

# Visualisierung von Informationen aus einem Werker Assistenzsystem

Studienarbeit von

Jeremy Schäfer

21.Januar 2021

## Erklärung zur Abschlussarbeit

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig verfasst und keine anderen Hilfsmittel als die angegebenen verwendet habe. Die Stellen, die anderen Werken (gilt ebenso für Werke aus elektronischen Datenbanken oder aus dem Internet) wörtlich oder sinngemäß entnommen sind, habe ich unter Angabe der Quelle und Einhaltung der Regeln wissenschaftlichen Zitierens kenntlich gemacht. Diese Versicherung umfasst auch in der Arbeit verwendete bildliche Darstellungen, Tabellen, Kartenskizzen und gelieferte Zeichnungen.

Mir ist bewusst, dass Täuschungen nach der für mich gültigen Studien- und Prüfungsordnung / nach § 6 RaPO / § 48 BayVwVfG geahndet werden.

Die Zustimmung zur elektronischen Plagiatsprüfung wird erteilt.

---

Ort, Datum

---

Unterschrift des Verfassers / der Verfasserin

Veröffentlichung der Arbeit in der Bibliothek der Technischen Hochschule Aschaffenburg

Der Veröffentlichung der Studienarbeit in der Bibliothek der Technischen Hochschule Aschaffenburg wird zugestimmt.

---

Ort, Datum

---

Unterschrift des Verfassers



TH Aschaffenburg  
university of applied sciences

Jeremy Schäfer – Mechatronik- 2219871

---

Autor:  
Jeremy Schäfer  
Matrikelnummer:  
2219871

Erstprüfer:  
Prof. Dr. Doll



TH Aschaffenburg  
university of applied sciences

**TECHNISCHE HOCHSCHULE ASCHAFFENBURG**

**FAKULTÄT INGENIEURWISSENSCHAFTEN  
WÜRZBURGER STRASSE 45**

**D-63743 Aschaffenburg**

## Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis .....	IV
Abbildungsverzeichnis .....	V
Abkürzungsverzeichnis .....	VII
Formelverzeichnis .....	IX
1 Einleitung .....	1
1.1 Motivation .....	1
1.2 Aufgabenstellung .....	2
2 Arbeitsplatz mit Werkerassistenzsystem .....	3
2.1 Definition .....	3
2.2 Aufbau .....	4
2.3 Umsetzung des Werkerassistenzsystems im Projekt .....	5
3 Theoretische Grundlagen .....	7
3.1 Hand Tracking .....	7
3.2 Kalman Filter .....	7
3.2.1 Grundlagen des Kalman-Filters .....	7
3.2.2 Struktur Kalman Filter .....	8
3.2.3 Anwendung des Kalman-Filters im Projekt .....	10
4 Visualisierung von Informationen .....	12
4.1 Visualisierung der Detektionen .....	12
4.2 Einbinden des Kalman-Filters .....	15
5 Auswertung der Ergebnisse .....	17
5.1 Fehlende Erkennung der Hand .....	17
5.2 Positionsbestimmung .....	18
6 Zusammenfassung .....	22
7 Literatur- und Quellenverzeichnis .....	23

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Aufbau des Arbeitsplatzes .....	4
Abbildung 2: Aufbau des Arbeitsplatzes (Nahaufnahme) .....	4
Abbildung 3: Verschiedene Arbeitsbereiche sind im 3-D Modell entsprechend farblich gekennzeichnet. Das Cluster zeigt, wo der Arbeiter häufig Aktivitäten ausführt .....	5
Abbildung 4: Beispielaufnahme eines Werkers am Arbeitsplatz (aus der Sicht der Kamera) .....	6
Abbildung 5: Struktur des Kalman-Filter [7] .....	8
Abbildung 6: Frame „00012.bmp“ .....	10
Abbildung 7: gegebene Informationen .....	12
Abbildung 8: Frame „00067.bmp“ aus dem Ordner „color“ .....	12
Abbildung 9: normalisiertes Tiefenbild eines Werkers am Arbeitsplatz .....	13
Abbildung 10: Informationen aus der „.json“- Datei .....	13
Abbildung 11: Visualisierung der Tracks in den Farbbildern durch Rechtecke .....	14
Abbildung 12: Mittelpunkt in Detektionsboxen visualisiert .....	14
Abbildung 13: Ausgabe letzter 10 getrackter Punkte, grüne Punkte = Mittelpunkte Detektionsboxen, blaue Punkte = neu berechnete Position mit Anwendung des Kalman- Filters .....	15
Abbildung 14: Verbindung der neu berechneten Positionen mit einer Linie .....	16
Abbildung 15: Tracks jeweiliger Hand zugeordnet und Verlauf der Handbewegung mit einer Linie visualisiert .....	16
Abbildung 16: Fehlende Erkennung einer Hand (Beispiel 1) .....	17
Abbildung 17: Fehlende Erkennung einer Hand (Beispiel 2) .....	17
Abbildung 18: Frame „00012.bmp“ visualisiert .....	18
Abbildung 19: Frame „00061.bmp“ .....	19

Abbildung 20: Frame „00062.bmp“ .....	20
Abbildung 21: Frame „00063.bmp“ .....	20
Abbildung 22: Frame „00064.bmp“ .....	21
Abbildung 23: Vorhersage des Kalman-Filters.....	21

## Abkürzungsverzeichnis

$A, A_d$	Systemmatrix (zeitkontinuierlich, zeitdiskret)
$B, B_d$	Eingangsmatrix (zeitkontinuierlich, zeitdiskret)
$\hat{P}$	Kovarianzmatrix des Schätzfehlers
$\underline{v}$	vektorielles Messrauschen
$\hat{x}$	Prädizierter Zustandsvektor
$\tilde{x}$	korrigierter Zustandsvektor
„Create tracks“	Kalman-Filter anwenden
$A, B$	Vektoren, Matrizen
$A_d, B_d$	zeitdiskrete Vektoren, Matrizen
$A^T, B^T$	transponierte Vektoren, Matrizen
$C$	Ausgangsmatrix
$\text{Cov}(X, Y)$	Kovarianz der Zufallsvariable X und Y
$D$	Durchgangsmatrix
Frame	Ein Bild
$G, G_d$	Matrix des Systemsrauschens (zeitkontinuierlich, zeitdiskret)
$I$	Einheitsmatrix
$k$	Zeitpunkt
$K$	Matrix der Kalman-Verstärkung

Punkt K	Getrackter Punkt mit Anwendung des Kalman-Filters
Punkt M	Getrackter Mittelpunkt der Detektionsboxen aus der „.json“-Datei
Q	Kovarianzmatrix des Systemrauschens
R	Kovarianzmatrix des Messrauschens
UI	User Interface
Unix-Timestamp	Zeitstempel
Var (X)	Varianz der Zufallsvariable X
y	Ausgangsvektor des Zustandsbeobachters
z	vektorielles Systemrauschen
u	Eingangsvektor des Zustandsbeobachters



## Formelverzeichnis

Formel 1	Gleichung des prädizierten Zustandsvektors
Formel 2	Gleichung der Kovarianzmatrix des Schätzfehlers
Formel 3	Gleichung der Matrix der Kalman-Verstärkung
Formel 4	Gleichung des korrigierten Zustandsvektors
Formel 5	Gleichung der Kovarianzmatrix nach Anwendung der neuen Beobachtungen

