

Inhaltsverzeichnis

Formelzeichen, Indizes und Abkürzungen	VII
1 Einleitung	1
2 Bedeutung des Nutzerverhaltens	3
3 Dynamische Gebäude- und Anlagensimulation	7
3.1 Gebäudesimulation mit TRNSYS	7
3.2 Objektorientierte Simulation mit SMILE	8
3.2.1 Struktur und Funktionsweise von SMILE	9
3.2.2 Grundbegriffe objektorientierter Programmierung	10
3.2.3 Syntax	13
3.3 Vorteile und Grenzen der dynamischen Simulation	14
4 Heizung und Lüftung	17
4.1 Erstellung von Gebäudemodellen	17
4.1.1 Gebäudebeschreibungen	18
4.1.2 Eingangsgrößen und Randbedingungen	20
4.1.3 Ergebnisse der Vergleichsrechnungen	28
4.2 Klimadaten: Testreferenzjahre	31
4.3 Gebäudemodelle nach ESVo	32
4.4 Kontrollierte Lüftung	34
4.4.1 Untersuchte Systemtechnik	34
4.4.2 Randbedingungen	34

4.4.3	Berechnungsgrundlagen und Kennzahlen	36
4.4.4	Nutzerverhalten – Bezugsfall	43
4.4.5	Primärenergieeinsparung unter verschiedenen Randbedingungen	44
4.5	Heizsysteme im Niedrigenergiehaus	55
4.5.1	Untersuchungsmethodik	55
4.5.2	Behaglichkeit und Komfort als Bewertungskriterium	56
4.5.3	Modellierung von Test- (ESVo) und Vergleichsraum (WschVo82)	57
4.5.4	Heizsysteme: Auslegung, Modellierung und Regelung	58
4.5.5	Untersuchte Situationen, Randbedingungen	64
4.5.6	Simulationsergebnisse	65
4.5.6.1	Auskühlung durch Stoflüftung	65
4.5.6.2	Systemverhalten bei hohen internen Wärmelasten	74
4.5.6.3	Heizenergie- und Primärenergiebedarf über die Heizperiode	81
4.5.6.4	Dimensionierung des Heizungssystems	91
5	Warmwassersysteme	96
5.1	Nutzerverhalten: Zapfprofile	97
5.2	Untersuchte Warmwasserkonzepte	100
5.2.1	Einfamilienhaus und Reihenhaus	100
5.2.2	Mehrfamilienhaus	102
5.3	Randbedingungen des Systemvergleichs	106
5.4	Simulationsauswertung	110
5.4.1	Energiebilanz	110
5.4.2	End- und Primärenergiebedarf	111
5.4.3	Komfort	113
5.5	Modellierung der physikalischen Effekte	113
5.5.1	Anforderungen an die Modellierung	114
5.5.2	Stoffwerte von Wasser	116
5.5.3	Die Erhaltungsgleichungen	118

5.5.4 Anwendungen des Energieerhaltungssatzes auf Komponenten von Warmwassersystemen	122
5.5.5 Wärmeverluste	128
5.6 Modellierung von Warmwassernetzen	133
5.7 Basismodelle	134
5.7.1 Schnittstellen	135
5.7.2 Objektorientierte Klassenstruktur und Basisklasse	138
5.7.3 Das Rohrmodell	140
5.7.4 Speichermodelle	143
5.7.5 Wärmeerzeuger	147
5.7.6 Pumpen und Zapfanschlüsse	157
5.7.7 Regler	158
5.8 Modellvalidierung	160
5.8.1 Aufbau des Versuchsstandes	160
5.8.2 Validierung von Gesamtsystemen	165
5.8.2.1 Vorgehensweise	165
5.8.2.2 Thermisches Systemverhalten bei dynamischen Änderungen	167
5.8.2.3 Energetischer Vergleich	175
5.8.3 Bewertung, Korrekturterme	180
5.9 Ergebnisse: Einfamilien- und Reihenhaus	181
5.9.1 Einfluss des Nutzerverhaltens	181
5.9.2 Systemverluste als Heizwärmegewinn	182
5.9.3 Einfluss der Rohrweiten	183
5.9.4 Aufstellungsort des Gas-Gerätes	184
5.9.5 Vergleich Zirkulation – Elektrische Begleitheizung	184
5.9.6 Einsatz von Elektro-Kleinspeichern	185
5.9.7 Systemvergleich: Energiebedarf und Komfort	187
5.10 Ergebnisse: Mehrfamilienhaus	193
5.10.1 Energiebedarf	194

5.10.2 Einfluss der Gebäudegröße	198
5.10.3 Warmwasserkomfort im Mehrfamilienhaus	201
6 Zusammenfassung der Ergebnisse	203
Literaturverzeichnis	210