

Temperaturverhalten des Borosilikatglasboilers

Erste Betriebs- und Milchaufschäumversuche am Borosilikatglasboiler

Armin Rohnen
Institut für Kaffeetechnologie
c/o armini gbr
Thomas-Diewald-Straße 7, 82152 Planegg
eMail: armin@rohnen.net

Lizenzbedingungen

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderem Wege und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

1 Abstract

Dieser Versuchsbericht behandelt die ersten Betriebsversuche des durch [Tobias Tritschler, 2019] konstruierten Borosilikatglasboilers. Dieser wird als reiner Dampfboiler betrieben. Ziel der Versuche ist der Nachweis der grundsätzlichen Betriebsfähigkeit des Borosilikatglasboilers für eine Siebträger-Espressomaschine. Im weiteren sollen Erkenntnisse bezüglich der Signalverarbeitung und Signalanalyse für die spätere Serienumsetzung gewonnen werden. Besonders betrachtet wird auf die Aufheizphase, da hier ein Schädigungsrisiko berechnet und es aus früheren Versuchen [Matthias Kretschmar, et. al., 2018] eine ausgeprägte Wärmeschichtung des Wassers erkannt wurde. Auch das Wiederaufheizen nach mehrstündiger Auskühlungsphase sowie das Abkühlungsverhalten werden behandelt.

Inhaltsverzeichnis

1 Abstract	3
2 Verzeichnis der Formelzeichen	5
3 Verzeichnis der Abkürzungen	5
4 Einleitung	6
5 Erste Betriebsversuche des Borosilikatglasboilers	6
5.1 Erstaufheizphase des Borosilikatglasboilers	6
5.2 Abkühlverhalten und Zweitaufheizphase des Borosilikatglasboilers	7
6 Ergebnis	8
7 Literatur und Quellen	8

2 Verzeichnis der Formelzeichen

p_{Dampf}	[mbar]	Dampfdruck im Boiler
P	[W]	Heizleistung des Heizelements
t	[s]	Zeitangabe
t_0	[s]	Aufheizzeit des Boilers nach kompletter Abkühlung des Systems
t_0'	[s]	Erstaufheizzeit des Boilers
t_2	[s]	Zweitaufheizzeit des Boilers nach dem ersten Öffnen der Dampfpflanze
t_w	[s]	Wiederaufheizzeit des Boilers nach zweistündiger Abkühlungszeit des Systems
ϑ_{oben}	°C	Mittelwert der Temperaturmessstellen am inneren Glaszylinder oben
ϑ_{mitte}	°C	Mittelwert der Temperaturmessstellen am inneren Glaszylinder mitte
ϑ_{unten}	°C	Mittelwert der Temperaturmessstellen am inneren Glaszylinder unten
ϑ_{Dampf}	°C	Temperaturmessstelle in der Dampfblase
ϑ_{Wasser}	°C	Temperaturmessstelle im Boilerwasser

3 Verzeichnis der Abkürzungen

PD	Regelungsalgorithmus mit Proportional- und Differentialverhalten
PID	Regelungsalgorithmus mit Proportional-, Integral- und Differentialverhalten

4 Einleitung

Ausgehend von den Projektarbeiten zum Kaffeeröster der Kaffeewerkstatt München entstand zum Wintersemester 2016/17 die Idee, über eine labortechnische Espressomaschine mehr über die technische Beeinflussbarkeit der Geschmacksache Espresso zu erforschen.

Beginnend mit der ersten Bachelorarbeit von Kilian Stach mit dem Titel „Entwicklung einer labortechnischen Mehrkreis- und Mehrkessel-Espressomaschine“ konnte zum Wintersemester 2017/18 dieses Vorhaben umgesetzt werden. Die in dieser Arbeit beschriebene labortechnische Espressomaschine wurde weitestgehend umgesetzt.

