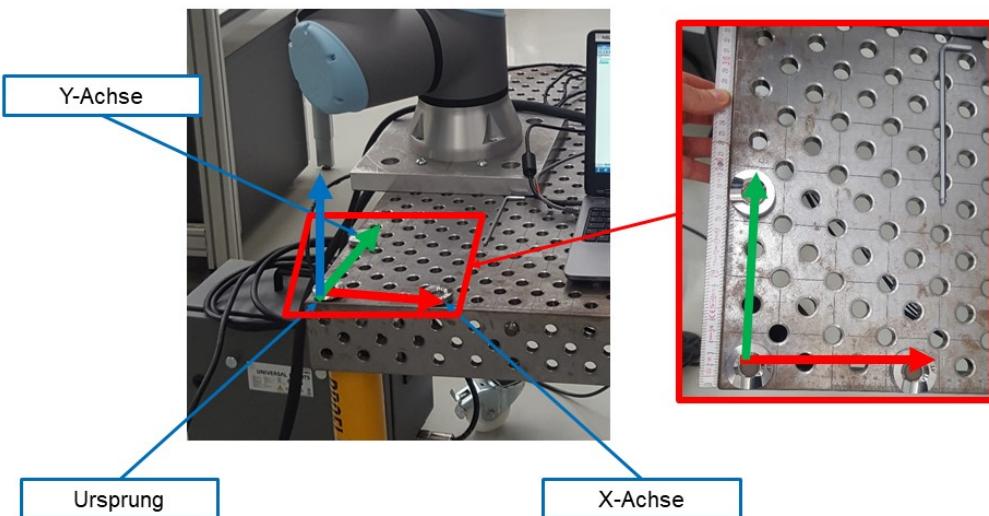


## Messzenario

---

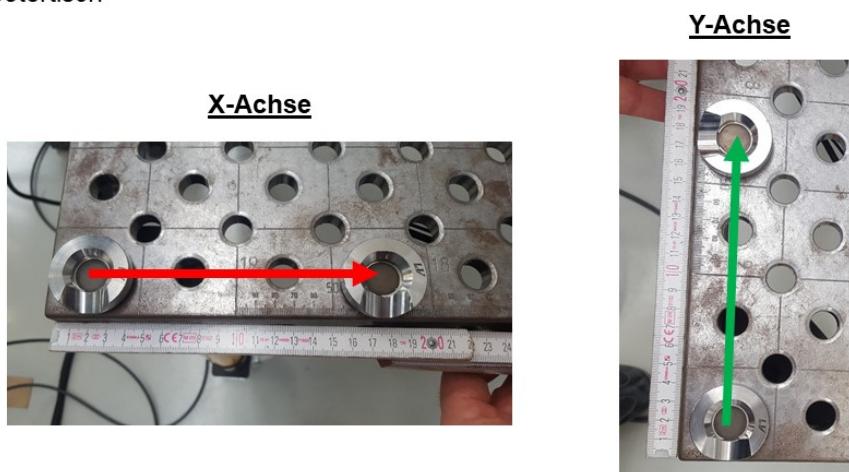
- Vermessung des UR10E
  - Definition Mess-Koordinatensystems am Robotertisch (KOS Robotertisch)
  - Vermessung SMR-Halter → Orientierung Werkzeug
    - Vermessung des SMR-Halter mittels 3 Messpunkten an drei Raumpunkten
  - Vermessung einer Matrix 7 X 7 → 49 Punkte Pro Ebene
    - Messanzahl 30 Schleifen → 30 Messwerte pro Raumpunkt → Summe  $49 \times 30$  Messwerte = 1470 Messwerte

## Definition KOS Robotertisch



## Detail KOS Robotertisch

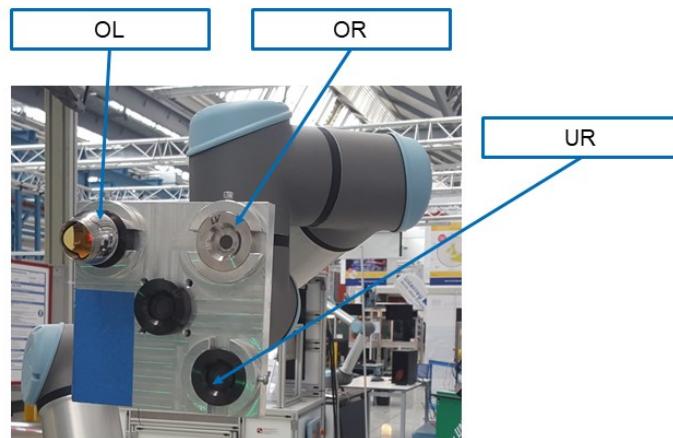
- Position der SMR Halterungen zur Definition KOS Robotertisch



# Vermessung Orientierung SMR-Halter

- Orientierungsbestimmung durch drei Messpunkt am Halter an drei unterschiedlichen Raumpunkten

- Messpunkt
    - OL (Oben Links)
    - OR (Oben Rechts)
    - UR (Unten Rechts)
  - Raumpunkte
    - Waypoint\_1
    - Waypoint\_7
    - Waypoint\_13

