

Sensordatenverarbeitung

(ab 13.1.25)

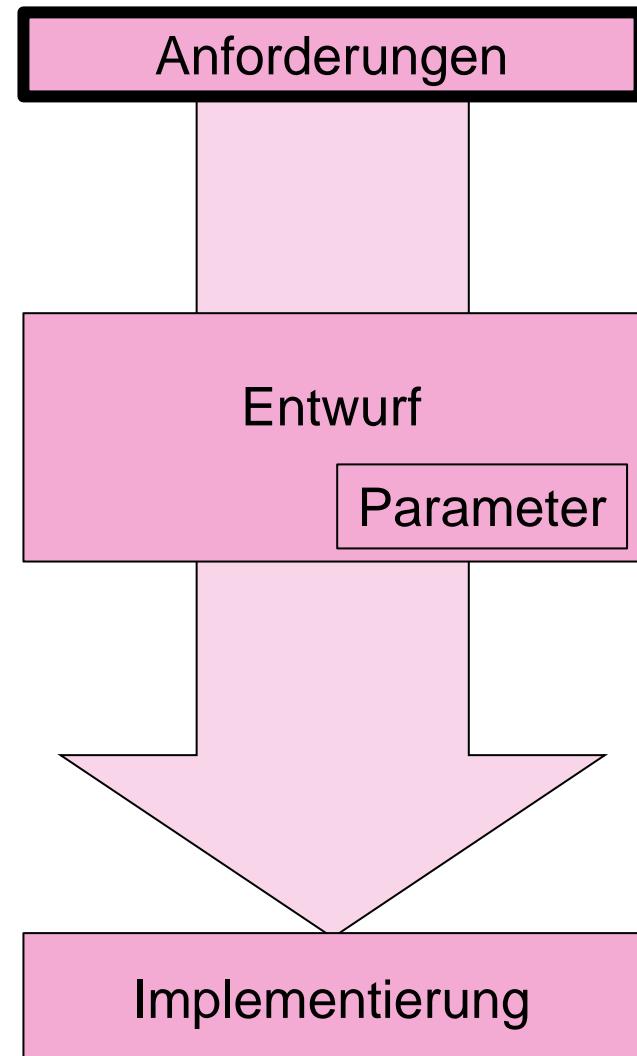
# ENTWICKLUNG UND EVALUA- TION VON SDV-SYSTEMEN (12A)

Nr.	Thema	
1	Einleitung; einführende Beispiele	  
2	Datenaufnahme; Audio-Datenaufnahme	 
3	Bild-Datenaufnahme	 
4	Farbe, Segmentierung, Segmentierungsgetriebene BV	 
5	Audiosignal, 1D Frequenzraum, Fouriertransformation	 
6	Koordinatensysteme; Bewegungs-Datenaufnahme	 
7	2D Frequenzraum, 2D Filter	 
8	Kanten, SdV-Paradigmen, direkte Bildmerkmale	 
9	Houghtransformation, Bewegungsmerkmale	  
10	Audiomerkmale	 
11	Klassifizierungsalgorithmen	  
12	Entwicklung und Evaluation sensorbasierter Systeme	  
13	Bayes-Schätzung & Bayes-Filter	  
14	Anwendungsbeispiele	  

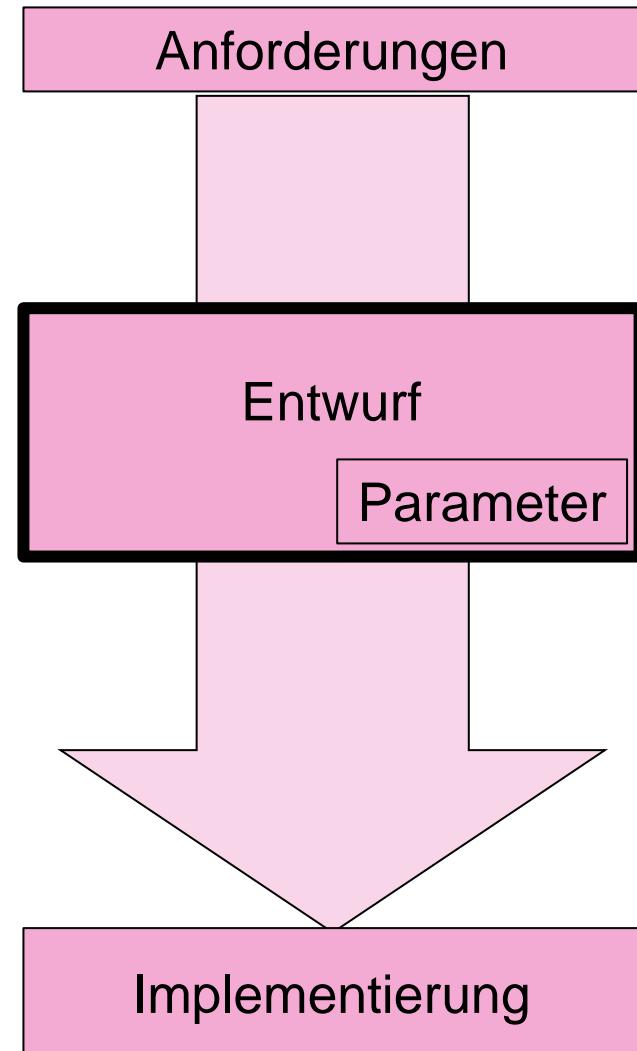


- **Entwicklung von SdV-Systemen**
- Evaluation von SdV-Systemen
- Beschreibende Statistik und Metriken
- Statistische Tests

