

Espressomaschine mit Borosilikatglasboiler

Projektleiter: Herr Dipl.-Ing. Armin Rohnen
Semester: Wintersemester 2020/2021
Abgabetermin: 14.02.2021

Name, Vorname	Matrikelnummer	Semestergruppe	E-Mail-Adresse
Ackermann, Ludwig	01844717	MBB 7	lackerm@hm.edu
Kolbinger, Lucas	84334417	MBB 7	lucas.kolbinger@hm.edu
Kurtusic, Marko	43298615	MBB 5P	mkurtusi@hm.edu
Nuißl, Isabell	12552718	MBB 6	nuissl@hm.edu
Rieseberg, Matthias	03041417	MBB 5P	reiseber@hm.edu
Schuster, Melanie	95753216	MBB 6	schust21@hm.edu
Shala, Edon	30993117	MBB 7	edon.shala0@hm.edu

Eigenständigkeitserklärung

Hiermit bestätigen wir, dass die vorliegende Arbeit selbständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt wurden. Die Stellen der Arbeit, die dem Wortlaut oder dem Sinn nach anderen Werken (dazu zählen auch Internetquellen) entnommen wurden, sind unter Angabe der Quelle kenntlich gemacht.

Ludwig Ackermann

Ackermann Ludwig

Kolbinger

Kolbinger Lucas

M. Kurtusic

Kurtusic Marko

Isabell Nuißl

Nuißl Isabell

Matthias Rieseberg

Rieseberg Matthias

Melanie Schuster

Schuster Melanie

Edon Shala

Shala Edon

Kurzfassung/Abstract

Ziel der Projektarbeit ist es, die Espressomaschine Style weiterzuentwickeln, welche das Wasser in einem Borosilikatglasboiler für den Anwender sichtbar erwärmt und über eine für den Bediener nicht sichtbare Wasserführung der Brühgruppe zuführt. Hierzu wird auf den bereits existierenden Entwicklungsstand aus vorherigen Projekt- und Bachelorarbeiten aufgebaut.

The aim of the project work is to further develop the Style espresso machine, which heats the water in a borosilicate glass boiler that is visible to the user and feeds it to the brewing group via a water guide that is not visible to the user. For this purpose, the existing development status from previous project and bachelor theses will be built upon.

Verwendete Formelzeichen

D_e	[mm]	Außendurchmesser der Tellerfeder
D_i	[mm]	Innendurchmesser der Tellerfeder
$F_{0,75}$	[N]	Federkraft bei 0,75 % des Federweges
F_2	[N]	Kraftverringerng für Lastfall 2
F_D	[N]	Resultierende Gewichtskraft
F_{max}	[N]	Maximal wirkende Federkraft
F_p	[N]	Druckkraft aufgrund des Innendruckes
F_{vor}	[N]	Vorspannkraft
i	[–]	Fortlaufende Ziffer
n	[–]	Anzahl der Kriterien
p_B	[bar]	Betriebsdruck
$P_{gew,i}$	[–]	Gewichtete Punktzahl des Kriteriums i
$p_{Prüf}$	[bar]	Prüfdruck für Prüfvorgang
r	[mm]	Radius
R	$\left[\frac{N}{mm}\right]$	Federrate
$R_{p0,2}$	[MPa]	Streckgrenze
S	[–]	Sicherheit
$s_{0,75}$	[mm]	Federweg bei 75%
s_{max}	[mm]	Maximal auftretender Federweg
s_{vor}	[mm]	Vorspannweg
t_{max}	[mm]	Rundheit
T^+	[mm]	Positive Toleranz
U	[mm]	Umfang
W_{tech}	[%]	Technische Wertigkeit
ΔL_2	[mm]	Gesamtlängenänderung im Betrieb mit Toleranzbetrachtung
ΔL_{Bohr}	[mm]	Längenänderung aufgrund der Bohrungstoleranz
ΔL_{Deckel}	[mm]	Längenänderung des Deckels aufgrund Erwärmung
$\Delta L_{ges,1}$	[mm]	Gesamtlängenänderung im Ausgangszustand o. Toleranzen
$\Delta L_{ges,2}$	[mm]	Gesamtlängenänderung im Betrieb ohne Toleranzbetrachtung
$\Delta L_{Glas,a}$	[mm]	Längenänderung des äußeren Zylinders aufgrund Erwärmung
$\Delta L_{Glas,i}$	[mm]	Längenänderung des inneren Zylinders aufgrund Erwärmung
ΔL_{Haken}	[mm]	Längenänderung des Spannhakens aufgrund Erwärmung
ΔL_{Kraft}	[mm]	Längenänderung des inneren Zylinders aufgrund Krafteinwirkung

ΔL_{max}	[mm]	Gesamtlängenänderung im Ausgangszustand mit Toleranzen
σ_{Glas}	$\left[\frac{N}{mm^2}\right]$	Spannung auf das Borosilikatglas
$\sigma_{Glas,zul}$	$\left[\frac{N}{mm^2}\right]$	Zulässige Spannung auf das Borosilikatglas
σ_{KB}	$\left[\frac{N}{mm^2}\right]$	Statische Zugfestigkeit bei Klebeverbindungen
τ_{KB}	$\left[\frac{N}{mm^2}\right]$	Statische Zug-Scherfestigkeit bei Klebeverbindungen
Σ	[-]	Summe
π	[-]	Kreiszahl

Abkürzungsverzeichnis

ABS	Acrylnitril-Butadien-Styrol	Nm	Newton-Meter
Bew.	Bewertung	Nr.	Nummer
bzw.	Beziehungsweise	o.	ohne
ca.	Circa	PA12	Polyamid 12
CAD	Computer Aided Design	PEEK	Polyetheretherketon
cm	Zentimeter	PFA	Perfluoralkoxy
CNC	Computerized Numerical Control	Pkt.	Punkt
d.h.	Das heißt	Pos.	Position
EkH	Elektrokomponenten Halter	PTFE	Polytetrafluorethylen
Ek	Elektrokomponenten	PVDF	Polyvinylidenfluorid
FEM	Finite-Elemente-Methode	s.	Siehe
Gew.	Gewicht	SLS	Selektive-Laser-Sintern
ISO	Isometrisch	stk	Stück
IT	Grundtoleranzgrad	STL	Stereolithographie
kg	Kilogramm	Sum.	Summe
kJ/m ²	Kilojoule pro Quadratmeter	TB	Tabelle
L	Länge	Techn.	Technisch
m.	mit	vgl.	Vergleiche
m	Meter	z.B.	Zum Beispiel
mm	Millimeter	µm	Mikrometer
mm ²	Quadratmillimeter	€	Euro
MPa	Mega-Pascal	°C	Grad Celsius
max.	Maximum	°	Grad
N	Newton	%	Prozent

Inhaltsverzeichnis

Eigenständigkeitserklärung	I
Kurzfassung/Abstract	II
Verwendete Formelzeichen.....	III
Abkürzungsverzeichnis.....	IV
1. Einleitung/Aufgabenstellung	1
2. Anpassung des Verspannmechanismus bezüglich der optischen Vorgaben.....	2
2.1. Federauswahl und Verspannungskonzept.....	2
2.1.1. Mögliche Federarten für die Verspannung	2
2.1.2. Konzepte für den Verspannmechanismus und Auswahl.....	3
2.2. Berechnungen für den Verspannmechanismus	7
2.2.1. Berechnung des Innendruckes im inneren Borosilikatglaszylinder	8
2.2.2. Berechnung der Längenausdehnungen	8
2.2.3. Auslegung der Feder, Festigkeitsnachweis und Federkräfte	11
2.2.4. Festigkeitsnachweis für das Borosilikatglas unter dem Einfluss der maximalen Federkraft	12
2.2.5. Berechnung des Anzugmomentes zur Einstellung der Vorspannkraft	12
2.3. Konstruktion des Verspannmechanismus.....	13
2.4. Vergleich und Vorauswahl der Spannhaken-Varianten.....	18
2.5. FEM-Analyse Borosilikatglas-Außenzylinder	19
3. Weiterentwicklung von Boden und Deckel inklusive Kostenreduktion	20
3.1. Entwicklung und Konstruktion.....	21
3.1.1. Fertigungsverfahren	21
3.1.2. Boden des Borosilikatglasboilers.....	21
3.1.3. Deckel des Borosilikatglasboilers	23
3.1.4. Abdichtung des inneren Borosilikatglaszylinders	24
3.1.5. Konstruktionsanpassungen zur weiteren Kostenreduzierung	25
3.1.6. Materialauswahl unter der Betrachtung der Kosten	25
3.1.7. Zusammenfassung der Konstruktion und Entwicklung	26
3.2. Klebeverbindung	27
3.3. Berechnungen	28
3.3.1. Klebeverbindung des äußeren Borosilikatglaszylinders an dem Boden.....	28
3.3.2. Befestigung des Borosilikatglasboilers an dem Bodenblech mittels Schrauben.....	28
3.4. Überschlägige Kostenrechnung.....	28
3.5. Festigkeitsnachweis: Boden und Deckel.....	29
3.5.1. FEM-Analyse Boden	30

3.5.2. FEM-Analyse Deckel.....	31
3.5.3. Fazit der FEM-Analysen für Deckel und Boden.....	32
4. Weiterentwicklung des Bodenbleches	32
4.1. Randbedingungen für das Bodenblech.....	32
4.2. Versteifung des Bodenblechs	33
4.3. Ausführungen des Bodenblechs	34
4.4. FEM-Berechnungen	35
4.5. Auffangbehälter	36
5. Boilernahe Elemente	37
6. Brühgruppenaufnahme.....	39
6.1. Mechanische Anbindung der Brühgruppe an den Brühlturm.....	39
6.2. Platzierung der Magnetventile	40
6.2.1. Variante 1: Brühgruppennah	40
6.2.2. Variante 2: Brühgruppenfern	40
6.3. Anschlussart.....	41
6.3.1. Anbindung von Schmutz- und Warmwasserleitungen an die Brühgruppe .	41
6.3.2. Verschlauchung der Magnetventile	41
6.3.3. Verwendete Verbindungsstücke.....	41
7. Arbeitsteil Brühlturm und Arbeitsfläche.....	42
7.1. Konzeptfindung Brühlturm	42
7.2. Konzeptfindung Arbeitsfläche	45
7.3. Finales Konzept und Zusammenfassung.....	47
8. Schaltelemente.....	48
8.1. Das Druckverfahren.....	48
8.2. Konzepte	49
8.2.1. Hebel	49
8.2.2. Taster.....	50
8.3. Konstruktion	50
8.3.1. Ausarbeitung Hebel.....	50
8.3.2. Ausarbeitung Taster.....	51
8.4. Kosten.....	52
9. Ausblick/Fazit	54
Abbildungsverzeichnis.....	VII
Tabellenverzeichnis.....	IX
Literaturverzeichnis	X
Anhang	

1. Einleitung/Aufgabenstellung

Verfasst von Isabell Nuißl und Melanie Schuster

Die Espressomaschine besitzt in der heutigen Zeit einen großen Stellenwert in der Gesellschaft. Jährlich werden in Deutschland durchschnittlich pro Person „166 Liter [Kaffee] konsumiert“ (Preibisch, 2020), weshalb der Kaffee als das beliebteste Heißgetränk Deutschlands zu verstehen ist.

Aus diesem Grund ist es wichtig, dass nicht nur die einwandfreie Verarbeitung des Kaffees in der Maschine für die Kunden essenziell ist, sondern auch die Kaffee- bzw. Espressomaschine in optischer Hinsicht überzeugen muss. Um ein optisch ansprechendes Design für eine neue Generation der Espressomaschinen zu ermöglichen, wurde bereits im Zuge einer studentischen Projektarbeit (Blädel, et al., 2020) eine Maschine mit einem Boiler aus Borosilikatglas entworfen. Hierbei besteht der Boiler aus zwei Borosilikatglaszylindern, die den Erwärmungsprozess des Wassers im Boiler für den Anwender sichtbar machen. Bei der Erwärmung des Wassers im Boiler wird ein starker Innendruck aufgebaut. Diese Druckkraft wird durch eine Verspannung zwischen Boiler und Boilerdeckel aufgenommen, wobei zu beachten ist, dass dieser Verspannmechanismus ebenfalls eine Längenänderung aufgrund von Erwärmung zu erfassen hat. In der vorangegangenen Arbeit wurde hierfür eine Stabverspannung zwischen den beiden Borosilikatglaszylindern vorgesehen. Da diese jedoch die Sicht auf das Innere des Boilers einschränkt und gleichzeitig das optisch einwandfreie Gesamtbild für den Anwender stört, soll dieser Verspannmechanismus neu entworfen werden.

Des Weiteren ist, für eine optisch ansprechende Aufteilung der wesentlichen Komponenten, eine Undertable-Konstruktion der Maschine zu entwickeln. Hierbei sollen lediglich der Borosilikatglasboiler sowie der Brühturm mit den wichtigsten Bedienelementen für den Anwender erkennbar sein. Alle weiteren Komponenten, z.B. die Kabelführung oder die Wasserzuführung und -ableitung, sollen unter der Arbeitsplatte angebracht sein, um den Blick nicht durch nebensächliche Komponenten abzulenken. Zur Optimierung des visuellen Gesamtbildes sollen der Brühturm und die darauf befindlichen Bedienelemente angepasst werden. Es müssen sowohl die Kabel- und Leitungsführungen neugestaltet werden, als auch die dafür notwendigen Elemente zur Befestigung und Platzierung angepasst werden.

Durch eine Kostenreduktion von Boilerdeckel und -boden werden für den Endverbraucher die Anschaffungskosten der Espressomaschine gesenkt, wodurch das Produkt für den Kunden attraktiver wird. Aus diesem Grund ist in der diesjährigen Projektarbeit eine Neukonstruktion des Deckels und Bodens durchzuführen, um alle erforderlichen Eigenschaften zu erfüllen.

2. Anpassung des Verspannmechanismus bezüglich der optischen Vorgaben

Verfasst und bearbeitet von Isabell Nuißl

Bei der Erwärmung des Wassers im Boiler der Espressomaschine kommt es zu einer Ausdehnung des inneren Borosilikatglaszylinders. Um einen Längenausgleich zwischen dem inneren und dem äußeren Zylinder zu ermöglichen, wurden Zugfedern als Spannelemente eingesetzt, welche deutlich zwischen den beiden Glaszylindern zu erkennen sind. Die Federn sind zwischen zwei Stäben eingehängt, und ermöglichen das selbstständige Anheben oder Absenken des Boilerdeckels bei einer Längenänderung der inneren Boilerwand. (Blädel, et al., 2020, p. 11)

In der vorliegenden Projektarbeit sollen Anpassungen und Verbesserungen am Verspannmechanismus vorgenommen werden, während die geometrischen und konstruktiven Entwicklungen der Projektarbeit „Weiterführung der Konstruktion einer Siebträger-Espressomaschine und Entwicklung einer labortechnischen Espressomaschine“ (Blädel, et al., 2020) übernommen werden müssen.

In diesem Kapitel wird erläutert, mit welchen Maßnahmen und Änderungen die sichtbaren Spannelemente, vor allem zwischen den beiden Borosilikatglaszylindern, vermieden werden können und welche Alternativen bezüglich der Zugfedern im Verspannmechanismus anwendbar sind. Eine Empfehlung des Projektbetreuers Herrn Dipl.-Ing. Rohnen ist es, den Einsatz von Tellerfedern zu bevorzugen. (Rohnen, 2020, p. 6)

2.1. Federauswahl und Verspannungskonzept

Verfasst und bearbeitet von Isabell Nuißl

Im Folgenden ist eine Feder so auszuwählen, dass die im Inneren des Borosilikatglasboilers entstehende Druckkraft aufgenommen werden kann. Hierbei müssen jedoch alle erforderlichen Eigenschaften bestmöglich erfüllt werden, ohne das Design negativ zu beeinflussen. Um die ausgewählte Feder vorspannen zu können, soll des Weiteren ein Verspannmechanismus konstruiert werden.

2.1.1. Mögliche Federarten für die Verspannung

Im vorangegangenen Maschinenmodell wurden die Zugfedern des Verspannmechanismus dafür eingesetzt, um die im Inneren des Boilers entstehenden Kräfte aufnehmen zu können und ein Abheben des Deckels zu vermeiden. Da die Federn jedoch aus optischen Gründen aus dem Sichtfeld des Anwenders zu entfernen sind, muss eine Alternative zu den Zugfedern gefunden werden (Blädel, et al., 2020, p. 11, Abbildung 3). Aus diesem Grund muss das neue Federelement auf dem Deckel des inneren Glaszylinders aufliegen und an dieser Stelle die Kräfte aufnehmen. Für diese Anwendung sind sowohl Tellerfedern als auch Schraubendruckfedern geeignet.

Die Auswahl der Konzepte erfolgt nach acht Kriterien, die mit einer priorisierten Gewichtung bewertet werden. Die Berechnung der technischen Wertigkeit erfolgt anhand Gleichung 1 wie folgt:

$$W_{tech} = \frac{\sum_{i=1}^n P_{gew,i}}{n \cdot 5} \cdot 100\% \quad (1)$$

Für die Federauswahl werden die Kriterien Montage, Kraftverteilung sowie Design als besonders wichtig erachtet und daher mit einer Gewichtung von 0,2 versehen. Die weiteren Kriterien, sowie die zugehörigen Gewichtungen und Bewertungen für die beiden Konzepte, sind in Tabelle 1 aufgeführt. Die Punkteskala zur Bewertung der einzelnen Kriterien ist in Tabelle 2 dargestellt.

Tabelle 1: Konzeptbewertung für die Federelemente

Pos.	Kriterium	Gewichtung	Konzept 1 - Tellerfeder		Konzept 2 - Schraubenfedern	
			Pkt. o. Gew.	Pkt. m. Gew.	Pkt. o. Gew.	Pkt. m. Gew.
1	Montage	0,2	5	1	3	0,6
2	Serientauglichkeit	0,1	5	0,5	5	0,5
3	Gewicht	0,05	4	0,2	4	0,2
4	Baugröße	0,1	4	0,4	4	0,4
5	Anzahl der Bauteile	0,1	5	0,5	3	0,3
6	Inspektion	0,05	4	0,2	4	0,2
7	Kraftverteilung	0,2	5	1	4	0,8
8	Design	0,2	5	1	4	0,8
	Summe	1	37	4,8	31	3,8
	Techn. Wertigkeit			92,50 %		77,50 %

Tabelle 2: Punkteskala zur Bewertung der einzelnen Kriterien (gilt für alle Konzeptbewertungen)

	Punkteskala
1	Unbefriedigend
2	Gerade noch in Ordnung
3	Ausreichend
4	Gut
5	Sehr gut

Die Bewertung zeigt, dass die Tellerfeder, hinsichtlich der deutlich höheren technischen Wertigkeit, besser für den Verspannmechanismus geeignet ist. Besondere Vorteile der Tellerfeder gegenüber der Schraubendruckfeder sind vor allem im minimalen Bauteilumfang, der sehr guten Kraftverteilung sowie der einfachen Montage zu finden.

2.1.2. Konzepte für den Verspannmechanismus und Auswahl

Der Verstellmechanismus unterliegt zahlreichen Anforderungen, die in der Neukonstruktion berücksichtigt werden müssen. Herstellungsbedingte Toleranzen verursachen Abweichungen in der Länge der Zylinder, welche durch den Verspannmechanismus ausgeglichen werden müssen. So kann zu jedem Zeitpunkt die erforderliche Vorspannkraft gewährleistet werden. Die Abmaße und Toleranzen der Borosilikatglaszylinder sind in Tabelle 3 dargestellt.

Tabelle 3: Abmaße und Toleranzen des inneren und äußeren Borosilikatglaszylinders (Schott, 2000, pp. 6f., 16)

	Bezugsgröße	Toleranzen / Abweichungen
Längentoleranz	Länge = 1500 mm	+10 mm -0 mm
Rundheit	Außendurchmesser < 200 mm	$t_{max} = 0,7 \% \text{ vom Nenndurchmesser}$
Geradheit	$100 \text{ mm} \leq \text{Außendurchmesser} < 200 \text{ mm}$	max. 2,5 mm / 1400 mm
Durchmesserabweichungen	Innendurchmesser = 105 mm Außendurchmesser = 150 mm	$\pm 1,7 \text{ mm}$ $\pm 2,0 \text{ mm}$

Der maximale Höhenunterschied tritt auf, wenn der innere Borosilikatglaszylinder eine negative Toleranz von 0 mm und der äußere Zylinder eine positive Toleranz aufweist. Diese berechnet sich mithilfe der in Tabelle 3 angegebenen Bezugsgröße und für eine Zylinderlänge von 265 mm nach Gleichung 2. In diesem Fall kommt es zu einer Höhendifferenz von +1,77 mm, die durch den Verspannmechanismus berücksichtigt werden muss.

$$T^+ = \frac{265 \text{ mm} \cdot 10 \text{ mm}}{1500 \text{ mm}} = 1,77 \text{ mm} \quad (2)$$

In einem Telefonat mit der Firma Gaßner Glastechnik wurden Informationen bezüglich der Einbringung von Bohrungen und anderweitig gefrästen Konturen gegeben. Für die Neukonstruktion des Verspannmechanismus können, nach Angaben des Herstellers, Bohrungen bis zu einem Durchmesser von 10 mm in die Mantelfläche des Zylinders gefräst werden, ohne dass die Festigkeit der Glaszylinder negativ beeinflusst wird. Die Bohrungen weisen die Normtoleranzen auf und müssen weit genug vom Rand des Zylinders entfernt liegen. Zu beachten ist jedoch, dass ein Kontakt zwischen dem Borosilikatglas und den metallischen Komponenten verhindert werden muss, um Beschädigungen, wie Absplitterungen an den Kontaktstellen, zu vermeiden.

Ziel der Neukonstruktion ist es, die Montage des Verspannmechanismus zu vereinfachen, und die Verspannelemente aus dem Sichtbereich des Bedieners zu entfernen, damit diese keinen optischen Störfaktor darstellen. Um die Anforderungen zu erreichen, werden im Folgenden die entwickelten Konzepte kurz erläutert und anschließend hinsichtlich ihrer Eignung bewertet.

a) Verschraubung des Deckels am Borosilikatglaszylinder

Zur Realisierung der Verschraubung wird ein Deckel benötigt, der mithilfe einer Schraube am äußeren Glaszylinder befestigt wird. In den Glaszylinder wird, wie in Abbildung 1 dargestellt, eine Durchgangsbohrung eingebracht, die mit einem Glasschutzelement, z.B. einer Gummihülse, versehen wird. Aufgrund des Glasschutzes können Beschädigungen durch die Schraube vermieden werden. Im inneren Bereich des Deckels ist ein Gewinde oder eine Mutter vorgesehen, um die Befestigung der Schraube zu ermöglichen.

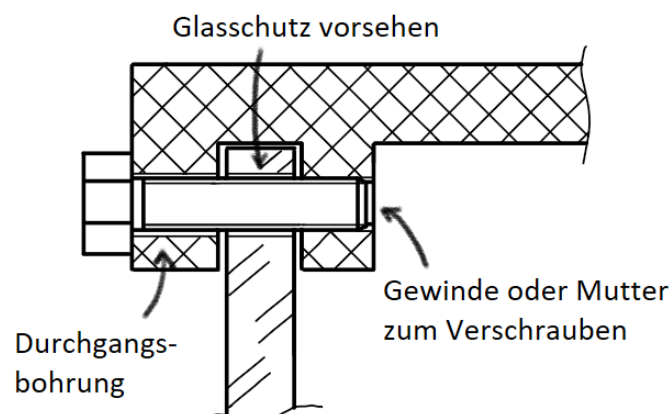


Abbildung 1: Verschraubung des Deckels am Borosilikatglaszylinder mittels Sechskantschraube

Hinsichtlich der für die Bewertung aller Verspannmechanismus-Konzepte angesetzte Gewichtung ist zu erwähnen, dass die Verschraubung lediglich eines der vier wichtigsten Kriterien vollständig erfüllt (vgl. Tabelle 4, Pos. 8). Die verwendete Punkteskala entspricht der

in Tabelle 2 aufgeführten Skala und die Berechnung der technischen Wertigkeit erfolgt nach Gleichung 1.

Die Montage wurde aufgrund ihrer Komplexität mit „ausreichend“ bewertet, da hier von außen zusätzlich eine Kraft aufgebracht werden muss, um die Vorspannung einstellen zu können. Des Weiteren kann die Verschraubung die Abweichung in der Länge nur sehr schlecht ausgleichen, da aufgrund der runden Durchgangsbohrung kaum ein Ausgleichsbereich vorliegt. Ein Längenausgleich könnte zwar durch die Nutzung von Langlöchern ermöglicht werden, bietet jedoch nicht die Möglichkeit eine gleichmäßige Kraftverteilung zu realisieren und die exakt benötigte Vorspannkraft einzustellen. Weitere Gründe für ein Verwerfen der Idee ist die mit „ausreichend“ bewertete Kostenreduktion des Deckels, da aufgrund der benötigten Deckelgeometrie (s. Abbildung 1) kaum Materialeinsparungen und somit keine Senkung der Fertigungskosten möglich ist.

Hinsichtlich dieser nicht ausreichenden Bewertung wurde das Konzept der Verschraubung von Deckel und Borosilikatglaszylinder als nicht funktionstauglich erachtet und daher verworfen.

Tabelle 4: Konzeptbewertung der beiden Spannkonzepete "Verschraubung" und "Ringbefestigung"

Pos.	Kriterium	Gewichtung	Konzept 1 - Verschraubung		Konzept 2 - Ringbefestigung	
			Pkt. o. Gew.	Pkt. m. Gew.	Pkt. o. Gew.	Pkt. m. Gew.
1	Montage	0,2	3	0,6	3	0,6
2	Serientauglichkeit	0,1	4	0,4	3	0,3
3	Kostenreduktion Deckel und Boden	0,15	3	0,45	4	0,6
4	Baugröße	0,1	4	0,4	4	0,4
5	Anzahl der Bauteile	0,1	4	0,4	4	0,4
6	Inspektion	0,05	5	0,25	4	0,2
7	Kraftverteilung	0,15	4	0,6	3	0,45
8	Design	0,15	5	0,75	3	0,45
	Summe	1	32	3,85	28	3,4
	Techn. Wertigkeit			77,00 %		68,00 %

b) Ringbefestigung

Die Ringbefestigung (s. Abbildung 2) wurde aufgrund der nicht ausreichenden Erfüllung der Kriterien Montage, Kraftverteilung sowie Design verworfen. Die Anzahl der benötigten Bauteile ist aufgrund der Verwendung der Kunststoffringe und der Spiralfedern größer als bei den übrigen Konzepten, weshalb eine Kostenreduktion hinsichtlich der Bauteilanzahl nicht erfüllt werden kann.

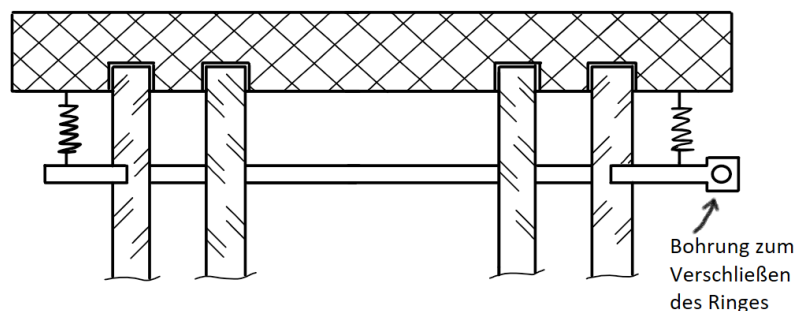


Abbildung 2: Verspannung des Deckels mit dem Borosilikatglaszylinder über einen Ring

Des Weiteren können die Toleranzen bezüglich der Rundheit nicht berücksichtigt werden. Das heißt, dass bei einem Einsatz von leicht ovalen Borosilikatglaszylindern der Ring nicht vollständig auf der eingebrachten Nut aufliegt und somit keine gleichmäßige Kraftverteilung gewährleistet werden kann. Die in den Glaszylinder eingebrachte Nut erzeugt zudem große Kerbspannungen, die zum Platzen des Glases führen können. Das Kriterium „Design“ ist nur ausreichend erfüllt, da die Spannelemente nicht vollständig aus dem Sichtbereich des Bedieners entfernt werden konnten. Aus diesen Gründen wurde das Konzept der Ringbefestigung als nicht geeignet erachtet und für die weitere Neukonstruktion des Verspannmechanismus verworfen. Die vollständige Bewertung des Konzeptes „Ringbefestigung“ ist in Tabelle 4 dargestellt.

c) Schraubverschluss

Der Schraubverschluss soll durch ein Gewinde auf der äußeren Mantelfläche des Außenzylinders und einem Gewinde auf der Innenseite des Deckels realisiert werden (s. Abbildung 3). Ein wesentlicher Vorteil dieses Konzeptes ist im Design zu finden, weshalb dieses mit „sehr gut“ bewertet wurde. Maßgeblich hierfür ist, dass aufgrund des Schraubverschlusses keine Spannelemente von außen zu erkennen sind.

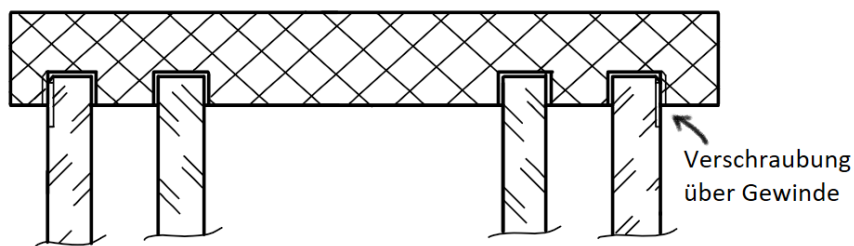


Abbildung 3: Befestigung des Deckels am äußeren Borosilikatglaszylinder über einen Schraubverschluss

Das Gewinde am Glaszylinder erhöht aufgrund der auftretenden Kerbwirkung jedoch die Gefahr, dass das Glas platzt. Zudem kann nach Angaben der Firma Gaßner Glastechnik, das Gewinde nicht gefertigt werden. Aus diesem Grund wurde das Konzept des Schraubverschlusses verworfen, obwohl die Vorspannkraft gut einstellbar wäre und die Kraftverteilung ebenfalls sehr gleichmäßig erfolgen kann. Die Bewertung der einzelnen Kriterien ist in Tabelle 5 ersichtlich und erfolgt anhand der Punkteskala aus Tabelle 2.

Tabelle 5: Konzeptbewertung der beiden Spannkonzeppte "Schraubverschluss" und "Spannhaken"

Pos.	Kriterium	Gewichtung	Konzept 3 - Schraubverschluss		Konzept 4 - Spannhaken	
			Pkt. o. Gew.	Pkt. m. Gew.	Pkt. o. Gew.	Pkt. m. Gew.
1	Montage	0,2	2	0,4	4	0,8
2	Serientauglichkeit	0,1	5	0,5	4	0,4
3	Kostenreduktion Deckel und Boden	0,15	4	0,6	5	0,75
4	Baugröße	0,1	4	0,4	4	0,4
5	Anzahl der Bauteile	0,1	4	0,4	4	0,4
6	Inspektion	0,05	5	0,25	5	0,25
7	Kraftverteilung	0,15	5	0,75	5	0,75
8	Design	0,15	5	0,75	4	0,6
Summe		1	34	4,05	35	4,35
Techn. Wertigkeit				81,00 %		87,00 %

d) Spannhaken

Der Spannhaken konnte hinsichtlich der gewählten Gewichtung und der Bewertung der Kriterien überzeugen (vgl. Tabelle 5). Das Design wird mit „gut“ bewertet, da die Spannelemente nahezu komplett aus dem Sichtfeld des Bedieners entfernt werden können und lediglich die Spannhaken zur Verspannung des Deckels mit dem äußeren Glaszylinder benötigt werden. Die Kostenreduktion des Deckels kann mit „sehr gut“ bewertet werden, da als Deckel für den inneren Borosilikatglaszylinder ein dünnes Kunststoffbauteil ausreichend ist. Die auf dem Deckel aufliegende Tellerfeder kann mithilfe einer Platte aus Metall oder Kunststoff vorgespannt werden.

Zum Verspannen der Spannhaken (s. Abbildung 4) werden Gewindestifte eingesetzt, um mithilfe einer Mutter die Vorspannkraft exakt einstellen zu können. Beim Anziehen der Muttern muss jedoch auf ein gleichmäßiges Anzugsmoment aller Spannhaken geachtet werden.