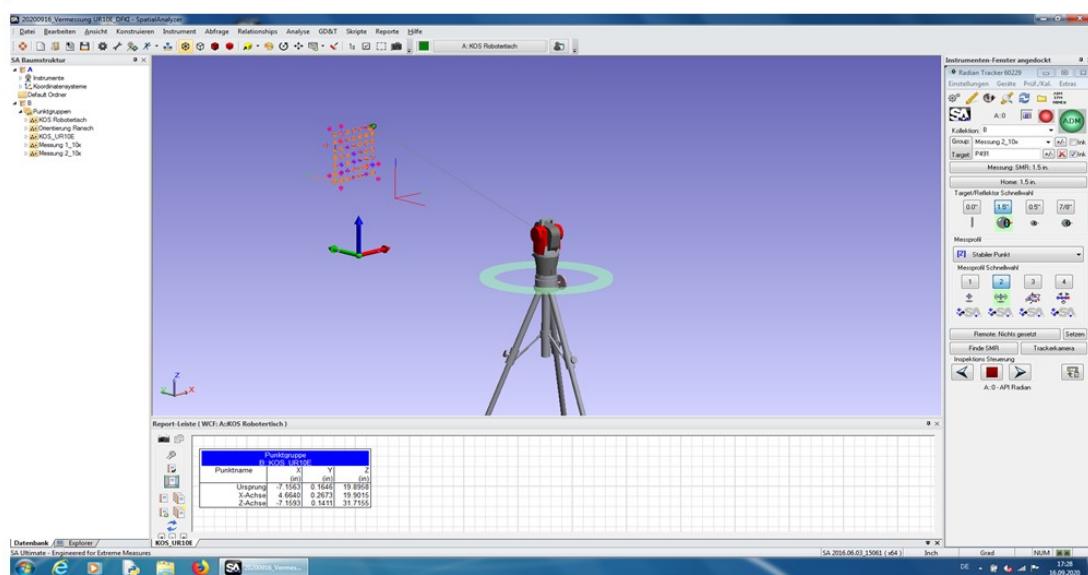


© ZeMA gGmbH

Seite 15

ZeMA

# Vermessungsumgebung Spatial Analyzer



---

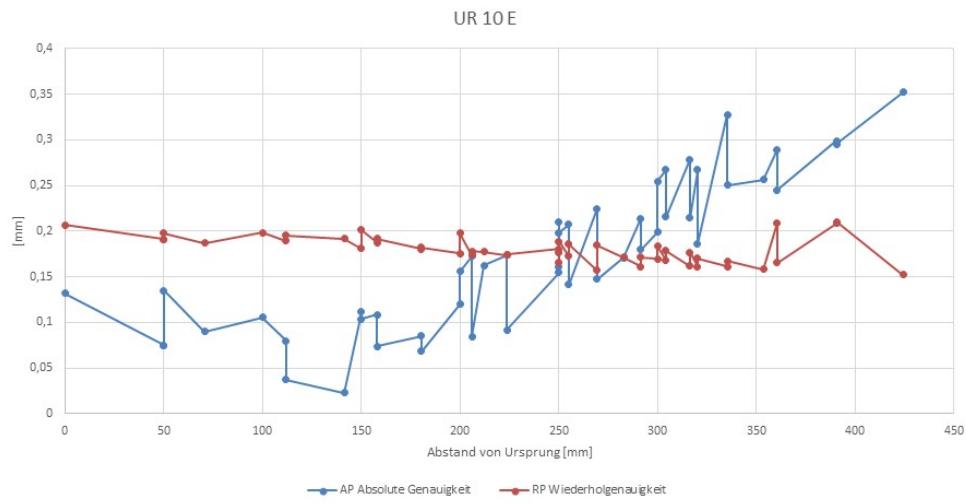
© ZeMA gGmbH

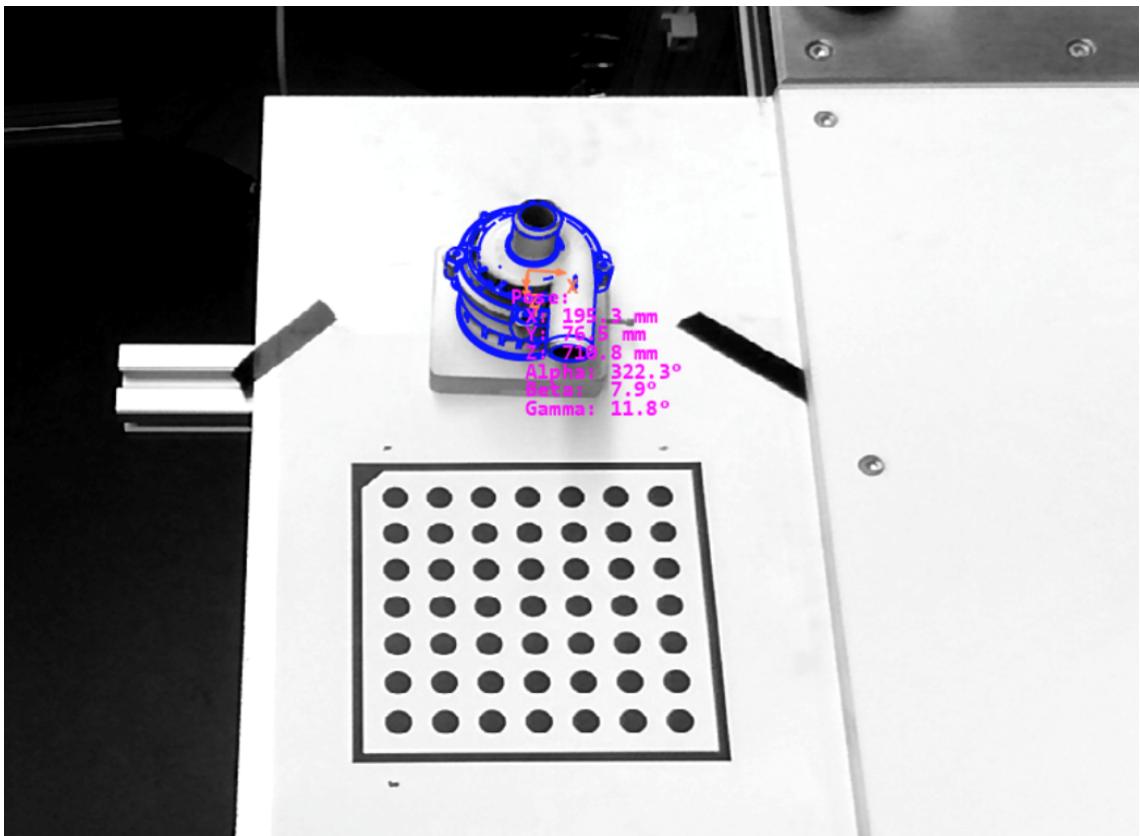
Seite 16

ZeMA

## Results

---





## (3D-)Computer Vision and Part Grasping (UCB)

Die Universität Lüttich (ULg) beschäftigt sich unter anderem mit der 3D-Erkennung von Objekten und der anschließenden Greifplanung. Dementsprechend war die Aufgabe dieses Projektes, einen ersten Demonstrator-Entwurf für eine solche Applikation zu entwickeln. Die Aufgabe ist sehr vielschichtig und umfasst neben der Bildverarbeitung, der Objekterkennung und der Robotik auch noch die Greifplanung. Im Rahmen dieses Projektes konzentrierten wir uns auf einen einfacheren Anwendungsfall, dem Erkennen und Greifen einer Zusatzkühlmittelpumpe. Die Pumpe wird hierbei in einer Box angeliefert und soll anschließend in beliebiger Orientierung vom Bildverarbeitungssystem erkannt und anschließend vom Roboter gegriffen werden können.

Im ersten Schritt wurde für die Bildaufnahme sowohl 2D- als auch 3D-Bildverarbeitung in Betracht gezogen und dazu die Microsoft Kinect v2 getestet. Leider wird diese Ka-

L'Université de Liège (ULg) s'occupe, entre autres, de la reconnaissance 3D des objets et de la planification de la saisie. En conséquence, la tâche de ce projet était de développer un premier modèle de démonstrateur pour une telle application. La tâche est très complexe et comprend le traitement d'images, la reconnaissance d'objets et la robotique ainsi que la planification de la préhension. Dans ce projet, nous nous sommes concentrés sur un cas d'utilisation plus simple, la détection et la préhension d'une pompe de refroidissement auxiliaire. La pompe est livrée dans une boîte et doit être détectée par le système de traitement d'images dans n'importe quelle orientation, puis captée par le robot.

