TECHNISCHE UNIVERSITÄT CHEMNITZ
Professur Montage- und Handhabungstechnik

CAD orientierte Teach-In Simulation und Bewegungsoptimierung für beliebige Roboterbaureihen

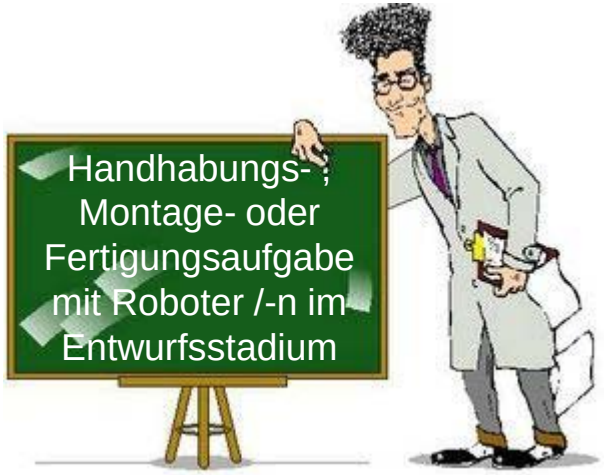
Dipl.-Ing. Mathias Riedel

Inhalt

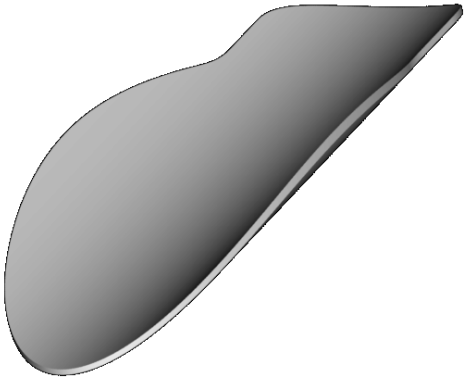
- Problemstellung und Lösungsansatz
- Vorgehensweise Aufbau der Simulationsaufgabe
- Weitere Anwendungsmöglichkeiten der Mathcad Toolbox
- Vorgehensweise Simulation Handhabungs- / Montageaufgaben
- Fazit und Ausblick

Problemstellung

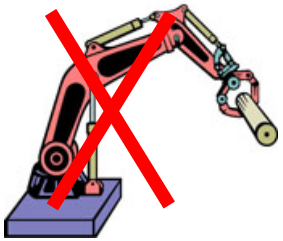
TECHNISCHE UNIVERSITÄT CHEMNITZ
Professur Montage- und Handhabungstechnik



Abbrennen von Material senkrecht zur Flächennormalen an einer beliebigen 3D-Freiformfläche



Problem!



- **Roboter für Versuchsdurchführung nicht vorhanden, da zu kostenintensiv!**

- **Einschlägige Simulationssoftware für virtuelle Roboterprogrammierung nicht vorhanden, da zu kostenintensiv!**

L ö s u n g:

- **Führende Hersteller von Industrierobotern stellen CAD-Daten ihrer Roboter frei im Internet zur Verfügung**
- **Simulation der Fertigungsaufgabe mit ProENGINEER**
- **Bearbeitung Bewegungsfunktionen mit Mathcad**

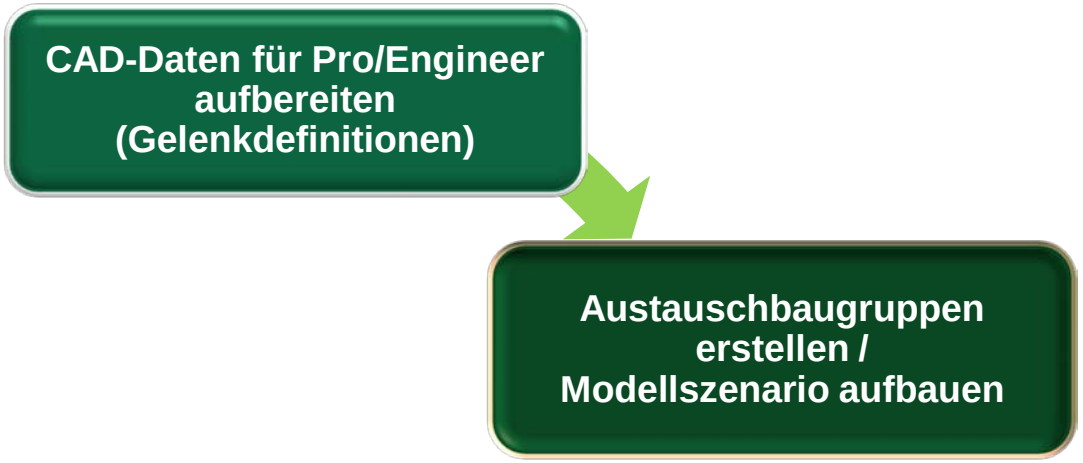
Vorgehensweise Aufbau der Simulationsaufgabe

TECHNISCHE UNIVERSITÄT CHEMNITZ
Professur Montage- und Handhabungstechnik

CAD-Daten für Pro/Engineer aufbereiten (Gelenkdefinitionen)

Vorgehensweise Aufbau der Simulationsaufgabe

TECHNISCHE UNIVERSITÄT CHEMNITZ
Professur Montage- und Handhabungstechnik

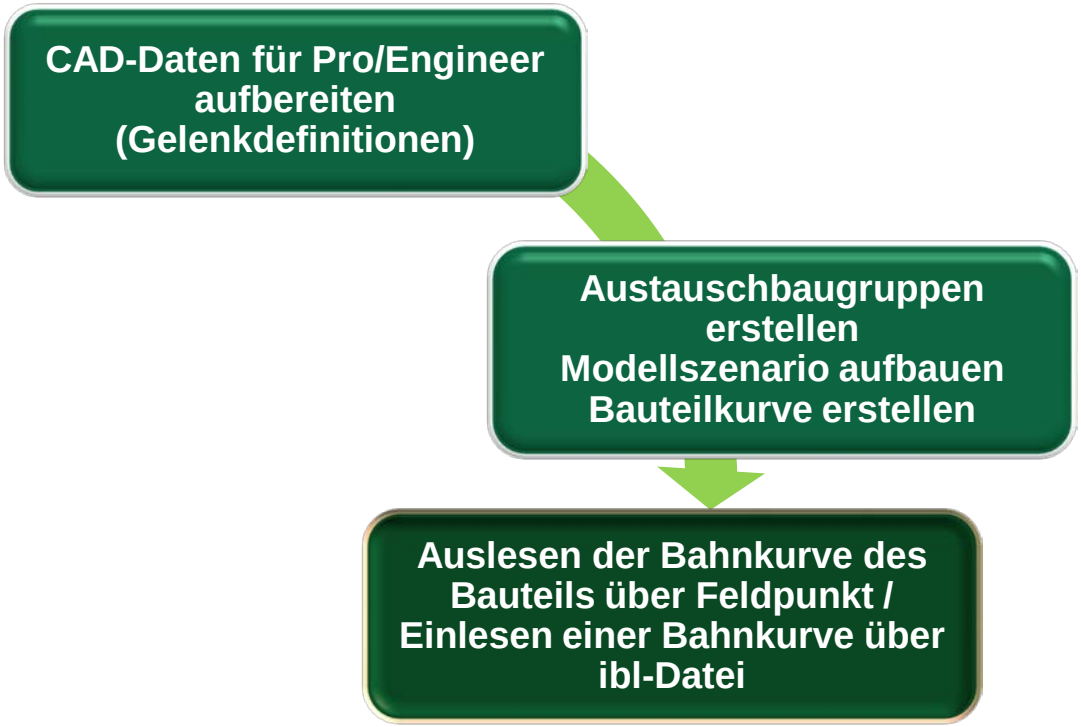


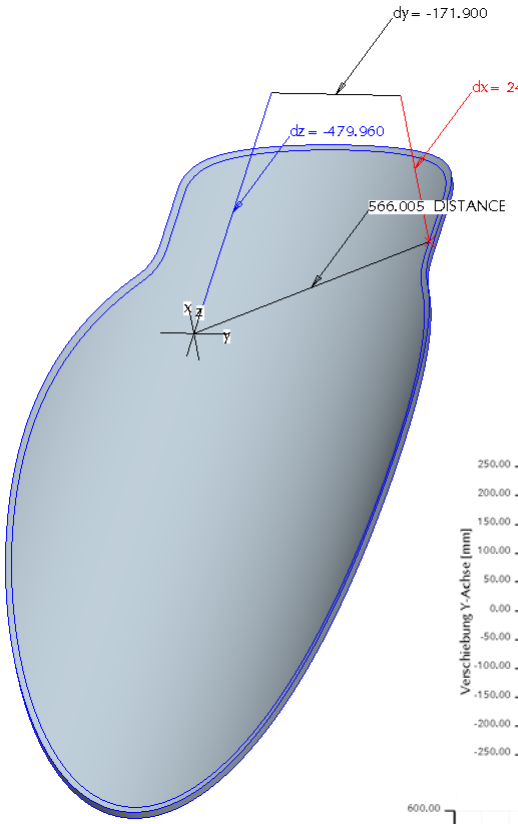
Vorgehensweise Aufbau der Simulationsaufgabe

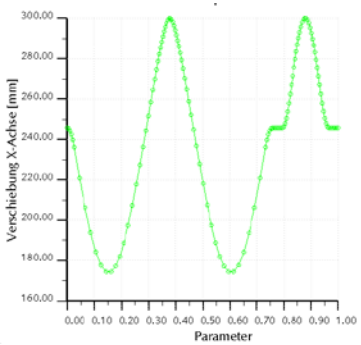
TECHNISCHE UNIVERSITÄT CHEMNITZ
Professur Montage- und Handhabungstechnik

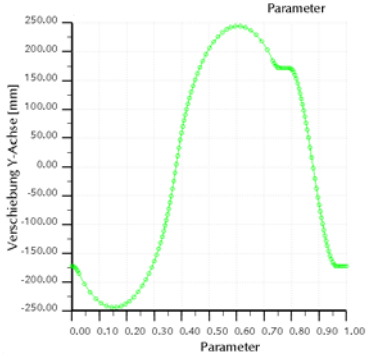
Vorgehensweise Aufbau der Simulationsaufgabe