Im Zuge der Inbetriebnahme der labortechnischen Mehrkreis- und Mehrkessel-Espressomaschine wurden weitreichende Erkenntnisse gesammelt, die dazu führten, dass ein Forschungsbetrieb dieser Espressomaschine nie erfolgte. Die Erkenntnisse führten zu einer Erfindungsmeldung [Weidler/Rohnen, 2019] mit den patentfähigen Merkmalen der kalten Brühgruppe, dem kalten Siebträger, dem Wassermischsystem und dem Borosilikatglasboiler.

Der Borosilikatglasboiler wurde von [Tobias Tritschler, 2019] konstruktiv in mehreren Volumina ausgelegt. Durch [Florian Fritz, et. al., 2020] wurde ein Versuchsaufbau in der 1,5 l-Variante erstellt mit dem nun erste Betriebsversuche durchgeführt wurden.

Der bereits in [Tobias Tritschler, 2019] geführte theoretische Nachweis, dass es während der Aufheizphase des Boilers nicht zum Platzen des Glaszylinders kommen wird, konnte bislang bestätigt werden. Thermische Schockversuche stehen allerdings noch aus. Das Aufheizverhalten des Borosilikatglasboilers ist mit dem Aufheizverhalten jedes aktuellen Wasserboilers von Zweikreis-Espressomaschinen vergleichbar. Die Erstaufheizphase benötigt bis zur Betriebsbereitschaft mit $p_{Dampf} = 1300 \text{ mbar}$ $t_0 \approx 600 \text{ s}$ (10 Minuten).

Nach zwei Stunden Abkühlungszeit beträgt die Wiederaufheizzeit $t_w = 270 \text{ s}$ (4 1/2 Minuten).

Der Boiler wird mit einem $P = 960 \text{ W}$ Wendelrohrheizelement betrieben.

Die Messsignale zeigen immer wieder Störungen.

5 Erste Betriebsversuche des Borosilikatglasboilers

Die Versuche wurden mit dem in [Florian Fritz, et. al., 2020] beschriebenen Versuchsaufbau durchgeführt. Ebenfalls wurde die darin beschriebene Messdatenerfassung verwendet.

5.1 Erstaufheizphase des Borosilikatglasboilers

Nach dem Einschalten des Heizelements steigen die Temperaturen des Glaszylinders an den unteren und mittleren Messstellen wie erwartet relativ schnell an und erreichen nach $t = 567 \text{ s}$ Aufzeichnungszeit (Aufheizzeit $t_0' = 430 \text{ s}$) $\vartheta_{unten} = 104 \text{ }^\circ\text{C}$ bzw. $\vartheta_{mitte} = 104 \text{ }^\circ\text{C}$. Zum gleichen Zeitpunkt erreicht der Dampfdruck erstmalig $p_{Dampf} = 1300 \text{ mbar}$ (siehe Abbildung 1) und das Heizelement wird abgeschaltet. Die Temperatur der im Umfeld der Dampfblase liegenden oberen Messstellen des Glasboilers liegt mit $\vartheta_{oben} = 64 \text{ }^\circ\text{C}$ weit unterhalb der für den gemessenen Dampfdruck erforderlichen Wassertemperatur (siehe Abbildung 2). Auch die Temperaturen der Dampfblase ϑ_{Dampf} und ϑ_{Wasser} erreichen zu diesem Zeitpunkt noch nicht die erforderlichen Werte für einen stabilen Dampfdruck mit $p_{Dampf} = 1300 \text{ mbar}$.

Während der ersten Aufheizphase wurden zunächst Wasserschlieren des aufsteigenden heißen Wassers beobachtet. Im weiteren Verlauf der Druckzunahme wurden an dem Heizelement entstehende Mikrobläschen beobachtet, welche die Ursache für den Druckanstieg in der Dampfblase verantwortlich sein könnten.

Nach 580 Sekunden Aufzeichnungszeit wurde die Dampfzange geöffnet, es erfolgte ein Druckabfall auf $p_{Dampf} = 630 \text{ mbar}$ und es wurde eine heftige Wasserblasenbildung beobachtet, welche das Wasser durchmischte.