Dans un premier temps, le traitement d'images 2D et 3D a été envisagé pour l'acquisition des images et le Microsoft Kinect v2 a été testé à cet effet. Malheureusement, cette caméra n'est plus prise en

mera nicht mehr weiter unterstützt, sodass diese Wahl wieder geändert wurden musste. Als nächste Kamera wurde die Microsoft Kinect Azure getestet. Zur Bildverarbeitung wurde die Bibliothek HALCON der Firma MVTEc verwendet. Dabei handelt es sich um eine für diesen Zweck in der Industrie weit verbreitete Software. Die Kombination dieser Software mit der getesteten Kamera erlaubt aber nur die Verwendung von 2D-Bilddaten. Im nächsten Schritt wurde die Kamera intrinsisch kalibriert, also die Verzeichnungen und Verzerrungen des Bildes, hervorgerufen durch die Optik, kompensiert. Danach wurde geprüft, wie das zu betrachtende Teil am besten unabhängig von seiner Orientierung in einem 2D-Bild erkannt werden kann. Dazu bietet HALCON die Möglichkeit, verschiedene Ansichten des Teils aus dem CAD-Modell abzuleiten und diese für eine Konturenerkennung zu verwenden, was auch sehr gut funktioniert hat.

Die Kommunikation mit dem Roboter gestaltete sich schwieriger. Aufgrund unseres Ansatzes, alles in der HALCON-Umgebung zu programmieren, musste die Kommunikation mit dem Roboter erst getestet und angepasst werden, damit die Software diesen anschließend auch erfolgreich steuern kann. Später erfolgte dann noch die Hand-Augen-Kalibrierung. Dabei werden mit dem Roboter definierte Positionen im Kamerabild angefahren und anschließend verrechnet, um die Koordinaten der Objekte im Kamerabild mit denen des Roboters in Einklang zu bringen. Es konnten hierzu erste Ergebnisse erzielt werden, diese sind jedoch noch Verbesserungswürdig. Alles in allem bot uns das Projekt die Gelegenheit, auch mal ein komplizierteres Objekt sowohl in einem Kamerabild zu suchen, als auch die nachfolgende Prozesskette der Bildverarbeitung bis hin zum Greifen mit einem Roboter mit Hilfe einer industrietauglichen Softwarebibliothek selbst aufzubauen und zu testen.