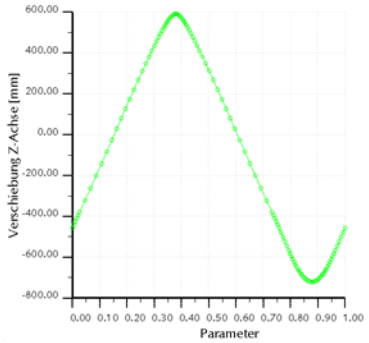
TECHNISCHE UNIVERSITÄT CHEMNITZ
Professur Montage- und Handhabungstechnik











- **Kurve erzeugen über Kopie der Außenkontur**

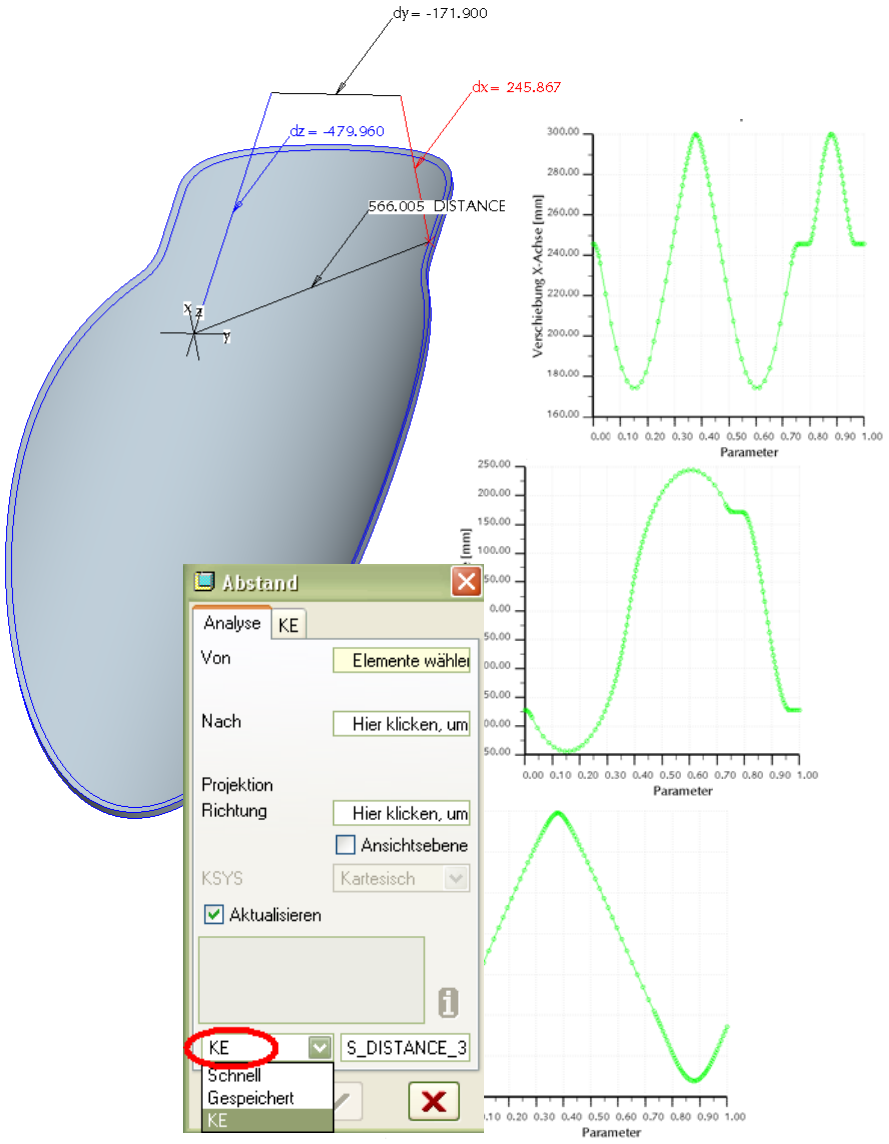
Sind Kurvendaten vorhanden dann muss eine ibl-Datei erstellt werden, welche die Daten der 3 Koordinatenrichtungen enthält. Erstellt wird die Kurve in ProEngineer Kurvenerstellung aus Datei.

- **Versatzkurve erstellen (Abbrennen von Material senkrecht zur Flächennormalen)**

Ist nur eine Option. Arbeitsaufgabe lautete Material mit einem Versatz von 10 mm zur Außenkontur abzubrennen. Ein Weiteres Anwendungsfeld wäre das Ausbrennen einer bestimmten Kontur am Bauteil. In diesem Fall müsste eine externe Kurve eingeladen werden.

- **Feldpunkt auf Versatzkurve definieren**

Option Feldpunkt auf Versatzkurve ist nur notwendig, wenn die Bauteilkurve nicht mit externen Daten beschrieben werden kann.



- **Abstandsanalyse ausführen - Abstand Feldpunkt zu Bauteilkoordinatensystem**

Nur durch Angabe „Von Feldpunkt Nach Koordinatensystem“ erhält man den direkten Abstand der beiden Punkte. Für eine Aufsplittung nach X, Y, Z muss Koordinatensystem nochmal als Richtungsoption gewählt werden.

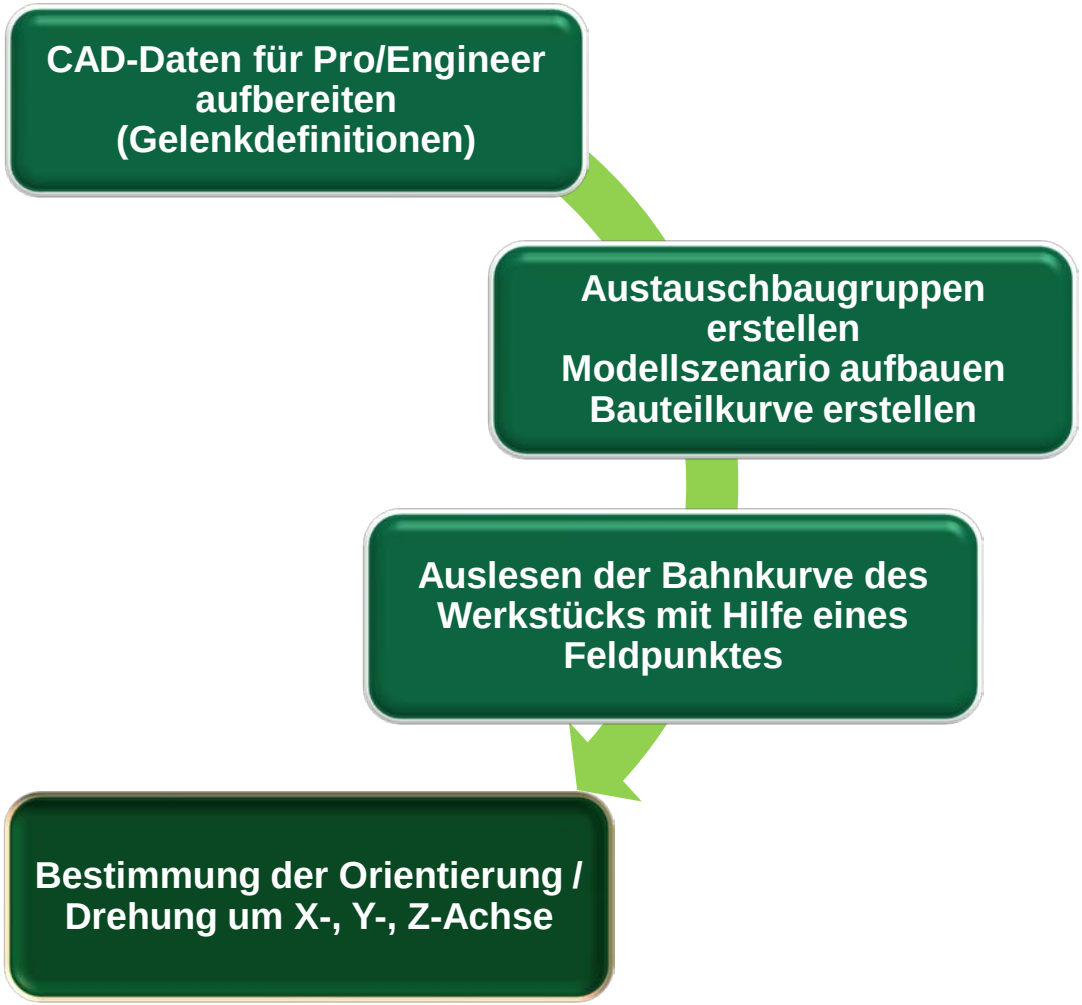
- **Analyse und Feldpunkt zu einer Gruppe zusammenführen**
- **Ausführen einer Benutzerdefinierten Analyse**

Analyse muss dreifach durchgeführt werden, da je Berechnungszyklus nur eine Koordinatenrichtung berechnet wird.

