

Technische Beeinflussbarkeit der Geschmackssache Kaffee

Entwicklung einer modularen Siebträger- Espressomaschine

Erforschung von Maßnahmen zur wirtschaftlichen Fertigung
in Kleinststückzahlen



Technische Beeinflussbarkeit der Geschmackssache Kaffee

Vorstellung des Projekts

Ziele des Forschungsprojekts an der Hochschule München:

- Erforschung von relevanten Bezugsparametern der Kaffeezubereitung
- Erprobung von technischen Konzepten, wie sich relevante Bezugsparameter von Tasse zu Tasse beeinflussen lassen



Ziel: Entwicklung von Siebträger-Espressomaschinen mit maximaler Energieeffizienz und vollständiger Parametrierbarkeit

- | | |
|--------------------------------------|---|
| 1. Labortechnische Espressomaschine: | 3,6 Liter-Stahlboiler mit 1.800 Watt Heizleistung
Eine unbeheizte Brühgruppe für Laborbetrieb
Sonderfertigung auf Anfrage |
| 2. Glasboiler-Maschine „MMM Style“: | 2,4 Liter-Borosilikat-Glasboiler mit 1.000 Watt Heizleistung
Eine oder zwei unbeheizte Brühgruppen für Privat- oder Gastro-Betrieb
Serienfertigung im Manufakturbetrieb |

Technische Beeinflussbarkeit der Geschmackssache Kaffee

Grundlagen der Kaffeezubereitung

Herausforderungen

- Veränderung der Bezugsparameter von Tasse zu Tasse stellt enorme Herausforderung dar
- Innerhalb der Branche und Fachliteratur kursieren unterschiedliche Auffassungen über die idealen Parameter zur Zubereitung eines perfekten Espressos (vgl. Tabelle 1):

Tabelle 1: Übersicht der empfohlenen Extraktionsparameter für Espressomaschinen in der Fachliteratur (in Anlehnung an [1])

Menge Kaffeemehl	Flowrate	Espresso- Volumen	Extraktionszeit	Bezugstemperatur		Primärquelle (zitiert nach [1])
				Eintritt [°C]	Austritt [°C]	
¹ 14,5 ± 0,2	2	51,4 ± 1,2	25 – 30	92	79,6 ± 3	[2]
² 7,12 ± 0,4	0,95 ± 0,3	22,04 ± 3,92	23,2 ± 8,00	k.A.	k.A.	[3]
² 7,5	1,90	40	21 ± 2	92	86 ± 2	[4]
² 7,5	1	25	25	83	68 ± 1,5	[5]

¹: Menge für doppelten Espresso; ²: Menge für einfachen Espresso
Werte ± Standardabweichung; k.A.: keine Angabe

Technische Beeinflussbarkeit der Geschmackssache Kaffee

Maschinenkonzept der Glasboiler-Maschine

Konzeptbeschreibung

- Parametrierbarkeit durch leistungsgeregelte Bezugsstränge
 - ➔ Simulation jeder handelsüblichen Maschine möglich
- Energieeffizienz durch Verwendung von Materialien mit geringer Wärmeaufnahme
 - ➔ Kurze Aufheizzeiten und geringer Energieverbrauch im Betrieb
- Emotionalität durch Sichtbarkeit des sprudelnden Wassers während des Betriebs