#### Kontakt:

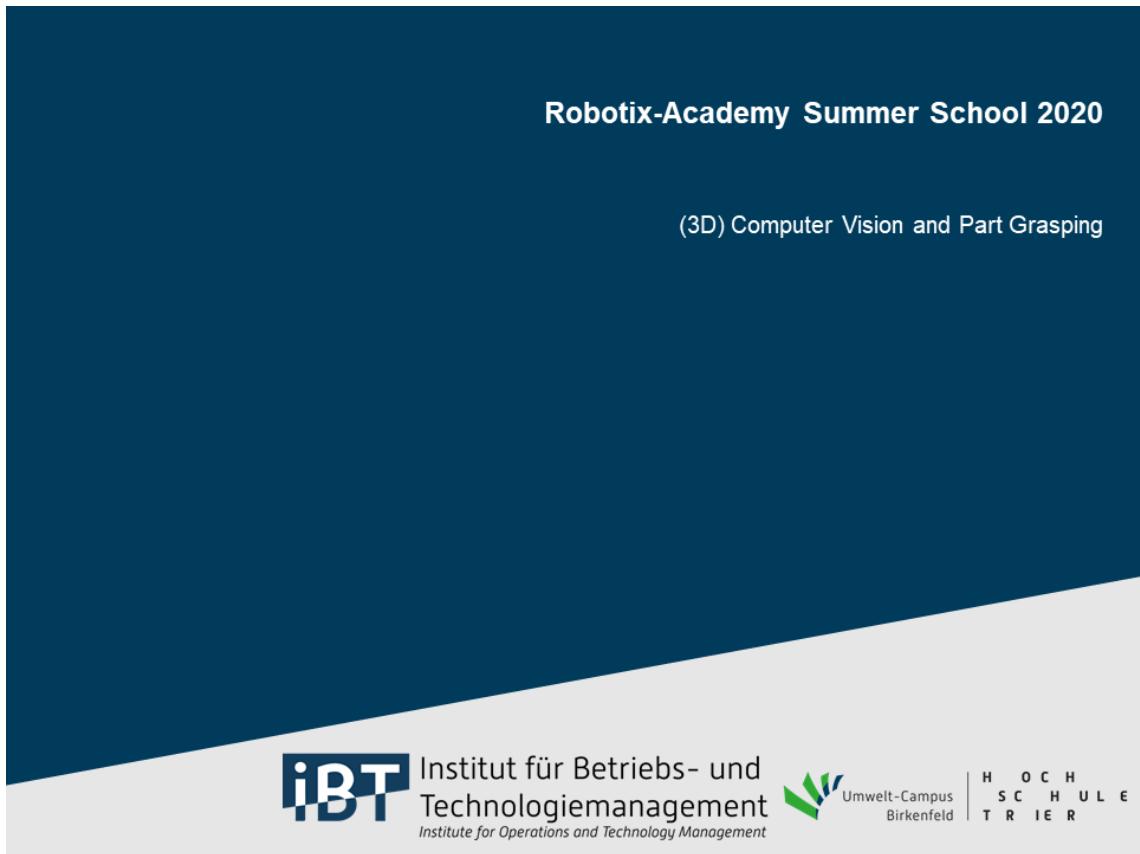
Umwelt-Campus Birkenfeld  
Sebastian Groß  
E-Mail: s.gross@umwelt-campus.de

charge et ce choix a donc dû être modifié à nouveau. La caméra suivante testée était la Kinect Azure de Microsoft. Pour le traitement des images, la bibliothèque HALCON de la société MVTEc a été utilisée. Il s'agit d'un logiciel largement utilisé à cette fin dans l'industrie. Cependant, la combinaison de ce logiciel avec la caméra testée ne permet d'utiliser que des données d'images en 2D. Dans l'étape suivante, la caméra a été intrinsèquement calibrée, c'est-à-dire que les distorsions et les déformations de l'image, causées par l'optique, ont été compensées. Ensuite, il a été examiné comment la pièce à visualiser peut être détectée au mieux dans une image 2D, quelle que soit son orientation. À cette fin, HALCON offre la possibilité de dériver différentes vues de la pièce à partir du modèle CAO et de les utiliser pour la reconnaissance des contours, ce qui a très bien fonctionné.

La communication avec le robot était plus difficile. En raison de notre approche consistant à tout programmer dans l'environnement HALCON, la communication avec le robot devait d'abord être testée et adaptée pour que le logiciel puisse ensuite le contrôler avec succès. Plus tard, le calibrage main-œil a été effectué. Dans ce processus, le robot est déplacé vers des positions définies dans l'image de la caméra, puis calculé afin d'aligner les coordonnées des objets dans l'image de la caméra avec celles du robot. Les premiers résultats pourraient être obtenus, mais il y a encore des possibilités d'amélioration. Dans l'ensemble, le projet nous a donné l'occasion de rechercher un objet compliqué dans une image de caméra et de construire et de tester la chaîne de processus ultérieure du traitement de l'image jusqu'à la prise en main par un robot à l'aide d'une bibliothèque de logiciels industriels.

