



Qualifikation innovativer Komponenten einer Siebträger-Espressomaschine

Entwicklung eines Dosierventils bestehend aus Kugelventil und Stellmotor

Integration of innovative components for an espresso machine with portafilter

Development of a dispensing valve by combining a ball valve with a motor

08.03.2022

Felix Kistler

Applied Research in Engineering Sciences

Hochschule München - Munich University of Applied Sciences

Fakultät 03 - Verbundlabor Fahrzeugtechnik, Akustik und Dynamik

felix.kistler@hm.edu

Matrikel-Nr. 315635

1 Abstract

Dieser Projektbericht beschäftigt sich mit der Fragestellung, ob ein automatisches Dosierventil für den Wasser- und Dampfdruck in einer Siebträger-Espressomaschine zu einem rentablen Kostenaufwand selbst entwickelt werden kann. Dieses selbst entwickelte Dosierventil soll in einer Zweikreis-Espressomaschine Anwendung finden und anstatt eines teuren Zukaufteils verwendet werden, um die Herstellkosten niedrig zu halten.

Für das Dosierventil soll entweder ein Kugel- oder Drosselventil verwendet werden, das über einen Stellmotor betätigt wird und das Mischverhältnis des Heiß- und Kaltwassers regelt. Auf diese Weise soll die Temperatur des Kaffee- und Teebezugswassers je nach Belieben variiert werden können.

Entscheidungskriterien für das zu entwickelnde Dosierventil sind sowohl die technische Funktionalität als auch die gegebene Wirtschaftlichkeit der zu verwendenden Komponenten. Dafür wird erst eine Komponentenrecherche durchgeführt und eine Übersicht der als geeignet erachteten Ventile, Motoren und Verbindungselemente erstellt. Danach erfolgt die Ideenfindung zur Verbindung von Ventil und Motor, sowie die Zusammenstellung der ausgesuchten Komponenten zu drei verschiedenen Konzepten. Des Weiteren werden die Kosten der unterschiedlichen Komponenten je Konzept kalkuliert und verglichen.

Nach der Erläuterung der unterschiedlichen Konzepte werden einige ausgewählte Komponenten als Muster bestellt und mithilfe eines speziell konstruierten Versuchsaufbaus auf deren Eignung getestet. Es folgt eine Evaluation erster Versuchsergebnisse sowie ein Ausblick auf die weiter erforderlichen Schritte zur Realisierung und dem Erreichen der Serienreife.

This report describes the development of an automatic metering valve to be used for the water and steam supply of an espresso machine with portafilter. A manual ball- or throttle valve shall be combined with an actuator like a stepper motor that regulates the mixing ratio of warm and cold water and thereby adjusts the temperature of the water that used for brewing. In this way, the temperature of the coffee and tea water can be varied according to the user's wishes.

Main requirements for the dosing valve are technical functionality and cost efficiency. First, research for components is carried out and an overview of suitable valves, motors and connection parts is defined. In the following, ideas for connecting the valve and motor are generated. The selected components are compiled into three different concepts and the resulting costs are calculated and compared.

Once the compilation of concepts is completed, a selection of sample parts is tested with the aid of a specially designed test setup. This is followed by an evaluation of the initial test results. The report is concluded with the recommendations for the further development of the system, in which the required steps for implementing the system as well as reaching product maturity are described.

Inhaltsverzeichnis

1 Abstract	2
2 Verzeichnis der Abkürzungen	4
3 Einleitung	5
4 Aufgabenstellung	6
5 Entwicklungsprozess	7
5.1 Ausgangssituation	7
5.2 Anforderungen an das System	8
5.3 Definition von Komponenten	9
5.3.1 Planung des Versuchsaufbaus	9
5.3.2 Messung der Betätigungsmomente	11
5.3.3 Zusammenfassung der Messergebnisse	12
5.4 Übersicht von geeigneten Komponenten	13
5.4.1 Übersicht von geeigneten Ventilen	13
5.4.2 Übersicht von geeigneten Motoren	14
5.4.3 Übersicht von geeigneten Verbindungselementen	15
5.5 Konzeption des Adapters	16
5.5.1 3D-Druck-Teil	16
5.5.2 Gedrehtes Messingteil mit Madenschrauben	18
5.6 Konzeptentwicklung	19
5.6.1 Konzept 1	20
5.6.2 Konzept 2	21
5.6.3 Konzept 3	22
5.6.4 Konzeptauswahl	23
5.7 Testen der Komponenten	24
5.7.1 Planung des Demonstrators	24
5.7.2 Konstruktion und Bau des Demonstrators	26
5.7.3 Testen des Servomotors	27
5.7.4 Testen des Schrittmotors	30
5.7.5 Testen des Drosselventils	31
6 Zusammenfassung	32
7 Ausblick	33
8 Literaturverzeichnis	34
9 Abbildungsverzeichnis	36
10 Anhang	38

2 Verzeichnis der Abkürzungen

CAD	Computer Aided Design
FDM	Fused Deposition Modelling
MJF	MultiJet Fusion
PA12	Polyamid 12
PLA	Polylactid
PFA	Perfluoralkoxy
PPSU	Polyphenylsulfon
PWM	Pulsweitenmodulation
SMD	Surface-mounted Device
STL	Standard Translation Language
USB	Universal Serial Bus

3 Einleitung

In der Konzeptbeschreibung von sowohl der 1,8 Liter-Espressomaschine für die TURNUS Espresso GmbH als auch von der konzeptionellen Glasboiler-Maschine ist eine vollständige Parametrierbarkeit aller relevanten Kaffeebezugsgrößen festgelegt. Dazu gehört unter anderem die individuelle Variierbarkeit der Temperatur des Kaffeebezugswassers. Die Temperaturvariierung des Kaffeebezugswassers soll bei beiden Maschinen von Kaffeebezug zu Kaffeebezug möglich sein und regelungstechnisch umgesetzt werden. Sowohl die Temperatur des Kaffeebezugswassers als auch des Teewassers soll zwischen 82 und 98 °C variiert werden können. [1] Beide Maschinen sind als Zweikreis-Systeme¹ mit zwei unterschiedlich temperierten Wasserkreisen ausgelegt, um gleichzeitig Dampf und Brühwasser produzieren zu können. [2] Das Heißwasser für den Kaffee- und Teewasserbezug wird über eine Heizwendel im Dampfboiler erhitzt. Die gewünschte Bezugstemperatur soll über das Mischverhältnis zwischen Kalt- und Heißwasser hergestellt werden. Hierfür war ursprünglich ein Dosierventil von AVS Römer vorgesehen, das sich entweder um Kalt- oder Heißwasserzulauf befindet und für die Temperaturmischung sorgen soll. [3] Dieses motorisch betriebene Dosierventil besteht laut Herstellerangaben aus einer Präzisionsdrossel mit verbundenem Linearmotor und kann zur Regulierung des Volumenstroms von flüssigen und gasförmigen Medien verwendet werden. Die Position der Drossel wird durch den Linearmotor verändert und bestimmt auf diese Weise den Durchfluss. [4]

Durch einen Listenpreis von rund 80,00€ ist dieses Dosierventil von AVS Römer jedoch nicht innerhalb der gewünschten Preisklasse und entspricht damit nicht den festgelegten finanziellen Rahmenbedingungen des Projekts. Um die angestrebten maximalen Produktionskosten von 1000 € für die TURNUS-Maschine und 4000 € für die Glasboiler-Maschine realisieren zu können, muss eine Alternative zu dem Dosierventil von AVS Römer entwickelt werden. Neben dem Dosierventil war ursprünglich in beiden Maschinen ein Magnetventil für den Dampfbezug vorgesehen, wofür ebenfalls eine Alternative gefunden werden soll.

¹ Zweikreis-System: Handelsübliche Zweikreis-Espressomaschinen verfügen über einen Kessel mit Wärmetauscher, der mit 110 – 130 °C heißem Wasser gefüllt ist und von dem sich über eine Dampfphase Dampf für das Milchsäumen entnehmen lässt. Kaltes Frischwasser wird aus einem Tank durch den Wärmetauscher zum Siebträger gepumpt und vom umgebenden Kesselwasser auf die zum Brühen benötigte Temperatur von 88 – 94 °C erhitzt. [2]

4 Aufgabenstellung

Im Laufe der Entwicklung kam die Idee auf, anstelle des Dosierventils von AVS Römer für die Temperaturvariierung und des Magnetventils für den Dampfbezug ein elektromechanisch betriebenes Kugelventil zu verwenden. Die handelsüblichen Kugelventile sind bei auf Espressomaschinen spezialisierten Lieferanten wie beispielsweise LF Ersatzteile günstig zu kaufen. Kombiniert man das handelsübliche Kugelventil mit einem Stellmotor, der das Kugelventil je nach gewünschter Wasserbezugstemperatur öffnen und schließt, erhält man ein System mit gleicher Funktionsweise wie das Dosierventil von AVS Römer. Auf diese Weise kann die Temperaturmischung ohne teure Zukaufteile gewährleistet werden, was die Produktionskosten beider Maschinen niedrig hält. Voraussetzung hierfür ist, dass das zu entwickelnde System genauso zuverlässig und genau arbeitet, wie das alternative Zukaufteil und dass die Kosten für das zu entwickelnde System deutlich unter dem des Zukaufteils liegen.

Nun gilt es herauszufinden, welche auf dem Markt verfügbaren Komponenten den Anforderungen entsprechen, die die sowohl die 1,8 Liter-Espressomaschine für TURNUS und die Glasboiler-Maschine an das System stellen, welche technischen Komponenten diese Voraussetzungen erfüllen und welche Lieferanten die Komponenten zu einem finanziell realistischen Preis in entsprechender Stückzahl liefern können. Des Weiteren sollen mehrere Konzepte für die Auslegung des Systems erarbeitet und auf ihre Funktionalität beurteilt werden. Dazu soll im Laufe des Projekts ein Versuchsaufbau und ein Demonstrator gebaut werden, um die unterschiedlichen Konzepte sowie die ausgewählten technischen Komponenten testen zu können.

5 Entwicklungsprozess



5.1 Ausgangssituation

Das zu entwickelnde System bestehend aus Ventil und Stellmotor soll letztendlich sowohl für den Bezug des Kaffee- und Teewassers als auch für den Dampfbezug verwendet werden und in beiden Maschinen Anwendung finden.

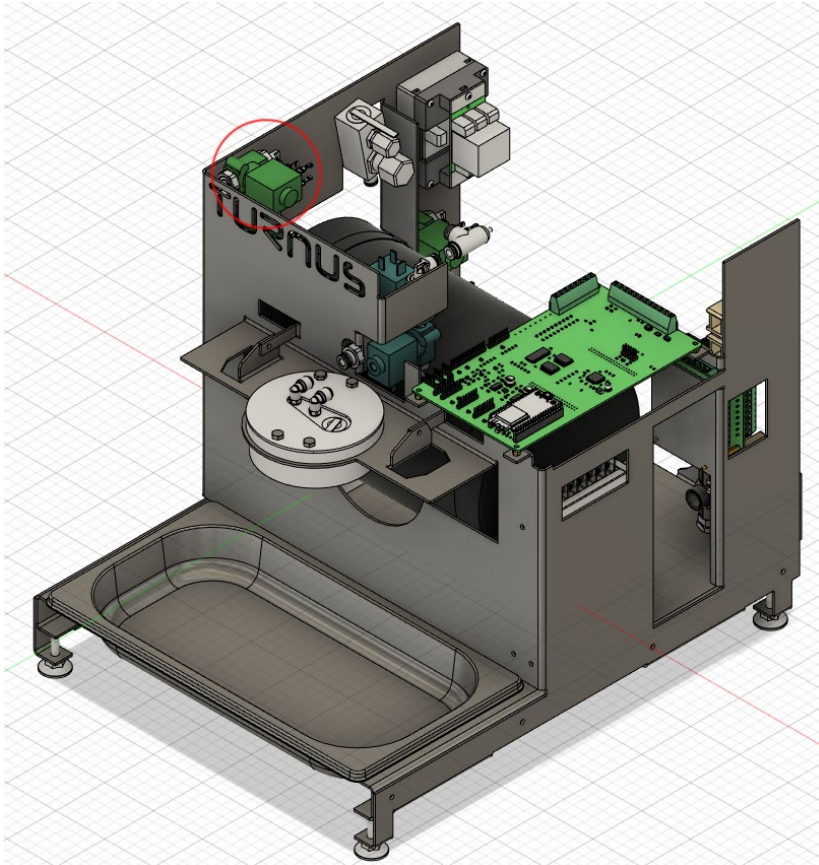


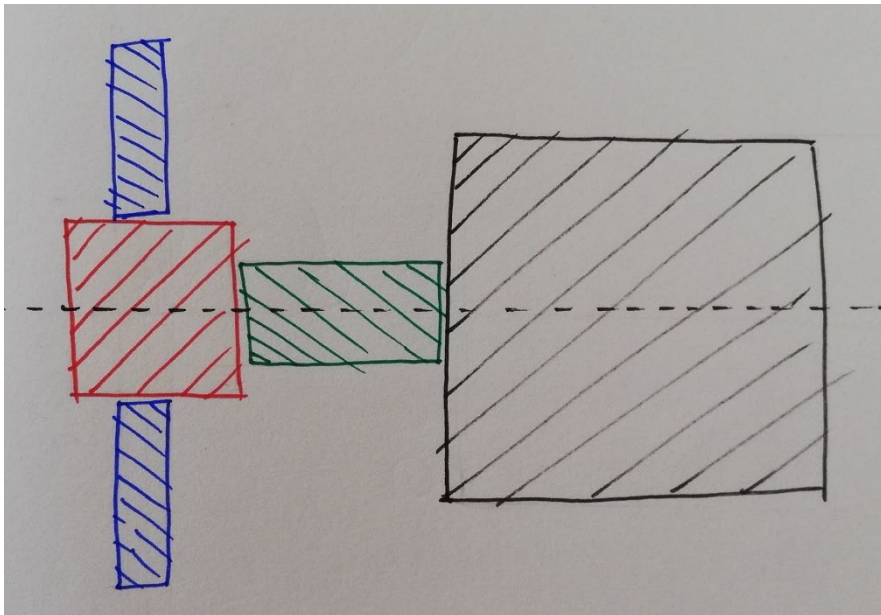
Abbildung 1: CAD-File der 1,8 Liter-Espressomaschine von TURNUS mit eingezeichneter Lage des Dosierventils

In der Abbildung ist das aktuelle CAD-File der 1,8 Liter-Espressomaschine für TURNUS dargestellt und die Lage des Dosierventils eingezeichnet. Die Leitungen für Wasser und Dampf bestehen aus transparentem Kunststoff aus Perfluoralkoxy² (PFA) mit einem Innendiameter von 4 mm und einem Außendiameter von 6 mm [3]. Die Leitungen sollen mithilfe von ELSA-Verschraubungen aus Polyphenylsulfon³ (PPSU) mit dem System verbunden werden.

Im Folgenden ist der abstrakte Aufbau mit den geplanten Komponenten des Systems abgebildet.