# 1 Einleitung

## 1.1 Motivation

Durch die Verbreitung der Digitalisierung stehen die Unternehmer unter dem ständigen Druck ihre Kosten sowie die Qualität zu optimieren. Denn wie die Beratungsfirma FELTEN GROUP herausgefunden hat, steigen durch die jährlichen Tarifsteigerungen bei mittelgroßen Produktionsstandorten die Kosten um das Hunderttausendfache. Zudem zeigt sich, dass im Zuge der Industrie 4.0 die Produktionsprozesse deutlich komplexer werden, da beispielsweise Losgrößen immer kleiner werden. Dies bedeutet, dass die Menge an Teilen, die aufeinanderfolgend produziert wird, immer weiter zurück geht und die Sonderanfertigungen steigen. Somit steigen auch die Rüstkosten, da die Maschinen öfter umgerüstet werden müssen. Steigende Ansprüche der Käufer dürfen zudem auch nicht außer Acht gelassen werden [1] [2] [3].

Aufgrund der Bereitstellung wichtiger Informationen durch das Assistenzsystem können die Mitarbeiter auch komplexe Abläufe problemlos ausführen. Das Werkerassistenzsystem dient damit als eine Art Bedienungsanleitung. Diese blättert nach jedem Arbeitsschritt selbstständig weiter. Zusätzlich überprüft das Assistenzsystem die Arbeitsschritte auf eine korrekte Ausführung. Das ermöglicht eine direkte Erkennung und Verbesserung von Fehlern. Dadurch wird dem Mitarbeiter Sicherheit geboten. Somit kann dieser die Arbeitsschritte selbstbewusster durchführen und die Geschwindigkeit der Auftragsbearbeitung wird erhöht. Neben einer niedrigeren Fehlerrate beim Endprodukt wird der Personalaufwand reduziert. Neue Mitarbeiter müssen nicht nochmals eingewiesen werden. Es genügt ausschließlich den Anweisungen des Systems zu folgen. Auf ein Werkerassistenzsystem zur Unterstützung von Produktionsabläufen und der Visualisierung dessen Daten soll im Folgenden weiter eingegangen werden [8].

## 1.2 Aufgabenstellung

Ziel der Arbeit ist es, im Kontext eines industriellen Arbeitsplatzes, ein bestehendes User Interface durch Anzeige von vorhandene oder neu generierte Informationen zu erweitern. Ein Ziel des bestehenden Assistenzsystems ist es, einen potenziellen Nutzer durch möglichst zielgerichtete Informationen zum Vorgang am Arbeitsplatz zu unterstützen. Auch ist es zu Entwicklungszwecken hilfreich auf sehr detaillierte Informationen zugreifen zu können. Zu diesem Zweck soll das bestehende UI weiter ausgebaut werden.

## 2 Arbeitsplatz mit Werkerassistenzsystem

In diesem Kapitel wird dem Leser der Aufbau und die Funktionsweise eines Werkerassistenzsystems veranschaulicht.

### 2.1 Definition

Werkerassistenzsysteme lassen sich prinzipiell in zwei Kategorien unterteilen. Physische Assistenzsysteme sorgen dafür, dass der Nutzer körperlich entlastet wird. Kognitive Systeme unterstützen den Nutzer bei seiner Entscheidungsfindung.

Assistenzsysteme werden hauptsächlich in der variantenreichen Montage eingesetzt. Dort haben die Arbeiter nur wenig Zeit sich den manuellen Montageprozess zu merken und Montagefehler sind keine Seltenheit. Außerdem können zuvor noch nicht bekannte produktspezifische Montageumfänge in der Mixproduktion entstehen. Folglich stellen Werkerassistenzsysteme hier ein sinnvolles Instrument dar, die zuvor beschriebenen Probleme zu lösen. Die Informationen hinsichtlich des Arbeitsprozesses werden dem Benutzer überwiegend über einen Monitor zu Verfügung gestellt. Darüber hinaus verfügen die Assistenzsysteme meist über zusätzlich integrierte Prüflösungen. Anhand dieser kann der Montageprozess auf die korrekte Durchführung geprüft werden.

Im Betrieb wird der Arbeitsschritt anschließend in einzelne Sequenzen aufgeteilt. Daraufhin wird für jeden Schritt der Prüfparameter definiert. Nach der Fertigstellung kann das Werkerassistenzsystem zur Nutzung freigegeben werden [8].

## 2.2 Aufbau

Der Arbeitsplatz mit dem Werkerassistenzsystem besteht aus folgenden Komponenten (s. Abb. 1 & 2): Auf einem Tisch befinden sich drei Monitore, die mit zwei PCs verbunden sind. Ein Beamer ist an einer Deckenkonstruktion befestigt. Dadurch kann das erzeugte Bild des Projektors auf den Tisch geworfen werden. Des Weiteren enthält der Arbeitsplatz mehrere Kameras. Diese sind einerseits auf den Benutzer und andererseits auf den Arbeitsplatz gerichtet. Auf die genaue Funktion einzelner Komponenten wird nachfolgend noch näher eingegangen.



Abbildung 1: Aufbau des Arbeitsplatzes

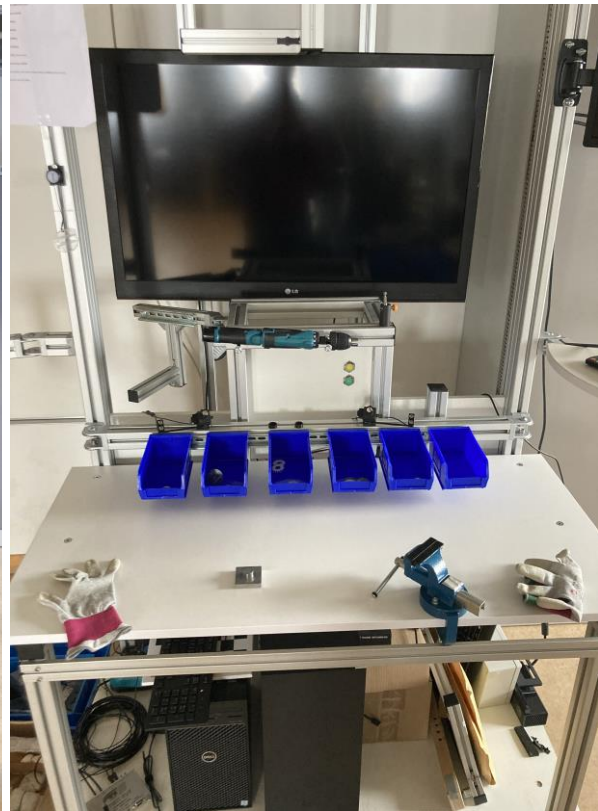
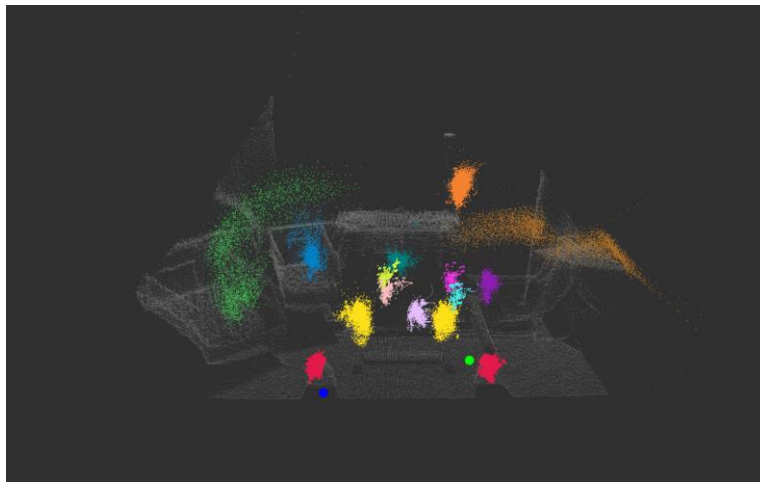


