

Schlussbericht

Entwicklung einer automatisierten vernetzten Roboterzelle für die Herstellung von Transportkisten mit Losteilgröße ab 1

(„CRATE-Robot“)

im Förderprogramm

Richtlinie zur Förderung von Forschungs- und Entwicklungsprojekten

zwischen Deutschland und der Tschechischen Republik

im Rahmen von EUREKA

Projektlaufzeit: 01.03.2021 – 28.03.2023

vorgelegt von:

Werner Kuhlmann GmbH
Hülsbergstr. 274-276, 45772 Marl

Projektpartner:

BenThor automation s.r.o.
Pod Borkem 309, Čejetičky,
293 01 Mladá Boleslav, Czech Republic

31. August 2023

Gliederung:

1. Aufgabenstellung	3
2. Voraussetzung unter der das Vorhaben durchgeführt wurde	4
3. Wissenschaftlicher und technischer Stand zu Beginn und Ende des Vorhabens	5
4. Planung und Ablauf des Vorhabens	
(z.B. Planabweichung, Probleme bei der Durchführung, etc.)	6
4.1 Planung und Ablauf	6
4.2 Auftretende Herausforderungen	10
5. Erzieltes Ergebnis	14
6. Nutzen für das Unternehmen, insbesondere Verwertbarkeit des Ergebnisses	24
7. Zusammenarbeit mit anderen Stellen oder außerhalb des Verbundprojektes	24
8. Darstellung des während des Vorhabens bekannt gewordenen Fortschritts	
auf diesem Gebiet bei anderen Stellen	25
9. Veröffentlichungen, Vorträge, Referate, etc	25

1. Aufgabenstellung

Die Werner Kuhlmann GmbH und Benthor automation s.r.o. strebten gemeinsam die Entwicklung einer digital vernetzten automatisierten Roboterzelle zur Fertigung von Transportkisten an und wollen dieses Produkt - nach Fertigstellung - zuerst in Deutschland und dann europaweit gemeinsam vermarkten.

Dies bedeutet, dass ausgehend von der Erstellung eines Angebots mit dem Programm Cratemaker zur Herstellung einer individuellen Transportkiste, nicht nur dieses Angebot und die Basisparameter der Transportkiste erstellt werden, sondern dass das neue Produkt (System/Software/Installation) in der Lage sein wird, über entsprechende Schnittstellen und Computer, Programme und Software eine Arbeitsinsel mit einen 7-achsigen Roboter zu steuern, der die Umstellung für die Transportkiste (Branchenjargon für: Köpfe, Seiten und Deckel) selbständig "nagelt" (zusammenbaut).

Die Partner des Kooperationsprojektes wollten somit die vielen Vorteile digitaler, automatisierter Produktionsprozesse für die Branche der Packmittelhersteller erschließen. In der Packmittelbranche herrschen heute noch vielfach manuelle, handwerkliche Prozesse vor. Dies gilt insbesondere bei der Produktion von kleinen Losgrößen. Gemäß Recherchen der Projektpartner gab und gibt es kein entsprechendes Produkt für kleine Losgrößen (LG 1). Eine Automatisierung würde eine neue Stufe der Wirtschaftlichkeit ermöglichen und die Abhängigkeit von Personalverfügbarkeit sowie die Fehleranfälligkeit reduzieren und somit qualitativ höherwertige Produktion gewährleisten.

2. Voraussetzung unter der das Vorhaben durchgeführt wurde

Der Beginn des Vorhabens fiel nach langen Vorbereitungen des Projektes noch in die Phase der Corona-Pandemie. Besuche bei Zielkunden, Technologiepartnern und generell Reisen sowie Auslandsreisen waren durchaus erschwert. Auch fokussierten gewünschte Partner unter Eindruck und Einfluss der Pandemie ihre Ressourcen anders. Auswirkungen gab es darüber hinaus bei der Verfügbarkeit von Komponenten bis hin vor allem zum Nagler.

Wir verweisen hier auch auf das folgende Kapitel.

Wichtige Voraussetzung, unter der das Projekt durchgeführt wurde, war einerseits die Innovationsfreudigkeit und das Software-Knowhow von Werner Kuhlmann, andererseits die spannende Konstellation, dass ein Roboterhersteller, der bislang ganz überwiegend im Automobilsektor gearbeitet hatte, sich jetzt auf diesem Feld betätigen wollte. In der Kombination beider Know-how-Felder lag ein großes Potenzial für eine gute, marktgerechte Lösung.

3. Wissenschaftlicher und technischer Stand zu Beginn und Ende des Vorhabens

Die Herstellung von Paletten und Transportkisten ist bislang ein immer noch handwerklicher, manueller Prozess. Bisher gibt es nur Maschinen für die Herstellung von Paletten und Kistenteilen mit einer Stückzahl ab 50.

Die Branche der Transportkistenfertiger ist sehr fragmentiert und durch eine Vielzahl kleiner Betriebe gekennzeichnet. Insgesamt herrscht ein großer Preis- und Zeitdruck, denn der Transportkistenfertiger steht (zeitlich) immer zwischen typischen Projektverzögerungen bei den Herstellern (v. a. Maschinen- und Anlagenbau) und den Projekt-Deadlines auf Kundenseite. Da eindeutige Qualitätskriterien fehlen, läuft der Wettbewerb über den Preis, oft auf Kosten der Sicherheit. Dabei ist einerseits die Qualität der Kiste im Sinne von Stabilität beim Transport gemeint, die notwendig ist, um Unfälle zu verhindern und das Transportgut zu schützen. Andererseits ist leicht vorstellbar, dass Unfallrisiken steigen, wenn unter Zeitdruck genagelt und montiert wird.

Zurzeit werden Verpackungswände (Seiten, Köpfe, Deckel) vorwiegend manuell in eine Vorrichtung eingelegt und mit Nagler manuell genagelt. Da die Bestellung, Fertigung und Lieferung von Packmitteln am Ende der eigentlichen wertschöpfenden Prozesskette der Kunden stehen, erfolgt die Bestellung der Transportkisten häufig auf den „allerletzten Drücker“. Der Zeitdruck wird an den Packmittelhersteller weitergegeben. Daher besteht eine bedeutende Nachfrage nach automatisierten Prozessen auf Basis effizienter und vollständiger Datenübernahmen zur Steuerung der Produktion.

Individuelle Verpackungslösungen werden heute entsprechend einem „engineer to order“-Prozess konstruiert, wobei die Stabilität der Verpackung durch Berechnungen sichergestellt und dokumentiert werden muss. Anhand der Konstruktionsdaten erhalten die Fertigungsmitarbeiter Arbeitspläne, die dann mit Werkzeug-Unterstützung manuell abgearbeitet werden.

Die statische Berechnung und Konstruktion selbst, erfolgt auch heute noch in vielen etablierten Unternehmen nach dem Daumenregel-Prinzip bzw. auf Basis von Erfahrungswissen. Häufig werden Excel-Tabellen und Templates verwendet. Selten ist eine software-gestützte Konstruktion vorhanden.

Das Programm Cratemaker von Werner Kuhlmann GmbH ist am Markt die einzige bekannte systemgestützte Konstruktionslösung. Die vom HPE-Verband beworbene Lösung Case Express (noch in Entwicklung) ist ein reines statisches Berechnungsprogramm. Eine digitale Übergabe von Konstruktionsdaten in die Fertigung ist im Markt nicht zu beobachten.

Ausgangspunkt für die hier dargestellte Innovation ist diese Software (Cratemaker), die die Fertigungsdaten liefert, von Werner Kuhlmann GmbH entwickelt wurde und in der Branche eine Alleinstellung innehat. Aufgrund der eigenen Cratemaker Software ist die Werner Kuhlmann GmbH das einzige Branchenunternehmen in Deutschland, das den Prozess der Fertigung einer Transportkiste in Losgröße 1 mittels digitaler Daten abbilden kann. Die Software und das Know-how zu deren Entwicklung sind daher notwendige technische Voraussetzung für das beschriebene Projekt.

