

Inhaltsverzeichnis

I	Abkürzungsverzeichnis	III
II	Abbildungsverzeichnis	III
	Zusammenfassung	1
	Abstract	1
1	Einführung	2
2	Theoretischer Hintergrund	3
2.1	Testsysteme und Automatisierung von Kaffeevollautomaten	3
2.2	Befragung von Testinstituten zur Durchführung von Prüfung an Kaffeevollautomaten	4
3	Methodik	6
3.1	Anforderungen an die Prüfung der Ausgabeleistung	6
3.2	„DOBOT Magician“	9
3.2.1	Bewegungsgelenke und Arbeitsbereich	10
3.2.2	Bedien- und Programmiermöglichkeiten	13
3.2.3	Bewegungsmodi	19
3.3	Kaffeevollautomat „JURA Z6“ (zu testendes Objekt)	21
3.4	Weitere benötigte Materialien	23
3.4.1	Entwurf eines neuen Testaufsatzes für „DOBOT Magician“	24
3.4.2	Temperaturmessfühler mit passender Apparatur	26
3.4.3	Lichtsensoren: Signalübertragung von Kaffeevollautomat an Roboter	27
4	Problemlösung und Ergebnisse	32
4.1	Anforderungen an den Bewegungsablauf	32
4.2	Auswahl des Programmiermodus	33
4.3	Versuchsaufbau	33
4.4	Programmierung der Software „DobotStudio“ mit „Teaching & Playback“	36
4.5	Durchführung	37
4.6	Messergebnisse eines Versuchsdurchlaufs mit „Teaching & Playback“	38
5	Diskussion	39
	Literaturverzeichnis	43
	Eidesstattliche Erklärung	45
	Anhang	46

I Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Erklärung
Abb.	Abbildung
AC	Alternating Current (Wechselstrom)
ADC	Analog-to-Digital Converter (Analog-Digital-Wandler)
API	Application Programming Interface (Schnittstelle zur Anwendungsentwicklung)
DAkkS	Deutsche Akkreditierungsstelle
DIN EN	Deutsches Institut für Normung, Europäische Norm
DO	Digital Out (Digitaler Ausgang)
GND	Ground (Erdung)
I/Os	Inputs/Outputs
KV (nur in Abb.)	Kaffeevollautomat
PC	Personal Computer
PTP	Point to Point (Punkt zu Punkt)
TÜV	Technischer Überwachungsverein
VCC	Voltage at the common collector (Spannung am Kollektor)
VDE	Verband der Elektrotechnik

II Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schematischer Ablauf der Arbeitsschritte zur Prüfung der Ausgabeleistung (eigene Darstellung)	8
Abbildung 2: Gelenke des "DOBOT Magicians" (DOBOT, 2020)	10
Abbildung 3: Arbeitsbereich „DOBOT Magician“ – Seitenansicht (DOBOT, 2020)	11
Abbildung 4: Arbeitsbereich „DOBOT Magician“ – Draufsicht (modifiziert nach (Variobotic GmbH, 2022))	12
Abbildung 5: Rotationsachsen „DOBOT Magician“ (modifiziert nach (DOBOT, 2020)).....	12
Abbildung 6: „Home-Menü“ im „DobotStudio“ (modifizierter Screenshot aus Programm „DobotStudio“)	13
Abbildung 7: Programmieroberfläche "Teaching & Playback" (modifizierter Screenshot aus Programm "DobotStudio")	14
Abbildung 8: Beispielprogrammierung in "Teaching & Playback" im „Pro-Modus“ (modifizierter Screenshot aus Programm "DobotStudio")	16
Abbildung 9: Programmieroberfläche "Blockly" (modifizierter Screenshot aus Programm "DobotStudio")	17
Abbildung 10: Beispielprogrammierung in "Blockly" (modifizierter Screenshot aus Programm "DobotStudio").....	18
Abbildung 11: Bewegungsmodi "MOVJ" und "MOVL" (DOBOT, 2020)	19
Abbildung 12: Bewegungsmodus "JUMP" (DOBOT, 2020)	20
Abbildung 13: Bewegungsmodus „ARC“ (DOBOT, 2020)	20
Abbildung 14: Bedienelemente der „JURA Z6“ (JURA Elektroapparate AG, 2016)	21
Abbildung 15: Bedienelemente der „JURA Z6“ (JURA Elektroapparate AG, 2016)	22
Abbildung 16: "Greifer" mit Anschlüssen (eigene Darstellung)	24
Abbildung 17: Testaufsatz „Becherheber“ (eigene Darstellung)	24
Abbildung 18: Multitool (reicht elektronik GmbH & Co. KG, 2022)	25
Abbildung 19: Befestigungsöffnung für Aufsätze (DOBOT, 2020)	26

Abbildung 20: Apparatur mit Temperaturmessfühler (eigene Darstellung)	26
Abbildung 21: Betriebszustände auf dem Display des Kaffeevollautomaten „JURA Z6“ (eigene Darstellung)	27
Abbildung 22: Abgedunkelter Lichtsensor (eigene Darstellung)	28
Abbildung 23: Lichtsensor vom Hersteller „Berry Base“ (modifiziert nach (Sertronics, 2022))	28
Abbildung 24: Widerstand R und Beleuchtungsstärke E_v von Fotowiderstand „RPY 61“ (Dugge & Eißner, 2002)	29
Abbildung 25: Skizze zur Beleuchtungsstärke und Ausgangsspannung während der Betriebsphasen des Kaffeevollautomaten (eigene Darstellung)	30
Abbildung 26: Schematische Darstellung: Anschluss des Fotosensors an den „DOBOT Magician“ (eigene Darstellung)	31
Abbildung 27: Anschluss des Fotosensors an den „DOBOT Magician“ (Eigene Aufnahme)	31
Abbildung 28: Schematischer Versuchsaufbau – Draufsicht (modifiziert nach (Variobotic GmbH, 2022))	33
Abbildung 29: Schematischer Versuchsaufbau – Seitenansicht (modifiziert nach (DOBOT, 2020)	34
Abbildung 30: Finaler Versuchsaufbau (eigene Aufnahme).....	35
Abbildung 31: Finaler Versuchsaufbau (eigene Aufnahme).....	35
Abbildung 32: Programmierung des Bewegungsablaufes in "DobotStudio" mit "Teaching & Playback" (Screenshot aus "DobotStudio")	36
Abbildung 33: Leistungs- und Temperaturverlauf im Versuchsdurchlauf mit zehn Bechern (eigene Darstellung)	38
Abbildung 34: Gewichtsprotokollierung der zehn Kaffeebecher im Versuchsdurchlauf (eigene Darstellung)	39

Entwicklung einer Prüfapparatur zur Messung der Ausgabeleistung an Kaffeefullautomaten unter Nutzung des programmierbaren Roboterarms Dobot Magician

Zusammenfassung

Ziel dieser Bachelorarbeit ist die Entwicklung und Testung eines automatisierten Verfahrens zur Prüfung der Ausgabeleistung von Kaffeefullautomaten nach der „DIN-Norm 18873-2:2016-02“. Dafür wird unter Zuhilfenahme des Roboterarmes „DOBOT Magician“ und der Software „DobotStudio“ ein Bewegungsablauf programmiert und geprüft. Ein Testdurchlauf erfolgt beispielhaft am Kaffeefullautomaten „JURA Z6“. Aufgrund unterschiedlicher Bauarten und Bedienelemente der Kaffeefullautomaten ist das Ergebnis nicht ohne Einschränkungen auf andere Modelle übertragbar. Es zeigt sich, dass eine Teilautomatisierung des Testablaufes erfolgreich umsetzbar ist. Hinderungsfaktoren zur Vollautomatisierung sind eine fehlende Konstruktion zur Bereitstellung neuer Becher, fehlende Automatisierung der Temperaturmessung und die beschränkten Bewegungsmöglichkeiten des „DOBOT Magician“. Die Ergebnisse dieser Arbeit können besonders für Testinstitute, die Haushaltsgeräte testen, interessant sein.

Abstract

The aim of this bachelor's thesis is the development and testing of an automated procedure for testing the dispensing performance of fully automatic coffee machines according to the "DIN-Norm 18873-2:2016-02". For this purpose, a motion sequence is programmed and tested with the aid of the robot arm "DOBOT Magician" and the software "DobotStudio". A test run is carried out using the fully automatic coffee machine "JURA Z6" as an example. Due to the different designs and operating elements of fully automatic coffee machines, the results cannot be transferred to other models without restrictions. It is shown that partial automation of the test procedure can be successfully implemented. Obstacles to full automation are the manual provision of new cups, a lack of automation of the temperature measurement and the limited movement possibilities of the "DOBOT Magician". The results of this work may be particularly interesting for test institutes testing household appliances.

1 Einführung

Kaffeevollautomaten erfreuen sich immer größerer Beliebtheit sowohl im Eigenheim (Statista, 2022) als auch im gewerblichen Gebrauch. Energieeffizienz ist neben anderen Kriterien wie z.B. einem ausführlichen Verkaufsgespräch ein entscheidendes Kriterium für die Kaufentscheidung (Bush Energie GmbH, 2021, S. 16). Um die Energieeffizienz verschiedener Kaffeevollautomaten zu vergleichen, wurden Normen entwickelt, die Kriterien für eine einheitliche Testung vorgeben. Die „DIN-Norm 18873-2:2016-02“ mit dem Titel „Methoden zur Bestimmung des Energieverbrauchs von Großküchengeräten – Teil 2: Gewerbliche Heißgetränkereiter“ kann als Grundlage zur Testung von gewerblichen Heißgetränkereitern verwendet werden, da sie durch die Festlegung von einheitlichen Teststandards einen Vergleich verschiedener Geräte ermöglicht.

Leistungsmessungen an Kaffeevollautomaten erfordern verschiedene manuelle Arbeitsprozesse. Insbesondere für Messungen über einen längeren Zeitraum sind meist viele sich wiederholende Handgriffe notwendig. Diese müssen nach einem vorgegebenen Plan über einen bestimmten Zeitraum durchgeführt werden. Da es sich zum Teil um monotone Tätigkeiten handelt, kann es leicht zu Bedienfehlern kommen.

In dieser Arbeit soll getestet werden, ob ein automatisches, flexibles und wiederverwendbares Testsystem geschaffen werden kann, um solche Leistungsmessungen durchzuführen. Umgesetzt werden soll dies mit dem an der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg (HAW Hamburg) bereits vorhandenen Roboterarm „DOBOT Magician“, der eine flexible Anpassbarkeit an die Aufgabe verspricht. Nicht nur für die HAW Hamburg, sondern auch für akkreditierte Testinstitute können die Ergebnisse dieser Arbeit für die Optimierung von Testprozessen interessant sein.

Um die Aufgabe der Leistungsmessung spezifischer zu fassen, wurde diese auf die Testung der Ausgabeleistung bzw. Stundenleistung nach der „DIN 18873-2:2016-02“ eingegrenzt.

Im theoretischen Hintergrund soll zunächst aufgeführt werden, welche Ideen zur Automatisierung von Kaffeevollautomaten existieren und welche Testsysteme es bereits gibt. Die Befragung von Testinstituten im Rahmen eines Experteninterviews gibt Aufschluss darüber, wie eine Einbindung von automatisierten Prozessen in der Prüfung von Kaffeevollautomaten erfolgen könnte, bzw. welche Kriterien für die Nutzung sprechen würden. Dies wird ebenfalls in diesem Kapitel genauer erläutert. Das Interesse für die Automatisierung ist gegeben.

Im Kapitel „Methodik“ werden zunächst die Anforderungen an die Prüfung der Ausgabeleistung aufgeführt und die wichtigsten Funktionen des Roboters „DOBOT Magician“ herausgestellt. Das Testobjekt „JURA Z6“ wird mit den wichtigsten Bauteilen und Funktionen vorgestellt. Materialien, die zusätzlich benötigt werden, um den Versuch der Ausgabeleistung mit dem „DOBOT Magician“ durchzuführen, finden hier ebenfalls Erwähnung.

In Kapitel 4 erfolgt die Darstellung der Problemlösung und der Ergebnisse. Wichtige Punkte sind hierbei die Anforderungen an den Bewegungsablauf, die Auswahl des Programmiermodus, der letztendliche Versuchsaufbau und die Programmierung der Software. Die resultierenden Messergebnisse werden an dieser Stelle aufgezeigt.

In der Diskussion werden abschließend die Ergebnisse erörtert. Unter anderem soll die Frage geklärt werden, inwiefern eine Anpassung an andere Kaffeefullautomaten möglich ist. Auch soll hier aufgezeigt werden, wie der Versuchsaufbau noch durch weitere Elemente optimiert werden könnte. Die zuvor definierten Anforderungen an die Implementierung automatischer Testsysteme von Kaffeefullautomaten durch Prüfinstitute werden ebenfalls aufgegriffen.

2 Theoretischer Hintergrund

2.1 Testsysteme und Automatisierung von Kaffeefullautomaten

Es gibt im Internet zahlreiche Videos, die die automatische Kaffeeherstellung zeigen (Einige Beispiele sind im Anhang C aufgeführt). Darunter finden sich auch Aufnahmen, die den "DOBOT Magician" bei der Bedienung eines Kaffeefullautomaten oder einer Kapselmaschine zeigen. Es sind auch noch deutlich beweglichere Roboter zu sehen, die einen Kaffee mit Milchschaum und Muster zubereiten. Die Vielzahl derartiger Videos und deren Beliebtheit lassen auf ein hohes Interesse an Automatisierung innerhalb der "Baristaszene" schließen.

Des Weiteren ist eine Studie aus Indonesien aufzuführen. Deren Ziel war die Steuerung einer Kaffeemaschine mithilfe eines Roboterarms. Hierbei wurde ein Roboter auf „Arduino“-Basis verwendet. Der letztendliche Versuchsaufbau zum Brühen einer Tasse Kaffee mit zuvor festgelegter Menge konnte erfolgreich durchgeführt werden. Das integrierte Testsystem konnte auch die Qualität des Prozesses bestimmen, da unter anderem die Wassertemperatur und die Wassermenge im Wasserbereiter geprüft wurde. Letztendlich wurde jedoch kein bestehender Kaffeefullautomat mit einem Roboterarm bedient, sondern

eine Kaffeemaschine als Element des Versuchsaufbaus entwickelt (Waluyo, Tafrikhatin, & Heri, 2020).

Ein weiterer Versuch, der sich die Automatisierung einer Kaffeemaschine zur Aufgabe gemacht hat, ist eine Arbeit von Tim Holzki. Dieser hat die Bedienung einer Kaffeemaschine mithilfe der „LEGO-Mindstorms“-Bausätze als Hardware und „MATLAB“ als Programmierungsumgebung automatisiert. Der Füllstand des Bohnenbehälters und des Wasserbehälters wurde dabei mittels Sensoren überprüft. Das Bedienfeld der Kaffeemaschine wurde mit sich drehenden Hebeln bedient. Jedoch wurde festgestellt, dass die Präzision, mit der die Tasten getroffen werden, noch keine hohe Wiederholungsgenauigkeit aufweist. Letztendlich konnte mit der Konstruktion Kaffee gebrüht werden. Allerdings wurde keine Konstruktion entwickelt, um den Kaffee auch z.B. in einem Becher zu transportieren (Holzki, 2022).

Es existieren bereits fertige Prüfstände für Kaffeevollautomaten wie z.B. von „SPS electronics“ (SPS electronic GmbH, 2022) oder „erfi“ (erfi Ernst Fischer GmbH & Co KG, 2022). Jedoch geht es hierbei nicht um den Bezug von Kaffee wie bei der Ausgabeleistung nach „DIN-Norm 18873-2:2016-02“, sondern um die technische Sicherheitsprüfung. Hier werden unter anderem Dichtigkeitsprüfungen, Schutzleiterprüfungen etc. durchgeführt.

Das „Universalprüffeld Mini“ der Firma „Weinmann“ wurde im Rahmen einer Bachelorarbeit von Denis Mrsic an der HAW Hamburg erfolgreich für Teilprüfungen der „DIN-Norm 18873-2:2016-02“ verwendet. Zum einen wurde ein Schaltplan für eine Dauerprüfung mit dem Bezug unterschiedlicher Heißgetränke programmiert. Zum anderen wurde die Untersuchung „Verluste durch Spülvorgänge vor oder nach Getränkebezügen“ mit dem Prüfstand umgesetzt. Der Prüfstand kann über Druckluftsteuerung mit pneumatischen und elektrischen Bauelementen auf die jeweilige Aufgabe angepasst werden. Hier war die Bedienung des Kaffeevollautomaten nur insoweit möglich, dass Tasten zur Bedienung gedrückt werden konnten, aber kein Bechertransport stattfand, wie es Ziel in der vorliegenden Arbeit ist (Mrsic, 2012).

2.2 Befragung von Testinstituten zur Durchführung von Prüfung an Kaffeevollautomaten

In Experteninterviews mit verschiedenen Testinstituten oder Herstellern von Prüfapparaturen sollte herausgefunden werden, wie Testungen an Kaffeevollautomaten durchgeführt werden, ob bereits Teile automatisiert werden und was wichtige Kriterien für eine Einführung von automatischen Testsystemen wie z.B. einem Roboterarm wären.

Angefragt wurden „Datatec“, „VDE“, „TÜV Süd“, „SPS electronic“, „TÜV Rheinland“ und „Hansecontrol“. Lediglich der „TÜV Rheinland“ und „Hansecontrol“ haben Auskunft über ihre Prüfungen von Kaffeefullautomaten gegeben. Die Experteninterviews sind im Anhang A und B zu finden.

Der „TÜV Rheinland“ führt „Fit for use“-Prüfungen an Kaffeefullautomaten für den Hausgebrauch durch. Diese beinhalten Prüfungen zur Funktion und Handhabung, Reproduzierbarkeit von Auslaufmengen, Herstellungsgüte, Auslauftemperatur, Durchlaufdauer, Dauernutzung sowie zum Energieverbrauch. Sofern die Prüfungen der „DIN EN 60661:2015-01“ entsprechen, werden sie nach dieser Norm durchgeführt (Reimann, 2022, mündliches Experteninterview, Anhang A).

„Hansecontrol“ führt nach Zustimmung der „Deutschen Akkreditierungsstelle“ (DAkkS) Prüfungen an elektrischen Haushaltskaffeebereitern nach der „DIN EN 60661:2015-01“ mit Ausnahme der „Prüfung zur Entkalkung“ durch. Ebenfalls werden Prüfungen im Rahmen der „DIN-Norm 18873-2:2016-02“ an gewerblichen Heißgetränkereitern vorgenommen (Heiber, 2022, schriftliches Experteninterview, Anhang B).

Der „TÜV Rheinland“ führt die meisten Prüfungen händisch durch. Teilweise werden für Dauerprüfungen Prozesse vereinfacht, sodass händisches Eingreifen nicht mehr notwendig ist. Gemeint ist hierbei, dass zum Beispiel der Bohnenbehälter vergrößert wird, sodass dieser nicht händisch nachgefüllt werden muss, oder, dass die Kaffeesatzbehälter so präpariert werden, dass diese sich selbst entleeren und nicht mehr händisch ausgeleert werden müssen. Für die Bedienung werden auch automatisierte Steuerungselemente eingesetzt, die an unterschiedliche Gegebenheiten wie z.B. verschiedene Bedienoberflächen anpassbar sind. Diese Steuerungselemente werden mit Pneumatik betrieben (Reimann, 2022, mündliches Experteninterview, Anhang A).

„Hansecontrol“ testet aktuell noch händisch. Seitens des Testinstitutes besteht jedoch großes Interesse, die Ergebnisse dieser Bachelorarbeit einzusehen (Heiber, 2022, schriftliches Experteninterview, Anhang B).

In puncto „wichtige Kriterien für die Anschaffung und Nutzung programmierbarer Prüfsysteme wie z.B. eines programmierbaren Roboterarms“ sind sich die beiden Prüfinstitute einig: Der „TÜV Rheinland“ stellt heraus, dass Hersteller selbst leichter die Möglichkeiten haben, die betriebsinterne Prüfung zu automatisieren, da die Geräte meist sehr ähnlich aufgebaut seien und deswegen der Umstellungsaufwand von Prüfsystemen geringer sei. In beiden Testinstituten werden allerdings viele verschiedene Gerätetypen getestet und dabei unterschiedliche (Normen-)Prüfungen durchgeführt. Wichtig ist also für die beiden Testinstitute besonders der Punkt der Anpassbarkeit bzw. Flexibilität und der

Anwendbarkeit. Gewünscht ist bei „Hansecontrol“, dass alle Punkte der Normenprüfung durch den Roboter abgedeckt werden. Auch sollte hier nicht nur die Testung an Kaffeefullautomaten möglich sein, sondern auch an Gerätetypen wie Siebträgermaschinen und Filtermaschinen. Der „TÜV Rheinland“ wünscht sich eine vollständige Automatisierung, ohne dass weiteres menschliches Eingreifen bei der Prüfung selbst notwendig ist (Reimann, 2022, mündliches Experteninterview, Anhang A & Heiber, 2022, schriftliches Experteninterview, Anhang B).

