

Teil I – Kurzbericht GrindBot

Zusammenfassung

Das Projekt GrindBot zielte darauf ab, eine innovative Roboterlösung zu entwickeln, um die Oberflächenbearbeitung komplexer Metallteile zu automatisieren, um das Schleifen einfacher und kostengünstiger zu machen. Für GrindBot soll der Automatisierungsprozess ein qualitativ hochwertiges Produkt mit minimalen menschlichen Eingriffen garantieren. Dies erfordert die Entwicklung eines Prozesses für die Roboterzelle, auf dem Maschinenbediener:innen den Produktionsprozess durch die Auswahl der zu verwendenden Schleifwerkzeuge sowie die von der Begleitsoftware erstellten Trajektorienprogramme definieren können. Der Beitrag von ModuleWorks in diesem Projekt bestand darin, Module der Ein- und Ausgabespezifikation bereitzustellen und die Bearbeitungsoberfläche sowie die Robotertrajektorie zu simulieren.

Ablauf des Vorhabens

Das Projekt verlief wie geplant. Der Prozess war zunächst geprägt von der Definition von Anforderungen und strategischen Richtungen, einschließlich der Anforderungen an den Roboter, die Robotersteuerung und die Schnittstelle (AP 1). Arbeitspaket 3 zielte darauf ab, bestehende Algorithmen um zusätzliche Parameter zu erweitern, um eine verbesserte Ausrichtung zwischen dem Schleifwerkzeug und der bearbeiteten Oberfläche zur Kollisionsvermeidung zu gewährleisten. ModuleWorks hat einen Algorithmus zur Generierung von Werkzeugwegen für das Schleifen entwickelt. Im Rahmen des Arbeitspakets 5 wurde eine eigenständige Softwareanwendung entwickelt, um Roboterbewegungen zusammen mit der Materialsimulation zu simulieren. Parallel zu den technischen Arbeiten im Projekt wurden Management, Verwertung und Verbreitung durchgeführt, die über das Projektende hinaus fortgesetzt werden.

Wesentliche Ergebnisse

Zu Beginn des Projekts entschieden sich die Partner für folgende Anwendungsbereiche: Entwicklung eines Prozessmanagers für die Roboterzelle, auf dem Maschinenbediener:inn den Produktionsprozess durch die Auswahl der zu verwendenden Schleifwerkzeuge definieren sowie die von der Begleitsoftware erstellten Trajektorienprogramme auswählen kann. Auch die Anforderungen an maximale Produktivität durch Software wurden definiert. Basierend auf den grundlegenden Überlegungen entwickelte ModuleWorks einen Algorithmus zur Generierung von Werkzeugwegen mit einem Schleifwerkzeugweg unter Berücksichtigung der Kollisionsvermeidung. Schließlich wurde eine Simulation des Schleifens auf komplexen Oberflächen sowie ein Prototyp einer Simulationssoftware für Roboter- und Materialbewegungen entwickelt.

Schlussbericht zum Vorhaben

„Design und Entwicklung von Softwaremodulen mit spezialisierten Strategien und deren Simulation zur Schleifbearbeitung mittels Robotersystem“

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

Dr. Denys Plakhotnik

ModuleWorks GmbH
Henricistr. 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: 01QE2130B

Projektlaufzeit: 01.05.2021 – 31.10.2023

Teil II – Ausführlicher Sachbericht GrindBot

Zusammenfassung

Das Projekt GrindBot zielte darauf ab, eine innovative Roboterlösung zu entwickeln, um die Oberflächenbearbeitung komplexer Metallteile zu automatisieren, um das Schleifen einfacher und kostengünstiger zu machen. Für GrindBot soll der Automatisierungsprozess ein qualitativ hochwertiges Produkt mit minimalen menschlichen Eingriffen garantieren. Dies erfordert die Entwicklung von Softwaremodulen und einer Benutzer:innenoberfläche für die Roboterzelle, auf denen Maschinenbediener:innen den Produktionsprozess durch die Auswahl der zu verwendenden Schleifwerkzeuge sowie Trajektorien definieren kann. Die Aufgabe von ModuleWorks in diesem Projekt bestand darin, Module der Ein- und Ausgabespezifikation bereitzustellen und die Bearbeitungsoberfläche sowie die Robotertrajektorie zu simulieren.