- **Export der Daten für Verschiebung entlang X-, Y-, Z-Richtung**

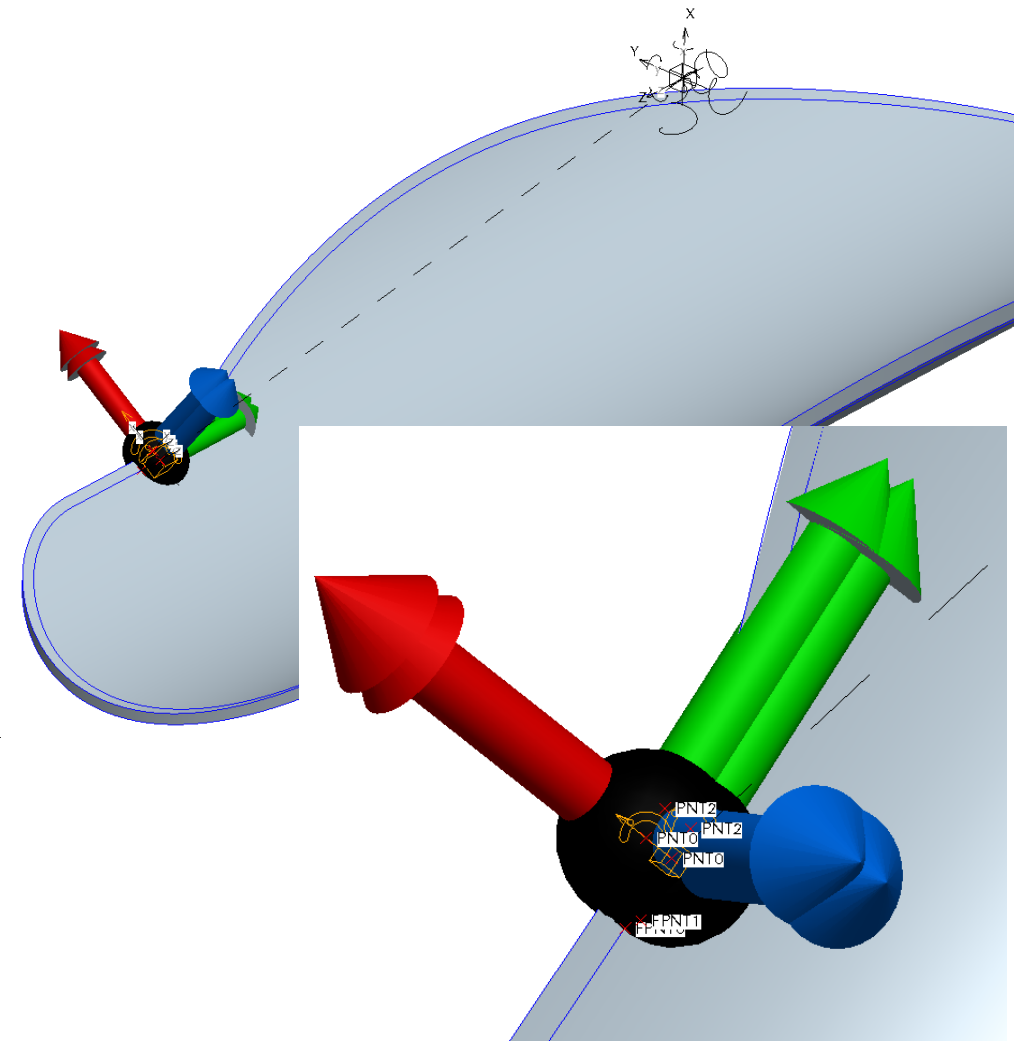
Vorgehensweise Aufbau der Simulationsaufgabe

TECHNISCHE UNIVERSITÄT CHEMNITZ
Professur Montage- und Handhabungstechnik



Vorgehensweise Aufbau der Simulationsaufgabe

TECHNISCHE UNIVERSITÄT CHEMNITZ
Professur Montage- und Handhabungstechnik



- Zusammenbau zweier Koordinatensysteme über Definition Schubgelenk

Notwendig für Ermittlung der Orientierung des TCP, da Arbeitsaufgabe lautet „Abbrennen von Material senkrecht zur Flächennormalen“

- Einbau des Koordinatensystems und Zuweisung der Definitionen 6 FG, Führung, Führung

Definition 6 FG erlaubt es Koordinatensystem 3 Translationen und 3 Rotationen zuzuweisen. Definition Führung zwei mal, um Koordinatensystem in die senkrechte Richtung zur Flächennormalen zu zwingen.

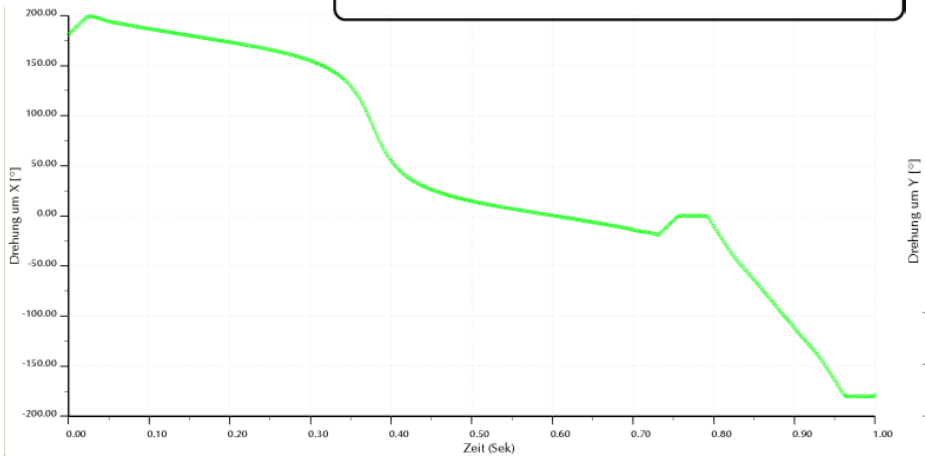
- Definition von Messgrößen – Drehung um X-, Y-, Z-Achse an Koordinatensystem für 6FG

- Export der Daten nach Mathcad zur Aufbereitung

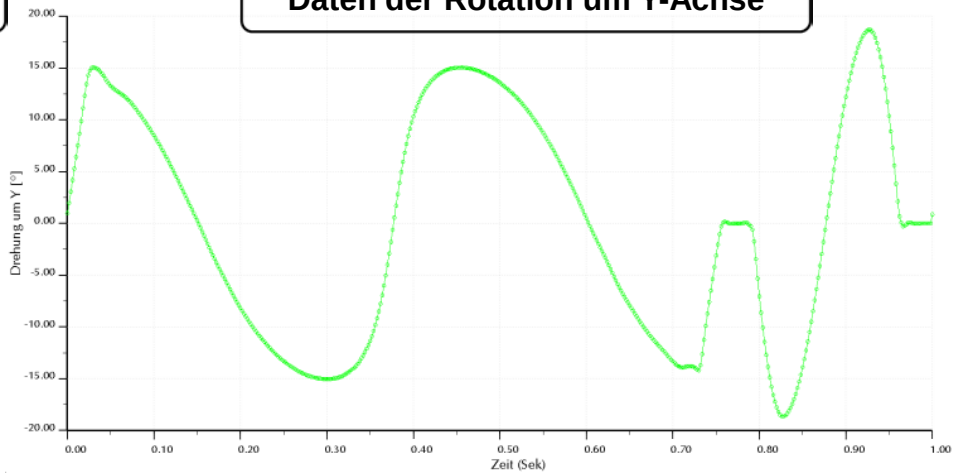
Vorgehensweise Aufbau der Simulationsaufgabe

