

# Case-Study: Simulation eines Delta-Roboters – Von der Konzeptidee zur virtuell validierten Variante



**Autor:** Dipl.-Ing. (FH) Patrick Erdmann  
Senior Support Engineer CAE Solutions bei Wölfel

## Die Ausgangslage

Die Firma Weiss GmbH entwickelt und produziert unter anderem Delta-Roboter. Vor allem die Verpackungsindustrie und die Elektrobranche setzen diese zur automatisierten, wiederholbaren Positionierung ein. Der Vorteil von Delta-Robotern: eine hohe Wiederholgenauigkeit (Präzision) bei gleichzeitig hohen Geschwindigkeiten.

Bei der Entwicklung eines Delta-Roboters (Abbildung 1) setzte die Firma Weiss auf die **Mehrkörpersimulation (MKS)**, um spezifische Fragen bei der Konstruktion zu beantworten:

- Wie müssen die Gelenke in der MKS-Software abgebildet werden, um ein kinematisch eindeutiges Modell des Delta-Roboters zu erhalten?
- Welchen Einfluss haben elastische Bauteile wie Unterarme auf die Positioniergenauigkeit?
- Lässt sich die geforderte Positioniergenauigkeit mit elastischen Unterarmen überhaupt erreichen?

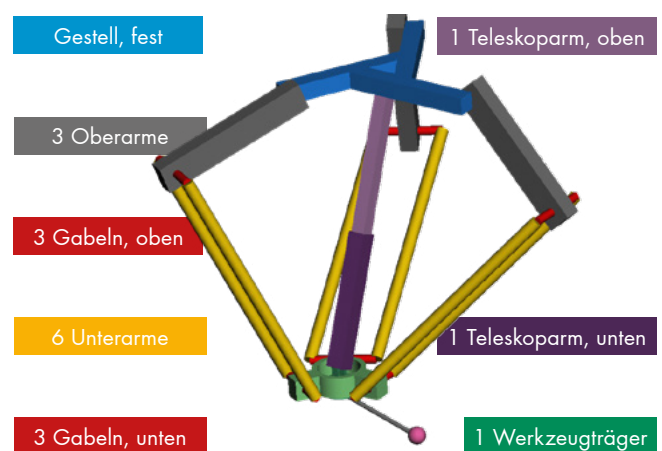


Abbildung 1: Delta-Roboter

An diesem Punkt holte sich die Firma Weiss Unterstützung bei den Simulationsingenieuren von Wölfel. Mithilfe einer Kombination von **Mehrkörper- und Finite-Elemente-Simulationen** konnten diese die Frage nach der Positioniergenauigkeit beantworten.

## Wer ist Wölfel?

Wir von Wölfel führen schon seit mehr als 45 Jahren numerische Simulationen für Kunden aus den verschiedensten Bereichen durch, insbesondere in den Disziplinen Finite-Elemente-Methode (FEM) und Mehrkörpersimulation (MKS). Seit 2013 bieten wir als zertifizierter Vertriebs-, Support- und Service-Partner für die SIMULIA-Produktsuite von Dassault Systèmes auch High-End-Software-Lösungen an.

>> Mehr erfahren

## Die Herangehensweise im Detail

Modelliert man in der Mehrkörpersimulation eines Delta-Roboters die Gelenke analog zur Realität, wird die Simulation aufgrund einer kinematischen Überbestimmung des Systems nicht starten. Die Ingenieure bei Wölfel überlegten deshalb auf Grundlage bisheriger Erfahrungen, wie die Freiheitsgrade der Gelenke bestimmt sein müssten, um die drei vorgegebenen rotatorischen Freiheitsgrade der Antriebe auf drei translatorische Freiheitsgrade am Werkzeugträger zu übertragen.

Mithilfe der Werte aus diesen kinematischen Vorüberlegungen setzte das Team in der MKS-Software SIMULIA Simpack zunächst ein ideales Starrkörpermodell auf. Dieses diente einerseits der Validierung der theoretisch erdachten Gelenkkombination und andererseits als Referenz zur Bestimmung der Positioniergenauigkeit bei einem Modell mit elastischen Unterarmen.

Um die Modelle zu vergleichen, ergänzte Wölfel das MKS-Modell in SIMULIA Simpack mit einem Finite-Elemente-Modell aus dem FEM-Programm SIMULIA Abaqus. Dabei wurde das Bauteil in der FEM-Software modelliert und analysiert. Mittels Substrukturreduzierung wurde dann ein elastischer Arm auf die Freiheitsgrade zweier Punkte – jeweils des oberen und unteren Aufhängepunkts des Arms (Masterknoten) – statisch und dynamisch reduziert (Abbildung 2).