Zielsetzung

Ziel des Projekts war es, eine innovative Roboterlösung zu entwickeln, um die Oberflächenveredelung komplexer Metallteile zu automatisieren, um das Schleifen einfacher und kostengünstiger zu machen und so die Auslagerung der Produktion in Billiglohnländer zu vermeiden. Das Schleifen ist ein arbeitsintensiver Prozess, der in vielen verschiedenen Branchen erforderlich ist, von der Automobilindustrie über die Marine- bis hin zur Luft- und Raumfahrtindustrie. Das Schleifen solcher komplexer Geometrien wird derzeit jedoch noch manuell durchgeführt, was es zu einem anstrengenden Prozess macht, der für Arbeiter verletzungsanfällig und für Arbeitgeber teuer ist. Die Automatisierung dieses Prozesses beseitigt die Gefahr und bietet ein konstanteres Produkt und eine viel höhere Bauteilqualität.

Ergebnisse und Arbeiten des Teilvorhabens

Arbeitspaket 1: Anforderungen und strategische Ausrichtungen

Ziel des Arbeitspakets war es, die Anforderungen an den Roboter, die Robotersteuerung und die Schnittstelle zu ermitteln. Die Erstellung eines Maschinenmodells mit ModuleWorks Machine Builder ermöglichte es, ein kinematisches Modell zu erstellen, in dem der Schleifroboter und das Werkstück abgebildet sind. Die Bewegung des Roboters wurde durch mehrere Achsknoten definiert, und der Roboter und die Werkstückgeometrie im STL-Format wurden zur Kollisionserkennung und -visualisierung verwendet. Die Simulationen und Tests des Projekts wurden an zwei Robotern durchgeführt, dem Stäubli TX90 (Bild 1) und dem KUKA KR16 (Bild 2), die mit ModuleWorks Machine Builder erstellt wurden.

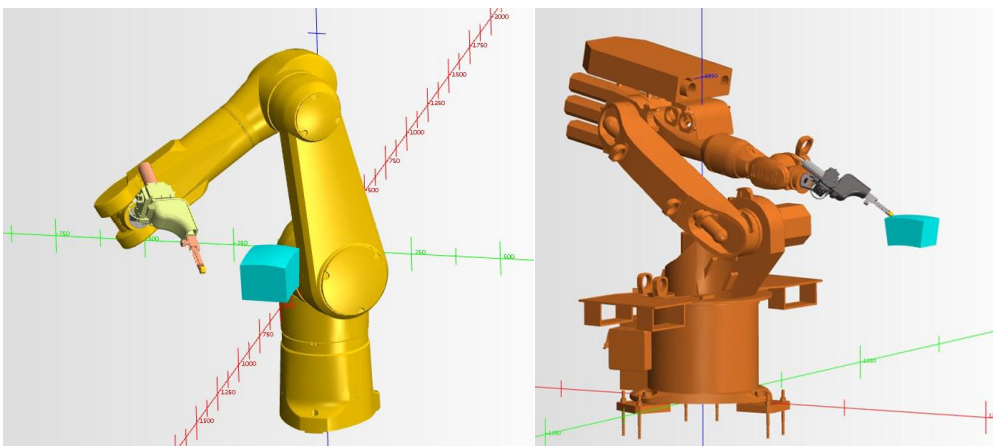


Abbildung 1: Stäubli TX90 Roboterzelle Abbildung 2: Kuka KR16 Roboterzelle

Tabelle 1: Definitionsparameter des Roboters Stäubli TX90

MW Machine Builder								
	Rotationsachse			Achsenkoordinaten [mm]			Grenzen [°]	
Achse	x	y	z	x	y	z		
A1	0	0	1	0	0	-232	-180	180
A2	0	1	0	50	0	0	-130	147,5
A3	0	1	0	50	0	500	-145	145
A4	0	0	1	50	50	657	-270	270
A5	0	1	0	50	0	1050	-115	140
A6	0	0	1	50	50	1147	-270	270