Die Programmierung des Roboterarms sollte für beide Testinstitute mit einem geringen Zeitaufwand auf verschiedene Modelle und Prüf Abläufe anpassbar sein. Auch die Kosten sind für beide Testinstitute ein wichtiger Faktor. Die „schnelle“ Amortisierung der Investitionskosten ist nach „Hansecontrol“ ausschlaggebend und sei je nach Testinstitut von verschiedenen Faktoren abhängig (Reimann, 2022, mündliches Experteninterview, Anhang A & Heiber, 2022, schriftliches Experteninterview, Anhang B).

„Hansecontrol“ führt zudem den Punkt der Zuverlässigkeit auf. Nur wenn bei der Automatisierung auch die Anforderungen der Prüfverfahren, die in den Normen vorgeschrieben sind, eingehalten werden können, kann über eine Automatisierung mit einem Roboterarm nachgedacht werden. Zudem wäre für die Software eine Validierung notwendig. Ebenfalls müsste die Kalibrierung der Hardware durch ein externes anerkanntes Prüflaboratorium möglich sein (Heiber, 2022, schriftliches Experteninterview, Anhang B).

3 Methodik

In diesem Kapitel werden zunächst die Anforderungen an die Prüfung der Ausgabeleistung aufgeführt. Des Weiteren werden die Eigenschaften und Funktionen des „DOBOT Magicians“ erklärt, die essenziell für die Entwicklung eines Versuchsaufbaus zum Testen der Ausgabeleistung an Kaffeefullautomaten sind. Dazu gehört sowohl die Hardware (der Roboter an sich) als auch die Software („DobotStudio“). Auch wichtige Informationen zum Kaffeefullautomat „JURA Z6“, der beispielhaft für diesen Versuchsaufbau verwendet wird, werden aufgeführt. Die zusätzlich benötigten Materialien werden genannt und die wichtigsten erläutert.

3.1 Anforderungen an die Prüfung der Ausgabeleistung

Die Ausgabeleistung wird im Rahmen der „DIN-Norm 18873-2:2016-02“, die sich mit der Bestimmung des Energieverbrauchs von Großküchengeräten und im Teil 2 speziell mit den

gewerblichen Heißgetränkereitern beschäftigt, untersucht. Die Norm beschreibt Anforderungen für die Ermittlung von Energieverlusten von Heißgetränkereitern und für die Ermittlung der Ausgabeleistung von Kaffeefullautomaten. Sie legt spezielle Getränkerezepte für die unterschiedlichen Heißgetränke eines Kaffeefullautomaten fest, um die Vergleichbarkeit der Ausgabeleistung verschiedener Kaffeefullautomaten zu gewährleisten. Für den „Cafe Creme“, der im Versuchsaufbau beispielhaft getestet werden soll, werden für eine Einzeltasse 8 g Kaffeemehl und 125 ml (Einzeltasse) als Ausgabemenge festgelegt. Die Temperatur am Auslauf soll über 75°C betragen. Für die Leistung über eine Stunde (Stundenleistung) wird in diesem Zeitraum ein jeweiliges Heißgetränk bezogen. Somit sollen Betriebsbedingungen wie das Leeren des Kaffeesatzbehälters und das Nachfüllen des Wasser- oder Bohnenbehälters mitberücksichtigt werden.

Die „DIN 18873-2:2016-02“ sieht vor, dass lediglich die Mengeneinstellungen vor der Messung der Ausgabeleistung am Kaffeefullautomaten vorgenommen werden. Eine Überprüfung der Ausgabemenge pro Tasse und der Messung der Temperatur des Heißgetränkes im Becher ist nicht explizit vorgesehen. Eine Messung der Ausgabemenge pro Tasse und der Temperatur des fertigen Bezuges wird jedoch als sinnvoll erachtet, um die Vorgaben der „DIN 18873-2:2016-02“ zu überprüfen und soll in dieser Bachelorarbeit Teil des Versuchsaufbaus zur Messung der Ausgabeleistung sein. Dies ist relevant für den Versuchsablauf mit dem „DOBOT Magician“, der in Kapitel 4 beschrieben wird.

Es gibt bereits Bemühungen eine europäische Norm aufzustellen, die möglicherweise den genaueren Versuchsablauf definiert. Die „CENELEC“, ein europäisches Komitee für elektrische Normung, arbeitet zurzeit an einer Norm, die jedoch noch nicht öffentlich verfügbar ist. Diese soll sämtliche Typen von Kaffeemaschinen einbeziehen und verschiedene Prozesse messen. Da sich auf diese Studie aktuell noch nicht gestützt werden kann, wird die „DIN-18873-2:2016-02“ als Grundlage dieser Arbeit herangezogen (Bush Energie GmbH, 2021).

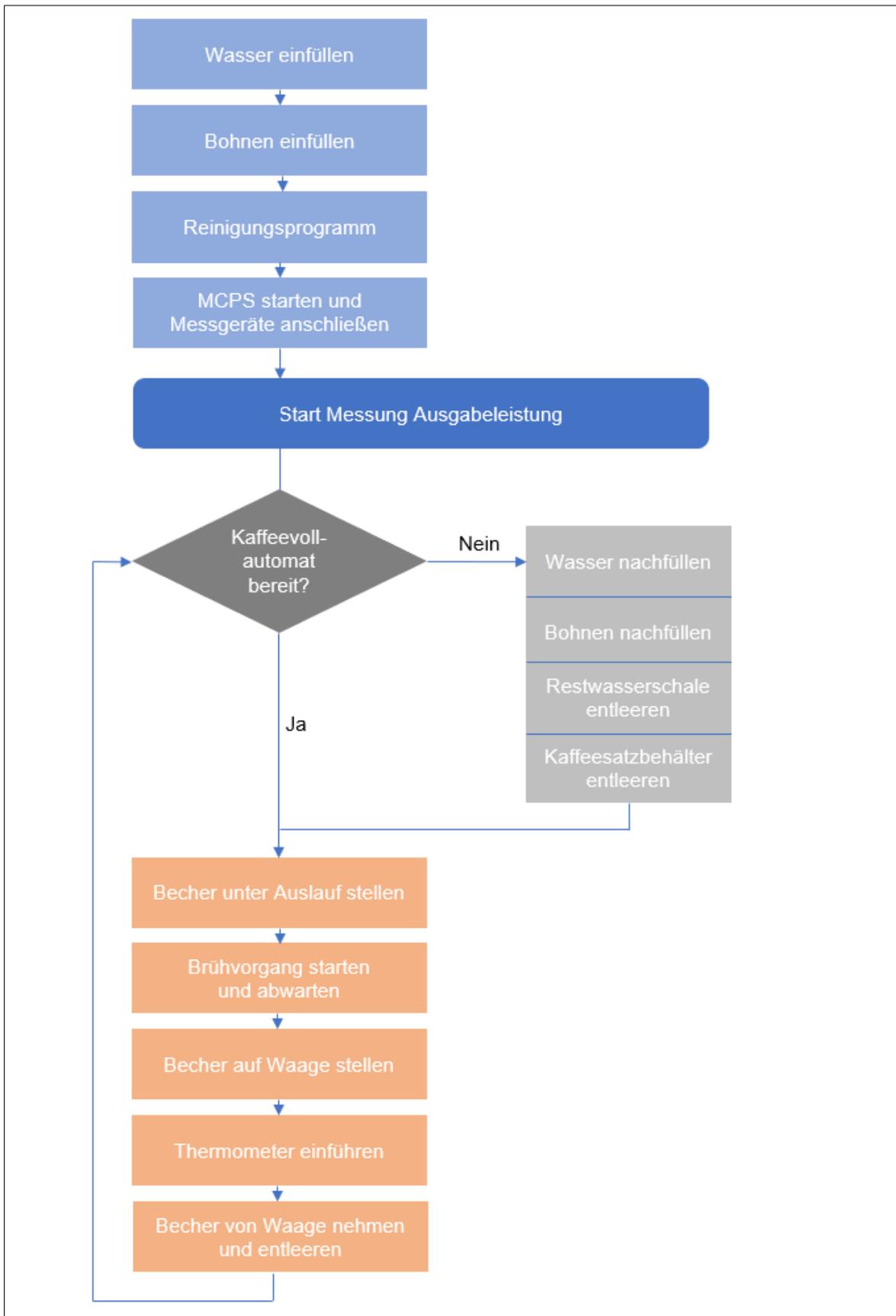


Abbildung 1: Schematischer Ablauf der Arbeitsschritte zur Prüfung der Ausgabeleistung (eigene Darstellung)

Abbildung 1 zeigt den schematischen Ablauf der einzelnen auszuführenden Schritte und grundlegende Bedingungen. Die Prämissen für den Versuchsablauf sind, dass der Wasser- und der Bohnenbehälter aufgefüllt sind. Das Reinigungsprogramm sollte vor Start der Messung ausgeführt werden, um Reinigungsprozesse während der Messung der Stundenleistung zu vermeiden. Zusätzlich müssen vor Start der Kaffeebezüge die Messgeräte und das Messprogramm zur Erfassung der Messgrößen wie Temperatur, Gewicht und Leistung eingestellt und gestartet werden. Wenn diese Schritte erfolgt sind, kann die Messung der Ausgabeleistung gestartet werden. Vor jedem Vorgang muss geprüft werden, ob der Kaffeevollautomat bereit ist, ein Heißgetränk auszugeben. Ist der Wasser- oder der Bohnenbehälter leer, so müssen diese aufgefüllt werden. Ist die Restwasserschale oder der Kaffeesatzbehälter gefüllt, so müssen diese entleert werden. Der Kaffeevollautomat gibt für diese Fälle einen Handlungsbefehl auf dem Bildschirm aus.

Sind all diese Sekundäraktivitäten ausgeführt, kann ein Becher unter den Auslauf gestellt und der Brühvorgang des Heißgetränkes durch das Drücken der Taste am Bildschirm aktiviert werden. Erst wenn der Brühvorgang abgeschlossen ist, wird der Becher vom Auslauf auf die Waage gestellt. Anschließend wird der Temperaturmessfühler in das Heißgetränk eingeführt. Zum Schluss wird der Becher von der Waage genommen und entleert. Der Vorgang beginnt von Neuem.

3.2 „DOBOT Magician“

Der „DOBOT Magician“ ist ein Schulungsroboter des Herstellers „DOBOT“, zu dem es vielfältige Unterlagen zu Schulungszwecken wie z.B. auf „variobotic.de“ auf Deutsch zu erwerben gibt (Variobotic GmbH, 2022). Englischsprachige Schulungsunterlagen existieren ebenfalls (In-Position Technologies, 2017).

Gemäß einer eigenen Recherche zu Endverbraucherpreisen, die einen Anhaltspunkt für die Kosten geben können, bewegen sich die Preise für den Roboterarm „DOBOT Magician“ in der Basisausstattung zwischen 1.133,20 € (reichelt elektronik GmbH & Co. KG, 2022) und 1.499,00 € (Variobotic GmbH, 2022) inklusive 19% Mehrwertsteuer. Damit halten sich die Anschaffungskosten in einem überschaubaren Rahmen.

Der „DOBOT Magician“ zeichnet sich durch eine Tragkraft von maximal 500 g aus, von der das Gewicht der jeweiligen Aufsätze abgezogen werden muss. Der Roboter kann Geschwindigkeiten von bis zu 320° pro Sekunde für die Gelenke J1-3 (siehe Abb. 2 in Kapitel 3.2.1) bei 250 g Nutzlast erreichen. Es wird eine Wiederholungsgenauigkeit von $\pm 0,2$ mm ausgelobt (Variobotic GmbH, 2022).

Der „DOBOT Magician“ in der Basisausstattung wird mit verschiedenen Aufsätzen wie „Saugnapf“, „Greifer“, „Stifthalter“ und „3D-Druckaufsatz“ mit passendem Zusatzmaterial geliefert. In Deutschland wird der Aufsatz für die Lasergravur aus Sicherheitsgründen nicht mitgeliefert. Weitere Sets wie ein Steckbrett zur Lagerdemonstration, ein Laufband, eine Linearachse und weitere können zusätzlich erworben werden. In der „Advanced“-Ausstattung, die der HAW Hamburg vorliegt, ist zusätzlich ein Kommunikationsmodul vorhanden, das unter anderem eine Steuerung per Gamepad ermöglicht. Für erweiterte Funktionen besitzt der „DOBOT Magician“ 20 Input/Output-Schnittstellen (I/Os) (DOBOT, 2020).

Der „DOBOT Magician“ wird mit einer Spannung von 100-240 V AC betrieben. Er arbeitet in einem Temperaturbereich von -10-60°C (Variobotic GmbH, 2022).

3.2.1 Bewegungsgelenke und Arbeitsbereich

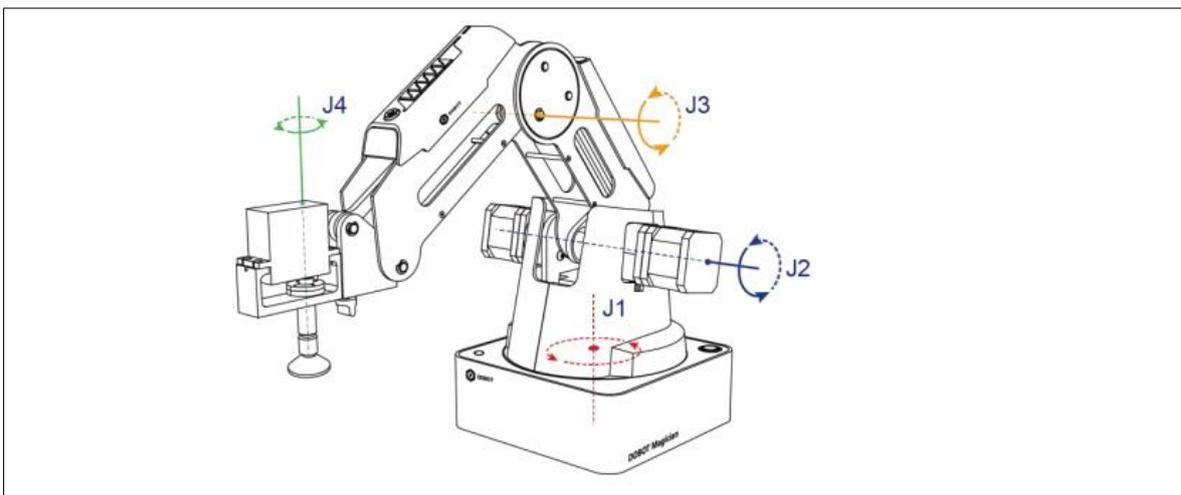


Abbildung 2: Gelenke des "DOBOT Magicians" (DOBOT, 2020)

Der „DOBOT Magician“ besitzt ohne passenden Aufsatz drei Gelenke J1, J2 und J3, welche die Bewegung des Roboterarms ermöglichen (siehe Abb. 2). Bei J2 und J3 handelt es sich um Scharniergelenke, die sich nur um eine Achse bewegen lassen. Eine Rotation des Armes ermöglicht das Drehgelenk J1. Je nach gewünschter Strecke und Bewegungsmodus werden ein oder mehrere Gelenke nacheinander oder gleichzeitig bewegt. Das vierte Gelenk J4 kann nur angesteuert werden, wenn ein passender Aufsatz gewählt wurde wie der „Greifer“ oder der „Saugnapf“ (DOBOT, 2020).

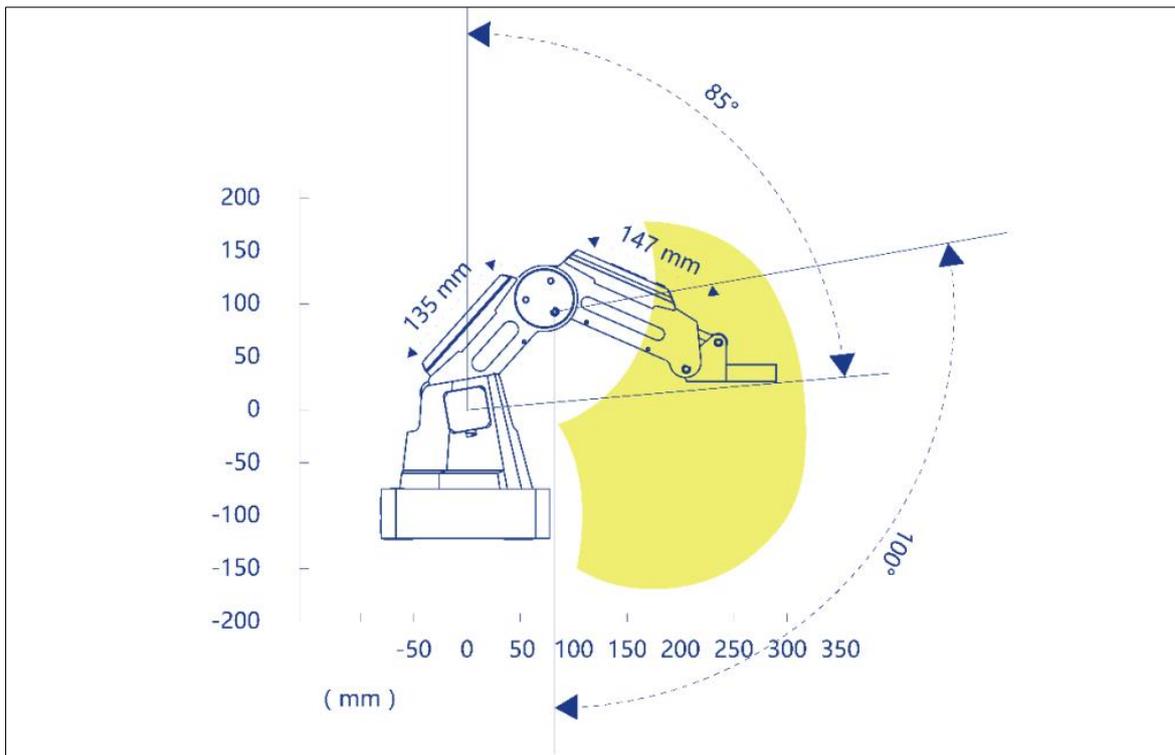


Abbildung 3: Arbeitsbereich „DOBOT Magician“ – Seitenansicht (DOBOT, 2020)

Das Scharniergelenk J2 kann in einem Bereich von 100° bewegt werden. Das Scharniergelenk J3 spannt einen Bewegungsspielraum von 85° auf. Wie in Abbildung 1 zu sehen ist, erzeugt diese Bewegungsmöglichkeit der Gelenke einen Arbeitsbereich (in gelb markiert), in dem sich der „DOBOT Magician“ bewegen kann. Er kann dabei maximal eine Höhendifferenz von 35cm überwinden. Soll eine Koordinate angesteuert werden, die nicht im Arbeitsbereich liegt, so gibt der Roboter über eine Leuchte am Fuß des Armes ein rotes Signal aus. Befindet sich der Roboter im Komfortbereich, so gibt er ein grünes Signal aus (DOBOT, 2020).

