MRK-ARBEITSSYSTEME SICHER GESTALTEN

Abschlusstagung der Forschungsprojekte SeRoDi und AQUIAS
21.09.2018

GEFÖRDERT VOM
Bundesministerium für Bildung und Forschung
Eine Initiative des Bundesministeriums für Bildung und Forschung
Wissenschaftsjahr | 2018
ARBEITSWELTEN DER ZUKUNFT
AQUIAS Teilhabe durch Robotik
ISAK GmbH
BOSCH Technik fürs Leben
Fraunhofer

Roboterarbeitsplätze sicher gestalten

1) Der kollaborative Roboter APAS

2) Sicherheit in der Mensch-Maschine-Zusammenarbeit

GEFÖRDERT VOM
Bundesministerium für Bildung und Forschung
Eine Initiative des Bundesministeriums für Bildung und Forschung
Wissenschaftsjahr | 2018
ARBEITSWELTEN DER ZUKUNFT
AQUIAS Teilhabe durch Robotik
ISAK GmbH
BOSCH Technik fürs Leben
Fraunhofer

Pilot 1: MRK-Arbeitsplatz für schwerbehinderte Produktionsmitarbeiter bei ISAK

1) Testergebnisse und Versuchsreihen

2) Abschließende Maßnahmen zur Erreichung der Serientauglichkeit

Pilot 2: Bosch-interne Applikation

1) Aufgabe 1: Rohrstücke abnehmen

2) Aufgabe 2: Demonstrator für optischen Sichtprüfplatz

Der kollaborative Roboter APAS

kollaborierend

- Direkte, sichere Zusammenarbeit mit Menschen

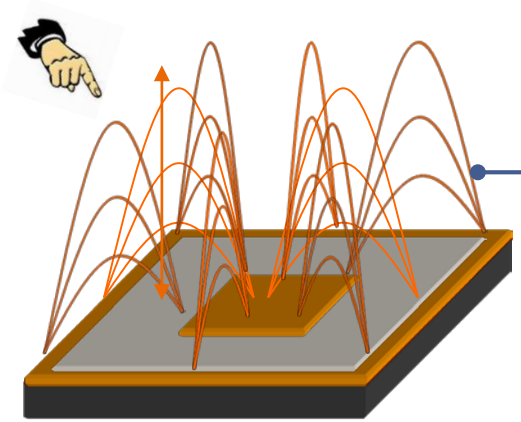
kameragestützt

- Integrierte Kamera und Beleuchtung

Der kollaborative Roboter APAS

kollaborierend

- Sensorhaut überwacht Roboterarm berührungslos auf menschliche Annäherung
- Sichere Verfahrgeschwindigkeit von 0,5 m/s erlaubt kollisionsfreien Stopp
- Einklemmschutz durch Einfedern der Greiferfinger bei Überschreiten der Maximalkraft



Sensorhaut

Einfedernde Greiferfinger

Sicherheit in der Mensch-Maschine-Zusammenarbeit

Roboter ohne Schutzzaun

- Sporadisches Eintreten in Sicherheitsbereich
- Sicherheit durch Roboterstopp

Roboter mit Eingriffszonen

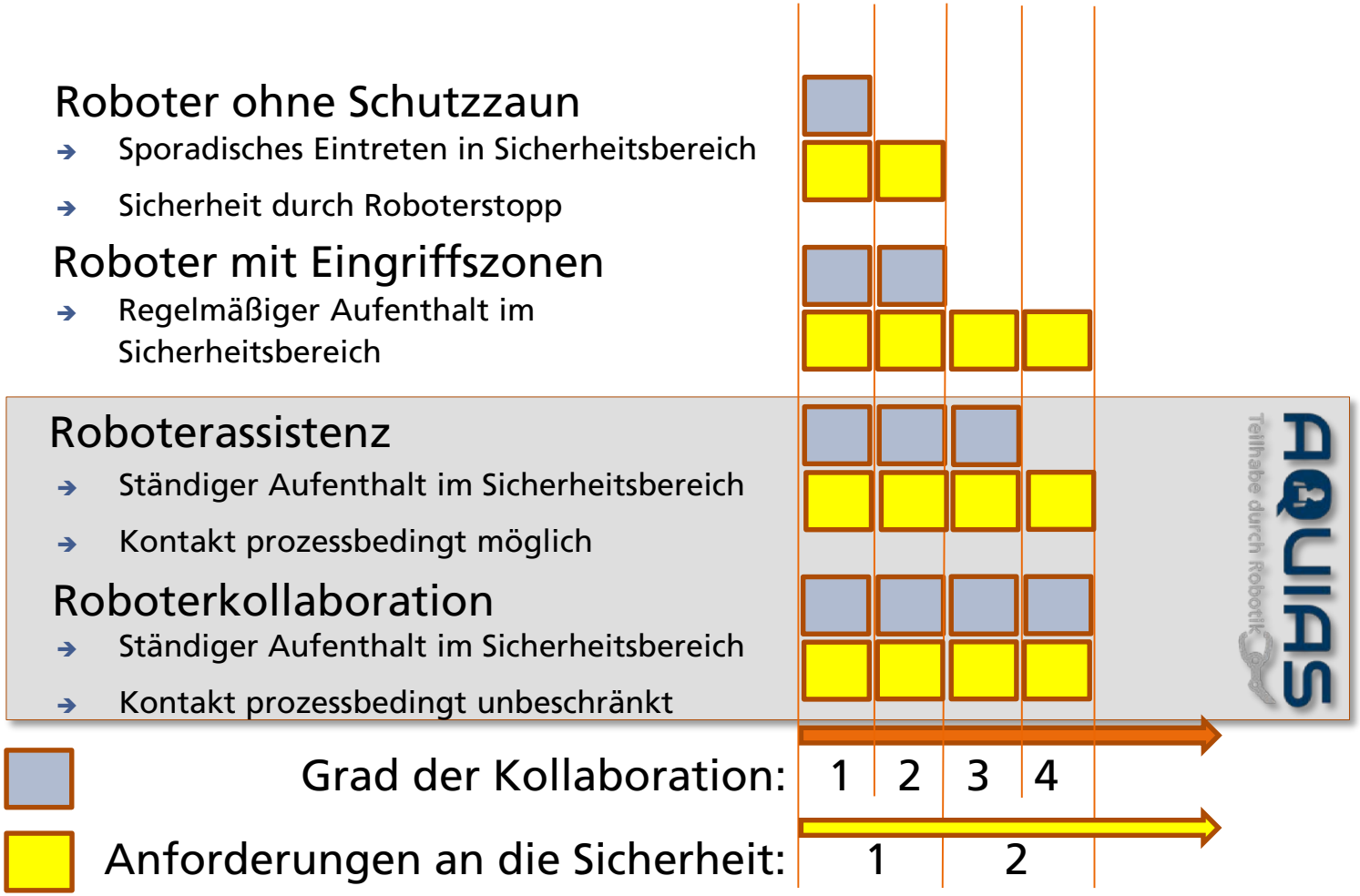
- Regelmäßiger Aufenthalt im Sicherheitsbereich

Roboterassistenz

- Ständiger Aufenthalt im Sicherheitsbereich
- Kontakt prozessbedingt möglich

Roboterkollaboration

- Ständiger Aufenthalt im Sicherheitsbereich
- Kontakt prozessbedingt unbeschränkt



