

# Simulation eines Montageszenarios für Lithium-Ionen-Zellen mithilfe approximativer konvexer Zerlegung

## Simulation of an assembly scenario for lithium-ion cells using approximate convex decomposition

Gero Plitt, Hochschule Heilbronn, Fakultät Mechanik und Elektronik, 74081 Heilbronn, Deutschland, [gplitt@stud.hs-heilbronn.de](mailto:gplitt@stud.hs-heilbronn.de)

Manuel Schulz, Hochschule Heilbronn, Fakultät Mechanik und Elektronik, 74081 Heilbronn, Deutschland, [manuel.schulz@hs-heilbronn.de](mailto:manuel.schulz@hs-heilbronn.de)

Prof. Dr. Ing. Timo Hufnagel, Hochschule Heilbronn, Fakultät Mechanik und Elektronik, 74081 Heilbronn, Deutschland, [timo.hufnagel@hs-heilbronn.de](mailto:timo.hufnagel@hs-heilbronn.de)

Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. Dieter Schramm, Universität Duisburg-Essen, Lehrstuhl für Mechatronik, 47057 Duisburg, Deutschland, [dieter.schramm@uni-due.de](mailto:dieter.schramm@uni-due.de)

### Kurzfassung

#### Motivation

Im Zuge der Weiterentwicklung einer automatisierten Montage von Lithium-Ionen-Batteriepacks [1] sollen verschiedene Zellhalter von einem Roboter bestückt werden. Einzelne zylinderförmige Zellen werden dabei in einem Steckplatz des Zellhalters fixiert (Abbildung 1). Die Montage wird durch das Peg-In-Hole-Problem beschrieben, wobei eine Zelle als Peg und ein Steckplatz als Hole fungiert. Wird die Zellmontage von einem Roboter, mit festem positionsabhängigem Programmablauf, ausgeführt, können bei einigen Zellhaltern Kollisionen auftreten [2]. Eine notwendige Positionskorrektur soll mithilfe von Reinforcement Learning durchgeführt werden, welches die bei einer Kollision entstehenden Kräfte und Momente am Endeffektor des Roboters interpretieren kann. Für die optimale Funktion des dabei eingesetzten neuronalen Netzes muss dieses bestmöglich für den Einsatz trainiert werden. Das Training soll mithilfe einer Simulation erfolgen, die auf einer Modellierung des Peg-In-Hole-Problems basiert. Zu diesem Zweck wurde bereits ein Modell in MATLAB Simscape vorgestellt, welches die Montage einer Zelle an einem vereinfachten, lochförmigen Steckplatz abbildet. Hier wird ein verbesserter Ansatz vorgestellt, welcher das Ziel verfolgt, die Effizienz der bestehenden Simulation zu steigern und die Abbildung des Zellhalters durch mögliche Störkonturen zu erweitern. Dadurch soll ein besseres und vor allem realitätsnäheres Training des Agenten ermöglicht werden.



Abbildung 1: Zellmontage mithilfe eines Roboters

#### Kollisionsmodell

Eine wesentliche Rolle spielt die Abbildung des Zellhalters, insbesondere die der einzelnen Steckplätze. Für eine Kollisionsberechnung müssen die grafischen Modelle der Körper (Peg & Hole) mit einer Kollisionsstruktur ausgestattet werden. Dieser sogenannte Collider legt den Kollisionsbereich eines Körpers fest. Bei Simulationsprogrammen, wie beispielsweise MATLAB Simscape, ist die Auswahl an verfügbaren Collider-Typen eingeschränkt. Eine Herausforderung stellt hierbei die Umsetzung einer Lochkontur dar. Üblicherweise wird bei bestehenden Modellen eine Punktwolke verwendet, welche die Form des Lochs approximiert. Die grafischen Abbildungen einer Zelle und eines Steckplatzes gestatten die Erstellung konvexer Hüllen als Collider, wodurch eine effizientere Berechnung der Kollisionssimulation ermöglicht wird. Beim Verwenden einer konvexen Hülle werden jedoch nur die äußeren Punkte eines Körpers berücksichtigt. Ein einfaches Abbilden einer Lochkontur ist somit nicht möglich, da der Collider das Loch verdeckt (Abbildung 2). Eine mögliche Lösung besteht in der Aufteilung des Originalkörpers in mehrere konvexe Teile. Die hier beschriebene Methode ist unter dem Begriff "Approximate Convex Decomposition" (ACD) bekannt [3]. Die runde Kreisform des Originalkörpers wird dabei durch ein Polygon höherer Ordnung vereinfacht angenähert.

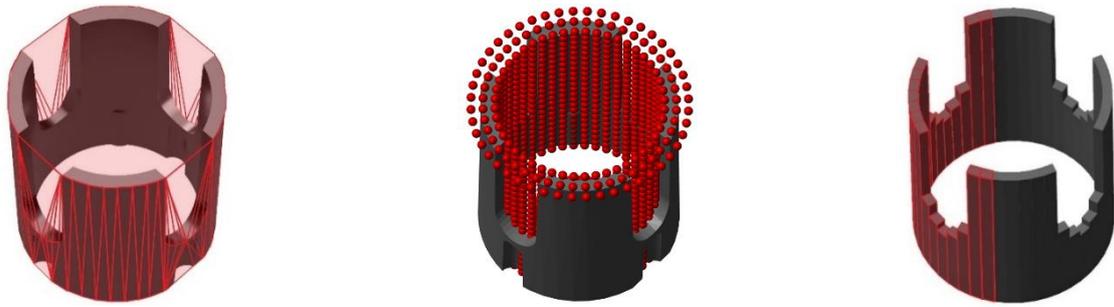


Abbildung 2: Konvexer Collider des Originalkörpers (links), Punktwolke als Collider (mitte), Optimierte Simulation mit vereinfachten Körpern durch ACD (rechts)

