

Dichtheitsprüfung

Dokumentation im Rahmen einer FMEA für eine Siebträger-Espressomaschine
im Modul Absicherung von Fahrzeugfunktionen (F4030.2)

Dozent: Dipl.-Ing. Armin Rohnen LbA

Stand:	23.06.2020
Verfasser(in) / Matrikelnummer:	Nermin Arbi / 40519116 Michael Urbin / 06651317 Danilo Sladoje / Alexander Egger /

1 Kurzfassung / Abstract

Die Dokumentation befasst sich mit der Dichtheitsprüfung, als Maßnahme zu den Fehlern *Undicht* in einer Siebträger Espressomaschine. Im Bericht werden die benötigte Dichtheitsprüfungen ermittelt und die jeweiligen Durchführungen beschrieben.

2 Verzeichnis Formelzeichen

°	grad
bar	Druck in bar
C	Celsius
L	Liter
mm ²	Quadratmillimeter
N	Newton

3 Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
bzw.	beziehungsweise
d.h.	das heißt
DIN EN	
ELSA	Einfach Lösbarer Steck-Anschluss
EMV	Elektromagnetische Verträglichkeit
evtl.	Eventuell
FMEA	Failure Mode and Effects Analysis Fehler-Möglichkeiten und Einfluss Analyse
ggf.	gegebenfalls
n.i.O	Nicht in Ordnung
NTC	Negative Temperature Coefficient
PPSU	Polyphenylsulfone
PTFE	Polytetrafluorethylen

4 Abbildungsverzeichnis

Aucune entrée de table d'illustration n'a été trouvée.

5 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht der Dichtheitsprüfungen der Baugruppe Boiler.....	6
--	---

6 Inhaltsverzeichnis

1	Kurzfassung / Abstract.....	2
2	Verzeichnis Formelzeichen.....	2
3	Abkürzungsverzeichnis	2
4	Abbildungsverzeichnis.....	3
5	Tabellenverzeichnis	3
6	Inhaltsverzeichnis	4
7	Einleitung.....	5
8	Aufgabenstellung.....	5
9	Dichtheitsprüfung:.....	6
9.1	Dichtheitsprüfungen der Baugruppe Boiler	6
9.1.1	Dichtheitsprüfung Boiler (montiert).....	7
9.2	Dichtheitsprüfungen (Michael)	8
9.3	Dichtheitsprüfungen (Danilo).....	8
9.4	Dichtheitsprüfungen (Alexander).....	11
10	Zusammenfassung und Ausblick	12
11	Textanteilung der Gruppen Mitglieder	12
12	Literatur-/Quellenverzeichnis	12
13	Anhang.....	13
13.1	DIN EN 1779	13

7 Einleitung

Im Wintersemester 16/17 entstand die Idee eine Siebträger-Espressomaschine und labortechnischen Espressomaschine zu entwickeln. Ziel dieser Entwicklung ist es, alle Espressomaschinen, die auf dem Markt sind, abbilden zu können. Sie soll in allen geschmacksgebenden Größen, wie Wassertemperatur und Dampfdruck, einstellbar sein. Dieses Projekt wurde in verschiedene Teilaufgaben unterteilt, welche im Rahmen von Bachelor- und Projektarbeiten bewältigt werden sollen.

Das Besondere an der Espressomaschine ist das Dual-Boiler-Konzept d.h, dass die Produktion von Dampf und Heißwasser getrennt stattfindet. Das hat den Vorteil der genaueren, konstanten und unabhängigen Temperierung von Dampf und Wasser. Außerdem, wird die benötigte Temperatur des Wassers, welches in die Brühgruppe geleitet wird, durch Mischung von heißem und kaltem Wasser mittels Dosierventile erreicht. Dadurch kann die Temperatur exakt und schnell eingestellt werden.

Insgesamt sollen vier Varianten der Espressomaschine konstruiert werden:

1. Die Laborvariante mit einem 3,6 Liter Stahlboiler und einer Brühgruppe.
2. Die Baristavariante mit einem 7,2 Liter Stahlboiler und zwei Brühgruppen.
3. Die Homevariante mit einem 1,8 Liter Stahlboiler und einer Brühgruppe.
4. Die Stylevariante mit Borosilikatboiler und einer Brühgruppe.

Die FMEA wird für die Variante mit 1,8 bzw. 3,6 Liter Stahlboiler durchgeführt.

