



# Maßnahmenanalyse zur Vermeidung von Fehlermöglichkeiten in den Baugruppen: Brühgruppe und Dampf einer Siebträger-Espressomaschine

Betreuer: Dipl. -Ing. A. Rohnen

Verfasser: Danilo Sladoje (59802316)

Abgabetermin: 29.06.2020

# Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung.....	3
2. Allgemeines .....	3
3. Brühgruppe.....	3
3.1. Siebträgeraufnahme.....	3
3.2. Siebträgerersatz.....	4
3.3. Teewasserlanze .....	5
4. Dampf .....	6
4.1. Manuelles Ventil.....	6
4.2. Dampfplanze.....	7
4.3. Tassenwärmer .....	8
5. Langzeiterprobung (LZE).....	8
6. Fazit .....	10

# 1. Einleitung

Im Rahmen der Lehrveranstaltung „Absicherung von Fahrzeugfunktionen“ wurden Aufgabenpakete vergeben, die sich auf die Funktionalitäten einer Siebträger-Espressomaschine und labortechnischen Espressomaschine, beziehen. In dieser Arbeit soll ein Maßnahmenkonzept zur Vermeidung von Fehlermöglichkeiten für die Baugruppen: Brühgruppe und Dampf unter Berücksichtigung der beteiligten Bauteile, erarbeitet werden. Dieser Bericht ist Teil einer FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) der Siebträger-Espressomaschine.

## 2. Allgemeines

Bei der Maßnahmenanalyse werden Vorgehensweisen zur Vermeidung von Fehlermöglichkeiten untersucht. In der Nachfolgenden Analyse wurden die möglichen Maßnahmen in Entdeckungs- und Vermeidungslösungen unterteilt. Die Entdeckungsmaßnahmen beziehen sich in dem Fall auf die Erprobungsmöglichkeiten zur frühzeitigen Fehlerdetektion. In diesem Dokument werden oft die Dichtheitsprüfung und die Langzeiterprobung als Entdeckungsmaßnahmen herangezogen. Die Dichtheitsprüfung ist in einem separaten Dokument für die Baugruppen: Entschichtung, Brühgruppe, Dampf, Magnetventile, Mischer und Boiler definiert. Der Ablauf der [Langzeiterprobung](#) wird im 5. Kapitel aufgezeigt. Die Vermeidungsmaßnahmen sind Lösungsansätze zur Vermeidung von Fehlermöglichkeiten.

## 3. Brühgruppe

### 3.1. Siebträgeraufnahme

Fehlermöglichkeit	Entdeckungsmaßnahme	Vermeidungsmaßnahme
Undichtigkeit des Siebträgers	Dichtheitsprüfung (ggfs. unter max. Systemdruck erproben)	1.) Auflageflächen des Siebträgers entspricht min. der Auflagefläche der Siebträgerdichtung 2.) Festen Siebträgersitz gewährleisten 3.) Verschleißmaterialien müssen nach max. Einsatzdauer ausgetauscht werden. Maximale Einsatzdauer wird während der Langzeiterprobung ermittelt und definiert.
Fehlerhafte Dichtungsgeometrie: das vollständige Schließen des Siebträgers wird verhindert	Dichtheitsprüfung	Die Abweitungstoleranz der Dichtungsmaße muss klein gehalten werden → Geometrieunterschiede minimieren