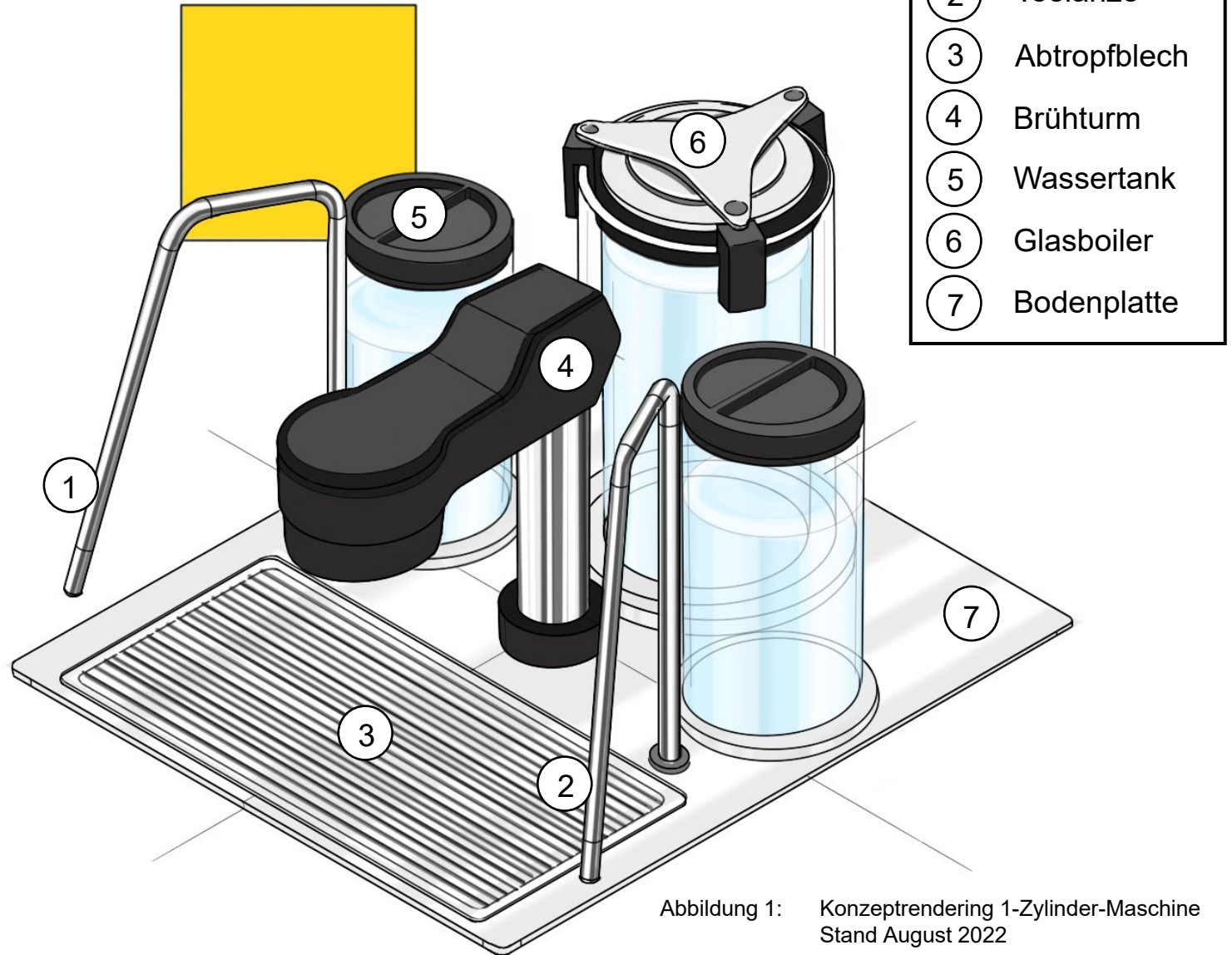


Abbildung 1: Konzeptrendering 1-Zylinder-Maschine
Stand August 2022

Technische Beeinflussbarkeit der Geschmackssache Kaffee

Ausgangssituation und Aufgabenstellung

Definition des Wortes „Manufaktur“ nach [6]:

„Gewerblicher Kleinbetrieb, in dem stark spezialisierte Produkte in Handarbeit hergestellt werden, was zu einer hohen Qualität führt.“

Merkmale des Manufakturbetriebs:

- Fertigung und Montage überwiegend in Handarbeit
- Hohe Qualität
- Geringe Stückzahlen
- Zugehörigkeit zum Premium-Segment

Technische Beeinflussbarkeit der Geschmackssache Kaffee

Ausgangssituation und Aufgabenstellung

Kostenstrukturen der 1-Zylinder- und 2-Zylinder-Maschine

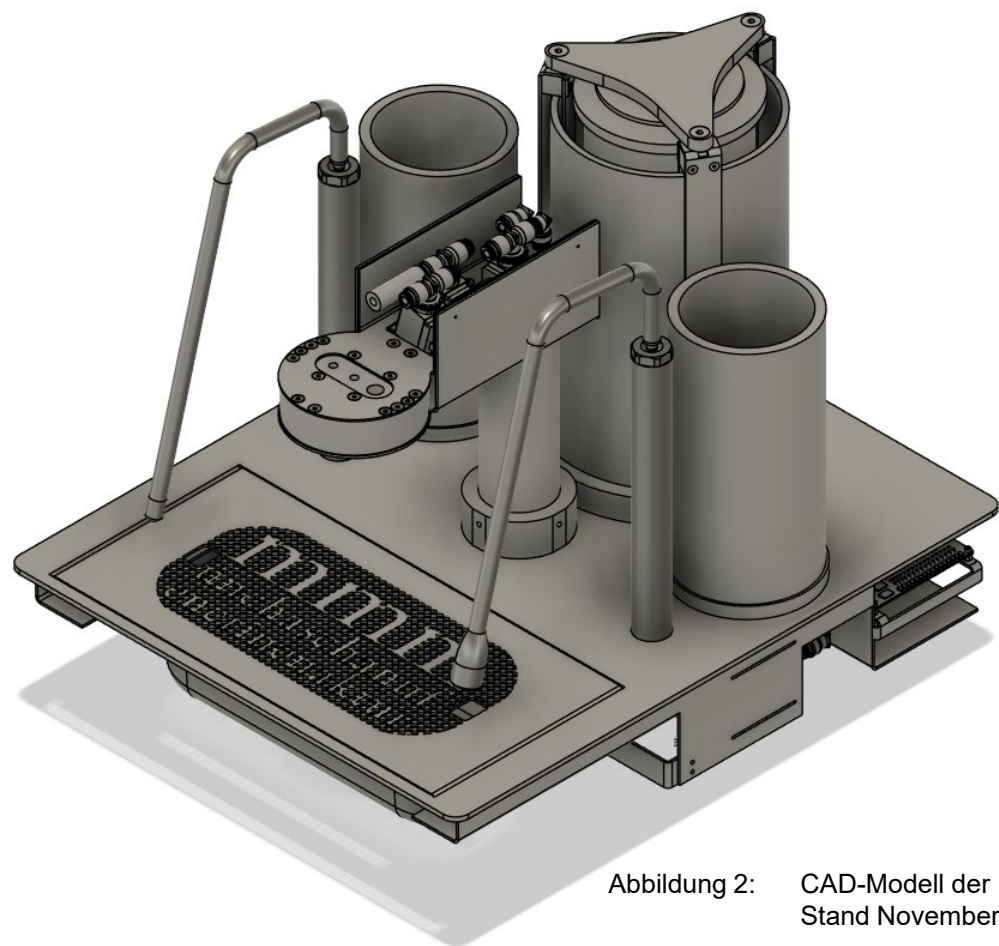


Abbildung 2: CAD-Modell der 1-Zylinder-Maschine
Stand November 2023

Tabelle 2: Angestrebte Stückzahlen und Kostenstrukturen		
	1-Zylinder	2-Zylinder
Produktionsvolumen je Jahr	25 – 50 Einheiten	50 – 100 Einheiten
Verkaufspreis (netto)	12.000 €	21.000 €
Händlermarge	4.000 €	7.000 €
Herstellkosten	4.000 €	7.000 €
Marge je Einheit	4.000 €	7.000 €
Mehrwertsteuer	2.280 €	3.990 €
Verkaufspreis (brutto)	14.280 €	24.990 €

Technische Beeinflussbarkeit der Geschmackssache Kaffee

Ausgangssituation und Aufgabenstellung

Problemstellung

- In der Literatur vermittelte Strategien zur Kostenoptimierung in der Produktentwicklung beziehen sich meist auf Unternehmen mit eigener Fertigung und den industriellen Maßstab
- Keine Literatur zum Thema Kostenoptimierung im Manufakturbetrieb



ABER: Durch die speziellen Rahmenbedingungen und die niedrigen Stückzahlen im Manufakturbetrieb ist kostenoptimierte Produktentwicklung umso wichtiger

Forschungsfragen

1. Welche Anforderungen stellt der Manufakturbetrieb an den gesamten Entwicklungsprozess mit Fokus auf Projektmanagement, Konstruktion, Fertigung und Montage?
2. Welche der in der gängigen in der Literatur vermittelten Strategien zur Kostenoptimierung sind auf den Manufakturbetrieb anwendbar?
3. Unter welchen Rahmenbedingungen ist der Manufakturbetrieb wirtschaftlich realisierbar?