8 Aufgabenstellung

Aufgabenstellung Dichtheitsprüfung

Alexander Egger: Entschichtung

Danilo Sladoje: Dampf, Brühgruppe

Michael Urbin: Magnetventile, Mischer

Nermin Arbi: Boiler

9 Dichtheitsprüfung:

Die Dichtheitsprüfung gilt als Entdeckungsmaßnahme für den Fehler Undicht.

Bei der Dichtheitsprüfung unterscheidet man gemäß DIN EN 1779 (siehe Anhang 1) zum Nachweis der Dichtheit in Vakuum-Verfahren und Überdruck-Verfahren. Zudem erfolgt auch nach der DIN EN 1779 eine Einteilung der Prüfverfahren nach deren Empfindlichkeit[4].

Die Dichtheitsprüfung gehört zu den zerstörungsfreien Prüfmethoden. Dichtheitsprüfungen werden in großem Maßstab zum Nachweis der Dichtheit von Prüfling sowie zur Ortung von Leckagen eingesetzt. Im Hinblick auf den jeweiligen Anwendungsfall (Anforderungen, Randbedingungen) muss sorgfältig geprüft werden, welches Prüfverfahren am geeignetsten ist[4].

9.1 Dichtheitsprüfungen der Baugruppe Boiler

Folgende Tabelle (Tabelle 1) dient als Übersicht. Hier werden die Bauteile der Baugruppe Boiler, die eine Dichtheitsprüfung benötigen, gekennzeichnet.

Tabelle 1: Übersicht der Dichtheitsprüfungen der Baugruppe Boiler

Baugruppe	Bauteil	Dichtheitsprüfung	Anmerkung
Boiler	Boiler (Boiler-zylinder, -flansch und –boden)	Ja	
	Boilerdeckel	Ja	
	Isolierung	Nein	
	Schrauben	Nein	indirekt geprüft
	Dichtung	Ja	
	ELSA-Anschlüsse	Ja	Wird im Abschnitt 9.2 behandelt
	Heizelemente	Nein	
	Verschraubungshülsen	Ja	
	Heizungsregler	Nein	
	Wasserwendel	Ja	
	Überdruckventil	Ja	
	Unterdruckventil	Ja	
	Drucksensor	Ja	Wird im Abschnitt 9.2 behandelt
	Temperatursensor	Ja	
	Füllstandsensor	Ja	

Alle Bauteile, die eine Dichtheitsprüfung benötigen können als Baugruppe auf Dichtheit geprüft werden. Einige Bauteile können auch einzeln (vor Montage) geprüft werden (z.B ELSA-Anschlüsse, Wasserwendel und Drucksensor)

9.1.1 Dichtheitsprüfung Boiler (montiert)

Bei der Dichtheitsprüfung des Boilers handelt es sich um ein Überdruck-Verfahren. Die Dichtheitsprüfung in diesem Fall kann auch als Druckfestigkeitsprüfung bezeichnet werden. Dabei wird der Boiler mit dem Prüfdruck beaufschlagt und es wird geprüft ob Undichtigkeiten entstehen und deren Ortung herausgefunden werden.

Die Prüfung besteht aus folgenden Schritten:

1. Der Boiler wird komplett montiert. Eine Checkliste aller Komponenten kann helfen kein wichtiges Bauteil zu vergessen.
2. Der Boiler wird gemäß des Hydraulikplanes (Anhang 2) angeschlossen
3. Um das Verletzungsrisiko zu senken, soll die Espressomaschine in einem passenden Behälter platziert werden.
4. Alle Magnetventile und die Dampfzanze schließen.
5. Magnetventile Y01 und Y03 öffnen und Wasser mit Hilfe der Pumpe in den Boiler fördern bis der Füllstand von 2/3 erreicht wird.
6. Magnetventile Y01 und Y03 schließen
7. Heizelement steuern bis der Prüfdruck erreicht wird. Der Prüfdruck ergibt sich nach Anhang 1 Abs. 7.4 RL 2014/68/EU aus dem Produkt des maximal zulässigen Drucks mit dem Faktor 1,25. Daraus resultiert ein Druck von 2,5 bar bzw. 0,25 N/mm². [5]
8. Prüfen ob Undichtigkeiten entstehen.

Bei dieser Prüfung werden alle Bauteile der Baugruppe Boiler auf Dichtheit geprüft.

9.1.2 Dichtheitsprüfung Wasserwendel

Die Wasserwendel kann einzeln vor Montage auf Dichtheit geprüft werden. Da diese keine Schweißnähte hat, ist die Dichtheitsprüfung nicht nötig.

