

Hochschule Darmstadt	Thema C für C22 Team-Projektarbeit	Sommersemester 2019
Fernstudium Master of Science Elektrotechnik	RCP eines Sterilisators S-Klasse	<a href="http://www.szacher.de">www.szacher.de</a>
Prof. Dr. S. Zacher	<a href="mailto:info@szacher.de">info@szacher.de</a>	Stand 01.12.2018

## Thema C für Creative

### Modellbasierte Regelung eines Sterilisators der Klasse S

Das Thema C gehört zu *Rapid Control Prototyping* (RCP) eines medizintechnischen Gerätes, nämlich des Sterilisators der Firma *Dürr Dental*. Die Firma *Dürr Dental SE* mit Unternehmenshauptsitz in Bietigheim-Bissingen bietet Komplettlösungen im Bereich der Praxistechnik, der Diagnostik, der Zahnerhaltung sowie der Labor- und Praxishygiene an. Weltweit beschäftigt die *Dürr Dental Gruppe* über 1100 Mitarbeiter in 40 Ländern.

Zahnmedizinische Geräte müssen bei Wiederverwendung von allen Mikroorganismen befreit werden. Dazu dienen Sterilisatoren bzw. Autoklaven, in denen die Instrumente unter Dampf Atmosphäre sterilisiert werden. Für diese Prozesse gelten bestimmte Vorschriften und Normen, die eine Mindestzeit für die Sterilisation festlegen. Die Sterilisation ist ein sehr langer Prozess, weil es gewährleistet werden muss, dass der Dampf sich in der gesamten Kammer verteilt, um eine vollständige Sterilisation zu garantieren. Bei der Entwicklung von neuen Sterilisatoren muss dieser lange Vorgang sehr oft durchlaufen werden. Um dabei Zeit zu sparen, soll ein Modell entwickelt werden, mit dem die Sterilisatoren von außen einfach angesteuert und die Prozesse im virtuellen Zeitraffer durchlaufen werden können.

#### Das Ziel:

Das Ziel der Projektarbeit ist die Simulation und der Entwurf eines Regelkreises für einen Sterilisationsprozess, indem die Temperatur durch Dampfzufuhr präzise geregelt werden soll.

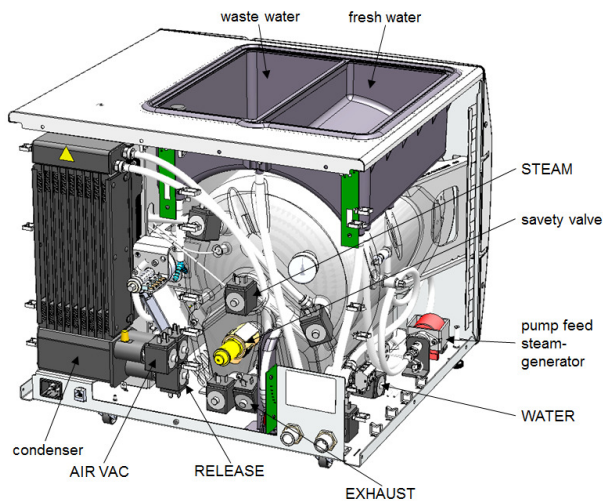
Die experimentell ermittelten Messwerte (Sprungantworten) werden zum Beginn der Projektarbeit zur Verfügung gestellt. Dabei sollen alle Phasen eines RCP realisiert werden:

- Eine präzise Modellierung und Simulation des Druck- und Temperaturverlaufs:  
Die Strecke soll aus gegebenen Messwerten identifiziert, das dynamische Modell des Sterilisators soll in Form einer Übertragungsfunktion mit MATLAB/Simulink bestimmt werden.
- Entwurf des Regelkreises:  
Ein PI- oder PID-Standardregler soll nach dem innovativen Leonhard/Zacher-Verfahren entworfen und dimensioniert werden.
- C-Code Generierung und Implementierung:  
Nach der Simulation des Regelkreises und ggf. nach einer Nachbesserung der Reglerparameter soll der C-Code des Reglers auf einem Mikroprozessor-Board entweder mit konventioneller Programmierung oder mittels modellbasierter Softwareentwicklung (MBSE) auf Boards wie STM32F4 oder Arduino mit MATLAB *Simulink-Coder* und *Embedded Coder* implementiert werden.
- Hardware-in-the-Loop bzw. MIL-/SIL-/PIL-Simulation:  
Die entwickelten Druck- und Temperaturregelung sollen in einem Hardware-in-the-Loop getestet werden, in dem der Regler-Algorithmus auf einem Mikroprozessor-Board und das Modell des Sterilisators auf einem Host-Prozessor läuft, z.B. auf einem anderen Mikroprozessor-Board unter Extern-Mode von MATLAB oder auf einem Laptop unter Simulink.
- Visualisierung:  
Der Druck- bzw. Temperaturverlauf soll mit einer 3D Simulation des Sterilisators mit MATLAB VRML (*Virtual Reality Modeling Language*) mittels eines V-Realm 2.0-Editors visualisiert werden.