Tabelle 2: Definitionsparameter für Vorwärtskinematiken des Stäubli TX90

Robotikbibliothek (IK)								
	Rotationsachse			Achsenkoordinaten			Grenzen [°]	
Achse	x	y	z	x	y	z		
A1	0	0	1	0	0	-232	-180	180
A2	0	1	0	50	0	232	-130	147,5
A3	0	1	0	0	0	500	-145	145
A4	0	0	1	0	50	157	-270	270
A5	0	1	0	0	-50	393	-115	140
A6	0	0	1	0	50	97	-270	270

Tabelle 3: Definitionsparameter des Roboters Kuka KR16

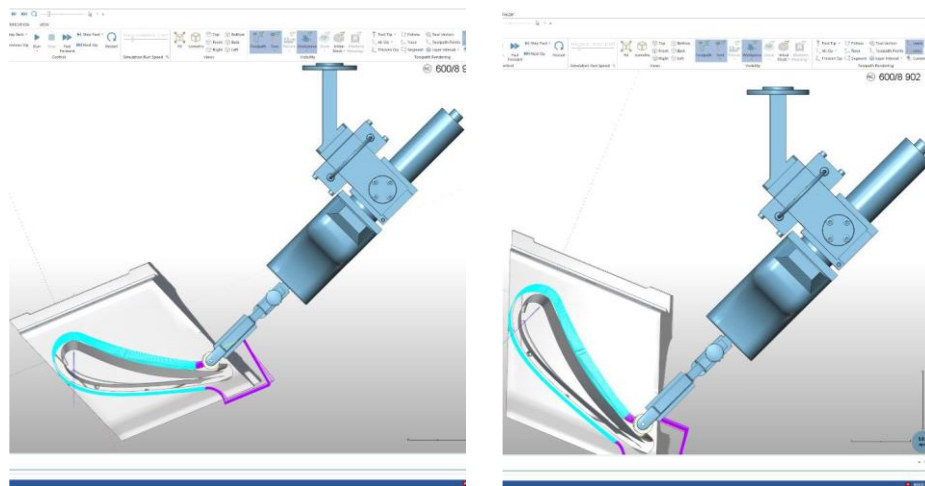
MW Machine Builder								
	Rotationsachse			Achsenkoordinaten [mm]			Grenzen [°]	
Achse	x	y	z	x	y	z		
A1	0	0	1	0	0	400	-185	185
A2	0	1	0	260	-83	675	-95	155
A3	0	1	0	260	-117	1355	-138	175
A4	1	0	0	720,5	0	1320	-350	350
A5	0	1	0	930	0	1320	-130	130
A6	1	0	0	1088	0	1320	-350	350

Tabelle 4: Definitionsparameter für Vorwärtskinematiken des Kuka KR16

Robotikbibliothek (IK)								
Achse	Rotationsachse			Achsenkoordinaten [mm]			Grenzen [°]	
	x	y	z	x	y	z		
A1	0	0	1	0	0	400	-185	185
A2	0	1	0	260	-83	275	-95	155
A3	0	1	0	0	-34	680	-228	85
A4	1	0	0	460,5	117	-35	-350	350
A5	0	1	0	209,5	0	0	-130	130
A6	1	0	0	158	0	0	-350	350

Arbeitspaket 3: Entwicklung der Roboterbewegungen

Im Berichtszeitraum hat ModuleWorks mehrere Komponenten für das Arbeitspaket 3 entwickelt. Die größten Fortschritte war die Weiterentwicklung des Algorithmus zur Generierung von Werkzeugwegen beim Schleifen.



a) 0 Grad b) 45 Grad

Abbildung 3. Implementierung unterschiedlicher Schleifbandwinkel zwischen Schleifwerkzeug und Werkstück.