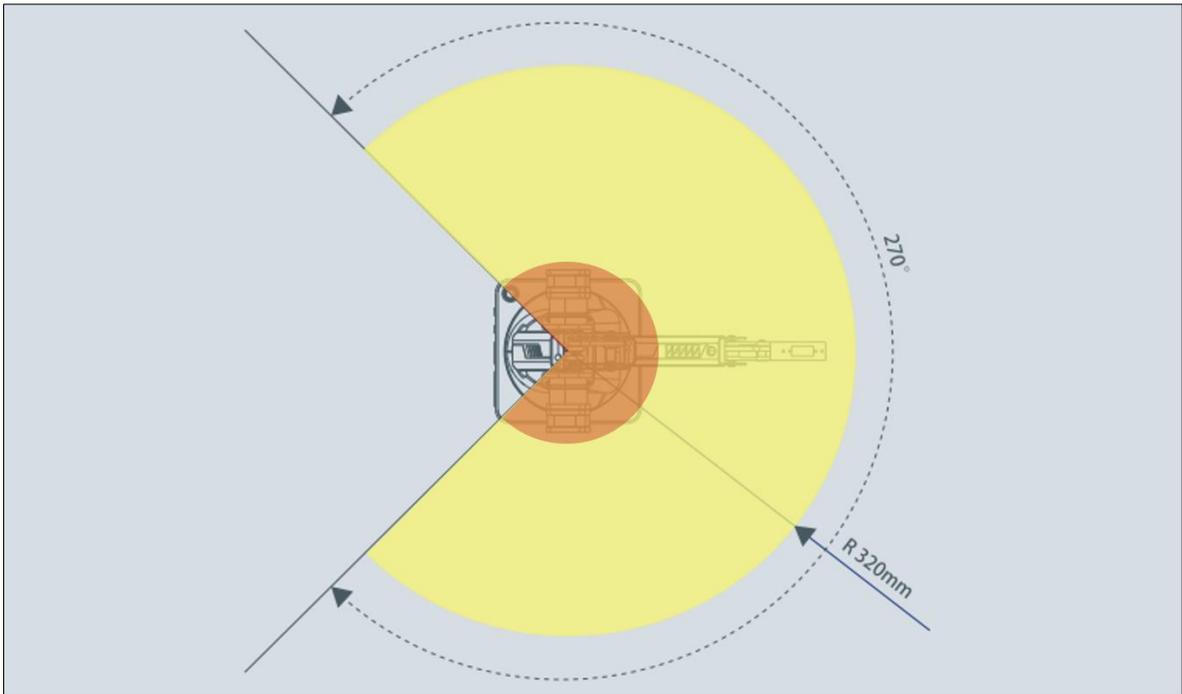


Abbildung 4: Arbeitsbereich „DOBOT Magician“ – Draufsicht (modifiziert nach (Variobotic GmbH, 2022))

Das Drehgelenk J1 sorgt dafür, dass der Roboter nach Herstellerangaben um 180° rotieren kann (DOBOT, 2020). Jedoch hat die Anwendung gezeigt, dass der Roboter sich noch deutlich weiter drehen kann, sodass eher ein Arbeitsbereich von ca. 270° möglich wird, so wie es auch bei „Variobotic“ in den Produktinformationen dargestellt wird (siehe Abb. 4) (Variobotic GmbH, 2022). Gelb markiert ist dabei der Bereich, der angefahren werden kann. Der rote Bereich kann nicht bedient werden.

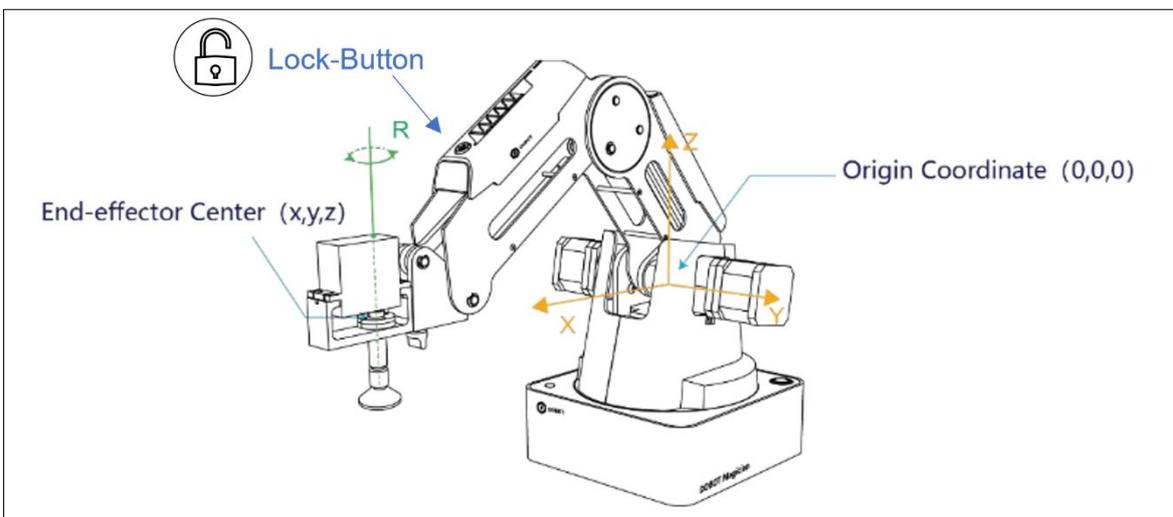


Abbildung 5: Rotationsachsen „DOBOT Magician“ (modifiziert nach (DOBOT, 2020))

Eine weitere Darstellung der Bewegungsmöglichkeit, wie in Abbildung 5 zu sehen, bildet ein Koordinatensystem mit den Achsen x, y und z, dass durch die Rotation des Aufsatzes R ergänzt wird (DOBOT, 2020). Dieses Koordinatensystem ist relevant für die spätere Programmierung des Roboters, da in Koordinaten programmiert wird.

3.2.2 Bedien- und Programmiermöglichkeiten

Der Roboter kann mit der Software „DobotStudio“ programmiert werden (verwendbar für Windows und Mac), die kostenfrei online heruntergeladen werden kann (genauer wird dies auch in der Gebrauchsanweisung des „DOBOT Magicians“ beschrieben) (DOBOT, 2020). Zur Nutzung der Software kann der Roboter via USB-Kabel mit dem PC verbunden werden.

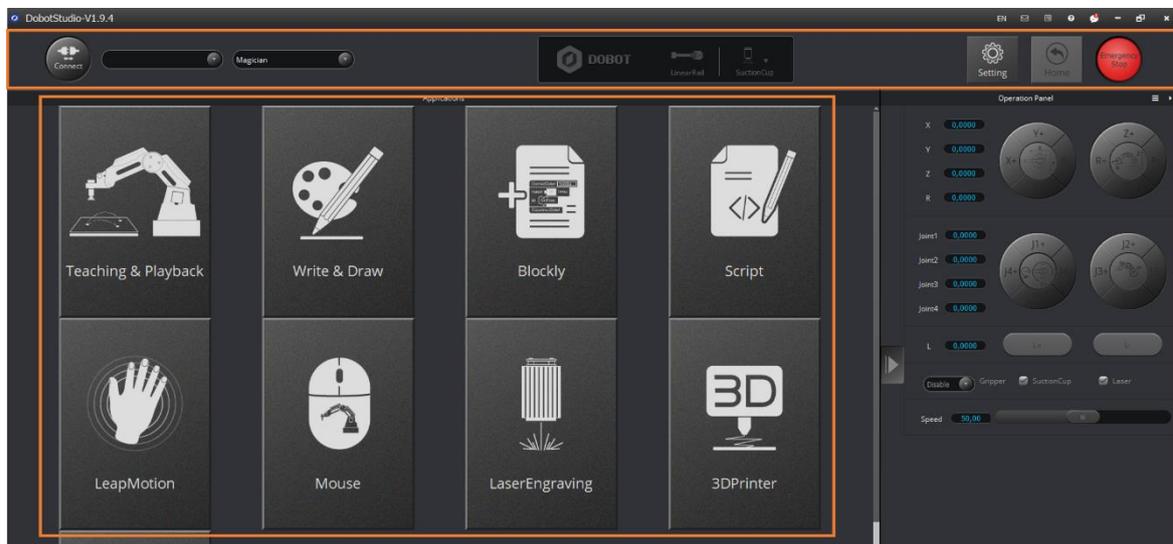


Abbildung 6: „Home-Menü“ im „DobotStudio“ (modifizierter Screenshot aus Programm „DobotStudio“)

In Abbildung 6 ist das „Home-Menü“ zu sehen, welches beim Öffnen der „DobotStudio“-Software erscheint. Über die oberste Leiste können generelle Einstellungen getätigt und Funktionen ausgeführt werden. Diese Leiste ist in jedem der verschiedenen Programmiermodi verwendbar. Links wird über „Connect“ der Roboter zunächst mit dem Programm verbunden. In der Mitte kann der jeweilige Aufsatz ausgewählt werden (dies ist für „Teaching & Playback“ oder „Write & Draw“ relevant). Auf der rechten Seite können über „Setting“ grundlegende Einstellungen getätigt werden, falls notwendig. Auch Updates und Kalibrierungen können hier gestartet werden. Über den „Home“-Button kann der „DOBOT Magician“ auf die vorher definierte Grundposition gefahren werden. Dies kann z.B. notwendig sein, wenn der Roboter durch einen Gegenstand in seinem Bewegungsablauf gehindert wird und dadurch die Positionsmessung nicht mehr genau funktioniert. Der rote

„Emergency Stop“-Button kann jederzeit betätigt werden, wenn der Roboterarm droht gegen etwas zu stoßen.

Das Programm „DobotStudio“ bietet verschiedene Bedien- bzw. Programmiermöglichkeiten. Die Möglichkeiten „Write & Draw“, „LaserEngraving“ und „3D Printer“ werden in dieser Arbeit nicht genutzt, da sie keine geeignete Funktion für den Anwendungszweck zur Testung von Kaffeefullautomaten aufweisen. Ebenfalls sind die „Leapmotion“-Steuerung, bei der der Roboter über Handzeichen gesteuert wird, oder die „Mouse“-Steuerung, bei der der Roboter mit der Computermaus bewegt wird, ungeeignet für den Anwendungszweck und werden im Folgenden nicht weiter erläutert.

Die Programmiermodi „Teaching & Playback“, „Blockly“ und „Script“ können für die Programmierung des „DOBOT Magicians“ zur Testung von Kaffeefullautomaten verwendet werden und sollen im Folgenden genauer erläutert werden.

„Teaching & Playback“

Beim „Teaching & Playback“ können Koordinaten eingestellt werden, die der Roboter abfahren soll. Die folgende Abbildung zeigt die Programmieroberfläche des „Teaching & Playback“-Modus.

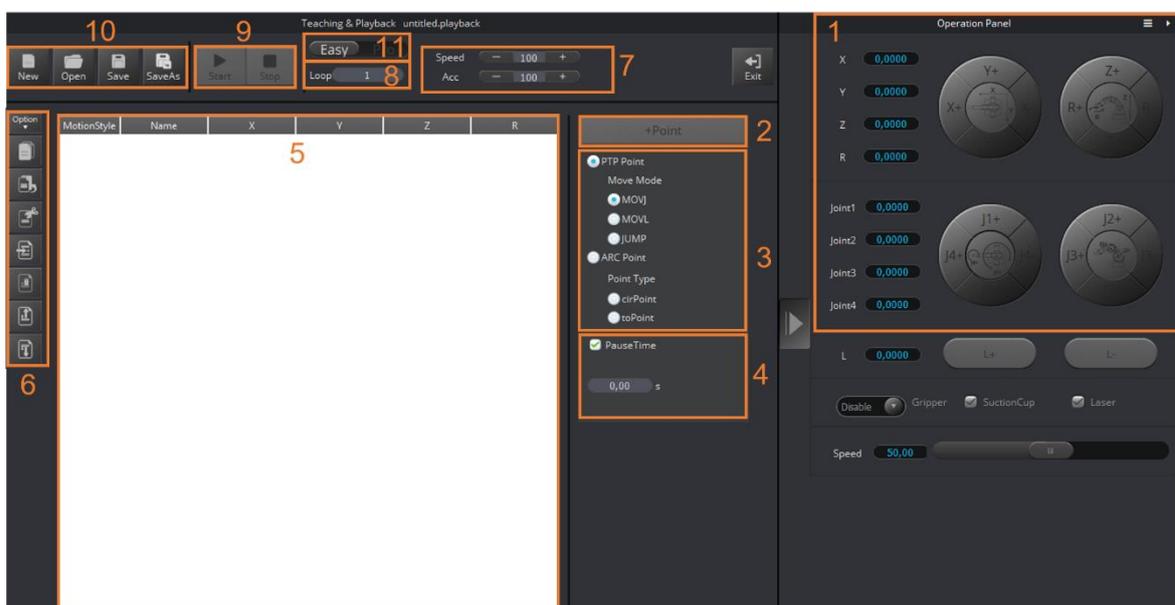


Abbildung 7: Programmieroberfläche "Teaching & Playback" (modifizierter Screenshot aus Programm "DobotStudio")

Auf der rechten Seite der Anwendung befindet sich das „Operation Panel“ (siehe Abb. 7 Nr.1), mit dem die Position per Klick mit der Maus auf den jeweiligen Bewegungsachsen auf den gewünschten Punkt bewegt werden kann. Die beiden oberen Knöpfe verschieben die Koordinaten X, Y, Z und R. Die unteren beiden Knöpfe steuern die Gelenke J1, J2, J3 und J4 direkt an. Ist der gewünschte Punkt erreicht, so kann dieser über das Klicken auf „+Point“ zum Bewegungsablauf hinzugefügt werden (siehe Abb. 7 Nr.2). Eine noch intuitivere Bedienung findet sich in der händischen Ausrichtung des Roboters auf den gewünschten Punkt. Dafür muss der „Lock-Button“ (siehe Abb. 5) auf dem Arm des „DOBOT Magician“ gedrückt und dann der Arm zum gewünschten Punkt geführt werden. Das Programm übernimmt die aktuelle Position automatisch, sobald der „Lock-Button“ losgelassen wird. Die gespeicherten Punkte erscheinen dann im weißen Feld in der Mitte (siehe Abb. 7 Nr.5).

Über das Kästchen Nummer 3 in Abbildung 7 können die verschiedenen Bewegungsmodi für die einzelnen Punkte eingestellt werden, die im Kapitel 3.2.3 genauer erläutert werden. Wird ein neuer Punkt gespeichert, so wird automatisch der ausgewählte Bewegungsmodus eingestellt. Dies kann im Nachhinein noch durch Doppelklick auf den jeweiligen Punkt und dessen „MotionStyle“ verändert werden.

Durch das Klicken auf „Option“ (siehe Abb. 7 Nr.6) erscheint eine Spalte mit Bearbeitungselementen für die einzelnen Koordinaten. Die Punkte können kopiert, dupliziert, ausgeschnitten, eingefügt und nach oben und unten verschoben werden. Dies funktioniert auch über die normalen Shortcuts einer Tastatur.

Über „Speed“ kann die Geschwindigkeit und über „Acc“ kann die Beschleunigung in Prozent gewählt werden (siehe Abb. 7 Nr.7). Diese Einstellungen gelten dann für den kompletten Bewegungsablauf. Die Einstellung der Geschwindigkeit für einzelne Koordinaten ist über den „Einstellungsbutton“ in der Kopfleiste möglich. Über „Pause Time“ können die Bewegungen zwischen zwei Punkten pausiert werden (siehe Abb. 7 Nr.4). Dies kann auch nachträglich in den programmierten Bewegungsablauf eingetragen werden. Über „Start“ und „Stop“ (Abb. 7 Nr. 9) kann der gesamte programmierte Bewegungsablauf gestartet oder beendet werden. Die jeweiligen Bewegungsabläufe können als Datei gespeichert und bei gewünschter Wiedernutzung über „Open“ aufgerufen werden (siehe Abb. 7 Nr.10).

Über die Spalte „Name“ kann dem jeweiligen Punkt ein Name gegeben werden. Dies ist essenziell, um im Bewegungsablauf die Übersicht zu behalten (siehe Abb. 8).

Für erweiterte Funktionen kann der „Pro“-Modus ausgewählt werden (siehe Abb. 7 Nr.11). Hier kann der „StepRun“ verwendet werden, um gezielt einzelne Punkte anzusteuern. Dafür muss ein Punkt ausgewählt und dann auf „StepRun“ geklickt werden. Diese Funktion eignet

sich gut, um Bewegungsabläufe Stück für Stück auf Richtigkeit zu überprüfen. Sollte ein Schritt nicht funktionieren, weil sich z.B. ein Gegenstand im Bewegungsablauf befindet, so kann gezielt diese Koordinate ausfindig gemacht werden. Dies verringert das Risiko, dass Versuchsgegenstände oder der Roboter selbst kaputt gehen.

Im „Pro“-Modus können den Punkten im Bewegungsablauf zusätzlich Sensoren mit bestimmten Bedingungen zugeordnet werden. Über „Trigger“ muss der richtige Input oder Output (I/Os) ausgewählt werden. Für die jeweiligen Anschlüsse gibt es verschieden benannte Trigger, die der Betriebsanleitung des „DOBOT Magicians“ zu entnehmen sind (DOBOT, 2020). Danach kann eine Bedingung (in der Bedienoberfläche als „Condition“ bezeichnet) ausgewählt werden, wobei je nach Sensor gleich (=), ungleich (!=), kleiner (<), größer (>), kleiner/gleich (<=) oder größer/gleich (>=) zur Auswahl stehen. Bei „Value“ wird dann der gewünschte Wert eingetragen (siehe Abb. 8).

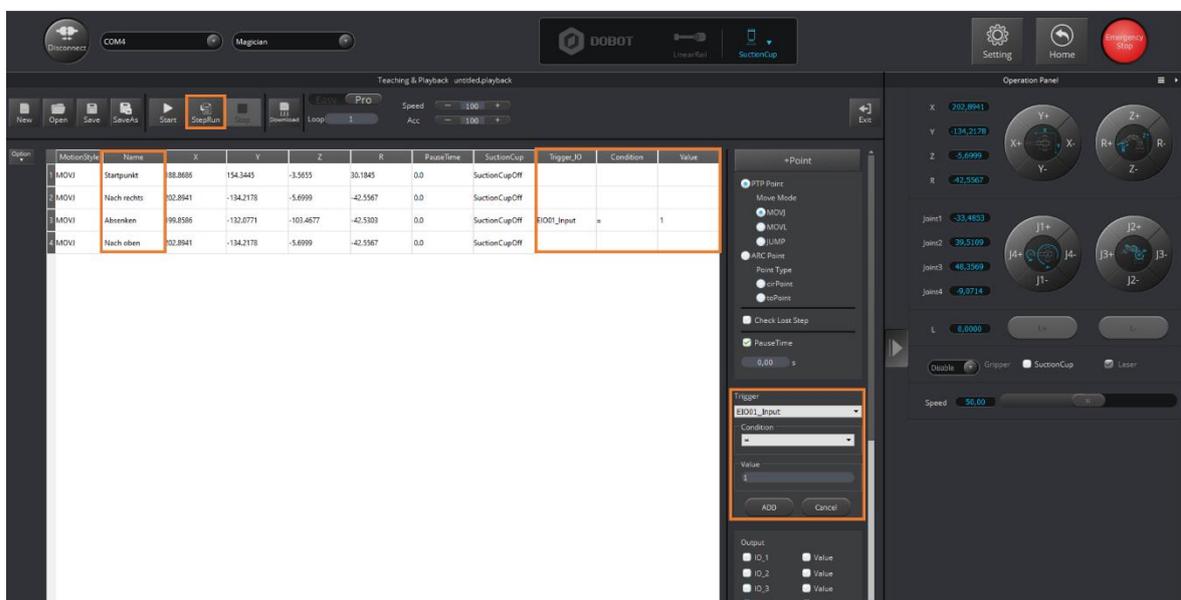


Abbildung 8: Beispielprogrammierung in "Teaching & Playback" im „Pro-Modus“ (modifizierter Screenshot aus Programm "DobotStudio")

„Blockly“

„Blockly“ als Programmiermodus bietet die Möglichkeit, Bewegungsabläufe und weitere Funktionen durch einzelne Funktionsbausteine zusammenzustellen. Das „Operation Panel“ erscheint auch in der Programmieroberfläche für „Blockly“. Auch hier kann ein gewünschter Punkt mit dem „Operation Panel“ oder über manuelle Ausrichtung des Armes angesteuert werden. Jedoch kann im Gegensatz zum „Teaching & Playback“-Modus nicht die aktuelle Koordinate per Klick oder Loslassen des „Lock-Buttons“ übernommen werden. Diese müssen einzeln in die jeweiligen Funktionsbausteine übertragen werden. Die

Funktionsbausteine können dann zu Blöcken zusammengesetzt werden. Ein gesamter Block kann bewegt werden, indem der oberste Funktionsbaustein ausgewählt wird. Wie auch beim „Teaching & Playback“ können die einzelnen Funktionsbausteine mit Tastatur-Shortcuts kopiert, dupliziert, ausgeschnitten und eingefügt werden.

