

Untersuchungen zur Thermozyklischen Heizungsregelung (THZ)

Auftraggeber: Ingenieurbüro Kummerer
Graf-Buttler-Str. 7
85778 Haimhausen

vertreten durch:

Dr. Güthe Unternehmensberatungs GmbH
Haderuner Str. 45
81375 München

Projektleiter: Prof. Dr.-Ing. habil. G. Knabe

Bearbeiter: Dipl.-Ing. C. Felsmann

Dipl.-Ing. H. Werdin

Technische Universität Dresden

Institut für Thermodynamik und Technische Gebäudeausrüstung

Dresden, 21. Juni 2000

Inhaltsverzeichnis

1. Allgemeines	1
2. Ergebnisse	3
3. Schlussfolgerungen	9
A. Raumkennwerte	10
B. Heizungsanlage	12
C. Ventil- und Reglerkennwerte	13

1. Allgemeines

Der vorliegende Bericht enthält die Ergebnisse der am Institut für Thermodynamik und Technische Gebäudeausrüstung der TU Dresden durchgeführten Untersuchungen zum Regelverhalten der „Thermozyklischen Heizungsregelung (THZ)“¹. Untersucht wird das Regelverhalten einer einfachen Heizungsanlage in einem einzelnen, quaderförmigen Raum leichter Bauweise, d. h. mit kleinen wärmespeichernden Bauwerksmassen. Eine im Hinblick auf die Wärmespeicherfähigkeit schwere Bauweise ist durch ein trägeres thermisches Verhalten gekennzeichnet. Die wichtigsten Kennwerte des Raumes sind der Tabelle A.1 zu entnehmen. Die Wahl anderer Raumgeometrien hat keinen prinzipiellen Einfluß auf die in dieser Arbeit dargestellten Ergebnisse.

Die Wärmeversorgung des Raumes erfolgt mittels Pumpenwarmwasserheizung bestehend aus Heizkörper, Ventil, Heizungspumpe, Vorlauf, Rücklauf. Weitere Informationen zur Heizungsanlage sind im Anhang B zu finden.

Für den betrachteten Raum ist der Heizenergiebedarf und der zeitliche Verlauf der Lufttemperatur in Abhängigkeit äußerer Einflüsse (Außentemperatur, solare Einstrahlung) und eines vorgegebenen Nutzerverhaltens (Sollwerte, Luftwechsel, innere Wärmegewinne; Bilder A.1 bis A.3) für eine vollständige Heizperiode berechnet worden. Das Nutzungskonzept des Raumes wurde im Hinblick auf ein realistisches und gleichzeitig möglichst aktives Regelverhalten definiert.

Für die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Berechnungen wurde das Simulationsprogramm TRNSYS [1] benutzt. Die Simulation des Regelalgorithmus des THZ erfolgte mit einem vom Auftraggeber zur Verfügung gestellten „black-box“-Modell. Dieses wurde mit Hilfe einer speziell dafür entwickelten neuen Kopplungsroutine, einem sogenannten TRNSYS-TYPE, in die vorhandene TRNSYS-Umgebung eingebunden. Die Simulationsschrittweite wurde entsprechend dem Abtastintervall des THZ-Reglers auf einen einheitlichen Wert von 1 min festgelegt.

Durch einen Vergleich der Simulationsergebnisse gegenüber dem Einsatz eines PI-Reglers (PI) bzw. eines Thermostatregelventils (TRV) lassen sich Aussagen zur Qua-

¹Europäische Patentnummer EP 0935 181 A2, veröffentlicht am 11.08.1999 Patentblatt 1999/32

lität der Thermozyklischen Heizungsregelung ableiten. Um gegenüber der PI- bzw. Thermostatregelung vergleichbare hydraulische Verhältnisse im Heizungskreislauf sicherzustellen, war im Fall der Thermozyklischen Heizungsregelung das im Heizungsnetz vorhandene Ventil, ohne PI- oder Thermostatkopf, durchgehend voll geöffnet. Die Zweipunktsignale (Ein/Aus; Auf/Zu) der THZ-Regelung wurden zur Pumpensteuerung verwendet, so daß die so modellierte Massestromregelung der Wirkungsweise eines (trägheitslosen) Magnetventiles entspricht.

