
















Sensordatenverarbeitung

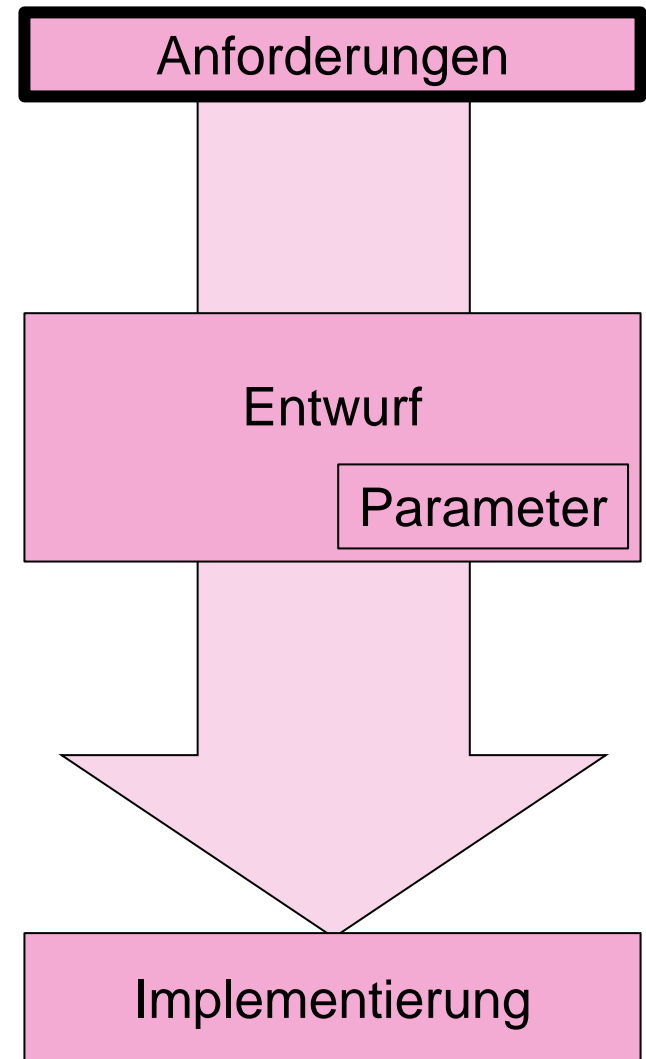
(ab 13.1.25)

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

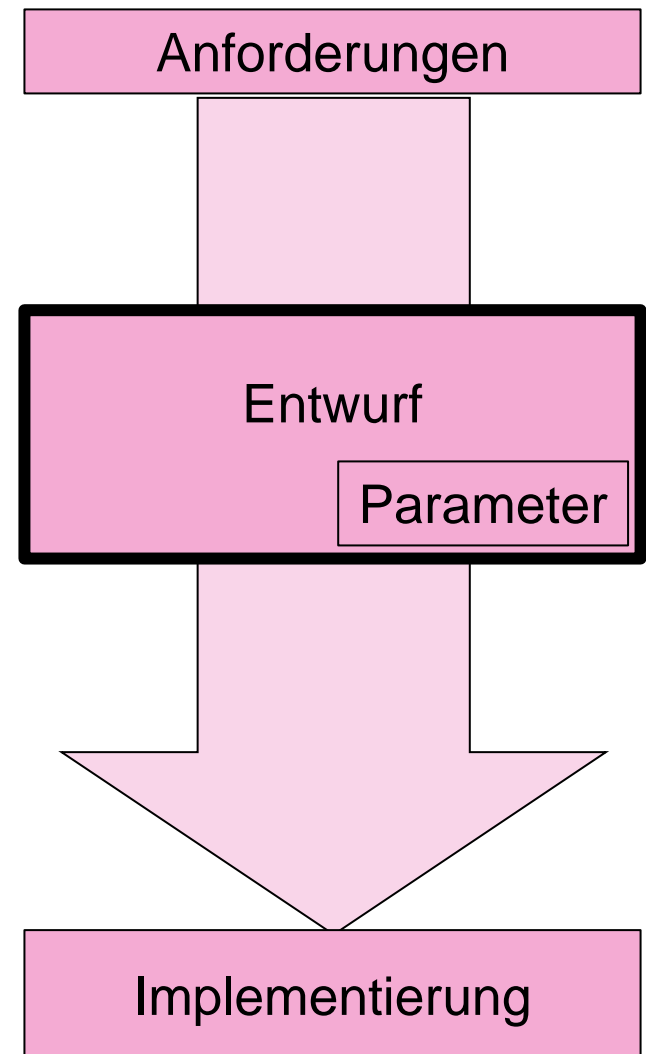
Nr.	Thema	
1	Einleitung; einführende Beispiele	
2	Datenaufnahme; Audio-Datenaufnahme	
3	Bild-Datenaufnahme	
4	Farbe, Segmentierung, Segmentierungsgetriebene BV	
5	Audiosignal, 1D Frequenzraum, Fouriertransformation	
6	Koordinatensysteme; Bewegungs-Datenaufnahme	
7	2D Frequenzraum, 2D Filter	
8	Kanten, 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

