

BACHELORARBEIT

zur Erlangung des akademischen Grades
„Bachelor of Science in Engineering“
im Studiengang Mechatronik/Robotik

Konstruktion eines Delta Roboters zur Untersuchung der inversen Kinematik

Ausgeführt von: Felix Schausberger

Personenkennzeichen: mr16b049

BegutachterIn: Mohammed Aburaia, MSc

Wien, den 25. März 2019



Eidesstattliche Erklärung

„Ich, als Autor / als Autorin und Urheber / Urheberin der vorliegenden Arbeit, bestätige mit meiner Unterschrift die Kenntnisnahme der einschlägigen urheber- und hochschulrechtlichen Bestimmungen (vgl. Urheberrechtsgesetz idgF sowie Satzungsteil Studienrechtliche Bestimmungen / Prüfungsordnung der FH Technikum Wien idgF).

Ich erkläre hiermit, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig angefertigt und Gedankengut jeglicher Art aus fremden sowie selbst verfassten Quellen zur Gänze zitiert habe. Ich bin mir bei Nachweis fehlender Eigen- und Selbstständigkeit sowie dem Nachweis eines Vorsatzes zur Erschleichung einer positiven Beurteilung dieser Arbeit der Konsequenzen bewusst, die von der Studiengangsleitung ausgesprochen werden können (vgl. Satzungsteil Studienrechtliche Bestimmungen / Prüfungsordnung der FH Technikum Wien idgF).

Weiters bestätige ich, dass ich die vorliegende Arbeit bis dato nicht veröffentlicht und weder in gleicher noch in ähnlicher Form einer anderen Prüfungsbehörde vorgelegt habe. Ich versichere, dass die abgegebene Version jener im Uploadtool entspricht.“

Wien, 25. März 2019

Unterschrift

Kurzfassung

Projektziele:

- Realisierung einer Deltakinematik.
- Implementierung einer Pick-and-Place-Applikation mit vollständiger Beschreibung der inversen Kinematik einer geschlossenen kinematischen Kette.
- Modularer Aufbau, alle Verbindungen werden gesteckt oder geschraubt.
- Einhausung des Roboters mit 20 [mm] Aluprofilrahmen.
- Die aktiven Gelenke des Roboters werden mit Hebi X5-1 Motoren realisiert.
- Die passiven Gelenke des Roboters werden mit Doppelgelenklager realisiert.

Das Ziel der Arbeit ist eine vollständige Beschreibung der inversen Kinematik eines Delta Roboters um bei Studierenden die Lehrinhalte aus der Lehrveranstaltung AURO zu festigen und praktisch anzuwenden. Lernziele der Studierenden: Freiheitsgrade, TCP, Lage der Antriebe, zeichnen kinematischer Ketten, Pose, festlegen von Koordinatensystemen mit DH-Notation, berechnen der inverse Kinematik einer geschlossenen kinematischen Kette mit Anwendung von Rotations- und Transformationsmatrizen sowie der Jacobi Matrix.

Schlagworte: Parallelkinematik, geschlossene kinematische Kette, inverse Kinematik, Delta Roboter, smart engines

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung/Einführung in die Thematik	1
2	Stand der Technik	1
3	Optional: Educational Robotics	2
4	Ausgangssituation/Problem- und Aufgabenstellung/Ziele	3
5	Systematische Vorgehensweise	3
6	Entwicklung und Evaluierung der Konzepte	4
7	Modellierung des Systems	4
7.1	Auslegung der Hardware	4
7.2	Entwicklung der Software	6
8	Konzeptrealisierung	6
9	Systemtests	6
10	Ergebnisse	6
11	Evaluierung und Diskussion	6
12	Zusammenfassung und Ausblick	6
	Literaturverzeichnis	7
	Abbildungsverzeichnis	9
	Tabellenverzeichnis	10
	Abkürzungsverzeichnis	11
A	Anhang A	12