4. Planung und Ablauf des Vorhabens (z.B. Planabweichung, Probleme bei der Durchführung, etc.)

4.1 Planung und Ablauf

In den ersten Projektmonaten (abhängig auch von den Corona-Entwicklungen) besuchte die Projektleitung etwa ein Dutzend potenzielle Anwenderbetriebe der Branche.

Erwartungsgemäß zeigt sich durch das Nord-Süd-Gefälle besonders im Süden starker Personalmangel. Dies war einer der wesentlichen Auslösungsgründe unseres Vorhabens.

Wir erinnern hier daran: Das grundsätzliche Ziel liegt in der Losgröße 1. Bei einer Fertigung von Unikaten ist die Einweisung neuer Mitarbeiter besonders zeitaufwändig, da nicht wie in der Serienfertigung Routine-Handgriffe vermittelt werden können.

Im Diskurs mit den Anwendern wurde die Anforderung geäußert, dass man mehrere Materialsorten mit der Anlage verwenden kann. Das in der Praxis häufigste Material ist ein 12mm Plattenwerkstoff und 24mm Leiste. Manche Betriebe wollen aber auch eine dicke Leiste, ca. 30/40mm und für den Schwergutbereich wird auch ein 15er Plattenwerkstoff gewünscht. Quantitativ taucht diese Anforderung etwa in 10 - 15 % der Fertigungsaufgaben auf.

Mit der Variation der Materialdicke schließt sich das Problem an, dass der Nagler ja mit einem Nagellager arbeiten muss. Die ursprüngliche Konzeption bzw. naheliegende Lösung war eine Zuführung der Nägel als Schüttgut über einen Trichter. Je länger die Nägel, umso eher ergeben sich jedoch Verklemmungen im Rohr.

Hierzu wurde die Lösungsidee entwickelt mit einem verdrahteten Coil zu Arbeiten oder mit Nägeln zu arbeiten, die in einem Streifen aus Kunststoff aufgebracht sind.

Der Roboter führt nur einen begrenzten Nagelvorrat mit sich. Ist dieser aufgebraucht, fährt der Roboter selbstständig in einen gesicherten Bereich (dort kann das Personal unter Wahrung der Arbeitssicherheit von der anderen Seite aus auffüllen) und holt sich das Material.

Wenn – wie die Anwender es wünschten, 3 verschiedene Sorten Nägel bevorratet werden sollen, treibt es die Kosten in die Höhe, da man dann mind. 6 Nagler braucht. (Pro Stück ca. 15.000 EUR)

Die für das System erforderliche redundante Datenhaltung (Ausfallsicherheit) stellte größere Anforderungen/ Herausforderungen als erwartet.

Ein weiterer Aspekt, der im Konzept umfangreich diskutiert und beleuchtet wird, ist die Frage der maximalen Abmessungen.

Der Roboter wird 3-5 Nägel pro Sekunde einschießen. Eine präzise Auflage des Objektes ist somit Voraussetzung. Ein Eingriff durch Personal aber undenkbar, aus Gründen der Arbeitssicherheit und entsprechender Vorschriften.

Durch den Arbeitsumfang des Roboters ist die Tiefe des Arbeitstisches auf 3m begrenzt. Es wäre denkbar, einen 2. Roboter auf die andere Seite zu stellen. Dies wäre in etwa 5-7 % der Arbeitsaufgaben sinnvoll. Dann könnten alle denkbaren Maße für den Containertransport dargestellt werden: bis zu 11,90m Länge, 2,30m Breite, 2,55m Höhe. Die Kosten des 2.

Roboters sprechen jedoch gegen die Wirtschaftlichkeit. Die Länge des Werkstückes ist unbegrenzt, da der Roboter auf Schienen fährt.

Der Kooperationspartner in Tschechien ist bislang zu der Überzeugung gekommen: Wie wir es geplant haben, ist es machbar. Aber: Der Mensch bleibt immer Unsicherheitsfaktor. Das Werkstück muss zentimetergenau aufgelegt werden. Die Nagelbahnen liegen i. d. R. ca. 5-8 mm vom Rand des Brettes.

Um bei knappen und möglicherweise wenig erfahrenen Arbeitskräften sicher zu sein, dass das Werkstück gut positioniert wird, müsste man somit ein Kamerasystem installieren oder Markierungen anbringen. Ein Lasersystem könnte anzeigen, wo die Leisten hingeklebt werden sollen, ist aber möglicherweise aus Kostengründen nicht praktikabel.

Dazu kommt das Thema der Arbeitssicherheit.

Mit geringerem Aufwand finanzieller Art könnte somit ein Roboter vorgesehen werden, der auflegt. Somit bewegt sich das Konzept aktuell bereits in Richtung der 2. Ausbaustufe Vollautomatisierung.

Es wird aber erstmal so umgesetzt, wie ursprünglich angedacht, um im Kosten- und Zeitrahmen zu bleiben. Für Folgeaktivitäten und Weiterentwicklungen sind daraus Schlüsse zu ziehen.

Parallel zu den Anwendergesprächen stiegen wir mit Benthor in die technische Konzeptentwicklung ein. Durch Überlappen der Termine und parallele Telefonate und Korrespondenz sind die Arbeiten in den Schritten 1 und 2 nicht so klar voneinander abzugrenzen, wie es in der Planung beschrieben war. Anfragen aus den Industriepartnerbetrieben wurden teilweise mit vorliegenden Konzeptentwürfen abgeglichen und teils neu in die Diskussion mit Benthor eingebracht.

Unter anderem haben wir mit Benthor folgende Themen im Detail besprochen und festgelegt:

- Mit welchen Dimensionen müssen wir rechnen?
- Welche Dimensionen können wir bearbeiten? (Ergebnis: Länge egal, Breite/Tiefe auf 3m begrenzt).
- Wo könnten die Schwachstellen im System sein?
- Um das Roboter-System möglichst gegen Datenverlust zu schützen, wird ein getrenntes Datensystem aufgebaut.
- Wie gehen wir mit möglichem Verspringen der Bretter beim Nageln um: vorher an den Ecken fixieren.
- Schnittstelle des Datenaustauschs.
- Wie werden die Daten übergeben -> Datenbanktabellen.
- Müssen wir mehrere Nagelsorten nageln? Ja, dann muss BenThor den RoboArm für Werkzeugwechsel vorbereiten.
- Welche Naglerhersteller gibt es und mit welchen könnten wir zusammenarbeiten? (Auch: Verfügbarkeit).
- Welchen Nageltisch benötigen wir für die Demo?

Der nach gemeinsamer Konzeptentwicklung geplante Ablauf der robotergestützten Fertigung wird aktuell etwa wie folgt beschrieben:

- Der Bediener legt das gewünschte Material in den richtigen Abmessungen auf den Nageltisch.
- Der Roboter erhält das Programm von der SPS.
- Der Roboter prüft den Nagelbestand im Magazin (akt. Arbeitsstand: mindestens 20).

Der Roboter erhält die XY-Koordinaten der Nagelposition, die er in den Speicher einliest. Während der Roboter die Koordinaten einer Nagelposition ansteuert, lädt er die Koordinaten der nächsten Position im Voraus, so dass er sich reibungslos zwischen den Koordinaten bewegen kann, ohne anzuhalten.