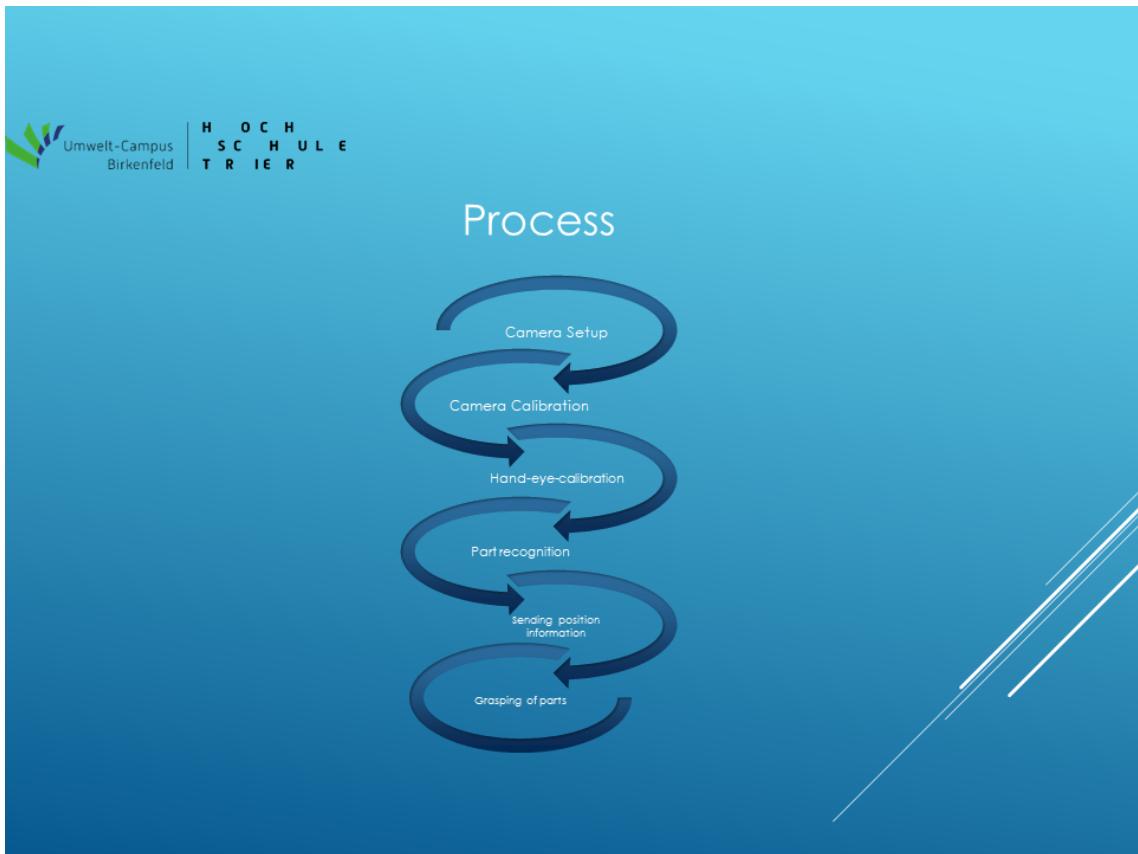
#### Contact:

Campus Environnemental de Birkenfeld  
Sebastian Groß  
e-mail: s.gross@umwelt-campus.de

A slide titled "Task description" with three main points: "Initial situation", "Task definition", and "Goal".

**Task description**

- Initial situation**
  - Pump is delivered in a box
- Task definition**
  - Recognize the part and its position and send it to the robot
- Goal**
  - Robot picks up parts





Umwelt-Campus Birkenfeld | H O C H S C H U L E T R I E R

## Camera Choice

- Intel RealSense D415
  - Resolution: 1920 x 1080
  - 30 fps
  - RGB
  - Resolution: 1280 x 720
  - 90 fps
  - Depth
- Also not GenICam compatible, but there is a driver to at least support the GenTL standard

Quelle: [https://images-na.ssl-images-amazon.com/images/I/41MpfT1GvML.\\_AC\\_31449\\_.jpg](https://images-na.ssl-images-amazon.com/images/I/41MpfT1GvML._AC_31449_.jpg)



