Bachelor-Thesis an der Hochschule Luzern - Technik & Architektur

Titel	**Auslegung eines neuen Produkts mit Phasenwechselmaterial und Optimierung des Handlingprozesses**
Diplomandin/Diplomand	**Hochuli, Stefan**
Bachelor-Studiengang	**Bachelor Maschinentechnik**
Semester	**FS19**
Dozentin/Dozent	**Schütz, Philipp**
Expertin/Experte	**Lieball, Kai**

Abstract Deutsch
Die vorliegende Arbeit entstand im Rahmen des Moduls Bachelorthesis an der Hochschule Luzern - Technik & Architektur. Sie befasst sich mit der thermodynamischen Auslegung von doppelwandigen Trinkgläsern mit Kühleffekt der Firma SCALORIC GmbH. Ausserdem wird der Aufbau eines Prototyps zur Befüllung der Trinkgläser mit Phasenwechselmaterial (PCM) behandelt. In den Hohlraum der Gläser wird ein Phasenwechselmaterial gefüllt. Nach dem Laden der Trinkgläser, kühlen diese das eingefüllte Getränk, in dem der Phasenübergang des PCM von fest zu flüssig ausgenutzt wird. In dieser Arbeit wurde ein Modell entwickelt, welches den Temperaturverlauf des Getränks beim Abkühlen berechnet. Dadurch, dass es sich dabei um ein hochkomplexes, instationäres Problem handelt, kann das entwickelte Modell für qualitative Untersuchungen eingesetzt werden, für quantitative Aussagen ist allerdings eine genauere Betrachtung des vorliegenden Systems notwendig.
Im zweiten Teil dieser Arbeit wird der Aufbau, die Implementation und die Funktionsvalidierung der entwickelten Befüll Anlage behandelt. Die Herausforderung dabei besteht darin, dass die mundgeblasenen Gläser in Form und Grösse geringfügig voneinander abweichen und deshalb ist auch die Position des Lochs zum Befüllen des Glases mit PCM und die Füllmenge nicht konstant. Dies macht ein System nötig, dass diese zwei Komponenten automatisch erkennt und entsprechend reagiert. Die Position der Einfüllöffnung wird mittels Bilderkennung lokalisiert, die Erkennung der Füllmenge wurde durch eine Lichtschranke realisiert, die auf Höhe der gewünschten Füllmenge positioniert wird. Der Prototyp wurde so aufgebaut, dass auch die neu entwickelten Gläser der Firma darauf befüllt werden können. Der entwickelte Prototyp funktioniert zuverlässig und befüllt die Gläser nach Knopfdruck automatisch mit dem Phasenwechselmaterial.

Abstract Englisch
The following paper was written in the scope of the module 'Bachelorthesis' at the Lucerne University of Applied Sciences and Arts. It deals with the thermodynamic dimensioning of double-walled drinking glasses that provide a cooling effect. Furthermore, the construction of a prototype to automatically fill the glasses with a phase-change material (PCM) is discussed. The PCM is filled into the cavity of the glasses. After charging the glasses, it cools the drink inside it, by using the phase change from solid to liquid. In this paper,

Alle Rechte vorbehalten. Die Arbeit oder Teile davon dürfen ohne schriftliche Genehmigung der Rechteinhaber weder in irgendeiner Form reproduziert noch elektronisch gespeichert, verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

Sofern die Arbeit auf der Website der Hochschule Luzern online veröffentlicht wird, können abweichende Nutzungsbedingungen unter Creative-Commons-Lizenzen gelten. Massgebend ist in diesem Fall die auf der Website angezeigte Creative-Commons-Lizenz.

a model was developed, which calculates the Temperature of the drink while cooling down. Since this is a highly complex and transient problem, the developed model can only be used for qualitive analysis. To provide quantitative results, a more detailed view of the system is required.
In the second part of the paper, the development, implementation and functional validation of the devised prototype. The challenge consisted of the fact, that the handblown glasses vary from one another slightly and therefore the position of the hole to fill the glasses with the PCM and the filling capacity is not constant. This requires a system, that can detect the position of the hole and the required amount of PCM to fill the glass and can react properly. Image detection is used to localize the position of the filling hole and the filling capacity is detected with a light barrier, which is mounted at the height of the desired filling height. The prototype was designed to be able to fill the new products of the company, which are currently under development, as well. The built prototype works reliable and can automatically fill the glasses with the PCM after the press of a button.

Ort, Datum Horw, 07.06.2019

© Stefan Hochuli, Hochschule Luzern – Technik & Architektur

Bachelor Diplomarbeit Frühlingssemester 2019

Lucerne University of
Applied Sciences and Arts

HOCHSCHULE
LUZERN

Technik & Architektur

Auslegung eines neuen Produkts mit Phasenwechselmaterial und Optimierung des Handlingprozesses

Verfasser:	Stefan Hochuli
Betreuer:	Prof. Dr. Philipp Schütz, hauptverantwortlicher Dozent
	Andreas Melillo, fachliche Begleitung
	Patrick Meyer, fachliche Begleitung
Experte:	Dr. Kai Lieball
Industriepartner:	SCALORIC GmbH - Ansprechpartner: Silvan von Arx
Abgabedatum:	07. Juni 2019

Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand im Rahmen des Moduls Bachelorthesis an der Hochschule Luzern - Technik & Architektur. Die Arbeit befasst sich mit der thermodynamischen Auslegung von doppelwandigen Trinkgläsern mit Kühleffekt und der Entwicklung eines Prototypen zur automatischen Befüllung dieser Gläser mit einem Phasenwechselmaterial.
Ich möchte die Gelegenheit nutzen und mich an dieser Stelle bei meinem Betreuerteam für die Unterstützung bedanken.
Herzlichen Dank an Prof. Dr. Philipp Schütz für das Betreuen der Arbeit, der tatkräftigen Unterstützung bei Fragen und Problemen und dem motivierendem Arbeitsumfeld, an Andreas Melillo für die wertvolle Unterstützung im Bereich des Programmierens und bei allgemeinen Fragen und an Patrick Meyer für die Unterstützung bei Fragen zum Raspberry Pi und Fragen allgemein. Danke für die sehr wertvolle Zusammenarbeit in diesem Projekt!
Des Weiteren möchte ich mich beim Ansprechpartner der SCALORIC GmbH, Herrn Silvan von Arx bedanken für die tolle und konstruktive Zusammenarbeit und die Unterstützung bei Fragen bezüglich der thermischen Auslegung und dem entgegengebrachten Vertrauen in diesem Projekt.

Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit entstand im Rahmen des Moduls Bachelorthesis an der Hochschule Luzern - Technik & Architektur. Sie befasst sich mit der thermodynamischen Auslegung von doppelwandigen Trinkgläsern mit Kühleffekt der Firma SCALORIC GmbH. Ausserdem wird der Aufbau eines Prototyps zur Befüllung der Trinkgläser mit Phasenwechselmaterial (PCM) behandelt. In den Hohlraum der Gläser wird ein Phasenwechselmaterial gefüllt. Nach dem Laden der Trinkgläser, kühlen diese das eingefüllte Getränk, in dem der Phasenübergang des PCM von fest zu flüssig ausgenutzt wird. In dieser Arbeit wurde ein Modell entwickelt, welches den Temperaturverlauf des Getränks beim Abkühlen berechnet. Dadurch, dass es sich dabei um ein hochkomplexes, instationäres Problem handelt, kann das entwickelte Modell für qualitative Untersuchungen eingesetzt werden, für quantitative Aussagen ist allerdings eine genauere Betrachtung des vorliegenden Systems notwendig. Im zweiten Teil dieser Arbeit wird der Aufbau, die Implementation und die Funktionsvalidierung der entwickelten Befüll Anlage behandelt. Die Herausforderung dabei besteht darin, dass die mundgeblasenen Gläser in Form und Grösse geringfügig voneinander abweichen und deshalb ist auch die Position des Lochs zum Befüllen des Glases mit PCM und die Füllmenge nicht konstant. Dies macht ein System nötig, dass diese zwei Komponenten automatisch erkennt und entsprechend reagiert. Die Position der Einfüllöffnung wird mittels Bilderkennung lokalisiert, die Erkennung der Füllmenge wurde durch eine Lichtschranke realisiert, die auf Höhe der gewünschten Füllmenge positioniert wird. Der Prototyp wurde so aufgebaut, dass auch die neu entwickelten Gläser der Firma darauf befüllt werden können. Der entwickelte Prototyp funktioniert zuverlässig und befüllt die Gläser nach Knopfdruck automatisch mit dem Phasenwechselmaterial.

Abstract

The following paper was written in the scope of the module 'Bachelorthesis' at the Lucerne University of Applied Sciences and Arts. It deals with the thermodynamic dimensioning of double-walled drinking glasses that provide a cooling effect. Furthermore, the construction of a prototype to automatically fill the glasses with a phase-change material (PCM) is discussed. The PCM is filled into the cavity of the glasses. After charging the glasses, it cools the drink inside it, by using the phase change from solid to liquid. In this paper, a model was developed, which calculates the Temperature of the drink while cooling down. Since this is a highly complex and transient problem, the developed model can only be used for qualitive analysis. To provide quantitative results, a more detailed view of the system is required. In the second part of the paper, the development, implementation and functional validation of the devised prototype. The challenge consisted of the fact, that the handblown glasses vary from one another slightly and therefore the position of the hole to fill the glasses with the PCM and the filling capacity is not constant. This requires a system, that can detect the position of the hole and the required amount of PCM to fill the glass and can react properly. Image detection is used to localize the position of the filling hole and the filling capacity is detected with a light barrier, which is mounted at the height of the desired filling height. The prototype was designed to be able to fill the new products of the company, which are currently under development, as well. The built prototype works reliable and can automatically fill the glasses with the PCM after the press of a button.

Symbol- & Abkürzungsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis

GPIO	General Purpose Input Output
PCM	Phase Change Material - Phasenwechselmaterial
SPS	Speicherprogrammierbare Steuerung
Nu	Nusselt-Zahl
Pr	Prandtl-Zahl
Ra	Rayleigh-Zahl

lateinische Buchstaben

A	Fläche	m^2
a	Temperaturleitfähigkeit	$\frac{m^2}{s}$
cp	spezifische Wärmekapazität (isobar)	$\frac{J}{kg \cdot K}$
D	Durchmesser des Glases	m
Δhs	Schmelzenthalpie	$\frac{J}{kg}$
g	Erdbeschleunigung	$\frac{m}{s^2}$
h	Höhe des Glases	m
L	Charakteristische Länge	m
m	Masse	kg
T	Temperatur	$°C$
t	Zeit	s
$\dot{Q}$	Wärmestrom	W

griechische Buchstaben

α	Wärmeübergangskoeffizient	$\frac{W}{m^2 \cdot K}$
β	Wärmeausdehnungskoeffizient	$\frac{1}{K}$
λ	Wärmeleitfähigkeit	$\frac{W}{m \cdot K}$
ϑ	Temperatur	$°C$
ρ	Dichte	$\frac{kg}{m^3}$
η	Dynamische Viskosität	$Pa \cdot s$
ν	Kinematische Viskosität	$\frac{m^2}{s}$

Indizes

1	Umgebung
2	Glas Aussenseite
3	PCM
4	Glas Innenseite
5	Getränk

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung **7**
1.1. Problemstellung . . . 7
1.2. Momentaner Stand . . . 7
1.3. Ziel . . . 8

2. Material und Methoden **9**
2.1. Entwicklung eines Prototypen zum Einfüllen des PCM in die Gläser . . . 9
2.1.1. Lokalisieren Einfüllöffnung . . . 9
2.1.2. Bewegen des Einfüllmechanismus . . . 11
2.1.3. Erkennung der Einfüllmenge . . . 12
2.1.4. Steuerung . . . 13
2.1.5. Aufbau des Prototypen . . . 13
2.2. Versuche . . . 14
2.2.1. Versuch Bilderkennung mit Matlab und Python . . . 14
2.2.2. Test der Bilderkennung mit dem Raspberry Pi . . . 15
2.2.3. Testen der Füllmengenerkennung . . . 15
2.2.4. Ansteuerung der Schrittmotoren . . . 16
2.2.5. Testen des Prototypen . . . 16
2.3. Thermodynamische Auslegung der neuen Produkte . . . 17
2.3.1. Abschätzen der Wärmeübergangskoeffizienten mit Nusselt-Korrelationen . . . 18
2.3.2. Berechnen der Wärmeströme . . . 19

3. Resultat **21**
3.1. Entwicklung des Prototypen . . . 21
3.1.1. Erkennung der Einfüllöffnung . . . 21
3.1.2. Bewegen Einfüllmechanismus . . . 21
3.1.3. Erkennen der Füllmenge . . . 22
3.1.4. Fördern des Phasenwechselmaterials . . . 22
3.1.5. Steuerung . . . 22
3.1.6. Verschliessen des Glases . . . 22
3.1.7. Programmierung des Systems . . . 23
3.1.8. Einfüllmechanismus . . . 23
3.1.9. Programmablauf . . . 24
3.1.10. Aufbau des Programms . . . 24
3.1.11. Position Kamera . . . 26
3.1.12. Bedienelemente . . . 26
3.1.13. Finaler Prototyp . . . 26
3.1.14. Zusammenfassung Prototyp . . . 27
3.2. Thermodynamische Auslegung . . . 28
3.2.1. Validierung des Modells . . . 28
3.2.2. Vergleich Modell - Messdaten . . . 28

4. Schlussfolgerung **30**
4.1. Fazit . . . 30
4.2. Lessons learned . . . 30
4.3. Offene Punkte . . . 30
4.4. Weiteres Vorgehen . . . 30

A. Anhang **31**
A.1. Abbildungsverzeichnis . . . 31

A.2. Tabellenverzeichnis 31

B. Anhang **33**
B.1. Vergleiche Messdaten - Simulation 33
B.2. Datenblätter 36
B.3. Pin-Belegung Raspberry Pi 41

1. Einleitung

Das Schweizer Start-Up SCALORIC GmbH stellt Trinkgläser her, die zur schnellen Kühlung des eingefüllten Getränks verwendet werden. In die doppelwandigen Gläser aus Borosilikatglas, wird dazu bei der Produktion ein Phasenwechselmaterial eingefüllt (siehe Abbildung 1.1 für eine Abbildung des Glases im geladenen Zustand). Die genaue Zusammensetzung dieses PCM ist ein Geschäftsgeheimnis und deshalb nicht genauer bekannt. Es ist jedoch bekannt, dass das PCM zu einem grossen Teil aus Wasser besteht.

Um das Glas mit PCM zu befüllen befindet sich auf der Unterseite des Glases eine kleine Einfüllöffnung mit ca. 1.5 - 2mm Durchmesser (siehe Abbildung 2.1. Durch diesen wird das Glas mit PCM befüllt bis 5mm unter den Rand des Glases. Anschliessend wird es mit einem Polymer verschlossen, um das Austreten des PCMs zu verhindern. Vor der Verwendung wird das Glas für mindestens eine Stunde in das Gefrierfach gestellt, um im PCM den Phasenübergang von flüssig zu fest zu erzielen. Nach dem 'Laden' des Glases ist dieses in der Lage, ein warmes Getränk innerhalb weniger Minuten auf Trinktemperatur zu kühlen. Dabei wird der Phasenübergang des PCM ausgenutzt, um das Getränk zu kühlen. Die CoolDownDrink-Gläser sind mundegblasen und weichen daher in Form und Grösse geringfügig voneinander ab. Somit variiert auch die Position der Einfüllöffnung und die Füllmenge des PCM. Das Ziel dieser Arbeit ist nun, ein System zu entwickeln, dass automatisch den Einfüllöffnung trifft und auch automatisch die richtige Füllmenge in das Glas füllt. Der Prototyp soll ausserdem kompatibel sein, um später das Verschliessen des Glases mit einem Polymer und der Förderung der Gläser mit einem Förderband implementieren zu können.