Wenn der Nagler während des Nagelns keine Nägel mehr in der Schale hat, hält der Roboter das Programm an, fährt zu der vorgesehenen Stelle für eine neue Schale und zeigt auf der HMI eine Meldung an, dass eine neue Schale mit Nägeln nachgefüllt werden muss. Der Bediener bestätigt den Fachwechsel auf der HMI, der Roboter kehrt zum laufenden Programm zurück und führt das Programm zu Ende.

Wird dem Roboter von der SPS signalisiert, dass es sich bei den ersten Nägeln um die so genannten Befestigungsnägel handelt, mit denen die Außenbretter an der OSB-Platte befestigt werden, fährt er diese Positionen von oben an und fährt nach dem Eintreiben der Nägel wieder ab.

Wenn das Nageln des gesamten Produkts abgeschlossen ist, fährt der Roboter zurück in die Ausgangsposition.

Dieses aktuelle Betriebs- und Steuerungskonzept – ergänzt noch um weitere Prozeduren für Wartungszwecke und Fehlersuche im Störungsfall – ist zunächst einmal die Grundlage für eine sich anschließende Proof-of-Concept-Phase und wird sicherlich in den nächsten Entwicklungsschritten noch angepasst werden.

Soweit der konzeptionelle Fortschritt termingerecht es zuließ, wurden Zwischenergebnisse dann jeweils vor Ort bei den Anwendern diskutiert. Schwerpunkt waren dabei sicherlich aus Praktikersicht die jeweils am häufigsten vorkommenden Störquellen.

Unser zugrundeliegendes Datenmodell und Datenflusskonzept wird naturgemäß bei den Anwendern nicht so stark thematisiert, da diese nur Anwender der Software sind, aber i. d. R. keine vertieften Kenntnisse dazu haben. Wichtig bleibt daher, wie schon prognostiziert, ein Service- und Wartungskonzept und eine Hotline, die im Falle des Falles bei IT-Problemen weiterhilft.

Die folgende Abbildung zeigt den aktuellen Status Quo der Konzeptentwicklung, v.a. im Hinblick auf die Anordnung der Komponenten und die Gewährleistung der Arbeitssicherheit.

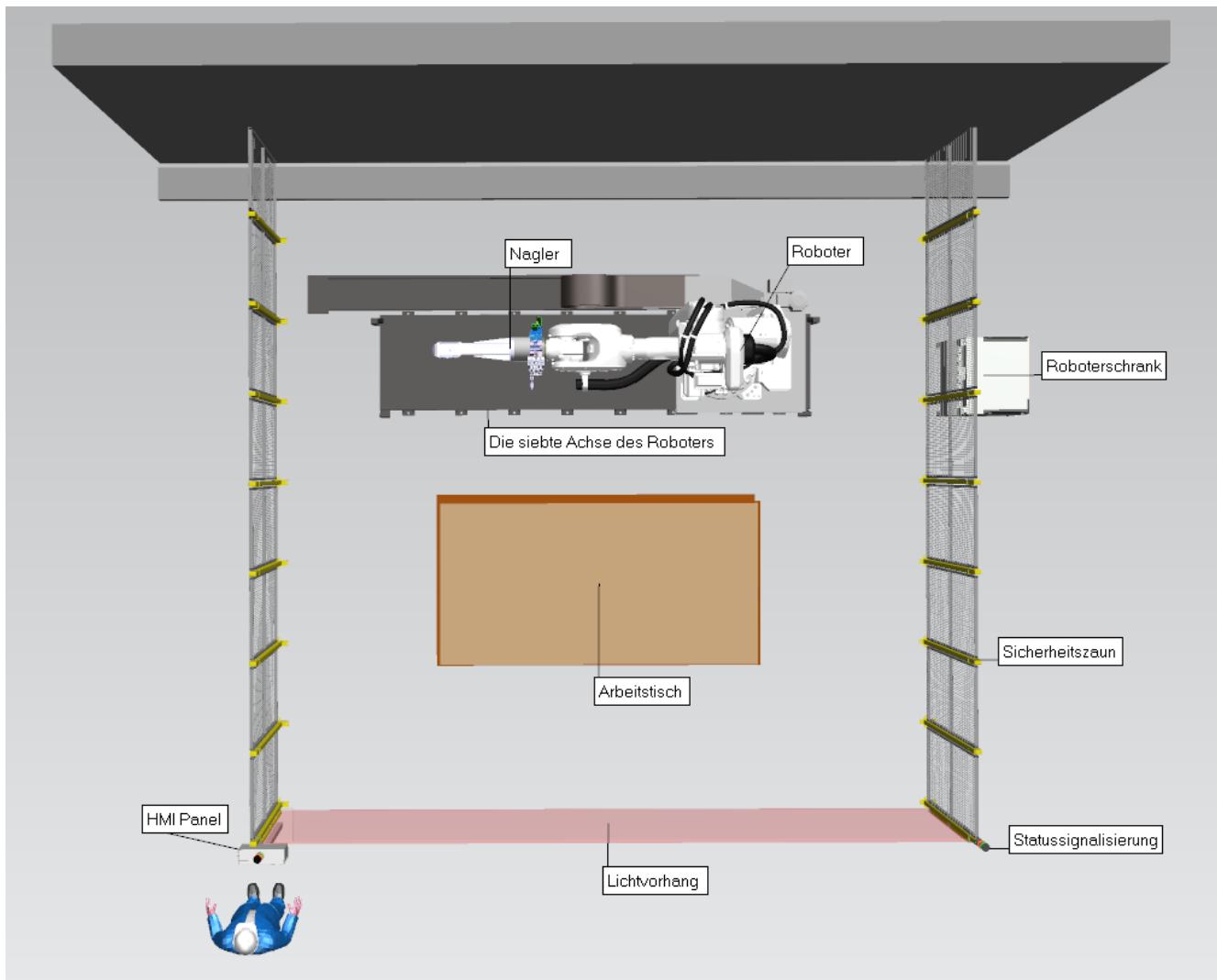


Abbildung des Konzeptstandes per Ende 2021

Im Laufe des Jahres 2022 wurde dann ein prototypischer Aufbau vorgenommen und es schlossen sich Testphasen an, die mit verschiedenen Arbeitstischen und Nagelgeräten sowie anderen Variationen an Hard- und Software im Zeitablauf jeweils auf Verbesserungen oder Schwachstellen analysiert und sukzessive optimiert wurden.

Gegen Ende der Projektlaufzeit wurde eine intensive Testreihe mit seitens Werner Kuhlmann GmbH beschafftem Holz in verschiedenen Qualitäten auf der Testanlage gefahren.

Parallel bestand der Schwerpunkt bei uns in den IT-Schnittstellen, bzw. Datenübergabe.

Die Datenstationen, zu denen jeweils eine reibungslose Übergabe sichergestellt werden muss, sind Cratemaker Office, CrateRobo Fertigung, User Interface Robo und Robo Station.

Die Robostation wurde als solche im Konzept bereits integriert, da sie als zukunftsfähige Lösung später den Anschluss mehrerer Roboter ermöglichen wird.

Bei der Datenübergabe hat uns die Fertigmeldung des Robo an Cratemaker lange herausgefordert. Nur durch die Fertigmeldung ist es möglich, einen vollständigen, gesicherten Ablauf zu gewährleisten.

4.2 Auftretende Herausforderungen

Bei der Erarbeitung des Ergebnisses zeigten sich jedoch erwartungsgemäß viele kleinere Herausforderungen im Detail. Ohne die Entwicklungsarbeit, die gemeinsame Konzeption durch zwei jeweilige Fachleute, und die umfangreichen Tests „am Nageltisch“ wäre das Entwicklungsziel nicht zu erreichen gewesen. Ein mittelständisches Unternehmen der Branche allein wäre ohne öffentliche Mittel mit so einer Entwicklung finanziell und kapazitätsmäßig überfordert.

