

Schlussbericht zum Vorhaben

„Entwicklung und Implementierung eines Bahnplanungs- und Simulationsplugin für die Schleifbearbeitung mittels Robotersystem“

im Rahmen des Eurostars Projekts
E! 115077 Grindbot
„Verbundprojekt: Roboterbasierte Lösung für die präzise Schleifbearbeitung von komplexen Metallbauteilen“

Dipl. Inform. Christoph Alexander Zyma

AixPath GmbH
Henricistraße 50
52072 Aachen

Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei der Autorin / beim Autor
Förderkennzeichen: 01QE2130C
Projektlaufzeit: 01.05.2021 - 31.10.2023

Inhalte

Teil 1: Kurzbericht	2
Wissenschaftlich- und Technischer Stand	2
Ablauf des Vorhabens	2
Wesentliche Ergebnisse	2
Arbeitspaket 1: „Definition der Anforderungen“	2
Arbeitspaket 2: „Entwicklung des automatisierten Schleifprozesses“	2
Arbeitspaket 3: „Robotertrajektorie-Modul“	3
Arbeitspaket 4: „Benutzeroberfläche zur Bahnplanung und Simulation“	3
Arbeitspaket 5: „Integration Prototyp und Validierung“	3
Arbeitspaket 6: „Projektmanagement, Verbreitung und Nutzung der Ergebnisse“	3

Teil 1: Kurzbericht

Wissenschaftlich- und Technischer Stand

In der industriellen Praxis werden komplexere Oberflächen trotz voranschreitender Automatisierung noch heute manuell bearbeitet, da starke Oberflächenkrümmungen, Zugänglichkeit und gleichmäßiger oder adaptiver Abtrag eine Herausforderung für konventionelle Schleifroboter darstellen. Kontaktbedingungen müssen errechnet und eingehalten werden, um einen planbaren und wiederholbaren Prozess zu realisieren. und Ziel des Projekts „GrindBot“ ist, diese Schleifprozesse mittels Bandschleifer effizient zu automatisieren, um die deutsche Produktionstechnik zu stärken und somit eine Verlegung der Schleifarbeit in Niedriglohnländer zu verhindern.

Ablauf des Vorhabens

Im Projektjahr 2021 wurde eine Anforderungsspezifikation in AP1 fertiggestellt, die die Anforderungen für die Prozessplanung und -ausführung und das Softwareprodukt zusammenfasst. Zusammen mit ModuleWorks wurden die Schnittstellen definiert, um die Kollisionsprüfung und das Robotermodell in Siemens NX zu visualisieren und nutzen zu können sowie um grundsätzlich den Datenaustausch zu regeln. Darüber hinaus wurde in AP4 ein HMI-Mock-Up geschaffen, um die frühe Entwicklung des User-Interface zu fördern und frühzeitig Verbesserungen einbauen zu können. Adapterklassen für die Integration der ModuleWorks Bibliotheken wurden implementiert und es wurde mit dem Testen auf Basis der definierten CAD-Daten begonnen. In AP5 wurden zum Abschluss des Projekts die entwickelten Softwaremodule integriert und durch Blackbox-Test validiert. Die gesamten Arbeiten wurden durch AP6 begleitet. Regelmäßige Onlinemeetings wurden organisiert und durchgeführt. Mehrere Vor-Ort Treffen bei ALD wurden organisiert und durchgeführt.