Abbildung 1.1.: 3 dl CoolDownDrink - Trinkglas (CoolDownDrink 2019)

Das Sortiment der Firma umfasst aktuell ein 3 dl Trinkglas, ein Shotglas und ein Dessert-Cup. Die SCALORIC GmbH möchte nun zwei neue Produkte auf den Markt bringen: Ein 5 dl Bierglas und ein Prosecco Glas. Diese sollen im Rahmen dieser Bachelorarbeit thermodynamisch so ausgelegt werden, dass der gewünschte Kühleffekt eintritt.

1.1. Problemstellung

Bedingt durch die Herstellung weichen die Abmessungen der einzelnen Gläser geringfügig voneinander ab. Insbesondere die Position der Einfüllöffnung unterliegt grossen Schwankungen im Bereich von bis zu 5mm vom Zentrum des Glases. Ausserdem ist auch das vom doppelwandigen Glas umschlossene Volumen nicht bei jedem Glas gleich und somit schwankt auch die Einfüllmenge des PCM von Glas zu Glas.

1.2. Momentaner Stand

Momentan werden die Gläser alle von Hand mit dem PCM befüllt und ebenfalls von Hand verschlossen. Befüllt wird das Glas dabei kopfüber, um Zugang zu der Einfüllöffnung zu erhalten. Per Fusspedal wird eine Membranpumpe ein- und ausgeschaltet, welche über einen Schlauch mit einer Einfüllnadel das PCM

in das Glas fördert. Die Füllmenge wird durch Augenmass bestimmt. Obwohl die Volumenänderung vom flüssigen in den festen Zustand beim verwendeten PCM praktisch 0 beträgt, ist es wichtig, dass trotzdem noch genügend Luft im Glas verbleibt, damit es beim Phasenwechsel zu keinen Spannungen im Glas kommen kann. Deshalb werden die Gläser werden nur bis 5mm unter den Rand befüllt. Im Anschluss an das Befüllen des Glases mit PCM, wird mit einer Dosierpumpe ein Tropfen eines aushärtenden Polymers auf die Einfüllöffnung gegeben, um diese zu verschliessen. Dieser Tropfen wird anschliessend mit einem Silikonplättchen flachgedrückt, um eine saubere und glatte Oberfläche des verschlossenen Glases zu erreichen.

Weil die Nachfrage nach den Gläsern immer grösser wurde und auch um die Sicherheit des Personals zu gewährleisten (es ist auch schon vorgekommen, dass die Gläser beim Befüllen aufgrund des hohen Drucks der Pumpe zersprungen sind), sollte deshalb in dieser Arbeit eine automatische Abfüllanlage entwickelt werden, die auch in der Lage ist, die Gläser automatisch mit dem Polymer zu verschliessen. Das Flachdrücken des Polymertropfens wird anschliessend weiterhin von Hand durchgeführt und soll zu einem späteren Zeitpunkt in die automatische Abfüllanlage integriert werden können.

1.3. Ziel

Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist die thermodynamische Auslegung der neuen Produkte des Start-Ups, um einen optimalen Kühleffekt zu erreichen. Das Getränk soll in möglichst kurzer Zeit auf Trinktemperatur gekühlt werden, aber dabei nicht einfrieren.

Ein weiteres Ziel ist die Entwicklung, Implementierung und Funktionsvalidierung eines Prototypen auf dem die Gläser der Firma SCALORIC automatisch mit der richtigen Menge PCM befüllt werden und in einem weiteren Schritt auch gleich verschlossen werden. Dabei soll darauf geachtet werden, dass auch die neu entwickelten Gläser der Firma darauf abgefüllt werden können.

2. Material und Methoden

2.1. Entwicklung eines Prototypen zum Einfüllen des PCM in die Gläser

In einem ersten Schritt wurde eine Markt- und Literaturrecherche durchgeführt, um geeignete Komponenten für die Befüllanlage zu recherchieren. Dazu wurde das Gerät in mehrere Teilfunktionen aufgeteilt, die jede einzeln betrachtet wurde, um eine mögliche Lösung für die Problemstellung zu finden.

Nachfolgend eine Auflistung der Teilfunktionen:

1. Lokalisieren der Einfüllöffnung
2. Bewegen der Abfüllnadel zu der Einfüllöffnung
3. Erkennen des Füllstandes des PCM
4. Verschliessen des Glases mit dem Polymer

2.1.1. Lokalisieren Einfüllöffnung

Das 'Loch' (im weiteren als Einfüllöffnung bezeichnet) mit einem Durchmesser von ca. 1.5 - 2mm zum Befüllen des Glases mit PCM befindet sich an der Unterseite des Glases (siehe Abbildung 2.1). Diese Einfüllöffnung wird bei der Fertigung dem Glas per Hand hinzugefügt und darum variiert dessen Position um einige Millimeter um den theoretischen Mittelpunkt des Glases.

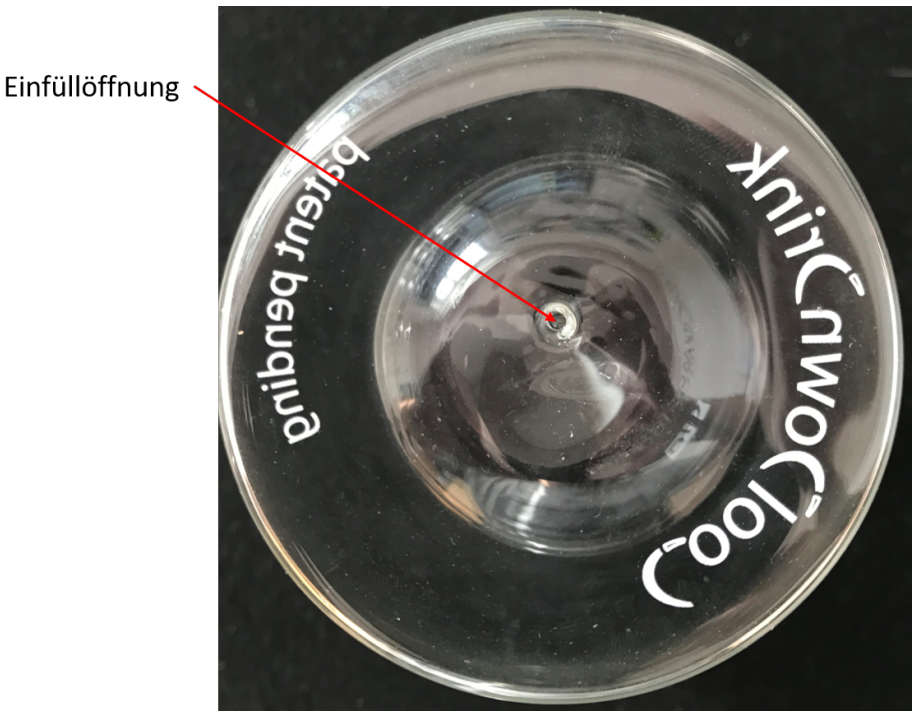


Abbildung 2.1.: Unterseite des 3 dl-Glases mit Einfüllöffnung

Die recherchierten Konzepte sind in Tabelle 2.1 ersichtlich. Es wird kurz die Funktionsweise erläutert und im Anschluss die Vor- und Nachteile der einzelnen Verfahren aufgelistet.

Tabelle 2.1.: Konzepte Erkennung Einfüllöffnung

Verfahren	**Beschreibung**
Bilderkennung	Einfüllöffnung mit Hilfe von Kamera und Hough Algorithmus detektieren
3D-Modell	Komplettes 3D-Modell des Glases mit 3 Kameras erstellen, aus diesen Bilddaten 3D-Modell generieren und Einfüllöffnung lokalisieren
Taktil	Taster fährt Oberfläche des Glases ab, die tiefste Stelle wird als Einfüllöffnung angenommen.
Streifenlichtprojektion	Auf die Oberfläche des Glases werden Lichtstreifen projiziert, durch Verzerrung dieser Streifen an der Oberfläche des Glases kann Oberflächenkontur errechnet werden mit Hilfe einer Kamera, aus diesen Daten lässt sich anschliessend Einfüllöffnung lokalisieren (Stuttgart 2014)
Lichtsensor + seitliche Beleuchtung	Lichtsensor fährt Bahn oberhalb von Glas ab, durch die seitliche Beleuchtung wird das Licht an der Einfüllöffnung gebrochen, dadurch ist diese Stelle etwas heller als die Umgebung, dies kann mit Lichtsensor detektiert werden.

Im Folgenden werden die Vor- und Nachteile der einzelnen Konzepte aufgelistet.

- Bilderkennung
  - Vorteile: Nur Kamera benötigt, viele Bibliotheken in Python vorhanden (OpenCV oder Skimage)
  - Nachteile: langsam, Genauigkeit schwierig abzuschätzen, Erkennungsquote unbekannt
- 3D-Modell
  - Vorteile: Gleichzeitige Füllstandsmessung möglich
  - Nachteile: sehr rechenaufwendig, schwierige Implementierung, keine Erfahrung, teuer
- Haptisch
  - Vorteile: wenig rechenaufwendig, einfach implementierbar
  - Nachteile: evtl. langsam, Glas muss fixiert werden, Glas könnte beschädigt werden
- Streifenlichtprojektion
  - Vorteile: gleichzeitiges Erfassen der z-Koordinate der Einfüllöffnung möglich
  - Nachteile: Reflexion des Glases problematisch
- Lichtsensor + seitliche Beleuchtung
  - Vorteile: einfache Implementierung
  - Nachteile: evtl. Reflexionen des Glases kritisch, Genauigkeit unbekannt

2.1.2. Bewegen des Einfüllmechanismus

Um den Einfüllmechanismus zu der Einfüllöffnung bewegen zu können, musste dieser beweglich gestaltet werden. Folgende Verfahren wurden evaluiert:

Tabelle 2.2.: Mögliche Konzepte zum Bewegen des Einfüllmechanismus

Verfahren	**Beschreibung**
Linearführungen	X-, Y- und Z-Achse werden mit Linearführungen mit Spindeltrieb realisiert, die von Schrittmotoren angetrieben werden.
Knickarm	Einfüllmechanismus wird durch einen Schwenkarm bewegt, der wie ein Knickarmroboter aufgebaut ist. Wird von Servomotoren angetrieben.
Linearschlitten mit Zahnriemen	Aufbau der Achsen mit Linearschlitten die per Zahnriemen bewegt werden, welche von Schrittmotoren angetrieben werden.

Die Vor- und Nachteile der einzelnen Konzepte sind nachfolgend aufgelistet.

- Linearführungen
  - Vorteile: günstig, als Komplettsystem montierbar
  - Nachteile: Spiel der Spindelmutter
- Knickarm
  - Vorteile: sehr flexibel, grosser Aktionsradius
  - Nachteile: schwierige Berechnung der Koordinaten, Steifigkeit
- Linearschlitten mit Zahnriemen
  - Vorteile: Genauigkeit, platzsparende Anordnung möglich
  - Nachteile: konstruktiver Aufwand

2.1.3. Erkennung der Einfüllmenge

Für die Erkennung der Einfüllmenge standen mehrere Möglichkeiten zur Auswahl. Diese sind in Tabelle 2.3 aufgeführt.

Tabelle 2.3.: Mögliche Konzepte zur Erkennung der Füllhöhe

Verfahren	**Beschreibung**
Lichtschranke	PCM verändert den Brechungsindex des Lasers an der Kontaktfläche des PCM zum Glas, wenn Lichtschranke direkt horizontal auf dieser Höhe angebracht wird, wird das Licht genug stark gestreut damit zu wenig Licht auf den Sensor zurückfällt, um diesen auszulösen
Kapazitiver Sensor	Kapazitiver Sensor wird an Aussenseite des Glases fixiert, das Fluid verändert durch seine dielektrischen Eigenschaften die Kapazität des im Sensor enthaltenen Kondensators, dies wird gemessen und kann zur Auswertung des Füllstandes verwendet werden
Kamera	Kamera seitlich am Glas mit Bilderkennung erkennt die Linie der Oberfläche des Wassers mit Hough-Algorithmus
3D-Modell	3 Kameras nehmen 3D-Modell des Glases auf, aus diesem lässt sich die Füllhöhe berechnen
Ultraschall	Ultraschallsensor wird an Glasoberfläche herangefahren, reagiert auf das veränderte Echo, wenn die Flüssigkeit den gewünschten Füllstand erreicht

Im Folgenden sind die Vor- und Nachteile der einzelnen Verfahren

- Lichtschranke
  - Vorteile: Schnelle Erkennung möglich, einfach implementierbar
  - Nachteile: Position Lichtschranke nicht für alle Gläsertypen identisch
- Kapazitiver Sensor
  - Vorteile: schnelle Erkennung möglich, einfach implementierbar
  - Nachteile: nicht jedes Glas gleich, adaptive Auswertung notwendig
- Kamera
  - Vorteile: Lässt sich mit Erkennung der Einfüllöffnung kombinieren (per Spiegel)
  - Nachteile: hohe Rechenleistung nötig, schwieriger zu implementieren
- 3D-Modell
  - Vorteile: Lässt sich mit Erkennung der Einfüllöffnung kombinieren
  - Nachteile: Geschwindigkeit, rechenaufwendig, schwierig zu implementieren
- Ultraschall
  - Vorteile: Schnelle Erkennung möglich,
  - Nachteile: Genauigkeit, evtl. schwierige Programmierung

2.1.4. Steuerung

Für die Steuerung des Prototypen wurden folgende drei Möglichkeiten evaluiert:

- Raspberry Pi
  - Steuerung des Prototypen mit einem Raspberry Pi
  - Vorteile: günstig, einfach, grosse Community bei Problemen, Erfahrung im Betreuerteam
  - Nachteile: begrenzte Rechenleistung, begrenzte Anzahl In- & Outputs.
- Arduino
  - Steuerung des Prototypen mit einem Arduino basierendem Board
  - Vorteile: günstig, einfach, grosse Community bei Problemen, höhere Ausgangsleitung als bei Raspberry Pi
  - Nachteile: stark begrenzte Rechenleistung, nur in C programmierbar, begrenzte Anzahl In- & Outputs.
- SPS
  - Steuerung des Prototypen mit einer Speicherprogrammierbaren Steuerung
  - Vorteile: sehr leistungsfähig, Standard in der Industrie
  - Nachteile: teuer, keine Erfahrung, Open-Source Bibliotheken fraglich

2.1.5. Aufbau des Prototypen

Ein erster Prototyp der Abfüllstation wurde mit 40mm-Aluminium-Nutsteinprofilen aufgebaut. Dabei wurde darauf geachtet, dass unterschiedlich hohe Gläser auf der Station befüllt werden können. Dies wurde so realisiert, dass die Halterung der Linearachsen vertikal verschoben werden konnte und mit Bolzen die vertikale Position gesichert werden kann. Eine Zusammenfassung des Konzepts ist in Abbildung 2.2 ersichtlich. Die Teile zum Befestigen und Verbinden der Linearachsen und sonstigen Komponenten wurden hauptsächlich aus 4mm MDF-Platten auf dem Lasercutter hergestellt.