2. Ergebnisse

Aus den mit der Simulation berechneten Werten dienen die folgend dargestellten statistischen Größen

- Mittlere Raumlufthtemperatur,
- Heizenergiebedarf und
- Mittlere Regeldifferenz

sowie die zeitlichen Verläufe von

- Raumlufthtemperatur und
- Ventilhub

als Grundlage einer Bewertung der drei untersuchten Regelungsarten THZ, PI und TRV. Die Sollwerteneinstellung am Thermostatregelventil bleibt in der gesamten Heizperiode unverändert während bei der THZ- und PI-Regelung eine zeitabhängige Sollwertverstellung erfolgt (BildA.1).

Das Bild 2.1 zeigt einen Vergleich der über den gesamten Berechnungszeitraum gemittelten Raumlufthtemperatur. Dabei wird klar, daß aufgrund der unterschiedlichen Sollwertvorgaben die mittleren Raumlufthtemperaturen bei Anwendung der programmierten Thermozyklischen bzw. PI-Regelung kleiner sind als bei Regelung durch ein fest eingestelltes Thermostatventil. Daraus ergibt sich zwangsläufig auch ein geringerer Heizenergiebedarf, Bild 2.2. Eine Verstellung der Sollwerte für jeden Regler zum Ausgleich dieser Unterschiede läßt sich praktisch nicht realisieren, da durch systembedingte Temperaturschwankungen (z. B. Thermostatventil) unkomfortable Raumzustände auftreten können, die vom Nutzer nicht toleriert werden. Gegenüber der Thermostatregelung mit konstanten Sollwerteneinstellungen läßt sich durch die zeitliche begrenzte Absenkung der Raumtemperatur in dem betrachteten Fall der Heizenergiebedarf um etwa 11% senken.