Wesentliche Ergebnisse

Arbeitspaket 1: „Definition der Anforderungen“

Die Anforderungen des Roboters, die Schnittstelle zur Ansteuerung des Roboters wurden in einer Anforderungsspezifikation nach IEEE 830 zusammengefasst. Die zur persistenten Speicherung innerhalb NX (Werkzeugwegdaten, Konfigurationsparameter, etc) notwendigen Containerklassen wurden definiert und mit Perspektive auf eine spätere Erweiterung (weitere Parameter, zusätzliche Geometriedefinitionen) flexibel definiert. Diese erlauben den Austausch und die Speicherung von Geometriedaten (Flächen, Polykurven, Punkten in div. Notation, bspw. parametrisiert, explizit, etc.) sowie Parameterdaten für die Berechnung der CAM-Operation (Parameterset zu Definition einer CAM-Operation: Container enthält Strategie- und Geometriedaten sowie Parameter zur Diskretisierung des Werkzeugweges vor der Ausgabe – Umwandlung kontinuierliche Kurvendefinition in diskrete Linearbewegungen). Darüber hinaus wurden die Schnittstellen für das Simulationsmodul definiert, so dass die Ergebnisse der Kollisionsprüfung, der Roboterkinematikberechnung und der Abtragsimulation innerhalb des PLM Systems nahtlos gesteuert werden können. Als Ergebnis dieses Arbeitspakets wurden drei Berichte erstellt, die für alle Partner als Referenz dienen. Das im Arbeitspaket erstellte Dokumente beinhaltet die Anforderungen für 1) die Robotisierung, 2) die Ein- und Ausgänge der Module und 3) die Schnittstellenbeschreibungen. Dieses Arbeitspaket wurde im ersten Berichtszeitraum abgeschlossen.

Arbeitspaket 2: „Entwicklung des automatisierten Schleifprozesses“

AixPath hat keine Aufgaben in diesem Arbeitspaket.

Arbeitspaket 3: „Robotertrajektorie-Modul“

AixPath hat keine Aufgaben in diesem Arbeitspaket.

Arbeitspaket 4: „Benutzeroberfläche zur Bahnplanung und Simulation“

Auf Basis der definierten Anforderungen aus AP1 wurde zuerst ein MockUp der Benutzeroberfläche implementiert, welches erlaubt nach und nach die entwickelten Komponenten in die PLM-Software Siemens NX nahtlos zu integrieren. Im weiteren Verlauf des Projektes wurden die Benutzeroberfläche mehrfach angepasst und optimiert.

Die in AP1 spezifizierten Adapterklassen zur Kommunikation zwischen den ModuleWorks Modulen und dem PLM-System wurden entsprechend der Spezifikation in AP4 implementiert. Die ersten Tests des implementierten Codes wurden mit ersten simplen Werkzeugbahnen und Flächen durchgeführt. Ein Robotermodell wurde für den Prototypen erstellt, so dass die Simulationsumgebung Werkzeugwege mit Roboter in Siemens NX und den von ModuleWorks berechneten Abtrag visuell wiedergeben kann. Die erste prototypische Implementierung erfolgte unter Verwendung der experimentellen ModuleWorks Roboterbibliothek zur Kinematikberechnung, um ein schnelles und unkompliziertes Testen der ersten Benutzeroberfläche zu ermöglichen.

Arbeitspaket 5: „Integration Prototyp und Validierung“

Zum Test der Schnittstellen und Adapterklassen aus AP4 und in Vorbereitung der anstehenden Arbeiten in AP5 im Sinne einer systematischen Softwareentwicklung, wurde ein horizontaler Prototyp samt Benutzeroberfläche in Siemens NX auf Basis der in AP1 definierten Schnittstellen integriert. Die notwendigen Datenstrukturen sowie die Benutzeroberfläche wurden in AP4 geschaffen und erstmalig prototypisch an die NX Programmierschnittstelle angebunden und in Vorbereitung der späteren Arbeiten in AP5 mit primitiven Testfällen auf Korrektheit überprüft.

Arbeitspaket 6: „Projektmanagement, Verbreitung und Nutzung der Ergebnisse“

Es wurden regelmäßig Statustreffen mit allen Projektteilnehmern online durchgeführt. Dabei wurde über aktuelle Projektresultate sowie nächste Schritte berichtet. Ein Vor-Ort Treffen wurden in Spanien organisiert und durchgeführt, um die Anforderungsspezifikation final durchzusprechen, als auch die Bearbeitungsversuche bei ALDAKIN zu begutachten. Darüber hinaus fanden regelmäßig Online-Treffen statt, in dem aktuelle Ergebnisse und nächste Schritt zusammen mit den Projektpartnern diskutiert wurden. AixPath hat darüber hinaus eine Onlinepräsenz zum Projekt auf Ihrer Webpage ([Link](#)) geschaffen.

