

I. Definition, Entwicklung und Analyse einer flexiblen Roboterzelle für die Holzverarbeitung mit dynamischen und automatisierten Systemverhalten.

Josef Gigler

holz-design Gigler GmbH & Co.KG Winkl 2 83115 Neubuurn

Tel.: +49 8035 963 9080

E-Mail: j.gigler@holz-design-gigler.de

<http://holz-design-gigler.de>

Im Duell des digitalen Fortschritts ist mittlerweile ein regelrechter Wettstreit „Digital gegen Analog, Technik gegen Sensorik, Computer gegen Mensch“ entbrannt und somit auch die Frage, welche Fähigkeiten wir erlernen müssen. Aufgrund der komplexen Prozesse überblicken wir oft die Abläufe nicht mehr und können nur noch bedingt eingreifen. Wir werden immer mehr vom individuellen Gestalter, Planer, Designer zum reinen Benutzer der Maschinen und Anwender von Softwarelösungen. Die Hoheit über die Prozesse hatte bisher immer noch der Mensch und diese sollten wir auch nicht abgeben sondern vielmehr versuchen, die Prozessschritte im Ablauf zu verstehen. Wenn wir das Werkzeug der gesamten CAD-CAM-Roboter-Prozesskette verstehen, werden wir noch nicht da gewesene Gestaltungs- und Produktionsmöglichkeiten, Flexibilitätsteigerung, Belastungsreduzierung, Ressourcenminimierung und nachhaltige Arbeitsplätze haben. Dies war Motivation genug für Josef Gigler ein „Forschungs- und Entwicklungscenter für Robotik u. generative Prozessalgorithmik sowie deren Anwendungen“ zu errichten.

Schlüsselwörter: Prozess, Algorithmus, Automatisierung, Robotik, Holzverarbeitung, generativ, Parametrische Modellierung, flexibel, Gigler Josef, holz-design Gigler

Gesamtziel des Vorhabens

Die Grundidee ist, dass mit einer flexiblen Roboter-Produktionszelle in einem holzbearbeitenden Betrieb alle erdenklichen Kundenanforderungen abgedeckt werden können und somit der Maschinenpark in einem Unternehmen auf ein Minimum reduziert werden kann (vgl. Abb. 1). Der Einsatz von Industrierobotern (IR) sollte sich für eine flexible Automatisierung in Losgröße 1 eignen. IR-Roboter werden meist in der Automobilbranche und in der Verpackungsindustrie für sehr häufig wiederkehrende Prozesse, wie Beladung und zum Handling, eingesetzt. Dafür werden diese meist im Teach-In-Verfahren programmiert bzw. in die Mastersteuerung der gesamten Anlage implementiert. Die CAD-CAM-RC-Prozesskette ist derzeit jedoch nicht flexibel genug und auf typische Werkzeuge des Holzhandwerks ausgerichtet (beispielsweise Säge, Hobel, Schleifmaschine, Kantenanleim). Somit sind die Hindernisse für den Einsatz von IR zur (Holz-) Bearbeitung gerade für kleine und mittelständische Unternehmen aufgrund der komplexen Toolchain zu hoch.