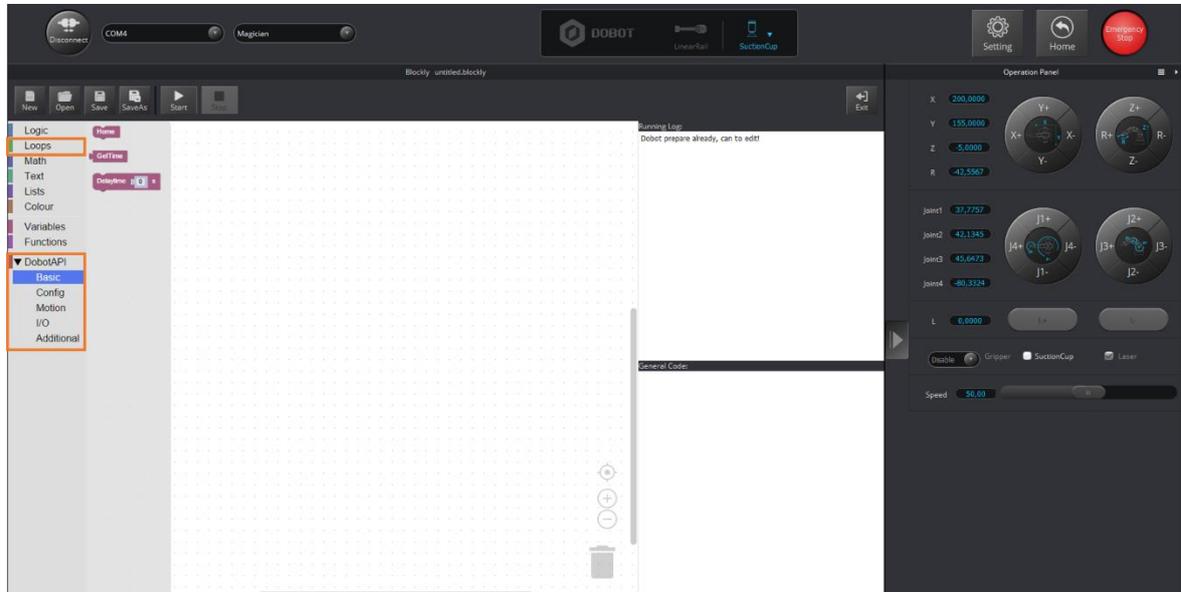


Abbildung 9: Programmieroberfläche "Blockly" (modifizierter Screenshot aus Programm "DobotStudio")

Über den Reiter „DobotAPI“ (siehe Abb. 9) auf der linken Seite sind die wichtigsten Funktionsbausteine für Bewegungsabläufe abrufbar. Der Funktionsumfang ist analog zu „Teaching & Playback“, wird aber durch Ergänzungen wie logische Verknüpfungen, mathematische Funktionen, Variablen etc. erweitert, die jedoch über den Versuchsaufbau hinausgehen würden. Lediglich „Loops“ sind für die vorliegende Arbeit zusätzlich relevant. Durch "Loops" lassen sich programmierte Bewegungsabläufe mehrfach automatisch starten. In Abbildung 10 wurde beispielhaft ein Bewegungsablauf in „Blockly“ programmiert, der auch verschiedene Bewegungsmodi beinhaltet, die im Kapitel 3.2.3 genauer erläutert werden.

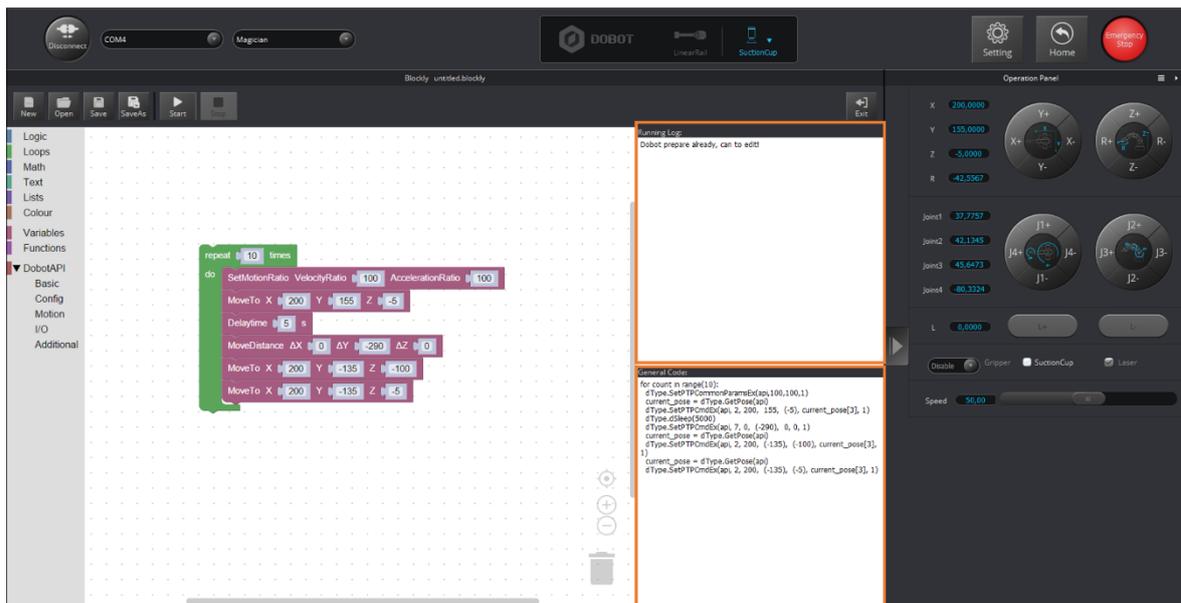


Abbildung 10: Beispielprogrammierung in "Blockly" (modifizierter Screenshot aus Programm "DobotStudio")

Die einzelnen Funktionsbausteine können durch Rechtsklick und Auswählen von „Disable Block“ ausgeschaltet und über „Enable Block“ wieder eingeschaltet werden. Dies ist für das Testen einzelner Funktionsbausteine relevant. Soll ein einzelner Baustein auf z.B. die richtige Positionierung getestet werden, ohne dass alle Funktionsbausteine nacheinander ihre Aufgaben ausführen, müssen alle anderen Funktionsbausteine ausgeschaltet werden. Nach Standardeinstellung sind alle Funktionsbausteine eingeschaltet. Dies sorgt dafür, dass bei der schrittweisen Testung von Bewegungsabläufen zuvor sehr viele Funktionsbausteine ausgeschaltet werden müssen. Dies ist bei „Teaching & Playback“ über den „Step-Run“ deutlich eleganter gelöst.

Einzelne Funktionsbausteine können zwar über „Add Comment“ benannt werden, dies ist allerdings nur bei aktiver Auswahl des Bausteins zu sehen. Daher ist die Übersichtlichkeit der Namensspalte im "Teaching & Playback" vorteilhafter.

Eine weitere Funktion von „Blockly“ ist die Dokumentation der Fehlermeldungen im „Running log“ auf der rechten Seite, wenn sich der Roboter zum Beispiel nicht mehr im Arbeitsbereich befindet. Einen großen Mehrwert bringt dies allerdings nicht, da auch bei „Teaching & Playback“ die aktuelle Fehlermeldung angezeigt wird. Ein Vorteil von „Blockly“ ist hingegen, dass automatisch ein Programmcode erzeugt wird, der im Programmiermodus „Skript“ verwendet und weiter angepasst werden kann, sofern noch spezifischere Funktionen notwendig sind. Dies ist zu sehen im „General Code“ unter dem „Running Log“ (siehe Abb.10).

„Skript“

„Skript“ ist eine Programmieroberfläche in „DobotStudio“, bei der in der Programmiersprache „Python“ geschrieben wird. Da die Programmierung über „Teaching & Playback“ oder „Blockly“ deutlich intuitiver und schneller zu erlernen und anzuwenden ist, soll in dieser Bachelorarbeit „Skript“ für die Programmierung des Versuchsaufbaus ausgeklammert werden. Der bei „Blockly“ automatisch generierte „Python“-Code könnte generell für erweiternde Zwecke, die über diese Bachelorarbeit hinaus gehen, genutzt werden.

3.2.3 Bewegungsmodi

Der „DOBOT Magician“ verfügt im „Teaching & Playback“-Modus über vier Bewegungsmodi. Darunter sind drei verschiedene Bewegungsmodi, die sich von einem Punkt zum anderen bewegen, was im Programm als „PTP“ (Point to Point) bezeichnet wird (DOBOT, 2020).

Beim Bewegungsmodus „MOVL“ bewegt sich der Roboter entlang einer Linie von Punkt A zu Punkt B, was in Abbildung 11 zu sehen ist. Dabei müssen mehrere Gelenke des Roboters genutzt werden, sodass sich der Roboter in diesem Bewegungsmodus langsamer von einem zum anderen Punkt bewegen kann. Dieses Bewegungsmuster sollte also nur gewählt werden, wenn eine präzise Linie abgefahren werden muss, um z.B. das Zusammenstoßen mit umliegenden Gegenständen zu verhindern.

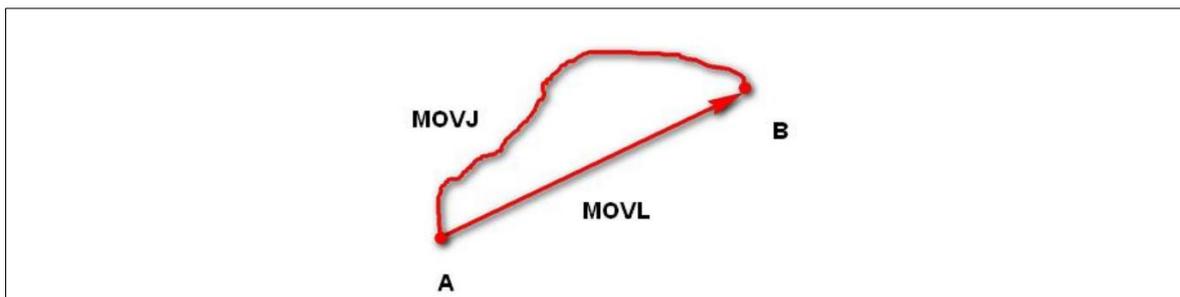


Abbildung 11: Bewegungsmodi "MOVJ" und "MOVL" (DOBOT, 2020)

Im Bewegungsmodus „MOVJ“ wählt der „DOBOT Magician“ einen Weg, für welchen er möglichst wenige Gelenke in möglichst geringem Umfang bewegt (siehe Abb. 11). So ist die Strecke von A nach B zwar länger, jedoch kann der „DOBOT Magician“ so auch seine Maximalgeschwindigkeit nutzen. Wenn also eine hohe Geschwindigkeit erforderlich ist und sich der Roboter nicht unbedingt in einer Linie bewegen muss, sollte „MOVJ“ gewählt werden. Wird der „DOBOT Magician“ im „MOVJ“-Modus nur unten am Fuß (Gelenk J1) von

einem zum anderen Punkt rotiert, ohne dass die oberen Gelenke in ihrer Streckung/Beugung verändert werden, kann im „MOVJ“-Modus auch ein Kreisbogen als Bewegungsmuster geschaffen werden.

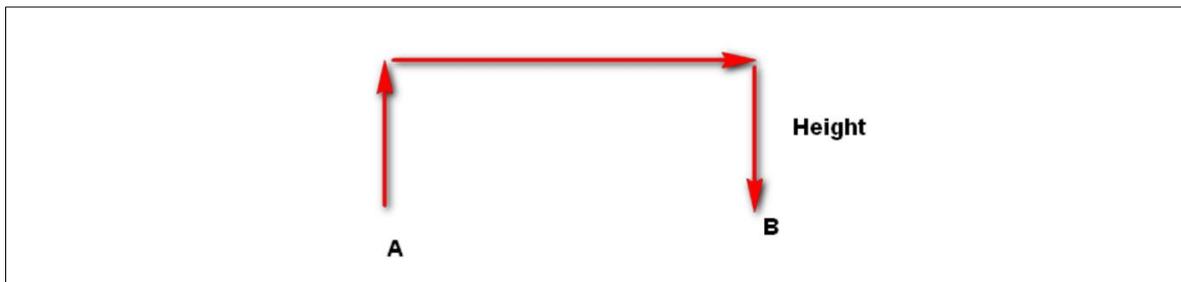


Abbildung 12: Bewegungsmodus "JUMP" (DOBOT, 2020)

In Abbildung 2 ist der dritte „PTP“-Bewegungsmodus zu sehen. Dieser nennt sich „JUMP“ und integriert automatisch eine Anhebebewegung. Wie auch bei den anderen Bewegungsmodi werden hier Start- und Endpunkt eingestellt. Der „DOBOT Magician“ bewegt sich dann jedoch nicht auf der Höhe der definierten Punkte von A nach B. Stattdessen bewegt er sich zunächst in eine zuvor definierte Höhe nach oben, dann über den Punkt B und senkt sich schließlich zu Punkt B ab. Dieser Bewegungsmodus wurde für den Versuchsaufbau nicht genutzt, da die falsche Auswahl der Anhebehöhe beim Bechertransport eher zu Zusammenstößen mit dem Auslauf oder der Tassenplattform des Kaffeevollautomaten hätte führen können als bei den Bewegungsmodi „MOVL“ und „MOVJ“, bei denen alle Bewegungspunkte einzeln definiert werden können.

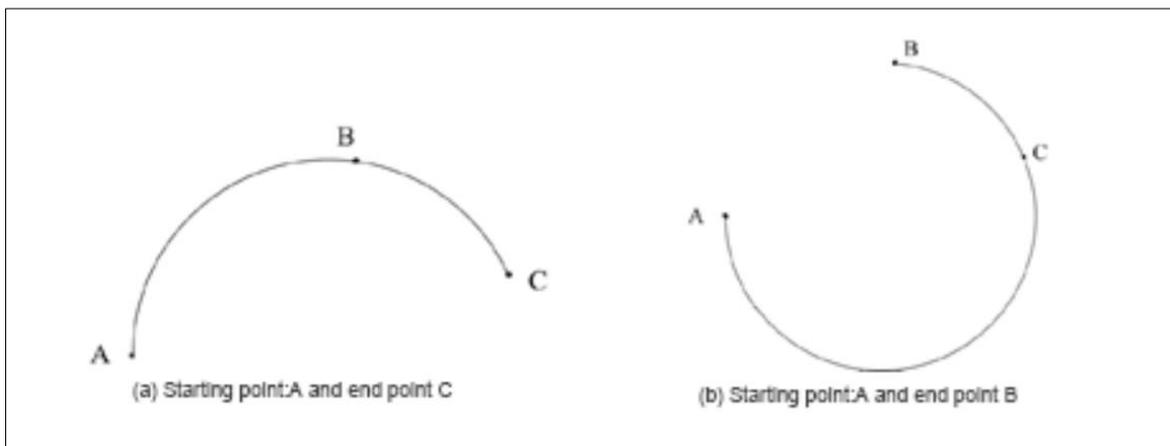


Abbildung 13: Bewegungsmodus „ARC“ (DOBOT, 2020)

Ein weiterer Bewegungsmodus ist der „ARC“-Modus, der in Abbildung 13 aufgeführt ist. Dieser ist dafür gedacht, dass sich der „DOBOT Magician“ auf einer Bogenbahn bewegt. Hierbei werden immer drei Punkte angefahren. Ein Startpunkt, ein beliebiger Punkt auf dem Kreisbogen und der Endpunkt, der sich am Ende des Bewegungsspielraumes des „DOBOT Magicians“ befindet. Es können nicht wie bei den „PTP“-Modi nur zwei Punkte gewählt

werden, zwischen denen sich der „DOBOT Magician“ bewegen soll. Dieser Modus fand keine Verwendung für den Versuchsaufbau, da die Restriktion auf eine Kreisbahn und drei abzufahrende Punkte unnötig Zeit und Weg kostet.

Bei „Blockly“ und „Skript“ gibt es die Bewegungsmodi „Move to“ und „Jump to“ für „PTP“, wobei „Move to“ dem Bewegungsmodus „MOVL“ aus dem „Teaching & Playback“ entspricht. Im Umkehrschluss bedeutet dies, dass beim Programmieren in „Blockly“ der schnellste Bewegungsmodus „MOVJ“ nicht angesteuert werden kann. Dafür kann mit „Move Distance“ eine Strecke definiert werden. Das heißt, es wird programmiert, um wie viele Zentimeter sich der Roboterarm auf den möglichen Achsen x, y und z bewegen soll.

3.3 Kaffeevollautomat „JURA Z6“ (zu testendes Objekt)

Die Machbarkeitsprüfung zur Automatisierung von Testverfahren erfolgt mit dem "DOBOT Magician" am Beispiel des Kaffeevollautomaten „JURA Z6“ des Unternehmens „JURA Elektroapparate“. Der genutzte Maschinentyp wird in diesem Kapitel hinsichtlich der Anforderungen des Tests beschrieben.

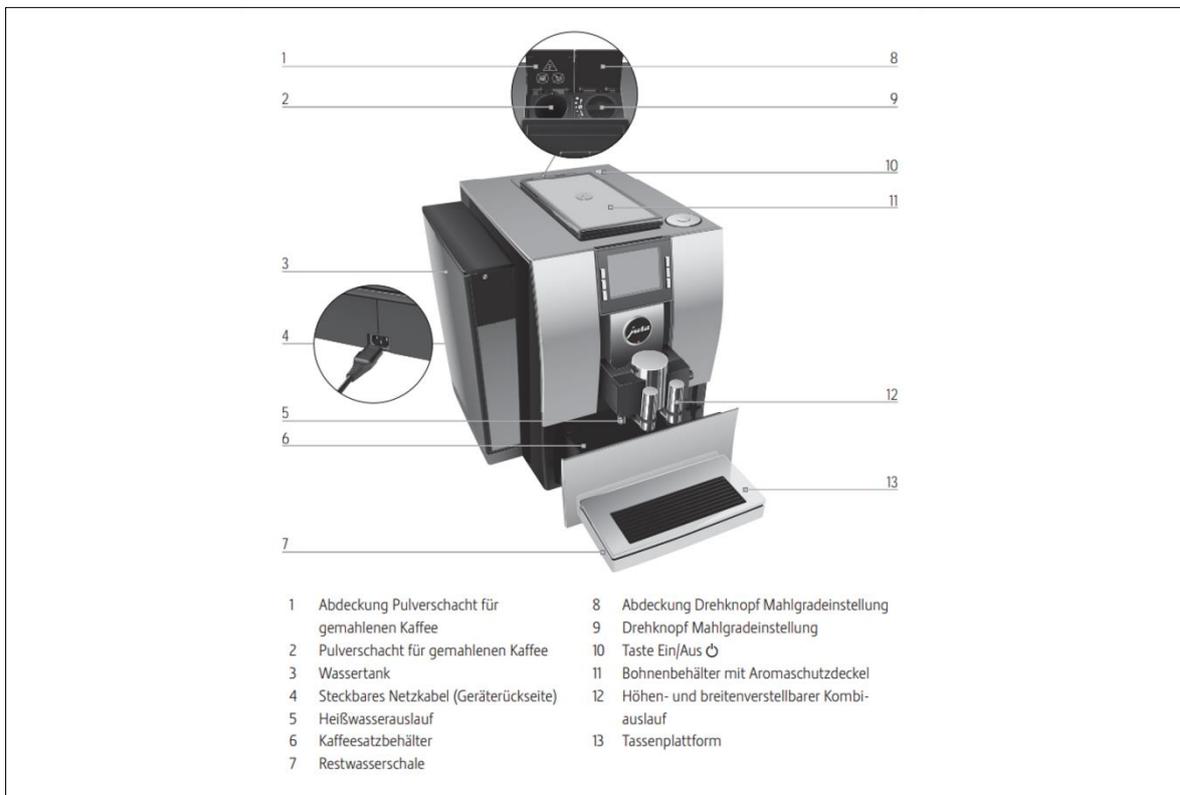


Abbildung 14: Bedienelemente der „JURA Z6“ (JURA Elektroapparate AG, 2016)

Hervorhebend zu nennen ist die Tassenplattform, auf dem der Becher abgestellt wird. Der höhenverstellbare Kombiauslauf muss auf die passende Höhe eingestellt werden. Damit der gewählte Becher gut unter den Auslauf passt und der Becher vom Roboter angehoben werden kann, muss bei dieser Maschine die höchste Einstellung für den Auslauf gewählt werden. Diese Elemente sind der Abbildung 14 zu entnehmen.



Abbildung 15: Bedienelemente der „JURA Z6“ (JURA Elektroapparate AG, 2016)

Relevante System-Einstellungen, die für die Ermittlung der Ausgabeleistung notwendig sind, können bei der „JURA Z6“ über den „Rotary Switch“ und über die variablen Tasten getätigt werden (siehe Abb. 15). Zunächst kann über längeres Drücken der mittleren Taste am „Rotary Switch“ das Funktionsmenü aufgerufen werden. Es kann das Reinigungsprogramm aufgerufen werden, das, wie zu Beginn der vorliegenden Arbeit beschrieben, vor Versuchsstart durchgeführt werden muss. Des Weiteren kann über den „Rotary Switch“ eingestellt werden, wo auf dem „Home“-Bildschirm die einzelnen Heißgetränke zur Auswahl stehen. Dies ist relevant für die spätere Programmierung des Roboters, da dieser so eingestellt wird, dass er stets die gleiche Taste drückt. An dieser Stelle ist dann das zu testende Heißgetränk zu platzieren. Ebenfalls können im Einstellungsmenü des Kaffeevollautomaten auch die Temperatur, Auslaufmenge und Kaffeebohnenmenge eingestellt werden. Nach der „DIN-Norm 18873-2:2016-02“ werden verschiedene Vorgaben gemacht. Die Auslaufmenge kann in ml eingestellt werden. Für die Temperatur und die Kaffeebohnen kann nur eine Einstellung in Stufen vorgenommen

werden. Durch Tests vorab sollten hier die optimalen Einstellungen nach Normvorgaben getätigt werden.