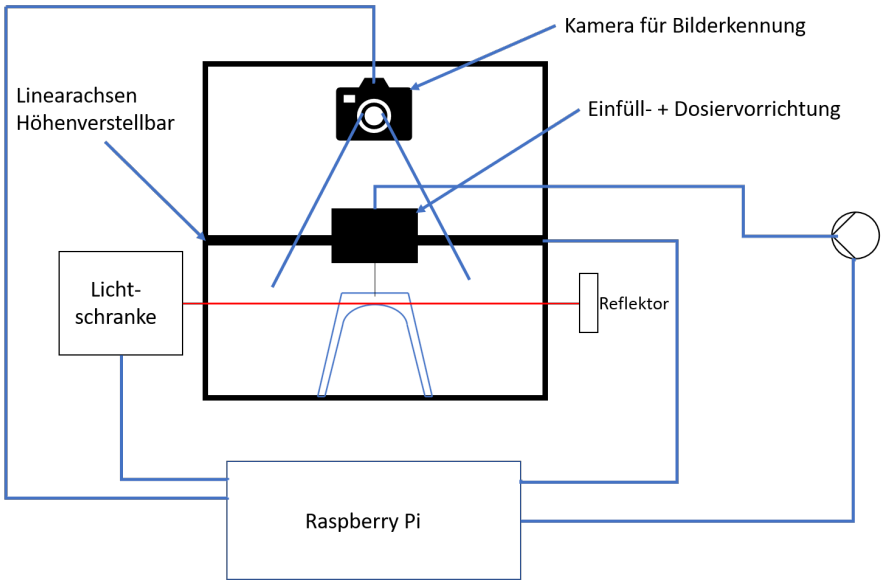


Abbildung 2.2.: Grobkonzept des Prototypen

2.2. Versuche

Um die Funktionsweise der recherchierten Lösungsansätze zu überprüfen, wurden einige Versuche durchgeführt.

2.2.1. Versuch Bilderkennung mit Matlab und Python

Matlab

In einem ersten Schritt wurde die Eignung einer Bilderkennung, zum Lokalisieren der Einfüllöffnung mit Matlab getestet. Für erste Tests wurde dazu ein Bild des Glases mit einer Kamera erstellt und in Matlab eingelesen. Die Funktion 'imfindcircles' in Matlab basiert auf der Hough-Transformation und fordert als Eingabewert einen unteren und oberen Radius des Kreises und ein Schwarz-Weiss-Bild (The MathWorks Inc.). An diesem Schwarz-Weiss-Bild wird anschliessend mit dem 'canny'-Algorithmus eine Kantenerkennung durchgeführt. Der Algorithmus berechnet dabei den Helligkeitsgradienten benachbarter Pixel, wenn dieser Gradient einen gewissen Wert übersteigt und mehrere Pixel in unmittelbarer Umgebung ebenfalls einen hohen Gradienten aufweisen, nimmt der Algorithmus an, dass sich dort eine Kante befindet (OpenCV 2019). Anschliessend erstellt der Algorithmus ein Bild mit den erkannten Kanten des Ursprungsbildes. An diesem Bild wird anschliessend eine Circular-Hough-Transformation durchgeführt. Diese durchsucht das Bild nach runden Objekten in den angegebenen Radiusgrenzen (Rhody 2005). Anschliessend werden Mittelpunkt und Radius der gefundenen Kreise ausgegeben und im Bild visualisiert.

Python

In einem weiteren Schritt wurde getestet, ob diese Methode in einem Python-Programm implementierbar ist. Die Python-Bibliothek scikit-image enthält ebenfalls den Hough-Algorithmus und eine Funktion ähnlich wie imfindcircles von Matlab. Das Bild des Glases wird in Python eingelesen und anschliessend zu einem Schwarz-Weiss-Bild konvertiert und zugeschnitten, um die Rechenzeit zu verringert. Anschliessend wird mit der Funktion 'canny' eine Kantenerkennung durchgeführt und ein Bild mit den Kanten des Ursprungsbildes erstellt. Bei der Funktion 'canny' in Python handelt es sich um einen ähnlichen Algorithmus wie bei der gleichnamigen Funktion in Matlab. Im Anschluss wird an diesem Kantenbild mit der Funktion hough_radii und hough_res eine Hough-Transformation durchgeführt, welche die Radien und Mittelpunkte der gefundenen Kreise zurückgeben. Mit der Funktion hough_circle_peaks wird anschliessend der prominenteste dieser Kreise ausgewählt und dessen Radius und Mittelpunkt ausgegeben (scikit-image 2018). Diese Werte werden anschliessend zur Berechnung der Position der Einfüllöffnung verwendet.

Danach wird dem Algorithmus das Bild der Kamera und der Radiusbereich (in Pixel) in dem der Kreis gesucht werden soll übergeben. Das Bild wird anschliessend in ein Schwarz-Weiss-Bild konvertiert und an diesem wird eine Kantenerkennung durchgeführt. Dabei berechnet der Algorithmus die Helligkeitsgradienten benachbarter Pixel. Wenn nun mehrere Pixel in einem Gebiet einen hohen Helligkeitsgradienten zum benachbarten Pixel aufweisen, erkennt der Algorithmus eine Kante und erstellt ein Bild nur mit den Kanten des Ursprungsbildes. An diesem Kantenbild wird anschliessend eine Hough-Transformation durchgeführt, das heisst, das Bild wird nach runden Objekten abgesucht in den angegebenen Radiusgrenzen. Nachfolgend werden die Radien und Mittelpunkte der gefundenen Kreise in Pixel ausgegeben. Aus diesen werden anschliessend die prominentesten Kreise ausgewählt und Mittelpunkt und Radius berechnet. Ein Beispiel des Codes zur Erkennung der Einfüllöffnung befindet sich im Anhang auf Seite 35. Das Beispiel wurde aus scikit-image 2018 übernommen und modifiziert.

2.2.2. Test der Bilderkennung mit dem Raspberry Pi

Anschliessend wurde die Bilderkennung auf dem Raspberry Pi mit der Raspberry Pi Kamera V2 getestet. Eine Herausforderung dabei war, die Rechenzeit des Raspberry Pis so kurz wie möglich zu halten, damit die Befüllung der Gläser trotzdem noch in akzeptabler Zeit abgeschlossen werden kann. Deshalb waren im Vergleich zum vorherigen Test kleine Anpassungen am Programm nötig.

2.2.3. Testen der Füllmengenerkennung

Nach der Recherche wurde als Erstes die Füllmengenerkennung mit einer Lichtschranke getestet. Da die optischen Eigenschaften des verwendeten PCMs unbekannt sind wurden praktische Versuche angestellt. Dazu wurde diese auf die Oberfläche des PCMs gerichtet und mit einem Blatt hinter dem Glas die Ablenkung des Glases überprüft. Es stellte sich heraus, dass die Ablenkung etwa in der Hälfte zwischen Zentrum und Aussenwand des Glases gut geeignet ist, da dort der Lichtstrahl ausreichend abgelenkt wird. Anschliessend wurde dieses Konzept mit der Lichtschranke Panasonic CY-192B-P getestet (Datenblatt siehe Anhang Seite 36). Da es sich dabei um eine Reflexionslichtschranke handelt (das Licht also zwei mal durch das Glas geht und somit auch zwei Mal gebrochen wird) eignet diese sich sehr gut, da beim zweiten Durchgang durch das Glas das Licht noch weiter gestreut wird und somit noch weniger Licht auf den Sensor trifft. Eine schematische Darstellung des Funktionsprinzips ist in Abbildung 2.3 und 2.4 ersichtlich. Gut zu erkennen ist die Ablenkung des Lichtstrahls, wenn die freie Oberfläche des PCMs genau auf Höhe der Lichtschranke ist.

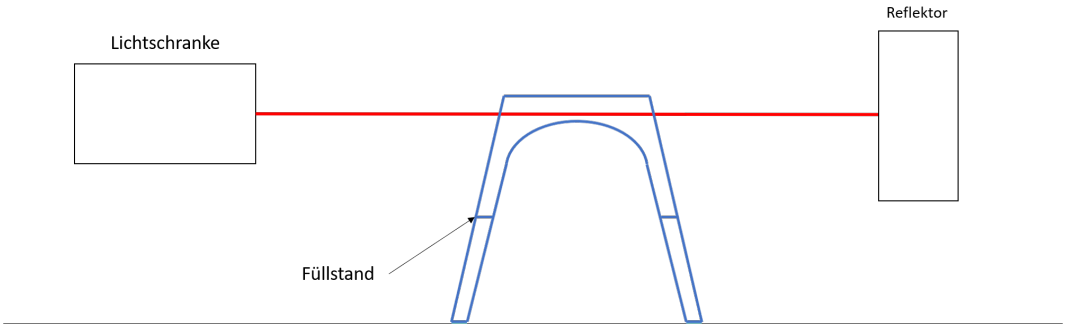


Abbildung 2.3.: Strahlengang des Lichts beim Befüllen des Glases

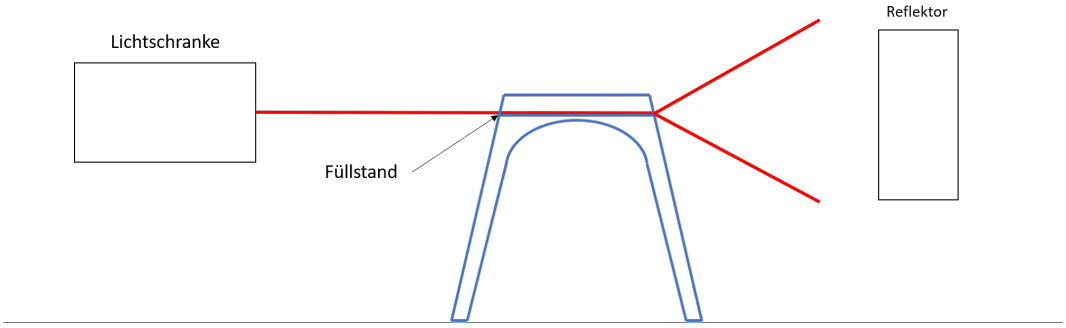


Abbildung 2.4.: Strahlengang des Lichts, wenn Füllhöhe erreicht

2.2.4. Ansteuerung der Schrittmotoren

Als eine Herausforderung stellte sich die Ansteuerung der Schrittmotoren dar. Zuerst wurde die Ansteuerung mit dem Adafruit Motor Hat für den Raspberry Pi getestet. Durch dessen Limitierung auf 1.2A konnten die verwendeten Motoren allerdings nicht sauber angesteuert werden. Deshalb wurden im weiteren Verlauf zur Ansteuerung der Schrittmotoren der Motorentreiber L298N verwendet. An diesen kann pro Board ein Schrittmotor angeschlossen werden. Dieses Board war in der Lage den benötigten Strom der Schrittmotoren zu schalten. Das Datenblatt des verwendeten Treiberboards ist im Anhang ab Seite B.2 aufgeführt.

2.2.5. Testen des Prototypen

Der Prototyp wurde so getestet, dass bei jedem Testdurchgang eine weitere Funktion aktiviert wurde, bis schlussendlich der komplette Ablauf getestet wurde. So konnte bei jedem Schritt noch eine Feineinstellung vorgenommen werden, bevor der Prototyp als Komplettsystem getestet wurde.

2.3. Thermodynamische Auslegung der neuen Produkte

Die SCALORIC GmbH möchte zwei neue Produkte auf den Markt bringen. Es handelt sich dabei um ein Bierglas und ein Prosecco Glas. Diese neuen Produkte sollten thermodynamisch so ausgelegt werden, dass die eingefüllten Getränke optimal gekühlt werden. Dabei gilt es vor allem darauf zu achten, dass die Getränke in möglichst kurzer Zeit auf die ideale Trinktemperatur gekühlt werden, aber nicht einfrieren. Dabei gilt es insbesondere die Kapazität und Leistung des Glases zu bestimmen. Die Kapazität bestimmt dabei hauptsächlich, auf welche minimale Temperatur das Getränk heruntergekühlt werden kann und die Leistung bestimmt die Geschwindigkeit des Abkühlens des Getränks.

Eine grobe Auslegung der Kapazität (und damit der Füllmenge des PCM) wurde mit der Gleichung 2.1 vorgenommen. $Q_{erf,min}$ bezeichnet dabei die Menge an Wärme, die dem Getränk abgeführt werden muss, um es auf Trinktemperatur zu kühlen.

$$Q_{erf,min} = m_{Getränk} * cp_{Getränk} * (T_{Start} - T_{Soll}) \tag{2.1}$$

Die mindestens erforderliche Menge an PCM, um die Zieltemperatur des Getränks zu erreichen (ohne Verluste), wird anschliessend mit der Gleichung 2.2 berechnet.

$$m_{PCM} = \frac{Q_{erf,min}}{cp_{PCM} \cdot \Delta T_{PCM} + \Delta h_s} \tag{2.2}$$

Es handelt sich hier um eine hochkomplexes instationäres System. Um die Berechnung zu ermöglichen wurden daher einige Vereinfachungen am System vorgenommen. Das System wurde dazu als Zylinder approximiert. Die Idealisierung ist in Abbildung 2.5 ersichtlich. Der Boden des Glases wurde dabei nicht separat berechnet, sondern die Fläche des Bodens der Fläche der Wände hinzu addiert.