GEFÖRDERT VOM
Bundesministerium für Bildung und Forschung
Eine Initiative des Bundesministeriums für Bildung und Forschung
Wissenschaftsjahr | 2018
ARBEITSWELTEN DER ZUKUNFT

AQUIAS Teilhabe durch Robotik · ISAK GmbH · BOSCH Technik fürs Leben · Fraunhofer

Sicherheit in der Mensch-Maschine-Zusammenarbeit

1. Risikoanalyse

- Identifizieren von Verletzungsrisiken durch mechanische Einwirkung
- Betrifft Arbeitsbereich, Werkstücke, Roboter und Wechselwirkungen (Quetschen, Stoßen)

2. Bewertung von Risiken

- Prozessbedingte Eintretenswahrscheinlichkeiten
- Betrachtung von Vermeidbarkeit, Größe und Folgen (z.B. Irreversibilität) mechanischer Einwirkung

3. Messtechnische Erfassung

- Messen von Flächenpressungen an identifizierten Gefahrenstellen (biometrische Messungen)

4. Ableiten von Maßnahmen

- Technische Maßnahmen (Umhausungen, Schutzabschaltungen)
- Administrative Maßnahmen (Einweisungen, Beschilderungen, Festlegen von Abläufen)

Sicherheit in der Mensch-Maschine-Zusammenarbeit
Fehlende MRK-Sicherheitsnormen für Schwerbehinderte

wird dem Kunden ausgehändigt | betrifft Gerät | betrifft Gerät bei appl.-spez. Anpassung | betrifft Bauart

CE für einen Arbeitsplatz

- APAS Gerät: Einbauerklärung
- Gerät: Doku
- Applikation: Risikobeurteilung
- Appl.-Doku
- Prüfung durch BG
- EMV-Prüfung
- VDE-Prüfung
- Risiko-beur-teilung
- Sicherheitsprüfung
- PL d Sensor-haut
- Kraft-messung Greifer
- PL d Sicher-heits-SPS
- PL d Über-wachung Roboter
- Sichere Bewegung ohne Ein-klemmen
- Sichere Werk-stücke ohne scharfe Kanten/ Spitzen

GEFÖRDERT VOM
Bundesministerium für Bildung und Forschung
Eine Initiative des Bundesministeriums für Bildung und Forschung
Wissenschaftsjahr | 2018
ARBEITSWELTEN DER ZUKUNFT
AQUIAS Teilhabe durch Robotik
ISAK GmbH
BOSCH Technik fürs Leben
Fraunhofer

Sicherheit in der Mensch-Maschine-Zusammenarbeit
Fehlende MRK-Sicherheitsnormen für Schwerbehinderte

MRK-Anwendungen für *normal leistungsfähige* Mitarbeiter

Transfer

MRK-Anwendungen für
a) schwerbehinderte
b) leistungsgewandelte
Mitarbeiter

Absicherung:
Bestehende MRK-Sicherheitsnormen
für normal leistungsfähige „Standard"-Mitarbeiter
(gültig für alle Mitarbeiter dieser Gruppe)

Transfer

Absicherung:
***Individuelle* Absicherung einschränkungsbedingter Risiken**
spezifisch für jeden einzelnen Mitarbeiter
(Einzelfall-basiert)

GEFÖRDERT VOM
Bundesministerium für Bildung und Forschung
Eine Initiative des Bundesministeriums für Bildung und Forschung
Wissenschaftsjahr | 2018
ARBEITSWELTEN DER ZUKUNFT
AQUIAS Teilhabe durch Robotik
ISAK GmbH
BOSCH Technik fürs Leben
Fraunhofer

Sicherheit in der Mensch-Maschine-Zusammenarbeit
Fehlende MRK-Sicherheitsnormen für Schwerbehinderte

Behinderte Mitarbeiter	Fähigkeitsumfang Standard-Mitarbeiter	Behinderungsbedingte Risiken im Vergleich zu Standard-Mitarbeitern: **Risiken Sicherheit** Unfall / Verletzung	**Risiken Ergono-mie** Belastung	**Risiken Verhalten**	Standard-MRK-Sicherheits-maßnahmen: **Norm-gerechte Sicher-heit**
Ausschluss MA1	Fähigkeits-einschränkung MA1	…	…	…	Indiv. Sicherheits-maßnahmen für MA1: Anpassung Arbeitssystem; Anpassung Robotik
MA2	Fähigkeits-einschränkung MA2	…	…	…	Indiv. Sicherheits-maßnahmen für MA2: Anpassung Arb.-System; Anpassung Robotik
MA3	Fähigkeits-einschränkung MA3	…	…	…	Indiv. Sicherheits-maßnahmen für MA3: Anpassung Arb.-System; Anpassung Robotik

GEFÖRDERT VOM
Bundesministerium für Bildung und Forschung
Eine Initiative des Bundesministeriums für Bildung und Forschung
Wissenschaftsjahr | 2018
ARBEITSWELTEN DER ZUKUNFT
AQUIAS Teilhabe durch Robotik
ISAK GmbH
BOSCH Technik fürs Leben
Fraunhofer

Sicherheit in der Mensch-Maschine-Zusammenarbeit
Fehlende MRK-Sicherheitsnormen für Schwerbehinderte

Roboterassistenz und Roboterkollaboration

Industrielles Szenario
(genormt)

Sicherheit
Maschinen-bezogene Risikobewertung

Absicherung
Risiko-bezogene Absicherung

Bedienbarkeit
Einrichter-bezogene Bedienkonzepte

Ergänzung

Szenario im Behindertenumfeld

Sicherheit
Persona-bezogene Risikobewertung

Absicherung
Persona-bezogene Absicherung

Bedienbarkeit
Anwender-bezogene Bedienkonzepte

GEFÖRDERT VOM
Bundesministerium für Bildung und Forschung
Eine Initiative des Bundesministeriums für Bildung und Forschung
Wissenschaftsjahr | 2018
ARBEITSWELTEN DER ZUKUNFT
AQUIAS Teilhabe durch Robotik
ISAK GmbH
BOSCH Technik fürs Leben
Fraunhofer

Sicherheit in der Mensch-Maschine-Zusammenarbeit
Fehlende MRK-Sicherheitsnormen für Schwerbehinderte

wird dem Kunden ausgehändigt | betrifft Gerät | betrifft Gerät bei appl.-spez. Anpassung | betrifft Bauart

CE für einen Arbeitsplatz

- APAS Gerät: Einbauerklärung
  - Prüfung durch BG
    - PL d Sensor-haut
    - Kraft-messung Greifer
    - PL d Sicher-heits-SPS
    - PL d Über-wachung Roboter
  - EMV-Prüfung
  - VDE-Prüfung
  - Risiko-beur-teilung
- Gerät: Doku
- Applikation: Risikobeurteilung
  - Personabezogene Risikobeurteilung
  - Persona-Profil
  - Sichere Bewegung ohne Ein-klemmen
  - Sichere Werk-stücke ohne scharfe Kanten/ Spitzen
- Appl.-Doku