² Perfluoralkoxy: PFA ist ein Polymer das beständig gegen nahezu alle Chemikalien ist und eine sehr hohe Temperaturfestigkeit zeigt. Es wird oft als Material für Schläuche in der Lebensmittel- und Chemiebranche verwendet. [5]

³ Polyphenylsulfon: Dieses Material ist ein thermoplastischer Hochleistungskunststoff aus der Gruppe der Polysulfone. Diese Kunststoffe sind bekannt für ihre Zähigkeit und Stabilität bei hohen Temperaturen. [6]



- (Rot): Ventil
- (Blau): Leitungen
- (Grün): Verbindungsteil
- (Schwarz): Motor

Abbildung 2: Abstraktes Layout des zu entwickelnden Systems

Das System soll aus einem Ventil und einem Stellmotor bestehen, die über ein Verbindungselement miteinander verbunden sind. Die Leitungen verlaufen durch das Ventil und werden für den Wasser- und Dampfbezug genutzt.

5.2 Anforderungen an das System

Vor dem Entwicklungsstart wurden die technischen und ökonomischen Anforderungen an das System von den Auftraggebern eingeholt und als Referenz für den weiteren Entwicklungsverlauf verwendet.



Nr.	Kategorie	Anforderung
	System	Der Preis des gesamten Systems soll 30 € bei einer Stückzahl von 100 nicht überschreiten
		Das System soll sowohl für das Dosierventil für den Tee- und Kaffeebezug als auch für die Dampfmaschine verwendet werden
		Das System soll per PWM-Signal betrieben werden können
	Ventil	Für das Ventil soll entweder ein handelsübliches Kugelventil oder ein manuelles Drosselventil verwendet werden
		Das Ventil muss bei Temperaturen bis 130 °C voll funktionstüchtig bleiben
		Das Ventil muss einem Betriebsdruck von 12 bar standhalten können
		Das Ventil soll bei spezialisierten Lieferanten separat als Zukaufteil verfügbar sein
		Das Ventil soll als Einzelkomponente den Listenpreis von 5,00 € nicht überschreiten
	Motor	Für die Betätigung des Ventils soll entweder ein Schritt- oder Servomotor verwendet werden

		Der Motor darf die maximalen Abmessungen von 40 x 40 x 40 mm nicht überschreiten
		Der Motor muss das erforderliche Moment für die Betätigung des Ventils liefern können
		Der Motor soll als Einzelkomponente den Listenpreis von 20,00 € nicht überschreiten

Tabelle 1: Anforderungen an das System

5.3 Definition von Komponenten

Bevor mit der Komponentenrecherche begonnen werden konnte, mussten zuerst die technischen Anforderungen an Ventil und Motor geklärt werden, die das System an die Komponenten stellt. So musste im Vorhinein evaluiert werden, welche Momente benötigt werden, um die in Frage kommenden Ventile zu betätigen, sodass der Motor genügend Kraft zur vollständigen Öffnung und Schließung des Ventils aufbringen kann.

Zu Projektbeginn lagen bereits Muster von acht handelsüblichen Kugelventilen in unterschiedlichen Ausführungen der Hersteller LF Ersatzteile und RS Components vor, die in ähnlichen Maschinen Anwendung finden. Die Kugelventile unterscheiden sich hauptsächlich in Durchmesser, verwendeten Materialien und im Preis, funktionieren jedoch alle auf die gleiche Weise.

Diese Kugelventile wurden mit Nummern versehen und für die Messung der Betätigungsmomente verwendet, um einen Orientierungswert für das benötigte Drehmoment des Motors zu erhalten.

5.3.1 Planung des Versuchsaufbaus

So wurde ein Versuchsaufbau geplant, mit dem die benötigten Betätigungsmomente der Kugelhähne mithilfe einer Wägezelle⁴ gemessen werden können.

Im Folgenden ist eine Skizze des ersten Entwurfs zu sehen:

⁴ Wägezelle: Wägezellen sind eine Sonderform der Kraftaufnehmer (Kraftsensoren) zum Aufbau von Wägevorrichtungen, d. h. zum Verwiegen mit Waagen. Sie sind in Gramm (g) Kilogramm (kg) oder Tonnen (t) kalibriert. Wägezellen enthalten wie Kraftaufnehmer meist einen Federkörper, d. h. ein geeignet geformtes Stück Metall, dessen Geometrie sich unter Einwirkung des Gewichts leicht verändert. Diese elastische Verformung wird für Gewichte über einige Gramm bis zu mehreren 1000 Tonnen von Dehnungsmessstreifen erfasst und in ein elektrisches Signal umgeformt. [7]

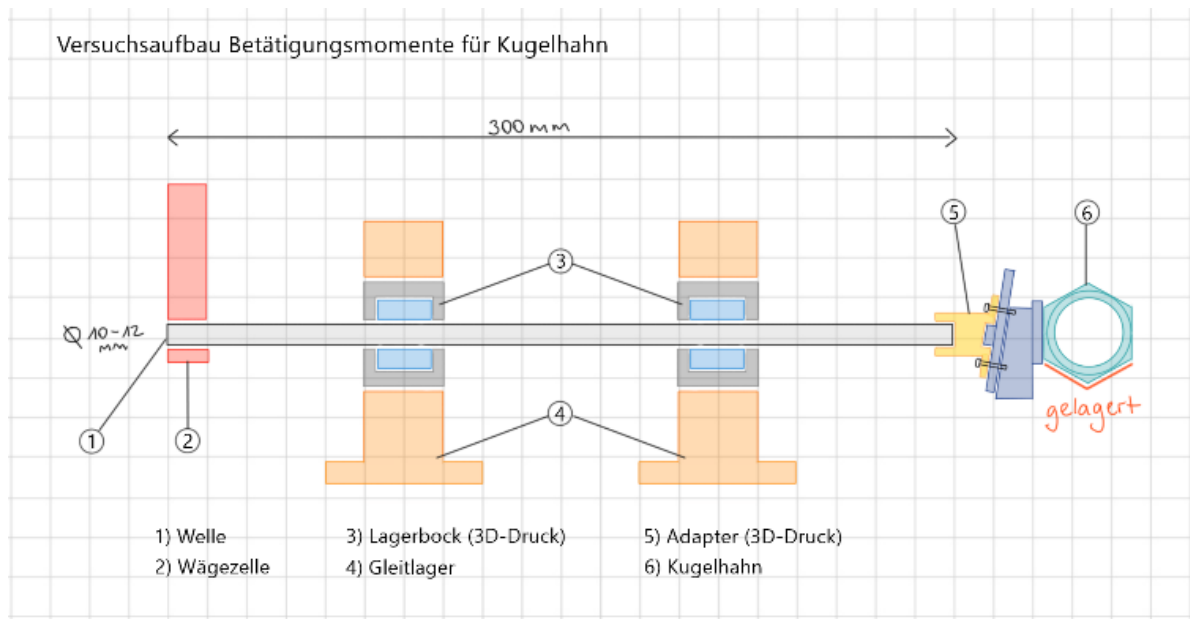


Abbildung 3: Skizze des geplanten Versuchsaufbaus zur Messung der Betätigungsmomente

Einerseits muss das Kugelventil fixiert werden, sodass der Hahn zur Öffnung und Schließung der Durchgangsöffnung um 90° gedreht werden kann, ohne dass das Ventil selbst mitgedreht wird. Des Weiteren muss Kraft auf einen Hebel ausgeübt werden, der über eine Welle mit dem Ventil verbunden ist und das Moment auf den Hahn überträgt. Zusätzlich müssen diese Komponenten über der Arbeitsfläche mithilfe von Lagerböcken gelagert werden, sodass die Welle frei drehen kann und das Ventil je nach Bedarf ohne Beeinträchtigung geöffnet und wieder geschlossen werden kann.

Nachdem der vorläufige Aufbau sowie die benötigten Komponenten definiert waren, wurde mit der Konstruktion der 3D-Druckteile fortgefahren.

Im Laufe der Konstruktion wurde entschieden, anstelle des ursprünglich geplanten zusätzlichen 3D-Druck-Teils direkt die Wägezelle als Hebel zu verwenden. Außerdem wurden die Gleitlager (4) als nicht benötigt betrachtet, sodass die Aluminiumwelle (1) im finalen Aufbau ausschließlich durch die 3D-gedruckten Lagerböcke (3) gelagert wird. Der zu messende Kugelhahn ist mithilfe des 3D-gedruckten Adapters (5) an der Welle (1) fixiert.



Abbildung 4: Screenshot des CAD-Files vom Versuchsaufbau zum Messen der Betätigungsmomente

In der Abbildung oben ist das CAD-Modell (Computer Aided Design) des Versuchsaufbaus mit den 3D-gedruckten Adaptern für Wägezelle und Kugelventil zu sehen. Die Adapter sowie die Lagerböcke

wurden mithilfe des Fused Deposition Modelling-3D-Drucks⁵ (FDM) aus dem Kunststoff Polylactid⁶ (PLA) gefertigt.



Abbildung 5: Realer Versuchsaufbau zum Messen der Betätigungsmomente

Im finalen Versuchsaufbau wurden die Lagerböcke (3) sowie der zu messende Kugelhahn mithilfe von Werkzeugklemmen auf der Arbeitsfläche fixiert. Während der Messungen wurde anschließend entsprechend Druck auf die Wägezelle ausgeübt, sodass sich die Welle samt im Adapter fixierten Kugelhahn dreht, bis das Kugelventil vollständig geöffnet und wieder geschlossen ist.

Diese Prozedur wurde mit allen zu Auswahl stehenden Kugelhähnen drei Mal pro Teil durchgeführt, um verlässliche Messdaten zu bekommen. Es wurde dabei darauf geachtet, nach dem Erreichen des Anschlags nicht unproportional viel mehr Kraft aufzuwenden, um die Messdaten nicht zu verfälschen. Der Messvorgang wird über die Software MATLAB gesteuert. Die Wägezelle ist mit zusätzlicher Messtechnik verbunden, die die Messdaten zur Auswertung an MATLAB überträgt. Auf diese Weise wurden die benötigten Betätigungsmomente herausgelesen und anschließend verglichen.



5.3.2 Messung der Betätigungsmomente

Im Folgenden ist die Messdatenauswertung von Kugelhahn Nr. 1 dargestellt, um den Vorgang der Datenauswertung zu erläutern. Als erster Schritt wurden die Messdaten aus MATLAB exportiert und die Grafikdiagramme mit den Messdaten ausgewertet.

⁵ Fused Deposition Modelling: Bei dieser 3D-Druck-Technologie werden zwei Werkstoffe (Modell- und Stützmaterial) in einem Extruderkopf erhitzt und anschließend in dünnen Schichten auf eine Bauplattform aufgetragen. Dadurch baut sich das Modell Schicht für Schicht präzise auf. [8] Dieses Verfahren wird oft für Sichtmodelle so wie einfache Prototypen verwendet.

⁶ Polylactid: Synthetische Polymere mit einem Schmelzpunkt von 150 – 160 °C, die oft als Werkstoff zum FDM-3D-Druck verwendet werden. [9] Ausgangsmaterial ist meist ein Filament-Strang mit 1,8 mm Durchmesser.

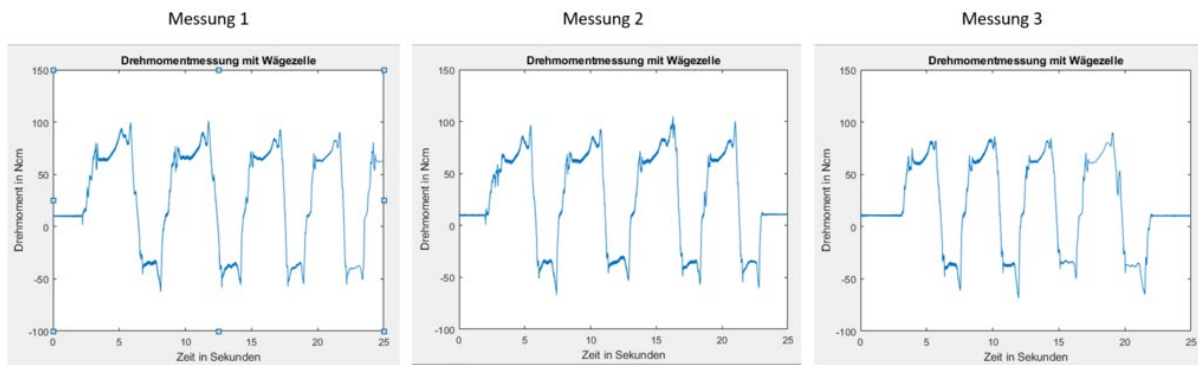


Abbildung 6: ~~Grafik~~diagramme der Drehmomentmessungen zur Betätigung der Kugelventile

Die x-Achse stellt die Zeit in Sekunden (s) dar und die y-Achse das Betätigungsmoment in Newton-Zentimeter (Ncm). Jede Messung dauerte 25 Sekunden. Innerhalb dieser 25 Sekunden wurde jedes Kugelventil vier bis fünf Mal vollständig geöffnet und wieder geschlossen. Anhand der Grafiken aus MATLAB wurden die Maximalwerte der Betätigungsmomente bestimmt und in einer Tabelle festgehalten.



5.3.3 Zusammenfassung der Messergebnisse

Auf diese Weise wurden die folgenden Orientierungswerte generiert:

Übersicht möglicher Kugelventile und deren Betätigungsmomente					
Nr.	Lieferant	Art.Nr.	Maße	Preis (EUR)	Betätigungsmomente (Nm)
1	LF Ersatzteile	1411005	Ø 3/8“ MM	05,08	0,92
2	LF Ersatzteile	3526705	Ø 1/2“ MF	08,04	1,17
3	LF Ersatzteile	3526172	Ø 1/2“ MF	19,81	1,08
4	LF Ersatzteile	3526704	Ø 3/8“ MF	04,93	1,00
5	LF Ersatzteile	3526697	Ø 1/8“ MF	04,66	0,88
6	LF Ersatzteile	3526699	Ø 1/4“ MF	03,87	0,85
7	RS Components	486-350	Ø 1/2“	07,04	1,31
8	RS Components	486-277	Ø 1/4“	05,13	1,36

Tabelle 2: Übersicht möglicher Kugelventile und deren Betätigungsmomente

Anschließend wurde erst der Mittelwert je Messung gebildet und mithilfe dieser Daten anschließend der allgemeine Mittelwert berechnet, um sich dem durchschnittlich benötigtem Betätigungsmoment je Kugelventil anzunähern. Dieser allgemeine Mittelwert wurde für die weitere Komponentenrecherche verwendet.

Die Messungen der Betätigungsmomente zeigen, dass im Durchschnitt rund 1 Nm benötigt wird, um die verschiedenen Kugelhähne vollständig zu öffnen bzw. zu schließen. Von daher wird 1 Nm als Orientierungswert für das erforderliche Drehmoment des Stellmotors verwendet.

