



Hochschule für angewandte Wissenschaften München

Fakultät für Maschinenbau, Fahrzeugtechnik, Flugzeugtechnik

Projektarbeit

Konzeptentwicklung der Wägetechnik für eine Siebträgerespressomaschine

Betreuer: Dipl.-Ing. Armin Rohnen, LbA

Name	Matrikelnummer	Seminargruppe	E-Mail
Gregor Mietzsch	03435519	LRB6	gregor.mietzsch@hm.edu
Marvin Baumgartner	26206417	MBB7	m.baumgartner@hm.edu

Eingereicht am: 09.02.2022

Abstract

Gregor Mietzsch

Die Dokumentation der Projektarbeit befasst sich mit der Entwicklung einer Wägetechnik für eine Espressomaschine zur Messung des Gewichts eines abgegebenen Getränks. Dazu mussten mehrere Konzepte in Betracht gezogen werden, da vorherige Arbeiten in diesem Bereich nicht erfolgreich waren. Zudem musste ein Patent einer anderen Firma umgangen werden. Es wurden zwei Konzepte entwickelt und in einem Demonstrator aufgebaut, so dass die Präzision dieser beiden Konzepte untersucht und verglichen werden konnte. Dabei wurden aufgrund von Lieferschwierigkeiten alternative Wägezellen verwendet. Es wurde festgestellt, dass beide Varianten zwar unabhängig von der Position der Last auf dem Abtropfblech das korrekte Gewicht messen, dies aber nicht präzise genug.

This documentation of the project module is about the development of a weighing device for an espresso machine, in order to measure the mass of the dispensed beverage. To achieve this, several concepts were developed, as previous work in this area had not achieved satisfactory results, while also working around current patent restrictions. Two concepts were developed in detail and assembled as a test bed, in order to verify and compare the precision of both concepts. Due to the unavailability of the planned load cells, these tests had to be performed with different cells that were available. It could be established that both concepts do measure the mass of a test load correctly, regardless of the position of the test load on the tray, but fail to achieve the desired precision.

Inhaltsverzeichnis

Abstract	I
Verwendete Formelzeichen	III
Abkürzungsverzeichnis	III
1 Einleitung	1
2 Patentrechtliche Lage	2
3 Konzeptentwicklung Demonstrator	3
3.1 Konzept 1	3
3.2 Konzept 2	3
3.3 Konzept 3	4
3.4 Konzept 4	4
3.5 Konzept 5	5
3.6 Bewertung und Auswahl der Konzepte	5
4 Massenbilanz	7
5 Konstruktion und Aufbau des Demonstrators	9
5.1 Demonstratorrahmen	9
5.2 Abtropfblech für Konzept 2	10
5.3 Verbindungselemente	10
6 Technische Mechanik	13
7 Überprüfung der Messgenauigkeit	16
7.1 Validierung der Messwerte	16
7.2 Statistische Auswertung der Messwerte	17
8 Zusammenfassung und Ausblick	20
Abbildungsverzeichnis	IV
Tabellenverzeichnis	IV
Formelverzeichnis	V
Literaturverzeichnis	VI
Anhang	VII

Verwendete Formelzeichen

a	[m]	Abstand der Wägezellen vom Rand des Blechs, Y-Achse
b	[m]	Abstand zwischen den Wägezellen, Y-Achse
c	[m]	Abstand des Tassenschwerpunktes von Lagerpaar A, Y-Achse
d	[m]	Abstand der Wägezellen vom Rand des Blechs, X-Achse
e	[m]	Abstand zwischen den Wägezellen, X-Achse
E	$[\frac{N}{m^2}]$	Elastizitätsmodul des Materials des Abtropfblechs
f	[m]	Abstand des Tassenschwerpunktes von Wägezelle 1, X-Achse
F_{Last}	[N]	Kraft der Gesamtmasse auf die Wägetechnik
F_{Nutz}	[N]	Kraft der Masse von Tassen und Getränke auf die Wägetechnik
F_{Blech}	[N]	Kraft der Masse des Blechs auf die Wägetechnik
$F_{Lagerpaar,A}$	[N]	Gemeinsame Lagerkraft der Wägezellen an Position A
$F_{Lagerpaar,B}$	[N]	Gemeinsame Lagerkraft der Wägezellen an Position B
$F_{Zelle,i}$	[N]	Lagerkraft der Wägezellen mit Index i
h	[m]	Dicke des Abtropfblechs
i	[-]	Index der Wägezellen
I	[m ⁴]	Flächenträgheitsmoment des Abtropfblechs
g	$[\frac{m}{s^2}]$	Erdschwerkraft
m_{Tassen}	[kg]	Kombinierte Masse der Tassen
m_{Blech}	[kg]	Masse des Abtropfblechs
$m_{Getränke}$	[kg]	Kombinierte Masse der Getränke in den Tassen
$m_{Lagerung}$	[kg]	Masse der Lagerung des Abtropfblechs auf den Wägezellen
m_{Last}	[kg]	Gesamtmasse auf den Wägezellen
w	[m]	Durchbiegung des Abtropfblechs an der Stelle x
x	[m]	Abstand des Angriffspunktes von F_{Last} zu einem Lager

Abkürzungsverzeichnis

Abb. Abbildung

V Volt

1 Einleitung

Marvin Baumgartner

Die Projektarbeit umfasst die konstruktive Weiterentwicklung des Wägesystems einer Espressomaschine. Dieses soll das Gewicht, bzw. die Menge der in die Tassen abgegebenen Flüssigkeit bestimmen.

Bei der vorangegangenen Projektarbeit [10] konnte die hier angezielte Messgenauigkeit von 0,1g bei 95,5% aller Messwerte bisher nicht herbeigeführt werden. Aufgrund der Nichtverfügbarkeit der hierfür nötigen hochpräzisen Wägezellen werden Zellen vom Typ H10A der Firma Bosche (Datenblatt siehe Anhang) verwendet, welche wegen ihrer geringen Messgenauigkeit lediglich zur Prinzipbetrachtung geeignet sind.

Hierfür wird nach einer anfänglichen Patentrecherche ein Konzept mithilfe einer Massenbilanz entworfen und anschließend bezüglich der technischen Mechanik überprüft. Auch ein bereits bestehendes Konzept wird hinsichtlich der Massenbilanz und technischen Mechanik validiert. Anschließend werden diese beiden Konzepte an einem Demonstrator erprobt und hinsichtlich ihrer Messgenauigkeit untersucht.

2 Patentrechtliche Lage

Gregor Mietzsch

Für Siebträgermaschinen ist ein Patent der Firma La Marzocco [32] bekannt. In diesem Patent wird eine Wägetechnik für einzelne Tassen in das Abtropfblech einer Siebträgermaschine integriert. Daher darf die Wägetechnik nicht in das Abtropfblech selbst integriert werden, sondern muss an anderer Stelle in die Maschine verbaut werden. Zusätzlich schützt das Patent diverse Zusatzfunktionen im Zusammenhang mit der Wägetechnik, die für diese Arbeit nicht relevant sind. Nicht patentiert ist die Idee einer Wägetechnik für Siebträgermaschinen an sich. Das Patent kann damit durch jede andere Art der Anordnung umgangen werden. Daher sind Konzepte zu entwickeln, bei denen die Wägetechnik nicht im Abtropfblech verbaut ist. Dennoch muss für die weitere Entwicklung der Wägetechnik dringend darauf geachtet werden, dass das Patent nicht verletzt wird.

Da die Wägetechnik im Musteraufbau nicht in der Abtropfschale untergebracht ist, wird davon ausgegangen, dass das Patent von LaMarzocco nicht verletzt wird, da die Wägetechnik im Patent explizit in der Abtropfschale untergebracht wird. Die in dieser Arbeit entwickelte Wägetechnik wiegt das gesamte Abtropfblech, nicht nur einen Teilbereich. Da alle weiteren Patentansprüche auf diesem Anspruch beruhen, können diese Funktionen in der Kaffeemaschine ebenfalls realisiert werden, da das Patent nicht greift. Diese Analyse des Patents stammt allerdings nicht von einem Anwalt, sondern einem angehenden Ingenieur, weshalb diese Analyse nicht abschließend ist und kritisch hinterfragt werden muss.

3 Konzeptentwicklung Demonstrator

Marvin Baumgartner

Im Zuge der Konzepterarbeitung wurden insgesamt fünf Konzepte erstellt und anschließend bewertet.

Da die im Endprodukt geplanten Wägezellen vom Typ Q47 der Firma Zemic (Datenblatt siehe Anhang) nur einen maximalen Messbereich von je 500 g abdecken wurde großer Wert darauf gelegt, das Ziel eines gesamten Messbereichs der Wägetechnik von 2000 g zu erreichen.

3.1 Konzept 1

Das erste Konzept sieht vor, an den vier Ecken des Abtropfblechs Füße zu befestigen, welche sich auf jeweils eine Wägezelle abstützen, wie in Abbildung 3.1 erkennbar wird. Dies erzeugt die nötige Stabilität des Abtropfblechs.

Dabei ist die Masse, das Blech und die dazugehörige Geometrie in Schwarz dargestellt. In Rot sind die Wägezellen und in Blau die Anbindungsstellen an das Gehäuse markiert. Diese Farbkonvention gilt analog für Abbildungen 3.1 bis 3.5.

Die Befestigung zwischen den Füßen und den Wägezellen erfolgt durch eine Klebefläche. Die Wägezellen werden der Länge nach auf den aus der Maschinenfront herausragenden Schienen befestigt. Somit befinden sich diese im nicht schmutzgefährdeten Randbereich des Blechs. Dennoch erzeugt diese nicht lösbare Verbindung ein großes Problem bei den Hygieneanforderungen der Maschine, da das Blech so nicht entfernt werden kann und eine Reinigung dessen unmöglich wird.