Hinsichtlich der Krafteinleitung durch den Verspannmechanismus kamen im Laufe der Projektarbeit Bedenken auf. Da es aufgrund der vorgesehenen Konstruktion des Spannhakens zu einem Moment am Glaszylinder kommt, wäre nach einer unbefugten Montage des Verspannmechanismus eine gefahrlose Benutzung der Espressomaschine nicht mehr gewährleistet. Aus diesem Grund wurde die Idee des Spannhakens hinsichtlich der konstruktiven Gestaltung weiterentwickelt, um eine optimale Krafteinleitung in das Glas zu ermöglichen.

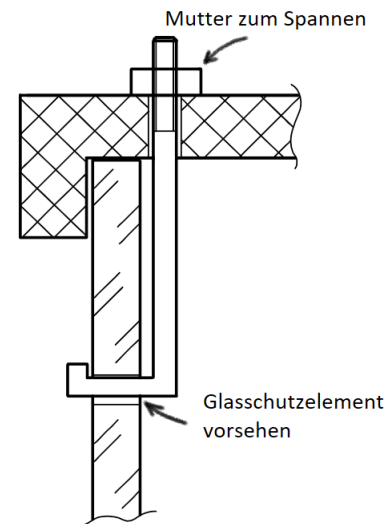


Abbildung 4: Verspannung des Deckels mit dem äußeren Borosilikatglaszylinder mittels Spannhaken

e) Weiterentwicklung des Spannhakens

Bei dem bisher konstruierten Spannhaken wird die Krafteinleitung während des Montierens nicht zwingend optimal verteilt. Dadurch kann es im Fall einer unsachgemäßen Bedienung zu einem Platzen oder Reißen des Glaszylinders kommen. Um dies zu verhindern, muss der Spannhaken konstruktiv verbessert werden. Das neue Konzept soll das Auftreten eines Momentes in der Bohrung verhindern, indem eine Krafteinleitung in der Ebene des Glaszylinders angestrebt wird. Dies bedeutet, dass nach Möglichkeit nur Zugkräfte auf den äußeren Borosilikatglaszylinder wirken, wodurch keine Kerbwirkung auftritt und somit die Kräfte über die gesamte Zylinderwand gleichmäßig aufgenommen werden können.

2.2. Berechnungen für den Verspannmechanismus

Verfasst und bearbeitet von Isabell Nuißl

Die Berechnungen für den Verspannmechanismus wurden in einem separaten Dokument durchgeführt, um in diesem Bericht eine übersichtliche Darstellung der Ergebnisse zu ermöglichen. Im Folgenden werden daher nur die relevanten Daten und Ergebnisse dargestellt und gegebenenfalls auf die entsprechenden Berechnungen (Nuißl, 2020) verwiesen.

2.2.1. Berechnung des Innendruckes im inneren Borosilikatglaszylinder

Zur Berechnung des hydrostatischen Prüfdruckes wird der maximale Betriebsdruck herangezogen, der sich aus der Dampfdrucktabelle für Wasser (GEMÜ, 2020, p. 1) bezüglich der maximalen Temperatur ergibt. Bei dem maximalen Betriebsdruck handelt es sich um einen Absolutdruck, der den atmosphärischen Druck berücksichtigt. Aus diesem Grund muss der Absolutdruck in einen relativen Betriebsdruck umgerechnet werden. Für die weiteren Berechnungen ergibt sich somit ein Betriebsdruck von $p_B = 1,7 \text{ bar}$ (Nuißl, 2020, p. 1, Gleichung 2).

Zur Berechnung des hydrostatischen Prüfdruckes muss die Richtlinie 2014/68/EU des Europäischen Parlamentes und des Rates vom 15. Mai 2014 herangezogen werden. Mithilfe dieser Richtlinie berechnet sich der erforderliche Prüfdruck zu $p_{Prüf} = 2,5 \text{ bar}$. (Nuißl, 2020, p. 1, Gleichung 3)

Die Druckkraft, welche angesichts des Innendruckes auf den Zylinder wirkt, berechnet sich nach Gleichung 5 zu $F_p = 1772,06 \text{ N}$ (Nuißl, 2020, p. 2).

Infolge des Eigengewichtes des Deckels verringert sich die von der Feder aufzubringende Kraft, um ein Abdichten des inneren Borosilikatglaszylinders zu ermöglichen. Aus diesem Grund errechnet sich die resultierende Druckkraft, aus der Differenz der Druckkraft F_p und der Gewichtskraft des Deckels, zu $F_D = 1769,57 \text{ N}$ (Nuißl, 2020, p. 2, Gleichung 8).

Diese resultierende Druckkraft muss mindestens von der Feder ausgehalten werden, d.h. die Vorspannkraft der Feder muss mindestens diese Kraft aufbringen können.

2.2.2. Berechnung der Längenausdehnungen

Bedingt durch die Längenänderungen kann es zu einer Verringerung oder Erhöhung der Vorspannkraft kommen. Somit sind die Längenänderungen des inneren und äußeren Borosilikatglaszylinders, des Spannhakens sowie des Deckels zu betrachten. Des Weiteren ist die Längenänderung des inneren Glaszylinders zu ermitteln, welche aufgrund der Krafteinwirkung durch die minimale Vorspannkraft entsteht.

a) Längenänderung des inneren Borosilikatglaszylinders aufgrund Erwärmung

Die ausführliche Berechnung der Längenänderung des inneren Glaszylinders ist den Berechnungen zum Verspannmechanismus zu entnehmen (Nuißl, 2020, p. 3, Gleichung 9 und 10). Bezüglich des Nennmaßes des inneren Zylinders wird die Längenänderung berechnet, die sich infolge der Erwärmung des Borosilikatglases während des Betriebs ergibt.

$$\Delta L_{Glas,i} = 0,099 \text{ mm}$$

Die Längenänderung $\Delta L_{Glas,i}$ wirkt sich positiv auf die Vorspannkraft aus, da durch die zusätzliche Länge, der Federweg zunimmt und sich somit die Vorspannkraft der Feder erhöht.

b) Längenänderung des äußeren Borosilikatglaszylinders aufgrund Erwärmung

Die Berechnung der Längenänderung für den äußeren Borosilikatglaszylinder wird für eine Länge von 265 mm durchgeführt, da aufgrund der konstruktiven Maßnahmen eine kürzere Ausführung des Zylinders erforderlich ist. Da zusätzlich eine geringere Temperatur vorliegt, dehnt sich der äußere Borosilikatglaszylinder in einem geringeren Maße aus, als der innere

Glaszylinder. Mithilfe der Gleichung 12 (Nuißl, 2020, p. 4) errechnet sich eine Längenänderung von:

$$\Delta L_{Glas,a} = 0,04 \text{ mm}$$

Diese Längenänderung $\Delta L_{Glas,a}$ wirkt sich im Gegensatz zum inneren Zylinder jedoch negativ auf die Vorspannkraft der Feder aus, da durch die Längung des Zylinders die Feder entspannt wird und somit die Federkraft abnimmt.

c) Längenänderung des Verspannmechanismus aufgrund Erwärmung

Zur Berechnung der Längenänderung des Spannhakens wird die finale Konstruktion des Spannhakens herangezogen. Als Werkstoff für das Spannelement wird der Kunststoff ABS verwendet. Die Längenänderung, bedingt durch die Erwärmung des Spannhakens während des Betriebes, berechnet sich mittels der Gleichung 15 (Nuißl, 2020, p. 4).

$$\Delta L_{Haken} = 0,332 \text{ mm}$$

Die Längenänderung ΔL_{Haken} wirkt sich negativ auf die Vorspannkraft aus, da bei einer Ausdehnung des Hakens der Druck auf die Feder verringert wird und es somit zu einem entspannen der Feder kommt. Die Längenänderung des Spannhakens besitzt, wegen des betragsmäßig hohen Wertes, den größten Einfluss auf die Kraftänderung der Vorspannkraft und muss daher zwingend berücksichtigt werden.

d) Längenänderung des Deckels aufgrund Erwärmung

Der Deckel wird aus dem Kunststoff PVDF hergestellt und weist im Hinblick auf die Materialeinsparungen eine finale Dicke von 6 mm auf. Angesichts der geringen Höhe des Deckels berechnet sich die Längenänderung (Nuißl, 2020, p. 5, Gleichung 16) infolge von Erwärmung zu:

$$\Delta L_{Deckel} = 0,092 \text{ mm}$$

Die Ausdehnung des Deckels wirkt sich positiv auf die Vorspannkraft aus. Bei der Erwärmung des inneren Borosilikatglaszylinders kommt es zu einer Verkürzung des Federweges und somit zu einer Verstärkung der Federkraft.

e) Längenänderung des inneren Glaszylinders aufgrund Krafteinwirkung

Die Kraft, welche durch die Vorspannung auf den inneren Borosilikatglaszylinder übertragen wird, führt zu einer Verkürzung des Glaszylinders. Diese berechnet sich nach Gleichung 18 (Nuißl, 2020, p. 5) zu:

$$\Delta L_{Kraft} = 0,0048 \text{ mm}$$

Diese Längenänderung tritt unabhängig von der Erwärmung des Borosilikatglases auf, d.h. das es sowohl im Betrieb als auch im ausgeschalteten Zustand der Espressomaschine zu einer Änderung der Länge kommt. Die Krafteinwirkung beeinflusst die Vorspannkraft negativ, da die Feder wegen der Verkürzung entspannt wird.

f) *Gesamtlängenänderungen während des Betriebes der Espressomaschine*

Die zuvor berechneten Längenänderungen müssen zur Berechnung der minimalen und maximalen Federkraft hinsichtlich zweier Belastungsfälle betrachtet werden. Die Toleranzen bezüglich der Länge der Borosilikatglaszylinder sind zu vernachlässigen, da die Längendifferenz durch den Verspannmechanismus ausgeglichen werden kann.

Fall 1: Keine Erwärmung (Ausgangszustand)

Im Ausgangszustand wirkt ausschließlich die Federkraft, die eine Längenänderung aufgrund von Krafteinwirkung hervorruft. Die Längenänderungen bedingt durch die Erwärmung treten in diesem Zustand noch nicht auf, da durch den Betrieb der Maschine keine Temperaturerhöhung der einzelnen Komponenten erfolgt ist. In diesem Belastungsfall tritt somit lediglich eine negative Längenänderung auf, die betragsmäßig der Änderung ΔL_{Kraft} entspricht.

$$\Delta L_{ges,1} = -0,0048 \text{ mm}$$

Fall 2: Vollständige Erwärmung (Im Betrieb)

Bei vollständiger Erwärmung aller Komponenten treten sowohl die Längenänderung aufgrund von Erwärmung, als auch die Längenänderung aufgrund der Krafteinwirkung auf. Die Kräfte werden entsprechend ihrem Einfluss auf die Vorspannkraft positiv oder negativ aufsummiert. Somit ergibt sich für den Belastungsfall 2 folgende Gesamtlängenänderung. (Nuißl, 2020, p. 6, Gleichung 19)

$$\Delta L_{ges,2} = -0,2448 \text{ mm}$$

Da es in beiden Belastungsfällen zu einer negativen Längenänderung kommt, muss der betragsmäßig größere Wert zur Berechnung der erforderlichen Vorspannkraft verwendet werden. Aus diesem Grund wird für die weiteren Berechnungen der Belastungsfall 2 betrachtet, da es hier zu einer größeren Verringerung der Vorspannkraft kommt.

Um die maximale und minimale Federkraft berechnen zu können, müssen zusätzlich die Längenänderungen durch die Bohrungstoleranzen berücksichtigt werden. Die in die Mantelfläche des äußeren Glaszylinders eingebrachten Bohrungen weisen, nach Angaben des Herstellers Gaßner Glastechnik, die üblichen Bohrungstoleranzen auf. Die Grundtoleranzen für einen Nennmaßbereich von 6-10 mm und einer Verwendung bei Bauteilen aus dem allgemeinen Maschinenbau sind in Tabelle 6 aufgelistet. Für einen Bohrungsdurchmesser von 10 mm wird der Grundtoleranzgrad IT 8 mit der Grundtoleranz von 22 µm gewählt.

Tabelle 6: Grundtoleranzen IT für einen Nennmaßbereich von 6-10 mm (in Anlehnung an DIN EN ISO 286-1) (Wittel, et al., 2017, p. 55)

Grundtoleranzgrad	Grundtoleranz in µm
IT 5	6
IT 6	9
IT 7	15
IT 8	22
IT 9	36
IT 10	58
IT 11	90

Die Längenänderung durch die Bohrungstoleranz beträgt somit die Hälfte des Grundtoleranzwertes.

$$\Delta L_{Bohr} = \frac{22 \mu\text{m}}{2} = 0,011 \text{ mm} \quad (3)$$

Die Auswirkungen der Längenänderungen infolge der Bohrungstoleranzen müssen zusätzlich bei der Berechnung der minimalen und maximalen Federkraft berücksichtigt werden.

2.2.3. Auslegung der Feder, Festigkeitsnachweis und Federkräfte

Für den Verspannmechanismus wird eine einzelne Tellerfeder der Reihe B Gruppe 2 ausgewählt (Wittel, et al., 2017, p. 164ff., TB 10-9b). Die relevanten Daten sind aus Tabelle 7 zu entnehmen.

Tabelle 7: Gegebene und errechnete Daten für die ausgewählte Tellerfeder der Reihe B Gruppe 2 (Wittel, et al., 2017, p. 164ff., TB 10-9b)

Außendurchmesser	D_e	100	mm
Innendurchmesser	D_i	51	mm
Kraft bei 75 % des Federwegs	$F_{0,75}$	13070	N
Federweg bei 75 % des Weges	$s_{0,75}$	2,1	mm
Federrate	R	2498,18	$\frac{N}{mm}$

Der durchgeführte Festigkeitsnachweis (Nuißl, 2020, p. 6ff.) ergibt, hinsichtlich der zulässigen Spannungen, ausreichend hohe Sicherheiten, womit bewiesen ist, dass die Tellerfeder korrekt ausgelegt wurde. Mithilfe der berechneten Federrate können im Folgenden die maximale und die minimale Federkraft berechnet werden.

a) Minimale Federkraft und Vorspannkraft

Die minimale Federkraft berechnet sich aus der größten negativen Längenänderung. Zu beachten ist hier, dass es an der Durchgangsbohrung, aufgrund der positiven Bohrungstoleranzen, zu einer zusätzlichen Verringerung der Vorspannkraft kommt und deshalb diese Längenänderung zusätzlich negativ in die Gesamtlängenänderung eingeht. Es ergibt sich somit eine finale negative Längenänderung nach Gleichung 35 (Nuißl, 2020, p. 10).

$$\Delta L_2 = -0,2558 \text{ mm}$$

Mithilfe dieser Längenänderung und der zuvor berechneten Federrate (vgl. Tabelle 7) berechnet sich die Kraft F_2 , welche die Vorspannkraft verringert. (Nuißl, 2020, p. 10, Gleichung 36)

$$F_2 = -666,51 \text{ N}$$

Zur Ermittlung der erforderlichen Vorspannkraft wird der Betrag der Kraftverringering F_2 auf die resultierende Druckkraft F_D aufsummiert (Nuißl, 2020, p. 2, Gleichung 8). Anschließend kann der erforderliche Vorspannweg nach Gleichung 38 errechnet werden (Nuißl, 2020, p. 11). Um die mindestens erforderlichen Werte nicht zu unterschreiten, wird der Vorspannweg auf den nächsthöheren ganzzahligen Wert aufgerundet. Es ergeben sich folgende Werte für den Vorspannweg und die Vorspannkraft:

$$s_{vor} = 1 \text{ mm}$$

$$F_{vor} = 2498,18 \text{ N}$$

b) Maximale Federkraft

Die maximale Längenänderung ergibt sich aus der kleineren negativen Längenänderung (Belastungsfall 1) und der Begebenheit, dass der Bohrungsdurchmesser aufgrund der negativen Bohrungstoleranzen verringert wird. Im Hinblick auf den geringeren Durchmesser wirkt sich die Längenänderung infolge der Bohrungstoleranz positiv auf die Vorspannkraft aus. Es berechnet sich somit nach Gleichung 40 (Nuißl, 2020, p. 11) eine maximale Längenänderung, die sich durch Aufsummieren der Längenänderung für Belastungsfall 1 und der positiven Längenänderung der Bohrungstoleranz ergibt.

$$\Delta L_{max} = 0,0062 \text{ mm}$$

Die maximale Kraft, um welche die Vorspannkraft der Feder erhöht wird, berechnet sich nach der Gleichung 41 (Nuißl, 2020, p. 11) und muss auf die Vorspannkraft addiert werden, um die maximal wirkende Federkraft zu erhalten. Mittels der maximalen Federkraft und des maximalen Federweges muss überprüft werden, ob die maximal zulässigen Werte nicht überschritten werden. Die berechneten Werte für die Federkraft und den Federweg sind in Tabelle 8 dargestellt und den jeweils maximal zulässigen Werten gegenübergestellt.

Tabelle 8: Gegenüberstellung der berechneten und der zulässigen Maximalwerte (Nuißl, 2020, p. 11f.)

	Berechneter Maximalwert	Zulässiger Maximalwert
Federkraft	$F_{max} = 2513,67 \text{ N}$	$F_{0,75} = 13070 \text{ N}$
Federweg	$s_{max} = 1,01 \text{ mm}$	$s_{0,75} = 2,1 \text{ mm}$

Da die berechneten Werte die zulässigen Maximalwerte nicht überschreiten, ist die Feder korrekt ausgelegt und kann für den Verspannmechanismus problemlos verwendet werden.

2.2.4. Festigkeitsnachweis für das Borosilikatglas unter dem Einfluss der maximalen Federkraft

In den Angaben des Herstellers, ist für die maximale Druckkraft, die pro Quadratmillimeter auf das Borosilikatglas einwirkt, mit 7 Newton festgelegt. (Schott, 2000, p. 12) Diese zulässige Druckspannung darf nicht überschritten werden. Da sich aus dem Verhältnis von einwirkender Kraft F_{max} zu der Querschnittsfläche des Borosilikatglases eine deutlich geringere Spannung ergibt, ist davon auszugehen, dass das Borosilikatglas hinsichtlich der Spannungen eine ausreichend hohe Festigkeit aufweist. Es gilt (Nuißl, 2020, p. 12, Gleichung 44):

$$\sigma_{Glas,zul} = 7 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \geq \sigma_{Glas} = 1,62 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

2.2.5. Berechnung des Anzugmomentes zur Einstellung der Vorspannkraft

Die Feder wird mithilfe des Vorspanndeckels und drei M6-Schrauben vorgespannt. Damit die optimale Montage und somit das ideale Anzugsmoment eingestellt werden kann, erfolgt eine Berechnung der notwendigen Umdrehungen über den Vorspannweg der Feder. Um einen Sicherheitsbereich beim Verschrauben des Verspannmechanismus zu erhalten und Schäden bei einer unzulässigen Montage zu vermeiden, werden die Umdrehungen für sowohl eine

M6-Schraube mit metrischem ISO-Gewinde, als auch für eine M6-Schraube mit metrischem ISO-Feingewinde berechnet. Anschließend werden diese miteinander verglichen und die Schraube mit der höheren Montagesicherheit ausgewählt. Die berechnete Anzahl an Umdrehungen für die Einstellung des Vorspannweges und den maximal zulässigen Vorspannweg für beide Gewindetypen sind in Tabelle 9 aufgelistet.

Tabelle 9: Anzahl der Umdrehungen für den Vorspannweg und den maximal zulässigen Federweg bezüglich beider Gewindetypen für M6x0,5 (Nuißl, 2020, p. 13)

Gewindetyp	Anzahl Umdrehungen für s_{vor}	Anzahl Umdrehungen für $s_{0,75}$
Regelgewinde	1,0	2,1
Feingewinde	2,0	4,2

Aus den Berechnungen (Nuißl, 2020, p. 13, Gleichungen 45 bis 48) wird deutlich, dass eine M6-Schraube mit metrischem ISO-Feingewinde und einer Gewindesteigung von 0,5 mm die besten Ergebnisse liefert. Die Umdrehungszahl weist bei diesem Gewindetyp bis zum Erreichen des maximal zulässigen Federweges einen größeren Puffer auf, als das Regelgewinde. Aus diesem Grund wird das metrische ISO-Feingewinde für die Montage der Federkomponenten gewählt.

2.3. Konstruktion des Verspannmechanismus

Bearbeitet von Isabell Nuißl und Matthias Rieseberg

Verfasst von Isabell Nuißl

Hinsichtlich der Konzeptbewertung bietet der Entwurf des Spannhakens den vielversprechendsten Erfolg, weshalb dieser für die Neukonstruktion des Verspannmechanismus weiterverfolgt wurde. Da sich im Laufe der Projektarbeit herausstellte, dass es bei einer unsachgemäßen Montage zu relevanten Sicherheitsbedenken kommen kann, wurde der Spannhaken weiterentwickelt und verbessert. Im Folgenden werden sowohl die ursprüngliche Spannhakenkonstruktion als auch die Weiterentwicklung hinsichtlich ihres Aufbaues, ihrer Funktionsweise sowie ihrer Montage beschrieben.

Variante 1: Ursprünglicher Spannhaken

Verfasst und bearbeitet von Isabell Nuißl

Der Spannhaken der Variante 1 besteht aus vier Elementen und ist in Abbildung 5 dargestellt. Er wird mithilfe des Stiftes (A) von innen in den äußeren Glaszylinder eingehängt. Zu beachten ist hier, dass der Spannhaken aus einem metallischen Werkstoff besteht und somit kein Kontakt zwischen diesem und dem Borosilikatglas bestehen darf, da es sonst zu schwerwiegenden Schäden, wie dem Platzen des Borosilikatglaszylinders kommen kann. Aus diesem Grund wird ein Glasschutzelement (B) aus dem Kunststoff ABS zum Schutz des Borosilikatglases von der Außenseite des Zylinders auf den Spannhakenstift aufgesteckt. Zudem bietet das Glasschutzelement den Vorteil, dass herstellungsbedingte Oberflächenschäden, wie Absplitterungen an den Durchgangsbohrungen, verdeckt werden können und somit das optische Bild aus Sicht des Anwenders nicht gestört wird.

Die Vorspannung der Tellerfeder erfolgt mittels eines Gewindestiftes (C) und einer Mutter (D). Der Gewindestift kann hierbei zur leichteren Montage in den Spannhakenstift geschraubt werden. Die Längentoleranzen des Borosilikatglaszylinders müssen in diesem Konzept nicht berücksichtigt werden, da aufgrund der „offenen“ Bauweise die Höhendifferenzen durch den

Spannhaken ausgeglichen werden können. Die Montage des Vorspanndeckels (E) und somit das Einstellen der Vorspannkraft der Feder erfolgt mithilfe der Mutter.

Die Mutter wird auf den Gewindestift geschraubt, bis sie auf dem Vorspanndeckel anliegt. Ab diesem Zeitpunkt wird die Mutter, über die berechnete Anzahl an Umdrehungen, bis auf den erforderlichen Vorspannweg angezogen. Hierbei ist zu beachten, dass eine gleichmäßige Einstellung aller drei Muttern erfolgen muss, da es sonst zu einer unregelmäßigen Spannungsverteilung kommt und im schlimmsten Fall ein Platzen des Borosilikatglaszylinders zur Folge hat.

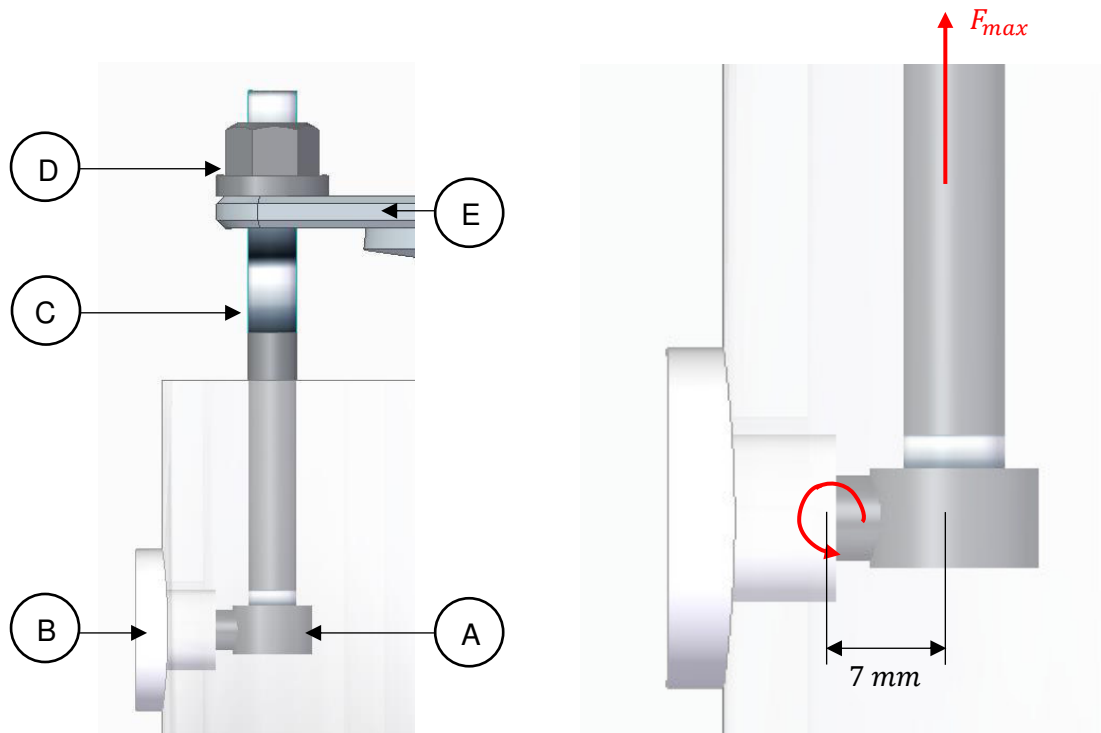


Abbildung 5: Ursprünglicher Spannhaken (links) und auf den Spannhaken wirkende Kräfte und Momente (rechts)

Variante 2:

Verfasst und bearbeitet von Matthias Rieseberg

Die in Abbildung 6 dargestellte Variante setzt sich aus fünf Komponenten zusammen. Der Aufbau des Spannhakens erfolgt über das Zusammenstecken der Befestigung (A) mit dem Gegenstück (B). Die hierbei formschlüssige Verbindung der beiden Steckverbindungen bewirkt einen festen Halt der Komponenten und ermöglicht die erforderliche Kraftaufnahme für den Verspannmechanismus. Für den Fall, dass durch eine Krafteinwirkung das Gegenstück von der Befestigung getrennt werden kann, z.B. durch ein Anstoßen mit dem Arm an dem Halter, ist zusätzlich eine Verschraubung durch eine M3-Schaftschraube vorgesehen. Die über den Gewindeeinsatz (M6, L=7 mm) im Halter verschraubte Innensechskant-Hutschraube (DIN 912-M6x12mm), ist zur Regulierung der Vorspannkraft der Feder zuständig.

Um mögliche Toleranzabweichungen der Zylinderwandstärke ($\pm 0,7$ mm), die bei der Herstellung des Borosilikatglasboilers auftreten können, entgegenzuwirken, ist die Länge der Steckverbindungen jeweils so ausgewählt, dass mindestens eine Auflagefläche von 1,0 mm vorhanden bleibt. Dies ermöglicht, dass bei einer maximalen Wandstärke die Steckverbindungen dennoch ineinandergreifen und die Halterung sowie das Gegenstück an der Boilerwand anliegen.

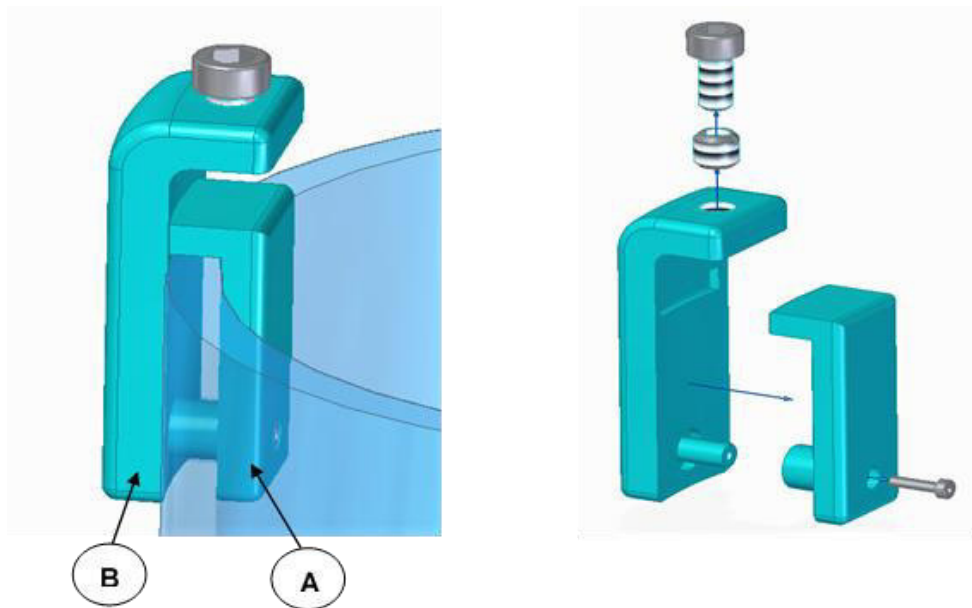


Abbildung 6: Erweiterte Variante des Spannhakens

Die Verbindung zwischen Spannhaken und Vorspanndeckel erfolgt über die Vorspannschraube, welche über eine Vertiefung (Nut) im Vorspanndeckel geführt wird (s. Abbildung 7).

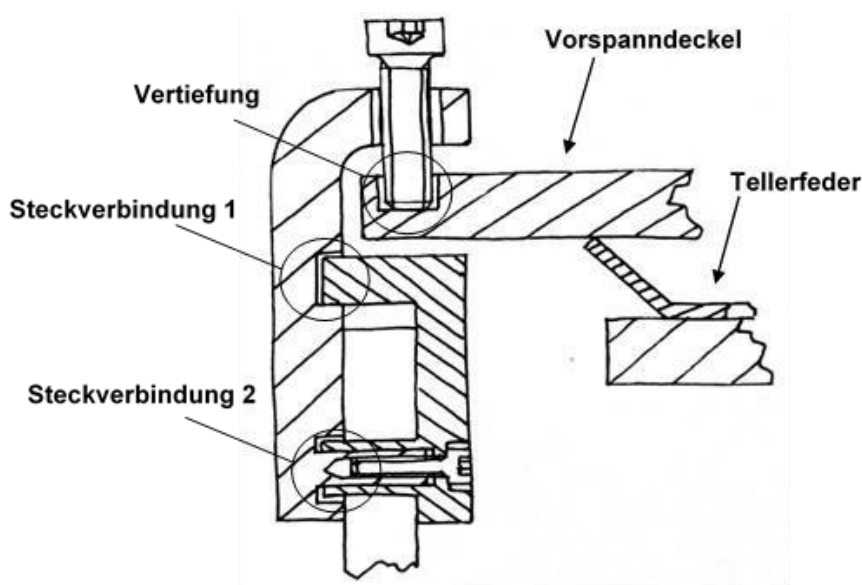


Abbildung 7: Schnitt des erweiterten Spannhakens

Die Vorspannkraft der Tellerfeder von 2498,18 N wird auf die drei Spannhaken in gleichem Maße aufgeteilt. Somit ergibt sich pro Spannhaken eine einwirkende Kraft von 832,73 N. Als Werkstoff wird der Kunststoff PEEK ausgewählt, da dieser die Kräfte am besten aufnehmen kann. In Abbildung 8 ist die sich einstellende Verformung von 0,144 mm dargestellt. Diese Verformung kann als so gering angesehen werden, dass eine Deformation des Hakens ausgeschlossen wird. Bei einer Materialänderung mit geringeren technischen Eigenschaften muss die Geometrie entsprechend angepasst werden. Über die Materialeigenschaften ist es möglich den Spannhaken, ohne zusätzliche Kunststoff- oder Elastomerlagerungen, zu verbauen, um eine Beschädigung der Borosilikatglaszylinderwand zu vermeiden.