Schlussbericht zum Vorhaben

„Entwicklung und Implementierung eines Bahnplanungs- und Simulationsplugin für die Schleifbearbeitung mittels Robotersystem“

im Rahmen des Eurostars Projekts
E! 115077 Grindbot
„Verbundprojekt: Roboterbasierte Lösung für die präzise Schleifbearbeitung von komplexen Metallbauteilen“

Dipl. Inform. Christoph Alexander Zyma

AixPath GmbH
Henricistraße 50
52072 Aachen

Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei der Autorin / beim Autor
Förderkennzeichen: 01QE2130C
Projektlaufzeit: 01.05.2021 - 31.10.2023

Inhalte

Teil 2: Eingehende Darstellung	3
Arbeitspaket 1: „Definition der Anforderungen“	3
Arbeitspaket 2: „Entwicklung des automatisierten Schleifprozesses“	3
Arbeitspaket 3: „Robotertrajektoriemodul“	3
Arbeitspaket 4: „Benutzeroberfläche zur Bahnplanung und Simulation“	4
Arbeitspaket 5: „Integration Prototyp und Validierung“	6
Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises	7
Notwendigkeit der Arbeiten	7
Voraussichtlicher Nutzen der geleisteten Arbeiten	8
Veröffentlichungen	8
Potentielle Konkurrenzprodukte	8

Teil 2: Eingehende Darstellung

Arbeitspaket 1: „Definition der Anforderungen“

Die Anforderungen des Roboters, die Steuerung des Roboters und die Schnittstelle wurden durch mehrere Datenreihen bestimmt. Ein Maschinenmodell in Form einer XML-Datei wurde initial für erste Test erstellt und den anderen Partnern bereitgestellt. Die dafür benötigten Schnittstellen und Signaturen der Adapterklassen, um eine reibungslose Kommunikation zwischen CAM-Komponente und Siemens NX zu ermöglichen, wurden definiert. Diese erlauben den Austausch und Speicherung von Geometriedaten (Flächen, Polykurven, Punkten in div. Notation, bspw. parametrisiert, explizit, etc) sowie Parameterdaten für die Berechnung der CAM-Operation. Darüber hinaus wurden die Schnittstellen für das Simulationsmodul definiert, so dass die Ergebnisse der Kollisionsprüfung, der Roboterkinematikberechnung und der Abtragssimulation innerhalb des PLM Systems nahtlos genutzt werden können. Darüber hinaus wurden Containerklassen geschaffen, die eine Definition und persistente Speicherung von zusätzlichen CAM-Parameter ermöglichen, so dass die speziellen Anforderungen der Schleifbearbeitung im Siemens PLM System korrekt abbildbar und modifizierbar sind und darüber hinaus in einem Operationsnavigator zur Visualisierung für den Benutzer (s. Abb.1).

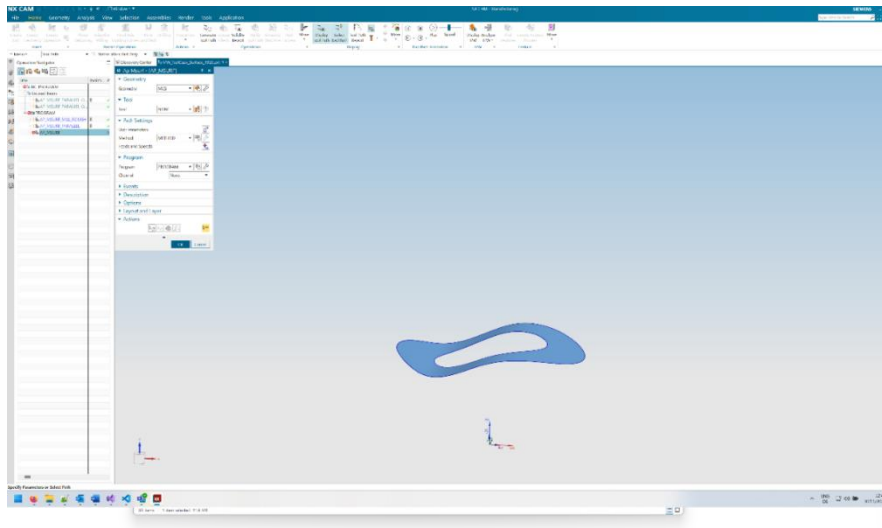


Abbildung 1: Erste prototypische Implementierung eines Operationsnavigators in NX (links) mit bereits implementierter Container/Speicherfunktion für alle relevanten Geometrieklassen