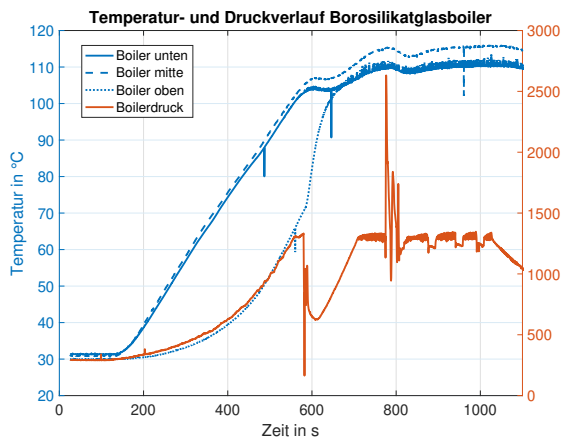


Abbildung 1: Temperaturen des Boilerglases und der Boilerdruck während der ersten 1100 Sekunden des Boilerbetriebs.

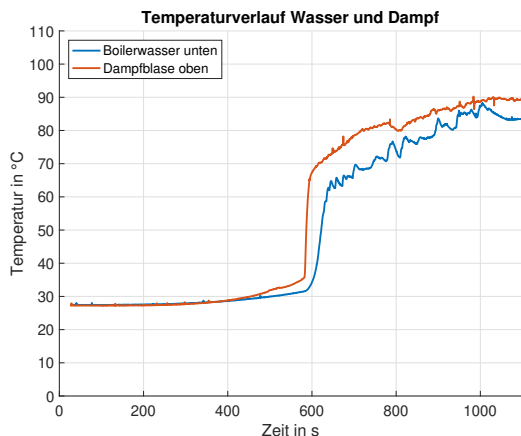


Abbildung 2: Temperaturen des Boilerwassers und der Dampfblase während der ersten 1100 Sekunden des Boilerbetriebs.

Es wird eine Zweitaufheizzeit $t_2 = 135 \text{ s}$ benötigt, bis dass ein stabiler Dampfdruck $p_{Dampf} = 1300 \text{ mbar}$ erreicht wird. Danach führt das Öffnen der Dampfzange nicht mehr zu großen Druckabfällen in der Dampfblase und der Dampfdruck fällt nicht mehr unter $p_{Dampf} = 1200 \text{ mbar}$.

Als Aufheizzeit des Boilers, der Zeitraum zwischen dem ersten Einschalten des Heizelements und dem Erreichen eines stabilen Dampfdrucks $p_{Dampf} = 1300 \text{ mbar}$, wurde $t_0 \approx 600 \text{ s}$ (10 Minuten) ermittelt. Dies muss durch weitere Versuche bestätigt werden.

Jedes Öffnen der Dampfzange führt zu einer heftigen Wasserblasenbildung. Gleiches gilt für jedes Einschalten des Heizelements.

Die Heizleistung wird in der derzeitigen Konfiguration lediglich durch den Druckgrenzwert ein- bzw. ausgeschaltet. Dies ist durch einen angepassten PD (ggf. PID) Regelalgorithmus, wie in [Felix Müller, 2020] beschrieben, zu optimieren.

Bei den dargestellten Signalen handelt es sich um die Darstellung der Rohmesswerte. Es wurden keine weiteren Signalverarbeitungen durchgeführt. Erkennbar sind Signalaussetzer sowie einzelne, jedoch immer wiederkehrende, Signalaussetzer. Durch geeignete digitale Signalverarbeitung, wie z.B. gleitender Mittelwert, kann dieses Verhalten behoben werden.

