

Schriftenreihe Bauwirtschaft

I Forschung

Lebenszyklusorientierte Planung von Erschließungskonzepten
in Hochhäusern am Beispiel von Aufzugsanlagen

Jens Deppenmeier

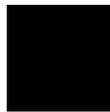
Entwicklung einer Methode zur Bewertung von Lebenszyklus-
kosten mit Hilfe von Verkehrsberechnungs-Simulationen unter
Berücksichtigung der Transportstrategie

Schriftenreihe Bauwirtschaft

I Forschung 19

Herausgegeben vom Institut für Bauwirtschaft der Universität Kassel

kassel
university



press

Lebenszyklusorientierte Planung von Erschließungskonzepten in Hochhäusern am Beispiel von Aufzugsanlagen

Entwicklung einer Methode zur Bewertung von Lebenszykluskosten mit Hilfe von
Verkehrsberechnungs-Simulationen unter Berücksichtigung der Transportstrategie

Jens Deppenmeier

Die vorliegende Arbeit wurde vom Fachbereich Architektur, Stadtplanung, Landschaftsplanung der Universität Kassel als Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktors der Ingenieurwissenschaften (Dr.-Ing.) angenommen.

Erster Gutachter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Antonius Busch, Universität Kassel

Zweiter Gutachter: Univ.-Prof. Dr. Bernd Nentwig, Bauhaus-Universität Weimar

Weitere Mitglieder der Promotionskommission:

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Wolfgang Schulze

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Bernd Nentwig

Tag der mündlichen Prüfung:

12. April 2011

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.ddb.de> abrufbar

Zugl.: Kassel, Univ., Diss. 2011

ISBN print: 978-3-86219-158-1

ISBN online: 978-3-86219-159-8

URN: urn:nbn:de:0002-31597

© 2011, kassel university press GmbH, Kassel

www.upress.uni-kassel.de

Druck und Verarbeitung: Unidruckerei der Universität Kassel
Printed in Germany

Vorwort des Herausgebers

Mit der vorliegenden Arbeit setzt sich Herr Dr. Deppenmeier mit dem weiten Gebiet von Lebenszykluskosten auseinander. Im Speziellen geht es dem Doktoranden in seiner Arbeit um die Entwicklung einer Methode zur Bewertung von Lebenszykluskosten mit Hilfe von Verkehrsberechnungssimulationen unter Berücksichtigung der Transportstrategie. Damit greift Herr Dr. Deppenmeier ein Thema auf, das elementare Veränderungen in der Planung von z. B. Hochhäusern zur Folge haben könnte und bei einer Umsetzung auch haben wird. Ziel ist es, durch Optimierung der Aufzugskapazitäten Grundfläche einzusparen, was wiederum entweder zur Nutzflächenvergrößerung bei gleichen Gebäudeabmessungen oder zur Reduzierung des Brutto-rauminhaltes führen würde.

Wie der Autor in seiner Arbeit zitiert, beginnt der Einfluss des so genannten Facility Managements (FM) bereits während der Projektentwicklungsphase. In dieser Phase werden die Weichen für die später anfallenden Betriebskosten gestellt. Deshalb ist die Lebenszyklusbetrachtung einer Immobilie in den Mittelpunkt einer Gebäudeentwicklung zu stellen. Insbesondere die Optimierung der Technischen Gebäudeausrüstung setzt gewünschte Einsparpotentiale frei.

Die Optimierung des Betriebs der Fördertechnik ist eine neue Herausforderung, die an die Aufzugsindustrie gerichtet ist. Lebenszykluskosten für Aufzugsanlagen, so der Autor können zwar über unterschiedliche Prognose-Modelle erfasst werden, es gibt jedoch keine wissenschaftlich begründeten Lebenszyklusbetrachtungen für solche Anlagen. Eine einfache Betrachtung technischer Parameter einer Aufzugsanlage mit der Hilfe eines allgemeinen Prognose-Modells führt nicht zu einem optimalen Ergebnis, das den komplexen Anforderungen entspricht.

Anders als andere technische Anlagen in einem Gebäude beeinflussen Aufzugsanlagen die Grundrissgestaltung und die vertikale Erschließungskonzeption besonders. Die Bedeutsamkeit der Transportstrategie steigt mit zunehmender Gebäudehöhe.

Es ist Herrn Dr. Deppenmeier gelungen, aufgrund seiner wissenschaftlichen Untersuchungen ein Bewertungssystem für die lebenszyklusorientierte Planung von Er-

schließungskonzepten in Hochhäusern zu entwickeln. Somit ist diese Arbeit ein wissenschaftlicher Beitrag zur viel diskutierten Optimierung der Fördertechnik.

Herrn Dr. Deppenmeier gebührt besonderer Dank dafür, dass er mit dem aktuellen und praxisnahen Thema zur positiven Weiterentwicklung des Instituts für Bauwirtschaft in ausgezeichneter Weise beigetragen hat. Insbesondere möchte ich mich bei Herrn Dr. Deppenmeier für die kollegiale und erfolgreiche Zusammenarbeit bedanken, die hoffentlich noch lange anhält und wünsche ihm in seinem zukünftigen Berufsleben alles Gute und weiterhin viel Erfolg.

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Antonius Busch

Kassel, im Juni 2011

Fachgebietsleiter Bauwirtschaft und Projektentwicklung

Vorwort des Verfassers

Ein steigendes politisches und gesellschaftliches Bewusstsein für nachhaltige Gebäudeplanung ist die Motivation für das Entstehen der vorliegenden Arbeit. Effizienz, Ökologie, Ressourcen, Ökonomie oder Lebenszykluskosten sind Begriffe, die im Bewusstsein der Menschen sind und uns heute in vielen Bereichen des täglichen Lebens begegnen.

Die Arbeit behandelt die Entwicklung einer Methode zur lebenszyklusoptimierten Planung von Erschließungskonzepten als Entscheidungshilfe in Planungsprozessen. Sie hat das Ziel, eine Methode aufzuzeigen, die die Gebäudeplanung von Hochhäusern im Sinne der Nachhaltigkeit optimiert. Aufzüge nehmen in diesem Gebäudetypus einen bedeutenden Stellenwert ein, da sie in besonderer Weise die Themen der Nachhaltigkeit beeinflussen.

Für die Entstehung der Arbeit möchte ich meinem Doktorvater Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing. Antonius Busch der Universität Kassel besonderen Dank aussprechen, der mir während der Bearbeitungszeit für jegliche Unterstützung und Betreuung zur Verfügung stand.

Ein weiterer Dank gilt Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing. Bernd Nentwig der Universität Weimar als zweiten Gutachter sowie den weiteren Mitgliedern der Prüfungskommission Herrn Prof. Dipl.-Ing. Frank Stepper und Herrn Prof. Dipl.-Ing. Thomas Bieling.

Ein besonderer Dank geht an die Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen der ThyssenKrupp Aufzugswerke GmbH für die fachliche Unterstützung, sowie die nicht selbstverständliche Bereitstellung von Daten, die eine Bearbeitung des Themas erst ermöglichen konnte.

Meiner Familie danke ich für den Rückhalt und das uneingeschränkte Befürworten meines Lebensweges. Meiner Frau Alexandra möchte ich einen ganz besonderen Dank für ihr Verständnis, die zeitlichen Entbehrungen, die aufgebrauchte Geduld wie auch ihre jederzeit konstruktive Beratung aussprechen.

1	Einführung.....	1
1.1	Warum ist eine lebenszyklusorientierte Planung notwendig?	1
1.2	Begriffsdefinitionen	4
1.2.1	Lebenszykluskosten	4
1.2.2	Facility Management.....	7
1.2.3	Simulationen / Verkehrsberechnungssimulationen	11
1.3	Zieldefinition der Arbeit	14
1.3.1	Vorgehensweise und Arbeitsmethodik.....	16
1.3.2	Abgrenzung der Forschungsarbeit.....	17
1.4	Struktur und Aufbau der Arbeit	19
1.5	Stand der Forschung	20
2	Grundlagen und Rahmenbedingungen	23
2.1	Anforderungen von Facility–Management Unternehmen.....	23
2.1.1	Benchmarking.....	24
2.1.2	Betriebskosten und Betriebskostenerfassung.....	26
2.1.3	Betrachtungszeiträume	26
2.1.4	Lebenszykluskosten im Sinne des Facility Management (FM)	27
2.1.5	Ableitung der Anforderungen für ein Planungswerkzeug.....	28
2.1.5.1	Grundsätzliche Kostengliederungsstruktur der Lzk. von Aufzügen.....	28
2.1.5.2	Kostengliederungsstruktur nach Richtlinie GEFMA 200	29
2.2	Vorschriften, Richtlinien, Leitfäden und Normen.....	31
2.2.1	Nationale Richtlinien	32
2.2.2	Nationale Leitfäden.....	33
2.2.2.1	Gebäudelebensdauer und Lebenszykluskosten	33
2.2.2.2	Empfehlung zur Flächeneffizienz.....	34
2.2.2.3	Verfahren zum Variantenvergleich.....	34
2.2.2.4	Kennwerte und Bezugsgrößen	34
2.2.3	Nationale Normen.....	35
2.2.3.1	DIN 276 - Kosten im Hochbau	35
2.2.3.2	DIN 18960 - Nutzungskosten im Hochbau.....	36
2.3	Empfehlungen durch Fachplaner / Aufzugsberater.....	37
2.3.1	Begriffsdefinition „Qualität“	38
2.3.2	Technische Merkmale für Qualität	39
2.3.3	Halteverlustzeit	41
2.4	Wartung und Wartungsverträge.....	41
2.4.1	Rechtliche Grundlagen	41
2.4.2	Wartungsmodelle.....	42
2.4.2.1	Basiswartung nach DIN EN - 13015	43
2.4.2.2	Teilwartungsverträge	44
2.4.2.3	Vollwartungsverträge	44
2.4.2.4	Fernüberwachung und Bedarfswartung.....	45
2.5	Umgang mit Mängelansprüchen	45
2.6	Lebenszykluskosten und Lebenszyklusqualität	45
3	Verfahren der Lebenszykluskostenrechnung	48
3.1	Ausgangssituation	48
3.2	Kostenelemente des Lebenszyklus durch Prognosemodelle.....	49
3.3	Verfahren zur Bestimmung einzelner Kostenelemente.....	50
3.3.1	VDI 4707 – Energieeffizienz von Aufzügen	51
3.3.2	Nutzungskategorien der VDI 4707	53

3.3.3	Berechnung des Nenn-Jahresenergiebedarf nach VDI 4707	55
3.3.4	Anmerkungen zur VDI 4707	55
3.4	Investitionsrechnung	56
3.4.1	Begriffsdefinition „Investition“	56
3.4.2	Anmerkungen zum Thema	56
3.4.3	Überblick der Verfahren und ihre Einordnung	57
3.4.4	Dynamische Methoden	58
3.4.4.1	Kapitalwertmethode	58
3.4.4.2	Annuitätsmethode	59
3.4.4.3	Amortisationsmethode (dynamisch)	60
3.4.4.4	Vollständiger Finanzplan (VoFi)	61
3.4.4.5	Zinsfußmethoden	62
4	Planung von Erschließungskonzepten	63
4.1	Methoden und Verfahren der Verkehrsberechnung	63
4.1.1	Verkehrsberechnung durch Simulationen	65
4.1.2	Kriterien zur Bewertung von Simulationsergebnissen	66
4.1.3	Verkehrsabläufe und Simulationsprofile	68
4.1.3.1	Bürogebäude	68
4.1.3.2	Hotelgebäude	69
4.1.3.3	Wohngebäude	70
4.1.3.4	Andere Gebäudenutzungen	70
4.1.4	Schlussfolgerung für eine lebenszyklusorientierte Planung	70
4.2	Erschließungskonzepte und Gruppenanordnungen	71
4.2.1	Grundsätze der Planung von Aufzugsgruppen	71
4.2.2	Einflussfaktoren der Förderleistung	72
4.2.2.1	Fahrkorbgröße	72
4.2.2.2	Fahrgeschwindigkeit	72
4.2.3	Aufzugskonfigurationen und Gruppenanordnungen	73
4.2.3.1	Aufzugsgruppen mit konventionellen Systemen	73
4.2.3.2	Aufzugsgruppen mit Mehrkabinensystemen (TWIN® / Doppeldecker)	74
4.2.3.3	Planung von Gruppenanordnungen und Zugangsgeschossen	76
5	Aufzugstechnik	79
5.1	Geschichtlicher Rückblick	79
5.2	Heutiger Stand der Technik	80
5.2.1	Das Aufzugssystem TWIN®	80
5.3	Definition Verschleiß unterliegender Aufzugskomponenten	83
5.3.1	Vorbemerkung	83
5.3.2	Tragmittel, Treibscheiben und Seilrollen	84
5.3.2.1	Seile	85
5.3.2.2	Treibscheiben	86
5.3.2.3	Seilrollen	86
5.3.2.4	Seilaufhängungen	87
5.3.3	Führungen	87
5.3.3.1	Gleitführungen	88
5.3.3.2	Rollenführungen	88
5.3.4	Türen	89
5.3.5	Elektrik und Elektronik	89
5.3.6	Antriebseinheit	90
5.3.6.1	Frequenzumrichter	90

5.3.6.2	Antrieb	91
5.3.7	Sicherheitsbauteile (Fangtechnik).....	91
5.3.8	Mechanische Schachtausrüstung	92
6	Entwicklung von Parametern und Kennzahlen	93
6.1	Vorbemerkung	93
6.2	Kennzahlen der Lebenszykluskosten	93
6.3	Kennzahlen der Qualität	95
6.3.1	Definition von Qualitätsmerkmalen	95
6.3.1.1	Querbeschleunigungen im Fahrkorb.....	95
6.3.1.2	Geräuschniveau.....	96
6.3.1.3	Systemverfügbarkeit.....	97
6.3.1.4	Seileinfederung.....	98
6.3.1.5	Kennzahlen des Qualitätsniveau	98
6.4	Kennzahlen der Förderleistung.....	99
6.4.1	Klassifizierung der Förderleistung.....	100
6.5	Kennzahlen der Flächeneffizienz.....	102
6.6	Zusammenfassung Kennwertbildung.....	104
7	Entwicklung der Methode	106
7.1	Schritt 1: Datenerfassung	106
7.2	Schritt 2: Entwurf des Erschließungskonzepts.....	107
7.3	Schritt 3: Auswahl der Aufzugssysteme.....	107
7.4	Schritt 4: Simulation.....	109
7.5	Schritt 5: Auswertung der Simulation.....	110
7.6	Schritt 6: Ermittlung der Lebensdauern der Aufzugskomponenten.....	111
7.7	Schritt 7: Kostenanalyse	114
7.8	Schritt 8: Evaluation der Konzepte.....	116
8	Evaluation	117
8.1	Kurzbeschreibung des Beispielobjektes	117
8.1.1	Konzept 1 mit konventioneller Aufzugstechnik	118
8.1.2	Konzept 2 mit TWIN® Systemen	119
8.1.3	Konzept 3 mit Doppeldecker Systemen.....	119
8.1.4	Grafische Übersicht der drei Konzepte	121
8.2	Auswertung des Berechnungsbeispiels	122
8.3	Kostenanalyse	123
8.4	Konzeptvergleich durch Kennwerte	128
8.4.1	Auswertung Konzept 1.....	128
8.4.2	Auswertung Konzept 2.....	129
8.4.3	Auswertung Konzept 3.....	131
8.4.4	Gegenüberstellung und Zusammenfassung der Auswertung	132
8.5	Reflexion der Anwendbarkeit.....	135
9	Schlussbetrachtung	139
9.1	Ergebnis	139
9.1.1	Architekten, Planer und Fachingenieure.....	140
9.1.2	Investoren, Betreiber und Nutzer	142
9.1.3	Aufzugshersteller, Lieferanten und Serviceunternehmen	144
9.1.4	Fazit.....	145
9.2	Perspektiven für eine Weiterentwicklung der Methode	147
9.3	Ansätze für weitere Lebenszyklusbetrachtungen.....	148

9.4	Ausblick auf zukünftige Technologien.....	149
10	Glossar	157
11	Quellenangaben.....	161
11.1	Monographien.....	161
11.2	Normblätter / Richtlinien	163
11.3	Zeitschriftenartikel / Zeitungsartikel	164
11.4	Wissenschaftliche Arbeiten.....	165
11.5	Internetquellen.....	165
11.6	Herstellerangaben	166
11.7	Projektunterlagen.....	166
12	Verzeichnisse.....	167
12.1	Abkürzungen.....	167
12.2	Abbildungsverzeichnis	168
12.3	Tabellenverzeichnis	170
13	Anhang	I

1 Einführung

1.1 Warum ist eine lebenszyklusorientierte Planung notwendig?

Die zunehmende Globalisierung der Märkte ist heute in vielen Bereichen des gesellschaftlichen Lebens spürbar. Eine Konsequenz daraus ist eine neuartige Wettbewerbssituation und stellt heute Unternehmen der Industrienationen vor besondere Herausforderungen, die eigene Überlebensfähigkeit zu wahren. Um die eigene Kostensituation zu verbessern sind besonders diese Unternehmen in lohnintensiven Staaten an schlanke Organisationsstrukturen gebunden. Dem gegenüber stehen die gestiegenen Anforderungen an immer individuellere Kundenlösungen und Produkte bei gleichzeitigem Ansteigen von Systemkomplexitäten und daraus resultierenden Aufwendungen für Entwicklung und Forschung. Die weit reichenden gesellschaftlichen Veränderungen der traditionellen Strukturen, wie man sie in der Arbeitswelt, den Gesundheits- und Rentendiskussionen täglich erleben kann, sind Reaktionen auf diesen Wandlungsprozess mit dem Ziel, wettbewerbsfähige Randbedingungen zu erreichen.¹

Auf Grund des Wettbewerbs mit so genannten „Billiglohn-Ländern“ vollzieht sich derzeit ein ausgeprägter Optimierungsprozess hin zu schlanken Unternehmensstrukturen, dessen Auswirkungen sich nicht nur in den oben genannten gesellschaftlichen Strukturen widerspiegeln. Dieser Optimierungsprozess ist auch in der Immobilienwirtschaft deutlich feststellbar, ein Wandel, der an Bedeutung immer stärker zunimmt. Ein Beispiel lässt das Optimierungspotenzial, welches in der Immobilie steckt, schnell deutlich werden: Der Immobilienbestand allein in Deutschland beträgt ca. 8 Billionen Euro wovon ca. 17% auf Kapitalanlagen zurückfallen.² Eine gigantische Summe, deren Kapital in der Bilanz im Rechnungswesen eines Unternehmens unbewertet ist. Wurde in der Vergangenheit dieses „Kapital“ zum Decken eines Liquiditätsbedarfs aktiviert, wird die Immobilie heute zum Wirtschaftsgut, dessen Ertragswerte genutzt werden können.

So ist es nicht verwunderlich, dass nun neue, bislang nicht relevante Faktoren das Interesse von Investoren und Bauherren wecken. Denn nicht nur die Investitionskosten bei der Errichtung eines Gebäudes sind nun von Interesse, sondern auch die

¹ Vgl. Braun, H.-P.; Oesterle, E.; Haller, P.: Facility Management – Erfolg in der Immobilienwirtschaft, (2003) S. 25 – 31.

² www.openpr.de/news/139960/Immobilie-bleibt-die-wichtigste-Kapitalanlageform-in-Deutschland.html.

Kosten zum Betreiben. Die so genannte „Zweite Miete“ ist für Mieter ein immer gewichtigeres Kriterium bei der Auswahl des Standortes ihres Unternehmens. Möglichst niedrige „Nebenkosten“ spiegeln sich überaus positiv im wirtschaftlichen Ergebnis wider. Sie sind also somit auch für Betreiber oder Investoren von Interesse, da sie sehr effektiv die Attraktivität der Immobilie steigern.

Eine solche Betrachtung wurde in der Vergangenheit meist erst nach der Fertigstellung eines Gebäudes mit der Vermarktung des Objektes begonnen. Heute beginnt der Einfluss des so genannten Facility Managements (FM) bereits während der Projektentwicklungs- und Planungsphase. In dieser Phase werden grundlegend die „Weichen“ für die späteren Betriebskosten durch den Architektenentwurf gelegt. Ein beispielsweise nicht optimal ausgewähltes Anlagensystem kann nachträglich häufig nur schwer und mit unverhältnismäßig hohem Aufwand korrigiert werden. Es sind also hohe Anforderungen, die heute an ein modernes Gebäude gestellt werden, um Nutzern, Betreibern und Kapitalanlegern in gleichem Maße gerecht zu werden.³

Eine Lebenszykluskostenbetrachtung einer Immobilie rückt auf Grund der beschriebenen Situation immer häufiger in den Mittelpunkt einer Gebäudeplanung / Gebäudeentwicklung. In dieser Konsequenz wird heute zunehmend auch die Technische Gebäudeausrüstung (TGA) einer solchen Optimierung unterzogen, um die gewünschten Einsparpotenziale freizusetzen.

Um eine Vergleichbarkeit zwischen den einzelnen Anbietern oder unterschiedlichen Ausführungsvarianten zu erzielen, ist das Vergleichen mit Kennzahlen ein effektives Werkzeug. Gerade in jüngster Vergangenheit sind hierzu viele dieser „Benchmarking-Pools“ entstanden, aus denen sich FM-Dienstleister bedienen können. Diese sind das Ergebnis von umfangreichen Facility Management (FM)- Aktivitäten. In vielen Bereichen der TGA ist die Bereitstellung dieser Kennwerte von Fachplanern und der ausführenden Industrie in den letzten Jahren bereits vollzogen worden.

Die Betrachtung der Fördertechnik in Hinblick auf ein kostenoptimiertes Betreiben ist nun auch eine neue Herausforderung, die an die Aufzugsindustrie gerichtet wird. Lebenszyklusbetrachtungen für Aufzugsanlagen können zwar derzeit über unterschiedliche Prognosemodelle erfasst werden, die sich an den einschlägigen Regelwerken von Industrieverbänden oder anderen Organisationen orientieren, tatsächlich stellt es die Aufzugsindustrie jedoch vor eine große Herausforderung, da es keine einheitliche und allgemeine Vorstellung über Lebenszyklusbetrachtungen für diese Anlagen gibt.

³ Vgl. Schönberger: Benchmarking-Pools für Facility Management – Kennzahlenbeschaffung für FM und Hinweise zu deren Anwendungen, (2007) S.2.