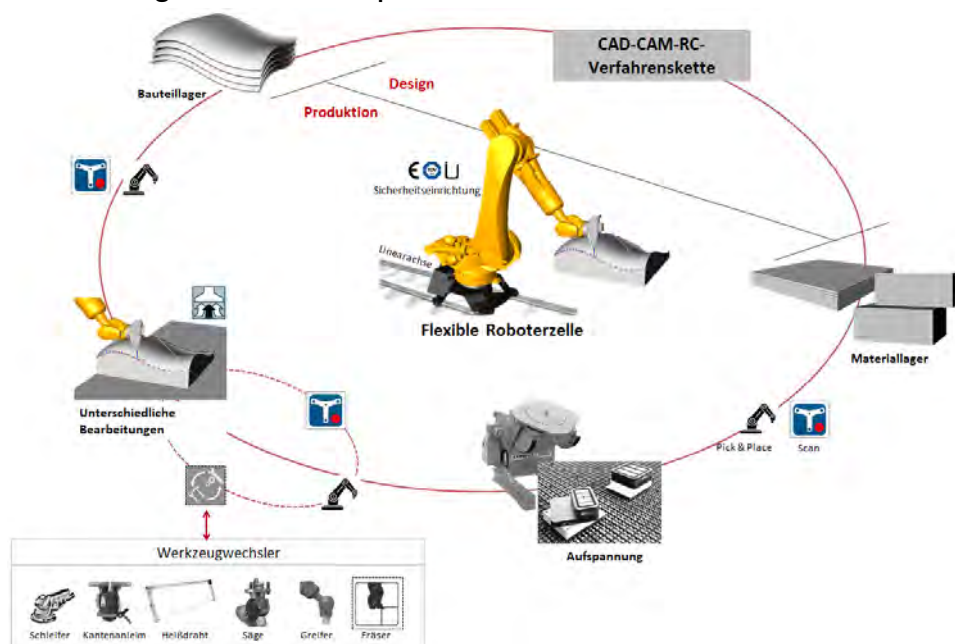


Abbildung 1: Flexible Roboterzelle (Quelle: Holz-Design Gigler GmbH & Co.KG)

Es wird eine Komplexitätsreduktion bei der Programmierung von flexiblen Roboteranlagen angestrebt. In diesem Zusammenhang sollen bestehende Programmiersysteme um die fehlenden Strategien zur automatisierten Anwendung von Handbearbeitungswerkzeugen erweitert, sowie entsprechende Anlagenkonzepte (Roboter-, Aufspann-, Absaug- und Messsysteme) entlang der Prozesskette entwickelt und umgesetzt werden. Man erwartet sich durch den Einsatz eines flexiblen Bearbeitungsroboters mit automatisiertem und selbstadaptierendem Systemverhalten eine entscheidende Verbesserung der Bearbeitungsqualität, der Flexibilität und Individualität bei gleichzeitiger Reduzie-

rung des Kosten- und Investitionsaufwands im Vergleich zu konventionellen Bearbeitungsmethoden. Weiterhin geht man davon aus, dass sich die Prozesseffizienz und Wettbewerbsfähigkeit eines Unternehmens unter Belastungsreduzierung der Mitarbeiter steigern lässt.

1.1 Voraussetzungen unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Durch die komplexen und vielseitigen Anforderungen in der Holzbranche, die Anforderungen an den anlagenspezifischen individuellen Maschinenbau, der Steuerungs- und Sicherheitstechnik einer Anlage, der verschiedenen Werkzeug- und Bearbeitungsgeometrien, sowie der roboterspezifischen Steuerungseigenschaften und der vielen datenspezifischen Schnittstellen war es nötig, ein sehr großes Cluster mit den Spezialisten der einzelnen Schwerpunkte zu bilden.

holz-design Gigler hat viele Jahre Erfahrung bei der Entwicklung digitaler, praxisgerechter Produktionsprozesse in der Holzbranche und hat bereits einige Systeme erfolgreich eingeführt bzw. setzt diese im eigenen Betrieb wirtschaftlich ein. Dies wurde auch immer in der Betreuung von Diplomarbeiten in der Ausbildung, bei Vorträgen, bei Betriebsberatungen von Berufskollegen und Presseberichten veröffentlicht. Durch die praxisnahe Entwicklung ist die Schnittstelle von der hochtechnologischen, wissenschaftlichen Forschungstätigkeit zu einem praxisgerechten Produkt und dessen Einführung im eigenen Betrieb bzw. der gesamten Holzbranche gewährleistet.

Durch das interdisziplinäre, umfangreiche Basiswissen von holt-design Gigler konnten die Anforderungen und die Beschreibung der Prozesskette entsprechen verständlich und praxisgerecht an die Projektpartner übertragen und vermittelt werden.