GEFÖRDERT VOM
Bundesministerium für Bildung und Forschung
Eine Initiative des Bundesministeriums für Bildung und Forschung
Wissenschaftsjahr | 2018
ARBEITSWELTEN DER ZUKUNFT
AQUIAS Teilhabe durch Robotik
ISAK GmbH
BOSCH Technik fürs Leben
Fraunhofer

Sicherheit in der Mensch-Maschine-Zusammenarbeit
Fehlende MRK-Sicherheitsnormen für Schwerbehinderte

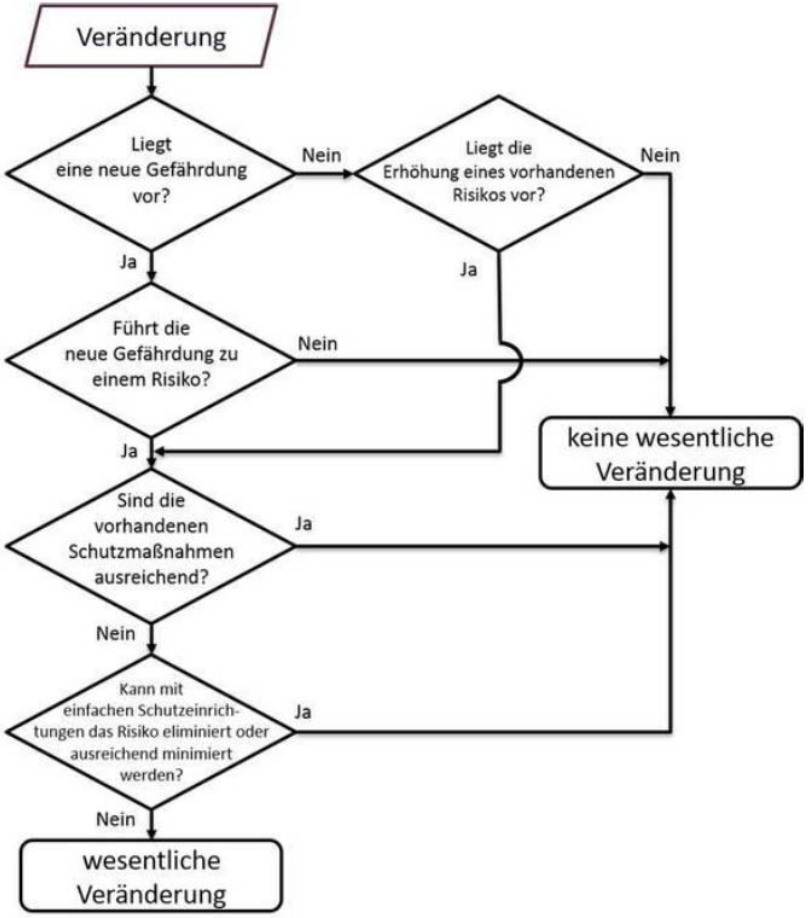


Abb. 1: Entscheidungsschritte - wesentliche Veränderung v,on Maschinen

Applikation: Risikobeurteilung

Appl.-Doku

Personabezogene Risikobeurteilung

Persona-Profil

Interpretationspapier BMAS "Wesentliche Veränderung" - 2015

Bundesministerium für Arbeit und Soziales

Produktsicherheitsgesetz/9. ProdSV (Maschinenverordnung)
Interpretationspapier zum Thema "Wesentliche Veränderung von Maschinen"

(Bek. des BMAS vom 9.4.2015 – IIIb5-39607-3)

Pilot 1: Testergebnisse und Versuchsreihen

- Betrieb des Arbeitsplatzes vor Ort in Sachsenheim

<u>Aufgetretene Probleme</u>

- abhängig auf der Lage der Siebe in der Düse 10% … 20% schlecht eingepresste Siebe
  - schief eingedrückte Siebe
  - beschädigte Düsenränder
  - nicht eingerastete Siebe

Testergebnisse und Versuchsreihen

- Durchführen von Serientests (10 .. 100 Stk.)
- Auswerten der Ergebnisse
- Optimierung
- Verwerfen oder Iteration

Versuchsreihe: 1
Pressdurchläufe: 3
Druck (Bar) : 3
Anzahl: 9
Anzahl beschädigte Bauteile:
Welche Beschädigung:

Erkenntnis:

Versuchsreihe: 2
Pressdurchläufe: 1
Druck (Bar) : 3
Anzahl: 153
Anzahl beschädigte Bauteile:
Welche Beschädigung:

Erkenntnis:

Versuchsreihe: 3
Pressdurchläufe: 1
Druck (Bar) : 4
Anzahl: 81
Anzahl beschädigte Bauteile:
Welche Beschädigung:

Erkenntnis:

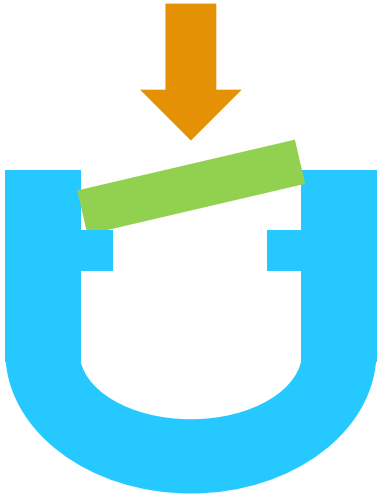
Versuchsreihe: 4
Pressdurchläufe: 1
Druck (Bar) : 5
Anzahl: 50
Anzahl beschädigte Bauteile:
Welche Beschädigung:

Erkenntnis:

GEFÖRDERT VOM
Bundesministerium für Bildung und Forschung
Eine Initiative des Bundesministeriums für Bildung und Forschung
Wissenschaftsjahr | 2018
ARBEITSWELTEN DER ZUKUNFT
AQUIAS Teilhabe durch Robotik
ISAK GmbH
BOSCH Technik fürs Leben
Fraunhofer

Testergebnisse und Versuchsreihen

- Durchführen von Serientests (50 .. 500 Stk.)
- Auswerten der Ergebnisse
- Optimierung
- Verwerfen oder Iteration



<u>Randbedingungen</u>

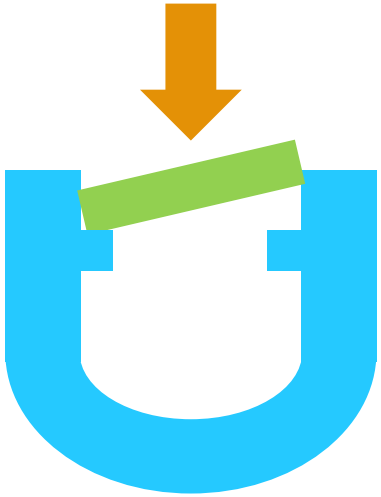
- Scheinbar einfache Aufgabe
- Kunststoff mit schwankendem elastischen und inelastischen Verhalten (Federn, Verbiegen, Fließen)
- Undefiniertes Auflegen der Siebe
- Vorhandener Aufbau erlaubt keine senkrechtes Aufbringen von Presskräften
  - Ausweichen der Düsen
  - Ausweichen der Siebe
- Ausweichen des Roboters (keine ideal steife Mechanik)