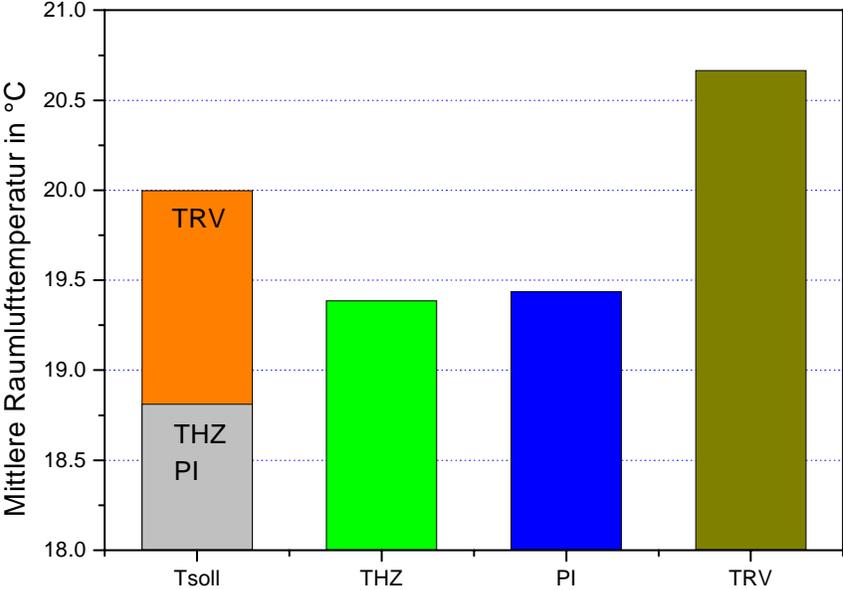


Bild 2.1: Mittelwerte der Raumlufttemperaturen

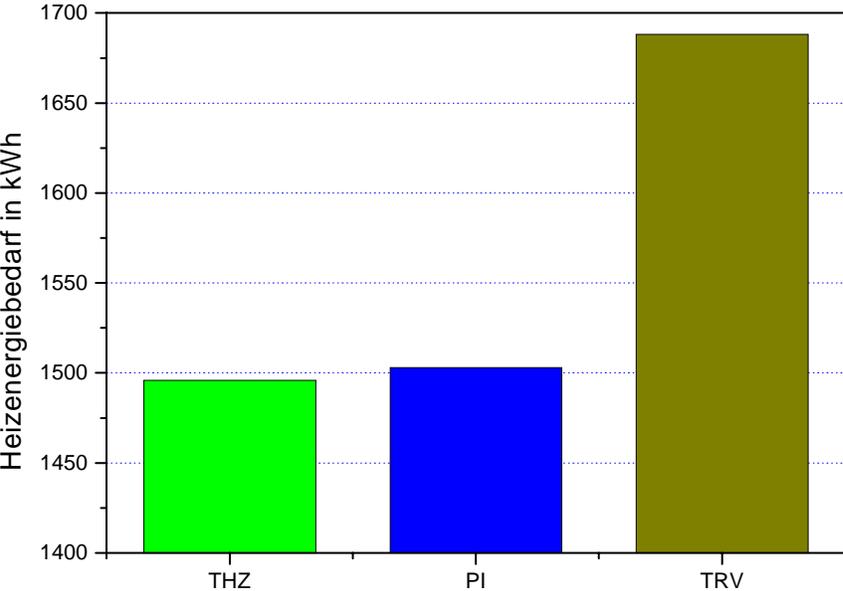


Bild 2.2: Jahresheizenergiebedarf

Aus dem zeitlichen Verlauf der Raumlufttemperaturen, wie im Bild 2.3 für zwei ausgewählte Tage, Sonntag und Montag, dargestellt, ist zu erkennen, wie die Regler auf Sollwertänderungen (THZ, PI) oder das Einwirken von Störgrößen (Innere/äußere Lasten, Luftwechsel, Änderung der Vorlauftemperatur) reagieren. Bei einem einfachen Sollwertsprung, sowohl Aufheizen als auch Abkühlen, unterscheiden sich die Temperaturverläufe von THZ- und PI-Regelung (bei der Thermostatregelung wurde ein konstanter Sollwert angenommen) zunächst nur sehr wenig voneinander. Erst bei Erreichen des vorgegeben Sollwertes zeigen sich deutliche Unterschiede. Während beim Aufheizvorgang der PI-Regler infolge Überschwingens eine Erhöhung der Raumlufttemperatur verursacht, sinkt die Temperatur bei der Thermozyklischen Regelung kurzzeitig ab. Beide Regler stabilisieren sich dann aber in der Nähe des Sollwertes, dem sich die Raumlufttemperatur bei THZ-Regelung aufgrund des fehlenden Überschwingens aber langsam von der anderen Seite her nähert. Die gleichen Vorgänge lassen sich in umgekehrter Richtung auch beim Auskühlen des Raumes beobachten.