Abbildung 2: Aufbau des Arbeitsplatzes (Nahaufnahme)

## 2.3 Umsetzung des Werkerassistenzsystems im Projekt

Wie bereits genannt hat das Werkerassistenzsystems die Aufgabe einem User bei der Ausführung einer Arbeitsaufgabe Informationen zu Verfügung zu stellen. Auf diese Weise können die Aufgaben korrekt ausgeführt werden. Beginnt der User mit seiner Arbeitsaufgabe, wird die Hand im Bereich der Tischfläche von den Kameras erfasst und in einem virtuellen Raum eingefügt (s. Abbildung 3).



*Abbildung 3: Verschiedene Arbeitsbereiche sind im 3-D Modell entsprechend farblich gekennzeichnet. Das Cluster zeigt, wo der Arbeiter häufig Aktivitäten ausführt*

Der Raum beinhaltet ein CAD Modell des Tisches und der getrackten Hände. Auch der Kopf der Person wird im Modell dargestellt. Jegliche Bewegungen der Hände oder des Kopfes können in Echtzeit im Modell dargestellt werden. Somit können Informationen über die Positionen der Hände gesammelt werden. Außerdem ist das Werkerassistenzsystem noch mit einem Eye-Tracker ausgestattet. In dem Eye-Tracker System lassen sich beliebige Ebenen im Raum (oder noch einfacher Blickrichtungen) definieren. Dabei kann das System Aktionen ausführen. Bei Problemen in der Ausführung eines Arbeitsschrittes kann zu jedem beliebigen Zeitpunkt eine Videosequenz eingeblendet werden. In der Videosequenz wird der zu bearbeitende Schritt vom Beamer auf den Tisch projiziert. Folglich kann der Schritt nachgemacht werden. Durch die gewonnenen Informationen der Videosequenz über die Position der Hände kann nun verglichen werden, ob der Arbeitsschritt korrekt ausgeführt wurde. Bei

erfolgreicher Ausführung wirft der Beamer ein grünes Häkchen auf den Tisch. Geschieht dies nicht, wird ein rotes X ausgegeben. Daraufhin wird der auszuführende Arbeitsschritt erneut vom Beamer auf den Tisch projiziert. Der größte Bildschirm in der Mitte des Arbeitsplatzes zeigt den Arbeitsschritt zusätzlich aus der Vogelperspektive (s. Abb. 4).



*Abbildung 4: Beispielaufnahme eines Werkers am Arbeitsplatz (aus der Sicht der Kamera)*

## 3 Theoretische Grundlagen

In diesem Kapitel soll auf die grundlegende Theorie der Arbeit näher eingegangen werden.

### 3.1 Hand Tracking

Mit dem Hand-Tracking (dt. Handverfolgung) lässt sich die Position und Geschwindigkeit, mit der die Hand bewegt wird, ermitteln. Das Ziel der Handerkennung ist es aus Kamerabildern diese nötigen Daten zu erlangen. Ähnlich zu den Daten eines Sensors sollen diese schließlich zur Weiterbearbeitung zur Verfügung gestellt werden. Das Verfahren lässt sich durch verschiedene Kriterien kategorisieren. Eine Einordnung kann über die verfolgten Ziele, die getroffenen Annahmen oder das genutzte Modell der menschlichen Hand erfolgen. Daneben kann es über Methoden und Algorithmen, mit dem die Position der Hand ermittelt wird, ausgeführt werden. Des Weiteren kann zwischen den ermittelten Freiheitsgraden und der Bewegungsfreiheit des Benutzers unterschieden werden. Durch diese Faktoren und die Anzahl der genutzten Kameras wird die Komplexität der Modelle festgelegt [4].

### 3.2 Kalman Filter

#### 3.2.1 Grundlagen des Kalman-Filters

Das Verfahren wird angewendet, da ein guter Startwert für das implizite Verfahren ermittelt werden kann. Dadurch muss das nicht lineare Gleichungssystem nicht gelöst werden, da genau erfahren werden kann, wie weit der Korrektor durchlaufen wird. Eine weitere Besonderheit ist, dass keine Wertespeicherung nötig ist. Hierbei kann das Programmierkonzept der Rekursion benutzt werden. Die Rekursion ist eine Funktion, welche sich selbstständig aufruft, um ein Problem zu lösen. Zudem führt der geringe Rechenaufwand zu einer Echtzeitfähigkeit. Der Kalman Filter hat verschiedene Einsatz-



gebiete. Er wird zum Beispiel zur GPS-Navigation, Positionsbestimmung bei autonomen Fahrzeugen oder zur Filterung von Störsignalen bei Seismografen eingesetzt [5] [6].

Der Formelsatz des Filters kann nur unter bestimmten Bedingungen korrekt eingesetzt werden. Sind diese Bedingungen nicht vorhanden, liefern die Kalman-Gleichungen ein fehlerhaftes Ergebnis. Auf die Grundgleichungen und die Voraussetzungen wird im Folgenden noch näher eingegangen [7].

### 3.2.2 Struktur Kalman Filter

Erstmalig wurde der Kalman Filter im Jahr 1960 durch Rudolf Emils Kalman publiziert. Seither sind viele verschiedene Variationen hervorgegangen [6]. In Abbildung 5 wird eine ähnliche Struktur zum Filter von R. E. Kalman verwendet, um den Zustandsvektors  $\underline{x}(k)$  eines physikalischen Systems vorauszusagen.

In dem verwendeten linearen Modell wird die vorausgesagte Ausgangsgröße  $\underline{y}(k)$  mit der gemessenen Ausgangsgröße  $\hat{y}(k)$  verglichen. Die Korrektur des geschätzten Zustandsvektors  $\hat{\underline{x}}(k)$  wird ermittelt, indem die Differenz der beiden Ausgangsgrößen  $\Delta y(k)$  mit der Kalman-Verstärkung  $K(k)$  gewichtet wird. Daraus ergibt sich der korrigierte Zustandsvektor  $\tilde{\underline{x}}(k)$ .

Aus dieser Struktur brachte Rudolf Emils Kalman fünf Grundgleichungen hervor.