Die Tasten sind darauf ausgerichtet von menschlichen Fingern gedrückt zu werden, daher muss auch der Testaufsatz für den „DOBOT Magician“ eine ähnliche Form besitzen. Bei Vorversuchen wurde festgestellt, dass ein Abrutschen des Testaufsatzes an den Tasten trotz passender Form leicht möglich war. Dies wurde mit dem Anbringen eines Filzaufklebers auf der Testtaste umgangen.

3.4 Weitere benötigte Materialien

In diesem Kapitel werden weitere Materialien und Bauteile aufgeführt, die für den Versuchsaufbau neben dem „DOBOT Magician“ benötigt werden. Eine genauere Erläuterung der wichtigsten Teile findet sich in den Unterkapiteln.

Für die Ermittlung der Ausgabeleistung wurde sich für Einzeltassen „Cafe Creme“ (125 ml) entschieden. Es wird also für den Versuchsaufbau keine Milch benötigt. Benötigte Materialien sind:

- Becher mit ausreichendem Fassungsvermögen
- Waage
- Temperaturmessfühler mit passender Apparatur zum Einführen in den Becher
- Lappen zum Abwischen des Temperaturmessfühlers
- Kaffeebohnen
- Wasser
- Behälter zum Entleeren des Becherinhalts
- Aufsatz für „DOBOT Magician“ zum Anheben der Becher
- Lichtsensor zur Erfassung des Betriebszustandes des Kaffeevollautomaten und entsprechende Kabel
- PC zum Starten der Software „DobotStudio“
- PC zur Erfassung der Messwerte über „MCPS“
- Messgeräte zur Erfassung der gewünschten Parameter wie Temperatur und Leistung (hier „Yokogawa WT330“ und „MX100“)

3.4.1 Entwurf eines neuen Testaufsatzes für „DOBOT Magician“

Es wurde festgestellt, dass die beiliegenden Aufsätze des „DOBOT Magicians“ nicht für den Versuchsaufbau geeignet sind. Der beiliegende Aufsatz „Greifer“ ist für den gewählten Versuchsaufbau aufgrund der Größe der Anschlüsse, die nicht unter den Auslauf des Kaffeevollautomaten passen, ungeeignet (siehe Abb. 16). Zusätzlich erweist sich das hohe Eigengewicht (283 g) als limitierender Faktor im Hinblick auf die maximale Traglast (500 g). Daher musste ein neuer Testaufsatz entwickelt werden.

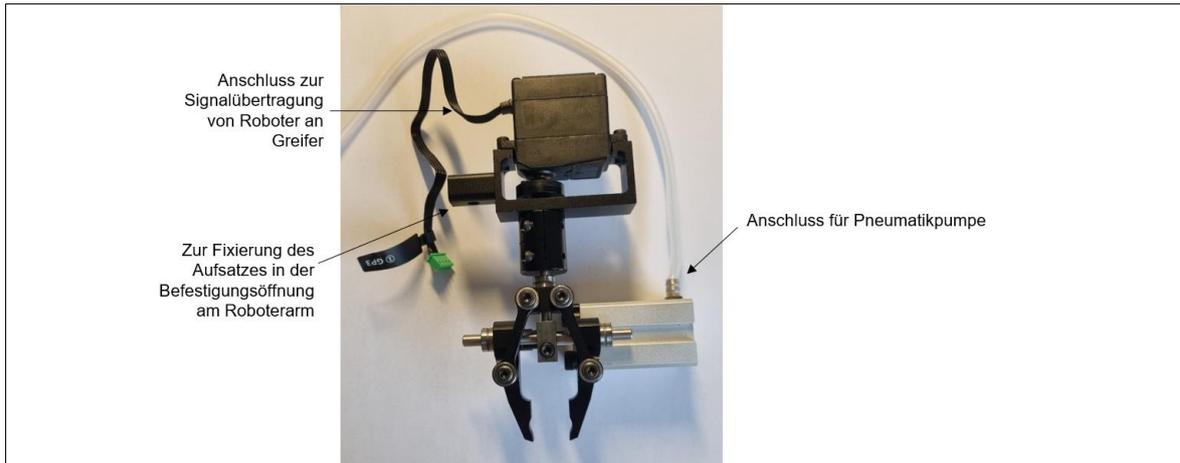


Abbildung 16: "Greifer" mit Anschlüssen (eigene Darstellung)

Auch wenn der vorhandene „Greifer“ für einen Einsatz unter großen Kaffeevollautomaten geeignet sein kann, empfiehlt sich ein universeller Aufsatz. Dieser Testaufsatz wurde für den hier beschriebenen Versuchsaufbau entwickelt. Die Funktionen "Heben des Bechers" und "Drücken der Taste" werden hierbei vereint.

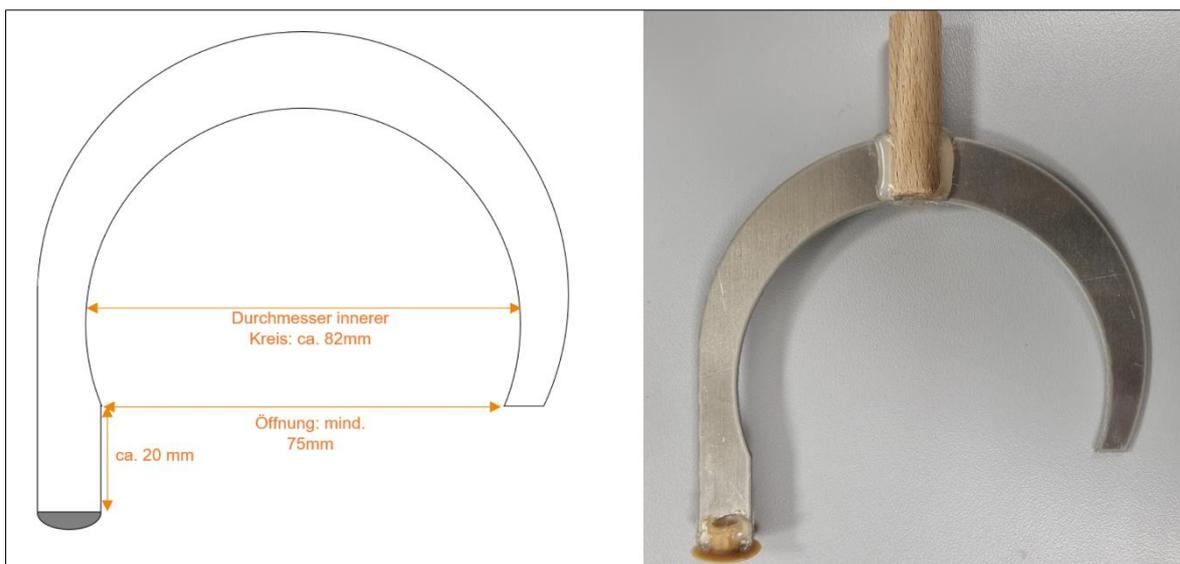


Abbildung 17: Testaufsatz „Becherheber“ (eigene Darstellung)

Die Entscheidung fiel auf eine runde Gabel (siehe Abb. 17), die im inneren Durchmesser etwas kleiner ist als der Außendurchmesser des Pappbechers am oberen Rand. Durch die konische Form des Bechers kann der Testaufsatz „Becherheber“ von unten an den Becher heran und dann nach oben geführt werden, sodass der Becher in der Gabel stecken bleibt. Der Becher kann danach transportiert und wieder abgestellt werden, indem der „Becherheber“ nach unten geführt und dann herausgezogen wird. Im Vorfeld wurde ein konisch geformter Becher mit einem Fassungsvermögen von ca. 400 ml und einem Außendurchmesser an der oberen Öffnung von ca. 9 cm ausgewählt, auf den der Aufsatz angepasst wurde. Der Becherheber eignet sich demnach nicht zum Hochheben von Bechern mit kleinerem oder größerem Durchmesser.

Die Aufgabe des Tastendrückens wurde durch die Verlängerung einer Seite des „Becherhebers“ gelöst. Diese Verlängerung ist relevant, da es sonst beim Tastendrücken zu einer Beschädigung am Display der Maschine durch die andere Seite des „Becherhebers“ kommen kann. Zudem sorgt die Verlängerung dafür, dass der Roboter sich weniger weit nach vorne beugen muss, um an die Taste zu kommen. Der Bewegungsspielraum nach vorne wird also leicht vergrößert. Zu lang darf die Verlängerung hingegen auch nicht sein, da sonst die Gabel mit dem Becher nicht mehr unter den Kaffeefullautomaten passt. Das Metallende der verlängerten „Becherheber“-Seite ist ungeeignet, um eine Taste zu drücken, da es zu scharfkantig und flach ist. Das Tastendrücken wurde durch das Anbringen einer Abdeckkappe für Bohrlöcher am Ende der Greifgabel realisiert.

Als Material wurde 1,5 mm dickes Aluminium gewählt, das sowohl stabil genug ist, um einen Becher mit Flüssigkeit zu transportieren, als auch leicht genug, um die maximale Tragkraft von 500 g des Roboters nicht auszureizen. So können auch größere Kaffeemengen pro Becher realisiert werden. Das Gesamtgewicht des selbst entwickelten Aufsatzes beträgt 14 g, was einen deutlichen Gewichtsvorteil gegenüber dem „Greifer“ hervorbringt.



Abbildung 18: Multitool
(reichelt elektronik
GmbH & Co. KG, 2022)

Der Testaufsatz sollte ursprünglich an einem Multitool (siehe Abb.18), das speziell für neue Aufsätze am „DOBOT Magician“ entwickelt wurde, mit Schrauben fixiert werden. Dieses wird dann in den Roboterarm eingeführt. Aufgrund von Lieferschwierigkeiten wurde alternativ ein geschlitzter 12 mm dicker Holzstab verwendet, der ebenfalls fest in der Befestigungsöffnung für Aufsätze mit einer M4 Stellschraube fixiert werden kann. Die Befestigungsöffnung für Aufsätze ist in Abbildung 19 zu sehen.

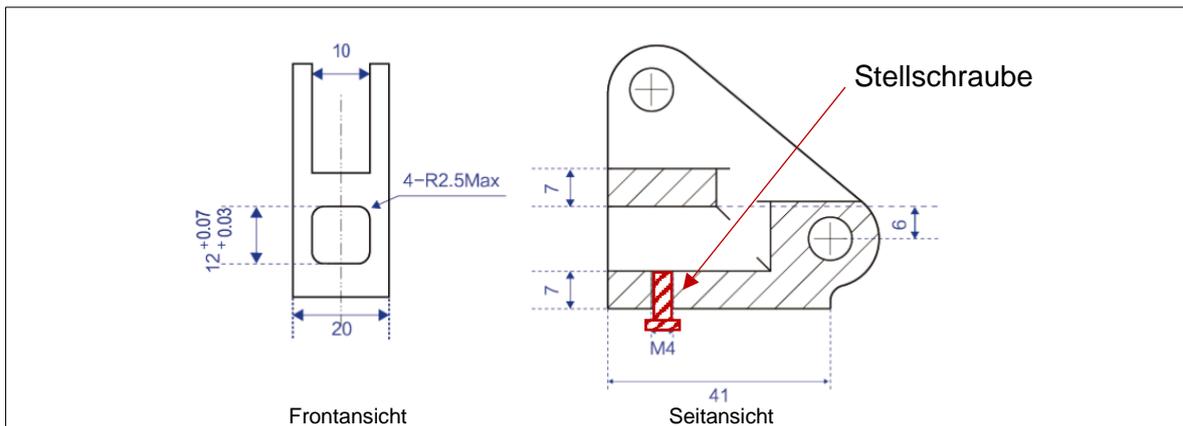


Abbildung 19: Befestigungsöffnung für Aufsätze (DOBOT, 2020)

3.4.2 Temperaturmessfühler mit passender Apparatur

Zur Temperaturmessung des gebrühten Getränkes im Becher musste ein Temperaturmessfühler mit passender Apparatur zum Einführen in den Becher entwickelt werden, damit die Messung vereinfacht und immer auf der gleichen Füllhöhe des Bechers erfolgen kann. Abbildung 20 zeigt den schematischen Aufbau der verwendeten Apparatur, die durch Metallstäbe und Gelenke geschaffen wurde. Diese Apparatur ist so ausgelegt, dass sie über eine Hebelbewegung per Hand bedient werden muss. Eine Bedienungsmöglichkeit durch den Roboterarm war mit den vorhandenen Ressourcen nicht möglich.

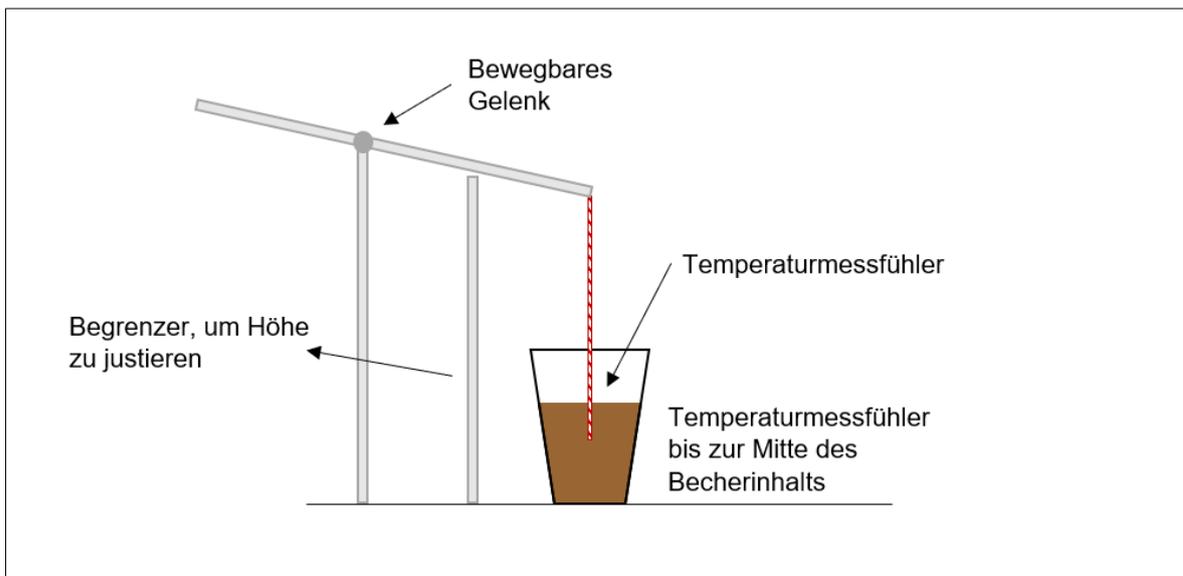


Abbildung 20: Apparatur mit Temperaturmessfühler (eigene Darstellung)

3.4.3 Lichtsensor: Signalübertragung von Kaffeefullautomat an Roboter

Zur automatischen Übertragung des Betriebszustandes des Kaffeefullautomaten soll ein Lichtsensor verwendet werden, der zwischen zwei Helligkeitsstufen unterscheiden kann. Der Roboter soll damit feststellen, wann der Kaffeefullautomat mit dem Brühen des Kaffees fertig ist. Hierfür wurde der Lichtsensor des Herstellers „Berry Base“ gewählt. Ein akustischer Sensor ist ausgeschlossen worden, da davon auszugehen war, dass dieser durch Nebengeräusche im Raum gestört werden könnte. Zudem können die vom Roboter verursachten Geräusche ebenfalls zu Störungen des Sensors führen.

Für die Ermittlung des Betriebszustandes des Kaffeefullautomaten muss ein passendes Lichtsignal am Kaffeefullautomaten gefunden werden. In einem Vorversuch sollte herausgefunden werden, ob sich die Bildschirmanzeige des Kaffeefullautomaten vor, während und nach dem Brühen eignet, um zu ermitteln, wann der Kaffeebezug abgeschlossen ist. Abbildung 21 stellt die verschiedenen Zustände dar. Links ist der Bildschirm des bereiten Kaffeefullautomaten zu sehen. Es kann ein Heißgetränk bezogen werden. In der Mitte ist zu sehen, dass der Kaffeefullautomat einen Kaffee brüht. Rechts wird angezeigt, dass der Bezug abgeschlossen ist. Kurz darauf erscheint wieder der Startbildschirm.



Abbildung 21: Betriebszustände auf dem Display des Kaffeefullautomaten „JURA Z6“ (eigene Darstellung)

Im Auswahlmenü oben rechts ist eine Milchportion zu erkennen. Wenn die Maschine keinen Kaffee brüht, wird an dieser Stelle ein Helligkeitssignal ausgegeben. Wenn der Kaffee gebrüht wird, verdunkelt sich der Bildschirm an dieser Stelle (siehe Abb. 21 grüner Kreis). Somit konnte der Bildschirm bzw. die Milchportion auf dem Bildschirm als passender Indikator für den Betriebszustand identifiziert werden. Der Lichtsensor wurde an dieser Stelle fixiert und mit Schaumstoffmaterial abgedunkelt, um Störeinflüsse auszuschließen (siehe Abb. 22). Die Leuchtanzeige am Auslauf konnte als Lichtindikator ausgeschlossen werden, da diese Leuchte viel länger leuchtet, als der Kaffeebezug dauert. Der „Rotary Switch“ gibt ebenfalls ein passendes Leuchtsignal während des Kaffeebrühens aus, jedoch

ist die Leuchte nicht stark genug, damit der Lichtsensor Unterschiede feststellen kann. Ein Video zu diesem Vorversuch ist im Anhang verlinkt.

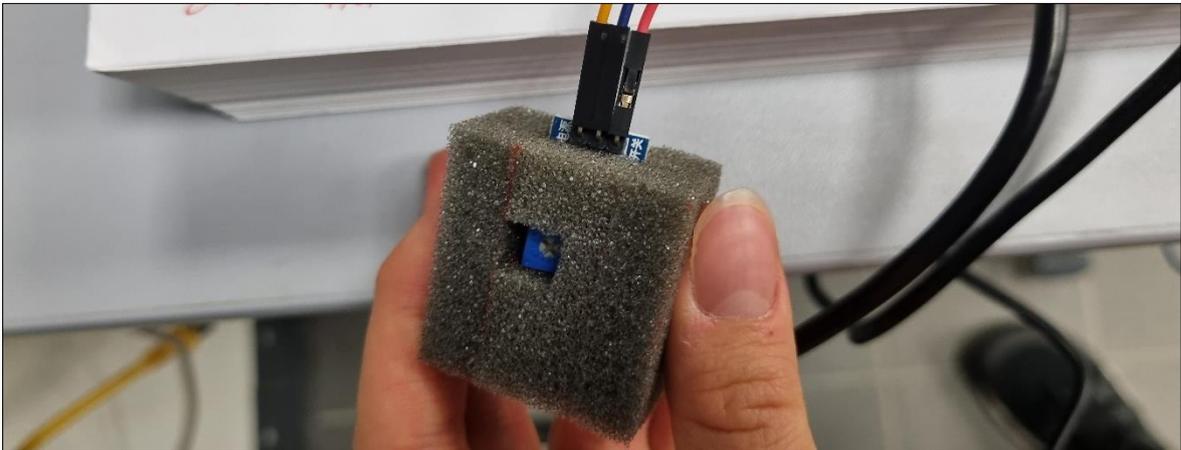


Abbildung 22: Abgedunkelter Lichtsensor (eigene Darstellung)

Im Folgenden werden die genaueren technischen Daten des Lichtsensors erläutert. Um den Lichtsensor in Betrieb zu nehmen, wird eine Spannung von 3,3-5 V Gleichspannung benötigt. Diese kann über den Anschluss „VCC“ angelegt werden (siehe Abb. 23). Zudem besitzt der Lichtsensor einen Anschluss für Ground (GND). Der High-Low-Ausgang (DO) gibt ein Digitalsignal aus (Sertronics, 2022). Bei einer Eingangsspannung von 5 V wurde das Low-Signal bei 0,173 V und das High-Signal bei ca. 5 V bestimmt.