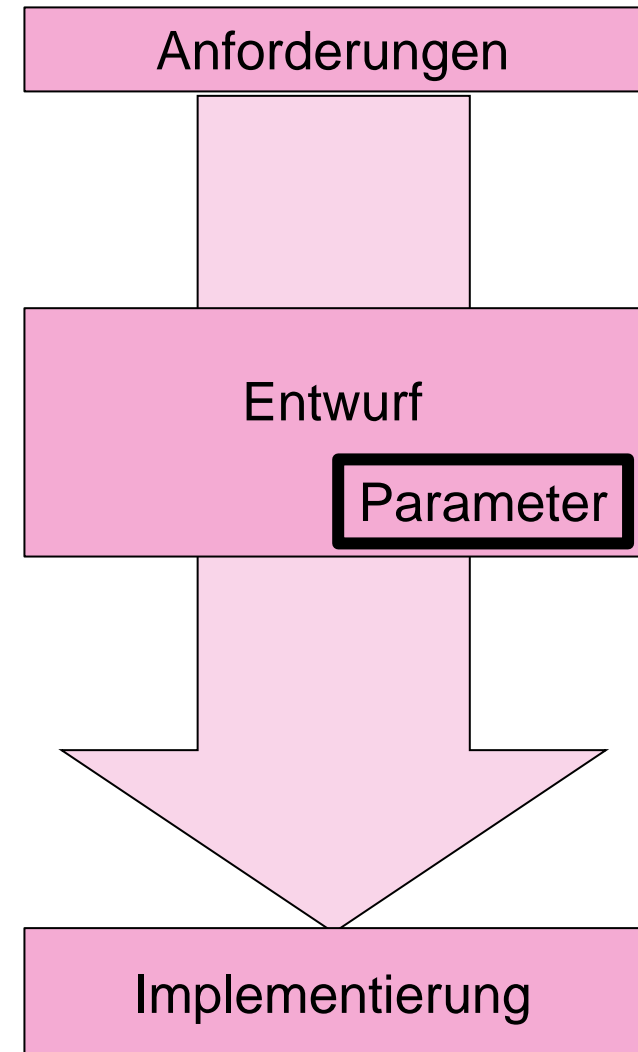
- **Anforderungen (Lastenheft)**
 - **Funktionalität (Was kann das System)**
 - **Objekte, Umgebung, Randbedingungen**
 - **Interview mit Kunden**
 - **Fachsprache der Domäne**
 - **Interpretationsspielraum**
- **Entwurf (Pflichtenheft)**
 - Abfolge von Subalgorithmen
 - In Informatik/SdV-Fachsprache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