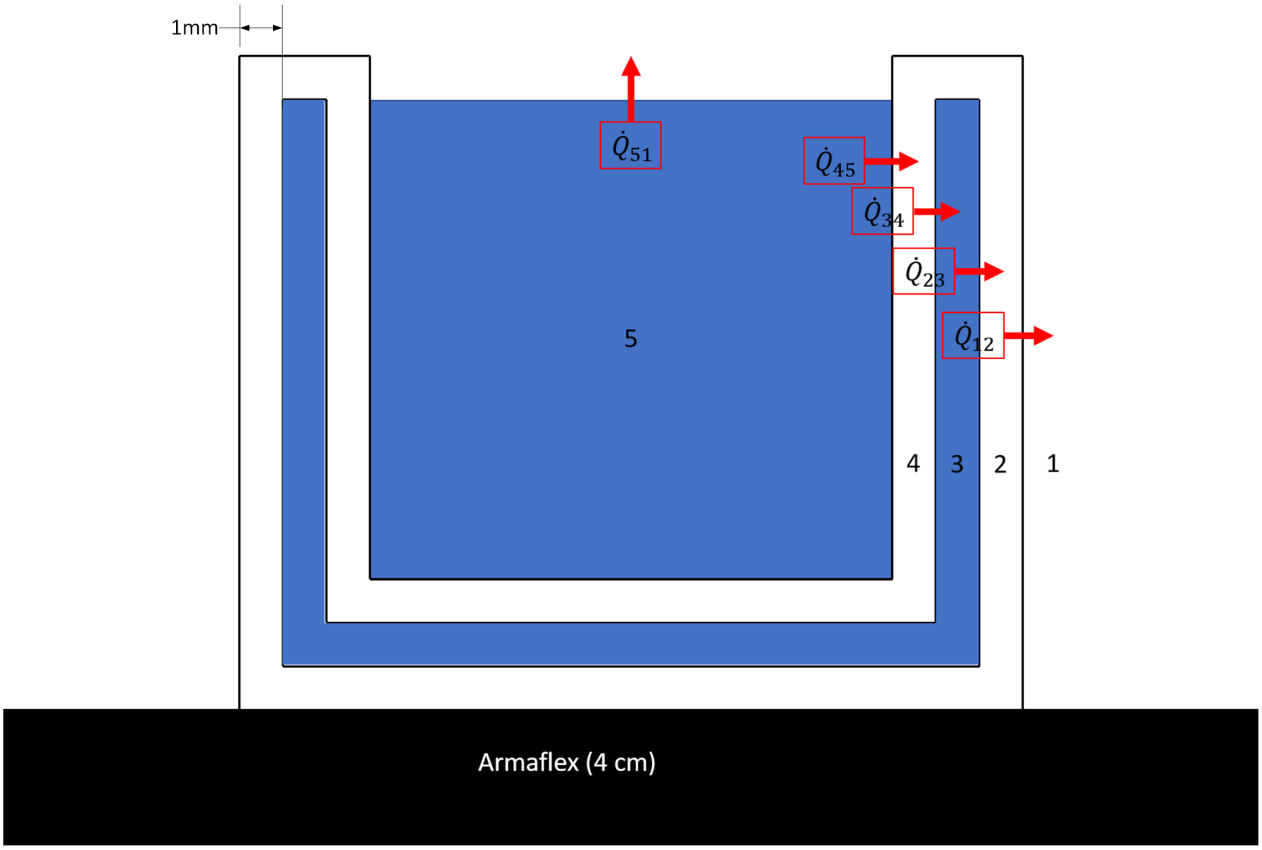


Abbildung 2.5.: Idealisierung des Glases

Indizes:

1. Umgebung
2. Glas Aussenseite
3. PCM
4. Glas Innenseite
5. Getränk

2.3.1. Abschätzen der Wärmeübergangskoeffizienten mit Nusselt-Korrelationen

Die Wärmeübergangskoeffizienten α_{12}, α_{23} & α_{34}, wurden dabei mit einer Nusselt-Korrelation (Gleichung 2.3) für Wärmeübertragung durch freie Konvektion an vertikalen Zylinderaussenflächen abgeschätzt. (VDI (2013) Seite 757)

$$Nu_{Platte} = (0.825 + 0.387[Ra \cdot f_1(Pr)]^{\frac{1}{6}})^2 \tag{2.3}$$

Zur Berechnung der Nusselt Korrelation werden zwei dimensionslose Kennzahlen verwendet. Zum einen die Prandtl-Zahl (Pr), welche das Verhältnis zwischen kinematischer Viskosität ν und Temperaturleifähigkeit a beschreibt (VDI 2013 Seite 22).

$$Pr = \frac{\nu}{a} \tag{2.4}$$

Zum anderen die Rayleigh Zahl (Ra), welche den Wärmeübergang bei freier Konvektion beschreibt (VDI 2013 Seite 14).

$$Ra = \frac{g\beta\Delta T L^3}{\nu a} \tag{2.5}$$

g : Fallbeschleunigung

β : Wärmeausdehnungskoeffizient des Fluids

ΔT : Temperaturdifferenz

L : Charakteristische Länge (in diesem Fall Höhe des Glasese)

ν : kinematische Viskosität

a : Temperaturleitfähigkeit

Die zur Berechnung verwendeten Stoffwerte stammen aus dem VDI-Wärmeatlas. Da die Stoffwerte für das verwendete PCM unbekannt sind, dieses jedoch zu einem grossen Teil aus Wasser besteht, wurden für die Werte des PCM die Stoffwerte von Wasser angenommen.

Die Funktion $f_1(Pr)$ wird folgendermassen berechnet.

$$f_1(Pr) = [1 + (\frac{0.492}{Pr})^{\frac{9}{16}}]^{\frac{-16}{9}} \tag{2.6}$$

Gleichung 2.3 gilt nur für gerade, vertikale Flächen. Deshalb muss dieser Wert umgerechnet werden mit einer Korrelation für vertikale Zylinderaussenflächen.

$$Nu = Nu_{Platte} + 0.435\frac{h}{D} \tag{2.7}$$

Für den Parameter h wird dabei die Höhe des Glases eingesetzt und für D der Durchmessser des Glases. Nach der Berechnung der Nusseltzahl (Nu), lässt sich der Wärmeübergangskoeffizient mit der Gleichen 2.8 berechnen.

$$\alpha = \frac{Nu \cdot \lambda}{L} \tag{2.8}$$

Für den Wärmeübergangskoeffizienten α_{45} wurde die folgende Korrelation für Wärmeübertragung bei freier Konvektion an vertikalen Schichten aus dem VDI-Wärmeatlas verwendet. (VDI 2013 Seite 767)

$$\begin{aligned} Nu &= 0.42Pr^{0.012}Ra^{0.25}(\frac{h}{L})^{-0.25} \\ &\quad (10^4 < Ra < 10^7), \\ Nu &= 0.049Ra^{0.33}\ (10^7 < Ra < 10^9) \end{aligned} \tag{2.9}$$

Für den Wärmeübergang zwischen der freien Oberfläche des Getränks und der Umgebungsluft existiert keine einfache Korrelation. Deshalb konnte dieser in den Berechnungen nur abgeschätzt werden. Praktisch wurde dieser so angepasst, dass das Modell möglichst gut zu den Messdaten passt.

Da es sich beim Abkühlen des Getränks um einen instationären Prozess handelt, musste ein Modell entwickelt werden, was diesem Umstand Rechnung trägt. Dieses Modell wurde in Excel entwickelt. Die gewählte Idealisierung ist in Abbildung 2.5 ersichtlich. Zur Berechnung der Wärmeströme wurde der 'Boden' des Glases vernachlässigt und die Fläche des Bodens den Zylinderflächen an den Wänden des Glases hinzugerechnet.

Zuerst wurde ein vereinfachtes Modell mit konstanten Wärmedurchgangskoeffizienten gewählt. Um die Berechnung genauer zu machen, wurden in einem zweiten Modell die Wärmedurchgangskoeffizienten bei jedem Zeitschritt neu berechnet, da diese sich bei einem unterschiedlichen ΔT ändern.

2.3.2. Berechnen der Wärmeströme

Im stationären Fall berechnen sich die Wärmeströme nach dem Fourier'schen Gesetz $\dot{Q} = -\lambda A \nabla \vartheta$ (VDI 2013 Seite 727). Im untersuchten eindimensionalen Fall reduziert sich diese Gleichung zu:

$$\dot{Q} = (T_2 - T_1) \cdot A \cdot \alpha \tag{2.10}$$

α bezeichnet dabei den Wärmeübergangskoeffizienten. Dieser ist von der Geometrie und der Stoffpaarung abhängig und wird mit Hilfe der Nusseltkorrelationen abgeschätzt.

Da es sich in diesem Fall um eine instationäre Wärmeübertragung handelt, musste eine zeitlich diskretisierte Berechnungsmethode verwendet werden. Folgende Gleichungen wurden verwendet. Das hochgestellte t bezeichnet dabei den Index des Zeitschritts. Es wurde dabei ein quasi-stationäres System angenommen, bei dem bei jedem Zeitschritt ein stationäres System gerechnet wird und somit ein 'künstliches' instationäres System betrachtet wird.

$$\dot{Q}_{12}^{t} = (T_2^t - T_1^t) \cdot A_{12} \cdot \alpha_{12} \tag{2.11}$$

$$\dot{Q}_{23}^{t} = (T_3^t - T_2^t) \cdot A_{23} \cdot \alpha_{23} \tag{2.12}$$

$$\dot{Q}_{34}^{t} = (T_4^t - T_3^t) \cdot A_{34} \cdot \alpha_{34} \tag{2.13}$$

$$\dot{Q}_{45}^{t} = (T_5^t - T_4^t) \cdot A_{45} \cdot \alpha_{45} \tag{2.14}$$

$$\dot{Q}_{51}^{t} = (T_1^t - T_5^t) \cdot A_{51} \cdot \alpha_{51} \tag{2.15}$$

Mit Hilfe dieser Wärmeströme kann für jeden Zeitschritt die Temperatur der Komponenten berechnet werden in dem die beiden Wärmeströme dieser Komponente mit dem gewählten Zeitschritt multipliziert, und anschliessend durch die Kapazität der Komponente geteilt.

Die Umgebungstemperatur wird vereinfacht als konstant angenommen.

$$T_1 = konstant \tag{2.16}$$

$$T_2^{t+1} = T_2^t - \frac{\dot{Q}_{12}^t \cdot \Delta t}{m_2 \cdot cp_2} + \frac{\dot{Q}_{23}^t \cdot \Delta t}{m_2 \cdot cp_2} \tag{2.17}$$

Nach demselben Prinzip wie in Gleichung 2.17 werden auch die restlichen Temperaturen berechnet.

$$T_3^{t+1} = T_3^t - \frac{\dot{Q}_{23}^t \cdot \Delta t}{m_3 \cdot cp_3} + \frac{\dot{Q}_{34}^t \cdot \Delta t}{m_3 \cdot cp_3} \tag{2.18}$$

Aufbauend auf diesen Gleichungen wurde ein Excel-Skript entwickelt, das so parametrisiert ist, dass Füllmenge, Gewicht des Glases, Oberflächen, Umgebungstemperatur, Starttemperatur und Schmelzpunkt des PCMs eingegeben werden kann, um den Einfluss einer Komponente auf die Abkühlgeschwindigkeit und die Endtemperatur abschätzen zu können. Als Zeitschritt Δt wurde 1 Sekunde gewählt.

3. Resultat

3.1. Entwicklung des Prototypen

3.1.1. Erkennung der Einfüllöffnung

Die Erkennung der Einfüllöffnung wurde mit einer Bilderkennung realisiert. Ausgeführt wird diese auf einem Raspberry Pi 3 B+ mit der Raspberry Pi Kamera V2 und der Python-Bibliothek 'scikit-image' (in der Version 0.13.0). Die Kamera ist an der Unterseite der z-Achse montiert und wird zu Beginn des Prozesses senkrecht über das Glas bewegt. Anschliessend nimmt die Kamera ein Bild des Glases auf (mit voller Auflösung von 12 Megapixeln). Bei den Versuchen wurde festgestellt, dass es möglich ist, die Einfüllöffnung mit Hilfe einer Bilderkennung zu lokalisieren. Jedoch sind gute Lichtverhältnisse wichtig, um gute und zuverlässige Resultate zu erzielen. Am besten funktioniert die Bilderkennung, wenn das Glas von der Seite beleuchtet wird, da dann durch die Streuung des Lichts, der Rand der Einfüllöffnung hell aufleuchtet und somit sich stärker von der Umgebung abhebt. Weiter ist es wichtig, dass das Glas sauber ist und insbesondere keine Wasserflecken auf der Oberfläche vorhanden sind, da diese fälschlicherweise vom Algorithmus erkannt werden können.

Dadurch, dass die Distanz zwischen Kamera und Glas immer etwa gleich gross ist (in diesem Fall entspricht 1mm = 50.1 Pixel), kann der Abstand der Einfüllöffnung zum Bildmittelpunkt berechnet werden. Dieser Abstand wird anschliessend an die Controller-Klasse weitergegeben, welche die Koordinaten der erkannten Einfüllöffnung berechnet unter Berücksichtigung des bekannten Abstands zwischen Kamera und Einfüllnadel die Koordinaten der Öffnung im Maschinenkoordinatensystem berechnet.

Da das Glas an einen Anschlag gestellt wird, ist der Bereich, in dem sich die Einfüllöffnung befinden kann relativ klein. Dies wird ausgenutzt, um die Geschwindigkeit der Erkennung zu erhöhen in dem das Bild vor der Analyse auf den Bereich zugeschnitten wird, in dem sich die Einfüllöffnung befinden könnte.

Um auszuschliessen, dass mehrere Kreise erkannt werden, wurde die Software so programmiert, dass wenn mehrere Kreise erkannt werden, die Software einen Fehler ausgibt und Alarm auslöst.

In den Testläufen funktionierte die Lokalisierung der Einfüllöffnung stets einwandfrei, wenn das Glas an den Anschlag gestellt wird und sauber war. Falls das Glas nicht sauber an den Anschlag gestellt wird, kann es sein, dass sich die Einfüllöffnung bereits ausserhalb des ausgewerteten Bildausschnitts befindet und der Algorithmus entweder keine Einfüllöffnung erkennt, oder eine Öffnung die gar nicht existiert erkennt.

Dadurch, dass das Verfahren der Bilderkennung sehr rechenaufwendig ist, dauerte die Erkennung der Einfüllöffnung bei den Testläufen ca. 6 Sekunden.

Ein möglicher Lösungsansatz zur Erhöhung der Geschwindigkeit der Bilderkennung wäre multithreading auf dem Raspberry Pi oder die Auslagerung der Berechnungen auf einen günstigen Laptop. Weiter könnte versucht werden, das Bild weiter zu skalieren, um die Datenmenge zu reduzieren. Aus Zeitgründen konnte dies jedoch nicht mehr implementiert werden.

3.1.2. Bewegen Einfüllmechanismus

Zum Bewegen des Einfüllmechanismus werden drei Linearführungen mit Schrittmotoren eingesetzt. Diese sind relativ einfach ansteuerbar und können sehr genau gesteuert werden. Um Kosten und Zeit zu sparen, wurden diese eingekauft und mit eigenen Teilen erweitert. Dadurch, dass die verwendeten Motoren einen Phasenwinkel von 1.8° aufweisen, kann mit Halfstepping ein Phasenwinkel von 0.9° erreicht werden. Mit der Steigung der Gewindestange von 2mm für die x-Achse resp. 1mm für die y- und z-Achse ergeben sich eine theoretische Genauigkeit von 0.005mm für die x-Achse bzw. von 0.0025mm für die y- & z-Achse.

Die Linearachsen erreichen im Betrieb eine Genauigkeit von ± 0.1mm bei einem Verfahrweg von 40mm. Dies ist für diese Anwendung ausreichend genau.

Die Ansteuerung funktioniert mit einem Python-Programm und drei Schrittmotor-Treibermodulen L298N. Zwischen Raspberry Pi und den Treibermodulen musste noch ein Logic-Level-Converter geschaltet werden, um die 3.3V Signalspannung des Raspberry Pi auf die benötigte Signalspannung von 5V des Schrittmotorentreibers zu konvertieren.