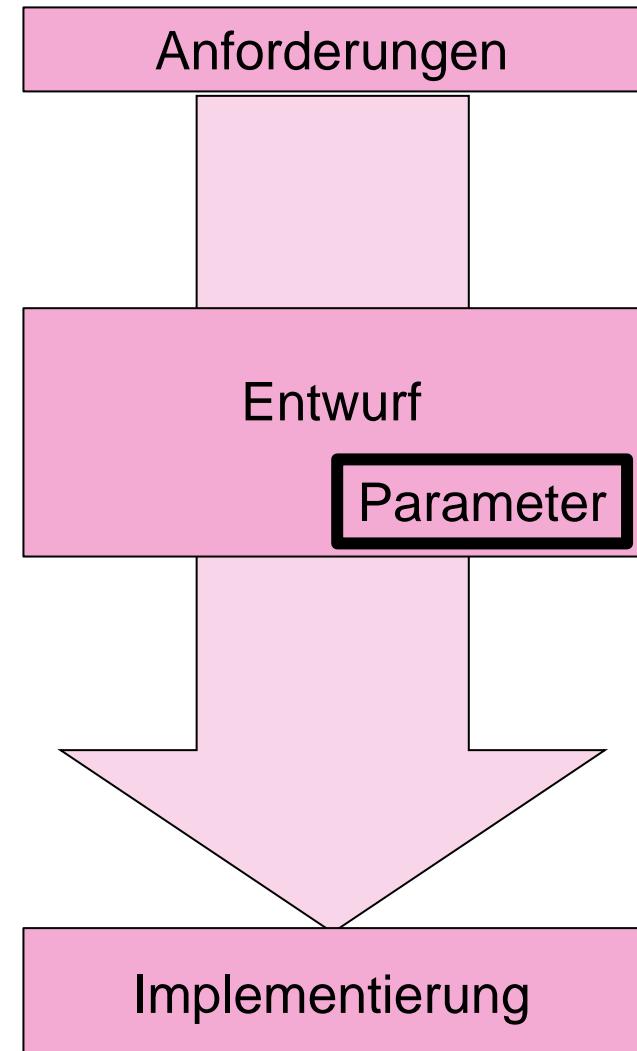
- **Anforderungen (Lastenheft)**
  - Funktionalität (Was kann das System)
  - Objekte, Umgebung, Randbedingungen
  - Interview mit Kunden
  - Fachsprache der Domäne
  - Interpretationsspielraum
- **Entwurf (Pflichtenheft)**
  - Abfolge von Subalgorithmen
  - In Informatik/SdV-Fachsprache formuliert
  - Eindeutig
  - Im Prinzip mathematisierbar
- **Parameter**
  - Vor allen Dingen Schwellwerte
  - Wichtige Rolle in SdV-Problemen
- **Implementierung**
  - Echter ausführbarer Code
  - Parameter einstellen



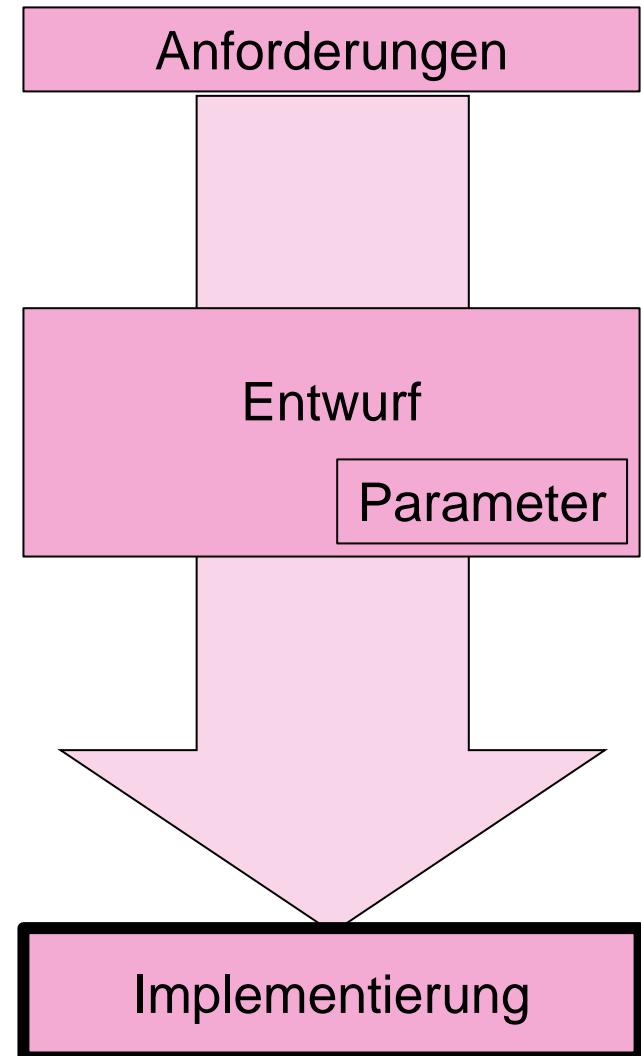
- Anforderungen (Lastenheft)
  - Funktionalität (Was kann das System)
  - Objekte, Umgebung, Randbedingungen
  - Interview mit Kunden
  - Fachsprache der Domäne
  - Interpretationsspielraum
- Entwurf (Pflichtenheft)
  - Abfolge von Subalgorithmen
  - In Informatik/SdV-Fachsprache
  - Eindeutig
  - Im Prinzip mathematisierbar
- Parameter
  - Vor allen Dingen Schwellwerte
  - Wichtige Rolle in SdV-Problemen
- Implementierung
  - Echter ausführbarer Code
  - Parameter einstellen