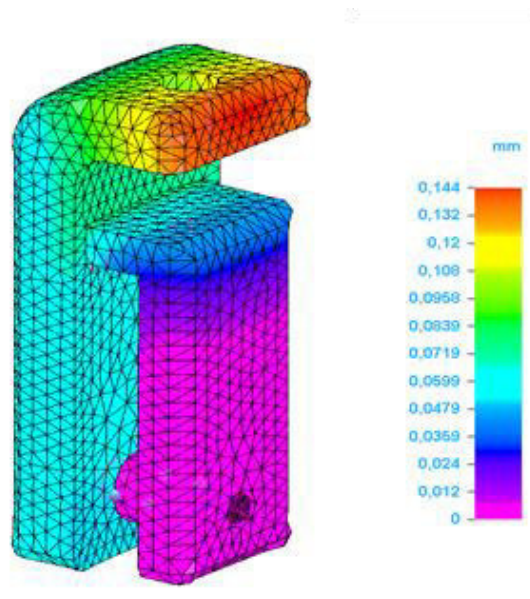


Abbildung 8: FEM des erweiterten Spannhakens (Verschiebungen)

Variante 3:

Verfasst und bearbeitet von Matthias Rieseberg

Variante 3 ist wie Variante 2 aus fünf Komponenten aufgebaut (s. Abbildung 9). Die Befestigung (A) und das Gegenstück (B) sind über eine Steckverbindung miteinander verbunden und werden mittels einer M5-Schaftschraube gesichert. Die gewünschte Vorspannkraft wird über den verschraubten Gewindeeinsatz im Halter und der verbauten M6-Schraube eingestellt.

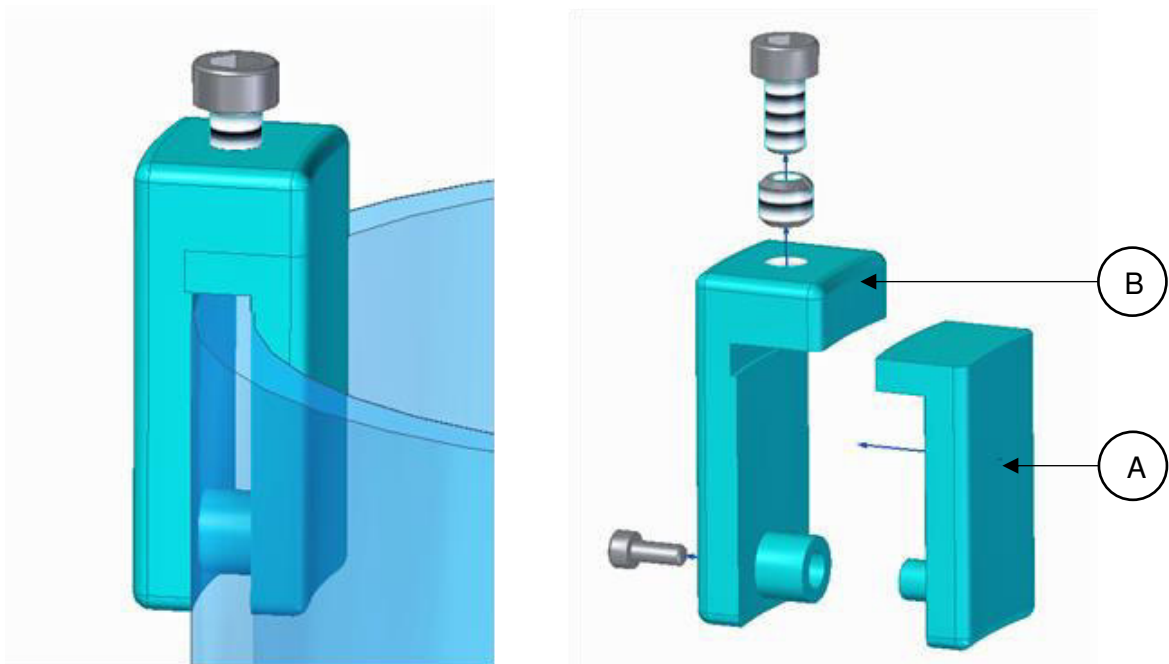


Abbildung 9: Finaler Spannhaken

Bei Variante 3 wird für den Haken das Material ABS gewählt. Die in Abbildung 10 beigefügte FEM-Analyse zeigt, dass die Verformungen bei maximal 0,0618 mm liegt und somit für die Weiterentwicklung verwendet werden kann.

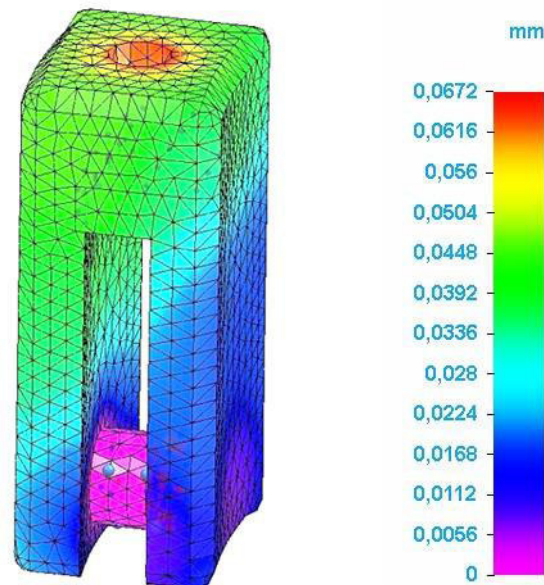


Abbildung 10: FEM-Spannhaken (Verschiebungen)

Ein Unterschied der beiden Varianten zueinander, stellt die Verbindung zu dem Vorspanndeckel dar (s. Abbildung 11). Bei Variante 3 ist dies über eine Durchgangsbohrung im Vorspanndeckel gestaltet. Zudem wird die Gesamtbauhöhe der Befestigung verkleinert und ermöglicht eine schlichtere und unauffälligere Bauweise. Wie zuvor sind die Parameter der Steckverbindungsgeometrie so gewählt, dass bei einer Maßabweichung der Zylinderwandstärke, im Bereich der Toleranzen, dennoch eine formschlüssige Verbindung erhalten bleibt.

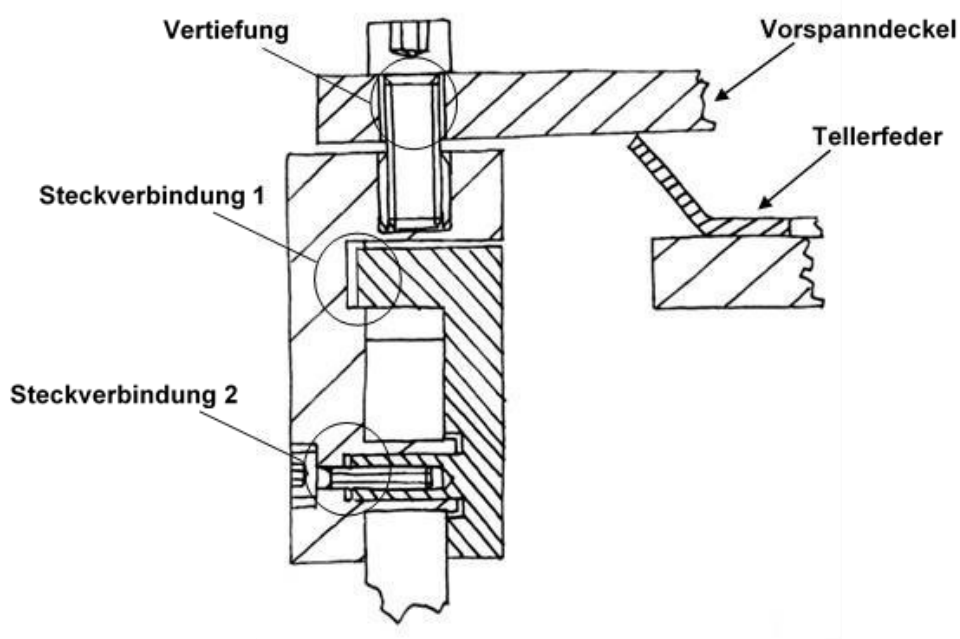


Abbildung 11: Querschnitt des finalen Spannhakens

2.4. Vergleich und Vorauswahl der Spannhaken-Varianten

Verfasst und bearbeitet von Matthias Rieseberg

Die in Kapitel 2.3. beschriebene Variante 1 des Spannhakens weist, aufgrund der um 7 mm verschobene Spannkraft, ein Moment in der Bohrung auf. Je nach Montage der Spannhaken kann das Moment an der Bohrung deutlich zunehmen und den Borosilikatglasboiler beschädigen. Dies kann beispielsweise auftreten, wenn die Spannhaken mit dem Vorspanndeckel am Glasboiler vormontiert werden, jedoch nicht darauf geachtet wird, dass alle Schrauben gleichzeitig angezogen werden. Bei einer fachgerechten Montage sollte dies jedoch nicht auftreten. Dennoch wird für die weitere Bewertung der ungünstigste Betrachtungsfall angenommen.

Um ein Moment in den Bohrungen zu vermeiden, ist Variante 2 (vgl. Kapitel 2. 3.) mit einem zusätzlichen Gegenstück versehen. Durch die ergänzend angebrachte Verschraubung und die damit entstehende Flächenpressung zwischen der Borosilikatglaszylinderwand sowie dem Gegenstück und der Befestigung wird ein Moment über die Zylinderwand aufgenommen und nicht in der Bohrung. Der durch die Tellerfeder wirkende Kraftfluss wird im Optimalfall durch die Befestigung (A) und das Gegenstück (B) gleich aufgeteilt und verhindert so ein Moment. Diese Annahme kann nur dann getroffen werden, wenn die Verformungen in den beiden Komponenten nicht auftritt oder sehr gering ist, sodass diese nicht in die Gewichtung fällt. Im Fall der Variante 2 ist dies mithilfe der beigelegten FEM-Analyse in Abbildung 8 nachgewiesen, wodurch diese Variante eine vorteilhaftere Lösung gegenüber der ersten Variante darstellt.

Im Hinblick auf die etwas unhandliche Bauweise von Variante 2 wurde der Spannhaken weiterentwickelt zu Variante 3 (vgl. Kapitel 2. 3.), da diese eine elegantere Lösung zeigt. Die Variation der Anschlussart zum Vorspanndeckel ermöglicht, aufgrund der Durchgangsbohrung, eine geringere Bauhöhe und eine sichere Fixierung des Vorspanndeckels auf dem Borosilikatglasboiler. Bei einer Krafteinwirkung ist somit das Abspringen des Vorspanndeckels und das damit verbundene Austreten von heißem Wasserdampf nicht gegeben. In Bezug auf die Montage und die Anordnung der zu montierenden Komponenten, erweist sich Variante 3 als deutlich geeigneter. Somit ist es möglich, in einer Vormontage des Verspannmechanismus, die drei Spannhaken bereits zu Beginn am Borosilikatglaszylinder zu befestigen und anschließend die Tellerfeder und den Vorspanndeckel mittels der Schrauben zu fixieren.

Im Folgenden ist zusätzlich eine gewichtete Punktebewertung in Tabelle 10 beigefügt, um eine umfangreiche Bewertung für alle drei Varianten zu erhalten.

Tabelle 10: Gewichtete Punktebewertung der Varianten des Spannhakens

Bewertungskriterien	Gewichtung	Variante 1.2.1		Variante 1.2.2		Variante 1.2.3	
		Bew.	Sum.	Bew.	Sum.	Bew.	Sum.
Sicherheit	0,3	1	0,3	3	0,9	4	1,2
Schwierigkeit der Montage	0,2	3	0,6	2	0,4	4	0,8
Geschätzte Kosten	0,2	3	0,6	2	0,4	3	0,6
Komplexität	0,1	3	0,3	1	0,1	2	0,2
Geschätzte Zuverlässigkeit	0,2	3	0,6	3	0,6	3	0,6
Summe	1	2,3		2,4		3,4	

Tabelle 11: Gewichtungsmaße für Tabelle 10

	Bewertungsskala
Mangelhaft	1
Unbefriedigend	2
Ausreichend	3
Gut	4
Sehr gut	5

Die gewichtete Punktebewertung in Tabelle 10 zeigt, dass sich Variante 3 (vgl. Kapitel 2. 3.) am besten für die Espresso-maschine „Style“ eignet.

2.5. FEM-Analyse Borosilikatglas-Außenzylinder

Verfasst und bearbeitet von Marko Kurtusic

Zusätzlich zur händischen Berechnung der Festigkeit wurden FEM-Analysen mithilfe der Ansys Software gemacht. Untersucht wurden hierbei die maximal auftretenden Spannungen sowie Verformungen unter der Momentbelastung des Spannhakens aus Variante 1 und unter Zugbelastung des Konzeptes für den Spannhaken aus Variante 3.

Das ursprüngliche Spannhakenkonzept erzeugt ein Moment von etwa 5,9 Nm an den Durchgangsbohrungen im Außenzylinder. Das weiterentwickelte Konzept (Variante 3) erzeugt in den Bohrungen eine Bolzenlast, die den Zylinder als Zugbelastung beansprucht (s. Abbildung 12).

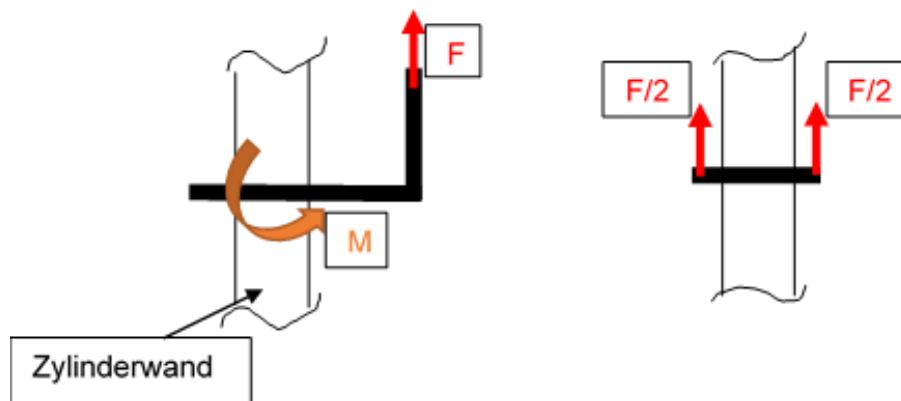


Abbildung 12: Zylinderwand unter Moment- und Zugbelastung

Abbildung 13 zeigt den Betrag und die Stellen der maximalen Verformung und der Vergleichsspannung am Außenzylinder des Boilers. Es ist deutlich zu erkennen, dass der Zylinder, im Vergleich zu einer Momentbelastung, unter Zugbelastung wesentlich geringeren Spannungen ausgesetzt ist (Faktor 1,7). Daraus kann abgeleitet werden, dass das weiterentwickelte Konzept bezüglich der Festigkeit die sicherere Variante darstellt.

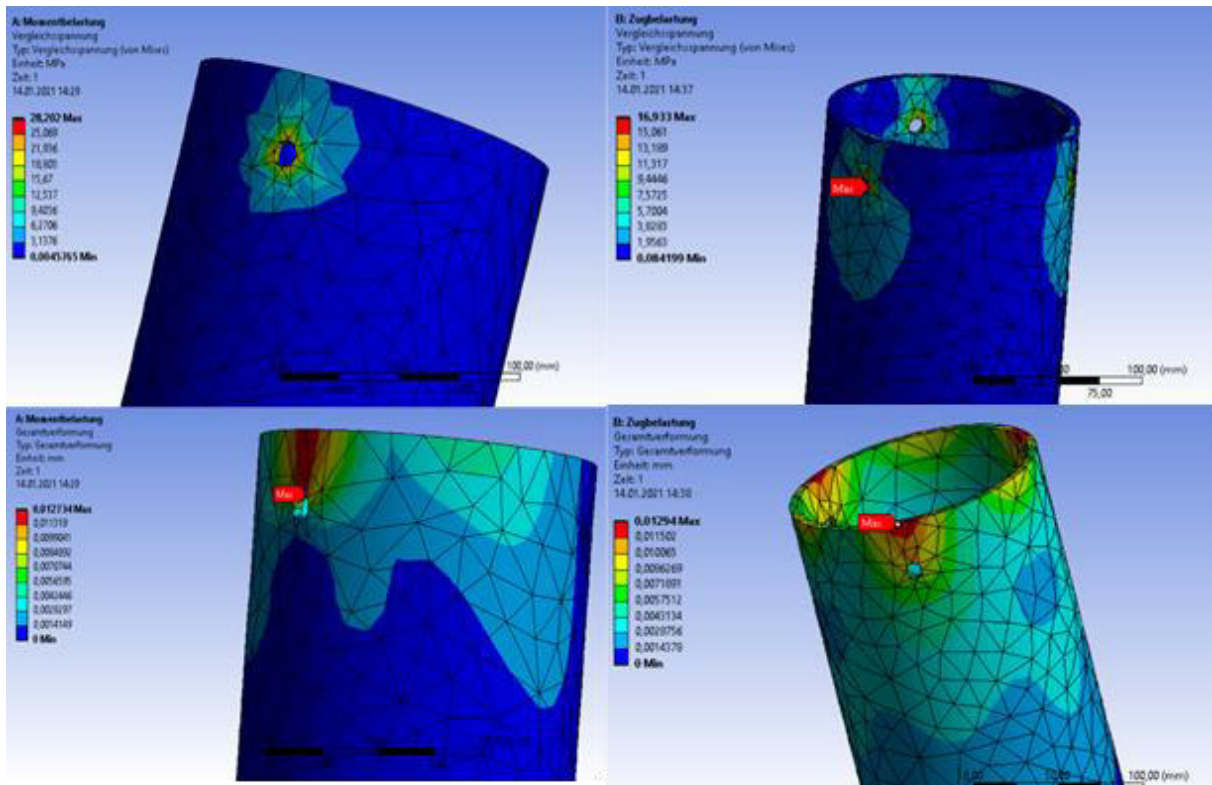


Abbildung 13: Auftretende Spannungen und Verformungen am Außenzylinder für Momentbelastung (links) und Zugbelastung (rechts)

3. Weiterentwicklung von Boden und Deckel inklusive Kostenreduktion

Verfasst von Melanie Schuster

Im Weiteren wird auf die Entwicklung von Boden und Deckel des Borosilikatglasboilers eingegangen. Anstelle des bisher entwickelten Bodens und Deckels aus Messing und Kunststoff (Blädel, et al., 2020, p. 4), wird nun ein kostengünstigeres Produkt entworfen. Diese Kostenreduktion wird bewerkstelligt, indem der zweiteilige Deckel und Boden aus Teflon und Messing, als einteiliges Kunststoffbauteil gefertigt wird. Dieses kann mittels eines einfachen Drehteils oder anhand eines 3D-Drucks hergestellt werden. Hierbei sind die konstruktiven Anforderungen an ein solches Bauteil zu beachten, um diese Fertigungsarten zu bewerten. Der Boden soll ebenfalls im Sinne der Kostenreduktion, aus einem Kunststoffbauteil, durch dieselbe Fertigungsweise und dem identischen Werkstoff wie der Deckel gefertigt werden.

Anschließend ist das Fertigungsverfahren, nach einer Konzepterstellung, festzulegen und das entsprechende Material zu wählen. Das Material hat bei der Festigkeitsberechnung des Deckels und Bodens die gewünschte Sicherheit aufzuweisen. Abschließend erfolgt eine finale Optimierung der Konzepte für den Borosilikatglasboilerboden und -deckel.

3.1. Entwicklung und Konstruktion

Verfasst und bearbeitet von Melanie Schuster

Aufgrund einer Kostensenkung sind die vorangegangenen Konzepte des Boilerbodens und -deckels zu überarbeiten. Bisher bestanden diese jeweils aus einem Messing Drehteil und einer Kunststoff Einlage. Durch diese zweiteilige Konstruktion betrug der Preis eines Deckels 530,14 Euro und der eines Bodens 588,97 Euro, inklusive des Verspannmechanismus (Xometry Europe GmbH, 2021). Bei einer einteiligen Gestaltung von Deckel und Boden, wird ein Material verwendet, welches unter Last direkt auf dem Borosilikatglasboiler aufliegt. Hinsichtlich der hohen Reibungswerte von Metall auf Glas und der somit verbundenen Glasabsplitterung, wird Kunststoff als geeignetes Material für diese beiden Baugruppen gewählt.

3.1.1. Fertigungsverfahren

Die Fertigung des Deckels sowie des Bodens, ist mittels des geringsten Kostenaufwands zu verwirklichen. Es wurde der 3D-Druck zunächst in Betracht gezogen, um die entsprechenden Teile zu fertigen. Die Kunststoffe weisen jedoch nach den 3D-Druck Verfahren keine notwendige Lebensmittelbeständigkeit mehr auf, welche mittels eines Zertifikates belegt werden muss. Daher wurde dieses Fertigungsverfahren verworfen.

Das kostengünstigste Verfahren zur Herstellung dieser Baugruppen in Kleinserie, ist das Drehen von Kunststoffteilen. Aufgrund der benötigten Dichtheit des Deckels und Bodens ist eine hohe Oberflächenqualität gefragt. Das Drehen ermöglicht bei der Fertigung eine sehr glatte Oberfläche (Ilg, 2018), um somit die geforderten Toleranzen des Dichtbandes in den inneren Nuten beider Bauteile zu gewährleisten (Steppe, 2018). Diese Bearbeitung erfolgt mit Hilfe einer entsprechenden CNC-Drehmaschine.

3.1.2. Boden des Borosilikatglasboilers

Für die weiterführende Entwicklung des Bodens ist die bisherige Konstruktion des Innenlebens, wie in Abbildung 14 gezeigt, von dem Borosilikatglasboiler zu übernehmen (Blädel, et al., 2020, p. 3). Der Boden ist ebenfalls an das neu konstruierte Bodenblech aus Kapitel 4 anzupassen.

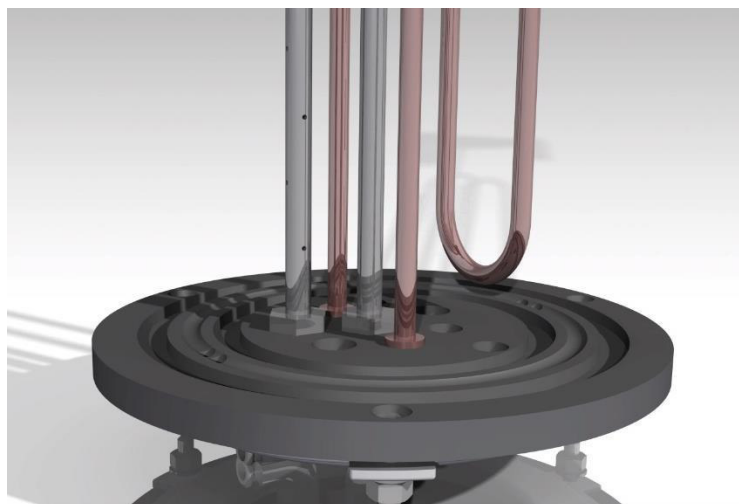


Abbildung 14: Innenleben des Boilers auf finalem Boden

Die Berücksichtigung der Toleranzen von den Glaszylindern in Tabelle 12, bezogen auf Rundheit, Durchmesser, Länge und Wandstärke, sind bei der Konstruktion von großer Wichtigkeit.

Es wurde ein möglichst schlichter Entwurf des Bodens verwirklicht, unter der Beachtung der oben genannten Aspekte. Die beiden Nuten des ursprünglichen Bodenkonzepes wurden in einer minimalistischen Ausführung beibehalten, um eine Führung bei der Montage sowie eine mögliche Stabilisierung bei der Klebung zu gewährleisten. Eine weitere Konstruktionsanforderung war es, die Befestigung des neuen Bodens an dem äußeren Glaszylinder neu auszulegen. Die ursprüngliche Stabverbindung war aufgrund der Ästhetik verworfen worden (Blädel, et al., 2020, p. 4). Hinsichtlich des optisch ansprechenden Designs der Glaszylinder wurde eine möglichst unsichtbare Verbindung der beiden Komponenten angestrebt. Eine Klebeverbindung umfasst die Anforderungen an eine solche Befestigung des äußeren Borosilikatglaszylinders an dem Boden am effektivsten. Zudem sind für Klebungen keinerlei zusätzliche Bohrungen oder Nuten in der Bodenkonstruktion gefordert. Auf die Klebstoffauswahl sowie den Sicherheitsnachweis mittels einer Berechnung, wird in den folgenden Kapiteln 3.2 und 3.3.1 näher eingegangen.

Die Befestigung des Bodens am Bodenblech wurde mit drei Schraubenverbindungen gelöst, wie in Abbildung 15 dargestellt. Zur korrekten Dimensionierung der benötigten Schrauben wurde eine entsprechende Schraubenberechnung durchgeführt. Diese wird in Kapitel 3.3.2 genauer beschrieben. Hierbei wurden drei M6x16 Schrauben als ausreichend definiert. Um die Ästhetik des Gebildes nicht durch sichtbare Schrauben zu beeinträchtigen, wurden Senkbohrungen konzipiert. Diese werden zudem mit Abdeckkappen versiegelt (Louis, 2021). Mittels FEM-Berechnungen wurde eine Bodendicke von 6 mm als ausreichend dargelegt. Jedoch ist eine Dicke von 10 mm erforderlich, um die Schraubenköpfe der M6 Schrauben und die Beilagscheiben in den Boden einzulassen. Daher wurde der Boden letztendlich mit einer Dicke von 10 mm ausgelegt.

Eine Wasserablassvorrichtung zwischen dem äußeren und inneren Borosilikatglaszylinder ist ebenfalls zu integrieren. Im Falle eines Zerspringens des inneren Zylinders ist es somit möglich, das ausgetretene Wasser, aus dem äußeren Glaszylinder abzulassen.

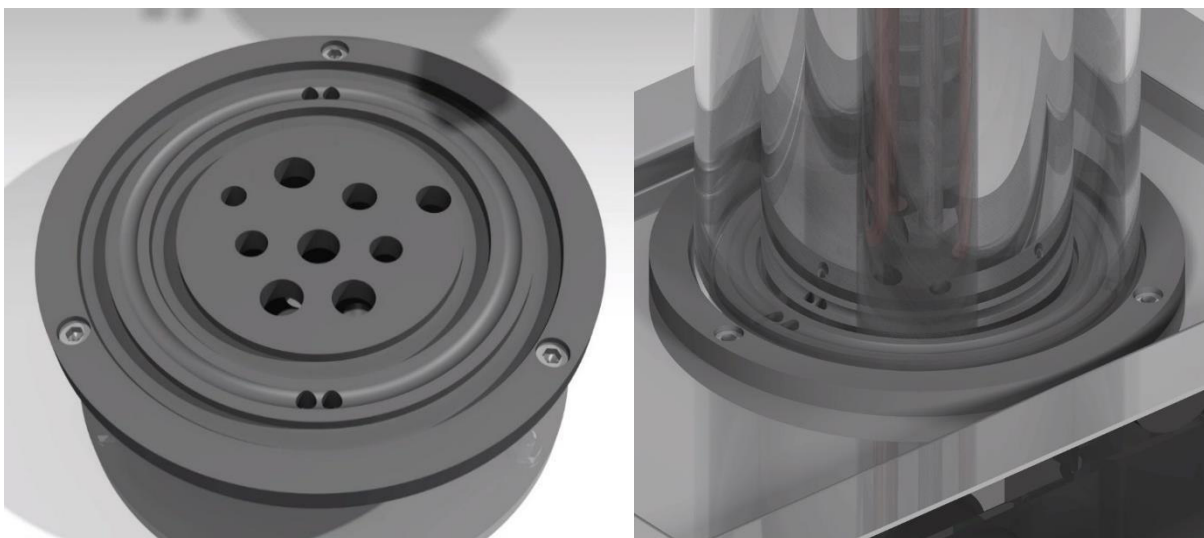


Abbildung 15: Gesamtansicht Boilerboden (links) und Bodenblech mit Boden und Boiler (rechts)

Durch die Löcher in der Ablaufrinne wird das Wasser möglichst schnell und präzise abgeleitet (s. Abbildung 15). Unterhalb der Durchgangsbohrung befindet sich ein Auffangbehälter, welcher das Wasser strukturiert abführt.

3.1.3. Deckel des Borosilikatglasboilers

Bei dem Entwurf des Deckels ist der neue Verspannmechanismus mitzubedenken. Des Weiteren sind die Toleranzen des inneren Borosilikatglaszylinders in die genauere Entwicklung aufzunehmen, um die nötige Abdichtung des inneren Zylinders zu gewährleisten (Schott, 2000, p. 16). Hier ist ein Dichtband in die Nut des inneren Glaszylinders anzubringen (Steppe, 2018, p. 1).

Der Deckel wurde als ein schlichtes Element konstruiert, welches zudem die Tellerfeder des Verspannmechanismus stützt. Damit die Tellerfeder bei ihrer Funktion an dem Deckel keinen Abrieb erzeugt, wurde ein Schutz aus Metall konzipiert. Dieser war zunächst als einlegbarer Metalldeckel geplant, welcher auf dem Kunststoffdeckel angebracht werden sollte (s. Abbildung 16).

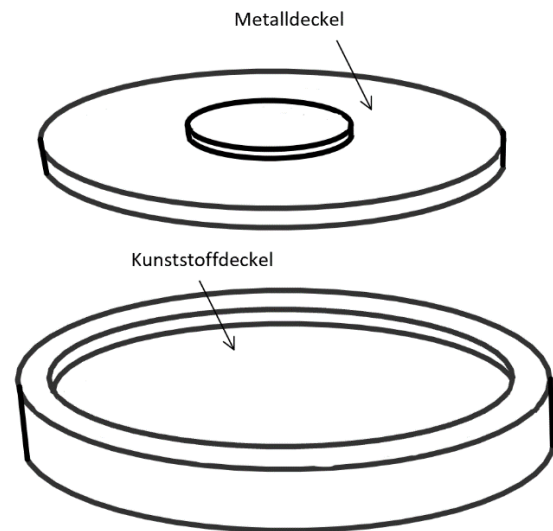


Abbildung 16: Konzept 1

Bei diesem Konzept war eine kreisförmige Vertiefung in der Oberseite des Deckels vorgesehen (s. Abbildung 16), um den Metalldeckel dort zu fixieren. Da jedoch für diese Vertiefung eine zusätzliche Aufspannung bei der Fertigung nötig gewesen wäre, wurde es bei näherer Betrachtung als überflüssig erkannt. Aufgrund der Reduzierung der Aufspannungen, wird somit eine genauere Bauteilbearbeitung erreicht. Da erneute Aufspannungen zwangsläufig größere Toleranzen mit sich bringen. Zudem ist jede zusätzliche Aufspannung mit neuen Rüstkosten verbunden, wodurch die Gesamtkosten der Produkte steigen. Im Sinne der Kostenreduktion sind diese, durch eine entsprechend einfache Konstruktion, auf das Minimalste gesenkt worden.

Des Weiteren umfasste das Konzept 1 zwei Deckel, welche aufgrund der Kostenreduktion vermieden werden sollten. Um die Kosten dieses notwendigen Zusatzelementes maximal zu reduzieren, wurde dieser Metalldeckel durch eine Metallscheibe ersetzt, welche unter die Feder eingelegt wird (Schrauben Guentiger, 2020). Die Metallscheibe und die Tellerfeder werden in der finalen Konstruktion (s. Abbildung 17) von drei Metallstiften zentriert. (Online Schrauben e.K., 2021). Hierzu sind drei Bohrungen in dem Deckel eingelassen.

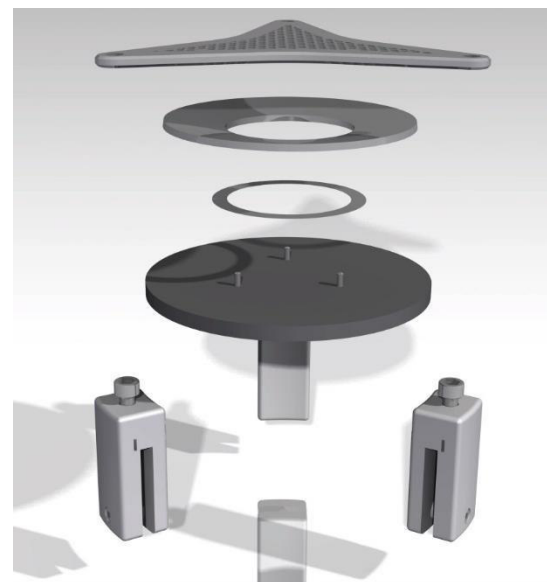


Abbildung 17: Explosionszeichnung des Deckels mit Verspannmechanismus

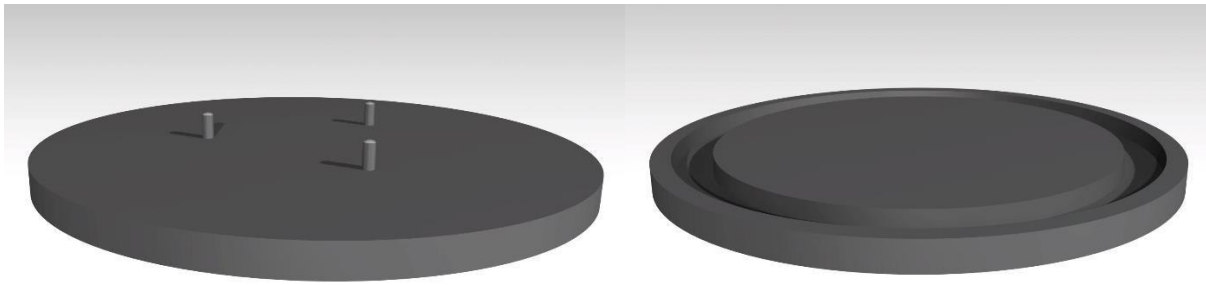


Abbildung 18: Oberseite des Deckels mit Metallstiften (links) und Unterseite des Deckels mit Nut für den inneren Glaszylinder (rechts)

Da ein Deckel auf dem äußeren Borosilikatglaszylinder als unnötig erachtet wurde, befindet sich der neue Kunststoffdeckel lediglich auf dem inneren Glaszylinder (s. Abbildung 18). Somit ist eine weitere Kosteneinsparung gewährleistet und ebenfalls die notwendige Luftzufuhr für einen zügigen Ablauf des Wassers gegeben.