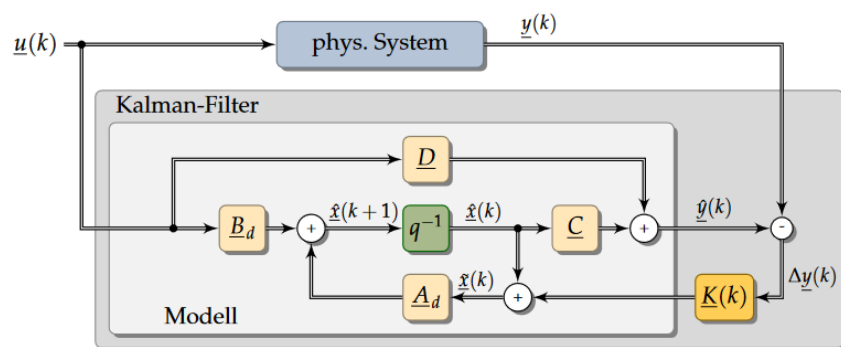


Abbildung 5: Struktur des Kalman-Filter [7]

Gleichungen für die Prädiktion des Kalman-Filters

$$\hat{x}(k+1) = A_d \cdot \hat{x}(k) + B_d \cdot u(k) \quad (1)$$

$$\hat{P}(k+1) = A_d \cdot \tilde{P}(k) \cdot A_d^T + G_d \cdot Q(k) \cdot G_d^T \quad (2)$$

mit  $Q(k) = \text{Var}(z(k))$

Gleichungen für die Korrektur des Kalman-Filters

$$K(k) = \hat{P}(k) \cdot C^T \cdot (C \cdot \hat{P}(k) \cdot C^T + R(k))^{-1} \quad (3)$$

mit  $R(k) = \text{Var}(v(k))$

$$\tilde{x}(k) = \hat{x}(k) + K(k) \cdot (y(k) - C \cdot \hat{x}(k) - D \cdot u(k)) \quad (4)$$

$$\tilde{P}(k) = (I - K(k) \cdot C) \cdot \hat{P}(k) \quad (5)$$

Die Gleichungen (1) und (4) können direkt aus der Abbildung 4 abgeleitet werden. Auf die Herleitung der Gleichungen (2), (3) und (5) wird in der Arbeit nicht weiter eingegangen, da der Fokus der Arbeit mehr auf der Visualisierung liegt.

Randbedingungen [7]:

- Es darf keine Unkorreliertheit zwischen dem Schätzfehler  $\underline{\hat{\epsilon}}(k)$  und dem Systemrauschen  $\underline{z}(k)$  geben, somit gilt  $\text{Cov}(\underline{\hat{\epsilon}}(k), \underline{z}(k)) = 0$ .
- Es darf keine Unkorreliertheit zwischen dem Schätzfehler  $\underline{\hat{\epsilon}}(k)$  und das Messrauschen  $\underline{v}(k)$  geben, deswegen ist die Kovarianz der beiden Größen  $\text{Cov}(\underline{\hat{\epsilon}}(k), \underline{\hat{\epsilon}}(k)) = 0$ .

- Es darf keinen Mittelwert zwischen der Rauschgröße  $\underline{v}(k)$  und dem Schätzfehler  $\underline{\hat{\epsilon}}(k)$  geben, somit ist der Erwartungswert  $E\{\underline{v}(k)\} = 0$  und  $E\{\underline{\hat{\epsilon}}(k)\} = 0$

### 3.2.3 Anwendung des Kalman-Filters im Projekt

Die Nutzung des Kalman-Filters zur besseren Bestimmung des Ortes eines Objekts (hier: Hand) wird im Folgenden aufgestellt und im weiteren Verlauf der Arbeit überprüft. Als Beispiel soll hier das Frame „00012.bmp“ dienen, da in diesem Frame eine Detektion der Hand stattfindet (s. Abb. 6).



Abbildung 6: Frame „00012.bmp“

Nun kann mit Hilfe dieses Beispiels die Positionsbestimmung näher beleuchtet werden. Wird daraufhin der Mittelpunkt der Detektionsbox ausgelesen, werden folgende Koordinaten des Punktes (1004.5, 141.5) erhalten. Zur Anwendung des Kalman-Filters wird nun die Python Datei „tracker.py“ verwendet, welche die Implementierung des

Filters beinhaltet. Der Funktion „create\_tracks“ in der Datei „tracker.py“ werden die Informationen der Detektionsboxen aus der „.json“-Datei übergeben. Zuerst durchläuft die Funktion die Liste mit den übergebenen Detektionsboxen und extrahiert die Detektionen des Modells als 2D-Handpositionen. Diese extrahierten Detektionen werden als Eingabemessungen für das Tracking mit dem Kalman-Filter genutzt, um die vorhergesagten Tracks zu aktualisieren. Im Rückgabewert ist die neu getrackte Position als Punkt mit den Koordinaten (1013.9,168.2) enthalten. Klarheit über die Abweichung und die Genauigkeit der getrackten Punkte und inwieweit der Kalman-Filter zur besseren Bestimmung der Position eines Objekts (hier: Hand) geeignet ist, wird im weiteren Verlauf der Arbeit durch die Visualisierung der Daten geschaffen.

## 4 Visualisierung von Informationen

Wie schon in der Aufgabenstellung beschrieben soll das User Interface durch bestehende oder neu gewonnene Informationen erweitert werden. Dies wird im folgenden Kapitel näher erläutert. Gegeben wurden jeweils die im nachfolgenden Bild gezeigten Dateien und Ordner (s. Abb. 7).

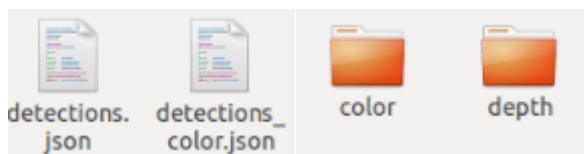


Abbildung 7: gegebene Informationen

### 4.1 Visualisierung der Detektionen

Im Ordner „color“ und „depth“ wird ein Video, welches mehrere Arbeitsschritte zeigt, als Frames in 30FPS abgespeichert. Dabei zeigen sich im Ordner „color“ die Farbbilder der Arbeitssequenzen. Im Ordner „depth“ befinden sich die Tiefenbilder derselben Arbeitssequenzen.

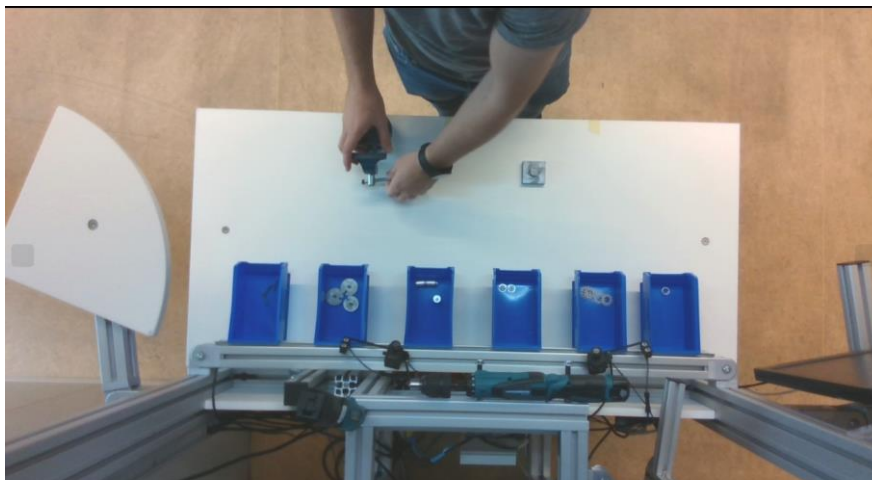


Abbildung 8: Frame „00067.bmp“ aus dem Ordner „color“

Aufgrund der sehr schweren Erkennbarkeit der Tiefenbilder (s. Abb. 9) und zur besseren Darstellung der Ergebnisse wird untenstehend weiter auf die Visualisierung in den Farbbildern eingegangen.