Positionierungsproblem des Siebträgers: Spannuten der Aufnahmebuchse haben zu viel Spiel mit dem Siebträgerereinsatz → kein fester Sitz des Siebträgers	Dichtheitsprüfung (ggfs. bei der Montage stichprobenartig die Soll-Ist-Maße mittels Messschieber kontrollieren)	Die Abweichungstoleranz der Spannuten muss klein gehalten werden
Positionierungsproblem des Siebträgers: Abnutzung der Spannuten in der Buchse (ggfs. verbiegen der „Nasen“ beim starken Eindrehen des Siebträgers)	Missbrauchserprobung: Absichtliches starkes Eindrehen des Siebträgers. Die Missbrauchserprobung erfolgt durch einen Prüfer, wobei die Prüfkraftüberhöhung realistisch sein muss (gesunder Menschenverstand), ohne die Absicht einer Zerstörung des Bauteils zu haben.	1.) Hochfesten Stahl ( $Re > 1000N/mm^2$ bei gemessenen Umfangskräften von 500N) verwenden (dadurch wird das Verbiegen der „Nasen“ verhindert) 2.) Querschnittsfläche muss genug ausgelegt werden
Ungleichmäßige Kaffeewasserverteilung: <del>Spritzdüse</del> verteilt Wasser nicht (oder nicht vollständig) auf die Auslässe	<u>Langzeiterprobung:</u>	Sicherstellung der fehlerfreien Positionierung der Spritzwasserdüse bei der Montage. Die Spritzwasserdüse wird über ein Gewinde in der Brühgruppe montiert, um eine Fehlpositionierung auszuschließen.
Ungleichmäßige Kaffeewasserverteilung: Duschsieb verteilt Wasser nicht (oder nicht vollständig) auf den Kaffeepuck	<u>Langzeiterprobung:</u>	Duschsiebgeometrie auf eine gleichmäßige Wasserverteilung auslegen.
Verschmutzung der Wasserauslässe: Eindringen von Kaffeepartikeln über das Duschsieb	Eindringverhalten von Kaffeepartikeln bei verschiedenen Mahlgraden überprüfen. Die Prüfung beinhaltet alle umsetzbaren Mahlgrade, mit besonderem Augenmerk auf die feinsten Mahlgradeinstellungen.	Duschsiebreinigung ins Bedienhandbuch aufnehmen, um den Anwender auf eine (monatliche) Reinigung/Kontrolle des Duschsiebs hinzuweisen

### 3.2. Siebträgerereinsatz

Fehlermöglichkeit	Entdeckungsmaßnahme	Vermeidungsmaßnahme
Undichtigkeit des Siebträgers: Dichtungsauflagefläche ist zu gering	Dichtheitsprüfung	Dichtungsaufgabe des Siebträgers muss mindestens der Auflagefläche der Siebträgerdichtung entsprechen.
Undichtigkeit des Siebträgers: Siebträger kann nicht vollständig geschlossen	1.) Geometrie der Siebträgerdichtung überprüfen	1.) <del>Qualitativ hochwertige Siebträgerdichtungen</del> verwenden, die unter

werden, das Erreichen der Endstellung ist nicht möglich	2.) Geometrie der Spannflügel <sup>1</sup> des Siebträgeres auf Maßabweichungen überprüfen	hohen Genauigkeitsanforderungen gefertigt werden. 2.) Die Spannflügel des Siebträgeres werden auf Maßabweichungen zur Vorgabe der technischen Zeichnung mittels Messschieber überprüft
Espressomengenaufteilung bei zwei untergestellten Tassen (aufgrund der Nichtzentrierung des Auslaufstutzens) nicht identisch	Funktionserprobung nach Montage	Auslaufstutzen durch ein fehlerintolerantes Montageverfahren anbringen. Je nach Variante kann die Fixierung mit dem Siebträger über ein Gewinde erfolgen und somit eine Fehlpositionierung ausschließen.
Kein fester Sitz des Siebs beim Ausschlagen des Kaffeepucks	Missbrauchserprobung durchführen (d.h. eine definierte Ausschlaghäufigkeit bei ggfs. überhöhter Schlagkraft durchführen). Die Kraftüberhöhung zum Ausschlagen des Kaffeepucks wird subjektiv vom Prüfer angebracht (gesunder Menschenverstand) ohne die Absicht einer Bauteilerstörung zu haben	Federring muss eine Mindeststeifigkeit von aufweisen. Die Bauteilsteifigkeit kann zum aktuellen Konzeptstand nicht definiert werden. Diesbezüglich ist eine Definition der Bauteilsteifigkeit mittels Finite-Elemente-Methode (FEM) o.Ä. festzulegen.