3.1.4. Abdichtung des inneren Borosilikatglaszylinders

Der innere Borosilikatglaszylinder ist durch den Deckel und Boden abzudichten. Dies wird durch ein Dichtungsmedium umgesetzt. Anstelle eines Dichtringes wurde hierbei, aufgrund der hohen Toleranzen der beiden Borosilikatglaszylinder, ein lebensmittelechtes Dichtband gewählt. Das Dichtband ist aus dem Kunststoff PTFE und somit bei einer Temperatur von -268 °C bis $+270\text{ °C}$ dauerhaft einsetzbar. Zudem hält es bei einer Temperatur von 200 °C noch den Druck von 25 bar aus. (Steppe, 2018) Der Außendurchmesser des inneren Glaszylinders beträgt $105 \pm 1,7\text{ mm}$. Der äußere Glaszylinder hat einen Außendurchmesser von $150 \pm 2,0\text{ mm}$ (Schott, 2000, p. 6). Beide Zylinder haben eine Wandstärke von 5 mm und eine Länge von $300 + 2\text{ mm}$ (Schott, 2000, p. 16). Die Rundheit wird über den Außendurchmesser nach DIN ISO 1101 bestimmt und beträgt, bei Durchmessern kleiner 200 mm, 0,7 % des Nennaußendurchmessers (Schott, 2000, p. 16).

Tabelle 12: Toleranztafel der Borosilikatglaszylinder

Durchmesser	Rundlauf	Länge	Wandstärke	Durchmesser
105 mm	$105 \pm 0,735\text{ mm}$	$300 + 2\text{ mm}$	$5 \pm 0,7\text{ mm}$	$105 \pm 1,7\text{ mm}$
150 mm	$150 \pm 1,05\text{ mm}$	$300 + 2\text{ mm}$	$5 \pm 0,7\text{ mm}$	$150 \pm 2,0\text{ mm}$

Aus den vorausgegangenen Berechnungen des Innendrucks im inneren Borosilikatglaszylinder in Kapitel 2.2.1 wird der Betriebsdruck von $p_B = 1,7\text{ bar}$ und der Prüfdruck von $p_{Prüf} = 2,5\text{ bar}$ entnommen. Aus der Dampfdrucktafel wurde für den Prüfdruck von 2,5 bar die dazugehörige Temperatur von $127,4\text{ °C}$ abgeleitet (GEMÜ, 2020, p. 1). Das Dichtband ist somit für die dauerhafte Beanspruchung von $127,4\text{ °C}$ und 2,5 bar auszulegen. Die Kosten des Dichtbandes belaufen sich bei einer Bandlänge von 25 m auf 104,25 Euro. Dies wurde durch ein individuelles Angebot der SAHLBERG GmbH ermittelt (s. Anhang Nr. 1).

Der maximale Umfang der Fläche, bei welcher das Dichtband benötigt wird, ist in Gleichung 4 ermittelt worden. Hierbei wird der äußere Durchmesser mit den Toleranzen aus Tabelle 12 summiert und als Umfang ausgegeben. An einem Glaszylinder ist das Dichtband in den Deckel und in den Boden einzusetzen. Somit ist dieser Umfang zweimal in Gleichung 5 einzubringen. Die gesamte Dichtbandlänge von 25 m wird durch die Dichtbandlänge, welche für einen Boiler benötigt wird, geteilt um die Stückzahl der Boiler zu ermitteln, für welche 25 m Dichtband ausreichen, inklusive Verschnitt.

$$U = 2 \cdot \pi \cdot r = (105 \text{ mm} + 1,7 \text{ mm} + 0,7 \text{ mm}) \cdot \pi = 337,34 \text{ mm} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \text{Boilerstückzahl} &= 25.000 \text{ mm} : (2 \cdot 338 \text{ mm}) = 36,98 \text{ stk} \\ &= 36 \text{ stk (mit minimal Verschnitt)} \end{aligned} \quad (5)$$

$$35 \text{ stk} \cdot (2 \cdot 338 \text{ mm}) = 23.660 \text{ mm} \quad (6)$$

$$25.000 \text{ mm} - 23.660 \text{ mm} = 1.340 \text{ mm für Verschnitt bei 35 stk} \quad (7)$$

$$104,25 \text{ Euro} / 35 \text{ stk} = 2,978 \text{ Euro/stk} \quad (8)$$

Daraus ergibt sich der Preis von 2,98 Euro pro Borosilikatglaszylinder aus Gleichung 8, unter Berücksichtigung von 1.340 mm Verschnitt in Gleichung 7.

3.1.5. Konstruktionsanpassungen zur weiteren Kostenreduzierung

Die Wandstärken des Deckels und Bodens konnten im Laufe der Konstruktion stark gesenkt werden. Diese Reduzierung zeigte eine deutliche Senkung der Kosten. Möglich wurde dies, durch die minimalste Ausführung der jeweiligen Einkerbungen, Bohrungen etc. Es wurden FEM-Berechnungen mit den Bauteildicken von 6 mm, 8 mm, 10 mm, 12 mm und 15 mm durchgeführt. Hierbei ergaben sich 6 mm für beide Bauteile als geringste Wandstärke. Die FEM-Berechnungen werden detailliert in Kapitel 3.5 beschrieben. Für den Boden wurde jedoch die Dicke von 10 mm gewählt, da diese Höhe notwendig ist, um den Kopf der M6 Schraube mit Beilagscheibe und Abdeckkappe in der Senkbohrung verschwinden zu lassen. Die Nuten in Deckel und Boden dienen lediglich der leichteren Positionierung und nicht der Befestigung der beiden Glaszylinder. Somit war es möglich diese Nuten auf eine Tiefe von 4 mm zu reduzieren. Diese Tiefe ergibt sich aus den 2,2 mm des ausgewählten Dichtbandes inkl. der Toleranzen und zusätzlichen 1,8 mm als Positionierungshilfe des Glaszylinders auf dem Boden und an dem Deckel zur Montage. Die Breite der Nuten musste aufgrund der hohen Rundlauf-toleranzen, Wandstärkentoleranzen und Durchmesser-toleranzen in Tabelle 12, mit 16,2 mm bei der inneren Nut und 16,8 mm an der äußeren Nut ausgelegt werden. Der minimalste Innendurchmesser des inneren Glaszylinders und der maximalste Außendurchmesser werden durch die Gleichungen 9 und 10 ermittelt.

$$\text{Innenzyl.}_{\text{Innend.}} = 95 \text{ mm} - (2 \cdot 0,7 \text{ mm}) - 1,7 \text{ mm} = 91,9 \text{ mm} \quad (9)$$

$$\text{Innenzyl.}_{\text{Außend.}} = 105 \text{ mm} + (2 \cdot 0,7 \text{ mm}) + 1,7 \text{ mm} = 108,1 \text{ mm} \quad (10)$$

Die maximalsten und minimalsten Durchmesser des äußeren Glaszylinders ergeben sich, wie in Gleichung 11 und 12 berechnet.

$$\text{Außenzyl.}_{\text{Innend.}} = 140 \text{ mm} - (2 \cdot 0,7 \text{ mm}) - 2,0 \text{ mm} = 136,6 \text{ mm} \quad (11)$$

$$\text{Außenzyl.}_{\text{Außend.}} = 150 \text{ mm} + (2 \cdot 0,7 \text{ mm}) + 2,0 \text{ mm} = 153,4 \text{ mm} \quad (12)$$

3.1.6. Materialauswahl unter der Betrachtung der Kosten

Der Kunststoff beider Bauteile ist den Anforderungen entsprechend zu wählen. Aufgrund der Temperatur des Wasserdampfes und dem damit entstehenden Druck im inneren Borosilikatglasboiler, ist der Kunststoff ebenfalls auf 2,5 bar Prüfdruck und den 127,4 °C aus der Dampfdrucktabelle auszulegen (GEMÜ, 2020, p. 1). Zudem ist ein Kunststoff zu wählen, welcher lebensmittelzertifiziert ist. Zur Auswahl standen, aufgrund der genannten Anforderungen, zunächst PEEK und PTFE. Beide Kunststoffe wurden mittels einer

FEM-Berechnung an beiden Bauteilen ausgewertet und verglichen. Die FEM-Berechnungen sind in Kapitel 3.5 näher erläutert. Die FEM-Berechnungen verdeutlichten die zu geringe Festigkeit von PTFE unter der vorliegenden Belastung. PEEK wiederum resultiert als der ideale Kunststoff für diese Anwendung (Polymehr GmbH, 2015, p. 1).

Trotz der guten Eigenschaften, wurde im Sinne der Kostenreduktion, eine günstigere Alternative zu dem teuren Material PEEK gesucht. Hierbei wurde PVDF als Option wahrgenommen. PVDF entspricht ebenfalls den Anforderungen von 127,4 °C und 2,5 bar sowie der Lebensmittelbeständigkeit. Durch eine erneute FEM-Berechnung mit dem Kunststoff PVDF für Deckel und Boden, wurde dessen ausreichende Festigkeit für diese entsprechende Belastung, dargelegt. Der Werkstoff PVDF wird als Material gewählt, da er ausreichend für die gegebenen Anforderungen und zudem günstiger als PEEK ist (K&B Kunststoffdreherei GmbH, 2016, p. 1).

3.1.7. Zusammenfassung der Konstruktion und Entwicklung

Zunächst wurden einfache Konstruktionen ausgearbeitet, mit welchen der Kunststoffdeckel und -boden realisiert werden konnten. Anschließend wurden diese an das entsprechende Fertigungsverfahren und an das gewählte Material angepasst. Durch FEM-Berechnungen der verschiedenen Konstruktionsstadien waren Einsparungen und Verbesserungen der gesamten Konstruktionen möglich. Es ergaben sich somit die kostengünstigsten Varianten des Bodens und des Deckels (s. Abbildung 19), durch möglichst schlicht gehaltene Konstruktionen und entsprechend günstige Fertigungen.

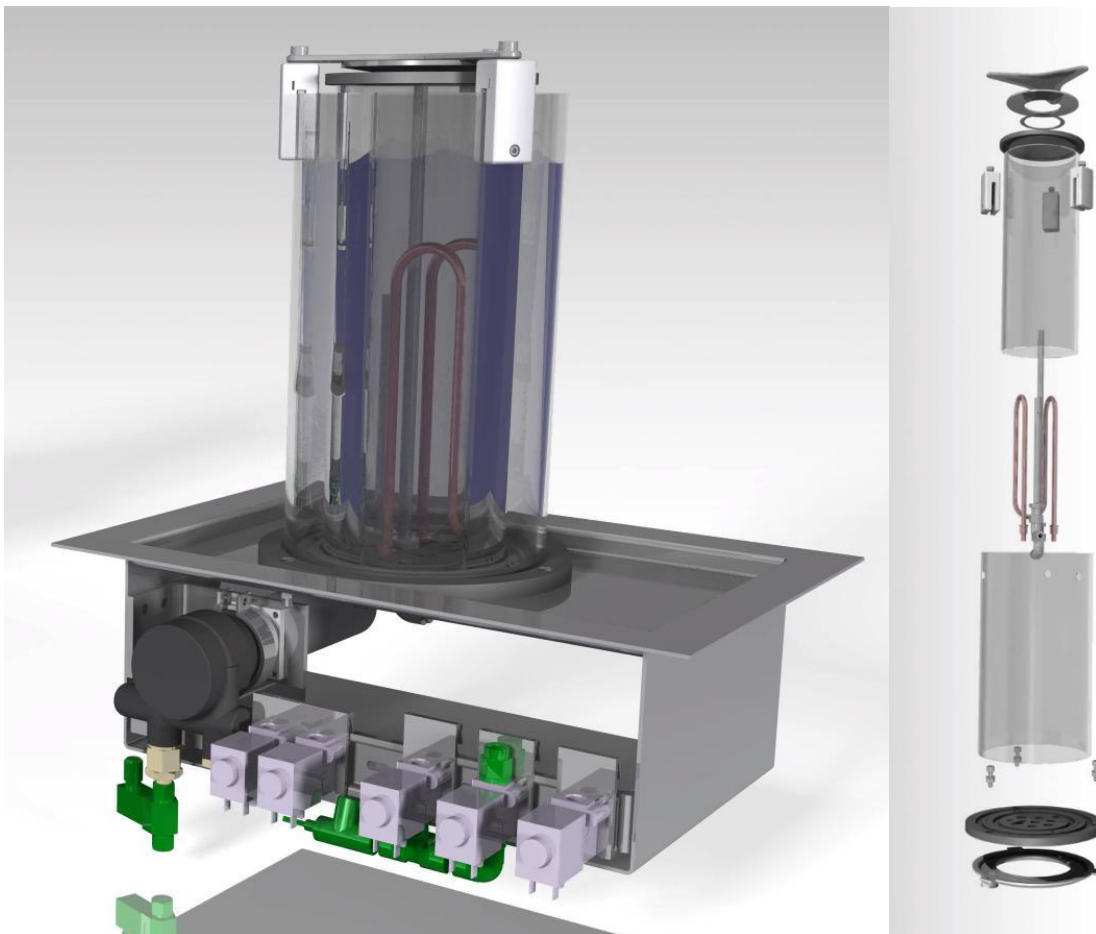


Abbildung 19: Borosilikatglasboiler mit Bodenblech und Verspannmechanismus (links) und Explosionszeichnung (rechts)

3.2. Klebeverbindung

Verfasst und bearbeitet von Melanie Schuster

Als Verbindung des äußeren Glaszylinders mit dem Borosilikatglasboilerboden ist eine Klebeverbindung gewählt worden, da die ursprüngliche Verbindung aus konstruktiven Anforderungen verworfen wurde. Diese Anforderungen bezogen sich auf das äußere Erscheinungsbild des Borosilikatglaszylinders. Die neuen Konzepte des Verspannmechanismus sowie die neuen Befestigungskonzepte des Bodens und des Deckels an den Glaszylindern, waren unter diesen Anforderungen zu entwickeln. Die Vorgänge im Inneren des Glasboilers sollten möglichst gering verdeckt werden. Durch eine Klebung des Bodens an den äußeren Zylinder wird dies erfolgreich umgesetzt.

Um den geeigneten Klebstoff für die vorliegende Verbindung zu ermitteln, ist zunächst die Klebung zu planen. Hierzu werden die Anforderungen an die Klebeverbindung zusammengetragen. Vorerst wurde die Temperatur von 66 °C als maximale Temperatur des Außenzylinders und 100 °C als maximale Wasser- und Dampftemperatur für den Fall des Zerbrechens von dem inneren Zylinder angenommen. Diese Werte wurden aus dem, von Dipl.-Ing. Armin Rohnen zur Verfügung gestellten Dokument, Boilermessdaten entnommen. Unter diesen Beanspruchungen wurde der TECHNICOLL® 9403 2-K MMA Strukturklebstoff mit einer dauerhaften Temperaturbeständigkeit bis +130 °C ausgewählt (Ottozeus GmbH, 2019, p. 1). Trotz der schlechten Wärmeleitfähigkeit von Kunststoff, wird der Borosilikatglasboilerboden jedoch bei längerer Betriebszeit die maximale Temperatur des im inneren Zylinder kochenden Wassers annehmen. Der Klebstoff ist auf die Temperatur von 2,5 bar aus der Dampfdrucktabelle auszulegen, somit 127,4 °C (GEMÜ, 2020, p. 1).

Der Klebstoff entspricht den genannten Anforderungen für die Klebeverbindung zwischen dem Kunststoffboden und dem äußeren Borosilikatglasboiler. Eine Lebensmittelbeständigkeit ist aufgrund des Einsatzes am äußeren Zylinder nicht gefordert. Das Wasser kommt während des Betriebes in keinen Kontakt mit dem Klebstoff.

Die gegebenen Zugscherfestigkeiten des Klebstoffs sind jedoch nicht für die Verbindung von Borosilikatglas und PVDF angegeben. Es wurde für die Berechnungen ein geeigneter Mittelwert verwendet. Um die Sicherheit des Klebstoffes zu garantieren, ist allerdings eine Prüfung des Klebeverhaltens durchzuführen. Diese Überprüfung ist mittels der sich im Universitätslabor befindenden Borosilikatglaszylinder und einem Prüfkörper aus PVDF zu realisieren. Im Falle des Versagens bei der Prüfung auf ausreichende Zugscherfestigkeiten, sind als weitere Optionen noch folgende Klebstoffe in Betracht zu ziehen. Der Klebstoff MD MEGABOND 3000 10:1 (Ottozeus GmbH, 2019, p. 1) weist eine Temperaturbeständigkeit von -50 °C bis +150 °C auf. Er eignet sich für verschiedene Stoffe, jedoch ist ebenfalls eine Überprüfung der Zugscherfestigkeiten notwendig. Ein weiterer Klebstoff ist TECHNICOLL® 9464 (Ottozeus GmbH, 2019, p. 1). Die Einsatztemperatur geht bis +150 °C und ist mit verschiedenen Materialien kompatibel. Eine Überprüfung der Zugscherfestigkeit ist von Nöten.

Durch die Realisierung der Klebeverbindung von Boiler und Boden, ist es möglich eine aufwendige und kostspielige Befestigungskonstruktion zu verhindern. Diese Umsetzung bringt den größten ästhetischen Vorteil gegenüber anderen Konstruktionen.

3.3. Berechnungen

3.3.1. Klebeverbindung des äußeren Borosilikatglaszylinders an dem Boden

Verfasst und bearbeitet von Melanie Schuster

Zur Berechnung der Klebeverbindung wird die maximale Federkraft aus der Federberechnung in Kapitel 2.2.3 $F_{max} = 2513,67 \text{ N}$ verwendet, da der ausgewählte Klebstoff dieser Kraft entgegenwirkt. Eine dauerhafte Funktion der Klebeverbindung wurde mittels einer externen Berechnung gewährleistet (Ackermann; Schuster, 2021). Aufgrund der Rundheitstoleranzen des Glaszylinders ist eine Klebeverbindung der Zylinderwände des äußeren Zylinders mit dem Boden nicht zuverlässig umsetzbar. Daher wird die Stirnseite des Boilerglases beklebt. Die Breite von $b = 4,3 \text{ mm}$ ist die minimalste Wandstärke des Borosilikatglaszylinders, welche abzüglich der Wandstärkentoleranzen von $0,7 \text{ mm}$ vorliegen kann (Schott, 2000, p. 16). Zudem ist der geringste Umfang $U = 463,72 \text{ mm}$ berechnet worden, welcher durch Abzug der Toleranzen erreicht wird, wie in Gleichung 13 dargestellt. Somit kann die Klebeverbindung bei der minimalsten Fügefläche gewährleistet werden.

$$U = 2 \cdot \pi \cdot r = (150 \text{ mm} - 1,7 \text{ mm} - 0,7 \text{ mm}) \cdot \pi = 463,72 \text{ mm} \quad (13)$$

Die Berechnung ergibt eine deutliche Sicherheit der Klebeverbindung für die angenommenen Werte. Es ist jedoch für diese Klebeverbindung bei der Berechnung ein geschätzter Mittelwert mit $\tau_{KB} = 5 \text{ N/mm}^2$ und $\sigma_{KB} = 5 \text{ N/mm}^2$ angenommen worden, da die Verbindung von PVDF und Borosilikatglas nicht mit dem entsprechenden Klebstoff getestet wurde. Dieser Mittelwert wurde aus dem Datenblatt des Kunststoffs entnommen (Ottozeus GmbH, 2019, p. 2). Um die tatsächliche Zugscherfestigkeit des entsprechenden Klebstoffs bestimmen zu können, ist eine Überprüfung des Klebstoffs mit den entsprechenden Verbindungskomponenten notwendig.

3.3.2. Befestigung des Borosilikatglasboilers an dem Bodenblech mittels Schrauben

Verfasst von Melanie Schuster

Bearbeitet von Melanie Schuster und Ludwig Ackermann

Der statische Nachweis, sowie die Bestimmung des Montagemoments, wurde in einem beigefügten Dokument berechnet (Ackermann; Schuster, 2021). Als Berechnungsgrundlage wird ein fiktiver statischer Lastfall angenommen. In diesem wird der Boiler in aufgebautem Zustand an der oberen Kante durch eine horizontal einwirkende Kraft von $562,13 \text{ N}$ ($57,3 \text{ kg}$) belastet. Der Wert von $57,3 \text{ kg}$ ist der Maximalwert der Handkrafttabelle (Steinke, 2018, p. 3). Dieser Wert tritt im Durchschnitt bei Männern im Alter von 30 bis 34 Jahren mit einer Körpergröße von über 190 cm auf. Die Berechnungen erfolgen aus dem Lehrbuch Roloff/Matek Maschinenelemente (Wittel, et al., 2017, p. 90) und gewährleisten die notwendige Sicherheit für diesen Lastfall mit drei M6x16 Schrauben. Diese Schrauben dienen ebenfalls zur Befestigung, der sich unterhalb des Bodenblechs befindenden, Auffangbehältern.

3.4. Überschlägige Kostenrechnung

Verfasst von Marko Kurtusic

Bearbeitet von Melanie Schuster und Marko Kurtusic

Das Ziel der Weiterentwicklung des Bodens und Deckels war es, eine deutliche Kostenreduktion zu bewirken. Dies wurde ermöglicht durch die einteilige Konstruktion der Bauteile sowie deren möglichst simplen Fertigungsstruktur und -verfahren. Des Weiteren

wurde ein Kunststoff gewählt, welcher den Anforderungen gerecht wird und zudem die Kostensenkung unterstützt. Hierzu wurden mehrere FEM-Berechnungen durchgeführt, um den günstigsten Werkstoff mit der geringsten Wandstärke zu ermitteln. Durch die zahlreichen Veränderungen und angepassten Konstruktionen, ergeben sich die finalen Konzepte des Deckels und Bodens.

Mithilfe der Webseite Xometry (Xometry Europe GmbH, 2021) wurden überschlägige Herstellungskosten für eine CNC – Bearbeitung der finalen Konzepte für den Deckel und Boden bestimmt. Somit stellte sich heraus, dass jeweils eine deutliche Kostenreduktion erreicht wurde. Der Deckel ist von seinem Ausgangspreis von 530,14 Euro des Ursprungskonzepts auf einen Herstellpreis von 91,44 Euro reduziert worden. Die Kosten für die Herstellung des Bodens sind von 588,97 Euro auf 141,75 Euro gesunken. Zur Kostenermittlung muss des Weiteren auch der Verspannmechanismus berücksichtigt werden. Die Kosten ergeben sich aus 2,69 Euro pro Feder auf der Webseite Febrotec (Febrotec GmbH, 2021) 13,58 Euro für einen Spannhaken mittels 3D-Druck und 106,50 Euro für den Verspanndeckel, berechnet auf der Website Xometry. Vor der Kostenreduktion ergeben sich Kosten in der Höhe von 1.119,11 Euro. Nach der Neukonstruktion belaufen sich die Kosten auf 355,96 Euro. Bei der Herstellung der beiden Bauteile nach den neuen Konzepten können insgesamt 763,15 Euro an Kosten eingespart werden. Eine deutliche Kostenreduktion der Bauteile ist somit erfolgreich abgeschlossen.

3.5. Festigkeitsnachweis: Boden und Deckel

Verfasst von Marko Kurtusic

Bearbeitet von Marko Kurtusic und Edon Shala

Der Deckel und Boden des Borosilikatglasboilers sollen bevorzugt aus Polyvinylidendifluorid (PVDF) hergestellt werden. Um sicherzustellen, dass das Material den auftretenden Belastungen standhält, werden mithilfe einer FEM-Analyse die maximal auftretenden Spannungen, sowie die größten Verformungen ermittelt. Für eine bessere Übersicht und Entscheidungsfreiheit in der Wahl der notwendigen Dicken der beiden Bauteile, wurden Bauteildicken von 6 mm, 8 mm, 10 mm, 12 mm und 15 mm untersucht.

In Tabelle 13 sieht man die mechanischen Eigenschaften von PVDF. Die Daten stammen von der Webseite rct.online.de.

Tabelle 13: Relevante Materialeigenschaften von PVDF

	Wert	Einheit
Streckgrenze	50	N/mm ²
Bruchdehnung	> 50	%
E-Modul	2000	N/mm ²
Kerbschlagzähigkeit	6	kJ/m ²
Rockwellhärte	M75	-

Hierfür ist eine statisch-mechanische Analyse verwendet worden. Wichtige Daten für diese Art der Analyse sind die mechanischen Eigenschaften E-Modul und die Querkontraktionszahl (Poisson-Verhältnis). Die Querkontraktionszahl ν hat für PVDF einen Wert von 0,34.

Betrachtet werden für die Analyse die auftretende Federkraft durch die Tellerfeder, mit einem Betrag von 2513,67 N und der durch den Betrieb entstehende Innendruck von etwa 0,3 MPa (3 bar). Kräfte, die durch das Eigengewicht der Bauteile entstehen sowie die Gewichtskraft, die das Wasser ausübt, sind vergleichsweise sehr gering, sodass diese vernachlässigt wurden.

3.5.1. FEM-Analyse Boden

In Abbildung 20 sind die wirkenden Belastungen am Boden farblich markiert.

Der Boden wird durch die maximale Federkraft 2513,67 N der Tellerfeder zweifach belastet. Der Außenzylinder wird über den Verspannmechanismus durch die Tellerfeder nach oben gezogen, wodurch über die Klebefuge zwischen Borosilikatglaszylinder und Boden (lila) eine Zugkraft in positiver z-Richtung entsteht. Im Gegensatz dazu wird der Innenzylinder durch dieselbe Federkraft in die negative z-Richtung gedrückt, wodurch ein Moment zwischen dem Innen- und Außenzylinder an der Bodenfläche entsteht. Der durch den Betrieb des Boilers entstehende Druck von 3 bar ist gleichmäßig auf der Innenfläche (orange) verteilt.

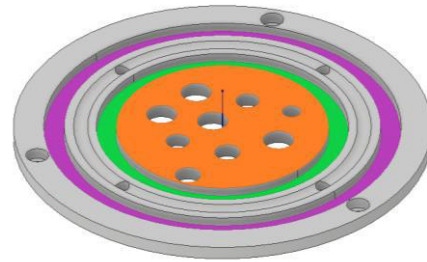


Abbildung 20: Belastete Flächen des Boilerbodens

Die FEM-Analyse zeigt die Stelle und den Betrag der maximalen Verschiebungen, sowie der Spannungsverteilung. In Abbildung 21 sind die Ergebnisse der Analyse am Boden aufgezeigt. Hierfür wird zu Veranschaulichungszwecken der Boden mit einer Dicke von 6 mm verwendet.

Wie an Abbildung 21 zu sehen ist, ist der Boden als Bauteil insgesamt, keinen sehr großen Belastungen ausgesetzt, da keine kritischen Spannungen auftreten.

Die Spannungsspitzen sind rot gekennzeichnet. Diese befinden sich geometrisch gesehen auf der Unterseite der Nut für den Innenzylinder. Um sicher zu stellen, dass diese Spannungsspitzen nicht kritisch für das Bauteil ausfallen, wurden hierfür die Sicherheiten ermittelt. Diese erhält man durch Bildung des Quotienten, aus auftretender Spannungsspitze zur Streckgrenze des Materials:

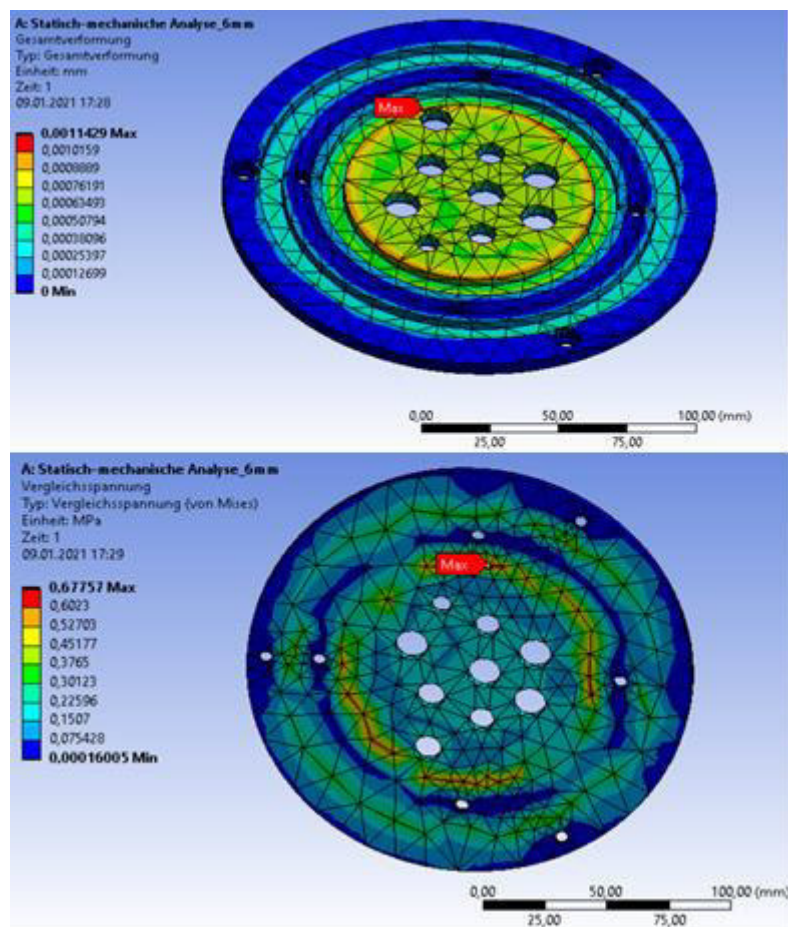


Abbildung 21: FEM-Boden für die Gesamtverformung (oben) und die Vergleichsspannung (unten)

$$S = \frac{\sigma_{max}}{R_e} \quad (14)$$

In Tabelle 14 sind die ermittelten Spannungsspitzen sowie Verformungen für alle Bauteildicken aufgelistet. Zudem sind die Sicherheiten in der rechten, äußeren Spalte angegeben.

Tabelle 14: Bodendicken im statischen Vergleich

Dicke in [mm]	Verformung in [mm]	Spannung in [N/mm ²]	Sicherheit
6	0,0011	0,68	73,79
8	0,0016	0,65	76,98
10	0,0021	0,61	81,93
12	0,0027	0,79	63,01
15	0,0034	0,76	66,17

3.5.2. FEM-Analyse Deckel

In Abbildung 22 sind die wirkenden Belastungen am Deckel farblich markiert:



Abbildung 22: Belastete Flächen des Boilerdeckels

Die zwischen der Tellerfeder und dem Deckel liegende Passscheibe überträgt die Tellerfederkraft auf den Deckel in negativer z-Richtung (grün markiert). Auf der Unterseite des Deckels wirkt in positiver z-Richtung der durch den Betrieb des Boilers wirkende Druck (3 bar, orange markiert).

Eine FEM-Analyse zeigt den Betrag der maximalen Verschiebungen und die Vergleichsspannung.

Analog zur Festigkeitsanalyse des Bodens sind die Spannungsspitzen, sowie die Orte der maximalen Verschiebung in Abbildung 23 rot gekennzeichnet. Zudem sind auch für den Deckel die ermittelten Spannungsspitzen, die Verformungen und die mithilfe von Gleichung 14 errechneten Sicherheiten für alle Bauteildicken in einer separaten Tabelle 15 aufgelistet.