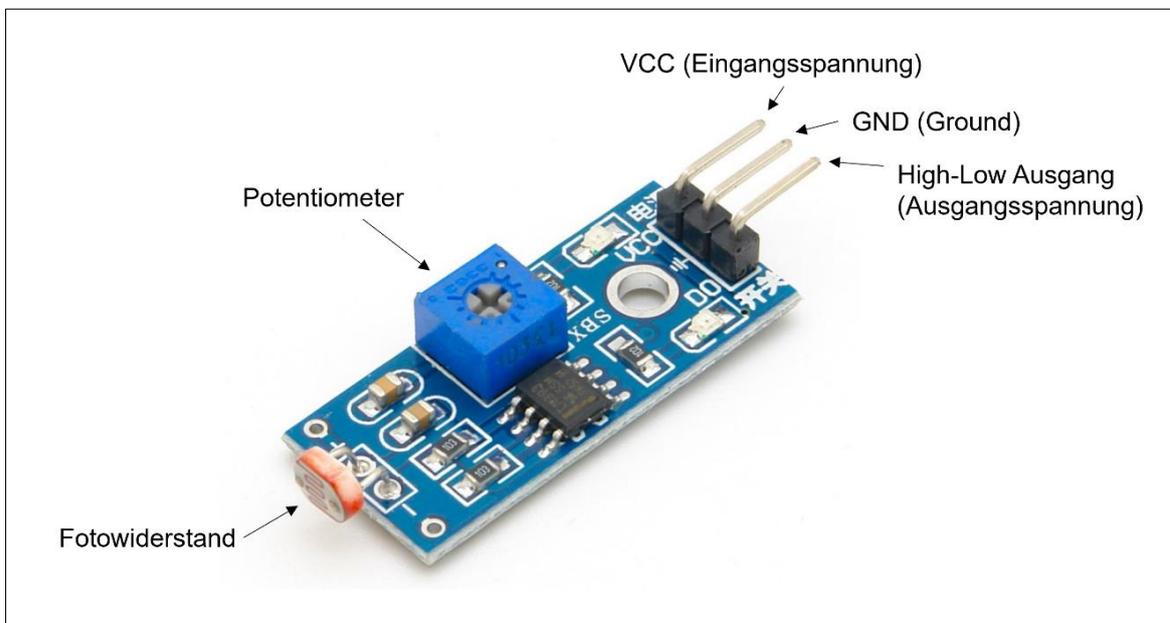


Abbildung 23: Lichtsensor vom Hersteller „Berry Base“ (modifiziert nach (Sertronics, 2022))

Es handelt sich bei diesem Lichtsensor um einen Fotowiderstand. Hierbei wird der innere fotoelektrische Effekt des Halbleitermaterials genutzt, dessen Eigenleitfähigkeit durch von Licht freigesetzten Ladungsträgern vergrößert wird (Dugge & Eißner, 2002).

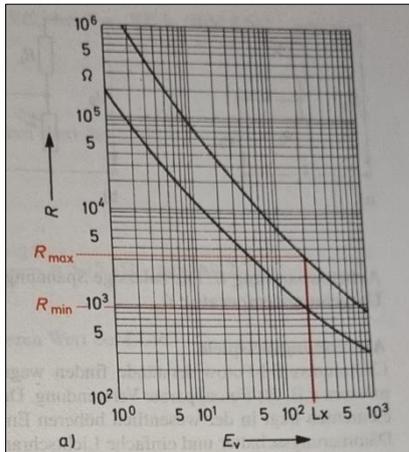


Abbildung 24: Widerstand R und Beleuchtungsstärke E_v von Fotowiderstand „RPY 61“ (Dugge & Eißner, 2002)

Mithilfe eines Potentiometers kann der Schwellenwert für den Widerstand am Lichtsensor eingestellt werden. Der Widerstand ist abhängig von der Beleuchtungsstärke E_v . Der Widerstand wird bei zunehmender Beleuchtung kleiner, wodurch sich auch die Ausgangsspannung verringert (Dugge & Eißner, 2002). Abbildung 24 zeigt dies beispielhaft für den Fotowiderstand „RPY 61“. Durch das Potentiometer kann also eingestellt werden, bei welchem Widerstand und somit bei welcher Beleuchtungsstärke der Fotowiderstand ein Low- oder High-Signal ausgeben soll. Ein High-Signal von 5 V wird ausgegeben, wenn die Beleuchtungsstärke niedrig ist. Ein Low-Signal von 0,173 V wird ausgegeben, wenn die Beleuchtung stärker ist.

Der „DOBOT Magician“ arbeitet mit einem 12 bit-System, welches nur digitale Signale, also die Binärzahlen 0 und 1, auswerten kann. Das ausgegebene Signal von 0 oder 5 V kann der Roboter noch nicht als digitales Signal verstehen, sodass es über den „Analog-to-Digital Converter“ (ADC) übersetzt werden muss. Der „DOBOT Magician“ hat die Möglichkeit einen Wertebereich zwischen 0 und 4095 auszuwerten, was einem 12 bit System entspricht. Dies bedeutet für ein Intervall von 0-5 V in der digitalen Übersetzung, dass 0 V dem Wert 0 und 5 V dem Wert 4095 entspricht (In-Position Technologies, 2017). Im „DobotStudio“ kann ein Wert „größer oder kleiner als“ eingegeben werden. Aufgrund des vorliegenden Intervalls wurde ein Wert größer oder kleiner als 3 V gewählt. Übersetzt bedeutet 3 V dann 2457 im 12 bit-System (>2457 bei Dunkel, <2457 bei Hell).

In Abbildung 25 sind die Beleuchtungsstärke während der Betriebsphasen und die damit einhergehenden Ausgangsspannungen zusammenfassend skizziert. Der Roboterarm soll immer dann pausieren, wenn der Bildschirm dunkel ist und sich bei Helligkeit bewegen.

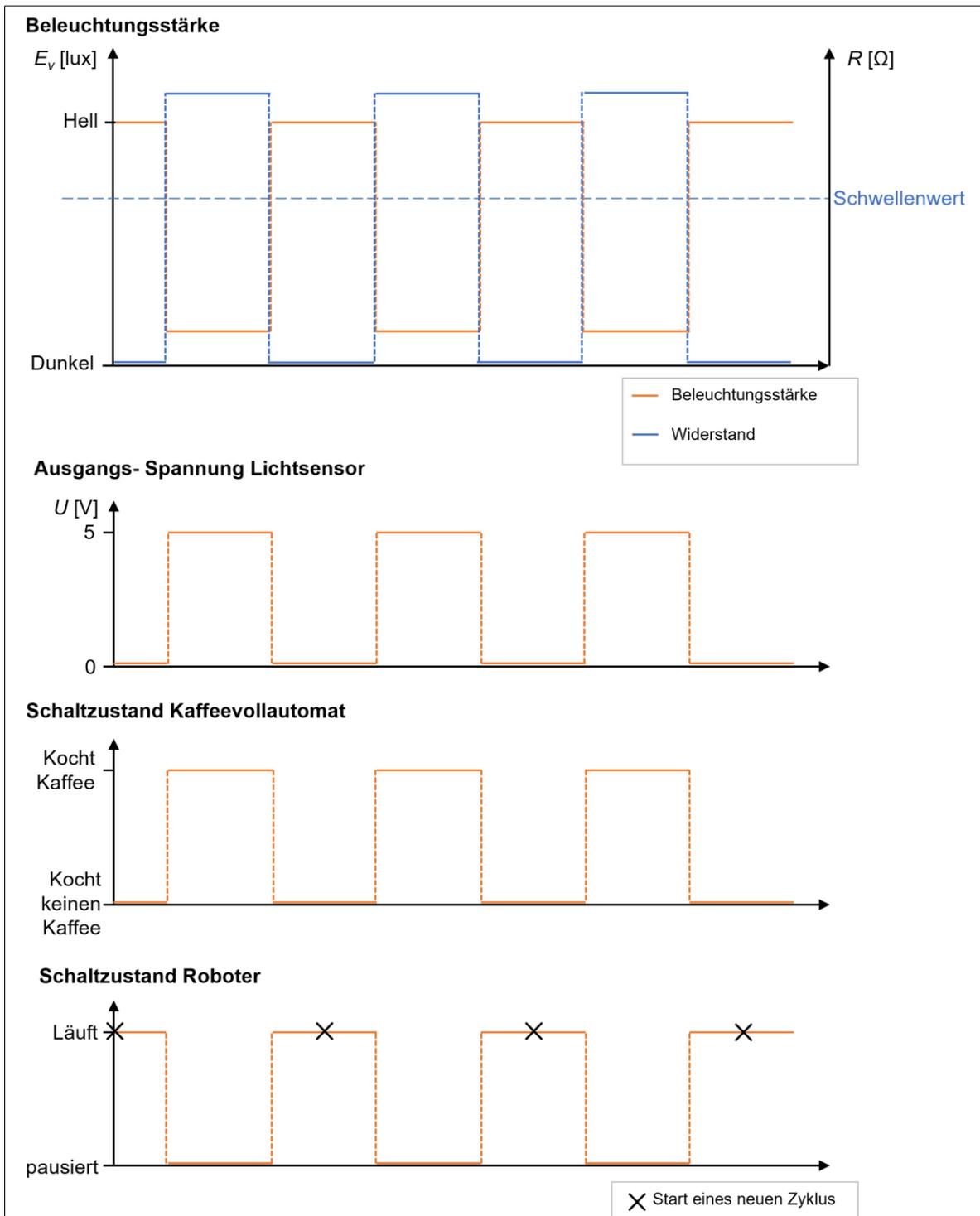


Abbildung 25: Skizze zur Beleuchtungsstärke und Ausgangsspannung während der Betriebsphasen des Kaffeevollautomaten (eigene Darstellung)

Zum Anschluss von Sensoren an den „DOBOT Magician“ stehen funktional unterschiedliche Interfaces zur Verfügung. Wie der Anschluss im Versuchsaufbau stattgefunden hat, ist in Abbildung 26 und 27 dargestellt. Um den Lichtsensor mit einer Spannung von 5 V zu versorgen, wurde das „Communication Interface“ gewählt, das zwei

5 V Ausgänge besitzt. Zudem konnte hier auch der „GND“ angeschlossen werden. Für diese beiden Anschlüsse muss keine weitere Einstellung in der Programmierung stattfinden, da diese automatisch ihre Funktion ausführen.

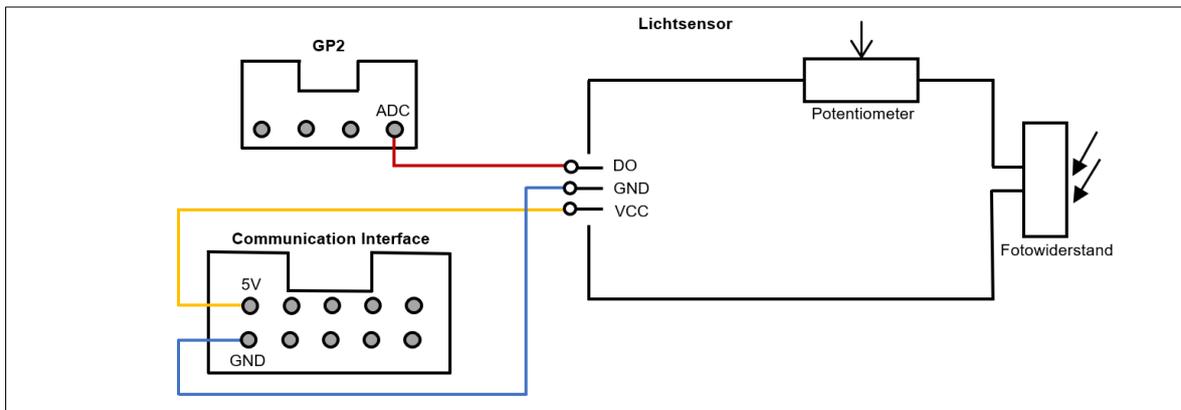


Abbildung 26: Schematische Darstellung: Anschluss des Fotosensors an den „DOBOT Magician“ (eigene Darstellung)

Der „DOBOT Magician“ besitzt verschiedene „Inputs und Outputs“ (I/Os), die Signale von Sensoren empfangen und aussenden können. Für die Signalübertragung der Ausgangsspannung des Lichtsensors musste wie oben beschrieben ein „ADC“-Eingang gewählt werden, damit das Signal für den Roboter lesbar wird. Dieser „ADC“-Eingang kann mit Spannungssignalen bis 5 V gespeist werden und wird im betriebseigenen System als „EIO15“ bezeichnet. Dies wird relevant für die Programmierung des Bewegungsablaufes des Roboters für den Kaffeebezug, da hier die einzelnen „I/Os“ über die speziellen Bezeichnungen angesteuert werden können. In der Zeile bei der Programmierung des Bewegungsablaufes, in der diese „I/Os“ eingestellt werden, wartet der Roboterarm so lange auf das Spannungssignal, bis er diese Bewegung ausführt.



Abbildung 27: Anschluss des Fotosensors an den „DOBOT Magician“ (Eigene Aufnahme)

4 Problemlösung und Ergebnisse

4.1 Anforderungen an den Bewegungsablauf

Dieses Kapitel führt die einzelnen Abschnitte auf, die der „DOBOT Magician“ abfahren muss, um den Becher unter den Kaffeefullautomaten zu stellen, die Taste zum Starten des Kaffeebezugs zu drücken und den vollen Kaffeebecher auf die Waage zu stellen. Dazu werden die Bewegungsebenen aufgeführt.

1. Vor bereitgestellten Becher fahren (horizontal)
2. Unten an den Becher heranfahren (horizontal)
3. Becher anheben (vertikal)
4. Becher im angehobenen Zustand unter den Auslauf über die Tassenplattform führen (horizontal)
5. Becher auf der Tassenplattform abstellen, indem der Roboterarm nach unten geführt wird (vertikal)
6. Arm unten aus dem Becher ziehen, sodass sich Arm vor dem Kaffeefullautomaten befindet (horizontal)
7. Arm in einer Linie nach oben vor den Kaffeefullautomaten führen (vertikal)
8. Taste drücken, indem der Arm in einer Linie auf die Taste zubewegt wird (horizontal)
9. Den Arm wieder zurück oben vor den Kaffeefullautomaten führen (horizontal)
10. Arm in einer Linie nach unten vor den Kaffeefullautomaten führen (vertikal)
11. Unten an den Becher heranfahren, der auf der Tassenplattform steht (horizontal)
12. Roboterarm nach oben führen und den Becher damit anheben (vertikal)
13. Becher im angehobenen Zustand zur Waage führen (horizontal)
14. Becher auf Waage abstellen, indem der Roboterarm nach unten geführt wird (vertikal)
15. Den Becherheber aus dem Becher herausziehen, sodass sich der Roboterarm vor der Waage befindet (horizontal)

Diese Schritte sind in den Abbildungen 28 und 29 mit blauen Pfeilen markiert (siehe Kapitel 4.3). In der Umsetzung in „Teaching & Playback“ müssen diese Bewegungsabläufe nun in Punkte/Positionen umgesetzt werden, weil dort, wie in Kapitel 3.2.3 erklärt, mit „PTP“ gearbeitet wird. Im Kapitel 4.3 wird darauf näher eingegangen.

4.2 Auswahl des Programmiermodus

Wie in Kapitel 3.2.2 beschrieben, lässt sich der Versuchsaufbau mit den Programmiermodi „Blockly“ oder „Teaching & Playback“ einrichten. Aufgrund der beschriebenen Eigenschaften des Bewegungsmodus „MOVJ“ ist anzunehmen, dass ein vollständiger Ablauf mit „Teaching & Playback“ weniger Zeit benötigt als mit „Move to“ bei „Blockly“. Dies konnte in einem Vorversuch nachgewiesen werden. Ein Durchlauf bei Maximalgeschwindigkeit (ohne Wartezeit beim Brühvorgang) führte zu den Ergebnissen von 17 s bei „Teaching & Playback“ und 25 s bei „Blockly“. Die dazugehörigen Videos zu diesem Vorversuch sind im Anhang D verlinkt. In Anbetracht dieser Ergebnisse wurde entschieden, die endgültige Programmierung des Versuchsaufbaus ausschließlich mit „Teaching & Playback“ fortzuführen.

4.3 Versuchsaufbau

Die beiden folgenden Abbildungen stellen den Versuchsaufbau dar. Dabei wurde der Arbeitsbereich des „DOBOT Magicians“ mit den Versuchsgeräten so kombiniert, dass der Roboterarm alle notwendigen Stellen erreicht. Die blauen Pfeile zeigen den Bewegungsablauf des Roboterarmes.

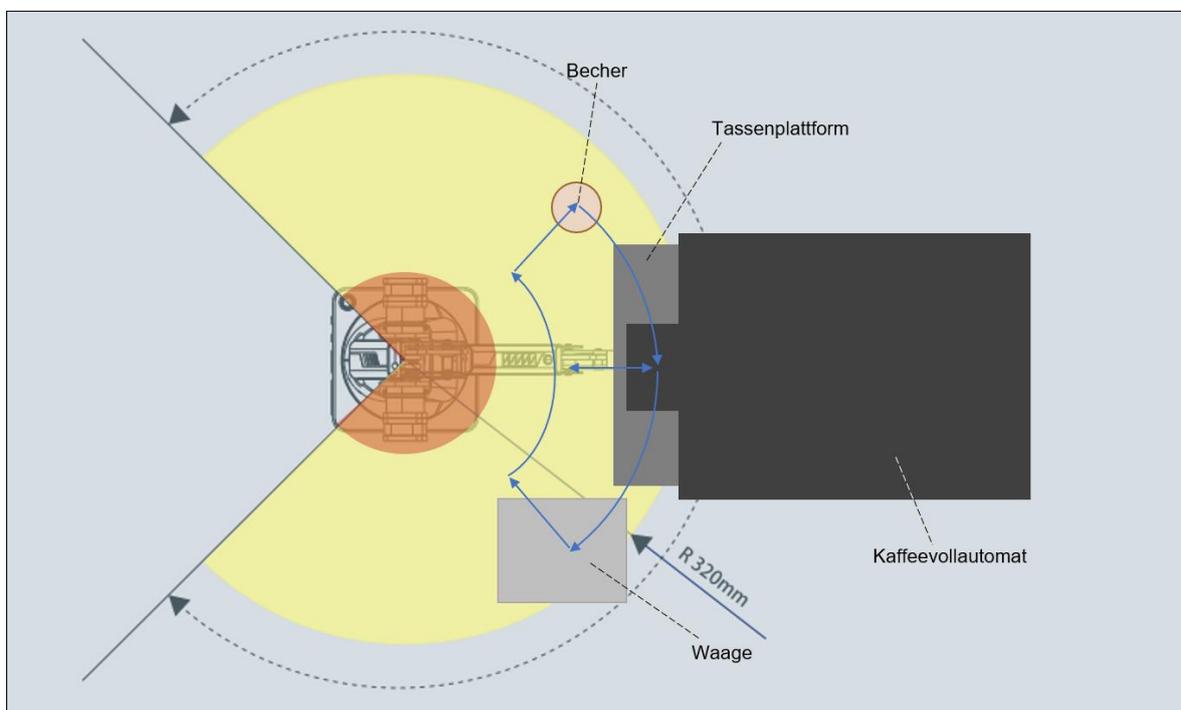


Abbildung 28: Schematischer Versuchsaufbau – Draufsicht (modifiziert nach (Variobotic GmbH, 2022))

Abbildung 28 zeigt in der Draufsicht, wie der Becher hin und her transportiert wird und wie der Roboterarm wieder zur Startposition zurückfährt (blaue Pfeile). Die Abbildung 29 zeigt an, wie sich der Roboter in der Seitenansicht vom Becherabstellen zum Knopfdrücken bewegt. Die genauen Bewegungsabläufe wurden bereits in Kapitel 4.1 aufgeführt.