4.2.1 Störquellen

- Bretter dürfen nicht schräg/gedreht oder krumm sein
 - Krumm -> Nagel trifft das Holz nicht oder es wird gespalten, da der Nagel am Rand eintritt
 - Schräg -> Es wurden sogenannte Sicherheitsschüsse definiert, bei denen der Roboter die Ecken der Fläche langsam anfährt und dann mit einem Gestell die Hölzer langsam herunterdrückt. Dadurch wurde aber nicht verhindert, dass sich beim Runterdrücken Leisten verschoben haben.

Jedoch wurde dadurch das Verschieben der Leisten durch die Nagelung verhindert. Das Gestell stellte sich als nicht praktikabel heraus, da zu dicht am Rand genagelt wurde und somit das Gestell nicht bis auf das Holz drücken konnte.
- Krummer Nageltisch
 - Der Nageltisch, der kurzfristig verfügbar war, hatte zu viele hohe Unebenheiten, so dass eine aufwändige Einstellung des Naglers nötig war.
 - Der spezielle für den Prototypen gebaute Nageltisch hatte diese Probleme nicht, daher ist dieser zwingend notwendig für eine saubere und schnelle Verarbeitung. Dieser Nageltisch verfügt über eine Stahlplatte, Beschichtung und Dämpfung.
- Nagelung von vielen Brettern
 - Das Problem war, dass bei vielen Brettern und langem Material die Bretter beim Nagelprozess verrutscht sind. Wenn die Bretter oben liegen und der Plattenwerkstoff unten, war das Verrutschen öfter zu sehen als andersherum. Das wurde durch Sicherheitsschüsse in den Ecken des Produkts verhindert. Dadurch war ein Rahmen fixiert, der dann die Bretter am Verrutschen hinderte.
- Nageltyp und Winkel
 - Der Winkel ist abhängig vom Nageltyp. Wenn der Nagel ein Nietnagel ist, muss der Winkel entsprechend sein, damit dieser sich beim Auftreffen auf den Tisch wieder in den Plattenwerkstoff biegt.

Bei Rillennägeln muss die entsprechende Länge genutzt werden, damit nicht der Nagel auf den Tisch kommt. Allerdings haben Tests gezeigt, dass hier nur das Problem auftritt, dass die Beschichtung des Tisches darunter leidet, jedoch nicht mehr als beim Nietnagel.

- Naglerwechsler, um Ablauf nicht auszubremsen
 - Da der Nagler nur eine bestimmte Anzahl von Nägeln mit sich trägt, muss der Roboter während des Prozesses einen neuen Nagler mit vollem Magazin selbstständig tauschen können. Dies findet im einem Sicherheitskäfig statt, der von der Steuereinheit des Roboters entsprechend freigegeben wird. Wenn ein Mensch die Magazine befüllt, kann der Roboter nicht in diesen Bereich fahren.

4.2.2 Sicherheitskonzept

- Naglerwechsel
 - Wenn ein Mensch die Magazine im Sicherheitskäfig befüllt, kann der Roboter nicht in diesen Bereich fahren.
- Nagelprozess
 - Es werden Bereiche definiert, die überwacht werden und nicht betreten werden dürfen. Wenn dieser Bereich während des Nagelprozesses betreten wird, stoppt der Roboter mit der Arbeit. Der Mensch kann den Nagelprozess nur von außen starten.

4.2.3 Laserdarstellung zur Positionierung

Es wurde mehrere Systeme geprüft und ausprobiert. Allerdings waren diese dann viel zu teuer oder die Leistung war zu schlecht. Jedoch kann die Funktion der Darstellung auch durch gleiche Abstände relativ einfach gewährleistet werden. Das wird durch ein Brett in bestimmter Länge erreicht. Dieses Brett wird beim Sägen mitgeschnitten.

4.2.3 Schnittstellen

Es gibt folgende Schnittstellen

- o Cratemaker Office zu CrateRobo Anwendung -> Datenbank
- o CrateRobo Anwendung zu UserInterface am Robo -> Datenbank
- o UserInterface am Robo zum Roboter – BenThor

4.2.4 Naglerauswahl

Bedingt durch die Probleme der Beschaffung mussten wir zwischen der Entwicklungs- / und Testphase auf einen anderen Nagler umsteigen.

Bedingt durch den Nagler hat sich die Steuerung/ Schnittstelle Robo Nagler wieder komplett geändert.

Durch den neuen Nagler entstanden Probleme beim Nageln, weil auch der Nageltyp nicht störungsfrei lief.

Nägel standen quer oder die Drahtverbindung im Magazin ist gerissen, wodurch dann wieder die Nägel im Magazin quer lagen und nicht weiterverarbeitet werden konnten.

Die Abstände der Nägel waren auch andere als von CrateRobo vorgeben.

Nagelköpfe wurden beim Nageln abgerissen, da der Austritt des Nagels langsamer war und die Bewegung zur nächsten Nagelposition zu früh eingeleitet wurde.

4.2.5 Optimierung Nagelbild

Das Nagelbild/ Nagelreihenfolge beeinflusst entscheidend die Geschwindigkeit des Roboters in der Abarbeitung.

Der erste naheliegende Versuch, der auf einer Nagelung durch den Menschen basiert, ist für den Roboter ungünstiger, da dieser Zickzack fährt und zu viele Bewegungen ausführt, worunter die Geschwindigkeit leidet.

Der nächste Versuch war, eine Linie zu nageln, was schneller war, aber der Rückweg zur Ausgangsposition für die zweite Reihe im ZickZack Muster wurde nicht genagelt.

Hier wurde dann im nächsten Schritt beim Zurückfahren auch noch genagelt. Wodurch sich die zurückgelegte Entfernung ohne Nagelung reduzierte.

Weitere Optimierungen sind möglich, wenn das Nagelbild in „Kreise“ aufgeteilt wird, wodurch die Leerfahrt verringert wird.

4.2.6 Testumgebung

- Der erste kostenlose Tisch hat gezeigt, dass ein unebener Tisch sehr viele Probleme verursacht, da der Roboter sich mit dem Nagler nur 5mm über das Material bewegt. Da das Holz nicht 100% gerade ist, führen solche Unebenheiten dazu, dass der Roboter an das Holz, bei Bewegung, stößt und somit alles verschiebt
- Der neue Tisch war gerade und größer, wodurch ein störungsfreies Arbeiten möglich war.
- Es wurden verschiedene Größen ausprobiert
- Es wurden verschiedene Nageltypen ausprobiert

- Probleme traten auf, als die komplette Dimension des Tisches genutzt wurde, da hier die maximale Länge des Roboterarms nicht ausreichte.

Daher musste hier die Programmierung der 7. Achse umgesetzt werden.

- Die Anzahl der Nägel, welche innerhalb einer Sekunde geschossen werden können, wurde ermittelt, allerdings war dann zu sehen, dass die Druckluft nicht schnell genug vom Kompressor zum Nagler kam. Dadurch wurden die Nägel nicht komplett eingetrieben. Dieses Problem konnte mit einem Behälter am Roboterarm, der Druckluft puffert, gelöst werden.

4.2.7 Troubleshooting

- Wenn Probleme während des Nagelns auftreten, haben wir uns dazu entschieden, das genagelte Produkt zu verwerfen und nicht das Problem zu beheben und an einer Position weiterzuarbeiten. Dies basiert auf der Hypothese, dass wir uns in einem Zustand befinden, in dem wir nicht zu 100% alle Parameter kennen, um einen reibungslosen Ablauf zu gewährleisten.

Entweder wird das Produkt nochmal komplett neu genagelt oder der Mensch nagelt das Produkt manuell zu Ende.