Die Schrittmotoren werden im Halfstepping-Verfahren angesteuert. Im Gegensatz zum Full-Step Verfahren bei dem nacheinander die vier einzelnen Spulen des Schrittmotors nacheinander angesteuert werden, wird beim Halfstepping Verfahren ein Zwischenschritt gemacht, bei dem die zwei nebeneinander liegenden Spulen zwischen den Full-Steps angesteuert werden. Das sorgt dafür, dass die Motoren sehr ruhig laufen, hat jedoch zur Folge, dass die Motoren weniger Drehmoment zur Verfügung stellen können. (Leger 2013)

3.1.3. Erkennen der Füllmenge

Zur Erkennung der Füllmenge wird die Reflexionslichtschranke Panasonic CY-192B-P verwendet, die auf Höhe der gewünschten Füllmenge installiert wird. Das Signal wird über einen Spannungsteiler von den 12V der Lichtschranke auf die 3.3V des Raspberry Pis angeschlossen. Das Glas selber löst die Lichtschranke noch nicht aus, wenn jedoch der Strahl genau durch die Oberfläche des PCM tritt, wird der Lichtstrahl durch den geänderten Brechungsindex so abgelenkt, dass nur noch so wenig Licht auf den Sensor trifft, dass es unterhalb der Empfindlichkeitsschranke liegt. Dieses Signal wird ausgewertet und zum Stoppen der Pumpe verwendet. Weil die Erkennung der Füllmenge ein sehr zeitkritischer Prozess ist, ist die Lichtschranke für diese Anwendung sehr gut geeignet, da die Schaltzeit der Lichtschranke nur 1ms beträgt (siehe Datenblatt Panasonic CY-192B-P auf Seite 36 im Anhang).

3.1.4. Fördern des Phasenwechselmaterials

Zur Förderung des PCM in das Glas wurde die bereits vorhandene Membranpumpe verwendet, die bereits jetzt zum Befüllen der Gläser verwendet wurde. Diese hat sich im Betrieb bewährt und wird deshalb weiterverwendet. Die Pumpe wird über einen DC-DC Wandler mit Strom versorgt und über ein Relais ein- und ausgeschaltet. Die Pumpe könnte zwar theoretisch direkt an die 12V Spannungsversorgung angeschlossen werden, jedoch wird der DC-DC Wandler dazwischengeschaltet, damit das Fördervolumen über die Spannung eingestellt werden kann.

3.1.5. Steuerung

Zur Steuerung des Prototypen wurde ein Raspberry Pi verwendet. Es handelt sich dabei um einen Linux basierten Einplatinencomputer mit programmierbaren GPIO-Pins. Der Raspberry Pi übernimmt alle Steuerungsaufgaben und führt alle notwendigen Berechnungen durch. Die Pinbelegung des Raspberry Pis ist im Anhang auf Seite 41 ersichtlich

3.1.6. Verschliessen des Glases

Aus Zeitgründen konnte das Verschliessen des Glases nicht mehr in den Prototypen implementiert werden. Es existiert jedoch ein Konzept einer Halterung, bei dem die bereits bestehende Dosieranlage verwendet werden kann, um das Glas zu verschliessen. Dazu muss nur die Halterung des Einfüllmechanismus getauscht werden. Im Originalzustand wird die Dosieranlage durch einen Knopfdruck gestartet, dieses

Signal kann sehr leicht am Raspberry Pi ausgegeben werden und zum Verschliessen des Glases verwendet werden.

3.1.7. Programmierung des Systems

Als Programmiersprache wurde Python gewählt in Zusammenspiel mit einem Raspberry Pi. Python ist eine sehr benutzerfreundliche Programmiersprache und ist die meistgenutzte Sprache zur Programmierung des Raspberry Pi's.

Des Weiteren gibt es eine grosse Community im Internet, die bei Problemen weiterhelfen kann. Ausserdem existieren viele Open-Source-Softwarebibliotheken (wie z.B. Skimage für Python), die einfach implementiert werden können. Ausserdem hat das Betreuerteam dieser Arbeit eine grosse Erfahrung mit Raspberry Pis und kann bei Problemen ebenfalls konsultiert werden.

Eine Speicherprogrammierbare Steuerung SPS wäre für diese Anwendung zu teuer und ausserdem wurden bei der Recherche keine verfügbaren Open-Source Bilderkennungspakete für Speicherprogrammierbare Steuerungen gefunden.

Ein Arduino wäre zwar für die Steuerungsaufgaben dieses Projekts prädestiniert, jedoch ist die Rechenleistung dessen zu schwach für eine Bilderkennung. Da der Raspberry Pi die Steuerung der Motorentreiber über einen Logic-Level-Converter, der die Signalspannung von 3.3V des Raspberry Pi auf die benötigten 5V des Motorentreibers konvertiert, ebenfalls.

3.1.8. Einfüllmechanismus

Der Einfüllmechanismus wurde komplett aus MDF-Teilen aufgebaut. Die Einfüllnadel wird so eingespannt, dass diese beim Scheitern der Bilderkennung bis zu einem Anschlag eingefahren werden kann. Ausserdem kann durch einen Schalter überprüft werden, ob die Einfüllnadel den Anschlag berührt. Wenn dies passiert wird der Produktionsprozess gestoppt und Alarm ausgelöst. Diese Funktion ist zum Zeitpunkt der Abgabe jedoch noch nicht implementiert und wird in einem nächsten Schritt hinzugefügt. Abbildung 3.1 zeigt ein CAD-Modell des Einfüllmechanismus mit Halterungen für Lichtschranke und Endschalter.

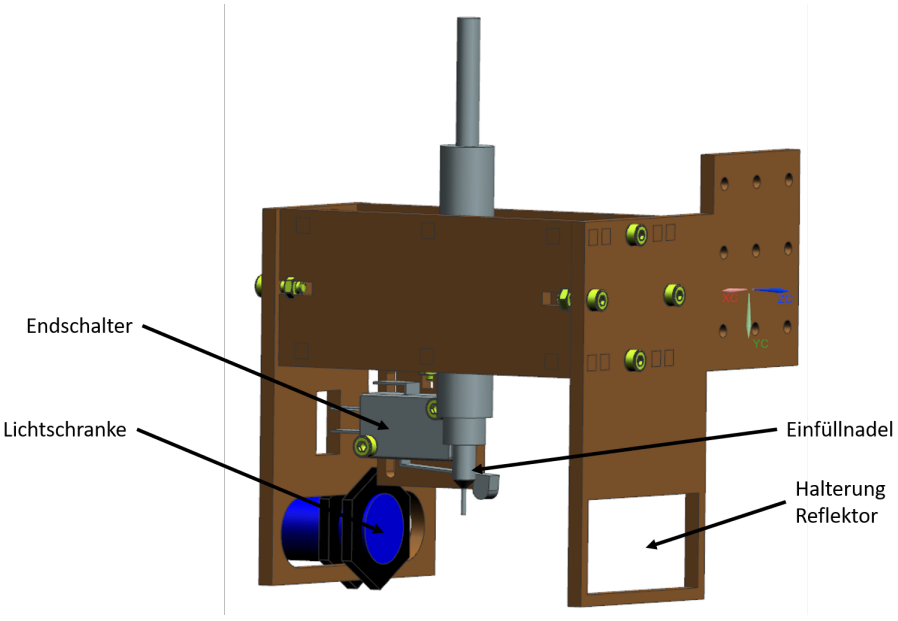
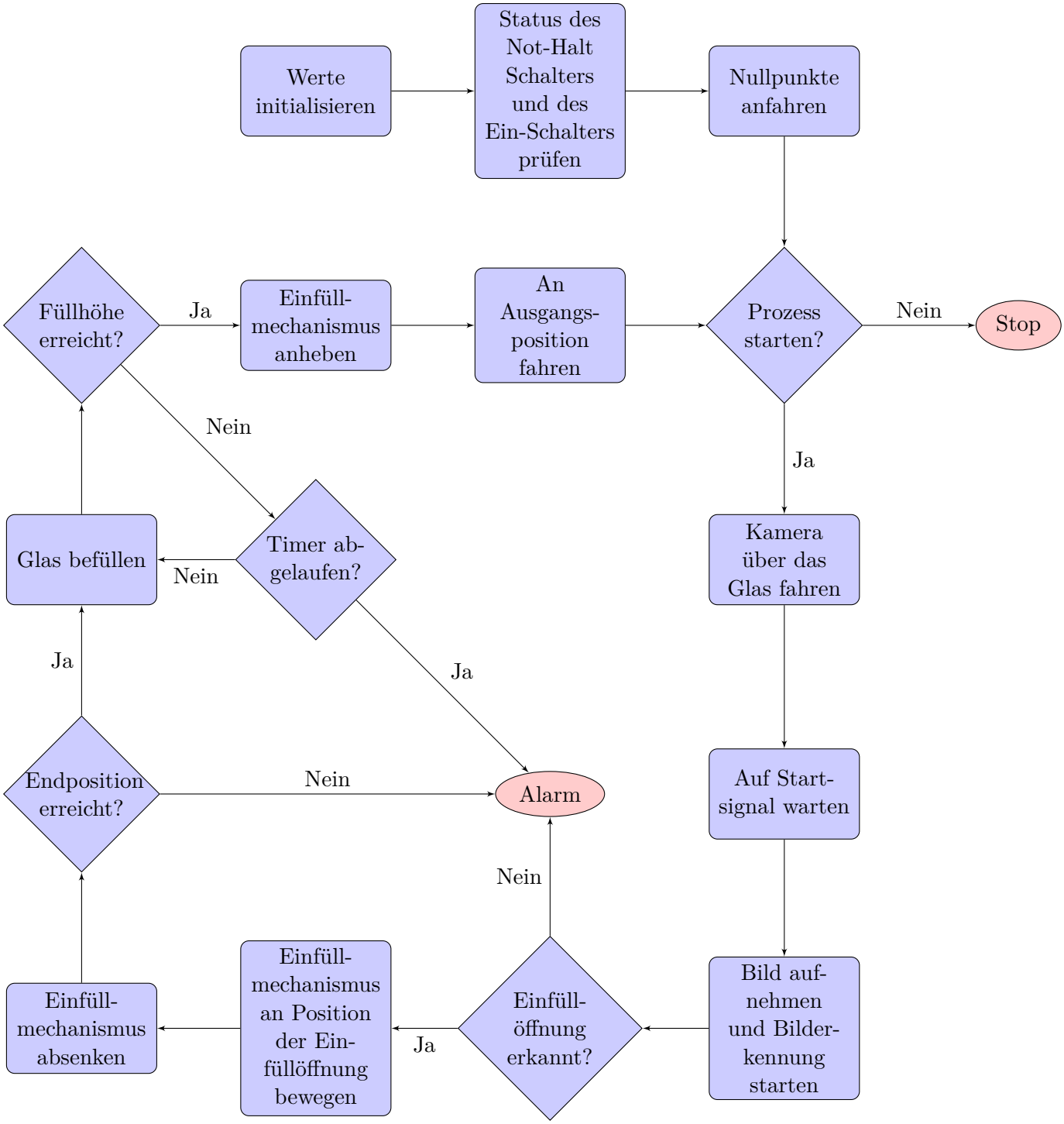


Abbildung 3.1.: CAD-Modell des Einfüllmechanismus

3.1.9. Programmablauf

Im Folgenden ist das Ablaufdiagramm dargestellt, dass den Ablauf der einzelnen Schritte beim Produktionsprozess darstellt.



3.1.10. Aufbau des Programms

Das zur Ansteuerung des Prototypen verwendete Programm ist in Python geschrieben und besteht aus der Datei application.py (dem Hauptprogramm).

Das Programm besteht aus 4 sogenannten "Klassen": Diese sind

- Stepper.py - Verantwortlich für die Steuerung der Schrittmotoren
- Controller.py - Verantwortlich für verschiedene Berechnungen und Kontrolle der anderen Prozesse
- Image_Detection.py - Verantwortlich für die Bilderkennung
- Pump.py - Verantwortlich für die Steuerung der Pumpe über das Relais und das Auslesen des Signals der Lichtschranke

Im Nachfolgenden wird die Funktion der einzelnen Funktionen dieser Klassen kurz erläutert und welche Parameter (in den Klammern) übergeben werden können.

- Stepper
  - go_all_home() — fährt Alle Achsen an den Nullpunkt
  - go_x_coordinate(Zielkoordinate) — fährt x-Achse an die Zielkoordinate
  - go_y_coordinate(Zielkoordinate) — fährt y-Achse an die Zielkoordinate
  - go_z_coordinate(Zielkoordinate) — fährt z-Achse an die Zielkoordinate
  - go_down_z() — fährt z-Achse nach unten bis Endschalter das Glas ertastet

- Controller
  - check_on_state() — Prüft Status des An-Schalters
  - write_pos_to_file_x(Aktuelle X-Position) — speichert momentane X-Position in einem json File ab
  - write_pos_to_file_y(Aktuelle Y-Position) — speichert momentane Y-Position in einem json File ab
  - write_pos_to_file_z(Aktuelle Z-Position) — speichert momentane Z-Position in einem json File ab
  - read_pos_from_file_x() — liest momentane X-Position aus json File
  - read_pos_from_file_y() — liest momentane Y-Position aus json File
  - read_pos_from_file_z() — liest momentane Z-Position aus json File
  - do_cleanup() — Setzt die GPIO-Pins am Ende des Programms wieder auf Low
  - check_coordinates_x(Zielkoordinate): — Überprüft ob Zielkoordinate im erlaubten Bereich liegt.
  - check_coordinates_y(Zielkoordinate): — Überprüft ob Zielkoordinate im erlaubten Bereich liegt.
  - check_coordinates_z(Zielkoordinate): — Überprüft ob Zielkoordinate im erlaubten Bereich liegt.
  - alarm(): — Gibt aufgerufen einen Alarm aus.
  - koordinaten_umrechnen(X-Diff, Y-Diff) — Rechnet die Koordinaten der Einfüllöffnungrelativ zur Kamera auf das globale Koordinate

- Image_Detection
  - take_picture() — nimmt ein Foto mit der Kamera auf und speichert es ab
  - detect_circles() — öffnet das Foto und führt die Bilderkennung durch, gibt anschliessend die Werte weiter an die Stepper Klasse, die die Motoren bewegt.
  - go_y_coordinate(Zielkoordinate) — fährt y-Achse an die Zielkoordinate
  - convert_pixel_to_mm(x-Pixel, y-Pixel) — rechnet die Anzahl Pixel in mm um

- Pump
  - pumpen() — startet die Pumpe über das Relais und stoppt sie wieder wenn entweder der Timer abgelaufen ist, oder die Lichtschranke erkannt hat, dass das Glas genügend gefüllt ist.

3.1.11. Position Kamera

Die Kamera wurde so positioniert, dass sie sich an der Unterseite der z-Achse befindet. So wird sichergestellt, dass kein Objekt den Bildbereich der Kamera blockieren kann. Des Weiteren wird sichergestellt, dass der Abstand zwischen Glas und Kamera immer ungefähr gleich ist. Dies ist wichtig für die Umrechnung von Pixel auf mm bei der Lokalisierung der Einfüllöffnung.

3.1.12. Bedienelemente

Um den Prototypen auch ohne Laptop betreiben zu können wurden einige Bedienelemente implementiert. Der Raspberry Pi ist so eingerichtet, dass automatisch das Programm geladen wird beim Starten des Betriebssystems. Sobald das Programm geladen ist, leuchtet eine grüne LED auf. Ein Schalter startet die Schleife in der das Programm läuft. Des Weiteren wurde ein Not-Halt Schalter integriert, dieser stoppt den Prototypen in der momentanen Aktion und geht in den Zustand 'Alarm'. Bei diesem leuchtet eine rote LED auf, so dass dem Bediener signalisiert wird, dass eine Störung vorliegt.