Bestehende Algorithmen wurden um zusätzliche Parameter erweitert, um eine verbesserte Ausrichtung zwischen dem Schleifwerkzeug und der bearbeiteten Oberfläche zu gewährleisten (Abbildung 3). Darüber hinaus könnte die Ein- und Rückzugsbewegung automatisch programmiert werden, um Kollisionen zwischen beweglichen Elementen der Maschine zu vermeiden. Während des Schleifvorgangs bewegt sich die Halterung des Schleifbandes um das Werkstück herum und kann möglicherweise mit dem zu bearbeitenden Werkstück kollidieren. Der neu entwickelte Algorithmus berücksichtigt solche Kollisionen (Abbildung 4).

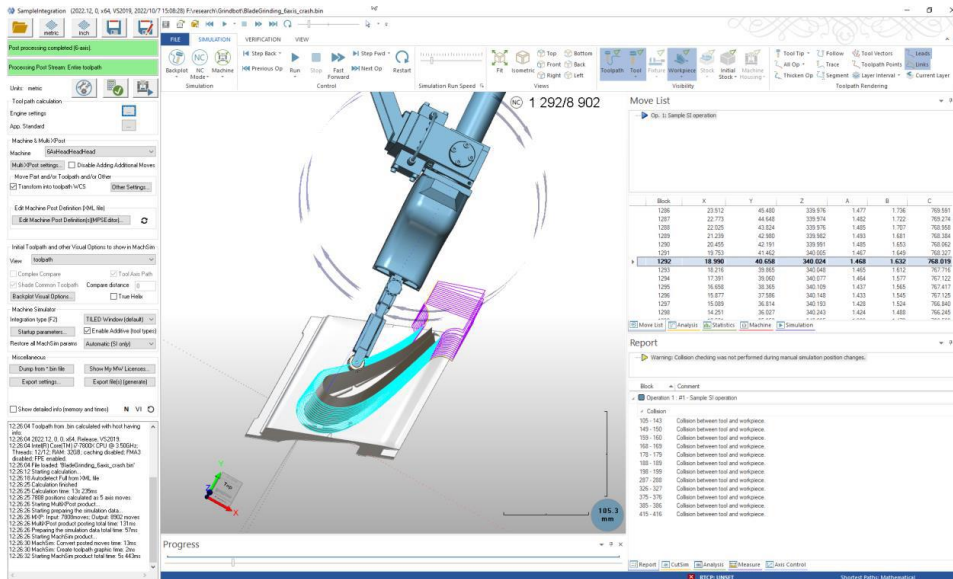


Abbildung 4. Software zur Generierung von Werkzeugwegen mit einem Beispiel für einen Schleifwerkzeugweg unter Berücksichtigung der Kollisionsvermeidung (Einrasten/Einfahren (violette Linien))

Abbildung 5 zeigt ein Beispiel für die Annäherungs-/Rückzugsbewegung, die durch den neuen Algorithmus erzeugt wird. Die farbigen Linien zeigen die Trajektorie der Mitte des Bauteils. Abbildung 6 zeigt das Ergebnis der neuen Erstellung des neuen Trajektorienmoduls mit einer zylindrischen Darstellung des Schleifwerkzeugs. Abbildung 7 zeigt ein Beispiel für die Bahnplanungssimulation unter Berücksichtigung möglicher Kollisionen zwischen dem Werkstück und den Geometrien des Schleifbandhalters.

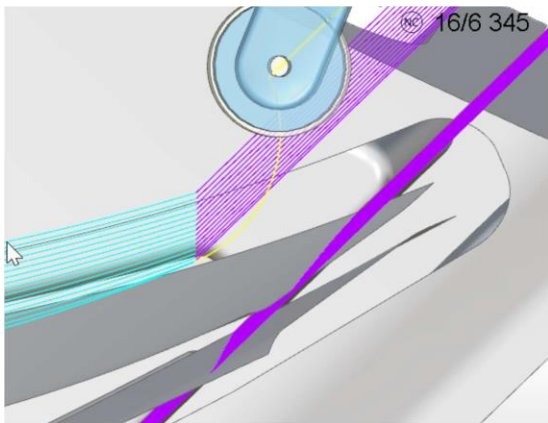


Abbildung 5: Implementierung Annäherungs- und Rückzugsbewegungen.