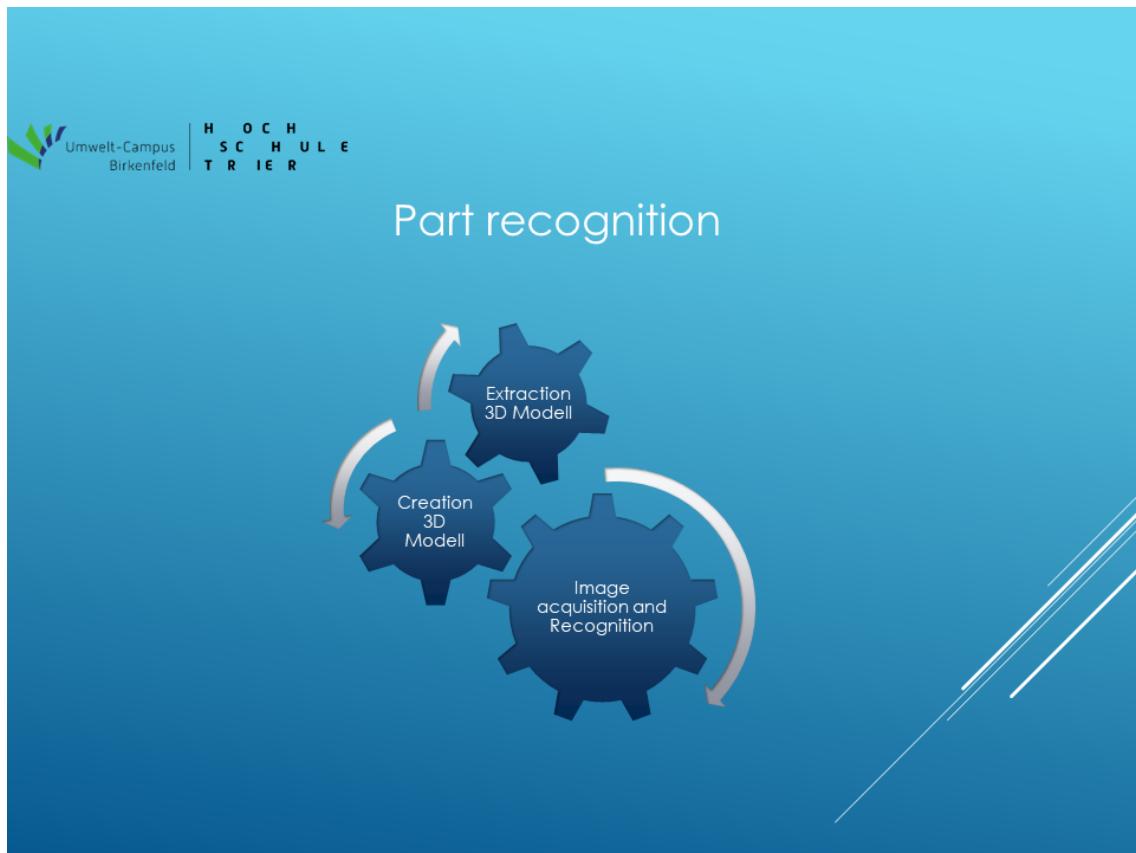
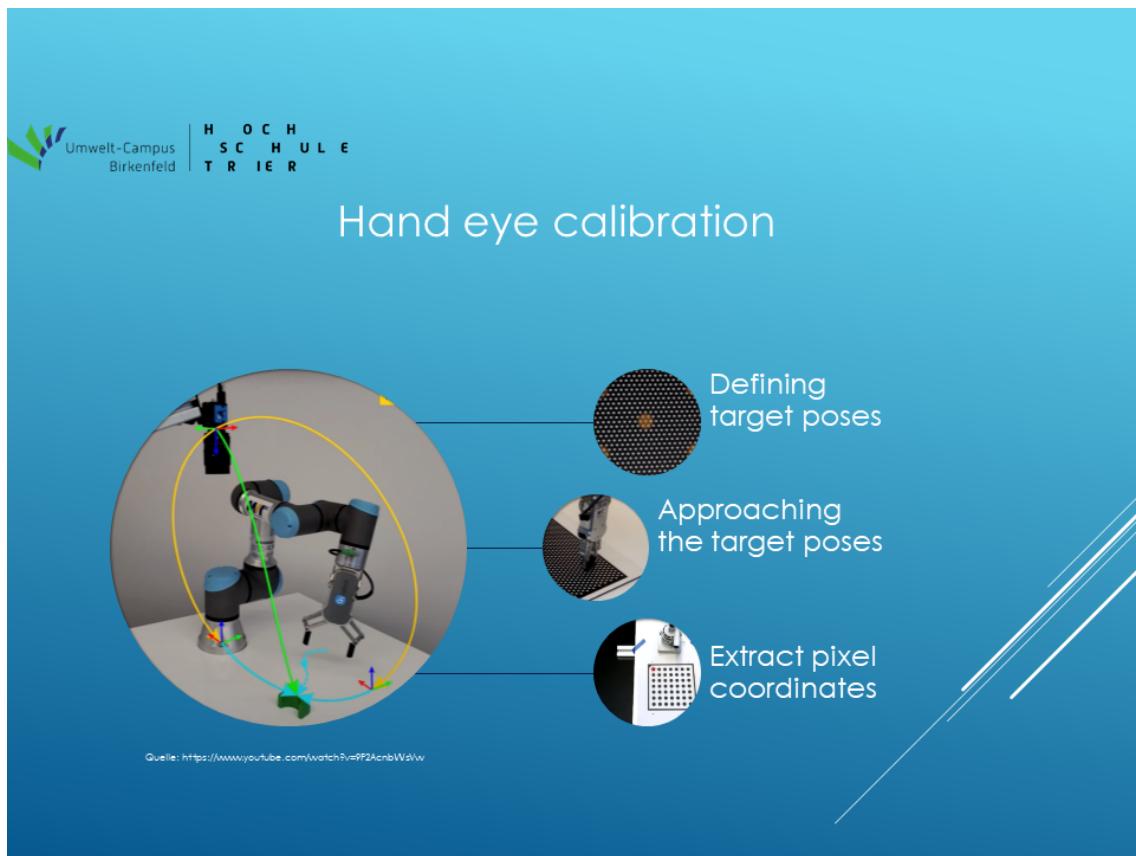
Umwelt-Campus Birkenfeld | H O C H S C H U L E T R I E R