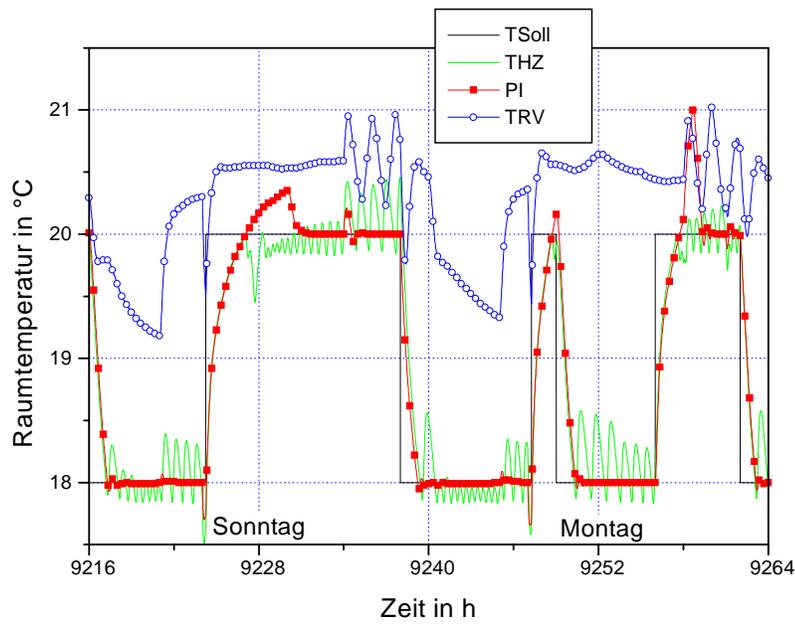


Bild 2.3: Zeitlicher Verlauf der Raumlufttemperaturen

Gut sichtbar ist das Schwingen der Raumlufttemperatur bei THZ-Regelung, das im quasistationären Zustand bei etwa $\pm 0.1 \dots 0.3$ K erfolgt und der Adaption der Reglerparameter dient. Während die Raumlufttemperatur bei Verwendung eines Thermostatregelventils in dem vorliegenden Fall innerhalb des Auslegungsbereiches von ± 1 K schwingt, hält der PI-Regler, wenn keine sprunghaften Störgrößen einwirken, die Raumlufttemperatur entsprechend dem Sollwert konstant. Hierzu ist aber eine exakte Einstellung der Reglerparameter erforderlich, um einerseits das Regelverhalten gegenüber Störgrößen zu verbessern, andererseits aber instabile Regelzustände zu vermeiden. Das Auftreten zusätzlicher innerer Wärmelasten führt bei allen drei Regelungsarten zu einer erhöhten Raumtemperaturschwankung.

Bild 2.4 zeigt die drei unterschiedlichen zeitlichen Verläufe des Ventilhubes, der die Stellgröße bei der Temperatursteuerung ist. Der Darstellung sind dabei das typische Zweipunktverhalten des THZ-Reglers sowie die charakteristischen Stellsignale von PI-Regler und Thermostatkopf zu entnehmen.

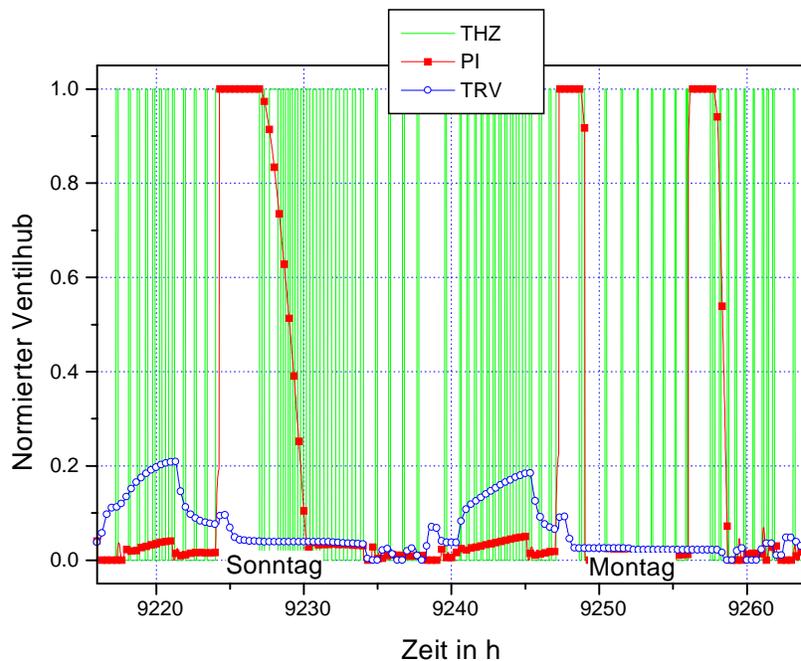


Bild 2.4: Zeitlicher Verlauf der Ventilhübe

Als eine Kenngröße für die Qualität der Regelung ist im Bild 2.5 die mittlere absolute Regeldifferenz aufgetragen. Für diese Darstellung wurden nur die im Bilanzzeitraum der Monate November bis Februar berechneten Temperaturwerte berücksichtigt, um die während der Übergangszeit auftretenden Temperaturerhöhungen infolge solarer Wärmegewinne vernachlässigen zu können.

