

# Unternehmensstrategischer Ansatz für die energetische Teilsanierung von Mehrwoh- nungsgebäuden im Bestand

Von der Fakultät Energie-, Verfahrens- und Biotechnik der Universität  
Stuttgart zur Erlangung der Würde eines Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.) ge-  
nehmigte Abhandlung

vorgelegt von

Álvaro de Andrés Grande

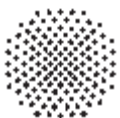
aus Bilbao

Hauptberichter:  
Prof. Dr.-Ing. Michael Schmidt

Mitberichter:  
Prof. Dr.-Ing. Heinz Bach

Tag der Einreichung:  
01.07.2014

Tag der mündlichen Prüfung:  
12.12.2014



## **Kurzfassung**

In dieser Arbeit wird eine energetische Teilsanierungsstrategie entwickelt, die für einen Großteil der deutschen Mehrfamilienhäuser im Bestand gültig ist. Anhand statistischer Untersuchungen des Wohngebäudebestands in der Bundesrepublik werden die konstruktiven Merkmale und der Stand der technischen Gebäudeausrüstung eines repräsentativen Gebäudes definiert und in TRNSYS mathematisch modelliert. Das Heizungssystem des Gebäudes wird mit Hilfe der Richtlinie VDI 2067 bewertet. Mehrere energetische Kennwerte dieses Gebäudes werden berechnet und überprüft.

Verschiedene Einzelsanierungsmaßnahmen werden für die Gebäudehülle und für das Heizungssystem modelliert, analysiert und bewertet. Jede Kombination dieser Einzelmaßnahmen wird betrachtet.

Die Investitionskosten aller Varianten werden mit der Datenbank sirAdos kalkuliert. Die jährlichen Heizkosten und der Jahresprimärenergiebedarf der jeweiligen Sanierungsvarianten werden berechnet. Die Einschränkungen bei der Verwirklichung der jeweiligen Lösungen und die Fehler und Schäden, die bei der Durchführung der Maßnahmen auftreten können, werden analysiert.

Optimale Sanierungsvarianten werden jeweils ökonomisch (jährliche Heizkosten) und ökologisch (Jahresprimärenergiebedarf) festgestellt. Außerdem wird die Amortisationszeit aller Varianten untersucht.

Ziel dieser Dissertation ist die Ausarbeitung einer Strategiemethodik zur Ermittlung der Teilsanierungsvarianten, die für jedes Investitionsniveau gleichzeitig ökonomisch und ökologisch optimal sind und keine Komfortminderungen und Bauschäden zur Folge haben.

**Abstract**

A partial energy-refurbishment strategy, which can be applied to most of the existing German dwelling buildings, will be developed. Based on statistical researches of the existing buildings in Germany, the construction characteristics and the state of the heating system of a representative building will be defined and modelled in TRNSYS. The heating system will be evaluated in accordance to guideline VDI 2067. Several energy characteristic values of the building will be calculated and verified.

Various refurbishment single measures for the building envelope and for the heating system will be modelled, analysed and evaluated. Moreover, every possible combination of the single measures will be considered.

The investment costs of every alternative will be calculated by means of the data base sirA-dos. The annual heating costs and primary energy demand of every refurbishment alternative will be calculated. Constraints for the application, potential failures and damages caused by the implementation of each measure will be considered.

Optimal refurbishment alternatives will be defined from an economic (annual heating costs) and ecological (annual primary energy demand) point of view. Furthermore, the payback time of each option will be calculated.

The aim of this work is to develop a strategic method, which shows for every investment level the optimal partial refurbishment measures i.e. those presenting the lowest heating costs and primary energy demand at the same time, without resulting in any damages or comfort decreases.

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Lösungsansatz</b> .....	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Bausubstanz und Heizanlagen im Bestand</b> .....	<b>5</b>
	3.1 Klassifizierung der Gebäude .....	5
	3.2 Allgemeine Eigenschaften der Mehrfamilienhäuser der Jahre 1949 - 1978 .....	8
	3.3 Beheizungsstruktur im Gebäudebestand .....	9
<b>4</b>	<b>Modellgebäude</b> .....	<b>12</b>
	4.1 Definition .....	12
	4.1.1 Architektur .....	12
	4.1.2 Bauweise und -materialien .....	16
	4.1.3 Heizung .....	16
	4.2 Simulationsmodell.....	17
	4.2.1 Thermische Zonen.....	17
	4.2.2 Abbildung der Wände .....	18
	4.2.3 Nutzenanforderungen .....	21
	4.2.4 Innere Wärmequellen .....	22
	4.2.5 Luftwechsel .....	25
	4.3 Energetische Kennwerte.....	27
	4.3.1 Referenz-Energiebedarf und Normheizlast .....	27
	4.3.2 Endenergieaufwand .....	28
<b>5</b>	<b>Energetische Sanierung</b> .....	<b>30</b>
	5.1 Gebäudehülle.....	30
	5.1.1 Außenwanddämmung.....	31
	5.1.2 Obergeschossdeckendämmung .....	33
	5.1.3 Kellerdeckendämmung.....	34
	5.1.4 Fensteraustausch.....	35
	5.2 Heizung .....	37
	5.2.1 Niedertemperaturgaskessel.....	38
	5.2.2 Brennwertkessel .....	39
	5.2.3 Pelletkessel .....	46
	5.2.4 Wärmepumpe .....	50
<b>6</b>	<b>Auswertung</b> .....	<b>58</b>
	6.1 Ökonomisches Kriterium .....	59
	6.2 Ökologisches Kriterium .....	65
	6.3 Umsetzbarkeitskriterium .....	70
	6.3.1 Gebäudehülle.....	70
	6.3.2 Heizung .....	72

<b>7</b>	<b>Sanierungsstrategie .....</b>	<b>74</b>
7.1	Investitionsabhängige optimale Sanierungsvarianten .....	74
7.1.1	Niveau 1 .....	75
7.1.2	Niveau 2 .....	75
7.2	Sensitivitätsanalyse .....	78
<b>8</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>80</b>
<b>9</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>83</b>
<b>10</b>	<b>Anhang .....</b>	<b>87</b>
10.1	Bauteile des Modellgebäudes .....	87
10.2	Wärmekapazität .....	91
10.2.1	Z_RAUM .....	91
10.2.2	Z_DACH .....	96
10.2.3	Z_TREPPE .....	96
10.2.4	Z_KELLER .....	97
10.3	Aufbau der Zonen des Modellgebäudes .....	98
10.3.1	Z_RAUM .....	98
10.3.2	Z_DACH .....	99
10.3.3	Z_TREPPE .....	100
10.4	Nutzungsprofile .....	102
10.4.1	Anwesenheitsprofile .....	102
10.4.2	Temperaturprofile .....	103
10.4.3	Beleuchtungsprofile .....	103
10.4.4	Wärmefreisetzung von Personen .....	104
10.4.5	Wärmefreisetzung von elektrischen Geräten und Warmwasser .....	105
10.5	Aufwandszahlen nach VDI 2067 [4] .....	107
10.5.1	Energieaufwand für die Nutzenübergabe nach VDI 2067 Blatt 20 .....	107
10.5.2	Energieaufwand für die Verteilung nach VDI 2067 Blatt 30 .....	107
10.5.3	Energieaufwand für die Erzeugung nach VDI 2067 Blatt 40 .....	108
10.6	Optimale Varianten .....	109