- Ganz dringende Aufträge können die Planung durchkreuzen. Man will sich dann die Flexibilität durch einen Roboter nicht nehmen lassen. Daher wurde bei CrateRobo die Möglichkeit geschaffen, dass die Reihenfolge im laufenden Betrieb geändert werden kann.

5. Erzieltes Ergebnis

Zur Darstellung des Ergebnisses greifen wir auf die [Berichtsunterlagen von BENTHOR](#) zurück.

Der Schlussbericht wird hier auszugsweise und aus dem Tschechischen übersetzten Version wieder gegeben: (Blaue Markierung des Textes)

1. Sicherheitskonzept

- Das Sicherheitskonzept einer überlagerten Vorrichtung wird im Folgenden beschrieben:
- Die Positionierung des Roboters ist mit Hilfe der ABB Safemove Software nicht möglich, wenn der Maschinenbediener die Nägel im Magazin auffüllt
- Das Starten des vollautomatischen Modus ist im Testmodus nicht möglich.
- Die Positionierung des Roboters ist nur im manuellen Modus und im Vollgeschwindigkeitsmodus möglich.
- Im manuellen Modus wird der Roboterarbeitsplatz immer von geschultem Personal bedient.
- Es darf sich niemand im Bereich des gesamten Roboterarbeitsplatzes aufhalten, wenn der Roboterantrieb gestartet wird.
- Der Zutritt zum Roboterarbeitsplatz wird durch Sicherheitslichtschranken überwacht.
- Die Abgabe des Nagels ist nur möglich, wenn ein geschulter Bediener gleichzeitig die Zustimmungstaste auf dem Roboterbedienfeld drückt.
- Die Zuführung der Nägel ist nur in einem vorbestimmten Bereich möglich, wenn sich der Zuführkopf in unmittelbarer Nähe des zu verbindenden Materials befindet und der zugeführte Nagel in dieses Material ausgerichtet wird. Dies wird mit Hilfe der ABB Safemove Software möglich sein.
- Der Arbeitsbereich des Roboters wird durch die ABB Safemove Software abgegrenzt, die es dem Roboter nicht erlaubt, sich außerhalb dieses abgegrenzten Bereichs zu bewegen.
- Der Roboter darf die Ausrichtung des beweglichen Kopfes nicht anders als senkrecht zum Boden ändern.

2. Betriebs-/Steuerungskonzept

Im Folgenden wird das Betriebs-/Steuerungskonzept des Aufbaus beschrieben. Das Bedienkonzept befindet sich noch in der Entwicklungsphase, es handelt sich noch um eine theoretische Entwicklung, die zunächst in der Proof of Concept-Phase getestet werden muss. Auf Grundlage dieser Ergebnisse wird das Bedienkonzept modifiziert.

- Der Bediener legt das benötigte Material in den richtigen Dimensionen auf den Nageltisch.
- Der Roboter empfängt das Programm von der SPS.
- Der Roboter prüft, dass er mindestens 20 Nägel im Magazin hat.
- Der Roboter liefert die Koordinaten der Zielposition, die er in den Speicher lädt. Während der Roboter in die Koordinaten einer Position des Nagels einfährt, liest er die nächste Position vor den Koordinaten ein, so dass er sich reibungslos zwischen den verschiedenen Positionen durch die Koordinaten bewegen kann, ohne anzuhalten.

- Wenn der Nagler während des Nagelns leer wird, stoppt der Roboter das Programm, fährt zum vorgesehenen Platz für einen neuen aufgefüllten Nagler und die HMI zeigt eine Meldung an, dass ein neuer Nagler mit aufgefülltem Magazin benötigt wird. Der Bediener bestätigt den Austausch des Magazins auf der HMI, der Roboter kehrt zum laufenden Programm zurück und führt es zu Ende.
- Kommt von der SPS ein Signal an den Roboter, dass es sich nach dem Beladen der ersten Nägel um die Nagelung der so genannten Fixierbretter handelt, die die Außenbretter an der Achsplatte fixieren, fährt er diese Positionen von oben an und fährt nach dem Beladen wieder ab, damit der Naglerkopf das Material bei seinen Unebenheiten nicht erwischt.
- Nachdem das gesamte Produkt genagelt wurde, fährt der Roboter zurück in die Ausgangsposition.
- Bei Bedarf kann der Roboter über die HMI in die Serviceposition gefahren werden, wo der Roboter den Entnahmekopf in eine Position fährt, in der eine bequeme Wartung der Konstruktion möglich ist.
- Für die Fehlersuche können Funktionen wie das Fahren der Bahn ohne Nageln oder die Simulation eines Anfahrens des Naglers in die Position der spezifischen Koordinaten, aber ohne Nägel integriert werden.

3. Beschreibung der Schnittstelle

Im folgenden Diagramm wird das Konzept des Datenflusses - eine Software-Schnittstelle für die Kommunikation zwischen Datenbanken, SPS und Roboter beschrieben.

4. Beschreibung des Datenflusses

Die Modelldatenbank der Konstruktionsabteilung speichert die Daten aller Modelle, die hergestellt werden können. Die Modelle werden vom Konstrukteur aus seiner Modellierungssoftware in diese Datenbank hochgeladen.

Die Daten der Modelle, die vom Bediener für die Produktion ausgewählt werden können, werden in der Datenbank der Modelle für die Produktion gespeichert. Die Daten sind vom gleichen Typ wie in der Datenbank der Konstruktionsabteilung.

Der Typ des zu produzierenden Modells wird im PC-Programm ausgewählt. Diese Informationen werden in die SPS eingespeist und auf der HMI angezeigt.

Nach Erhalt eines Signals von der SPS liest das Programm die Modelldaten aus der Datenbank, berechnet die Kofaktoren, holt das Haus ab und schreibt die Daten in die SPS. Nach dem Signal von der SPS schreibt das Programm Informationen über die erfolgreiche Produktion in die Datenbank. Die SPS kommuniziert mit dem Programm im PC und der HMI, stellt den Prozess sicher und sorgt dafür, dass der Roboter die Koordinaten aus dem Programm im PC ausführt.

Die HMI zeigt den ausgewählten Modelltyp und die Prozesssteuerung an. Ablauf:

1. Der Bediener wählt im PC-Programm die Art des herzustellenden Modells aus und wählt auf der HMI den Start des Prozesses. Die SPS gibt diese Informationen an das Programm auf dem PC weiter.
2. Das PC-Programm liest die Modelldaten aus der Datenbank und verarbeitet sie. Das Ergebnis der Verarbeitung sind die Kofaktoren und die Felder von Nägeln.
3. Nach dem Empfang der Daten vom Programm sendet die SPS die Koordinaten der einzelnen Nägel an den Roboter und erhält Daten über die Ausführung der Operation.
4. Nach Abschluss der Produktion gibt die SPS ein Signal an das Programm im PC, das die Informationen über die erfolgreiche Produktion in die Datenbank der für die Produktion vorgesehenen Modelle schreibt.

5. Entwicklung von Datenbanken

Für die Zwecke des Projekts wurde eine Software entwickelt, die Daten aus der Datenbank des Kunden liest. Die Daten werden vom Kunden mit seiner Modellierungssoftware hochgeladen. Die Anwendung liest eine Warteschlange von Aufgaben aus der Datenbank des Kunden und zeichnet eine Produktansicht auf der Grundlage dieser Daten. Das Lesen der Daten erfolgt nach dem ersten Start des Programms oder nach Erhalt eines Signals von der SPS über die Beendigung des vorherigen Auftrags. Für den aktuellen Auftrag schreibt der Webserver die Daten und die Konfiguration des Hauses an die SPS und die allgemeinen Informationen über die Speicherung an die HMI. Das HMI generiert aus den Daten eine 3D-Visualisierung des Produkts. Nach Abschluss der Produktion einzelner Teile oder wenn die HMI aufgefordert wird, die Produktion zu unterbrechen, schreibt der Webserver die Informationen in die Kundendatenbank zurück.