1 Einleitung/Einführung in die Thematik

Robotik und Automatisierung revolutionieren zusammen mit Smart Manufacturing gegenwärtig nahezu die gesamte moderne Fertigungsindustrie. (Friesen et al., 2018; Tao & Qi, 2019) Die erschlossenen Technologien stellen in vielen Bereichen, darunter der automatisierten Fertigung, der Medizin und dem Gesundheitswesen, der Altenpflege und Rehabilitation, der unbemannten Suche und Rettung sowie der Automobilindustrie bereits etablierte Systeme dar. (Eguchi, 2014; Saha & Dasgupta, 2018) Schon mit derzeitigen Verfahrensweisen sind Roboter in der Lage, zahlreiche Aufgaben effizienter und konsistenter zu erledigen als konventionelle Fertigungsprozesse mit menschlicher Belegschaft. (Friesen et al., 2018)

Smart Manufacturing erfordert die Interaktion, Integration und Fusion physischer und informatischer, softwaretechnischer Komponenten. Dies wird einerseits durch die rasante Weiterentwicklung innovativer Technologien, wie dem Internet der Dinge (IoT), Cloud Computing, Big Data und deren Analysen, cyber-physischer Systeme sowie mobilen Internet und andererseits durch nationale fortschrittliche Fertigungsstrategien mit dem Ziel einer automatisierten Industrie, wie Industrial Internet, Industrie 4.0 und Made in China 2025, unterstützt. (Tao & Qi, 2019)

Aktuelle Trendkonzepte verfolgen das gemeinsame Ziel einer "Smart Factory", in der cyber-physische Systeme die physischen Prozesse der Fabrik überwachen und dezentrale Entscheidungen treffen. Im Zuge dessen gewinnen "smarte" Antriebe mit kontinuierlicher Überwachung des eigenen Zustands, Kommunikation untereinander mit Edge-Computing und dem Übertragen von Nutzdaten und relevanten Informationen in eine Cloud immer mehr an Bedeutung.

Dieses Zusammenspiel ermöglicht Fehler frühzeitig vorherzusagen, Korrekturmaßnahmen zu ergreifen und somit rechtzeitig Ausrüstungs- und Prozessausfälle in der Industrie zu vermeiden. Obwohl Elektromotoren den Großteil der Antriebsmaschinen in dynamischen Systemen der modernen Industrie darstellen, halten diese noch meist ungenutztes Potential als "smarte" Antriebe ausgeführt zu werden um Produktivitäts- und Wirkungsgraddaten zu generieren. (Dol & Bhinge, 2018)

2 Stand der Technik

Die meisten der derzeit eingesetzten Industrieroboter sind aus seriellen oder parallelen kinematischen Mechanismen aufgebaut (Siciliano & Khatib, 2016). Im Allgemeinen besteht eine räumliche mechanische Struktur aus starren Körpern, sogenannten Gliedern, welche über Gelenke miteinander verbunden werden, um eine Relativbewegung zwischen benachbarten Gliedern zu ermöglichen (Lynch & Park, 2017).

Ein Robotermechanismus mit serieller, offener kinematischen Kette besteht aus einer Reihe aktiver Gelenke, welche die Basis mit dem Endeffektor verbindet. Alle Bewegungsachsen des Systems sind nacheinander angeordnet und jede zusätzliche Achse ergänzt den Mechanismus um einen weiteren Freiheitsgrad. Dadurch wird jedoch auch jeder Antrieb mit den Massen der nachfolgenden Glieder und Antriebe belastet (Neugebauer, 2019).

Dementgegen wird bei einer parallelen, geschlossenen kinematischen Kette nur eine Teilmenge der Gelenke aktiv betätigt (Lynch & Park, 2017). Parallele Strukturen haben keine im geometrischen Sinne parallelen Baugruppen (Neugebauer, 2019), die Terminologie bezieht sich auf die in die Struktur integrierten Parallelogramme. Parallelroboter verfügen im Allgemeinen über eine höhergelegene, invariante Basis welche fix mit dem Referenzrahmen verbunden ist, sowie eine tiefer gelegene, bewegliche Plattform mit angebrachtem Endeffektor. Dieser ist über mindestens zwei unabhängige kinematische Ketten mit der festen Basis verbunden und somit in der Lage mit n Freiheitsgraden (DoF) arbiträre Bewegungen im Arbeitsraum durchzuführen (Siciliano & Khatib, 2016; Staicu & Carp-Ciocardia, 2003). Wird dieser Zwischenmechanismus wie ein Parallelogramm aufgebaut ermöglicht dies, die Pose¹ der beweglichen Plattform auf drei rein translatorische Freiheitsgrade zu beschränken. Hierbei werden konventionell die passiven Gelenke des Roboters mit Kugel-, Dreh- oder Prismengelenken ausgeführt. Für die aktiven Gelenke des Roboters werden meist Rotations- oder Lineargelenke eingesetzt (Staicu & Carp-Ciocardia, 2003).