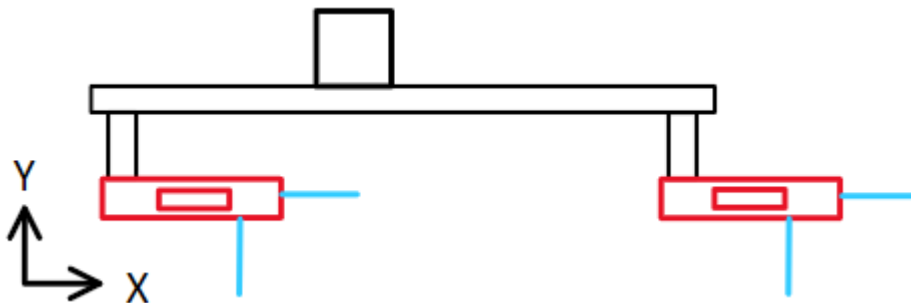


Abbildung 3.1 Skizze des Konzepts 1 in Seitenansicht

Bei der Verbindung von Wägezelle zu Schiene muss ein Abstandshalter integriert werden, sodass sich die Wägezelle verbiegen und somit valide Messwerte liefern kann. Dieser ist so zu gestalten, dass auch ein robuster Überlastschutz der Zellen gewährleistet wird.

3.2 Konzept 2

Konzept 2 ist in der Grundgeometrie identisch zu Konzept 1. Die Verbindung zwischen Blech und Wägezellen erfolgt jedoch mithilfe einer formschlüssigen Auflagefläche. Hierfür wären zwei gekonterte Muttern auf einer Schraube oder Gewindestange denkbar. Somit kann das Blech einfach entfernt werden, um beispielsweise die Reinigung zu ermöglichen. Das Konzept ist in Abbildung 3.2 in der Seitenansicht dargestellt. Alle weiteren Anforderungen teilt sich dieses Konzept mit dem ersten.

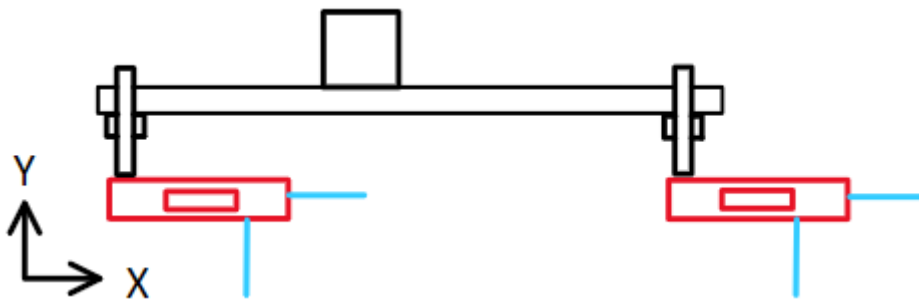
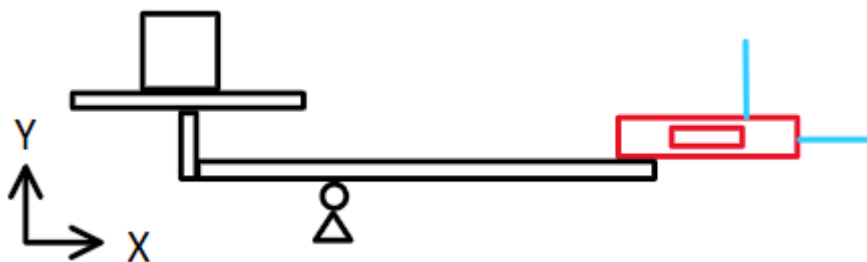


Abbildung 3.2 Skizze des Konzepts 2 in Seitenansicht

3.3 Konzept 3

In Konzept 3 wird ein Hebel verwendet, um den effektiven Messbereich zweier Wägezellen auf die angezielten 2 kg zu vergrößern. Die Gewichtskraft wird, wie in Abbildung 3.3 ersichtlich ist, vom Blech auf einen Hebel übertragen, welcher diese mit einer bestimmten Längenübersetzung an die beiden um 180° gedrehten Wägezellen von unten überträgt.



In dieser Anordnung können die Wägezellen innerhalb der Maschine untergebracht werden, wo sie vor Schmutz geschützt sind. Auch das Lager ist hinter dem Abtropfblech schmutzgeschützt positioniert. Jedoch führt dieses Konzept einige neue und schwer zu bestimmende Einflüsse auf die Messgenauigkeit ein. So zum Beispiel die Durchbiegung des Hebels und die Lagerreibung. Außerdem wird bei Verschiebung der Tassen entlang der X-Richtung das effektive Hebelverhältnis verändert. Aus Sicht der technischen Mechanik ist dieses Konzept somit für genauere Messergebnisse untauglich. Zudem müsste die Anordnung der anderen Bauteile im Innenraum der Maschine potentiell geändert werden.

3.4 Konzept 4

In Konzept 4 wird analog zu Konzept 3 ein Hebel eingesetzt, um den gesamten Messbereich der Anordnung zu erweitern. Wie aus Abbildung 3.4 hervorgeht, wird hierbei das Lager vorderhalb des Abtropfblechs positioniert, sodass es schmutzgeschützt ist. Die Gewichtskraft des Blechs mitsamt Tasse und Flüssigkeit wird auf zwei Balken übertragen, welche am anderen Ende jeweils auf einer der beiden Wägezellen aufliegen.

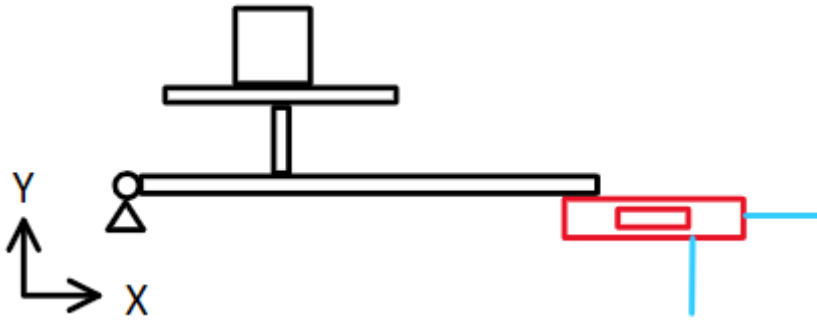


Abbildung 3.4 Skizze des Konzepts 4 in Seitenansicht

Auch dieses Konzept ist mechanisch ähnlich zu Konzept 3 nicht umsetzbar. Die Einflüsse von Lagerreibung und Durchbiegung der Balken wirken sich negativ auf die Messgenauigkeit aus. Das Problem der Veränderung des Hebelverhältnisses tritt ebenfalls analog zu Konzept 3 auf. Zudem ist die Umsetzbarkeit der Lagerung an dieser Position fraglich.

3.5 Konzept 5

Konzept 5 ist das wieder aufgegriffene Konzept, welches bereits in der vorangegangenen Bachelorarbeit [1] und der darauf aufbauenden Projektarbeit [10] eingesetzt wurde. In diesen Arbeiten konnte die gewünschte Messgenauigkeit nicht erreicht werden, obwohl es keine einschlägige Begründung dafür gibt. Dieses Konzept lagert das L-förmige Blech derart, dass es direkt auf den beiden Wägezellen aufliegt.

Das durch die exzentrische Wirkung der Gewichtskräfte entstehende Moment um die Z-Achse wurde ursprünglich mithilfe eines separaten Anschlags abgestützt. Da jedoch ein Moment um diese Z-Achse nicht von den Wägezellen erfasst wird, kann es auch direkt über die Zellen abgestützt werden. Da das Abtropfblech unter anderem für die Reinigung entfernbar sein muss, wird das Blech mithilfe eines Anschlags eingehangen, sodass die aus dem Moment resultierende Kraftkomponente in X-Richtung direkt in die Wägezellen eingeleitet wird. Die Wägezellen können diese Kraft in X-Richtung nicht messen, somit ist auch der verlängerte Hebelarm irrelevant. Abbildung 3.5 zeigt die prinzipielle Funktionsweise von Konzept 5.

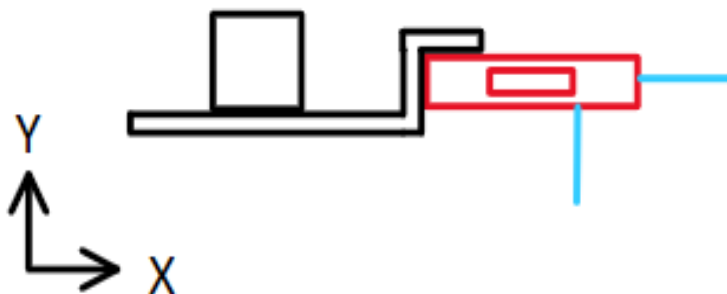


Abbildung 3.5 Skizze des Konzepts 5 in Seitenansicht

3.6 Bewertung und Auswahl der Konzepte

Mithilfe einer Bewertungsmatrix wurden die Konzepte hinsichtlich der Einflüsse auf die Messgenauigkeit, des Gewichts, des Bauraums, der Komplexität, der Wartungsfreundlichkeit und Schmutzanfälligkeit bewertet. Diese Matrix kann im Anhang gefunden werden.

Die Konzepte 3 und 4 bewirken bei Verschiebung der Tassen auf dem Blech entlang der X-Richtung eine Änderung des effektiven Hebelarms und somit eine Änderung der von den Wägezellen gemessenen Kraft. Dies macht eine positionsunabhängige Messung vollkommen unmöglich. Zusammen mit Problemen in beinahe allen anderen Untersuchten Kategorien führt dies zum Ausscheiden dieser beiden Konzepte.

Konzept 1 wird aufgrund der nicht lösbaren Klebeverbindung und somit unmöglichen Reinigbarkeit ausgeschlossen.

Letztlich bleiben zwei Konzepte übrig. Konzept 2 erhält in der Bewertungsmatrix die beste Bewertung und wird daher im Folgenden auskonstruiert und untersucht. Konzept 5 wird aufgrund des Vorhandenseins der meisten Bauteile ebenso in der weiteren Untersuchung betrachtet.