TECHNISCHE UNIVERSITÄT CHEMNITZ
Professur Montage- und Handhabungstechnik

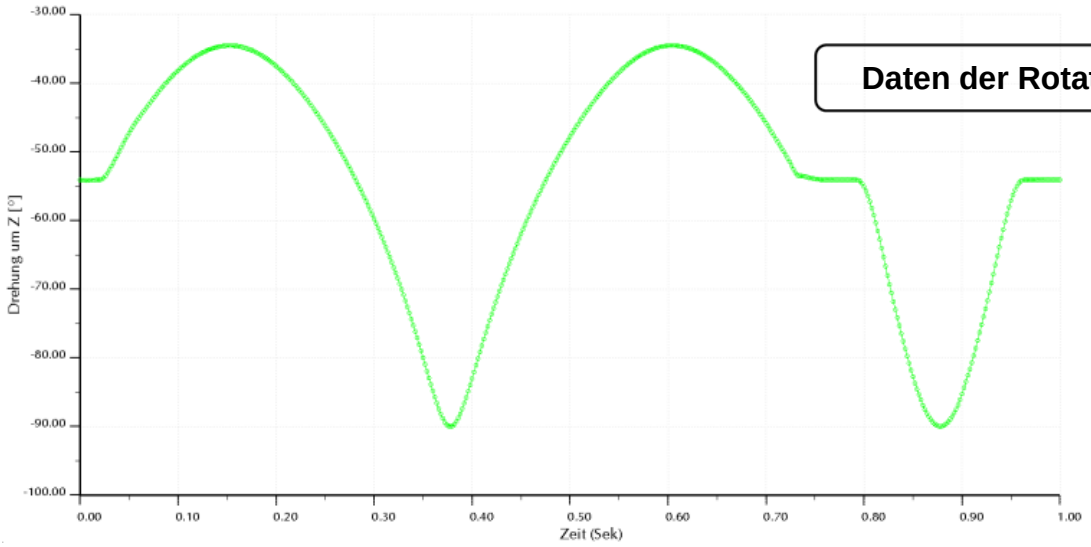
Daten der Rotation um X-Achse



Daten der Rotation um Y-Achse

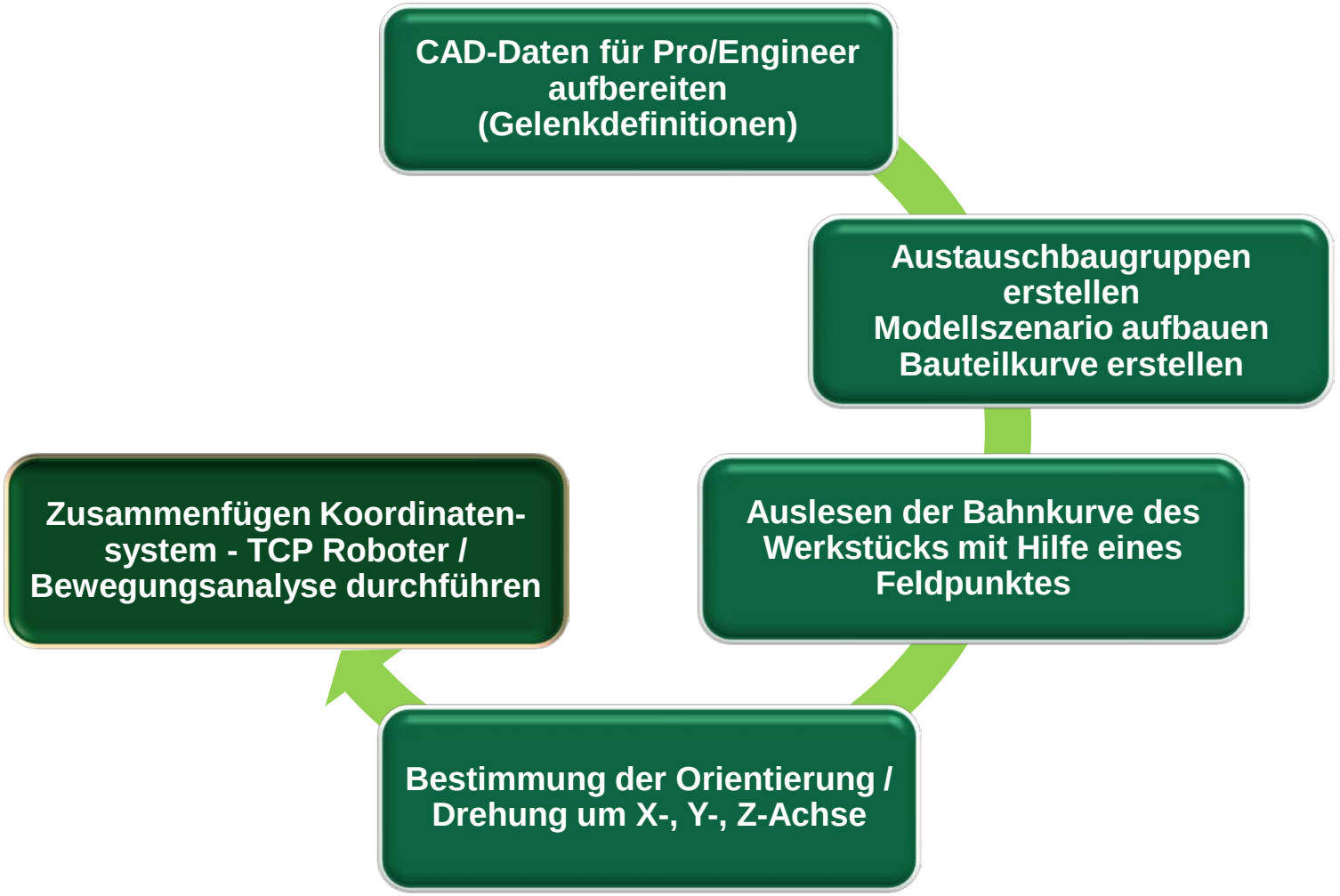


Daten der Rotation um Z-Achse



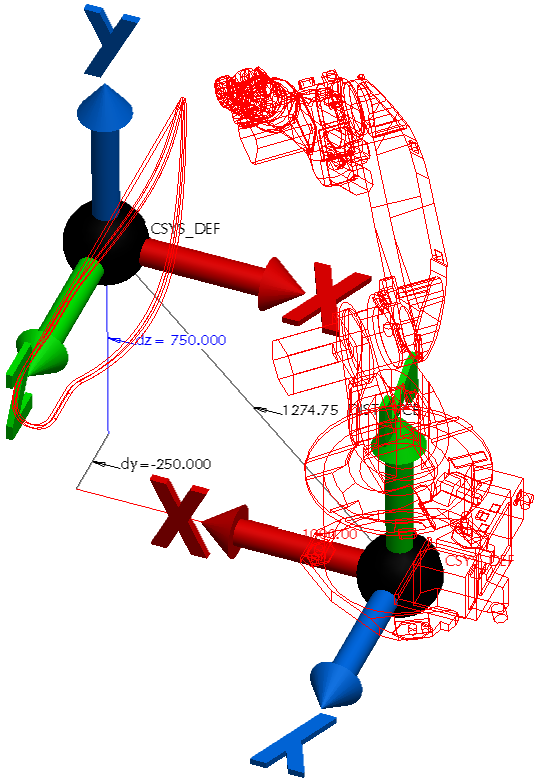
Vorgehensweise Aufbau der Simulationsaufgabe

TECHNISCHE UNIVERSITÄT CHEMNITZ
Professur Montage- und Handhabungstechnik



Vorgehensweise Aufbau der Simulationsaufgabe

Werkstückkoordinatensystem

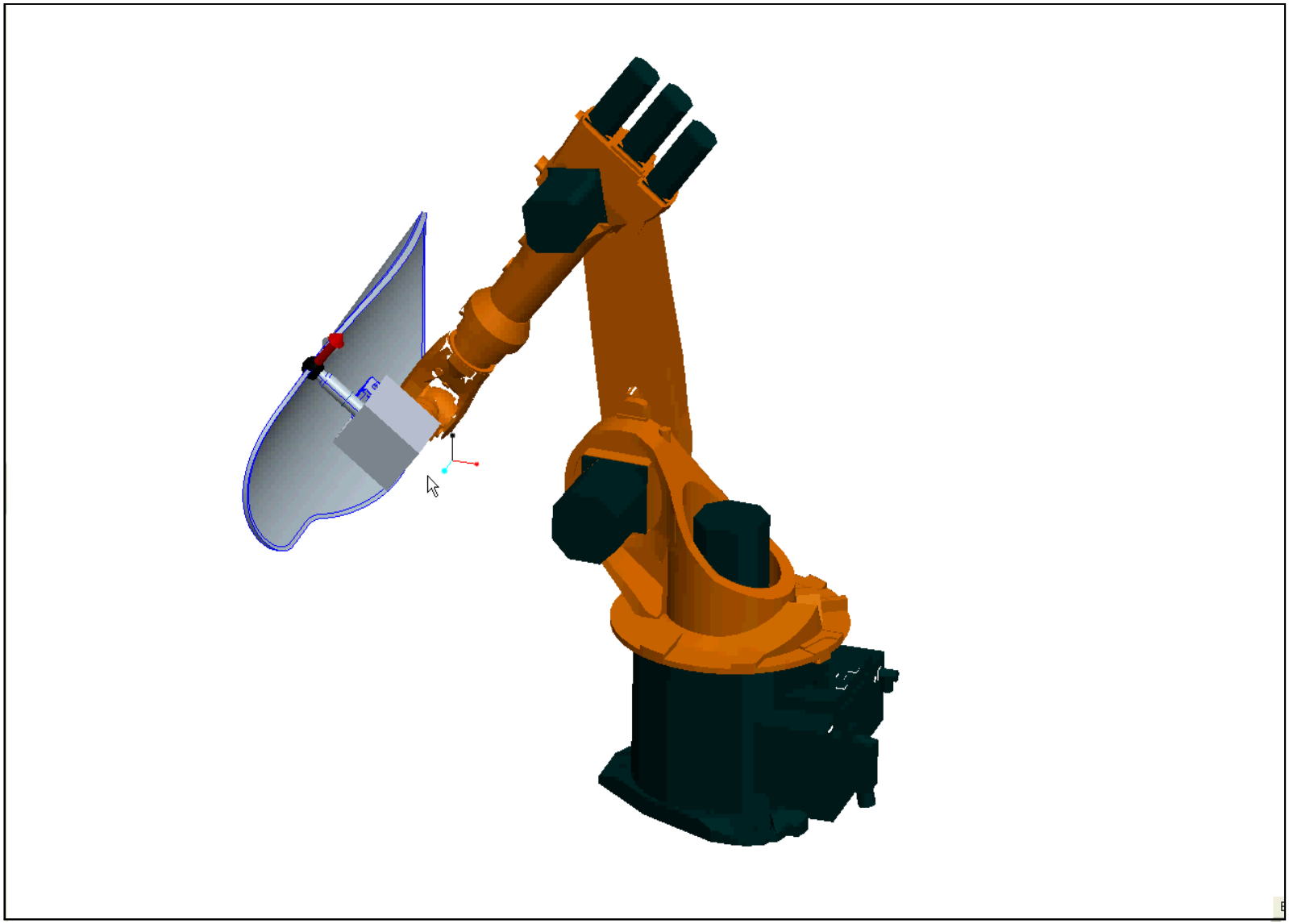


Vorgabe der Aufspannlage des Werkstücks durch Kunden. Untersuchung der Machbarkeit