- Anforderungen (Lastenheft)
  - Funktionalität (Was kann das System)
  - Objekte, Umgebung, Randbedingungen
  - Interview mit Kunden
  - Fachsprache der Domäne
  - Interpretationsspielraum
- Entwurf (Pflichtenheft)
  - Abfolge von Subalgorithmen
  - In Informatik/SdV-Fachsprache formuliert
  - Eindeutig
  - Im Prinzip mathematisierbar
- Parameter
  - **Vor allen Dingen Schwellwerte**
  - **Wichtige Rolle in SdV-Problemen**
- Implementierung
  - Echter ausführbarer Code
  - Parameter einstellen



- Anforderungen (Lastenheft)
  - Funktionalität (Was kann das System)
  - Objekte, Umgebung, Randbedingungen
  - Interview mit Kunden
  - Fachsprache der Domäne
  - Interpretationsspielraum
- Entwurf (Pflichtenheft)
  - Abfolge von Subalgorithmen
  - In Informatik/SdV-Fachsprache formuliert
  - Eindeutig
  - Im Prinzip mathematisierbar
- Parameter
  - Vor allen Dingen Schwellwerte
  - Wichtige Rolle in SdV-Problemen
- **Implementierung**
  - **Echter ausführbarer Code**
  - **Parameter einstellen**



# Beispiel Würfelerkennung

## Erläuterung nächste Folie



- Anforderungen (Lastenheft)
    - Kann die Augenzahl jedes einzelnen Würfels erkennen
    - Würfel flach, möglicherweise berührend, einheitlicher Hintergrund okay
  - Entwurf (Pflichtenheft)
    - Schwarzer Hintergrund, Dombeleuchtung, Kamera von oben
    - FG/HG Trennung mit *Helligkeitsschwellwert*
    - Regionenbaum bilden (1. Ebene: Würfel, 2. Ebene: Augen)
    - Filtern: *Min/Max Länge*, *Breite* für Würfel; *Radius*, *Rundheit* für Augen
    - 2. Ebene Regionen (Augen) pro 1. Ebene Region (Würfel) zählen
    - Parameter kursiv
  - Implementierung (hier beispielhafter Python-Ausschnitt)

```
def find_dips(img, binary_threshold, radius_bounds, min_ratio):
    _, bin_img = cv2.threshold(img, binary_threshold, 255, cv2.THRESH_BINARY)
    contours, _ = cv2.findContours(bin_img, cv2.RETR_TREE, cv2.CHAIN_APPROX_SIMPLE)
    for contour in contours:
        ...
    ...
```

- Anforderungen (Lastenheft)
  - Kunde braucht eigentlich etwas anderes
  - Z.B.: „Würfel gestapelt“ muss als Fehlerzustand erkannt werden
- Entwurf (Pflichtenheft)
  - Verfahren leistet nicht das intendierte, obwohl richtig ausgeführt
  - Z.B. Zwei Würfel werden zu einer Region, weil Zwischenraum zu hell ist
  - Verletzung einer Vorgabe mit Interpretationsspielraum
- Parameter
  - Werte sind nicht gut genug auf die vorliegende Situation angepasst
  - Z.B.: Maximalwert für Würfelbreite/höhe passt nicht zur Auflösung der Kamera (z.B. weil neue Kamera)
- Implementierung
  - Der „Bug“ wie wir ihn kennen (z.B. Off-by-one-Fehler, Variablen vertauscht, Sonderfall vergessen abzufragen, Fehler in Formel)
  - Verletzung einer eindeutigen / mathematischen Spezifikation des Entwurfs
  - Z.B. Sortieralgorithmus liefert unsortierte Ausgabe
- Diese Fehlertypen zu unterscheiden ist wichtige SdV-Kompetenz

- **Anforderungen (Lastenheft)**
  - Kunde braucht eigentlich etwas anderes
  - Z.B.: „Würfel gestapelt“ muss als Fehlerzustand erkannt werden
- **Entwurf (Pflichtenheft)**
  - Verfahren leistet nicht das intendierte, obwohl richtig ausgeführt
  - Z.B. Zwei Würfel werden zu einer Region, weil Zwischenraum zu hell ist
  - Verletzung einer Vorgabe mit Interpretationsspielraum
- **Parameter**
  - Werte sind nicht gut genug auf die vorliegende Situation angepasst
  - Z.B.: Maximalwert für Würfelbreite/höhe passt nicht zur Auflösung der Kamera (z.B. weil neue Kamera)
- **Implementierung**
  - Der „Bug“ wie wir ihn kennen (z.B. Off-by-one-Fehler, Variablen vertauscht, Sonderfall vergessen abzufragen, Fehler in Formel)
  - Verletzung einer eindeutigen / mathematischen Spezifikation des Entwurfs
  - Z.B. Sortieralgorithmus liefert unsortierte Ausgabe
- Diese Fehlertypen zu unterscheiden ist wichtige SdV-Kompetenz