1.2 Planung und Ablauf des Vorhabens.

1.2.1 Es wurden die Werkstückgrößen und Materialien, Mengengerüste und Kennzahlen, Geometrien, geforderte Qualität sowie Prozessfolgen in Form von Lastenheften zur Weitergabe digitaler Prozesse und deren Anforderungen an eine flexible Roboterzelle erarbeitet. Die technologischen und organisatorischen Randbedingungen zur Ableitung von geeigneten Roboterposen und Werkstückführung wurden erarbeitet.

1.2.2 Entwicklung von Strategien zum Führen von Werkzeugen mit einem Industrieroboter. Analyse von prozessspezifischen Eigenschaften der Fertigungsverfahren, Ableitung von Werkzeugführungsstrategien, Integration der Strategien in ein CAM-System, Konzeption von Schnittstellen zu den Werkzeugen und die Identifikation von Indikatoren zur Prozessüberwachung.

1.2.3 Entwicklung eines effektiven Absaugsystems für den Aufbau und die Validierung der Prototypenzelle. Experimentelle Untersuchung zum Späneflug,

Entwurf und Konstruktion von Prototypen. Ausarbeitung und Optimierung einer Absaughaube.

1.2.4 Erstellung eines flexiblen Aufspannkonzpts für den vorgesehenen Einsatzbereich in der individualisierten Fertigung von großformatigen Holzbauteilen. Verifikation der Tauglichkeit des Prototyps. Das Aufspannkonzpt erlaubt dabei eine prozesssichere Fixierung möglichst vieler verschiedener Werkstückgeometrien.

1.2.5 Auswahl des geeigneten Roboters auf Basis der bereits erarbeiteten Anforderungen inkl. der Gesamtperipherie. Erstellung eines virtuellen Anlagensystemlayouts für die Zelle und die virtuelle Inbetriebnahme.

1.2.6 Konzeptionierung und Verifikation der Gesamtintegration und die Entwicklung einer werkstattorientierten Programmieroberfläche. Integration von Planungsmethodiken, der Robotereigenschaften und der Werkzeugverwaltung. Definition und Verifikation der Schnittstellen zwischen den Softwaremodulen. Definition von Ausgabedaten und die Anbindung der Hardware.

1.2.7 Aufbau und Zusammenführung der gesamten Demonstratoranlage und Aufbau der durchgängigen Prozesskette. Einbindung der weiteren Arbeitsstationen, Berücksichtigung der Anforderungen an das Spannsystem und Einbindung der Sicherheitstechnik und der CAD-CAM-Schnittstellen. Die Abstimmung der Einzelkomponenten wird evaluiert und bewertet.

1.3 Das erzielte Ergebnis.

1.3.1 Es wurde das gemeinsame Zielbild anhand von Vorstudien an einem praxisgerechten Referenzprodukt erarbeitet. Das Lastenheft zur IT-Systemlandschaft und der Roboterzelle in einer umfangreichen, klar gegliederten Dokumentation verständlich zur Verfügung gestellt. Dies war die Basis der Aufgabenstellung an die Projektbeteiligten und ein „roter Faden“ an dem sich die Projektpartner orientieren konnten.

Es liegt ein ausgearbeitetes, repräsentatives Produkt vor, von dem Werkstückgrößen und Materialien, Mengengerüste, Geometrien, geforderte Qualität, Prozessfolgen sowie wirtschaftliche Kennzahlen festgelegt sind. Dieses wurde gefertigt und steht für die zukünftige Öffentlichkeitsarbeit zur Verfügung. Weiter sind differenzierte Anforderungen definiert, die die unterschiedlichen Bearbeitungsmethoden mit dem Roboter und materialabhängige Bearbeitungsgenauigkeiten beinhalten.

Lastenheft für eine flexible Roboterzelle wurde erstellt.