Eine einfache Betrachtung technischer Parameter einer Aufzugsanlage mit der Hilfe eines allgemeinen Prognose-Modells würde nicht zu einem Ergebnis führen, welches den komplexen Anforderungen, wie zuvor beschrieben, entsprechen würde. Anders als viele andere technische Anlagen in einem Gebäude prägen Aufzüge die gesamte Grundrissgestaltung sowie die vertikale Erschließungskonzeption und sind somit integrierter Bestandteil eines Gebäudes. Die Bedeutsamkeit der vertikalen Transportstrategie steigt mit zunehmender Gebäudehöhe.⁴

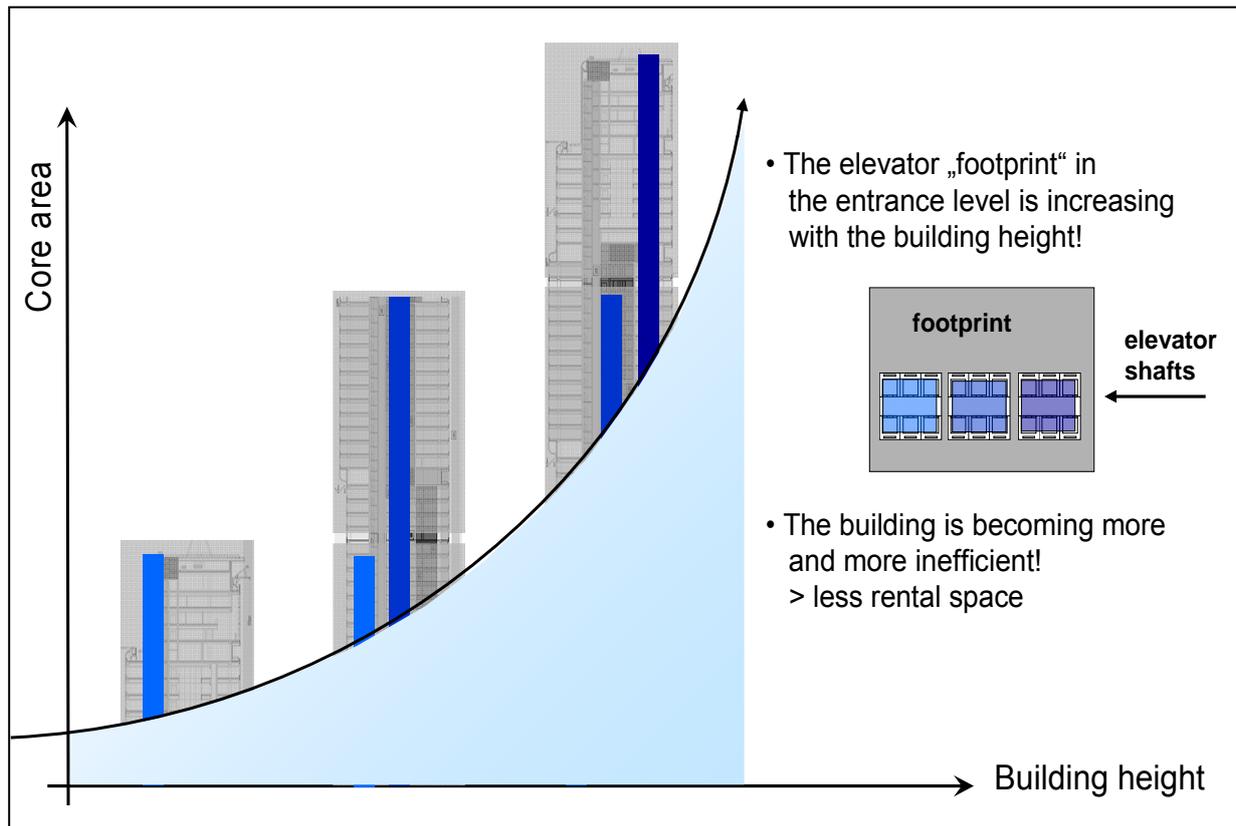


Abb. 1.1 Mit steigender Gebäudehöhe wächst der Einfluss der Vertikalerschließung auf die Gebäudekonzeption, (Bildquelle: Planungsunterlagen ThyssenKrupp)

Der Zusammenhang zwischen Gebäude und Aufzugskonzept wird mit der obigen Abbildung sehr deutlich und zeigt darüber hinaus, welchen Stellenwert Aufzüge für eine effektive und effiziente Gebäudeunterhaltung haben. Bezogen auf eine Lebenszyklusbetrachtung sind diese Ansätze folglich nicht zu vernachlässigen. Darüber hinaus betrachten herkömmliche, statische Prognose-Modelle in ihrer Bewertungsmethode nicht die jeweiligen Nutzungsarten des Gebäudes oder die wechselnden Beanspruchungen eines Aufzuges im individuellen Gebrauch. Beispiele dafür sind

⁴ Vgl. Hellerforth, Michaela: Facility Management für Immobilienunternehmen. Berlin. (2006).

die unterschiedlichen Frequentierungen von Aufzügen in Hotels, Wohn- oder Bürogebäuden.

Es stellt sich die Frage, ob man die Lebenszykluskosten von Aufzügen anhand von so genannten Verkehrsberechnungssimulationen nicht deutlich spezifischer und realistischer abbilden und prognostizieren kann? Welche Auswirkungen hätten die neu gewonnenen Erkenntnisse hinsichtlich der Lebenszyklusbetrachtung auf die vertikalen Transportlösungen oder die zukünftige Gebäudegestalt?

Verkehrsberechnungssimulationen sind spezielle Softwareprodukte, die die Möglichkeit bieten, den Verkehrsstrom von Personen in einem Gebäude abzubilden und zu simulieren. Diese werden in der Regel von Fachplanern für Fördertechnik oder von einigen Aufzugsherstellern eingesetzt, um den Bedarf und die technische Ausprägungen von Aufzügen in einem Gebäude zu ermitteln. Ein Vorteil dieser Methode gegenüber einer rein theoretischen Berechnung einer Aufzugsfahrt ist das Einbeziehen von Randbedingungen wie zum Beispiel die unterschiedlichen Verkehrsströme zwischen den einzelnen Gebäudenutzungsarten (Hotel, Wohn- und Bürogebäude).⁵ Eine Untersuchung der Lebenszykluskosten (LCC) durch die Verwendung der Verkehrsberechnungssimulation soll es ermöglichen, unterschiedliche Erschließungskonzepte hinsichtlich ihrer LCC-Optimierung bewerten zu können und vergleichbar zu machen.

1.2 Begriffsdefinitionen

Im Nachfolgenden werden die Bedeutungen der Begriffe Lebenszykluskosten, Facility-Management und Verkehrsberechnungssimulationen definiert. Da es in der Literatur unterschiedliche Definitionen über die inhaltlichen Wortbedeutungen gibt, wird erläutert, welche Sinnhaftigkeit im weiteren Verlauf unter den einzelnen Begriffen verstanden wird.

1.2.1 Lebenszykluskosten

Der Begriff Lebenszykluskosten wird in unterschiedlichen Zusammenhängen verwendet und setzt sich aus den Wortteilen Leben, Zyklus, Kosten zusammen. Entsprechend ihrer Semantik (Lehre der Wortbedeutung) beschreiben diese Wortteile unterschiedliche Grundbedeutungen. Allgemein wird die Wortzusammensetzung Le-

⁵ Vgl. CIBSE: CIBSE Guide D – Transportations Systems in Buildings, (2005).

benszyklus beispielsweise wie folgt beschrieben: „*Leben: ein komplexes System von Eigenschaften*“, „*Zyklus: periodisch ablaufendes Geschehen, Kreislauf von regelmäßig wiederkehrenden Dingen oder Ereignissen*“⁶

In technischen Zusammenhängen steht der Begriff Lebenszykluskosten für eine Betrachtung aller relevanten Kosten über die gesamte Lebensdauer eines Gegenstandes.

Der Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e. V. (VDMA) definiert beispielsweise im Einheitsblatt 34160 (Prognose-Modell für Lebenszykluskosten von Maschinen und Anlagen) den Begriff Lebenszykluskosten wie folgt: „...*die Summe aller zum bestimmungsmäßigen Gebrauch einer geeignet ausgelegten Maschine oder Anlage erforderlichen Aufwendung von der Anschaffung bis zur Entsorgung...*“⁷

Fachverbände für Facility Management (nähere Begriffserläuterung unter Absatz 1.2.2) betrachten wiederum Lebenszykluskosten eher aus Sicht einer gesamten Gebäudebetrachtung heraus. Der Deutsche Verband für Facility Management (GEFMA e.V.) definiert die Wortbedeutung der Lebenszykluskosten in seiner Richtlinie 220-1 (Lebenszykluskostenrechnung im FM) wie folgt: „...*stellen die Summe aller über den Lebenszyklus von Facilities anfallenden Kosten (Kosten im Hochbau, Projektkosten, Nutzungskosten und Leerstandskosten) dar...*“⁸

Man erkennt bei dieser Definition, dass für die Wortbedeutung Lebenszykluskosten nicht nur die für das Nutzen und Betreiben erforderlichen Aufwendungen gemeint sind. Die Nutzungsphase, die wohl die bedeutendste Phase im Zyklus einer Sachressource darstellt und auch somit den größten Anteil an den Gesamtkosten einnimmt, wird um die Themen Hochbaukosten, Projektkosten und Leerstandskosten erweitert.⁹

Für eine Betrachtung der Lebenszykluskosten von Aufzügen, wie sie in der vorliegenden Arbeit verstanden und definiert sein soll, lassen sich die folgenden drei Hauptgruppen unterscheiden. Somit bilden die Entstehungskosten, die Betriebskosten / Nutzungskosten sowie die Verwertungskosten die notwendige Struktur, die relevanten Lebenszykluskosten einzugrenzen und zu definieren.

⁶ Die Deutsche Bibliothek: DUDEN – Das Neue Lexikon in 10 Bänden, (1996).

⁷ VDMA: VDMA 34160 – Prognosemodell für die Lebenszykluskosten von Maschinen und Anlagen, (2006).

⁸ GEFMA: GEFMA 220-1 – Lebenszykluskostenrechnung im FM, (2006).

⁹ Vgl. Nävy, Jens: Facility Management – Grundlagen, Computerunterstützung, Systemeinführung, Anwendungsbeispiele, (2002).

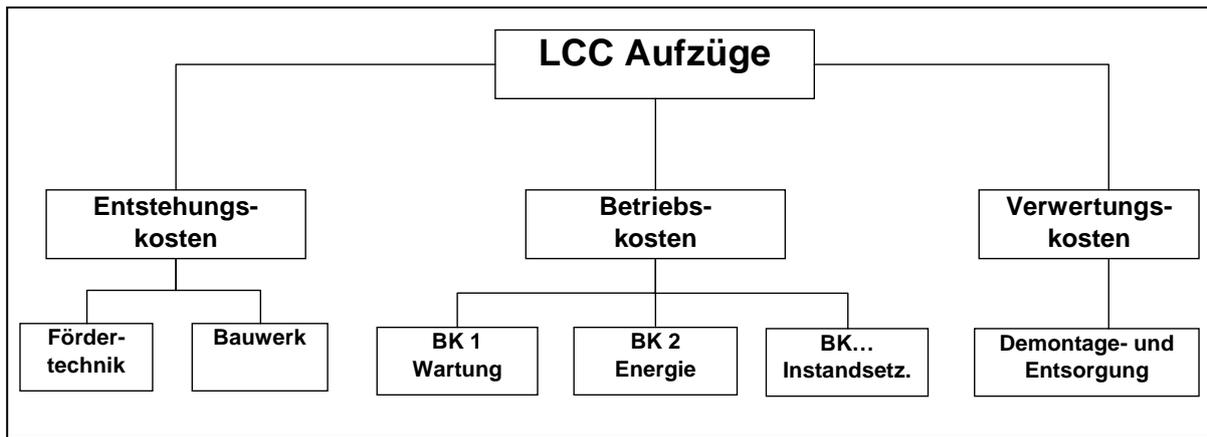


Abb. 1.2.1 Schema zur Definition der Lebenszykluskosten von Aufzugsanlagen. (Bildquelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an VDMA 34160)

Die Entstehungskosten werden zum einen aus den Kosten für die Fördertechnik gebildet, d. h. Material und Lohnkosten für den Einbau und die Inbetriebnahme inklusive aller Nebenkosten wie Abnahmegebühren usw. sind in diesen Kosten enthalten. Zum anderen fließen in die Entstehungskosten alle Hochbaukosten hinein. Die Betrachtung der Hochbaukosten ist in diesem Zusammenhang unerlässlich, da durch unterschiedliche Ausführungsvarianten der Aufzugssysteme, unterschiedliche bauliche Maßnahmen vorgesehen werden müssen. (Beispiel: Die Kosten für das Herstellen eines Triebwerksraumes inkl. aller notwendigen Ausstattungen / Einrichtungen gegenüber einer triebwerksraumlosen Anlage). Eine detaillierte Darstellung der zu Grunde gelegten Einzelpositionen ist unter Absatz 2.1.5 aufgeführt.

Die Betriebskosten stellen auch für Aufzugsanlagen eine kostenintensive Phase innerhalb des Lebenszyklus dar und gehören darüber hinaus zu wichtigen, erfolgskritischen Faktoren der Betriebsprozesse im Gebäude. Dies resultiert aus der Dauer dieser Phase und den Kosten für eine regelmäßige Wartung, Instandsetzungsarbeiten (planmäßige und unplanmäßige Instandsetzungen) sowie der für den Betrieb notwendigen elektrischen Energie. Hierunter fallen auch evtl. benötigte Energiekosten zum Be- und Entlüften, Beleuchten und Betreiben von Schächten und Maschinenräumen. Grundsätzlich sind die Kosten für Wartungen und Instandhaltungen auf die Mindestforderungen in den technischen Regelwerken definiert. Die detaillierte Darstellung der einzelnen Kostenpositionen ist ebenfalls unter Absatz 2.1.5 zu finden.

Die Verwertungskosten bilden den Abschluss im Lebenszyklus der Aufzugsanlage. Sie werden maßgeblich durch Demontage- und Entsorgungskosten geprägt. Auch wenn dieser Anteil bezogen auf die Gesamtkosten wohl nur einen geringen Anteil

ausmacht, gehört diese Phase dennoch zu einer ganzheitlichen Betrachtung und muss entsprechend im Ergebnis berücksichtigt werden.

Kurz gesagt setzen sich die Lebenszykluskosten nicht nur aus den unterschiedlichen Kostenelementen für verschiedene Aufwendungen zusammen, sondern werden auch durch Faktoren der Investitionskostenberechnung beeinflusst. Verbesserungen der Nettogeschosflächen durch die Einsparung bei Schachtvolumen oder Triebwerksräumen müssen in einer Lebenszyklusbetrachtung berücksichtigt werden.

1.2.2 Facility Management

Eine allgemeingültige Vorstellung über den Begriff „Facility Management“ ist derzeit in der einschlägigen Literatur nicht erkennbar. Ähnlich wie der Begriff „Lebenszykluskosten“ wird auch „Facility Management“ (im weiteren Verlauf als FM bezeichnet) sehr universell verwendet, wodurch diese Unklarheit in der Wortbedeutung entstand. H.-P. Braun definiert FM als eine ganzheitliche Betrachtung verschiedener Aufgaben zur Gebäudebewirtschaftung wie folgt: *„Facility Management ist ein unternehmerischer Prozess, der durch die Integration von Planung, Kontrolle und Bewirtschaftung bei Gebäuden, Anlagen und Einrichtungen (facilities) und unter Berücksichtigung von Arbeitsplatz und Arbeitsumfeld eine verbesserte Nutzungsflexibilität, Arbeitsproduktivität und Kapitalrentabilität zum Ziel hat. „Facilities“ werden als strategische Ressourcen in den unternehmerischen Gesamtprozess integriert.“*¹⁰

¹⁰ Braun, H.-P.; Oesterle, E.; Haller, P.: Facility Management – Erfolg in der Immobilienwirtschaft, (2003) S.2.

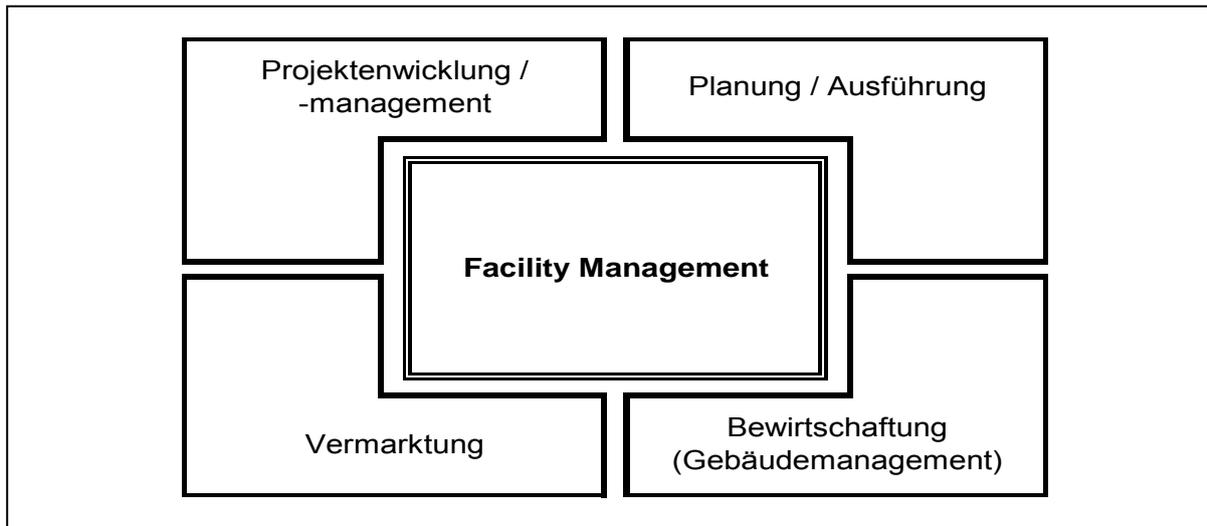


Abb. 1.2.2-A Kernaufgaben des FM nach H.-P. Braun (Bildquelle: Eigene Darstellung)

J. NÄvy gliedert den Begriff des Facility Managements in vier verschiedene Interpretationsrichtungen:

- FM als Management, den Arbeitsplatz für den Menschen zu gestalten und dabei auf die Organisationsstruktur der Arbeit einzugehen. Eine bedeutsame Weichenstellung für eine wirtschaftliche Betriebsführung wird hier der Projektplanungsphase und somit dem architektonischen Entwurf zugeschrieben.
- FM im Sinne einer ganzheitlichen, strategischen Betrachtung, um Informationen über Systeme und Gebäude kontinuierlich bereitstellen zu können. Gerade in Deutschland ist diese Sichtweise stärker ausgeprägt und versteht sich als eine Art des Gebäudemanagements.
- FM als Methode, kostenrelevante Vorgänge oder (Dienst-)Leistungen eines Unternehmens bzw. in einem Gebäude zu analysieren und zu optimieren.
- FM im Sinne der VDMA Definition (Berlin 1996): „*Facility Management ist die Gesamtheit aller Leistungen zur optimalen Nutzung der betrieblichen Infrastruktur auf der Grundlage einer ganzheitlichen Strategie.*“¹¹

Ein geschichtlicher Rückblick auf den gedanklichen Ursprung des FM führt auf die US-amerikanische Bürowelt der Fluggesellschaft Pan-American-World-Services (PAWS) in den 50er Jahren zurück. Eine Steigerung der Produktivität in Instandsetzungsprozessen und Betriebsführung war die damalige Zielsetzung. Mit dieser

¹¹ Vgl. NÄvy, Jens: Facility Management – Grundlagen, Computerunterstützung, Systemeinführung, Anwendungsbeispiele, (2002) S.1-14.

Dienstleistung wurde PAWS erster FM-Dienstleister für die US Air Force. In den 70er Jahren begann sich die Wissenschaft für dieses Thema zu interessieren. Untersuchungen über das Zusammenwirken von Gebäude und Produktivität führten Ende der 70er Jahre zur Gründung des Facility Management Institute (FMI) in Michigan/USA sowie Anfang der 80er zu weiteren internationalen FM-Organisationen. Erst Mitte der 80er Jahre kam das FM neben Australien und Japan auch nach Europa, mit ersten Vertretungen 1985 in Großbritannien und später in weiteren europäischen Ländern. Mit der GEFMA (German Facility Management Association) ist auch in Deutschland seit 1989 ein FM-Verband vertreten. Zwischen den einzelnen Verbänden besteht eine internationale Zusammenarbeit in Hinblick auf einheitliche Standards und Vereinbarungen. Im internationalen Vergleich ist eine FM-Kultur in Deutschland zwar bekannt, jedoch nicht so stark etabliert wie beispielsweise in den USA, wie die nachfolgende Graphik zeigt:

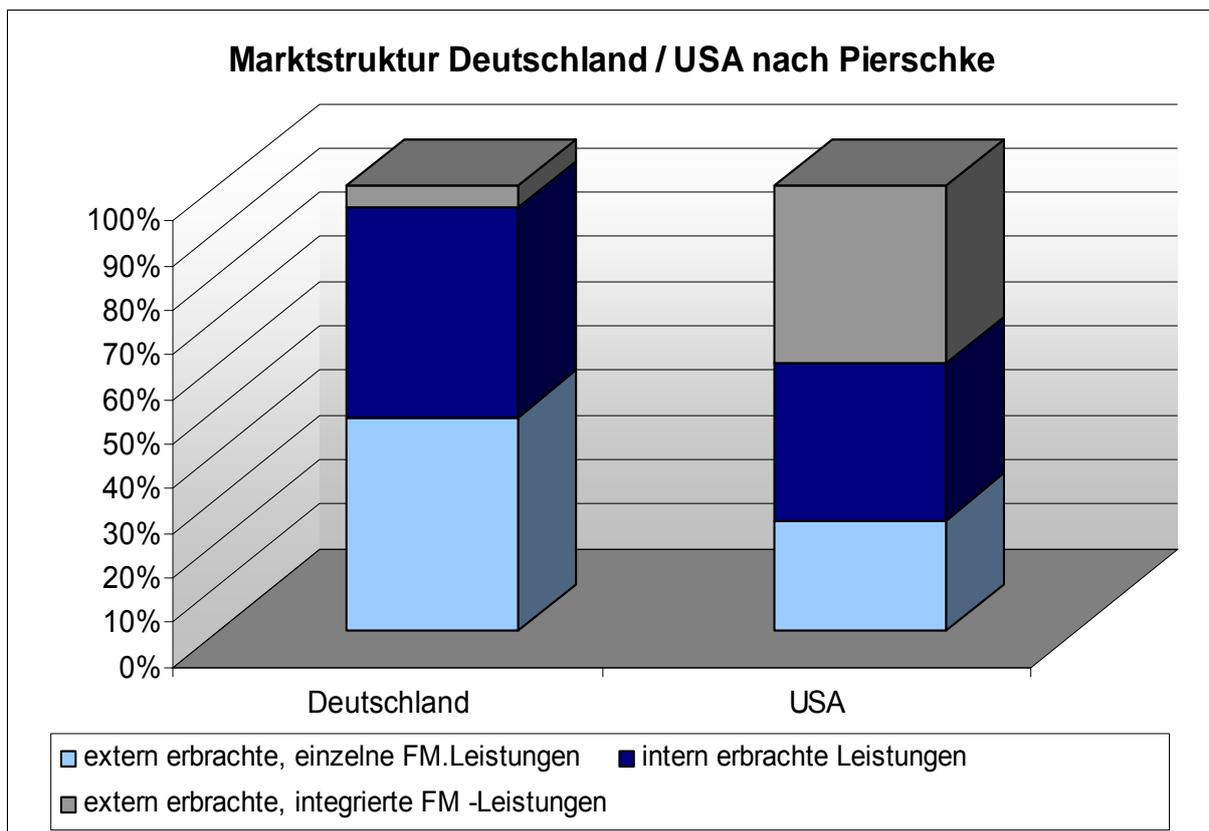


Abb. 1.2.2-B Vergleich der Marktstruktur Deutschland / USA¹² (Bildquelle: Eigene Darstellung)

Übergeordnetes Ziel des FM-Gedankens ist die qualitative Verbesserung aller nicht zum Kerngeschäft des Unternehmens gehörenden Prozesse. Es ist ein Managementkonzept, welches nach Nāvı zu einer effizienten Bewirtschaftung einer Sach-

¹² Vgl. Krimmling, Jörn: Facility Management – Strukturen und methodische Instrumente. (2005).

ressource (Gebäude) dient. Wesentlicher Grundgedanke des FM ist die Ganzheitlichkeit. Dies bedeutet eine allumfassende Betrachtung des Gebäudes. Würden zum Beispiel relevante Sachverhalte zuvor in den unterschiedlichen Abteilungen eines Unternehmens eigenverantwortlich entschieden, so zentralisiert das FM alle Informationen und Daten, um Entscheidungen unter ganzheitlichen Gesichtspunkten zu treffen. Isolierte Sichtweisen mit negativen Auswirkungen auf einer anderen Seite werden somit vermieden. Diese ganzheitlichen Ansätze bedürfen einer Transparenz an Information, die zentralisiert vom Facility Management zusammengetragen werden und stets abrufbar vorliegen müssen.^{13 14}

Facility Management ist ein unternehmerisches Gesamtkonzept, welches alle Bereiche sowie Prozesse eines Unternehmens miteinander verbindet. Es hat zum Ziel, optimale und optimierte Rahmenbedingungen zu schaffen, die ein Unternehmen braucht, um ein Produkt oder eine Dienstleistung zu „produzieren“ und dabei die Eigenkosten so gering wie möglich zu halten. FM geht über eine reine technische Betrachtung der Bewirtschaftung hinaus und verbindet die klassische Betriebswirtschaft mit Methoden des modernen Managements sowie der Ingenieurwissenschaften verschiedener Disziplinen miteinander.