Recherche und Analyse

Maschinenkonzept der 2-Zylinder-Maschine

- Durch die geplante Fertigung im Manufakturbetrieb ergeben sich spezielle Anforderungen an die Entwicklung und Konstruktion:

Tabelle 3: Allgemeine Anforderungen an die Entwicklung und Konstruktion für den Manufakturbetrieb

Nr.	Beschreibung
01	Für die Entwicklung sollen möglichst viele genormte, handelsübliche Zukaufteile verwendet werden
02	Eigens konstruierte Teile müssen auf ein Minimum reduziert werden
03	Alle Konstruktionsteile werden ausschließlich über Fremdfertigung hergestellt
04	Alle Konstruktionsteile werden über handelsübliche Halbzeuge aus Standard-Materialien gefertigt
05	Bei den gewählten Fertigungsmethoden der Konstruktionsteile dürfen keine Werkzeugkosten anfallen
06	Zwischen beiden Maschinentypen sollen möglichst viele Gleichteile sowie identisch ausgeführte Komponenten und Baugruppen verwendet werden
07	Für das Varianten- und Teilemanagement muss ein funktionierendes Teilenummernkonzept erstellt werden
08	Die Montage muss per Hand und ohne Sonderwerkzeuge oder Hilfsmittel realisierbar sein

Recherche und Analyse

Maschinenkonzept der 2-Zylinder-Maschine

Kernfunktionen der 2-Zylinder-Maschine

- Erweiterung der 1-Zylinder-Maschine auf
 - Zwei Boiler mit je 2,4 Liter Volumen und je einem 1000 W-Heizelement
 - Drei Tanks mit je 1,2 Liter Volumen
 - Zwei Brühltürme mit je einer unbeheizten Brühgruppe
- Fertigungstoleranzen der Glasrohre und Leistungstoleranzen der Heizelemente resultieren im Extremfall in einem Temperaturunterschied von rund 30 °C zwischen den Boilern

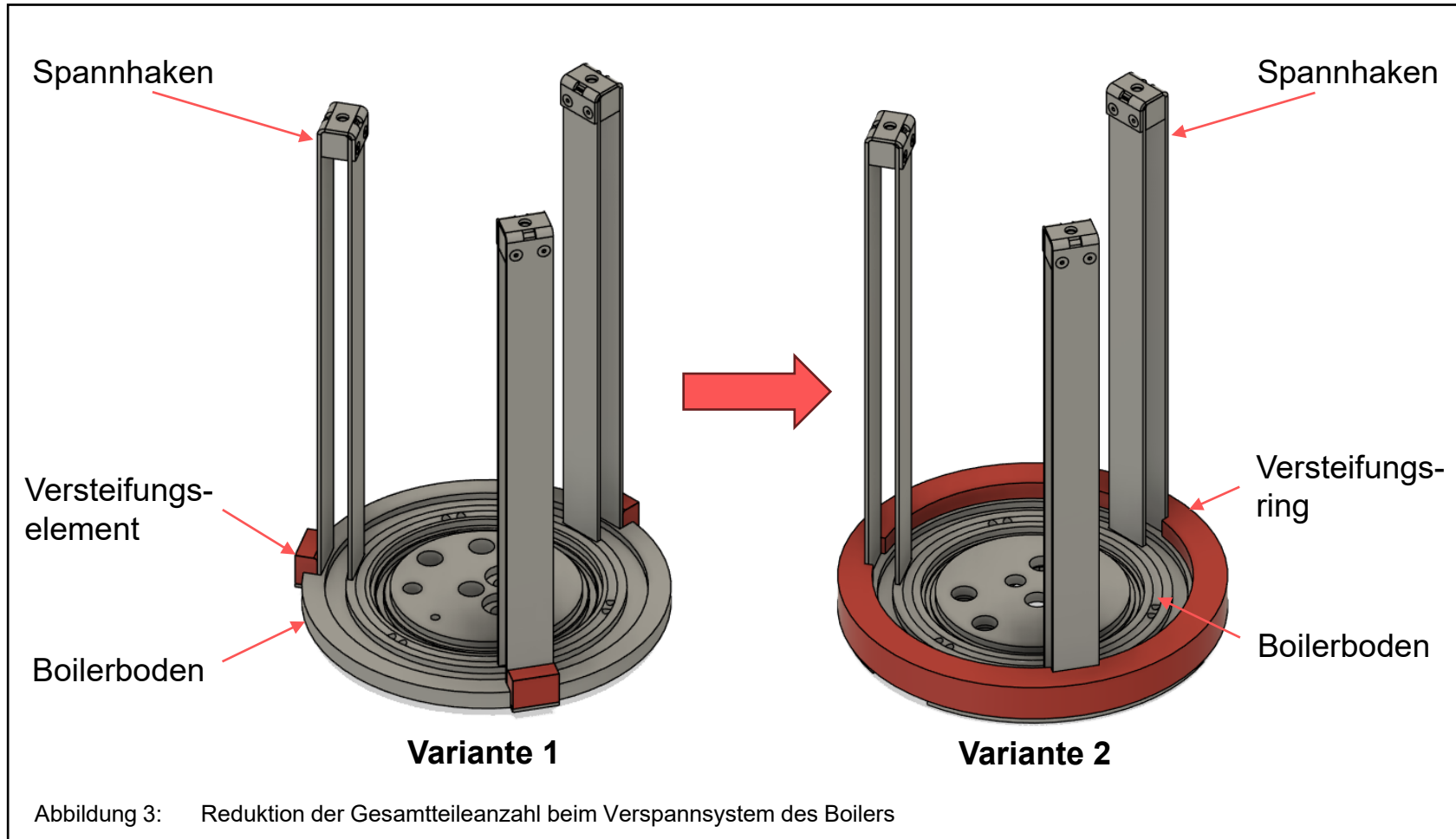
Resultat: Beide Boiler können nicht in Parallelschaltung betrieben werden

- ➡ Implementierung von separaten Kreisläufen mit einer Pumpe je Boiler und aneinander gekoppelten Dampfblasen
- ➡ Betrieb des langsam aufheizenden Boilers über Druckregler
- ➡ Betrieb des schnell aufheizenden Boilers über Temperaturfolgeregler