Das Ziel dieses Arbeitspakets war es, die Anforderungen des Projekts in Bezug auf die Spezifikationen der Softwarekomponenten des Schleifroboters zu definieren. Alle Partner waren an diesem Arbeitspaket beteiligt. Dieses Arbeitspaket schuf eine gemeinsame Grundlage zwischen den Projektpartnern in Bezug auf die Software. Als Ergebnis dieses Arbeitspakets wurden drei Berichte erstellt, die für alle Partner als Referenz dienen. Die im Arbeitspaket erstellten Dokumente und Spezifikationen beinhalten die Anforderungen für 1) die Robotisierung, 2) die Ein- und Ausgänge der Module und 3) die Schnittstellenbeschreibungen. Dieses Arbeitspaket wurde im ersten Berichtszeitraum abgeschlossen.

Arbeitspaket 2: „Entwicklung des automatisierten Schleifprozesses“

AixPath hat keine Aufgaben in diesem AP.

Arbeitspaket 3: „Robotertrajektoriemodul“

AixPath hat keine Aufgaben in diesem AP.

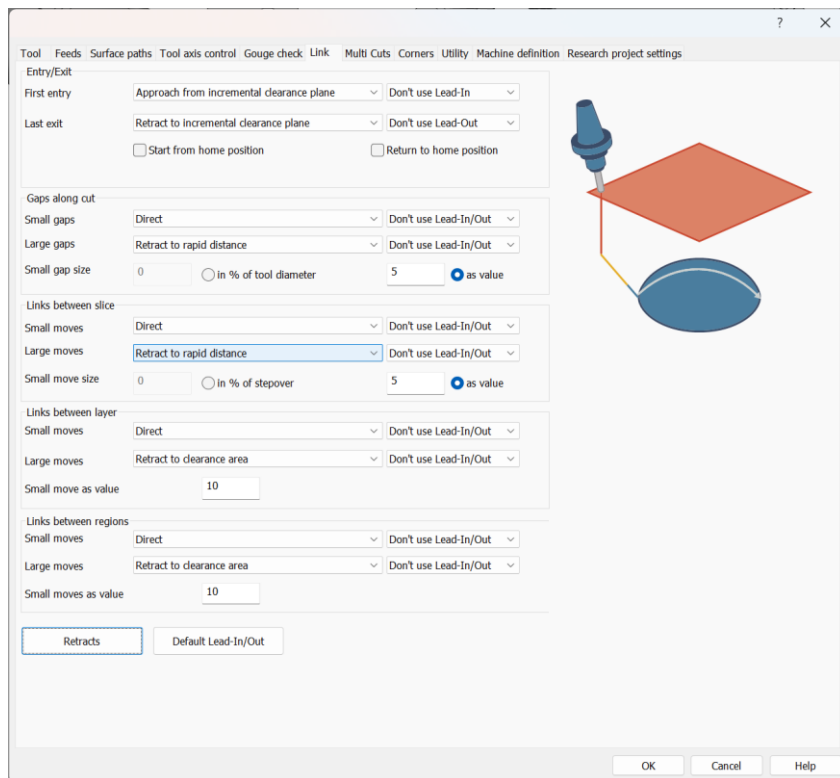


Abbildung 2: Eingabemaske für Parameter und Optionen der Werkzeugwegplanung (Anfahr- und Wegfahrbewegungen)

Arbeitspaket 4: „Benutzeroberfläche zur Bahnplanung und Simulation“

Auf Basis der definierten Anforderungen aus AP1 wurde zuerst ein MockUp der Benutzeroberfläche implementiert, welches erlaubt nach und nach die entwickelten Komponenten in die PLM-Software Siemens NX nahtlos zu integrieren und zu konfigurieren (s. Abb. 2). Im weiteren Verlauf des Projektes wurden die Benutzeroberfläche mehrfach angepasst und optimiert.

