

Thermisch-hydraulische Modellierung der Ringleitung-Wärmeversorgungsanlage eines Industriebetriebs

Kathrin Weihe

Betreuer:
Prof. Dr.-Ing. Gerwald Lichtenberg
M. Sc. Kai Kruppa

17. September 2016

Hiermit erkläre ich, die vorliegende Arbeit selbstständig durchgeführt und keine weiteren Hilfsmittel und Quellen als die angegebenen genutzt zu haben.

Hamburg, 17. September 2016

Kathrin Weihe

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	6
1.1	Motivation	6
1.2	Problemstellung	6
1.3	Aufbau der Arbeit	6
2	Stand der Technik	7
2.1	Thermodynamik von Heizkreisen	7
2.1.1	Erzeuger	7
2.1.2	Verbraucher	7
2.2	Modellbildung	7
2.2.1	White box	7
2.2.2	Grey box	7
2.2.3	Black box	7
2.3	Parameteridentifikation	7
2.3.1	Methode der kleinsten Quadrate	7
2.3.2	Zustandsraumverfahren N4SID	7
3	Strukturierte Modellbildung	8
3.1	Charakterisierung der Wärmeversorgungsanlage der LMT Fette Werkzeugtechnik GmbH & Co. KG	8
3.1.1	Aufbau der Anlage	8
3.1.2	Verfügbare Messdaten	9
3.1.3	Betriebsmodi der Anlage	10
3.1.4	Strukturbild der Anlage	10
3.2	Randbedingungen	12
3.2.1	Untersuchte Modi	12
3.2.2	Einfluss des Kompressors	12
3.2.3	Qualität der Messdaten	12
3.3	Modellbeschreibung	12
3.3.1	Inputs und Outputs	12
3.3.2	Beschreibung der Teilsysteme	12
3.3.3	Blockschaltbild	12

4	Parameteridentifikation und Validierung	13
4.1	Parameteridentifikation der Teilsysteme	13
4.1.1	Volumenstrom	13
4.1.2	Vorlauftemperatur	13
4.1.3	Wärmemenge	13
4.1.4	Rücklauftemperatur	13
4.2	Validierung der Teilsysteme	13
4.2.1	Volumenstrom	13
4.2.2	Vorlauftemperatur	13
4.2.3	Wärmemenge	13
4.2.4	Rücklauftemperatur	13
4.3	Simulationsergebnisse des Gesamtmodells	13
4.3.1	Validierung	13
4.3.2	Einfluss der Flussumkehr auf die Simulationsergebnisse	13
4.3.3	Fehlerquellen	13
5	Zusammenfassung und Ausblick	14

Formelzeichen und Indizes

1 Einleitung

1.1 Motivation

1.2 Problemstellung

1.3 Aufbau der Arbeit

2 Stand der Technik

2.1 Thermodynamik von Heizkreisen

2.1.1 Erzeuger

2.1.2 Verbraucher

2.2 Modellbildung

2.2.1 White box

2.2.2 Grey box

2.2.3 Black box

2.3 Parameteridentifikation

2.3.1 Methode der kleinsten Quadrate

2.3.2 Zustandsraumverfahren N4SID

3 Strukturierte Modellbildung

3.1 Charakterisierung der Wärmeversorgungsanlage der LMT Fette Werkzeugtechnik GmbH & Co. KG

Die Wärmeversorgungsanlage der LMT Fette beinhaltet drei Erzeugergruppen, die Wasser mit definierter Vorlauftemperatur an verschiedenen Punkten eines Wärmeversorgungsringes einspeisen. Sämtliche Verbraucher beziehen ihre Vorlauftemperatur aus dem Versorgungskreis und speisen unterschiedliche Rücklauftemperaturen in den Kreis ein. Das Zusammenspiel aus dezentraler Energieversorgung und strukturell unterschiedlichen Verbrauchertypen bildet eine komplexe Wärmeversorgungsanlage, die im Folgenden genauer charakterisiert werden soll.

3.1.1 Aufbau der Anlage

Der Wärmeversorgungsring besteht aus einer Vorlauf- und einer Rücklaufleitung, die parallel verlegt worden sind und in einem geschlossenen Ring über das gesamte Betriebsgelände führen. An mehreren Stellen des Rings sind Heizkreisverteiler installiert, über die Verbraucher und Erzeuger das benötigte Vorlauf- bzw. Rücklaufwasser beziehen.