- Anforderungen (Lastenheft)
  - Kunde braucht eigentlich etwas anderes
  - Z.B.: „Würfel gestapelt“ muss als Fehlerzustand erkannt werden
- **Entwurf (Pflichtenheft)**
  - **Verfahren leistet nicht das intendierte, obwohl richtig ausgeführt**
  - **Z.B. Zwei Würfel werden zu einer Region, weil Zwischenraum zu hell**
  - **Verletzung einer Vorgabe mit Interpretationsspielraum**
- Parameter
  - Werte sind nicht gut genug auf die vorliegende Situation angepasst
  - Z.B.: Maximalwert für Würfelbreite/höhe passt nicht zur Auflösung der Kamera (z.B. weil neue Kamera)
- Implementierung
  - Der „Bug“ wie wir ihn kennen (z.B. Off-by-one-Fehler, Variablen vertauscht, Sonderfall vergessen abzufragen, Fehler in Formel)
  - Verletzung einer eindeutigen / mathematischen Spezifikation des Entwurfs
  - Z.B. Sortieralgorithmus liefert unsortierte Ausgabe
- Diese Fehlertypen zu unterscheiden ist wichtige SdV-Kompetenz

- Anforderungen (Lastenheft)
  - Kunde braucht eigentlich etwas anderes
  - Z.B.: „Würfel gestapelt“ muss als Fehlerzustand erkannt werden
- Entwurf (Pflichtenheft)
  - Verfahren leistet nicht das intendierte, obwohl richtig ausgeführt
  - Z.B. Zwei Würfel werden zu einer Region, weil Zwischenraum zu hell ist
  - Verletzung einer Vorgabe mit Interpretationsspielraum
- Parameter
  - **Werte sind nicht gut genug auf die vorliegende Situation angepasst**
  - **Z.B.: Maximalwert für Würfelbreite/höhe passt nicht zur Auflösung der Kamera (z.B. weil neue Kamera)**
- Implementierung
  - Der „Bug“ wie wir ihn kennen (z.B. Off-by-one-Fehler, Variablen vertauscht, Sonderfall vergessen abzufragen, Fehler in Formel)
  - Verletzung einer eindeutigen / mathematischen Spezifikation des Entwurfs
  - Z.B. Sortieralgorithmus liefert unsortierte Ausgabe
- Diese Fehlertypen zu unterscheiden ist wichtige SdV-Kompetenz

- Anforderungen (Lastenheft)
  - Kunde braucht eigentlich etwas anderes
  - Z.B.: „Würfel gestapelt“ muss als Fehlerzustand erkannt werden
- Entwurf (Pflichtenheft)
  - Verfahren leistet nicht das intendierte, obwohl richtig ausgeführt
  - Z.B. Zwei Würfel werden zu einer Region, weil Zwischenraum zu hell ist
  - Verletzung einer Vorgabe mit Interpretationsspielraum
- Parameter
  - Werte sind nicht gut genug auf die vorliegende Situation angepasst
  - Z.B.: Maximalwert für Würfelbreite/höhe passt nicht zur Auflösung der Kamera (z.B. weil neue Kamera)
- Implementierung
  - **Der „Bug“ wie wir ihn kennen (z.B. Off-by-one-Fehler, Variablen vertauscht, Sonderfall vergessen abzufragen, Fehler in Formel)**
  - **Verletzung einer eindeutigen / mathematischen Entwurfsspezifikation**
  - **Z.B. Sortieralgorithmus liefert unsortierte Ausgabe**
- Diese Fehlertypen zu unterscheiden ist wichtige SdV-Kompetenz

Binärbild nach Schwellwert  
Frage an das Auditorium:  
Was für ein Typ Fehler ist das?



## Binärbild nach Schwellwert

Frage an das Auditorium:

Was für ein Typ Fehler ist das?

- Parameterfehler Schwellwert zu niedrig
- Dadurch Würfellücke tlw. nicht als Hintergrund erkannt



Binärbild mit Augenzahlen im Overlay  
Frage an das Auditorium:  
Was für ein Typ Fehler ist das?



Binärbild mit Augenzahlen im Overlay

Frage an das Auditorium:

Was für ein Typ Fehler ist das?

- Bug: Binärbild Schwarz/Weiß vertauscht
- Regionenbildung sieht „Großen Würfel mit 24 Löchern“