Roboterkoordinatensystem

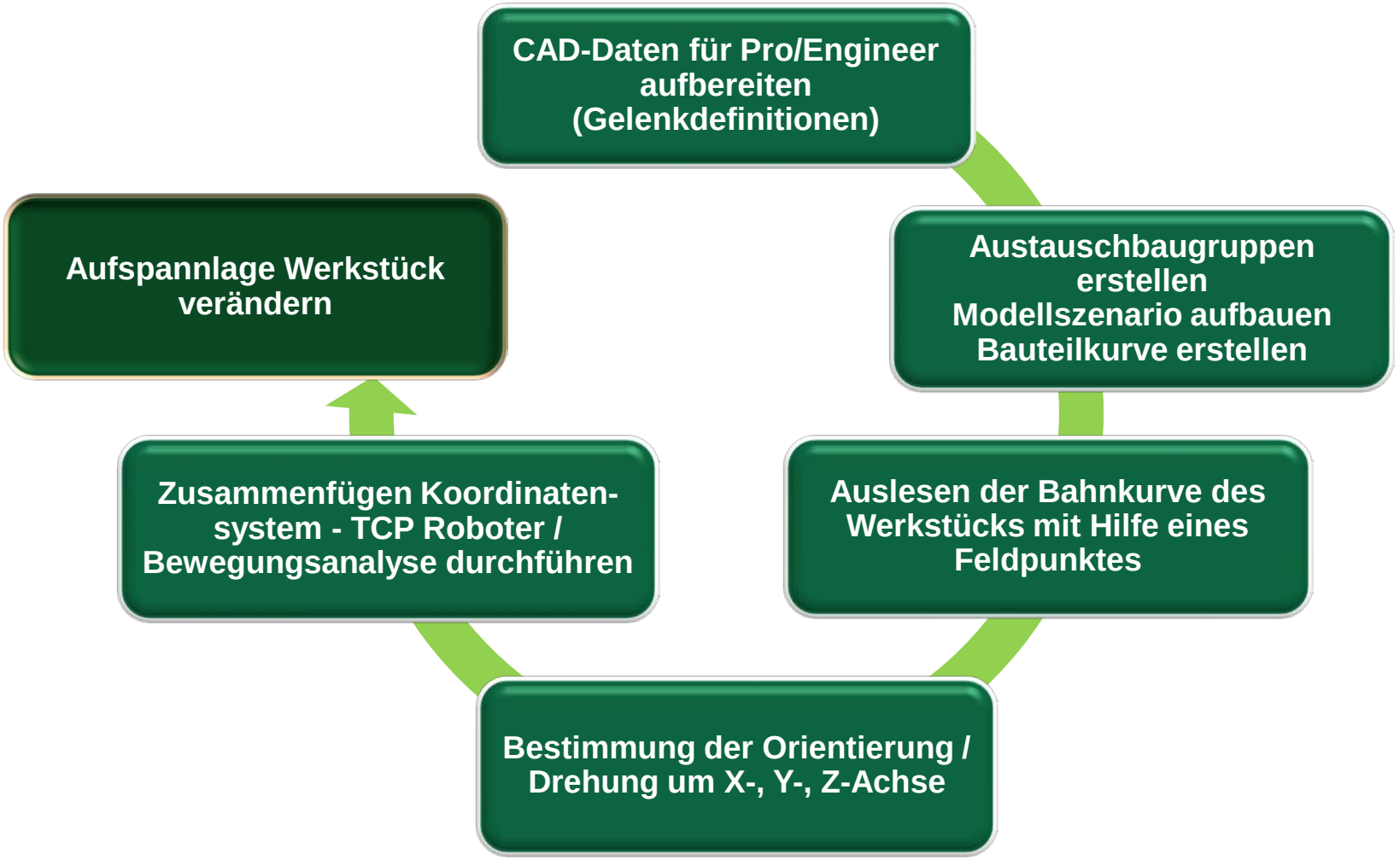
Vorgehensweise Aufbau der Simulationsaufgabe

TECHNISCHE UNIVERSITÄT CHEMNITZ
Professur Montage- und Handhabungstechnik



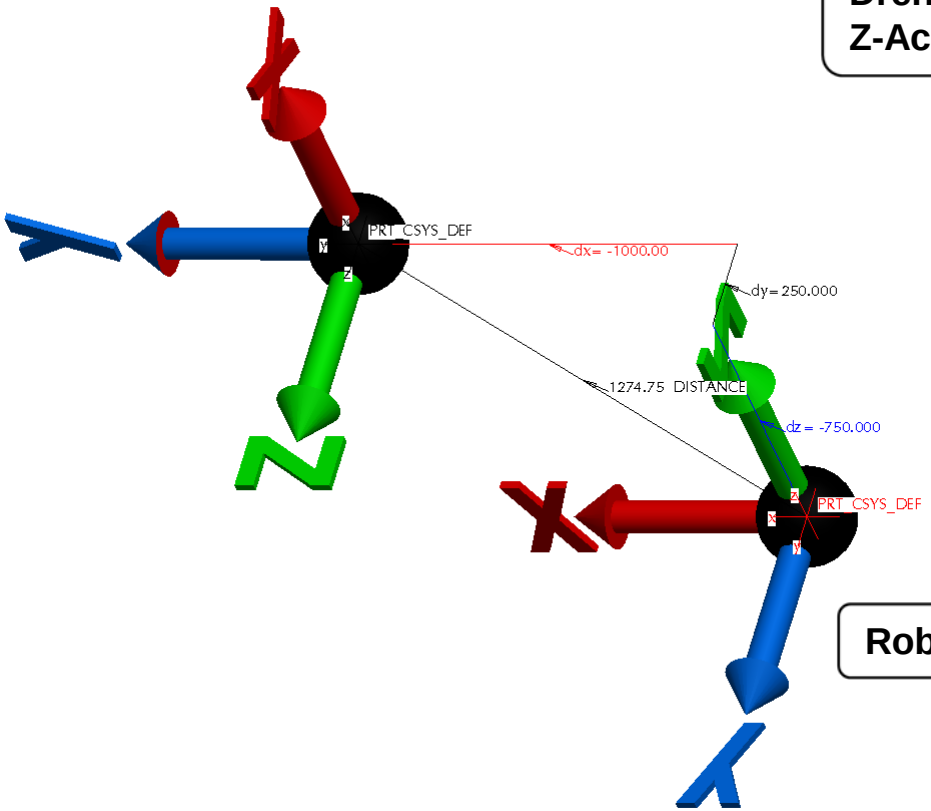
Vorgehensweise Aufbau der Simulationsaufgabe

TECHNISCHE UNIVERSITÄT CHEMNITZ
Professur Montage- und Handhabungstechnik



Werkstückkoordinatensystem

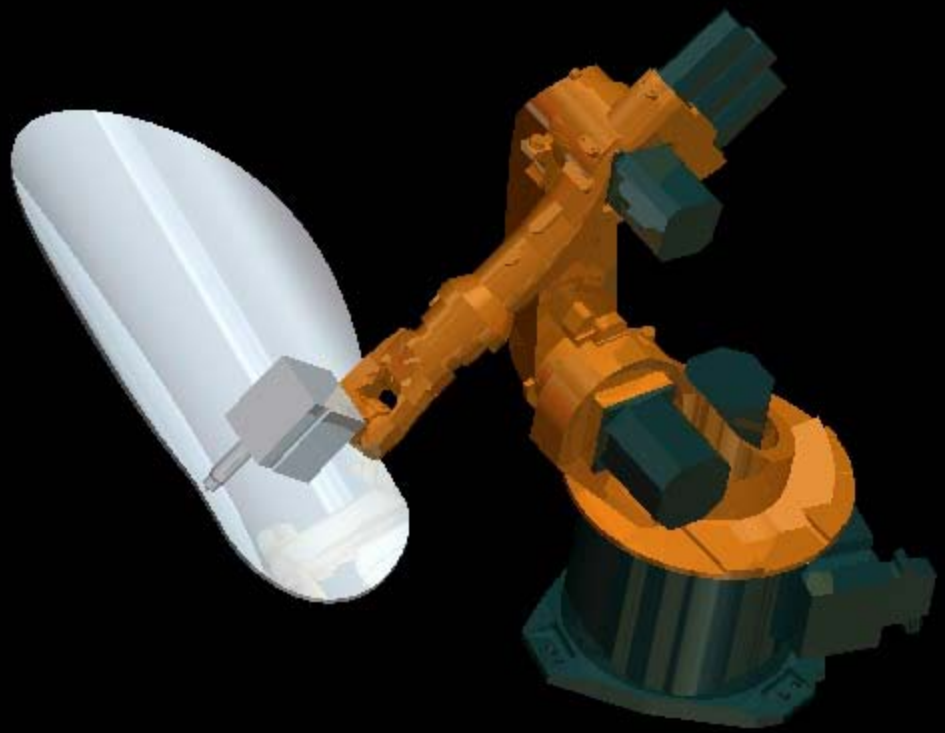
Drehung des Werkstücks um 90° entlang der Z-Achse des Werkstückkoordinatensystems.



