

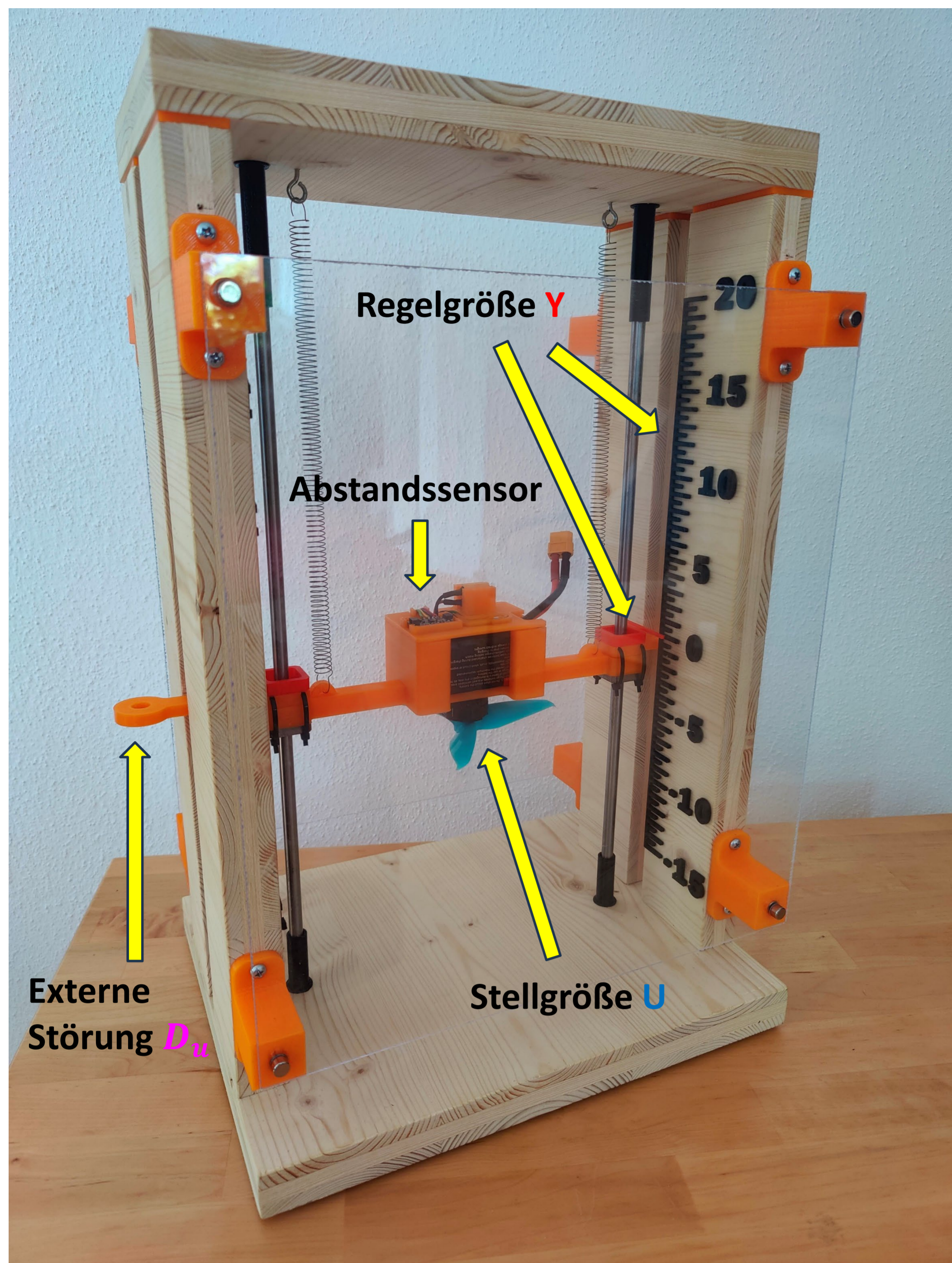
# Mobiler Masse-Feder-Schwinger

EIT-Bachelor, Abschlussarbeit

Labor für Regelungstechnik (Prof. Dr. Peter Zentgraf), Raum D 2.10, Tobias Luft Stand: 02.11.2023