9.2 Dichtheitsprüfung Mischer und Magnetventile

Um den Zeitaufwand für die Prüfung möglichst gering zu halten, ist es zweckmäßig ein Verfahren zu entwickeln, in dem mehrere Bauteile gleichzeitig untersucht werden können.

9.2.1 Magnetventil Y01

Die Dichtigkeit des Frischwasserventils Y01 ist durch Messwerte lediglich in der Hinsicht zu belegen, ob es korrekt schließt. Undichtigkeiten, durch die Wasser in die Umgebung austritt, können nur visuell geprüft werden.

Die Prüfung auf korrektes Schließen wird durchgeführt, wie folgt.

1. Magnetventile Y02, Y03, Y06 schließen
2. Wasserzulauf schließen (schließen Magnetventil Y01)
3. Entwässerung ermöglichen (öffnen Magnetventil Y04)
4. Wenn kein Durchfluss messbar ist, dann ist Y01 dicht

9.2.2 Magnetventil Y02, Y03, Y04, und Y06

Nachdem die Dichtigkeit der Magnetventile Y03 und Y06 bestätigt wurde, kann das Entwässerungsventil Y04 wie folgt getestet werden.

1. Magnetventile Y02, Y03, Y04, Y06 schließen
2. Wasserzulauf freigeben (öffnen Magnetventil Y01)
3. Pumpe mit PWM=25% einschalten (der Wert PWM = 25% ist in der Entwicklung zu bestätigen)
4. Erreichen des maximalen Drucks bei PWM=25% (Druck ist durch Versuche zu ermitteln)
5. Wird kein Durchfluss gemessen und maximaler Druck bei PWM=25% erreicht und über 10 Sekunden gehalten, sind Y02, Y03, Y04, und Y06 dicht

9.2.3 Magnetventil Y05

Das Prüfverfahren der Dichtigkeit Des Magnetventiles Y05 für die Tassenwärmung erfolgt im Zuge der Dichtheitsprüfung des Boilers (Kap. 9.1.1), da dieses direkt mit dem Boiler verbunden ist. Zusätzlich werden auch die Magnetventile Y02 und Y03 hierbei erneut geprüft.

9.2.4 Mischer und Magnetventile (Y06,) Y07, Y09 und Y10

Die gesamte Baugruppe Mischer mit allen enthaltenen Bauteilen und die Magnetventile (Y06,) Y07, Y09 und Y10, können in einem Überdruck-Verfahren auf undichte Stellen geprüft werden. Die Dichtigkeit von Y06 wurde zu diesem Zeitpunkt bereits festgestellt. Nachfolgend wird das Vorgehen für diese Prüfung schrittweise erklärt.

5. Alle Magnetventile schließen
6. Wasserzulauf freigeben (öffnen Magnetventil Y01)
7. Pumpe mit PWM=25% einschalten (der Wert PWM = 25% ist in der Entwicklung zu bestätigen)
8. Kaffeebezug ermöglichen (öffnen Magnetventil Y06)
9. Dosierventil wird mit 5V versorgt
10. Wenn der Druck für PWM=25% erreicht ist, wird Ventil Y06 geschlossen (Druck bei PWM=25% ist versuchstechnisch zu ermitteln)
11. Druck darf sich in X Sekunden nicht um mehr, als X bar verringern (Druckabfall/Zeit ist versuchstechnisch zu ermitteln)
12. Fällt der Druck in der Prüfzeit nicht mehr ab, ist die Baugruppe Mischer, sowie die Ventile Y06, Y07, Y09 und Y10 dicht

9.2.5 Magnetventil Y08

Die Dichtigkeit des Schmutzwasserventils Y08 muss nicht unter Druck untersucht werden, da das Wasser im geschlossenen Zustand durch die Öffnung zur Kaffeeausgabe entweicht. Die Dichtigkeit kann durch Abmessen des ausgegebenen Wassers überprüft werden.