3.1.13. Finaler Prototyp

Um die Funktionsweise der ausgewählten Komponenten im Zusammenspiel zu testen, wurde ein Prototyp aus Aluminium-Nutsteinprofilen aufgebaut. (siehe Abbildung 3.2)

Diese Profile sind sehr günstig und sehr flexibel in der Handhabung und stellen eine einfache Möglichkeit dar, um den Prototypen aufzubauen.

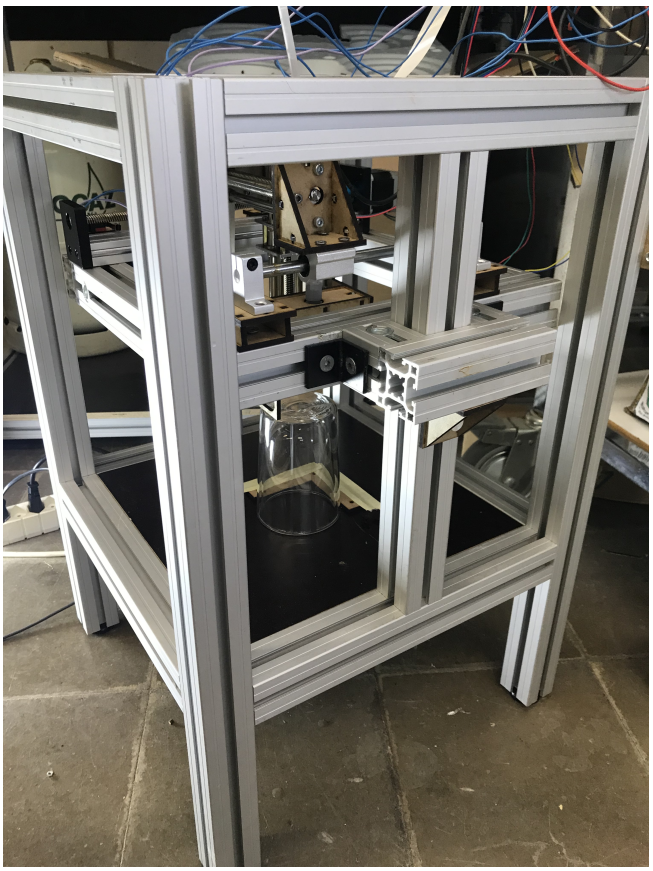


Abbildung 3.2.: Aufgebauter Prototyp der Abfüllstation

Bei den Testdurchläufen, bei denen die Gläser noch mit normalem Leitungswasser befüllt wurden, funktionierte das Befüllen der Gläser ohne Ausnahme. Es standen 15 einzelne Gläser zum Testen zur Verfügung und bei den Testgläsern funktionierte das Befüllen in jedem Fall.

Damit der Prototyp auf die verschiedenen Gläsertypen angepasst werden kann, wurde die Halterung auf der die Linearachsen befestigt sind beweglich gestaltet, damit die Höhe dieser Achsen verstellt werden kann. Die vertikale Position wird durch Steckbolzen gesichert. Es stellte sich heraus, dass dieses System verbesserungswürdig ist, da durch das Gewicht der Linearachsen das Verstellen der Höhe sehr schwergängig ist, und am besten von zwei Personen durchgeführt wird. Dieses Problem könnte evtl. durch das Anbringen von Gleiterplatten aus Teflon an den Kontaktstellen der Aluminiumprofile und Federn die den Bolzen automatisch wieder in die Bohrungen reinschieben.

3.1.14. Zusammenfassung Prototyp

Basierend auf der Recherche und den praktischen Versuchen wurde ein Prototyp aus Aluminium-Nutsteinprofilen aufgebaut. Die Bewegung des Einfüllmechanismus erfolgt über Linearachsen in den drei Raumrichtungen. Diese sind höhenverstellbar, um unterschiedlich hohe Gläser befüllen zu können. Die Erkennung der Einfüllöffnung erfolgt mit einer Kamera und einem Bilderkennungsalgorithmus. Die Füllhöhe wird von einer Reflexionslichtschranke erkannt. Gesteuert wird der Prototyp von einem Raspberry Pi. Das Befüllen der 3dl-Gläser funktionierte in den Testläufen einwandfrei.

3.2. Thermodynamische Auslegung

3.2.1. Validierung des Modells

Um das in Excel entwickelte Modell zu validieren, wurden die Werte des Modells mit Messdaten der realen Gläser verglichen. Beim Abkühlen des Getränks entsteht im Getränk eine Art Schichtung, weil durch den hohen Wassergehalt, das Getränk, dass an den Wänden sehr schnell runtergekühlt wird nach unten fliesst. Um diesem Umstand Rechnung zu tragen wurden deshalb vier Messpunkte aufgenommen auf unterschiedlichen Höhen des Glases im Abstand von 2cm (siehe Abbildung 3.3). Die Messdaten wurden vom Industriepartner zur Verfügung gestellt.

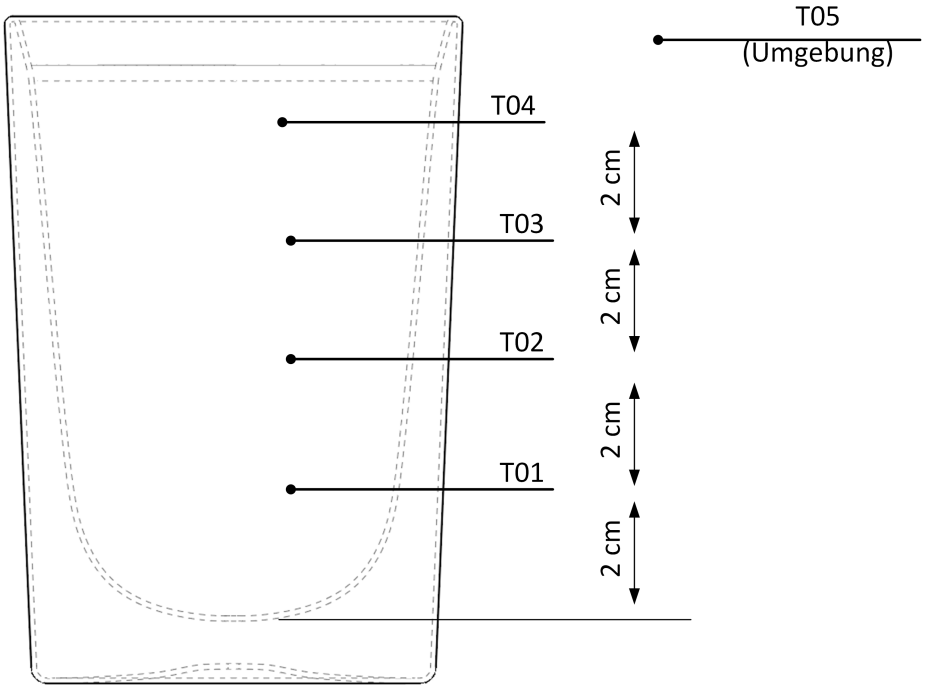


Abbildung 3.3.: Messaufbau zur Messung der Temperatur des Getränks

Insgesamt standen Daten von sechs Messungen zur Verfügung. Zwei Messungen wurden gemacht, bei dem das Glas komplett mit Wärmedämmung ummantelt wurde und bei den restlichen vier Messungen wurde das Glas 4cm dickes Armaflex gestellt und war ansonsten nicht isoliert.

3.2.2. Vergleich Modell - Messdaten

Bei der Simulation wurden die gleichen Randbedingungen gewählt wie bei den Messungen um vergleichbare Resultate zu erhalten. Den Messdaten wurde eine 'mittlere' Kurve hinzugefügt. Diese wird aus den Mittelwerten der vier Messpunkte berechnet und stellt näherungsweise den mittleren Temperaturverlauf des Getränks beim Abkühlen dar. Die Messungen wurden mit zwei unterschiedlichen Gläsern durchgeführt. Die Gläser enthalten unterschiedliche Mengen an PCM und auch die Masse des Rohglases ist unterschiedlich (siehe Tabelle 3.2)

Tabelle 3.2.: Parameter der vermessenen Gläser

Messgrösse	**Glas Nr. 1**		**Glas Nr. 2**	
Messung	1	2	3	4
Masse PCM	133 g		108 g	
Masse Bier	271 g	272 g	278 g	292 g
Masse Glas	175 g		184 g	
Starttemperatur Bier	22.4°C	22.5°C	22.3°C	23.0°C
Umgebungstemperatur	22.6°C	22.8°C	22.4°C	23.8°C
Starttemperatur PCM	-18°C			

Im Vergleich zu den gemessenen Temperaturen sind die simulierten Temperaturen eher tiefer.

Der Verlauf der Temperaturkurve passt vom ungefähren Verlauf gut zu den Messdaten, jedoch weichen die Berechnungen quantitativ stark von diesen ab (siehe Abbildung 3.4). Mögliche Ursachen sind eine zu starke Vereinfachung, oder die gewählte Nusselt-Korrelation ist auf diesen Fall nicht anwendbar.

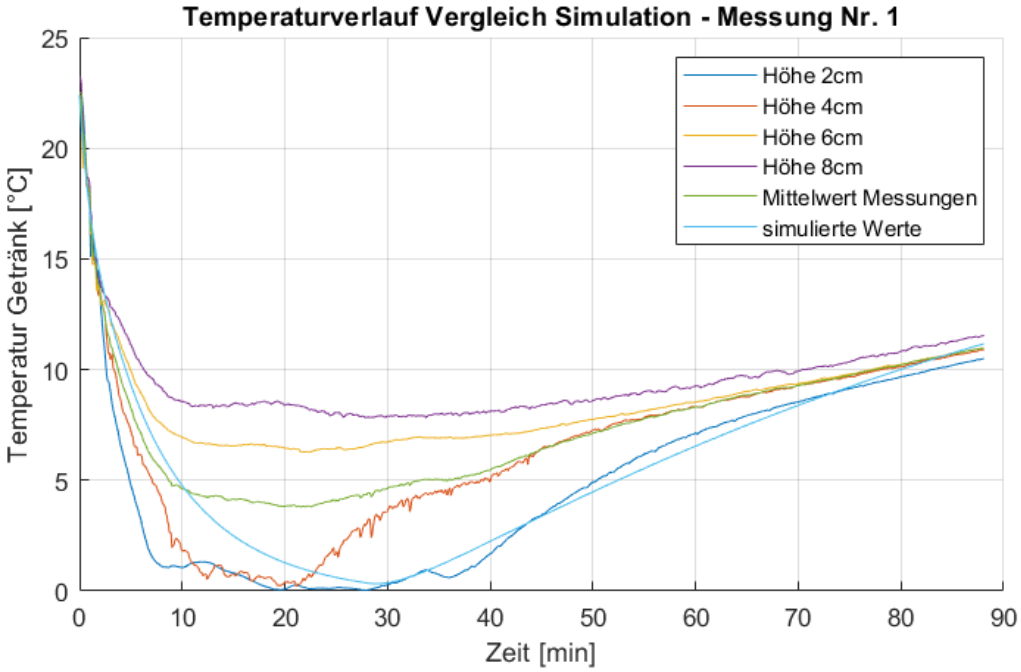


Abbildung 3.4.: Vergleich Messung Nr.1 - Simulation

In Abbildung 3.4 wird der Vergleich der simulierten Temperaturwerte mit den real gemessenen Werten dargestellt.

Die Diagramme zum Vergleich der Simulation mit den anderen Messungen sind im Anhang auf Seite 33 aufgeführt. Bei Betrachtung dieser Diagramme fällt auf, dass die Randbedingungen wie Einfüllmenge des Bieres und die Umgebungstemperatur einen grossen Einfluss auf die Temperaturverläufe haben. Ebenfalls fallen die Unterschiede zwischen den zwei verschiedenen Gläsern auf. Dadurch, dass in Glas Nr. 1 15g mehr PCM abgefüllt war als in Glas Nr. 2 ergibt sich auch ein grosser Unterschied in den Temperaturverläufen der unterschiedlichen Gläser. Aufgrund dieser Varianz der Einfüllmenge ist auch die genaue Auslegung der neuen Gläser schwierig, da auch bei diesen die Füllmenge des PCMs nicht konstant ist.

In jedem Fall ist für eine genaue thermodynamische Auslegung eine genauere Betrachtung des vorliegenden Systems notwendig. Für eine erste Auslegung und eine grobe Abschätzung der zu erwartenden Werte, kann das Modell jedoch unter Vorbehalt verwendet werden.

4. Schlussfolgerung

4.1. Fazit

Ziel dieser Arbeit war die Implementierung und das Testen eines Prototypen zum automatischen Abfüllen eines PCM in die Trinkgläser der SCALORIC GmbH. Wenn zeitlich möglich sollten die Gläser auf diesem Prototypen sogleich noch mit einem Polymer verschlossen werden können und zwei neue Produkte der SCALORIC GmbH thermodynamisch ausgelegt werden.

Das Ziel des automatischen Abfüllens des PCM in die Gläser wurde erreicht, aus Zeitgründen konnte jedoch das automatische Verschliessen der Gläser nicht mehr in den Prototypen implementiert werden. Es existiert jedoch bereits ein Konzept, um dieses zu realisieren und der Programmcode ist ebenfalls schon geschrieben und muss nur noch implementiert und getestet werden. Die thermodynamische Auslegung konnte aus Zeitgründen nur sehr grob vorgenommen werden und müsste sicher genauer betrachtet werden, um zuverlässige Aussagen bezüglich des Abkühlverhaltens der neuen Gläser machen zu können.

4.2. Lessons learned

Es hat sich bewährt, dass bereits früh im Projekt erste Funktionstests gemacht wurden, um z.B. die Lokalisierung der Einfüllöffnung mithilfe der Bilderkennung zu testen. Des Weiteren hat sich auch die Nutzung von mit dem Lasercutter gefertigten Teilen aus MDF zum Prototypenbau bewährt, da diese in sehr kurzer Zeit gefertigt werden konnten und somit auch sehr flexibel anpassbar waren und verschiedene Konzepte einfach und schnell getestet werden konnten.

Des Weiteren werde ich in einem zukünftigen Projekt mir schneller Hilfe holen, wenn etwas nicht so funktioniert, z.B. mit der Ansteuerung der Schrittmotoren, da sonst wertvolle Zeit verloren geht.

Ausserdem würde ich mehr Arbeitsschritte extern geben, wie das löten und aufbauen der Platine, oder das Drehen der Bolzen zur Fixierung der Halterung der Achsen, um Zeit zu sparen

4.3. Offene Punkte

Der Prototyp ist soweit funktionsfähig, jedoch muss das Kabelmanagement noch gemacht werden, damit diese gesichert sind und den Prototypen nicht im Betrieb stören können. Des Weiteren müssen noch einige wenige Funktionen in das Programm implementiert werden. Zudem soll die ganze Steuer- und Stromversorgungseinheit in einem Steuerkasten montiert werden.

4.4. Weiteres Vorgehen

Der nächste Schritt in der Entwicklung des Prototypen wäre die Implementierung des Verschliessens des Glases. Die Halterung ist so konstruiert, dass ein implementieren dieser Funktion bereits vorgesehen ist.

Des Weiteren wäre es möglich die Bilderkennung noch weiter zu optimieren, in dem man versucht das Bild zu skalieren und dafür Genauigkeitseinbussen in Kauf nimmt oder die Bilderkennung auf mehrere Threads aufteilt die parallel laufen können (Multithreading), oder in dem man die Bilderkennung auf einen externen Laptop auslagert.