Dieser Ansatz erlaubt im späteren Projektverlauf eine Entscheidung zugunsten eines der beiden Konzepte, wenn weitere Kriterien, wie beispielsweise das Design der Maschine, wichtiger werden.

4 Massenbilanz

Gregor Mietzsch

Zur Festlegung des Messbereichs der Wägetechnik ist eine Massenbilanz der zu erwartenden Lasten notwendig. Die Gesamtmasse auf den Wägezellen folgt aus der Gleichung:

$$m_{Last} = m_{Blech} + m_{Lagerung} + m_{Tassen} + m_{Getränke} \quad (1)$$

Da der Messbereich der Wägetechnik gemäß Aufgabenstellung von 0 kg bis 2 kg geht, soll m_{Last} maximal 2kg betragen. Dies entspricht dem Messbereich von zwei Zellen des Typs Zemic Q47 in der Variante für 1 kg Last. Bei diesen Wägezellen handelt es sich um die bevorzugten Zellen für die Serienfertigung der Wägetechnik. Um zu ermitteln, ob dies erreichbar ist, werden die einzelnen Teillasten ermittelt.

Für das Gewicht des Abtropfblechs wird zusätzlich zu [1] ein weiteres m_{Blech} ermittelt, da das Abtropfblech der Bachelorarbeit nicht für das Konzept mit vier Wägezellen verwendbar ist. Da das neu entwickelte Abtropfblech größer ist und dadurch auch schwerer als das in [1] entworfene Blech, ist es der dimensionierende Fall für die Massenbilanz. Aus den Maßen des Blechs folgt bei Verwendung von 1.4301 als Werkstoff mit einer Dichte von $7,9 \frac{g}{cm^3}$ eine Masse von m_{Blech} gleich 1,101 kg. Eine Ausführung als Gitter ist leichter und somit nicht dimensionierend. Dabei ist zu beachten, dass das im Demonstrator verwendete Abtropfblech zu groß ist, um in der Kaffeemaschine verbaut werden zu können. Dies ist notwendig, um die im Labor vorhandenen Wägezellen serienähnlich einbauen zu können. Folglich wird m_{Blech} in der Serienausführung geringer sein.

Für die kombinierte Masse der Tassen auf dem Abtropfblech wurde der Online-Katalog von Villeroy & Boch [48] zu Ermittlung eines realistischen Tassengewichts herangezogen. Die Auswertung erstreckt sich dabei auf Espresso-, Kaffee- und Cappuccinotassen und ist in Tabelle 1 dargestellt. Kaffeebecher werden nicht berücksichtigt. Diese haben je nach Ausführung allerdings ähnliche Gewichte wie Cappuccinotassen.

Tabelle 4.1: Gewichte von Tassen der Marke Villeroy & Boch

Gewicht	Anzahl Espressotassen	Anzahl Kaffeetassen	Anzahl Cappuccinotassen
< 100 Gramm	35	0	0
100 - < 125 Gramm	18	12	0
125 - < 150 Gramm	2	15	0
150 - < 175 Gramm	2	11	0
175 - < 200 Gramm	0	17	6
200 - < 225 Gramm	1	9	5
225 - < 250 Gramm	0	0	11
250 - < 275 Gramm	0	0	2
275 - < 300 Gramm	0	2	1
≥ 300 Gramm	0	0	3

Es ist ersichtlich, dass Cappuccinotassen das größte Gewicht aufweisen und somit dimensionierend sind. Die Tassen mit einem Gewicht von mehr als 250 Gramm fassen alle einen doppelten Cappuccino. Deshalb wurde zur Auslegung die Annahme getroffen, dass

entweder ein doppelter oder zwei einfache Cappuccino gleichzeitig zubereitet werden. Deshalb wird für m_{Tassen} das Gewicht von zwei Cappuccinotassen angenommen, also ist m_{Tassen} gleich 0,5 kg.

Für $m_{Getränke}$ wird folglich auch angenommen, dass zeitgleich zwei Getränke abgegeben werden. Ein üblicher Espresso hat ein Volumen von 30 Millilitern. Für die Dichte von Espresso und von Milch kann näherungsweise die Dichte von Wasser angenommen werden. In guter Näherung beträgt die Dichte von Wasser bei 0°C $1000 \frac{kg}{m^3}$. Mit zunehmender Temperatur nimmt die Dichte ab. Daraus folgt, dass ein Espresso etwa 30 Gramm wiegt. Die noch hinzukommende Milch für die Cappuccinos füllt diese auf je 150 Milliliter auf. Dementsprechend gilt: $m_{Getränke}$ gleich 0,3 kg.

Somit gilt:

$$2 \text{ kg} = 1,101 \text{ kg} + m_{Lagerung} + 0,5 \text{ kg} + 0,3 \text{ kg} \quad (2)$$

Daraus folgt, dass $m_{Lagerung}$ nicht mehr als 0,091 kg wiegen darf, um den Messbereich der Wägetechnik einzuhalten. Für den Demonstrator ist dies aufgrund der verwendeten Wägezellen irrelevant. Die zulässige Gesamtlast des Demonstrators beträgt 32 kg, da jede Wägezelle 8 kg tragen kann [47].

Da die finalen Maße der Kaffeemaschine nicht bekannt sind, kann auch die Massenbilanz nicht endgültig aufgestellt werden. Unter der Verwendung des CAD-Modells der Maschine wird eine Tiefe von 140 Millimetern angenommen. Daraus folgt für m_{Blech} eine Masse von 0,774 kg. In dieser Variante verbleiben für $m_{Lagerung}$ also 0,426 kg. Es ist eine möglichst leichte Ausführung der Lagerung anzustreben. Dadurch steht mehr Messbereich für die Getränke zur Verfügung, was die Einsatzmöglichkeiten der Espressomaschine vergrößert.

5 Konstruktion und Aufbau des Demonstrators

Marvin Baumgartner

Der Demonstrator der Wägetechnik muss ausreichend flexibel entworfen werden, sodass die beiden untersuchten Konzepte schnell und ohne großen Umbau darauf aufgebaut werden können. Zudem werden für beide Konzepte noch Kleinteile konstruiert.

5.1 Demonstratorrahmen

Der Rahmen des Demonstrators wird aus zugeschnittenen Quadratprofilen der Firma MayTec hergestellt, da diese in großen Mengen bereits an der Hochschule München vorhanden sind und sowohl kostengünstig als auch schnell zugeschnitten werden können. Da die Flexibilität der wichtigste Aspekt des Rahmens ist, werden zwei paar Rahmenprofile einfach mittels Eckverbindern zu einem Rechteck verschraubt. Diese Eckverbinder sind in Abbildung 5.1 rot markiert und werden an beiden Seiten mit je einer Schraube am anliegenden Profil befestigt, was ein schnelles Lösen und Verschieben ermöglicht. Abbildungen 5.1 und 5.2 zeigen die Anordnungen der Rahmenprofile je einmal für Konzept 5 und Konzept 2.

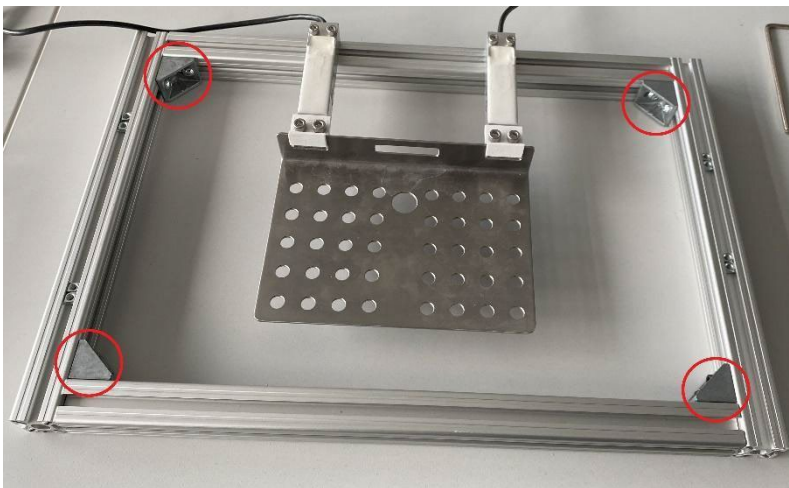


Abbildung 5.1 Aufgebauter Demonstrator für Messungen an Konzept 5

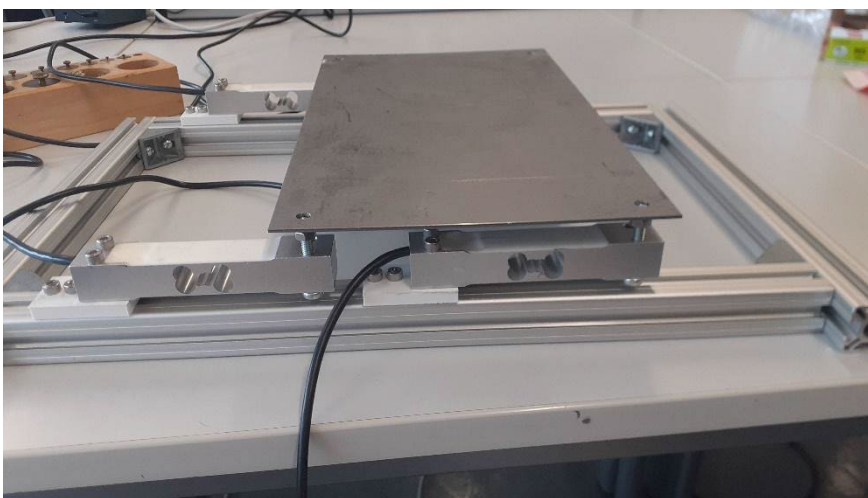


Abbildung 5.2 Aufgebauter Demonstrator für Messungen an Konzept 2

5.2 Abtropfblech für Konzept 2

Da das Abtropfblech für Konzept 5 noch aus der vorangegangenen Bachelorarbeit [1] vorhanden ist, muss nur das Blech für Konzept 2 dimensioniert und gefertigt werden.