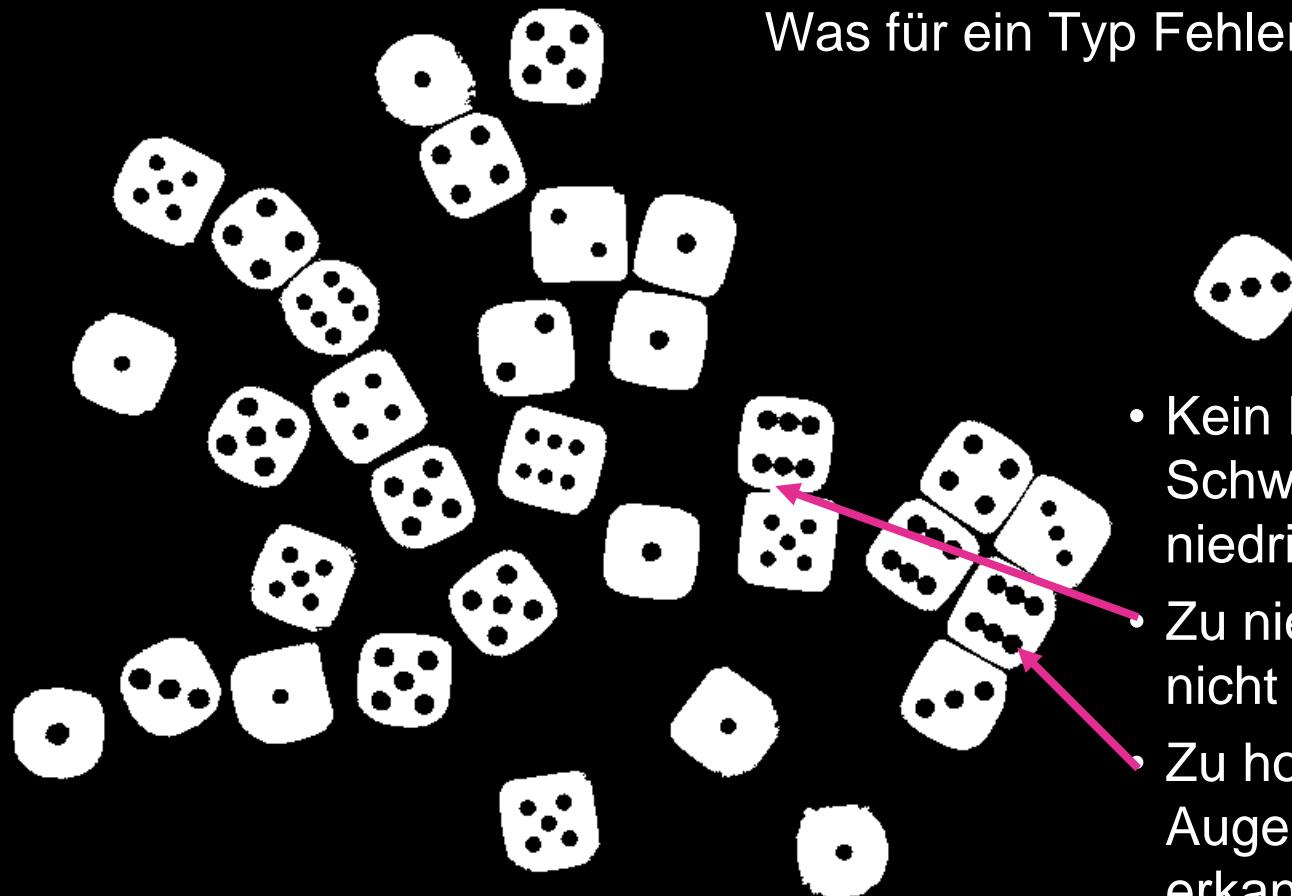
Binärbild nach Schwellwert  
Frage an das Auditorium:  
Was für ein Typ Fehler ist das?



## Binärbild nach Schwellwert

Frage an das Auditorium:

Was für ein Typ Fehler ist das?



- Kein Parameterfehler:  
Schwellwert sowohl „zu niedrig“ als auch „zu hoch“
- Zu niedrig: Würfellücke nicht als HG erkannt
- Zu hoch: Lücke zwischen Augen nicht als FG erkannt



Binärbild nach Schwellwert

Frage an das Auditorium:

Was für ein Typ Fehler ist das?

- Entwurfsfehler: Würfel und HG+Augen nicht durch *einen* Schwellwert trennbar



Wie könnte man das lösen?



## Binärbild nach Schwellwert

Frage an das Auditorium:

Was für ein Typ Fehler ist das?

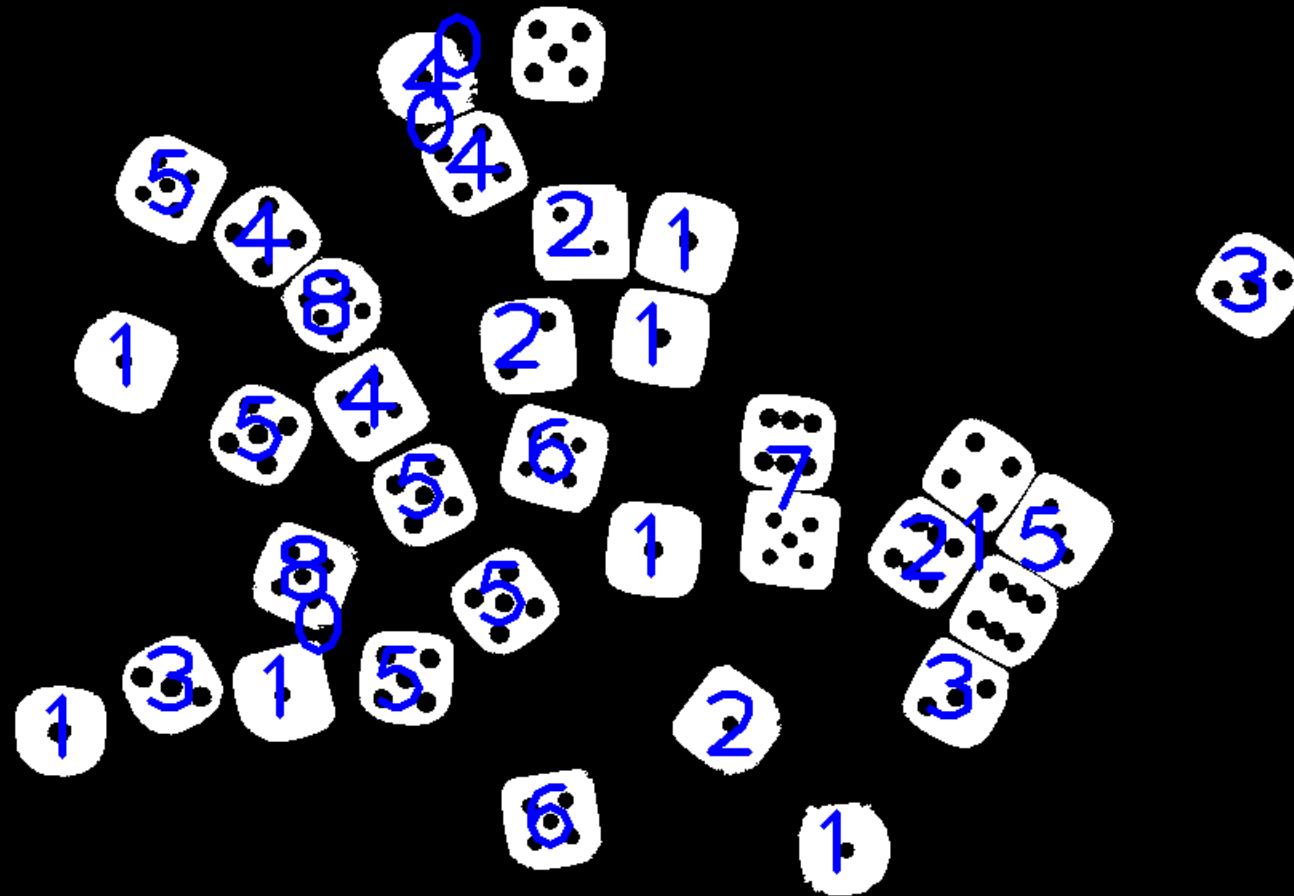
- Entwurfsfehler: Würfel und HG+Augen nicht durch *einen* Schwellwert trennbar