Ein kurzer Exkurs mit einer Gegenüberstellung verschiedener Beziehungsebenen zu einem Gebäude/einer Immobilie soll den bereits schon heute erworbenen Stellenwert des FM und dessen zukünftige Bedeutung darstellen. Darüber hinaus verdeutlicht das nachfolgende Beispiel die Positionierung des Themenkomplexes „Facility Management“ und stellt die Verbindung zum Thema der vorliegenden Arbeit her.

Investoren, Nutzer und Betreiber haben unterschiedliche Vorstellungen und Erwartungen gegenüber einem Gebäude. Ein möglichst wirtschaftliches Betreiben ist neben verschiedenen Größen, wie beispielsweise der Erstinvestition, ein wesentlicher Faktor zum Erzielen einer marktgerechten Rendite, was demnach ein Hauptinteresse von Kapitalanlegern/Investoren ist. Betreiber hingegen sind bestrebt, ihre „Dienstleistung“, meist eine Service-Leistung wie zum Beispiel das Gebäudemanagement zu marktfähigen Preisen zu „verkaufen“. (Gebäudemanagement ist nur ein Teil der unterschiedlichen Handlungsbereiche des FM und wird diesem fälschlich gleichgesetzt). Dies spiegelt sich in einer sehr funktionalen Gestaltung von Ge-

¹³ Vgl. Dietrichs, Claus Jürgen: Immobilienmanagement im Lebenszyklus – Projektentwicklung, Projektmanagement, Facility Management, Immobilienbewertung. (2006).

¹⁴ Vgl. Lochmann, Hans - Dieter: Facility Management – Strategisches Immobilienmanagement in der Praxis. Wiesbaden. (2000).

bäuden und Einrichtungen sowie in optimierten Ablaufprozessen wider. Nutzer hingegen haben die Erwartung, dass das Gebäude ihren Anforderungen optimal entspricht und sie ihr eigentliches Kerngeschäft effizient durchführen können. Ob fremd- oder eigen genutzte Immobilien spielt in den primären Zielen des Nutzers keine Rolle.

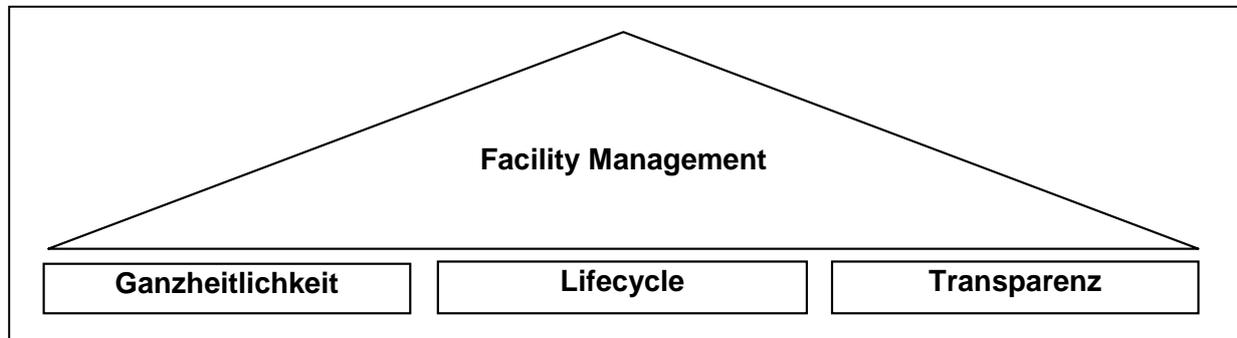


Abb. 1.2.2-C Die drei Säulen des Facility Managements nach Nävy¹⁵ (Bildquelle: Eigene Darstellung)

Ein wesentlicher Bestandteil bei der Definition von „Facility Management“ ist der Begriff des Lebenszyklus. Nävy beschreibt das Facility Management als strategisches Konzept, welches auf den drei Säulen der Ganzheitlichkeit, dem Lebenszyklus (Lifecycle) und der Transparenz beruht (siehe Abbildung 1.2.2 C).

In Bezug auf eine Betrachtung der Lebenszykluskosten von Aufzugsanlagen besteht hier die Verbindung beider Themenkomplexe. Aufzüge sind im Gegensatz zu vielen anderen Anlagensysteme sehr stark mit dem Gebäude verknüpft und überdauern nicht selten 50 Jahre mit entsprechenden Modernisierungsmaßnahmen. Der Lebenszyklus eines Gebäudes, wie ihn das Facility Management versteht, wird demnach wesentlich durch dessen technische Anlagen, sprich den Aufzügen beeinflusst. Einen großen Einfluss auf die Nutzungsphase, die auf Grund des langen Zeitraumes die kostenintensivste Phase im Lebenszyklus darstellt, hat die richtige Auswahl und Dimensionierung des Aufzugssystems.¹⁶

1.2.3 Simulationen / Verkehrsberechnungssimulationen

Simulationen werden angewandt, um Systeme bzw. komplexe Prozesse analysieren zu können. Der VDI beschreibt die Terminologie in seiner Richtlinie VDI 3633, Blatt 1: „...ein Verfahren zur Nachbildung eines Systems mit seinen dynamischen Prozes-

¹⁵ Vgl. Nävy, Jens: Facility Management – Grundlagen, Computerunterstützung, Systemeinführung, Anwendungsbeispiele, (2002) S.1.

¹⁶ Vgl. Künzler, Philippe: Lebenszyklus von Gebäuden – Ganzheitliche Ökobilanzierung für eine umfassende Betrachtung von Planungs- und Bauprozessen, (2001).

sen in einem experimentierbaren Modell, um zu Erkenntnissen zu gelangen, die auf die Wirklichkeit übertragbar sind.“¹⁷

Ein wesentliches Grundmerkmal einer Simulation ist die Modellbildung, bei der ein real existierendes System abstrahiert und bis auf seine grundsätzlichen Verhaltenszüge vereinfacht wird. Anwendungsbeispiele für Simulationen findet man regelmäßig bei Analysen und Darstellung dynamischer Prozesse, bei denen das Gewinnen von Erkenntnissen am realen Objekt

- zu gefährlich wäre.
- nicht möglich ist, weil das reale Objekt nicht besteht.
- in keinem Verhältnis zu den Kosten steht.
- das reale System zerstören würde.
- eine Prognose über zukünftige Entwicklungen des Realsystems erstellt.
- zu schnell / zu langsam ablaufen würde.¹⁸

Wenn heute im Allgemeinen von Simulationen gesprochen wird, so versteht man darunter in erster Linie die Verwendung rechnergestützter (numerischer) Simulationen.

Diese werden in der Literatur in

- statische oder dynamische,
- kontinuierliche oder diskrete,
- deterministische oder stochastische

Simulationsarten untergliedert.¹⁹ Statische und dynamische Simulationen unterscheiden sich darin, dass bei dynamischen Systemen die Prozesse zeitlich veränderbar sind. Bei kontinuierlichen Simulationen wird vorausgesetzt, dass sich die Zustandsvariablen kontinuierlich ändern, sie sind stetig. Diskrete Simulationsarten hingegen verändern ihre Zustandsvariablen nicht stetig, diese werden daher auch als unstetig bezeichnet. Deterministische Simulationen basieren auf Gleichungen bzw. auf bestimmten Anfangswerten. Stochastische Simulationsarten werden hingegen durch zufällige Eingangsgrößen bestimmt.²⁰

¹⁷ VDI 3633: Simulation von Logistik-, Materialfluss- und Produktionssystemen, Grundlagen. Düsseldorf(1992).

¹⁸ Vgl. Raffel, Wolf-Ulrich: Simulationstheorie. Institut für Informatik / Freie Universität Berlin, (2001).

¹⁹ Vgl. Law, A.M.; Kelton D.W.: Simulation Modelling and Analysis, Industrial Engineering and Management Science. (2000).

²⁰ Vgl. Sauerbier Th.: Theorie und Praxis von Simulationssystemen. (1999) S.22.

Verkehrsberechnungssimulationen sind speziell für die Anwendung der Simulation des Verkehrsflusses von Personen in einem Gebäude entwickelte Softwarelösungen. Dabei bilden sie die Vertikalerschließung eines Gebäudes ab und bieten somit ein schnelles und wirksames Werkzeug, zur Planung eines Erschließungskonzeptes. Neben Anzahl, Größe (Tragfähigkeit), Geschwindigkeit und weiteren technischen Charakteristika der einzusetzenden Aufzugstechnik, geben diese Softwareprogramme die Möglichkeit, verschiedene Erschließungskonzepte miteinander zu vergleichen. Barney definiert Simulationen in Bezug auf Verkehrsberechnungssimulationen wie folgt: "Simulation is the development and use of models to aid in the evaluation of ideas and the study of dynamic systems or situations."²¹

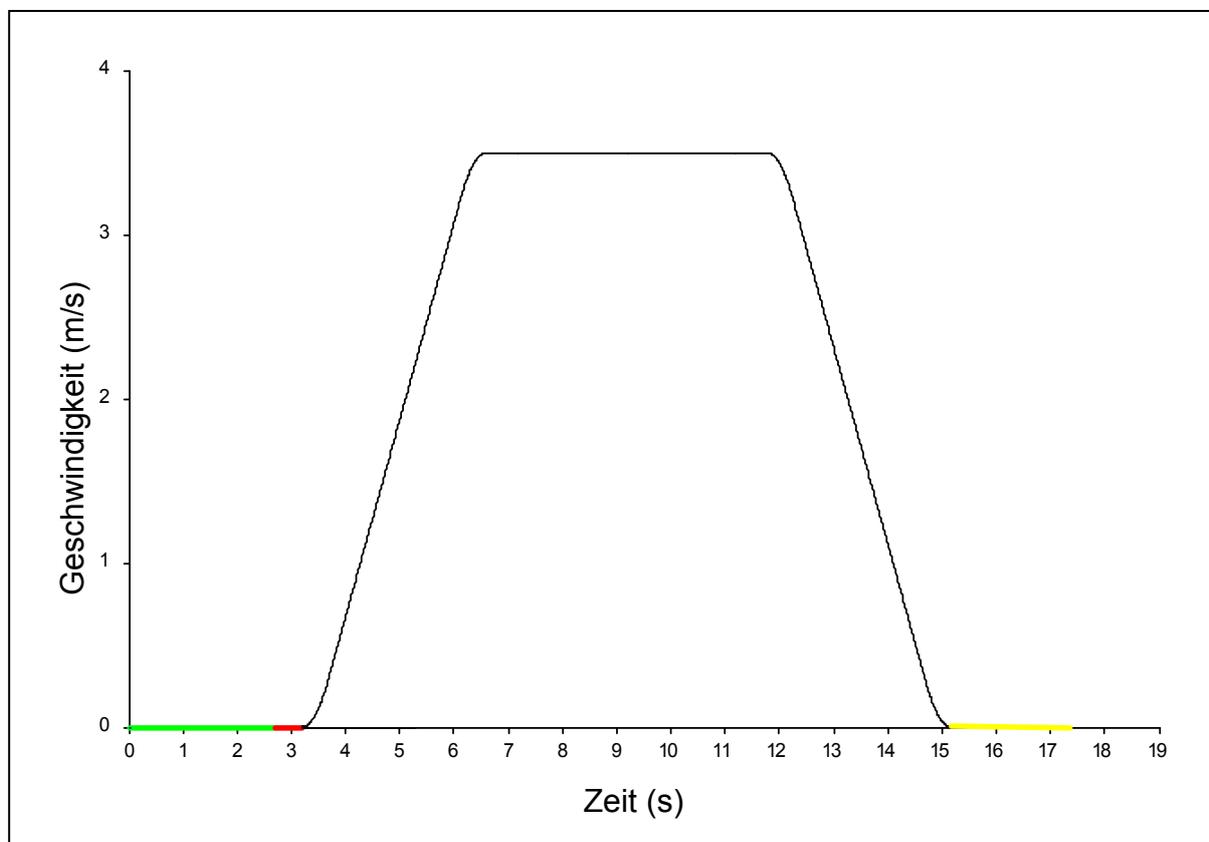


Abb.1.2.3 Beispiel der Kinematik einer Aufzugsbewegung mit einer Nenngeschwindigkeit von 3,5m/s. Verkehrsberechnungssimulationen berücksichtigen die vollständigen Abläufe sowohl jeder einzelnen Fahrt, als auch für die Prozesse und Abläufe der Passagiere. (Quelle: Peters Research / ELEVATE™)

Verkehrsberechnungssimulationen, wie sie auch in dieser Arbeit verstanden werden sollen, entsprechen nach der zuvor genannten Terminologie der diskreten Simulation:

²¹ Vgl. Barney, Dr. Gina: Elevator Traffic Handbook Theory and Practice. (2003) S.355, S.203.

- Jede individuelle Ankunft einer Person vor einem Aufzug ist ein „diskretes Event“.
- Jede individuelle Abfahrt einer Person mit dem Aufzug ist ein „diskretes Event“.
- Jeder Aufzug ist eine „diskrete Einheit“.
- Jedes Geschoss ist eine „diskrete Einheit“.
- Jede Fahrkorbbelegung ist ein „diskretes Ereignis“
- Jede Türbewegung ist ein „diskretes Ereignis“
- ...

Übertragen auf die zuvor genannte Simulationstheorie ist die Verkehrsberechnungssimulation ein Modell, an dem der Verkehrsfluss eines realen Gebäudes vereinfacht dargestellt wird. Dem Wesen einer Simulation entsprechend lassen sich die Ergebnisse anhand des Modells, der Simulationssoftware, interpretieren. Wichtig ist dabei, dass die Simulationsergebnisse auch als solche verstanden werden. Sie geben bei hinreichender Qualität der Eingangsgrößen und Modellbildung einen sehr realitätsnahen Bezug, jedoch nicht eine absolute Größe.

Ein anderes, analytisches Werkzeug zur Bestimmung des Verkehrsflusses in einem Gebäude ist der rein mathematische Ansatz, der auf einer Vielzahl von theoretischen Annahmen über das Verhalten von Personen sowie pauschalisierten technischen Parametern beruht. Diese Analysemodelle basieren auf Methoden der Wahrscheinlichkeitstheorie.²²

Der Bezug zu einer Betrachtung der Lebenszykluskosten von Aufzugsanlagen besteht in der Art, dass über das Simulationsmodell Betriebszustände des betrachteten Systems simuliert werden können. Wichtige, „dynamische Faktoren“, die den Lebenszyklus technischer Anlagen beeinflussen, können im Gegensatz zu statischen bzw. analytischen Ermittlungsmethoden höhere Präzision verleihen.

1.3 Zieldefinition der Arbeit

Grundgedanke und primäres Ziel der Arbeit ist die Entwicklung einer Methode sowie eines Planungswerkzeuges, welches es erlaubt, bereits in einer frühen Planungsphase unterschiedliche Aufzugssysteme und Erschließungskonzepte hinsichtlich der

²² Vgl. CIBSE: CIBSE Guide D – Transportations Systems in Buildings, (2005).

zu erwartenden Lebenszykluskosten bewerten und beurteilen zu können. Der Fokus liegt dabei auf Erschließungskonzepten für Hochhäuser, da hier die Relevanz einer Lebenszykluskostenrechnung von besonderer Bedeutung ist. Mit dem Planungswerkzeug soll die Möglichkeit geschaffen werden, die verschiedenen technischen Lösungen sowie die unterschiedlichen Transportstrategien miteinander zu vergleichen und ein „Budget Forecast“ über die voraussichtlichen Betriebs- und Nutzungskosten zu erlauben²³. Zum Herstellen der Vergleichbarkeit ist es notwendig, geeignete Kennzahlen und Parameter zu entwickeln, um anschließend eine Wertanalyse durchführen zu können. Das Ergebnis, d. h. die Aussage der Wertanalyse, soll den Anwender in die Lage versetzen, die gewonnenen Informationen als Entscheidungshilfe bei der Auswahl der optimalen Ausführungsvariante heranziehen zu können.

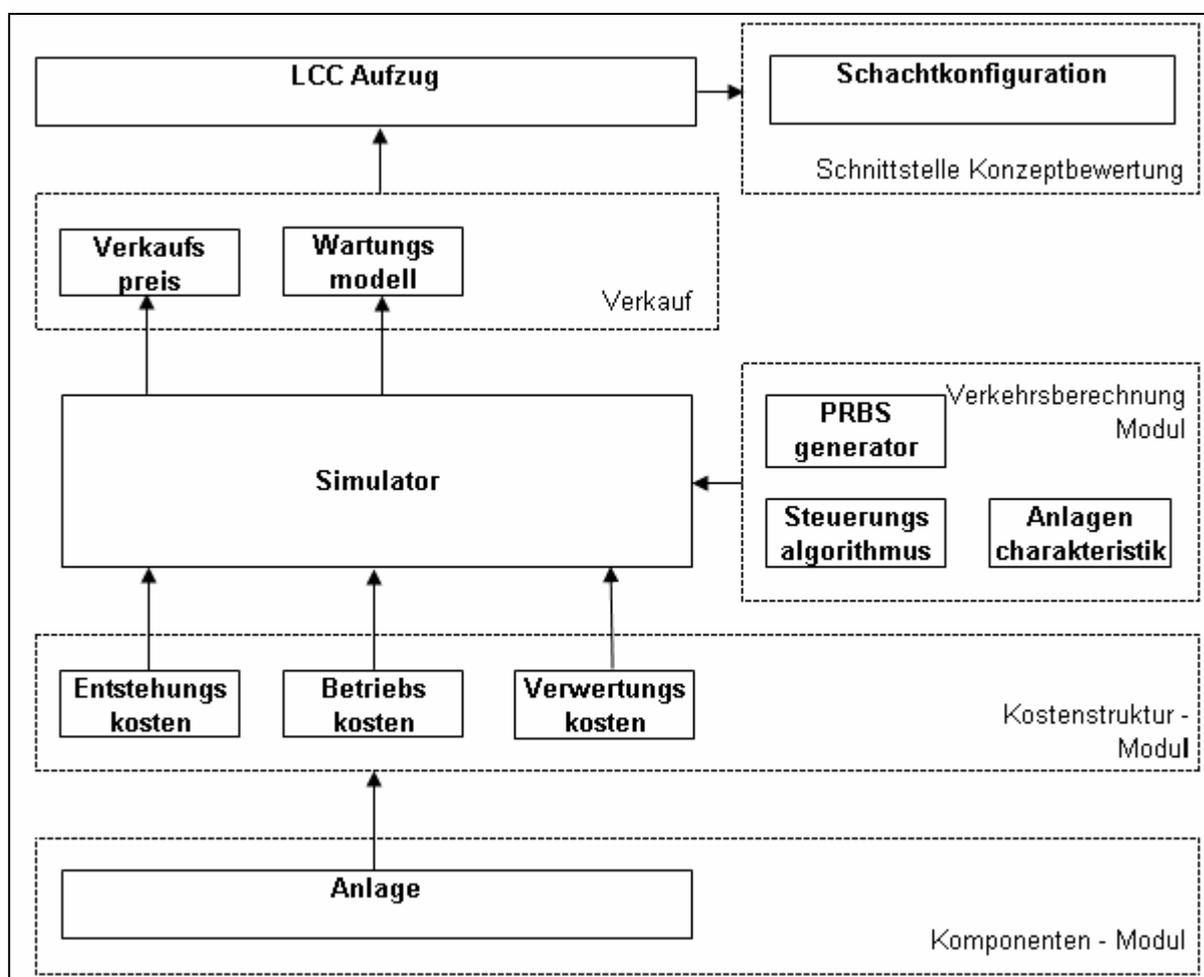


Abb. 1.3 Eigenentwickelte Aufbaustruktur der Methode (Bildquelle: Eigene Darstellung)

Die Methode, wie Lebenszykluskosten von Aufzugsanlagen ermittelt bzw. simuliert werden sollen, ist in Abbildung 1.3 dargestellt. Zunächst werden im Komponenten-

²³ Vgl. Schönberger, Siegmund: Benchmarking – Pools für Facility Management. Saarbrücken. (2007), S.14.

modul Daten über das Verschleißverhalten einzelner Baugruppen in einer entsprechenden Softwareanwendung hinterlegt. Diese Daten werden entsprechend einer Kostenstruktur unterteilt und den jeweiligen Kostenelementen zugewiesen. Parallel wird die vertikale Erschließung eines Gebäudes in einem Simulationsmodell, dem Verkehrsberechnungsmodul, beschrieben und abgebildet. Im Simulator durchlaufen die Aufzüge einen simulierten Tagesablauf über 24 Stunden, was die Basis für eine Hochrechnung auf die Betrachtungsdauer bildet. Die Preisbildung der Betriebskosten erfolgt im Anschluss auf der Grundlage kaufmännischer Daten unter Berücksichtigung der Auswahl eines Wartungsvertragsmodells. Das Ergebnis bezieht sich bis zu diesem Zeitpunkt lediglich auf eine rein technische Bewertung eines Aufzugsystems hinsichtlich seiner Lebenszykluskosten. Daher erfolgt anschließend die bereits erwähnte Wertanalyse des gesamten Erschließungskonzeptes.