Die Breite des Blechs ist mit 350mm so dimensioniert, dass es mit dem aktuellen Prototyp der Espressomaschine kompatibel ist. Die Länge muss jedoch mit 200mm etwas größer ausfallen als die für die Maschine vorgesehenen 140mm. Dies ist darin begründet, dass die hier verwendeten Wägezellen deutlich größer (besonders relevant: länger) sind als die für später geplanten. Damit die in Abbildung 5.2 dargestellte seriennahe Zellenanordnung für die Untersuchungen beibehalten werden kann, muss also das Blech länger dimensioniert werden.

Da die hier verwendeten Wägezellen einen vielfach größeren Messbereich aufweisen, muss beim Abtropfblech aktuell nicht besonders auf Gewichtseinsparungen geachtet werden. Somit kann das Blech auch ohne Löcher ausgeführt werden.

5.3 Verbindungselemente

Da die benötigten Teile in sehr kleiner Stückzahl und zeitlich schnell gefertigt werden mussten, wurde sich bei allen Teilen für die Verwendung des 3D Drucks entschieden.

Beim Aufbau von Konzept 2 ist die seriennahe Anordnung der Wägezellen, wie sie in Abbildung 5.2 aufgebaut ist, sehr wichtig. Somit muss ein Verbindungsstück gefertigt werden, welches die Wägezellen auf den Rahmenprofilen sichert.

Das in Abbildung 5.3 dargestellte Teil wird durch die beiden rot markierten Löcher in die Gewindenutensteine eingeschraubt, welche in der Längsrille des Rahmenprofils eingespannt sind. In die beiden blau markierten Löcher sind Muttern eingelassen. Mit diesen Muttern werden Schrauben von oben durch die Wägezellen verbunden, wie auch in Abbildung 5.2 zu sehen ist.



Abbildung 5.3 Verbindungsteil zwischen Rahmen und Wägezellen für Konzept 2

Für die finale espressomaschine kann dieses Verbindungsstück mit der entsprechenden Höhe direkt als Überlastschutz der Wägezellen dimensioniert werden. Da die vier hier verwendeten Wägezellen [47] jedoch zusammen sicher bis 32 kg belastet werden können, wurde bei diesen Untersuchungen auf den Überlastschutz verzichtet.

Am nicht eingespannten Ende der Wägezelle wird, wie in Abbildung 5.4 zu sehen ist, von unten eine Schraube durch das Gewindeloch der Zellen geschraubt, sodass das Gewinde nach oben übersteht. An diesem überstehenden Gewinde werden zwei Muttern gekontert. Auf diese Muttern wird das Abtropfblech lose aufgelegt. Das darüber hinausstehende Schraubengewinde kann zur Positionierung des Blechs genutzt werden, da das Loch im Blech mit Übermaß gebohrt ist. Somit sind Klemmungen vorgebeugt und das Blech kann einfach für Reinigungen oder ähnliches entfernt werden. Beim Installieren des Blechs muss darauf geachtet werden, dass das Blech an allen vier Ecken spielfrei aufliegt und alle Wägezellen belastet werden.

Diese Anordnung erlaubt eine Prinzipbetrachtung. Bei einem seriennahen Aufbau mit genaueren Wägezellen, wie den ursprünglich geplanten Zemic Q47-Wägezellen, muss darauf geachtet werden, dass die Kräfteinleitung auf die Wägezellen nicht außermittig erfolgt. Der seriennahe Aufbau fordert die Positionierung der Wägezellen unterhalb der Abtropfwanne. Das Abtropfblech wird mit Füßen ausgestattet, welche durch Bohrungen in der Abtropfwanne, beziehungsweise den Gehäuseschienen hindurchragen und mittig auf der Wägezelle aufliegen. So lässt sich die hier vorhandene, jedoch vernachlässigte, Torsion der Wägezelle vermeiden und zeitgleich wird die Positionierung des Blechs ermöglicht.

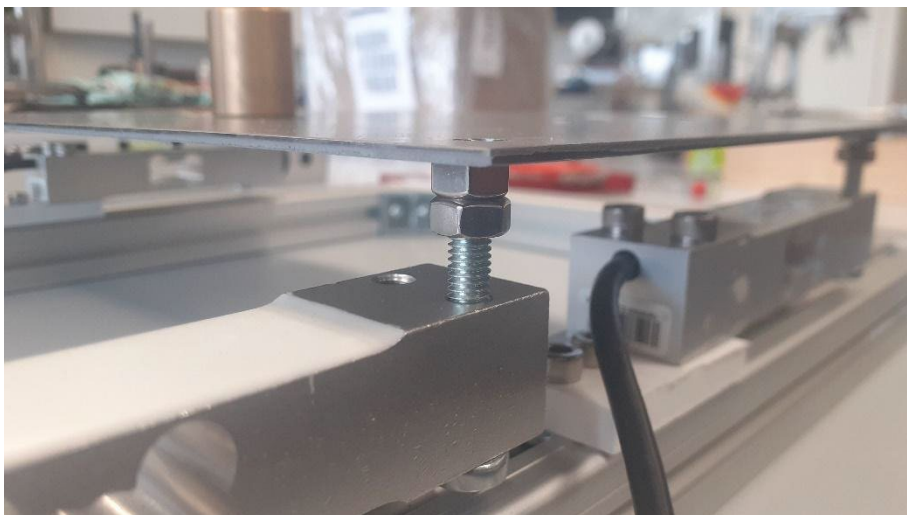


Abbildung 5.4 Je zwei gekonterte Muttern auf den von unten durch die Wägezellen geführten Schrauben als Blechauflagefläche für Konzept 2

Für das korrekte Abstützen des Moments von Konzept 5 an den Wägezellen muss ein Verbindungsstück zwischen Zellen und Abtropfblech gefertigt werden, welches einen verschiebbaren Anschlag der horizontalen Blechoberfläche ermöglicht. Dies wird mithilfe von Langlöchern umgesetzt, durch welche, wie in Abbildung 5.5 blau dargestellt, von oben in die Wägezellen geschraubt wird. Von diesen Verbindungsstücken kann das Blech einfach heruntergenommen werden. Abbildung 5.6 zeigt eine Detailansicht des Bauteils.

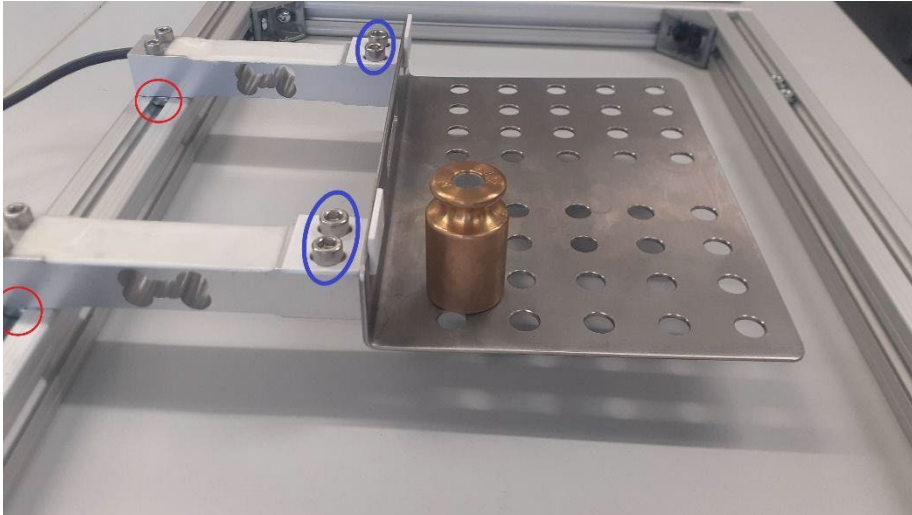


Abbildung 5.5 Konzept 5 während der Untersuchung

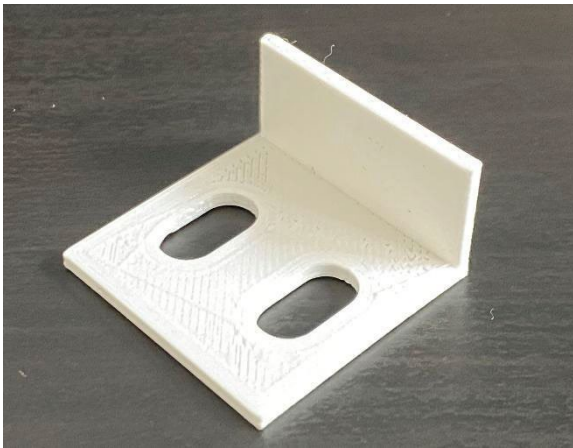


Abbildung 5.6 Detailansicht des Verbindungsteils zwischen Wägezellen und Abtropfblech in Konzept 5

Die Wägezellen werden mithilfe der in Abbildung 5.5 rot markierten Nutensteinen an den Rahmenprofilen durch Verschraubungen gesichert. Auch hier wurde aufgrund des sehr viel größeren Messbereichs auf einen Überlastschutz verzichtet, in der späteren Maschine kann dieser aber denkbar einfach durch einen Anschlag unterhalb der Wägezelle oder des Blechs realisiert werden.

6 Technische Mechanik

Gregor Mietzsch

Für die technische Mechanik gilt, dass m_{Last} mit 2,0 kg angenommen wird. Die Last auf der Wägetechnik folgt aus der Masse der Last m_{Last} multipliziert mit der Schwerkraft g . Für $g = 9,81 \frac{m}{s^2}$ ergibt dies eine Kraft F_{Last} von 19,62 N. Zur Vereinfachung wird für die weiteren Berechnungen angenommen, dass $F_{Last} = 20 N$ gilt. Dadurch werden die Auswirkungen der Kraft auf die Mechanik der Wägetechnik in einem vernachlässigbaren Ausmaß überschätzt, da eine lediglich 2% höhere Last angenommen wird.