1. Alle Magnetventile schließen
2. (Messbehälter unter Kaffeeausgabe platzieren)
3. Wasserzulauf freigeben (öffnen Magnetventil Y01)
4. Pumpe mit PWM=25% einschalten (der Wert PWM = 25% ist in der Entwicklung zu bestätigen)
5. Kaffeebezug ermöglichen (öffnen Magnetventil Y06 und Y07)
6. Schmutzwasserauslauf stoppen (schließen Magnetventil Y08)
7. Sobald der Durchfluss von 300ml Wasser gemessen wurde Kaffeebezug stoppen (schließen Magnetventile Y06 und Y07)
8. Wenn Menge ausgegebenes Wasser $\geq 280\text{ml}$, ist Y08 dicht

9.3 Dichtheitsprüfung der Baugruppen: Brühgruppe und Dampf

In diesem Abschnitt werden die Dichtheitsprüfungen der Baugruppen: Brühgruppe und Dampf der Siebträger Espressomaschine definiert. In der Brühgruppe werden die Bauteile: Siebträgeraufnahme und Siebträgerereinsatz auf Dichtheit untersucht. Die Baugruppe „Dampf“ erfordert lediglich eine detaillierte Analyse des manuellen Ventils, da die weiteren Fehlfunktionalitäten bezüglich Undichtigkeit (ELSA-Anschlüsse), bereits aufgezeigt wurden und die Überprüfung analog erfolgt.

9.3.1 Brühgruppe: Siebträgeraufnahme und Siebträgerereinsatz

Die Siebträgeraufnahme weist hauptsächlich beim Übergang von der Siebträgeraufnahme zum Siebträgerereinsatz Fehlerpotenzial bezüglich der Undichtigkeit auf. Die Undichtigkeit kann durch folgende Fehlermöglichkeiten hervorgerufen werden:

1. **Fehlerhafte Siebträgerdichtung:**
 - a. das vollständige Schließen des Siebträgers wird, durch eine fehlerhafte Dichtungsgeometrie, verhindert.
 - b. Fehlfunktion aufgrund von Verschleiß (Bsp.: Dichtung verhärtet)
2. **Fehlerhafte Positionierung:** Spannnuten der Aufnahmebuchse haben zu viel Spiel mit dem Siebträgerereinsatz, wodurch kein fester Sitz des Siebträgers resultiert.
3. **Geringe Siebträger-Auflagefläche:** Die Auflagefläche des Siebträgers ist zu gering, wodurch besonders bei hohen Systemdrücken eine Undichtigkeit auftreten kann.

Bei der nachfolgenden Prüfvorschrift ist besonders auf die oben genannten Fehlermöglichkeiten und auf die Aussagekraft der Dichtheitserprobung zu achten.

Damit die Prüfung Aussagekräftig ist, müssen nachfolgende Aspekte berücksichtigt werden:

- Einsatzdauer der Siebträgerdichtung ist nicht überschritten. Die Siebträgerdichtung ist ein Austauschteil, welches mit der Zeit an Funktionsperformance verliert. Diesbezüglich ist die Einsatzdauer der Siebträgerdichtung zu definieren. Hierfür ist eine Langzeiterprobung (LZE) durchzuführen, bei der durch Raffung der Dichtungslebensdauer der tägliche Gebrauch der

Espressomaschine simuliert wird. Die Langzeiterprobung der Brühgruppe wird im Maßnahmenkatalog „Maßnahmenanalyse zur Vermeidung von Fehlermöglichkeiten in den Baugruppen: Brühgruppe und Dampf“ (von D. Sladoje) beschrieben.

- Die Spannuten der Aufnahmebuchse sind auf die Maße aus der technischen Zeichnung, mittels Messschieber o.Ä., abzugleichen.
- Die Auflagefläche des Siebträgers ist auf das Maß aus der technischen Zeichnung, mittels Messschieber o.Ä., abzugleichen.

Die Dichtheit der Brühgruppe wird unter maximalen Systemdruck geprüft. Dies wird durch den Einsatz eines Blindsiebs erreicht. Die Prüfdauer entspricht der Einwirkzeit der Rückspülfunktion.

Durchführung der Dichtheitsprüfung:

1. Blindsieb in den Siebträger einlegen.
2. Siebträger präzise in die Siebträgeraufnahme einspannen. Hierbei auf die korrekte Positionierung achten, um fehlerhafte Erprobungsergebnisse auszuschließen.
3. Rückspülfunktion aktivieren.
4. Nach dem Durchlaufen der Rückspülung wird der Prüfvorgang beendet.

Die Dichtheitsprüfung gilt als bestanden, insofern die der Systemdruck während der Prüfung nicht absinkt und/oder ein Wasseraustritt festgestellt wird. Damit ist der fehlerfreie „Neuzustand“ in Bezug auf die Dichtheit der Maschine gewährleistet. Um eine Dichtheit während der Maschinenlebensdauer zu gewährleisten, müssen Veränderungen an den Bauteilen vorgenommen werden.

