

5 Zusammenfassung und Ausblick

Ziel dieser Arbeit ist es, eine energieeffiziente Klimatisierung eines Versuchsraums unter realitätsnahen Bedingungen und unter Berücksichtigung der optimalen Behaglichkeit durch den Einsatz infrarotstrahlender Textilien zu gestalten. Zur Erfassung des Raumklimas wird ein Funksensornetzwerk und zur Regelung der Heizmattenleistung mehrere Einheiten mit verschiedenen Aufgaben verwendet. Durch Verwendung der Infrarotheizung kann orts aufgelöst geheizt werden, so dass unnötiges heizen in nicht benötigten Raumzonen vermieden wird. Hierfür werden Bewegungsmelder installiert, um erfassen zu können, ob sich Personen im Raum befinden. Zudem kann erfasst werden, wo sich die Personen befinden, um orts aufgelöst heizen zu können. Nach dem Entwurf und der Installation des Versuchsaufbaus in einem Praktikumsraum des Lehrstuhls, wurde die Regelung sowohl software- als auch hardwaretechnisch ausgearbeitet.

Im Anschluss erfolgt eine Charakterisierung der Heizmatten. Zuerst wird eine Impedanzmessung durchgeführt, mit dem Ergebnis, dass beim Betrieb der Heizmatten kein kapazitiver Anteil der Impedanz gemessen wird. Der induktive Anteil liegt im μH -Bereich. Danach wird der Einsatz der Heizmatten auf elektromagnetische Verträglichkeit untersucht. Es werden zwar H- und E-Felder gemessen, diese können jedoch aufgrund der geringen Intensität vernachlässigt werden. Trotz der geringen elektromagnetischen Störeffekte wird bei den ersten Probeversuchen ein starkes Rauschen der Sensorwerte gemessen, so dass ein Tiefpassfilter mit einer Kapazität von $1 \mu\text{F}$ zur Rauschunterdrückung integriert wird.

Anschließend wird der Einsatz der Heizmatten mit einer Heizplatte verglichen. Es zeigt sich, dass die Heizplatte an der Oberfläche über $90 \text{ }^\circ\text{C}$ heiß wird. Deshalb sollte aus Sicherheitsgründen auf eine sachgerechte Installation der Heizplatte geachtet werden. Zudem wird das Aufheizverhalten von Oberflächen in der unmittelbaren Umgebung der beiden Infrarotstrahltypen analysiert. Demnach ist darauf zu achten, dass sich Personen aus Behaglichkeitssicht mindestens einen halben Meter von den Heizmatten und über einen Meter von der Heizplatte aufhalten. Des Weiteren wird verglichen wie homogen sich der Raum erwärmt. Es wird dabei das Aufheizverhalten einer Wand betrachtet, die über einen Zeitraum von einer halben Stunde von den Infrarotheizungen bestrahlt wird. Durch den Einsatz der Heizmatten zeigt sich eine homogenere Temperaturverteilung. Bei der Heizplatte wird aufgrund der wesentlich höheren Flächenleistungsdichte ein höheres Temperaturniveau erreicht, aber dafür liegt eine inhomogenere Temperaturverteilung vor.

Die Untersuchung der Regelung zeigt, dass eine Schwellwertregelung wegen der Trägheit des Systems gute Ergebnisse liefert und für einfache Systeme ausreichend ist. Des Weiteren werden ein P-, ein PI- und ein PID-Regler miteinander verglichen, die anhand der

Einstellregeln nach Ziegler-Nichols betrieben werden. Dabei weist der PI-Regler das beste Ergebnis auf, da er sich am schnellsten der Führungsgröße nähert. Bei einer weiteren Versuchsreihe wird die Heizmattentemperatur als Führungsgröße aus der Behaglichkeitsberechnung über die Raumtemperatur ermittelt. Hierbei zeigt sich, dass sowohl der PI- als auch der PID-Regler ein sehr gutes Verhalten aufweisen. Beide Regler reagieren frühzeitig auf die Führungsgröße und folgen ihr zeitnah. Durch die Wärmeabfuhr in andere Raumzonen schwankt die Führungsgröße zum Teil stark, so dass für eine genaue Analyse des Folgeverhaltens der Regler ein Langzeitversuch durchgeführt werden müsste.

Während den ersten Versuchsdurchführungen ist erkannt worden, dass Wärme in andere Raumzonen abgeführt worden ist. Aufgrund dessen wird das Aufheizverhalten in anderen Raumzonen untersucht, mit dem Ergebnis, dass die umliegenden nicht bestrahlten Bereiche gut erwärmt werden.

Zur Ermittlung der Behaglichkeit werden Probanden nach deren Empfinden befragt. Die Auswertung der Befragung ergibt, dass durch den Einsatz der infrarotstrahlenden Textilien ein behagliches Raumklima geschaffen werden kann. Der Effekt der Infrarotheizung hängt stark vom Bekleidungsgrad der Probanden ab. Bei kurzer Bekleidung wird die Strahlung am besten wahrgenommen, während bei langer Bekleidung der Einfluss der Raumtemperatur überwiegt.

Abschließend wird das Energieeinsparpotenzial durch den Einsatz der Heizmatten als Ergänzung zur Konvektionsheizung ermittelt. In Abhängigkeit der optimalen Behaglichkeit kann mithilfe der Heizmatten die Raumtemperatur um $0,82\text{ °C}$ gesenkt werden. Auf das Jahr gerechnet kann somit eine Energie von $1,08\text{ MWh}$ eingespart werden. Bei den aktuellen Brennstoffpreisen entspricht dies bei Verwendung einer Gasheizung mit Brennwertkessel einer Einsparung von $69,80\text{ €}$ pro Jahr und bei einer Ölheizung mit Brennwertkessel einer Einsparung von $96,95\text{ €}$ pro Jahr.

In nachfolgenden Arbeiten könnte für eine Verbesserung der Regelung die Rauschunterdrückung bei den Temperatursensoren optimiert werden. Eine Möglichkeit ist es, einen weiteren Kondensator als Tiefpass parallel zu schalten, um die unerwünschten Frequenzen zu blockieren. Alternativ kann dieses Problem anhand einer gleitenden Mittelwertbildung softwaretechnisch eliminiert werden. Des Weiteren können bei den Sensoren verdrehte Leitungen verwendet werden, dadurch wird die magnetische Abschirmung gegen Störeinflüsse verbessert.

Die Regelung lässt sich dahingehend optimieren, in dem als weitere Größen, neben der Raum- und der Heizmattentemperatur, noch die Außentemperatur sowie die Wärmeabfuhr in andere Raumzonen berücksichtigt werden. Nachdem die Behaglichkeit von jeder Person

anders Empfundene wird und nur für gewisse Bereiche ermittelt werden kann, eignet sich aufgrund der unscharfen Mengenlehre ein Fuzzy-Regler.