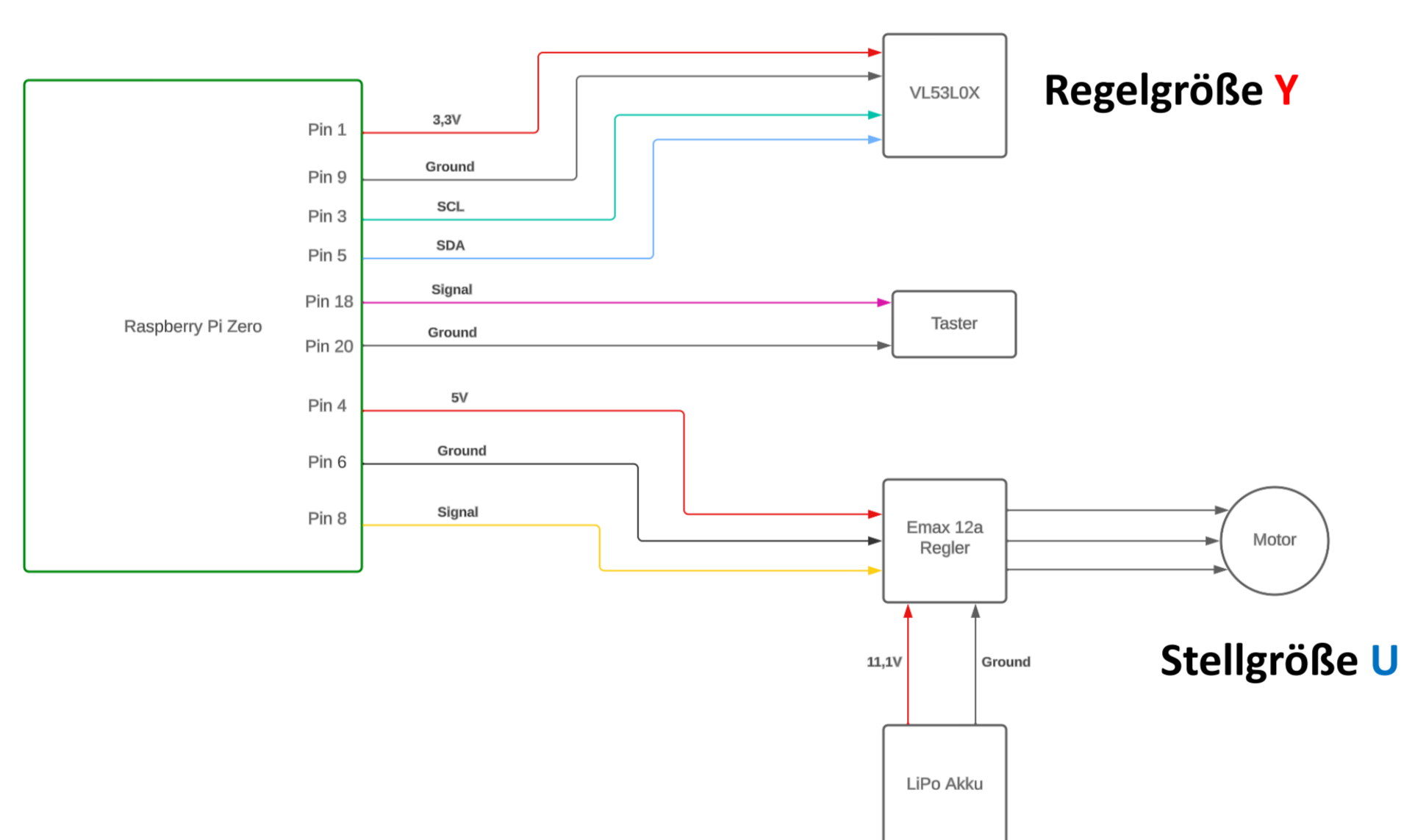


## Versuchsaufbau



Der Versuchsaufbau stellt ein Masse Feder Pendel dar, welches mit einem Propeller in der vertikalen Achse ausgelenkt werden kann. Über den Time-of-Flight(TOF) Lasersensor VL53L0X wird die Distanz zum oberen Teil des Rahmens gemessen. Der LiPo-Akku (3s 1300mah), Esc (Emax 12a), Motor (Ultra 2408 2300kv), der Taster und Raspberry Pi Zero sind in einem 3D-gedrucktem Gehäuse (PLA) sicher installiert und über Linearkugellager (LMK8UU und 8mm-Präzisionswelle im Versuchsaufbau befestigt.

## Elektrischer Schaltplan



## Ziel der Arbeit

Mit diesem Versuchsaufbau können die Studierenden Prinzipien der Regelungstechnik auf das bekannte Prinzip eines Masse-Feder-Pendels anwenden. Das Modell lässt sich durch eine triviale Differentialgleichung beschreiben und ein Regler kann mit den im Studium erlernten Methoden mit Stift und Papier entworfen werden. Anschließend wird mit [pzMove](#) [1] die Übertragungsfunktion geschätzt und ein passender Regler entworfen. Hierbei wird der Unterschied zum physikalischen Ansatz deutlich. Die reale Strecke hat Einschränkungen wie die Stellgrößenbegrenzung durch den Motor, das Messrauschen des Sensors und eine begrenzte mögliche Auslenkung, die bei der Reglerauslegung berücksichtigt werden müssen. Das Experiment verbindet ein einfaches physikalisches Prinzip mit häufig auftretenden Problemen der Regelungstechnik, was den Studierenden das Erlernen solcher Problemstellungen erleichtern soll.