Aufzüge gehören im klassischen Sinne zu den gebäudetechnischen Anlagen, der so genannten „Technischen Gebäudeausrüstung – TGA“, bezogen auf Lebensdauerbetrachtung im vorliegenden Kontext folgen sie jedoch nicht grundsätzlich den Regeln des traditionellen Maschinen- und Anlagenbaus oder auch der Elektrotechnik. Gründe dafür liegen in der sehr individuellen Beanspruchung durch das Nutzerverhalten, den komplexen, dynamischen/kinematischen Zusammenhängen bzw. den unter 1.3.1 genannten Faktoren. Da analytische Methoden, wie Prognosemodelle, diese komplexen Zusammenhänge nicht, bzw. nur pauschal erfassen können, soll mit der Verwendung der Simulationstechnik der Ansatz untersucht werden, ob diese eine geeignete Basis für ein Planungswerkzeug bietet.

1.3.1 Vorgehensweise und Arbeitsmethodik

Grundlage zur Entwicklung einer Methode zur Lebenszykluskosten orientierten Planung von Erschließungskonzepten ist eine erste Bestandsaufnahme über die Lebensdauern verschiedener Aufzugskomponenten. Eine empirische Untersuchung von zuvor definierten Baugruppen und Komponenten leitet die für eine Modellbildung benötigten Eingangsgrößen her. Dies erfolgt im ersten Schritt über eine Abfrage von Lebensdauern, die die einzelnen Komponentenhersteller angeben können. Im zweiten Schritt werden nicht bekannte Lebensdauern diverser Baugruppen empirisch ermittelt.

Grundsätzliche Problematik ist bei der Ermittlung der Lebensdauer, dass eine Vielzahl unterschiedlicher Faktoren die theoretische Lebensdauer sehr stark beein-

flussen kann und somit großen Schwankungen in der praktischen Anwendung unterliegen. Diese können sein:

- Klimatische Randbedingungen (Temperatur, Feuchtigkeit...)
- Umgebungsverhältnisse (z. B. Lastenaufzug in einem Zementwerk...)
- Einsatzbedingungen (häufige Volllast-Fahrten)
- Frequentierung
- Konstruktionsprinzip (Art der Fahrkorbaufhängung, Position des Antriebes, Anzahl Umlenkrollen, Systembalance)
- Montagequalität

Auf Grund dieser Problematik wird festgelegt, diese Untersuchungen auf der Basis von Ersatzteilauswertungen sowie Interviews mit erfahrenem Wartungspersonal für Aufzugsanlagen durchzuführen.

Im Rahmen der Methodenentwicklung ist das Entwickeln geeigneter, aussagekräftiger Kennzahlen und Parameter ein wesentlicher Schwerpunkt der Forschungsarbeit. Dabei beschränkt sich die Untersuchung auf die zielorientierte Findung relevanter Kenngrößen zum Herstellen einer Vergleichbarkeit von Aufzugssystemen und Erschließungskonzepten (Wertanalyse). Die Anwendbarkeit der Methode wird an einem Referenzprojekt qualitativ angewendet und anschließend auf ihre Eignung überprüft.

1.3.2 Abgrenzung der Forschungsarbeit

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit der Entwicklung einer Methode zum Erfassen der Kostenelemente von Aufzügen sowie eines Bewertungsmodells von Erschließungskonzepten. Dabei konzentriert sich die Arbeit auf die Betrachtung von schnell fahrenden, seilbetriebenen Personenaufzügen für Hochhäuser. Hydraulisch betriebene Aufzüge wie auch Systeme für einfache fördertechnische Anwendungen werden nicht betrachtet. Ebenfalls unberücksichtigt bleiben extreme Anwendungsfälle wie zum Beispiel außergewöhnliche, intensive Belastungen oder auch klimatische und atmosphärische Einflüsse, die außergewöhnliche Sonderfälle darstellen. Es wird ein bestimmungsgemäßer Gebrauch der Aufzüge vorausgesetzt.

Der betrachtete Zeitraum einer Lebenszykluskostenbetrachtung ist grundsätzlich abhängig von dem zu untersuchenden Objekt oder Gegenstand. Für Industriegüter im

Allgemeinen empfiehlt es sich, den zu betrachtenden Zeitraum auf 25 – 30 Jahre zu begrenzen. Die Gründe dafür können (vereinfacht dargestellt) vielfältig sein:

- Die Nutzungsdauern im Sinne des jeweiligen Steuerrechts bzw. Handelsrechts (HGB) begrenzen den Zeitraum der steuerlichen Abschreibung.²⁴
- Die Investition ist durch ein Darlehen versorgt.
- Durch technischen Fortschritt, Umnutzungen oder aus Sicherheitsgedanken wird das Objekt oder Gegenstand erneuert.
- Qualitätsansprüche, Produkteigenschaften oder auch das optische Erscheinungsbild entspricht nicht mehr der Vorstellung...²⁵

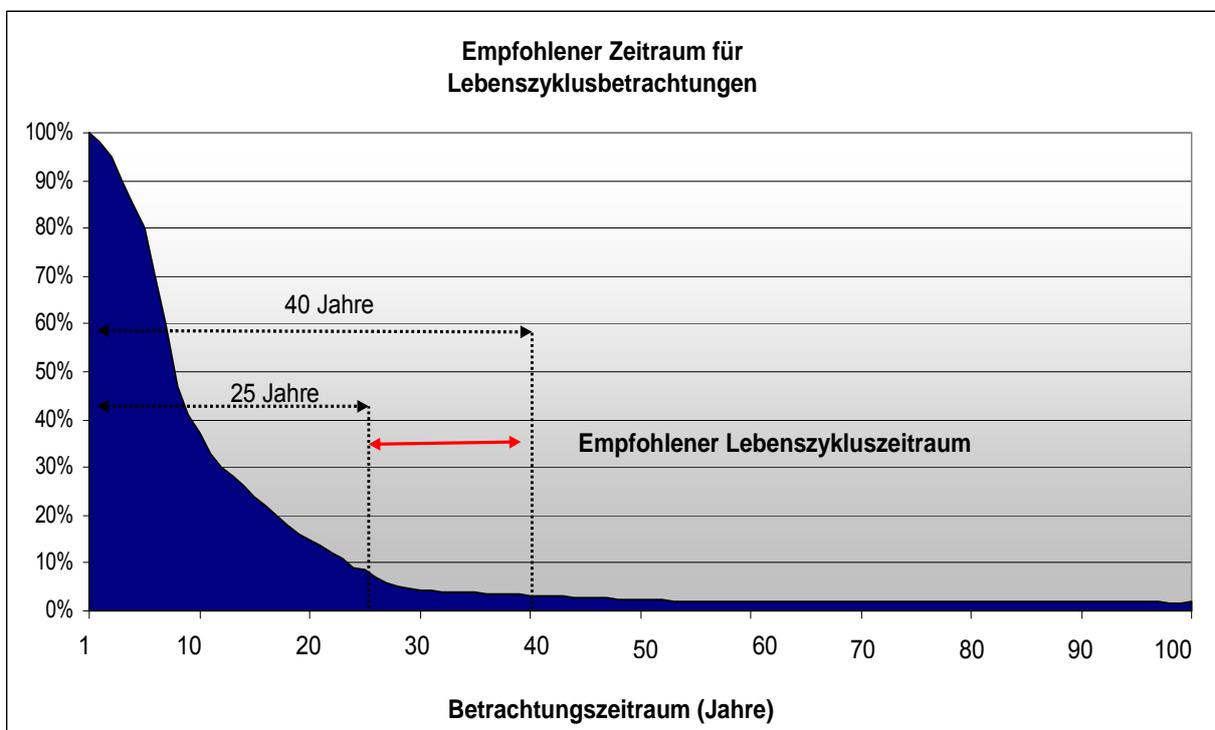


Abb. 1.3.2 Allgemeine Empfehlung über die Dauer von Lebenszyklusbetrachtungen.²⁶ Der Betrachtungszeitraum für technische Anlagen sollte jedoch zwischen 25 – 30 Jahren betragen. (Bildquelle: Eigene Darstellung)

Der Betrachtungszeitraum für Aufzüge wird auf Grundlage dieser Empfehlungen auf eine Betrachtungsdauer von 25 Jahren begrenzt. Dabei wird davon ausgegangen, dass Wartungs- und Instandsetzungsarbeiten für das Aufrechterhalten der technischen Funktionalität ausgerichtet sind. Modernisierungen für kosmetische Auf-

²⁴ http://www.bundesfinanzministerium.de/cln_03/nn_3792/DE/Steuern/Veroeffentlichungen__zu__Steuerarten/Betriebspruefung/005.html (17.12.2007, 14:03 Uhr).

²⁵ Vgl. CIBSE: CIBSE Guide D – Transportations Systems in Buildings, (2005).

²⁶ Vgl. Kirk, Dr. Stephen J.; Dell'Isola, Alphonse J.: Life Cycle Costing for Design Professionals – Second Edition. New York. (1995). S. 31.

wertungen oder Funktionsänderungen werden in diesem Zusammenhang nicht betrachtet. Ferner wird davon ausgegangen, dass sich die Nutzungsart des Gebäudes während des Betrachtungszeitraumes nicht verändert.

Grundsätzlich werden Thesen, Vergleiche oder Erläuterungen aus angrenzenden Fachdisziplinen und Fachgebieten in der erforderlichen Tiefe und Ausführlichkeit behandelt, wie sie zur Darstellung und zum Verständnis bedürfen.

1.4 Struktur und Aufbau der Arbeit

Die Arbeit ist in ihrer Struktur in 8 Arbeitsschritte unterteilt. Die Arbeitsschritte sind aufeinander aufbauend und dienen jeweils zum Verständnis nachfolgender Schritte.

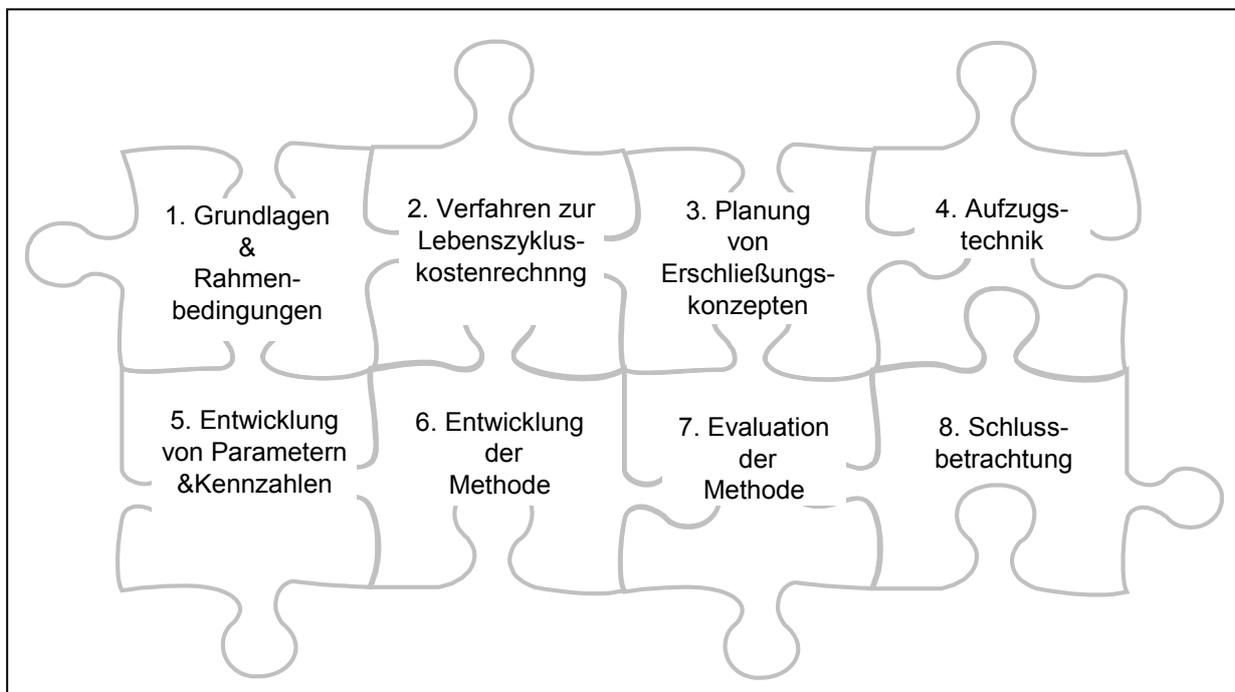


Abb. 1.4 Struktur und Aufbau der Arbeit (Bildquelle: Eigene Darstellung)

- Beginnend mit einer Analyse der Grundlagen und Rahmenbedingungen werden die Anforderungen herausgestellt, die an das Ergebnis einer Simulationemethode gestellt werden. Die Untersuchung der Anforderungen wird mit empirischen Methoden durchgeführt.
- Basierend auf dieser Definition der Ausgangslage schließt eine Übersicht über die bekannten Prognoseverfahren von Lebenszykluskosten an. Diese Übersicht konzentriert sich auf Anwendungsgebiete, wie sie im Kontext dieser Arbeit von Interesse sind.

- Der nächste Abschnitt befasst sich mit den Grundlagen der Planung von Erschließungskonzepten sowie der Verkehrsberechnungssimulation. Nach einer kurzen Orientierung, wie Simulationen aufgebaut sind und wie Verkehrsberechnungssimulationen von Aufzugsanlagen funktionieren, werden anschließend die Schnittstellen zur Simulation der Lebenszykluskosten beschrieben.
- Wichtiger Baustein dieser Arbeit ist die Aufzugstechnik. Die Entwicklungsgeschichte bis zum heutigen Stand der Technik wird in diesem Arbeitsschritt in der Tiefe dargestellt, wie sie zum Verständnis erforderlich ist. Anschließend wird das Verschleißverhalten der Bauteile und Komponenten beschrieben. Die Datenerfassung erfolgt über empirische Untersuchungen.
- Die Kennzahlen- und Parameterentwicklung ist eine Ableitung aus den vorangegangenen Arbeitsabschnitten. Sie ist wesentlicher Bestandteil für die Entwicklung der eigentlichen Simulationsmethode, ermöglicht das Vergleichen der unterschiedlichen Ausführungsvarianten und befähigt später den Anwender, externe Vergleiche (Benchmarking) zu Referenzobjekten durchzuführen.
- Mit der Beschreibung des Aufbaus und des Ablaufes der Simulation sowie der nachfolgenden Konzeptbewertung wird die grundsätzliche Vorgehensweise detailliert definiert und dokumentiert.
- Die Handhabung und Eignung der Methode wird an einem Beispielobjekt durchgeführt. Dabei werden drei unterschiedliche Erschließungskonzepte simuliert, ausgewertet und anschließend gegenüber gestellt.
- Die Schlussbetrachtung ist eine abschließende Zusammenfassung der gewonnenen Erkenntnisse, des Informationsgehalts der Kennzahlen und dem Nutzen für den Anwender der Methode. Es wird ein Ausblick gewagt, der die Entwicklungspotenziale für zukünftige Technologien und Transportlösungen mit einem Fokus auf die lebenszyklusorientierten Planungen von Erschließungskonzepten beschreibt.

1.5 Stand der Forschung

Eine wissenschaftliche Forschung der lebenszykluskostenorientierten Planung von Erschließungskonzepten von Aufzügen ist nach eingehender Recherche nicht vorhanden. Bereits abgeschlossene sowie aktuelle Forschungen an Universitäten und

Instituten hinsichtlich Lebenszykluskostenbetrachtungen beziehen sich dabei stets auf das Gesamtgebäude. Bedeutsam sind hier die Forschungen von Riegel²⁷ und Pelzeter²⁸, die sich mit der Ermittlung von Immobilienlebenszykluskosten befassen. Die Forschung von Lebenszykluskosten von Aufzügen beschränkt sich hingegen auf die Industrieforschung. Dabei konzentrieren sich diese lediglich auf die Teilbereiche der Lebenszykluskostenbetrachtung Energieeffizienz sowie deren Feststellung und Klassifizierung.

Der Schweizer Ingenieur- und Architektenverein (SIA) erarbeitete im Jahr 2005 im Auftrag des Bundesamtes für Energie (Schweiz) eine Studie zum Energieverbrauch bei Aufzugsanlagen und zeigt, welche Einsparpotenziale vorhanden sind. Hierbei kam die Studie unter anderem zu folgendem Schluss: *„Beitrag der Planer und der Bauherrschaft: Die Untersuchung erwähnt einen ganzen Katalog von Energiesparmöglichkeiten. Planer und die Bauherrschaft können den Energieverbrauch bei der Planung durch ihre Anforderungen an die Geschwindigkeit, die Beschleunigung und die Kapazität durchaus beeinflussen. Sie können energieeffizientere Systeme wählen und die Anlagen auf den wirklichen Bedarf auslegen.“*²⁹

In Deutschland entwickelte der Verein Deutscher Ingenieure (VDI) mit der *VDI 4707 – Energieeffizienz von Aufzugsanlage (2009)* eine Methode zur Klassifizierung des Energieverbrauchs von Aufzügen (siehe 3.3.1) mit der Besonderheit, dass die Nutzungsintensität bei einer Bewertung berücksichtigt wird. Aktuell wird an einem ergänzenden Blatt zur Klassifizierung energieverbrauchender Komponenten gearbeitet.³⁰

Hinsichtlich einer Lebenszykluskostenermittlung von Aufzügen begann der VDI im Jahr 2007 mit der Überarbeitung der bereits existierenden Richtlinien *VDI 6025 - Betriebswirtschaftliche Berechnungen für Investitionsgüter und Anlagen* und *VDI 2067 Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen* mit dem Ziel, ein Verfahren zur Ermittlung von Lebenszykluskosten zu entwickeln. Ähnlich der Verfahren der darin bereits enthaltenden Gewerke, soll eine gleichartige Methode auch für Aufzugsanlagen erstellt und als weiteres Blatt der VDI 2067 angefügt werden. Dabei begrenzt sich die Methode auf eine einheitliche Betrachtung der Lebensdauern für definierte Hauptkomponenten

²⁷ Vgl. Riegel, Wolfgang: Dissertation / Einsoftwaregestütztes Berechnungsverfahren zur Prognose und Beurteilung der Nutzungskosten von Bürogebäuden. (2004).

²⁸ Vgl. Pelzeter, Andrea: Lebenszykluskosten von Immobilien – Einfluss von Lage, Gestalt und Umwelt. Immobilien Informationsverlag Rudolf Müller GmbH & Co. KG. Köln. (2006)

²⁹ Nipkow, Jürgen: SIA 380 / 4 - Elektrizitätsverbrauch und Einsparpotenziale bei Aufzügen. Bundesamt für Energie. Zürich. (2005).

³⁰ Vgl. VDI: VDI 4707 – Energieeffizienz von Aufzugsanlagen. Düsseldorf. 2009.

und bietet Vorschläge zur Verwendung üblicher Investitionskostenrechnungen. Die Aktivitäten des VDI zur Überarbeitung dieser Richtlinien sind auf Grund der Schwierigkeiten einer Standardisierung derzeit nicht abgeschlossen. Beide Richtlinien gehen nicht auf den Grad und die Intensität der Nutzung der Aufzüge ein, wie es beispielsweise die bereits genannte *VDI 4707- Energieeffizienz von Aufzugsanlagen* durch Verwendung von Nutzungskategorien vorsieht.

Aus gebäudeplanerischer Sicht entstanden in jüngster Zeit Zertifizierungssysteme wie beispielsweise LEED, BREEAM oder das deutsche DGNB. Diese beschreiben die Energieeffizienz und Nachhaltigkeit des Gebäudes und definieren Standards zur Klassifizierung und Bewertung der Immobilie. Ziel dabei ist es, die Beschaffung energieeffizienter Produkte zu fördern. Darüber hinaus erzeugt es ein Bewusstsein für Ressourcen schonende Technologien und ein Verständnis für Nachhaltigkeit. Bislang definieren diese Zertifizierungssysteme jedoch keine oder nur sehr pauschal technische Standards für Aufzüge und deren elektrische Komponenten.^{31 32 33}

Eine Reduzierung der Lebenszykluskosten kann nach *Jappsen* durch solide Planung des Erschließungskonzeptes, einer bedarfsorientierten Dimensionierung sowie einer hohen Produktqualität der Aufzugstechnik erzielt werden. Langlebigkeit und fehlerloser Betrieb senkt dabei die monetären Aufwendungen über einen langen Zeitraum.³⁴ Eine fundierte, wissenschaftliche Untersuchung diesbezüglich ist jedoch nicht bekannt und veröffentlicht.

Im Rahmen der vorliegenden Forschungsarbeit wurden Umfragen und Interviews bei international agierenden Planern, Fachingenieuren für Fördertechnik sowie Aufzugsherstellern durchgeführt, um als Definition der Ausgangssituation den derzeitigen Stand der Forschung zu ermitteln. Die Ergebnisse zeigen, dass auch in der praktischen Anwendung keine weiteren Methoden und Werkzeuge zur lebenszykluskostenorientierten Planung entwickelt wurden oder zur Anwendung kommen. Die Ergebnisse der durchgeführten Umfragen und Interviews sind darüber hinaus Bestandteil einer nachfolgenden Umfeldanalyse, auf die eine Methodenentwicklung dieser Forschungsarbeit aufbaut.

³¹ Vgl. BRE Global Limited: BREEAM – Scheme Document SD 5068. Watfort Hertfordshire. 2010.

³² Vgl. http://www.dgnb.de/_de/zertifizierung/zertifikat/ (17.09.2010 08:59 Uhr).

³³ Vgl. <http://www.usgbc.org/DisplayPage.aspx?CMSPageID=1988> (17.09.2010 10:17Uhr).

³⁴ Vgl. Jappsen, Hans: Einfluss der Diagnose auf Lebenszyklus und Qualität von Aufzugsanlagen. Vortrag in Schwelm am 25.07.2003.(2003).