GEFÖRDERT VOM
Bundesministerium für Bildung und Forschung
Eine Initiative des Bundesministeriums für Bildung und Forschung
Wissenschaftsjahr | 2018
ARBEITSWELTEN DER ZUKUNFT
AQUIAS Teilhabe durch Robotik
ISAK GmbH
BOSCH Technik fürs Leben
Fraunhofer

Testergebnisse und Versuchsreihen

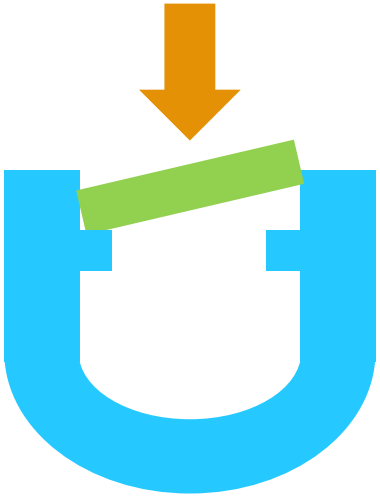
<u>Versuch: erzwungenes senkrechtes Pressen Variante 1</u>

- Parallelführungsstifte und separater Pneumatikzylinder sollen Ausweichen des Roboterarmes verhindern



GEFÖRDERT VOM
Bundesministerium für Bildung und Forschung
Eine Initiative des Bundesministeriums für Bildung und Forschung
Wissenschaftsjahr | 2018
ARBEITSWELTEN DER ZUKUNFT
AQUIAS Teilhabe durch Robotik
ISAK GmbH
BOSCH Technik fürs Leben
Fraunhofer

Testergebnisse und Versuchsreihen

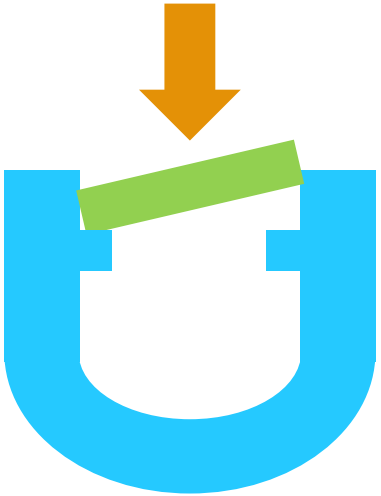


<u>Versuch: erzwungenes senkrechtes Pressen</u>

- Parallelführungsstifte und separater Pneumatikzylinder sollen Ausweichen des Roboterarmes verhindern

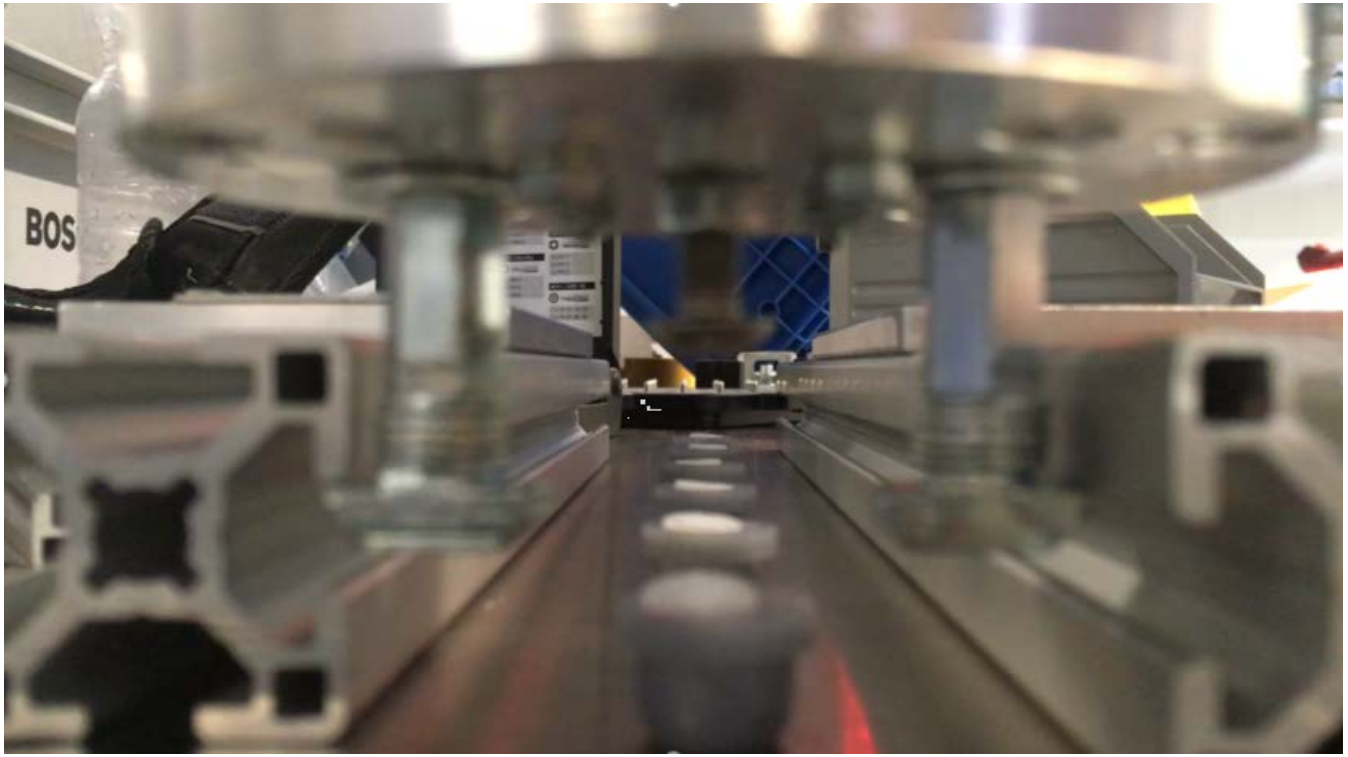
- Deutliche Verbesserung
- Ausweichen des Roboter bleibt bestehen
- Fehlerrate zu hoch
- Nicht alle Siebe rasten korrekt ein

Testergebnisse und Versuchsreihen



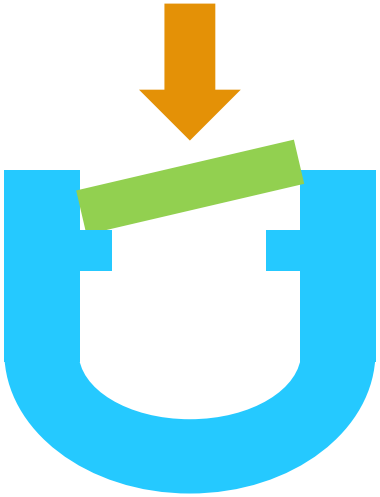
<u>Vorversuche: erzwungenes senkrechtes Pressen Variante 2</u>

- Gegenlager soll Ausweichen des Roboterarmes verhindern
- Einpressdruck kann vergrößert werden



GEFÖRDERT VOM
Bundesministerium für Bildung und Forschung
Eine Initiative des Bundesministeriums für Bildung und Forschung
Wissenschaftsjahr | 2018
ARBEITSWELTEN DER ZUKUNFT
AQUIAS Teilhabe durch Robotik
ISAK GmbH
BOSCH Technik fürs Leben
Fraunhofer