Konzept 5, das dem Konzept der Bachelorarbeit [1] entspricht, wurde bereits dort analysiert. Diese Analysen sind korrekt und zeigen, dass die Position der Tassen auf dem Abtropfblech keinen Einfluss auf die Messwerte der Wägezellen besitzt. Dieses Konzept wird deshalb in dieser Arbeit nicht noch einmal überprüft. Allerdings wird in der ursprünglichen Formulierung des Konzepts davon ausgegangen, dass kein Druck auf den Stirnflächen der Wägezellen lasten darf. Diese Annahme ist inkorrekt, da die Vollbrückenschaltung innerhalb einer Wägezelle so angeordnet ist, dass Druck auf die Stirnfläche keine Änderung des Messwerts der Wägezelle hervorruft.

Für das Konzept 2 ist zu klären, ob die Position der Kaffeetassen auf dem Abtropfblech das Messergebnis beeinflusst. Dies ist der Fall, wenn die Wägezellen nicht vertikal oder durch Druck auf die Stirnfläche belastet werden. Dazu wird angenommen, dass alle Lasten auf dem Abtropfblech als Punktlast auftreten. Zudem wird angenommen, dass die Lagerungen auf den Wägezellen symmetrisch um den Schwerpunkt des Blechs angeordnet sind. Für die weiteren Berechnungen wird der Index i eingeführt, der die einzelnen Wägezellen in diesem Konzept identifiziert.



Abbildung 6.1 Position und Index der Wägezellen unter dem Abtropfblech

Das Koordinatensystem entspricht dem Koordinatensystem der Bachelorarbeit [1]. Für die Ermittlung der Kräfte auf die Wägezellen ergibt dies entlang der Y-Achse folgendes Bild:

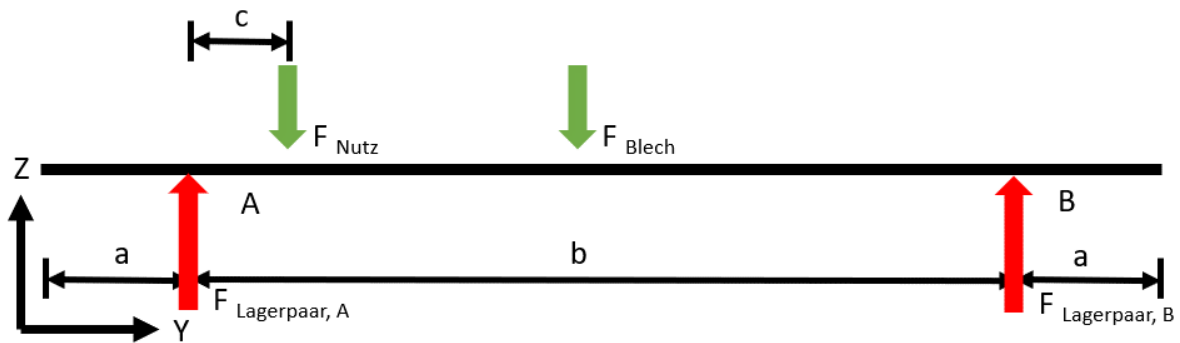


Abbildung 6.2 Kräfte in Y-Richtung

Aufstellen der Kräfte in Z-Richtung und des Moments auf A ergibt folgende Formeln:

$$\Sigma F_z = F_{Lagerpaar,A} + F_{Lagerpaar,B} - F_{Nutz} - F_{Blech} = 0 \quad (3)$$

$$\Sigma M^A = F_{Lagerpaar,B} \cdot b - 0,5 \cdot F_{Blech} \cdot b - F_{Nutz} \cdot c = 0 \quad (4)$$

Das Lösen dieser beiden Gleichungen ergibt:

$$F_{Lagerpaar,A} = 0,5 \cdot F_{Blech} + \left(1 - \frac{c}{b}\right) \cdot F_{Nutz} \quad (5)$$

$$F_{Lagerpaar,B} = 0,5 \cdot F_{Blech} + \frac{c}{b} \cdot F_{Nutz} \quad (6)$$

Die Gesamtkraft verteilt sich also auf beide Paare von Wägezellen, wobei die Kraft des Blechs zu gleichen Teilen von beiden Paaren aufgenommen wird, da der Schwerpunkt des Blechs mittig zwischen beiden Lagerpaaren liegt. Die Kraft der Tassen auf das jeweilige Lagerpaar ist von deren Position abhängig, entspricht jedoch in der Summe der Gesamtkraft der Tassen. Für die Kräfte auf die einzelnen Wägezellen wird diese Berechnung anhand des Lagerpaar B erneut durchgeführt. Dies ergibt die Kräfte auf Wägezelle 2 und 4. Die Kräfte auf das Lagerpaar A sind analog berechenbar. Die Situation ist in der folgenden Abbildung dargestellt:

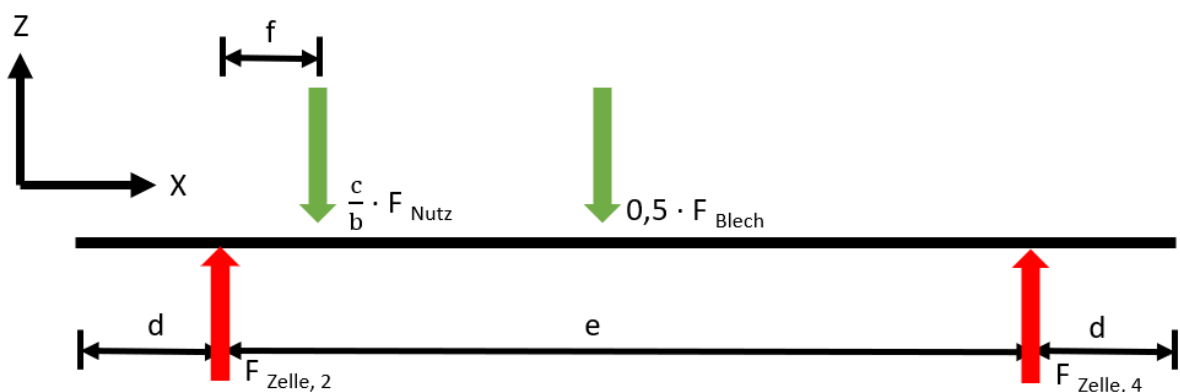


Abbildung 6.3 Kräfte auf die Wägezellen 2 und 4

Analog zur vorhergehenden Berechnung der Kräfte für die Lagerpaare folgt dabei:

$$F_{Zelle,2} = 0,25 \cdot F_{Blech} + \left(1 - \frac{f}{e}\right) \cdot \frac{c}{b} \cdot F_{Nutz} \quad (7)$$

$$F_{Zelle,4} = 0,25 \cdot F_{Blech} + \frac{f}{e} \cdot \frac{c}{b} \cdot F_{Nutz} \quad (8)$$

Es folgt, dass jede Wägezelle ein Viertel der Kraft des Blechs aufnimmt. Hinzu kommt ein von der Positionierung der Tassen abhängiger Anteil der Kraft der Tassen. Aus der Addition der Kräfte auf die einzelnen Wägezellen folgt, dass die Summe der Kräfte nie größer sein kann als die Summe der Gewichtskraft des Blechs und der Tassen mit Füllung. Es ist daher unerheblich, wo die Tassen auf dem Blech stehen, sofern sie innerhalb der Auflagepunkte auf den Wägezellen stehen.

Sofern die Tassen außerhalb der Auflagepunkte stehen, werden die näher gelegenen Wägezellen stärker belastet, während die weiter entfernten Zellen im gleichen Maße entlastet werden. Dies ist aufgrund der Abmaße der angestrebten Wägezellen jedoch nur eine theoretische Überlegung, da diese Zellen sehr klein sind, und direkt am Rand des Abtropfblechs platziert werden. Es ist daher auszuschließen, dass ein Nutzer die Tassen dort abstellt, während er die Wägetechnik verwendet. Dieser Fall wird folglich nicht weiter beachtet.

Die Durchbiegung des Abtropfblechs folgt wird entlang der Y-Achse berechnet, da diese länger als die X-Achse ist und daher eine größere Durchbiegung aufweisen wird. Die Lagerung des Abtropfblechs für dieses Konzept wird dabei als Balken mit Fest- Loslagerung angenommen. Für die Durchbiegung w an der Stelle x gilt, sofern F_{Last} dort angreift:

$$w(x) = \frac{F_{Last} b^3}{3EI} \left(1 - \frac{x}{b}\right)^2 \cdot \left(\frac{x}{b}\right)^2 \quad (9)$$

Die größte Durchbiegung tritt auf, wenn F_{Last} mittig zwischen beiden Lagern angreift. Für den Demonstrator folgt mit:

$$I = \frac{(e + 2d) \cdot h^3}{12} = \frac{0,2 \cdot 0,002^3}{12} m^4 \quad (10)$$

Und $E = 200\text{GPa}$ daraus:

$$w\left(\frac{b}{2}\right) = \frac{20 \text{ N} \cdot (0,2 \text{ m})^3}{3 \cdot 200 \cdot 10^9 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \cdot 1,3 \cdot 10^{-10} m^4} \left(1 - \frac{1}{2}\right)^2 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^2 = 0,00013 \text{ m} \quad (11)$$

Die Durchbiegung beträgt also maximal 0,13 Millimeter und ist daher für den Demonstrator irrelevant und wird nicht weiter beachtet.

Für die finale Kaffeemaschine wird eine Durchbiegung von 1 Millimeter für akzeptabel erachtet. Um dies zu gewährleisten, darf I nicht kleiner sein als $1,7 \cdot 10^{-11} m^4$. Dies folgt aus dem Lösen der Gleichung (10) für $w = 0,001 \text{ m}$. Dabei ist zu beachten, dass das Abtropfblech sich unter Last auch entlang der X-Achse verbiegt, was die Durchbiegung gemäß des Superpositionsprinzips verstärkt. Daher sollte der Wert für I als absolutes Minimum verstanden werden.

7 Überprüfung der Messgenauigkeit

Marvin Baumgartner

Um die Messgenauigkeit der Konzepte überprüfen zu können, muss zunächst der Zusammenhang zwischen Gewichtsbelastung und Ausgangsspannung jeder einzelnen Wägezelle überprüft und festgehalten werden. Mithilfe dieser validierten Kennlinien können die Messwerte anschließend statistisch ausgewertet werden.