Erste Versuche zum Milchaufschäumen zeigen, dass der Dampfdruck $p_{Dampf} = 1300 \text{ mbar}$ vermutlich zu hoch angesetzt ist. Im Versuchsaufbau wird die Dampfzange manuell geöffnet. Im Serienkonzept wird das manuelle Ventil durch ein Magnetventil mit engerem Durchlassquerschnitt ersetzt. Der Druckbedarf kann sich demnach noch ändern.

5.2 Abkühlverhalten und Zweitaufheizphase des Borosilikatglasboilers

In der Abkühlphase des Boilers fällt der Dampfdruck innerhalb der Abkühlzeit $t = 880 \text{ s}$ (ca. 14 1/2 Minuten) auf Minimaldruck ab (siehe Abbildung 3). Die Wiederaufheizzeit t_w

steht natürlich in Abhängigkeit der zuvor durchlaufenden Abkühlung des Boilers. Nach zwei Stunden Abkühlungszeit beträgt die Wiederaufheizzeit $t_w = 270 \text{ s}$ (4 1/2 Minuten). Die Glastemperaturen fallen in dieser Zeit auf $\vartheta_{\text{unten}} \approx \vartheta_{\text{mitte}} \approx \vartheta_{\text{oben}} \approx 65 \text{ }^\circ\text{C}$.

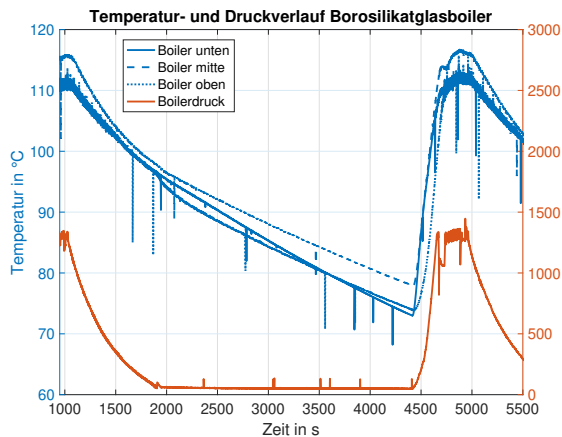


Abbildung 3: Abkühl- und Wiederaufheizverhalten des Borosilikatboilers

6 Ergebnis

In ersten Betriebsversuchen konnte die Betriebsfähigkeit des Borosilikatglasboilers als Dampfboiler nachgewiesen werden. Es wurden bisher keine Undichtigkeiten festgestellt. Das Aufheizverhalten unter Nutzung eines Heizelements mit $P = 960 \text{ W}$ ist unbedenklich.

Erste Milchaufschäumversuche wurden durchgeführt, wobei sich herausstellte, dass für den derzeitigen Versuchsaufbau der Dampfdruck abgesenkt werden könnte.

Die Messsignale zeigen Streuungen und Aussetzer, welche wahrscheinlich durch geeignete digitale Signalverarbeitung beseitigt werden können.

7 Literatur und Quellen

- | | |
|------------------------------------|---|
| Tobias Tritschler, 2019 | Tobias Trischler: Bachelorarbeit, Konstruktion zweier Druckbehälter für eine hochwertige Siebträgermaschine, 2019 |
| Florian Fritz, et. al., 2020 | Florian Fritz, Sebastian O'Reilly, Tim Kittelmann, Johannes Kastner: Projektarbeit, Versuchsaufbau und Versuchsdurchführung an einem Borosilikatdampfboiler, 2020 |
| Matthias Kretschmar, et. al., 2018 | Matthias Kretschmar, Joshua Bauske, Christoph Binder: Projektarbeit, Simulationsmodell einer Siebträger-Kaffeemaschine, 2018 |
| Weidler/Rohnen, 2019 | Erich Weidler, Armin Rohnen: Erfindungsmeldung: Erfindung Espressomaschine mit kalter Brühgruppe, Erfindungsmeldung 2019 |
| Felix Müller, 2020 | Felix Müller: Bachelorarbeit, Entwicklung zweier Temperaturregelungen (Folgeregelung) mithilfe von Python und MATLAB, 2020 |