In einem weiteren Schritt kann der Prototyp weiterentwickelt werden. Geplant ist, ein Förderband zu implementieren, mit dem man die Gläser automatisch an den Ort transportieren kann, wo sie abgefüllt werden sollen und das Verschliessen der Gläser ebenfalls zu implementieren.

A. Anhang

A.1. Abbildungsverzeichnis

1.1. 3 dl CoolDownDrink - Trinkglas (CoolDownDrink 2019) 7

2.1. Unterseite des 3 dl-Glases mit Einfüllöffnung 9
2.2. Grobkonzept des Prototypen 13
2.3. Strahlengang des Lichts beim Befüllen des Glases 15
2.4. Strahlengang des Lichts, wenn Füllhöhe erreicht 15
2.5. Idealisierung des Glases 17

3.1. CAD-Modell des Einfüllmechanismus 23
3.2. Aufgebauter Prototyp der Abfüllstation 26
3.3. Messaufbau zur Messung der Temperatur des Getränks 28
3.4. Vergleich Messung Nr.1 - Simulation 29

B.1. Vergleich Messung Nr.1 - Simulation 33
B.2. Vergleich Messung Nr.2 - Simulation 33
B.3. Vergleich Messung Nr.3 - Simulation 34
B.4. Vergleich Messung Nr.4 - Simulation 34
B.5. Pinbelegung Raspberry Pi 41

A.2. Tabellenverzeichnis

2.1. Konzepte Erkennung Einfüllöffnung 10
2.2. Mögliche Konzepte zum Bewegen des Einfüllmechanismus 11
2.3. Mögliche Konzepte zur Erkennung der Füllhöhe 12

3.2. Parameter der vermessenen Gläser 29

Literatur

[1] CoolDownDrink. *CoolDownDrink-Glas 280ml*. 20. Mai 2019. URL: https://www.cooldowndrink.ch/produkt/cooldowndrink-glas-280ml/ (besucht am 29. 05. 2019).

[2] Raspberry Pi Foundation. *Raspberry Pi Documentation*. URL: https://www.raspberrypi.org/documentation (besucht am 29. 05. 2019).

[3] George Leger. *Stepper Motor Modes of Operation*. 18. Feb. 2013. URL: https://www.circuitspecialists.com/blog/stepper-motor-modes-of-operation-stepper-motor-controller-overview-and-information-regarding-multi-axis-motion-control/ (besucht am 22. 04. 2019).

[4] OpenCV. *Canny Edge Detector*. 19. Okt. 2019. URL: https://docs.opencv.org/master/da/d5c/tutorial_canny_detector.html (besucht am 29. 05. 2019).

[5] Harvey Rhody. *Hough Circle Transform*. 11. Okt. 2005. URL: https://www.cis.rit.edu/class/simg782/lectures/lecture_10/lec782_05_10.pdf (besucht am 29. 05. 2019).

[6] scikit-image. *Circular and Elliptical Hough Transforms*. 1. Jan. 2018. URL: https://scikit-image.org/docs/0.13.x/auto_examples/edges/plot_circular_elliptical_hough_transform.html#sphx-glr-auto-examples-edges-plot-circular-elliptical-hough-transform-py (besucht am 17. 03. 2019).

[7] Universität Stuttgart. *Tiefenscannende Streifenprojektion (DSFP) mit 3D-Kalibrierung*. 7. Mai 2014. URL: https://www.ito.uni-stuttgart.de/forschung/3do/projekte/abgeschlossen/dsfp.html (besucht am 29. 05. 2019).

[8] The MathWorks Inc. *Find circles using circular Hough transform*. URL: https://ch.mathworks.com/help/images/ref/imfindcircles.html (besucht am 29. 05. 2019).

[9] VDI. *VDI-Wärmeatlas 11. Auflage*. Springer Berlin Heidelberg, 2013.

B. Anhang

B.1. Vergleiche Messdaten - Simulation

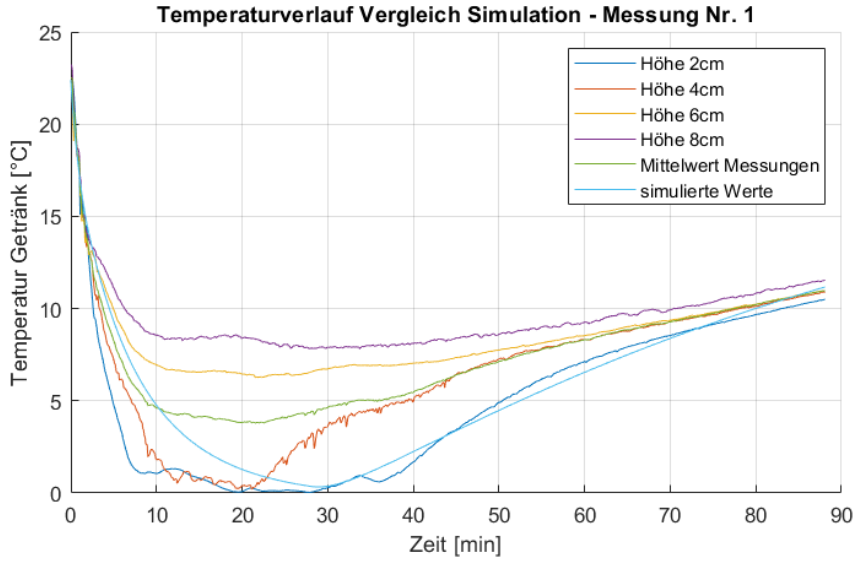


Abbildung B.1.: Vergleich Messung Nr.1 - Simulation

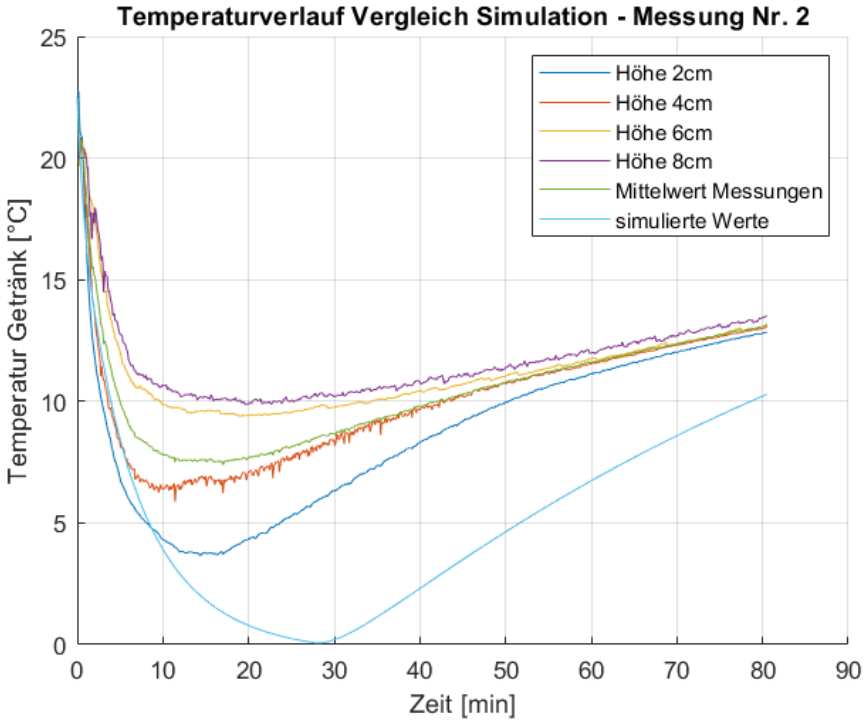


Abbildung B.2.: Vergleich Messung Nr.2 - Simulation

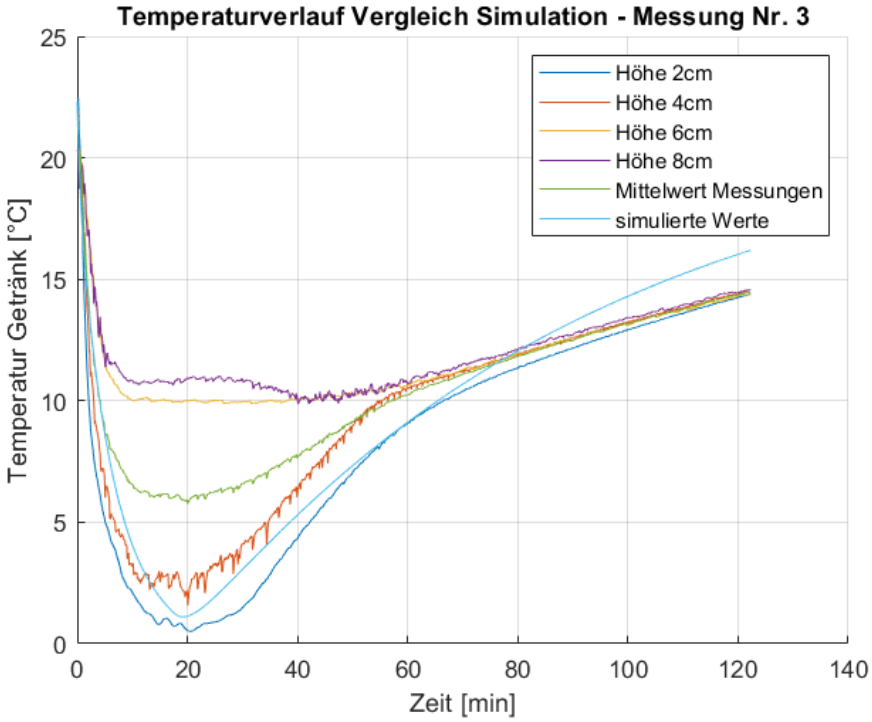


Abbildung B.3.: Vergleich Messung Nr.3 - Simulation

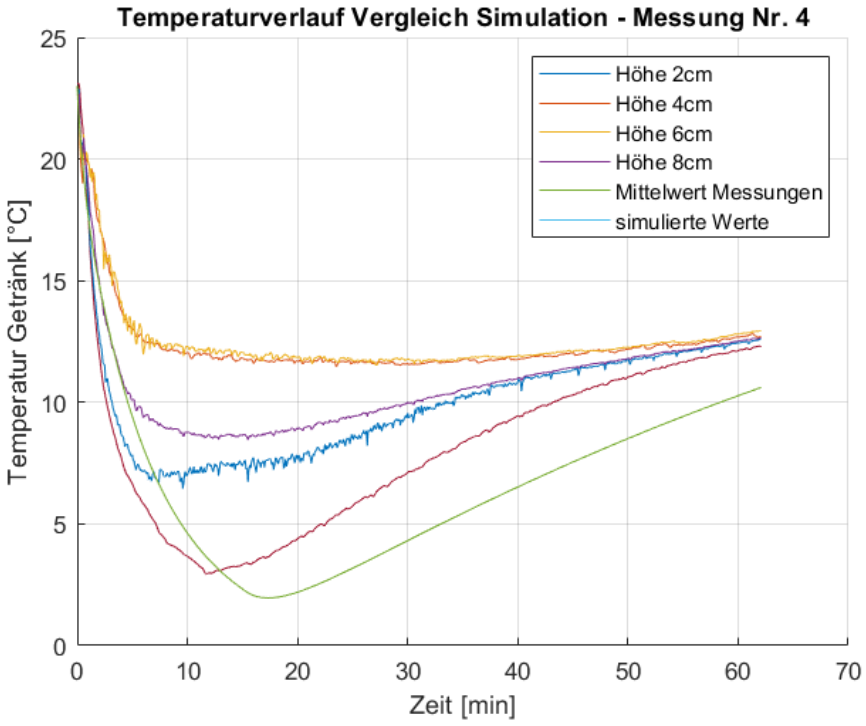


Abbildung B.4.: Vergleich Messung Nr.4 - Simulation

Beispielcode in Python zur Lokalisierung Einfüllöffnung

```
#notwendige Pakete importieren
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
from skimage.io import imread
from skimage.transform import hough_circle, hough_circle_peaks
from skimage.feature import canny
from skimage.draw import circle_perimeter
from skimage.util import img_as_ubyte


#Bild importieren
image_original=imread("C:/Users/Stefan/Bilder/image.jpg",as_gray=True)[...,0]
image_original=img_as_ubyte(image_original)

#Bild zuschneiden
image=image_original[900:1600, 1300:1800]

#Kantenerkennung durchfuehren
edges = canny(image, sigma=3, low_threshold=10, high_threshold=50)

# Hough-Transformation durchfuehren in diesem Beispiel werden Kreise mit Radius zw
hough_radii = np.arange(30, 45, 2)
hough_res = hough_circle(edges, hough_radii)

# Den prominentisten Kreis auswaehlen
accums, cx, cy, radii = hough_circle_peaks(hough_res, hough_radii,
                                           total_num_peaks=1)
# Erkannter Kreis auf Ursprungsbild zeichnen
fig, ax = plt.subplots(ncols=1, nrows=1, figsize=(80, 24))
image = color.gray2rgb(image_original)
for center_y, center_x, radius in zip(cy+900, cx+1300, radii):
    circy, circx = circle_perimeter(center_y, center_x, radius)
    image[circy, circx] = (220, 20, 20)

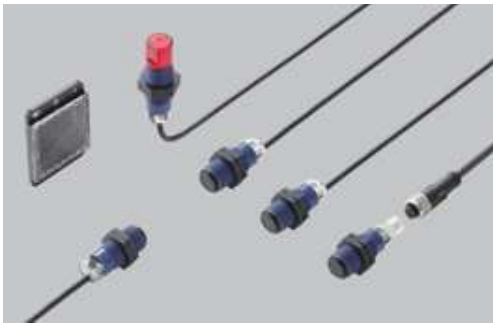
ax.imshow(image, cmap=plt.cm.gray)
plt.show()
```

B.2. Datenblätter

Cylindrical Photoelectric Sensor

CY-100 SERIES

CE Conforming to EMC Directive | UL Listing (2 m cable length type only)

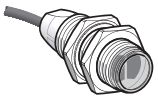
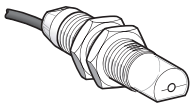


Features

- **Wide product range**
  Shape: Standard type
  Side view type
  Connector: 2 m cable length type
  M12 plug-in connector type
- **Diffuse reflective type sensor with sensitivity adjuster is available.**
- **M18 thread size for convenient mounting**
- **Strong resistance IP67**
- **Convenient universal sensor mounting stand is available.**

ORDER GUIDE

2 m cable length type

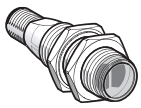
Type			Appearance	Sensing range	Model No. (Note 1) NPN output	Model No. (Note 1) PNP output	Output operation
Standard	Thru-beam			15 m 49.21 ft	CY-111A	CY-111A-P	Light-ON
					CY-111B	CY-111B-P	Dark-ON
	Retroreflective (Note 2,3)			4 m 13.12 ft	CY-192A-Y	CY-192A-P-Y	Light-ON
					CY-192B-Y	CY-192B-P-Y	Dark-ON
		With polarizing filters		2 m 6.56 ft	CY-191A-Y	CY-191A-P-Y	Light-ON
					CY-191B-Y	CY-191B-P-Y	Dark-ON
	Diffuse reflective			100 mm 0.33 ft	CY-121A	CY-121A-P	Light-ON
					CY-121B	CY-121B-P	Dark-ON
		With sensitivity adjuster		600 mm 1.97 ft	CY-122A	CY-122A-P	Light-ON
					CY-122B	CY-122B-P	Dark-ON
Side view	Thru-beam			15 m 49.21 ft	CY-111VA	CY-111VA-P	Light-ON
					CY-111VB	CY-111VB-P	Dark-ON
	Retroreflective (Note 2,3)			4 m 13.12 ft	CY-192VA-Y	CY-192VA-P-Y	Light-ON
					CY-192VB-Y	CY-192VB-P-Y	Dark-ON
		With polarizing filters		2 m 6.56 ft	CY-191VA-Y	CY-191VA-P-Y	Light-ON
					CY-191VB-Y	CY-191VB-P-Y	Dark-ON
	Diffuse reflective			100 mm 3.94 in	CY-121VA	CY-121VA-P	Light-ON
					CY-121VB	CY-121VB-P	Dark-ON
		With sensitivity adjuster		600 mm 23.62 in	CY-122VA	CY-122VA-P	Light-ON
					CY-122VB	CY-122VB-P	Dark-ON

Notes: 1) The model No. with "**E**" shown on the label affixed to the thru-beam type sensor is the emitter, "**D**" shown on the label is the receiver.
(e.g.) Emitter of **CY-111A**: **CY-111E**, Receiver of **CY-111A**: **CY-111AD**
2) The reflector is sold separately.
3) The sensing range of the retroreflective type sensor is specified for the **RF-420** reflector (optional).