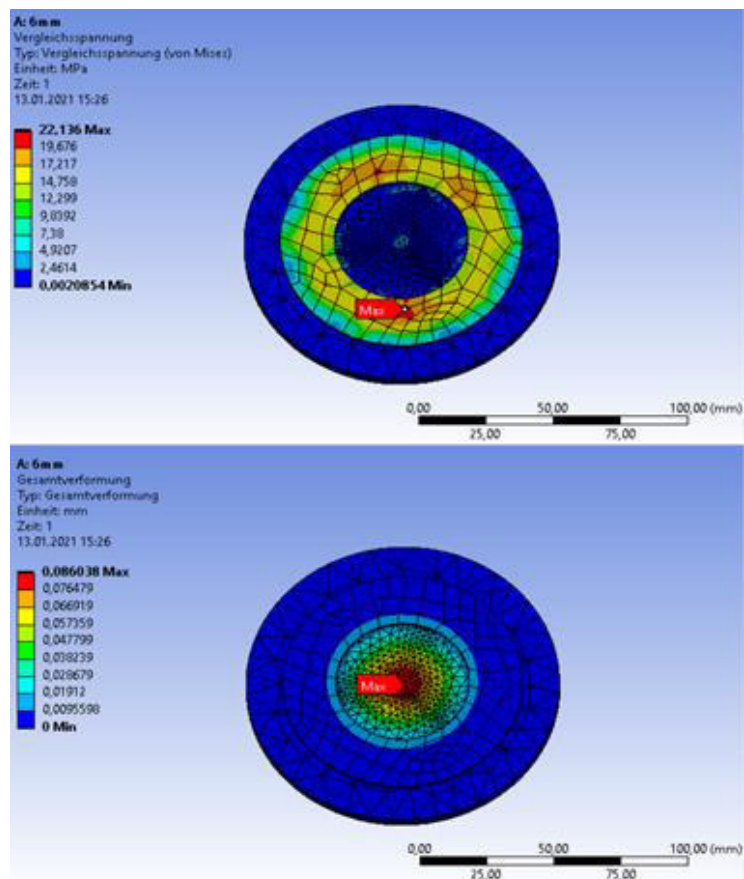


Abbildung 23: FEM-Deckel für die Vergleichsspannung (oben) und die Gesamtverformung (unten)

Tabelle 15: Deckeldicken im statischen Vergleich

Dicke in [mm]	Verformung in [mm]	Spannung in [N/mm ²]	Sicherheit
6	0,086	22,14	2,26
8	0,044	14,15	3,53
10	0,026	10,69	4,68
12	0,002	8,63	5,79
15	0,011	7,17	6,97

3.5.3. Fazit der FEM-Analysen für Deckel und Boden

Die FEM-Analysen zeigen, dass eine geringe Bauteildicke von 6 mm für jeweils den Deckel und Boden ausreichend ist, um den wirkenden Belastungen standzuhalten. Jedoch muss der Boden aufgrund der Verbindungsschrauben eine Dicke von 10 mm aufweisen. Somit kann durch die kompakten Bauteilgrößen an dieser Stelle bei der Fertigung Kosten gespart werden.

4. Weiterentwicklung des Bodenbleches

Verfasst und bearbeitet von Edon Shala

In diesem Aufgabenbereich handelt es sich um die Neukonstruktion des Bodenblechs, für die Siebträger-Espressomaschine des Modells Style. Das Bodenblech ist notwendig, damit der Borosilikatglasboiler aufgenommen werden kann.

Zu beachten ist, dass das Bodenblech sowohl für das Standmodell, als auch für die „Undertable“-Konstruktion verwendet werden soll, um die Kosten der Kaffeemaschine zu reduzieren. Außerdem muss eine Wasserableitung bei Undichtigkeit gewährleistet sein, um die darunter liegenden Komponenten im Ernstfall nicht zu beschädigen. Aus diesem Grund wird eine Vorrichtung bzw. ein zwischenzeitlicher Auffangbehälter konstruiert, welcher unter dem Bodenblech angebracht wird.

Im weiteren Verlauf werden die Ideen und Ergebnisse dieser Aufgabenstellung detailliert erklärt und ausgeführt.

4.1. Randbedingungen für das Bodenblech

Verfasst und bearbeitet von Edon Shala

Für die Auslegung des Bodenblechs sind einige Vorgaben einzuhalten, um das gewünschte Ergebnis zu erhalten. Es müssen bestimmte Komponenten und Ventile boilernah angebracht werden. Damit diese notwendigen Komponenten angebracht werden können, ist zusätzlich zu dem Bodenblech, ein Halteblech notwendig, um die darunter liegenden Komponenten zu befestigen.

Der Fall der Undichtigkeit innerhalb des Glasboilers ist als Sonderfall anzunehmen, damit die darunter liegenden Komponenten im Ernstfall nicht beschädigt werden. Dieser Sonderfall kann einerseits die einfache Undichtigkeit in Form eines Lecks sein, andererseits das Platzen des inneren Glasboilers. Tritt dieser Fall ein, so muss das Wasser schnellstmöglich ablaufen. Das

bedeutet es müssen 1,95 Liter innerhalb von wenigen Sekunden abfließen. Aufgrund dessen sind in das Bodenblech einige Durchbrüche eingebracht worden.

Bei den Arbeitsplatten sind verschiedene Arbeitsplattenstärken möglich, diese Arbeitsplattenstärken variieren zwischen 16 mm und 45 mm. Des Weiteren ist zu beachten, dass das Bodenblech bei der „Undertable“-Konstruktion in einem, von einer Stichsäge ausgeschnittenem, Loch eingelegt wird. Dieses Loch weist meist unsaubere Schnittkanten auf, welche wiederum abgedeckt werden müssen.

Das Bodenblech muss zudem die Belastungen des Glasboilers in Form des Eigengewichtes aufnehmen. Aufgrund dieser Belastungen auf das Bodenblech, kann es zu Verformungen am Bodenblech kommen. Deshalb ist es von größter Bedeutung, dass sich das Bodenblech nur minimal verformt, um eine Undichtigkeit des Systems zu unterbinden. Damit die notwendige Steifigkeit in das System des Bodenblechs eingearbeitet werden kann, wurden zwei Maßnahmen in Betracht gezogen, welchem im nächsten Punkt genauer erläutert werden.

4.2. Versteifung des Bodenblechs

Verfasst und bearbeitet von Edon Shala

Mittels konstruktiver Maßnahmen sind die Eigenschaften des Bodenbleches so zu optimieren, dass eine bestmögliche Versteifung des Bleches erreicht wird. Die Versteifung soll der Verformung entgegenwirken, um die Dichtigkeit zu gewährleisten.

Die erste Möglichkeit, um die Steifigkeit des Bleches zu erhöhen, ist es eine oder mehrere Sicken in das Blech einzuarbeiten. Diese Sicken sind meist rinnenförmige Vertiefungen, die der Versteifung von dünnwandigen Bauteilen gegenüber Verformung dienen. Diese Methode wird oft in der Automobilindustrie verwendet, z.B. im Karosseriebau und hat zu dem eine optische Funktion, welches auch die espressomaschine beziehungsweise den Glasboiler, aufwerten würde. (Reitter, 2013)

Dieses Verfahren kann entweder manuell oder automatisch, mit Hilfe einer Sickenmaschine, ausgeführt werden. Die Effektivität der Sicke ist hierbei abhängig von der Lage der Sicke, der Form, dem Verlauf, den Radien und der Anordnung verschiedenen Sicken zueinander.

Stellvertretend für die Sicke werden oftmals bei dünnwandigen Bauteilen Leisten angeklebt oder -geschweißt. Bei einer verschweißten Konstruktion ist ein Vorteil, dass die Herstellung direkt vom Produzenten möglich ist. Außerdem werden keine weiteren Maschinen verwendet, wie bei der Herstellung der Sicke. Zudem kann statt dem Verschweißen einer Leiste, ein Rohrblech verwendet werden, damit es möglich ist, sowohl das Bodenblech zu versteifen als auch die Positionierung des Boilers zu vereinfachen (s. Abbildung 24). Aus den obigen genannten Gründen wird, die Versteifung in Form einer Verschweißung angestrebt.

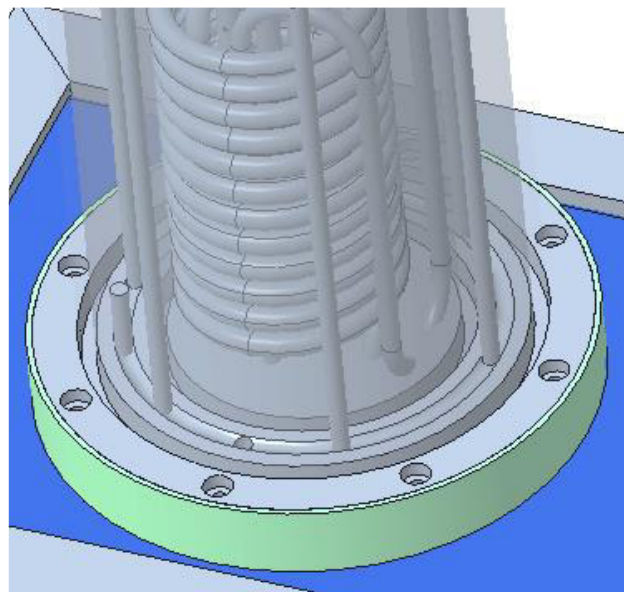


Abbildung 24: Verschweißtes Rohrblech (hellgrün) an Bodenblech (blau)

4.3. Ausführungen des Bodenblechs

Verfasst und bearbeitet von Edon Shala

Für die Ausführungen des Bodenblechs wurden 3 Möglichkeiten in Betracht gezogen. Jede dieser Varianten wird im Folgenden näher erläutert und mit einem Bild als CAD-Modell dargestellt. Die erste Variante ist ein Tiefziehblech (s. Abbildung 25), welches aufgrund seiner Optik zunächst weiterfolgt wurde. Auf der rechten Seite ist das Bodenblech, in das dafür gefertigte Loch in der Arbeitsplatte, eingelegt worden und das Halteblech für die Elektronik an der Arbeitsplatte befestigt.

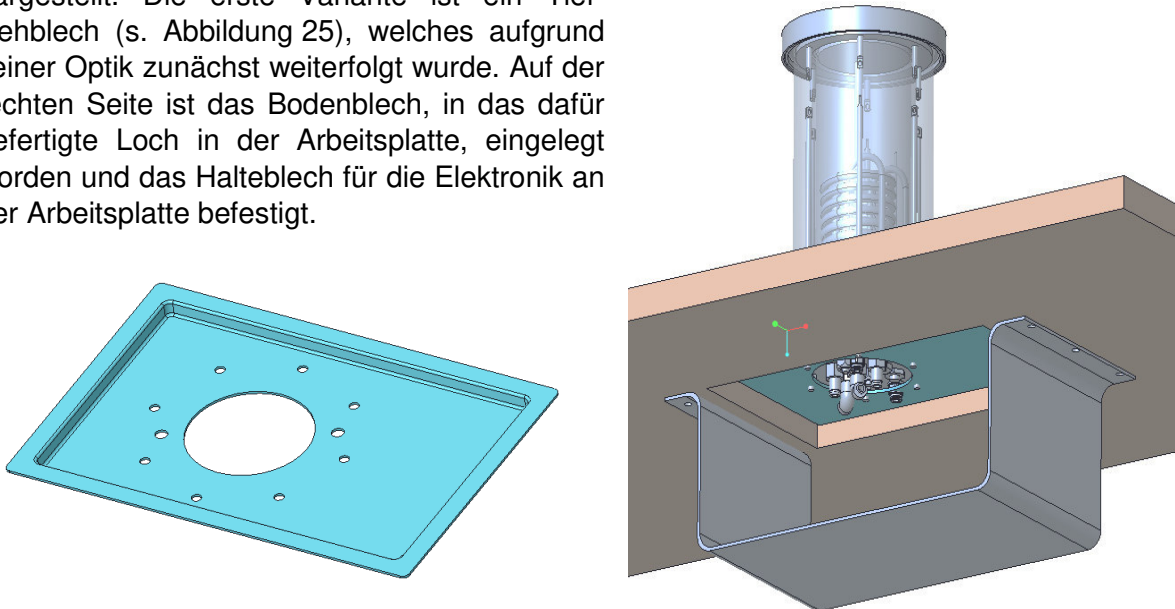


Abbildung 25: Erste Variante des Bodenblechs (links) und Bodenblech und Halteblech in der Arbeitsplatte (rechts)

Hierbei sind, jedoch einige Probleme mit dem Tiefziehblech verbunden. Eine Herausforderung hierbei sind die hohen Werkzeugkosten für einen Stempel zum Tiefziehen. Es wurden Unternehmen kontaktiert, um einen geeigneten Stempel für diesen Tiefziehvorgang zu finden. Diese Suche wurde beendet, da es sich als sehr schwierig herausgestellt hat ein Unternehmen zu finden, welches diese Anforderungen erfüllt. Eine weitere Problematik ergibt sich bezüglich der Verschraubung des Haltebleches an der Arbeitsplatte. Grund hierfür ist, dass nicht jede Arbeitsplatte eine Verschraubung des Haltebleches ermöglicht (vgl. Granitarbeitsplatten).

Aus den genannten Gründen wurden weitere Ausführungen erarbeitet, wie das Rahmengestell aus einem L-Profil, welches mit dem Bodenblech verschraubt wird. (s. Abbildung 26) Das Bodenblech ist hierbei als Biegeteil konstruiert.

Diese Möglichkeit ist sehr kostengünstig, da das L-Profil als Kaufteil erhältlich ist und das Bodenblech

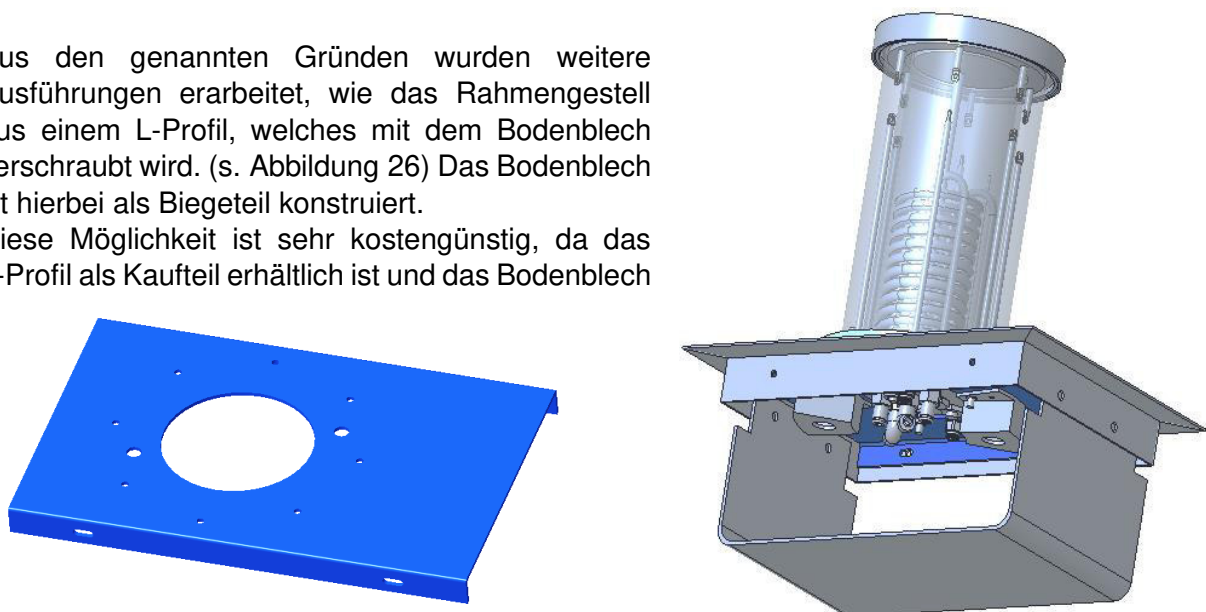


Abbildung 26: Zweite Variante des Bodenblechs

nur an zwei Seiten gebogen werden muss. Außerdem ist es möglich auch das Halteblech an den L-Profil-Rahmen anbringen zu können, womit das Problem der Befestigung an der Arbeitsplatte gelöst ist.

Auf Basis der vorherigen Lösungen wurde ein weiteres Konzept erstellt (s. Abbildung 27), welches die Herstellung vereinfacht und somit kostengünstiger ist. Hierbei wurde der L-Profil-Rahmen entfernt und durch zwei gebogene Bleche ersetzt, die verschweißt werden. Dieses Konzept hat den Vorteil, dass weniger Komponenten erforderlich sind und somit die Kosten reduziert werden können. Außerdem wird durch das Verschweißen des Bodenbleches mit dem Halteblech eine weitere positive Eigenschaft erfüllt. Die Steifigkeit des Systems wird verbessert und ein Verschweißen des Rohrbleches ist nicht mehr nötig.

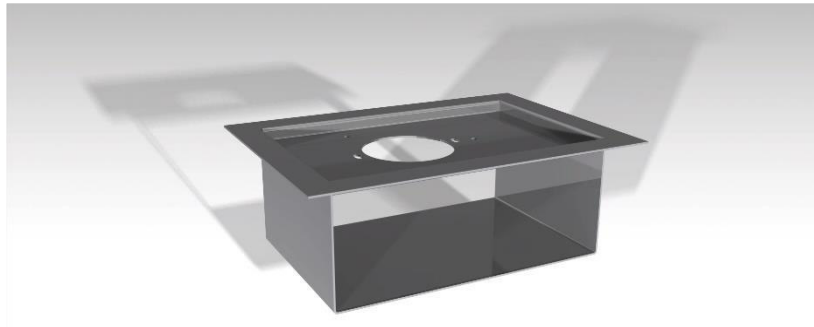


Abbildung 27: Dritte Variante des Bodenblechs und Halteblech

4.4. FEM-Berechnungen

Verfasst und bearbeitet von Edon Shala

Der nächste Schritt für die weitere Betrachtung des Bodenbleches, ist die FEM-Analyse, um die maximale Verformung sowie die Festigkeiten nicht zu überschreiten. Hierbei handelt es sich um eine statisch-mechanische Analyse. Die Verformung spielt eine große Rolle, da durch zu große Verformungen die Dichtigkeit des Systems zwischen Boden und Bodenblech nicht mehr gegeben ist. Auf das Bodenblech wirkt das Eigengewicht des Glasboilers mit dem dazugehörigen Gewicht des Wassers, wodurch ein Gesamtgewicht von 5,42 kg (s. Anhang Nr. 2) erreicht wird. Aus der eingeleiteten Kraft lässt sich, mithilfe des FEM-Programmes, die Vergleichsspannung ermitteln. Danach werden die maximal auftretenden Spannungen mit der Streckgrenze des verwendeten Materials verglichen und es ergibt sich die Sicherheit des Bauteils. Als Werkstoff wird Edelstahl verwendet, um eine Korrosionsbeständigkeit aufzuweisen.

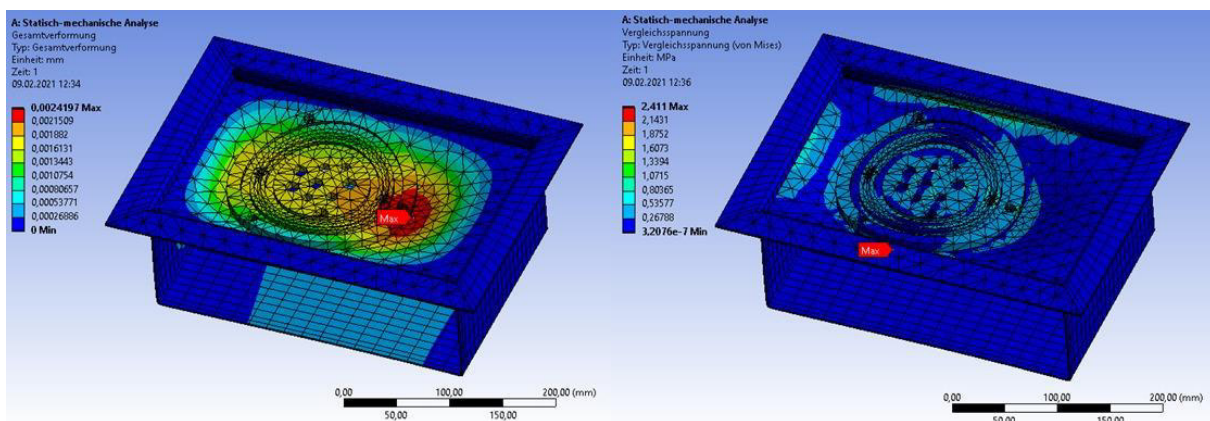


Abbildung 28: FEM-Analyse zur Bestimmung der Gesamtverformung (links) und der Vergleichsspannung (rechts)

In Abbildung 28 ist zu erkennen, dass die maximale Verformung 0,002 mm beträgt. Diese Verformung ist somit ausreichend gering, um keinen Einfluss auf die Dichtigkeit des Systems zu haben. Außerdem ist die maximale Vergleichsspannung mit ca. 2,41 MPa zu entnehmen. Dadurch ist es möglich die Sicherheit des Bodenbleches mittels der Streckgrenze für Edelstahl zu ermitteln.

Material: Edelstahl: 1.4301 → $R_{p0,2} = 190 \text{ MPa}$

Maximale auftretende Spannung: 2,411 MPa

Sicherheit:
$$S = \frac{R_{p0,2}}{\text{max. Spannung}} = \frac{190 \text{ MPa}}{2,411 \text{ MPa}} = 78,81 \quad (15)$$

Ebenso ist eine Sicherheit von 78,81 eine mehr als ausreichende Sicherheit für das Bodenblech.

4.5. Auffangbehälter

Verfasst und bearbeitet von Edon Shala

Der Auffangbehälter ist für die zuvor angesprochene Ableitung des Wassers, bei dem Versagen des inneren Borosilikatglasboilers notwendig. Sie dient als Anschlussmöglichkeit für den Abflussschlauch, bei welchem es sich um einen Standard-Abflussschlauch handeln wird, der z.B. auch bei Waschmaschinen oder Spülmaschinen verwendet wird. Dieser Schlauch wird am Anschlussstück des Auffangbehälters befestigt und mit einer Schlauchschelle gesichert. Das bedeutet, dass der Auffangbehälter nur temporär das Wasser sammelt bzw. ein Zwischenschritt ist, bevor es endgültig aus dem System abfließt. Bei den Auffangbehältern handelt es sich um eine 3D gedruckte Komponente, die aus dem Werkstoff PA12 hergestellt wird. Der 3D-Druck ist notwendig, da die Form des Behälters sonst nur durch einen Tiefziehprozess hergestellt werden kann und dieser sehr kostenintensiv wäre. Das PA12 ist zudem ein besonders preiswerter Kunststoff, der sehr häufig verwendet wird. Außerdem erfüllt der Werkstoff PA12 die Temperaturbeständigkeit die notwendig ist, da er für eine maximale Temperatur von 175°C kurzzeitig verwendbar ist (Rapidobject GmbH, 2021). Für die Form der Auffangbehälter sind zwei Möglichkeiten aufgekommen, wobei nur eines konstruktiv in Frage kommt. Beide Modelle sind so ausgelegt, dass der Auffangbehälter bei der Verbindung des Borosilikatglasboilerbodens mit dem Bodenblech mit montiert wird.

Variante 1

In Abbildung 29 ist zu erkennen, dass es sich um ein Bauteil handelt, welches ein Kreisringsegment darstellt. Dieses Bauteil wird mit zwei Schrauben befestigt. Dabei werden bei diesem Schritt sowohl der Glasboiler als auch der Auffangbehälter mit derselben Schraube befestigt.

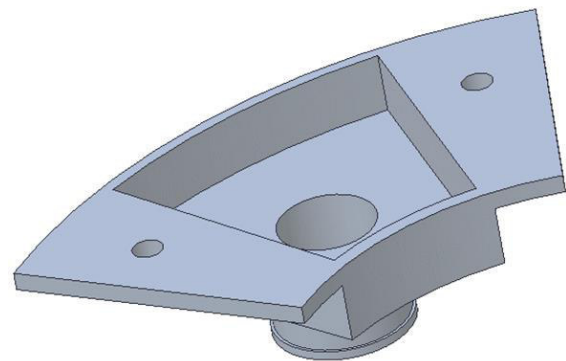


Abbildung 29: Erste Variante des Auffangbehälters

Variante 2

In Abbildung 30 ist die Ausführung des Auffangbehälters als kompletter Kreisring dargestellt, welcher mit den gleichen Schrauben befestigt wird, mit denen der Borosilikatglasboiler am Bodenblech befestigt wird.

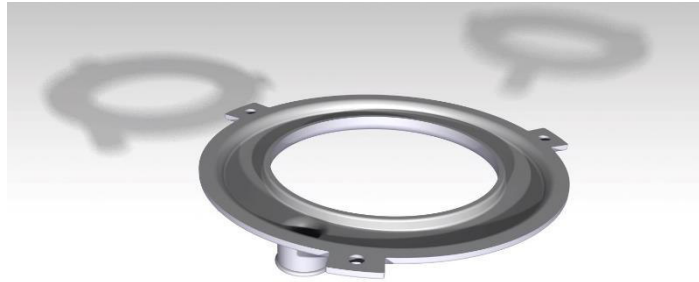


Abbildung 30: Zweite Variante des Auffangbehälters

Aufgrund der Ermittlung der Kosten über die Internetseite Rapidobject und dem einfachen Einbau in das System, ist die zweite Variante für die Weiterverfolgung zu verwenden.

Bei der Kostenermittlung wurde von einer Stückzahl von 100 Stück ausgegangen und dem Werkstoff PA12. Nach Angaben der Internetseite Rapidobject ist für die erste Variante ein Einzelpreis von 13,14 € und für die zweite Variante einen Einzelpreis von 34,85 € zu zahlen (s. Anhang Nr. 3). Jedoch sind bei der ersten Variante zwei Auffangbehälter notwendig, damit das Abfließen zügig stattfindet, da nur wenige Durchbrüche im Boden damit abgedeckt werden. Dies bedeutet, dass der Einbau komplizierter wird und auch ein zweiter Schlauch notwendig ist. Außerdem ist die zweite Variante optisch ansprechender und mit den zuvor angesprochenen Vorteilen kostengünstiger.

5. Boilernahe Elemente

Verfasst und bearbeitet von Marko Kurtusic

In der Projektarbeit "Abschlussdokumentation SoSe 2020 – kalte Siebträger, kalte Brühgruppe, Stahlboiler, Borosilikatglasboiler, Grundrahmen" aus dem Sommersemester 2020, wurden boilernahe Elemente wie Magnetventile, Verbindungselemente und zugehörige Halteelemente entworfen und ausgelegt (Blädel, et al., 2020, p. 54ff.). Im folgenden Abschnitt werden diese Elemente für die Espressomaschine Style mit Borosilikatglasboiler neu platziert.

Als Vorlage zur Platzierung dieser Bauteile dient der Hydraulikplan (Anon., 2020) sowie der in der vorangegangenen Projektarbeit beschriebene funktionelle Aufbau (Blädel, et al., 2020, p. 54ff.). Um einen klaren Überblick zu erhalten, wurden für die Abbildungen jeweils unterschiedliche Bauteile ausgeblendet. In den Abbildungen 31 bis 33 ist die Baugruppe des Borosilikatglasboilers samt Einzelteilen ausgeblendet, um eine anschaulichere Darstellung zu erreichen.

Zu den boilernahen Elemente gehören die Pumpe, fünf 2/2 Wege- Magnetventile sowie zugehörige Anschlusselemente und Rohrverbindungen. Bei der Platzierung ist darauf zu achten, dass einerseits genug Raum für die Montage zur Verfügung steht und andererseits, dass die Anschluss- und Verbindungselemente einzelner Magnetventile nicht gegenseitig behindert werden (s. Abbildung 31).

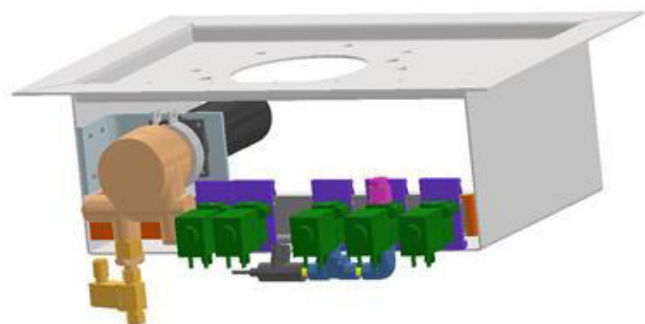


Abbildung 31: Elemente neu platziert

Grundsätzlich wurde vom Aufbau nur wenig verändert. Die Pumpe ist mit dem Motor in der neuen Anordnung nach vorne versetzt, sodass der Durchflusssensor, sowie der Ein- und Ausgang der Pumpe sich nun auf einer Ebene mit den Durchlassöffnungen der Ventile befindet (s. Abbildung 33). Dies erleichtert die Verschlauchung der einzelnen Elemente in einer Weiterführung dieses Projektes und dient außerdem einer besseren Übersicht.

Die Magnetventile sind auf einem einfachen Halteelement aufgebracht (s. Abbildung 32), welches über zwei Laschen mittels Schrauben an der Innenseite des Bodenblechs angebracht werden soll. Das Material ist hierfür noch nicht festgelegt. Bei der Auslegung des Werkstoffes für das Halteelement sollte hierbei noch auf die nötige Festigkeit betrachtet werden.

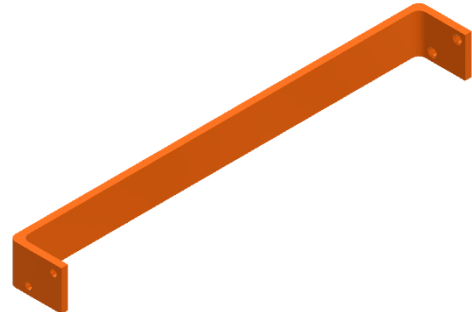


Abbildung 32: Halteelemente für die Magnetventile

Alle boilernahen Elemente sind direkt unter dem Bodenblech platziert. Damit genügend Raum für die Verbindungselemente, die Verschlauchung sowie die Anschlusselemente gegeben ist, sind die Magnetventile nach vorne versetzt (s. Abbildung 33). Somit ist ebenfalls dafür gesorgt, dass noch genügend Platz zum Anbringen weiterer Anschlusselemente für den Boiler und die zugehörige Verschlauchung sowie für den Frischwasserbezug und den Boilerauslass vorhanden ist. Für eine bessere Übersichtlichkeit wurde für die linke Abbildung 33 das Bodenblech und für die rechte Abbildung 33 das Trägerblech ausgeblendet.

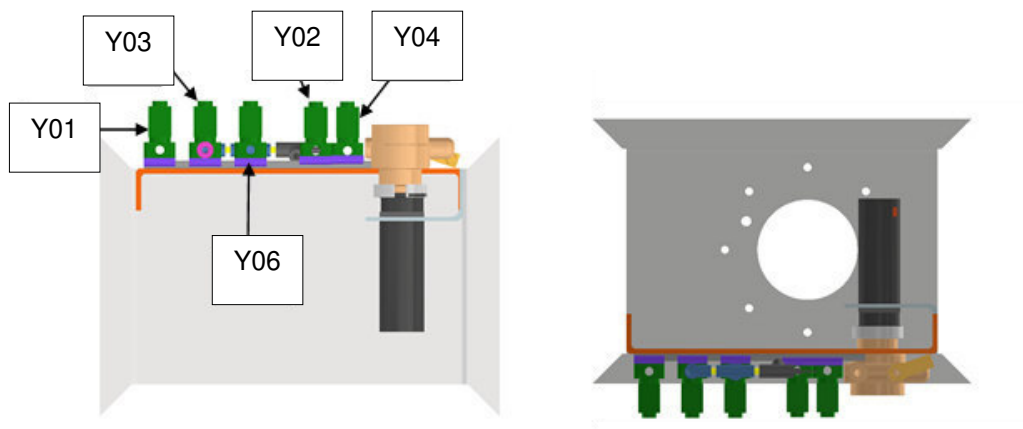


Abbildung 33: Verfügbarer Raum hinter den boilernahen Elementen

Die Funktion der einzelnen Magnetventile (Y01, Y03, Y06, Y02 und Y04) und die zugehörige Verschlauchung kann dem Hydraulikplan (Anon., 2020) und Kapitel 5.1.1 der Projektarbeit aus dem Sommersemester 2020 (Blädel, et al., 2020, p. 54ff.) entnommen werden.



Abbildung 34: Boilernahe Elemente neu platziert (Seitenansicht)

6. Brühgruppenaufnahme

Verfasst und bearbeitet von Matthias Rieseberg

In diesem Kapitel soll die Brühgruppensäule in das System der Espressomaschine "Style" integriert werden. Die Brühgruppensäule stellt hierbei die Schnittstelle zwischen der Kalt- und Warmwasserzufuhr und des entnommenen Espresso dar. Die Säule ermöglicht es, durch elektrische Schaltung, den Espresso zuerst zu befeuchten und anschließend mit dem entsprechenden Heißwasser aufzubrühen.