Es können Aussagen zu verschiedenen Prozesskräften (Zerspankräfte, Schnittkräfte, Haltekräfte etc.) gemacht werden, die im Wesentlichen durch das Material und die Bearbeitungsmethode bestimmt werden. Weiterhin können geeignete Roboterposen bestimmt werden, die maßgeblich für die zu erwartende Bearbeitungsqualität sind.

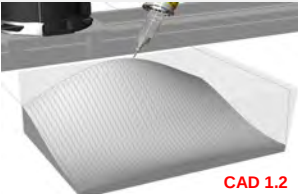
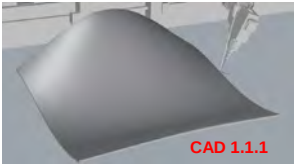
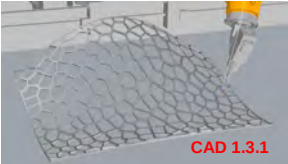
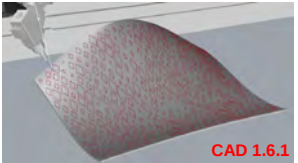
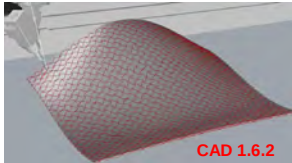
Bearbeitungsprozess		Fräsen			
Flächenbearbeitung					
_ 5-Achs-Schrupp- und Schlichtbearbeitungen (Stellachs- und Simultanbearbeitung)				CAD 1.2 CAD 7.1	
Konturen und Ausschnitte					
_ 5-Achs-Kontur- und Flächenbearbeitungen				CAD 1.1.1 CAD 1.3.1	
_ Bearbeitung von Ausschnitten					
Taschen					
Ausräumen von (Freiform-) Taschen				CAD 1.4 CAD 1.5	
Gravuren					
Erzeugung von Gravuren auf Basis von Splines bzw. Polylinien				CAD 1.6.1 CAD 1.6.2	
Gehrungsschnitte und Zinken					
Erzeugung von Gehrungsschnitten und Zinkenverbindungen				CAD 2.1.3 CAD 2.2.3	

Abbildung 2: Repräsentative Produktmatrix (Quelle: Holz-Design Gigler GmbH & Co.KG)

Lastenheft zur Weitergabe digitaler Informationen wurde erstellt.