### 3.3. Teewasserlanze

Fehlermöglichkeit	Entdeckungsmaßnahme	Vermeidungsmaßnahme
Positionierungsfehler: Schwenkmoment zu hoch/gering	Funktionserprobung nach Montage. Nach vollendeter Montage der Wasserlanze wird das Schwenkmoment durch einen Prüflingenieur in x-Richtung und y-Richtung durchgeführt. Hier ist eine subjektive Bewertung des Schwenkmoments von Nöten.	Wärmeausdehnende Materialien vermeiden
Durchflussminderung: Ablagerung/Verstopfung der Leitung	<u>Langzeiterprobung:</u> (ohne Entkalkung der Wasserlanze durchführen)	Entkalkung der Bauteile in regelmäßigen Abständen durchführen und den Anwender im Bedienhandbuch auf Reinigungsfunktion hinweisen



<sup>1</sup> Als Spannflügel werden hier die seitlichen Erhöhungen zur Befestigung des Siebträgers in der Buchse betitelt.

Soll-Temperaturabweichung: Zu hohe Wärmeübertragung der Griffisolierung	Missbrauchserprobung: Wasserlanze so lange bei maximaler Wassertemperatur betreiben, bis die Wasserlanze die max. Wassertemperatur angenommen hat. Die Temperatur wird während des Versuchs dauerhaft mittels Temperatursensoren (Messtechnik) überwacht. Die Griffisolierung darf einen Wert von 35°C nicht überschreiten	Materialien mit geringer Wärmeübertragung bei der Griffisolierung verwenden
-------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------

## 4. Dampf

### 4.1. Manuelles Ventil

Fehlermöglichkeit	Entdeckungsmaßnahme	Vermeidungsmaßnahme
Kraftaufwand zum Öffnen zu hoch/gering	Funktionserprobung nach Montage. Das manuelle Ventil wird nach der Montage 50 Mal geöffnet und geschlossen. Dabei muss der Prüfer den Kraftaufwand subjektiv (aus Kundensicht) bewerten.	Wärmeausdehnung und Reibung der Bauteil-Materialien beachten
Kraftaufwand zum Schließen zu hoch/gering	Funktionserprobung nach Montage. Das manuelle Ventil wird nach der Montage 50 Mal geöffnet und geschlossen. Dabei muss der Prüfer den Kraftaufwand subjektiv (aus Kundensicht) bewerten.	Wärmeausdehnung und Reibung der Bauteil-Materialien beachten
Undichtigkeit: Ventil dichtet im geschlossenen Zustand nicht ab	Dichtheitsprüfung	Dichtungsauf­fläche groß genug wählen, Dichtungswerkstoff ggfs. ändern
Ventil öffnet nicht	Nach Montage muss das Ventil auf Funktionalität überprüft werden. Über die Durchführung einer <a href="#">Langzeiterprobung</a> wird das mögliche Fehlerbild während der vorgesehenen Maschineneinsatzdauer überprüft.	<del>Fehlerintoleranten</del> Öffnungsmechanismus entwickeln (Verhacken des Ventils verhindern), Materialausdehnung der muss Bauteile berücksichtigt werden
Störgeräusch: Knarz-Geräusch beim Betätigen des manuellen Ventils	Temperaturerprobung: Bei variabler Bauteiltemperatur wird das Bauteil vom Prüfer auf Störgeräusche untersucht.	1.) Bauteilverhalten bei Temperaturschwankung berücksichtigen

	<p>Die Erprobung findet in einer Klimakammer statt und wird bei den Umgebungstemperaturen: 0°C; 5°C; 10°C; 15°C; 20°C; 25°C; 30°C; 35°C und 40°C durchgeführt.</p> <p>(Die Temperaturen repräsentieren die realistische Umgebungstemperatur der Espressomaschine, bei der die Wertigkeit im Hinblick auf Störgeräusche gewährleistet sein muss.)</p>	<p>2.) Verspannungen ggfs. vermeiden und/oder mitberücksichtigen</p> <p>3.) Reibung zwischen benachbarten Bauteilen vermeiden oder minimieren</p>
--	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

