

Ein softwaregestütztes Berechnungsverfahren zur Prognose und Beurteilung der Nutzungskosten von Bürogebäuden

Vom Fachbereich Bauingenieurwesen und Geodäsie
der Technischen Universität Darmstadt
zur Erlangung des akademischen Grades eines
Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)
genehmigte

DISSERTATION

von

Dipl.-Ing. Gert Wolfgang Riegel

aus Miltenberg / Bayern

D 17

Darmstadt 2004

Herausgeber:

Prof. Dr.-Ing. Carl-Alexander Graubner

Anschrift:

Technische Universität Darmstadt
Institut für Massivbau
Petersenstr. 12
64287 Darmstadt

<http://www.massivbau.tu-darmstadt.de>

Riegel, Gert Wolfgang:

Ein softwaregestütztes Berechnungsverfahren zur Prognose und Beurteilung der Nutzungskosten von Bürogebäuden

1. Auflage Darmstadt, Eigenverlag, Heft 8

ISBN 3-9808875-4-5

Dr.-Ing. Gert Wolfgang Riegel

Geboren 1974 in Miltenberg / Main. Von 1993 bis 2000 Studium des Bauingenieurwesens an der Technischen Universität Darmstadt. Von 1998 bis 1999 Geschäftsführer der Global-Wohnbau GmbH, Miltenberg. Von 2000 bis 2001 Technisches Einarbeitungsprogramm der Bilfinger Berger AG in Heidelberg und Mannheim. Von 2001 bis 2004 wissenschaftlicher Mitarbeiter von Prof. Dr.-Ing. C.-A. Graubner am Institut für Massivbau der Technischen Universität Darmstadt. Von 2003 bis 2004 freier Mitarbeiter im Ingenieurbüro König, Heunisch und Partner in Frankfurt am Main. Seit 2004 Facility Management Consultant bei der HSG Technischer Service GmbH in Neu-Isenburg. Seit 2004 Lehrbeauftragter für Strategisches Facility Management an der TU Darmstadt.

Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand in den Jahren 2001 bis 2004 während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Massivbau der Technischen Universität Darmstadt.

Herrn Prof. Dr.-Ing. Carl-Alexander Graubner danke ich sehr herzlich für das mir entgegengebrachte Vertrauen, seine vielfältigen Anregungen sowie seine Diskussionsbereitschaft. Seine Passion für Präzision in Sprache und Aussage hat mich sehr geprägt.

Herrn Prof. Dr.-Ing. Christoph Motzko danke ich für sein Interesse an dieser Arbeit, für seine Diskussionsbereitschaft sowie die Übernahme des Koreferates.

Meinen Kolleginnen und Kollegen bin ich für das freundschaftliche Verhältnis sehr dankbar, welches meine Tätigkeit zu einer unvergesslichen Zeit werden ließ.

Bedanken möchte ich mich auch bei allen Studentinnen und Studenten, die durch ihre Mitwirkung im Rahmen von Diplom- und Vertieferarbeiten zum Gelingen der Arbeit beitragen. Mein besonderer Dank gilt hier Herrn Dipl.-Ing. Benjamin Wolf, Herrn Dipl.-Ing. Gunnar Heidt, Herrn Cand.-Ing. René Stahl und Herrn Dipl.-Ing. Marco Thaller.

Der Bilfinger Berger AG bin ich für die finanzielle Unterstützung meiner Forschung sowie für die gute Zusammenarbeit während des Forschungsvorhabens zu großem Dank verpflichtet. Herrn Michael Sauerwein danke ich in diesem Zusammenhang für die uneingeschränkte Unterstützung und kritisch konstruktive Begleitung meiner Arbeit. Der De Te Immobilien AG, dem Ingenieurbüro CSZ und der Hessisches Immobilienmanagement GmbH danke ich für die Bereitstellung von Realobjekten.

Den Herren Dipl.-Ing. Jörg Klingenberger, Dipl.-Ing. Thomas Heß, Dipl.-Ing. Benjamin Wolf und Dipl.-Ing. Gordon Atkinson danke ich sehr herzlich für ihren fachlichen Rat, ihre zahlreichen Anregungen und Kritiken und für die vielen intensiven Diskussionen.

Für die sehr sorgfältige Durchsicht des Manuskripts dieser Arbeit danke ich besonders Frau Ursula Mottl sowie meiner Schwester Frau Birgit Scherg. Meiner Schwiegermutter Frau Dipl. Bibliothekarin Birgid Büchling gilt meiner ganzer Respekt für den sehr präzisen Review meiner Literaturliste.