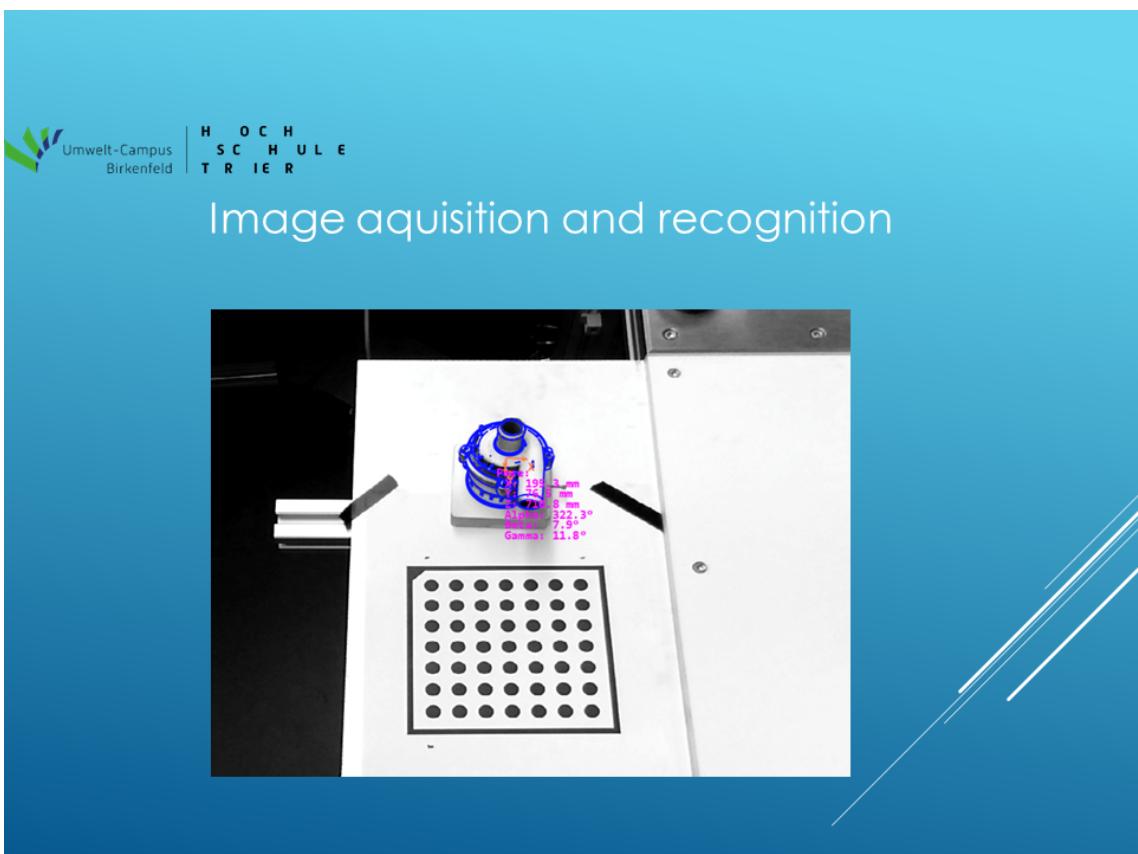
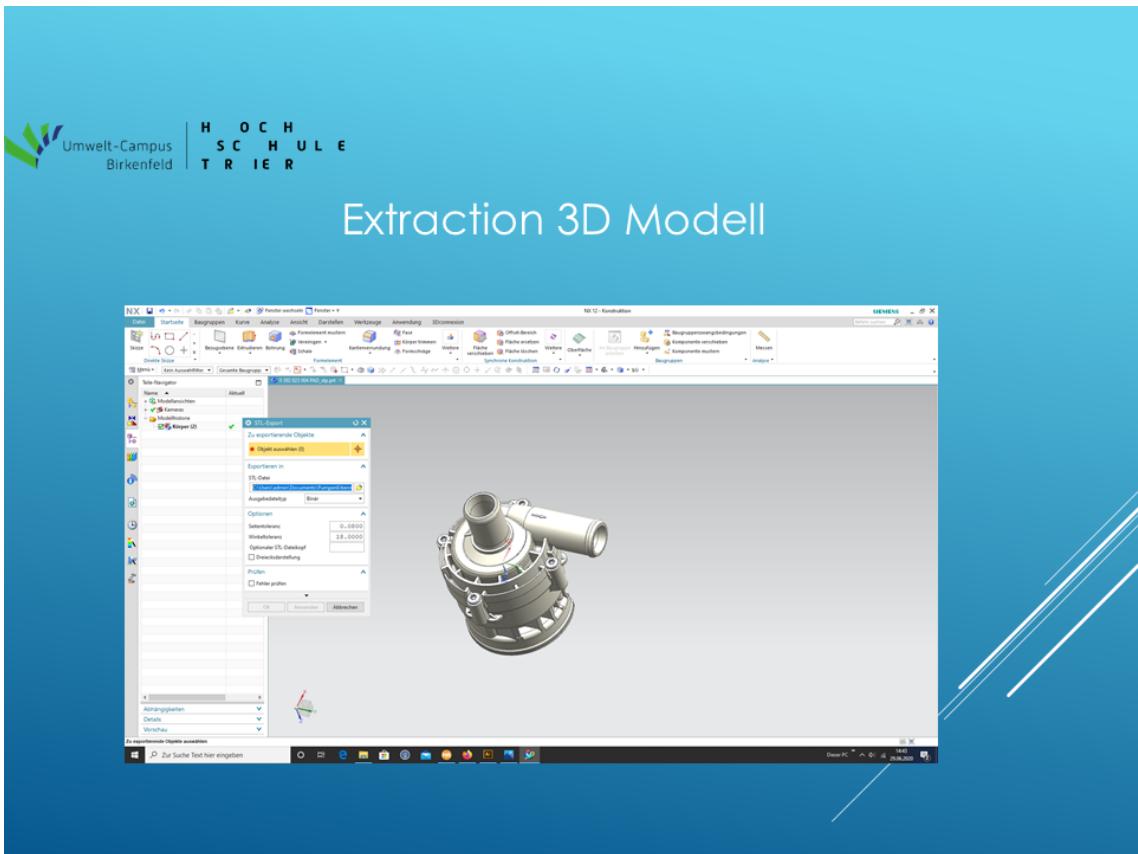
## Camera Choice

### Kinect Azure

- Much higher resolution 2D and depth sensor
- Still Issues with Aquiring the depth information
- Depth Image aquisition only possible via the C(++)-SDK
- 2D-Images available through the Direct-Show-Interface
- So for this Project we chose the 2D approach to test the results with the industry known SDK Halcon by MVtec