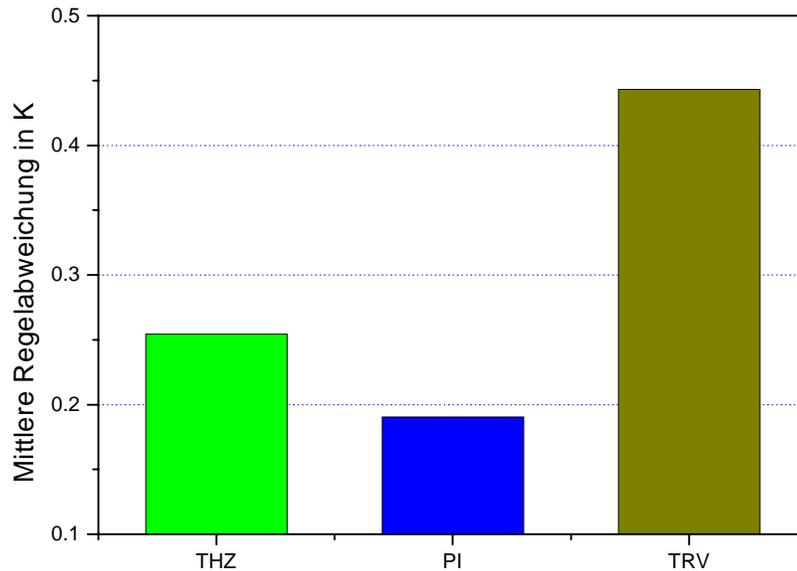


Bild 2.5: Mittlere Regeldifferenz während der Heizperiode

Es zeigt sich, daß die Regelung nach dem thermozyklischen Prinzip eine gegenüber der thermostatgeregelten Raumheizung wesentliche Verbesserung der Regelgenauigkeit mit sich bringt (mittlere Regelabweichung -42%). Die PI-Regelung wird nur geringfügig besser bewertet, was auf das, je nach Einstellung des PI-Reglers, mehr oder weniger stark ausgeprägte Überschwingen der Temperatur bei sprunghaften Änderungen von Eingangsgrößen (Sollwert, innere Wärmelasten) zurückzuführen ist.

Die in den Bildern 2.6 und 2.7 dargestellten Übergangsfunktionen veranschaulichen noch einmal die Reaktion der Raumlufttemperatur bei sprunghafter Änderung von Sollwert bzw. inneren Wärmelasten für die drei, qualitativ unterschiedlichen, Regelmechanismen. Bei diesen Simulationen blieben alle Randbedingungen bis auf die jeweils zu ändernde Größe unverändert. Bei der thermozyklischen Heizungsrege-

lung wurden vor dem eigentlichen und in den Bildern dargestellten zwei zusätzliche Sprünge der Störgröße vorgegeben, um dem Regelmechanismus das „Lernen“ dieser Störaktionen zu ermöglichen.

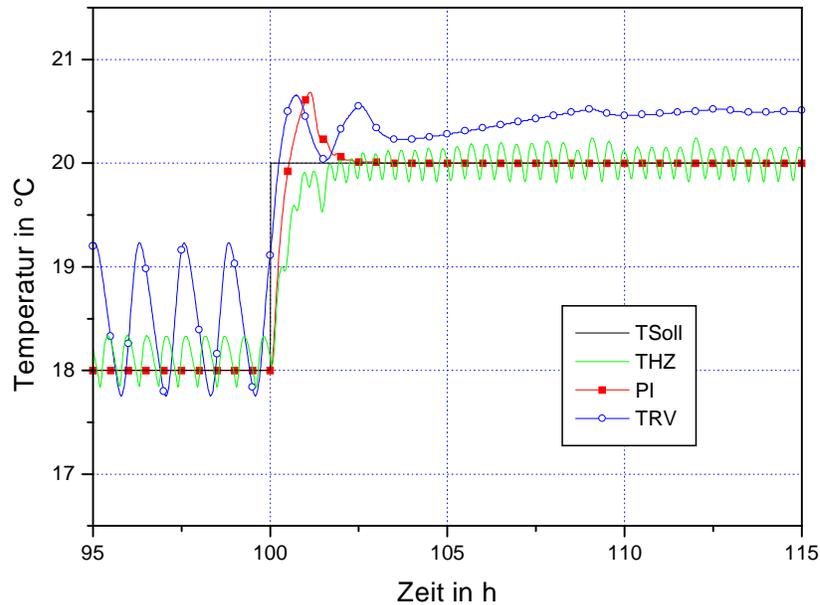


Bild 2.6: Übergangsfunktion bei Sollwertsprung (Sprung bei 100 h)