6. Analyse und Stabilitätstests

Im Rahmen des Projekts wurden zwei automatische Coilnagler getestet – eine Version von Finny Toolmatic (CW350.6001) und ein Coilnagler von Beck (CN15W-90). Die Maschinen wurden hinsichtlich folgender Parameter verglichen:

1. Sicherheit
2. Prozessstabilität
3. Geschwindigkeit des Nagelns
4. Arbeitsbereich
5. Verfügbarkeit der Ersatzteillieferung

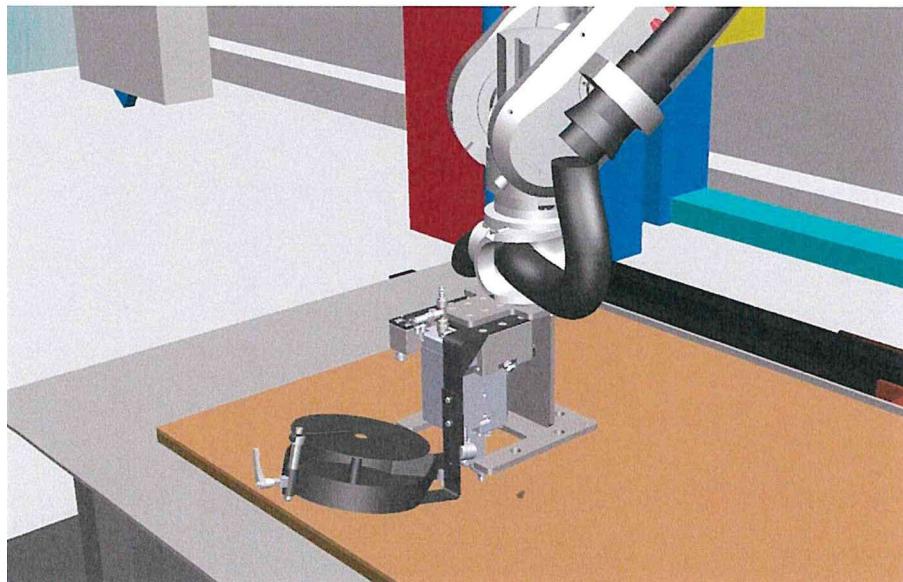
Bei den Tests erzielte die Toolmatic bessere Ergebnisse, insbesondere aufgrund der besseren Konstruktion des Applikationsdorns. Dies führte zu einem viel größeren Bewegungsbereich des Roboters, in dem es möglich war, die Nägel aus verschiedenen Winkeln anzubringen, unabhängig von der Neigung der Nagel-Maschine gegenüber dem Arbeitstisch. Leider mussten wir uns aufgrund der geringen Liefermenge des Naglers selbst und der Ersatzteile für die Variante Beck entscheiden.

7. Entwicklung des Abstreiferhalters inklusive Wechselsystem

Um die Entwicklung zu beginnen, mussten wir die Art des Roboters, die Größe des Arbeitsbereichs und die maximalen Nagelkoordinaten definieren. Wegen der Reichweite des Roboters, mussten wir den Adapter des Gehäuses um 90° drehen - mit dem Gehäuse senkrecht zur Werkbank. Dieser Winkel ermöglichte es, alle Nagelpunkte zu erreichen, und der Roboter musste seine Konfiguration während des gesamten Nagel-Prozesses nicht ändern.

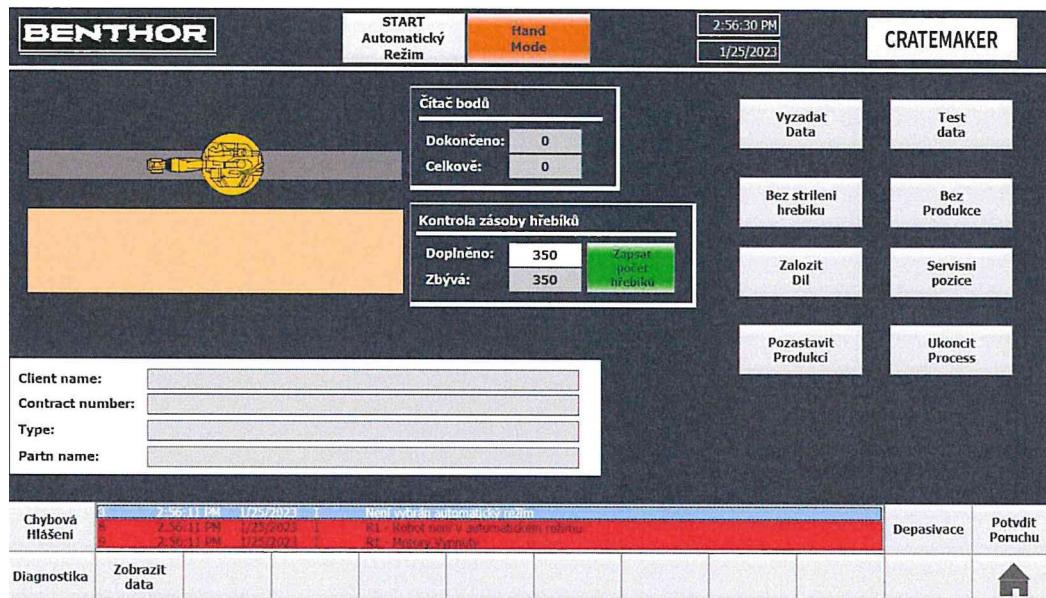
Diese Erkenntnisse aus der Simulation wurden an das Konstruktionsbüro weitergegeben, das auf der Grundlage unserer Informationen einen Entwurf für den Slipper erstellte, der dann gefertigt wurde.

Das Ersatzsystem wurde aus finanziellen Gründen nicht realisiert.



8. Entwicklung und Test von Schnittstellen

Zunächst galt es, die Anforderungen an die Schnittstelle zu analysieren, z. B. Intuitivität, grafische Darstellung und Bedienelemente. Anschließend musste eine Schnittstelle entworfen werden, die benutzerfreundlich ist und den Anforderungen der Analyse gerecht wird. Die Schnittstelle ist intuitiv und einfach zu bedienen, um Bedienfehler zu minimieren. Sie umfasst eine grafische Darstellung des Roboters, Bedienelemente wie Schaltflächen oder Regale zur Eingabe von Parametern, mit denen der Benutzer den Fertigungsprozess steuern kann. Die Schnittstelle ermöglicht auch die Überwachung des Roboterstatus und der gewünschten Vorgänge, z. B. einen Arbeitsvorrat oder Funktionen zur Überwachung und Meldung von Fehlern.



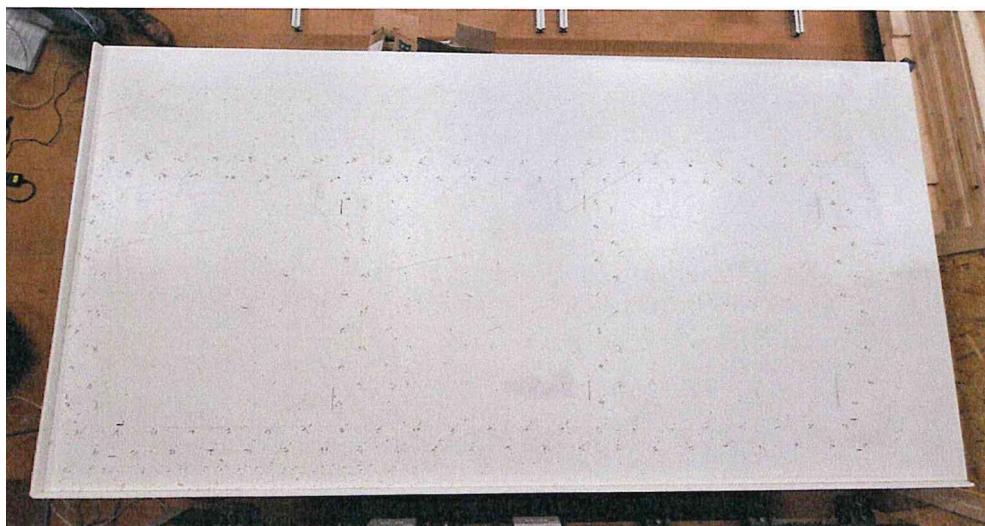
9. Die Umsetzung des Bedienungskonzepts

Im Folgenden wird das umgesetzte Bedienungskonzept des Prototypen beschrieben.