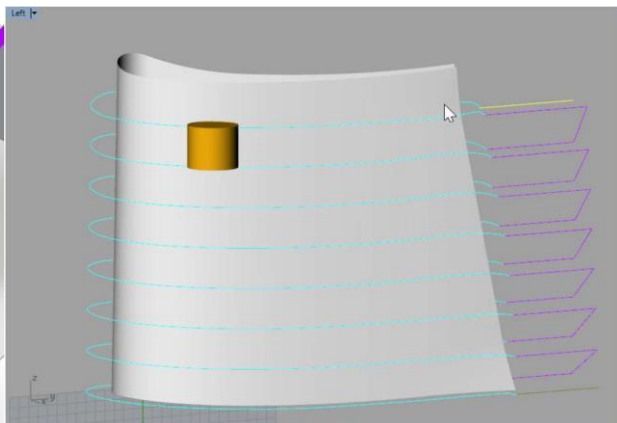


Abbildung 6: Simulation der Bahnplanung mit zusätzlichen Parametern zu Annäherungs- und Rückzugsbewegungen.

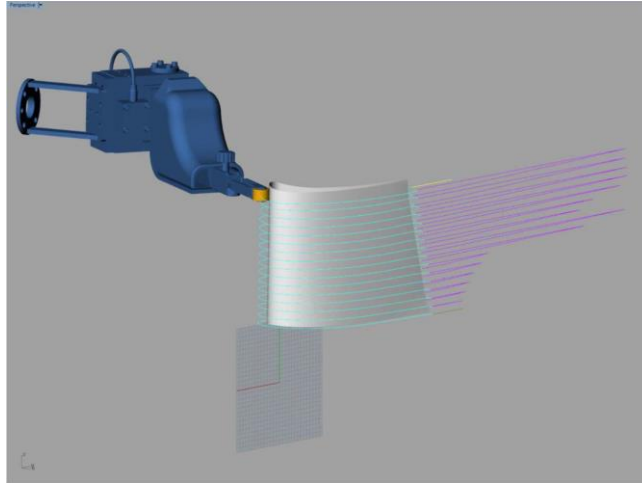


Abbildung 7: Bahnplanungssimulation mit zusätzlichen Parametern für Annäherungs- und Rückzugsbewegungen unter Berücksichtigung möglicher Kollisionen zwischen dem Werkstück und der Schleifbandhalterung.

Es wurde ein Prototyp einer Software entwickelt, die die Compliance-Bewegung einbezieht (Abbildung 8). Die Verformung der Schleifbandwalze wird in die Simulationsroutine integriert, um die Position der Schleifwalze an die Position des Schleifkopfes und die Geschwindigkeit des Materialabtrags anzupassen.

Wie in Abbildung 8 dargestellt, ist die Walze so programmiert, dass sie in das Material einsinkt und sich in horizontaler Richtung fortsetzt, während aufgrund der Nachgiebigkeitsbewegung weiteres Material entfernt wird. Die Nachgiebigkeitsbewegungssimulation wiederholt die Materialabtragssimulation in einem geschlossenen Regelkreis, der die Geschwindigkeit des Materialabtrags und die Bewegung des Schleifkopfes auswertet, bis der Algorithmus einen festgelegten Schwellenwert erreicht.

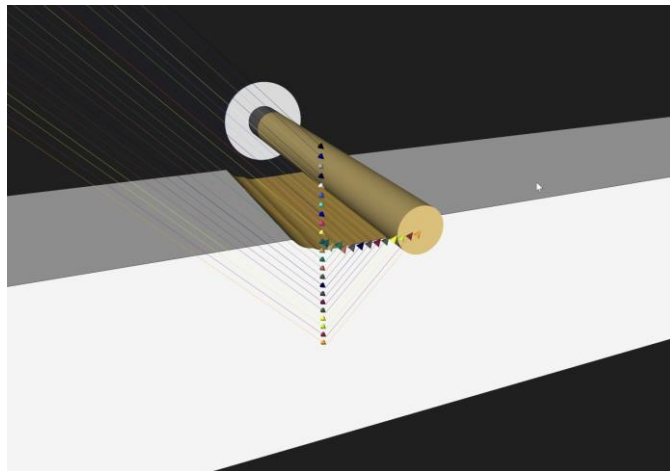


Abbildung 8: Simulation einer Nachgiebigkeitsbewegung der Schleifspitze mit stetiger Materialabtragsgeschwindigkeit.