7.1 Validierung der Messwerte

Marvin Baumgartner

Um die von der Messkarte NI 9219 ausgegebenen V/V-Werte in eine Gewichtsmaßeinheit zu übertragen, wird jede Wägezelle einzeln in 50g-Schritten mit Referenzgewichten belastet. Diese Referenzgewichte werden als genau angenommen. Somit kann für jede Wägezelle der in Abbildung 7.1 dargestellte Zusammenhang zwischen Gewichtsbelastung und Ausgabespannung gebildet werden. Da die tatsächliche Steigung dieser Kennlinien hier nicht weiter wichtig ist, werden die Kennliniensteigungen in Abbildung 7.2 auf ihre jeweilige mittlere Steigung normiert dargestellt. Die Steigungen können in einer ersten Näherung als linear angesehen werden, die Abweichungen von der ideellen Gerade sind größtenteils kleiner als 1%.

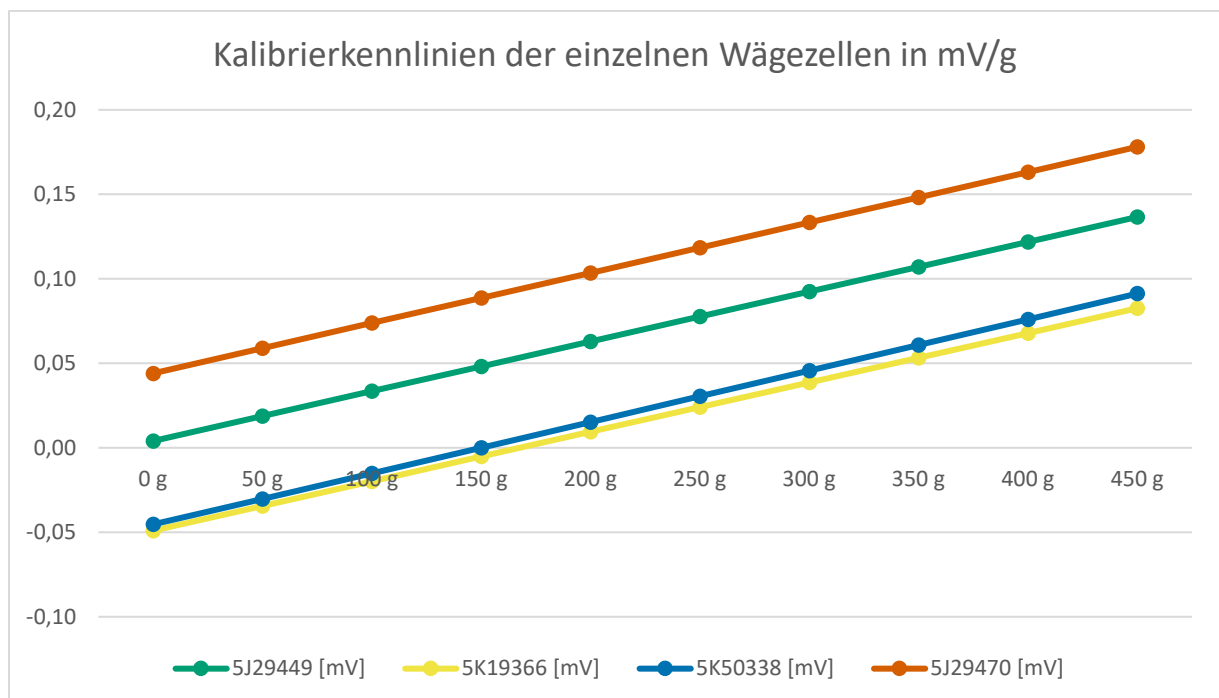


Abbildung 7.1 Kalibrierkennlinien der einzelnen Wägezellen in mV/g

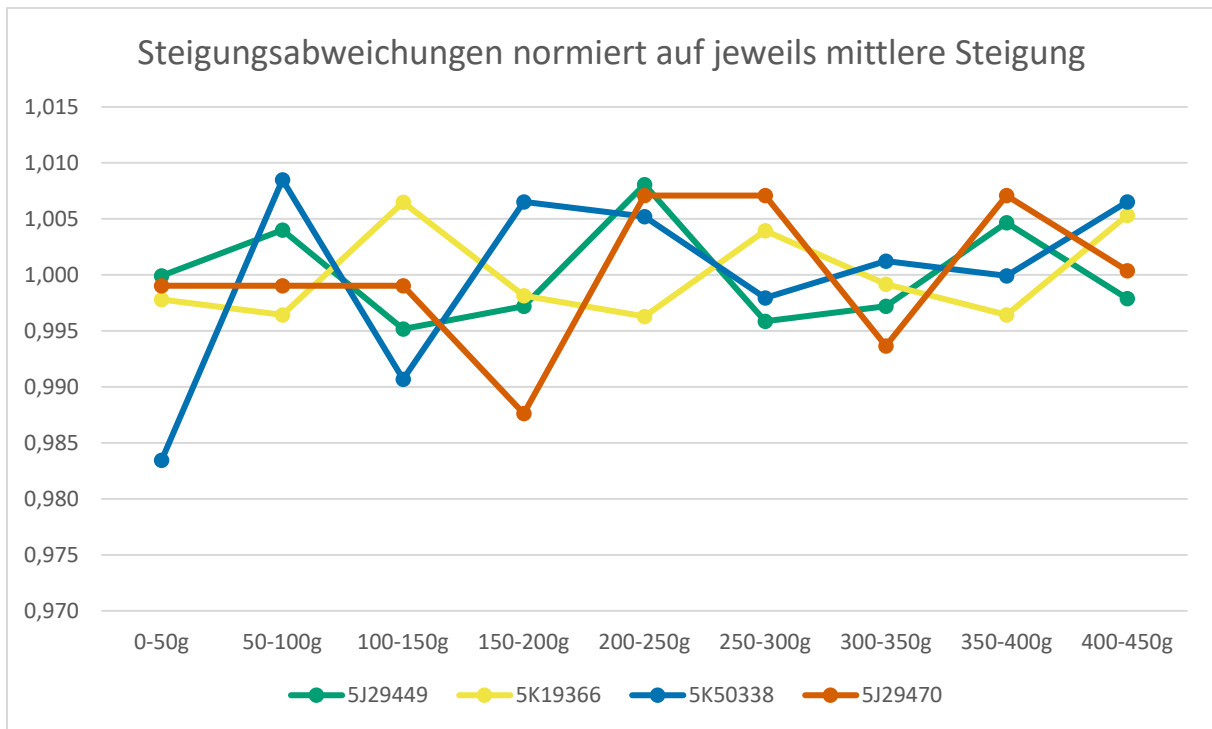


Abbildung 7.2 Teilsteigungen der Kennlinien, jeweils auf mittlere Steigung normiert

Mit den aus diesen Messreihen gebildeten Differenzenquotienten kann auf die Gewichtsbelastung in Gramm geschlossen werden. Mit einer im Skript integrierten Tare-Funktion wird vor Start der Messung das Ausgangssignal aller Zellen vom Messwert abgezogen. Diese Tare-Funktion soll in der fertigen espressomaschine analog vorhanden sein.

7.2 Statistische Auswertung der Messwerte

Gregor Mietzsch

Da die verwendeten Wägezellen einen Messbereich von 8000 g aufweisen [47], ist Konzept 5 im Musteraufbau in der Lage einen Messbereich von 16000 g zu messen, Konzept 2 32000 g. Für beide Konzepte ist ein Drift der Messwerte feststellbar. Dieser ist in Abbildungen 7.3 und 7.4 dargestellt.