Hochschule Darmstadt	Thema C für C22 Team-Projektarbeit	Sommersemester 2019
Fernstudium Master of Science Elektrotechnik	RCP eines Sterilisators S-Klasse	<a href="http://www.szacher.de">www.szacher.de</a>
Prof. Dr. S. Zacher	<a href="mailto:info@szacher.de">info@szacher.de</a>	Stand 01.12.2018

## Sterilisatoren:

Ein zahnmedizinischer Sterilisator ist im Bild unten dargestellt (Quelle: *Dürr Dental*).



Vor dem eigentlichen Sterilisationsprozess muss zunächst die Luft aus der Kammer entfernt und Wasserdampf erzeugt werden. Danach müssen die Geräte gekühlt werden.

Es müssen Richtlinien genau eingehalten werden, welche die Anforderungen an den Sterilisationsprozess und die Konzentration von Dampf und nichtkondensierbaren Gasen in der Kammer definieren. Dies dient zur Erreichung einer vollständigen Entfernung aller Mikroorganismen und dem Eindringen von Wasserdampf auch in Hohlräume der Instrumente.

Es gibt zwei Klassen der Sterilisatoren: B und S.

- Sterilisatoren der Klasse B besitzen eine Vakuumpumpe, mithilfe derer die Luft evakuiert wird und die ebenfalls zum leichteren Trocknen der Instrumente dient.
- Sterilisatoren der Klasse S besitzen keine Vakuumpumpe, um die Luft aus der Sterilisationskammer zu entfernen. Der Trocknungsprozess erfolgt, indem Luft mithilfe einer Luftpumpe durch die Sterilisationskammer gepumpt wird.

Bei Klasse S Sterilisatoren gibt es drei Möglichkeiten, die Luft aus der Sterilisationskammer zu entfernen und diese mit Dampf zu füllen.

- *Gravity Displacement*. Diese Methode nimmt Gebrauch von der Tatsache, dass Wasserdampf leichter als Luft ist. Zuerst wird das Wasser erhitzt, um Dampf zu erzeugen. Dieser steigt in der Kammer nach oben und drückt die Luft nach unten. Durch ein geöffnetes Ventil, das sich möglichst weit unten in der Kammer befinden muss, kann die Luft entweichen. Dies wird solange durchgeführt, bis die ganze Kammer mit Dampf gefüllt ist.
- *SFPP-Verfahren*. Bei dieser Methode werden alle Ventile geschlossen. Aus Wasser wird so lange Dampf erzeugt, bis ein bestimmter Druck in der Kammer erreicht wird. Ist dieser Druck erreicht, wird ein Ventil geöffnet, wodurch ein plötzlicher Druckabfall hervorgerufen wird. Dieser bewirkt eine Vermischung der verbleibenden Luft und des Dampfes in der Kammer und ein Ausströmen dieses Gemischs. Dieser Vorgang kann beliebig oft wiederholt werden, bis sich nur noch Wasserdampf in der Kammer befindet.
- *Kombinierte Gravity Displacement mit SFPP-Verfahren*  
Die Evakuierung der Luft wird zunächst mit dem *Gravity Displacement*-Verfahren durchgeführt. Bei Erreichen einer bestimmten Temperatur des Arbeitspunktes von  $T_0$  C wird weitere  $t_0$  sec gewartet, bis alle Ventile geschlossen werden. Danach werden noch  $N$  *SFPP*-Zyklen durchgeführt, bis die gesamte Luft evakuiert ist. Beim anschließenden Sterilisationsprozess wird der Druck geregelt. Abhängig vom Druck ändert sich die Temperatur in der Kammer. Die theoretische Temperatur kann aus dem Druck nach einer gegebenen Formel berechnet werden.