Der PI-Regler hat, wie zu erwarten, keine bleibende Regelabweichung. Soll- und Isttemperatur stimmen im ausgeregelten Zustand überein. Demgegenüber schwingt die von Thermostatregelventil und Thermozyklischer Heizungsregelung geregelte Temperatur um einen Mittelwert, der nicht mit dem Sollwert identisch sein muß. Der von den Schwingungen abgedeckte Temperaturbereich beträgt in dem gewählten Beispiel bis zu 2 K bei Einsatz des TRV und 0.5 K bei der Thermozyklischen Regelung. Die mittlere Abweichung vom Sollwert sowie die Amplitude nehmen im Teillastbereich (niedriger Sollwert, hohe innere Wärmegewinne) zu. Das Thermostatregelventil hat in seiner Eigenschaft als P-Regler die größte bleibende Regelabweichung.

Anhand des kleineren Schwingungsbereiches wird hier noch einmal der Vorteil des thermozyklischen Prinzips bei der komfortorientierten Temperaturregelung deutlich.

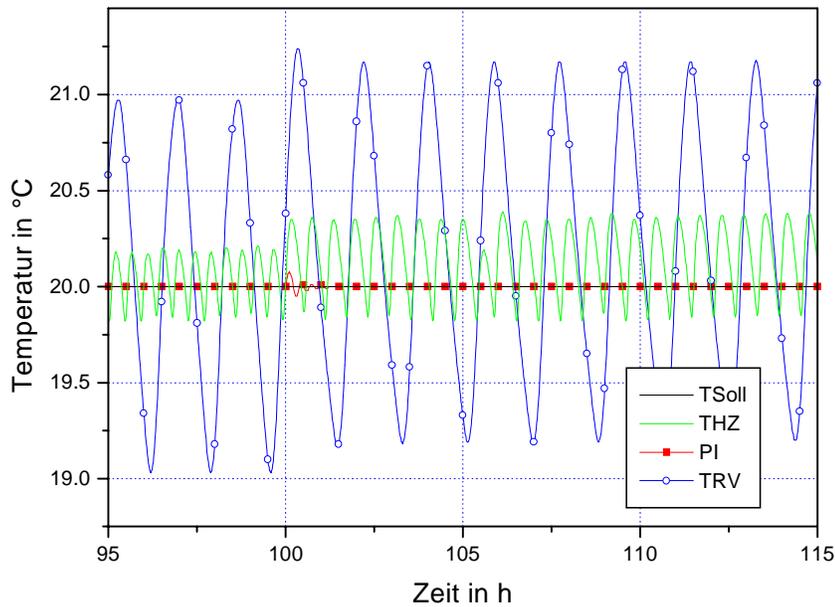


Bild 2.7: Reaktion bei sprungförmiger Änderung innerer Wärmelasten
(Sprung bei 100 h)

3. Schlussfolgerungen

Die Thermozyklische Heizungsregelung (THZ) gestattet eine komfortable Regelung der Raumtemperatur. Die mittlere zu erwartende Regeldifferenz ist, je nach Reglereinstellung und der unterschiedlich stark ausgeprägten Neigung zum Überschwingen, mit der eines PI-Reglers vergleichbar. Als vorteilhaft ist dabei vor allem der Umstand zu bewerten, daß durch die Selbstparametrierung des Reglers falsche oder unvorteilhafte Einstellungen vermieden werden und keine instabilen Regelzustände auftreten können. Bei dem hier gewählten Beispiel läßt sich durch die Vorgabe eines zeitlich veränderlichen Temperatursollwertes der Heizenergiebedarf gegenüber einem Thermostatventil um 11% senken.