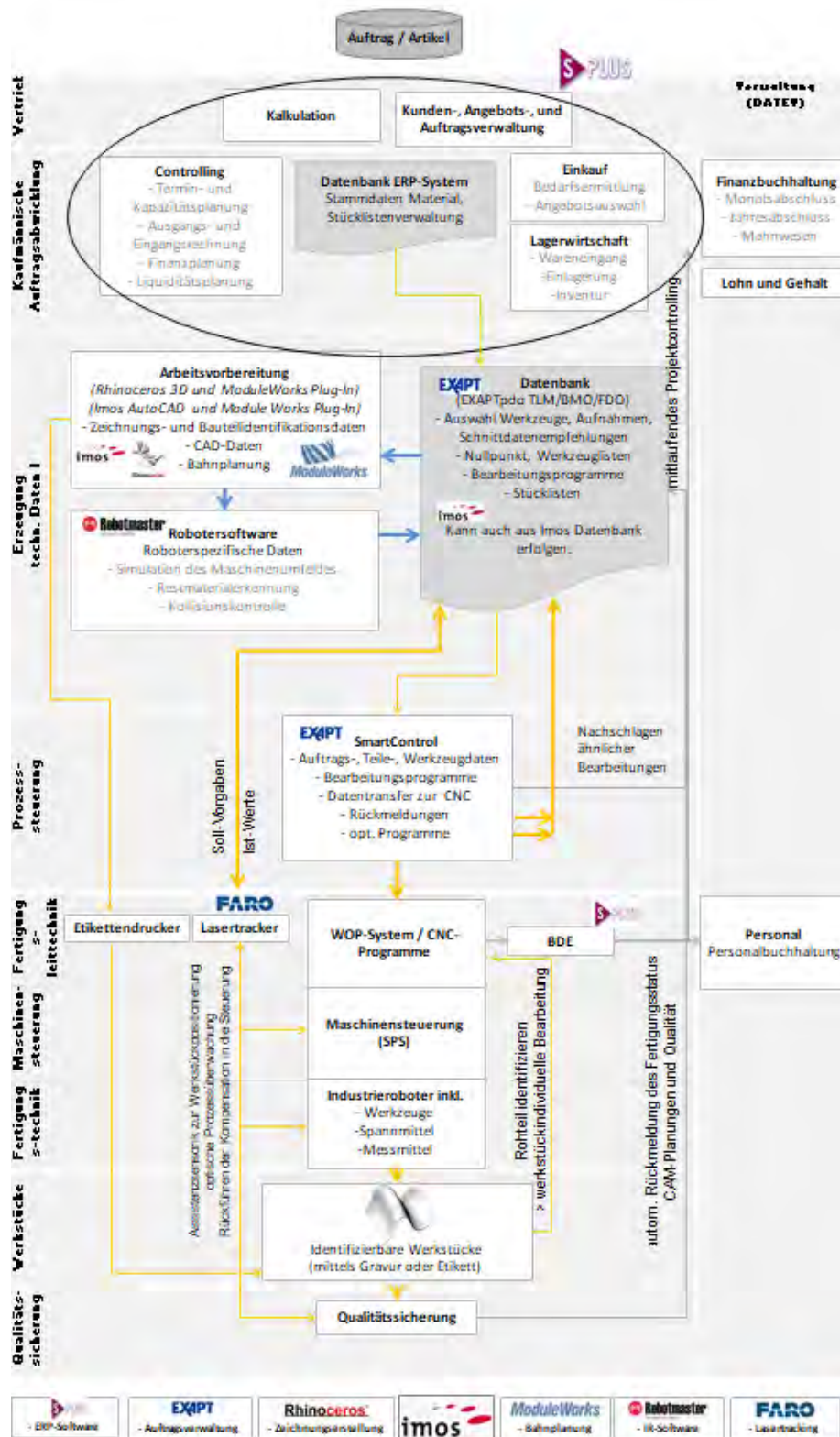


Abbildung 3: IT Systemablauf

(Quelle: Holz-Design Gigler GmbH & Co.KG)

1.3.2 Bahnplanungsstrategien wurden in das CAM integriert. Werkzeugschnittstellen sind konzeptioniert. Indikatoren zur Prozessüberwachung identifiziert. Die Hardware- und Softwaremodule sind entwickelt.

Das Ergebnis des Arbeitspakets ist eine Matrix, in der zu den verschiedenen Materialien und Bearbeitungen die passenden Bearbeitungsstrategien zugeordnet sind.

Surfaces									
Pattern	Parallel Gals	Calculus surfaces	Morphologische Oberflächen	Parallele wellige Oberflächen	Projektsurfaces	Morphologische Zersurfaces	Parallele Zersurfaces	Flexur	
Beurteilung									
									
	Erstellen (Tool: - Radius - Milling Operation)	Erstellen (Tool: - Radius - Milling Operation)	Erstellen (Tool: - Radius - Milling Operation)	Erstellen (Tool: - Radius - Milling Operation)	Erstellen (Tool: - Radius - Milling Operation)	Erstellen (Tool: - Radius - Milling Operation)	Erstellen (Tool: - Radius - Milling Operation)	Erstellen (Tool: - Radius - Milling Operation)	
Triangle Mesh									
Pattern	Block	Parallel Gals	Projektsurfaces	Concave D	Concave Gaps (Spitzer)	Flachendeckung (Spitzer)	Praxit	Grobdraht	Projektion
Beurteilung									
									
