



Diplomand  
Dozent  
Projektpartner  
Experte  
Themengebiet

Joël Amaudruz  
Prof. Dr. Peter Gruber  
Institut IME, Labor für Regelungstechnik  
Dipl. Ing. ETH Ruedi Haller  
Produktentwicklung & Mechatronik

## Furuta-Pendel für regelungstechnischen Laborversuch

### Ausgangslage

Für das Labor für Regelungstechnik der Hochschule Luzern wird ein neuer Laborversuch realisiert. Diese Labor bietet den Studierenden die Möglichkeit, praxisnahe Problemstellungen aus dem Bereich der Steuerungs- und Regelungstechnik zu lösen und das vermittelte Wissen direkt in die Praxis umzusetzen. Das Labor verfügt bereits über einen Versuch, bei dem ein Pendel durch eine Regelung in der instabilen Ruhelage gehalten wird. Dabei handelt es sich um ein lineares Pendel mit einer Laufbahnlänge von 2 Metern. Dieser Aufbau benötigt viel Platz, weshalb ein neuer Laborversuch geschaffen werden soll. Dieser soll ähnlich wie ein Furuta-Pendel aufgebaut sein. Ein Furuta-Pendel ist ein inverses Pendel, welches durch eine rotatorische Bewegung angeregt werden kann. Der Versuchsaufbau besteht im Wesentlichen aus einem Arm (einer Drehachse), welcher an einem Ende angetrieben wird. Am anderen Ende des Armes befindet sich das Pendel. Dadurch lässt sich der Versuchsaufbau wesentlich kompakter gestalten.

Die Arbeit baut auf einem vorhergehenden Industrieprojekt auf, in welchem ein solcher Versuchsaufbau evaluiert, konstruiert und mit Matlab Simulink simuliert wurde. Im Rahmen dieser Arbeit soll dieser Versuchsaufbau getestet und mit einer Regelung versehen werden, damit dieser für die Ausbildung eingesetzt werden kann. Parallel zu dieser Arbeit wurde von einem Studierenden der Abteilung Elektrotechnik die Steuerung des Laborversuches realisiert.

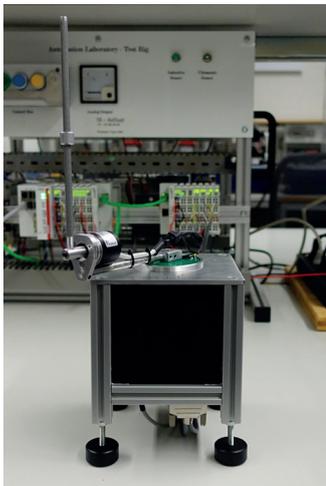


Abb. 1: Versuchsaufbau des Furuta-Pendels im Regelungstechnik Labor

### Vorgehen

In einem ersten Schritt wurde das vorhandene physikalische Modell mit einem Modell eines Gleichstrommotors erweitert. Das gesamte physikalische Modell inklusive der auftretenden viskosen Reibung wurde in Simulink aufgebaut, um den gesamten Versuchsaufbau möglichst real simulieren zu können. Es wurden die Parameter des physikalischen Aufbaus mit Hilfe von Messungen ermittelt, welche anschliessend für die Simulation verwendet wurden.

Um das Pendel in die Nähe der senkrecht stehenden Lage zu befördern, wurden mehrere Aufschwingstrategien simuliert und getestet. Nach dem Aufschwingen soll das Pendel mit der Regelung in der aufrechten Lage gehalten werden. Es wurden zwei Regelungsvarianten entworfen und getestet. Bei der ersten Regelungsvariante wurde das Pendel mit einem herkömmlichen PID-T1 Regler stabilisiert. Um zusätzlich die Position des Armes zu regeln, wurde ein zweiter paralleler PID-T1 Regler implementiert. Für die zweite Regelungsvariante wurde ein Zustandsregler entworfen, mit welchem die Positionen und Geschwindigkeiten des Armes und des Pendels geregelt wurden.

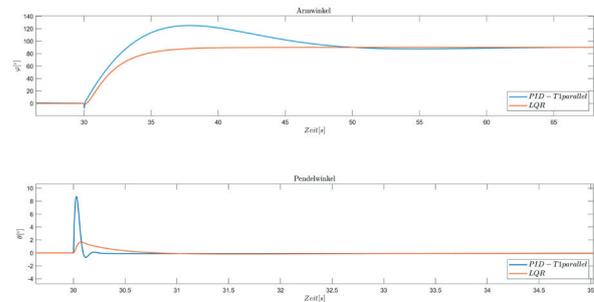


Abb. 2: Simulationsvergleich Zustandsregler und PID-T1 parallel mit Referenzgrössensprung der Armwinkelposition von  $0^\circ$  auf  $90^\circ$  unter Beibehaltung der aufrechten Pendellage

### Ergebnis

Mit dieser Arbeit konnte der Laborversuch Furuta-Pendel soweit fertig gestellt werden, dass dieser im Labor eingesetzt werden kann. Es wurde nachgewiesen, dass ein Furuta-Pendel auch mit zwei parallelen PID-T1 Reglern stabilisiert werden kann. Die Zustandsregelung ist jedoch viel schneller und robuster. Zusätzlich wurde ein möglicher Ablauf eines Laborversuches erarbeitet, mit dem Studierende die Problemstellung des Furuta-Pendels in der Praxis erfahren können.