## 1. Modellierung der Regelstrecke durch Aufstellen der Differentialgleichung

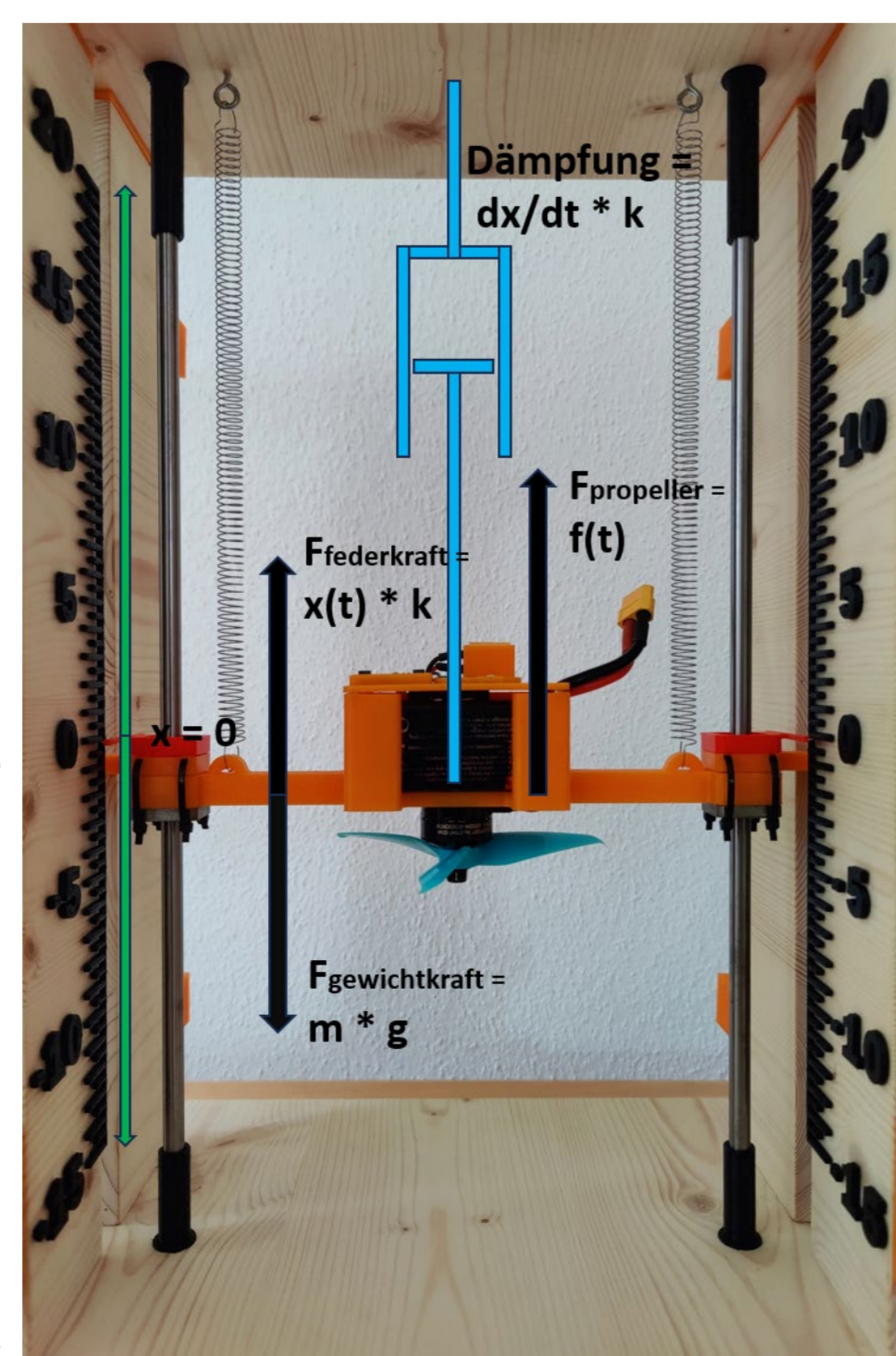
Die Differentialgleichung eines gedämpften Masse Feder Pendels sieht wie folgt aus:

$$m \cdot \ddot{x}(t) + d \cdot \dot{x}(t) + k \cdot x(t) = f(t)$$

Mit diesem **physikalischen** Ansatz erhält man folgende Übertragungsfunktion:

$$G_{s,phy}(s) = \frac{1}{0.319kg \cdot s^2 + 0.5 \frac{kg}{s} \cdot s + 16,56 \frac{N}{m}}$$

Durch diese Herangehensweise werden keine weiteren Kräfte berücksichtigt, die durch den Versuchsaufbau hinzukommen könnten. Außerdem muss die Dämpfung abgeschätzt werden, in diesem Fall auf 0,5 kg/s. Durch die Nichtlinearität der Strecke kann der physikalische Ansatz das reale System nur begrenzt beschreiben, was beim direkten Vergleich der Sprungantworten deutlich wird.