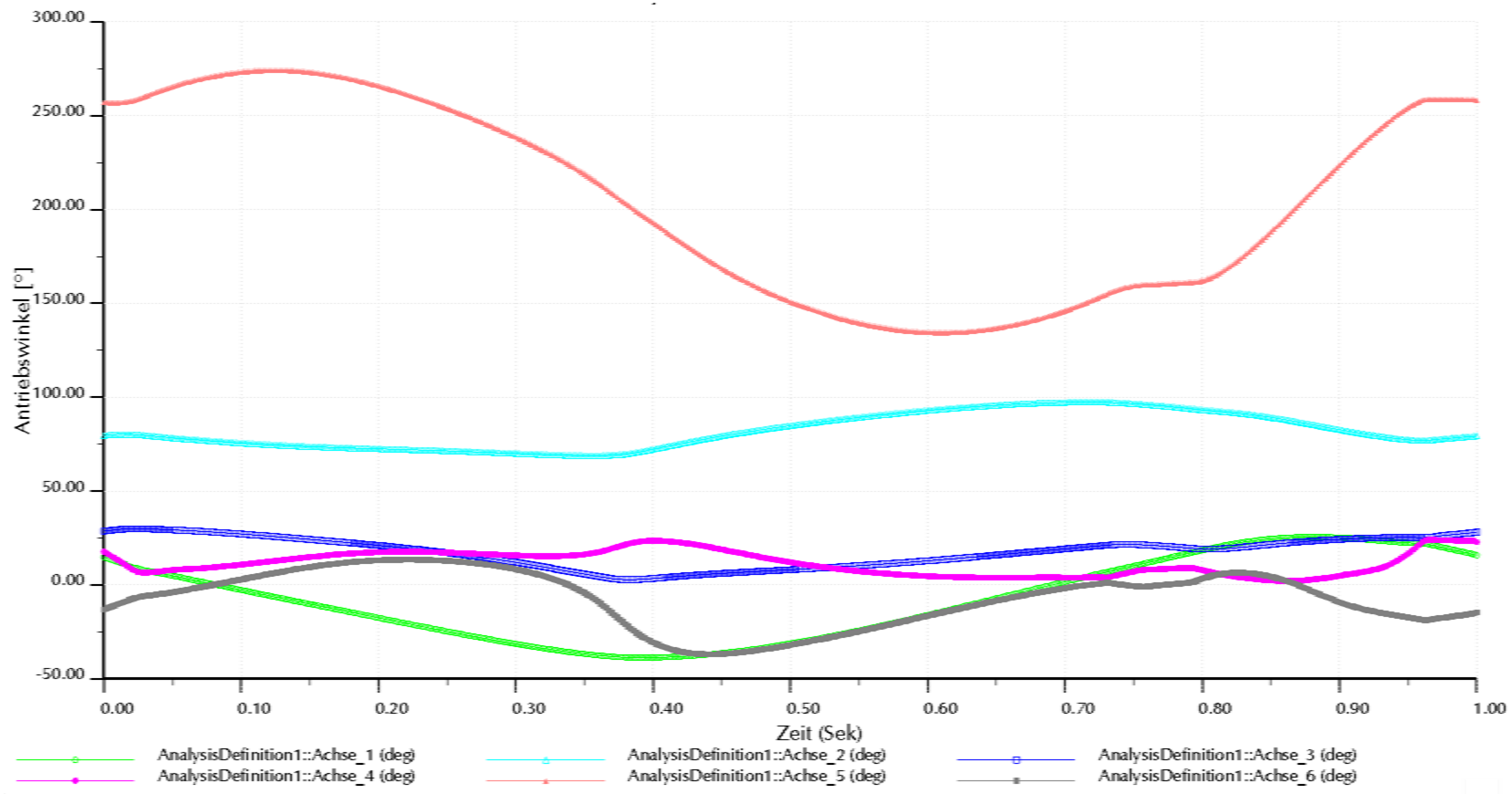
Roboterkoordinatensystem

Vorgehensweise Aufbau der Simulationsaufgabe

TECHNISCHE UNIVERSITÄT CHEMNITZ
Professur Montage- und Handhabungstechnik



Vorgehensweise Aufbau der Simulationsaufgabe

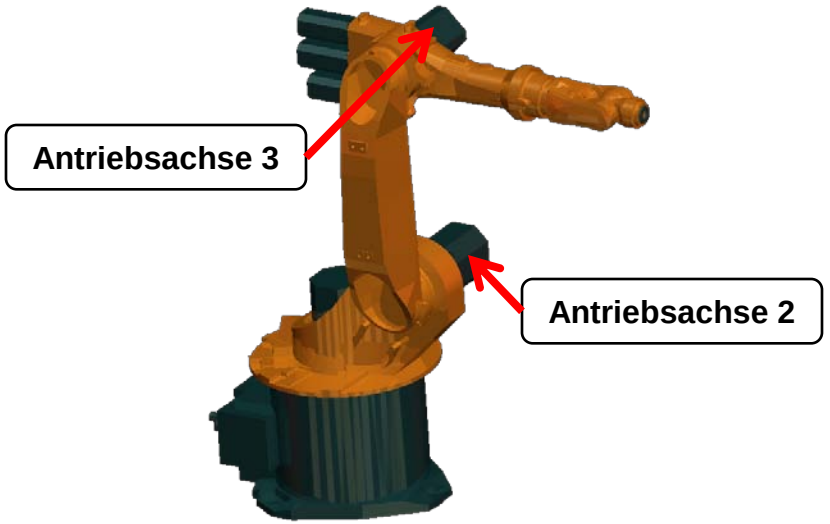


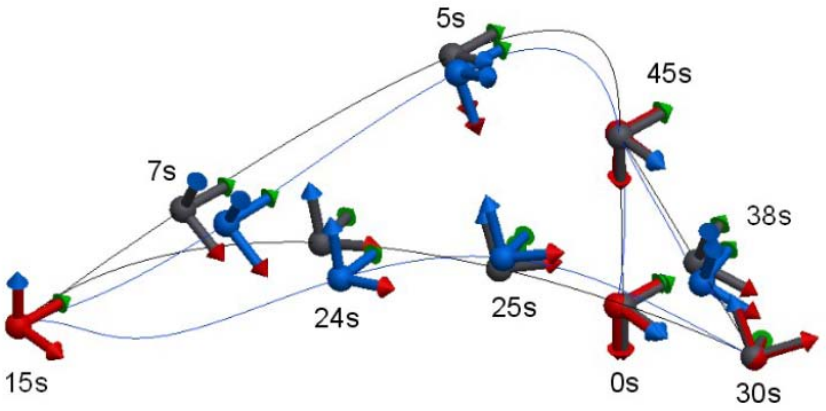
Die Lage des Werkstücks ist in Bezug auf den Verlauf der Antriebswinkel der einzelnen Roboterachsen gut gewählt. Die Kurven zeigen keine Unstetigkeiten, so dass in diesem Fall eine Glättung einzelner Kurven nicht notwendig ist!

Vorgehensweise Aufbau der Simulationsaufgabe

Ist Kontur der Freiformfläche komplexer und / oder ist das Werkstück in einer ungünstigen Lage aufgespannt, dann ist es möglich das Bewegungskurven einzelner Antriebsachsen Unstetigkeiten aufweisen. Diese Unstetigkeiten werden über Glättungsverfahren minimiert bzw. vollständig geglättet.

Eine Glättung verursacht aber auch immer eine kleinere bis größere Veränderung der Bewegungskurve. Je nachdem welche Bewegungskurve der 6 Antriebsachsen geglättet wird hat dies unterschiedliche Auswirkung auf den Verlauf der Trajektorie des TCP. Untersuchungen in studentischen Arbeiten zu diesem Thema ergaben, das hauptsächlich Veränderungen an den Achsen 2 und 3 größere Auswirkungen auf den Verlauf der Trajektorie des TCP haben.





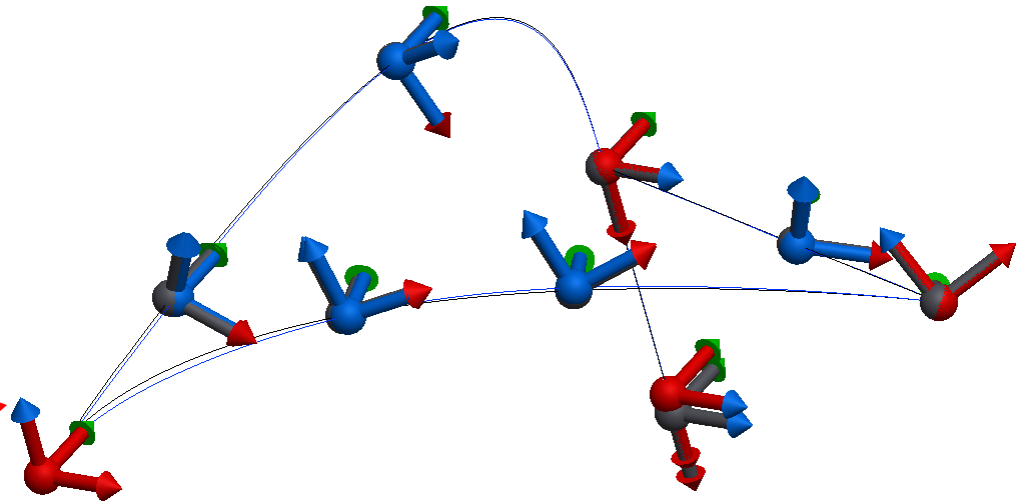
Vorgehensweise Aufbau der Simulationsaufgabe

Glättung Bewegungskurven mit Mathcad

MATTOOL

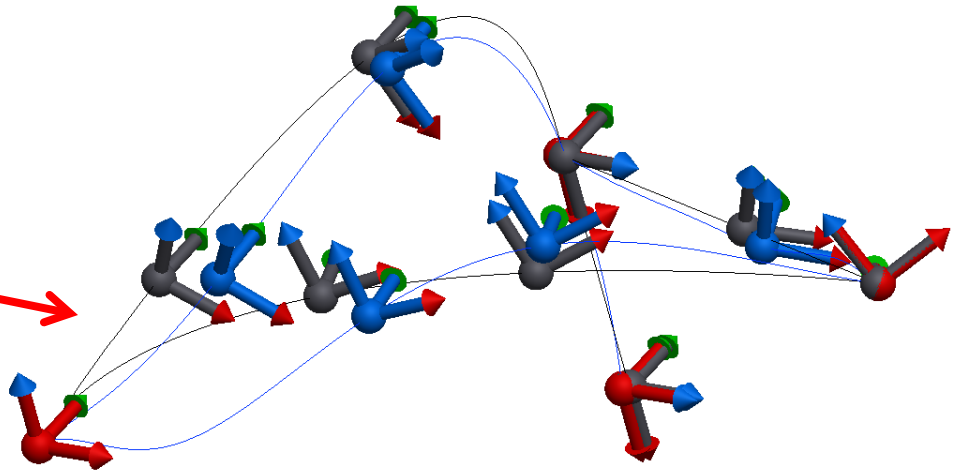
Synthese-Toolbox S-TB	Geometrie-Toolbox G-TB	Analyse-Toolbox A-TB
Bewegungsdesign Toolbox B-TB	Kinetostatik-Toolbox K-TB	Höhere Gliedergruppe Toolbox H-TB

Gauß‘sches Glättungs-verfahren



Glättung mit Hilfe des Gauß‘schen Kerns. Grad der Glättung kann händisch über Definition eines Wertes, der Bandbreite b, beeinflusst werden. Je größer b gewählt wird umso stärker wird die Kurve geglättet.

Glättungsverfahren der kleinsten Fehlerquadrate



Minimierung der Fehlerquadrate zu den nächstliegenden Datenpunkten. Grad der Glättung kann bei diesen Verfahren nicht händisch eingestellt werden.