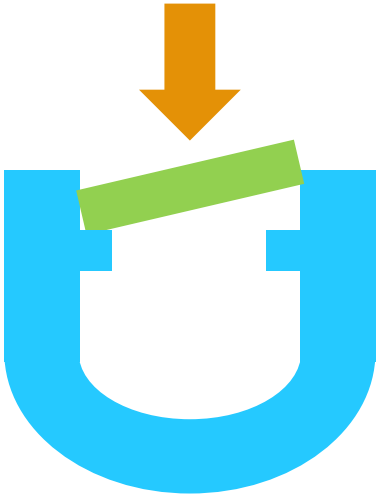
Testergebnisse und Versuchsreihen



<u>Versuch: erzwungenes senkrechtes Pressen Variante 2a</u>

- Gegenlager soll Ausweichen des Roboterarmes verhindern
- Einpressdruck kann vergrößert werden

Testergebnisse und Versuchsreihen

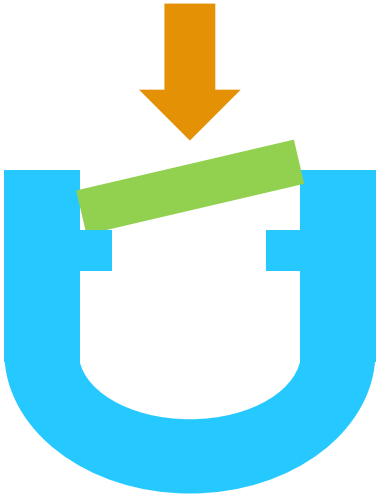


<u>Versuch: erzwungenes senkrechtes Pressen Variante 2b</u>

- Gegenlager soll Ausweichen des Roboterarmes verhindern
- Einpressdruck kann vergrößert werden

GEFÖRDERT VOM
Bundesministerium für Bildung und Forschung
Eine Initiative des Bundesministeriums für Bildung und Forschung
Wissenschaftsjahr | 2018
ARBEITSWELTEN DER ZUKUNFT
AQUIAS Teilhabe durch Robotik
ISAK GmbH
BOSCH Technik fürs Leben
Fraunhofer

Testergebnisse und Versuchsreihen



<u>Versuch: erzwungenes senkrechtes Pressen</u>

- Gegenlager soll Ausweichen des Roboterarmes verhindern
- Einpressdruck kann vergrößert werden

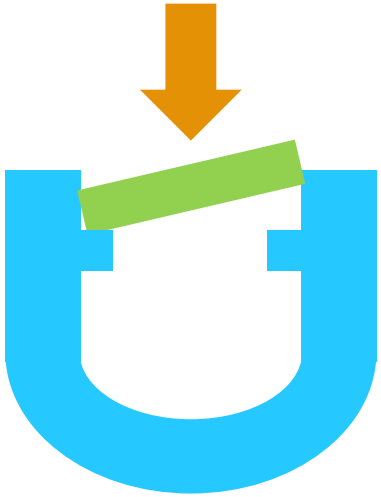
- Verbesserung zur Variante 1
- Ausweichen des Roboter wird verhindert
- Ausweichen der Düsen bleibt bestehen
- Nicht alle Siebe rasten korrekt ein

GEFÖRDERT VOM
Bundesministerium für Bildung und Forschung
Eine Initiative des Bundesministeriums für Bildung und Forschung
Wissenschaftsjahr | 2018
ARBEITSWELTEN DER ZUKUNFT
AQUIAS Teilhabe durch Robotik
ISAK GmbH
BOSCH Technik fürs Leben
Fraunhofer

Testergebnisse und Versuchsreihen

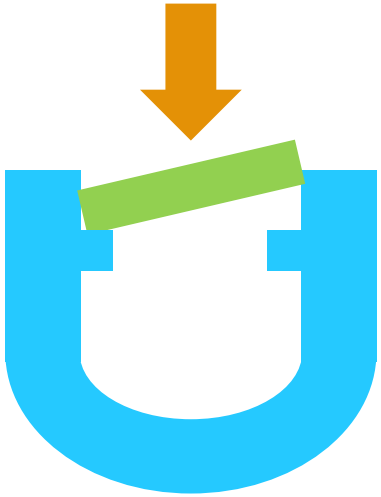
<u>Versuch: erzwungenes senkrechtes Pressen Variante 3</u>

- Doppelgabel verbessert Positionierung des Roboters
- Verbesserte Aufnahme der Düsen reduziert Taumel



GEFÖRDERT VOM
Bundesministerium für Bildung und Forschung
Eine Initiative des Bundesministeriums für Bildung und Forschung
Wissenschaftsjahr | 2018
ARBEITSWELTEN DER ZUKUNFT
AQUIAS Teilhabe durch Robotik
ISAK GmbH
BOSCH Technik fürs Leben
Fraunhofer

Testergebnisse und Versuchsreihen



Versuch: erzwungenes senkrechtes Pressen Variante 3

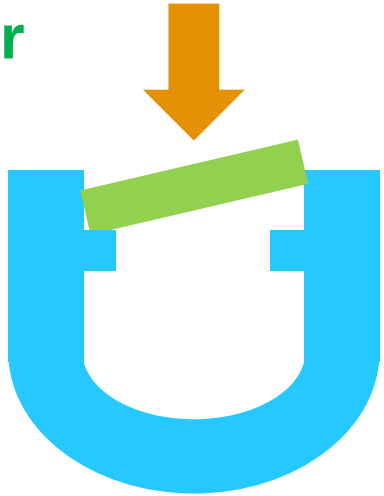
- Doppelgabel verbessert Positionierung des Roboters
- Verbesserte Aufnahme der Düsen reduziert Taumel

- Ausweichen des Roboter wird verhindert
- Ausweichen der Düsen wird verhindert

Weiteres Vorgehen:

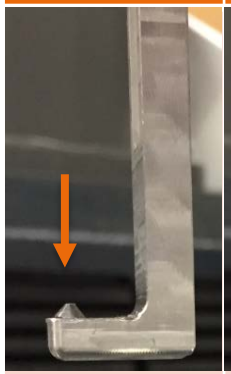
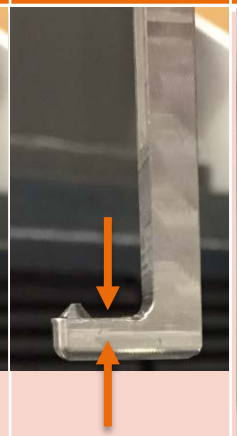
- Optimierung des Aufbaus für 2 Mitarbeiter
- Auskonstruktion zur Umsetzung der Erkenntnisse
- Bestellung der Teile
- Aufbau des endgültigen Arbeitsplatzes
- Sicherstellen der funktionalen Sicherheit