Abbildung 9 zeigt ein Beispiel für eine Schleifsimulation komplexer Oberflächen. Obwohl der Schleifkopf nach unten bewegt wird, gleitet das Schleifwerkzeug bei konstanter Abtragsgeschwindigkeit seitwärts. Die Farbe der Pfeile zeigt die Reihenfolge der Werkzeugpositionen an.

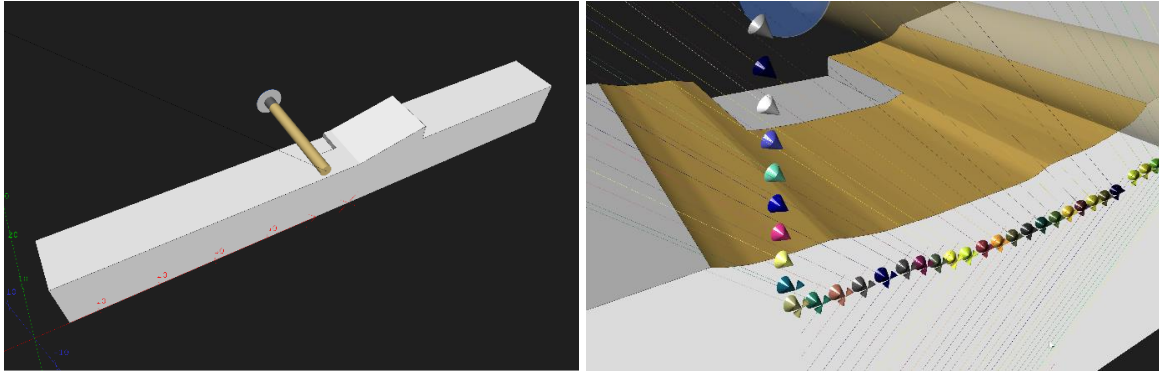


Abbildung 9: Schleifsimulation von komplexen Oberflächen unter Berücksichtigung der Nachgiebigkeit.

Arbeitspaket 5: Erstellung und Validierung von Prototypen

Im Rahmen des Arbeitspakets 5 wird eine eigenständige Softwareanwendung entwickelt. Die Software kann Roboterbewegungen zusammen mit der Materialsimulation simulieren. Die tatsächliche Position des Schleifwerkzeugs kann von der programmierten Position abweichen, da das Schleifband möglicherweise nicht über genügend Leistung verfügt, um während einer Roboterbewegung genügend Material abzuschleifen. Daher werden die programmierte und die tatsächliche Position gleichzeitig in der Simulationssoftware mit zwei Zeilen angezeigt. Abbildung 10 zeigt einen Screenshot der Prototyp-Software mit mehreren Fenstern, die Serviceinformationen (Roboterkoordinaten, Simulationsdaten usw.) enthalten.

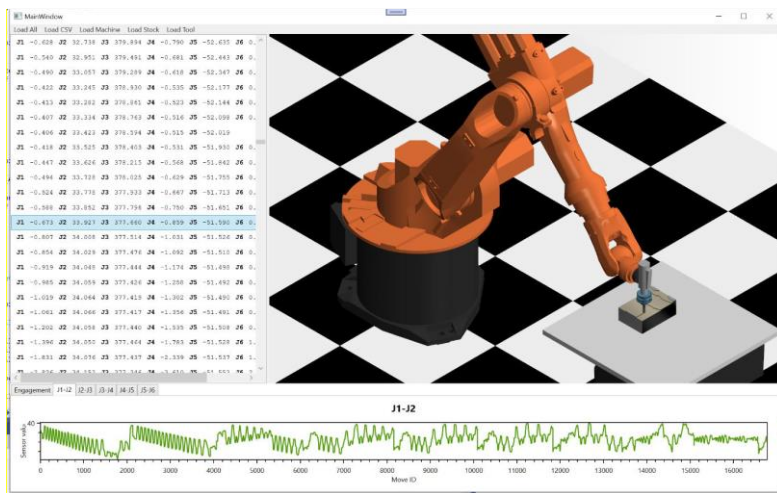


Abbildung 10. Ein Prototyp einer Software zur Simulation von Roboterbewegungen.