A. Raumkennwerte

Beschreibung	Wert
Innere Abmessungen	3.6 m × 5.5 m × 2.8 m
Außenwandfläche	18.48 m ²
Innenwandfläche(adiabat)	65.08 m ²
Fensterfläche	7.00 m ²
Verschattungsgrad	0.9
Luftwechsel	Zeitplan Bild A.2
mittlere Außenlufttemperatur während der Heizperiode	5.1 °C
Innere Wärmegewinne	Zeitplan Bild A.3

Tabelle A.1: Parameter Raum

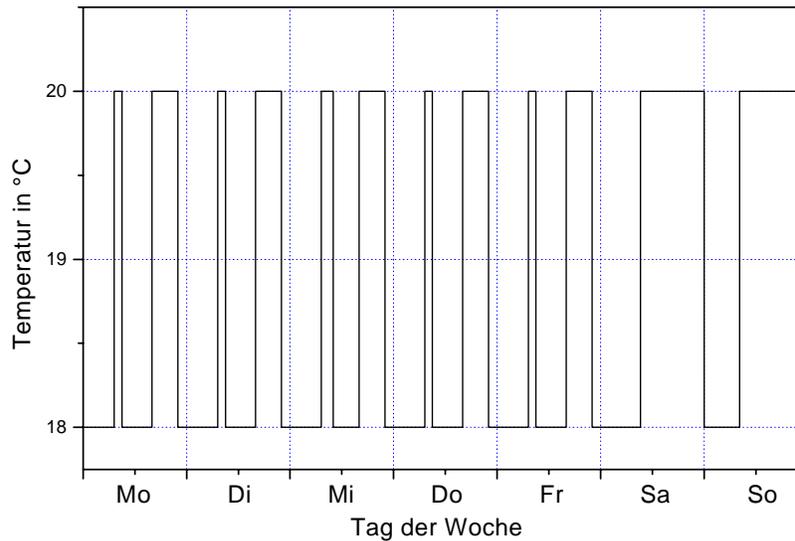


Bild A.1: Wochenplan für Solltemperaturverlauf bei PI- und THZ-Regelung; Sollwert bei TRV-Regelung konstant 20 °C