	Erstellen (Tool: - Triang. Mod - Ring)	Erstellen (Tool: - Triang. Mod - Free Edit)	Erstellen (Tool: - Triang. Mod - Free Edit)	Erstellen (Tool: - Triang. Mod - Free Edit)	Erstellen (Tool: - Triang. Mod - Free Edit)	Erstellen (Tool: - Triang. Mod - Free Edit)	Erstellen (Tool: - Triang. Mod - Free Edit)	Erstellen (Tool: - Triang. Mod - Free Edit)	Erstellen (Tool: - Triang. Mod - Free Edit)
Drilling									
Pattern	On Surface	Pinhole	Linear	On Mesh					
Beurteilung									
									
	Erstellen (Tool: - Drill)	Erstellen (Tool: - Drill)	Erstellen (Tool: - Drill)	Erstellen (Tool: - Drill)					
Wireframe									
Pattern	2-Draht Profil	2-Draht Profil	2-Draht Profil	2-Draht Profil	Extrude	2-Draht Chamber	Face	Trunkbild	Extrude
Beurteilung									
									
	Erstellen (Tool: - Wireframe - 2-Draht Profil)	Erstellen (Tool: - Wireframe - 2-Draht Profil)	Erstellen (Tool: - Wireframe - 2-Draht Profil)	Erstellen (Tool: - Wireframe - 2-Draht Profil)	Erstellen (Tool: - Wireframe - Extrude)	Erstellen (Tool: - Wireframe - 2-Draht Chamber)	Erstellen (Tool: - Wireframe - Face)	Erstellen (Tool: - Wireframe - Trunkbild)	Erstellen (Tool: - Wireframe - Extrude)
Existing Toolpath									
Pattern									
Beurteilung									

Abbildung 4: Bahnplanungsmatrix

(Quelle: Holz-Design Gigler GmbH & Co. KG)

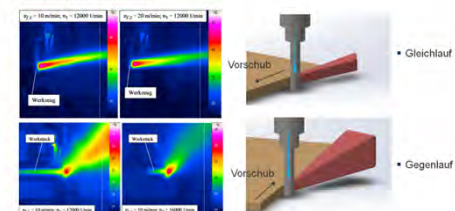
1.3.3 Es gibt aussagekräftige Ergebnisse zu den verschiedenen Absaugmöglichkeiten und aussagekräftige Auswertungen von Prototypensystemen. Das Späneflugverhalten zu den verschiedenen Materialien und Bearbeitungen ist bewertet und dient als Basis für die weitere Entwicklung des gesamten Absaugsystems.

• Späneflug beim Fräsen

Parameter	Untersuchter Bereich	Ermittelter Einfluss	Art
Besäumungsfräsen Gleichlauf			
Drehzahl n	12000 - 16000 1/min	*	Spänestrahlwinkel
Vorschubgeschwindigkeit	10 - 20 m/min	*	Spänestrahlwinkel, Spänestrahlrichtung
Durchmesser d	14 - 20 mm	*	Spänestrahlwinkel
Besäumungsfräsen Gegenlauf			
Drehzahl n	12000 - 16000 1/min	*	Spänestrahlrichtung, Spänestrahlöffnungswinkel
Durchmesser d	14 - 20 mm	*	Spänestrahlwinkel
Nutfräsen			
Drehzahl n	12000 - 16000 1/min	*	Aufweitung des Spänestrahls
Durchmesser d	20 - 25 mm	-	-
Art des Fräsen	Schaftfräser/Nutfräser	*	turbulentes Strömungsverhalten des Spänestrahls
Einfluss:	- kein * gering ** mittel *** groß		

Abbildung 5: Auswertung Späneflug

• Späneflug beim Besäumen



(Quelle: IFW Stuttgart Christian Menze)

1.3.4 Das Grobkonzept für das Spannsystem wurde erstellt. Die Komponenten für das Spannsystem gegenüber gestellt und ausgesucht. Das Ergebnis des Arbeitspakets ist eine ausgearbeitete Anwendungsmatrix, die den verschiedenen Bauteilgeometrien unter technischen, organisatori-

schen und finanziellen Sichtweisen eine einfache Zuordnung der unterschiedlichen Spannkonzeppte ermöglicht.