Konzeption und Entwicklung

Durchgeführte Optimierungen während der Entwicklung

Verringerung der Teilevielfalt und Gesamtteileanzahl



Beispiel:

Ausführung der unteren Versteifungselemente als Ring

- Erleichterte Montage durch weniger Einzelteile
- Verringerte Gesamtteileanzahl und Fertigungskosten

Konzeption und Entwicklung

Durchgeführte Optimierungen während der Entwicklung

Wahl von Material, Fertigungstechniken und Verbindungsmethoden

Beispiel: Vergleich der entstehenden Fertigungskosten für den Kunststoffkern der Brühgruppe

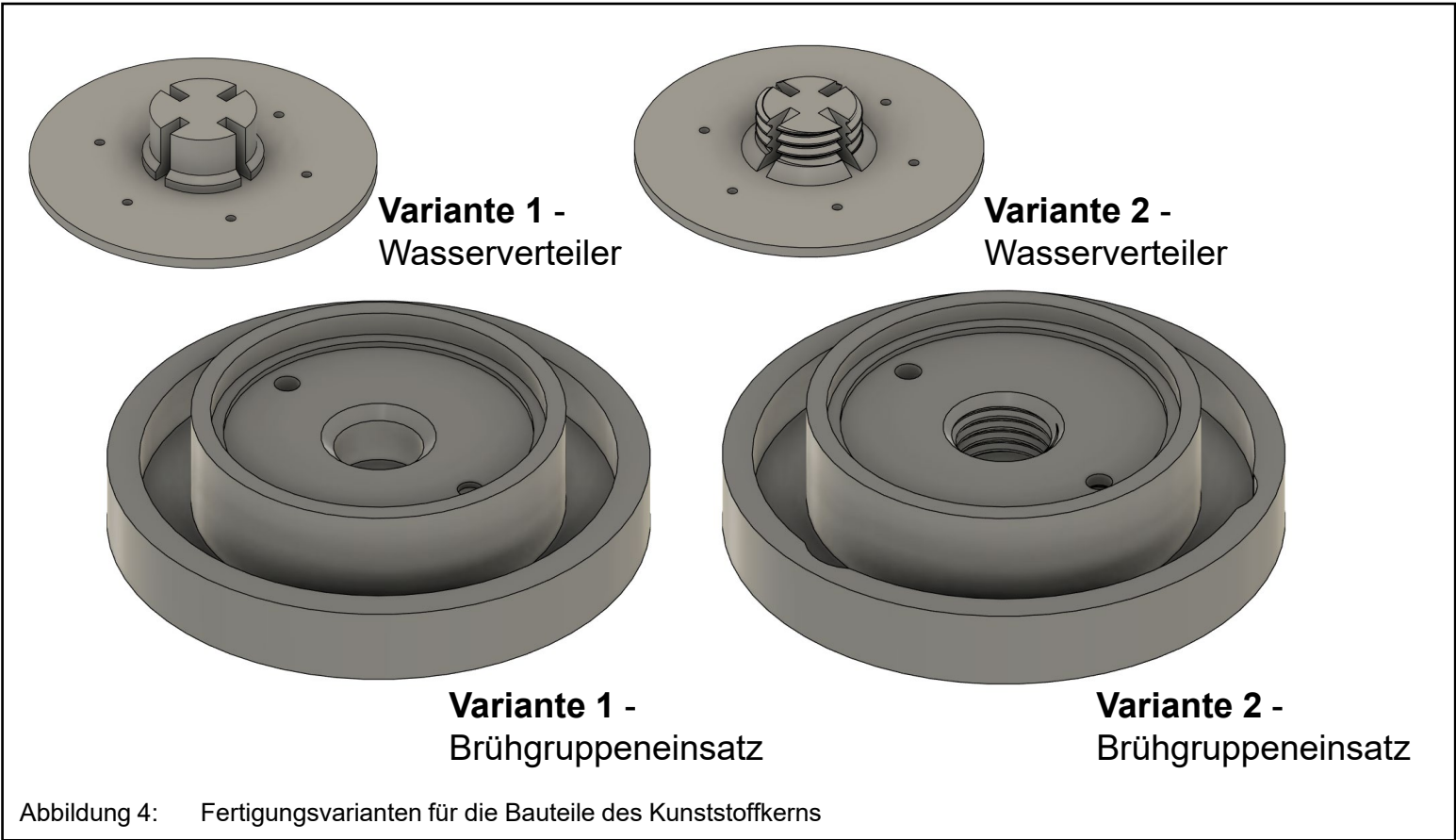


Tabelle 4: Kostenvergleich der Fertigung für den Kunststoffkern der Brühgruppe		
	Variante 1	Variante 2
Fertigung	Zerspanen	FLM-Druck
Material	PVDF	Greentec PRO
Wasserverteiler (Preis/Stk)	27,13 €	9,11 €
Brühgruppen-einsatz (Preis/Stk)	94,12 €	13,47 €
Gesamtkosten	121,25 €	22,58 €