2 Grundlagen und Rahmenbedingungen

Um eine Methode zu entwickeln, die über den Grad der Optimierung einer Planung hinsichtlich der Lebenszykluskosten eine Aussage treffen kann, müssen zunächst die Ausgangslage sowie die wesentlichen Rahmenbedingungen analysiert werden. Erst auf dieser Basis kann eindeutig definiert werden, welche Aussagekraft eine Simulation der Lebenszykluskosten haben kann und auf welche Weise, sprich mit welchen Kennwerten, Aussagen zu Lebenszykluskosten und optimierter Planung getroffen werden können.

Lebenszykluskosten sind, wie zu Beginn definiert, ein Instrument zum Analysieren aller Kosten, die mit dem Erwerb/dem Besitz der Anlage/des Gegenstandes verbunden sind. Es soll dadurch ermöglicht werden, bislang in der Kostenrechnung nicht berücksichtigte Kosten der Nutzung in eine Kostenrechnung zu integrieren. Das Zusammenführen aller Kostenelemente dient in der Planungsphase als wichtige Entscheidungshilfe bei der Auswahl des wirtschaftlichsten Aufzugssystems und darüber hinaus als Orientierung bei der Kalkulation und Budgetierung der Nutzungskosten.

Nachfolgend sind die grundsätzlichen Anforderungen und Empfehlungen herausgestellt, die durch unterschiedliche Interessensgruppen und Entscheidungsträger im Allgemeinen an Lebenszyklusbetrachtungen gestellt werden. Es sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass sich im Rahmen dieser Arbeit die Untersuchung auf die wesentlichen Interessengruppen reduziert. Die Untersuchung hat den Charakter einer Umfeldanalyse und dient der inhaltlichen Positionierung. Diese hat zum Ziel, die vielfältigen Sichtweisen, Bedürfnisse und Anforderungsprofile im näheren Umfeld der Arbeit zu beschreiben, die an ein Planungswerkzeug geknüpft werden können.

2.1 Anforderungen von Facility–Management Unternehmen

Facility – Management (FM) Unternehmen nehmen heute in modernen Projektplanungen sehr früh Einfluss auf Entscheidungsprozesse, häufig bereits während der Entwicklungs- und Vorplanungsphasen von Bauprojekten. Internationale und nationale FM – Verbände und Organisationen, wie beispielsweise der Deutsche Verband für Facility Management e.V. (GEFMA), definieren Lebenszykluskosten in entsprechenden Richtlinien. Sie geben Anleitung für eine einheitliche Vorgehensweise bei deren Berechnung. Herausgestelltes Ziel aller Bemühungen ist die phasenübergreifende Betrachtungsweise, Investitions- und Betriebskosten gegenüber zu stellen,

um einer einseitigen Optimierung beider Kostenelemente entgegenzuwirken. Lebenszykluskosten stellen somit ein wirkungsvolles Instrument dar, zu jeder Planungsphase eine Hilfestellung bei einer Entscheidungsfindung zu geben. Neben der Betrachtung der Investitions- und Nutzungskosten ist ebenfalls die zeitliche Verteilung aller anlaufenden Kosten relevant. In Hinblick auf den Zeitwert des Geldes ist eine Aussage über den Zeitpunkt der Fälligkeit der Zahlungen bei der Angabe von Lebenszykluskosten von wirtschaftlicher Bedeutung.³⁵

Die Beziehungen zwischen Nutzungskosten und Investitionskosten sind nachfolgend dargestellt, bilden jedoch nicht den Regelfall ab.

Nutzungskosten	Investitionskosten	
	niedrig	hoch
niedrig	z.B. Technikvermeidung durch bauliche Maßnahmen	z.B. Wärmedämmung
hoch	z.B. Baumaterialien mit geringer Lebensdauer	z.B. überdimensionierte technische Anlagen

Abb. 2.1 Verhältnis zwischen Investitions- und Nutzungskosten nach GEFMA 220-1 (Bildquelle: Eigene Darstellung)

2.1.1 Benchmarking

Während die Lebenszykluskosten im Facility Management wesentlich im internen Vergleich (Ranking) angewendet werden, ist das Benchmarking eine Methode zum Vergleichen mit externen Kennzahlen und Bezugsgrößen.³⁶ Diese Methode hat ihren Ursprung in den 70er Jahren des zwanzigsten Jahrhunderts mit der Entwicklung der Computerindustrie in den USA. Das Ziel damals war, interne Prozesse und Abläufe zu verbessern. Heute ist das Benchmarking im Bereich des Controllings sehr stark verbreitet und dient beispielsweise der Budgetkontrolle.

Die Formen des Benchmarking können in

- internes Benchmarking
- externes Benchmarking

³⁵ Vgl. GEFMA: GEFMA 200/1 Lebenszykluskostenberechnung im FM. Bonn, (2006).

³⁶ Vgl. GEFMA: GEFMA 200/1 Lebenszykluskostenberechnung im FM. Bonn, (2006).

- Gemeinschafts–Benchmarking (anonymer Informationsaustausch zwischen Unternehmen)
- Schatten–Benchmarking (verdeckte Vergleiche zwischen konkurrierenden Unternehmen)
- Funktions–Benchmarking (Vergleich zu ähnlichen Abläufen anderer Branchen)
- Weltklasse–Benchmarking (Vergleich von Prozessen mit Weltklasseunternehmen)

unterteilt werden.³⁷

Die Anwendungsbereiche der Benchmarking – Methode für das Facility Management unterteilt Schönberger in:

- Richtwerte während der Konzeptions- und Planungsphase

Hier dient der Vergleich zu Kennzahlen aus entsprechenden Daten–Pools (so genannte Benchmarking Pools) dazu, ob eine Projektidee umsetzbar ist oder nicht. In einem weiteren Schritt können während der Planungsphase die entsprechenden Zeit- und Kostenrahmen festgelegt werden, um später innerhalb dieser Grenzen den wirtschaftlichen Gebäudebetrieb zu gewährleisten.

- Controlling – Instrumente

Als Controlling–Instrument kann Benchmarking zur Budgeteinhaltung herangezogen werden. Somit lassen sich Kostentreiber sehr gut identifizieren und frühzeitig Maßnahmen einleiten, um über alle Lebenszyklusphasen hinweg zu optimieren.

- Kalkulation und Budgetierung

Können vergleichbare und auf das Projekt übertragbare Kennzahlen herangezogen werden, lassen sich die einzelnen Budgets der Planungs- und Betriebsphase sehr einfach und hinreichend genau berechnen.

FM-Unternehmen sind bestrebt, möglichst frühzeitig auf verlässliche Daten zugreifen zu können, die für die zuvor genannten Anwendungsbereiche aussagekräftig sind. Hier liegt jedoch die Gefahr, dass Bezugsgrößen nicht immer übertragbar sind, da von ungleichen Bedingungen und Grundvoraussetzungen aus-

³⁷ Vgl. Schönberger: Benchmarking-Pools für Facility Management – Kennzahlenbeschaffung für FM und Hinweise zu deren Anwendungen, (2007) S.11.

gegangen wurde. Daher eignet sich das Benchmarking häufig erst, wenn inhaltlich eine gleiche Ausgangssituation vorliegt.

2.1.2 Betriebskosten und Betriebskostenerfassung

Eine erste Einschätzung der Betriebskosten erfolgt vorzugsweise mit der zuvor genannten Benchmarking-Methode. Durch IT gestützte Datenbanken ist es nunmehr sehr einfach, auf aktuelle und dem Nutzungscharakter entsprechende Kennwerte zurückzugreifen. Somit lassen sich die Betriebskosten mit relativ hoher Genauigkeit darstellen. Diese lassen sich beispielsweise in Bezug zu funktionalen Einheiten, wie Brutto-, Netto- oder Hauptnutzflächen setzen (z. B. €/m²).

Während des Gebäudelebenszyklus entfallen in der Regel bis zu 80 % aller Kosten auf die Betriebs- und Nutzungsphase. Diese ergeben sich aus den unterschiedlichsten Kostenelementen wie Wartung/Pflege, Instandsetzung, benötigte Betriebsstoffe (Energie,...), Dienstleistungen, usw. Zum Beispiel macht es Sinn, die Energieverbräuche der unterschiedlichen technischen Anlagen im Gebäude frühzeitig zu ermitteln und zusammenzustellen. Es stärkt die Position und Möglichkeit, das kostengünstigste Vertragsmodell zu verhandeln und zwischen den Energieversorgungsunternehmen einen Wettbewerb erzeugen zu können.

Die Art der Betriebskostenerfassung hängt im Wesentlichen von der Nutzungsart des Gebäudes ab. Bei mehreren Mietparteien stellt sich die Planung der Infrastruktur zur Erfassung von Verbräuchen usw. naturgemäß anders dar, als bei nur einer Mietpartei. Die Betriebskostenerfassung ist jedoch grundsätzlich nach den jeweiligen Bedürfnissen auszuwählen und im Vorfeld festzulegen.^{38 39}

2.1.3 Betrachtungszeiträume

Aus Sicht des Facility Managements besteht der Lebenszyklus eines Gebäudes aus neun unterschiedlichen Phasen (LzPh):

- LzPh. 1: Konzeption
- LzPh. 2: Planung

³⁸ Vgl. Schönberger; Benchmarking-Pools für Facility Management – Kennzahlenbeschaffung für FM und Hinweise zu deren Anwendungen, (2007) S.24.

³⁹ Vgl. Schilling, Siegfried: Facility Management. In: Eisele, Johann; Kloft, Ellen: Hochhaus Atlas. München. (2002) S. 242 – 249.

- LzPh. 3: Errichtung
- LzPh. 4: Vermarktung
- LzPh. 5: Beschaffung
- LzPh. 6: Betrieb & Nutzung
- LzPh. 7: Umbau & Sanierung
- LzPh. 8: Leerstand
- LzPh. 9: Verwertung

Mit der Verwertung endet der Lebenszyklus und somit auch der Betrachtungszeitraum, der alternativ auch bis zu einer Sanierung oder Umnutzung geführt werden kann. Der Betrachtungszeitraum im Sinne der Investitionskostenrechnung ist unabhängig von der Lebensdauer eines Gebäudes zu betrachten. Mit der Hilfe der Annuität lassen sich üblicherweise die Zahlungen für Darlehen zur Finanzierung des Gebäudes über einen definierten Nutzungszeitraum vergleichen.^{40 41}

2.1.4 Lebenszykluskosten im Sinne des Facility Management (FM)

Für eine Betrachtung der Lebenszykluskosten ist es sinnvoll, verschiedene Ausführungsvarianten auf gleicher Basis miteinander zu vergleichen, um somit ein wirkungsvolles Hilfsmittel im Entscheidungsprozess zu haben. Der GEFMA schlägt die folgenden Kennzahlen vor, um einen Vergleich zwischen verschiedenen Ausführungsvarianten oder Bietern zu betrachten:

- Lebenszykluskosten im engeren oder weiteren Sinne (Kosten / Lz Erfolg / Vermögen)

Lebenszykluskosten im weiteren Sinne (Lebenszyklus-Erfolg) bedeutet, wenn beispielsweise zwei Ausführungsvarianten verglichen werden, jedoch die funktionale Gleichwertigkeit nicht gegeben ist. Es werden dann die Unterschiede monetär berücksichtigt. Lebenszykluskosten im engeren Sinne stellen den umgekehrten Fall dar.

- Verzinsung
- Annuität

⁴⁰ GEFMA: GEFMA Lebenszykluskostenberechnung im FM – GEFMA 220-1. Bonn, (2006).

⁴¹ <http://www.finanzen-lexikon.de/lexikon.htm> (17.01.2008, 11:35 Uhr).

- Amortisationsdauer

Der GEFMA empfiehlt in seiner Richtlinie 220-1 explizit, diese Kennzahlen in den Bezug zu funktionalen Einheiten zu setzen, wie zum Beispiel LzK / m² Mietfläche oder Arbeitsplatz, usw., was ein späteres Benchmarking erleichtert.

2.1.5 Ableitung der Anforderungen für ein Planungswerkzeug

Wichtige Frage ist, welche Schlussfolgerungen lassen sich für eine Simulation der Lebenszykluskosten und Konzeptbewertung der Transportstrategie aus den zuvor beschriebenen Punkten ableiten?

Für das Facility Management ist die Darstellung der Ergebnisse in der Form sinnvoll, dass die Kostenelemente der einzelnen Lebensphasen separat dargestellt werden. Eine Möglichkeit kann die Orientierung an bereits vorhandenen Kostengliederungsstrukturen sein (wie beispielsweise die nationale Richtlinie GEFMA 200), auf die eine Ergebnisausgabe bei Bedarf abgestimmt sein kann.

2.1.5.1 Grundsätzliche Kostengliederungsstruktur der Lzk. von Aufzügen

Hinweis: Der Begriff „Kosten“ wird aus der Sichtweise des Endverbrauchers dargestellt. Aus Perspektive des Anbieters stellen diese „Preise“ dar.

- Kosten der Erstinvestition (Erstellung)

Dies umfasst alle Kosten, die vom Erwerb bis zur Übergabe der Anlage vom Lieferanten an den Auftraggeber auflaufen. Das sind in der Regel Material-, Montage- und Inbetriebnahmekosten sowie gegebenenfalls die notwendigen Abnahmegebühren. In einzelnen Fällen können auch zusätzliche Kosten beinhaltet sein, die beispielsweise aus Planungsleistungen oder Ähnlichem entstehen können.

- Kosten für Wartung und Instandsetzung

Wartungs- und Instandhaltungskosten können entweder getrennt oder zusammengefasst dargestellt werden. Je nach Vertragsmodell stehen Basiswartungen mit minimalen Leistungsumfängen bis hin zu Vollwartungsverträgen zur Auswahl. Instandsetzungsarbeiten können je nach Abstufung der Modelle innerhalb der Wartung abgedeckt sein. Ein Beispiel dafür ist ein Wechsel verschlissener Tragseile eines Aufzuges, dessen Kosten bei einem Vollwartungs-

vertrag meist enthalten sind. Für die Ergebnisdarstellung bei einer Betrachtung der Lebenszykluskosten muss der Umfang des zu Grunde gelegten Wartungsmodells eindeutig ersichtlich sein. Somit muss das zu entwickelnde Planungswerkzeug die Kosten für die Wartung sowie die noch nicht bereits abgedeckten Instandhaltungskosten differenziert darstellen können.

- **Kosten für Energie**

Die Kosten umfassen alle für das Betreiben der Aufzugsanlage benötigten Energieverbraucher. Dies sind Antrieb, Steuerung, Beleuchtungen für Fahrkorb, Schacht und Maschinenraum, sowie der Energieverbrauch von Klimatisierungen aufzugstechnischer Einrichtungen. Energie zum Be- und Entlüften von Aufzugschächten und Maschinenräumen ist sinnvollerweise der Gebäudeklimatisierung zuzuordnen.

- **Kosten für Verwertung**

Zum Lebenszyklus gehört die Verwertung formal in eine Betrachtung hinzu. Jedoch wird es sich in der Anwendungspraxis als sehr schwierig herausstellen, ob nach der Nutzungsphase eine Demontage oder eine Teilmodernisierung erfolgen wird. Die Vorgehensweise sollte daher mit den jeweiligen Entscheidungsträgern diskutiert und die Vereinbarung dokumentiert werden.

2.1.5.2 Kostengliederungsstruktur nach Richtlinie GEFMA 200

Für die Anwendung der zu entwickelnden Methode im Geltungsbereich der nationalen DIN Normungen muss das Planungswerkzeug die Möglichkeit bieten, die einzelnen Kostenelemente der Lebenszyklusphasen entsprechend dieser Normungen den jeweiligen Kostengruppen zuweisen zu können. Die Kostengliederungsstruktur der Richtlinie GEFMA 200 verbindet dabei die bereits etablierten Kostengliederungsstrukturen DIN 276 - Hochbaukosten und DIN 18960 – Nutzungskosten mit den Prozessen des Facility Managements. Die Grundprinzipien dieser FM-Prozesse (Phasen) werden an dieser Stelle zum besseren Verständnis kurz erläutert:

- 0 Phasenübergreifende Leistung
- 1 Konzeptionsphase
- 2 Planungsphase
- 3 Errichtungsphase

- 4 Vermarktungsphase
- 5 Beschaffungsphase
- 6 Betriebs- und Nutzungsphase
- 7 Umbau / Umnutzung und Sanierung / Modernisierung
- 8 Leerstandsphase
- 9 Verwertungsphase

Die DIN Normen unterteilen jeweils die Kosten aus ihrer Phase in 3 hierarchische Ebenen, die sich in ihrem Detaillierungsgrad unterscheiden (siehe dazu 2.2.3.1). Diese werden in der Richtlinie GEFMA 200 aufgegriffen und um die zuvor genannten FM-Phasen erweitert, d. h. die Gliederungsebenen der DIN 276 werden um 4 weitere Ebenen erweitert, die die Prozesse des FM beschreiben. Ein bildhaftes Beispiel erklärt den Aufbau und die Logik der Kostengliederung.

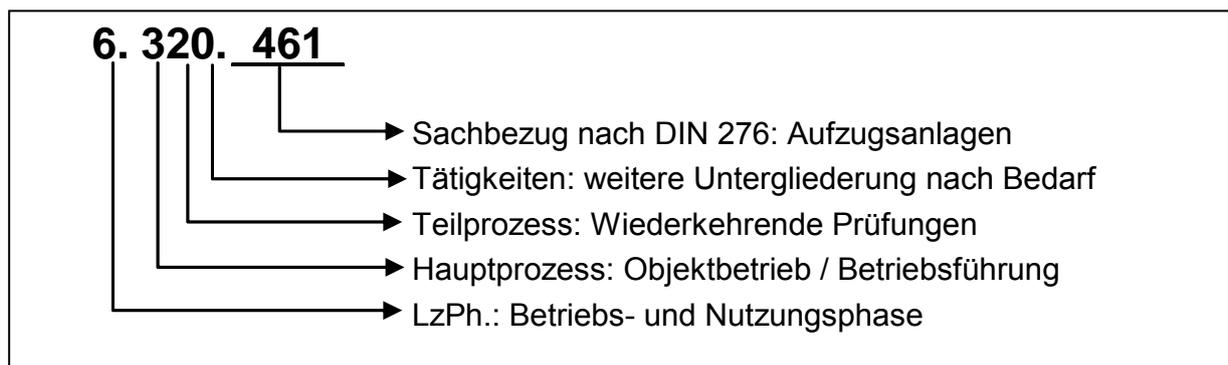


Abb. 2.1.5.2 –A Beispiel der Kostengliederung nach GEFMA 200 (Bildquelle: Eigene Darstellung)

Die GEFMA 200 definiert sehr detailliert die einzelnen Kostenarten innerhalb eines Lebenszyklus, wie z. B. Projektkosten oder Nutzungskosten. Zur Ermittlung der Nutzungskosten lehnt sich die GEFMA 200 an die DIN 18960 an (siehe dazu 2.2.3.2) und unterscheidet dazu die Verfahren Nutzungskostenschätzung, -berechnung, -anschlag und -feststellung. Sie unterscheiden sich nach ihrem Detaillierungsgrad und werden wie in Abbildung 2.1.5.2 -A zu sehen ist, dargestellt. Je nach Planungsfortschritt bzw. Projektstatus ist die Verwendung des entsprechenden Detaillierungsgrades notwendig (siehe dazu Richtlinie GEFMA 200). Das nachfolgende Beispiel unter 2.1.5.2 -B zeigt die Detaillierungsmöglichkeiten, wie Kosten im Facility Management differenziert werden können.⁴²

⁴² Vgl. GEFMA: GEFMA 200 Kosten im Facility Management - Kostengliederungsstruktur zu GEFMA 100.Bonn. (2006).

Zur Ergebnisdarstellung der Simulation der Lebenszykluskosten, wie sie im Kontext dieser Arbeit verstanden wird, kann eine Anlehnung an die Gliederungsstrukturen des FM durchaus sinnvoll sein. Da das Ergebnis die Möglichkeit geben soll, die Kostenblöcke variabel darzustellen, ist die Darstellung der Kosten in der beschriebenen Form bei der Entwicklung der Methode zu prüfen. Der Einfluss des ausgewählten Wartungsmodells (Vollwartung, Teilwartung) muss bei einer Darstellung berücksichtigt werden (siehe 2.4). Besonders wichtig ist eine klare Definition und Abgrenzung der Leistungsumfänge, wenn Verträge zwischen einzelnen Anbietern verglichen werden sollen, damit die Lebenszykluskosten vergleichbar sind.

		DIN 276								
		400 bauwerk - technische Anlagen								
		410	420	430	440	450	460	470	480	
		Abwasser-, Wasser Gasanlagen	Wärmeversorgungsanlagen	Lufttechnische Anlagen	Starkstromanlagen	Fernmelde- und info. Techn. Anlagen	Förderanlagen	Nutzungsspezifische Anlagen	Gebäudeautomation	
GEFMA 100	6.300 Objektbetrieb	6.310 Bedienung von Anlagen + Einrichtungen	€	€	€	€	€	€	€	€
		6.320 Wiederkehr. Prüfungen v. Anl + Einrichtungen	€	€	€	€	€	€	€	€
		6.331 Inspektion von Anlagen + Einrichtungen	€	€	€	€	€	€	€	€
		6.332 Wartung von Anlagen + Einrichtungen	€	€	€	€	€	€	€	€
		6.341 Instandsetzung von anlagen + Einrichtungen	€	€	€	€	€	€	€	€
		6.342 Erneuerung von Anlagen + Einrichtungen	€	€	€	€	€	€	€	€

Abb. 2.1.5.2 –B Beispiel: Integration der DIN 276 mit Prozessnummernschlüssel der GEFMA 200 (Bildquelle: Eigene Darstellung)

2.2 Vorschriften, Richtlinien, Leitfäden und Normen

Im Rahmen der hier beschriebenen Umfeldanalyse, bei der erhoben wurde, was Betreiber- und FM-Unternehmen als Aussage zu Lebenszykluskosten von Aufzügen erwarten, wird deutlich, dass eine Gliederung der Kosten (Kostenverteilung) im Fokus der Aktivitäten steht.

