

Dipl.-Ing. Martin Becker, Freisen

**Automatisierung kälte-
technischer Anlagen auf Basis
der mathematischen Model-
lierung des Gesamtsystems**

Reihe **19**: Wärmetechnik/
Kältetechnik

Nr. **86**

1	Einleitung	1
1.1	Stand bei der Automatisierung kältetechnischer Anlagen	1
1.2	Motivation und Ziele der Arbeit	2
1.3	Gliederung der Arbeit	4
2	Kältetechnische Anlagen	6
2.1	Aufbau und Wirkungsweise kältetechnischer Anlagen	7
2.2	Verlauf eines Kühl- und Abtauzyklus.....	12
2.3	Anforderungen an die Automatisierung kältetechnischer Anlagen	15
2.4	Abgrenzung des kältetechnischen Systems	19
3	Simulationsmodelle für kältetechnische Systeme	21
3.1	Motivation für die Modellbildung	22
3.2	Übersicht zu Simulationsmodellen für kältetechnische Systeme	24
3.3	Prinzipielle Vorgehensweise bei der mathematischen Modellbildung	27
4	Grundlagen für die Modellbildung kältetechnischer Systeme	28
4.1	Einführung	29
4.2	Gleichungen für die Energie- und Massenbilanz.....	30
4.2.1	Energiebilanz	30
4.2.2	Massenbilanz	32
4.3	Eigenschaften feuchter Luft.....	33
4.3.1	Zusammenhang zwischen Temperatur und Luftfeuchtigkeit	33
4.3.2	Thermische Zustandsgleichungen	33
4.3.3	Enthalpie der feuchten Luft	35
4.4	Wärme- und Stoffübertragung	37
4.4.1	Wärmeleitung	37
4.4.2	Wärmeübergang und Wärmedurchgang	39
4.4.3	Wärmestrahlung	40
4.4.4	Analogie zwischen Wärme- und Stoffübertragung	41
4.5	Analogie zwischen thermischen und elektrischen Größen	45
5	Aufbau des Simulationsmodells	49
5.1	Übersicht über das Gesamtmodell	50
5.2	Modellierung der Kälteanlage.....	52
5.2.1	Einführung	52
5.2.2	Modell für die Kältemaschine	52
5.2.3	Modell für den Verdampfer	54
5.2.4	Modell für den Verdampferventilator.....	67
5.2.5	Modell für die Abtauheizung.....	68
5.3	Modell einer Kühlraumwand	70
5.4	Modell für die Speichermasse im Kühlraum	72
5.5	Modell für das eingelagerte Kühlgut	73
5.6	Modellierung von Luftaustauschvorgängen	77
5.7	Modellierung der feuchten Kühlraumluft	80
5.7.1	Bilanzierung der ein- und austretenden Wärme- und Stoffströme	80
5.7.2	Energie- und Massenbilanz für ungesättigte Luft.....	84
5.7.3	Energie- und Massenbilanz für gesättigte Luft.....	85
5.8	Berücksichtigung weiterer Kälte- und Feuchtelasten	89
5.9	Implementierung des Simulationsmodells	90

6	Exemplarische Simulationsstudien mit Vergleich von Meßergebnissen	94
6.1	Simulationsstudie für einen Kühl- und Abtauzyklus	95
6.2	Vergleich von Meßuntersuchungen mit Simulationsergebnissen	104
6.3	Diskussion und Bewertung der Ergebnisse.....	112
7	Untersuchungen zur Kühlstellenregelung	114
7.1	Vorüberlegungen und Motivation.....	115
7.2	Untersuchungen zum Kühlraumklima	118
7.3	Kühlstellenregelung mit schaltenden Stellgliedern.....	123
7.3.1	Überblick	123
7.3.2	Zweipunkt-Temperaturregelung (Standardregelung)	123
7.3.3	Zweipunkt-Temperaturregelung mit Lüftersteuerung	127
7.3.4	Zusammenfassung für unstetige Regelungskonzepte	131
7.4	Kühlstellenregelung mit stetigen Stellgliedern	132
7.4.1	Überblick	132
7.4.2	Fuzzy Control	135
7.4.3	Fuzzy-Controller für Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit	138
7.5	Diskussion der Ergebnisse und Ausblick.....	148
8	Zusammenfassung	150
	Anhang	151
	Formelzeichen und häufig verwendete Indizes	159
	Literaturverzeichnis.....	164