Abschließende Maßnahmen zur Erreichung der Serientauglichkeit

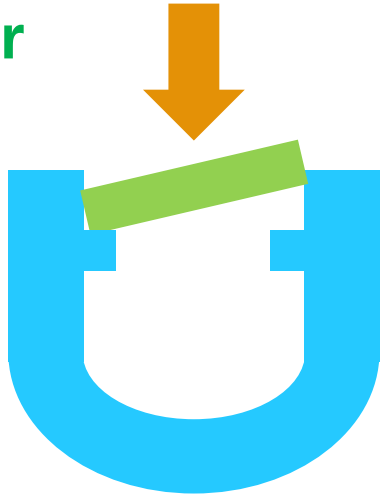


Umfangreiche und detaillierte Optimierungen am Aufbau

- Sicherstellung der Prozess-Sicherheit

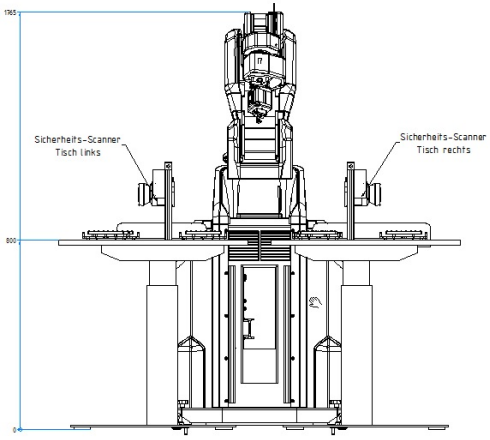
Dorn spitzen	Fuß ver-schlanken	Einkerben	Träger aus Kunststoff und schlanker	Löcher im WT schließen	Poka-Yoke-Absicherung beim Einschieben des WT
					

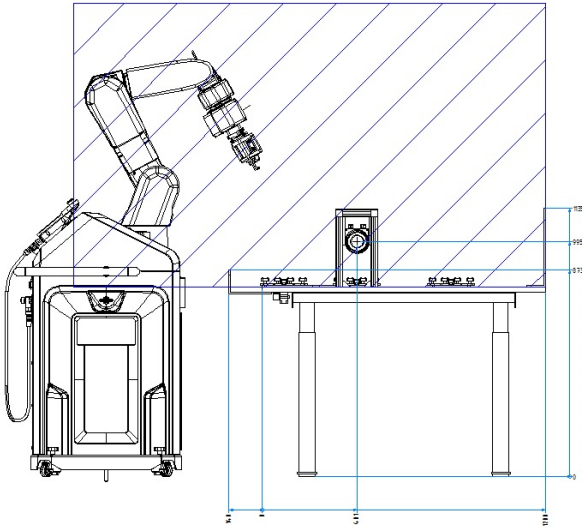
Abschließende Maßnahmen zur Erreichung der Serientauglichkeit



Umfangreiche und detaillierte Optimierungen am Aufbau

- Sicherstellung der funktionalen Sicherheit
- Verbliebener kritischer Punkt: Ausfahren des Einpress-Stempels an leerem Produktnest birgt Verletzungsrisiko
- Zusätzliche Sicherung mit Laserscannern löst diesen Sonderfall

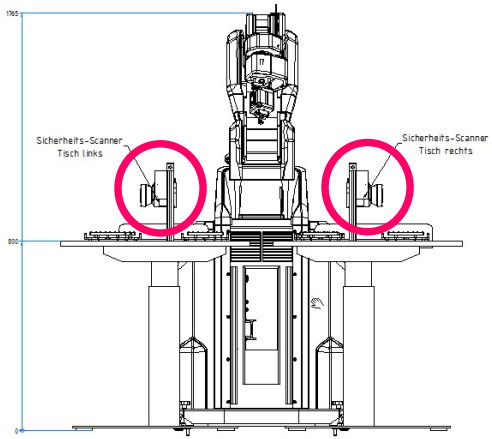


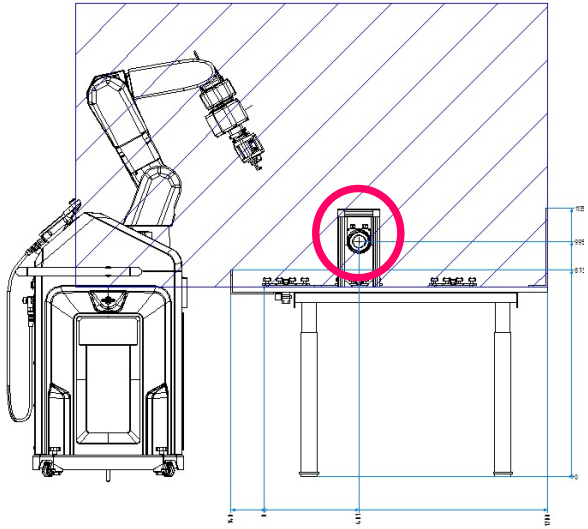


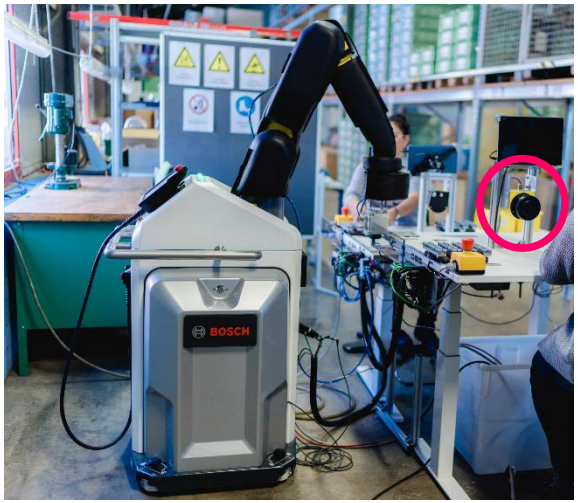
GEFÖRDERT VOM
Bundesministerium für Bildung und Forschung
Eine Initiative des Bundesministeriums für Bildung und Forschung
Wissenschaftsjahr | 2018
ARBEITSWELTEN DER ZUKUNFT
AQUIAS Teilhabe durch Robotik
ISAK GmbH
BOSCH Technik fürs Leben
Fraunhofer

Abschließende Maßnahmen zur Erreichung der Serientauglichkeit

Vollwertiger, teilautomatisierter Handarbeitsplatz mit CE







GEFÖRDERT VOM
Bundesministerium für Bildung und Forschung
Eine Initiative des Bundesministeriums für Bildung und Forschung
Wissenschaftsjahr | 2018
ARBEITSWELTEN DER ZUKUNFT
AQUIAS Teilhabe durch Robotik
ISAK GmbH
BOSCH Technik fürs Leben
Fraunhofer

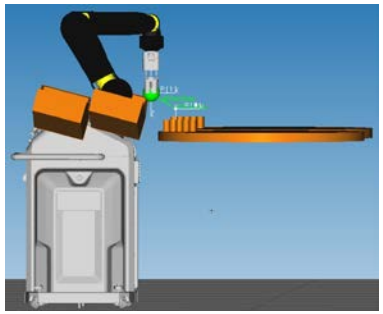
Pilot 2 - Aufgabe 1: Abnehmen von Rohrstücken

Aufgabenstellung:

- Abnehmen von Rohrstücken aus einem Reinigungsautomaten
- Abstapeln der Teile in eine Kiste