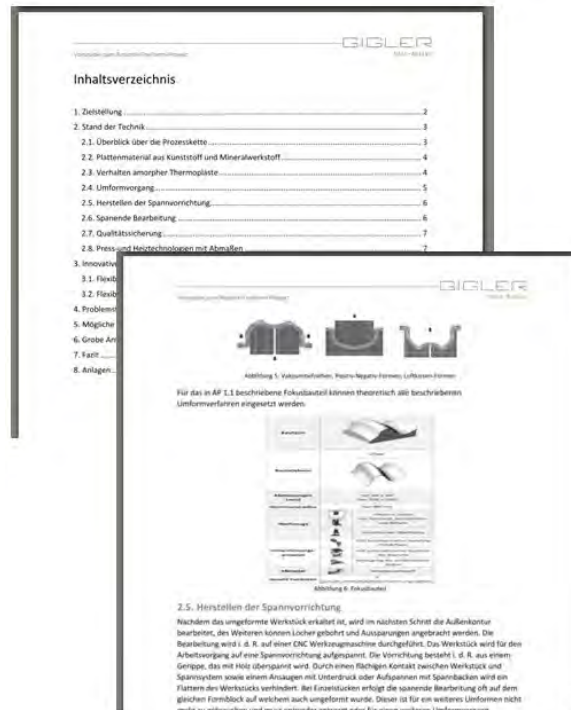


Abbildung 6: Vorstudie Spannkonzeppt (Quelle: Holz-Design Gigler GmbH & Co.KG)

1.3.5 Roboter ist finalisiert und ausgewählt. Zellenlayout ist im Detail erstellt und die Anlage virtuell in Betrieb genommen. Die gesamte Zelle inkl. der weiteren Komponenten ist finalisiert und evaluiert.

Alle Einzelkomponenten der flexiblen Roboterzelle wurden zu einem Gesamtlayout zusammengefasst und evaluiert, um eine maximale Produktivität und die geringsten Kosten der Produktionsmittel gewährleisten zu können.

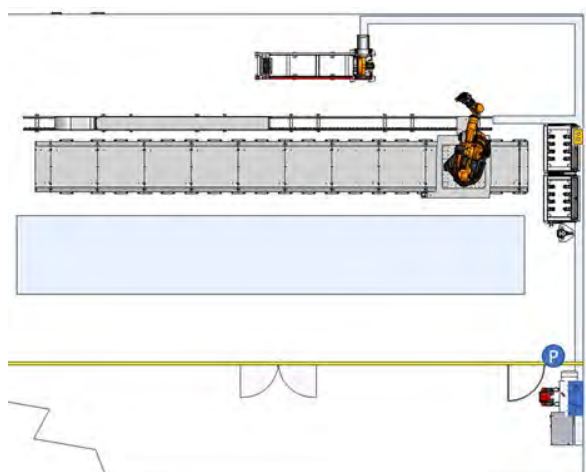
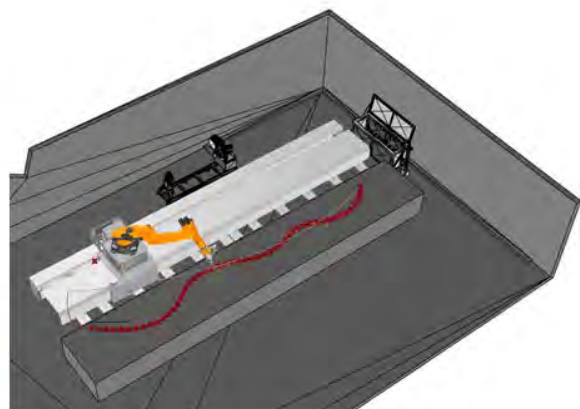


Abbildung 7: Roboter / Zellenlayout



(Quelle: Holz-Design Gigler GmbH & Co.KG)

1.3.6 Es wurde eine funktionierende, durchgängige auf den Demonstrator und die Holzbranche abgestimmte CAD-CAM integrierte Planungsmethodik erarbeitet und validiert.