5.4 Übersicht von geeigneten Komponenten

5.4.1 Übersicht von geeigneten Ventilen

Nach den Messungen der Betätigungsmomente konnte die Auswahl der geeigneten Kugelventile eingegrenzt werden. So erwiesen sich folgende Kugelventil-Ausführungen als am besten geeignet.

Nr.	Lieferant	Art.Nr.	Maße	Preis (EUR)
4	LF Ersatzteile	3526704	Ø 3/8" MF	04,93
5	LF Ersatzteile	3526697	Ø 1/8" MF	04,66
6	LF Ersatzteile	3526699	Ø 1/4" MF	03,87

Tabelle 3: Auswahl an geeigneten Kugelventilen zu Testzwecken

Beurteilungskriterien für die Eignung als Ventil waren vor allem der Preis, die äußeren Maße sowie das erforderliche Betätigungsmoment. Die drei ausgewählten Ventile sind im Gegensatz zu den übrigen deutlich kompakter, lassen sich ohne größeren Kraftaufwand betätigen und ihr Listenpreis zwischen 3 und 4 € entspricht auch der gewünschten Preisklasse. Von daher wurden diese drei Ausführungen für die weitere Entwicklung des Systems am geeignetsten erachtet und für die weitere Entwicklung verwendet.

Im Laufe der Komponentenrecherche erschien ein weiteres Ventil im Produktkatalog des Zulieferers AVS Römer für die Entwicklung des Systems interessant. Dieses manuelle Drosselventil lässt sich im Gegensatz zu den Kugelventilen durch die Rotation des Aufsatzes betätigen. Die Rotation des Aufsatzes bewegt einen Stift im Inneren des Ventils, das die Durchgangsöffnung je nach Rotationsrichtung öffnet und wieder schließt. Auf diese Weise kann die Durchflussmenge ebenfalls sehr genau kontrolliert werden. Des Weiteren ist das Ventil für einen Betriebsdruck von bis zu 20 bar geeignet, was der Anforderung von 12 bar entspricht. [10]

Drosselventil mit ELSA-Steckanschluss												Abbildung	
Produkt Gruppe	27	PN	20	Bauart: Präzisions-Kegeldrossel	Umg.-Temp. T _{min} 0 °C, T _{max} +60 °C Med.-Temp. T _{min} 0 °C, T _{max} +140 °C		NSF		Kunststoff PPSU				
Betriebsdruck: 0 bis max. 20 bar Temperaturabhängig		Werkstoff: Körper: PPSU, Spindel 1.4404, Dichtung: FKM (FDA konform)											
DN	Kv-Wert Wasser [m³/h]	für Schlauch D	L	L1	M	B	H	S1	S2	Gewicht in [g]	Typ	Bestell- nummer	Preis
1,5	0 - 0,05	4	38	42	M10x1	3,5	14	8	13	23	RF0-958-P315-4FF	635635	a. A.
1,5	0 - 0,05	6	39	42	M10x1	3,5	14	8	13	23,2	RF0-958-P315-6FF	635636	a. A.
2	0 - 0,1	4	38	42	M10x1	3,5	14	8	13	23,1	RF0-958-P320-4FF	635637	a. A.
2	0 - 0,1	6	39	42	M10x1	3,5	14	8	13	23,2	RF0-958-P320-6FF	635638	a. A.
3	0 - 0,2	6	39	42	M10x1	3,5	14	8	13	23,3	RF0-958-P330-6FF	635639	a. A.

Abbildung 7: Übersicht der technischen Eigenschaften des Drosselventils des Zulieferers AVS Römer in verschiedenen Ausführungen

Mit einem Listenpreis von 18,87 € liegt das Ventil jedoch deutlich über dem der Kugelventile. Im weiteren Verlauf der Entwicklung muss getestet werden, ob das manuelle Drosselventil das Kugelventil in Funktion und Zuverlässigkeit übertrifft, sodass der höhere Preis gerechtfertigt ist.

Von sowohl den Kugelventilen als auch dem manuellen Drosselventil wurden Muster bestellt und im weiteren Verlauf der Entwicklung getestet.

5.4.2 Übersicht von geeigneten Motoren

Nachdem das benötigte Drehmoment zur Betätigung sowie eine Auswahl an geeigneten Ventilen definiert war, wurde mit der Recherche nach kompatiblen Stellmotoren begonnen. Sowohl Schritt- als auch Servomotoren kommen für den Einsatz als Stellmotor in Frage. Im Vergleich sind Servomotoren trotz durchschnittlich höherem Listenpreis einem Schrittmotor vorzuziehen, da Servomotoren bereits über ein eingebautes Getriebe verfügen und per PWM-Signal angesteuert werden können. Außerdem werden bei Servomotoren im Gegensatz zu Schrittmotoren keine weiteren Treiber oder andere Zusatzkomponenten benötigt.

Im Folgenden sind die Anforderungen an den Stellmotor aufgelistet, die das System an den Motor stellt.

Anforderungen an den Stellmotor		
Nr.	Kategorie	Anforderung
1	Allgemein	Die maximalen Außenmaße des Motors sollen 40 x 40 x 40 mm (B x H x T) nicht überschreiten
2		Der Motor muss 1 Nm (100 Ncm) Drehmoment liefern können
3		Der Preis des Motors soll bei einer Stückzahl von 100 bei maximal 20€ liegen
4	Servomotor	Der Servomotor muss per PWM-Signal betrieben werden können
5	Schrittmotor	Der Schrittmotor soll einen Schrittwinkel von etwa 1° vorweisen

Tabelle 4: Anforderungen an den Stellmotor

Folgende Schritt- und Servomotoren entsprechen den oben festgelegten Anforderungen und wurden zu Testzwecken bestellt.

Nr.	Beschreibung	Lieferant	Art.Nr.	Haltemoment (Ncm)	Preis (EUR)
1	Stepper motor Nema 17- 17HS4417P1	exp-tech.de	EXP-R73-006	40	09,51
2	Stepper motor Nema 17 - 17HS5425	exp-tech.de	EXP-R73-010	48	11,51
3	Stepper motor Nema 17 - 17HS5413	exp-tech.de	EXP-R73-009	52	11,51
4	Stepper motor Nema 17 - 17HS5415P1-X6	exp-tech.de	EXP-R73-012	55	11,31
5	Amewi Standard-Servo 6221MG	conrad.de	1953723 - 62	150	24,99

Tabelle 5: Auswahl geeigneter Stellmotoren zu Testzwecken

Anfänglich wurde ausschließlich nach Schrittmotoren mit einem Haltemoment von mindestens 1 Nm gesucht, jedoch entsprachen alle Schrittmotoren mit diesem Haltemoment der Normungsklasse NEMA 23 und übertrafen somit die maximal definierten Außenmaße. Darum wurde beschlossen, auch Schrittmotoren mit der Normungsklasse NEMA 17 mit in die Auswahl zu nehmen, die zwar ein geringeres Haltemoment aufweisen, deren maximale Außenmaße jedoch den Anforderungen besser entsprechen. Da alle ausgesuchten Schrittmotoren getriebelos sind, kann das erforderliche

Haltemoment von 1 Nm per Übersetzung mithilfe eines selbst entwickelten Getriebes erreicht werden. Neben den vier verschiedenen NEMA 17-Schrittmotoren wurde auch ein NEMA 23-Schrittmotor mit einem Haltemoment von über 1 Nm zu Testzwecken bestellt. Für die weitere Verwendung in der Maschine kommt er durch Größe und Gewicht jedoch nicht in Frage.

5.4.3 Übersicht von geeigneten Verbindungselementen

Neben Ventil und Motor werden für das Systems auch Verbindungselemente benötigt, um das Ventil sowohl mit dem Motor als auch mit der Wasser- und Dampfleitung zu verbinden.

Für die Verbindung zwischen Ventil und Motor kann eine Wellenkupplung aus Aluminium mit integrierten Madenschrauben sorgen. Folgende Wellenkupplung ist über einen Online-Shop zu einem Preis von 02,55 € pro Stück erhältlich, mit dem selbstkonstruierte Teile nicht mithalten können. Diese Wellenkupplung besitzt eine Länge von 25 mm sowie einen Außendurchmesser von 20 mm und ist mit mehreren Bohrdurchmessern erhältlich [11]. Außerdem ist die Wellenkupplung laut Herstellerangaben zur Übertragung von Drehmomenten von bis zu 2,5 Nm geeignet.

Nr.	Beschreibung	Lieferant	Bohrungsdurchmesser (mm)	Preis (EUR)
1	Wellenkupplung	christians-shop.de	3 – 10	02,55

Tabelle 6: Auswahl der Wellenkupplung zu Testzwecken

Mehrere dieser Wellenkupplungen wurden in unterschiedlichen Ausführungen bestellt, um sie auf ihre Eignung testen zu können.

Für die Wasser- und Dampfleitung sind Kunststoff-Schläuche aus PFA mit einem Innendurchmesser von 4 mm und einem Außendurchmesser von 6 mm vorgesehen. Für die wasserdichte Anbindung an das Ventil sollen ELSA-Verschraubungen aus PPSU des Herstellers AVS Römer verwendet werden. Diese Verbindungselemente sind in mehreren Ausführungen mit unterschiedlich bemaßten Durchgangsöffnungen zu einem geeigneten Preis erhältlich. Pro System werden jeweils zwei ELSA-Verschraubungen benötigt.

Im Folgenden sind je nach gewünschter Leitungsführung zwei mögliche Ausführungen aus dem Produktkatalog von AVS Römer dargestellt. [12]

Gerade Einschraub-Verschraubung											Abbildung			
Preis Gruppe	15	Zul. PB bei Umg.-Temp. T _{min} 0 °C, T _{max} +60 °C	Gewinde zylindrisch	Gewinde-Abd. über gekam. FKM-O-Ring	Anzugsdrehmom. 3 - 3,5 Nm	NSF	Kunststoff PPSU							
für Schlauch D	G	Zul. PB [bar] bei Mediumstemp.			i	L1	D1	S	Gewicht in [g]	Typ	Bestellnummer	Preis		
		20 °C	100 °C	140 °C										
4	G 1/8	20	16	10	6	16,8	15,8	14	4,1	951P3-4FF-1/8	367051	a. A.		
4	G 1/4	20	16	10	7	15,8	19,2	14	5	951P3-4FF-1/4	367052	a. A.		
6	G 1/8	20	16	10	6	17,3	15,8	14	4,3	951P3-6FF-1/8	367053	a. A.		
6	G 1/4	20	16	10	7	16,3	19,2	14	4,9	951P3-6FF-1/4	367054	a. A.		
8	G 1/4	16	12	6	7	19,2	19,2	17	a. A.	951P3-8FF-1/4	367055	a. A.		
8	G 3/8	16	12	6	8	17,2	22,8	17	a. A.	951P3-8FF-3/8	367056	a. A.		

Abbildung 8: Übersicht der technischen Eigenschaften der geraden ELSA-Verschraubung des Zulieferers AVS Römer in verschiedenen Ausführungen

Laut Herstellerangaben liegt der Listenpreis der Ausführung 951P3-4FF-1/4 mit der Bestellnummer 367052 bei 4,80 € pro Stück.

Winkel-Einschraub-Verschraubung, drehbar												Abbildung					
Preis Gruppe	15	Zul. PB bei Umg.-Temp. T _{min} 0 °C, T _{max} +60 °C			Gewinde zylindrisch	Gewinde-Abd. über gekam. FKM-O-Ring				Für rotierende o. oszill. Beweg. nicht geeignet		NSF	Kunststoff PPSU				
für Schlauch D	G	Zul. PB [bar] bei Mediumstemp.			i	L2	L3	D1	S	Gewicht in [g]	Typ	Bestell- nummer	Preis				
		20 °C	100 °C	140 °C													
4	M 5	20	16	10	3,5	14,9	11,1	10	8	3,7	930P3-4FF-M5	367057	a. A.				
4	G 1/8	20	16	10	5	17,7	18,4	11,9	13	12,8	930P3-4FF-1/8	367058	a. A.				
4	G 1/4	20	16	10	7	18,9	20,1	13,9	17	24,6	930P3-4FF-1/4	367059	a. A.				
6	M 5	20	16	10	3,5	16,9	11,1	12	8	4,3	930P3-6FF-M5	367060	a. A.				
6	G 1/8	20	16	10	5	19,4	19,6	13,9	13	15,9	930P3-6FF-1/8	367061	a. A.				
6	G 1/4	20	16	10	7	19,4	20,1	13,9	17	24,7	930P3-6FF-1/4	367062	a. A.				
8	G 1/8	16	12	6	5	22,4	22,7	17,2	17	24,2	930P3-8FF-1/8	366805	a. A.				
8	G 1/4	16	12	6	7	22,4	22,7	17,2	17	40,0	930P3-8FF-1/4	366806	a. A.				
8	G 3/8	16	12	6	8	22,4	22,7	17,2	19	36,7	930P3-8FF-3/8	366807	a. A.				

Abbildung 9: Übersicht der technischen Eigenschaften der gewinkelten ELSA-Verschraubung des Zulieferers AVS Römer in verschiedenen Ausführungen

Der Listenpreis der Ausführung 930P3-4FF-1/4 mit der Bestellnummer 367059 liegt bei 12,11 € pro Stück.

5.5 Konzeption des Adapters

Da das Ventil je nach gewünschter Temperatur das Mischverhältnis zwischen Heiß- und Kaltwasser anpassen und mithilfe des Motors entsprechend betätigt werden soll, müssen Ventil und Motor miteinander verbunden werden. Nachdem die Komponentenrecherche abgeschlossen war und Musterteile bestellt waren, konnte mit der Ideengeneration für die Verbindung zwischen Ventil und Motor fortgefahren werden.

5.5.1 3D-Druck-Teil

Eine Idee für die Verbindung zwischen Ventil und Motor war die Eigenkonstruktion eines Adapters, der sowohl am Kugel- oder Drosselventil sowie am Motor befestigt wird und so das vom Motor ausgeübte Drehmoment auf das Ventil überträgt. Dieser Adapter kann per 3D-Druckverfahren wie dem MultiJet-Fusion-Printing⁷ (MJF) aus dem technischen Kunststoff Polyamid 12⁸ (PA12) in geringen Stückzahlen hergestellt werden, ohne dass zusätzliche Werkzeugkosten für die Produktion anfallen.

⁷ MultiJet-Fusion Printing: Bei dieser 3D-Druck-Technologie wird der Werkstoff auf Pulverbasis durch einen Inkjet-Druckkopf mit einer wärmeleitenden Bindeflüssigkeit benetzt und anschließend mit Infrarotlicht bestrahlt, sodass die Pulverschichten miteinander verschmelzen. [13] Dieses Verfahren wird oft für funktionale Prototypen und Kleinserien verwendet.

⁸ Polyamid 12: Ein technischer Kunststoff mit hoher Zähigkeit und guter chemischer Beständigkeit, der sich als Werkstoff für mechanisch belastete Teile in feuchten Umgebungen eignet. [14] Der Werkstoff wird in Pulverform oft für das MJF-3D-Druckverfahren verwendet.

