

Diss. ETH Nr. 6336

**DYNAMISCH OPTIMALE STEUERUNG DES
BETRIEBS VON FERNHEIZANLAGEN**

ABHANDLUNG

zur Erlangung

des Titels eines Doktors der technischen Wissenschaften

der

EIDGENÜSSISCHEN TECHNISCHEN

HOCHSCHULE ZÜRICH

vorgelegt von

ERNST BITSCHKE

Dipl. Masch.-Ing. ETH

geboren am 20. Februar 1948

von Österreich

/••"

Angenommen auf Antrag von —

Prof. Dr. P. Profos, Referent

Prof. Dr. M. Berchtold, Korreferent .

I n h a l t s v e r z e i c h n i s

1. Einführung	15
1.1. Ausgangssituation	16
1.2. Zielsetzung	19
2. Das Konzept der optimalen Steuerung des Betriebs von Fernheizanlagen	22
2.1. Ausgangssituation	22
2.2. Realisierungskonzept der Steuerung	23
3. Das digitale Simulationsmodell einer Fernheizanlage	41
3.1. Vorgehen bei der Modellbildung einer Fernheizanlage	41
3.2. Zielsetzung	44
3.3. Ausgangssituation	45
3.4. Die Modelle der wichtigsten Störgrößen einer Fernheizanlage	47
3.4.1. Verbrauchsgewohnheiten	47
3.4.2. Wetterwirkungen	48
3.4.2.1. Aussenlufttemperatur	48
3.4.2.2. Sonneneinstrahlung	60
3.4.2.2.1. Bestimmung des Sonnenstandes	64
3.4.2.2.2. Bestimmung von- T und K	67
3.4.2.2.3. Das Sonneneinstrahlungsprognosemodell	67
3.4.2.3. Wind	68
3.4.3. Qualitatives Störspektrum der Wettergrößen	72

3.5. Die Formulierung des Simulationsmodells von Fernheizanlagen	73
3.5.1. Die Programmierung	74
3.5.2. Der Raumheizungswärmebedarf von Gebäuden	76
3.5.2.1. Anwendungszweck	76
3.5.2.2. Wesentliche Voraussetzungen und vereinfachende Annahmen	77
3.5.2.3. Die Wärmestrombilanz eines Gebäudes	79
3.5.2.3.1. Die Gebäudeheizanlagen	82
3.5.2.3.2. Die Raumluftherwärmung	83
3.5.2.3.3. Wärmeleitung durch Glasflächen	83
3.5.2.3.4. Einfall der Sonnenstrahlung durch Glasflächen in Gebäude	85
3.5.2.3.5. Der Wärmeverlust von Gebäuden durch Fugen	94
3.5.2.3.6. Ankoppelung der Raumbegrenzungswände an die Temperaturbewegung der Luft	95
3.5.2.3.6.1. Die "dünne Wand"	97
3.5.2.3.6.2. Die "unendlich dicke Wand"	100
3.5.2.3.6.3. Kriterien zur Beurteilung der Anwendbarkeit der Grenztheorien "dünne Wand" und "unendlich dicke Wand"	103
3.5.2.3.6.4. Die "begrenzt dicke Wand"	104-
3.5.2.4. Die Modellbildung eines Gebäudes: ein Beispiel	107
3.5.2.4.1. Das Gebäude (Modellhaus)	107
3.5.2.4.2. Resultate (Modellhaus)	111
3.5.3. Das dynamische Übertragungsverhalten von Wärmeverteilnetzen	
3.5.3.1. Zielsetzung und Ausgangssituation	
3.5.3.2. Zusammenfassung der Resultate der genauen Lösung des Problems des dynamischen Übertragungsverhaltens zwischen Mediumsein- und -austrittstemperatur in einem dünnwandigen, aussen isolierten Rohr	
3.5.3.3. Die vereinfachte Nachbildung des Temperaturübertragungsverhaltens von aussen isolierten, dünnwandigen Rohrleitungen	
3.5.3.4. Vereinfachter Ansatz über die Übertragungsverluste von Fernwärmeleitungen	

3.5.4.	Das dynamische Verhalten von Wärmeproduktionsanlagen und Wärmespeichern	122
3.5.5.	Die notwendigen Vereinfachungen, um grosse Fernheizanlagen mathematisch modellieren zu können: das "vereinfachte" Gebäudemodell	-j 23
3.5.6.	Vereinfachtes Modell einer ganzen Fernheizanlage	131
4.	Die Gütefunktion für die Betriebsoptimierung der Gesamtanlage	135
4.1.	Annahmen und Zielsetzung	135
4.2.	Diskussion der Grossen, deren Kosten bzw. Nutzen durch Gütefunktionen zu bewerten sind	136
4.2.1.	Betriebsverlaufsunabhängige Kosten bzw. Nutzen	136
4.2.2.	Betriebsablaufsabhängige Energiekosten	137
4.2.3.	Betriebsabhängige Instandstellungskosten	139
4.2.4.	Spezielle Kostenansätze	•] 40
4.3.	Bemerkungen	141
5.	Messungen	142
5.1.	Ausgangssituation	142
5.2.	Zielsetzung	142
5.3.	Auswahl des Messobjekts	143
5.4.	Das Messobjekt	144
5.4.1.	Die Fernheizanlage	144
5.4.1.1.	Die Wärmeproduktionseinrichtung	147
5.4.1.2.	Das Wärmeverteilnetz	149
5.4.1.3.	Die Wärmeübergabestationen in den einzelnen Häusern	159

5.4.2. Das Einzelhaus	152
5.5. Das Messprogramm	157
5.6. Die Messeinrichtung	158
5.6.1. Das Messanlagenkonzept	158
5.6.2. Beschreibung der einzelnen Messgeräte	163
5.6.2.1. Die Temperaturmessgeräte	163
5.6.2.2. Die Windgeschwindigkeitsmessung	167
5.6.2.3. Messung der Sonneneinstrahlungsleistung	168
5.6.2.3.1. Messung der Diffusstrahlungsleistung	168
5.6.2.3.2. Messung der Direktstrahlungsleistung	169
5.6.2.4. Die Massenstrommessung in den Fernleitungs- und Haus-Wärmeübergabestationsrohren	170
5.6.2.4.1. Die Massenstrommessung im Fernleitungs- laufrohr in der Heizzentrale	170
5.6.2.4.2. Die Massenstrommessung in der Haus-Wärme- übergabestation	171
5.7. Die vereinfachte Modellbildung	175
5.7.1. Das Einzelhaus	175
5.7.2. Das gesamte Fernheiznetz	180
5.8. Resultate der Messungen und Vergleich mit den Aussagen der theoretischen Modelle	182
5.8.1. Das Einzelhaus	182
5.8.1.1. Vergleich des in Abb. 48 dargestellten Falls (Einzelhaus) mit den Messresultaten	185
5.8.1 »2. Vergleich von anderen Modell- und Messresul- taten des Einzelhauses	187
5.8.2. Das gesamte Fernheiznetz	187
5.8.2.1. Vergleich des in Abb. 50 dargestellten Falls (ganze Fernheizanlage) mit den Messresultaten	190
5.8.2.2. Vergleich anderer Modell- und Messresultate des gesamten Fernheiznetzes	192

5.9. Beurteilung der vorgeschlagenen Modellbildungsmethode auf Grund der Erfahrungen aus dem Vergleich von Theorie und Messung	193
6. Schluss	194
6.1. Hinweis auf noch offene Probleme	194
6.2. Ausblick	195