Quelle: <https://img-prod-cms-rt.microsoft.com.akamai.net/cms/api/cms/fimageData/RWqQvq7ver=2e27>





 Umwelt-Campus  
Birkenfeld | H O C H  
S C H U L E  
T R I E R

## Current state and conclusion

- It takes a very long time until the individual views are derived
- The pose recognition itself is quite fast because it relies only on contour based matching
- Does not work well with every object
- Solid and fast approach for rigid Objects if you have at least some STL (or better CAD) data from them
- Not suitable for soft or deformable objects



 Umwelt-Campus  
Birkenfeld | H O C H  
S C H U L E  
T R I E R

## Current state and conclusion

- The grasping has still much room for improvement
  - Better calibration
  - Moving the coordinate system to a better location for grasping
- So still work in Progress
- The creation of an interface to use the 3D data in Halcon is now a project for computer science students



---

# Kontakt

## Contact

### Projektleitung

### Direction du projet



**Rainer Müller, Prof. Dr.-Ing.**  
**Zentrum für Mechatronik und  
Automatisierungstechnik gGmbH**  
Telefon: +49 (0)681 857 87 15  
E-Mail: rainer.mueller@zema.de  
Webseite: www.zema.de

**Ali Kanso M.Sc.**  
**Zentrum für Mechatronik und  
Automatisierungstechnik gGmbH**  
Telefon: +49 (0)681 857 87 519  
E-Mail: a.kanso@zema.de  
Webseite: www.zema.de

### Projektpartner

### Operateurs du projet



**Gabriel Abba, Prof. Dr.**  
**Université de Lorraine**  
Telefon: +33(0)387 375 430  
E-Mail: gabriel.abba@univ-lorraine.fr  
Webseite: www.univ-lorraine.fr



**Olivier Bruls, Prof.**  
**Université de Liège**  
Telefon: +32 (0)4366-9184  
E-Mail: o.bruls@ulg.ac.be  
Webseite: www.ulg.ac.be



**Thibaud van Rooden**  
**Pôle MecaTech**  
Telefon: +32 (0)81 20 68 50  
E-Mail:  
thibaud.vanrooden@polemecatech.be  
Webseite: www.polemecatech.be



**Wolfgang Gerke, Prof. Dr.-Ing.**  
**Hochschule Trier, Umwelt-Campus  
Birkenfeld**  
Telefon: +49 (0)6782 17-1113  
E-Mail: w.gerke@umwelt-campus.de  
Webseite: www.umwelt-campus.de



UNIVERSITÉ DU  
LUXEMBOURG

**Peter Plapper, Prof. Dr.-Ing.**  
**Université du Luxembourg**  
Telefon : +352 (0)466644-5804  
E-mail: peter.plapper@uni.lu  
Webseite: wwwde.uni.lu

## Strategische Partner Opérateurs méthodologiques



**Régis Bigot**  
**Manoir Industries**  
Telefon: +33 (0)3 87 39 78  
Webseite: www.manoir-industries.com



**Frédéric Cambier**  
**Technifutur**  
Telefon: +32 (0)4 382 44 56  
E-Mail: frederik.cambier@technifutur.be  
Webseite: www.technifutur.be



**Ramon Ventimiglia**  
**Universität der Großregion**  
Telefon: +49 (0)681 301 40801  
E-Mail: ramona.ventimiglia@uni-gr.eu  
Webseite: www.uni-gr.eu



**Anja Höthker**  
**LuxInnovation – National Agency for innovation and research**  
Telefon: +352 (0)43 62 63 – 854  
E-Mail: anja.hoethker@luxinnovation.lu  
Webseite: en.luxinnovation.lu



**Amarilys Ben Attar**  
**Institut de Soudure**  
Telefon: +33 (0)3 87 55 60 76  
E-Mail: a.benattar@isgroupe.com  
Webseite: www.isgroupe.com

**Christian Laurent**  
**Automation & Robotics**  
Telefon: +32 (0)87 322 330  
E-Mail: c.laurent@ar.be  
Webseite: www.ar.be

**FANUC**

**Nigel Ramsden**  
**FANUC Europe Corporation**  
Telefon: +352 (0)72 77 77 450  
E-Mail: nigel.ramsden@fanuc.eu  
Webseite: [www.fanuc.eu](http://www.fanuc.eu)



**Sakina Seghir**  
**MATERALIA – Pôle de Compétitivité**  
**Matériaux ; Material, Verfahren,**  
**Energie**  
Telefon: +33 (0)3 55 00 40 35  
E-Mail: [sakina.seghir@materialia.fr](mailto:sakina.seghir@materialia.fr)  
Webseite: [www.materialia.fr](http://www.materialia.fr)



**Abdel Tazibt**  
**CRITT TJFU**  
Telefon: +33 (0)3 29 79 96 72  
E-Mail: [a.tazibt@critt-tjfu.com](mailto:a.tazibt@critt-tjfu.com)  
Webseite: [www.critt-tjfu.com](http://www.critt-tjfu.com)



**Grégory Reichling**  
**Citius Engineering**  
Telefon: +32 (0)4 240 14 25  
E-Mail: [gregory.reichling@citus-engineering.com](mailto:gregory.reichling@citus-engineering.com)  
Webseite: [www.citius-engineering.com](http://www.citius-engineering.com)



[www.robotix.academy](http://www.robotix.academy)