- Der Bediener liest über das HMI-Panel die Daten aus dem Arbeitsvorrat und legt gemäß der Zeichnungsdokumentation für den jeweiligen Auftrag das benötigte Material in den richtigen Abmessungen auf den Kommissioniertisch.
- Nachdem das Material geladen wurde, bestätigt er diesen Vorgang über das HMI-Panel und der Roboter erhält das Programm von der SPS. 3.
- Der Roboter liefert die Koordinaten der Position des XYZ, die er in den Speicher lädt. Während der Roboter in die Koordinaten einer Position des Nagels einfährt, liest er die nächste Position vor den Koordinaten, so dass er zwischen den einzelnen Koordinaten reibungslos fahren kann, ohne anzuhalten.
- Wenn der Nagler keine Nägel mehr hat, führt der Roboter das Programm aus, erreicht den vorgesehenen Platz für einen neuen Nagel und die HMI zeigt eine Meldung an, dass ein neuer Nagler mit gefülltem Magazin benötigt wird. Der Austausch des

Trichters wird vom Bediener auf der HMI bestätigt, der Roboter kehrt zum laufenden Programm zurück und führt es zu Ende.

5. Kommt von der SPS ein Signal an den Roboter, dass es sich bei den ersten Nägeln um die so genannten Fixiernägel handelt, die die Außenbretter an der OSB-Platte fixieren, fährt er diese Positionen von oben an und fährt nach dem Laden der Nägel wieder ab, damit der Nagelkopf das Material nicht in den Unebenheiten des Materials erwischt.
6. Nachdem das gesamte Produkt genagelt wurde, fährt der Roboter zurück in die Ausgangsposition. Der Bediener darf den Produktionsbereich betreten, um das gefalzte Blech zu entfernen.
7. Im Bedarfsfall kann der Roboter durch Auswahl des HMI-Panels in die Serviceposition geschickt werden, wo er mit dem Spiralkopf in den Bereich fährt, in dem eine bequeme Wartung der Konstruktion möglich ist.
8. Für die Fehlersuche können Funktionen wie das Durchfahren der Bahn ohne die Nägel oder die Simulation der Anfahrs des Naglers in die spezifischen Koordinaten, aber ohne die Nägel, verwendet werden.





11. Erstellung und Test aller notwendigen Programme und Algorithmen

Um alle erforderlichen Programme und Algorithmen zu erstellen und zu testen, waren die folgenden Schritte erforderlich:

1. Analysieren Sie den Prozess der Nagelung und definieren Sie die Anforderungen.
2. Entwurf und Entwicklung von Algorithmen für die Bewegungsphysik von Robotern.
3. Entwurf und Entwicklung von Algorithmen für die Erkennung und Lokalisierung von Nagelproblemen (erst äußere Punkte fixieren, dann erst normal nageln)
4. Entwurf und Entwicklung von Algorithmen für die Planung der Roboterbahn (Trajektorie).
5. Entwurf und Entwicklung von Programmen zur Diagnose und Wartung des Roboters.
6. Entwurf und Entwicklung von Programmen (SafeMove) zum Schutz der Gesundheit und Sicherheit der Arbeiter.
7. Testen und Verifizieren der Funktionalität des Programms und des Algorithmus in einer Simulationsumgebung.
8. Die Validierung des Programms und des Algorithmus in einer realen Anwendung durchführen.

12. Einzelprüfung aller Prozesse

Prüfung der Funktionsfähigkeit des mechanischen Systems: Prüfung von mechanischen Teilen und Bewegungen wie Motoren, pneumatischen Systemen, Bremsen usw.

Funktionsprüfung der elektronischen Systeme: Testen von elektronischen Komponenten wie Sensoren, Aktoren, Steuereinheiten, etc.

Funktionsprüfung von Software: Prüfung von Software-Algorithmen, Steuerprogrammen und Benutzeroberflächen. Dazu gehören Tests der Funktionalität, Zuverlässigkeit, Sicherheit und Benutzerfreundlichkeit.

Sicherheitsprüfung: Prüfung von Maßnahmen und Systemen, die die Sicherheit des Betriebs der Anlage gewährleisten, wie z. B. Not-Aus-Schalter, Schutzvorrichtungen, Sicherheitssensoren, Überprüfung der Position der Maschine (es ist nicht möglich, außerhalb des definierten Raums zu harken, der Roboter muss immer senkrecht zum Produkt stehen), Überprüfung der Funktionsweise des Roboters usw.

Prüfung der Interaktion zwischen den einzelnen Prozessen. Dazu gehört die Prüfung der Bewegungskoordination, der Signalsynchronisation und der Zusammenarbeit zwischen den einzelnen Systemen.

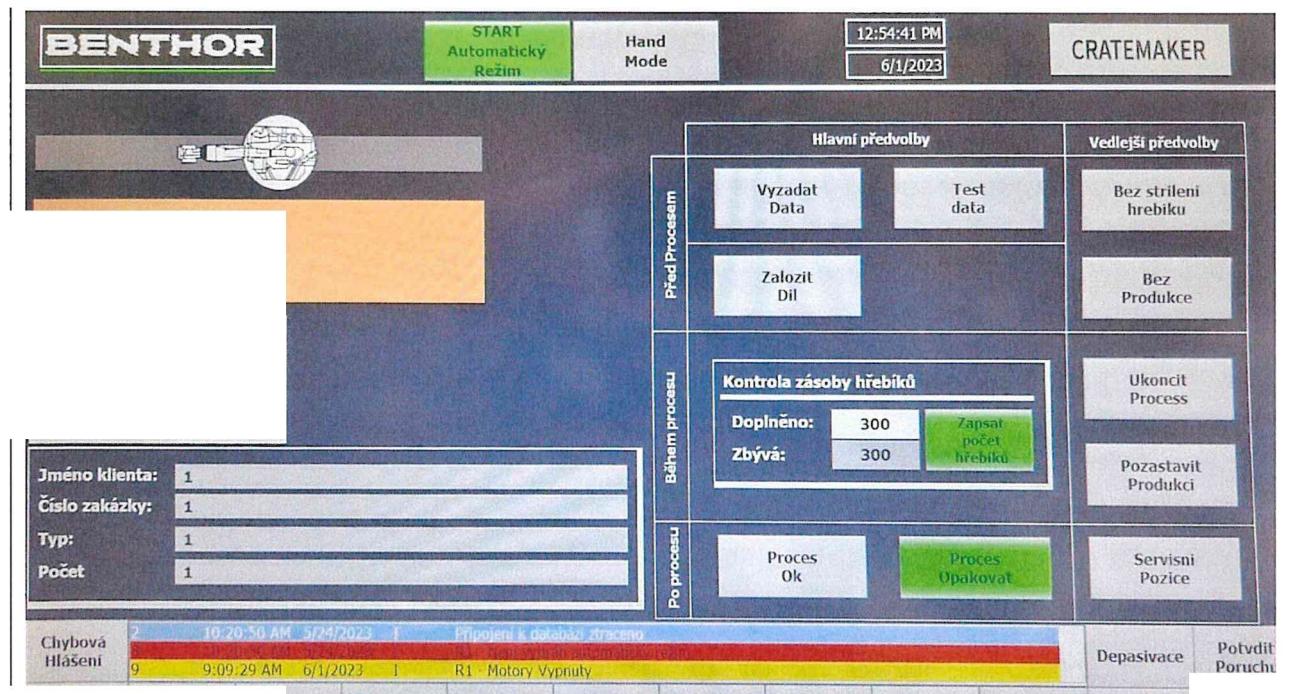
Bei diesen Beispielen handelt es sich nicht um eine Aufzählung aller möglichen Tests, die durchgeführt werden sollten. Jeder Test sollte auf der Grundlage der spezifischen Anforderungen und Spezifikationen einer bestimmten Anwendung oder eines bestimmten Systems konzipiert werden.