Zur Integration der Brühgruppe in das Gesamtsystem der Espressoereinheit "Style", sollen im Folgenden entsprechende Magnetventile platziert werden. Die Platzierung muss einerseits für die Warmwasserzufuhr erfolgen und andererseits für den Dampfkreislauf. Der hierbei erwähnte Dampfkreislauf stellt die Anbindung einer dampfdurchströmten Leitung zwischen Boiler und Aufschäumvorrichtung für beispielsweise Milchschaum dar (Blädel, et al., 2020, p. 10) Zusätzlich soll ein Wassermischer in das Espresso-System vor der Brühgruppe mit aufgenommen werden. Der Wassermischer ermöglicht eine genauere Temperaturmessung nach der Zusammenführung des Heiß- und Warmwassers (Arendt, 2018, p. 15), da durch den Mischvorgang eine bessere Wärmeverteilung des gemischten Wassers über dem gesamten Leitungsquerschnitt erfolgt.

6.1. Mechanische Anbindung der Brühgruppe an den Brühlturm

In Abbildung 35 ist die aktuelle Modellvariante des Brühlturms dargestellt und zeigt die angebundene Brühgruppe an den Brühlturm. Die Brühgruppe wird hierbei über zwei M8-Schrauben aus Edelstahl und einer formschlüssigen Nut-Feder-Verbindung am Brühlturm befestigt. Die Verschraubung wird an einem Standard L-Profil aus X5CrNi18-10 (L-EN 10 056-1) (Blädel, et al., 2020, p. 65) befestigt und verhindert ein Verrutschen in horizontale und vertikale Richtung. Ein zweites L-Profil, welches unter der Verschraubung angebracht ist, ermöglicht das Eingreifen der formschlüssigen Verbindung und dient hierbei zur Versteifung der Gesamtbefestigung der Brühgruppe. Bei der Montage der Brühgruppe müssen zwei Bohrungen mit einem Durchmesser von 8,4 mm Durchmesser an der gewünschten Position angebracht werden, um das Verschrauben am L-Profil gewährleisten zu können.

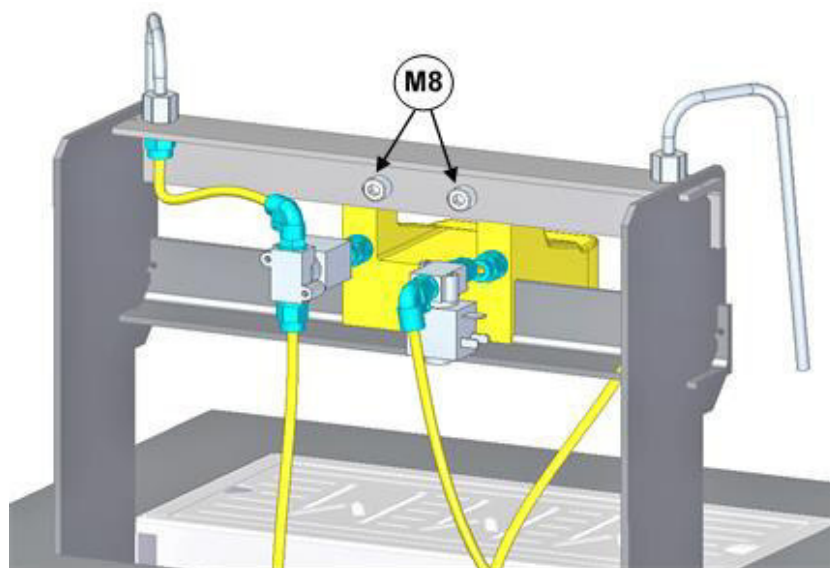


Abbildung 35: Befestigung Brühgruppe am Turm

6.2. Platzierung der Magnetventile

6.2.1. Variante 1: Brühgruppennah

Bei der Variante „Brühgruppennah“ (alte Variante) werden die Magnetventile Y07, Y08, Y09, Y10 und Y05 im oberen Bereich des Brühlturms angebracht (s. Abbildung 36). Diese Variante ermöglicht es, kurze Wege zwischen den einzelnen Ventilen zu erhalten und somit schnellere Reaktionszeiten beim Betätigen der Maschine zu erreichen.

Die Anordnung der 2/3-Wegeventile Y09 und Y07 sind auf der linken Seite der Brühgruppe angeordnet (s. Abbildung 36), da diese für die Einspeisung des Warmwassers in die Brühgruppe und der Teelanze verantwortlich sind. Für die Regelung des zurückfließenden Schmutzwassers, wird das 2/2-Wegeventil Y08 an der rechten Anschlussstelle der Brühgruppe montiert. Über ein T-Stück wird das hierbei abgeführte Schmutzwasser aus Y08 und Y09 zusammengeführt und anschließend zu dem Sammelstück geleitet. Beide Ventile sind um etwa 7 mm höher gesetzt, als die Anschlussstelle der Brühgruppe. Die hierbei entstehende Schräglage der Leitungen ermöglicht ein Entleeren der Leitung im abgeschalteten Zustand und verhindert Schmutzablagerungen im Schlauch. Links angeordnet befinden sich die 2/3-Wegeventile Y05 und Y10. Ebenfalls wie bei Y07 und Y09 sind diese übereinandergesetzt, um möglichst kurze Durchströmungswege für den Dampf zu erhalten.

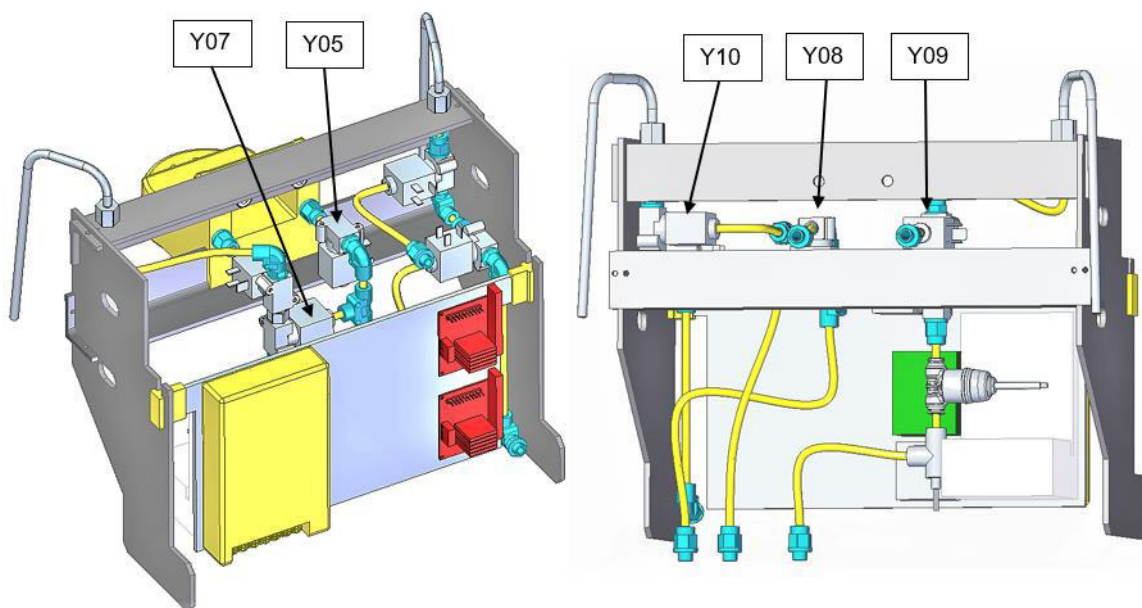


Abbildung 36: Alte Anordnung der Espressomaschine von hinten (links) und von vorne (rechts)

6.2.2. Variante 2: Brühgruppenfern

In der neuen „Brühgruppenfern“ Variante werden die Magnetventile Y05, Y07 und Y10 mittels einer Hutschiene auf einem Trägerblech, unterhalb der Abtropfwanne, angebracht. Lediglich die Ventile Y08 und Y09 sind hierbei im oberen Bereich des Brühlturms platziert (s. Abbildung 37). Wie auch bei Variante 1 sind beide Ventile etwas höher gesetzt, als die Anschlussstelle der Brühgruppe, um eine erwünschte Schräglage der Leitungen zu erhalten. Die Versorgungsleitungen für die Warmwasserzufuhr und den Wasserdampf befinden sich auf der rechten Seite des Brühlturms, wo hingegen die Schmutzwasserabfuhr auf der linken Seite platziert ist. Durch die erreichte Platzeinsparung im oberen Bereich des Brühlturmes, kann die Breite des Turmes schmaler gewählt werden, um die Gesamtoptik der Espressomaschine zu verändern.

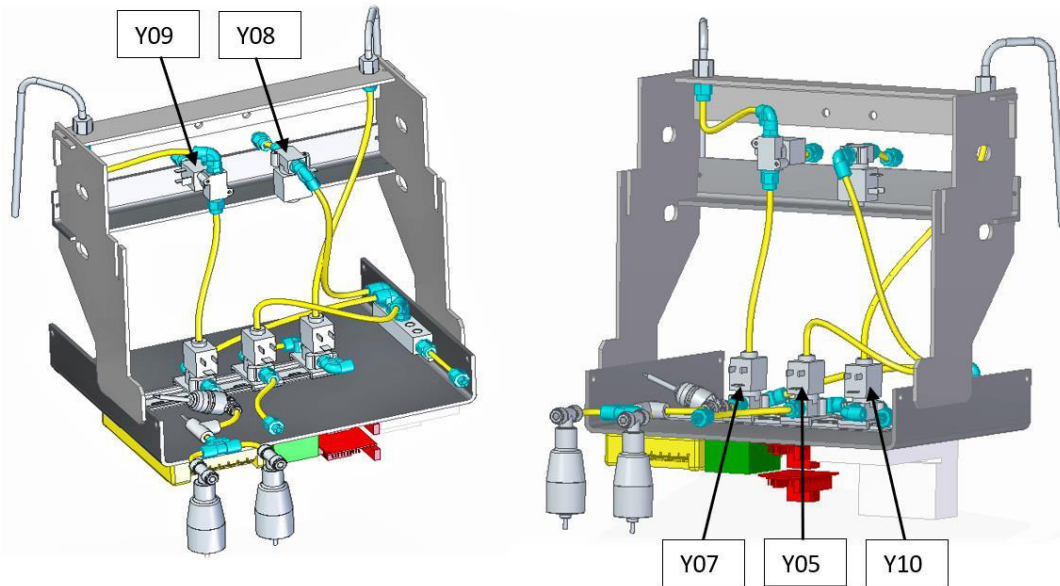


Abbildung 37: Neue Anordnung der Espressomaschine von hinten (links) und von vorne (rechts)

6.3. Anschlussart

6.3.1. Anbindung von Schmutz- und Warmwasserleitungen an die Brühgruppe

Die Anbindung des Wasserkreislaufes, für die Schmutzwasserabfuhr und Brühwasserzufuhr, bestehen jeweils aus verschraubten Edelstahl-Gewindeeinsätzen, um die Lebensmittelmittelheit zu gewährleisten. In den Gewindeeinsätzen wird jeweils eine gerade Einschraub-Verschraubung der Firma Römer befestigt (s. Tabelle 16). Die verwendeten Schläuche aus PFA werden über die ELSA-Anschlüsse an den geraden Steck-Verbindungen gespannt und werden somit gehalten.

6.3.2. Verschlauchung der Magnetventile

Bei einem langen Abstand der Magnetventile zueinander erfolgt die Anbindung der Verschlauchung an den Ventilen über gerade Steck-Verschraubungen oder Winkel-Einschraub-Verschraubungen. Die hierbei vorhandenen Gewinde, an den Verschraubungen, können in den Magnetventilen eingeschraubt werden und bilden somit eine formschlüssige Verbindung. Bei geringen Abständen der Ventile zueinander kann auf eine Verschlauchung verzichtet werden und stattdessen die Verbindung über einen Doppel-Nippel erfolgen. Dies ist ausschließlich bei Magnetventilen möglich, welche in unmittelbaren Abstand zueinander liegen und in einem 180°-Winkel zueinanderstehen.

6.3.3. Verwendete Verbindungsstücke

Im Allgemeinen erfolgt die Anbindung der Verschlauchungen stets über gleichbleibende Anschlüsse wie in Tabelle 16 vermerkt. Die optimale Verschlauchung muss durch nachfolgende Projektarbeiten noch ermittelt werden. Dies kann zur Folge haben, dass sich die hier vermerkten Anschlüsse ändern können.

Tabelle 16: Kaufteile der Firma Römer

Beschreibung	Firma	Artikelnummer
Gerade Einschraub-Verschraubung	Römer	367053
Winkel-Einschraub-Verschraubung, drehbar	Römer	367061
Doppel-Nippel	Römer	356603

7. Arbeitsteil Brühlturm und Arbeitsfläche

Verfasst und bearbeitet von Lucas Kolbinger

In diesem Kapitel werden die Konstruktion und das Design des Brühlturmes und der Arbeitsfläche für die Undertable-Variante des Borosilikatglasboilers näher betrachtet. Es werden die möglichen Konzepte vorgestellt und anschließend analysiert. Darüber hinaus werden die Konzepte im Anschluss mithilfe von CAD, FEM und Handzeichnungen visualisiert. Für die Berechnungen und Analysen, wurde der Edelstahl X5CrNi18-10 (1.4301) angenommen, um einen Korrosionsschutz zu gewährleisten. Der ausgewählte Stahl besitzt eine Streckgrenze von 190 MPa. (Wittel, et al., 2017, p. 8, Tabelle 1-1)

Für eine erfolgreiche FEM-Analyse sind die einwirkenden Kräfte zu definieren. Die Kraft, die für das Eindrücken des Tassenwärmers benötigt wird, beträgt geschätzt ca. 150 N in Richtung der Erdanziehungskraft und wirkt an der rechten Seite des Turmes und liegt ca. 60 mm vom hinteren Rand entfernt, auf einer Höhe von ca. 225 mm. Die Kraft, welche durch das Eindrücken des Brühaufsatzes eingeleitet wird, beträgt schätzungsweise ca. 150 N und besitzt ihren Angriffspunkt in der Mitte des unteren Querträgers, ca. 60 mm zum Betrachter hin. Diese Kraft wirkt sowohl in Richtung der Erdanziehungskraft als auch horizontal. Die Angriffspunkte dieser Kräfte sind in Abbildung 38 genauer zu sehen.

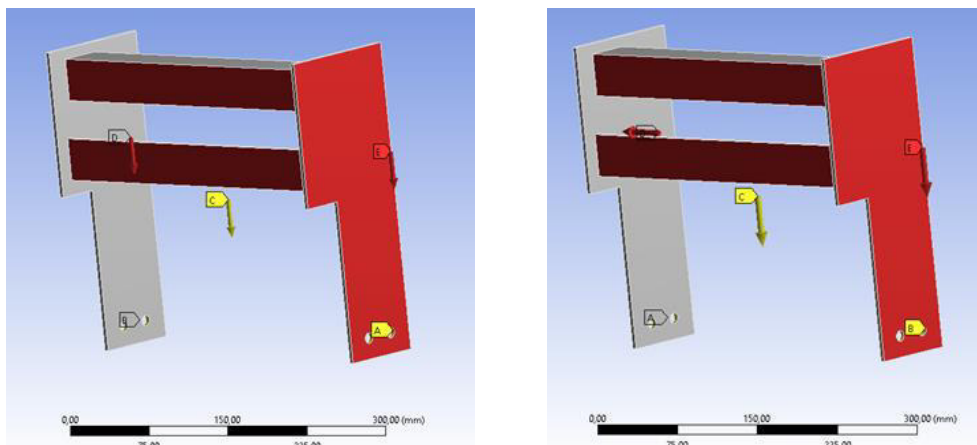


Abbildung 38: Senkrechte Kraft am Träger (links) und waagrechte Kraft am Träger (rechts)

7.1. Konzeptfindung Brühlturm

Konzept 1

Bei dem in Abbildung 39 gezeigten ersten Konzept, handelt es sich um eine Abwandlung des bestehenden Trägers (Blädel, et al., 2020, p. 58ff.), wobei die Aufhängung für die Halterung des Elektrobleches benutzt wird.

Dieses Konzept wurde jedoch aus designtechnischen Gründen verworfen, da für den Anwender eine Durchsicht von vorne nach hinten gewünscht ist.

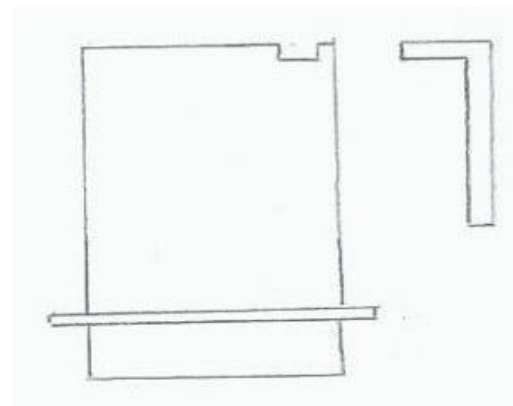


Abbildung 39: Konzept 1_Brü

Konzept 2

Das Konzept 2 (s. Abbildung 40) ist eine Abwandlung von Konzept 1, jedoch wurde der EkH nach unten verlagert, um eine Sicht von vorne nach hinten zu gewährleisten.

Bei diesem Konzept ist das Problem aufgetreten, dass nur eine Tiefe von 15 cm unter der Arbeitsfläche zulässig ist. Diese kann im vorliegenden Konzept jedoch nicht eingehalten werden.

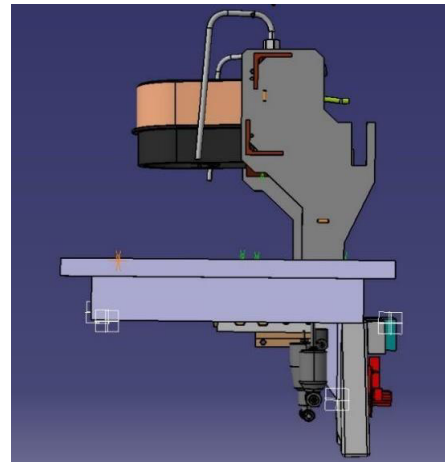


Abbildung 40: Konzept 2_Brü

Konzept 3 und 4

Bei dem in Abbildung 41 links dargestellten dritten Konzept, handelt es sich um einen senkrechten Träger, der auf der Arbeitsplatte aufliegt und dort mit dieser verschraubt wird. Die Ek sind in diesem Konzept, auf ein gebogenes Blech unter der Arbeitsplatte verlagert worden. Dieses Blech wird bei der Montage mit Schrauben an die Unterseite der Arbeitsplatte befestigt. Dieses Konzept wurde jedoch verworfen, da es bei der Montage schwierig ist den EkH an der Unterseite zu verschrauben.

Konzept 4 ist eine Weiterentwicklung von Konzept 3, wobei der EkH mit an dem Brühlturm befestigt ist und somit die Montage erleichtert. (s. Abbildung 41 rechts)

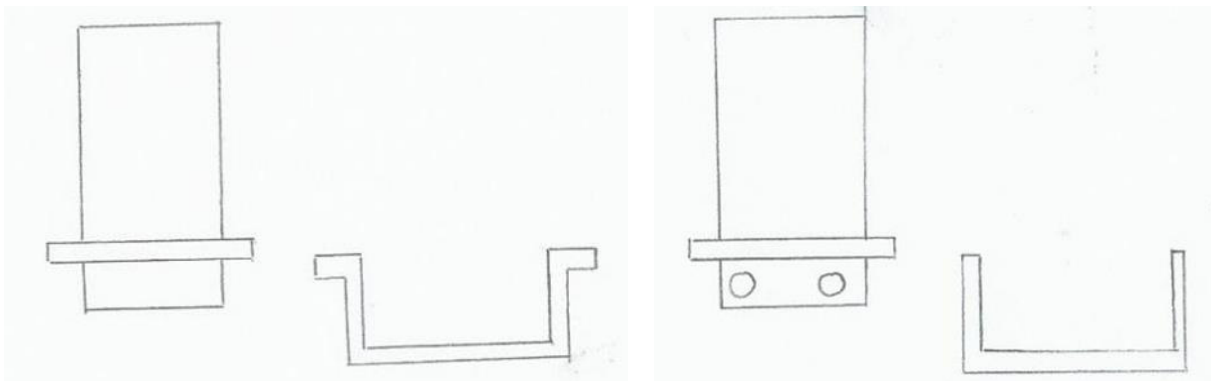


Abbildung 41: Konzept 3_Brü (links) und Konzept 4_Brü (rechts)

Konzept 5

Konzept 5 (s. Abbildung 42) ist eine weitere Abwandlung des dritten Konzeptes, wobei der Träger nun aus einem L-Profil hergestellt wird und somit die Steifigkeit erhöht wird. Außerdem wurde die Befestigung mit der Arbeitsfläche verändert, wodurch diese lediglich mit der Arbeitsfläche verschraubt wird.

Eine erhöhte Steifigkeit wird, den Ergebnissen der FEM Analyse zufolge, nicht benötigt. Somit konnte das Konzept 5 weiterentwickelt werden zu Konzept 6.

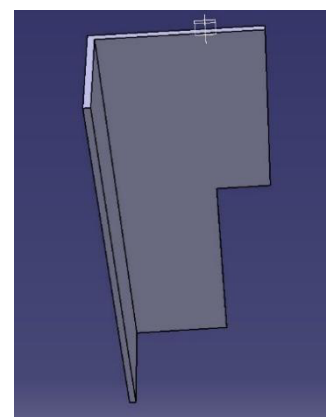


Abbildung 42: Konzept 5_Brü

Konzept 6

Das Augenmerk bei Konzept 6 (s. Abbildung 43) lag vor allem auf der Materialeinsparung und der Kostenreduzierung der Halbzeuge. Aus diesem Grund wird der Träger nach der Optimierung aus einem 4 mm Blech gefertigt und die Konturen für den Brührträger sowie die Arbeitsflächenaufnahme eingearbeitet.

Nach einem Vergleich aller Konzepte wurde Variante 6 für das finale Design ausgewählt, da es ein sehr simples Bauteil ist und somit geringere Herstellkosten aufweist. Außerdem hält es allen Einflüssen stand, wie dem Eigengewicht, der Last bei der Bedienung und der Last bei der Bedienung des Tassenwärmers.

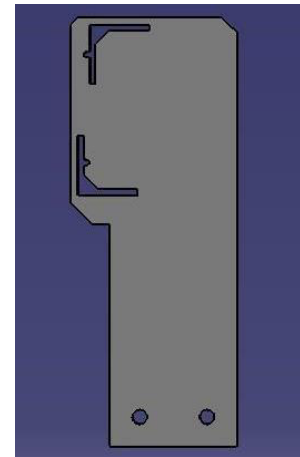


Abbildung 43: Konzept 6_Brü

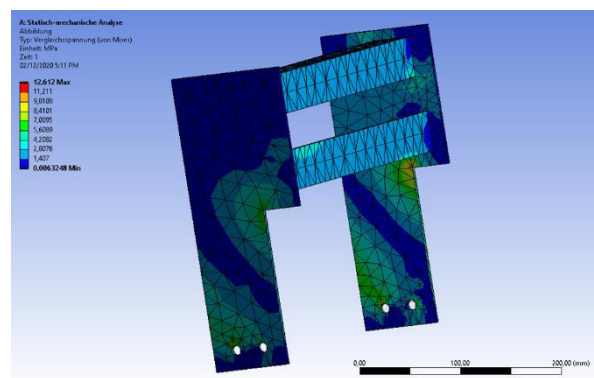
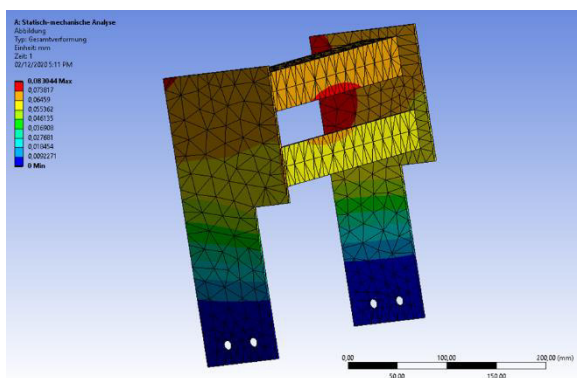


Abbildung 44: FEM-Analyse für das Konzept 6_Brü zur Ermittlung der Verformungen (links) und der Spannungen (rechts) für senkrechte Last

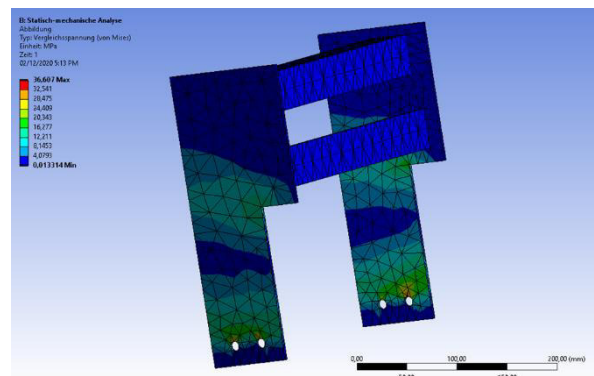
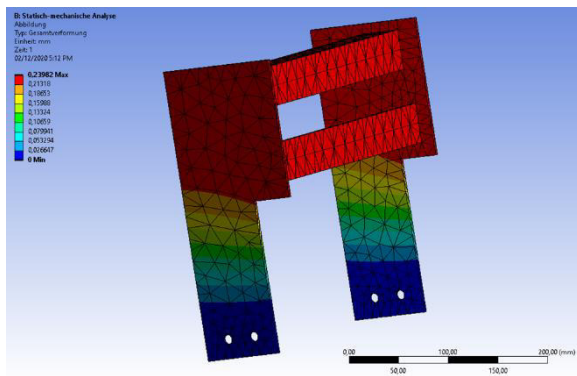


Abbildung 45: FEM-Analyse für das Konzept 6_Brü zur Ermittlung der Verformungen (links) und der Spannungen (rechts) für waagrechte Last (unten)

In Abbildung 44 links ist die Verformung infolge senkrechter Last mittels FEM-Analyse visualisiert. Die maximale Verformung tritt in den roten Bereichen mit einer Größe von 0,08 mm auf. Im Vergleich dazu ist in der Abbildung 45 links die Verformung, aufgrund waagrechter Belastung dargestellt. Hierbei weist die maximale Verformung einen Wert von 0,24 mm auf.

Die bei Konzept 6 auftretenden Spannungen bei einer senkrechten Last sind in Abbildung 44 rechts veranschaulicht. Die Spannung besitzt in diesem Lastfall einen maximalen Wert von 12,6 MPa. Diesem Belastungsfall gegenübergestellt ist der Kraftangriff in waagrechter Richtung (s. Abbildung 45 rechts). Die maximal auftretende Spannung beträgt hier 36,96 MPa.

Mithilfe dieser Werte kann die Sicherheit der Komponenten und des EkH nach Gleichung 16 berechnet werden. Die maximale Spannung, die am EkH auftritt, wird mithilfe einer FEM-Analyse ermittelt und beträgt 30,9 MPa (s. Abbildung 46).

$$S = \frac{R_{p0,2}}{\text{max. Spannung}} \quad (16)$$

$$S_{\text{senkrechte_Last}} = \frac{R_{p0,2}}{\text{max. Spannung}} = \frac{190 \text{ MPa}}{12,6 \text{ MPa}} = 15,08$$

$$S_{\text{waagrechte_Last}} = \frac{R_{p0,2}}{\text{max. Spannung}} = \frac{190 \text{ MPa}}{36,6 \text{ MPa}} = 5,19$$

$$S_{\text{EKH}} = \frac{R_{p0,2}}{\text{max. Spannung}} = \frac{190 \text{ MPa}}{30,9 \text{ MPa}} = 6,15$$

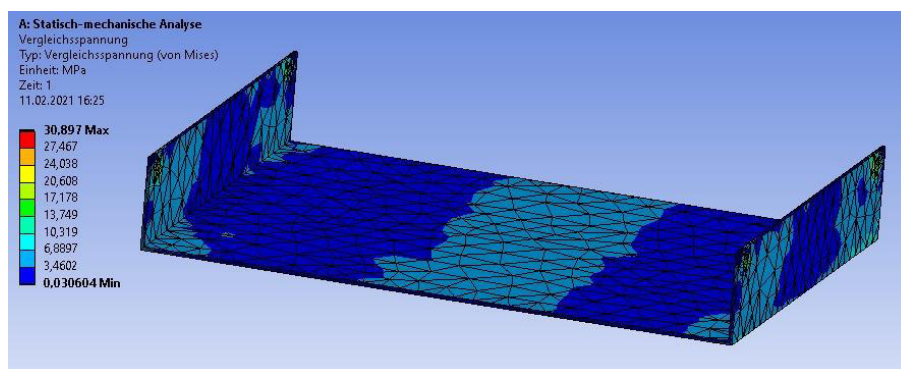


Abbildung 46: FEM-Analyse an Konzept EkH zur Ermittlung der Spannung

Aus den Berechnungen der Sicherheit ist ersichtlich, dass die ausgewählte Konstruktion den Lasten standhält. Des Weiteren wurden in Konzept 6 die bereits bestehenden Teile aus dem letzten Entwicklungsstand der Espressomaschine übernommen, weshalb die neue Konstruktion ohne große Anpassungen übernommen werden kann. Zudem kann mit diesem Konzept auch eine Ontable-Varianten konzipiert werden. Im Folgenden soll eine Konstruktion für die Aufnahme des Brüh turmes und des Borosilikatglasboilers entworfen werden, wobei die Ek berücksichtigt werden müssen.

7.2. Konzeptfindung Arbeitsfläche

Die Arbeitsflächenkonzepte 1 bis 4 wurden für die unter 7.1 dargelegten Brüh turmkonzepte 1 bis 4 konzipiert. Da diese Konzepte jedoch verworfen wurden, werden die nicht relevanten Konzepte der Arbeitsfläche hier nur kurz erläutert. Diese Entwürfe dienen lediglich als Verschönerung und Verletzungsschutz.

Konzept 1 und 2

Bei Konzept 1 der Arbeitsfläche (s. Abbildung 47 links) wird sowohl von vorne als auch von hinten ein Blech an den Brüh turm angelegt, wodurch die Auflageflächen des Turms auf der Arbeitsplatte verdeckt wird. Bei dem in Abbildung 47 rechts dargestellten Konzept 2 hingegen werden die Brüh turmträger zuerst von oben durch die Arbeitsfläche gesteckt und anschließend auf der Arbeitsfläche angeklebt.

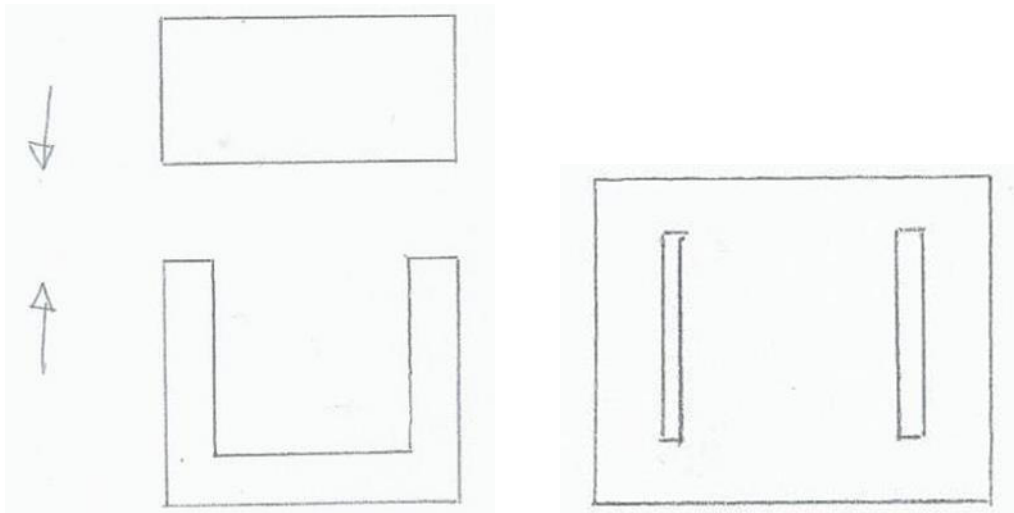


Abbildung 47: Konzept 1_Arb (links) und Konzept 2_Arb (rechts)

Konzept 3 und 4

Das in Abbildung 48 links visualisierte Konzept 3 ist eine Abwandlung des oben beschriebenen Konzeptes 2. Die verbesserte Variante weist an den Durchgängen für die Brüturmträger ein wenig gebogene Konturen auf, um scharfe Kanten zu vermeiden.