Abbildung 4: Fertigungsvarianten für die Bauteile des Kunststoffkerns

Konzeption und Entwicklung

Durchgeführte Optimierungen während der Entwicklung

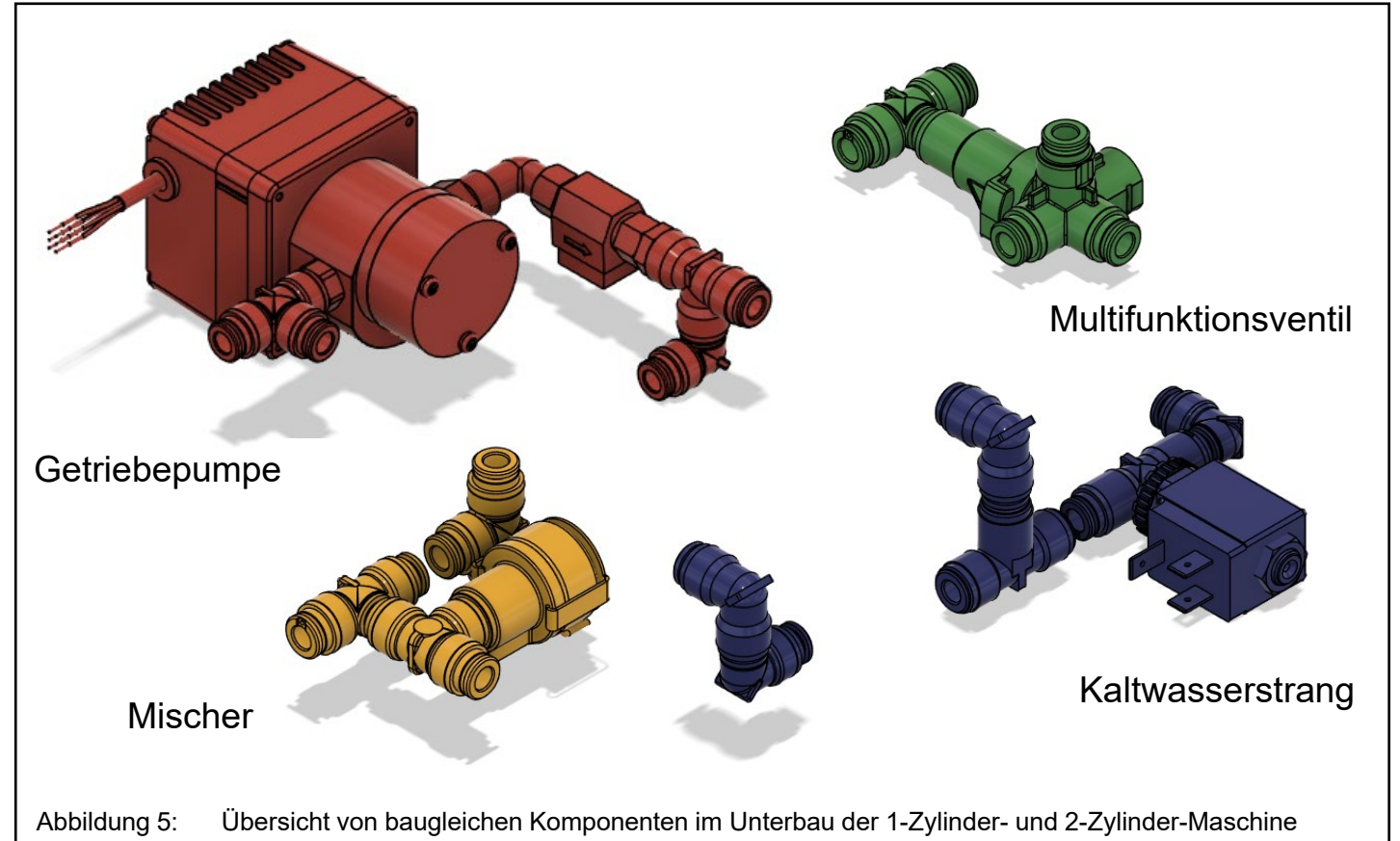
Baukastenkonstruktion und Modularisierung

Beispiel: Untergliederung von Leitungssträngen in vormontierbare Komponenten

Ziel: Identische Verwendung innerhalb einer Maschine oder über mehrere Maschinenvarianten hinweg

- Einlagerung im vormontierten Zustand
- Komponenten werden erst im Zuge der Endmontage im entsprechenden Maschinentyp verbaut