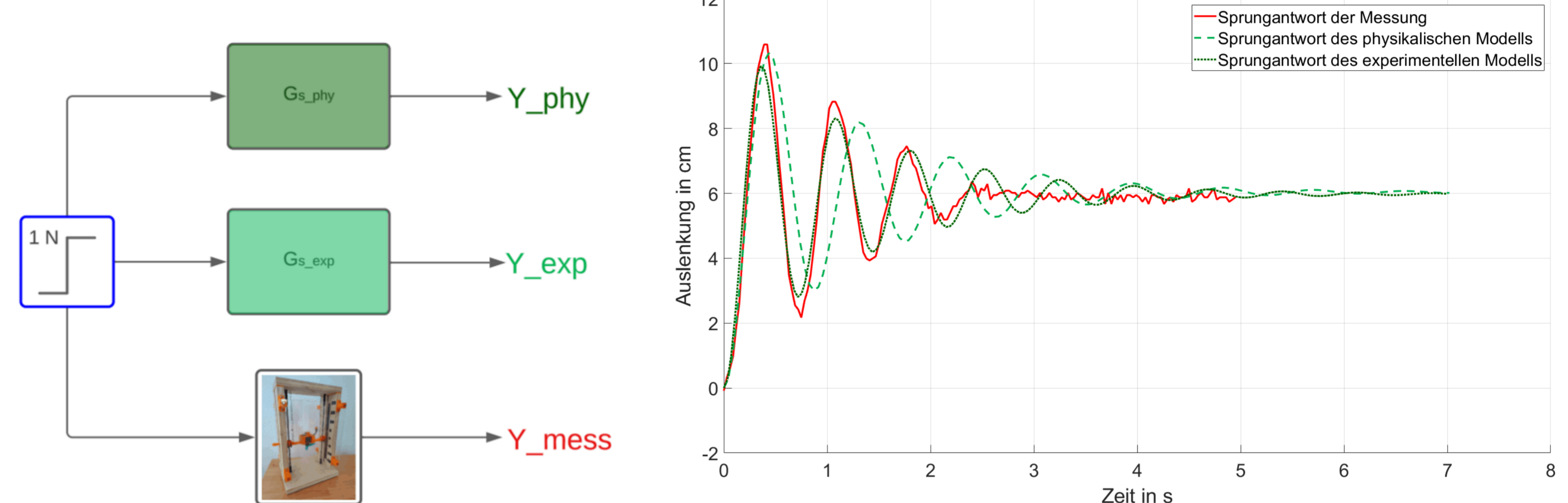


## 2. Bestimmen der experimentellen Übertragungsfunktion

Um die Übertragungsfunktion eines Systems zu bestimmen, benötigt man eine Messung des Eingangs- und Ausgangssignals. Je höher die Dynamik des Eingangssignals, desto präziser kann die Funktion geschätzt werden. Es stellte sich heraus, dass bei Ordnungen die im Vergleich zum physikalischen Modell höher sind, das System besser beschrieben wird, was darauf hindeutet, dass zusätzliche Effekte auf die Strecke einwirken, die im physikalischen Ansatz nicht berücksichtigt werden. Es wurde sich für eine Zählerordnung von eins und Nennerordnung von drei entschieden, da noch höhere Ordnungen die Messung kaum besser abbilden und hauptsächlich die Reglerauslegung erschweren würden. Die **experimentell** bestimmte Übertragungsfunktion lautet:

$$G_{s,exp}(s) = \frac{416.32 \cdot s + 1388.3}{s^3 + 4.5779 \cdot s^2 + 81.497 \cdot s + 232.19}$$