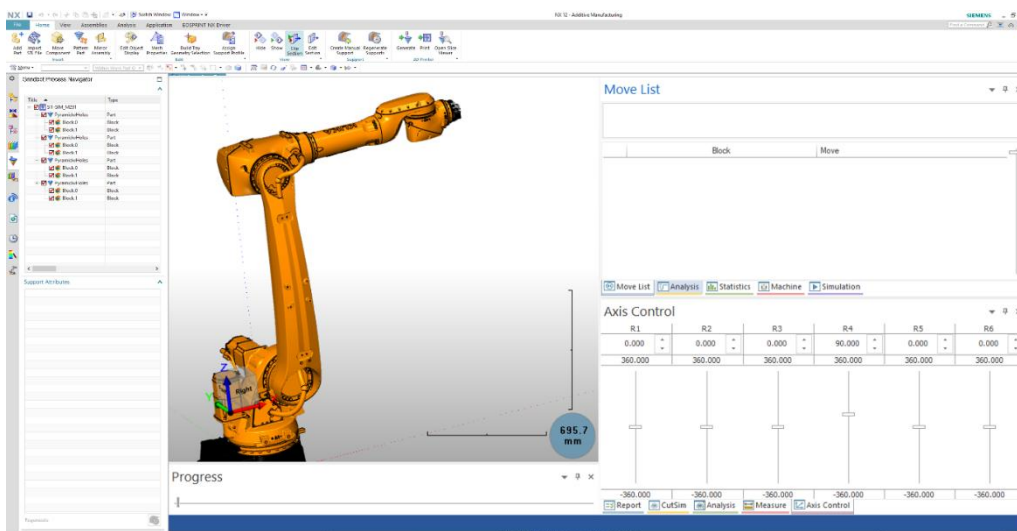


Abbildung 3: Kinematische Robotersimulation in Siemens NX mit Achswertansicht des Roboters

Die in AP1 spezifizierten Adapterklassen zur Kommunikation zwischen den ModuleWorks Modulen und dem PLM-System wurden entsprechend der Spezifikation in AP4 implementiert. Die ersten Tests des implementierten Codes wurden mit ersten simplen Werkzeugbahnen und Flächen durchgeführt. Ein Robotermodell wurde für den Prototypen erstellt, so dass die Simulationsumgebung Werkzeugwege mit Roboter in Siemens NX und den von ModuleWorks

berechneten Abtrag visuell wiedergeben kann. Die erste prototypische Implementierung erfolgte unter Verwendung der experimentellen ModuleWorks Roboterbibliothek zur Kinematikberechnung, um ein schnelles und unkompliziertes Testen der ersten Benutzeroberfläche zu ermöglichen (s. Abb. 3).