Wie könnte man das lösen?

- Zwei Schwellwerte
- Zwei mal binarisieren
- Würfel laut hohem Schwellwert (weiß)
- Augen laut niedrigem Schwellwert (schwarz) den Würfeln zuordnen
- Hier immer noch nicht

Binärbild mit Augenzahlen im Overlay  
Frage an das Auditorium:  
Welche Fehler(typen) sehen wir hier?

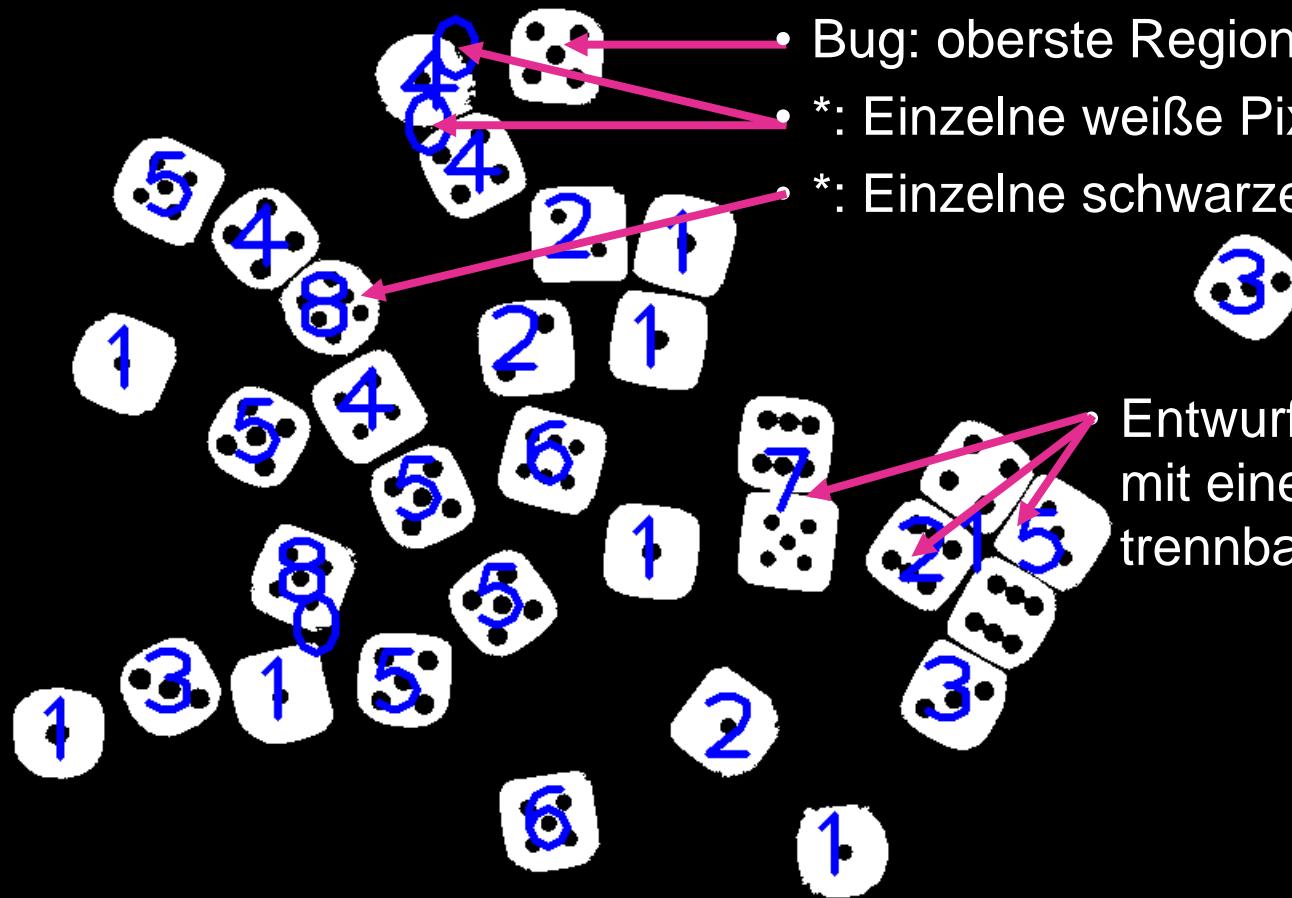


## Binärbild mit Augenzahlen im Overlay

## Frage an das Auditorium:

## Welche Fehler(typen) sehen wir hier?

- Bug: oberste Region übersprungen
  - \*: Einzelne weiße Pixel als 0-Würfel
  - \*: Einzelne schwarze Pixel als Augen