Die gängigste Konstruktionsvariante paralleler Strukturen und der mit Abstand erfolgreichste Parallelroboter für industrielle Anwendungen ist der sogenannte Delta Roboter (Cruz et al., 2017; Somló et al., 2018).

¹ Respektive die Position und Orientierung.

3 Optional: Educational Robotics

Obwohl sich die heutige, schnelllebige Welt und ihre Wirtschaftssysteme rasant verändern, hat die öffentliche Bildung seit ihrer Einführung nahezu dasselbe System beibehalten. Durch den stetig wachsenden Einfluss technologiebezogener Branchen ist der Erwerb technologischer Kompetenzen durch die Integration von Ingenieurwissenschaften in den Lehrplan ein Schlüsselement für den Erfolg der nächsten Studentengeneration. (Eguchi, 2014)

Aktuellen Bildungslehrplänen für Studenten mangelt es oft an Möglichkeiten, um erforderliche Fähigkeiten zu erwerben. (IFR18) Trotz weltweiter Bestrebungen von Bildungsreformen versucht ein Großteil des derzeitigen Lehrsystems weiterhin, Auszubildende auf die Zukunft vorzubereiten, indem Methoden der Vergangenheit angewandt werden. (Eguchi, 2014)

Um Qualifikationslücke zu schließen stellt die Bildungsrobotik in Verbindung von Theorien des Konstruktivismus und des Konstruktionismus wertvolle Prinzipien, Methoden und Prozesse zur Verfügung um technologische Kompetenzen und Fähigkeiten wie logisches, abstraktes und algorithmisches (Eguchi, 2016) Denken, Analysieren und Handeln zu erwerben. (Tocháček et al., 2016)

Schnelle Anpassbarkeit an spezifische Aufgabenstellungen durch die wiederverwendbarkeit von Hardware- und Software-Modulen erlaubt Robotersysteme skalierbarer Komplexität.

Selbst gebaute Roboter sind deshalb so ideal, weil dort das Wissen aus Mechanik, Elektrotechnik und Informatik zu einem System integriert wird und man sofort sieht, ob es funktioniert. Anschaulicher können die Aufgaben eines Ingenieurs nicht vermittelt werden.

Interdisziplinäres Gebiet: Programmierung, Geometrie, Robotik, Ingenieurwesen, Design.

4 Ausgangssituation/Problem- und Aufgabenstellung/Ziele

5 Systematische Vorgehensweise

6 Entwicklung und Evaluierung der Konzepte

7 Modellierung des Systems

7.1 Auslegung der Hardware

Abb. 1 zeigt den Prototyp der geschlossenen kinematischen Kette des Delta Roboters mit drei translatorischen Freiheitsgraden. Diese basieren auf drei identischen, parallelverketteten Strukturen zwischen der oberen invarianten Basis und unteren beweglichen Plattform. Die topologische Struktur einer dieser Ketten besteht aus einem auf der Basis (1) montierten Antrieb mit aktivem Drehgelenk (2), einem parallelen Zwischenmechanismus (3) und einer abschließenden passiv drehbaren Verbindung (4), welche mit der beweglichen Plattform (5) verbunden ist. Die aktiven Drehgelenke des Roboters sind über an der Basis montierte Hebi X5-1 Antriebe ausgeführt. Der parallele Zwischenmechanismus besteht aus einem proximalen und distalen Glied. Die proximale Verbindung wird über ein Aluminiumrohr und die distale Komponente über ein Doppelgelenklager realisiert.