1. Dichtheitsprüfung mit einer „verschlissenen“ Siebträgerdichtung durchführen. Die Eingesetzte Dichtung hat das Austauschlebensdauer um 50% der definierten Lebensdauer überschritten.
2. Spannutenabnutzung simulieren: Spannuten um 0,025mm vergrößern und Dichtheitsprüfung wiederholen.

Wenn die Brühgruppe dicht bleibt, gilt die Dichtheitsprüfung als bestanden. Die Dichtheit unter „erschweren“ Bedingungen ist gewährleistet.

9.3.2 Dampf: Manuelles Ventil

Die Dichtheit des manuellen Ventils wird im geschlossenen Zustand bewertet.

Durchführung der Dichtheitsprüfung:

1. Manuelles Ventil öffnen.
2. Dampf tritt aus.
3. Manuelles Ventil vollständig schließen.
4. Dampfaustritt wird unterbrochen.
5. Wiederholung der Schritte 1 bis 4.

Wenn der Dampfaustritt nach dem Schließen direkt unterbunden ist, gilt die Dichtheitsprüfung als bestanden.

9.4 Dichtheitsprüfungen der Baugruppen der Entschichtung

Nachfolgend wird auf die Dichtheitsprüfung der beteiligten Komponenten in der Funktion der Entschichtung eingegangen. Da die Komponentenseitigen Undichtigkeitsprobleme anschlussbezogen (ELSA-Anschlüssen) sind und sowohl diese als auch die Magnetventile bereits thematisiert und eine Dichtheitsprüfung definiert worden ist, wird nachfolgend auf folgende Dichtheitsprüfungen dieser Komponenten – Fehler Kombination eingegangen:

- Pumpe

Die anderen beteiligten Komponenten der Entschichtung (Leitfähigkeitssensor, Durchflusssensor und Temperatursensor) sind herstellerseitig auf Dichtheit zu prüfen. Der DC-Motor erfährt keinen Wasserdurchlauf und ist somit ebenfalls nicht hier im Dichtheitsprüfkatalog zu berücksichtigen.

Pumpe:

Für die Prüfung der Dichtheit der Pumpe muss ein Fachexperte oder ein Programm hinzugezogen werden. Es wird eine definierte Menge durch den Durchflusssensor in die Brühgruppe geleitet und die Differenz zwischen ermittelter/vordefinierte Durchflussmenge (Durchflusssensor) und dem Auslauf aus der Brühgruppe (Messbecher) bewertet.

1. 400ml Wasser (Programm oder durch Experten) von Boiler in Brühgruppe leiten
2. Öffnen der MV: Y02, Y06 + Y09 (Teewasserbezug)
3. Platzieren eines Messbechers unter der Teewasserlanze
4. Sichergehen, dass der Pumpvorgang abgeschlossen ist
5. Auswerten des Messbechers unter Beachtung des korrekten Ablesens (Ebene)
6. Gegenüberstellung des durch Experten/Programm definierten geförderten Wasser und des gesammelten Wassers im Messbecher

Auswertung:

Delta < 8ml → i.O.

Delta = 8ml → Wiederholung der Prüfung

Delta > 8ml → n.i.O. → Maßnahme

Maßnahme:

Austausch der Dichtung → anschließende Wiederholung der Prüfung

Falls nicht besser: Hersteller informieren und Informationen über mögliche Bauteildefekte erhalten.

10 Zusammenfassung und Ausblick

11 Textanteilung der Gruppen Mitglieder

Abschnitt	Bezeichnung	Verfasser(in)
1	Kurzfassung/Abstract	
7	Einleitung	Nermin Arbi
8	Aufgabenstellung	
9	Dichtheitsprüfungen	Nermin Arbi
9.1	Dichtheitsprüfung der Baugruppe Boiler	Nermin Arbi
9.2		
9.3		
9.4		
10	Zusammenfassung und Ausblick	

12 Literatur-/Quellenverzeichnis

1. Dipl.-Ing Armin Rohnen LbA, Skript Absicherung Fahrzeugfunktionen
2. 20200614_FMEA.xlsx, Excel-Tabelle
3. Status Espressomaschine (Stand: 23.03.2020)
4. https://de.wikipedia.org/wiki/Dichtheitsprüfung#cite_note-1 (aufgerufen am 17.06.2020)
5. Tobias Tritschler, Konstruktion zweier Druckbehälter für eine hochwertige Siebträgermaschine, Bachelorarbeit 2019

13 Anhang

13.1 DIN EN 1779

13.2 Hydraulikplan