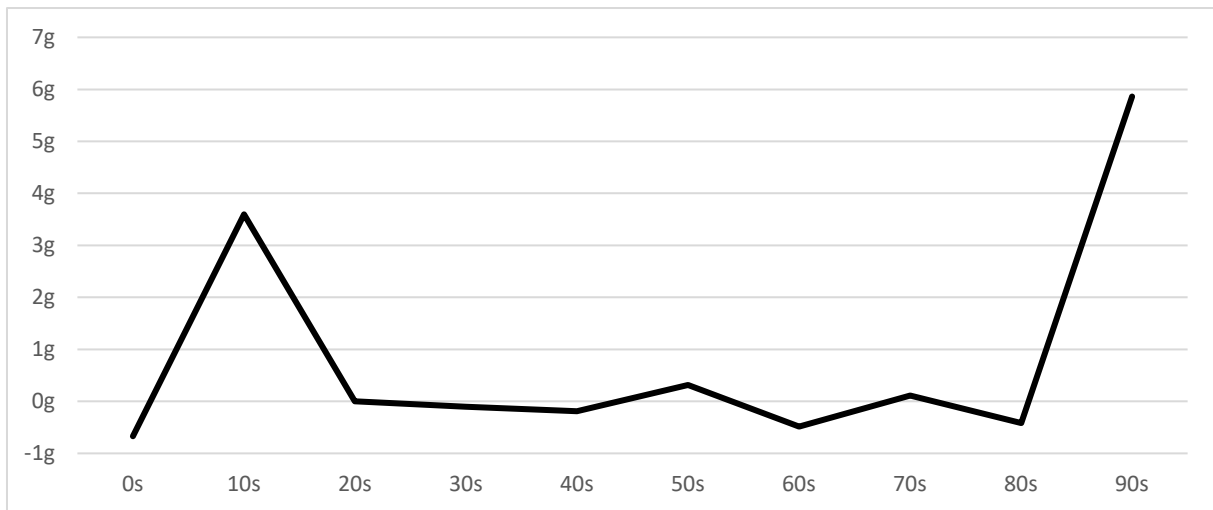


Abbildung 7.3 Messwertdrift von Konzept 5

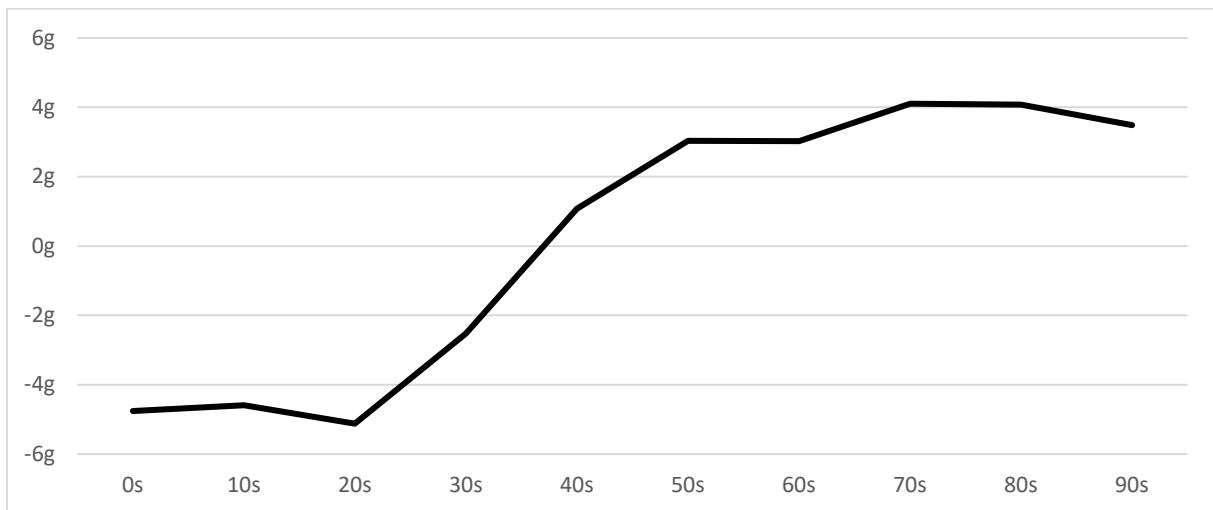


Abbildung 7.4 Messwertdrift von Konzept 2

Es ist zu erkennen, dass beide Konzepte für einen gewissen Zeitraum einen geringen Messwertdrift aufweisen, der mit der Zeit zunimmt. Für das Konzept 5 ist dies nach 80 Sekunden der Fall. Für das Konzept 2 bereits nach etwa 20 Sekunden. Der Wert bei 10 Sekunden für das Konzept 5 wird als Ausreißer betrachtet. Dabei ist anzumerken, dass es für beide Konzepte nicht möglich ist, exakt auf Null zu tarieren, da die verwendeten Wägezellen nicht präzise genug sind. Insgesamt ist der Messwertdrift jedoch für beide Varianten in den angegebenen Zeiträumen innerhalb der addierten Präzision der Wägezellen. Daher wird der Drift für die weitere Auswertung nicht berücksichtigt, da nicht nachweisbar ist, ob dieser auf die Präzision der Wägezellen oder auf andere Faktoren zurückzuführen ist.

Die Auswertung wurde für beide Messreihen mit MATLAB durchgeführt, wobei einige statistische Kennwerte ermittelt wurden. Diese sind in Tabelle 7.1 aufgeführt.

Tabelle 7.1 Statistische Kennwerte der Messreihen im Musteraufbau

Konzept:	Minimum:	Maximum:	Mittelwert:	Median:	Standardabweichung:
5	195,67 g	205,06 g	199,26 g	199,34 g	1,16 g
2	187,30 g	210,75 g	198,47 g	198,47 g	3,73 g

Die Spannweite der Messwerte beider Konzepte ist auffällig ähnlich. Die Standardabweichung beider Konzepte erlaubt eine Abschätzung der Genauigkeit beider Konzepte. Für das Konzept 5 ergibt sich eine Abweichung von $\pm 2,32$ g für einen Vertrauensbereich von 95,5 %. Dies entspricht zwei Standardabweichungen. In diesem Bereich weicht der Messwert maximal 1,16 % vom wahren Messwert ab.

Für das Konzept 2 entsprechen zwei Standardabweichungen 3,73% des wahren Messwerts, dies ist äquivalent zu einer Ungenauigkeit von $\pm 7,46$ g, mit einem Vertrauensbereich von 95,5 %.

Die Häufigkeitsverteilung der Messreihen ist in Abbildung 7.5 dargestellt.

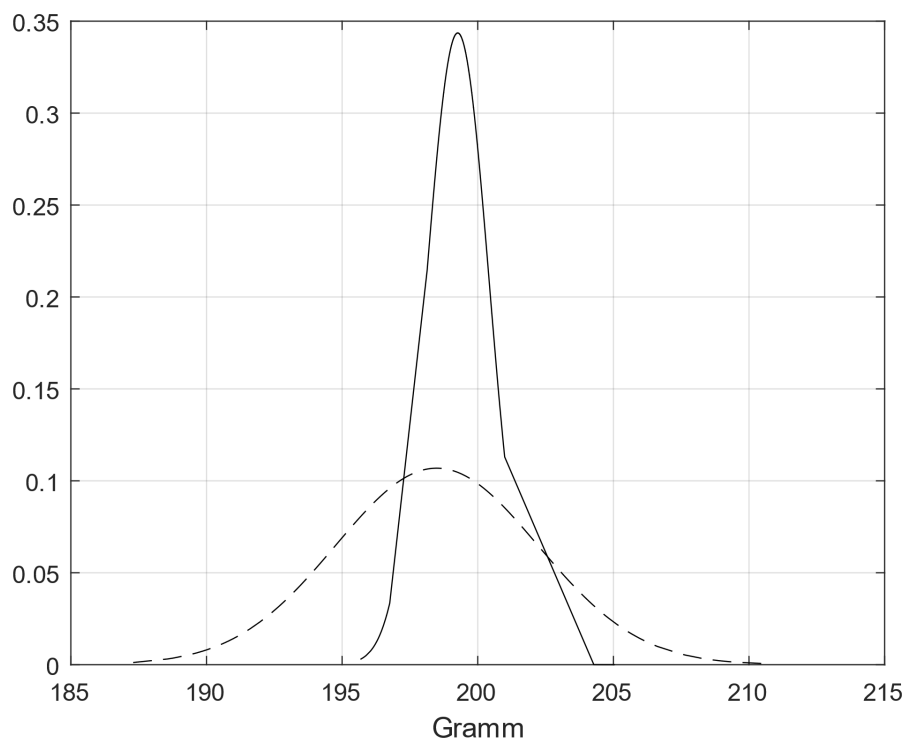


Abbildung 7.5 Gaußsche Häufigkeitsverteilung der Messreihen

Die durchgezogene Linie stellt die Häufigkeitsverteilung des Konzepts 5 dar, die gestrichelte Linie die des Konzepts 2. Der lineare Abschnitt in der Häufigkeitsverteilung für das Konzept 5 ergibt sich daher, dass keine Messwerte zwischen 200,99 Gramm und 204,27 Gramm in diesem Datensatz vorhanden sind.

Es ist nicht klärbar, ob die geringere Genauigkeit von Konzept 2 auf die Verwendung von 4 Wägezellen oder auf Messungenauigkeiten zurückzuführen ist. Eine Wägezelle, 5J29449, wies bei der Messreihe für 4 Wägezellen im Verhältnis zu den anderen drei Wägezellen einen größeren Drift der Messwerte auf. Dies erhöhte die Messungenauigkeit der Messreihe.

Beide Konzepte weisen, bezogen auf ihren Messbereich, eine ähnliche Ungenauigkeit auf. Konzept 5 weist auf 16000 g Messbereich eine Ungenauigkeit von 0,015% auf, Konzept 2 auf 32000 g Messbereich 0,02% für zwei Standardabweichungen. Unter der Annahme eines Messbereichs von 2000 g für beide Konzepte entspricht dies einer Genauigkeit von 0,3 g für Konzept 5 und 0,4 g für Konzept 2, mit einem Vertrauensbereich von 95,5%, also zwei Standardabweichungen.

8 Zusammenfassung und Ausblick

Marvin Baumgartner

Im Rahmen dieser Projektarbeit wurden nach einer Konzeptionsphase die beiden Konzept 2 und 5 mithilfe der Aufstellung einer Massenbilanz und einer Untersuchung der technischen Mechanik ausgewählt. Diese wurden anschließend auskonstruiert und hinsichtlich ihrer Messgenauigkeit untersucht. Für diese Untersuchungen wurde ein Demonstratorrahmen aufgebaut sowie einige MATLAB® Skripte erstellt.

Der Demonstrator ist hinsichtlich der Verwendung flexibel gestaltet, sodass er bei weiteren Untersuchungen schnell und einfach an neue Blech- oder auch Wägezellenabmessungen angepasst werden kann.

In der Messauswertung wurde festgestellt, dass beide untersuchte Konzepte eine Präzision ermöglichen, welche höher als die der genutzten Wägezellen ist. Eine genauere Untersuchung erfordert also die Verwendung von noch präziseren Wägezellen. Naheliegend sind hierfür die Wägezellen vom Typ Q47 der Firma Zemic. Um mit diesen den gewünschten Messbereich zu erreichen, werden bei Konzept 5 die 1 kg-Varianten der Wägezellen benötigt. Aus der Massenbilanz geht hervor, dass bei Konzept 2 auch die 500 g-Varianten denkbar sind, solange die Füße des Abtropfblechs weniger als 91 Gramm wiegen. Dieses Maximalgewicht kann durch Gewichtseinsparungen im Blech (Ausführung mit Löchern oder als Gitter) vergrößert werden. Durch diesen angepassten Messbereich kann eine verbesserte Präzision erreicht werden.

Ein vielversprechender Ansatz, um die Messgenauigkeit weiter zu verbessern, ist das Gewicht des Aufbaus durch Optimierungen möglichst weit zu reduzieren, um den Messbereich auf unter die hier angenommenen 2 kg zu verringern. Bei Konzept 2 ist durch eine seriennähere, mittige Abstützung auf den Wägezellen nötig, damit die Torsion entlang der Zelle eliminiert wird. Diese Torsion wurde mit den hier verwendeten Wägezellen als nicht messbar angenommen, mit präziseren Zellen muss sie jedoch gezielt vermieden werden.