## Entwurfsfehler: HG/VG nicht mit einem Schwellwert trennbar

\*Test auf minimale Länge/Breite/Radius nicht vorgesehen → Entwurfsfehler

\*Test auf minimale Länge/Breite/Radius implementiert aber falsch → Bug

\*Minimale Länge/Breite/Radius ist 0 → Parameterfehler



- Anwendung, Domäne und Eingabedaten gründlich verstehen
  - Nur so kann man gute Verfahren ausdenken, Anwendungsheuristiken formulieren, Fehler finden, Entwurfs- / Anwendungsfehlern unterscheiden
  - Verstehen warum etwas nicht funktioniert, wenn es nicht funktioniert
  - Intuition für zu erwartende Erfolgrate haben
- Auch bei Machine Learning die Daten verstehen
  - Woran könnte das ML-Verfahren das gewünschte erkennen?
  - Soll ein ML-Verfahren etwas erkennen, was nicht in den Daten steckt, lernt es „zufällige“ Korrelationen zu den Daten
  - Nicht ML als „magische“ Daten rein, Lösung raus Kiste sehen!
- Oft ist es doch ein Bug!
  - Man denkt leicht es ist ein Entwurfs-/Parameterfehler
  - Erfahrungsgemäß ist es öfter ein Bug als man denkt
  - Etwas ist nur ein Entwurfs-/Parameterfehler, wenn man verstanden hat, warum das Programm *formal richtig*, aber *inhaltlich falsch* arbeitet
  - Präzise / mathematisch spezifizierte Subalgorithmen separat und nicht nur im SdV Gesamtsystem testen

- Entwicklung von SdV-Systemen
- **Evaluation von SdV-Systemen**
- Beschreibende Statistik und Metriken
- Statistische Tests

- z.B. Bachelor- oder Masterarbeit
- Nicht (primär): Entwickelt ein Programm / Verfahren
- Beantwortet objektiv eine wissenschaftliche Frage
  - objektiv als Gegenteil zu subjektiv → Nachweis erforderlich
  - wissenschaftliche Arbeit ist ein Kommunikationsakt, mit dem der Leser die Antwort auf eine Frage nachvollziehen kann.
- Möglich: Fragestellung, die Entwicklung involviert
  - Entwicklung eines Systems nötig für Experimente mit dem System
- Praktischer Hinweis: Das entwickelte System ist wichtig, aber am Ende wird die schriftliche Arbeit begutachtet!



Stable diffusion: a female scientist wearing a graduation hat, writing a scientific book in a laboratory, a (camera), a (microphone) and (a box with many wires) on the table

- "Wie lässt ....?"
  - Schwerpunkt auf ein vorgeschlagenes Verfahren
  - Ziel: Ein möglichst gutes Verfahren entwickeln
  - Nachweis von dessen Tauglichkeit oder Überlegenheit ggf. Nichtüberlegenheit
  - häufigster Typ von Arbeiten in Informatik / Ingenieurwissenschaften
  - Z.B.: "Wie lassen sich die Augen von Würfeln mit Bildverarbeitung erkennen?"
  - Papertitel: "A Method for...", "An Algorithm for..."
- "Wie vergleichen sich ... zu ...?"
  - Schwerpunkt auf Vergleich existierender oder naheliegender Verfahren
  - quantitative Bewertung (Wie gut?) und qualitative Erkenntnis (Warum?)
  - Ziel: Neutral vergleichen
  - Z.B.: "Wie reproduzierbar sind die Featurepunkt-Erkenner SIFT, SURF und ORB?"
  - Papertitel: "A comparative study....", "A comparison of "

- "Warum ...?"
  - Schwerpunkt: Erkenntnisgewinn über ein Phänomen oder Verfahren
  - Z.B.: "Warum versagen an CG-Bildern gelernte Klassifikatoren (oft) auf realen Bildern?"
  - Papertitel: "Reasons for...", "Why..."
- "Welche ...?"
  - Überblick über schon existierende Verfahren aus der Literatur
  - Ziel: Überblick und Einordnung
  - Z.B.: "Welche Probleme und Lösungsansätze sind die in der industriellen Qualitätskontrolle verbreitet?"
  - Papertitel: "A survey of ...", "A review of ..."

- Was macht die Antwort auf eine wissenschaftliche Frage objektiv, d.h. nachvollziehbar?
  - Erklärungen und Darlegungen
  - Fotos, Illustrationen
  - Quellenangaben für fremde Aussagen, Konzepte, Verfahren, etc.

and WMRA. Previous task, but were for safety straw [3].

rinkling shown by [6] uses I) to control a robotic king without a straw. An

Quelle: F. Goldau et al., Autonomous Multi-Sensory Robotic Assistant for a Drinking Task, IEEE 16th International Conference on Rehabilitation Robotics (ICORR), 2019



- Für mathematisch definierte (Teil-) Probleme

- Beweise, Rechnungen
- z.B. Beweis eines Sortieralgorithmus oder einer Formel für die Dreiecksfläche

- Für nicht mathematisch definierte (Teil-) Probleme

- experimentelle Evaluation
- z.B. Wie oft funktioniert der Erkennungsalgorithmus an einem Testdatensatz

- Wenn es Menschen involviert

- Evaluation mit Probanden
- z.B.: Wie gut funktioniert ein IMU-Gesteninterface?
- z.B.: Wie gut funktioniert ein Sprachkommandointerface?