#### 4.2. Dampflanze

<b>Fehlermöglichkeit</b>	<b>Entdeckungsmaßnahme</b>	<b>Vermeidungsmaßnahme</b>
Positionierungsfehler: Schwenkmoment zu hoch/gering	Funktionserprobung nach Montage. Nach vollendeter Montage der Wasserlanze wird das Schwenkmoment durch einen Prüfenieur in x-Richtung und y-Richtung durchgeführt. Hier ist eine subjektive Bewertung des Schwenkmoments von Nöten.	Wärmeausdehnende Materialien vermeiden
Durchflussminderung: Ablagerung/Verstopfung der Leitung	<u>Langzeiterprobung:</u> (ohne Entkalkung der Dampflanze durchführen)	Entkalkung der Bauteile in regelmäßigen Abständen durchführen und den Anwender im Bedienhandbuch auf Reinigungsfunktion hinweisen
Soll-Temperaturabweichung: Zu hohe Wärmeübertragung der Griffisolierung	Missbrauchserprobung: Wasserlanze so lange bei maximaler Wassertemperatur betreiben, bis die Wasserlanze die max. Wassertemperatur angenommen hat. Die Temperatur wird während des Versuchs dauerhaft mittels Temperatursensoren (Messtechnik) überwacht. Die Griffisolierung darf einen Wert von 35°C nicht überschreiten	Materialien mit geringer Wärmeübertragung bei der Griffisolierung verwenden



### 4.3. Tassenwärmer

Fehlermöglichkeit	Entdeckungsmaßnahme	Vermeidungsmaßnahme
Soll-Temperaturabweichung: Tassen werden nicht ausreichend erwärmt	Funktionserprobung und ggfs. Langzeiterprobung	Adäquate Wärmeübertragung zwischen Heizfläche und Tassen gewährleisten (Das Temperaturspektrum wird, nach der Konzeption des Tassenwärmers, durch experimentelle Versuche ermittelt und definiert)
Soll-Temperaturabweichung: Tassen werden auf eine überhöhte	Funktionserprobung und ggfs. Langzeiterprobung	Adäquate Wärmeübertragung zwischen Heizfläche und Tassen gewährleisten (Das Temperaturspektrum wird, nach der Konzeption des Tassenwärmers, durch experimentelle Versuche ermittelt und definiert)
Inhomogene Wärmeverteilung der Heizfläche	Mit einer Wärmebildkamera die Temperaturverteilung analysieren	Temperaturquellen werden gleichmäßig unter der Heizfläche positioniert

## 5. Langzeiterprobung (LZE)

Die Langzeiterprobung dient zur Raffung der „Lebensdauer“ der Siebträger-Espressomaschine. Hierbei wird ein Referenzwert von 10 Jahren für den Maschineneinsatz definiert. Ziel der Erprobung ist es, Fehlermöglichkeiten, die während dem alltäglichen Kundenbetrieb auftauchen können, frühzeitig zu erkennen. Die LZE der Siebträger Espressomaschine wird als Prüfprozess definiert, bei dem die folgenden Bauteile auf ihre fehlerhafte Funktionalität erprobt werden:

- Brühgruppe:
  - Siebträgeraufnahme:
    - Ungleichmäßige Wasserverteilung der Spritzdüse
    - Ungleichmäßige Wasserverteilung des Duschsiebs
    - Verschleiß der Siebträgerdichtung
  - Teewasserlanze:
    - Ablagerung/Verstopfung der Wasserlanze durch Verunreinigungen (z.B. Kalk)
- Dampf:
  - Dampfplanze:
    - Ablagerung/Verstopfung der Wasserlanze durch Verunreinigungen (z.B. Kalk)
  - Manuelles Ventil
    - Funktionalitätsausfall



Bei dieser Langzeiterprobung wird die Erprobung der „Home“-Maschinenvariante definiert. Hierbei wird von einer täglichen Benutzung der Espressomaschine von je 10 Espressi pro Tag ausgegangen. Das ergibt bei einer Benutzung von Zehn Jahren: 35.600 Espressi (Basiswert). Dabei wird ausgegangen, dass pro Minute 1 Espresso aus der Maschine bezogen werden kann. Der Prüfprozess wird täglich auf



10h definiert, wobei jedoch 2h als mögliche Ruhezeit/Störung/Überprüfung abgezogen werden. Somit ergibt sich bei einer täglichen Erprobungsdauer von 8h eine mögliche Erprobung von 480 Espresso/Tag. Der Quotient aus dem Basiswert (35.600) und dem täglichen Erprobungswert ergibt eine Erprobungsdauer von 75 Tagen. Unter der Annahme, dass an sieben Tagen die Woche erprobt wird, ergibt sich eine Gesamterprobungsdauer von genau 2,5 Monaten.