Final wurde in diesem Arbeitspaket von AIX die in AP3 von MOD bereitgestellte Teilkomponenten mit einer entsprechenden Benutzeroberfläche in Siemens NX versehen. Die Benutzeroberfläche wurde auf Basis des MockUps aus dem ersten Projektteil umgesetzt. Diese Benutzeroberfläche integriert das Simulationsmodul von MOD aus T3.1 und das neue, von MOD in T3.3 entwickelte Swarf-Trajektoriemodul. Datenstrukturen zur persistenten Speicherung von Bearbeitungsoperationen wurden in Siemens NX geschaffen, so ist es nun möglich, Ergebnisse der Bahnberechnung direkt in der Bauteildatei zu speichern und zu einem späteren Zeitpunkt wiederzuverwenden oder zu modifizieren. Darüber hinaus wurde die Möglichkeit geschaffen nicht-rotationssymmetrische Werkzeuge in der Simulation von Siemens NX abzubilden und so eine Visualisierung des Bandschleifers im Planungsprozess zu realisieren. Aufbauend auf diesem Ergebnis wurden Picking-Funktionen in Siemens NX implementiert, die es erlauben die notwendigen Eingabeparameter, wie bspw. die Auswahl der Bearbeitungsfläche, der Leitkurven oder zusätzlicher Parameter, wie bspw. Silhouette/Confinement-Curves oder spezieller Bearbeitungsrichtungen in Siemens NX auszuwählen bzw. Siemens-Funktionen (bspw. Definition von Ebenen, Schnittoperationen, etc) für die Berechnung zu nutzen. Für die Simulationskomponente wird ein eingeständiges Fenster aus Siemens NX heraus gestartet und mit den Simulationsdaten von MOD gefüttert. Die Simulationsumgebung kann über native Siemens NX Steuerelemente bedient werden (s. Abbildung 3). Die Implementierung nutzt die Simulationsumgebung von MOD zum Test der Schnittstellen und der Visualisierungskomponenten. Dafür wurden interne Adapterklassen implementiert, die die von ModuleWorks genutzten Geometrieobjekte verlustfrei vor- und rückwärts konvertierbar machen. Darüber hinaus wurde eine Konfigurationsklasse geschaffen, die alle für die Berechnung notwendigen Parameter sinnvoll vordefiniert, in der Benutzeroberfläche visualisiert und vor der Berechnung an die MOD Teilkomponenten kommuniziert. Die MOD Module werden im Sinne eines Dienstleisterobjekts genutzt, mit den entsprechenden Parametern gefüttert, für die Berechnung ausgelöst und das Berechnungsergebnisse als natives Siemens NX Objekte gespeichert bzw. im Fall der Simulation in einem eigenen Siemens NX Fenster angezeigt (s. Abb. 4). So besteht eine klare Trennung zwischen den Teilsystemen Siemens NX und den ModuleWorks Werkzeugweg- und Simulationsbibliotheken und erlaubt auch im Verlauf der späteren Kommerzialisierung eine einfache Erweiterung und den Austausch von Teilkomponenten.

Bedingt durch die Nutzung einer alten Version von Siemens NX auf Seiten des Partners ALD wurde die gesamte im AP geleistete Implementierung neben der Standardimplementierung unter Verwendung der NX 2212 API und des VisualStudio 2022 Toolsets auch mit der NX 2007 API und dem VisualStudio 2019 Toolsets umgesetzt.

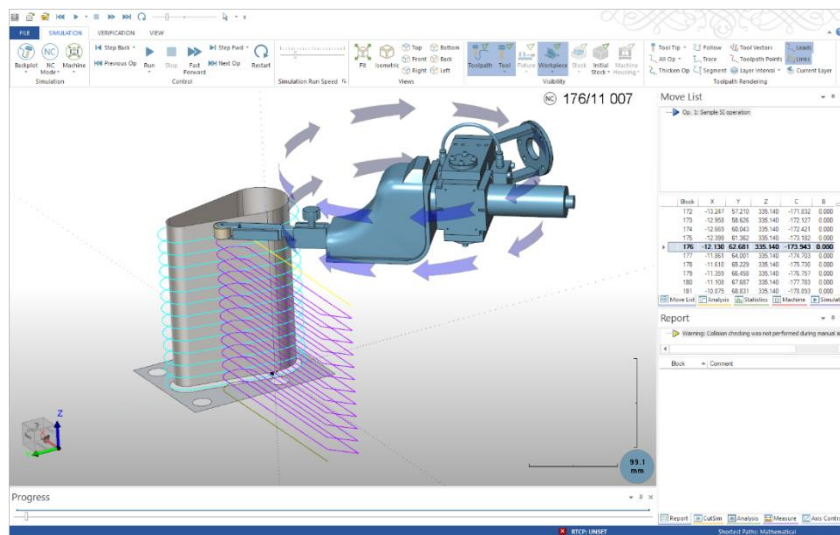


Abbildung 4: In NX gestartetes Simulationsfenster mit ModuleWorks-Simulation des Bandschleifers und berechneter Werkzeugbahn