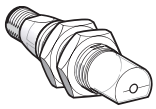
M12 plug-in connector type

M12 plug-in connector type is also available.
When ordering this type, "**-Z**" for the M12 plug-in connector type to the model No.
(e.g.) M12 plug-in connector type of **CY-111A-P** is "**CY-111A-P-Z**".
In case of the retroreflective type, M12 plug-in connector type of **CY-19□-P-Y** is "**CY-19□-P-Z-Y**".

• **Standard type**



• **Side view type**



1

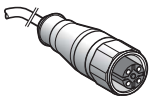
ORDER GUIDE

Mating cable (2 cables are required for the thru-beam type.)

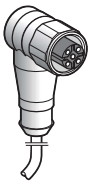
Type		Model No.	Description	
For M12 plug-in connector type	Straight	CN-24C-C2	Length: 2 m 6.56 ft	Clamping ring : ø14mm 0.55 in
		CN-24C-C5	Length: 5 m 16.40 ft	
	Elbow	CN-24CL-C2	Length: 2 m 6.56 ft	Cable outer : ø5.3mm 0.21 in
		CN-24CL-C5	Length: 5 m 16.40 ft	

Mating cable

• Straight type



• Elbow type



OPTIONS

Designation	Model No.	Description
Sensor mounting bracket	MS-CY1-1	Material: Stainless steel
	MS-CY1-2	Material: Plastic, For beam axis alignment
Universal sensor mounting stand	MS-AJ3	It can adjust the height of the sensor and reflector RF-420. (The thru-beam type sensor needs two brackets.)
Reflector	RF-420	50 × 50 mm 1.97 × 1.97 in
	RF-410	24 × 21 mm 0.94 × 0.83 in
Reflective tape	RF-40RL5	22 mm × 5 m 0.87 × 196.85 in, Thickness: 0.4 mm 0.02 in

Sensor mounting bracket

• MS-CY1-1

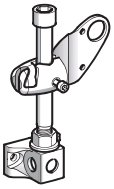


• MS-CY1-2



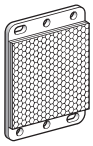
Universal sensor mounting stand

• MS-AJ3

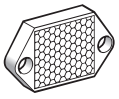


Reflector

• RF-420

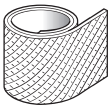


• RF-410



Reflective tape

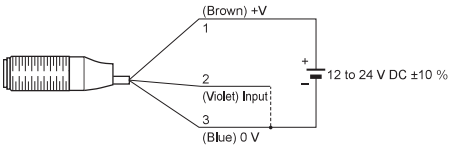
• RF-40RL5



WIRING DIAGRAMS

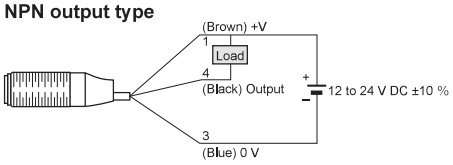
Wiring diagram

Emitter of thru-beam type



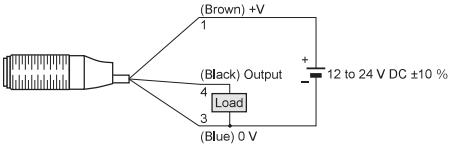
Receiver of thru-beam / Reflective type

NPN output type



Receiver of thru-beam / Reflective type

PNP output type



Connector pin position

M12 connector



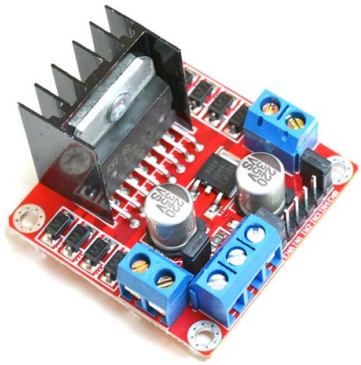
1 : +V
2 : Input (Only emitter of thru-beam type)
3 : 0 V
4 : Output (Only receiver of thru-beam type and reflective type)

Handson Technology

User Guide

L298N Dual H-Bridge Motor Driver

This dual bidirectional motor driver, is based on the very popular L298 Dual H-Bridge Motor Driver Integrated Circuit. The circuit will allow you to easily and independently control two motors of up to 2A each in both directions.It is ideal for robotic applications and well suited for connection to a microcontroller requiring just a couple of control lines per motor. It can also be interfaced with simple manual switches, TTL logic gates, relays, etc. This board equipped with power LED indicators, on-board +5V regulator and protection diodes.

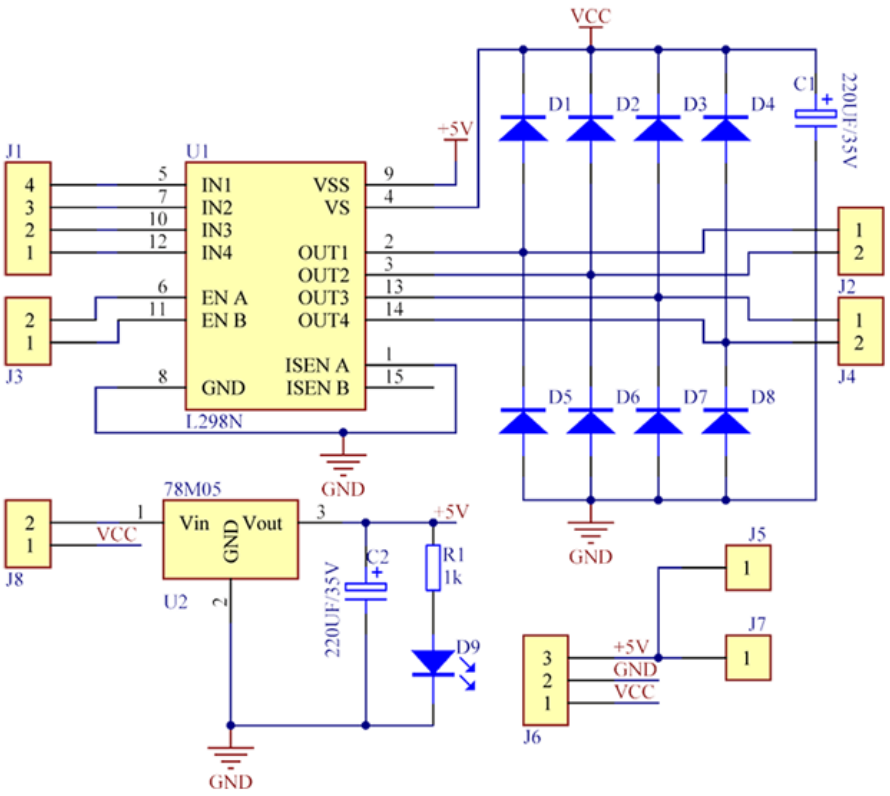


SKU: MDU-1049

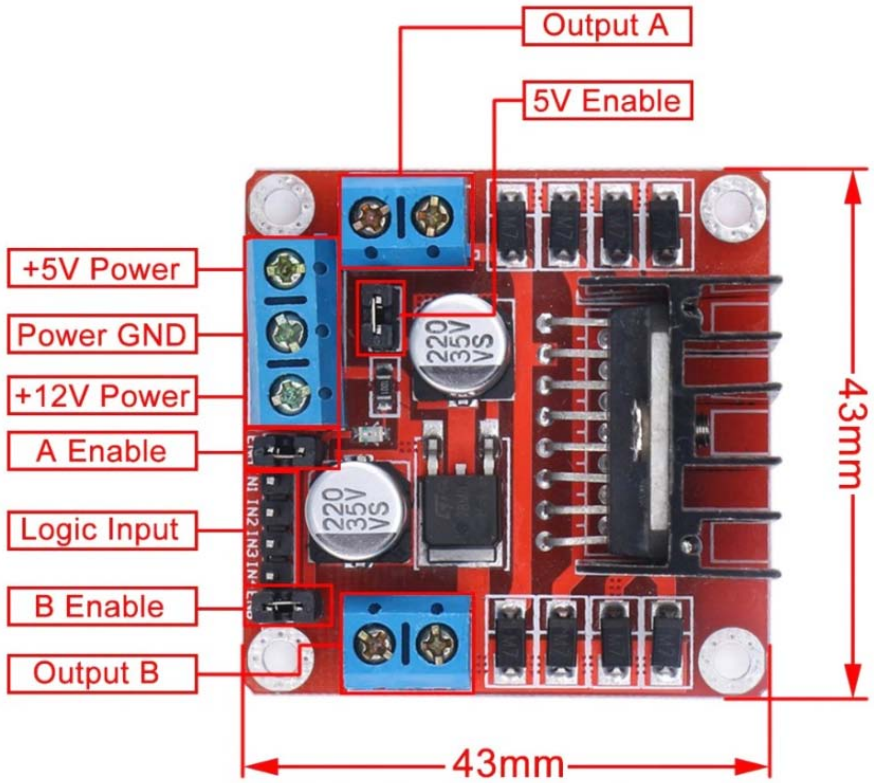
Brief Data:

- Input Voltage: 3.2V~40Vdc.
- Driver: L298N Dual H Bridge DC Motor Driver
- Power Supply: DC 5 V - 35 V
- Peak current: 2 Amp
- Operating current range: 0 ~ 36mA
- Control signal input voltage range :
- Low: -0.3V ⩽ Vin ⩽ 1.5V.
- High: 2.3V ⩽ Vin ⩽ Vss.
- Enable signal input voltage range :
  - Low: -0.3 ⩽ Vin ⩽ 1.5V (control signal is invalid).
  - High: 2.3V ⩽ Vin ⩽ Vss (control signal active).
- Maximum power consumption: 20W (when the temperature T = 75 ℃).
- Storage temperature: -25 ℃ ~ +130 ℃.
- On-board +5V regulated Output supply (supply to controller board i.e. Arduino).
- Size: 3.4cm x 4.3cm x 2.7cm

Schematic Diagram:



Board Dimension & Pins Function:



B.3. Pin-Belegung Raspberry Pi

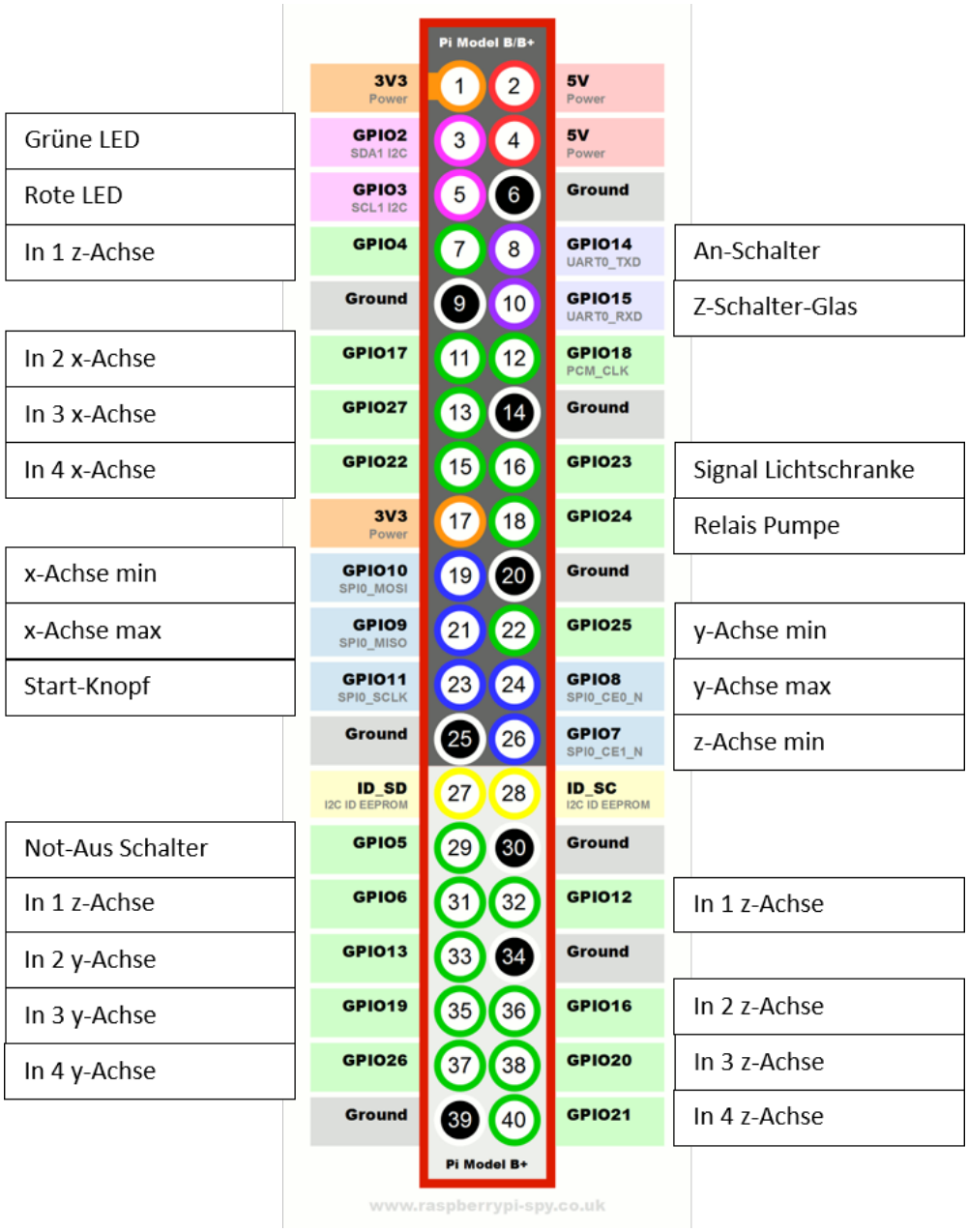


Abbildung B.5.: Pinbelegung Raspberry Pi