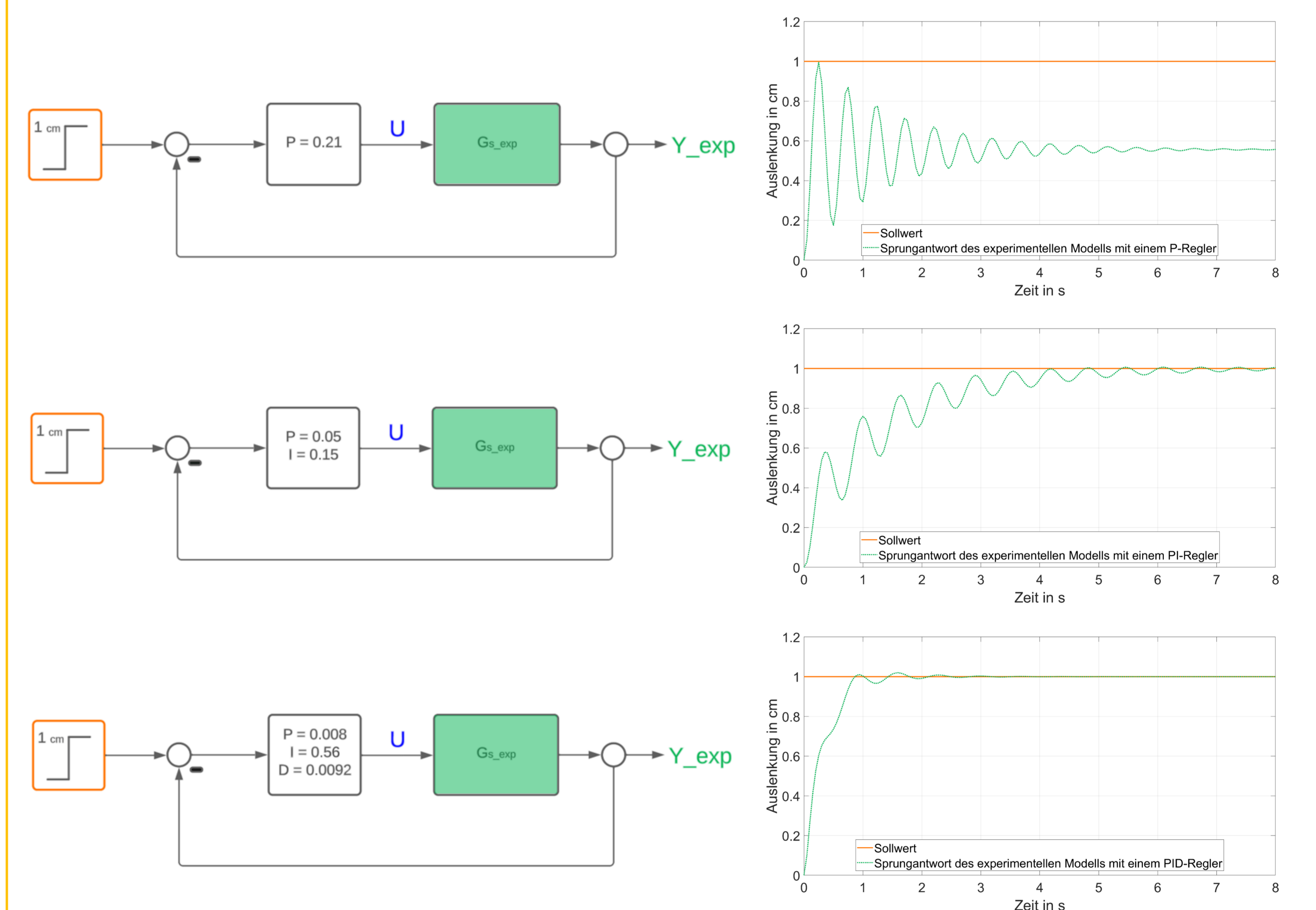
## 3. Vergleich der experimentellen und physikalischen Übertragungsfunktionen mit dem realen System