Abschließend kann nicht entschieden werden, welches der zwei Konzepte in der finalen Maschine mit den präziseren Wägezellen der Firma Zemic besser sein wird. Beide haben mit guten Messgenauigkeiten überzeugt und können im weiteren Projektverlauf als valide Möglichkeiten angesehen werden. Ein Vergleich der beiden Konzepte mit dem im Labor vorhandenen hochauflösenden Flowmeter ist ebenfalls ratsam, um die Messwerte mit der tatsächlich abgegebenen Flüssigkeitsmenge zu validieren.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 3.1 Skizze des Konzepts 1 in Seitenansicht	3
Abbildung 3.2 Skizze des Konzepts 2 in Seitenansicht	4
Abbildung 3.3 Skizze des Konzepts 3 in Seitenansicht	4
Abbildung 3.4 Skizze des Konzepts 4 in Seitenansicht	5
Abbildung 3.5 Skizze des Konzepts 5 in Seitenansicht	5
Abbildung 5.1 Aufgebauter Demonstrator für Messungen an Konzept 5	9
Abbildung 5.2 Aufgebauter Demonstrator für Messungen an Konzept 2	9
Abbildung 5.3 Verbindungsteil zwischen Rahmen und Wägezellen für Konzept 2	10
Abbildung 5.4 Je zwei gekonterte Muttern auf den von unten durch die Wägezellen geführten Schrauben als Blechauflagefläche für Konzept 2	11
Abbildung 5.5 Konzept 5 während der Untersuchung	12
Abbildung 5.6 Detailansicht des Verbindungsteils zwischen Wägezellen und Abtropfblech in Konzept 5	12
Abbildung 6.1 Position und Index der Wägezellen unter dem Abtropfblech	13
Abbildung 6.2 Kräfte in Y-Richtung	14
Abbildung 6.3 Kräfte auf die Wägezellen 2 und 4	14
Abbildung 7.1 Kalibrierkennlinien der einzelnen Wägezellen in mV/g	16
Abbildung 7.2 Teilsteigungen der Kennlinien, jeweils auf mittlere Steigung normiert	17
Abbildung 7.3 Messwertdrift von Konzept 5	18
Abbildung 7.4 Messwertdrift von Konzept 2	18
Abbildung 7.5 Gaußsche Häufigkeitsverteilung der Messreihen	19

Tabellenverzeichnis

Tabelle 4.1: Gewichte von Tassen der Marke Villeroy & Boch	7
Tabelle 7.1 Statistische Kennwerte der Messreihen	18

Formelverzeichnis

(1)	7
(2)	8
(3)	14
(4)	14
(5)	14
(6)	14
(7)	14
(8)	15
(9)	15
(10)	15
(11)	15

Literaturverzeichnis

- [1] K. Stach: Entwicklung einer labortechnischen Mehrkreis- und Mehrkessel-Espressomaschine, Bachelorarbeit, Hochschule für Angewandte Wissenschaften München, München, 2018.
- [10] A. Boeck, L. Laurent, M. Seibold: Projektarbeit Kraftmessung in Z-Richtung SS2019, Hochschule für angewandte Wissenschaften München, München, 2019.
- [32] La Marzocco S.r.l: A weighing device for an espresso coffee machine and an espresso coffee machine incorporating such a device, Europäisches Patent EP 2 701 563 B1. 10.06.2015.
- [47] *Test Certificate / Part Certificate DK0199-R60-12.15*, DELTA, Horsholm, Dänemark 2012.
- [48] Villeroy & Boch: Tassen & Becher, www.villeroy-boch.de, <https://www.villeroy-boch.de/shop/produkte/geschirr/tassen-und-becher.html>, abgerufen am 25.10.2021.

Anhang

Datenblatt Bosche H10A Wägezellen

Type designation <i>Typenbezeichnung</i>		H10A
Accuracy class acc. to OIML R60 <i>Genauigkeitsklasse nach OIML R60</i>		C3
Maximum number of intervals <i>Anzahl der Teilungswerte</i>	n_{LC}	3000
Maximum capacity <i>Nennlast</i>	E_{max}	8 to 40 kg <i>8 bis 40 kg</i>
Apportionment factor <i>Fehleranteil</i>	p_{LC}	0.7
Minimum verification interval <i>Mindestteilungswert der Wägezelle</i>	v_{min}	0.010 % E_{max}
Ratio of min LC verification interval <i>Kennwert vom relativen Mindestteilungswert der Wägezelle</i>	$Y = E_{max} / v_{min}$	10000
Minimum dead load output return <i>Vorlastsignalrückkehr</i>	DR	0.0166 % E_{max}
Ratio of minimum dead load output return <i>Kennwert vom relativen Vorlastsignalrückkehr</i>	$Z = E_{max} / 2 * DR$	3000
Rated output (sensitivity) <i>Nennkennwert</i>	C_n	$2 \pm 0.2 \text{ mV/V}$
Excitation voltage, recommended <i>Referenzspeisespannung</i>	U_{ref}	10 Vdc
Excitation voltage, maximum <i>Maximale Speisespannung</i>	U_{max}	15 Vdc
Minimum dead load, relative <i>Mindestvorlast</i>	E_{min} / E_{max}	0 %
Safe overload limit <i>Grenzlast</i>	E_{lim}	150 % E_{max}
Ultimate load <i>Bruchlast</i>	E_d	300 % E_{max}
Input resistance <i>Eingangswiderstand</i>	R_{LC}	$404 \pm 10 \Omega$
Output resistance <i>Ausgangswiderstand</i>	R_{out}	$350 \pm 3 \Omega$
Compensated temperature range <i>Nenntemperaturbereich</i>	B_T	- 10... +40 °C
Humidity condition <i>Feuchtigkeitsverhältnisse</i>		CH
Insulation resistance <i>Isolationswiderstand</i>		$\geq 2000 \text{ M}\Omega$
Degree of protection <i>Schutzart</i>		IP 65
Load cell material <i>Werkstoff</i>		Aluminium <i>Aluminium</i>

Datenblatt Zemic Q47 Wägezellen

Detailed specifications Q47

Accuracy class	of FS	0.05%	
Output sensitivity (= FS)	mV/V	0.6±0.12	0.9±0.18
Maximum capacity (E _{max})	g	100, 120	300, 500, 1000
Temperature effect on zero	%FS/10°C	±2.0	
Temperature effect on Sensitivity	%FS/10°C	±0.05	
Minimum dead load	of E _{max}	0%	
Safe overload	of E _{max}	150 %	
Ultimate overload	of E _{max}	300%	
Zero output	mV/V	≤ ± 0.5	
Excitation, recommended voltage	V	2 ~ 5	
Excitation maximum	V	6	
Input resistance	Ω	1055 ± 10	
Output resistance	Ω	1000 ± 10	
Insulation resistance	MΩ	≥2000 (at 50VDC)	
Compensated temperature	°C	-10 ~ +40	
Operating temperature	°C	-10 ~ +40	
Storage temperature	°C	-20 ~ +65	
Element material		Aluminium	
Creep	%FS/3 min	±0.05	
Non-linearity	%FS	±0.05	
Repeatability	%FS	±0.05	
Hysteresis	%FS	±0.05	

Konzeptauswahlmatrix

Gewichtete Bewertung der Konzepte			Wägetechnik										05.11.2021		WiSe 2021/22	
Nr.:	Kriterium:	Gewichtung:	Konzept 1		Konzept 2		Konzept 3		Konzept 4		Konzept 5					
			Punkte ohne Gewichtung:	Punkte mit Gewichtung:	Punkte ohne Gewichtung:	Punkte mit Gewichtung:	Punkte ohne Gewichtung:	Punkte mit Gewichtung:	Punkte ohne Gewichtung:	Punkte mit Gewichtung:	Punkte ohne Gewichtung:	Punkte mit Gewichtung:				
1	Einflüsse auf Messgenauigkeit	0,8	4	3,2	4	3,2	0	0	0	0	3	2,4				
2	Gewicht	1	3	3	3	3	2	2	1	1	3	3				
3	Bauraum	0,4	3	1,2	3	1,2	1	0,4	1	0,4	3	1,2				
4	Komplexität/Kosten	0,4	4	1,6	4	1,6	1	0,4	1	0,4	4	1,6				
5	Wartungsfreundlichkeit	0,6	0	0	4	2,4	2	1,2	1	0,6	3	1,8				
6	Schmutzanfälligkeit	0,4	2	0,8	2	0,8	1	0,4	0	0	3	1,2				
7			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
8			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
9			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
10			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
In Summe :		3,6	16	9,8	20	12,2	7	4,4	4	2,4	19	11,2				

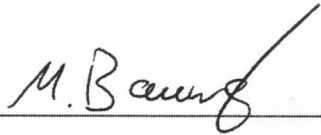
Punkte	Bedeutung	Merkhilfe für Bedeutung
0	unbefriedigend	weit unter Durchschnitt
1	gerade noch tragbar	unter Durchschnitt
2	ausreichend	Durchschnitt
3	gut	über Durchschnitt
4	sehr gut(ideal)	weit über Durchschnitt

	Konzept 1:	Konzept 2:	Konzept 3	Konzept 4	Konzept 5
Technische Wertigkeit:	0,681	0,847	0,306	0,167	0,778

sehr gute Lösung	wt>0,75
Gute Lösung	0,5<wt<0,75
Unbefriedigende Lösung	wt<0,5

Erklärung zur Projektarbeit

Hiermit wird erklärt, dass die Arbeit mit obigem Thema selbstständig verfasst und noch nicht anderweitig für Prüfungszwecke vorgelegt wurde. Weiterhin sind keine anderen als die angegebenen Quellen oder Hilfsmittel verwendet und wörtliche sowie sinngemäße Zitate als solche gekennzeichnet worden.



Marvin Baumgartner

München, 09.02.2022



Gregor Mietzsch

München, 09.02.2022