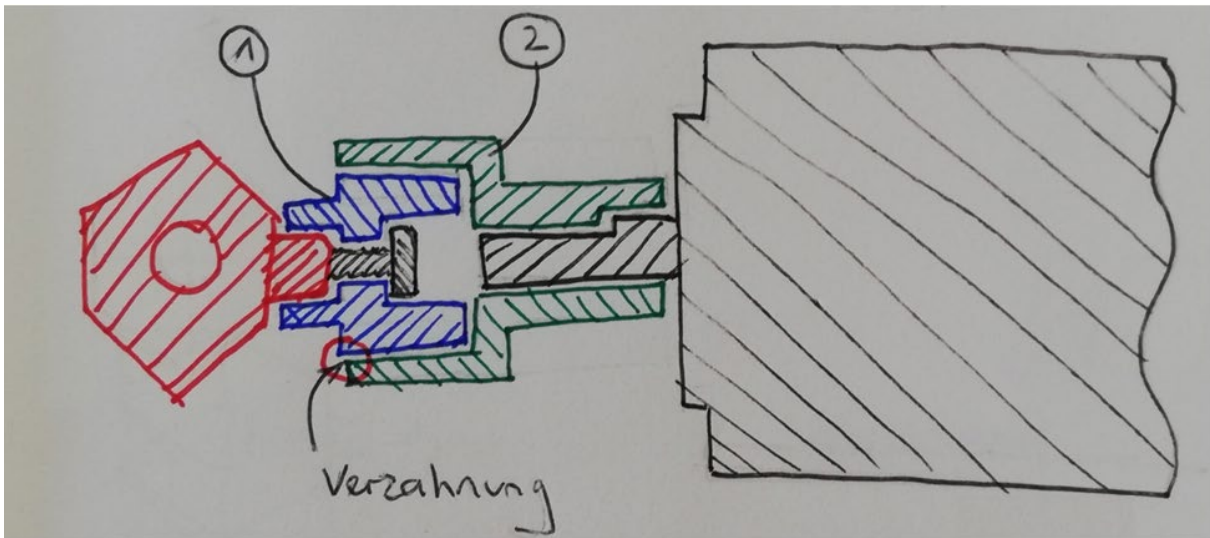


Abbildung 10: Skizze des 3D-Druck-Adapters zur Verbindung von Kugelventil und Stellmotor

In der Skizze oben ist der Querschnitt des Adapters zu sehen. Der Adapter besteht aus zwei Teilen. Teil 1 wird am Kugelhahn festgeschraubt, Teil 2 wird auf den Schaft des Motors gesteckt. Wichtig ist, dass der Schaft eine Fase besitzt, sodass sich der Schaft im Adapter nicht frei drehen kann. Für Schritt- und Servomotor wurden zwei unterschiedliche Adapter konstruiert.

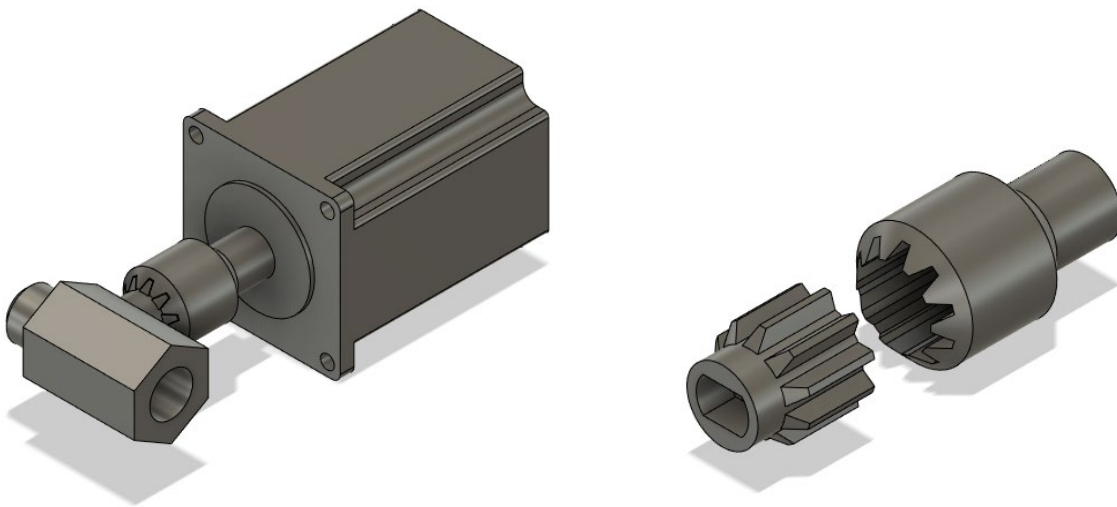


Abbildung 11: CAD-File des 3D-Druck-Adapters zur Verbindung von Kugelventil und Schrittmotor

Der für das Testen des Schrittmotors vorgesehene Adapter besteht wie in der Skizze dargestellt aus zwei Teilen. Teil 1 besitzt eine Nut, die auf den Aufsatz des Kugelventils aufgesteckt und von anderer Seite verschraubt wird. Teil 2 wird auf Teil 1 gesteckt und auf den Schaft des Schrittmotors geschoben. Die Verzahnung sorgt für die Übertragung des Drehmoments.

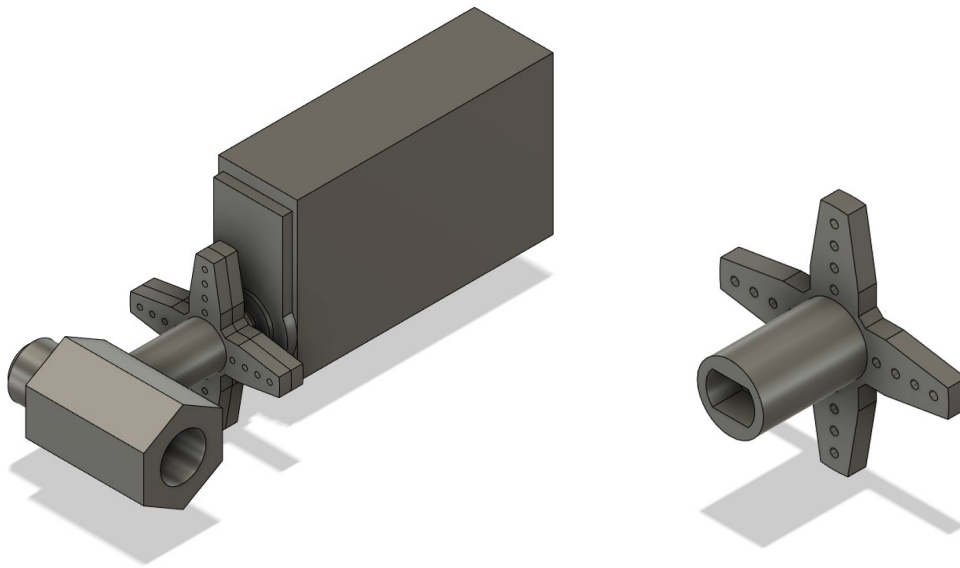


Abbildung 12: CAD-File des 3D-Druck-Adapters zur Verbindung von Kugelventil und Servomotor

Für den Servomotor musste die Konstruktion angepasst werden. Da die meisten Servomotoren bereits mit verschiedenen Aufsätzen zur Übertragung des Drehmoments geliefert werden, wurde beschlossen, einen dieser Aufsätze für das Testen des Servomotors zu verwenden. Von daher wurde ein Aufsatz ausgewählt und ein passendes Gegenstück konstruiert, das das Ventil und den Motor verbindet und das Drehmoment überträgt. Das Gegenstück besitzt auf der einen Seite eine Nut zum Aufstecken und Festschrauben des Ventils und auf der anderen Seite die gleiche Geometrie wie der mitgelieferte Aufsatz. Aufsatz und Gegenstück werden mithilfe gewindeschneidender Schrauben miteinander befestigt, die ebenfalls mit dem Servomotor geliefert wurden.

Die Adapter für Schritt- und Servomotor wurden im Laufe der Entwicklung mithilfe eines FDM-3D-Druckers aus PLA-Filament gefertigt und für das Testen der Ventile und Motoren verwendet. Sowohl der Adapter für den Schritt- als auch für den Servomotor stellen noch keine serientaugliche Lösung dar, sondern wurden ausschließlich zum Testen der beiden Motoren und zur vorläufigen Kostenabschätzung konstruiert. Sollte sich beim Testen herausstellen, dass der Adapter aus dem 3D-Druck am besten für die Verbindung von Ventil und Motor geeignet ist, müssen beide Adapter-Ausführungen noch für die Serienfertigung optimiert werden.

5.5.2 Gedrehtes Messingteil mit Madenschrauben

Eine weitere Idee für die Verbindung von Ventil und Motor ist ein Adapter bestehend aus einer gedrehten Messing-Hülse mit eingesetzten Madenschrauben.

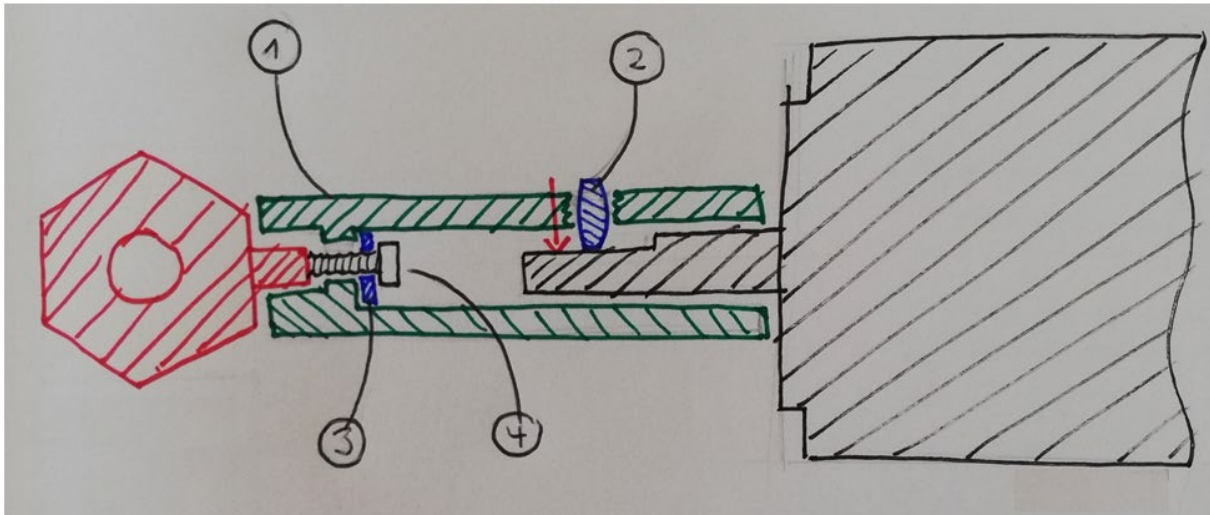


Abbildung 13: Skizze des Messing-Adapters mit Madenschrauben zur Verbindung von Kugelventil und Stellmotor

Die Messing-Hülse (1) besitzt auf der einen Seite eine Bohrung, in die das Ventil gesteckt und mithilfe Beilagscheibe aus Kunststoff (3) und einer Schraube (4) von der anderen Seite fixiert werden soll. Eine Madenschraube wird in ein Gewinde an der Außenseite des Messingteils so weit eingedreht, dass die Madenschraube auf die abgefaste Fläche des Motorschafts drückt und so den Schaft in dem Messingteil fixiert. Auf diese Weise wird ein Formschluss durch das Einschrauben der Madenschraube sowie ein Kraftschluss durch die Verklebung erreicht.

Zuerst war geplant, diese Adapter-Ausführung zu Testzwecken in der Werkstatt der Hochschule München fertigen zu lassen und genau wie die 3D-Druck-Ausführung für das Testen von Motor und Ventil zu verwenden. Im Laufe der Entwicklung wurde jedoch die in 5.4.3 beschriebene Wellenkupplung gefunden, die als Zukaufteil von einem Online-Händler zu einem Stückpreis von 02,55€ bezogen werden kann und auf die gleiche Weise funktioniert. Von daher wurde auf die Selbst-Fertigung verzichtet und die Wellenkupplung für das Testen von Ventil und Motor verwendet.

5.6 Konzeptentwicklung

Im weiteren Verlauf der Entwicklung wurden die Optionen für Ventil, Motor und Verbindungselement miteinander kombiniert und zu verschiedenen Systemkonzepten weiterentwickelt. Die Konzepte unterscheiden sich hinsichtlich verwendeter Komponenten. Um die Auswirkungen der verwendeten Komponenten auf den Selbstkostenpreis einschätzen zu können, wurden für jedes Konzept zwei Varianten mit sowohl Schritt- als auch Servomotor erstellt. Die unterschiedlichen Konzeptvarianten sind mit A für Schrittmotor und mit B für Servomotor gekennzeichnet.

Im Folgenden sind die Konzeptvarianten mit ihren unterschiedlichen Konfigurationen aufgelistet. Da die Hochschule München bei dem Zulieferer AVS Römer einen Rabatt von 53% auf Bestellungen bekommt, sind je Konzeptvariante der Selbstkostenpreis mit und ohne eingerechneten Rabatt kalkuliert worden. Der Selbstkostenpreis mit Rabatt ist in der Tabelle unter dem normalen Selbstkostenpreis in Klammern angegeben.



5.6.1 Konzept 1

Für Konzept 1 werden Schritt- und Servomotor mit dem Kugelventil Nr. 6 des Herstellers LF Ersatzteile kombiniert und per selbstkonstruiertem Adapter aus dem 3D-Druck miteinander verbunden. Das Kugelventil Nr. 6 wurde aufgrund des niedrigen Listenpreises von 03,87 € pro Stück sowie dem geringen Betätigungsmoment von 0,85 Nm ausgewählt.

1A – Kugelventil Nr. 6 mit Schrittmotor und 3D-Druck-Adapter						
Kategorie	Bauteil	Lieferant	Beschreibung	Art.Nr.	Preis/Stk (EUR)	Anzahl
Motor	Schrittmotor 1	exp-tec.de	NEMA 17	EXP-R73-006	09,51	1
Ventil	Kugelventil Nr.6	LF Ersatzteile	Ø 1/4“ MF	3526699	03,87	1
Verbindung Ventil-Motor	Kugelhahn-Adapter	hubs.com	3D-Druck (MJF) HP PA12	-	08,15	1
	Schrittmotor-Adapter	hubs.com	3D-Druck (MJF) HP PA12	-	09,02	1
Verbindung Ventil-Leitung	ELSA-Verschraubung	AVS Römer	951P3-4FF-1/4	367052	04,80 (2,26)	2
Gesamt					40,15 (35,07)	6

Tabelle 7: Übersicht der Komponenten von Konzept 1A

Für die Kostenkalkulation der 3D-Druck-Teile wurden die Teile der beiden Adapter im STL-Dateiformat⁹ auf der Website des Herstellers hubs.com [15] hochgeladen und je Teil ein Angebot für den MJF-3D-Druck aus PA12 eingeholt.