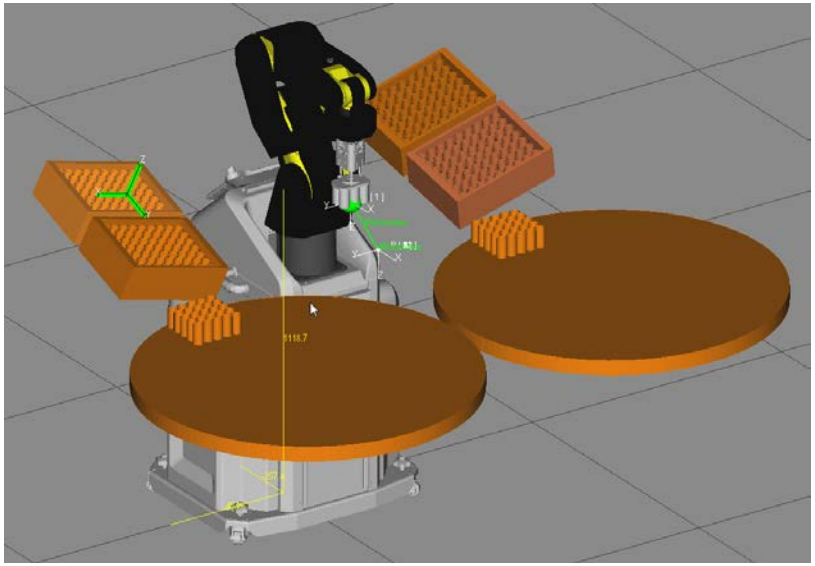
GEFÖRDERT VOM
Bundesministerium für Bildung und Forschung
Eine Initiative des Bundesministeriums für Bildung und Forschung
Wissenschaftsjahr | 2018
ARBEITSWELTEN DER ZUKUNFT
AQUIAS Teilhabe durch Robotik
ISAK GmbH
BOSCH Technik fürs Leben
Fraunhofer

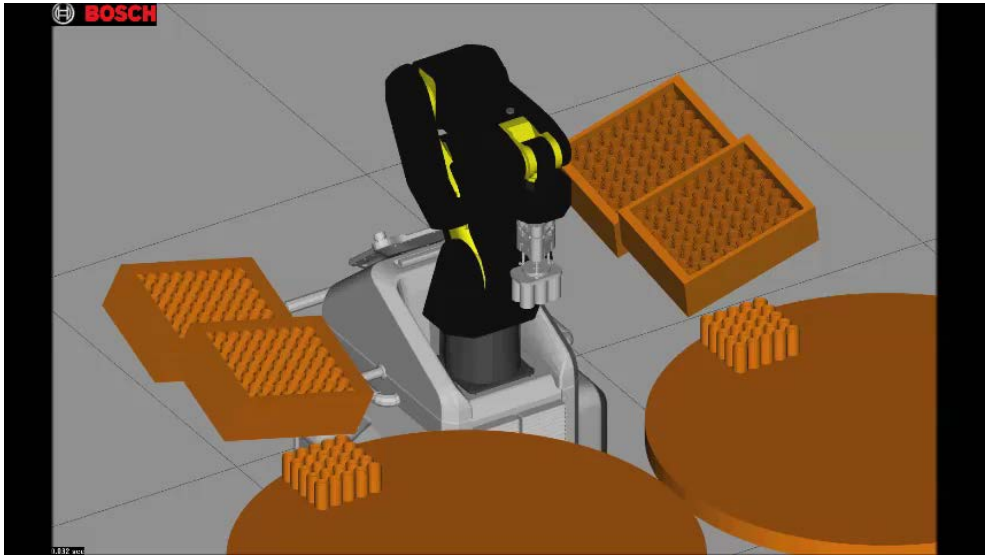
Aufgabe 1: Abnehmen von Rohrstücken



Lösungsansatz:

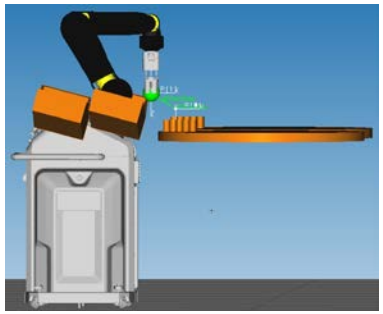
- Rohre stauen an einer Schikane
- Roboter entnimmt Rohrstücke vom Teller an der Staustrecke mit Mehrfachgreifer
- Roboter kann zwei Rundtische bedienen
- Abstapeln der Teile in eine Kiste
- Kistenwechsel, Kistentransport und Zykluszeitausgleich durch Mitarbeiter





GEFÖRDERT VOM
Bundesministerium für Bildung und Forschung
Eine Initiative des Bundesministeriums für Bildung und Forschung
Wissenschaftsjahr | 2018
ARBEITSWELTEN DER ZUKUNFT
AQUIAS Teilhabe durch Robotik
ISAK GmbH
BOSCH Technik fürs Leben
Fraunhofer

Aufgabe 1: Abnehmen von Rohrstücken



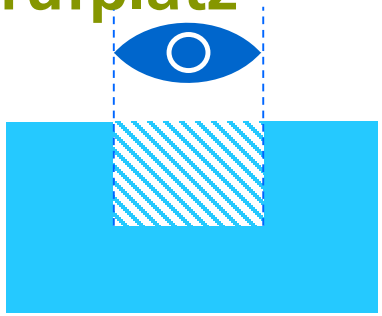
Wirtschaftlichkeit:

- Die Lösung mit einem kollaborativen Roboter plus einem leistungseingeschränkten Mitarbeiter ist nicht wirtschaftlich

Name	Menge		Total
Hauptumfang	1		171.502
APAS assistant mobile	*1*		*89.900*
Applikation "Kiste beladen"	*1*		*41.170*
Kollisionselement mit zentrischem Parallelgreifer	*1*		*10.828*
Konformitätserklärung für MRK-Applikation	*1*		*12.000*
Inbetriebnahme im Werk München	*1*		*4.950*
Schulung und Einweisung	*1*		*1.200*
APAS TCP/IP Lizenz	*1*		*600*
Projektmanagement	*1*		*6.854*
Verpackung und Versand	*1*		*1.500*
Reisekosten	*1*		*2.500*
Total			**171.502**

- Rahmenbedingungen für Industriearbeitsplätze bei Robert Bosch GmbH:
  - ROI >0 nach max. 1 – 2 Jahre (je nach Produkt und Geschäftsbereich)
    hier: 1,5 Jahre
  - Kosten MA/Jahr ~ 50 TEUR,
    hier: 2-Schichtbetrieb ~ 100 TEUR
  - Produktivitätssteigerung (positive) Annahme ~ 100%
    hier: *halbe Personalkosten = 50 TEUR/Jahr*
  - ROI >0 nach 170/50 = 3,4 Jahren

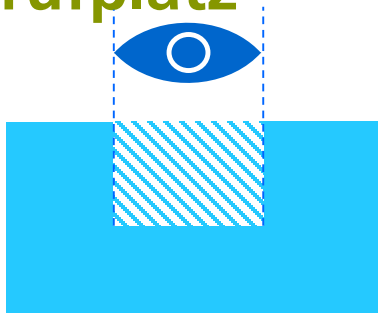
Aufgabe 2: Demonstrator für optischen Sichtprüfplatz