Konzept 4 entsteht aus einer Anpassung der Arbeitsflächenanbringung aus Konzept 1. In der neuen Konstruktion werden die Arbeitsflächenhälften von den Seiten, anstelle von vorne und hinten, an die Träger geführt. (s. Abbildung 48 rechts)

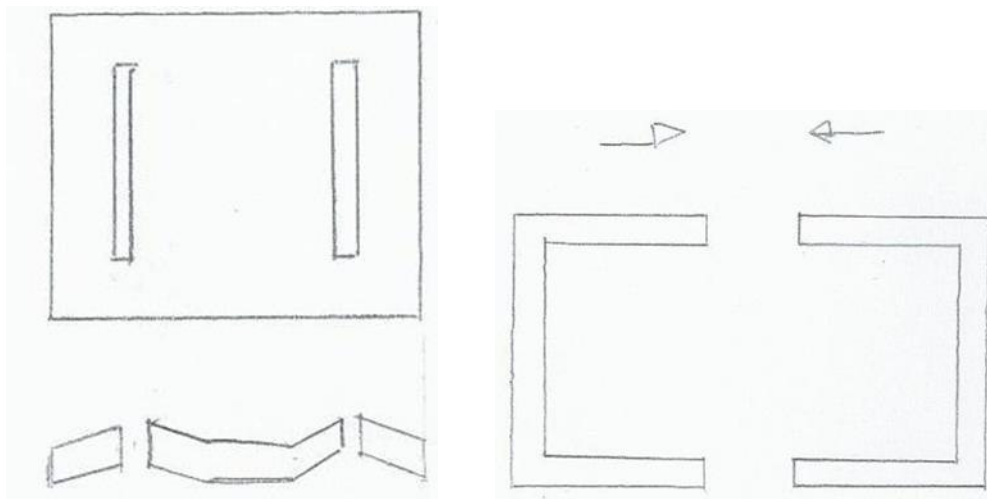


Abbildung 48: Konzept 3_Arb (links) und Konzept 4_Arb (rechts)

Konzept 5

Das finale Konzept 5 besteht aus vier L-Profilen, welche in einem 45° Winkel an den Enden abgeschnitten und anschließend zu einem Rechteck verschweißt wurden (s. Abbildung 49). Die zwei kurzen Seiten der Arbeitsfläche enthalten Bohrungen zur Befestigung des Brüturms, des EKH und der Abtropfschale.

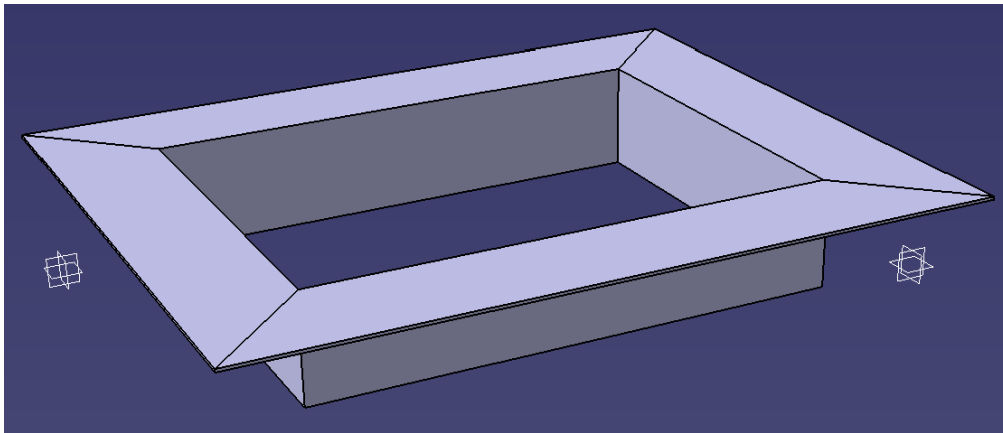


Abbildung 49: Finales Konzept 5_Arb

Die bereits angesprochenen Lasten werden von der Arbeitsfläche über eine Bolzenverbindung an die Arbeitsplatte weitergegeben. Die Verformung ist in Abbildung 50 rechts dargestellt und weist an den Bohrungen den maximalen Wert von 0,0001 mm. Die maximal auftretende Spannung beträgt 2,31 MPa. Diese Konzept 5 eignet sich somit für den zu verwendenden Zweck am besten.

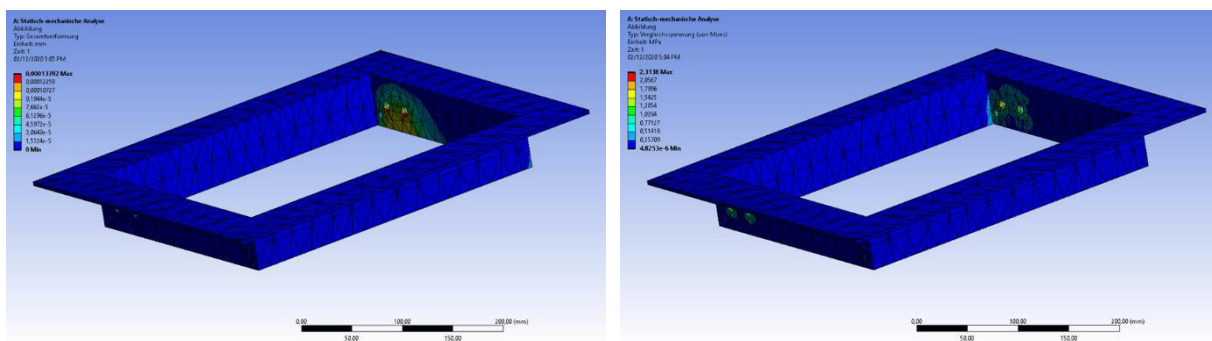


Abbildung 50: FEM-Analyse für das finale Konzept 5_Arb zur Ermittlung der Verformung (links) und der Spannung (rechts)

Mithilfe der Vergleichsspannung kann die Sicherheit des Bauteils nach Gleichung 16 berechnet werden.

$$S = \frac{R_{p0,2}}{\text{max. Spannung}} = \frac{190 \text{ MPa}}{2,31 \text{ MPa}} = 82,25$$

Im Hinblick auf die ermittelte Sicherheit ist zu erkennen, dass das Profil der Last sehr gut standhalten wird und um ein Vielfaches überdimensioniert ist. Die Überdimensionierung wird jedoch aus Gründen des Designs in Kauf genommen, da es hochwertiger wirkt und zudem aufgrund der stabileren Erscheinung dem Anwender ein Gefühl von Sicherheit vermittelt.

7.3. Finales Konzept und Zusammenfassung

Das finale Gesamtkonzept von Brühlturm und Arbeitsfläche ist in Abbildung 51 dargestellt. Das finale Design verbindet Konzept 6 des Brühgruppenträgers und Konzept 5 der Arbeitsfläche. Mithilfe dieser Konstruktion konnte eine sehr simple und somit kostengünstige Alternative zur vorherigen Version (Blädel, et al., 2020, p. 58) dargestellt werden.

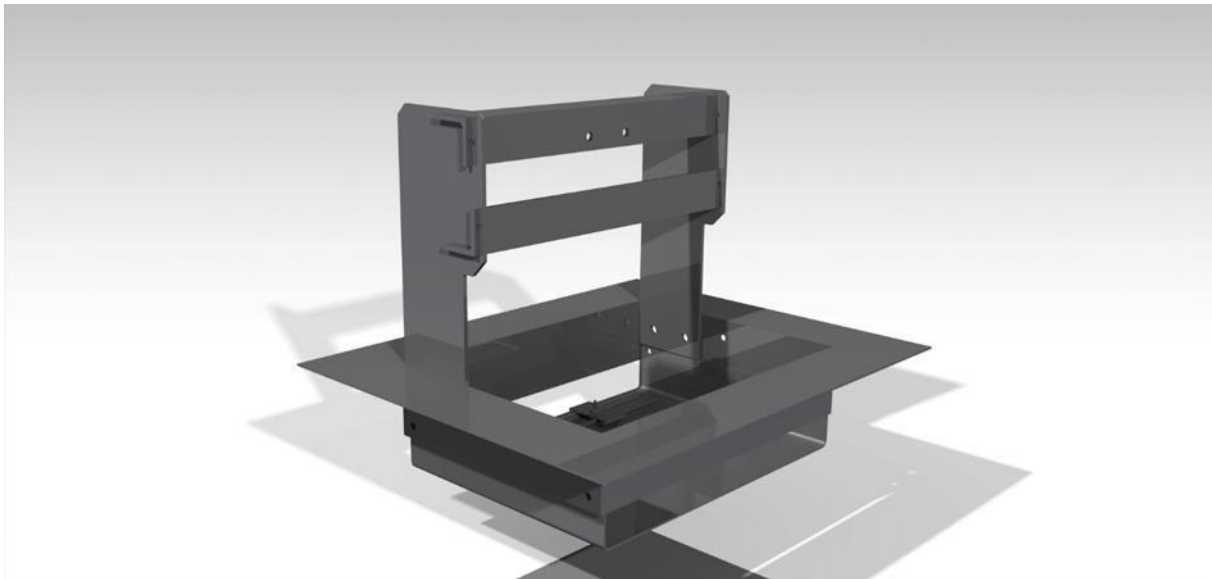


Abbildung 51: Rendering des Brühlturmtägers, der Arbeitsfläche und des EkH

8. Schaltelemente

Verfasst und bearbeitet von Ludwig Ackermann

Das Ziel dieses Arbeitspaketes ist es, Schalter zu konstruieren, die den vorgegebenen Folientaster als Schaltelement verwenden (Rohnen, 2020, p. 7).

Die Folientaster werden von der Firma Richard Wöhr GmbH, in drei Ausführungen FTWS-D01, FTWS-02 und FTWS-03 bezogen. Die Ausführungen unterscheiden sich lediglich in der Anzahl der Tasten, der Breite und der Kabelbreite. Weitere konstruktionspezifische Informationen sind den beigelegten Datenblättern zu entnehmen.

Für jede der drei Ausführungen sind die zwei Versionen „Hebel“ und „Taster“ zu erstellen. Die Schaltelemente sind des Weiteren für ein 3D-Druckverfahren zu konstruieren und auf eine kosteneffiziente Konstruktion ist zu achten.

8.1. Das Druckverfahren

Als Druckverfahren wird das Selektive-Laser-Sintern gewählt. Bei diesem Verfahren wird ein Druckraum schichtweise vollständig mit einem Pulver gefüllt. Nach jeder neuen Schicht werden die Konturen, des zu druckenden Bauteils, von einem Laser „abgefahren“. Der Laser bringt das Pulver zum Schmelzen, wodurch sich die Schmelze mit den anderen Schichten des Bauteils verbindet. So wird das Bauteil Schicht für Schicht in einem Pulverbett aufgebaut, ohne dass Stützstrukturen benötigt werden, und gleichzeitig kann der Druckraum optimal genutzt werden. Dieses Druckverfahren bietet, im Vergleich zu anderen additiven Fertigungsverfahren, sehr viel gestalterische Freiheit. Es kann nahezu jede Struktur gedruckt werden. Doch um auch optisch und maßhaltig gute Ergebnisse zu erhalten, sollten einige Konstruktionsvorschriften eingehalten werden, die im Folgenden beschrieben werden.

Ab einem Winkel von ca. 20° zur Grundebene werden in schrägen Flächen (s. Abbildung 51, schwarze Linien) Stufen sichtbar (s. rote Linien). Diese Stufen entstehen durch das schichtweise Auftragen des Pulvers. Je kleiner der Winkel desto kleiner die Stufen.

Das Bauteil wird direkt aus den CAD-Daten entnommen. Daher kann, je nach Druckqualität, eine systematische Toleranz von ca. $\pm 0,2$ mm angenommen werden. Um bei beweglichen Mechanismen die Freigängigkeit sicher zu stellen, sollte ein konstruktiver Abstand von 0,1 mm zwischen beweglichen Teilen vorgesehen werden.

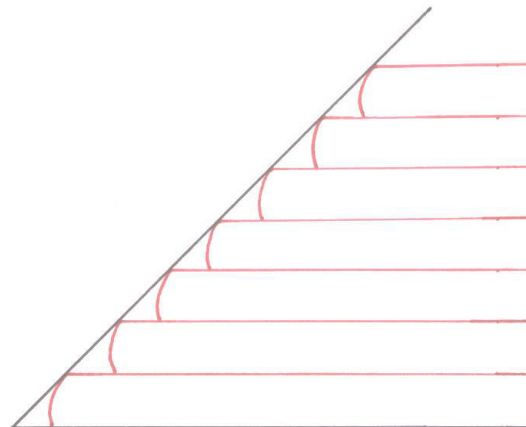


Abbildung 52: Darstellung des Treppeneffektes

Hinterschnittige Bauteile stellen beim SLS-Verfahren kein Problem dar. Es muss jedoch darauf geachtet werden, dass das nicht benötigte Pulver nach Beendigung des Druckens einfach und schnell entfernt werden kann, um die Nachbearbeitungskosten niedrig zu halten. Aus diesem Grund sollten, wenn möglich, keine Sackbohrungen oder zu schmale Spalten verwendet werden.

Die Kosten bei dieser Druckweise richten sich nach den Maschinenstunden und dem Pulververbrauch. Um die Kosten niedrig zu halten sollte bei der Konstruktion auf eine niedrige Bauhöhe und eine integrale Bauweise geachtet werden.

8.2. Konzepte

8.2.1. Hebel

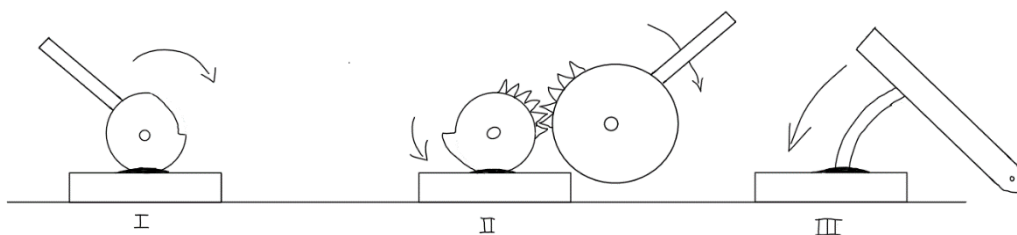


Abbildung 53: Konzepte für den Hebel

Die Konzepte 1 und 2 (s. Abbildung 53 I und II) sehen jeweils ein halbrundes Aktivierungselement vor, das in der unteren Hälfte exzentrisch größer wird. Bei einer Verdrehung dieses Elementes um seine Achse, wird eine Kraft durch das Prinzip der schiefen Ebene erzeugt. Die Kraft kann somit verwendet werden um den Taster zu betätigen.

In Konzept 2 wird eine zusätzliche Übersetzung gewählt, die in ihrer Gestaltung den großen Schaltweg aus Konzept 1 verkleinert. Um den Schaltweg festlegen zu können, müssen die Durchmesser so variiert werden, dass die gewünschte Übersetzung erzielt wird.

In Konzept 3 wird das Prinzip des Hebels verwendet, um die gewünschte Kraft zu erzeugen. Der Schaltweg ist in diesem Konzept davon abhängig, an welcher Stelle der Hebel angesetzt wird. (s. Abbildung 53 III)

Die Konzepte wurden verglichen und bewertet, um eine finale Auswahl zu treffen. Die Bewertung wird in einer Punkteskala von 0 bis 3 vorgenommen. 0 Punkte stehen für die unvorteilhafteste Ausführung und 3 Punkte für die Bestmögliche. Für die Bewertung werden die Kriterien Komplexität, Teilezahl, Funktionalität, Größe und Konstruktionsaufwand herangezogen. Die Komplexität wird subjektiv durch die Einfachheit des Mechanismus bewertet. Mit der Funktionalität wird die Effizienz bewertet, mit der die Aktivierung des Tasters vollzogen wird. Die Bewertung des Konstruktionsaufwandes erfolgt approximativ auf Grundlage von Erfahrung und Teilezahl.

Nach der Bewertung der Konzepte wird Konzept 3 für die Hebel weiterverfolgt werden.

Table 17: Bewertung der Hebelkonzepte

Kriterium	Gewichtung	Konzept 1	Konzept 2	Konzept 3
Komplexität	10	3	0	3
Teilezahl	30	3	0	2
Funktionalität	30	1	2	3
Größe	20	3	1	2
Konstruktionsaufwand	10	2	1	3
Summe:	100	12	4	13

8.2.2. Taster

Für die Taster wurde ein Musterkonzept erstellt, das auf den ersten Rücksprachen für die Hebel basiert. Der Tasterträger, der Korpus und das Design sind übernommen und für das geänderte Bedienkonzept angepasst worden.

8.3. Konstruktion

Als CAD-Programm wurde Catia V5 verwendet. Die Konstruktion beider Schaltervarianten basiert auf den Datenblättern, die von der Richard Wöhr GmbH bezogen worden sind (s. Anhang Nr. 4). In einem ersten Schritt wurden die Taster anhand dieser Informationen nachgebaut und die Oberflächen abgeleitet.

In Catia V5 ist es möglich seine Konstruktion auf „tote Flächen“, d.h. unveränderbare und isolierte Flächen, zu beziehen. Werden diese Flächen über die „Replace“ Funktion ausgetauscht, so kann die Geometrie in nur wenigen Minuten und mit sehr geringen Aufwand angepasst werden. Diese Konstruktionsmethodik wurde angewendet, um eine schnelle Anpassung auf die drei Tastervarianten FTWS-01, FTWS-02 und FTWS-03 zu ermöglichen. Die angewandte Methodik setzt allerdings große Ansprüche an den Aufbau und die Struktur des CAD-Modells voraus.

8.3.1. Ausarbeitung Hebel

In der finalen Form besteht der gesamte Hebel aus vier unterschiedlichen 3D-gedruckten Einzelteilen. Dem Tasterträger, dem Korpus, dem Hebel und der Achse.

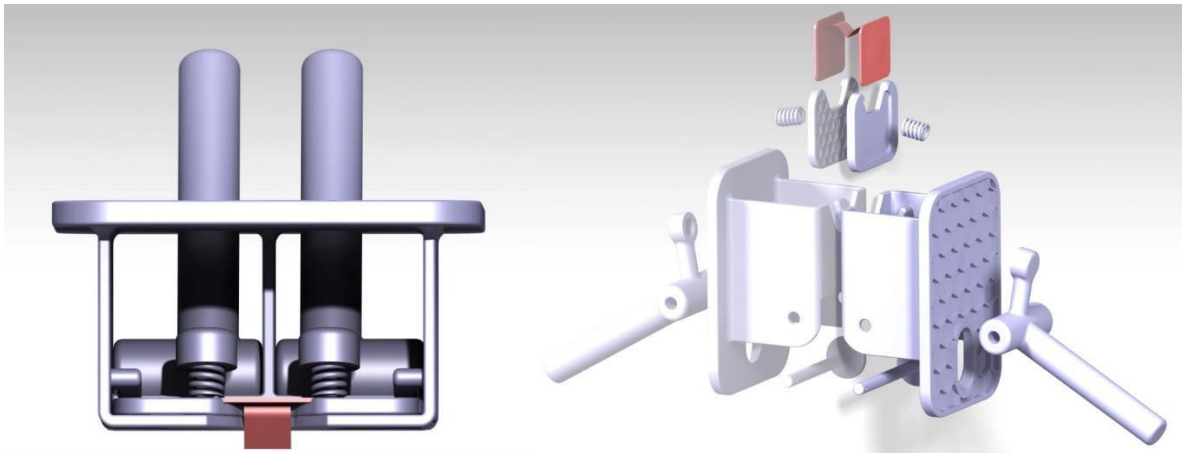


Abbildung 54: Doppelhebel in der Draufsicht (links) und 3D-Ansicht (rechts)

Der Folientaster wird auf den Tasterträger aufgeklebt, hier zwischen Feder und Korpus zu sehen (s. Abbildung 54). Der Träger hat an den Seiten einen verbreiterten Rand, um in den Korpus eingeklemmt zu werden. Die Rückseite ist in einer Wabenstruktur, mit einer Tiefe von 1-2 mm ausgeführt, um eine höhere Biegesteifigkeit zu erreichen und gleichzeitig Material zu sparen. Eine Aussparung für die knicklose Kabelführung wurde vorgesehen (s. Abbildung 54). Alle Träger sind einheitlich für den jeweiligen Taster. Das heißt der Träger für die Ausführung „Hebel“ kann auch für die Ausführung „Taster“ verwendet werden.

Der Korpus ist einteilig in Integralbauweise ausgeführt, um die Kosten zu minimieren. An der Aufnahme des Tasterträgers sind kleine Blattfedern angebracht, um den Träger zu fixieren. Die Blattfedern liegen am verbreiterten Rand des Trägers an. Die Blende weist einen verbreiterten Rand von mindestens 5 mm auf. Der Rand kann bei der Montage auf eine Unterkonstruktion als Klebefläche verwendet werden. Die Sichtseite der Blende wurde ebenfalls mit einer Wabenstruktur versehen. Allerdings lediglich zu dekorativen Zwecken. Der gesamte Korpus, mit Ausnahme der Wabenstruktur, hat eine konstante Wandstärke von 3 mm.

Der Hebel und die Achse werden ebenfalls im SLS Verfahren gedruckt. Der Hebel besitzt an der Spitze eine Aufnahme für eine Feder. Die vorgespannte Feder betätigt den Taster. Dies erzeugt ein angenehmeres und weiches Schaltgefühl. Der Einbau des Hebels wurde im CAD-Programm geprüft. Hierfür wurden kritische Positionen des Einbaus betrachtet. Die Achse wird durch einen kleinen Splint oder einen umgebogenen Draht gesichert.

8.3.2. Ausarbeitung Taster

Die Version des Tasters entspricht in seiner Ausarbeitung sehr stark der des Hebels. Der Tasterträger ist als Gleichteil zwischen den Versionen ausgeführt. Der Korpus ist ebenfalls nach dem Funktionsprinzip der toten Flächen entworfen. Die Tiefe des Korpus konnte, im Vergleich zur Ausführung „Hebel“, verkleinert werden, da der Druckknopf direkt über dem Taster positioniert wurde. Um den Druckknopf und die Feder montieren zu können wurde ein Ausschnitt in die Tasteraufnahme eingefügt (s. Abbildung 55).

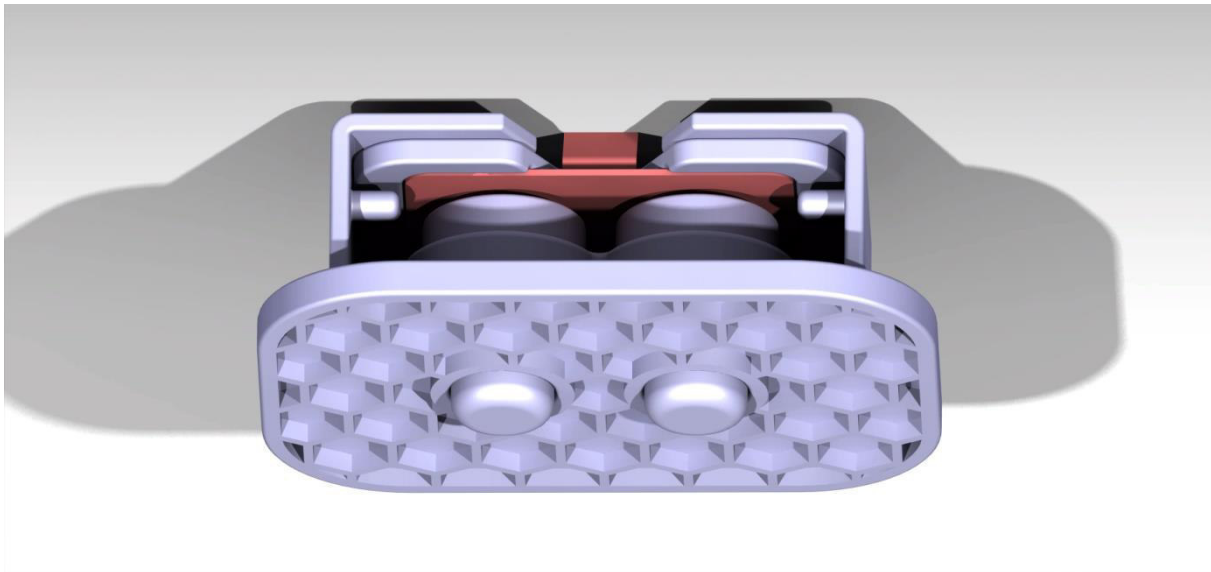


Abbildung 55: Doppeltaster in der Vorderansicht

Die Druckknöpfe sind Gleichteile, die frei zwischen den Versionen getauscht werden können. In ihrer Unterseite ist eine Vertiefung eingebracht, um eine Feder zu führen. Genau wie in der Hebelversion dient die Feder zur Verbesserung des Schaltgefühls.

8.4. Kosten

Es wurde eine Kostenkalkulation erstellt, die alle Versionen tabellarisch vergleicht. Die Kosten für die 3D-Druckteile wurden mithilfe des Kalkulationstools der Sculpteo Website erstellt.

Dafür wurden die Teile als STL aus dem CAD-Programm ausgeleitet und auf Sculpteo hochgeladen. Als Parameter wurde die mittlere Qualitätseinstellung mit dem Material PA12 ausgewählt.

Tabelle 18: Kostenabschätzung der Hebel

Bauteil	FTWS-01 in [€]	FTWS-02 in [€]	FTWS-03 in [€]
Korpus	19,60	26,82	34,80
Hebel Links	0,00	8,50	8,50
Hebel Mitte	9,27	0,00	7,75
Hebel Rechts	0,00	8,50	8,50
Achse	5,50	5,50	5,50
Tasterträger	5,50	5,50	5,50
Feder	2,52	2,52	2,52
Gesamtkosten	42,39	59,86	78,11

Tabelle 19: Kostenabschätzung der Taster

Bauteil	FTWS-01 in [€]	FTWS-02 in [€]	FTWS-03 [€]
Korpus	14,44	19,78	25,3
Taster	5,5	5,5	5,5
Tasterträger	5,5	5,5	5,5
Feder	2,63	2,63	2,63
Gesamtkosten	28,07	41,54	55,19

Die Bezeichnungen FTWS-01, FTWS-02 und FTWS-03 beziehen sich auf die offiziellen Bezeichnungen der Folientaster der Firma Richard Wöhr GmbH (s. Anhang Nr. 2) und können den Datenblättern entnommen werden. Die letzten beiden Ziffern der Bezeichnung stehen hierbei für die Anzahl der Tasterknöpfe.

Aus den Tabellen 18 und 19 geht hervor, dass die Ausführung mit Taster etwa 67 % bis 71 % der Kosten der Hebelausführung verursacht. Auch ist der höhere Anteil an Gleichteilen als deutlicher Vorteil zu sehen.

9. Ausblick/Fazit

Verfasst von Isabell Nuißl und Melanie Schuster

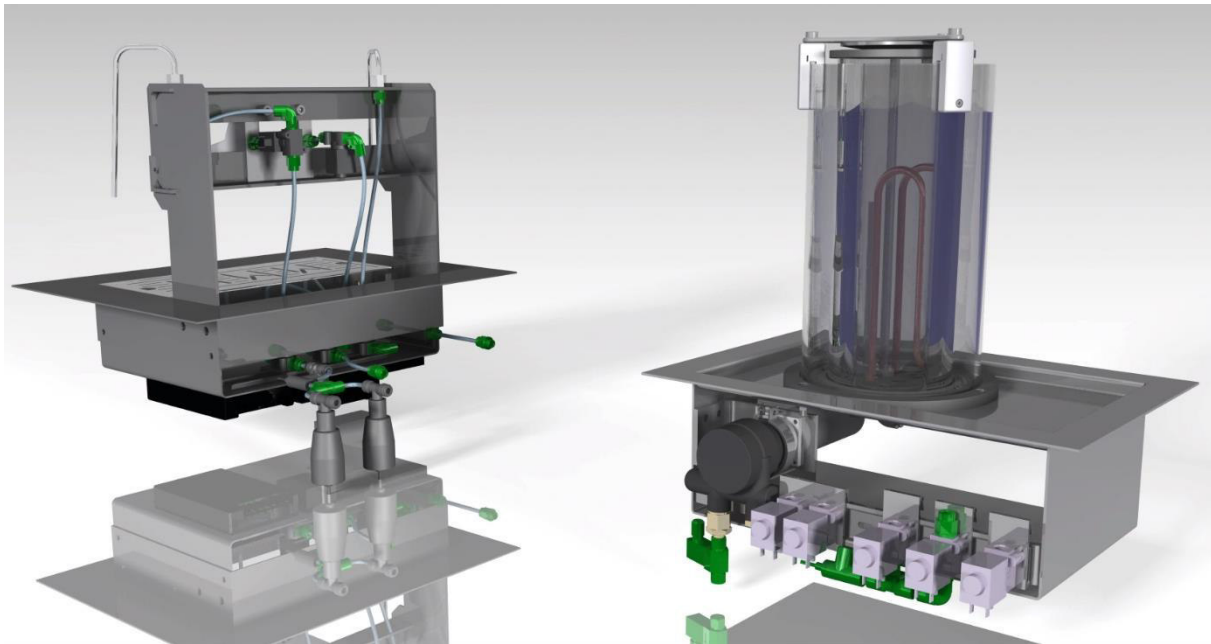


Abbildung 56: Rendering der neuen Espressomaschine Style im aktuellen Entwicklungsstadium

In Abbildung 56 ist der aktuelle Entwicklungsstand der Espressomaschine Style mit Borosilikatglasboiler dargestellt. Die in den einzelnen Kapiteln erläuterten Komponenten werden im Folgenden zusammengefasst und es wird ein Ausblick über die noch ausstehenden Entwicklungstätigkeiten gegeben.

Das Ziel der vorliegenden Projektarbeit war es, einen Spannhaken zu konstruieren, welcher die Sicht des Bedieners auf das Innere des Glasboilers nicht einschränkt. Für den Spannhaken wurde eine funktionale Konstruktion entworfen, die alle vorgeschriebenen Anforderungen hinsichtlich der Optik erfüllt und die Dichtheit des Boilers gewährleistet. Diese Anforderung konnte erfüllt werden, da die Spannhaken lediglich an drei Punkten am oberen Ende des Borosilikatglaszylinders befestigt werden. In weiteren Projektarbeiten sollte der Verspannmechanismus bezüglich einer Kostenreduktion sowie Materialeinsparung untersucht werden, damit eine schlankere Konstruktion des Hakens entwickelt werden kann. Da der finale Spannhaken hinsichtlich seiner Funktion und Montage konstruiert wurde, ist dieser zu erproben, um seine Funktionsfähigkeit zu bestätigen.

Der Deckel des inneren Borosilikatglaszylinders sowie der Boilerboden wurden bezüglich einer Kostenreduktion neu entwickelt. Die gestellten Anforderungen konnten erfüllt werden, indem eine einteilige Deckel- und Bodenkonstruktion entworfen wurde. Als Material wird der Kunststoff PVDF ausgewählt, da dieser die mechanischen Eigenschaften am besten erfüllt und gleichzeitig die kostengünstigste Variante darstellt. Die Verspannung zwischen Boden und Borosilikatglaszylinder ist über eine Klebeverbindung realisiert worden, um dem Anwender die maximale Einsicht in das Innere des Boilers zu ermöglichen. Der final verwendete Klebstoff muss in nachfolgenden Projektarbeiten im Labor auf seine Funktionalität untersucht werden.

Der Boilerboden ist über Schrauben mit dem neu konstruierten Bodenblech verbunden. Das finale Bodenblech ist als Gleichteil für sowohl die Undertable-Variante als auch für die Ontable-Konstruktion ausgelegt. Es ist als Biegeteil entworfen, damit eine Montage unabhängig von der Beschaffenheit der Arbeitsplatte möglich ist. Bei der Montage des Boilerbodens am Bodenblech wird ein Auffangbehälter befestigt, welcher beim Platzen des Boilers das Wasser auffängt, ohne dass die Elektronik beschädigt wird, die sich unter der Arbeitsplatte befindet.

Aus diesem Grund ist in den nachfolgenden Projektarbeiten die Dichtheit des Systems zu prüfen, um die Gefahr eines Kurzschlusses durch Wassereintritt zu vermeiden.

Die Espressomaschine Style wurde in der vorliegenden Projektarbeit als Undertable-Variante konstruiert, weshalb die boilernahen Elemente neu platziert werden mussten. Bei den boilernahen Elementen handelt es sich um die Ventile und Schläuche, die in der Nähe des Borosilikatglasboiler angebracht werden. Da sich die Elemente unter dem Bodenblech befinden, war bei der Neuplatzierung auf eine gute Zugänglichkeit der Anschlusselemente sowie eine strukturierte Führung der Verschlauchung zu achten. In nachfolgenden Projektarbeiten müssen die Verschlauchung und die Anschlusselemente angebracht werden und die Halteelemente sind entsprechend auszulegen.