Die drei Erzeugergruppen bestehen aus folgenden Komponenten:

- Heizzentrale 1 (HZ1): Drei Kessel in Kaskadenschaltung, 2x Gaskessel Viessmann Vitorond 200 und 1x Gaskessel Viessmann Vietrond mit einer Gesamtheizleistung von **<kommt noch, Plenum fragen>**
- Heizzentrale 2 (HZ2): **<kommt noch, Plenum fragen>**
- Kompressor: Drei Kompressoren in Kaskadenschaltung, **<kommt noch, Plenum fragen>**

HZ1 sichert die Wärmegrundversorgung und wird die meiste Zeit des Jahres entweder für die Warmwasserversorgung und/oder für die Heizwärmeversorgung beansprucht. Die Kompressoren dienen der Wärmerückgewinnung und nutzen die Abwärme der Herstellungsprozesse des Betriebes, um Warmwasser zu erzeugen. Sie können mit einer maximalen Vorlauftemperatur von 72 °C in den Versorgungsring einspeisen. Die Laufzeit der Kompressoren und damit auch der Beitrag der Wärmemenge im Heizkreis ist stark von den Produktionszeiten des Betriebes abhängig. In den Sommermonaten kann die Wärmeleistung der 2 Kompressoren allein sogar zur Warmwassergewinnung ausreichen. HZ2 wird als Wärmeerzeuger dazugeschaltet, wenn die Leistung von HZ1 und Kompressoren nicht ausreichen.

Über den Versorgungsring werden zehn Hallen unterschiedlicher Größe sowie mehrere Bürogebäude und die Kantine mit Warmwasser beliefert. Der Wärmebedarf unterscheidet sich je nach Verbraucherart deutlich: Einige Produktionshallen benötigen durch die Abwärme der Maschinen während des Betriebes keine zusätzliche Heizwärme, müssen bei