Die Parameter des Delta-Roboters sollen sich an in der Industrie eingesetzten Robotern orientieren. Um folglich eine angemessene Auswahl treffen zu können sind in Tabelle 1 die Dimensionen dreier in der Industrie etablierter Delta-Roboter gegenübergestellt.

Tabelle 1: Dimensionen etablierter Delta-Roboter (Quelle: modifiziert übernommen aus (Somló et al., 2018), S. 146)

Beschreibung	Proximal Glied [mm]	Distal Glied [mm]	Proportion
Adept Quattro s650H	373	825	2,21
ABB FlexPicker IRB 360-1/1600	524	1244	2,37
FANUC M-1iA/0.5S	100	270	2,7

Tabelle 2: Stückliste: Lagernde Teile

Beschreibung	Verfügbarkeit
Hebi X5-1 Motoren	3/3
Gewindestange M5 600[mm]	1/1
Aluprofile	12/12
Aluwinkel	16/16
Aluwinkelshrauben	32/32
Nutmuttern 6 M4	32/32
M5 x 10 Zylinderkopfschrauben	36/36
M5 x 16 Zylinderkopfschrauben	36/36
M4 x 16 Zylinderkopfschrauben	9/9
M3 x 10 Zylinderkopfschrauben	3/3
M5 Muttern	72/72
M5 Hutmuttern	12/12
M3 Muttern	3/3

Tabelle 3: Stückliste: Selbst konstruierte Teile SLS

Beschreibung	Verfügbarkeit
Verbindungszapfen	6/6
Drehgelenksverbindung	3/3
Flansch	1/1
Kalibrierungspin	1/1
Gelenksgegenstück	3/6
Basisverbindung	0/3
Basisverbindunggegenstück	0/3
Basishalterung	0/3

Tabelle 4: Stückliste: Zu bestellende Teile

Beschreibung	Verfügbarkeit
Doppelgelenklager	0/6
Aluminiumrohr 100[mm]	0/3
Aluminiumrohr 137.5[mm]	0/3
Netzteil	0/1

7.2 Entwicklung der Software

8 Konzeptrealisierung

9 Systemtests

10 Ergebnisse

11 Evaluierung und Diskussion

12 Zusammenfassung und Ausblick

Literaturverzeichnis

- Cruz, D. F. M. d., Lepikson, H. A. & Weingaertner, W. L., 2017. A parallel robot with three translational degrees of freedom for machining operations. *Engineering for a Changing World: Proceedings; 59th IWK, Ilmenau Scientific Colloquium, Technische Universität Ilmenau, September 11-15, 2017*, 59, 2017(3.1.P1). [eJournal] . Verfügbar unter: <https://www.db-thueringen.de/receive/dbt_mods_00033179> [Zugang am 18.03.2019].
- Dol, S. & Bhinge, R., 2018. Smart motor for industry 4.0. In: *2018 IEEMA Engineer Infinite Conference (eTechNxT)*. 13.03–14.03 2018, : IEEE, S.1–6.
- Eguchi, A., 2014. Robotics as a learning tool for educational transformation. In: *Proceeding of 4th international workshop teaching robotics, teaching with robotics & 5th international conference robotics in education*. 18.07 2014, : IEEE, S.27–34.
- Eguchi, A., 2016. Computational thinking with educational robotics. In: *Proceedings of Society for Information Technology & Teacher Education International Conference 2016*. 21.03–26.03 2016, : Association for the Advancement of Computing in Education (AACE), S.79–84.
- Friesen, J. M., Dean, J. L., Bewley, T. & Sunspiral, V., 2018. A tensegrity-inspired compliant 3-dof compliant joint. In: *2018 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*. 21.05–25.05 2018, : IEEE, S.1–9.
- Lynch, K. M. & Park, F. C., 2017. *Modern Robotics: Mechanics, Planning, and Control*. 1st. Auflage. New York, USA: Cambridge University Press.
- Neugebauer, R., 2019. *Parallelkinematische Maschinen: Entwurf, Konstruktion, Anwendung*. Berlin, Deutschland: Springer Publishing Company, Incorporated.
- Saha, O. & Dasgupta, R., 2018. A comprehensive survey of recent trends in cloud robotics architectures and applications. *Robotics*, 7(47).
- Siciliano, B. & Khatib, O., 2016. *Springer Handbook of Robotics*. 2nd. Auflage. Berlin, Deutschland: Springer Publishing Company, Incorporated.
- Somló, J., Dávid Varga, G., Zenkl, M. & Mikó, B., 2018. The "phantom" delta robot a new device for parallel robot investigations. *Computer Vision and Image Understanding*, 15, S.143–160. [Acta Polytechnica Hungarica] . 4.