Die Betrachtung der Lebenszykluskosten ist nunmehr auch Bestandteil verschiedener Regelwerke. Nach Artikel 86 des Grundgesetzes ist durch die Bundesregierung eine allgemeine Verwaltungsvorschrift erlassen worden, die eine Beschaffung energieeffizienter Produkte und Dienstleistungen für alle Bundesdienststellen ermöglicht. Ergänzend zur Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen, Teil A (VOB/A) und der Vergabe- und Vertragsordnung für Leistungen, Teil A (VOL/A) wird in der „Leitlinie für die Beschaffung energieeffizienter Produkte und Dienstleistungen“ beschrieben, welche Punkte bei einer Vergabe berücksichtigt werden. Danach erhält der Anbieter den Zuschlag, der unter Berücksichtigung des Anschaffungspreises, den voraussichtlichen Betriebskosten über die Nutzungsdauer sowie den Abschreibungs- und Entsorgungskosten das wirtschaftlichste Angebot aufzeigt. Ziel ist es, einen möglichst großen Spielraum für Anbieter zu schaffen, umweltfreundliche und energieeffiziente Produkte und Dienstleistungen anzubieten, die auch bei höherer Erstinvestition im Vergabeverfahren berücksichtigt werden können. Die Kriterien, nach denen eine Bewertung des Angebotes nach dem Lebenszyklusprinzip durchgeführt werden kann, stehen den jeweiligen Vergabestellen frei, sollten jedoch innerhalb der EU-Schwellenwerte liegen. Daher eignen sich besonders funktionale Leistungsbeschreibungen sowie die Abfrage nach Energieverbrauchen und Betriebskosten während der Nutzungsphase. Das Bundesministerium für Wirtschaft (BMWi) stellt dazu umfassende Informationen auf seiner Homepage zur Verfügung.⁴³

Nachfolgend sind weitere Beispiele zu Richtlinien, Leitfäden und Normen exemplarisch dargestellt, die das Thema der Lebenszyklusbetrachtungen auf unterschiedlichste Art wiedergeben.

2.2.1 Nationale Richtlinien

Der Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau (VDMA) beschreibt im Einheitsblatt VDMA 34160 die Vorgehensweise zur Berechnung der Lebenszykluskosten von Maschinen und Anlagen. Dabei will die Richtlinie ein Gleichgewicht zwischen den unterschiedlichen Interessen von Kunde und Lieferant herstellen. Gleichmaßen kann sie dem Kunden als Ausschreibungshilfe, wie auch dem

⁴³ Nachzulesen unter: <http://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/Gesetz/Entwurf-Aenderung-Beschaffung-energieeffiziente-produkte,property=pdf,bereich=bmwi,sprache=de,rwb=true.pdf> (12.02.2008, 11:32 Uhr).

Hersteller als Referenzgrundlage dienen. Wichtigstes Hauptmerkmal ist die Modellhaftigkeit und die allgemeine Übertragbarkeit auf den jeweiligen Anwendungsfall, wobei die Darstellungsweise der Kosten aus Kundensicht erfolgt (Kosten = Preise des Anbieters). Das Prognose-Modell berücksichtigt keine Methoden der statischen oder dynamischen Investitionskostenrechnung. Ebenfalls werden keine Empfehlungen zu Betrachtungszeiträumen gegeben, lediglich insofern, dass alle relevanten Kostenelemente betrachtet und definiert werden. Grundsätzlich unterscheidet das Modell nach den Kostenblöcken Entstehungs-, Betriebs- und Verwertungsphase, die jeweils mehrfach untergliedert sind.⁴⁴

2.2.2 Nationale Leitfäden

Leitfäden haben im Allgemeinen einen empfehlenden Charakter. Als bedeutendes Werk auf nationaler Ebene sei hier der „Leitfaden nachhaltiges Bauen“ des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen genannt. Dieser empfiehlt Bauherren, Architekten und Fachplanern grundsätzlich den Gebäudeentwurf hinsichtlich langer Lebensdauer und Nachhaltigkeit zu konzipieren. Der Leitfaden ist ein Arbeitshilfsmittel, der Grundsätze und Prüfkriterien bei der Planung öffentlicher Gebäude hinsichtlich einer ganzheitlichen Planungsstrategie beschreibt. Er betrachtet neben planerischen Aspekten (z. B. Ausschreibung, Ökologie, Gesundheit,) auch Empfehlungen zur Wirtschaftlichkeit sowie zur Betriebs- und Nutzungsphase. Nachstehend sind die Kriterien dargestellt, die auf eine Lebenszykluskostenbetrachtung von Aufzügen übertragbar sind.

2.2.2.1 Gebäudelebensdauer und Lebenszykluskosten

Grundsätzlich geht der Leitfaden von einem durchschnittlichen Lebenszyklus (Lebensdauer) eines Gebäudes von 50 – 100 Jahren und für Aufzüge von 25 – 35 Jahren aus. Demzufolge ergeben sich, bezogen auf die Erstellungskosten, relativ hohe Kostenanteile für die Betriebs- und Nutzungsphase. Als probates Mittel, langfristig die Kosten der Nutzungsphase zu reduzieren, ist die allgemeine Empfehlung: ‘So wenig Technik wie möglich, so viel wie nötig’. Ein besonderer Fokus ist dabei auch die Reduzierung von Energiekosten (Reduzierung des CO₂ Ausstoßes) des Gesamtgebäudes bei ggf. Inkaufnahme höherer Baukosten. Durch ein hohes Maß an

⁴⁴ Vgl. VDMA: VDMA 34160 – Prognosemodell für die Lebenszykluskosten von Maschinen und Anlagen. Frankfurt. (2006).

Langlebigkeit bzw. wartungsarmen Betrieb wird durch diesen Planungseitfadenden die Reduzierung der Nutzungskosten angestrebt. Als Maßnahme der Qualitätssicherung zur Reduzierung der Lebenszykluskosten wird empfohlen, einen erfahrenen Berater in die Projektleitung mit einzubeziehen, der die Bereiche Ökologie und Ökonomie vertritt.

2.2.2.2 Empfehlung zur Flächeneffizienz

Zum Raumbedarf gibt der Leitfaden eine allgemeine Empfehlung, die Angemessenheit zu bewahren und eine Überversorgung an Bauvolumen und –fläche zu vermeiden. Für Verwaltungsgebäude werden Volumen- und Flächenverhältnisse wie folgt empfohlen:

- Nutzfläche (NF) / Bruttogrundfläche (BGF) > 0,6
- Hauptnutzfläche (HNF) / Nutzfläche (NF) > 0,8
- Bruttorauminhalt (BRI) / Bruttogrundfläche ~ 3,0

Weitere Empfehlungen gehen hier diesbezüglich nicht hervor.

2.2.2.3 Verfahren zum Variantenvergleich

Als Verfahren zum Vergleichen der Lebenszykluskosten unterschiedlicher Ausführungsvarianten empfiehlt der Leitfaden folgende Punkte zu berücksichtigen (siehe dazu auch 3.4):

- Barwertmethode (Kapitalwertmethode)
- Gegenüberstellung der Annuitäten
- Energie- und Jahresbilanz
- Empfehlung einer Vorzugslösung

2.2.2.4 Kennwerte und Bezugsgrößen

Die Wirtschaftlichkeit der Ausführung wird während der Planungsphase mit der Hilfe von Kennwerten zu Referenzbaumaßnahmen verglichen. Diese Kennwerte aus aktuellen Datensammlungen unterschiedlicher Beratungsstellen werden unter Berücksichtigung der Vergleichbarkeit zum betrachteten Objekt in eine Kostenplanung mit eingebracht. Als einheitliche Bezugsgröße, um Kostenvergleiche durchführen zu können, betrachtet der Leitfaden den Bezug zur Hauptnutzfläche (€/m^2 HNF)⁴⁵.

⁴⁵ Mit der Überarbeitung der DIN 277-1:2005-02 ist der Begriff „Hauptnutzfläche“ entfallen.

Während der Vorplanungsphase kann auch die Bruttogrundfläche herangezogen werden (€/m² BGF).

Als Kennwert verbrauchsbezogener Kosten, wie dem Energieverbrauch eines Gebäudes, orientiert sich der Leitfaden an den Vorgaben des Schweizer Ingenieur- und Architekten – Vereins (SIA) und gibt den Bezug zu Netto- bzw. Bruttogrundfläche (kWh/(m²a) an.⁴⁶

2.2.3 Nationale Normen

2.2.3.1 DIN 276 - Kosten im Hochbau

Die DIN 276 – Kosten im Hochbau beschreibt Kosten im Bauwesen für Neubau, Umbau oder Modernisierungsmaßnahmen. Diese sind projektbezogen und umfassen nicht die Kosten für den Gebäudebetrieb, wie sie beispielsweise in der DIN 18960 – Nutzungskosten im Hochbau - behandelt werden. Bezug nehmend zur Definition des Anforderungsprofils für die Simulationsmethode von Aufzugsanlagen entsprechen die Kosten im Sinne der DIN 276 den Erstellungskosten bzw. der Erstinvestition. Die Norm ist ein Instrument zur Kostenplanung von Bauprojekten mit dem Ziel, systematisch Kostenvorgaben einzuhalten oder Planungsvorgaben nach Qualität und Quantität zu erfüllen.

Grundsätzlich gliedert sie die projektbezogenen Kosten in 3 Ebenen und kennzeichnet die Kostengruppen mit 3-stelligen Ordnungszahlen.

Die 1. Ebene ist in die 7 Hauptgruppen unterteilt und stellt sich wie folgt dar :

- 100 Grundstück
- 200 Herrichten und Erschließen
- 300 Bauwerk – Baukonstruktionen
- 400 Bauwerk – Technische Anlagen
- 500 Außenanlagen
- 600 Ausstattung und Kunstwerke
- 700 Baunebenkosten

Die zweite Ebene unterteilt die Kosten ausführungs- und gewerkeorientiert und wird durch die Zehnerstelle der Ordnungszahl ausgedrückt (Beispiel: 460 Förderanlagen).

⁴⁶ Vgl. Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen: Leitfaden Nachhaltiges Bauen. (2001).

Die 3. Ebene folgt dieser Logik und beschreibt zum Beispiel mit der Ordnungszahl *461 Aufzugsanlagen* oder *462 Fahrtreppen*, usw. Sinn und Zweck dieses Ordnungssystems ist es, Kosten entsprechend zuweisen zu können, um eine Vergleichbarkeit herzustellen, die als Controlling- oder Steuerungsinstrument verwendet werden kann.⁴⁷

Entsprechend der Planungsphasen können die jeweiligen Detaillierungsgrade der Ebenen herangezogen werden, um die Kostenverteilung innerhalb des Projektes transparent und sicher darzustellen. An dieser Stelle sei auf die DIN 276 verwiesen, da der nötige Differenzierungsgrad hier nicht geleistet werden soll.⁴⁸

2.2.3.2 DIN 18960 - Nutzungskosten im Hochbau

Die DIN 18960 ist ein Instrument zur Planung der Nutzungskosten im Hochbau und stellt eine Ergänzung der DIN 276 dar. Sie umfasst alle Kosten, die nach der Objektübergabe durch die Nutzung bis zum Übergang in die Verwertungsphase entstehen. Auch hier steht, wie bei der DIN 276, die Transparenz der Kostenplanung im Vordergrund. Mit der Hilfe qualitativer und quantitativer Bedarfsvorgaben lassen sich bereits während der Planungs-, Vergabe- und Ausführungsphase Unsicherheiten wie auch Risiken, resultierend aus der späteren Nutzung des Gebäudes, minimieren. Die Festlegung dieser Bedarfsvorgaben kann einerseits auf Budgetüberlegungen basieren bzw. als Controlling-Instrument zum Einhalten von Zielgrößen verwendet werden.

Die Kostengliederung der DIN 18960 basiert auf der gleichen Logik wie die der DIN 276. Dreistellige Ordnungszahlen gliedern die Nutzungskosten in 3 Ebenen, wobei die 1. Gliederungsebene wie nachstehend aufgebaut ist:

- 100 Kapitalkosten
- 200 Objektmanagementkosten
- 300 Betriebskosten
- 400 Instandsetzungskosten

Grundsätzlich gibt es unterschiedliche Arten der Nutzungkostenermittlung. Je nach Detaillierungsgrad und Verwendungszweck (Kostenrahmen, Kostenschätzung, Kostenberechnung, usw.) kann auf die unterschiedlichen Ebenen der Kostengliederung zurückgegriffen werden.

⁴⁷ Vgl. Keller, Siegbert: Baukostenplanung für Architekten - Norm- und praxisgerechte Kostenermittlung nach DIN 276. Wiesbaden. (1995).

⁴⁸ Vgl. Normenausschuss Bauwesen: DIN 276 - 1 Kosten im Bauwesen Teil 1: Hochbau. Berlin. (2006).

Die Nutzungskosten für den Betrieb von Aufzugsanlagen können ebenfalls nach der DIN 18960 untergliedert werden. Als Beispiel dafür zeigt das nachfolgende Schema, wie sich die Energiekosten für Aufzugsanlagen nach dem Ordnungsprinzip der Norm darstellen und untergliedern lassen. Weiterführende Informationen zur Verwendung und Handhabung sind der DIN 18960 zu entnehmen.^{49 50}

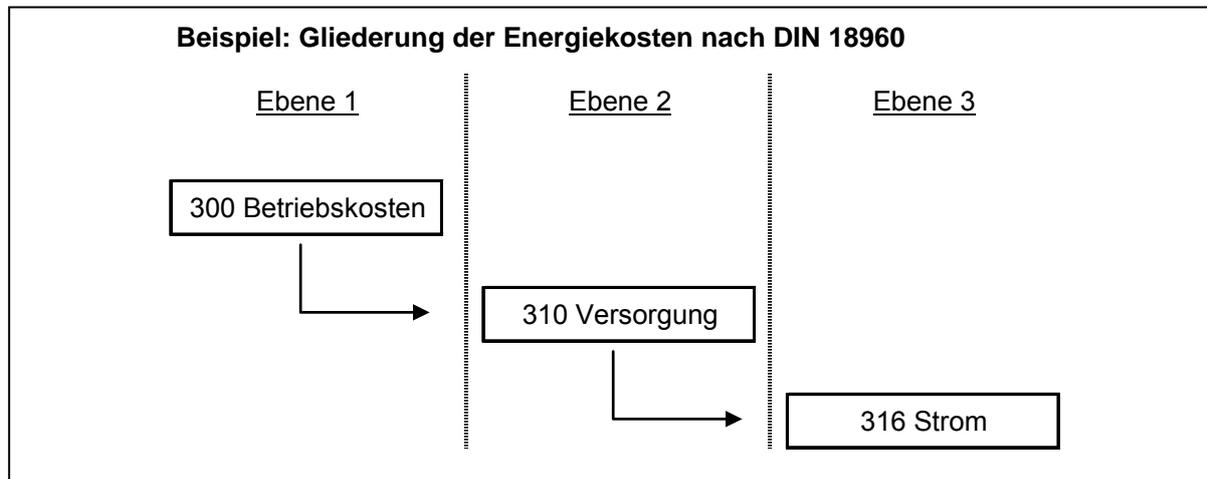


Abb. 2.2.3.2 Beispiel der Gliederung der Energiekosten nach DIN 18960 (Bildquelle: Eigene Darstellung)

2.3 Empfehlungen durch Fachplaner / Aufzugsberater

Fachplaner/Aufzugsberater sind von Herstellerfirmen unabhängige Fachleute für Fördertechnik und beraten Investoren, Architekten, usw. hinsichtlich einer optimalen Einbindung der Aufzüge in ein Gebäudekonzept. Nach einer Recherche, durch welche Faktoren eine Ausgewogenheit zwischen Investitionskosten und Lebenszykluskosten hergestellt werden kann, stellt man eine eindeutige Forderung nach Qualität fest. Jappsen definiert Qualität: „*Qualität ist die Anforderungen des Nutzers optimal zu erfüllen.*“⁵¹ Qualität wirkt sich wesentlich und unmittelbar auf die Lebensdauer und somit auch auf die Nutzungskosten aus. Durch ein hohes Maß an Qualität bleibt eine Aufzugsanlage auch bei hoher Frequentierung lange Zeit in einem guten Zustand. Der Verschleiß der einzelnen Aufzugskomponenten wird minimiert, was darüber hinaus die Zuverlässigkeit, Betriebssicherheit und Verfügbarkeit erhöht. Durch das Definieren technischer Parameter werden in Ausschreibungen

⁴⁹ Vgl. Normenausschuss Bauwesen; DIN 18960 Nutzungskosten im Hochbau. Berlin. (2008).

⁵⁰ Vgl. Naber, Sabine (2002): Planung unter Berücksichtigung der Baunutzungskosten als Aufgabe der Architekten im Feld des Facility Managements. Frankfurt / Main.

⁵¹ Jappsen, Hans: Einfluss der Diagnose auf Lebenszyklus und Qualität von Aufzugsanlagen. Vortrag in Schwelm am 25.07.2003.(2003).

Qualitätslevel beschrieben, um unter anderem auch die Lebenszykluskosten zu reduzieren. Was im Zusammenhang mit Aufzügen unter Qualität im Regelfall verstanden wird und wie man sie messen sowie „greifbar“ machen kann, wird nachfolgend beschrieben.

2.3.1 Begriffsdefinition „Qualität“

Der Begriff Qualität kann nach Oess sehr vielschichtig und auf unterschiedliche Art wahrgenommen werden. Er stellt zwölf wesentliche Merkmale, die Qualität beschreiben, vor:

- Gebrauchstauglichkeit
- Funktionstüchtigkeit oder Leistung
- Ausstattung
- Zuverlässigkeit
- Anforderungserfüllung
- Haltbarkeit
- Servicefreundlichkeit
- Umweltfreundlichkeit
- Sicherheit
- Güte
- Design
- Subjektive Qualität⁵²

Je nach individueller Position und Sichtweise empfindet jeder Qualität auf seine eigene Weise. Aufzugshersteller sehen in Qualität eher produktbezogene Eigenschaften und Merkmale. Architekten sehen die Qualität von Aufzügen unter dem Gesichtspunkt der optischen Erscheinung, Betreiber durch ein hohes Maß an Zuverlässigkeit und Servicefreundlichkeit, Investoren dagegen eher in der Funktionstüchtigkeit und Leistung.

⁵² Vgl. Oess, Attila: Total Quality Management – Die ganzheitliche Qualitätsstrategie. Wiesbaden. (1994).

Bezogen auf die Qualität, wie sie in der Regel von Aufzugsberatern und Fachingenieuren beschrieben und auch im weiteren Verlauf dieser Arbeit verstanden werden soll, kann diese mit den folgenden Merkmalen definiert werden:

- Das optische Erscheinungsbild (Design, Maßhaltigkeit, Spaltmaße,...), die Gestaltung und räumliche Wirkung der Fahrkörbe vermitteln wesentlich den Qualitätseindruck.
- Geringes Geräuschniveau beim Fahren und Öffnen der Türen
- Solide Konstruktion der Türen mit sanftem, ruckfreiem und schnellem Schließvorgang auch bei Unterbrechung (Richtungsumkehr)
- Geringe Querbeschleunigungen für guten Fahrkomfort (allgemein als „Vibrationen“ bezeichnet)
- Angenehmes Beschleunigungs- und Verzögerungsverhalten
- Durchschnittliche Warte- und Zielerreichzeiten innerhalb internationaler Standardwerte, d. h. eine sinnvolle Konfektion der Aufzüge hinsichtlich Anzahl, Kapazität und Geschwindigkeit sowie eine leistungsstarke Steuerung zur optimalen Rufzuweisung / Verteilung
- Hohe Verfügbarkeit durch störungsfreien Betrieb über einen langen Zeitraum
- Hochwertige Sicherheitstechnik, wie Schließkanten- oder Vorraumüberwachung
- usw.⁵³

2.3.2 Technische Merkmale für Qualität

In Ausschreibungen und Spezifikationen werden in der Regel technische Produkteigenschaften beschrieben, um die Güte eines Produktes herstellernerneutral darzustellen. Beispielsweise wird eine hohe Ausführungsqualität von Türen durch die Festlegung technischer Grenzwerte bei Geräuscentwicklung und Schließgeschwindigkeiten sichergestellt. Oder der Fahrkomfort in der Kabine wird durch maximale erlaubte Querbeschleunigungswerte festgelegt. Der Aufzugshersteller ist dann in der Verantwortung, die beschriebenen Produkteigenschaften zu erreichen bzw. innerhalb dieser vertraglich zu Grunde liegenden Grenzen das Produkt zu liefern. Da jeder Aufzugsanlagenhersteller über unterschiedliche Konstruktionsprinzipien seiner

⁵³ Ergebnisse der Umfrage des Autors bei internationalen Fachplanern für Fördertechnik.

Systeme verfügt und somit ein rein technischer Vergleich nicht immer möglich ist, zeigt sich diese Art der Qualitätsbeschreibung als ein sehr wirkungsvolles Instrument. Nachfolgend sind die wichtigsten technischen Merkmale dargestellt, die in Ausschreibungen und Leistungsverzeichnissen von internationalen Fachplanern häufig zu finden sind.⁵⁴

Typische Merkmale in Ausschreibungen, die Qualität sicherstellen sollen		
Qualitätsmerkmal	Technische Eigenschaften	
	Anforderung	Bemerkung
Treibscheibe (D _t) / Rollen zu Seildurchmesser (d _s)	40 - 50 facher Seildurchmesser	Durch große Durchmesser wird die Lebensdauer der Seile erhöht (zu große Treibscheibendurchmesser benötigen allerdings u.U. höheres Drehmoment des Antriebes, d. h. mehr Stromverbrauch)
Härtung der Treibscheibe		Gleichbleibende Güte der Treibfähigkeit wird sichergestellt.
max. Schallpegel	<u>im Fahrkorb</u> max. 50dB(A) Personenaufz. max. 55dB(A) Lastenaufz. <u>im Triebwerksraum</u> max. 70dB(A) <u>bei MRL*</u> max. 50-65 dB <u>1m vor Schachttür</u> max.50-55-dB(A)	Um geringe Schallpegel zu erreichen, sind Aufzugshersteller gezwungen hochwertige Komponenten einzusetzen. (Produktbezeichnungen dürfen oftmals in Ausschreibungen nicht dargestellt werden)
max. Querbeschleunigungen in mg (milli g)	<u>vertikal</u> 2 mg <u>horizontal</u> 15mg	
Rollenführungen von Fahrkorb (FK) und Gegengewicht (GG)	max.Drehzahl 500 U/min (FK) 800 U/min (GG)	Durch die Begrenzung der Drehzahl wird sichergestellt, das zum Einen großdimensionierte Rollen eingesetzt werden (Laufruhe), zum Anderen steigt die Lebensdauer der Führungsrolle
Maßtoleranzen		
Ablenkung	0,3° bei 3000N	
Schlankheitsgrad**	120	
Schachttürkonstruktion	1.200.000 Schließzyklen	

* Maschinenraumloser Aufzug
 ** Verhältnis zwischen max. Schienendurchbiegung und Abstand der Führungsschienenbefestigung

Tab. 2.3.2 Typische technische Merkmale, die von Fachplanern in Ausschreibungen häufig gefordert werden. Basierend auf einer Umfrage des Autors zum Begriff: Qualität im Aufzugsbau. (Eigene Darstellung)

⁵⁴ Umfrage des Autors unter verschiedenen Aufzugsberater in Deutschland, Österreich und der Schweiz. (2008).