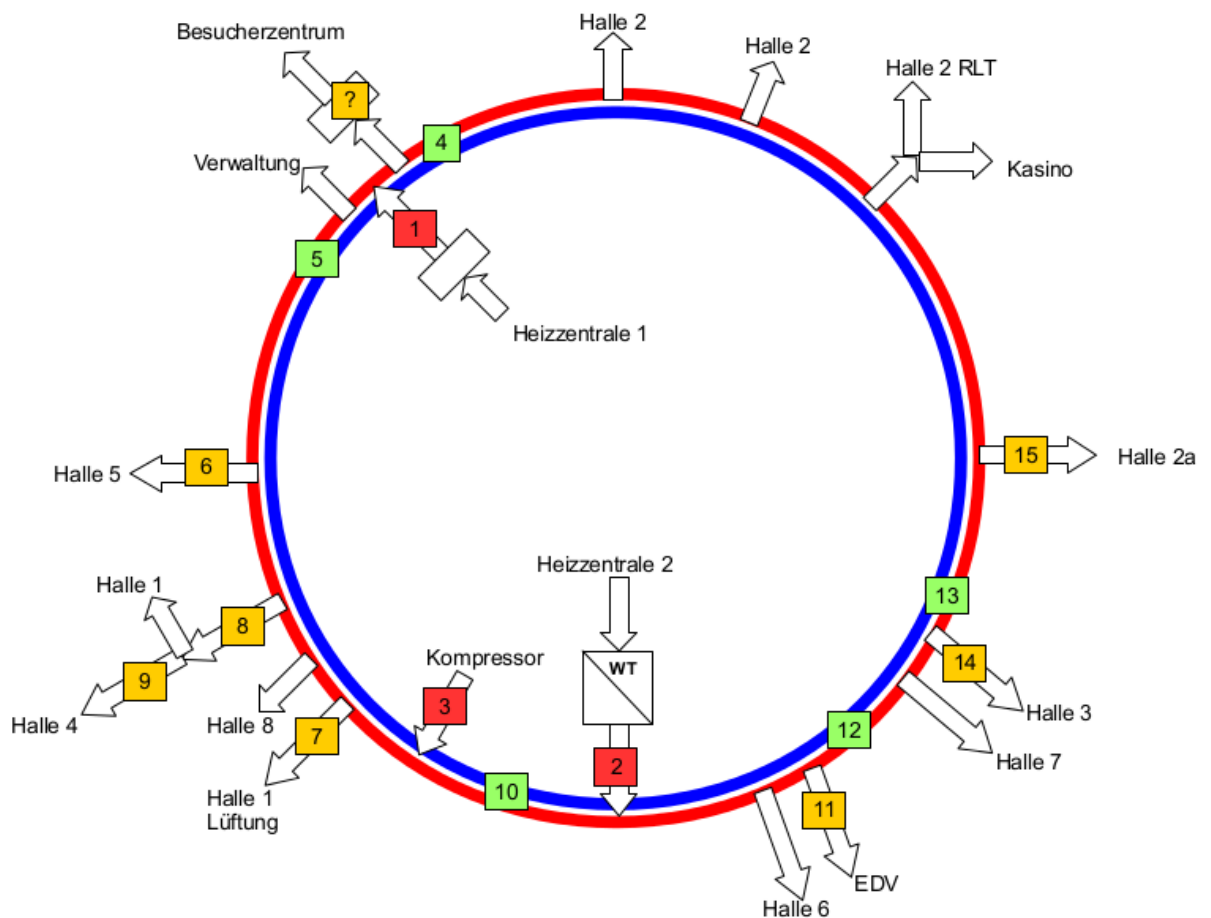


Abbildung 3.1: Schematische Darstellung der Heizanlage

Produktionsstillstand jedoch auf einer Raumtemperatur von 20 - 22 °C gehalten werden, um die Präzision der Maschinen zu gewährleisten.

Je nachdem, welche Erzeuger gerade in der Wärmeversorgungsring einspeisen und wie groß der Wärmebedarf der Verbraucher ist, kommt es im Ring zu unterschiedlichen Betriebsmodi, da sich die Flussrichtung im Ring an bestimmten Punkten umkehren kann, worauf in Kapitel 3.1.3 genauer eingegangen werden soll.

3.1.2 Verfügbare Messdaten

Wärmemengenzähler wurden an insgesamt fünf Stellen des Versorgungsring, an jedem der drei Erzeugergruppen sowie an fünf Verbrauchern durch die Firma Plenum Ingenieurgesellschaft mbH angebracht. Die Messdaten liegen in einer zeitlichen Auflösung von 60 Sekunden vor und werden durch die IngSoft GmbH online zur Verfügung gestellt.

Bei der Auswertung der Daten hat sich gezeigt, dass einige Wärmemengenzähler falsch oder gar nicht kalibriert wurden. Die genutzten Messdaten wurden nach Empfehlung der Plenum Ingenieurgesellschaft mit Korrekturfaktoren versehen [1].