Bei der Langzeiterprobung wird die Wasserverteilung der Spritzwasserdüse und des Duschsiebs täglich überprüft. Hierbei wird speziell der Kaffeepuck auf mögliche Ungleichmäßigkeiten überprüft. Erste Anzeichen einer fehlerhaften Wasserverteilung können Löcher-Bildungen (partielle Überextraktion) im Kaffeepuck sein. Insofern diese Erkennungsmerkmale auftreten, muss das Duschsieb und die Spritzwasserdüse auf eine mögliche Fehlfunktion untersucht werden. Dabei werden diese Bauteile aus der Maschine ausgebaut und detaillierter untersucht.

Durch die LZE soll ebenfalls die Einsatzdauer der Siebträgerdichtung definiert werden. Die Siebträgerdichtung wird wöchentlich bei einem Zugversuch auf mögliche Werkstoffverhaltensänderungen untersucht.

Die Zugprüfung erfolgt:

- Stoßfrei, stetig anwachsende Beanspruchung (Kraftbeanspruchung wird im Vorfeld vom Prüfer definiert)
- Konst. Temperatur (wird im Vorfeld vom Prüfer definiert)
- Konst. Verformungsgeschwindigkeit (wird im Vorfeld vom Prüfer definiert)

Die Definierten Parameter dürfen während der gesamten Erprobungsdauer nicht verändert werden. Die Prüfkraft muss so gewählt werden, dass keine plastische (irreversible) Verformung des Werkstoffs auftritt. Die Spannungs-Dehnungskurven werden nach jeder Messung mit den vorherigen Kurven abgeglichen und auf Unterschiede überprüft. Wenn die Siebträgerdichtung nach einer wöchentlichen Überprüfung reißt, ist dies ein Indiz für eine Materialverhärtung, wodurch Undichtigkeiten auftreten können. Daraus ergibt sich die maximale Absolut-Einsatzdauer der Siebträgerdichtung. Für den Kundenbetrieb wird eine maximale Sicherheits-Einsatzdauer definiert. Die Sicherheits-Einsatzdauer beträgt 50% der maximalen Absolut-Einsatzdauer und wird, für den Kunden, als maximal zulässige Einsatzdauer der Siebträgerdichtung im Benutzerhandbuch vorgeschrieben. Prinzipiell wird während der gesamten LZE die Siebträgeraufnahme auf Undichtigkeit überwacht.

Um eine Aussage über mögliche Kalkablagerungen in der Wasser- bzw. Dampfleitung in der Teewasser- bzw. Dampfmaschine zu erhalten, wird simultan (jedoch sporadisch) zum Kaffeebezug Teewasser bzw. Dampf aus der Maschine bezogen. Hierbei wird absichtlich auf die Halbautomatische Entkalkung verzichtet, um den Worst Case zu simulieren. Bei einer erkannten Durchflussminderung wird das Bauteil ausgetauscht und auf Kalk o.Ä. Verunreinigungen analysiert.

Beim vorangegangenen Erprobungsschritt wird ein besonderes Augenmerk auf das manuelle Ventil der Dampfwaterlanze gelegt. Bei einer möglichen Funktionsminderung (oder Funktionsausfall) wird das manuelle Ventil ausgebaut und auf Ursachen (z.B. erhöhte Reibung) untersucht.

## 6. Fazit

Zusammenfassen kann festgehalten werden, dass viele Fehlermöglichkeiten in den Baugruppen: Brühgruppe und Dampf durch Funktions- und Langzeiterprobung entdeckt werden können. Ein Großteil der Fehlermöglichkeiten sind konstruktiver Natur, die sich durch eine Soll-Ist-Kontrolle und das Minimieren von der Fehlertoleranzen vermeiden lassen. Die Undichtigkeit der Siebträgerbauteile muss durch eine Dichtheitsprüfung erprobt werden.