Bei der Brühgruppenaufnahme wurden die Anschlussventile und die Verschlauchung in der Nähe der Brühgruppe betrachtet. Ziel war es die kalte Brühgruppe in den Hydrokreislauf des Gesamtsystems der Espressomaschine aufzunehmen. In nachfolgenden Projektarbeiten ist die Positionierung der Magnetventile zu optimieren und die Verschlauchung festzulegen. Nach dieser Optimierung ist ein Halteblech zu entwickeln, welches die Anschlusselemente an den finalen Positionen aufnehmen kann.

Die neuen Varianten der Arbeitsfläche sowie des Brühturms waren hinsichtlich ihrer Konstruktion und ihres Designs zu bearbeiten. In den nachfolgenden Projektarbeiten sollen anhand des Prototyps die Toleranzen des Brühturms ermittelt und eventuelle Optimierungen des Brühturms vorgenommen werden. Nach einer finalen Positionierung aller Anschlusselemente ist in nachfolgenden Projektarbeiten ein Verschlauchungs- und Verdrahtungsplan zu erstellen, sowie für die Teewasser- und Dampfzange ein Hersteller auszusuchen. Des Weiteren ist eine Berechnung der Schrauben bzw. Bolzen für die Verbindung zwischen Brühturm und Arbeitsfläche durchzuführen.

Für die Schaltelemente ist ein Folientaster zu verwenden, welcher über eine Schalterkonstruktion betätigt wird. Aus diesem Grund wurden verschiedene Schaltervarianten entwickelt, welche in unterschiedlicher Tasteranzahl und Bedienungsweise ausführbar sind. In einer nachfolgenden Projektarbeit ist eine finale Schalterauswahl zutreffen, wobei die Taster hinsichtlich der Kosten zu bevorzugen sind.

Weitere allgemeine Aufgaben für nachfolgende Projektarbeiten sind der Aufbau eines Prototyps, um die einzelnen Komponenten hinsichtlich ihres Zusammenspiels zu prüfen und gegebenenfalls zu verbessern. Zudem ist eine Designoptimierung an der gesamten Espressomaschine Style durchzuführen. Aktuell ist ein Wabenmuster in Teilen der Konstruktion integriert, weshalb dieses weiter zu verfolgen ist. Auch ist eine gesamtheitliche Kostenreduktion der Espressomaschine Style vorzunehmen. Für eine erfolgreiche Vermarktung der Espressomaschine Style ist eine Promotion zu forcieren. Des Weiteren können mithilfe von Marktforschungen, die Wünsche der Kunden analysiert werden, damit das Produkt hinsichtlich dessen weiter optimiert werden kann.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Verschraubung des Deckels am Borosilikatglaszylinder mittels Sechskantschraube.....	4
Abbildung 2:	Verspannung des Deckels mit dem Borosilikatglaszylinder über einen Ring	5
Abbildung 3:	Befestigung des Deckels am äußeren Borosilikatglaszylinder über einen Schraubverschluss.....	6
Abbildung 4:	Verspannung des Deckels mit dem äußeren Borosilikatglaszylinder mittels Spannhaken.....	7
Abbildung 5:	Ursprünglicher Spannhaken (links) und auf den Spannhaken wirkende Kräfte und Momente (rechts).....	14
Abbildung 6:	Erweiterte Variante des Spannhakens.....	15
Abbildung 7:	Schnitt des erweiterten Spannhakens.....	15
Abbildung 8:	FEM des erweiterten Spannhakens (Verschiebungen).....	16
Abbildung 9:	Finaler Spannhaken.....	16
Abbildung 10:	FEM-Spannhaken (Verschiebungen).....	17
Abbildung 11:	Querschnitt des finalen Spannhakens.....	17
Abbildung 12:	Zylinderwand unter Moment- und Zugbelastung.....	19
Abbildung 13:	Auftretende Spannungen und Verformungen am Außenzylinder für Momentbelastung (links) und Zugbelastung (rechts).....	20
Abbildung 14:	Innenleben des Boilers auf finalem Boden.....	21
Abbildung 15:	Gesamtansicht Boilerboden (links) und Bodenblech mit Boden und Boiler (rechts).....	22
Abbildung 16:	Konzept 1.....	23
Abbildung 17:	Explosionszeichnung des Deckels mit Verspannmechanismus.....	23
Abbildung 18:	Oberseite des Deckels mit Metallstiften (links) und Unterseite des Deckels mit Nut für den inneren Glaszylinder (rechts).....	24
Abbildung 19:	Borosilikatglasboiler mit Bodenblech und Verspannmechanismus (links) und Explosionszeichnung (rechts).....	26
Abbildung 20:	Belastete Flächen des Boilerbodens.....	30
Abbildung 21:	FEM-Boden für die Gesamtverformung (oben) und die Vergleichsspannung (unten).....	30
Abbildung 22:	Belastete Flächen des Boilerdeckels.....	31
Abbildung 23:	FEM-Deckel für die Vergleichsspannung (oben) und die Gesamtverformung (unten).....	31
Abbildung 24:	Verschweißtes Rohrblech (hellgrün) an Bodenblech (blau).....	33
Abbildung 25:	Erste Variante des Bodenblechs (links) und Bodenblech und Halteblech in der Arbeitsplatte (rechts).....	34
Abbildung 26:	Zweite Variante des Bodenblechs.....	34
Abbildung 27:	Dritte Variante des Bodenblechs und Halteblech.....	35
Abbildung 28:	FEM-Analyse zur Bestimmung der Gesamtverformung (links) und der Vergleichsspannung (rechts).....	35
Abbildung 29:	Erste Variante des Auffangbehälters.....	36
Abbildung 30:	Zweite Variante des Auffangbehälters.....	37
Abbildung 31:	Elemente neu platziert.....	37
Abbildung 32:	Halteelemente für die Magnetventile.....	38
Abbildung 33:	Verfügbare Raum hinter den boilernahen Elementen.....	38
Abbildung 34:	Boilernahe Elemente neu platziert (Seitenansicht).....	38
Abbildung 35:	Befestigung Brühgruppe am Turm.....	39
Abbildung 36:	Alte Anordnung der Espressomaschine von hinten (links) und von vorne (rechts).....	40

Abbildung 37: Neue Anordnung der Espressomaschine von hinten (links) und von vorne (rechts).....	41
Abbildung 38: Senkrechte Kraft am Träger (links) und waagrechte Kraft am Träger (rechts)	42
Abbildung 39: Konzept 1_Brü.....	42
Abbildung 40: Konzept 2_Brü.....	43
Abbildung 41: Konzept 3_Brü (links) und Konzept 4_Brü (rechts)	43
Abbildung 42: Konzept 5_Brü.....	43
Abbildung 43: Konzept 6_Brü.....	44
Abbildung 44: FEM-Analyse für das Konzept 6_Brü zur Ermittlung der Verformungen (links) und der Spannungen (rechts) für senkrechte Last	44
Abbildung 45: FEM-Analyse für das Konzept 6_Brü zur Ermittlung der Verformungen (links) und der Spannungen (rechts) für waagrechte Last (unten)	44
Abbildung 46: FEM-Analyse an Konzept EkH zur Ermittlung der Spannung	45
Abbildung 47: Konzept 1_Arb (links) und Konzept 2_Arb (rechts)	46
Abbildung 48: Konzept 3_Arb (links) und Konzept 4_Arb (rechts)	46
Abbildung 49: Finales Konzept 5_Arb	47
Abbildung 50: FEM-Analyse für das finale Konzept 5_Arb zur Ermittlung der Verformung (links) und der Spannung (rechts).....	47
Abbildung 51: Rendering des Brühertümtägers, der Arbeitsfläche und des EkH	48
Abbildung 52: Darstellung des Treppeneffektes	49
Abbildung 53: Konzepte für den Hebel.....	49
Abbildung 54: Doppelhebel in der Draufsicht (links) und 3D-Ansicht (rechts)	51
Abbildung 55: Doppeltaster in der Vorderansicht	52
Abbildung 56: Rendering der neuen Espressomaschine Style im aktuellen Entwicklungsstadium.....	54

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Konzeptbewertung für die Federelemente	3
Tabelle 2:	Punkteskala zur Bewertung der einzelnen Kriterien (gilt für alle Konzeptbewertungen)	3
Tabelle 3:	Abmaße und Toleranzen des inneren und äußeren Borosilikatglaszylinders (Schott, 2000, pp. 6f.,16).....	3
Tabelle 4:	Konzeptbewertung der beiden Spannkonzepete "Verschraubung" und "Ringbefestigung"	5
Tabelle 5:	Konzeptbewertung der beiden Spannkonzepete "Schraubverschluss" und "Spannhaken"	6
Tabelle 6:	Grundtoleranzen IT für einen Nenn-maßbereich von 6-10 mm (in Anlehnung an DIN EN ISO 286-1) (Wittel, et al., 2017, p. 55)	10
Tabelle 7:	Gegebene und errechnete Daten für die ausgewählte Tellerfeder der Reihe B Gruppe 2 (Wittel, et al., 2017, pp. 164ff., TB 10-9b)	11
Tabelle 8:	Gegenüberstellung der berechneten und der zulässigen Maximalwerte.....	12
Tabelle 9:	Anzahl der Umdrehungen für den Vorspannweg und den maximal zulässigen Federweg bezüglich beider Gewindetypen für M6x0,5.....	13
Tabelle 10:	Gewichtete Punktebewertung der Varianten des Spannhakens	18
Tabelle 11:	Gewichtungsmaße für Tabelle 10	19
Tabelle 12:	Toleranztabelle der Borosilikatglaszylinder	24
Tabelle 13:	Relevante Materialeigenschaften von PVDF	29
Tabelle 14:	Bodendicken im statischen Vergleich.....	31
Tabelle 15:	Deckeldicken im statischen Vergleich	32
Tabelle 16:	Kaufteile der Firma Römer	41
Tabelle 17:	Bewertung der Hebelkonzepte	50
Tabelle 18:	Kostenabschätzung der Hebel	52
Tabelle 19:	Kostenabschätzung der Taster	53

Literaturverzeichnis

Ackermann, L., Schuster, M., 2021. *Berechnungen der Schrauben- und Klebeverbindung*, s.l.: s.n.

Anon., 2020. *Moodle-ProjRohnen*. [Online]
Available at: <https://moodle.hm.edu/course/view.php?id=5969>
[Zugriff am 13 02 2021].

Arendt, M., 2018. *Neukonstruktion einer Kaffeemaschinenbrühgruppe*, s.l.: s.n.

Blädel, T. et al., 2020. *Weiterführung der Konstruktion einer Siebträger-Espressomaschine - Entwicklung einer labortechnischen Espressomaschine*, s.l.: s.n.

Febrotec GmbH, 2021. *Febrotec Federn*. [Online]
Available at: <https://www.febrotec.de/de/tellerfedern/din-tellerfedern-nach-en-16983-din-2093-und-belleville-tellerfedern/0s4382/>
[Zugriff am 10 02 2021].

GEMÜ , G. M. A. G. & Co. KG., 2020. *moodle ProjeR*. [Online]
Available at: <https://moodle.hm.edu/course/view.php?id=5969>
[Zugriff am 09 02 2021].

Ilg, S., 2018. *Kunststoffteile in Kleinserie herstellen*. [Online]
Available at: <https://vioproto.de/blog/kunststoffteile-kleinserie-herstellen/>
[Zugriff am 25 01 2021].

K&B Kunststoffdreherei GmbH, 2016. *Technisches Datenblatt PVDF*. [Online]
Available at: <https://kb-kunststoffdreherei.de/wp-content/uploads/2016/03/TD-PVDF.pdf>
[Zugriff am 21 01 2021].

Louis, 2021. *Abdeckkappen schwarz für Schrauben M6*. [Online]
Available at: https://www.louis.de/artikel/abdeckkappen-sets-fuer-metrische-schrauben/10006110?utm_medium=Ads&filter_article_number=10005535
[Zugriff am 19 01 2021].

Nuißl, I., 2020. *Berechnungen zum Verspannmechanismus*, s.l.: s.n.

Online Schrauben e.K., 2021. *Online Schrauben*. [Online]
Available at: <https://online-schrauben.de/shop/Stifte-ohne-Gewinde/DIN-6325-Zylinderstifte-Toleranzfeld-m6-aehnl.-ISO-8734-Form-A/Stahl/2,5-mm-Durchmesser>
[Zugriff am 04 02 2021].

Ottozeus GmbH, 2019. *Ottozeus - MD Megabond 3000*. [Online]
Available at: <https://www.ottozeus.de/md-megabond-3000-mdmegabond3000g.html>
[Zugriff am 21 01 2021].

Ottozeus GmbH, 2019. *Ottozeus - Technicoll 9403*. [Online]
Available at: <https://www.ottozeus.de/technicollr-9403-mma.html>
[Zugriff am 21 01 2021].

Ottozeus GmbH, 2019. *Ottozeus - Technicoll 9464*. [Online]
Available at: <https://www.ottozeus.de/technicollr-9464-628.html>
[Zugriff am 21 01 2021].

Polymehr GmbH, 2015. *Produktinformationen PEEK*. [Online]
Available at: <https://www.polymehr.com/wp-content/uploads/technisches-datenblatt-peek.pdf>
[Zugriff am 12 01 2021].

Preibisch, H., 2020. *Deutscher Kaffeeverband*. [Online]
Available at: <https://www.kaffeeverband.de/de/presse/tag-des-kaffees-2020-kaffeesspenden>
[Zugriff am 07 02 2020].

Rapidobject GmbH, 2021. *Rapidobject - Warenkorb*. [Online]
Available at: <https://upload.rapidobject.com/upload#!upload>
[Zugriff am 11 02 2021].

Rapidobject GmbH, 2021. *Rapidobject - Multi Jet Fusion (MJF)*. [Online]
Available at: https://www.rapidobject.com/de/Wissenswertes/3D-Druckverfahren/Multi-Jet-Fusion-MJF_1301.html
[Zugriff am 11 02 2021].

Reitter, G. K. D.-I. (., 2013. *4Ming Technologies*. [Online]
Available at: <https://www.4ming.de/index.php/leichtbau-durch-sicken-fachbuch?start=5>
[Zugriff am 16 11 2020].

Rohren, A. D.-I., 2020. *Technische Beeinflussbarkeit der Geschmacksache Kaffee*, s.l.: s.n.

Schott, 2000. *Schott Duran - Röhren, Kapillaren und Stäbe aus Borosilikatglas 3.3*,
Mitterteich: s.n.

Schrauben Guentiger, 2020. *Schrauben guentiger - Paßscheiben*. [Online]
Available at: <https://www.schrauben-guentiger.de/Unterlegscheiben/Passscheiben-DIN-988/Passscheiben-DIN-988--62-mm/Passscheiben-DIN-988-15-x-9-x-0-1-mm-10-Stk--21995-22032-22048-22116.html>
[Zugriff am 04 02 2021].

Steinke, M., 2018. *Ergotherapie Steinke Wriezen*. [Online]
Available at: <https://ergotherapie-steinke-wriezen.de/assets/ergowrz-handkraft.pdf>
[Zugriff am 29 12 2020].

Steppe, C., 2018. *KWO® MultiTex® Band*. [Online]
Available at: <https://www.kwo-ptfe.de/de/ptfe-dichtung/ptfe-band/kwo-multitex-band>
[Zugriff am 06 02 2021].

Wittel, H., Jannasch, D., Voßiek, J., Spura, C., 2017. *Roloff/Matek Maschinenelemente - Normung, Berechnung, Gestaltung*. 23. Auflage Hrsg. Wiesbaden: Springer Vieweg.

Wittel, H., Jannasch, D., Voßiek, J., Spura, C., 2017. *Roloff/Matek Maschinenelemente - Tabellenbuch*. 23. Auflage Hrsg. Wiesbaden: Springer Vieweg.

Xometry Europe GmbH, 2021. *Xometry*. [Online]
Available at: <https://xometry.de/en/>
[Zugriff am 09 02 2021].

Anhang

Nr.1: SAHLBERG

Nr.2: Gewicht des Boilers

Nr.3: Kostenermittlung Auffangbehälter

Nr.4: Wöhr

Hochschule München
Fakultät 03
Dachauer Straße 98 b
80335 München

ANGEBOT

Seite : 1 / 1

Angebots-Nr.:	AG228694-1
Datum:	02.02.2021
Kunden-Nr.:	14366
Ihr Ansprechpartner:	Frau Heck
Telefon:	089/99135-146
Fax:	089/99135-120
E-Mail:	Sandy.Heck@sahlberg.de
Lieferbedingung:	CPT Lieferort (gegen Berechnung)
Versand:	Hansetrans / Tour

Anfrage Nr. : Kom.: KWO

Anfrage vom : 01.02.2021

Ihr Zeichen : Frau Schuster

Pos	Artikel-Nr.	Menge	ME	PE	Einzelpreis	Gesamtpreis
	Artikelbezeichnung	Basis	Zuschlag		EUR LT abgehend	EUR
10	251204 PTFE Dichtband 7x2,5 mm 25 m lang Zolltarifnr.: 39209959 Ursprungsland DE (DEUTSCHLAND) Ursprungspräferenz: ja	25,000	M	1	4,17	104,25
Lieferzeit ab Lager, Zwischenverkauf vorbehalten !						

Ihre Ust-Id-Nr.: DE811335517

Zahlungsbedingung: 14 Tage netto	Nettowert 104,25 EUR	MwSt 19,0 %	MwSt.-Wert 19,81 EUR	Bruttowert 124,06 EUR
--	--------------------------------	-----------------------	--------------------------------	---------------------------------

ME: Mengeneinheit PE: Preiseinheit LT: voraussichtlicher Liefertermin abgehend A: Alternativposition
Sämtliche, auch zukünftige Verträge unterliegen unseren jeweils gültigen Allgemeinen Verkaufsbedingungen. Diese sind unter www.sahlberg.de abrufbar. Gerne senden wir Ihnen auf Nachfrage auch ein Exemplar zu.



Measure Inertia

Definition

Selection: Boiler

Result

Calculation mode: Exact

Type: Volume

Characteristics		Center Of Gravity (G)	
Volume	0,001m3	Gx	720,613mm
Area	0,625m2	Gy	-161,171mm
Mass	3,467kg	Gz	104,021mm
Density	Not uniform		

Inertia / G | Inertia / O | Inertia / P | Inertia / Axis | Inertia / Axis System

Inertia Matrix / G

loxG	0,039kgxm2	loyG	0,039kgxm2	lozG	0,012kgxm2
lxyG	2,711e-005kgxm2	lxzG	-2,515e-004kgxm2	lyzG	1,152e-004kgxm2

Principal Moments / G

M1	0,012kgxm2	M2	0,039kgxm2	M3	0,039kgxm2
----	------------	----	------------	----	------------

Keep measure

Create geometry Export Customize...

OK Cancel

Kostenermittlung: Auffangbehälter

Online Anfrage an Rapidobject:

Variante 1:

re 3D-Modelle

Angebotsnummer: 317102 Ihre Bestellbezeichnung: _____


	317102_654629_20210207_Auffangbehalte	Material:	PA12 Grau (beliebt) ⓘ	Stückzahl:	100	Einzelpreis:	13,14 €
	Status: Modellparameter ermittelt Abmessung: 83,65 x 83,65 x 28,00 mm Volumen: 18,02 cm ³ Einzelkörper: 1 ▶ 3D Vorschau	Methode:	MJF (ähnlich SLS, von HP) ⓘ				exkl. MwSt.

[Material ändern](#)

Variante 2:

3D-Modelle

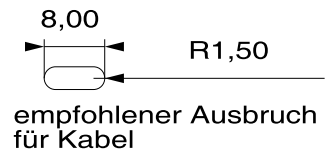
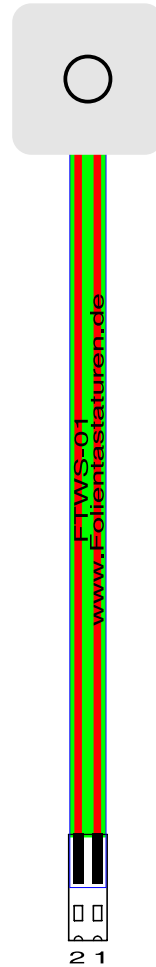
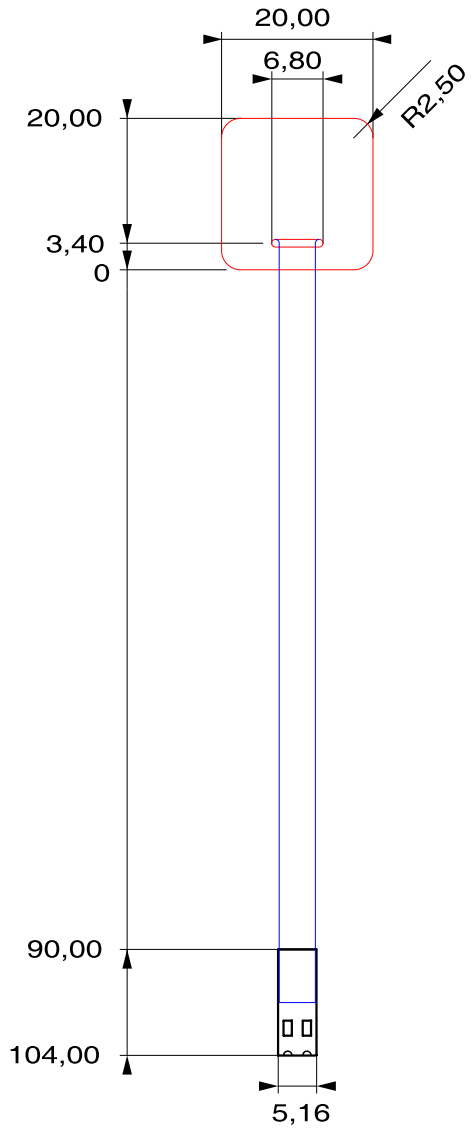
Angebotsnummer: 317259 Ihre Bestellbezeichnung: _____

	317259_655095_20210208_Auffangbehalte	Material:	PA12 Grau (beliebt) ⓘ	Stückzahl:	100	Einzelpreis:	34,85 €
	Status: Modellparameter ermittelt Abmessung: 169,71 x 164,57 x 20,00 mm Volumen: 46,62 cm ³ Einzelkörper: 1 ▶ 3D Vorschau	Methode:	MJF (ähnlich SLS, von HP) ⓘ				exkl. MwSt.

[Material ändern](#)

Notizen:

Fügen Sie Ihrem Modell zusätzliche Informationen zu (z.B.: Ausrichtung,



Eigenschaften:

Folientastatur FTWS-01

- Frontfolie und Schaltungsträger aus Polyester
- Schnappscheibe vergoldet (1 Mio. Schaltspiele bauteiltypisch)
- Betriebstemperatur 0°C bis 45°C
- Transporttemperatur -30°C bis 70°C
- Betätigungskraft ca. 3 N
- Schaltspannung min. 100mV max. 42V
- Schaltstrom min. 0,5mA max. 100mA
- Schaltleistung max. 0,6W
- Leitungswiderstand ca. 20 - 40Ω
- Kontaktierung RM 2,54mm □ 0,635
- Tastfläche rund geprägt
- Tastaturdicke 0,80mm

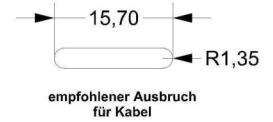
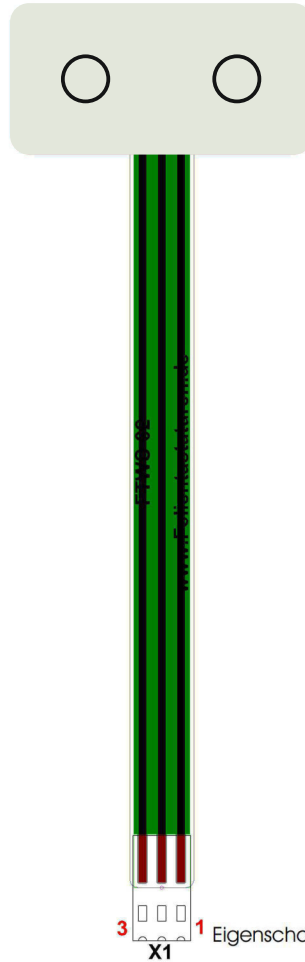
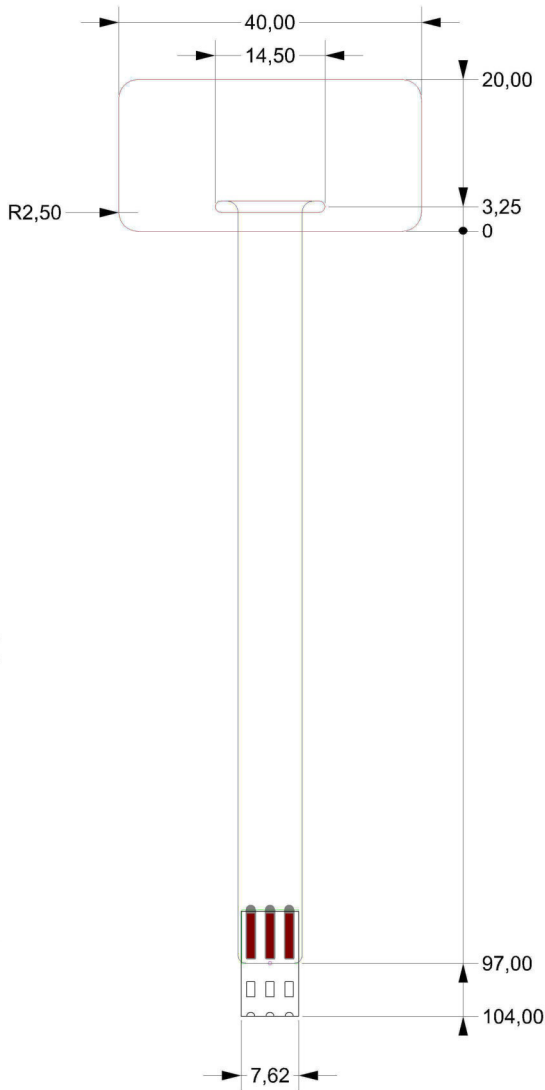
Kundenspezifische Modifikation auf Anfrage möglich.

**RICHARD
WÖHR**
GMBH

	Datum	Name	Maßstab: 1:1.00
Bearb.	30.06.06	Bommer	
Gepr.			
Art.Nr.: FTWS-01			
ZCHG.-Nr.:			Blatt 1 / 1

Draufsicht Frontseite

rote Zahlen = Pinbelegung am Folienkabel
 umrahmte Zahlen an LED = Kathode
 Kontaktflächen sind nach Oben gerichtet.



Weitergabe sowie Vervielfältigung dieses Dokuments, Verwertung und Mitteilung seines Inhalts sind verboten, soweit nicht ausdrücklich gestattet. Zuwiderhandlungen verpflichten zu Schadenersatz. Alle Rechte für den Fall der Patent-, Gebrauchsmuster- oder Geschmacksmusterertragung vorbehalten.

3 1 Eigenschaften:

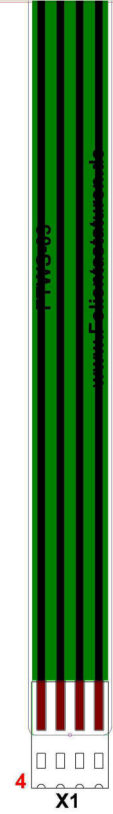
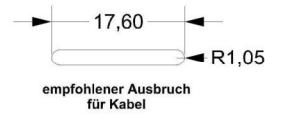
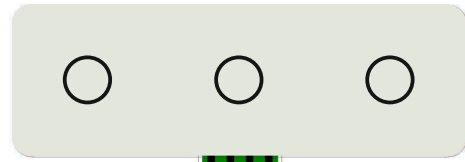
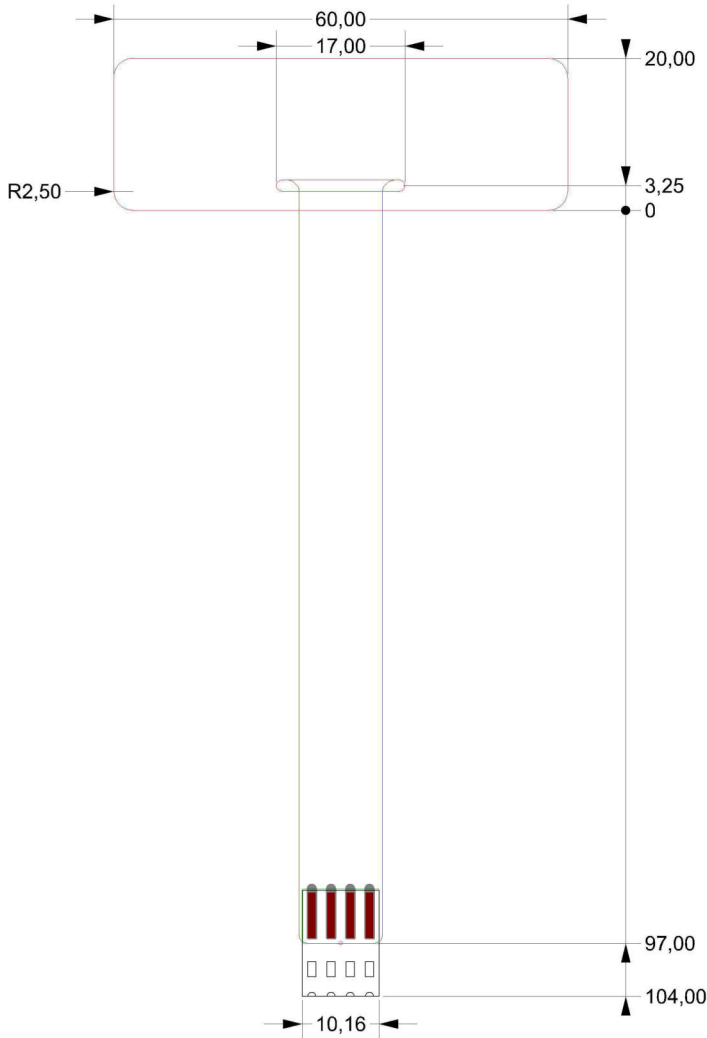
- Frontfolie und Schaltungsträger aus Polyester
- Schnappscheibe vergoldet (1 Mio. Schaltspiele bauteiltypisch)
- Betriebstemperatur 0°C bis 45°C
- Transporttemperatur -30°C bis 70°C
- Betätigungskraft ca. 3 N
- Schaltspannung min. 100mV max. 42V
- Schaltstrom min. 0,5mA max. 100mA
- Schaltleistung max. 0,6W
- Leitungswiderstand ca. 20 - 40Ω
- Kontaktierung RM 2,54mm □ 0,635
- Tastfläche rund geprägt
- Tastaturdicke 0,80mm

Kundenspezifische Modifikation auf Anfrage möglich.

		Datum	Name		Maßstab: 1:1.00
	Bearb.	19.12.2018	Angheluta	Art.Nr.: FTWS-02	
	Gepr.				
	INDEX: 01			Beschr.: Folientastatur 2 Tasten	Blatt: 1 / 1

Draufsicht Frontseite

rote Zahlen = Pinbelegung am Folienkabel
 umrahmte Zahlen an LED = Kathode
 Kontaktflächen sind nach Oben gerichtet.





Eigenschaften:

- Frontfolie und Schaltungsträger aus Polyester
- Schnappscheibe vergoldet (1 Mio. Schaltspiele bauteiltypisch)
- Betriebstemperatur 0°C bis 45°C
- Transporttemperatur -30°C bis 70°C
- Betätigungskraft ca. 3 N
- Schaltspannung min. 100mV max. 42V
- Schaltstrom min. 0,5mA max. 100mA
- Schalleistung max. 0,6W
- Leitungswiderstand ca. 20 - 40Ω
- Kontaktierung RM 2,54mm □ 0,635
- Tastfläche rund geprägt
- Tastaturdicke 0,80mm

Kundenspezifische Modifikation auf Anfrage möglich.

Weitergabe sowie Vervielfältigung dieses Dokuments, Verwertung und Mitteilung seines Inhalts sind verboten, soweit nicht ausdrücklich gestattet. Zuwiderhandlungen verpflichten zu Schadenersatz. Alle Rechte für den Fall der Patent-, Gebrauchsmuster- oder Geschmacksmerkmalen vorbehalten.

 RICHARD WÖHR GMBH		Datum	Name		Maßstab: 1:1.00
	Bearb.	08.01.2019	Angheluta	Art.Nr.: FTWS-03	
	Gepr.				
	INDEX: 01			Beschr.: Folientastatur 3 Tasten	Blatt: 1 / 1