- Staicu, S. & Carp-Ciocardia, D. C., 2003. Dynamic analysis of clavel's delta parallel robot. In: *2003 IEEE International Conference on Robotics and Automation (Cat. No.03CH37422)*. 14.09-19.09 2003, : IEEE, S.4116–4121.
- Tao, F. & Qi, Q., 2019. New it driven service-oriented smart manufacturing: Framework and characteristics. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*, 49(1), S.81–91.
- Tocháček, D., J., L. & Fuglík, V., 2016. Developing technological knowledge and programming skills of secondary schools students through the educational robotics projects. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 217, S.377–381.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Trimetrische Ansicht des Delta Roboters.	12
Abbildung 2	Seitenansicht des Delta Roboters.	13
Abbildung 3	Draufsicht des Delta Roboters.	14

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Dimensionen etablierter Delta-Roboter (Quelle: modifiziert übernommen aus (Somló et al., 2018), S. 146)	4
Tabelle 2 Stückliste: Lagernde Teile	5
Tabelle 3 Stückliste: Selbst konstruierte Teile SLS	5
Tabelle 4 Stückliste: Zu bestellende Teile	5

Abkürzungsverzeichnis

DoF Degree of freedom/Freiheitsgrad

IoT Internet of things/Internet der Dinge

A Anhang A

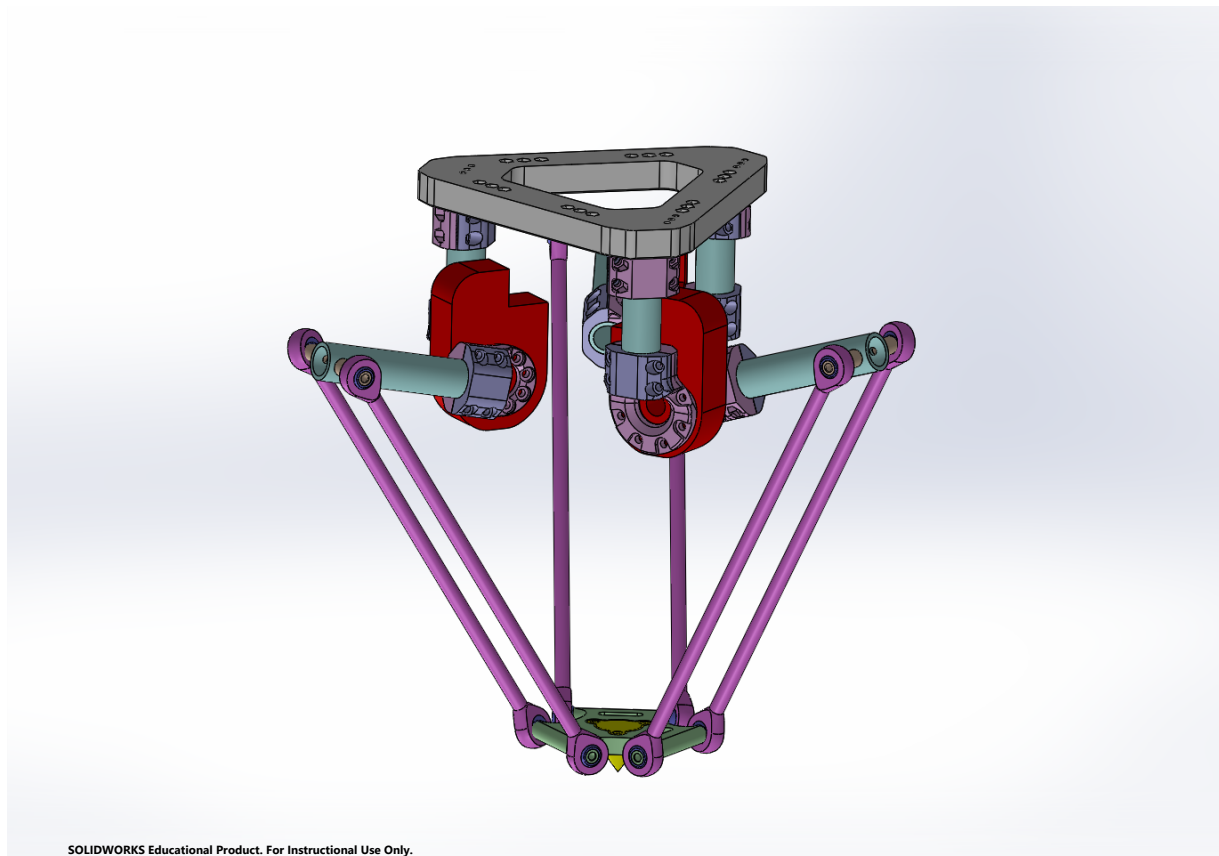


Abbildung 1: Trimetrische Ansicht des Delta Roboters.