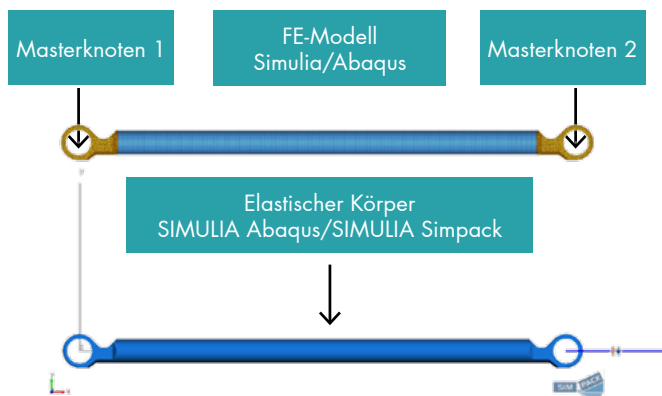


Abbildung 2: FE-Modell und elastischer Körper

Anschließend banden die Ingenieure diese Substruktur als elastischen Körper wieder in SIMULIA Simpack ein. Mithilfe mehrerer simulierter Positioniervorgänge ließ sich so schließlich die Positioniergenauigkeit als Abweichung vom Starrkörpermodell exakt ermitteln.

## Die Lösung

Abbildung 3 zeigt das Ergebnis der kinematischen Vorüberlegungen. Hier sind die gewählten Gelenke mit den eingeschränkten Freiheitsgraden (in Summe 111) gelistet. Mit den initial vorhandenen 114 Freiheitsgraden reduzierte sich die Zahl auf die geforderten drei Freiheitsgrade am Werkzeugträger. Dieses Konzept ließ sich in SIMULIA Simpack mittels eines idealen Starrkörpermodells bestätigen.

### Einschränkung der Freiheitsgrade:

Oberarm	$3 \times 5 = 15$
Gabeln, oben	$3 \times 5 = 15$
Unterarme, Anbindung oben	$6 \times 5 = 30$
Unterarme, Anbindung unten	$3 \times 4 = 12$
Unterarme, Anbindung unten	$3 \times 3 = 9$
Gabeln, unten	$3 \times 4 = 12$
Iso- Flansch im Werkzeugtr.	$1 \times 5 = 5$

Teleskoparm, oben	$1 \times 4 = 4$
Teleskoparm, unten	$1 \times 4 = 4$
Teleskoparm, Schubgelenk	$1 \times 5 = 5$

Gesamt 111

Anzahl der verbleibenden Freiheitsgrade:

$$114 - 111 = + 3$$

Abbildung 3: Kinematische Vorüberlegungen



Der anschließende Vergleich mit den Verfahrenen des MKS-Modells mit elastischen Unterarmen zeigte schließlich, dass die geforderte Positioniergenauigkeit erreicht wird.

### **Fazit**

Bereits in der Konzeptphase fanden die Wölfel-Ingenieure auf Grundlage ihrer Vorerfahrung und mit Hilfe der Software SIMULIA Simpack und SIMULIA Abaqus ein funktionsfähiges Design – nur durch die kosten- und zeiteffiziente Nutzung virtueller Modelle. Eine realistische Bewertung der Positioniergenauigkeit war mittels substruktur-reduzierter, elastischer Körper möglich.

So erhielten die Entwickler bei der Firma Weiss schon in der Konzeptphase wichtige Erkenntnisse, um den weiteren Konstruktionsprozess effizient zu gestalten.

„Dank des weitreichenden Erfahrungsschatzes der Wölfel-Ingenieure konnten wir schnell ein optimales Design finden, das unserem hohen Anspruch an die Positioniergenauigkeit gerecht wird. Die Zusammenarbeit im Projekt verlief dabei immer reibungslos“, so Tobias Frank, Director Produktlinie Cube, Weiss GmbH

Diese Herangehensweise könnte im weiteren Verlauf iterativ zur Optimierung der Konstruktion genutzt werden. Die in SIMULIA Simpack ermittelten Belastungen ließen sich zurück in die FEM-Software Abaqus spielen, um dort die Beanspruchung erneut detailliert zu analysieren.

So könnte beispielsweise durch Wandstärkenreduzierung (und somit geringerer Steifigkeit bei gleichem Durchmesser) Gewicht eingespart werden. Ob die Positioniergenauigkeit auch bei dieser Konfiguration noch im Toleranzbereich läge, würde ein erneutes Zusammenspiel aus MKS- und FEM-Simulation aufzeigen.

---

### **Sie haben Fragen zur Case Study oder zu MKS-/FEM-Simulationen allgemein?**

Dann freuen wir uns über einen Austausch mit Ihnen und einen gemeinsamen Blick darauf, wie wir Sie unterstützen können.

Neben Simulationsdienstleistungen und Software bieten wir **Grundlagen- und Expertenseminare für die Software-Tools SIMULIA Abaqus und 3DEXPERIENCE an.**

### **Kontaktieren Sie mich gerne direkt**



Dr.-Ing. Manuel Eckstein  
+49 931 49708-290  
eckstein@woelfel.de