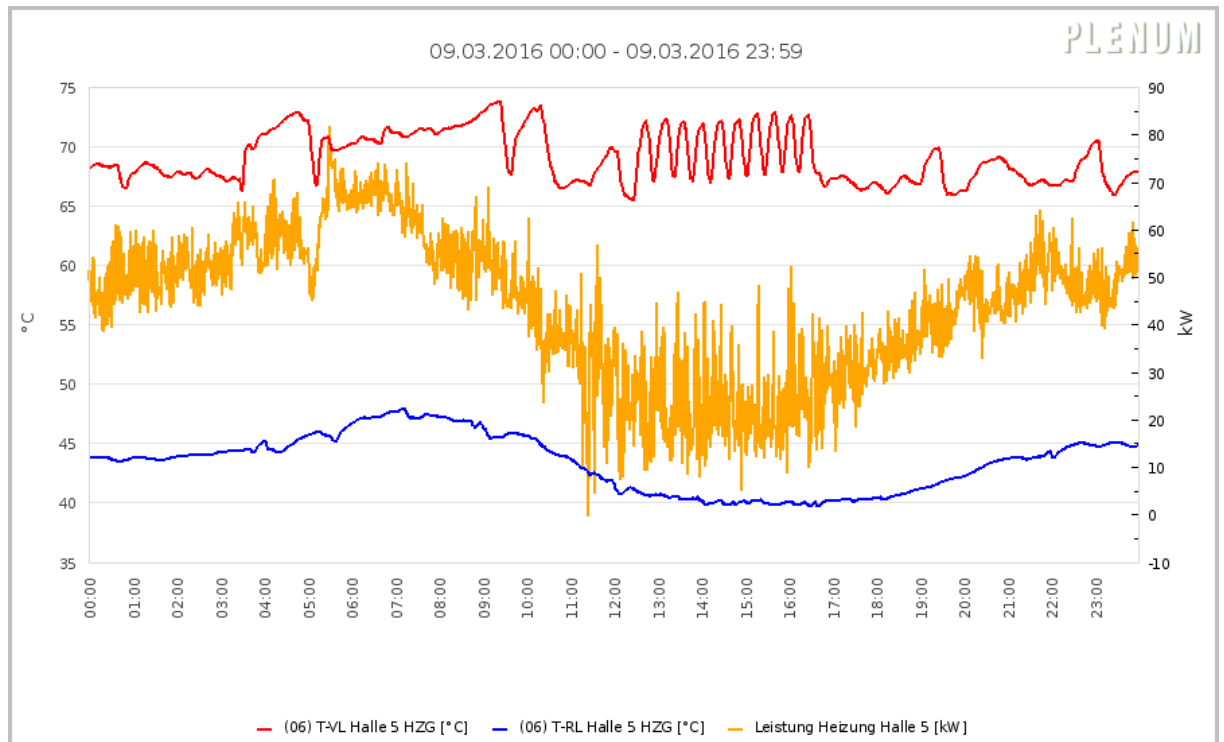


Abbildung 3.2: Wärmebedarf von Halle 5

3.1.3 Betriebsmodi der Anlage

Der Durchflussstrom des Wassers im Versorgungsring wird durch den Betrieb der Erzeuger- und Verbraucherpumpen bestimmt. So kann es vorkommen, dass sich an einigen Punkten der Versorgungsring die Fließrichtung des Wassers umkehrt. Für die Modellbildung spielt die Fließrichtung eine entscheidende Rolle, da für die Berechnung der Vor- und Rücklauftemperaturen die Temperatur des zuvor durchflossenen Wärmemengenzählers genutzt wird **Blöd, bzw. so allein nicht verständlich.. Bild erstellen!**.

Neben der Umkehr der Fließrichtung, die durch Erzeuger- und Verbraucherpumpen beeinflusst wird und sich im laufenden Betrieb einstellt, kann der Ring ein unterschiedliches hydrodynamisches Verhalten durch Eingriffe der Haustechnik aufweisen. So wurde im Winter 2015/2016 die Entscheidung getroffen, den Versorgungsring mit Hilfe eines Schiebers an der Stelle zwischen Halle 7 und Halle 3 und teilweise auch zwischen Halle 1 und Halle 5 **Stimmt so? PLENUM fragen!** (siehe 3.3) zu unterbrechen. Die daraus resultierenden veränderten Volumenströme zeigen ein anderes beschreiben ein anderes Systemverhalten, was in der Modellbildung berücksichtigt werden muss.

3.1.4 Strukturbild der Anlage

Da an fünf Punkten des Rings Messdaten zur Verfügung stehen, wurde zur Modellbildung das System als vereinfacht als Fünfeck betrachtet, an dessen Ecken alle Zustände bekannt sind, bzw. simuliert werden sollen. An Punkten entlang der Kanten des Fünfecks speisen