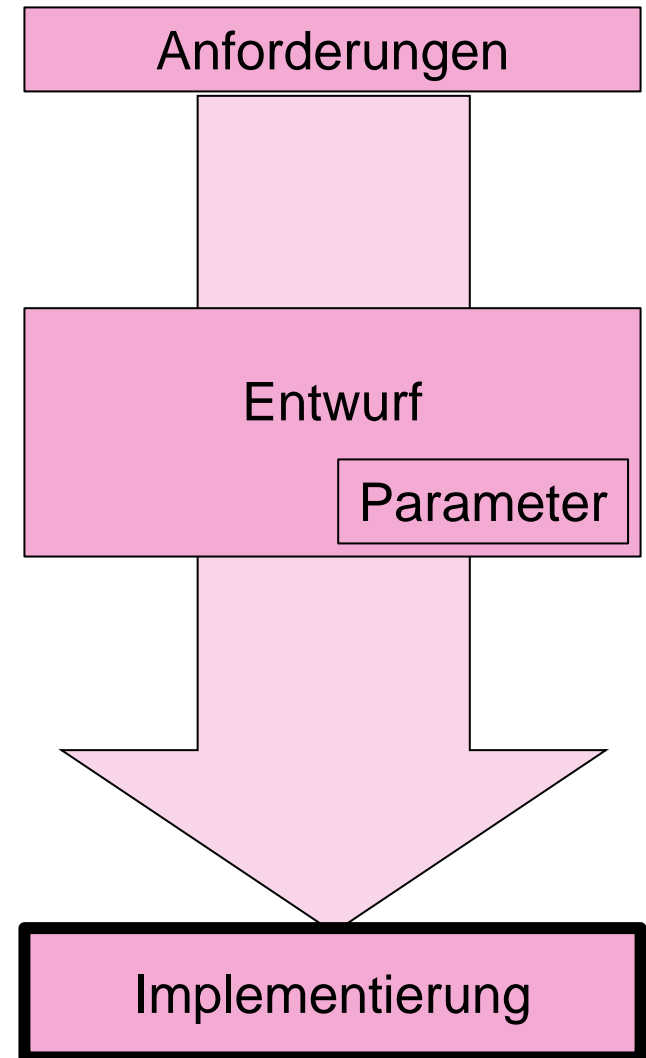
- Anforderungen (Lastenheft)
 - Funktionalität (Was kann das System)
 - Objekte, Umgebung, Randbedingungen
 - Interview mit Kunden
 - Fachsprache der Domäne
 - Interpretationsspielraum
- **Entwurf (Pflichtenheft)**
 - **Abfolge von Subalgorithmen**
 - **In Informatik/SdV-Fachsprache**
 - **Eindeutig**
 - **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, Dombелеuchtung, 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?