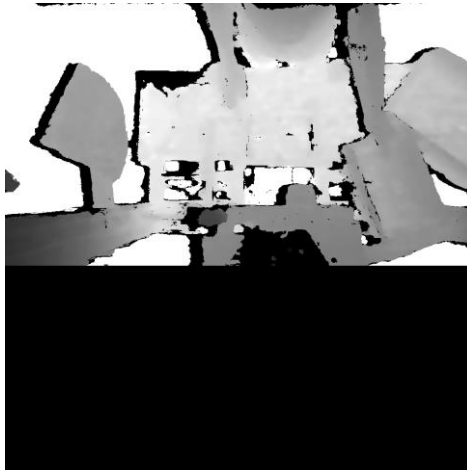


Abbildung 9: *normalisiertes Tiefenbild eines Werkers am Arbeitsplatz*

Die Informationen zu den getrackten Händen befinden sich jeweils in „.json“- Dateien. Dort steht jeweils der Unix-Timestamp (dt. Zeitstempel). Dieser enthält den Zeitpunkt des Tracks. Die dazugehörige Position wird in der Liste „box“ gespeichert.

```
},
"1628087019007876873": [
  {
    "score": 0.4788307547569275,
    "box": [
      [
        925.155029296875,
        60.942678451538086
      ],
      [
        1084.1594696044922,
        223.3458423614502
      ]
    ]
  }
]
```

Abbildung 10: *Informationen aus der „.json“- Datei*

Nun wird in einer Schleife die jeweiligen Bilder durchlaufen und die Informationen der getrackten Hände dem jeweiligen Bild zugeordnet.

Im nächsten Schritt können die Informationen visualisiert werden. Daraufhin werden die erkannten Tracks durch ein Rechteck kenntlich gemacht (s. Abb. 11).

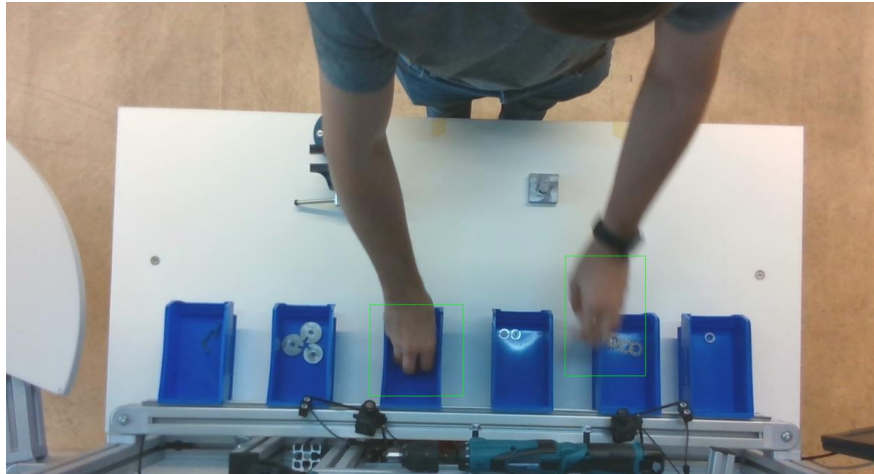


Abbildung 11: Visualisierung der Tracks in den Farbbildern durch Rechtecke

Anschließend wurde zuerst der Mittelpunkt der Detektionsboxen bestimmt und folglich im Frame als grüner Punkt visualisiert (s. Abb. 12).

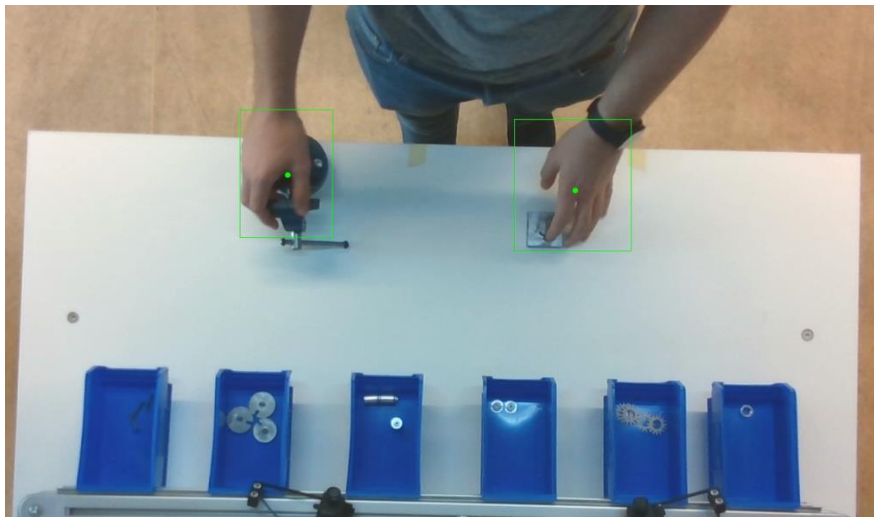


Abbildung 12: Mittelpunkt in Detektionsboxen visualisiert

## 4.2 Einbinden des Kalman-Filters

In Kapitel 3.2 wurde bereits beschrieben, wie anhand des Kalman-Filters die Position eines Objekts (hier: Hand) berechnet wird. Dazu wird eine Vorhersage des nächsten Zustandes getroffen und diese mit den Messungen korrigiert. Im Projekt wurde die neue Positionsschätzung als blauer Punkt gekennzeichnet. Nun wird der Verlauf der letzten 10 Messpunkte einmal für den Mittelpunkt der Detektionspunkte und einmal für neu berechnete Position mit Hilfe des Kalman-Filters ausgegeben. Dabei erhält der User einen guten Überblick über die Wirkung des Filters.

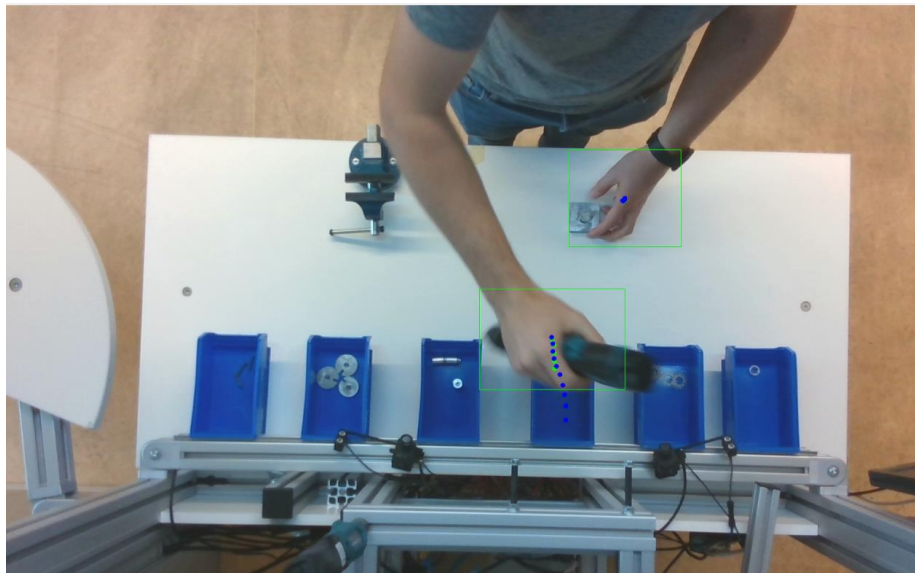


Abbildung 13: Ausgabe letzter 10 getrackter Punkte, grüne Punkte = Mittelpunkte Detektionsboxen, blaue Punkte = neu berechnete Position mit Anwendung des Kalman-Filters

