

DISS. ETH Nr. 21054

# SERIAL HEAT PUMPING IN HYDRONIC NETWORKS

A dissertation submitted to  
ETH ZURICH

for the degree of  
Doctor of Sciences

presented by

MATTHIAS ALEXANDER MAST

Dipl.-Ing., Universität Stuttgart, Germany

born October 25, 1982

citizen of Germany

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. Hansjürg Leibundgut

Prof. Andreas Wagner

2013

# Zusammenfassung

Ein hoher Anteil der anthropogenen Treibhausgasemissionen kann dem Gebäudesektor zugeschrieben werden. Diese Emissionen werden durch die fossilen Energieträger verursacht, die für die Klimatisierung und den Betrieb der Gebäude benötigt werden. Wärmepumpen erlauben es den Bedarf an fossilen Energieträgern zu reduzieren und eröffnen zusätzlich die Möglichkeit, die Gebäude kostensparend mit regenerativ erzeugten Energieträgern zu klimatisieren.

Die Effizienz einer Wärmepumpe ist umgekehrt proportional zum Temperaturunterschied, den die Maschine überwinden muss. Dieser Temperaturunterschied wird durch die Art der Wärmequelle, die Wärmeübergabe und die Wärmesenke bestimmt. Für einen effizienten Betrieb muss dieser Temperaturhub so weit als möglich reduziert werden.

In dieser Arbeit wird untersucht, wie sich die Effizienz der Wärmeversorgung steigern lässt, falls Wärmepumpen in Serie geschaltet werden. Zwei verschiedene Anwendungen werden analysiert.

Die erste Anwendung ist ein reiner Heizbetrieb mit verschiedenen Lasten, die zu unterschiedlichen Anforderungen an die Vorlauftemperatur führen. Das Ziel dieser Anwendung ist es, durch eine grössere Anzahl an Maschinen die jeweilige Vorlauftemperatur besser an den individuellen Bedarf anzupassen und dadurch den gesamten Temperaturhub des Systems zu reduzieren. Im untersuchten Modell deckt eine zentrale Wärmepumpe den Grossteil der Heizlast und versorgt gleichzeitig eine dezentrale Wärmepumpe, die für einen Raum mit höherer Heizlast die Vorlauftemperatur anpasst.

Die zweite Anwendung ist eine Kombination aus Niedertemperaturheizen und Warmwasserbereitung, wie sie in vielen Wohngebäuden anzutreffen ist. Eine zentrale Wärmepumpe deckt die gesamte Heizlast und versorgt eine zweite Wärmepumpe, die ausschliesslich Warmwasser erzeugt. Das Fussbodenregister ist als weitere Wärmequelle mit der zweiten Wärmepumpe in Serie geschaltet. Dadurch ist es möglich, die erste Stufe zeitweise auszuschalten und dadurch ebenfalls den Temperaturhub

des Systems zu reduzieren.

Die Grundlagen des seriellen Systems, die hydraulischen Verschaltungen und die Vor- und Nachteile des Ansatzes werden beschrieben. Für beide Anwendungen wird die Arbeitszahl der Wärmebereitstellung und des gesamten Systems bestimmt und mit einem konventionellen System verglichen. Dies erfolgt mit Hilfe eines Modells, das entweder statisch für den Auslegungsfall (Heizen) oder dynamisch für das ganze Jahr (Heizen und Warmwasser) aufgebaut ist. Das konventionelle Vergleichssystem verfügt über dieselben Randbedingungen und die gleichen technischen Systeme wie das untersuchte serielle System aber nur über eine Wärmepumpe.

Zusätzlich wird der Einfluss neuer Technologie auf die Effizienz der seriellen Systeme untersucht. Es handelt sich dabei um neue Arten von Wärmepumpen und Erdsonden, die bereits technisch möglich sind und von denen erwartet wird, dass sie in den kommenden Jahren auch kommerziell verfügbar sein werden.

# Abstract

Buildings in European climate conditions need technical installations in order to achieve indoor conditions that are comfortable for occupants. Nowadays, the energy input for building operation is mainly constituted of fossil energy carriers and building operation is therefore responsible for a large share of global greenhouse gas (GHG) emissions.

A way of reducing fuel consumption is the utilization of efficient heat pump systems, since they reduce the demand for high quality energy carriers. Furthermore, it is possible to cost-efficiently substitute fossil energy carriers with electricity produced from renewable sources. The performance of heat pump operation is, among others, depending on the evaporation and condensation temperature, which define the temperature lift of the machine.

This work deals with concepts for serial heat pumping by which the temperature lift is covered by two machines instead of one. Thereby, it is possible to better match supply and demand, which is of interest for systems with different requirements in terms of supply temperatures.

Two different application areas are analyzed and compared to conventional systems. The first application is a heating system, which provides heat at different temperature levels. An approach with similar supply temperatures for all consumers is compared to a set-up with a decentralized heat pump, which allows to adjust the supply temperature for a specific consumer with a higher load.

The second application considers a combined heating and DHW system. For this setup a main heat pump covers the heating load and provides energy to a second heat pump. The floor heating system is used as an additional energy source for the second heat pump, thereby allowing single stage operation to some extent.

The general idea of serial heat pumping for applications with low supply temperatures (lowEx systems) is introduced, possible hydraulic set-ups are described and the set-ups are evaluated in regard to their performance figures and are compared to conventional systems. These conventional systems consist of only one heat pump but

have the same specifications in terms of boundary conditions and technical systems.

In addition, the influence of novel technology, which is already available or is expected to be available on the short- to medium-term, on the performance is studied as well. Besides the exergetic performance, additional benefits and disadvantages of such serial systems are presented and discussed.