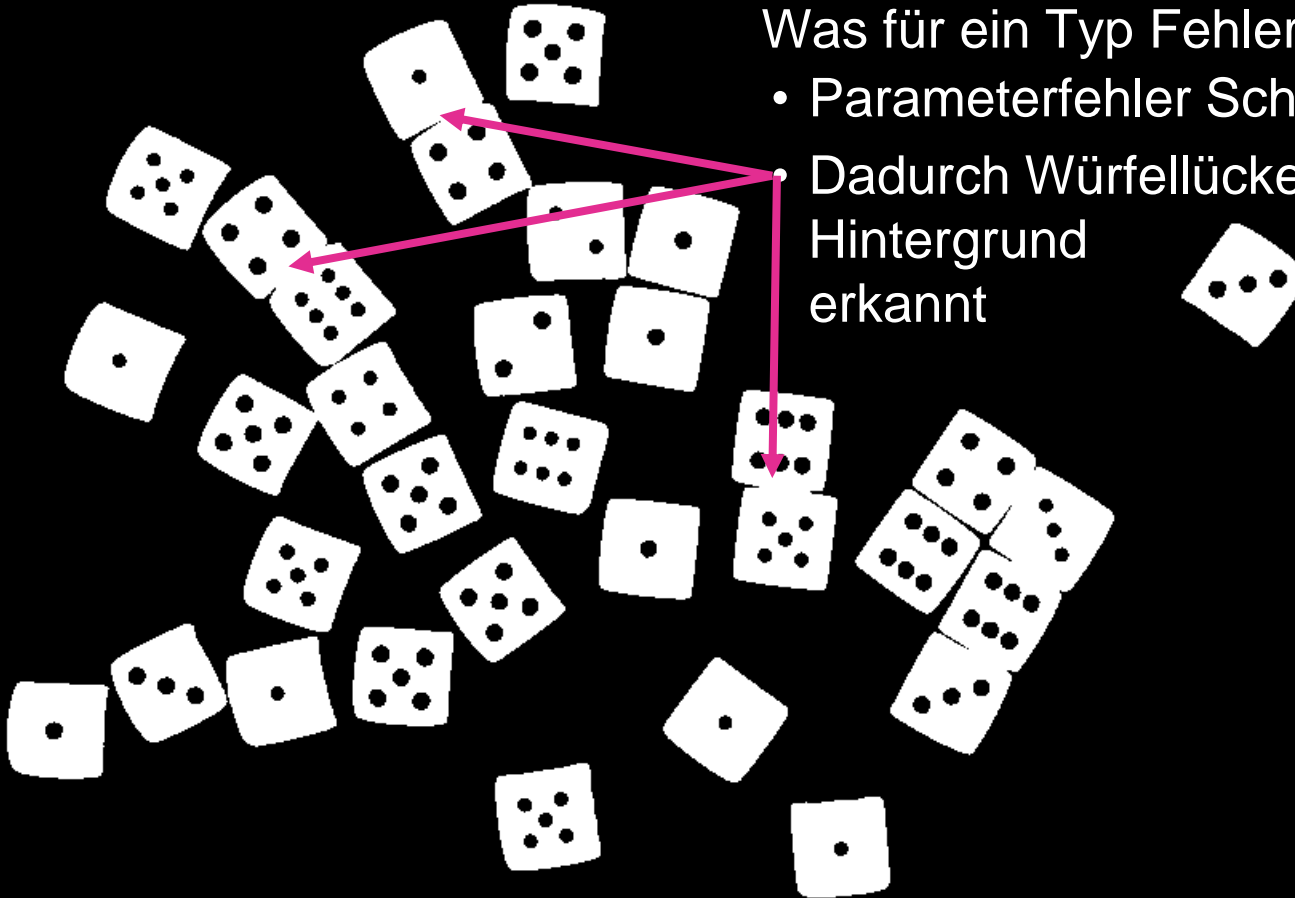


Binärbild nach Schwellwert

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?