Erstellen von Bahntrajektorien für präzise Handhabungs- und Montageaufgaben

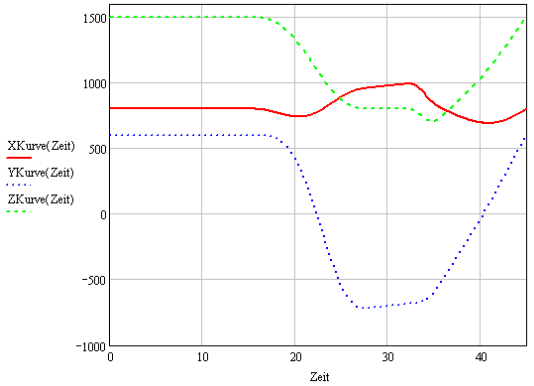
MATTOOL

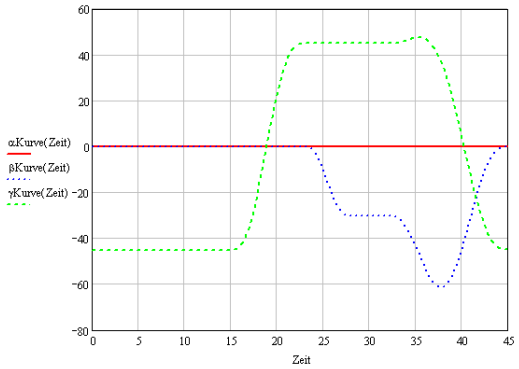
Bewegungsdesign enthält:

- allgemeine Bewegungsgesetze (Gerade, Polynom 5ten bzw. 7ten Grades, Kreis, …)
- universelle Funktionen (kubischer quintischer Spline)
- wie auch Bewegungsfunktionen für Rast in Rast Bewegung

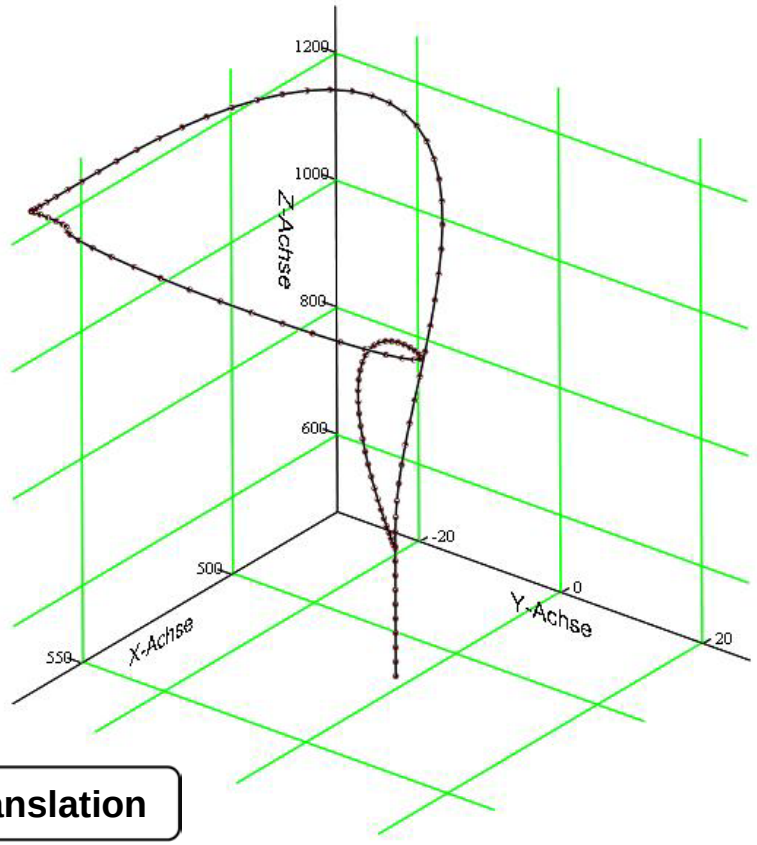
Optimierung Bahnkurve hinsichtlich:

- Optimierter Geschwindigkeits- und Beschleunigungsverläufe für ruck- und stoßfreien Bewegungsablauf
- Reduktion von Überschwingern / Unstetigkeiten (Glättung)