Arbeitspaket 5: „Integration Prototyp und Validierung“

Die Implementierungsarbeiten in AP4 wurden frühzeitig durch Tests in AP5 begleitet. Zusammen mit den Projektpartnern wurde das implementierte prototypische PlugIn für die NX Version 2007 bei den Projektpartnern zu Testzwecken installiert und die CAD/CAM Kette mehrfach durchexerziert. Die Tests zielten dabei insbesondere zu Beginn darauf ab, die Schnittstellenimplementierung unter Benutzung von NX Open zu validieren und einen korrekten Datenfluss zwischen ModuleWorks-Bibliotheken und Siemens NX zu garantieren. Initial zeigte sich dabei, dass die NX Version 2007 ein natives Renderproblem hat, wenn Grafikkartentreiber nicht aktuell gehalten wird. Trotz korrekter Implementierung der Schnittstellen, schafft es Siemens NX manchmal nicht, Zeichenbefehle korrekt an die Grafikschnittstelle zu übermitteln und auf dem Bildschirm darzustellen. Diese Instabilität der NX 2007 API provoziert in ca. 5% der Fälle in denen ein Werkzeugpfad in Siemens NX gezeichnet wird einen Fehler bei der Darstellung. Ein Update des Grafikkartentreiber lässt dieses Problem auf Seiten Siemens NX verschwinden. Der alternative Build der Projektlösung unter Benutzung der Sourcen und API der Siemens NX 2212 Version zeigt nicht mehr dieses Verhalten und kann auch mit älteren Grafikkartentreibern fehlerlos betrieben werden. Die 2012 Version von Siemens NX wurde aus Ermangelung einer entsprechenden Installation auf Seiten der Projektpartner ausschließlich bei AixPath geprüft und validiert. Die Ergebnisse wurden genutzt, um Verbesserung in der Schnittstellenimplementierung umzusetzen und so für die NX Versionen 2007 und 2212 eine stabilere Ausführung zur Laufzeit zu garantieren. Nichtsdestotrotz, zeigt die PlugIn-Implementierung in Siemens NX Build 2007 eine gewisse Instabilität.

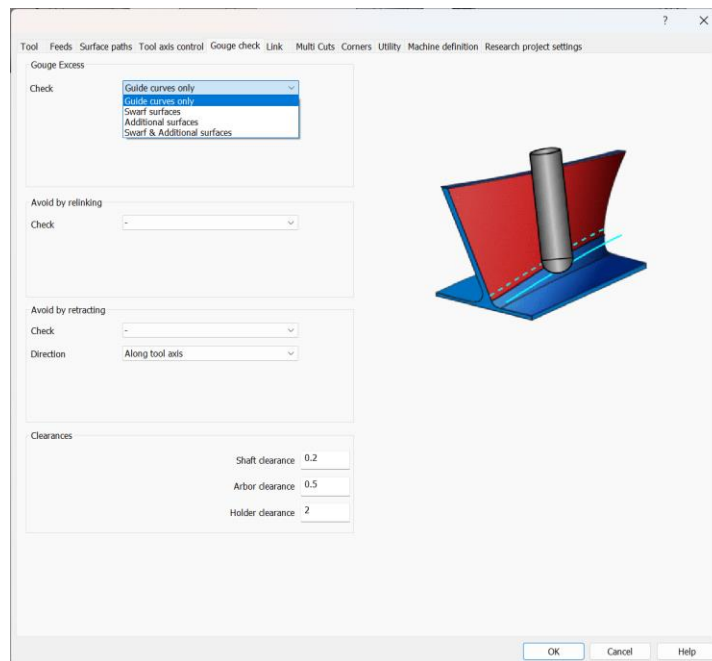


Abbildung 5: Kollisionskontrolle und -konfiguration

Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Das Teilprojekt für AixPath bestand aus den Forschungs- und Entwicklungsaufgaben zur Definition eines Software-Frameworks für die Integration verschiedener CAM-Module (Computer-Aided-Manufacturing) und den Erkenntnissen und Ergebnissen aus den experimentellen Untersuchungen. Diese CAM-Module wurden vom Projektpartner ModuleWorks aus Deutschland definiert und entwickelt und die experimentellen Untersuchungen wurden vom Projektpartner IDEKO aus Spanien durchgeführt. Die Implementierung und Integration der Ergebnisse in die von uns entwickelte Software-Integrationsplattform wurde vollständig von AixPath Softwareentwicklern und Domänenexperten durchgeführt. Daher wurden die gesamten Projektkosten als Personalkosten budgetiert und auch für die Gehälter der am Projekt beteiligten Personen verwendet.