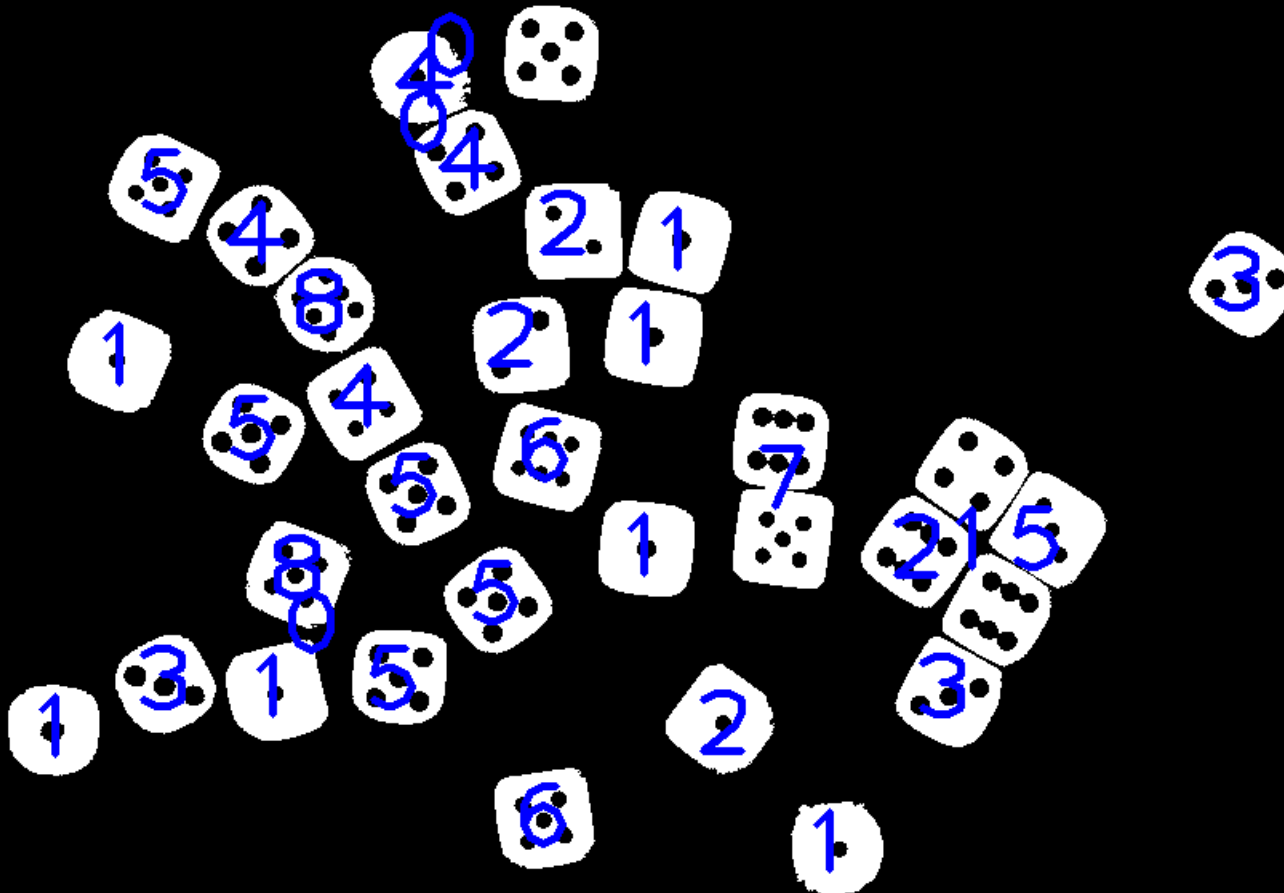
- Entwurfsfehler: Würfel und HG+Augen nicht durch *einen* Schwellwert trennbar