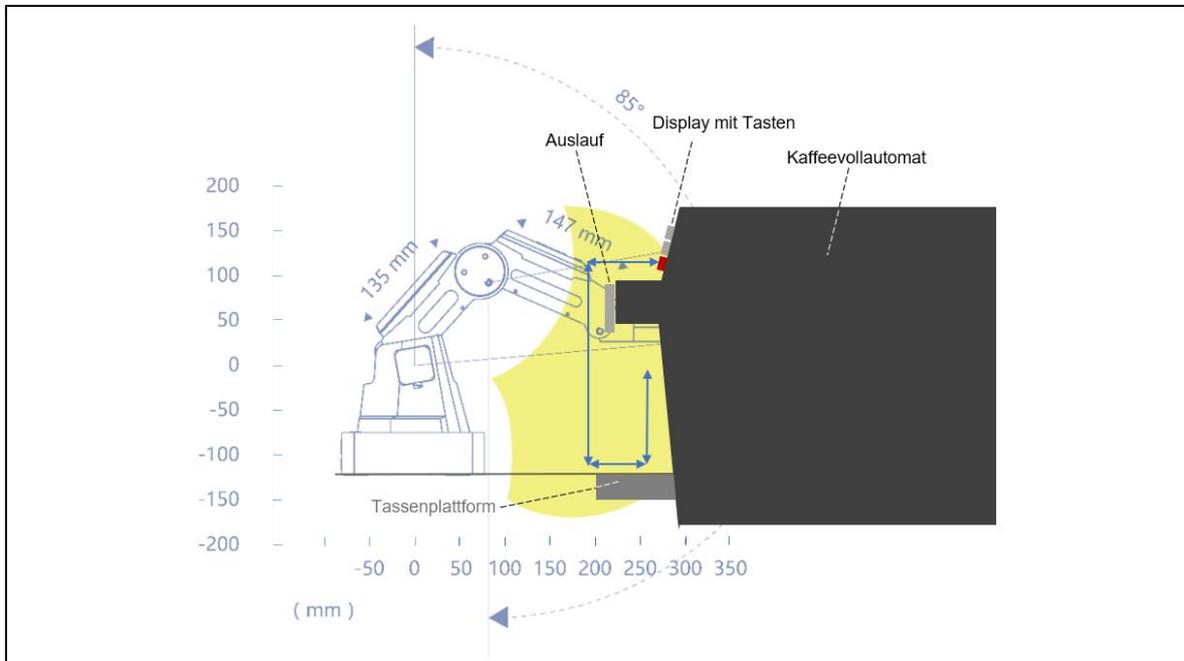


Abbildung 29: Schematischer Versuchsaufbau – Seitenansicht (modifiziert nach (DOBOT, 2020))

Der Becher steht im Versuchsaufbau auf der linken Seite des Kaffeevollautomaten und die Waage rechts (siehe Abb. 28). Die beiden Punkte „Becheraufnahme“ und Waage sind so positioniert, um die für den Roboterarm optimale Kreisbahn zu ermöglichen, was einer Geschwindigkeitsoptimierung für den Bewegungsmodus „MOVJ“ entspricht.

Der Roboterarm, die Tassenplattform des Kaffeevollautomaten, die Waage und der leere Becher wurden für den Versuchsaufbau zur Vermeidung unnötiger Bewegungsschritte auf einer Ebene angeordnet.

Der Höhenausgleich von Tassenplattform und „DOBOT Magician“ stellt sicher, dass sich der Kaffeevollautomat auf jeden Fall im Arbeitsbereich des „DOBOT Magicians“ befindet. Hier hat sich als sinnvoll erwiesen, die einzelnen Bewegungsabläufe mit dem eingeschalteten „DOBOT Magician“ vorerst mithilfe des „Lock-Buttons“ händisch abzugehen. Als besonders kritischer Punkt hat sich das „Tastendrücken“ herausgestellt, da hier der Arbeitsbereich des „DOBOT Magician“ im Versuchsaufbau am ehesten ausgereizt wird. Am besten wird der „DOBOT Magician“ für diesen Test noch nicht mit „DobotStudio“ und „Teaching & Playback“ verbunden, da sonst die Koordinaten direkt in das Programm übernommen werden.

Der Lichtsensor wurde, wie in Kapitel 3.4.3 beschrieben, fixiert und verbunden. Die Konstruktion zur Messung der Temperatur wurde am Versuchstisch über der Waage so fixiert, dass der Temperaturmessfühler über einen Hebel per Hand in den Becher abgesenkt werden kann.

Die Abbildungen 30 und 31 zeigen Fotos des fertigen Versuchsaufbaus.

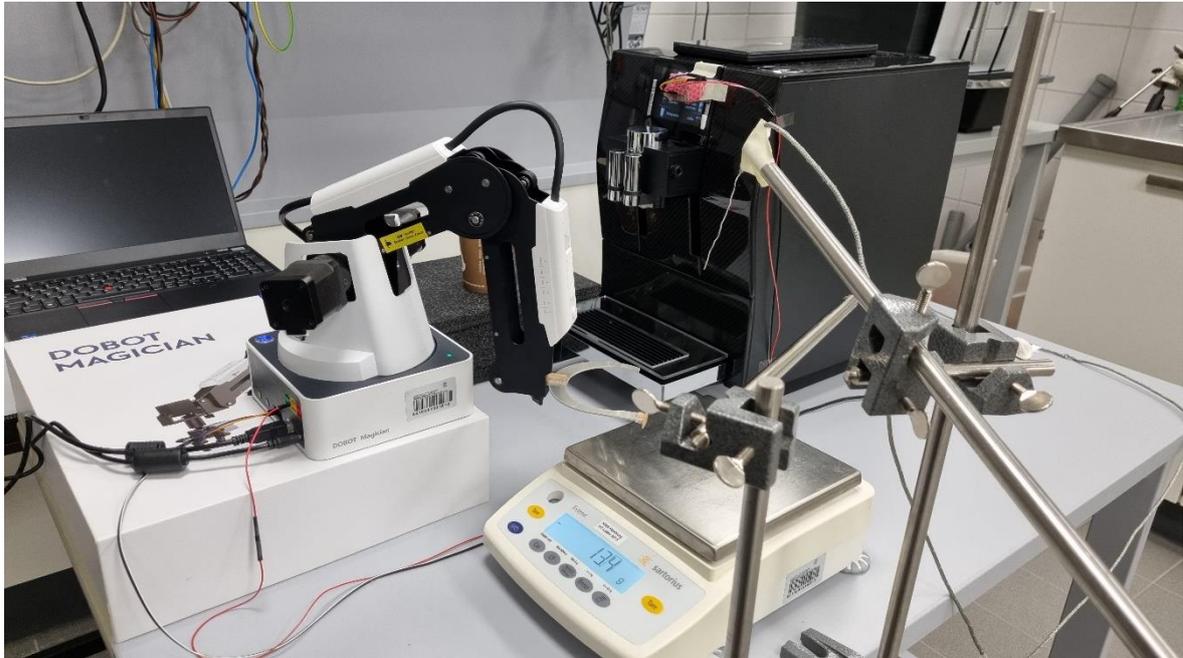


Abbildung 30: Finaler Versuchsaufbau (eigene Aufnahme)



Abbildung 31: Finaler Versuchsaufbau (eigene Aufnahme)

4.4 Programmierung der Software „DobotStudio“ mit „Teaching & Playback“

Nachdem die einzelnen Bewegungsabläufe definiert wurden und der Aufbau der Versuchsumgebung abgeschlossen ist, kann der „DOBOT Magician“ mithilfe des Programms „DobotStudio“ im „Teaching & Playback“-Modus programmiert werden. Vorgegangen wurde dabei wie in Kapitel 3.2.2 beschrieben. Das heißt, der Roboter wurde mithilfe des „Lock-Buttons“ per Hand in die gewünschten Positionen gebracht. Nach jedem Schritt wurde dem neuen Punkt in „DobotStudio“ ein Name zugewiesen. Während der Programmierung sollte der Kaffeevollautomat ausgeschaltet sein, da sonst bereits Kaffee bezogen wird. Punkte, die im Bewegungsablauf häufiger angefahren werden, können kopiert und an richtiger Stelle eingefügt werden. Der vollständig programmierte Ablauf ist in Abbildung 32 zu sehen. Dort sind die Punkte, die sich wiederholen, mit dem gleichen Buchstaben versehen. Der Bewegungsmodus für die einzelnen Schritte wurde so angepasst, dass lediglich die Strecke von unten vor dem Kaffeevollautomaten nach oben vor den Kaffeevollautomaten und von dort aus zum Drücken der Taste mit „MOVL“ gestaltet wurde. Ansonsten wäre der Roboterarm an den Auslauf des Kaffeevollautomaten gestoßen (siehe Abb. 29). Gleiches gilt für die Bewegung in die umgekehrte Richtung. Alle anderen Bewegungsabläufe konnten mit „MOVJ“ realisiert werden.

Option	MotionStyle	Name	X	Y	Z	R	PauseTime	SuctionCup	Trigger_IO	Condition	Value
	MOVJ	Vor Becher	165.2826	117.4219	-96.7333	35.3912	0.0	SuctionCupOff			
	MOVJ	Becher unten	231.0392	169.6604	-85.0629	36.2912	0.0	SuctionCupOff			
	MOVJ	Becher angehoben	241.5625	170.6079	-12.1081	35.2324	0.0	SuctionCupOff			
	MOVJ	(A) Becher angehoben unt...	292.0977	-2.2942	-15.0436	-0.45	0.0	SuctionCupOff			
	MOVJ	(B) Becher abgestellt unter...	286.9405	0.3977	-107.8025	0.0794	0.0	SuctionCupOff			
	MOVJ	(C) Vor KV unten	192.8673	-1.9604	-82.7012	-0.5824	0.0	SuctionCupOff			
	MOVL	(D) Vor KV oben	231.0277	-4.9105	112.122	-1.2177	0.0	SuctionCupOff			
	MOVL	Taste drücken	305.456	1.4112	95.0318	0.2646	0.0	SuctionCupOff			
	MOVL	(D) Vor KV oben	231.0277	-4.9105	112.122	-1.2177	0.0	SuctionCupOff			
	MOVL	(C) Vor KV unten	192.8673	-1.9604	-82.7012	-0.5824	0.0	SuctionCupOff			
	MOVJ	(B) Am Becher unten unter KV	286.9405	0.3977	-107.8025	0.0794	2.0	SuctionCupOff			
	MOVJ	(A) Becher angehoben unt...	292.0977	-2.2942	-15.0436	-0.45	0.0	SuctionCupOff	EIO15_ADC	<	2457
	MOVJ	Becher angehoben übe...	182.3041	-225.8371	-14.4226	-51.0883	0.0	SuctionCupOff			
	MOVJ	Becher abgestellt (auf Waage)	179.4499	-222.5115	-95.7447	-51.1147	0.0	SuctionCupOff			
	MOVJ	Vor Waage	123.5933	-157.3746	-92.9212	-51.8559	0.0	SuctionCupOff			

Abbildung 32: Programmierung des Bewegungsablaufes in "DobotStudio" mit "Teaching & Playback" (Screenshot aus "DobotStudio")

Nachdem alle Punkte im Bewegungsablauf eingestellt wurden, wurde eine schrittweise Testung des Bewegungsablaufes mithilfe von „StepRun“ durchgeführt. So konnte sichergestellt werden, dass der Becher richtig transportiert wird, keine Hindernisse den Bewegungsablauf stören, der Knopf des Kaffeevollautomaten gedrückt werden kann und auch die Bewegungsmodi passend sind.

Im Anschluss wurde der Lichtsensor mit dem Programm verknüpft. Der Eingang „EIO15_ADC“ wurde zum Punkt „Becher angehoben unter KV“ mit der Bedingung < 2457 hinzugefügt, da diese Bewegung erst ausgeführt wird, wenn der Bildschirm von dunkel auf hell schaltet (siehe Kapitel 3.4.3). Es zeigte sich, dass der Sensor auf den Wechsel der Helligkeit verzögert reagiert. Daher hat es sich bewährt, den Roboter im vorherigen Punkt 11 zwei Sekunden lang zu pausieren, damit das Signal über „hell“ oder „dunkel“ mit Sicherheit ankommt. So konnte sichergestellt werden, dass der Roboter zuverlässig erkennt, dass der Kaffeevollautomat fertig ist und nicht den Becher wegzieht, bevor der Brühvorgang abgeschlossen ist. Der Roboter wartet in der Position unten am Becher bis zum Abschluss des Brühvorgangs. So geht der Bewegungsablauf möglichst schnell weiter zum Abstellen des Bechers auf der Waage.

Für maximale Schnelligkeit wurden die Geschwindigkeit und die Beschleunigung jeweils auf 100% gestellt. Da der Versuch testweise mit zehn Bechern durchgeführt werden sollte, wurde der „Loop“ auf zehn Wiederholungen gestellt.

Die Spalte „SuctionCup“ kann vernachlässigt werden, da immer einer der vordefinierten Aufsätze ausgewählt sein muss. Jedoch wird dadurch keinerlei Aktion des Roboters erzeugt.

Das entsprechende Video zur tatsächlichen Durchführung des Versuches ist im Anhang D verlinkt.

4.5 Durchführung

Ziel der vorliegenden Arbeit ist die Testautomatisierung, nicht die Prüfung der Ausgabeleistung der „JURA Z6“. Daher wurde der Versuchsdurchlauf mit zehn Bechern durchgeführt, anstatt die Ausgabeleistung des Kaffeevollautomaten über eine Stunde zu bestimmen.

Eine Testperson war an dem Versuch beteiligt. Diese war dafür zuständig, den vorher erstellten Bewegungsablauf aus dem Programm „DobotStudio“ und die Messsoftware „MCPS“ zum Erfassen der Daten zu starten. Zudem müssen dem „DOBOT Magician“ stets

Becher an den gleichen Platz hingestellt und die Inhalte der befüllten, abgestellten Becher nach der Temperaturmessung entsorgt werden.

Die Geschwindigkeit des Kaffeebezuges wurde durch den Roboter limitiert, nicht durch die anwesende Testperson. Die Bewegungsabläufe von einem zum nächsten Becher gehen direkt ineinander über. Auch bei der Reaktion des Sensors, dass der Brühvorgang abgeschlossen ist, lag nur eine geringe Verzögerung vor, sodass diese zu vernachlässigen ist.

4.6 Messergebnisse eines Versuchsdurchlaufs mit „Teaching & Playback“

Der endgültige Versuchsaufbau auf Grundlage des „Teaching & Playback“-Modus ergab folgende Messergebnisse, die mithilfe des „Yokogawa WT330“ und des „MX100“ im Programm „MCPS“ aufgezeichnet wurden (siehe Abb. 33 und Abb. 34).

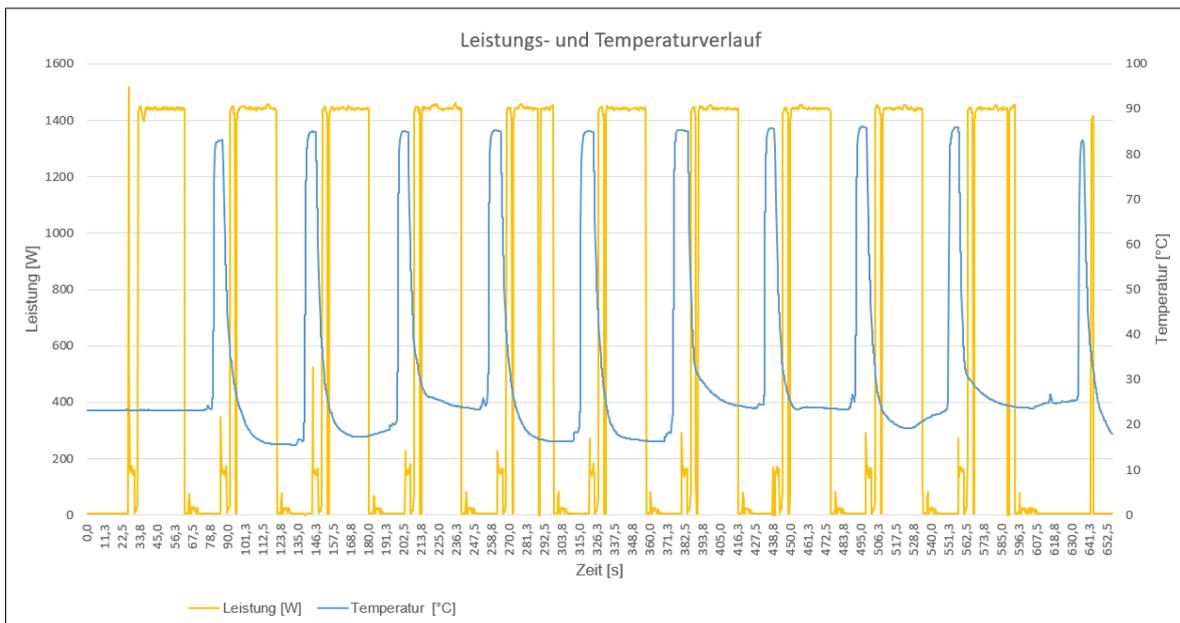


Abbildung 33: Leistungs- und Temperaturverlauf im Versuchsdurchlauf mit zehn Bechern (eigene Darstellung)

Der Leistungsverlauf ist gleichmäßig und lässt die einzelnen Kaffeebezüge erkennen. Die gemessene Temperatur der Kaffeebezüge (zu erkennen an den Peaks) schwankt kaum pro Tasse und die Temperatur befindet sich mit über 85°C stets über den in der „DIN-Norm 18873-2:2016-02“ geforderten 75°C (siehe Abb. 33).

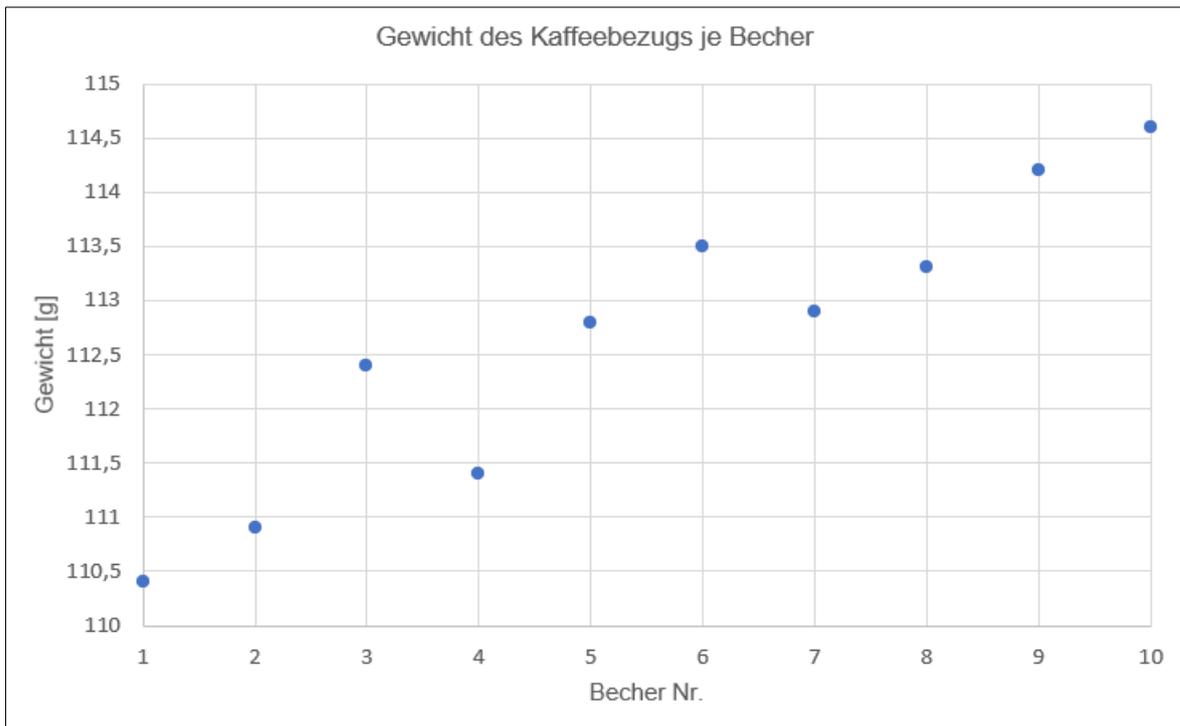


Abbildung 34: Gewichtsprotokollierung der zehn Kaffeebecher im Versuchsdurchlauf (eigene Darstellung)

Das Gewicht wurde von der Waage abgelesen, da eine Verbindung der Waage mit „MCPS“ aufgrund von Softwareproblemen nicht möglich war. Die Ergebnisse sind in Abbildung 34 aufgeführt. Hier ist eine Abweichung der einzelnen Ausgabemengen zu beobachten. Nach Betriebsanleitung der „JURA Z6“ soll „die voreingestellte Wassermenge des Kaffees [...] in die Tasse [fließen]“ (JURA Elektroapparate AG, 2016). Die zuvor eingestellte Bezugsmenge von 125 ml konnte jedoch für keinen Becher erreicht werden.

Der Bezug von zehn Bechern dauerte 9 min und 50 s, pro Becher entsprach dies 59 s.

5 Diskussion

In der Diskussion sollen die Ergebnisse abschließend erörtert werden. Das Ziel der Bachelorarbeit war es, ein automatisches Testsystem zu entwickeln, das verwendet werden kann, um die Testung der Ausgabeleistung an Kaffeevollautomaten zu vereinfachen.