➔ Späte Variantenerzeugung



Konzeption und Entwicklung

Durchgeführte Optimierungen während der Entwicklung

Baukastenkonstruktion und Modularisierung

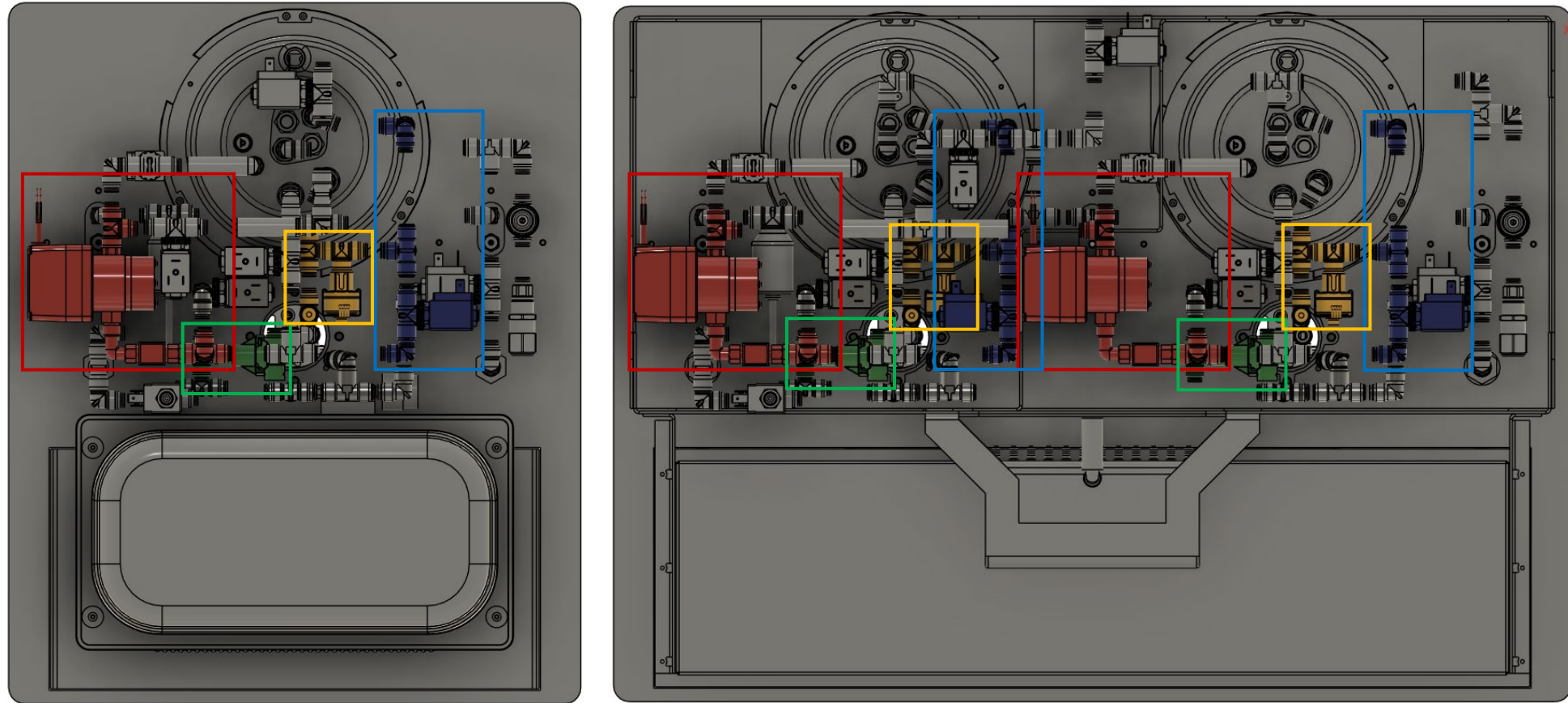
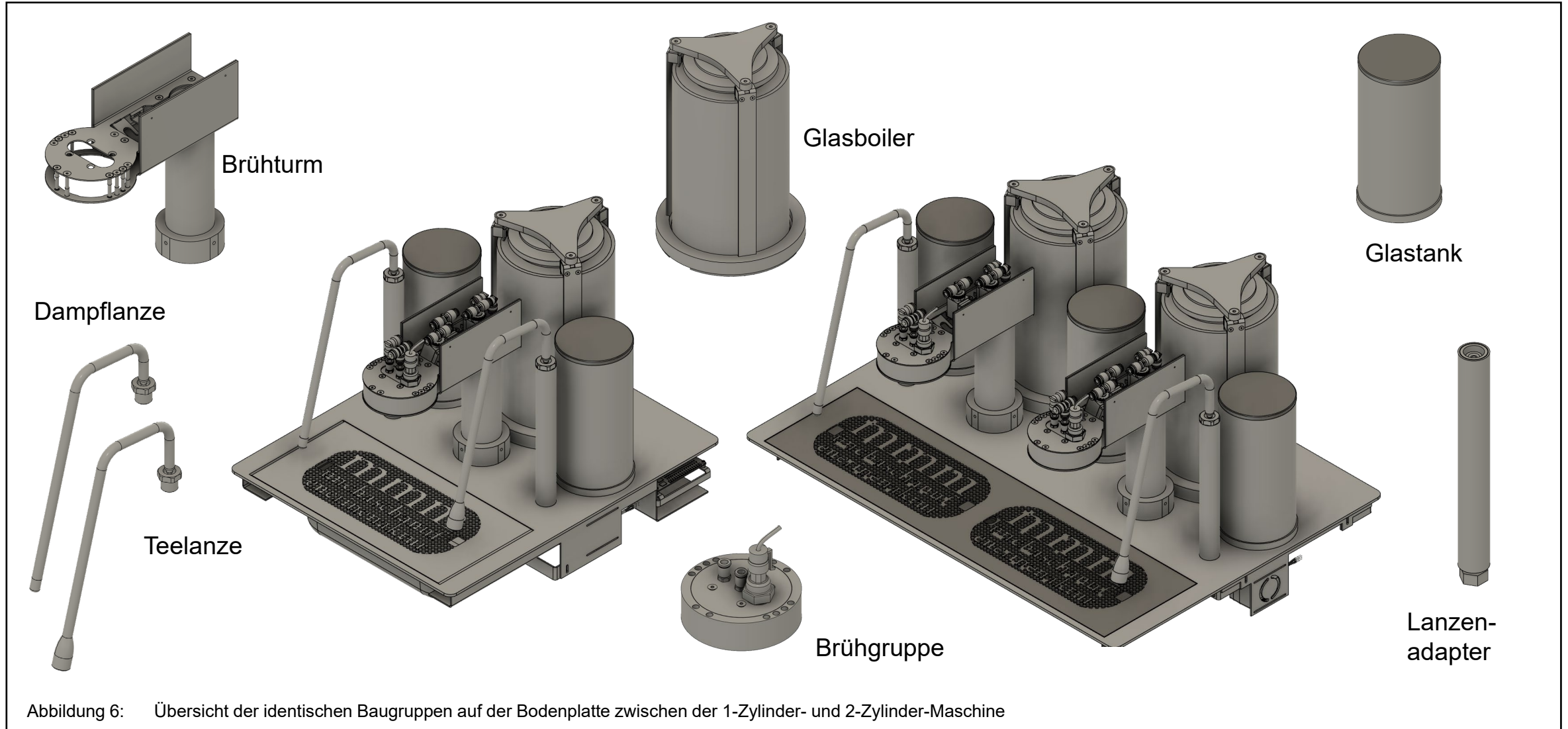


Abbildung 6: Unten-Ansicht des Unterbaus der 1-Zylinder- und 2-Zylinder-Maschine mit Markierung der identischen Komponenten

Konzeption und Entwicklung

Übersicht der identischen Baugruppen auf der Bodenplatte



Evaluation

Aktueller Kostenstand der 1-Zylinder- und 2-Zylinder-Maschine

Tabelle 5: Abgleich von Zielkostenstruktur und Kostenplanungsstand		
Zielkostenstruktur	1-Zylinder-Maschine	2-Zylinder-Maschine
Brutto inkl. Mwst.	14.280 €	24.990 €
Netto exkl. Mwst.	12.000 €	21.000 €
Vertrieb und Service	4.000 €	7.000 €
Nettoerlös	8.000 €	14.000 €
Herstellkosten je Einheit	4.000 €	7.000 €
Marge je Einheit	4.000 €	7.000 €
Kostenplanungsstand	1-Zylinder-Maschine	2-Zylinder-Maschine
Material- und Fertigungskosten <i>Stand: 14.05.2024</i>	3.074 € (Losgröße 10)	6.363 € (Losgröße 3)
Montagekosten	175 €	210 €
Herstellkosten je Einheit	3.249 €	6.573 €
Marge je Einheit (Plan)	4.751 €	7.427 €

Evaluation

Kostenoptimierung der stückzahlabhängigen Bauteile

Maßnahme 1:

- Verwendung von additiven Fertigungsverfahren wie FLM-Druck zur Fertigung von Bauteilen aus technischem Kunststoff

➡ Greentec PRO Filament ist lebensmittelzertifiziert, temperaturbeständig und lässt sich über Desktop-3D-Drucker verdrucken