Beschreibung	Material	Details	Stückpreis	Anzahl	Preis
 20211202_Kugelhahn-Adapter.... 14.5 × 16.3 × 15.0 mm <small>Analyse der Druckbarkeit läuft</small>	3D printing HP PA 12 (MJF) Farbe: Gray (default) 80µm	Keine Beschreibung Keine Anhänge	8,15 €	1	8,15 €
 20211202_Schrittmotor-Adapt... 18.0 × 29.4 × 18.0 mm <small>Analyse der Druckbarkeit läuft</small>	3D printing HP PA 12 (MJF) Farbe: Gray (default) 80µm	Keine Beschreibung Keine Anhänge	9,02 €	1	9,02 €

Abbildung 14: Kostenschätzung des 3D-Druck-Adapters zur Verbindung von Kugelventil und Schrittmotor durch den Fertiger hubs.com

⁹ STL-Dateiformat: Das STL-Format beschreibt die Oberfläche von 3D-Körpern mithilfe von Dreiecksfacetten (englisch tessellation = „Parkettierung“). Jede Dreiecksfacette wird durch die drei Eckpunkte und die zugehörige Flächennormale des Dreieckes charakterisiert. Dieses Dateiformat stellt die Netzkoordinaten dreidimensionaler Datenmodelle bereit für die Fertigung mittels additiver Fertigungsverfahren/3D-Druck oder Rapid-Prototyping-Anlagen. [16]

1B – Kugelventil Nr. 6 mit Servomotor und 3D-Druck-Adapter						
Kategorie	Bauteil	Lieferant	Beschreibung	Art.Nr.	Preis/Stk (EUR)	Anzahl
Motor	Servomotor AM Racing	conrad.de		1953723 - 62	24,99	1
Ventil	Kugelventil	LF Ersatzteile	Ø 1/4“ MF	3526699	03,87	1
Verbindung Ventil-Motor	Servomotor-Adapter	hubs.com	3D-Druck (MJF) HP PA12	-	09,32	1
Verbindung Ventil-Leitung	ELSA-Verschraubung	AVS Römer	951P3-4FF-1/4	367052	04,80 (2,26)	2
Gesamt					47,78 (42,70)	5

Tabelle 8: Übersicht der Komponenten von Konzept 1B


	20211206_Servomotor-Adapte... 38.0 × 20.3 × 38.0 mm Druckbar mit MJF	3D printing HP PA 12 (MJF) Farbe: Gray (default) 80µm	Keine Beschreibung Keine Anhänge	9,32 €	1	9,32 €	Spezifikationen ändern
---	---	--	-------------------------------------	--------	---	--------	--

Abbildung 15: Kostenschätzung des 3D-Druck-Adapters zur Verbindung von Kugelventil und Servomotor durch den Fertiger hubs.com

Da für das Ventil in Konzept 1 ein Kugelventil verwendet wird, werden je Variante noch zwei zusätzliche ELSA-Verschraubungen des Herstellers AVS Römer benötigt, um das Ventil mit den Leitungen zu verbinden.

5.6.2 Konzept 2

Im zweiten Konzept werden die Motoren und das Kugelventil Nr. 6 aus Konzept 1 mit der zugekauften Wellenkupplung anstatt mit den selbstkonstruierten Adaptern verbunden.

2A – Kugelventil Nr. 6 mit Schrittmotor und Wellenkupplung						
Kategorie	Bauteil	Lieferant	Beschreibung	Art.Nr.	Preis/Stk (EUR)	Anzahl
Motor	Schrittmotor 1	exp-tec.de	NEMA 17	EXP-R73-006	09,51	1
Ventil	Kugelventil Nr.6	LF Ersatzteile	Ø 1/4“ MF	3526699	03,87	1
Verbindung Ventil-Motor	Wellenkupplung	christians-shop.de	25mm 10mm/6mm	RS20	02,55	1
Verbindung Ventil-Leitung	ELSA-Verschraubung	AVS Römer	951P3-4FF-1/4	367052	04,80 (2,26)	2
Gesamt					25,53 (20,45)	5

Tabelle 9: Übersicht der Komponenten von Konzept 2A

2B – Kugelventil Nr. 6 mit Servomotor und Wellenkupplung						
Kategorie	Bauteil	Lieferant	Beschreibung	Art.Nr.	Preis/Stk (EUR)	Anzahl
Motor	Servomotor AM Racing	conrad.de	-	1953723 - 62	24,99	1
Ventil	Kugelventil	LF Ersatzteile	Ø 1/4“ MF	3526699	03,87	1
Verbindung Ventil-Motor	Wellenkupplung	christians-shop.de	25mm 10mm/6mm	RS20	02,55	1
Verbindung Ventil-Leitung	ELSA-Verschraubung	AVS Römer	951P3-4FF-1/4	367052	04,80 (2,26)	2
Gesamt					41,01 (35,93)	5

Tabelle 10: Übersicht der Komponenten von Konzept 2B

Zu sehen ist, dass die Wellenkupplung den Gesamt-Selbstkostenpreis des Systems im Vergleich zu Konzept 1 deutlich senkt.

5.6.3 Konzept 3

Das dritte Konzept verwendet anstatt des Kugelventils das manuelle Drosselventil. Dieses Drosselventil ist im Vergleich deutlich teurer, bringt jedoch auch einige Vorteile mit sich. So werden keine zusätzlichen ELSA-Verschraubungen benötigt, da die Kunststoff-Leitungen für Wasser und Dampf direkt an das Ventil angeschlossen werden können, was Kosten spart.

Des Weiteren wird das Drosselventil nicht per Drehung um einen bestimmten Winkel betätigt, sondern durch die Rotation des Aufsatzes. Um das Drosselventil ausgehend von geöffneter Position vollständig zu schließen, sind 11,5 Rotationen nötig.

Zu beachten ist jedoch die horizontale Verschiebung, die während der Betätigung des Ventils durch die Steigung des Gewindes entsteht. Diese horizontale Verschiebung zwischen offener und geschlossener Position beträgt 4 mm und muss vom Motor mitgetragen werden, wenn das Ventil an der gleichen Stelle verweilen soll. So muss in der späteren Konstruktion berücksichtigt werden, dass der Motor so montiert wird, dass er in der Verschiebungsrichtung ausreichend Spiel hat und um 4 mm verschoben werden kann.

3A – Drosselventil mit Schrittmotor und Wellenkupplung						
Kategorie	Bauteil	Lieferant	Beschreibung	Art.Nr.	Preis/Stk (EUR)	Anzahl
Motor	Schrittmotor 1	exp-tec.de	NEMA 17	EXP-R73-006	09,51	1
Ventil	Drosselventil	AVS Römer	-	3526699	18,87 (8,87)	1
Verbindung Ventil-Motor	Wellenkupplung	christians-shop.de	25mm 10mm/6mm	RS20	02,55	1
Gesamt					30,93 (20,93)	3

Tabelle 11: Übersicht der Komponenten von Konzept 3A

3B – Drosselventil mit Servomotor und Wellenkupplung						
Kategorie	Bauteil	Lieferant	Beschreibung	Art.Nr.	Preis/Stk (EUR)	Anzahl
Motor	Servomotor AM Racing	conrad.de		1953723 - 62	24,99	1
Ventil	Drosselventil	AVS Römer		3526699	18,87 (8,87)	1
Verbindung Ventil-Motor	Wellenkupplung	christians-shop.de	25mm 10mm/6mm	RS20	02,55	1
Gesamt					46,41 (36,41)	3

Tabelle 12: Übersicht der Komponenten von Konzept 3B

5.6.4 Konzeptauswahl

In der folgenden Grafik ist eine Übersicht der unterschiedlichen Konzeptvarianten und deren respektiven Selbstkostenpreise nach Listenpreis und mit eingerechnetem Rabatt dargestellt.

Kostenübersicht

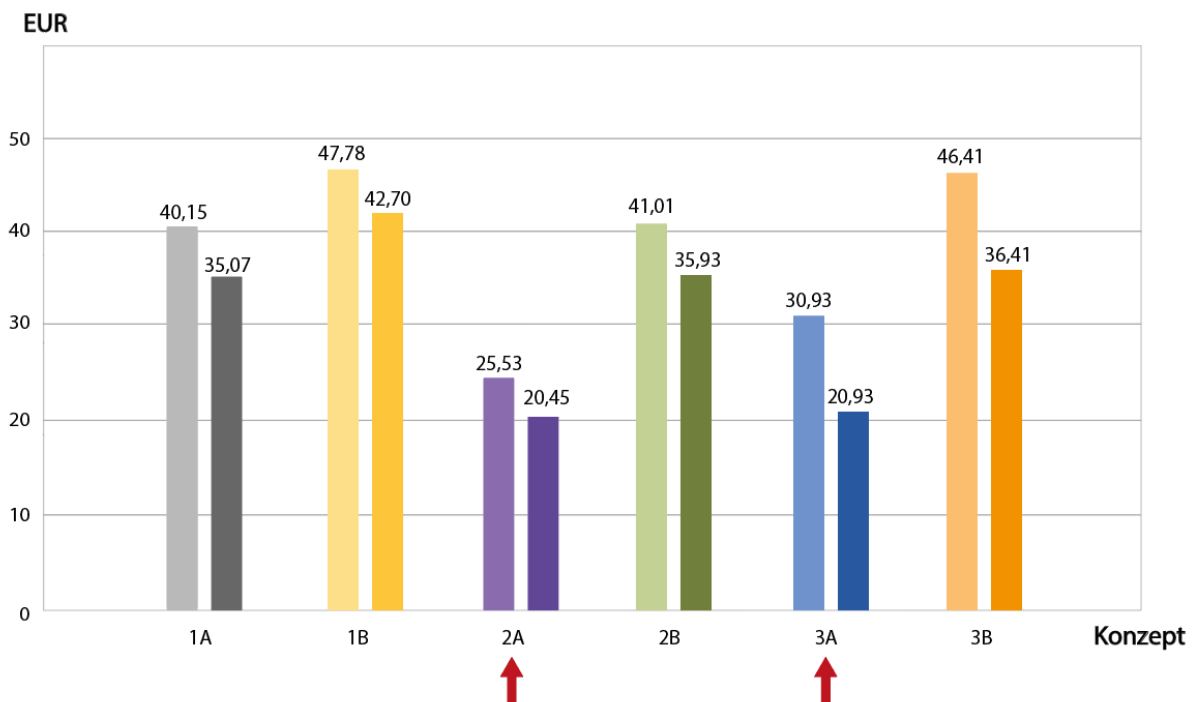


Abbildung 16: Kostenübersicht der verschiedenen Konzepte

Allgemein sind die Konzeptvarianten mit Schrittmotor günstiger als die Varianten mit Servomotor, was mit den unterschiedlichen Listenpreisen von 10 beziehungsweise 25 € zu tun hat. So erfüllen nach Listenpreis ausschließlich die Konzeptvarianten 2A und 3A dem definierten maximalen Selbstkostenpreis von 30,00 € pro System. Die Konzepte 1A, 1B, 2B und 3B kommen nicht weiter in Frage, da für den Preis auch direkt das Dosierventil von AVS Römer verwendet werden kann und so

eine Eigenentwicklung überflüssig macht. Dieses Dosierventil besitzt einen Listenpreis von rund 80,00 €, nach Abzug des gewährten Rabatts von 53% beträgt der Preis jedoch nur noch 37,60 €, was dem Preis der oben genannten Konzepte entspricht und damit keine Kostenersparnis mit sich bringt.

Bei der finalen Konzeptauswahl ist auch zu beachten, dass der Selbstkostenpreis der A-Varianten durch die für den Betrieb des Schrittmotors erforderliche Zusatzausstattung wie Treiber oder Getriebe noch steigen kann, währenddessen der Servomotor bereits im Lieferzustand ohne zusätzliche Ausstattung betrieben werden kann. Letztendlich muss evaluiert werden, welche Zusatzausstattung zum Betrieb des Schrittmotors erforderlich ist, was die Zusatzausstattung für Auswirkungen auf den Selbstkostenpreis hat und welcher der beiden Motoren die besten Ergebnisse während des Testens liefert.

Bemerkenswert ist der Vergleich des Selbstkostenpreises von Kugelventil und Drosselventil mit und ohne Rabatt. Nach Listenpreis unterscheiden sich beide Optionen preislich deutlich voneinander und das Kugelventil ist im Vergleich zum Drosselventil trotz zusätzlich erforderlicher ELSA-Verschraubungen günstiger im Einkauf.

Kostenvergleich Ventil	Listenpreis	Preis nach Rabattabzug
Kugelventil + Verschraubungen	13,47	8,39
Drosselventil	18,87	8,87

Tabelle 13: Kostenvergleich des Kugel- und Drosselventils ohne und mit eingerechnetem Rabatt

Der gewährte Rabatt von 53% bei AVS Römer bringt das Drosselventil jedoch in die gleiche Preisklasse wie das Kugelventil und stellt so eine vielversprechende Alternative zum Kugelventil dar. Bevor jedoch eine endgültige Auswahl zwischen den beiden Ventilen getroffen werden kann, müssen beide Optionen ausgiebig getestet und so auf ihre Eignung beurteilt werden.

Des Weiteren kann festgehalten werden, dass die Wellenkupplung des Zulieferers als Verbindung zwischen Ventil und Motor deutlich günstiger im Einkauf ist als die per 3D-Druck gefertigten Adapter aus Eigenkonstruktion. Sollte sich während des Testens herausstellen, dass die Wellenkupplung auch den übrigen Anforderungen des Systems entspricht und zufriedenstellende Ergebnisse liefert, muss die Wellenkupplung den 3D-Druck-Teilen als Verbindungselement vorgezogen werden.

5.7 Testen der Komponenten

Um eine endgültige Auswahl an geeigneten Konzeptvarianten für die Serienfertigung treffen zu können, müssen die interessanten Konzepte mit den jeweiligen Komponenten zunächst im Betrieb getestet und auf ihre individuelle Eignung beurteilt werden.

5.7.1 Planung des Demonstrators

Für diese Versuche wurde mit der Konzeption eines Versuchsaufbaus begonnen. Ziel dieses Versuchsaufbaus war es, alle ausgewählten Komponenten in ihren unterschiedlichen Konfigurationen testen zu können.

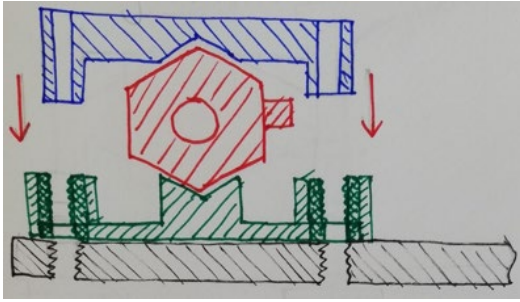


Abbildung 17: Skizze des Befestigungsmechanismus für das Kugelventil

Für die Fixierung der Kugelventile wurde ein Mechanismus bedacht, mit dem die unterschiedlich bemaßten Kugelventile im Versuchsaufbau fixiert werden können. Das jeweilige zu testende Kugelventil wird durch zwei Klammern gehalten. Die beiden Klammern werden mithilfe von vier M3x25 Schrauben im oberen Teil und M3-Inserts¹⁰ im unteren Teil miteinander verschraubt. Durch die Verschraubung drückt so der obere auf den unteren Teil. Durch die für die Kontur der Kugelventile passende Aussparung in beiden Teilen wird das jeweilige Kugelventil festgesetzt und gegen Mitdrehen oder Verschieben im Betrieb gesichert.