Abbildung 11 zeigt ein Beispiel für eine Schleifsimulation mit begrenzter Abtragsleistung. Im linken Bereich wird die Leitkurve des Werkzeugs dargestellt.

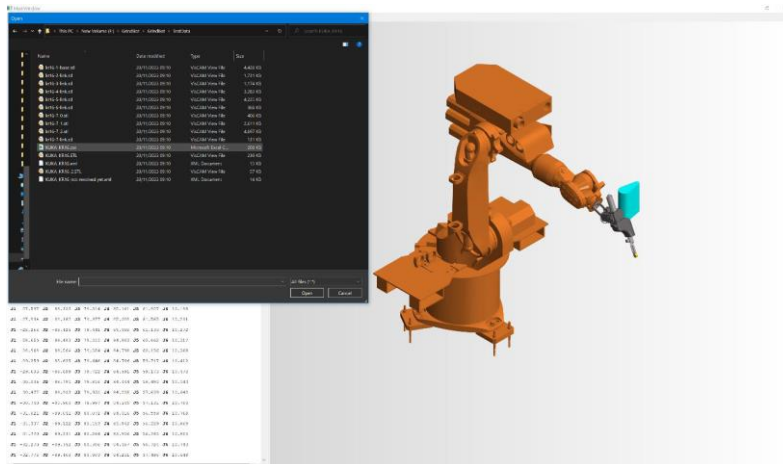


Abbildung 11. Die GUI der Prototyp-Simulationssoftware

Abbildung 12 zeigt ein Beispiel für eine Schleifsimulation mit begrenzter Abtragsleistung. Im linken Bereich wird die Leitkurve des Werkzeugs dargestellt. Ein Klick auf eine Linie mit Roboterkoordinaten löst die Simulation bis zum ausgewählten Zug aus. Alternativ kann der "Play"-Button verwendet werden, um einen kontinuierlichen Simulationsmodus zu starten.

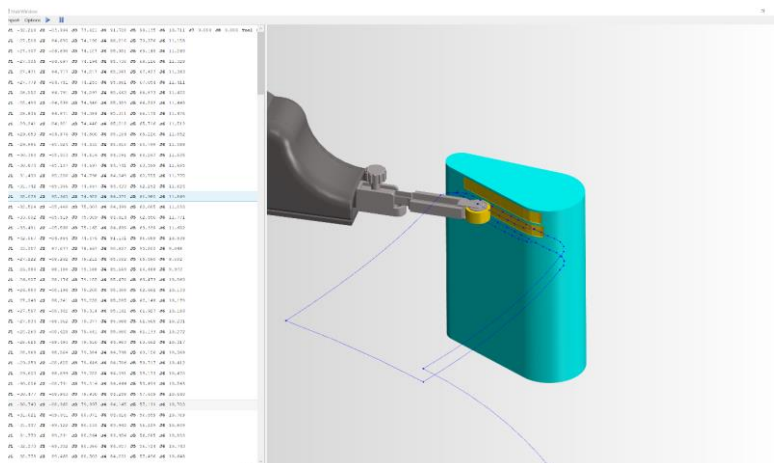


Abbildung 12. Simulation des Schleifens mit begrenzter Abtragsleistung

Abbildung 13 zeigt die Hilfssoftware, die zur Definition der Werkzeug-Werkstück-Einrichtung erforderlich ist. Bei der Werkstückgeometrie muss es sich um eine STL-Datei (Triangulated Mesh) handeln, deren Dateiname dem Dateinamen der Roboterkoordinatendatei entspricht. Die Position und Ausrichtung des Werkstücks kann entweder manuell in die Setup-XML-Datei eingegeben oder in der ModuleWorks MachineBuilder-Software angepasst werden.