### Erweiterung durch Abbilden von Störkonturen

Um die bei der Montage potenziell eintretenden Szenarien adäquat abzubilden, ist es erforderlich, neben der Abbildung des Lochs, diverse Störkonturen des Zellhalters zu berücksichtigen. Diese Störkonturen können den Montagevorgang beeinflussen. Am Zellhalter sind Stege oder Pins angebracht, mit welchen eine Zelle bei der Montage kollidieren kann. Auch bereits montierte Zellen können einen zusätzlichen Kollisionskörper bilden. Ein modularer Aufbau erlaubt die Konfiguration von Störkonturen in unmittelbarer Nähe des Steckplatzes, so dass jede mögliche Kombination von Störkonturen abgebildet werden kann. Um mit Reinforcement Learning auf verschiedene Kombinationen gleichermaßen zu trainieren, wird ein Zufallsgenerator implementiert, welcher die Zusammensetzung der Module sowie die genaue Startposition und Orientierung der Zelle variiert. Dadurch wird sichergestellt, dass das Netz auf eine Vielzahl von Kombinationen trainiert wird.

### Anpassung der Parameter des Kontaktmodells

Mit MATLAB Simscape können Kollisionskräfte in der Simulation über ein Feder-Dämpfer-Modell berechnet werden. Um ein möglichst realitätsnahes Kollisionsverhalten zu erzeugen, werden die Kontaktparameter der einzelnen kollidierenden Körperpaare, wie beispielsweise die Federkonstante und der Dämpfungskoeffizient, angepasst. Dazu werden verschiedene Situationen an der realen Montageanlage erzeugt, um die resultierenden Kräfte- und Momentenverläufe am Endeffektor des Roboters zu erfassen. Anschließend werden die gleichen Situationen in der Simulation nachgestellt, um die Messwerte der Realität mit denen der Simulation zu vergleichen. Die Parameter der Simulation werden so angepasst, dass eine bestmögliche Übereinstimmung der Simulationsergebnisse mit den tatsächlich gemessenen Werten erzielt wird (Abbildung 3).

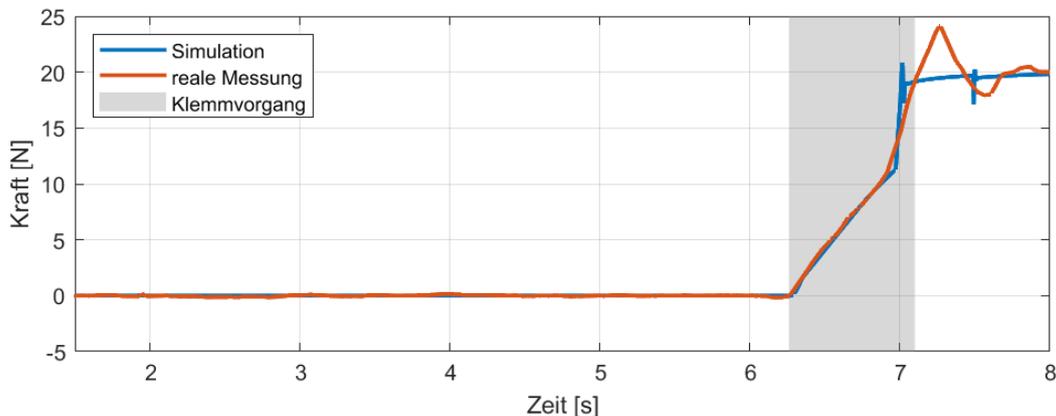


Abbildung 3: Vergleich der Kräfteverläufe in Montagerichtung von Simulation und Realität bei der Zellmontage

## Literatur

- [1] J. Uihlein, M. Schulz, T. Hufnagel, and D. Schramm, "Montagekonzept für Lithium-Ionen-Zellen und dessen Greifsystem," *Zehnte IFToMM D-A-CH Konferenz 2024: 05./06. März 2024, Universität Rostock*, vol. 2024. Mar. 04, 2024, doi: 10.17185/dupublico/81583.
- [2] M. Böker, M. Joos und T. Hufnagel, „An Advanced Human-inspired Compliant Peg-in-hole Solution for the Industrial Assembly of Almost Arbitrarily Shaped Lithiumion Battery Packs,“ in *2022 10th International Conference on Control, Mechatronics and Automation (ICCA)*, 2022, S. 222–230. DOI: 10.1109/IC-CMA56665.2022.10011465.
- [3] Lien, J. M., & Amato, N. M. (2004, June). Approximate convex decomposition. In *Proceedings of the twentieth annual symposium on Computational geometry* (pp. 457-458)

# DuEPublico

Duisburg-Essen Publications online

UNIVERSITÄT  
DUISBURG  
ESSEN

*Offen im Denken*

ub | universitäts  
bibliothek

In: 11. IFToMM D-A-CH Konferenz 2025

Dieser Text wird via DuEPublico, dem Dokumenten- und Publikationsserver der Universität Duisburg-Essen, zur Verfügung gestellt. Die hier veröffentlichte Version der E-Publikation kann von einer eventuell ebenfalls veröffentlichten Verlagsversion abweichen.

**DOI:** 10.17185/duepublico/82924

**URN:** urn:nbn:de:hbz:465-20250219-113808-6

Alle Rechte vorbehalten.