Sowohl die Konstruktion für das Kugel- als auch das Drosselventil wird auf einer Grundplatte befestigt.

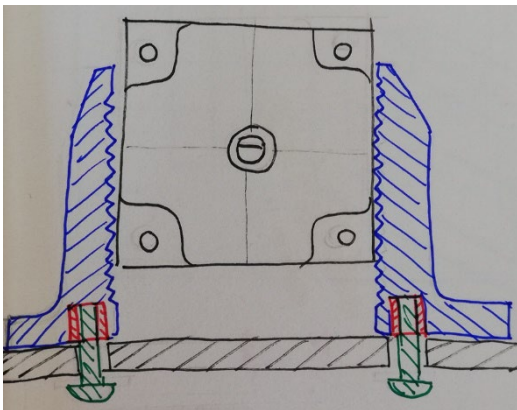


Abbildung 18: Skizze des Befestigungsmechanismus für den Motor

Die zu testenden Schritt- und Servomotoren sollen mithilfe von Anschlägen auf der Grundplatte des Versuchsaufbaus fixiert werden. Diese Anschläge sollen sowohl von beiden Seiten als auch von hinten Druck auf den jeweiligen Motor ausüben und auf diese Weise festsetzen.

Mithilfe von M5x15 Schrauben und passenden M5-Inserts, die an der Unterseite eingesetzt werden, werden die Anschläge mit der Grundplatte verschraubt. Langlöcher in der Grundplatte ermöglichen die Arretierung der Anschläge, indem man die Position und die Abstände der Anschläge auf der Grundplatte entsprechend verändert. Auf diese Weise können Motoren mit unterschiedlichen Außenmaßen und Geometrien mithilfe der Anschläge fixiert werden.

¹⁰ Inserts: Gewindeeinsätze aus Messing mit genormtem Innengewinde, die oft in Spritzguss-Teilen Anwendung finden

5.7.2 Konstruktion und Bau des Demonstrators

Nachdem die Planung abgeschlossen war, wurde der Versuchsaufbau mithilfe des CAD-Programms Fusion 360 von Autodesk konstruiert. Der fertige Versuchsaufbau ist in den folgenden Abbildungen dargestellt.

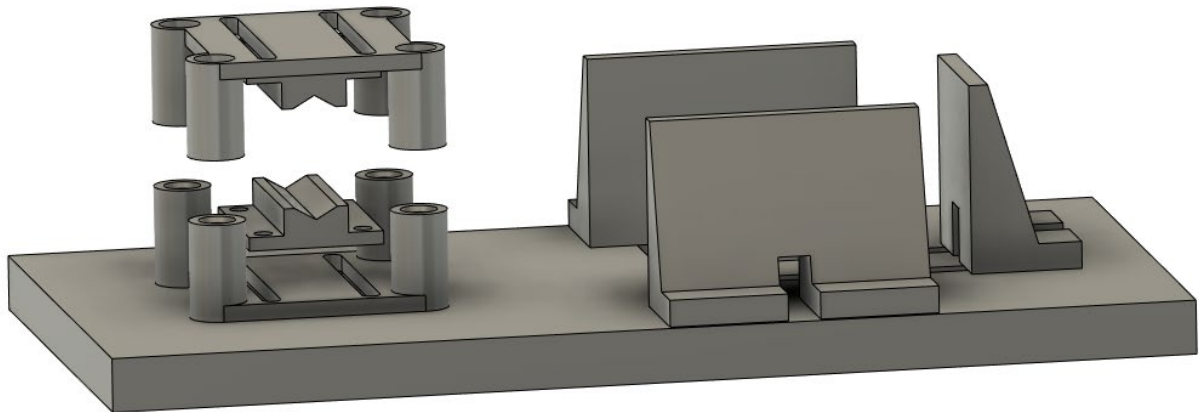


Abbildung 19: Screenshot des CAD-Files des fertigen Versuchsaufbaus ohne Komponenten

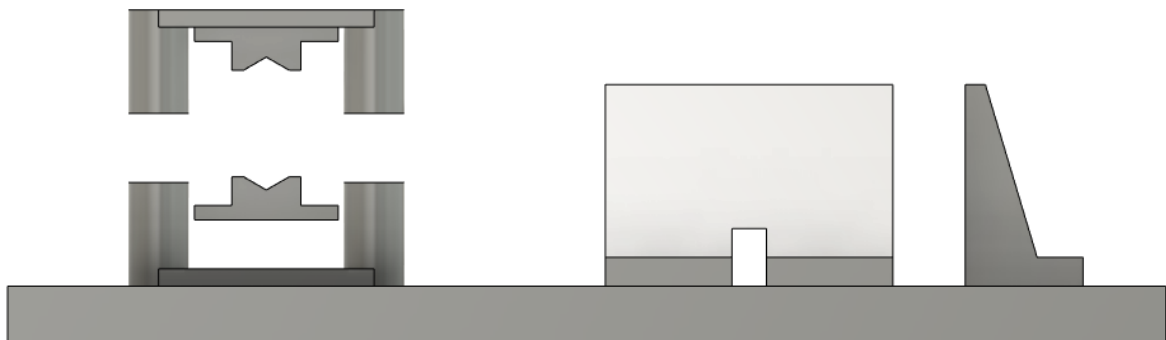


Abbildung 20: Screenshot des CAD-Files des fertigen Versuchsaufbaus ohne Komponenten in der Seitenansicht

Der fertige Aufbau besteht insgesamt aus acht verschiedenen Teilen. Das ist zum einen die Grundplatte sowie die Ventilhalterungen. Im Laufe der Konstruktion wurde beschlossen, die Ventilhalterungen in zwei Klammern und zwei dazugehörige Halter zu unterteilen. Auf diese Weise können Kugel- und Drosselventil mit dem gleichen Versuchsaufbau getestet werden, indem nur die speziellen Halter für die Geometrie des jeweiligen Ventils, jedoch nicht die Klammern selbst ausgetauscht werden müssen. Die beiden Halterungen werden mit den Klammern mithilfe von M4x10 Schrauben und dazu passenden Muttern verschraubt.

Da die Schäfte der zu testenden Motoren unterschiedliche Abstände zur Grundplatte aufweisen, muss die vertikale Position des zu testenden Ventils und der zugehörigen Halter zwischen den Klammern auf die jeweilige Schafthöhe angepasst werden können. Die Schäfte der Servomotoren weisen mit 17,5 mm den geringsten vertikalen Abstand zur Grundplatte auf, wohingegen der Schaft des bestellten NEMA 23-Schrittmotors mit 28 mm den größten vertikalen Abstand besitzt. Die vertikale Position der

Drehachse zwischen Ventil und Motor muss also zwischen 15 und 30 mm variiert werden können, um alle bestellten Motoren mit dem Versuchsaufbau testen zu können. Dies kann mit Beilagscheiben oder anderen Abstandhaltern realisiert werden.

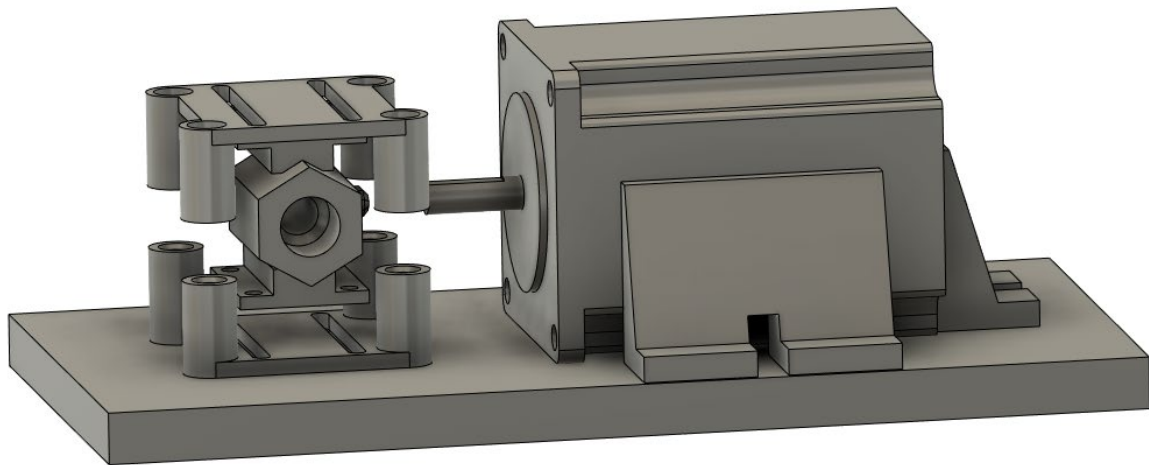


Abbildung 21: Screenshot des CAD-Files des fertigen Versuchsaufbaus mit Komponenten

Die obere Abbildung zeigt den Versuchsaufbau mit eingespanntem Kugelventil und NEMA 23-Schrittmotor. Die Teile des Versuchsaufbaus wurden mithilfe eines FDM-3D-Druckers aus PLA gefertigt. Auf der Unterseite der Grundplatte wurden Aussparungen angebracht, um Material zu sparen. Die Inserts aus Messing wurden mithilfe eines LötKolbens auf 200 °C erhitzt und in die jeweiligen Teile eingeschmolzen.

5.7.3 Testen des Servomotors

Nachdem der Versuchsaufbau einsatzbereit war, konnte mit dem Testen der Komponenten begonnen werden. In der folgenden Abbildung ist der Aufbau mit eingespanntem Servomotor und Kugelventil zu sehen. Die beiden Komponenten sind mit dem per 3D-Druck gefertigten Adapter aus PLA sowie dem mitgelieferten Aufsatz des Servomotors verbunden.

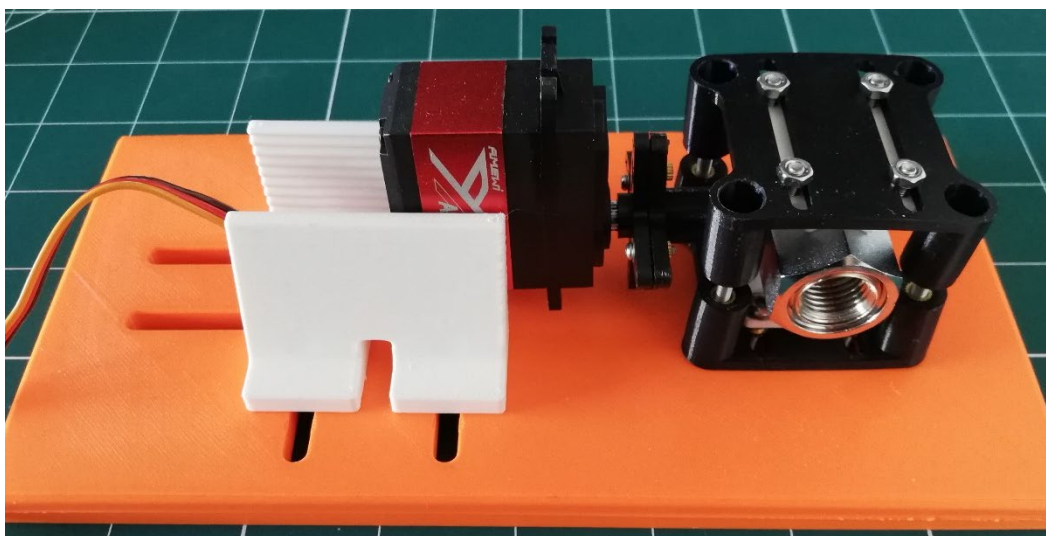


Abbildung 22: Foto des Versuchsaufbaus mit Servomotor und Kugelventil

Mit diesem Test sollte evaluiert werden, ob der Servomotor genug Drehmoment zur Betätigung des Kugelhahns aufbringen kann und wie genau das Kugelventil justiert werden kann. Dafür wurde ein Raspberry Pico auf einem Steckbrett angebracht, der als Microcontroller fungiert.

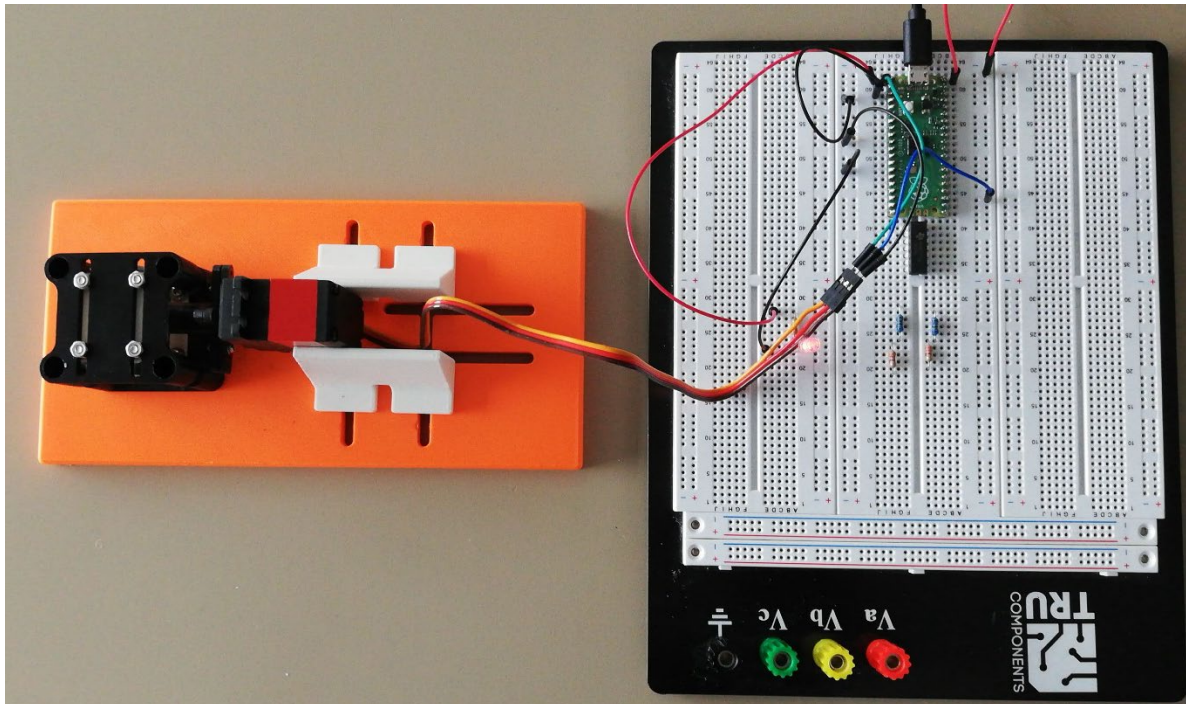


Abbildung 23: Foto des Versuchsaufbaus und angeschlossenem Steckbrett mit Microcontroller

Mit folgendem Programmcode wurde der Servomotor dann betätigt. Bevor mit den Tests begonnen werden konnte, musste erst der Null- und Endpunkt bestimmt werden. Der Nullpunkt liegt in diesem Fall bei 0° und der Endpunkt bei 90° , um die maximal erforderliche Drehung und damit die vollständige Öffnung und Schließung des Kugelhahns zu gewährleisten.