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?

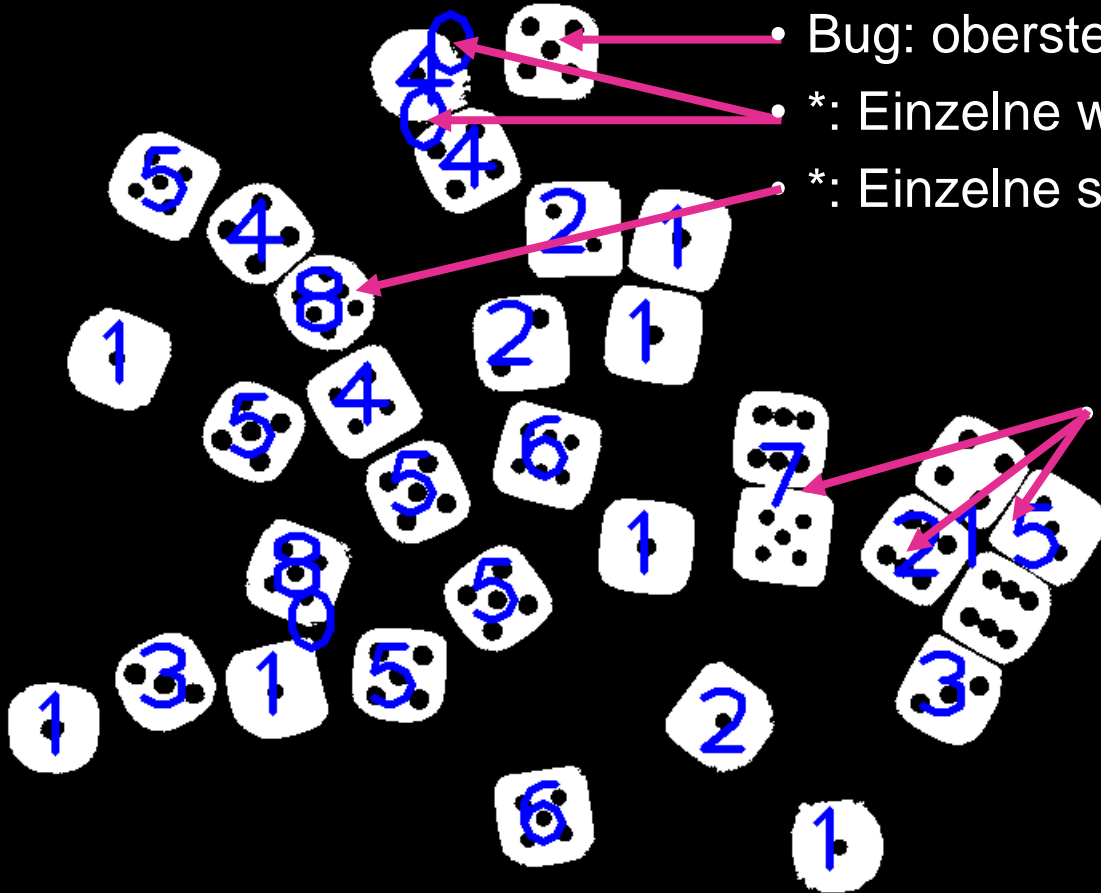


Binärbild mit Augenzahlen im Overlay

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 Erfolgsrate 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 (microfone) 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 g task, but were for safety straw [3].

inking shown by [6] uses
D) 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?

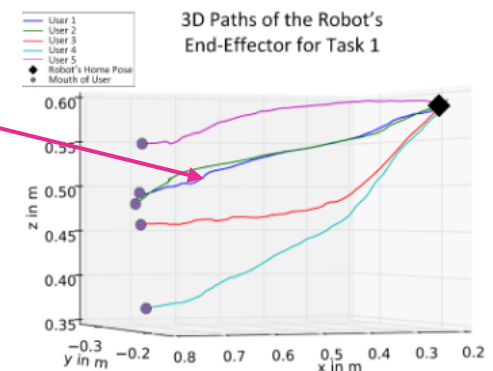
the world reference frame.

$${}^W T = {}^W T_B \quad (3)$$

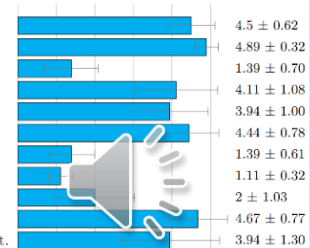
se of the beak ${}^W T_B$ can be calculated using of the manipulator and structural i grasped cup as shown in (4).

$${}^W T_B = {}^W T_E \cdot {}^E T_B \quad (4)$$

shows an example path (purple) for the e cum's approach towards a user with the

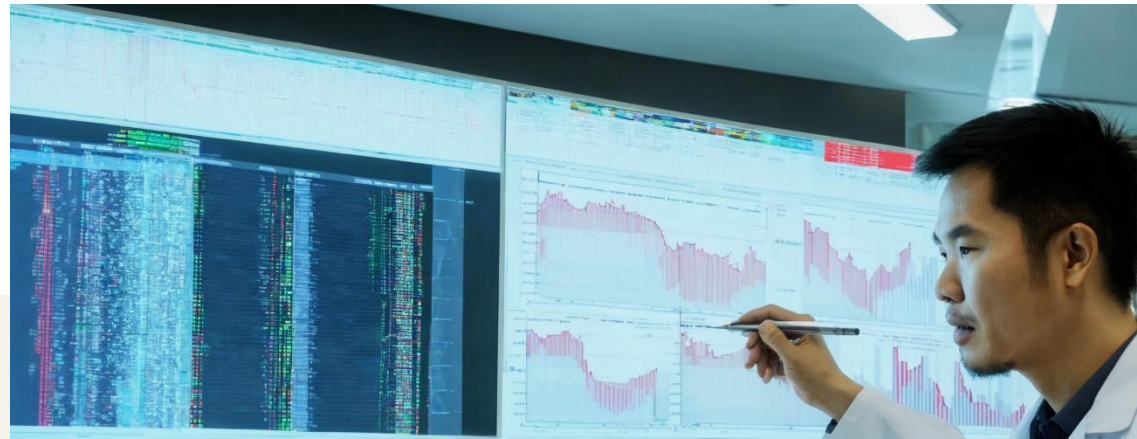


I felt comfortable during the experiment.
I felt safe during the experiment.
Robot was aggressive.
Robot behaved expectedly.
Control was easy.
Control was intuitive.
Robot applied too much force on me.
Robot scared me.
Sequences were erratic.
Fall-back sequence was safe.
I would use this system if I had need of it.



- 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