➡ Im Vergleich zu PVDF und Zerspanen deutlich günstiger

➡ Kein Risiko durch die geplante PFAS-Beschränkung auf EU-Ebene

ABER: Aufbau eigener Fertigungskapazitäten erforderlich

➡ Anschaffung von 10 – 15 FLM-Druckern mit Investitionskosten von rund 15.000 €

Tabelle 6: Vergleich der Material- und Fertigungskosten für die Kunststoffteile

Bauteile	Zerspanen (Preis / Stück)	FLM-Druck (Preis / Stück)
Boilerdeckel	40,43 €	15,83 €
Boilerboden	148,58 €	25,30 €
Auffangbehälter	77,00 €	10,71 €
Tankdeckel	31,95 €	11,10 €
Tankboden	39,79 €	11,36 €
Brühgruppeneinsatz	94,12 €	13,47 €
Wasserverteiler	27,13 €	9,11 €
Gesamt	459,00 €	96,88 €

Evaluation

Kostenoptimierung der stückzahlabhängigen Bauteile

Maßnahme 2:

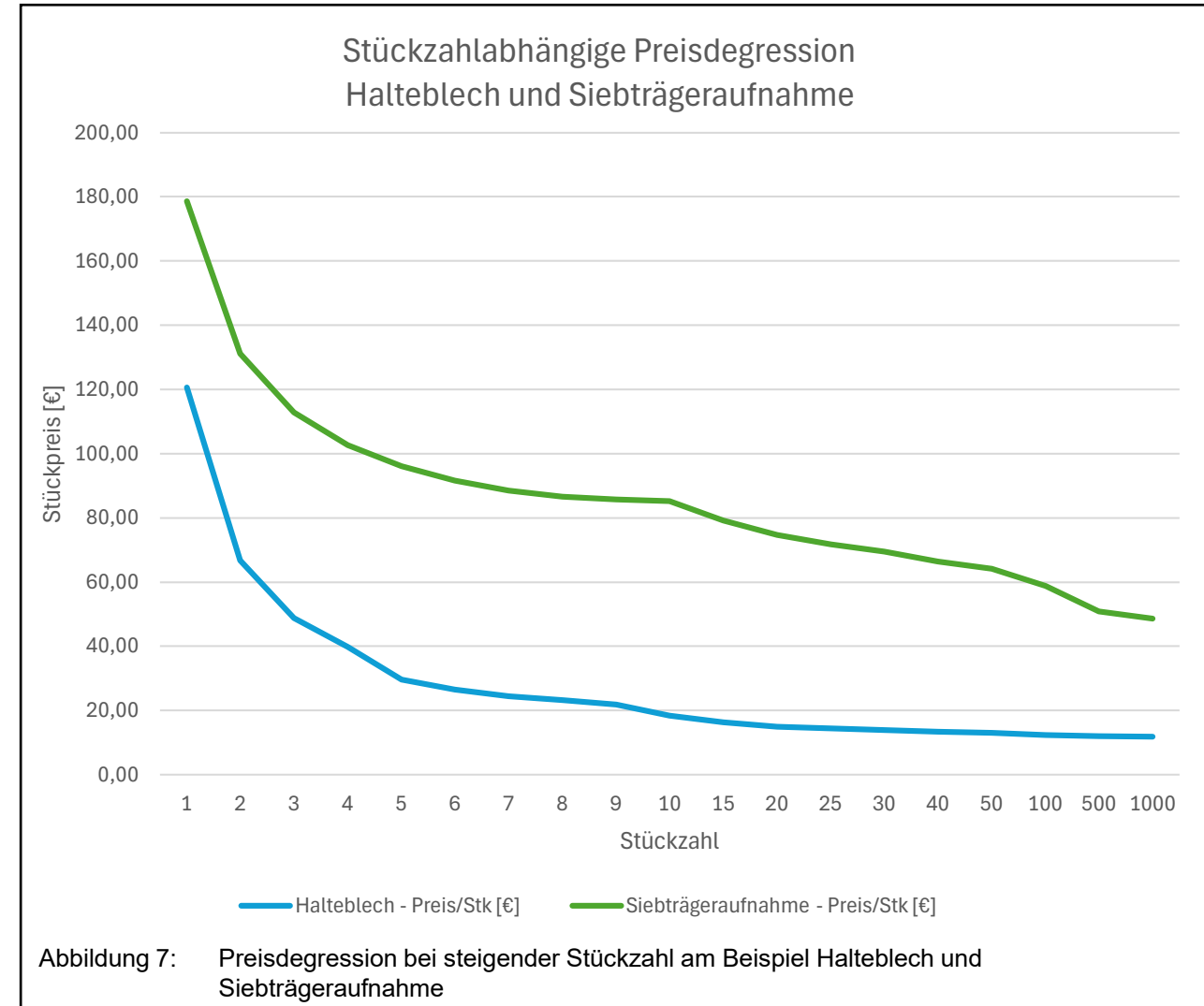
- Erhöhung der Produktionsvolumen durch Zusammenlegung der Serienfertigung

➡ Fertigung von 10 1-Zylinder- und 25 2-Zylinder-Maschinen in halbjährlichem Turnus

➡ Stückzahlen von Gleichteilen erhöhen sich deutlich

Tabelle 7: Stückzahlabhängige Preisdegression bei Gleichteilen

	Losgröße 10	Losgröße 60
Halteblech (Preis/Stk)	17,88 €	12,77 €
Siebträgeraufnahme (Preis/Stk)	85,16 €	62,60 €



Evaluation

Kostenoptimierung der stückzahlabhängigen Bauteile

Auswirkungen von Maßnahme 1:

Tabelle 8: Einsparungspotenziale der Fertigungskosten durch additive Fertigung der Kunststoffteile

	Zerspanen Kosten für Kunststoffteile	FLM-Druck Kosten für Kunststoffteile	Kosteneinsparung je Einheit
1-Zylinder-Maschine	530,74 €	119,34 €	411,40 €
2-Zylinder-Maschine	989,74 €	216,22 €	773,52 €

Auswirkungen von Maßnahme 2:

Tabelle 9: Einsparungspotenziale der Fertigungskosten durch gemeinsame Fertigung

	Losgröße 10 Kosten je Einheit	Serienfertigung Kosten je Einheit	Kosteneinsparung je Einheit
1-Zylinder-Maschine	3.074,23 €	2.698,32 €	375,91 €
2-Zylinder-Maschine	5.021,85 €	4.454,21 €	567,64 €