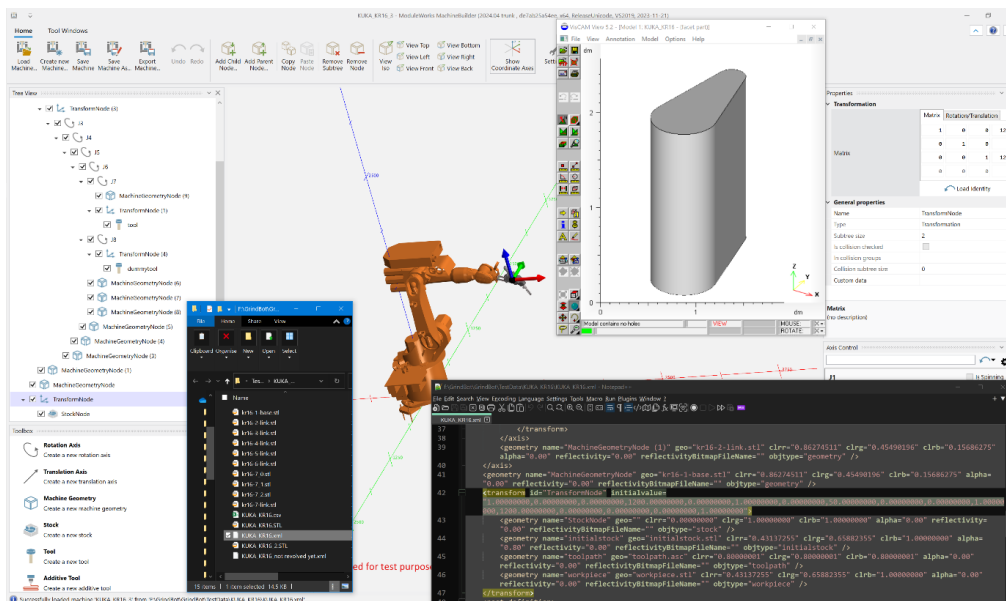


Abbildung 13. Software zur Definition des Werkzeug-Werkstück-Setups.

Aussicht

Es besteht ein allgemeiner Bedarf an der Automatisierung des Schleifens aufgrund der eingangs erwähnten Probleme. Aufbauend auf den Ergebnissen von ArGrind, einem Vorgängerprojekt, an dem ModuleWorks bereits beteiligt war, untersucht das Projekt GrindBot Forschungslücken zur Effizienz und Präzision von Schleifrobotern. Neben der wissenschaftlichen Verwertung wird ModuleWorks den eigenen Kundenstamm über den Abschluss der Arbeiten informieren.

Notwendigkeit der Arbeit

Die vorliegende Arbeit erforderte eine Finanzierung, da GrindBot eine technisch genaue Roboterlösung ist, die für die industrielle Anwendung nützlich und für die Forschung zur Automatisierung aufschlussreich ist. Als Softwareunternehmen hat ModuleWorks keine Kapazitäten, um einen physischen Roboter wie den im GrindBot-Projekt zu entwickeln. Die Kompetenzen der Partner wurden jedoch ideal kombiniert. Umgekehrt stellte ModuleWorks Software-Spezialisten zur Verfügung.

Voraussichtlicher Nutzen

Die Entwicklungen haben dazu beigetragen, eine schnelle und präzise Roboterlösung für das automatisierte Schleifen zu schaffen, die langfristige wirtschaftliche Vorteile bringen kann und durch die Outsourcing vermieden werden kann. Die Arbeit wird es ModuleWorks ermöglichen, andere Industriezweige zu erschließen und in kommerzielle und wissenschaftliche Projekte einzubinden.

Veröffentlichungen und Öffentlichkeitsarbeit

Das Projekt wurde über einen ausführlichen Text auf der ModuleWorks-Website (<https://www.moduleworks.com/grindbot/>) verbreitet und über einen Social-Media-Post auf den Social-Media-Kanälen von ModuleWorks beworben.