2.3.3 Halteverlustzeit

Eine besonders in Deutschland bekannte Methode, Qualitätsmerkmale ohne einen Herstellerbezug zu beschreiben, ist der Vergleich der so genannten Halteverlustzeit. Diese wurde von Jappsen geprägt und beschreibt die Leistungsfähigkeit einer Aufzugsanlage in Bezug auf Förderleistung. Hintergrund ist das Bestreben, durch leistungsfähige Systeme eine Minimierung der benötigten Aufzugsanzahl zu erreichen, was sich gerade bei sehr hohen Gebäuden positiv auf die Flächeneffizienz (Brutto- zu Nettogeschossfläche) auswirken soll. Die Halteverlustzeit ist die Differenz einer Aufzugsfahrt von A nach B, einmal mit Zwischenhalt und einer Fahrt von A nach B ohne Zwischenhalt inklusive einer „Tür offen Zeit“ von 2 Sekunden. Nach Jappsen lassen sich durch die Verwendung hochwertiger und gut aufeinander abgestimmter Komponenten Zeitunterschiede zwischen beiden gemessenen Fahrten von nur 8,5 – 10 Sekunden, sprich „Halteverlustzeiten“ erreichen. Vorteil dieser Methode ist die einfache Handhabung bei Abnahmen, um die Leistungsfähigkeit des Systems einer installierten Anlage mit den Anforderungen aus der Ausschreibung zu überprüfen.⁵⁵

2.4 Wartung und Wartungsverträge

2.4.1 Rechtliche Grundlagen

Aufzüge zählen im Sinne des Gerätesicherheitsgesetzes § 2 Abs. 2a zu den überwachungsbedürftigen Anlagen. Grundsätzlich unterscheidet die Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV) Aufzugsanlagen in folgende Untergruppen:

- A – Aufzüge im Sinne des Artikels 1 der Richtlinie 95/16/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 29.Juni 1995 zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedsstaaten über Aufzüge (ABI.EG Nr. L 213 S.1)
- B – Maschinen im Sinne des Anhangs IV Buchstabe A Nr. 16 der Richtlinie 98/37/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 22.Juni 1998 zur Angleichung der Rechts- und Verwaltungsvorschriften der Mitgliedsstaaten für Maschinen (ABI.EG Nr. L 207 S.1)

⁵⁵ Jappsen, Hans M.: Aufzugsanlagen. In: Eisele, Johann; Kloft, Ellen; Hochhaus Atlas. München. S. 236 (2002).

- C – Personen – Umlaufaufzüge
- D – Bauaufzüge mit Personenbeförderung
- E – Mühlen - Bremsfahrstühle

Der Betreiber einer solchen Anlage ist nach der Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV) dazu verpflichtet, die Anlage in ordnungsgemäßem Zustand zu halten sowie Wartungs- und Instandsetzungsarbeiten durchzuführen. Somit obliegt dem Betreiber die Verantwortung, diesen Zustand sicherzustellen. Die Qualifikation des beauftragten Wartungs- und Instandsetzungsunternehmens, das mit der Wahrnehmung dieser Pflichten vom Betreiber beauftragt ist, muss entsprechend den Bestimmungen und Voraussetzungen zertifiziert und zugelassen sein. Detaillierte Informationen zu den Qualitätsanforderungen an Serviceunternehmen und den Pflichten des Aufzugsbetreibers sind in der DIN EN 13015 beschrieben, die den Status einer Deutschen Norm hat. Über die Pflichten der ordnungsgemäßen Wartung und Instandhaltung hinaus müssen überwachungsbedürftige Anlagen nach § 15 BetrSichV einer regelmäßigen Prüfung unterzogen werden. Unter der Anwendung fest vorgeschriebener Prüfregeln wird der ordnungsgemäße Zustand der Anlage durch eine zugelassene Überwachungsstelle überprüft. Aufzugsanlagen nach Buchstabe A, C, D, und E, wie zuvor beschrieben, müssen spätestens nach 2 Jahren überprüft werden. Die Einhaltung dieser Prüffristen ist ebenfalls durch den Betreiber sicherzustellen und zu verantworten.

2.4.2 Wartungsmodelle

Wie zuvor beschrieben ist der Betreiber einer Aufzugsanlage nach der BetrSichV dazu verpflichtet, den sicheren Betrieb zu jeder Zeit zu gewährleisten. Durch die Beauftragung eines zugelassenen Serviceunternehmens mit einer regelmäßigen Wartung, kommt er diesen Forderung nach. Die Kriterien, wie die Häufigkeit und das Intervall einer Wartung bestimmt werden sollten, werden in der europäischen Norm EN 13015 beschrieben. Sie gibt zur Ermittlung folgende, grundlegende Empfehlungen:

- Anzahl der Fahrten pro Jahr, Betriebszeit und Stillstandszeit
- Alter und Zustand der Anlage
- Ort und Art des Gebäudes (Bedürfnisse und Nutzungsanforderungen)

- Umgebungsbedingungen (klimatische Randbedingungen)⁵⁶

Durch die Anbindung an ein Fernüberwachungssystem kann die benötigte Anzahl der Wartungseingriffe individuell nach der Nutzung erfolgen (Mehr zu dieser Wartungsform siehe 2.4.2.4).

In Anlehnung an diese Empfehlungen und unter Berücksichtigung der individuellen Produkteigenschaften des Aufzuges/Aufzugsystems werden die Wartungsintervalle festgelegt.

Die derzeitig auf dem Markt angebotenen Wartungsmodelle basieren in der Regel auf dem Baustein- oder Modulprinzip. Die Aufbau-, Struktur- und Leistungsumfänge variieren dabei von Anbieter zu Anbieter. Eine gewisse Übereinstimmung in den Grundzügen der verschiedenen Angebote lässt sich dennoch ableiten und vereinfacht wie unter Abbildung 2.4.2 darstellen.

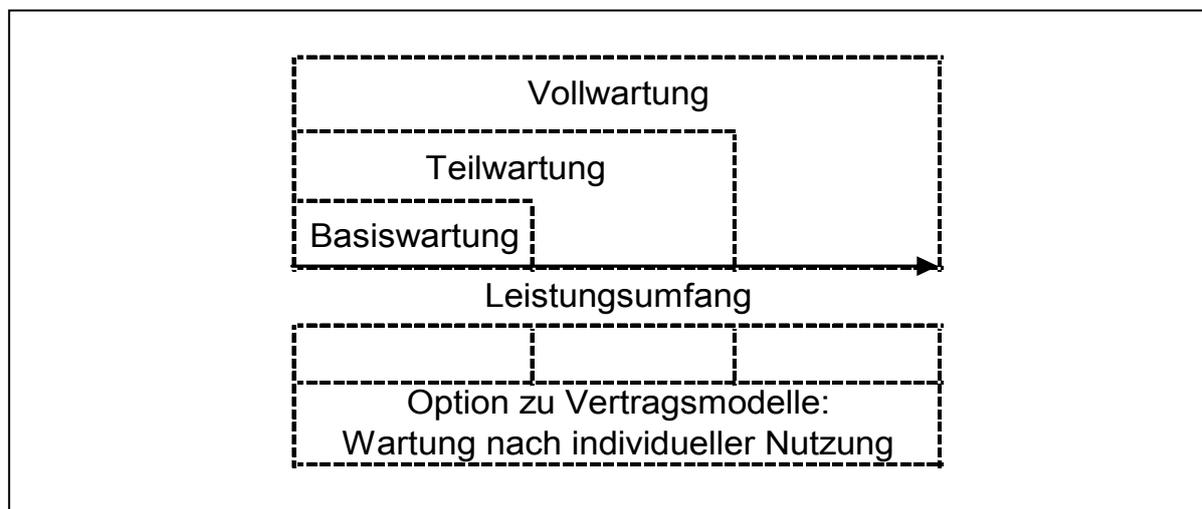


Abb. 2.4.2 Schematischer Aufbau üblicher Wartungsmodelle (Bildquelle: Eigene Darstellung)

2.4.2.1 Basiswartung nach DIN EN - 13015

Die EN 13015 definiert und regelt die Instandhaltung von Aufzügen und Fahrtreppen, um während der gesamten Nutzungsdauer des Aufzuges den sicheren Betrieb nach Abschluss der Montagearbeiten zu gewährleisten.

Die Instandsetzung im Sinne der EN 13015 beinhaltet die folgenden Tätigkeiten (vereinfacht dargestellt) um die Funktion ohne Beeinträchtigung der Sicherheit aufrecht zu erhalten:

- Schmieren und Reinigen (nicht Fahrkorbinneres)

⁵⁶ Vgl. DIN: DIN EN 13015: Instandhaltung von Aufzügen und Fahrtreppen – Regeln für Instandhaltungsanweisungen. Berlin.

- Kontrollen
- Personenbefreiung
- Einstell- und Nachstellarbeiten
- Abnutzung- oder verschleißbedingte Reparaturarbeiten sowie Austausch von Komponenten, die nicht die Eigenschaften der Anlage verändern.

Der Austausch von Hauptkomponenten wie Antrieb, Fahrkorb, Steuerung, Seile, usw. beziehungsweise die Modernisierungen einzelner Komponenten zählen nicht zu Instandsetzungsarbeiten im Sinne dieser Norm.⁵⁷ Je nach Anbieter beinhalten diese Wartungsmodelle die grundlegenden Forderungen der EN 13015 und ergänzen die Leistungsumfänge entsprechend zuvor genannter Modellstruktur. Instandsetzungsarbeiten, die nicht Inhalt dieses Paketes sind, werden dann separat vergütet.

2.4.2.2 Teilwartungsverträge

Teilwartungsverträge haben den Charakter, dass sie verschiedene Instandsetzungsarbeiten und Leistungen zusätzlich zu denen des Basisangebotes ergänzen. Typische Leistungen sind beispielsweise die Bereitstellungen von Wartungspersonal und der Prüfmittel (Gewichte) während den technischen Intervallprüfungen (TÜV). Auch hier variiert das Angebot sehr individuell unter den verschiedenen Serviceanbietern. Eine gesonderte Vergütung für all diejenigen Leistungen, die außerhalb des Leistungsumfanges liegen, erfolgt ebenfalls bei diesen Vertragsmodellen.

2.4.2.3 Vollwartungsverträge

Eine sehr komfortable Vertragsvariante, aus Sicht des Betreibers, ist der so genannte Vollwartungsvertrag. Dieser umfasst in der Regel alle Reparaturen, Instandhaltungs- und Servicedienstleistungen, die während der Vertragsdauer anfallen. Somit werden alle anfallenden Kosten über einen Pauschalpreis abgedeckt (abhängig von der Vertragsgestaltung, ausgenommen Vandalismus-Schäden). Die Vorteile für den Betreiber sind zum einen Kostensicherheit, zum anderen die Gewährleistung einer gleichbleibend hohen Qualität des Sicherheitszustandes sowie einer hohen Verfügbarkeit der Anlage.

⁵⁷ Vgl. DIN: DIN EN 13015: Instandhaltung von Aufzügen und Fahrtreppen – Regeln für Instandhaltungsanweisungen. Berlin.

2.4.2.4 Fernüberwachung und Bedarfswartung

Eine Alternative zu den zuvor genannten Wartungsmodellen sind Modelle, bei denen die Wartung nach dem jeweiligen Bedarf, also dem tatsächlichen Gebrauch, angepasst wird. In der Regel ist die Aufzugsanlage dann an ein Fernüberwachungssystem angeschlossen, welches jederzeit den Betriebszustand des Aufzugs erfasst und via Netzverbindung (zum Beispiel Telefonnetz/Internet) an das Wartungsunternehmen sendet. Somit kann die Wartung gezielt erfolgen und das Wartungsintervall der tatsächlichen Nutzung angepasst werden.

2.5 **Umgang mit Mängelansprüchen**

Grundsätzlich stellt sich bei Lebenszyklusbetrachtungen die Frage nach dem Umgang an Mängelansprüchen bei Nicht-Erfüllung der zuvor prognostizierten Lebensdauererwartung einzelner Bauteile und Komponenten. In Deutschland wird beispielsweise die Dauer der Ansprüche für ein mangelfreies Produkt im bürgerlichen Gesetzbuch (BGB) § 631 ff. Werkvertragsrecht bzw. in der Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistung (VOB) Teil B geregelt. Innerhalb der genannten Fristen haftet der Auftragnehmer, also der Aufzugslieferant, für ein mangelfreies Produkt.^{58 59} Lebenszyklusbetrachtungen werden unter Berücksichtigung unterschiedlichster Annahmen, Gegebenheiten und Voraussetzungen erstellt und sind daher immer theoretischer Natur. Die Lebensdauererwartung einzelner Bauteile kann daher extrem variieren. Es empfiehlt sich, bei Prognosen zum Lebenszyklus diese Problematik zu berücksichtigen und einen Haftungsausschluss zu kommunizieren.

2.6 **Lebenszykluskosten und Lebenszyklusqualität**

Lebenszykluskosten, wie sie unter 2.1.5.1 beschrieben sind, werden durch unterschiedlichste Faktoren beeinflusst. Die Grundlagen werden bereits mit der Auswahl und technischen Ausprägung der Anlage gelegt, denn nicht jeder Aufzug ist für bestimmte Anforderungen geeignet. Eine aus Kostendruck ungeeignete bzw. unterdimensionierte Anlage kann daher unweigerlich zu erhöhten Kosten während der Nutzungsphase führen. CIBSE gibt für qualitativ hochwertige Anlagen eine durch-

⁵⁸ <http://www.gesetze-im-internet.de/bgb>, Bundesministerium der Justiz, (29.05.08, 16:18 Uhr).

⁵⁹ DIN: DIN 1961 VOB Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen Teil B Allgemeine Vertragsbedingungen für die Ausführung von Bauleistungen. Berlin. (2006).

schnittliche Lebensdauer von 20 - 25 Jahren für Seilauzüge und 15 Jahren für Hydraulikauzüge an, unter Berücksichtigung eines bestimmungsgemäßen Betriebs sowie einer entsprechenden Wartungsqualität.⁶⁰ Selbst sehr hoch frequentierte Aufzüge können noch nach vielen Jahren Betrieb sehr gute Fahreigenschaften mit geringer Geräuschentwicklung und niedrigen Querschleunigungen aufzeigen. So genannte „Low-Budget“ Aufzugssysteme dagegen sind unter Umständen nach 10 Jahren Betrieb nicht mehr wirtschaftlich zu modernisieren. Die Wartung der Aufzugsanlage beeinflusst also direkt das Verschleißverhalten einzelner Komponenten. Eine gut gewartete Anlage kann bei regelmäßiger Wartung über sehr lange Zeit hohen Fahrkomfort bieten, eine Reduzierung der Wartungskosten hat dagegen häufig eine Verkürzung der zur Verfügung stehenden Zeit für das Wartungspersonal zur Folge. D. h. nicht nur die Aufzugsqualität, sondern auch die Güte und Häufigkeit der Wartung beeinflusst auf direktem Weg die Lebenszyklusqualität. Sehr deutlich wird der Einfluss am Beispiel der Pflege von Tragseilen. Diese müssen in empfohlenen Abständen mit entsprechenden Ölen behandelt werden, um ein übermäßiges Verschleiß durch einander reibende Litzen zu verhindern. Bleibt diese empfohlene Regelmäßigkeit aus, kann dies die Lebensdauer der Seile reduzieren, wenngleich die Mindestanforderungen bezogen auf die Wartungspflicht erfüllt wurden.

Lebenszykluskosten werden während der Nutzungsphase zusätzlich über den Energiebedarf beeinflusst. Diese setzen sich aus dem Energiebedarf für die Antriebseinheiten sowie für Steuerung, Bedien- und Anzeigeelemente und Fahrkorbbeleuchtungen und Klimatisierung zusammen. Beleuchtung der Fahrschächte Klimatisierung/Belüftung von Schacht oder Maschinenräumen sollten aus Gründen der Vergleichbarkeit nicht berücksichtigt werden, da Schnittstellen klar getrennt und Kostenpositionen meist nicht eindeutig abgegrenzt werden können. Dolde beschreibt drei Bereiche (Handlungsfelder), den Energieverbrauch und damit verbunden die Betriebskosten zu senken:

- Verwendung energiesparender Technologien mit hohen Wirkungsgraden und extrem geringen Verlustleistungen. (Beispiel: frequenzgesteuerte Permanentmagnetmotoren mit Energierückspeisung, LED Beleuchtung usw.)
- Reduzierung des „Standby“ Verbrauchs (automatische Abschaltung der Fahrkorbbeleuchtung bei Nichtgebrauch)

⁶⁰ Vgl. CIBSE: CIBSE Guide D – Transportations Systems in Buildings. (2005).

- Überprüfung der Einstellungen und Funktionen des Aufzuges, um eine optimale Wirkleistung zu erzielen.⁶¹

⁶¹ Vgl. Dolde, Walter: Möglichkeiten zur Reduzierung des Energiebedarfs von Aufzügen. Vortrag Heilbronner Aufzugstage 2008 Technische Akademie Heilbronn e.V. (2008).

3 Verfahren der Lebenszykluskostenrechnung

3.1 Ausgangssituation

Methoden und Verfahren zur Untersuchung der Lebenszyklusbetrachtungen von Aufzügen mit einem ganzheitlichen Ansatz liegen derzeit nicht vor. Die Aufzugsindustrie hat die gesellschaftliche Forderung nach Angaben zu Lebenszykluskosten bislang nicht aufgegriffen. Kontrovers zu dieser Entwicklung wirken sich derzeit der hohe Preisdruck und die sinkenden Marktpreise im Geschäftsbereich für Neuanlagen negativ auf Produktqualitäten aus, was sich schlussendlich auch negativ auf Lebenszyklen der Einzelkomponenten und somit auf höhere Kosten durch einen erhöhten Wartungs- und Instandsetzungsaufwand niederschlägt. An dieser Stelle findet die Forschungsarbeit ebenfalls ihren Ansatz, Investitionskosten und Benutzungskosten transparent gegenüber zu stellen und Perspektiven und Chancen für zukünftige Transportlösungen hinsichtlich einer lebenszykluskostenorientierten Planung zu geben.

Die derzeit angewandten Methoden und Verfahren zur Lebenszykluskostenrechnung lassen sich grundsätzlich nach ihren unterschiedlichen Ansätzen in die folgenden Kategorien einteilen:

- Ansätze zur Bestimmung aller Kostenelemente innerhalb des Lebenszyklus: Das Einheitsblatt 34160 *Prognosemodell für Lebenszykluskosten von Maschinen und Anlagen* des VDMA definiert beispielsweise alle zu berücksichtigenden Kostenelemente und gliedert diese sehr detailliert auf.
- Ansätze zur Bestimmung von einzelnen Kostenelementen (Teilbereich) innerhalb einer Lebenszykluskostenbetrachtung. Beispiel hierzu ist die im März 2009 veröffentlichte VDI Richtlinie 4707 / 1, die ein einheitliches Verfahren zur Bestimmung und Bewertung der Energieeffizienz sowie des jährlichen Energiebedarfs von Aufzügen ermöglicht.⁶²
- Bestimmung der Lebenszykluskosten mit Hilfe der allgemeinen finanzmathematischen Methoden der Investitionsrechnungen. Beispielsweise beziehen sich die *VDI 2067 Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen (Annuitäten Methode)* wie auch die Richtlinie 220-1 *Lebenszykluskosten-*

⁶² Vgl. VDI: VDI 4707 /1, Aufzüge – Energieeffizienz. Düsseldorf. (2009).

rechnung im Facility Management des GEFMA auf diese Verfahren und beschreiben deren fachlich richtige Anwendung.^{63 64}

Alle oben genannten Verfahren und Methoden sind allgemein anwendbar und beziehen sich jeweils auf ihre ursprüngliche Zielsetzung. Sie gehen dabei nicht auf den tatsächlichen Gebrauch oder die Art der Nutzung ein. Einflüsse, wie die Intensität der Beanspruchung oder auch die klimatischen Verhältnisse gehen in eine solche Betrachtung nicht ein.

Ganzheitliches Betrachten bedeutet darüber hinaus, auch bauliche Maßnahmen in eine Kostenbilanz aufzunehmen. Durch leistungsfähige Aufzugssysteme, wie beispielsweise den TWIN[®] von ThyssenKrupp, bei dem zwei Aufzüge in einem Schacht unabhängig von einander fahren können, lassen sich Einsparungen in der Schachtgrundfläche durch Reduzierung der Schachttanzahl bewirken. Somit verbessert sich das Brutto-/Netto Flächenverhältnis und die Rentabilität der Immobilie steigt. Aufzugssysteme mit eigenem Antrieb direkt an der Kabine haben sich indes in der Vergangenheit nicht durchsetzen können.

Nachfolgend wird ein Überblick der allgemein üblichen Berechnungsmodelle und Methoden, wie sie zuvor erwähnt wurden, gegeben.

3.2 Kostenelemente des Lebenszyklus durch Prognosemodelle

Die Kostenelemente, die in einer Lebenszykluskostenberechnung von Maschinen und Anlagen berücksichtigt werden, können mit dem Prognose-Modell des VDMA Einheitsblattes 34160 definiert werden. Dabei beschränkt sich das Blatt auf die maschinenbauspezifischen Elemente, die mit den Entstehungskosten beginnen und über die Betriebskosten mit den Verwertungskosten, also dem Verkauf bzw. der Entsorgung enden. Weitere Prozesse und kostenrelevante Phasen, die vor- oder nachgelagert im Betrachtungszeitraum auftreten, werden in der Regel nicht betrachtet. Diese drei Phasen bzw. Kostenblöcke sind in dieser Richtlinie in weitere Detaillierungsebenen untergliedert und hierarchisch strukturiert. Innerhalb der Betriebsphase wird nach den Aspekten „Material“, „Produkt“, „Nutzung“ sowie „Erhalt der Funktion“ unterschieden. Alle denkbaren Kosten sind in dieser Struktur definiert und durch einen Index codiert, wodurch eine eindeutige Zuordnung der Kosten

⁶³ Vgl. VDI: VDI 2067/1, Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen – Grundlagen und Kostenrechnung. Düsseldorf. (2000).