Meinen Eltern Brigitte und Gerhard Riegel, meinen Großeltern Annemarie und Karl Riegel sowie Gerta und Julius Lippert bin ich sehr dankbar für ihre liebevolle Unterstützung, die sie mir in all den Jahren zuteil werden ließen. Meiner lieben Frau Susanne sowie meinen Söhnen Maximilian Harald Gert und Lennox Carl-Julius danke ich ganz besonders herzlich für ihr Verständnis für die vorliegenden Arbeit und ihre lang anhaltende Geduld.

Gert Wolfgang Riegel

Referent:	Prof. Dr.-Ing. Carl-Alexander Graubner
Koreferent:	Prof. Dr.-Ing. Christoph Motzko
Tag der Einreichung:	07. Juli 2004
Tag der mündlichen Prüfung:	08. Oktober 2004

Der Beginn der Weisheit ist die Definition der Begriffe

Sokrates (470 – 399 v. Chr.)

Inhaltsverzeichnis

Bildverzeichnis

Abkürzungen und Bezeichnungen

1	Einführung.....	1
1.1	Vorbemerkung	1
1.2	Ausgangssituation und Problemstellung	1
1.3	Zielsetzung	3
1.4	Vorgehensweise	4
2	Grundlagen ökonomischer Lebenszyklusanalysen	5
2.1	Vorbemerkung	5
2.2	Lebenszyklusmodelle.....	5
2.2.1	Lebensspanne – Lebenszyklus	5
2.2.2	Lebensphasen von Gebäuden	6
2.2.3	Diskussion bekannter Lebenszyklusmodelle	7
2.2.4	Aktuelle Entwicklungen.....	10
2.3	Kostenprognosen.....	13
2.3.1	Charakterisierung	13
2.3.2	Allgemeine Prognosearten	13
2.3.3	Rahmenbedingungen und Genauigkeit	14
2.3.4	Prognose der Nutzungskosten von Gebäuden	15
2.4	Lebenszykluskosten (Life Cycle Costs).....	17
2.4.1	Kostenbegriff in der Bauwirtschaft	17
2.4.2	Definition und Abgrenzung der Lebenszykluskosten	18
2.4.3	Nutzungskosten	21
2.4.4	Allgemeiner Berechnungsansatz	24
2.5	Investitionsrechnung	25
2.5.1	Vorbemerkung.....	25
2.5.2	Wirtschaftlichkeitsbegriff	25
2.5.3	Überblick und Einordnung der Verfahren.....	27
2.5.4	Standardverfahren	28
2.5.5	Vollständige Finanzpläne.....	31
2.6	Lebenszyklusgerechte Gebäudeplanung	33
3	Analyse bestehender Prognoseverfahren.....	35
3.1	Vorbemerkung	35
3.2	Überblick und Auswahl	35
3.2.1	Einteilung	35
3.2.2	Statistische Verfahren	35
3.2.3	Technisch-statistische Verfahren	41
3.3	Verfahren von Gärtner	45

3.4	Verfahren von Naber.....	47
3.5	Verfahren von Dyllick-Brenzinger.....	48
3.5.1	Allgemeines.....	48
3.5.2	Gebäudereinigung	49
3.5.3	Abwasser und Wasser	49
3.5.4	Wärme und Kälte.....	50
3.5.5	Strom	55
3.5.6	Bedienung, Wartung und Inspektion.....	57
3.5.7	Verkehrs- und Grünflächen	57
3.5.8	Sonstiges.....	57
3.6	Verfahren zur Prognose des Energieverbrauchs	58
3.6.1	Vorbemerkung und Überblick.....	58
3.6.2	Monatsbilanzverfahren der DIN V 4108-6	59
3.6.3	Stundenbilanzverfahren der VDI 2067.....	63
3.7	Schlussfolgerungen	69
4	Berechnungsverfahren zur Prognose der Nutzungskosten	71
4.1	Vorbemerkung.....	71
4.2	Systemgrenzen und Rahmenbedingungen	71
4.2.1	Überblick	71
4.2.2	Abgrenzung der Gebäudekategorie	71
4.2.3	Abgrenzungen der Kosten	72
4.2.4	Stundenverrechnungssatz	73
4.2.5	Idealisierung der Gebäude.....	74
4.2.6	Betrachtungszeitraum.....	76
4.3	Struktur des Berechnungsverfahrens.....	77
4.4	Prognose der Verwaltungskosten.....	79
4.5	Prognose der Betriebskosten	81
4.5.1	Kostengruppe Heizung	81
4.5.2	Kostengruppe Strom.....	86
4.5.2.1	Überblick.....	86
4.5.2.2	Ermittlung der Stromkosten der Beleuchtung $K_{S,BL}$	87
4.5.2.3	Ermittlung der Stromkosten der Bürogeräte $K_{S,BG}$	93
4.5.2.4	Ermittlung der Stromkosten des Bereichs Thermische Behaglichkeit $K_{S,TB}$	94
4.5.2.5	Ermittlung der Stromkosten des Bereichs Sonstige Verbraucher $K_{S,So}$	100
4.5.3	Kostengruppe Inspektion & Wartung inkl. kleiner Instandsetzung	105
4.5.4	Kostengruppe Gebäudereinigung	109
4.5.4.1	Überblick.....	109
4.5.4.2	Berechnung der Kosten der Unterhaltsreinigung $K_{R,U}$	109
4.5.4.3	Berechnung der Kosten der Fensterreinigung $K_{R,F}$	115