Für die Bestimmung des Nullpunkts wurde ein Arm des mitgelieferten Aufsatzes des Servomotors markiert und vertikal ausgerichtet. Der vorliegende Wert wurde als Nullpunkt notiert. Anschließend konnte sich mithilfe mehrerer Testläufe dem Wert für eine Drehung von 90° ausgehend vom Nullpunkt angenähert werden. Auf diese Weise wurde bestimmt, dass der Nullpunkt des Servomotors bei einem Wert von 7700 und der Endpunkt bei 4600 liegt. Diese Werte wurden im Folgenden dann in den Programmcode übernommen.


```
[ servo.py ] ×
1 from machine import Pin
2 from machine import PWM
3
4 def winkel(servo, wert):
5     null = 7700 # hier den Nullpunkt eintragen
6     ende = 4600 # hier den 90° Punkt eintragen
7     range = null - ende
8
9     if wert > 90:
10        wert = 90
11
12    if wert == 0:
13        servo.duty_u16(null)
14
15    if wert > 0:
16        servo.duty_u16(int(null-wert*range/90))
17
18 servo = PWM(Pin(0))
19 servo.freq(50)
20
21 # manuell einstellen
22 # servo.duty_u16(7800)
23 # mit einem Wert zwischen 8200 und 2200
24 # wahrscheinlich um 7700 für den Nullpunkt
```

Abbildung 24: Screenshot des Programmcodes zum Testen des Servomotors

Nachdem der Start- und Endpunkt der Drehung bestimmt waren, konnte evaluiert werden, ob der Servomotor das Kugelventil je nach Bedarf öffnen und wieder vollständig schließen kann.

Nach den Tests konnte geschlussfolgert werden, dass der Servomotor grundsätzlich für die Betätigung des Kugelventils geeignet ist und per PWM-Signal vergleichsweise einfach angesteuert werden kann. Auch der 3D-Druck-Adapter für das Kugelventil konnte dem entstehenden Drehmoment während des Betriebes widerstehen, obwohl für den Adapter nur ein vorläufiger Prototyp aus PLA verwendet wurde. Sollten weitere Tests zeigen, dass der Servomotor im Vergleich am besten für die Betätigung des Ventils geeignet ist, muss noch eine günstigere Alternative für die Anbindung des Servomotors an das Ventil gefunden werden. Eine weitere Möglichkeit wäre es, die Wellenkupplung mit dem Servomotor zu verbinden.

Die Wellenkupplung aus Aluminium konnte jedoch bis zum jetzigen Stand des Projektes noch nicht in Kombination mit dem Servomotor getestet werden, da das Stecksystem des Servomotors zu kurz ist, um von der Madenschraube in der Wellenkupplung fixiert zu werden. Das Stecksystem des Motors ist ein metallenes Zahnrad mit 26 Zähnen, das eine Länge von 4 mm und einen Durchmesser von 5 mm besitzt. Um dieses Stecksystem mit der Wellenkupplung zu verbinden wäre noch ein separater Adapter notwendig, der zur Verlängerung auf das Stecksystem gesteckt wird und so genügend Kontaktfläche für die Madenschraube bietet. Eine Möglichkeit wäre, einen solchen Adapter per 3D-Druck herzustellen. Da die Zähne des Stecksystems mit einer Höhe von 0,25 mm jedoch sehr klein sind, wird die Auflösung eines gewöhnlichen FDM-3D-Druckers nicht ausreichend sein, um diesen Adapter zu fertigen.

Die mitgelieferten Aufsätze des Servomotors bestehen aus glasfaserverstärktem Kunststoff und sind wahrscheinlich per Spritzguss gefertigt. Diese Aufsätze besitzen bereits eine geeignete Aufnahme für das Stecksystem des Servomotors, deren Form lässt sich jedoch nicht mit der Wellenkupplung kombinieren. Sie sind daher ohne Anpassung ebenfalls nicht dafür geeignet, die Wellenkupplung mit dem Servomotor zu verbinden.

Soll die Wellenkupplung definitiv als Verbindungsteil verwendet werden, bietet sich als letzte Alternative an, nach einem anderen Servomotor in der gleichen Preisklasse mit ähnlichen technischen Eigenschaften zu suchen, der einen längeren Schaft oder ein anderes Stecksystem aufweist und sich damit besser mit der Wellenkupplung verbinden lässt.

5.7.4 Testen des Schrittmotors

Um eine Aussage über die Eignung der bestellten Schrittmotoren treffen zu können, ist es nötig, auch die Schrittmotoren im Betrieb zu testen. Das ist dahingehend erforderlich, da vor allem die NEMA 17-Schrittmotoren über ein maximales Haltemoment von 40 bis 50 Nm verfügen, sodass je nach verwendetem Kugelventil nicht sicher gesagt werden kann, ob die Kraft des Motors zur Betätigung ausreicht, oder ob noch ein zusätzliches Getriebe zur Übersetzung erforderlich ist.

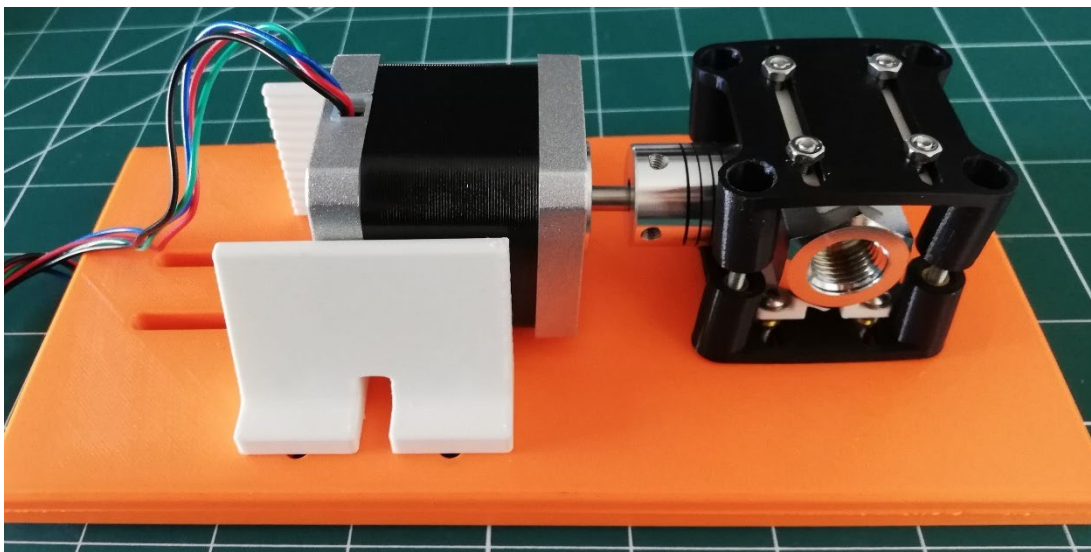


Abbildung 25: Foto des Versuchsaufbaus mit Schrittmotor und Kugelventil

Für das Testen ist es geplant, den erforderlichen Motortreiber für die bestellten Schrittmotoren behelfsmäßig selbst zu bauen. Da die benötigte Betriebsspannung des Schrittmotors jene Spannung übersteigt, die ein per USB-Schnittstelle angeschlossener Microcontroller liefern kann, werden zusätzliche Motortreiber mit Leistungsstufen für höhere Spannungen benötigt. Folgende zwei Möglichkeiten wurden auf fachspezifischen Websites zum Eigenbau eines Schrittmotor-Treibers in Kombination mit einem Raspberry Pi Pico erläutert.

Eine Möglichkeit ist es, auf dem Steckbrett eine Leistungsstufe wie das Darlington Array ULN2003A als SMD-Bauteil (Surface Mounted Device) anzubringen und den Schrittmotor dann über einen Raspberry Pi Pico zu betreiben. Eine solche Schaltung mit Darlington Array ist laut Online-Tutorials für unipolare Schrittmotoren mit sechs Leitungen geeignet. [17]

Des Weiteren sind auch fertige ULN2003 Treibermodule als Zukaufteil verfügbar, die für die Versuche verwendet werden können. Diese fertigen Treibermodule sind sowohl ohne als auch mit separatem Schrittmotor verfügbar und kosten je nach Ausführung zwischen 2 und 10 €. [18]

Eine andere Möglichkeit ist es, für die Treiber eine Schaltung mit L298N oder L293D-Bauelementen zu verwenden, die für bipolare Schrittmotoren mit vier Leitungen geeignet ist. Bei dem L298N handelt es sich um einen zweifachen Vollbrückentreiber für hohe Spannungen und hohe Ströme, der zur Ansteuerung induktiver Lasten wie Relais, Magnete, DC-Motoren oder Schrittmotoren dient. [19]

Die für dieses Projekt bestellten Schrittmotoren besitzen alle vier Leitungen, sind damit bipolar und sollten von daher mit diesen Treibern betrieben werden können. Im Labor liegen bereits einige Yoi It SBC-MotorDriver2 und einige L293D Bauelemente, die für die Versuche der Schrittmotoren verwendet werden.

Ein Treiber mit dem L298N war bereits in Betrieb, jedoch konnten bislang nur weniger als 200 Schritte je Umdrehung erreicht werden. Des Weiteren wies der getestete Schrittmotor nur eine einseitige Drehrichtung auf und heizte sich schnell auf. Bis zum jetzigen Stand am 05.03.2022 war es nicht möglich, die Schrittmotoren in gewünschtem Maße betreiben zu können.

Im weiteren Verlauf der Entwicklung muss eine Lösung für die oben genannten Probleme gefunden werden. Dafür wird ein detaillierter Schaltplan und ein geeigneter Treiber benötigt, um die vorliegenden Schrittmotoren als Aktuator im System des zu entwickelnden Dosierventils verwenden zu können.

5.7.5 Testen des Drosselventils

Neben dem Schrittmotor muss im weiteren Verlauf der Entwicklung auch das Drosselventil auf seine Eignung getestet werden. Das soll ebenfalls mit dem für die Motoren verwendeten Versuchsaufbau geschehen.

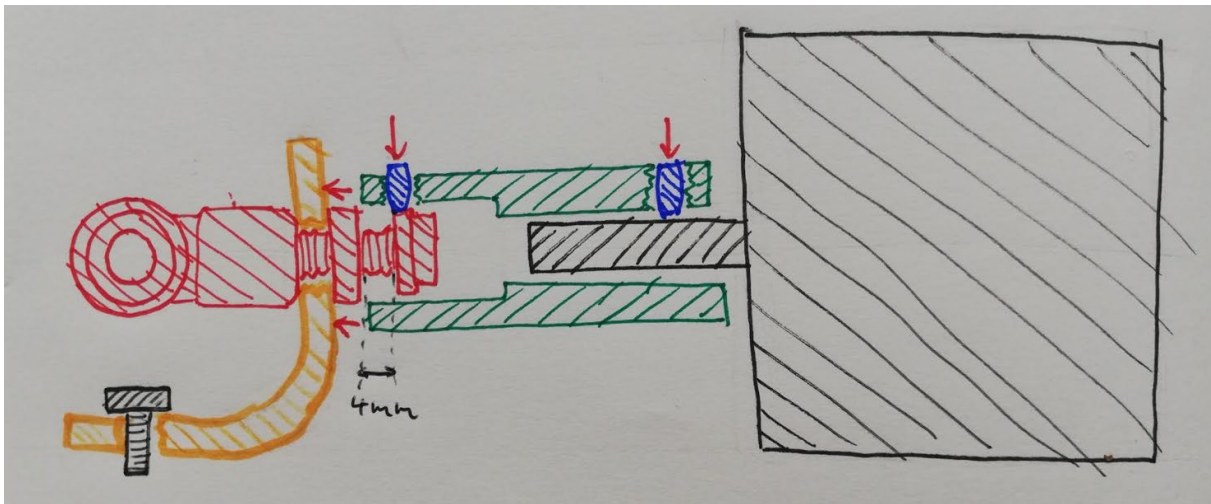


Abbildung 26: Skizze des Winkels zum Testen des Drosselventils

Im Gegensatz zum Kugelventil wird das Drosselventil mithilfe eines Winkels auf der Grundplatte fixiert, der eine für das Drosselventil passende Aussparung an der Oberkante besitzt. Das Drosselventil wird mit dem Winkel mithilfe der mitgelieferten M10-Mutter verschraubt und damit das Ventil mit dem Winkel verklemt. Der Winkel soll für die Versuche mit dem Drosselventil wie die anderen Teile des Versuchsaufbaus per 3D-Druck aus PLA hergestellt werden.

Die Verbindung zwischen Ventil und Motor erfolgt über die zugekaufte Wellenkupplung. Die integrierten Madenschrauben der Kupplung so weit in das Aluminium-Drehteil eingeschraubt, sodass sie sowohl auf den Aufsatz des Ventils als auch den Motorschaft drücken und auf diese Weise verklemmen. Der Aufsatz des Ventils besitzt einen Durchmesser von 9 mm und passt somit in die Wellenkupplung, sofern diese mit einer einseitigen Bohrung von 10 mm bestellt wird.

Wichtig bei der Konstruktion des Winkels ist, dass zwischen dem Ende der Wellenkupplung und dem Winkel ein Spiel von mehr als 4 mm zu lassen, sodass sich das Ventil vollständig schließen lässt und die Konstruktion bei geschlossenem Ventil nicht auf den Winkel drückt.

6 Zusammenfassung

Generell kann festgehalten werden, dass es mit den recherchierten Komponenten möglich ist, ein eigenes Dosierventil für den Einsatz in den Siebträger- Espressomaschinen zu konzipieren und anstatt des Dosierventils von AVS Römer zu verwenden. Je nach Konzept und verwendeten Komponenten ist es jedoch fraglich, ob die Anforderung von einem maximalen Produktionspreis von 30,00 € eingehalten werden kann.

Die Schrittmotoren sind mit ihren niedrigen Listenpreisen vielversprechend, konnten bis zum jetzigen Stand jedoch noch nicht getestet werden, da die Ansteuerung kompliziert ist und die zusätzlich benötigten Treiber noch nicht ordnungsgemäß funktionieren. Es muss evaluiert werden, wie die Ansteuerung des Schrittmotors realisiert werden kann und welche Mehrkosten die Komponenten für die notwendige Elektronik verursachen.