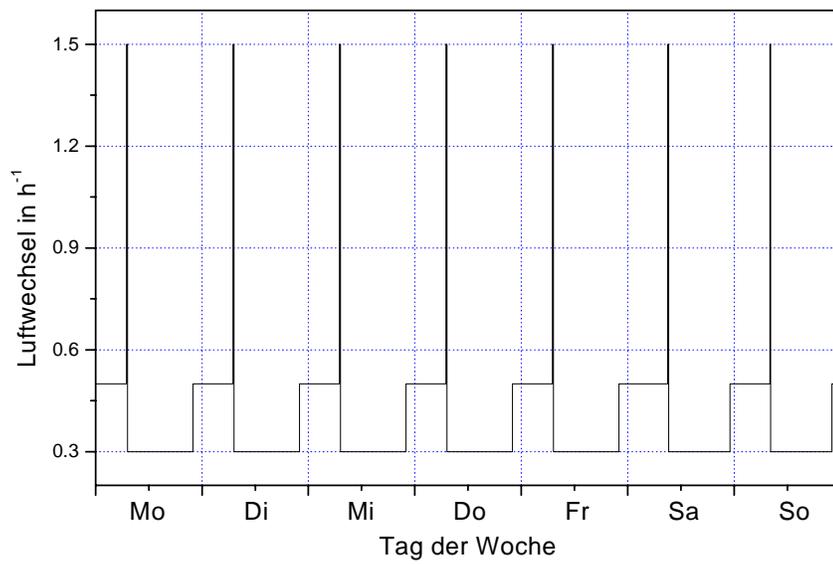


Bild A.2: Wochenplan für Außenluftwechsel

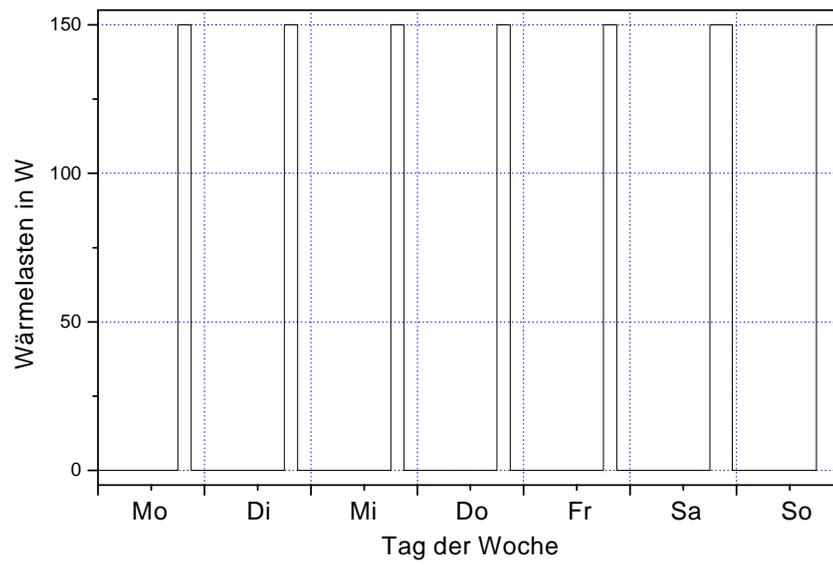


Bild A.3: Wochenplan für innere Wärmelasten

B. Heizungsanlage

Beschreibung	Wert
Auslegungstemperaturen (Vor-, Rücklauf-, Raumtemperatur)	70 °C/55 °C/20 °C
Nennmassestrom	49.3 kg/h
Heizkurve (mit Nachtabsenkung der Vorlauftemperatur)	vgl. Bild B.1
Nachtabsenkung	täglich 24. ⁰⁰ – 5. ⁰⁰ Uhr

Tabelle B.1: Parameter Heizung

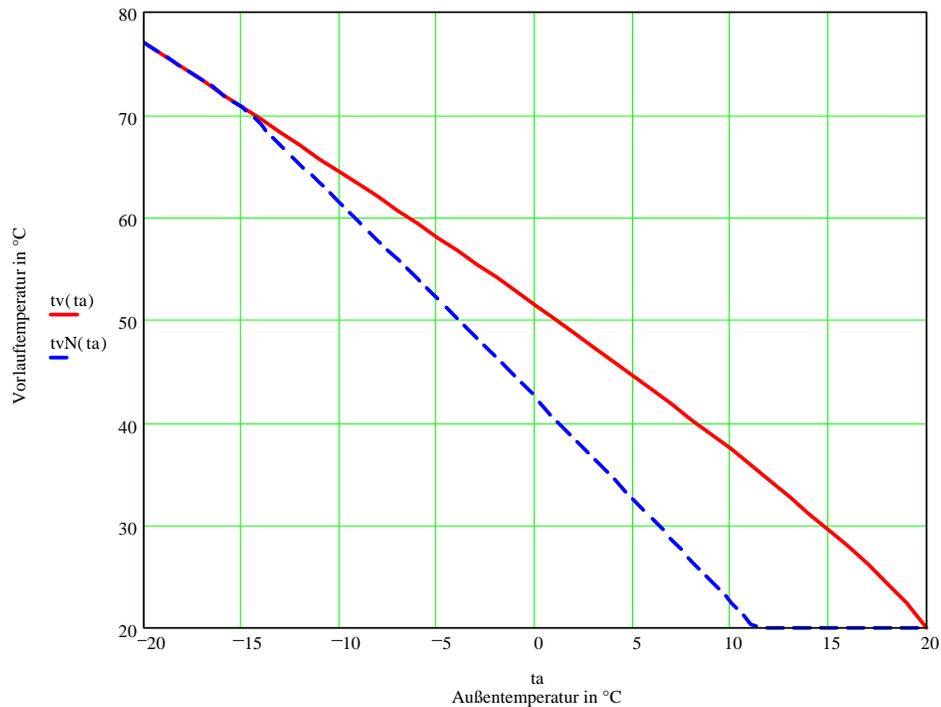


Bild B.1: Heizkurve

C. Ventil- und Reglerkennwerte

Regler	Beschreibung
Thermostat	Proportionalbereich 6.51 K Auslegung $x_p = 1$ K Hysterese 0.3 K Zeitkonstante $T = 14.5$ min
PI-Regler	Proportionalitätsfaktor $0.4 \bar{H}/K$ Nachstellzeit 1200 s
Thermozyklische Regelung (THZ)	Magnetventil

Tabelle C.1: Parameter Regler und Ventile

Literatur

- [1] Transsolar Energietechnik GmbH. Stuttgart: *TRNSYS - a transient system simulation program*. 1996. – Version 14.2, Dokumentation