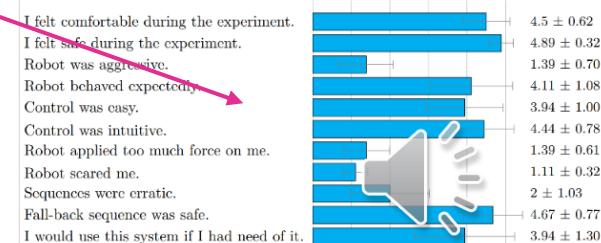
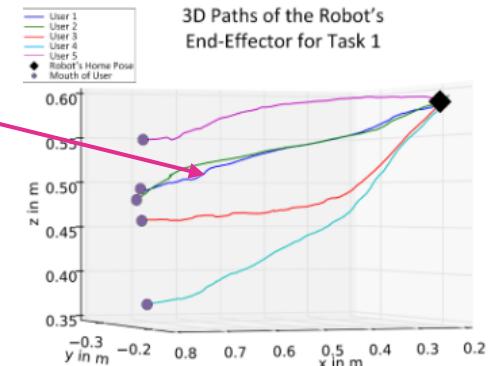
the world reference frame.

$${}^W_M T = {}^W_B T \quad (3)$$

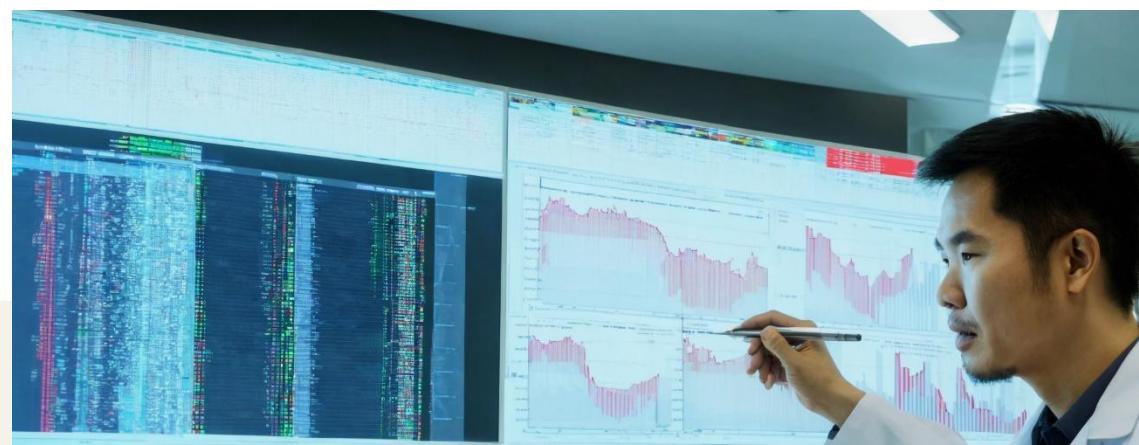
use of the beak  ${}^W_B T$  can be calculated using of the manipulator and structural information of the grasped cup as shown in (4).

$${}^W_B T = {}^W_E T \cdot {}^E_B T \quad (4)$$

shows an example path (purple) for the end-effector's approach towards a user with the



- Wozu Evaluation?
  - um die Antwort auf die wissenschaftliche Frage objektiv zu machen.
- Welche Evaluation?
  - abhängig von der Frage
- Wie richtig ist das Ergebnis eines Klassifikators?
  - häufigster Typ von Evaluation
  - quantitative Größe die dies beschreibt heißt „Metrik“
  - Klassifikator: Wie oft richtig / falsch positiv / negativ klassifiziert?
  - Detektor: Verteilung des 1D (Zeit), 2D (Bild) oder 3D (Raum) Positionsfehlers
- Wie schnell ist die Berechnung?
  - Verteilung der Rechenzeit
  - ggf. in Abhängigkeit von Bildgröße oder anderen Faktoren



Stable diffusion: male scientist from vietnam evaluates the performance of a system, (plots on the screen)

- test data (oder test set)
  - Eingabedaten auf denen das SdV-System untersucht werden soll
  - getrennt von den Daten auf denen entwickelt wurde
  - Lernverfahren: strikt getrennt von Trainings- und Validierungsdaten (train set, validation set)
  - sonst: Verfahren optimiert auf konkrete Daten nicht auf generelles Problem
- Referenz / "Ground Truth"
  - das "wahre" Ergebnis, das das System liefern sollte
  - Metrik bewertet Unterschied zwischen berechnetem Ergebnis und Referenz auf dem Testdatensatz
  - meist von Menschen festgelegt ("annotiert")
  - guter "Butter und Brot"-Beitrag einer Arbeit, oft aufwändig
  - nicht Wahrheit im philosophischen Sinne,...
  - ..., sondern pragmatisch richtig genug um als Evaluationsmaßstab zu gelten

- Abstraktionsebenen von SdV-Systemen
  - Anforderungen, Entwurf, Parameter, Implementierung
  - Anforderungen: Was soll es können? Informal in Fachsprache der Domäne
  - Entwurf: Wie funktioniert es? Subalgorithmen, mathematisch-eindeutig.
  - Parameter: Einzustellende Werte in den Subalgorithmen
  - Implementierung: Ausführbarer Code
  - Fehler auf verschiedenen Ebenen unterscheiden können. (Oft ist es ein Bug!)
- Wissenschaftliche Arbeiten beantworten eine Frage
- Nachvollziehbarkeit für nicht-mathematische Probleme mit Evaluation
  - Vergleich des eigenen Systems mit Benchmarks, Konkurrenzsystemen über eine Metrik