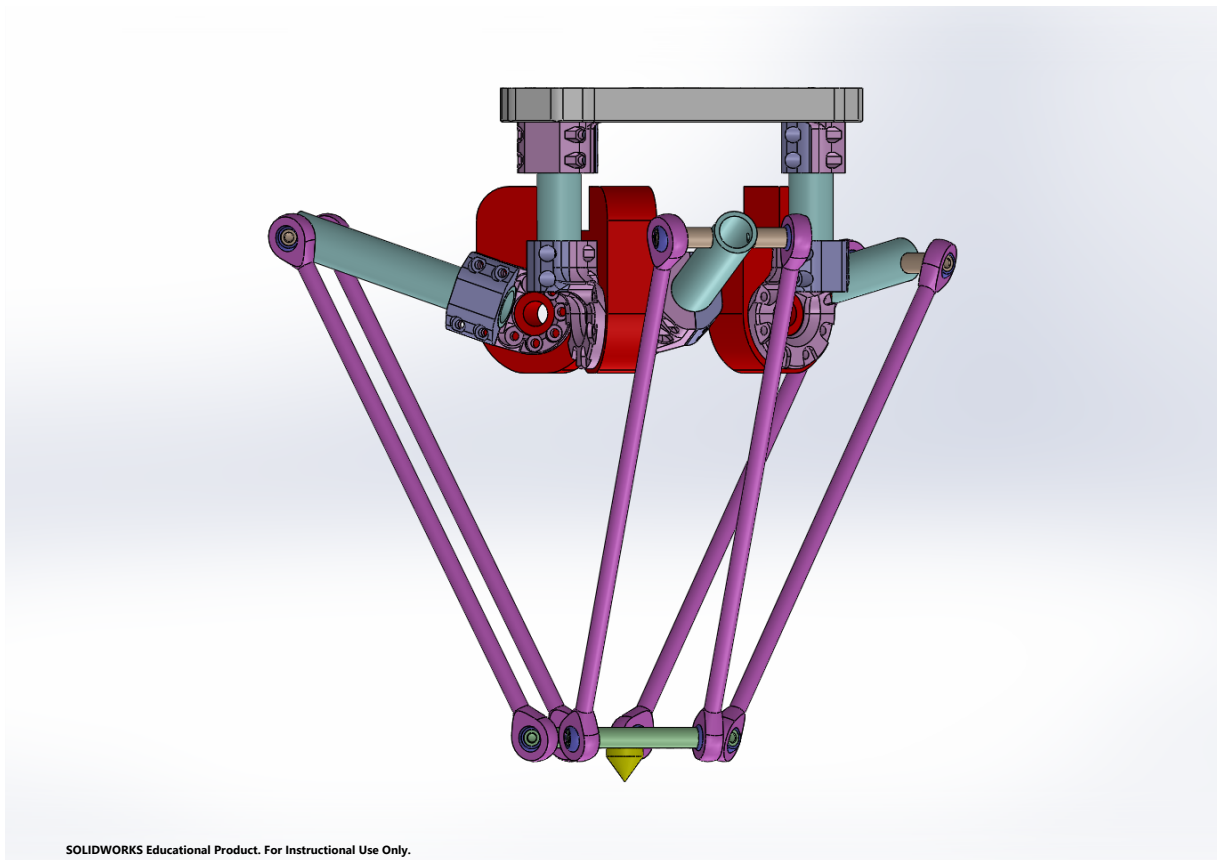


Abbildung 2: Seitenansicht des Delta Roboters.