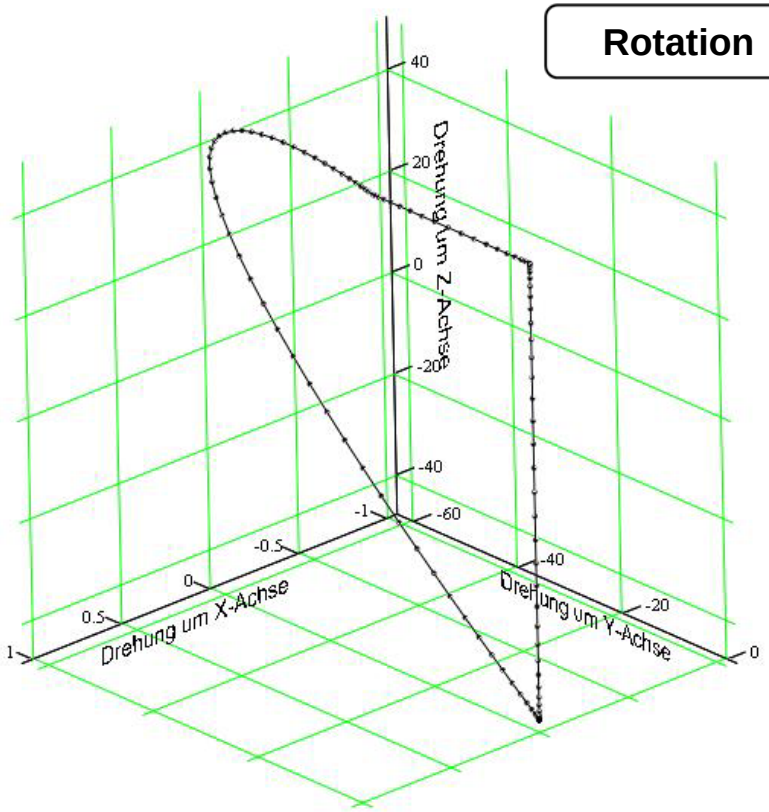


Erstellen von Bahntrajektorien für präzise Handhabungs- und Montageaufgaben



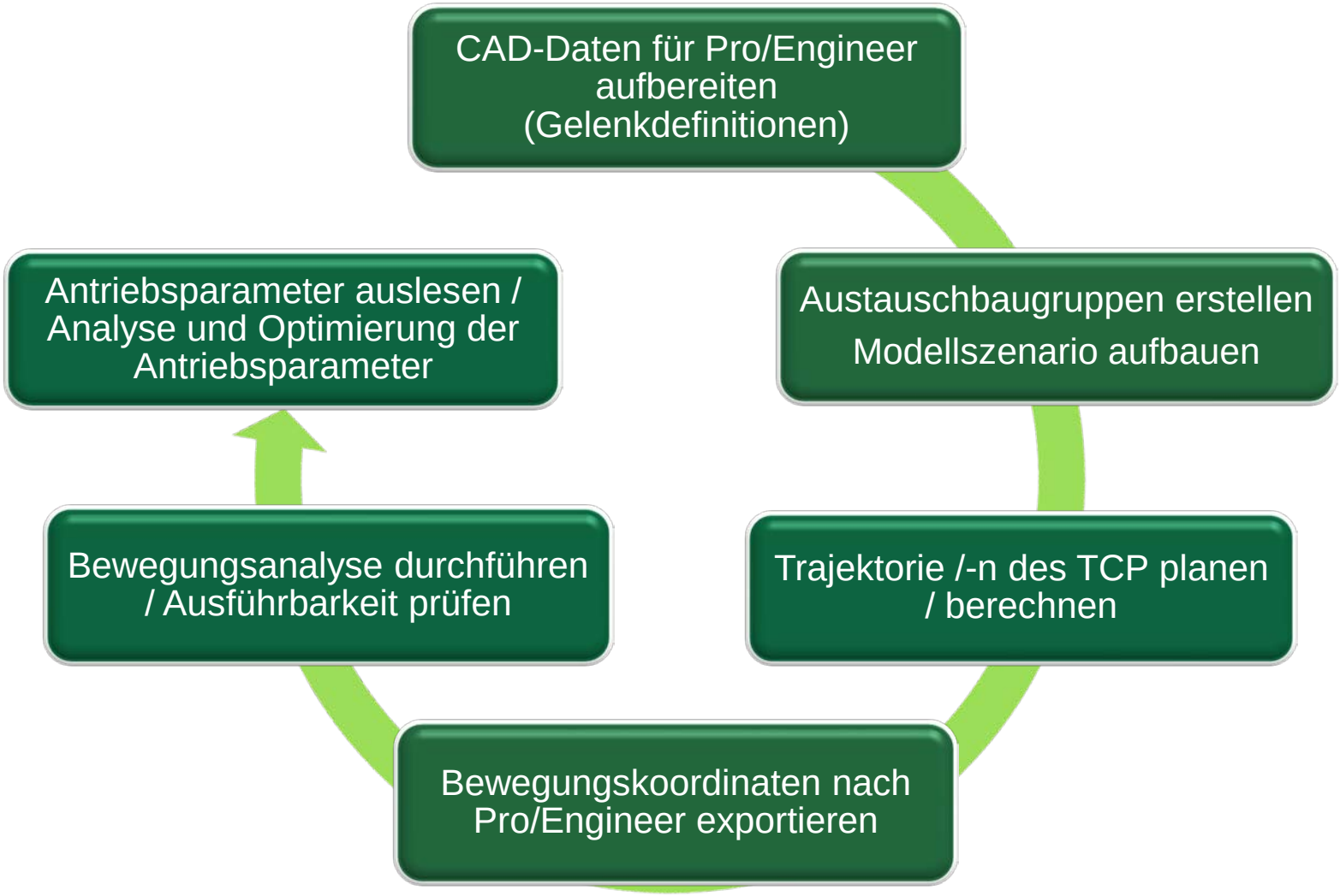
Translation

Rotation



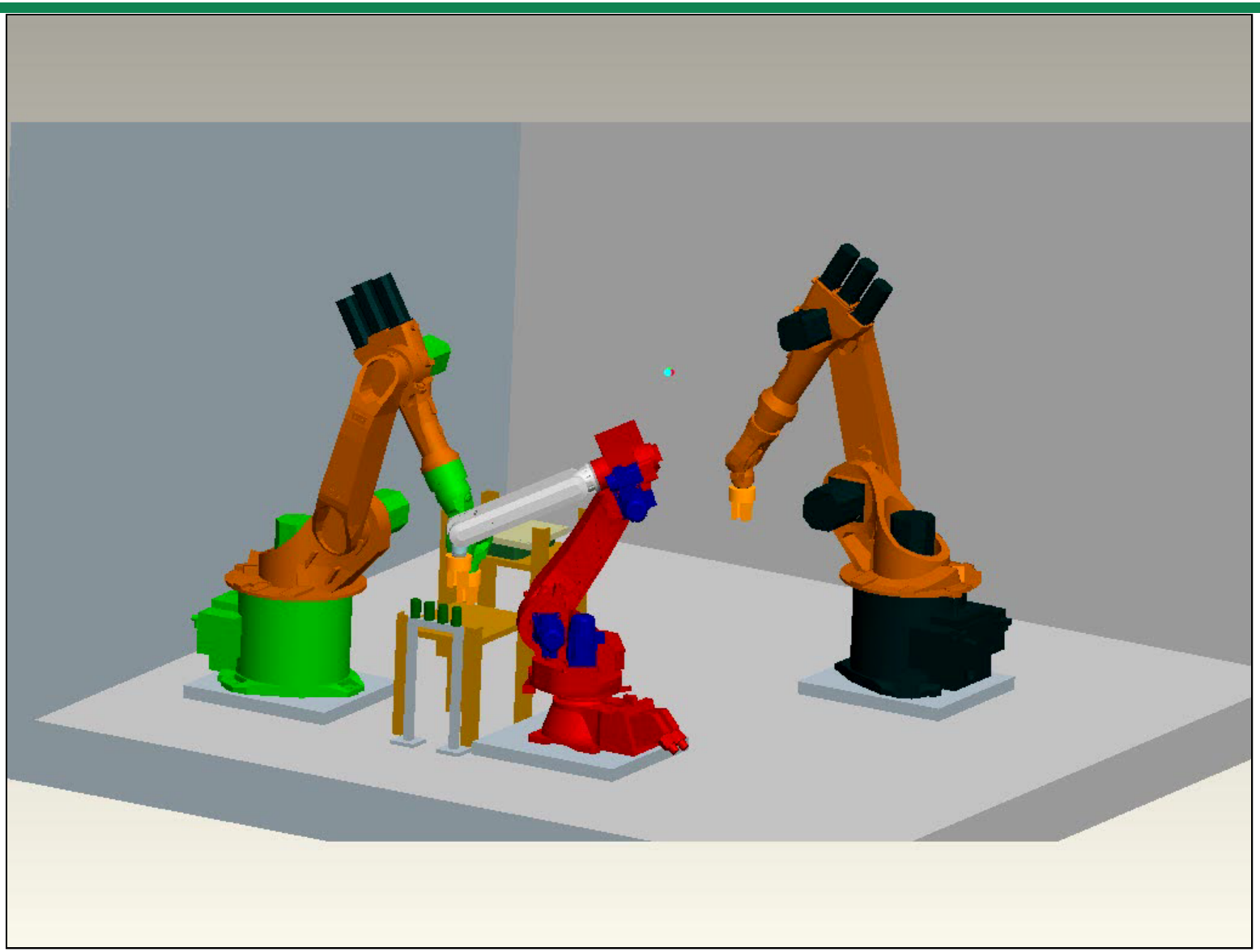
Vorgehensweise Simulation Handhabungs- / Montageaufgaben

TECHNISCHE UNIVERSITÄT CHEMNITZ
Professur Montage- und Handhabungstechnik



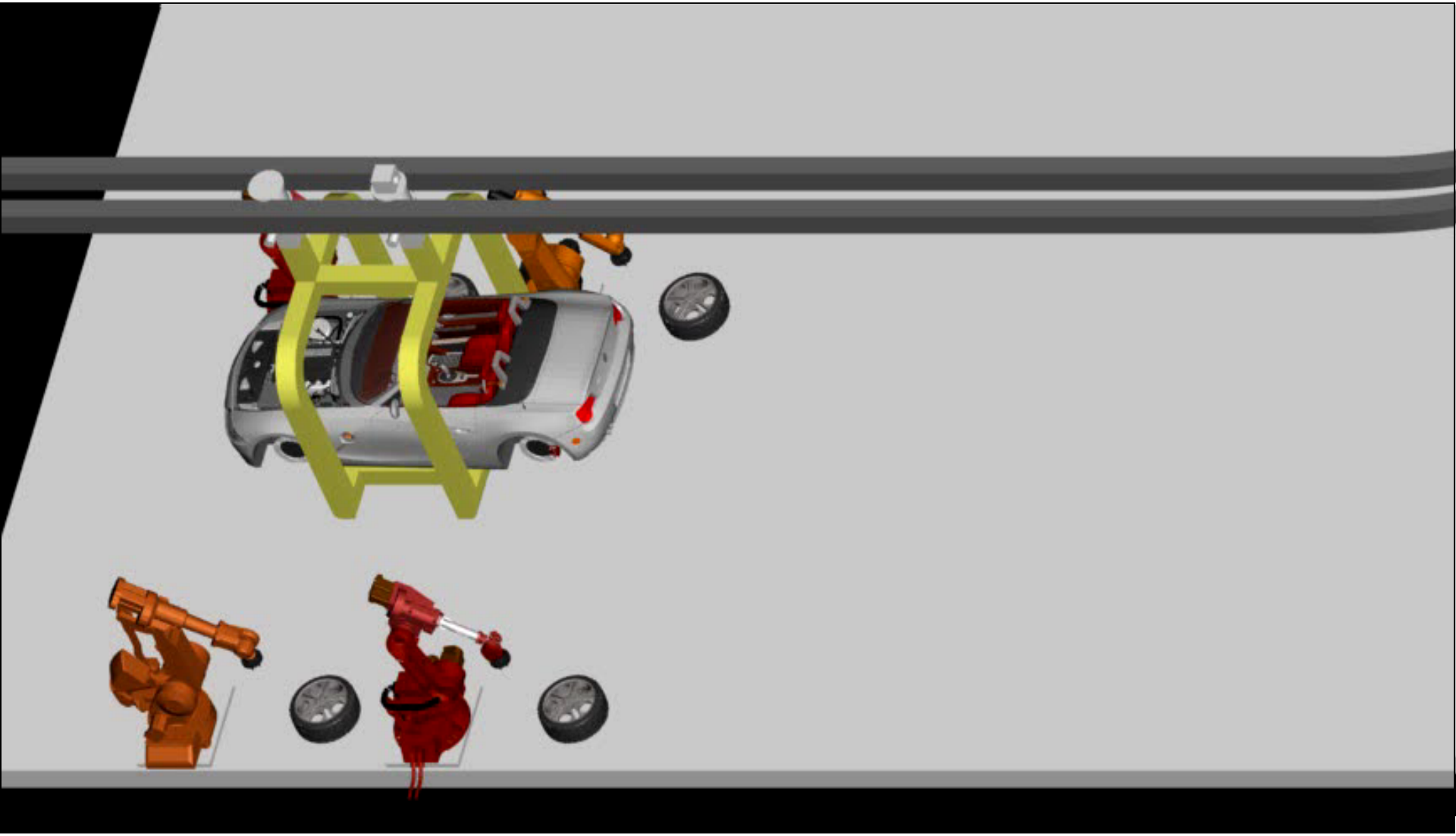
Vorgehensweise Simulation Handhabungs- / Montageaufgaben

TECHNISCHE UNIVERSITÄT CHEMNITZ
Professur Montage- und Handhabungstechnik



Vorgehensweise Simulation Handhabungs- / Montageaufgaben

TECHNISCHE UNIVERSITÄT CHEMNITZ
Professur Montage- und Handhabungstechnik



Fazit:

1. Zur Zeit für Voruntersuchungen / Machbarkeitsstudien geeignet

2. Eignung für MKS-Simulationen durch Ergebnisse noch nicht abgedeckt

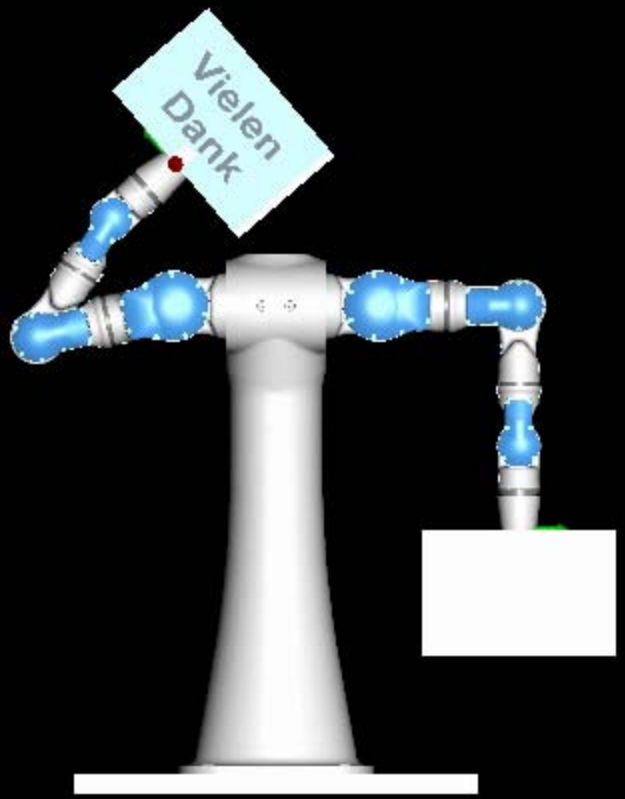
Ausblick:

1. Untersuchung kinematischer Parameter (Geschwindigkeit, Beschleunigung, Ruck / Stoß)

2. Ist Bewegungssimulation auch mit diesen Parametern möglich?

3. Roboterachsen Massen zuweisen

4. Bestimmen von Achsmomenten, Vergleich mit Herstellerangaben



Dipl.-Ing.
Mathias Riedel

Technische Universität Chemnitz
Professur Montage- und Handhabungstechnik
E-Mail: mathias.riedel@mb.tu-chemnitz.de
URL: www.tu-chemnitz.de/mb/MHT
Telefon: +49 (0) 371 531 37394