Dieses Ziel konnte zu großen Teilen realisiert werden. Der Roboterarm „DOBOT Magician“ konnte so programmiert und in den Versuchsaufbau integriert werden, dass ein Versuchsablauf mit zehn Kaffeebezügen möglich war. Einschränkend muss aufgeführt werden, dass eine vollständige Automatisierung ohne Begleitperson nicht realisierbar war. Jedoch kann die durchführende Person stark entlastet werden.

Die Befüllung des Bohnenschachts und die Entleerung des Kaffeesatzbehälters und der Restwasserschale muss weiterhin händisch erfolgen. Hier haben sich einige Probleme herausgestellt. Erstens macht es der Versuchsaufbau unmöglich die Restwasserschale vollständig aus dem Kaffeevollautomaten zu ziehen, um die Schale zu entleeren. Der Kaffeesatzbehälter kann jedoch entnommen werden, auch wenn die Restwasserschale nicht vollständig herausgezogen wird. Das zweite Problem ist die Signalisierung an den Roboter, dass der Kaffeevollautomat ein Eingreifen erfordert. Das ausgegebene Displaysignal unterscheidet sich in Bezug auf die Helligkeit nur minimal von der „Milchportion“. Folglich kann dem Roboter nicht der Befehl gegeben werden, den nächsten Vorgang erst zu starten, wenn der Bildschirm ein bestimmtes Helligkeitssignal ausgibt. Hier ist ein doppeltes händisches Eingreifen notwendig, da der Roboterarm gestoppt und anschließend die erforderliche Aktion per Hand ausgeführt werden muss. Eventuell könnten hier die automatisierte Entleerung des Kaffeesatzbehälters oder die Vergrößerung des Kaffeebohnenbehälters eine Möglichkeit sein, die das Testinstitut „TÜV Rheinland“ bereits anwendet.

Eine vollständige Automatisierung nach Wunsch des Testinstitutes „Hansecontrol“ kann bisher nicht mit dem „DOBOT Magician“ realisiert werden. Die Bereitstellung eines neuen Bechers erfolgt bisher per Hand. Ein Becherspender, bei dem die Becher nach unten herausgezogen werden, funktioniert mit dem entwickelten „Becherheber“ nicht, da der „DOBOT Magician“ diese nicht aufnehmen kann. Eine realistische Möglichkeit den Versuchsaufbau in diesem Teilbereich weiter zu automatisieren, wäre die Verwendung eines Förderbandes zur Bereitstellung neuer Becher. So müsste nicht vor jedem neuen Kaffeebezug ein Becher per Hand an die richtige Stelle gestellt werden, damit der „DOBOT Magician“ diesen im nächsten Durchgang aufnehmen kann. Ein Förderband vom Hersteller „DOBOT“ ist eigens für die Anwendung mit dem „DOBOT Magician“ entwickelt worden und kann mithilfe des „DobotStudios“ gesteuert werden (Variobotic GmbH, 2022).

Die zusätzliche Messung der Temperatur und Ausgabemenge war sinnvoll, da festgestellt werden konnte, dass der verwendete Kaffeevollautomat bei der Ausgabemenge Schwankungen aufweist und die zuvor eingestellte Bezugsmenge nicht erreicht. Zu erklären wäre dies damit, dass der Kaffeevollautomat die eingestellte Wassermenge nicht ausgibt, sondern zum Brühen verwendet, sodass ein Teil des Wassers im Kaffeesatz verbleibt. Hier wäre allerdings die Beschreibung in der Betriebsanleitung nicht eindeutig.

Der Roboterarm kann flexibel an seine zu verrichtenden Aufgaben angepasst werden. Die intuitive und leichte Bedienung über „DobotStudio“ besonders im „Teaching & Playback“-

Modus kann eine Einführung in Testinstituten mit geringem Aufwand möglich machen. Eine Mitarbeiterschulung ist zur Vermittlung der wichtigsten Funktionen empfehlenswert.

Die Programmierung in „Blockly“ hat sich als zeitaufwändiger als der „Teaching & Playback“-Modus herausgestellt. Zudem konnte festgestellt werden, dass die Bewegungsmodi im „Teaching & Playback“-Modus einen schnelleren Bewegungsablauf ermöglichen. Somit sollte „Blockly“ erst genutzt werden, falls Funktionen notwendig sind, die der „Teaching & Playback“-Modus nicht abbilden kann.

Da in den Testinstituten viele verschiedene Kaffeevollautomaten getestet werden, stellt sich die Frage der Anpassbarkeit auf verschiedene Kaffeevollautomatenmodelle. Hier ist der Arbeitsbereich des „DOBOT Magicians“ der limitierende Faktor. Durch die optimale Ausrichtung des Roboters vor dem Kaffeevollautomaten kann der Arbeitsbereich voll ausgeschöpft werden. Jedoch ist zu vermuten, dass der Arbeitsbereich des „DOBOT Magicians“ für die Testung größerer Kaffeevollautomaten als die „JURA Z6“ bereits zu klein ist, um sowohl die Aufgabe des Tastendrückens als auch die des Becherbewegens zu ermöglichen. Hier könnte darüber nachgedacht werden, zwei Roboter einzusetzen. Dieser Gedanke ist generell zu verfolgen, da ein einzelner Roboterarm nicht zwei menschliche Arme ersetzen kann. Ein zusätzliches Problem für die Anpassbarkeit an andere Kaffeevollautomaten könnte sein, dass die Geräte unterschiedlich aufgebaut, eventuell keine Tasten vorhanden oder diese kleiner bzw. größer sind als die der „JURA Z6“. Hier müsste eine Anpassung des „Becherhebers“ erfolgen, damit diese Modelle ebenfalls bedient werden können. Die Evaluation von Systemen anderer Hersteller könnte hier im Rahmen weiterer Arbeiten gerade im Hinblick auf größere Maschinen einen zusätzlichen Erkenntnisgewinn bieten.

Die Verwendung des Lichtsensors an anderen Geräten könnte ein Problem darstellen, da die verschiedenen Geräte unterschiedliche Display- oder Leuchtsignale ausgeben. Es kann nicht davon ausgegangen werden, dass andere Kaffeevollautomaten ein adäquates Lichtsignal zur Erkennung bieten. Ist kein Leuchtsignal vorhanden, muss über einen anderen Sensor nachgedacht werden. Andernfalls ist es nicht möglich, dem Roboterarm zu signalisieren, wann er mit seinem Bewegungsablauf fortfahren soll. Hier bietet sich die Möglichkeit durch weitere Forschung eine generalisierte Lösung zu entwickeln.

Der Wunsch des Testinstitutes „Hansecontrol“ war es, dass nicht nur Testungen an Kaffeevollautomaten sondern auch an anderen Gerätetypen wie Siebträgermaschinen und Filtermaschinen mit dem Roboterarm realisierbar sein sollten. Dies dürfte mit dem „DOBOT Magician“ schwierig umzusetzen sein, da diese Gerätetypen eine Bedienung mit flexibleren Gelenken notwendig machen würden. Der „DOBOT Magician“ kann z.B. die

Kippbewegung, die notwendig ist, um den Inhalt einer Kaffeekanne in einen Becher zu schütten, nicht ausführen. Eventuell könnte ein Siebträger durch den Aufsatz „Greifer“ aufgenommen und eingerastet werden. Dies würde jedoch den Einsatz eines zweiten Roboterarms zur Bedienung der Tasten notwendig machen. Diese Anwendungsbeispiele könnten in einer weiteren Bachelorarbeit untersucht werden.

Eine Kosten-Nutzen-Rechnung für den Einsatz eines Systems wie dem „DOBOT Magician“ ergibt sich aus den Anforderungen, die jedes Institut an die Testungen stellt. Auf der einen Seite wird ein Teil der Abläufe automatisierbar und menschliche Kapazitäten werden frei für andere Aufgaben. Andererseits lassen sich bestimmte Hilfsaufgaben mit dem aktuellen Entwicklungsstand noch nicht automatisieren.

Literaturverzeichnis

- Bush Energie GmbH. (2021). 5x Grundlagen effiziente Gewerbegeräte - Kapitel 5: Gewerbliche Kaffeemaschinen.
- Deutsches Institut für Normung e.V. (2016). DIN 18873-2:2016-02 - Methoden zur Bestimmung des Energieverbrauchs von Großküchengeräten Teil 2: Gewerbliche Heißgetränkereiter. Berlin: Beuth Verlag GmbH.
- DOBOT. (2020). Dobot Magician User Guide. Abgerufen am 15. 09. 2022 von <https://cloud.variobotic.de/index.php/s/RabbQxz8f8HkBS8?path=%2FDOBOT%20Produkte%2FDOBOT%20Magician%2FAnleitungen#pdfviewer>
- Dugge, K.-W., & Eißner, A. (2002). *Grundlagen der Elektrotechnik* (7. Ausg.). Würzburg: Vogel.
- erfi Ernst Fischer GmbH & Co KG. (2022). Datenblatt: Testsystem an Kaffeemaschinenhersteller WMF AG. Abgerufen am 21. 10 2022 von <https://www.erfi.de/produkte/test-und-pruefanlagen/pruefanlagen/>
- Holzki, T. (2022). Automatisierung einer Kaffeemaschine. Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg. Von <https://journals.ub.uni-magdeburg.de/index.php/LEGO/article/download/2080/2073> abgerufen
- In-Position Technologies. (2017). Dobot Introduction and Exploration - Unit 2: Teaching Computer Science with the Dobot Magician! (DOBOT, Hrsg.)
- JURA Elektroapparate AG. (2016). Bedienungsanleitung Z6. Von https://de.jura.com/-/media/global/pdf/manuals-global/home/Z6/download_manual_jura_z6.pdf?la=de&hash=8B0884EE3781B95F7A25FB99AB8A65353A51E1FE&em_force=true abgerufen
- Mrsic, D. (2012). Automatisierung von Gebrauchstauglichkeits- und Normprüfungen für Kaffeevollautomaten mit der Siemens-LOGO-Steuerung in einem Universalprüffeld. Hamburg. Abgerufen am 10. 09. 2022 von https://reposit.haw-hamburg.de/bitstream/20.500.12738/6013/1/lsab12_110.pdf
- reichelt elektronik GmbH & Co. KG. (2022). Abgerufen am 28. 09. 2022 von reichelt elektronik: <https://www.reichelt.de/robotik-zubehoer-dobot-magician-multi-tool-dobot-multitool-p249877.html>
- reichelt elektronik GmbH & Co. KG. (2022). *Roboterarm, Dobot Magician Basic*. Abgerufen am 17. 10. 2022 von reichelt elektronik: https://www.reichelt.de/roboterarm-dobot-magician-basic-dobot-magician-b-p249872.html?PROVID=2788&gclid=Cj0KCQiA1ZGcBhCoARIsAGQ0kkoZ5r6iOXQn1_MaZUoTC6uvjKM0u8cQ9OuzsFCUEz1_CZN8IZvweQMaAmvkEALw_wcB
- Sertronics. (2022). Datenblatt - Lichtsensor mit digitalem Ausgang. Abgerufen am 25. 10. 2022 von <https://www.berrybase.de/Pixelpdfdata/Articlepdf/id/1/onumber/LIGHT-SENSOR>
- SPS electronic GmbH. (2022). Prüfsystem für Kaffeeautomaten. Abgerufen am 21. 10. 2022 von https://www.spselectronic.com/fileadmin/user_upload/projekte/pruefsystem_fuer_Kaffeeautomaten/Datenblaetter/Flyer_Pruefsystem_fuer_Kaffeeautomaten.pdf

- Statista. (2022). *Anteil der privaten Haushalte in Deutschland mit einem Kaffeevollautomaten von 2014 bis 2022*. Abgerufen am 16. 11. 2022 von Statista: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1243603/umfrage/private-haushalte-in-deutschland-mit-kaffeevollautomat/>
- Variobotic GmbH. (2022). *Bildungspakete*. Abgerufen am 22. 10. 2022 von VARIOBOTIC: https://variobotic.de/robotik-in-schulen/bildungspakete/basic-level-anfrage/?gclid=CjwKCAiA-dCcBhBQEiwAeWidtWnNwv6jH_7_vRsp8VN6Gq657NLXvpsDtsYDO7n5EiERRcx d2xoM7xoCI0wQAvD_BwE
- Variobotic GmbH. (2022). Datenblatt: DOBOT Magician - Der Desktoproboter für Education-, Pro- und Business-Anwender. Abgerufen am 17. 10 2022 von https://cdn-reichelt.de/documents/datenblatt/E400/DOBOT_MAGICIAN_DB-DE.pdf
- Variobotic GmbH. (2022). *DOBOT Förderband Set*. Abgerufen am 25. 11. 2022 von Variobotic: <https://variobotic.de/shop/dobot-foerderband-set/#>
- Variobotic GmbH. (2022). *DOBOT Magician Basic – Desktop-4-Achs-Roboter*. Abgerufen am 17. 10. 2022 von Variobotic: <https://variobotic.de/shop/dobot-magician-basic-kaufen/>
- Waluyo, A., Tafrikhatin, A., & Heri, S. (2020). Robot Arm Design für Coffee Maker Arduino Based. Indonesien. Von https://www.researchgate.net/publication/354055533_Robot_Arm_Design_for_Coffee_Maker_Arduino_Based abgerufen

Eidesstattliche Erklärung

Ich versichere, dass ich die vorliegende Arbeit ohne fremde Hilfe selbstständig verfasst und nur die angegebenen Hilfsmittel verwendet habe. Wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen sind unter Angabe der Quelle kenntlich gemacht.

Ort, Datum

Unterschrift

Anhang

A: Experteninterview mit [REDACTED] vom Prüfinstitut „TÜV Rheinland“

Zusammenfassung des telefonischen Gespräches am 31.10.2022

1. Testen Sie in Ihrem Testinstitut Kaffeevollautomaten?

Ja, es werden beim TÜV Rheinland Kaffeevollautomaten für den Hausgebrauch getestet, bisher nicht für die gewerbliche Nutzung.

2. Welche Prüfungen an Kaffeevollautomaten führen Sie durch?

Es wird eine „Fit for use“-Prüfung durchgeführt.

Dazu gehört unter anderem die Prüfung von:

- Funktion und Handhabung
- Reproduzierbarkeit von Auslaufmengen
- Energieverbrauch
- Auslauftemperatur
- Durchlaufdauer
- Herstellungsgüte (Sind die Geräte sauber verarbeitet)
- Dauernutzung

Sofern anwendbar, werden die Prüfungen nach DIN EN 60661 durchgeführt.

3. Testen Sie händisch oder gibt es automatische/programmierbare Systeme?

Die meisten Prüfungen werden manuell durchgeführt, lediglich Dauerprüfungen können automatisiert werden. Dabei wird z.B. durch das Vergrößern des Bohnenbehälters, was das händische Nachfüllen des Bohnenbehälters ersetzt. Zudem werden die Maschinen so präpariert, dass die Kaffeesatzbehälter sich entleeren können und somit bei der Prüfung nicht händisch ausgeleert werden müssen.

Für die Bedienung der Kaffeevollautomaten werden automatisierte Steuerungselemente verwendet, die je nach Bedienoberfläche (Knöpfe, Touchpad) gewählt werden können. In der Regel handelt es sich dabei um pneumatische Steuerungselemente.

4. Was wären wichtige Kriterien für die Anschaffung und Nutzung programmierbarer Prüfsysteme wie z.B. eines programmierbaren Roboterarms für Ihr Prüfinstitut?

Da viele verschiedene Gerätetypen im Prüfinstitut getestet werden, ist eine flexible Anpassbarkeit des Testsystems ausschlaggebend. Hersteller, deren Geräte immer ähnlich aufgebaut sind, haben die Möglichkeit viel spezifischere Testsysteme für die betriebsinterne Testung zu entwickeln.

Die Anschaffung und Nutzung eines Roboterarms für unser Prüfinstitut würde sich also nur dann rentieren, wenn er für viele verschiedene Messungen und unabhängig vom Aufbau des Gerätes flexibel eingesetzt werden kann. Am sinnvollsten wäre es, wenn die Prüfung vollständig automatisiert werden könnte, sodass keine händische Bedienung während der Prüfung notwendig ist. Außerdem sollte sich die Programmierung des Roboterarms einfach und schnell gestalten.

B: Experteninterview mit [REDACTED] vom Prüfinstitut „Hansecontrol“ Hamburg

Schriftliches Interview vom: 23.11.2023

1. Führen Sie in Ihrem Testinstitut Prüfungen an Kaffeevollautomaten für den gewerblichen und/oder häuslichen Gebrauch durch?

Die Hansecontrol Zertifizierungsgesellschaft mbH ist für die DIN EN 60661:2015-01 durch die Deutsche Akkreditierungsstelle (DAkkS) akkreditiert (ausgenommen Abschnitt 25 „Prüfung zur Entkalkung“). Diese Norm greift die Messung der Gebrauchseigenschaften elektrischer **Haushalt**-Kaffeebereiter auf.

Nicht durch die DAkkS akkreditiert, aber dennoch im Scope befindet sich die DIN 18873-2, welche Anwendung auf **gewerbliche** Heißgetränkzubereiter findet.

2. Welche Prüfungen an Kaffeevollautomaten führen Sie durch?

Die unter Punkt 1 genannten.

3. Testen Sie händisch oder gibt es automatische/programmierbare Systeme?

Wir testen händisch, sind jedoch sehr interessiert an den Ergebnissen Ihrer Arbeit bzgl. einer möglichen Automatisierung der Prüfverfahren. Werden Sie veröffentlichen bzw. wird es uns möglich sein, die Ergebnisse ihrer Arbeit einzusehen?

4. Was wären wichtige Kriterien für die Anschaffung und Nutzung programmierbarer Prüfsysteme wie z.B. eines programmierbaren Roboterarms für Ihr Prüfinstitut?

Punkt 1: Zuverlässigkeit.

Die Anforderungen der entsprechenden Normen in Bezug auf die Durchführung der Prüfverfahren müssen eingehalten werden. Für die hierzu benötigte Software wird eine Softwarevalidierung benötigt. Die Hardware muss (durch ein externes akkreditiertes Prüflaboratorium) kalibrierbar sein. Bedeutet, alle Komponenten der Automatisierungseinheit müssen letzten Endes nachweisbar zuverlässig in Kette miteinander agieren.

Punkt 2: Kosten.

Die Investitionskosten müssen sich in verhältnismäßig kurzer Zeit amortisiert haben. (Die Angabe „kurz“ ist hier natürlich relativ zu betrachten. Das wird von Laboratorium zu Laboratorium unterschiedlich sein und hängt von mehreren Faktoren ab.)

Punkt 3. Anwendbarkeit.

Uns liegen gänzlich unterschiedliche Produktmodelle zur Prüfung vor. Der Arm sollte sich also an die unterschiedlichen Gegebenheiten anpassen lassen. Zudem wäre es sinnvoll, einen Arm zur Verfügung zu haben, der den gesamten Anwendungsbereich der unter Punkt 1 angegebenen Normen abdeckt. Also am besten Siebträgermaschinen, Kaffeevollautomaten, Filtermaschinen etc.

Zudem sollten die Rüstzeiten betrachtet werden. Heißt, der Arm sollte sich unter geringem Zeitaufwand an die entsprechend unterschiedlichen Modelle anpassen lassen.

C: Videos zur Anwendung von Robotern zur Kaffeezubereitung

Inhalt	Link
„DOBOT Magician“ mit Kapselmaschine	https://www.youtube.com/watch?v=72hnOArNWJQ
Kaffeevollautomat bedient von zwei „DOBOT Magicians“	https://www.youtube.com/watch?v=UdyFdCC-fnY
Tassenförderung	https://www.youtube.com/watch?v=yzg0tkgkNtY&t=1s
„Barista-Roboter“	https://www.youtube.com/watch?v=sgwD3UQXTRE

D: Videolinks zum Versuchsaufbau und Vorversuch

Inhalt	Link
Vorversuch: Passendes Lichtsignal für den Fotosensor nach Kaffeebezug	https://youtu.be/wvxyhJBdwPw
Ein Bewegungsdurchlauf des "DOBOT Magicians" ohne Sensor (ohne Wartezeit) mit "Teaching & Playback"	https://youtu.be/E2qIOWJ7OWQ
Ein Bewegungsdurchlauf des "DOBOT Magicians" ohne Sensor (ohne Wartezeit) mit "Blockly"	https://youtu.be/SVUJYPoRK7o
Finaler Versuchsaufbau: "DOBOT Magician" bezieht zehn Kaffeebecher im "Teaching & Playback"-Modus	https://youtu.be/Xx2rk-tD0e4

E: DOBOT Förderband



Abbildung: DOBOT Förderband (Variobotic GmbH, 2022)