Hochschule Darmstadt	Thema C für C22 Team-Projektarbeit	Sommersemester 2019
Fernstudium Master of Science Elektrotechnik	RCP eines Sterilisators S-Klasse	<a href="http://www.szacher.de">www.szacher.de</a>
Prof. Dr. S. Zacher	<a href="mailto:info@szacher.de">info@szacher.de</a>	Stand 01.12.2018

### **Motivation:**

In Deutschland sind Sterilisatoren der Klasse B für die Sterilisation von zahnmedizinischen Instrumenten vorgeschrieben. Dagegen werden in den zugehörigen Standards für den US-Markt lediglich Sterilisatoren der Klasse S gefordert.

Für die Regelung eines solchen, in der Entwicklung befindlichen Sterilisators der Klasse S soll der angebotene *Rapid Control Prototyping* erstellt werden. Zusätzlich soll das Modell für weitere Neuentwicklungen angepasst werden.

### **Arbeitsschritte der Projektarbeit:**

1. Beschreibung des Aufbaus und der Funktion eines Sterilisators der Klasse S.  
Literaturrecherche: Stand der Technik bei der Temperaturregelung von Sterilisatoren.
2. Import der Messwerte in MATLAB und die Identifizierung der Strecke  
[https://www.zacher-international.com/Automation\\_Letters/03\\_Hinweise\\_Identifikation.pdf](https://www.zacher-international.com/Automation_Letters/03_Hinweise_Identifikation.pdf)  
[https://www.zacher-international.com/RT2\\_DHBWST/Video\\_Hilfe/MIMO\\_Import\\_1.mp4](https://www.zacher-international.com/RT2_DHBWST/Video_Hilfe/MIMO_Import_1.mp4)  
[https://www.zacher-international.com/RT2\\_DHBWST/Video\\_Hilfe/MIMO\\_G11.mp4](https://www.zacher-international.com/RT2_DHBWST/Video_Hilfe/MIMO_G11.mp4)  
[https://www.zacher-international.com/RT2\\_DHBWST/Video\\_Hilfe/MIMO\\_Import\\_2.mp4](https://www.zacher-international.com/RT2_DHBWST/Video_Hilfe/MIMO_Import_2.mp4)
3. Simulation der identifizierten Strecke und Vergleich mit Messwerten ggf die Nachbesserung der Strecken-Übertragungsfunktion.
4. Entwurf eines Temperaturregelkreises nach Leonhard-Zacher-Verfahren ZBV  
[https://www.zacher-international.com/Automation\\_Letters/38\\_ZBV.pdf](https://www.zacher-international.com/Automation_Letters/38_ZBV.pdf)
5. MIL-Simulation des Temperaturregelkreises mit Simulink ggf die Nachbesserung der Regler-Parameter (MIL-Simulation)  
[https://www.zacher-international.com/MBSE/MBSE\\_Flyer.pdf](https://www.zacher-international.com/MBSE/MBSE_Flyer.pdf)
6. SIL-Simulation des Temperaturregelkreises mit der C-Code-Generierung für den Regler mit dem MATLAB-Toolbox *Simulink-Coder*  
[https://www.zacher-international.com/Automation\\_Letters/05\\_Model\\_Discretizer.pdf](https://www.zacher-international.com/Automation_Letters/05_Model_Discretizer.pdf)
7. Implementierung des generierten C-Code auf einem Mikroprozessor-Board wie STM32F4, Arduino oder Raspberry PI mit dem MATLAB-Toolbox *Embedded Coder*.  
[https://www.zacher-international.com/Automation\\_Letters/37\\_Raspberry\\_Pi.pdf](https://www.zacher-international.com/Automation_Letters/37_Raspberry_Pi.pdf)
8. Visualisierung des Druck- und Temperaturverlaufs mit einer 3D Simulation mit MATLAB VRML (*Virtual Reality Modeling Language*) mittels eines V-Realm 2.0-Editors.  
[https://www.szacher.de/cm4all/iproc.php/Verlag/BA24/05\\_GUI\\_VRML.zip?cdp=a&cm\\_odfile](https://www.szacher.de/cm4all/iproc.php/Verlag/BA24/05_GUI_VRML.zip?cdp=a&cm_odfile)