Weitere MRK-Aufgabe in den Bosch-Werken gesucht

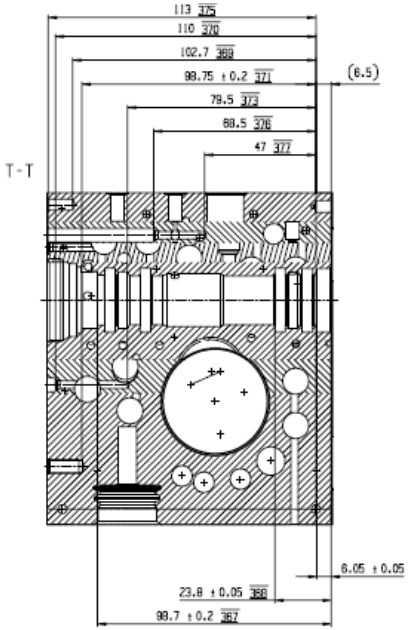
- Identifikation von MRK-Arbeitsplätzen über Schwerbehindertenbeauftrage
- Ziel:
  - Kollaborativer Arbeitsplatz
  - kein Ratioprojekt
  - Nutzen für den Mitarbeiter durch Roboterunterstützung

Aufgabe 2: Demonstrator für optischen Sichtprüfplatz

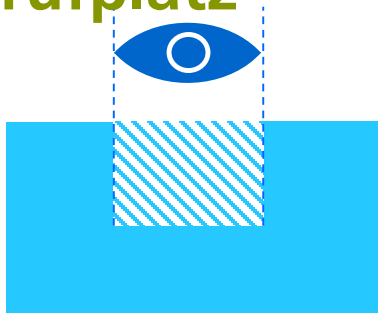


Identifikation eines MRK-Arbeitsplatzes in Blaichach

- Aufgabe: Optische Inspektion von Bohrungen
- Problemstellung: manuelles Schwenken schwerer Teile unter der Kamera/optischen Einrichtung
- Ermüdend und ergonomisch belastend (Teilegewicht bis zu 2 kg, Prüfdauer bis zu 40 min)



Aufgabe 2: Demonstrator für optischen Sichtprüfplatz

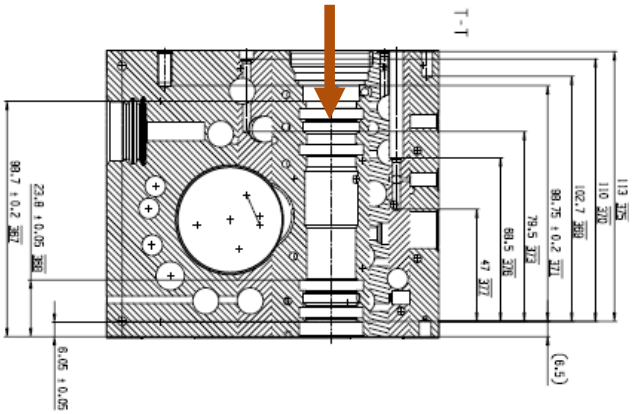


Lösungsansatz

- Arbeitstisch mit kollaborativem Roboter
- Schwere Teile können eingespannt werden
- Schwenken der Teile übernimmt der Roboter
- Schwenken mittels Joystick
- Bedienhilfen:
  - reines X-Verfahren
  - reines Y-Verfahren

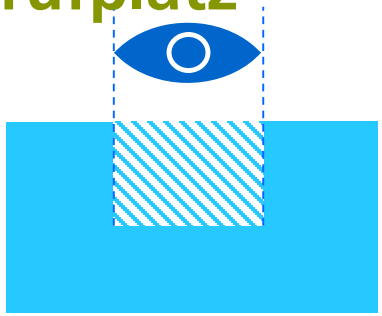
  } Abfahren von Bohrungen entlang einer Linie

  - reines Z-Verfahren — Fokussierhilfe Abfahren der Innenkontur



GEFÖRDERT VOM
Bundesministerium für Bildung und Forschung
Eine Initiative des Bundesministeriums für Bildung und Forschung
Wissenschaftsjahr | 2018
ARBEITSWELTEN DER ZUKUNFT
AQUIAS Teilhabe durch Robotik
ISAK GmbH
BOSCH Technik fürs Leben
Fraunhofer

Aufgabe 2: Demonstrator für optischen Sichtprüfplatz

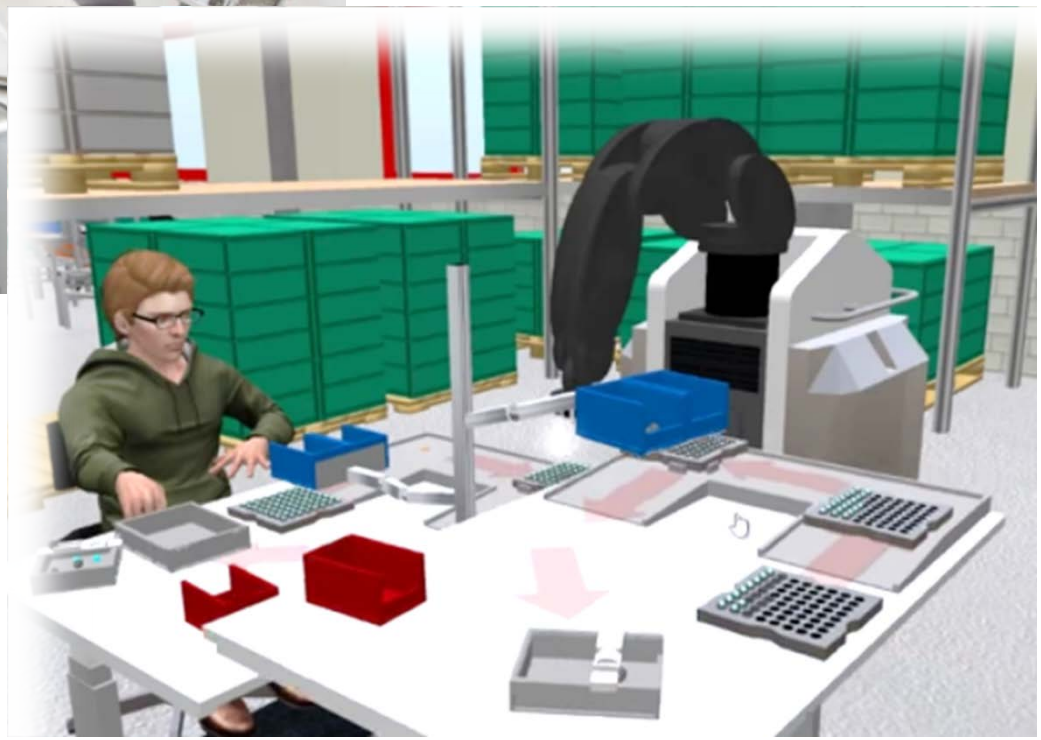


Eingearbeitete Erfahrungen

- Höhenverstellbarer Tisch

Verbleibende Aufgabe

- Akzeptanz beim Kunden finden
- Ggf. Testphase/Versuchsreihe

GEFÖRDERT VOM
Bundesministerium für Bildung und Forschung
Eine Initiative des Bundesministeriums für Bildung und Forschung
Wissenschaftsjahr | 2018
ARBEITSWELTEN DER ZUKUNFT
AQUIAS Teilhabe durch Robotik
ISAK GmbH
BOSCH Technik fürs Leben
Fraunhofer

Es ist noch etwas Zeit für Fragen.