Notwendigkeit der Arbeiten

Die Arbeiten in diesem Teilprojekt waren notwendig, um eine ganzheitliche und produktive Lösung umzusetzen. Im Detail wurden folgende Aspekte des Teilprojekt umgesetzt:

- Persistente Speicherung von Schleifprogrammen zusammen mit anderen relevanten Fertigungsdaten
- Qualitätssicherung und Tracking/Evaluierung von Fertigungsschritten
- Wiederverwendbarkeit und Wiederholbarkeit
- Hoher Grad an Effizienz durch Kombination mit anderen Funktionen des PLM-Systems (Modifikation und Input von Flächen, Visualisierung in NX, Messfunktionen, Änderungen von Flächennormalen, etc)
- Migration der Bahnplanung auf andere Hardware (durch die vorhandene Anbindung des Siemens PostProcessors)
- Nutzung von materialabhängigen Bearbeitungstemplates (vordefinierte Werkzeuge, Default-Parameter) für die Schleifbearbeitung

Im Fall der Softwareentwicklung, ist neben der Funktionalität der Software, der Grad der Zugänglichkeit und die Höhe der ersten Hürden bei der Nutzung der Software relevant, wenn es darum geht die Software erfolgreich in einem Bereich zu etablieren und einen Nutzen

daraus zu ziehen. Software, die einen enormen Aufwand bedarf, um ein Ergebnis zu liefern wird meist von den Nutzern nicht akzeptiert, da diese den Eindruck haben, sich mehr mit der Software zu beschäftigen, als mit der Umsetzung des Fertigungsprozesses. Insbesondere vor dem Hintergrund der späteren Kommerzialisierung ist ein hoher Grad an Benutzerfreundlichkeit und eine Bereitstellung der Ergebnisse in einem etablierten PLM-System zentral für eine hohe Breitenwirksamkeit und Akzeptanz.

Voraussichtlicher Nutzen der geleisteten Arbeiten

Der voraussichtliche Nutzen der geleisteten Arbeiten liegt in dem hohen Grad der Produktivität, der mit der Siemens NX Integration möglich wird. Die von ModuleWorks im Projekt entwickelten Algorithmen, brauchen als Eingabeparameter, neben skalaren Parametern ebenfalls Informationen über Bearbeitungs- und Kollisionsflächen (s. Abb. 5), um eine sichere Roboterbewegung zu berechnen. Diese Informationen können über Siemens NX mit einigen einfachen Mausklicks gesetzt werden. Insbesondere die Funktionen zur Flächenmodifikation und -auswahl in Siemens NX, reduzieren den Zeitaufwand für die Umsetzung eines Bearbeitungsprozesses erheblich. Durch die Integration der Ergebnisse in ein etabliertes PLM-System wird die Akzeptanz der Software erhöht und potentielle Hürden, sich mit einer „neuen“ Software in der Produktion auseinanderzusetzen werden reduziert. Die nahtlose Integration lässt den Benutzer in seiner gewohnten und bekannten Umgebung produktiv sein.

Veröffentlichungen

In diesem Teilprojekt gab es keine Veröffentlichungen.

Potentielle Konkurrenzprodukte

Etablierte Produkte wie bspw. SolidWorks oder Siemens NX bieten in ihren Funktionsumfang ebenfalls Roboterpostprozessoren und Kinematikrechner für Mehrachssysteme und vertreiben sie als Standardkomponenten. Diese Standardkomponenten sind jedoch ausnahmslos für positionsgesteuerte Prozesse ausgelegt und können nicht einfach auf verweilzeit- und kraftgesteuerte Fertigungsprozesse übertragen werden. Auch wenn diese Konkurrenzprodukte in der Lage sind Bahnen auf der Bauteiloberfläche zu erzeugen, sind sie nicht geeignet einen homogenen Abtrag entlang der Bahn zu realisieren. Auch wenn diese Systeme mittlerweile in der Lage sind Roboterhardware in ihrer Berechnung abzubilden, bieten sie umfänglich nicht den Funktionsumfang der notwendig ist um systematisch robuste Feinbearbeitungsprozesse zu realisieren.