Um den Verlauf der Handbewegung noch besser zu visualisieren, werden die jeweiligen Punkte mit einer Linie verbunden. Dafür muss zunächst zwischen den beiden Händen unterschieden werden. Andernfalls wird die Linie von der einen zur anderen Hand gezogen (s. Abb. 14).



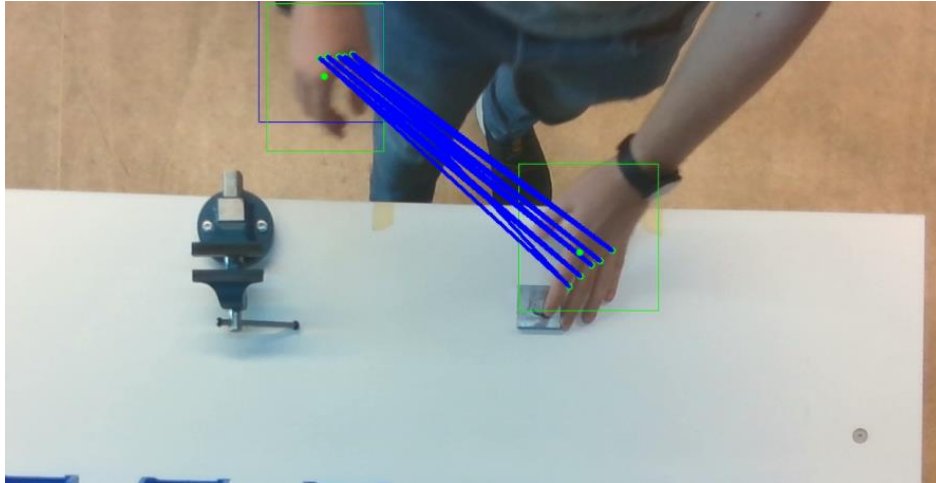


Abbildung 14: Verbindung der neu berechneten Positionen mit einer Linie

Das Problem kann gelöst werden, indem für jede getrackte Hand eine Liste angelegt wird. Liegt die Position des neuen Tracks näher an der Position des alten Tracks von Hand 1 wird dieser in die Liste von Hand 1 hinzugefügt. Werden die Listen der jeweiligen Hände ausgegeben und visualisiert ergibt sich folgendes Ergebnis (s. Abb. 15).

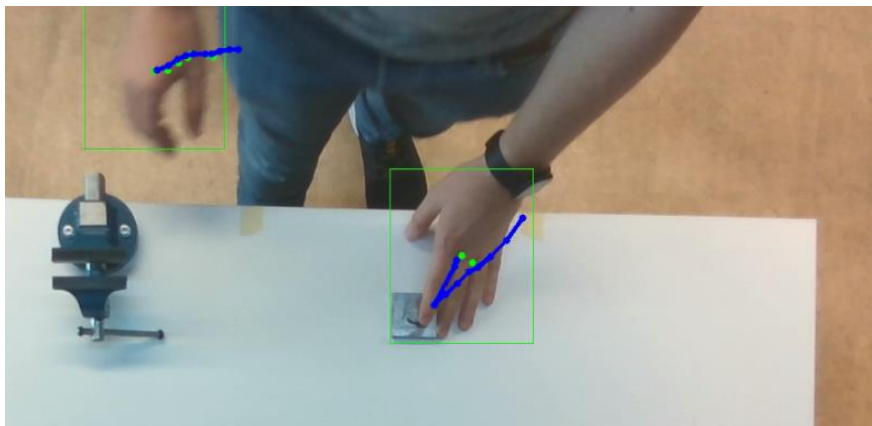


Abbildung 15: Tracks jeweiliger Hand zugeordnet und Verlauf der Handbewegung mit einer Linie visualisiert

## 5 Auswertung der Ergebnisse

Im nachfolgenden Kapitel wird die Auswertung der Ergebnisse der Handerkennung geschildert. Die Genauigkeit der Positionsbestimmung des Trackers soll hier näher betrachtet werden.

### 5.1 Fehlende Erkennung der Hand

Bei der visuellen Auswertung konnten verschiedene Schwächen des Trackers ausfindig gemacht werden (s. Abb. 16 & 17). Bleiben nur wenige Handdetektionen aus können diese durch den Tracker kompensiert werden. Bleiben diese jedoch länger aus, kann eine Zuordnung zu dem Tracker nicht mehr gewährleistet werden.

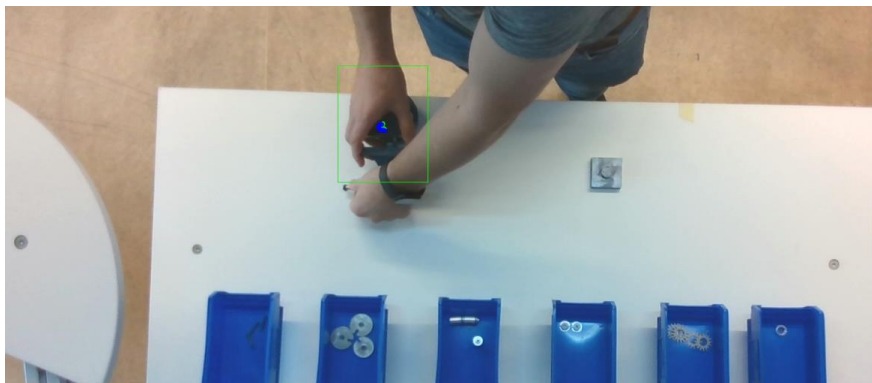


Abbildung 16: Fehlende Erkennung einer Hand (Beispiel 1)

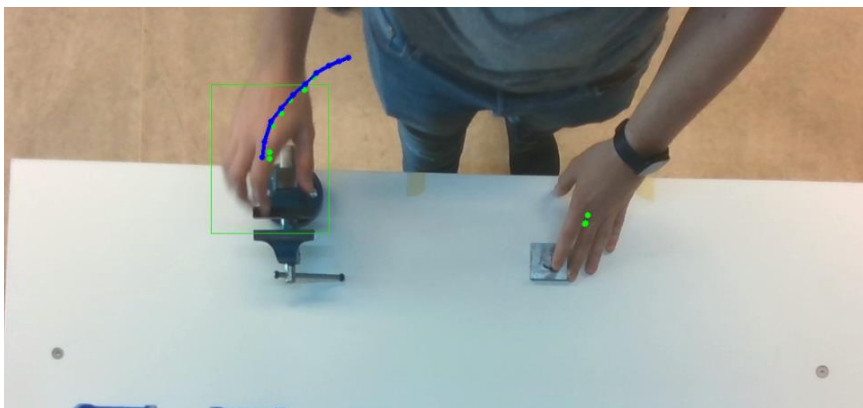


Abbildung 17: Fehlende Erkennung einer Hand (Beispiel 2)

