

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	II
Nomenklatur	IX
1 Einleitung und Zielsetzung	1
1.1 Wärmepumpensysteme in Mehrfamilienhäuser	1
1.2 Ziel und Struktur der Arbeit	3
2 Mehrfamilienhaus	4
3 Heizungssysteme mit Wärmepumpe in Mehrfamilienhäusern	6
3.1 Heizungssystem „WoSta mit integriertem DLE-E“	7
3.2 Heizungssystem „zentrale FriWa, WP mit Heizstab“	9
3.3 Heizungssystem „zentrale FriWa mit DLE-E“	10
3.4 Heizungssystem „zentrale FriWa, TWW über BW-H“	10
3.5 Heizungssystem „zentrale FriWa, TWW über WP u. BW-H“	12
3.6 Heizungssystem „dezentrale DLE-E“	12
3.7 Übersicht der betrachteten Heizungssysteme	14
4 Simulationsverfahren	17
5 Hydraulische Simulationsmodelle	19
5.1 Pumpen	19
5.2 Rohrnetzberechnung	21
5.2.1 Grundlagen der Rohrhydraulik	22
5.2.1.1 Kontinuitätsgleichung	22
5.2.1.2 Energieerhaltungssatz nach Bernoulli	23
5.2.1.3 Druckverlusthöhen	24
5.2.2 Grundlagen der Rohrnetzberechnung	27
5.2.2.1 Knoten	27
5.2.2.2 Stränge	28
5.2.2.3 Rohrleitungswiderstand	29
5.2.2.4 Widerstand von Thermostatventilen	30
5.2.2.5 Widerstand von Differenzdruckreglern	30
5.2.3 Auswahl eines Verfahrens zur hydraulischen Rohrnetzberechnung	30
5.2.3.1 Das Knoten-Verfahren	33

5.3	Thermostatische Ventile	39
5.3.1	Wärmeübertrager-Kennlinie und α -Wert	40
5.3.2	Ventilkennlinien, K_V -Werte und Ventilautoritäten	41
5.3.3	Streckenkenlinien	42
5.3.4	Proportionalbereich von Thermostatventilen im Auslegungsfall	43
5.3.5	Thermostatische Heizungsventile	45
5.4	Zapfprofil	47
6	Thermische Simulationsmodelle	49
6.1	Thermodynamische Grundlagen	49
6.1.1	Wärmeleitung (Konduktion)	50
6.1.2	Konvektiver Wärmeübergang	51
6.1.3	Wärmedurchgang	53
6.1.4	Strahlung	54
6.1.5	Wärmespeicherung	55
6.2	Rohrmodell	56
6.3	Wärmepumpenmodell	64
6.4	Modell eines Gas-Brennwertheizgeräts	67
6.5	Pufferspeicher	78
6.6	Plattenwärmeübertrager	84
6.7	Heizkörper	88
6.8	Elektrischer Durchlauferwärmer	91
6.9	Witterungsgeführte Vorlauftemperaturregelung	92
6.10	Gebäudesimulation	93
6.10.1	Referenzlastprofilen der VDI-Richtlinie 4655	94
6.10.2	Tageszeitabhängige Außentemperaturverläufe	97
6.10.3	Jahreszeitabhängiger Trinkwassertemperaturverlauf	101
7	Kombinierte Simulationsmodelle	103
7.1	Wohnungsstation mit elektrischer Nacherwärmung	103
7.1.1	Aufbau und Funktionsweise	103
7.1.2	Komponentenauslegung	104
7.2	Zentrale Frischwasserstation	107
7.2.1	Aufbau und Funktionsweise	107
7.2.2	Komponentenauslegung	107
8	Aufbau der Simulationsumgebung	111
9	Abschätzung der Investitionskostendifferenzen	115
10	Simulationsergebnisse	119
10.1	Ergebnisdiagramme	119
10.2	Simulationsergebnis „WoSta mit integriertem DLE-E“	121

10.3 Simulationsergebnis „zentrale FriWa, WP mit Heizstab“	123
10.4 Simulationsergebnis „zentrale FriWa mit DLE-E“	124
10.5 Simulationsergebnis „zentrale FriWa, TWW über BW-H“	126
10.6 Simulationsergebnis „zentrale FriWa, TWW über WP u. BW-H“	127
10.7 Simulationsergebnis „dezentrale DLE-E“	128
10.8 Vergleich der Energiekosten und Amortisationsdauer	129
11 Zusammenfassung und Ausblick	132
Literaturverzeichnis	135
Anhang	142
A Ergebnisdiagramme Wärmepumpe	143
B Parameter der Heizkreispumpen	154
C Parameter der Wärmepumpen	155
D Rohrnetzpläne der betrachteten Heizungssysteme	156
E Regressionskoeffizienten der Außentemperaturverläufe	158