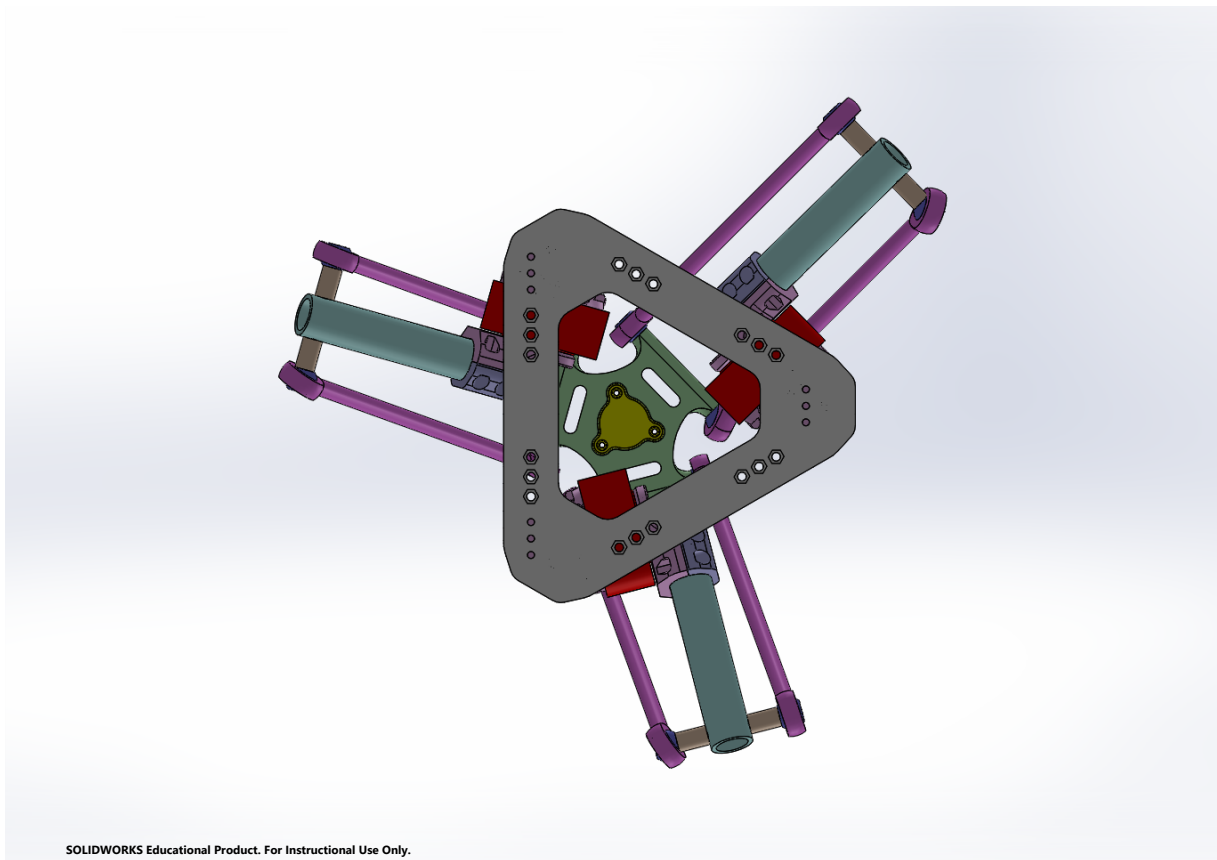


Abbildung 3: Draufsicht des Delta Roboters.