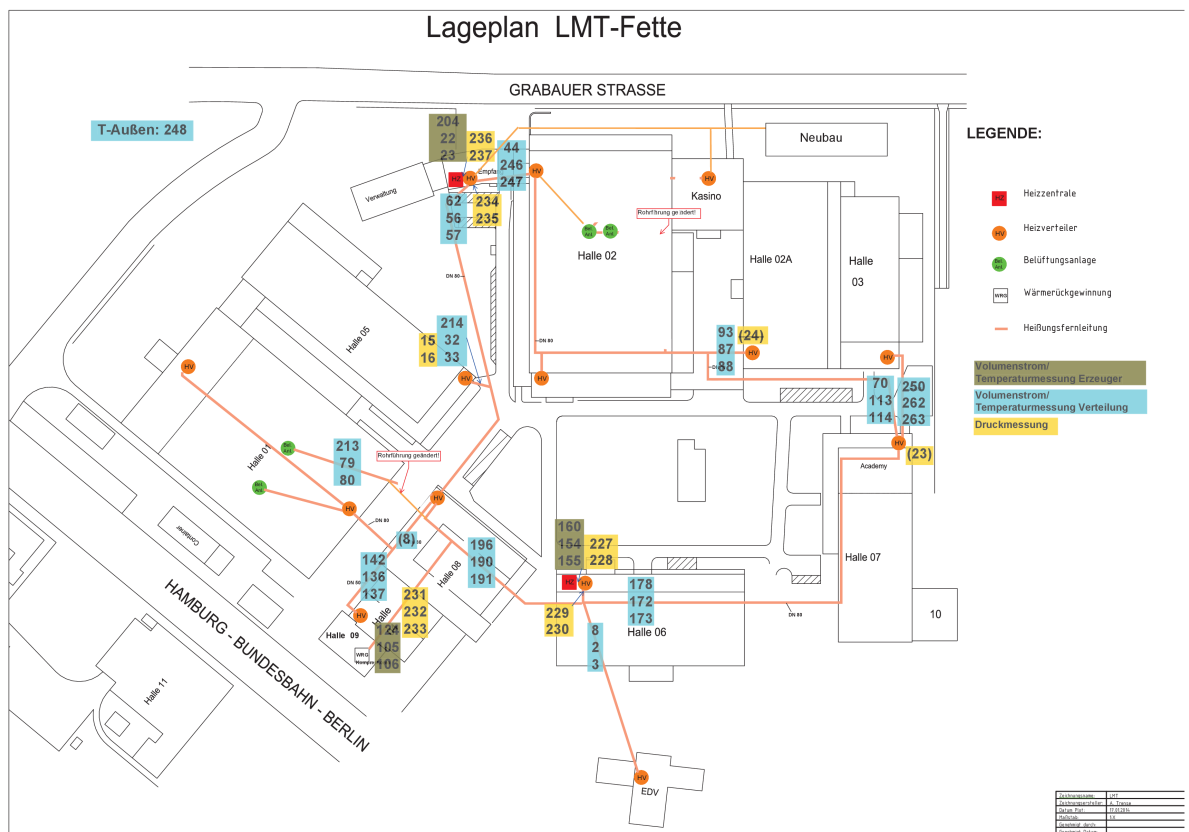


Abbildung 3.3: Lageplan der Messtellen

die Erzeuger ein und Verbraucher beziehen die benötigte Vorlauftemperatur aus dem Fünfeck. Gibt es mehrere Verbraucher zwischen zwei Punkten des Fünfecks, so werden diese zu einem Gesamtverbraucher zusammengefasst.

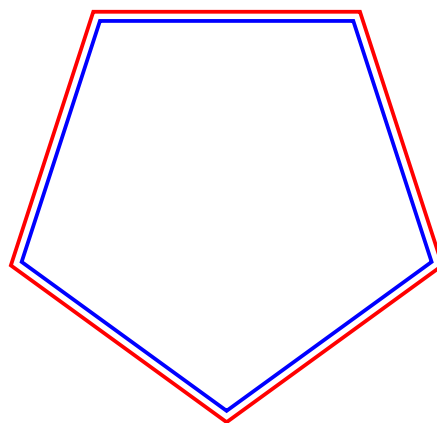


Abbildung 3.4: vereinfachtes Strukturbild der Anlage

3.2 Randbedingungen

3.2.1 Untersuchte Modi

3.2.2 Einfluss des Kompressors

3.2.3 Qualität der Messdaten

3.3 Modellbeschreibung

3.3.1 Inputs und Outputs

3.3.2 Beschreibung der Teilsysteme

3.3.3 Blockschaltbild

4 Parameteridentifikation und Validierung

4.1 Parameteridentifikation der Teilsysteme

4.1.1 Volumenstrom

4.1.2 Vorlauftemperatur

4.1.3 Wärmemenge

4.1.4 Rücklauftemperatur

4.2 Validierung der Teilsysteme

4.2.1 Volumenstrom

4.2.2 Vorlauftemperatur

4.2.3 Wärmemenge

4.2.4 Rücklauftemperatur

4.3 Simulationsergebnisse des Gesamtmodells

4.3.1 Validierung

4.3.2 Einfluss der Flussumkehr auf die Simulationsergebnisse

4.3.3 Fehlerquellen

5 Zusammenfassung und Ausblick

Literatur

- [1] Plenum, “Überprüfung der Durchflussmessungen in der LMT-Group Schwarzenbek,” tech. rep., 2016.