Bei den ersten Tests konnte bewiesen werden, dass sich der bestellte Servomotor grundsätzlich zur Betätigung eines Kugelventils eignet. Dessen Listenpreis ist zwar deutlich höher im Vergleich zu den Preisen der ausgesuchten Schrittmotoren, jedoch relativ einfach anzusteuern und die erforderlichen Motortreiber können leicht selbst gefertigt werden. Für die Verbindung zwischen Ventil und Servomotor muss jedoch noch eine Alternative gefunden werden, da das standardmäßige Stecksystem sowie die mitgelieferten Aufsätze hierfür nur bedingt geeignet sind. Sofern die Wellenkupplung als Verbindungselement verwendet werden soll, bedarf es noch einem zusätzlichen Teil, um das Stecksystem mit der Wellenkupplung verbinden zu können.

Das Drosselventil von AVS Römer liegt mit dem regulären Listenpreis deutlich oberhalb der zulässigen Preisklasse, kann jedoch mit dem Rabatt von 53% eine gute Alternative zu dem ausgewählten Kugelventil darstellen. Bei dem Kugelventil erhöhen die notwendigen ELSA-Schraubverbindungen den Preis, sodass beide Varianten mit dem gewährten Rabatt nahezu das gleiche kosten. Entscheidende Faktoren zur Definition des Ventils sind vor allem, ob der jeweilige Mechanismus zur Veränderung der Durchflussmenge genau genug arbeitet und bei welchem Ventil sich die Betätigung durch den Schritt- oder Servomotor einfacher gestaltet.

7 Ausblick

Im Laufe der weiteren Entwicklung des Systems müssen zum jetzigen Stand noch die Komponenten wie Schrittmotor und Drosselventil auf ihre Eignung getestet werden. Für diese Versuche muss eine Lösung für die Probleme mit den Treibern für die Schrittmotoren gefunden werden. Sollten sich die ausgesuchten Schrittmotoren nach den Versuchen als am besten geeignet herausstellen und im finalen Konzept verwendet werden, so muss abgewogen werden, ob die Elektronik wie Treiber für die Motoren in Eigenfertigung hergestellt oder als Zukaufteil bezogen werden soll und welche Mehrkosten das nach sich zieht. Hier ist wieder die Wirtschaftlichkeit und das Kosten-Nutzen-Verhältnis zu beachten.

Nachdem das finale Systemaufbau und die zu verwendenden Komponenten definiert sind, muss der Betrieb des Systems auch in realitätsnahen Bedingungen getestet werden. So sollte ein zweiter Prototyp des ausgewählten Konzepts gebaut werden, der in eine der Maschinen eingesetzt und an die Wasser- und Dampfleitung angeschlossen wird. Auf diese Weise kann sichergestellt werden, dass das ausgewählte Ventil dem Betriebsdruck standhält und das Mischverhältnis zwischen Kalt- und Heißwasser wie gewünscht variieren kann.


Sofern der zweite Prototyp des Systems zufriedenstellende Ergebnisse liefert und alle Komponenten ihren vorgesehenen Zweck erfüllen, kann mit der Implementierung des Systems in beide Maschinen begonnen werden.

Dafür muss das System mit zugehöriger Elektronik in beiden Maschinen befestigt werden, was einen weiteren Konstruktionsaufwand darstellt. Hierbei ist zu beachten, dass die Befestigungen des Systems den entstehenden Kräften im Betrieb sowie den Umgebungsbedingungen widerstehen. Außerdem muss beachtet werden, dass das System sowie die Komponenten im Inneren der Maschinen einfach zugänglich sind und gegebenenfalls ohne größeren Aufwand ausgewechselt werden können.

Ist das System in beiden Maschinen integriert und serientauglich, muss in einer finalen Testrunde bestimmt werden, ob der Betrieb des Systems auch den Ansprüchen des Nutzers genügt. So darf das System im Betrieb nicht zu laut sein, da es durch den Nutzer sonst als unangenehm erfahren werden kann. Sollte der ausgewählte Motor durch hochfrequenten Drehen im Betrieb zu laut sein, kann ein Gummipuffer um den Motor angebracht werden, um die Betriebslautstärke bei höheren Drehzahlen zu dämpfen. Zusätzlich muss das System auch auf Verschleiß oder eventuelle Fehleranfälligkeiten getestet werden, um zu gewährleisten, dass das System auch nach längerer Nutzungszeit in realitätsnahen Bedingungen eine ausreichende Lebensdauer aufweist und voll funktionsfähig bleibt. Diese finale Testrunde kann dann mit einem seriennahen Prototyp der 1,8 Liter-Maschine für TURNUS oder der Borosilikat-Glasboilermaschine durchgeführt werden.

8 Literaturverzeichnis



- [1] *Anforderungsliste Borosilikat-Glasboilermaschine*, Armin Rohnen, Felix Kistler, 2021
- [2] *kaffeewiki.de*: Zweikreismaschinen, <https://www.kaffeewiki.de/wiki/Zweikreismaschinen> [Zugriff am: 05.03.2022].
- [3] *Konzeptbeschreibung Kaffee-Maschine TURNUS: 20210301_Konzept_Kaffee_Maschine*, Armin Rohnen, Andreas Goclik, 2021
- [4] *Produktkatalog AVS Römer*, Version 2021.01, Seite 253: Dosierventil Typ EFC 11 PPSU
- [5] *wikipedia.org*: Perfluoralkoxy-Polymere, <https://de.wikipedia.org/wiki/Perfluoralkoxy-Polymere>, [Zugriff am: 05.03.2022]
- [6] *wikipedia.org*: Polysulfone, <https://de.wikipedia.org/wiki/Polysulfone>, [Zugriff am: 05.03.2022]
- [7] *wikipedia.org*: Wägezelle, <https://de.wikipedia.org/wiki/W%C3%A4gezelle>, [Zugriff am: 05.03.2022]
- [8] *3ddrucker.de*: FDM Technologie, <https://3ddrucker.de/3d-drucktechnologien/fdm-technologie/#:~:text=Die%20FDM%20Technologie%20wurde%20vor,von%20formstabilen%20und%20robusten%20Thermoplasten> [Zugriff am: 05.03.2022]
- [9] *wikipedia.org*: Polylactide, <https://de.wikipedia.org/wiki/Polylactide> [Zugriff am: 05.03.2022]
- [10] *Produktkatalog AVS Römer*, Version 2021.01, Seite 120: Drosselventil mit ELSA-Steckanschluss
- [11] *christians-shop.de*: Wellenkupplung 2,5 Nm, https://www.christians-shop.de/Wellenkupplung-20mm-25NM-8mm-7mm?gclid=Cj0KCQiAmpyRBhC-ARIsABs2EArOevsxOQgULpNa9z7UycBShfNSkgFAfC3HkTOPP8ggM1CeBCRO3L0aAsJuEALw_wcB, [Zugriff am: 05.03.2022] 
- [12] *Produktkatalog AVS Römer*, Version 2021.01, Seite 36: ELSA-Verschraubungen PPSU
- [13] *protiq.com*: Multi Jet Fusion, <https://www.protiq.com/3d-druck/verfahren/multi-jet-fusion/> [Zugriff am: 05.03.2022]
- [14] *polytron-gmbh.de*: Polyamid 12, <https://www.polytron-gmbh.de/polyamid-12.aspx> [Zugriff am: 05.03.2022]
- [15] *hubs.com*: Angebotsanfrage MJF-Druck, <https://www.hubs.com/manufacture/?technology=3d-printing&process=mjf> [Zugriff am: 05.03.2022]
- [16] *wikipedia.org*: STL-Schnittstelle, <https://de.wikipedia.org/wiki/STL-Schnittstelle>, [Zugriff am: 05.03.2022]
- [17] *tutorials-raspberrypi.de*: Raspberry Pi Schrittmotor ansteuern mit L293D / ULN2003A, <https://tutorials-raspberrypi.de/raspberry-pi-schrittmotor-steuerung-l293d-uln2003a/> [Zugriff am: 05.03.2022]
- [18] *conrad.de*: Joy-IT Motorsteuerung inkl. 5Volt Schrittmotor, https://www.conrad.de/de/p/joy-it-sbc-moto1-raspberry-pi-erweiterungs-platine-passend-fuer-einplatinen-computer-raspberry-pi-raspberry-pi-2-b-1503742.html?hk=SEM&WT.srch=1&WT.mc_id=google_pla&s_kwid=AL%21222%213%21549014662526%21%21%21u%21%21&ef_id=CjwKCAiA1JGRBhBSEiwAxXblwYcLGBftu34AnHmDt2NAX2Q-

ouYcQnjuWelo9wvWWdvekELjydJwzxoCfegQAvD_BwE%3AG%3As&gclid=CjwKCAiA1JGRBh
BSEiwAxXblwYcLGBftu34AnHmDt2NAX2Q-
ouYcQnjuWelo9wvWWdvekELjydJwzxoCfegQAvD_BwE, [Zugriff am: 05.03.2022]

[19] *de.farnell.com*: L298N, https://de.farnell.com/stmicroelectronics/l298n/bridge-driver-dual-298/dp/403295?gclid=CjwKCAiA1JGRBhBSEiwAxXblwfpdyvLAo3JQNKeO3yT4aURyn2pjev1StiBOx0gC3cXcVEstY3D5XxoC7d0QAvD_BwE&mckv=s20CsrHCC_dc|pcrid|584172549536|keyword|L298n|m, [Zugriff am: 05.03.2022]

9 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: CAD-File der 1,8 Liter-Espressomaschine von TURNUS mit eingezeichneter Lage des Dosierventils

Abbildung 2: Abstraktes Layout des zu entwickelnden Systems

Abbildung 3: Skizze des geplanten Versuchsaufbaus zur Messung der Betätigungsmomente

Abbildung 4: Screenshot des CAD-Files vom Versuchsaufbau zum Messen der Betätigungsmomente

Abbildung 5: Realer Versuchsaufbau zum Messen der Betätigungsmomente

Abbildung 6: Grafikdiagramme der Drehmomentmessungen zur Betätigung der Kugelventile

Abbildung 7: Übersicht der technischen Eigenschaften des Drosselventils des Zulieferers AVS Römer in verschiedenen Ausführungen

Abbildung 8: Übersicht der technischen Eigenschaften der geraden ELSA-Verschraubung des Zulieferers AVS Römer in verschiedenen Ausführungen

Abbildung 9: Übersicht der technischen Eigenschaften der gewinkelten ELSA-Verschraubung des Zulieferers AVS Römer in verschiedenen Ausführungen

Abbildung 10: Skizze des 3D-Druck-Adapters zur Verbindung von Kugelventil und Stellmotor

Abbildung 11: CAD-File des 3D-Druck-Adapters zur Verbindung von Kugelventil und Schrittmotor

Abbildung 12: CAD-File des 3D-Druck-Adapters zur Verbindung von Kugelventil und Servomotor

Abbildung 13: Skizze des Messing-Adapters mit Madenschrauben zur Verbindung von Kugelventil und Stellmotor

Abbildung 14: Kostenschätzung des 3D-Druck-Adapters zur Verbindung von Kugelventil und Schrittmotor durch den Fertiger hubs.com

Abbildung 15: Kostenschätzung des 3D-Druck-Adapters zur Verbindung von Kugelventil und Servomotor durch den Fertiger hubs.com

Abbildung 16: Kostenübersicht der verschiedenen Konzepte

Abbildung 17: Skizze des Befestigungsmechanismus für das Kugelventil

Abbildung 18: Skizze des Befestigungsmechanismus für den Motor

Abbildung 19: Screenshot des CAD-Files des fertigen Versuchsaufbaus ohne Komponenten

Abbildung 20: Screenshot des CAD-Files des fertigen Versuchsaufbaus ohne Komponenten in der Seitenansicht

Abbildung 21: Screenshot des CAD-Files des fertigen Versuchsaufbaus mit Komponenten

Abbildung 22: Foto des Versuchsaufbaus mit Servomotor und Kugelventil

Abbildung 23: Foto des Versuchsaufbaus und angeschlossenen Steckbrett mit Microcontroller

Abbildung 24: Screenshot mit dem Programmcode zum Testen des Servomotors

Abbildung 25: Foto des Versuchsaufbaus mit Schrittmotor und Kugelventil

Abbildung 26: Skizze des Winkels zum Testen des Drosselventils

Tabelle 1: Anforderungen an das System

Tabelle 2: Übersicht möglicher Kugelventile und deren Betätigungsmomente

Tabelle 3: Auswahl an geeigneten Kugelventilen zu Testzwecken

Tabelle 4: Anforderungen an den Stellmotor

Tabelle 5: Auswahl geeigneter Stellmotoren zu Testzwecken

Tabelle 6: Auswahl der Wellenkupplung zu Testzwecken

Tabelle 7: Übersicht der Komponenten von Konzept 1A

Tabelle 8: Übersicht der Komponenten von Konzept 1B

Tabelle 9: Übersicht der Komponenten von Konzept 2A

Tabelle 10: Übersicht der Komponenten von Konzept 2B


Tabelle 11: Übersicht der Komponenten von Konzept 3A






Tabelle 12: Übersicht der Komponenten von Konzept 3B

Tabelle 13: Kostenvergleich des Kugel- und Drosselventils ohne und mit eingerechnetem Rabatt

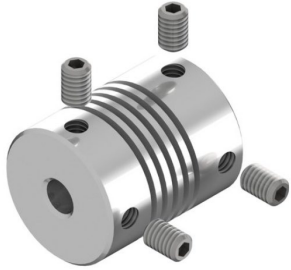
10 Anhang

Liste mit potenziellen Kugelventilen und Lieferanten					
Nr.	Lieferant	Art.Nr.	Maße	Preis (EUR)	Foto
1	LF Ersatzteile	1411005	Ø 3/8“ MM	05,08	
2	LF Ersatzteile	3526705	Ø 1/2“ MF	08,04	
3	LF Ersatzteile	3526172	Ø 1/2“ MF	19,81	
4	LF Ersatzteile	3526704	Ø 3/8“ MF	04,93	
5	LF Ersatzteile	3526697	Ø 1/8“ MF	04,66	
6	LF Ersatzteile	3526699	Ø 1/4“ MF	03,87	
7	RS Components	486-350	Ø 1/2“	07,04	

8	RS Components	486-277	Ø 1/4"	05,13	
---	---------------	---------	--------	-------	---

Nr.	Beschreibung	Lieferant	Art.Nr.	Haltemoment (Ncm)	Preis (EUR)	Foto
1	Stepper motor Nema 17-17HS4417P1	exp-tech.de	EXP-R73-006	40	09,51	
2	Stepper motor Nema 17 - 17HS5425	exp-tech.de	EXP-R73-010	48	11,51	
3	Stepper motor Nema 17 - 17HS5413	exp-tech.de	EXP-R73-009	52	11,51	
4	Stepper motor Nema 17 - 17HS5415P1-X6	exp-tech.de	EXP-R73-012	55	11,31	
5	Amewi Standard-Servo 6221MG	conrad.de	1953723 - 62	150	24,99	

Nr.	Beschreibung	Lieferant	Bohrungsdurchmesser (mm)	Preis (EUR)	Foto
-----	--------------	-----------	--------------------------	-------------	------

1	Wellenkupplung	christians-shop.de	3 – 10	02,55	
---	----------------	--------------------	--------	-------	---