## 5.2 Positionsbestimmung

Die Behauptungen zur besseren Positionsbestimmung der Hände durch den Kalman-Filter werden nun durch die Visualisierung der Daten überprüft. Zuerst werden die Punkte, welche in Kapitel 3.2.3 beschrieben wurden, visualisiert. Zum besseren Verständnis wurde in das Bild ein „M“ für den Mittelpunkt der Detektionen aus der „.json“-Datei eingezeichnet. Des Weiteren wurde der dazugehörige getrackte Punkt mit Anwendung des Kalman Filters mit einem „K“ gekennzeichnet. Wird nochmal einen Blick auf die Koordinaten der Punkte M (1004.5, 141.5) und K (1013,168) geworfen, haben die Punkte eine Abweichung von ca.  $\Delta Px = 9,3$  und  $\Delta Py = 26,7$ . Werden die Positionen der Punkte im Bild dargestellt, ist zu erkennen, dass beide Punkte auf der Hand liegen. Des Weiteren kann angemerkt werden, dass der Punkt K näher am Mittelpunkt der Hand liegt und somit eine bessere Lage durch die Vorhersage des nächsten Zustandes berechnet wurde.

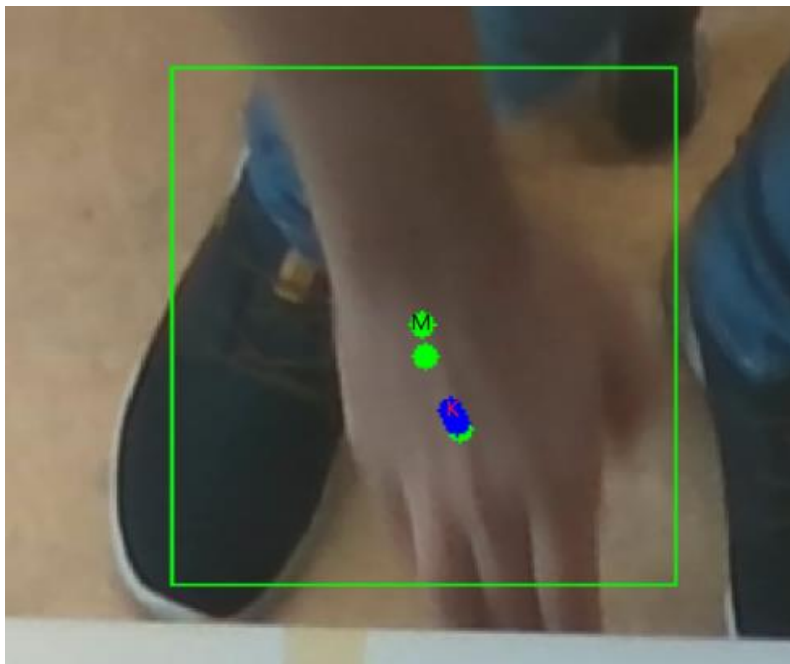


Abbildung 18: Frame „00012.bmp“ visualisiert

Allerdings kommt es nicht bei allen Frames zu einer Verbesserung der Position durch den Kalman Filter. Nun werden Folgen der durch die Visualisierung der Daten aufgedeckten Probleme in Kapitel 5.1 deutlich. Da nicht bei jedem Frame eine Detektion stattfindet, obwohl eine Hand vorhanden ist, kann die Vorhersage des nächsten Zustandes nicht mit den Messungen korrigiert werden. Somit werden die Vorhersagen immer undeutlicher. Der Verlauf der getrackten Punkte lässt sich in den Abbildungen 19, 20, 21 und 22 erkennen. Der letzte Mittelpunkt der Detektionsboxen und der dazu getrackte Punkt wurde in Abbildung 19 zum besseren Verständnis mit M und K gekennzeichnet. Der Abstand der beiden Punkte beträgt ca.  $\Delta Px = 12$  und  $\Delta Py = 1$ .

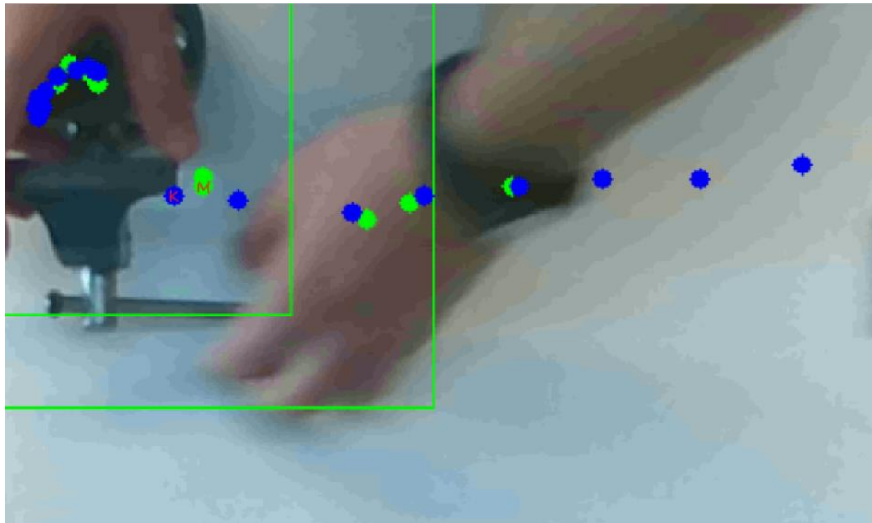


Abbildung 19: Frame „00061.bmp“

Wird nun das nächste Frame betrachtet, lässt sich wie zuvor beschrieben die Abweichung erkennen. Der Abstand des neu vorhergesagten Punktes beträgt nun  $\Delta Px = 50$  und  $\Delta Py = 1$  zum Mittelpunkt der Detektionsbox.

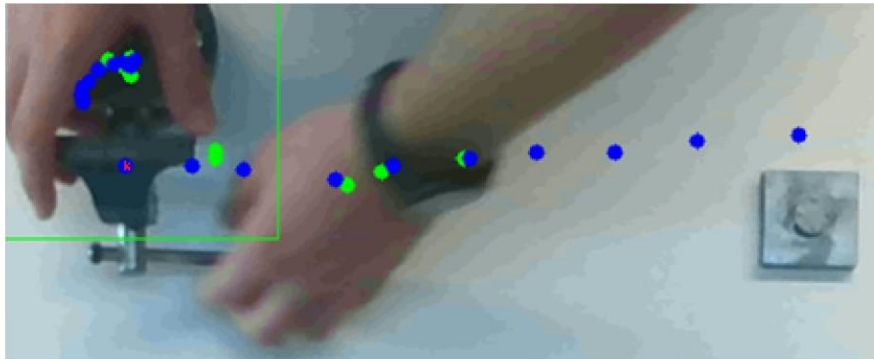


Abbildung 20: Frame „00062.bmp“

Wird zum nächsten Frame gesprungen, beträgt die Entfernung der Punkte schon etwa  $\Delta Px = 81$  und  $\Delta Py = 2$ .