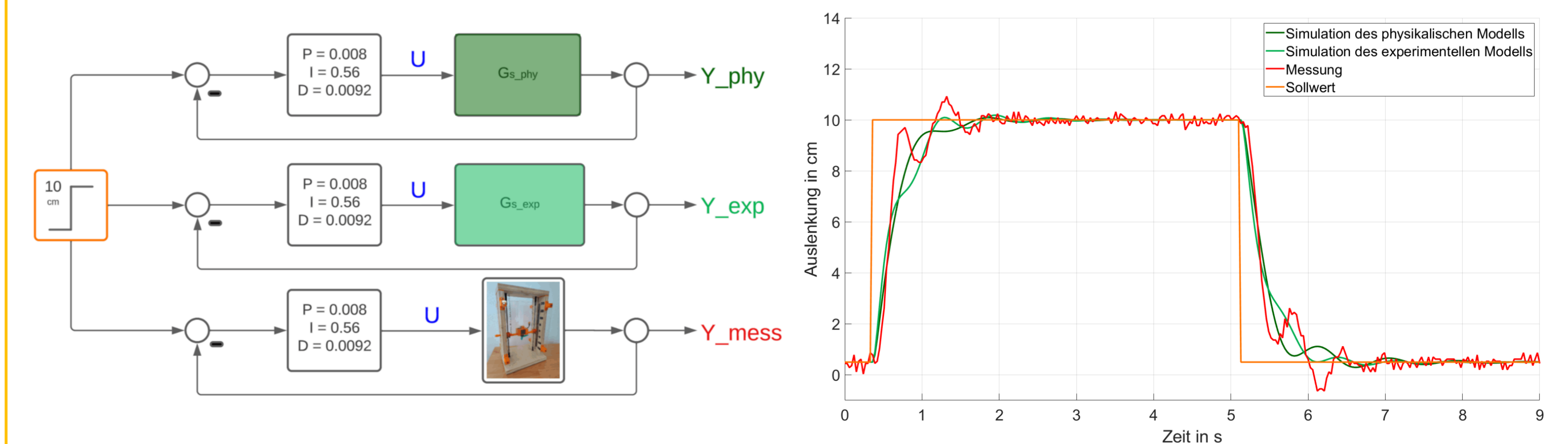
Beide Modelle unterscheiden sich in der Dämpfung mit dem realen System, die jedoch aufgrund der Nichtlinearität und des Messrauschens nicht exakt bestimmt werden kann. Das physikalische Modell besitzt zudem eine langsamere Eigenfrequenz, was es zum schlechteren der beiden Modelle macht.

## 4. Entwerfen eines Reglers

In pzMove kann nun ein Regler für den geschlossenen Regelkreis entworfen werden. Da die Strecke nicht exakt bestimmt werden konnte, muss der ausgewählte Regler an der realen Strecke gegengetestet werden. Ein reiner P-Regler liefert kein akzeptables Ergebnis. Die Sprungantwort erreicht den Sollwert nicht und schwingt stark. Durch Hinzufügen eines I-Anteils werden die Schwingungen drastisch reduziert und der Sollwert wird erreicht, wenn auch erst nach ca. 6s. Um eine schnellere Reaktion des Systems auf Änderungen zu erreichen, muss ein D-Anteil hinzugefügt werden. Dadurch wird ein wesentlich schnellerer Anstieg und eine bessere Stabilität bei Störungen erreicht. Die endgültigen Werte des Reglers wurden am realen System iterativ angepasst, um ein optimales Verhältnis zwischen schnellem Anstieg und geringem Überschwingen zu erreichen, ohne dass das System instabil wird.



## 5. Vergleich der Sprungantworten im geschlossenen Regelkreis



## 6. Zusammenfassung

Der Reglerentwurf für ein nichtlineares System kann durch Simulation nur durch mehr Aufwand durchgeführt werden. Der Versuchsaufbau kann aufgrund der verrauschten Messgröße, der maximalen Motordrehzahl und -kraft und der begrenzten Auslenkung mathematisch nicht exakt abgebildet werden. Außerdem verstärken die Plexiglasscheiben die vom Propeller erzeugten Turbulenzen, wodurch die Propellerkraft neben dem Duty Cycle auch noch positionsabhängig ist. Um eine optimale Reaktion des Systems auf Eingangs- und Störsignalen zu erhalten, muss die Reglerauslegung manuell bzw. iterativ angepasst werden. Dieses Vorgehen kann durch Simulation erleichtert werden, indem ein grober Regleransatz entworfen wird, um jedoch eine optimale Regelung zu erhalten, welche die anfangs festgelegten Voraussetzungen erfüllt, muss die Reaktion des realen Systems betrachtet werden.