Technische Beeinflussbarkeit der Geschmackssache Kaffee

Zusammenfassung

Wichtigste Erkenntnisse:

Nicht alle Strategien zur Kostenoptimierung lassen sich auf den Manufakturbetrieb anwenden

- Geeignete Strategien:
 - Reduktion der Gesamtteileanzahl
 - Verwendung von möglichst vielen Gleichteilen zwischen Produktvarianten
 - Erhöhung der Produktionsvolumen stückzahlabhängiger Teile
 - Abwägung zwischen Eigen- und Fremdfertigung
 - Vermeidung von Werkzeugkosten und Verwendung von additiven Fertigungsverfahren
- Weniger geeignete Strategien:
 - Neuverhandlung von Preisen mit Lieferanten
 - Wenig Verhandlungsspielraum durch geringe Stückzahl
 - Kostenoptimierung auf Bauteilebene (z.B. Materialverbrauch) bei Fremdfertigung eher geringe Auswirkungen auf Material- und Fertigungskosten

Technische Beeinflussbarkeit der Geschmackssache Kaffee

Weiterer Projektverlauf

Ausstehende Arbeitspakete:

1. Abschluss der Konstruktion
2. Prototypenbau der 2-Zylinder-Maschine
3. Verifizierung von Teilenummernkonzept und Montierbarkeit
4. Umsetzung der Empfehlungen zur Kostenoptimierung
5. Evaluation der Eignung von additiver Fertigung für die Serie
6. Finalisierung der Elektronik

Literaturverzeichnis

Verwendete Quellen

- [1] *Corrochano, B. R.: Advancing the Engineering Understanding of Coffee Extraction. Dissertation an der University of Birmingham (2015)*

- [2] *Parenti, A., Guerrini, L., Masella, P., Spinelli, S., Calamai, L., and Spugnoli, P.: Comparison of espresso coffee brewing techniques. Journal of Food Engineering, 121, 112–117 (2014)*

- [3] *Romani, S., Severini, C., Fiore, A. G., and Pinnavaia, G.: Quality of “Espresso” coffee: a study performed through Italian coffee shops. In ASIC (Ed.), 20th International Conference on Coffee Science, 521–525, Bangalore, India (2004)*

- [4] *Andueza, S., De Peña, M. P., and Cid, C.: Chemical and sensorial characteristics of Espresso coffee as affected by grinding and torrefacto roast. Journal of Agricultural and Food Chemistry (2003)*

- [5] *Caporaso, N., Genovese, A., Canela, M. D., Civitella, A., and Sacchi, R.: Neapolitan coffee brew chemical analysis in comparison to espresso, moka and American brews. Food Research International, 61, 152–160, (2014)*

Literaturverzeichnis

Verwendete Quellen

[6] „Manufaktur“ auf Duden online: Onlinequelle

Link: <https://www.duden.de/rechtschreibung/Manufaktur> (Abrufdatum: 23.05.2024)

[7] Mörtl, M., Schmied, C.: *Design for Cost - A Review of Methods, Tools and Research Directions. Journal of the Indian Institute of Science* (2015)

[8] Ehrlenspiel, K., Kiewert, A., Lindemann, U., and Mörtl, M.: *Kostengünstig Entwickeln und Konstruieren. Kostenmanagement bei der integrierten Produktentwicklung. 8. Auflage. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg* (2020)

Anhang

Regelbare Kaffeebezugsparmeter innerhalb der Maschinen

Brühtemperatur [°C]:

- Kaltes Frischwasser wird innerhalb des Boilers auf 125 °C erhitzt
- Heißwasser aus dem Boiler wird über ein elektronisches Dosierventil mit kaltem Frischwasser vermischt
- Mischverhältnis von Heiß- und Kaltwasser bestimmt Brühtemperatur

➡ Direkt steuerbar über Stellung des Dosierventils

Flowrate/Durchflussrate [ml/s]:

- Flowrate ergibt sich über den erzeugten Volumenstrom der Pumpe sowie über den Widerstand des Kaffeemehls

➡ Direkt steuerbar über die Pumpensteuerspannung

Brühdruck [mbar]:

- Brühdruck ergibt sich über den erzeugten Volumenstrom, die Druckverluste im System und über den Widerstand des Kaffeemehls im Siebträger

➡ Indirekt steuerbar über Menge des Kaffeemehls, Mahlgrad und Tamperdruck

Anhang

Literaturrecherche zu Kostenoptimierung und kostengünstigem Konstruieren

Relevante Strategien zur Kostenoptimierung in der Produktentwicklung, kostengünstigem Konstruieren und der wirtschaftlichen Fertigung in Kleinststückzahlen nach [7] und [8]:

1. Definition von Anforderungen, Funktionsumfang und Kostenstruktur des Produkts
2. Entwicklung von alternativen Konzepten und Evaluation der Wirtschaftlichkeit
3. Abwägung zwischen Eigen- und Fremdfertigung
4. Verwendung von handelsüblichen Normteilen und möglichst wenig eigenen Konstruktionsteilen
5. Fertigung aus Standardwerkstoffen über konventionelle Fertigungstechniken ohne Werkzeugkosten
6. Optimierung von Teilen hinsichtlich Materialverbrauch, Fertigbarkeit und Montage
7. Neuverhandlung von Preisen mit bestehenden Lieferanten, Recherche nach günstigeren Konkurrenten
8. Verringerung der Teilevielfalt und Gesamtteileanzahl
9. Verwendung von Gleich- und Wiederholteilen zwischen Produktvarianten
10. Erhöhung von Produktionsvolumen kostenintensiver Teile

Anhang

Weitere Maßnahmen zur Kostenoptimierung

Empfehlungen:

1. Vereinheitlichung der Rohrlängen zwischen Komponenten im Unterbau
2. Verwendung von PFA-Rohren (1.122 € / 100 m) nur für druckbelastete und heißwasserführende Leitungen
3. Verwendung von FEP-Rohren (774 € / 100 m) für drucklose und kaltwasserführende Leitungen
4. Recherche nach externem Dienstleister für Biegung der Rohre zur Einsparung von Steckverbindern
5. Bezug von Verbindungselementen wie Schrauben, Muttern, Stifte und Nieten als Schüttgut