Gesamtkonzept des optimierten Produktionsprozesses mit einem entsprechenden virtuellen Zielbild für den Informationsfluss und die IT-technische Umsetzung des Gesamtsystems ist umgesetzt.

Es ist ein benutzerfreundliches Bedienkonzept erarbeitet und evaluiert. Die Datenstruktur zu den relevanten Werkzeugen ist erstellt.

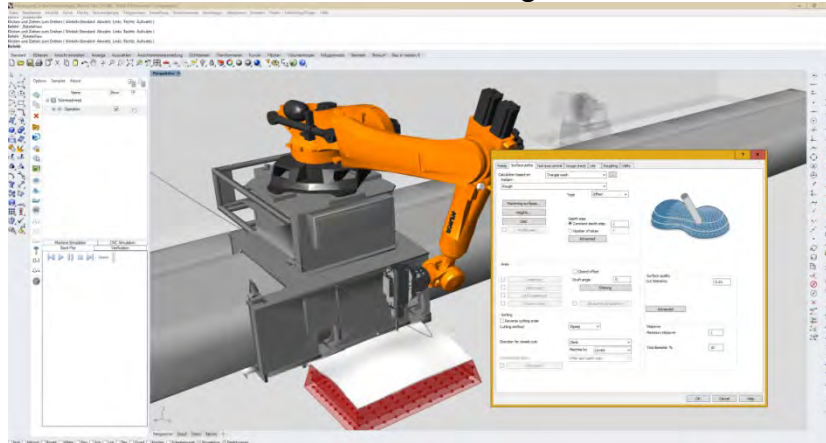


Abbildung 8: CAD-CAM Planungsmethodik (Quelle: Holz-Design Gigler GmbH & Co.KG)

1.3.7 Gesamte Anlage und Prozesskette aufgebaut und validiert. Auf Basis der Erprobungen wurden die Anforderungen für die Anpassungen definiert. Mit dem Aufbau und der Inbetriebnahme des Demonstrators wurde sichergestellt, dass die Forschungsergebnisse der einzelnen Teilsysteme nach und auch während der Entwicklung, sowie unter realen Bedingungen prozessnah validiert wurden.

Technologieparameter für die Steuerungs- und Regelalgorithmen wurden angepasst. Schnittstellen zu einem MES System für eine durchgängige Prozesskette sind optimiert.

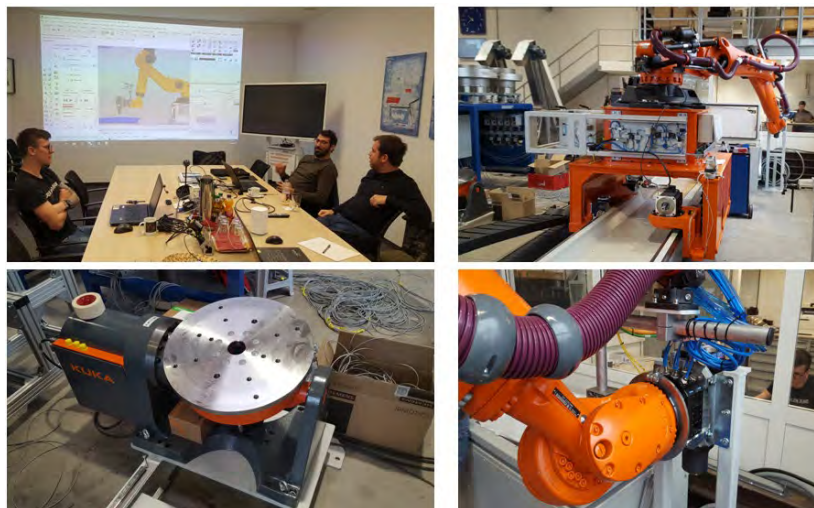


Abbildung 9: Erprobung der Anlage

(Quelle: Holz-Design Gigler GmbH & Co.KG)