4.5.5	Kostengruppe Wasser & Abwasser.....	115
4.5.5.1	Überblick.....	115
4.5.5.2	Berechnung der Frischwassermenge W und der Abwassermenge AW.....	115
4.5.5.3	Berechnung der Kosten des Bereiches Wasser & Abwasser KW&AW.....	124
4.5.6	Kostengruppe Sonstiges.....	125
4.6	Prognose der Instandsetzungskosten.....	130
5	Softwaretool BUBI.....	135
5.1	Vorbemerkung.....	135
5.2	Programmstruktur.....	135
5.3	Eingabeformulare Projekt-Charakterisierung.....	138
5.3.1	Projekt und Gebäude.....	138
5.3.2	Gebäudekonstruktion.....	140
5.3.3	Gebäudetechnik.....	142
5.3.4	Nutzer.....	146
5.3.5	Geschosse – Zuweisung von Standardgeschossen.....	151
5.3.6	Raum – Zuweisung von Standardräumen.....	152
5.3.7	Gebäudeumgebung.....	157
5.3.8	Inspektion & Wartung.....	159
5.4	Eingabeformulare Berechnung.....	162
5.4.1	Spezifische Kosten.....	162
5.4.2	Berechnung der Betriebskosten.....	163
5.4.3	Struktur des Vollständigen Finanzplans und Projektdaten.....	164
5.4.4	Mieteinnahmen.....	165
5.4.5	Investitionskosten.....	166
5.4.6	Betriebs- und Verwaltungskosten.....	167
5.4.7	Finanzierungsszenarios.....	168
5.4.8	Instandsetzungskosten.....	169
5.4.9	Auswahl der Szenarien.....	170
5.5	Ergebnisformulare und Ausgabeberichte.....	170
5.5.1	Betriebskosten.....	170
5.5.2	Vollständiger Finanzplan.....	174
6	Analyse der Prognoseverfahren anhand von Realobjekten.....	179
6.1	Vorbemerkung.....	179
6.2	Beispielgebäude 1 – Dostojewski Straße/Wiesbaden.....	180
6.2.1	Überblick.....	180
6.2.2	Objektbeschreibung.....	180
6.2.3	Ist-Betriebskosten.....	181
6.2.4	Prognose der Heizkosten.....	183
6.2.5	Prognose der Stromkosten.....	185

6.2.6	Prognose der Kosten für Inspektion & Wartung inkl. kleiner Instandsetzung	186
6.2.7	Prognose der Gebäudereinigungskosten	188
6.2.8	Prognose der Kosten der Wasserversorgung und Wasserentsorgung	189
6.2.9	Zusammenfassende Betrachtung	191
6.3	Validierung anhand weiterer Berechnungsbeispiele	192
6.3.1	Überblick	192
6.3.2	Beispielgebäude 2 – Lise-Meitner-Straße/Mainz	193
6.3.3	Beispielgebäude 3 – Mainzer Straße/Bad Kreuznach	194
6.3.4	Beispielgebäude 4 – Marienburg Straße/Darmstadt.....	195
6.3.5	Beispielgebäude 5 – Salzachstraße/Mannheim	196
6.3.6	Beispielgebäude 6 – Darmstädter Straße/Bensheim	197
6.4	Konsequenzen der Untersuchungen	198
7	Diskussion der Berechnungsergebnisse.....	199
7.1	Vorbemerkung.....	199
7.2	Verifikation der Berechnungsergebnisse zum thermischen Gebäudeverhalten	199
7.2.1	Konzept	199
7.2.2	Grobverifikation – Proportionalitätsanalyse	200
7.2.3	Detailverifikation – Simulationsanalyse	202
7.3	Einflüsse auf die Betriebskosten	207
7.3.1	Konzeption	207
7.3.2	Beschreibung des Mustergebäudes	208
7.3.3	Ergebnisse der Parameterstudie.....	210
7.4	Einflüsse auf den Endwert einer Immobilieninvestition	213
7.4.1	Rahmenbedingungen	213
7.4.2	Analyse der Standardvariante.....	216
7.4.3	Ergebnisse der Parameterstudie.....	218
8	Wesentliche Schlussfolgerungen für eine Prognose der Nutzungskosten	223
9	Zusammenfassung und Ausblick	225
	Literaturverzeichnis.....	231