13. Überprüfung der Funktionsfähigkeit des gesamten Geräts

Im Rahmen unseres Projekts haben wir die Funktionalität unserer Nagel-Anlage getestet. Während der Tests haben wir überprüft, dass alle Komponenten des Systems korrekt und zuverlässig arbeiten und dass die Ergebnisse der Vernagelung den Anforderungen an Qualität, Effizienz und Zuverlässigkeit entsprechen. Alle Prozesse wurden getestet, vom Laden der Daten bis zur eigentlichen Kalibrierung. In der Praxis haben wir die Konstruktion unter verschiedenen Bedingungen und in unterschiedlichen Situationen getestet, einschließlich Tests an verschiedenen Materialarten oder unter allen möglichen Winkeln. Während der Tests sind uns mehrere kleinere Probleme aufgefallen, die wir während der Testphase identifiziert und korrigiert haben. Außerdem haben wir einige Verfahren verbessert, um sie noch effizienter und zuverlässiger zu machen. Insgesamt haben wir festgestellt, dass unsere Nagelungsausrüstung funktionstüchtig, zuverlässig und für den Einsatz in der Praxis bereit ist.

14. Funktionale HMI zur Bedienung des Geräts

Die HMI ist sehr intuitiv und einfach zu bedienen. Sie ist so konzipiert, dass die Benutzer schnell lernen können, die Schnittstelle zu nutzen und sie effizient zu steuern. Der Hauptbildschirm der HMI enthält alle notwendigen Informationen über den Status der Maschine und den Nagelvorgang. Der Benutzer kann die Parameter für das Nageln leicht eingeben und den Prozess in Echtzeit überwachen. Die HMI ermöglicht dem Benutzer auch den Zugriff auf Produktionsdaten und Statistiken zur einfachen Analyse des Produktionsprozesses. Unsere HMI ist so konzipiert, dass sie mit verschiedenen Plattformen und Betriebssystemen kompatibel ist. Sie ist auch in mehreren Sprachen verfügbar, um in verschiedenen Ländern und Sprachumgebungen eingesetzt werden zu können.



15. Testzelle bereit zur Präsentation des Systems

Die Testzelle enthält ein komplettes System für die Technologie der HF-Verarbeitung, mit dem verschiedene Tests an der Konstruktion und ihren Komponenten durchgeführt werden können. Zu den Tests gehören beispielsweise die Überprüfung der Funktionsfähigkeit des Motors, der Bremsen, der Sensoren, die Überprüfung der Genauigkeit und der Geschwindigkeit des Antriebs, Tests der Widerstandsfähigkeit des Geräts gegen Vibrationen oder Stöße und viele andere. Die Testzelle ist so konzipiert, dass sie schnell umgebaut werden kann, um neue Geräte zu testen oder sie potenziellen Kunden vorzustellen, und um realistische Arbeitsbedingungen zu demonstrieren. Auf diese Weise können unsere Kunden die Leistung unserer Geräte vor dem Kauf und der Installation testen und verifizieren.

6. Nutzen für das Unternehmen, insbesondere Verwertbarkeit des Ergebnisses

Die Werner Kuhlmann GmbH hatte durch das Projekt die Möglichkeit, ihr IT-Know-how und Automatisierungs-Know-how massiv auszubauen und dadurch ihre Position als Technologieführer in einer noch sehr handwerklich geprägten Branche zu stärken.

Da der digitale Datenfluss die Voraussetzung für die Roboteranlage darstellt, trägt die Entwicklung der Roboterzelle zur Stärkung von Cratemaker bei.

Das Projekt, bei dem bisher nur Umstellungen einer Kiste genagelt werden können, bildet die Basis, um Folgeprojekte für Böden, evtl. auch für Bretterkisten durchzuführen.

Obwohl mit einem Absatz dieser Anlagen zunächst in sehr überschaubaren Stückzahlen zu rechnen ist, profitiert die Werner Kuhlmann sowohl monetär von diesen Projekten, als auch dadurch, dass sie die installierte Basis ihrer Softwarelösung erhöht und die Kundenbeziehung zu Branchenunternehmen weiter festigt.

Als Zielmarkt hat sich inzwischen Skandinavien zusätzlich herauskristallisiert, 2-3 Pilotkunden werden hier betreut und werden hoffentlich eine Anlageninvestition tätigen.

Ausblick:

Mögliche weitere Innovationsschritte für die Werner Kuhlmann GmbH und ihre Partner wären:

- Anlage zum Nageln der Böden
- Bearbeitung von Bretterkisten anstelle der bisherigen Plattenwerkstoffe
- Weiterer Automatisierungsschritt mit 2. Roboter zum Auflegen
- KI-Anwendungen – Nutzung der „Kistehistorie“ als Datengrundlage

7. Zusammenarbeit mit anderen Stellen oder außerhalb des Verbundprojektes

Abgesehen davon, dass wir im Zuge der Spezifikation und Definition der Markterfordernisse intensiv mit potenziellen Anwenderbetrieben gearbeitet haben, hat keine Zusammenarbeit mit externen Stellen stattgefunden.

Intensiv war allerdings insgesamt im Projekt der Austausch mit Nagler-Herstellern, da die Steuerung und Abstimmung mit dem Nagler wie erwartet ein Hauptproblem des Projektes war.

8. Darstellung des während des Vorhabens bekannt gewordenen Fortschritts auf diesem Gebiet bei anderen Stellen

Zum Forschungsthema sind keine maßgeblichen Fortschritte an anderen Stellen bekannt geworden.

Wie bei der Projektvorbereitung bereits dokumentiert, ist die Branche der Transportkistenhersteller wohl zu überschaubar, als dass sich namhafte Forschungseinrichtungen, Institute oder Konsortien mit der Herstellung von Transportkisten in Losgröße 1 als Gegenstand der Automatisierung intensiv beschäftigen würden.

Die Erfahrungen mit Benthor als Partner, die völlig fachfremd bzgl. der Kistenherstellung und Holzverarbeitung waren, zeigten, dass die spezielle Applikation durchaus ihre besonderen Anforderungen stellt und auch ein erfahrener Automatisierer die Probleme nicht leicht lösen und auch nicht in Gänze vorhersehen kann.

9. Veröffentlichungen, Vorträge, Referate, etc

Wir nutzen Messen und Verbandsveranstaltungen, um interessiertem Fachpublikum, Multiplikatoren und Zielkunden unsere Ergebnisse vorzustellen.

Zu nennen sind hier

- die Weinig Dimter Verpackertage im September 2023,
- die HPE Jahresversammlung und Juniorentreffen,
- die Fachpack 2024 und FEFPEB Congress 2024 (FEFPEB = Europäischer Verband der Holzpackmittel- und Palettenhersteller).