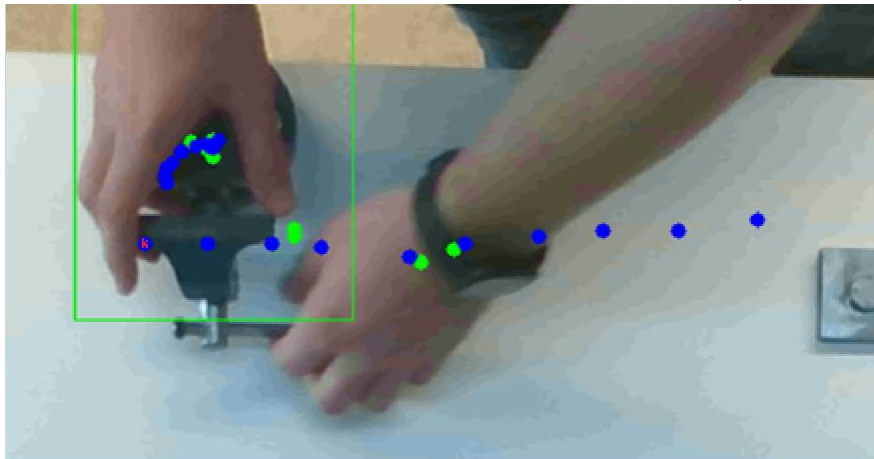


Abbildung 21: Frame „00063.bmp“

Das Höchstmaß der Abweichung ist im nächsten Frame (s. Abb. 22) zu sehen. Denn dort beträgt die Entfernung der Punkte  $\Delta Px = 128$  und  $\Delta Py = 1$

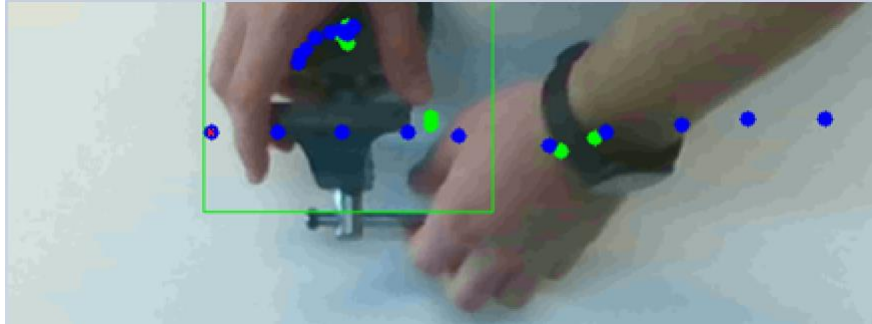


Abbildung 22: Frame „00064.bmp“

Durch die Visualisierung der Punkte konnte nochmals die Bedeutung einer Richtigstellung der Vorhersage durch die Messungen bestätigt werden. Denn sonst kommt es, wie oben dargestellt, zu immer größeren Abweichungen. Damit der Benutzer den Verlauf der getrackten Punkte noch deutlicher sieht, wurden die letzten 10 Punkte mit einer Linie verbunden (s. Abb. 23).

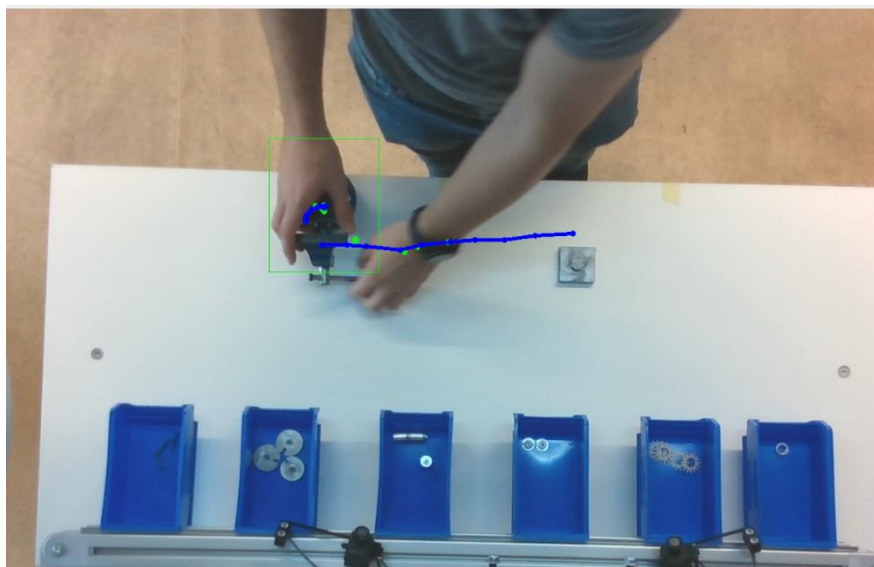


Abbildung 23: Vorhersage des Kalman-Filters

## 6 Zusammenfassung

Zuerst wurde damit begonnen die Informationen aus den gegebenen Dateien auszulesen und die Position der erkannten Hand einem Bild zuzuordnen. Danach wurden die Positionsdaten im Bild als Rechteck visualisiert. Anschließend wurde der Mittelpunkt der Detektionsboxen ermittelt und in der Abbildung illustriert. Hierauf wurde der Kalman-Filter implementiert und dessen Positionsberechnungen ebenfalls im Foto als blauer Punkt visualisiert. Um den Verlauf der berechneten Positionen noch besser zu erkennen, wurden die letzten 10 durch den Kalman-Filter ermittelten Punkte mit einer Linie verbunden. Durch die in das Bild ergänzten Visualisierungen konnte nun Aufschluss über die Funktion der Handerkennung erlangt werden. Somit wurde erkannt, dass das Zuweisen der Tracks nur mäßig funktioniert, wenn die Detektionen länger ausbleiben.



## 7 Literatur- und Quellenverzeichnis

1. <https://www.maschinenmarkt.vogel.de/mit-assistenzsystemen-null-fehler-strategien-umsetzen-a-650161/>  
Stand: 22.09.2021
2. <https://smartfactory.blog/typische-probleme-in-der-produktion> Stand: 22.09.2021
3. <https://www.prologistik.com/logistik-lexikon/losgroesse/>  
Stand: 22.09.2021
4. Merzbach, Ulrich (2002), Handtracking. Zweck, Ablauf und Methoden der Handverfolgung aus Kameradaten  
<https://www.grin.com/document/3094>  
Stand: 22.09.2021
5. Meyer, Stephan (2007), Kalman Filter  
<https://docplayer.org/69832591-Mathematische-grundlagen-kalman-filter-beispielprogramm-kalman-filter-stephan-meyer.html> Stand: 22.09.2021
6. <https://me-lrt.de/v1-7-pradiktor-korrektor-verfahren>  
Stand: 22.09.2021
7. Marchthaler, Reiner; Dingler, Sebastian (2017), Kalman-Filter, Springer Vieweg, 1.Auflage  
<https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/978-3-658-16728-8.pdf>  
Stand: 23.09.2021
8. <https://kompetenzzentrum-saarbruecken.digital/technologieradar-werkerassistenzsysteme/>  
Stand: 31.10.2021