⁶⁴ Vgl. GEFMA: GEFMA 220-1 – Lebenszykluskostenrechnung im FM. (2006).

innerhalb des Modells möglich ist. In der Praxis wird dieses Modell in Ausschreibungen verwendet, in der ein Hersteller Preisangaben machen muss. Hierbei kann zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer auch vereinbart werden, dass nur einzelne Positionen herausgenommen werden oder ggf. Teilleistungen auch durch Dritte erbracht werden. Grundvoraussetzung zur Anwendung des VDMA Einheitsblattes ist eine eindeutige Definition eines Lastkollektives sowie die Verwendung einheitlicher Daten, wie nachfolgend beschrieben:

- Betrachtungszeitraum
- Betriebsstunden pro Zeiteinheit
- Qualitätsgrad
- Produktionsleistung
- Vorgänge pro Zeiteinheit

Die Ermittlung der Lebenszykluskosten erfolgt im Anschluss durch Aufsummierung aller Kostenelemente. Dynamische Preissteigerungseffekte sowie Kosten für Kapital und Finanzierungen werden in diesen Modellen nicht berücksichtigt. Auf Grund der Vielzahl der unterschiedlichen finanzmathematischen Methoden sind diese unter 3.4 näher aufgeführt.⁶⁵

Ähnliche Ansätze der Strukturierung nach Phasen, wie das Prognose-Modell des VDMA, findet man auch in der Richtlinie *VDI 2884 Beschaffung, Betrieb und Instandhaltung von Produktionsmitteln unter Anwendung von Life Cycle Costing (LCC)*. Darüber hinaus gibt die Richtlinie weitere Empfehlungen zur Festlegung von Instandsetzungsstrategien innerhalb der Betriebskostenphase und Bewertung von Ausführungsalternativen.⁶⁶

3.3 Verfahren zur Bestimmung einzelner Kostenelemente

Während in der Regel die Investitionskosten (Entstehungskosten) durch die Angebotspreise der Bieter bzw. des Auftragnehmer definiert werden, bedarf es einheitlicher Regeln, die Kosten der Nutzungsphase zu ermitteln, um eine Vergleichbarkeit herzustellen. Zur Bestimmung der Nutzungskosten stehen derzeit nur vereinzelt

⁶⁵ Vgl. VDMA: VDMA 34160 – Prognosemodell für die Lebenszykluskosten von Maschinen und Anlagen. Frankfurt. (2006).

⁶⁶ Vgl. VDI: VDI 2884, Beschaffung, Betrieb und Instandhaltung von Produktionsmitteln unter Anwendung von Life Cycle Costing. Düsseldorf. (2005).

standardisierte Methoden und Verfahren zur Verfügung, die für diese Lebenszyklusphasen von Aufzugsanlagen anwendbar und übertragbar sind. Zwar lassen sich die einzelnen Kostenelemente für Aufzugsanlagen nach den zuvor beschriebenen Kostenblöcken / Lebenszyklusphasen des VDMA Einheitsblattes 34160 zuweisen, jedoch kann hier kein einheitliches Lastprofil zugrunde gelegt werden, wie es beispielsweise für Lüftungstechnische Anlagen (siehe VDI 2067) zur Verfügung steht. Grund dafür ist die Vielzahl an stark variierenden Faktoren, die kein standardisiertes, vereinfachtes Lastkollektiv zulassen. Beispielsweise beeinflusst die Gebäudenutzung durch unterschiedliches Verkehrsaufkommen (Fahrbedarf), den Bedarf an Wartungs-, Instandsetzungs- und Energiekosten. D. h. die ständig wechselnden Lastverhältnisse stehen in Abhängigkeit zu Beladungszuständen, Position der Fördereinheit (Fahrkorb) im Schacht, Geschwindigkeit und Fahrtrichtung.

Der Verein Deutscher Ingenieure (VDI) hat mit der Richtlinie VDI 4707/1 Energieeffizienz von Aufzugsanlagen ein Instrument veröffentlicht, welches es ermöglicht, den Energiebedarf annäherungsweise und stark vereinfacht zu ermitteln und dadurch die Aufzugsanlagen in Energieeffizienzklassen kategorisieren zu können. Somit deckt die VDI 4707/ 1 einen Teil der Kostenelemente innerhalb der Lebenszyklusphase „Nutzung / Betrieb“ ab. Im weiteren Verlauf wird die VDI 4707/1 näher beschrieben, da der Betrachtung der Energiekosten nach heutigem Ermessen eine neue, zentrale Bedeutung zukommt. Eine detaillierte Beschreibung dieser Richtlinie dient zudem dem besseren Verständnis sowie der späteren Differenzierung. Inhalte der Richtlinie, die im vorliegenden Zusammenhang nicht relevant sind, werden nicht beschrieben.

3.3.1 VDI 4707 – Energieeffizienz von Aufzügen

Auf Grund der großen Anzahl an Aufzügen mit weltweit ca. 500.000 Neuinstallationen jährlich sowie einem Bestand von ca. 8,5 Millionen Aufzügen wirken sich Reduzierungen des Energieverbrauchs sehr deutlich aus. Eine Reduzierung um 25% würde jährlich eine Energieeinsparung von 5 Terra/Wattstunden bedeuten, was einer Leistung von 3.800 Windkraftanlagen entsprechen würde. Zwar nehmen Aufzüge mit ca. 3 – 8 % nur einen geringen Teil der Energiekosten des Gebäudes ein, dennoch steht die Betrachtung der Energiekosten, gerade im Zusammenhang mit

Lebenszykluskostenbetrachtungen, aus den oben genannten Gründen im öffentlichen Interesse.⁶⁷

Die VDI 4707 ermittelt den Energiebedarf eines Aufzuges anhand des

- Fahrbedarf und des
- Stillstandsbedarfs

Beide Kennwerte werden zunächst getrennt voneinander betrachtet, wobei der Fahrtbedarf über eine so genannte „Referenzfahrt“ ermittelt wird. Diese Referenzfahrt besteht aus einer Fahrbewegung mit leerem Fahrkorb über die gesamte Förderhöhe in Aufwärts- und Abwärtsrichtung inklusiver zweier Türbewegungen. Somit gilt zur Ermittlung des Energiebedarfs Fahren folgende Gleichung:

$$E_{\text{fahren}} = \text{spezifischer Energiebedarf}_{\text{Referenz}} / \text{zurückgelegte Strecke} * \text{Tragfähigkeit} \quad (1)$$

Ein abweichender Energieverbrauch während der Beschleunigungs- und Verzögerungsphasen wird nicht berücksichtigt. Anhand des ermittelten Energiebedarfs und der Gleichung (1) erfolgt eine Klassifizierung für den Fahrbedarf.

Spez. Energieverbrauch in mWh / (kg × m)	≤ 0,56	≤ 0,84	≤ 1,26	≤ 1,89	≤ 2,80	≤ 4,20	> 4,20
Klasse	A	B	C	D	E	F	G

Abb. 3.3 – A Energiebedarfsklassen für Fahrbedarf nach VDI 4707 (Bildquelle: T. Maas))

Der Stillstandsbedarf (oder auch Standby-Bedarf) berücksichtigt alle elektrischen Komponenten, die während der Betriebsbereitschaft aktiv sind. Die Messung erfolgt 5 Minuten nach Beendigung der letzten Fahrt und wird in Watt (W) angegeben, wodurch ebenfalls eine Klassifizierung in 7 Kategorien (A – G) möglich ist.

⁶⁷ Vgl. Thumm, Gerhard: Energie-Effizienz von Aufzugssystemen – Vergleich auf der Grundlage der VDI 4707. In: Lift Report / 35. Jahrgang. Heft 1 / 2009. Dortmund.

Leistung in W	≤ 50	≤ 100	≤ 200	≤ 400	≤ 800	≤ 1600	> 1600
Klasse	A	B	C	D	E	F	G

Abb. 3.3 – B Energiebedarfsklassen für Stillstandsbedarf nach VDI 4707 (Bildquelle: T. Maas)

3.3.2 Nutzungskategorien der VDI 4707

In einem nächsten Schritt definiert die VDI 4707 / 1 so genannte Nutzungskategorien. Hierbei wird die Gebäudenutzung in 5 verschiedene Kategorien eingeteilt, um die unterschiedliche Nutzungsintensität und die somit verbundenen zeitlichen Anteile für Stillstand und Fahrbetrieb klassifizieren zu können. Ziel der Vorgehensweise ist es, den Energieverbrauch aus Stillstand und Fahren mit der Gebäudenutzung in Beziehung zu setzen. Beispielsweise entfallen für Bürogebäude durchschnittlich 40% des Stromverbrauchs auf die Standby-Zeit, während bei Wohngebäuden auf Grund der geringen Fahrtenzahl dieser Anteil auf bis zu 70% ansteigen kann. Die nachstehende Tabelle zeigt die 5 Nutzungsklassen der VDI 4707 / 1.

Nutzungskategorie	1	2	3	4	5
Nutzungsintensität/häufigkeit	sehr gering sehr selten	gering selten	mittel gelegentlich	stark häufig	sehr stark sehr häufig
Durchschnittliche Fahrtzeit In h pro Tag	0,2 (≤ 0,3)	0,5 (> 0,3 – 1)	1,5 (> 1 – 2)	3 (> 2 – 4,5)	6 (< 4,5)
Durchschnittliche Stillstandszeit In h pro Tag	23,8	23,5	22,5	21	18
Typische Gebäude- und Verwendungsarten	- Wohnhaus mit bis zu 6 Wohnungen - kleines Büro- und Verwaltungsgebäude mit wenig Betrieb	- Wohnhaus mit bis zu 20 Wohnungen - kleines Büro- und Verwaltungsgebäude mit bis 5 Geschossen - kleine Hotels - Lastenaufzug mit wenig Betrieb	- Wohnhaus mit bis zu 50 Wohnungen - kleines Büro- und Verwaltungsgebäude mit bis 10 Geschossen - mittlere Hotels - Lastenaufzug mit mittlerem Betrieb	- Wohnhaus mit mehr als 50 Wohnungen - hohes Büro- und Verwaltungsgebäude mit bis 10 Geschossen - großes Hotel - kleines bis mittleres Krankenhaus - Lastenaufzug in Produktionsprozess bei einer Schicht	- Büro- und Verwaltungsgebäude über 100m Höhe - großes Krankenhaus - Lastenaufzug in Produktionsprozess bei einer Schicht

Abb. 3.3 – C Nutzungskategorien nach VDI 4707 / 1 (Bildquelle Eigene Darstellung)

Die Ermittlung der Grenzwerte des spezifischen Gesamtenergiebedarfs erfolgt durch folgende Gleichung:

$$E_{\text{Aufzug, spez, max}} = E_{\text{Fahren, spez, max}} + \frac{P_{\text{Stills tan d, max}} * t_{\text{Stills tan d}} * 1000}{Q * V_{\text{Nenn}} * t_{\text{Fahren}} * 3600} \quad (2)$$

Dabei ist:

$E_{\text{Aufzug, spez}}$ spezifischer Energiebedarf d. Aufzugs in mWh/(kg*m)

$E_{\text{Fahren, spez}}$ spezifischer Fahrtbedarf in mWh/(kg*m)

$P_{\text{Stillstand}}$ Stillstandsbedarf in W

$t_{\text{Stillstand}}$ Stillstandszeit in h pro Tag

t_{fahren} Fahrzeit in h pro Tag

V_{Nenn} Nenngeschwindigkeit in m/s

Q Nennlast in kg

Das nachfolgende Beispiel eines Aufzuges mit $Q = 1.000$ kg und $V = 1,0$ m/s repräsentiert die Grenzwerte für eine Zuordnung der Effizienzklassen in Abhängigkeit zur Nutzungskategorie.

Energieeffizienzklasse	Spezifischer Energieverbrauch des Aufzugs in mWh / (kg · m)				
	Nutzungskategorie				
	1	2	3	4	5
A	≤ 2,21	≤ 1,21	≤ 0,77	≤ 0,66	≤ 0,60
B	≤ 4,15	≤ 2,15	≤ 1,26	≤ 1,03	≤ 0,92
C	≤ 7,87	≤ 3,87	≤ 2,09	≤ 1,65	≤ 1,43
D	≤ 15,11	≤ 7,11	≤ 3,56	≤ 2,67	≤ 2,22
E	≤ 29,24	≤ 13,24	≤ 6,13	≤ 4,36	≤ 3,47
F	≤ 57,09	≤ 25,09	≤ 10,87	≤ 7,31	≤ 5,53
G	> 57,09	> 25,09	> 10,87	> 7,31	> 5,53

Abb. 3.3 – D Beispiel Nutzungskategorien nach VDI 4707 (Bildquelle: T. Maas)

3.3.3 Berechnung des Nenn-Jahresenergiebedarf nach VDI 4707

Der Jahresenergiebedarf des Aufzuges erfolgt überschlägig durch Hochrechnung der Bedarfswerte für Stillstand und Fahren entsprechend der zeitlichen Anteile der jeweiligen Nutzungskategorie. Hierzu gilt folgender Ansatz:

Energiebedarf pro Jahr (E_{Jahr}):

$$E_{\text{Jahr}} = E_{\text{Tag}} * N \quad (3)$$

Dabei ist:

N = Anzahl Betriebstage pro Jahr

$$E_{\text{Tag}} = E_{\text{Stillstand}} + E_{\text{Fahren}}$$

$$E_{\text{Stillstand}} = P_{\text{Stillstand}} * t_{\text{Stillstand}}$$

$$E_{\text{Fahren}} = E_{\text{Fahren, spez}} * S_{\text{Nenn}} * Q$$

Q = Nennlast des Aufzuges in kg

$P_{\text{Stillstand}}$ = Stillstandsbedarf in Watt (W)

$E_{\text{Fahren, spez}}$ = Spezifischer Fahrbedarf in mWh/(kg m)

t_{Fahren} = Fahrzeit in Stunden pro Tag

$$S_{\text{Nenn}} = V_{\text{Nenn}} * t_{\text{Fahren}}$$

3.3.4 Anmerkungen zur VDI 4707

Auf Grund der offensichtlichen Vereinfachungen, auf denen diese Richtlinie basiert, ist eine Ermittlung des tatsächlichen, jährlichen Energiebedarfs nur annäherungsweise und überschlägig möglich. Ebenfalls ist zu beachten, dass innerhalb der Klassifizierungen von A – G die relativ groben Abstufungen dieses Modells deutliche Interpretationsspielräume zulassen.^{68 69}

⁶⁸ Vgl. VDI: VDI 4707 /1, Aufzüge – Energieeffizienz. Düsseldorf. (2009).

⁶⁹ Vgl. Maas, Tobias: Diplomarbeit - Der grüne Planungsleitfaden von ThyssenKrupp Aufzüge. (2009).

3.4 Investitionsrechnung

3.4.1 Begriffsdefinition „Investition“

„Eine Investition ist eine Umwandlung von Zahlungsmitteln in andere Vermögenswerte materieller oder immaterieller Art. Hierbei kann es sich um so unterschiedliche Vermögenswerte wie Maschinen (Anlageinvestitionen), Rohstoffe (Lagerinvestitionen), Wertpapiere (Finanzinvestitionen) etc. handeln“.⁷⁰ Diese Definition beschreibt den vermögensorientierten Investitionsbegriff, wobei heute stattdessen der zahlungsorientierte Investitionsbegriff verwendet wird. Darunter wird eine Investition als Zahlungsstrom mit anfänglichen Auszahlungen und späteren Einzahlungen verstanden.

3.4.2 Anmerkungen zum Thema

Die Berechnung der Lebenszykluskosten einer Immobilie erstreckt sich, wie bereits erläutert, über die Phasen der Erstinvestition, der Nutzung und der Verwertung. Investitionsentscheidungen erfolgen in der Regel nach ihrer zeitlichen Abfolge in einer sehr frühen Projektphase, wobei bereits hier die wesentlichen Grundzüge der zukünftigen Nutzungskosten gelegt werden. Die Berechnung der Lebenszykluskosten ist daher ein Instrument, um die Vorteilhaftigkeit einer höheren Investition mit niedrigeren Folgekosten (Nutzungskosten) zu Ausführungsvarianten mit geringeren Investitionskosten überprüfen zu können. Wesentlich für die Ermittlung der Kosten ist der Zeitpunkt, zu dem diese anfallen. Somit ist das Einbeziehen der Zeitwerte des Geldes sowie die Fälligkeit der Zahlungen wichtiger Bestandteil der Berechnung, da sich die Nutzungszeiträume von Immobilienprojekten in der Regel über mehrere Jahrzehnte erstrecken. Auf Grund dieser langen Zeiträume entstehen somit nicht unerhebliche Prognoseunsicherheiten bezogen auf absolute Ergebnisse. Eine Aussagekraft der berechneten Ergebnisse ist jedoch für ein internes Ranking der verglichenen Ausführungsvarianten (relativer Vergleich) gegeben.⁷¹

⁷⁰ Dörsam, Peter: Grundlagen der Investitionsrechnung – anschaulich dargestellt, 5. Aufl. (2007).

⁷¹ Vgl. GEFMA: Lebenszykluskostenberechnung im FM – GEFMA 220-1. Bonn. (2006).

3.4.3 Überblick der Verfahren und ihre Einordnung

Der Investitionsrechnung steht eine Vielzahl an finanzmathematischen Verfahren zur Verfügung, mit der monetäre Bewertungen sowie Kosten-Nutzen Untersuchungen durchgeführt werden können. Grundsätzlich unterscheiden sich diese Methoden in statische und dynamische Verfahren. Statische Verfahren werden heute in aller Regel nicht verwendet, da Zinseszinsseffekte unberücksichtigt bleiben. Insbesondere führen bei diesen Verfahren lange Betrachtungszeiträume sowie Zahlungsströme in ungleicher Höhe zu stark verfälschten Ergebnissen. Daher konzentrieren sich alle weiteren Darstellungen auf die Verfahren der dynamischen Investitionsrechnung mit einem Fokus auf den Anwendungen in der Praxis. Hierbei soll ein Überblick der Verfahren sowie eine Zuordnung gegeben werden, wobei die wesentlichen Unterschiede herausgestellt werden. Auf tiefgreifende Erläuterungen wird in diesem Zusammenhang verzichtet und auf die einschlägige Fachliteratur verwiesen.^{72 73}

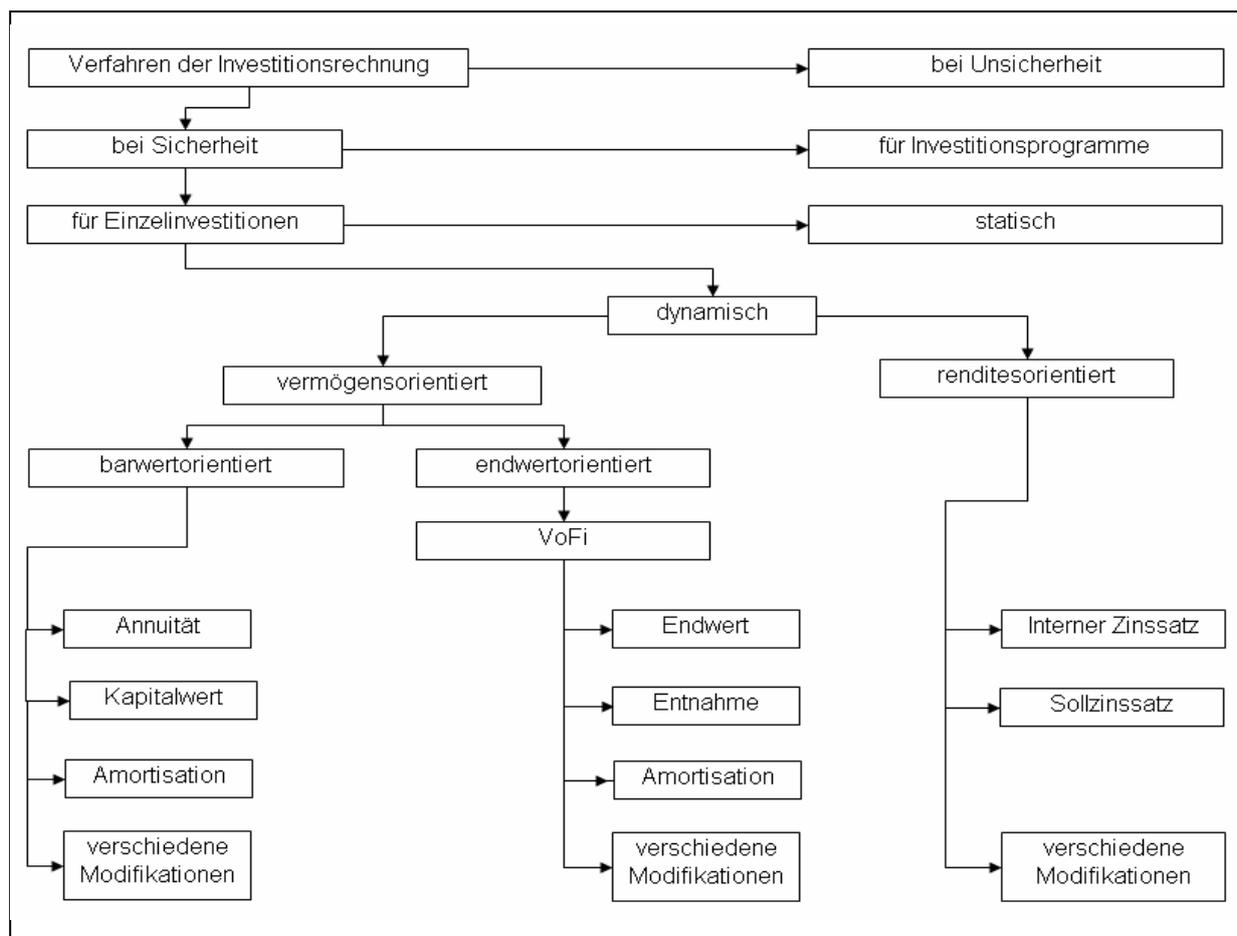


Abb.3.4.3 Struktur Investitionsrechnungsverfahren⁷³ (Bildquelle: Eigene Darstellung)

⁷² Vgl. Dörsam, Peter: Grundlagen der Investitionsrechnung – anschaulich dargestellt, 5. Aufl. (2007).

⁷³ Vgl. Riegel, Wolfgang: Dissertation / Einsoftwaregestütztes Berechnungsverfahren zur Prognose und Beurteilung der Nutzungskosten von Bürogebäuden. (2004).

3.4.4 Dynamische Methoden

Dynamische Methoden und Verfahren der Investitionsrechnung lassen sich in vermögensorientierte und renditeorientierte Verfahren unterteilen. Der Unterschied besteht im Wesentlichen in der unterschiedlichen Zielsetzung, welches Beurteilungskriterium als Ergebnis angestrebt werden soll. Hierbei stellt das vermögensorientierte Verfahren die Möglichkeiten der Investition dar, wobei rentabilitätsorientierte Verfahren auf den benötigten Zinssatz eingehen. Vermögensorientierte Verfahren lassen sich wiederum in barwert- und endwertorientierte Verfahren unterteilen. Barwertorientierung bedeutet, dass alle Zahlungsströme auf den Beginn der Betrachtung abgezinst werden, wobei der Betrachtungszeitpunkt bei Endwertorientierung das zeitliche Ende darstellt, bei dem eine Aufzinsung zu diesem Zeitpunkt erfolgt.⁷⁴

Alle Verfahren bieten Möglichkeiten, absolute Zahlenwerte, Verzinsungen oder Zeiträume bis zur Amortisation zu beschreiben. Dem Kalkulationszinssatz kommt dabei eine gewichtige Bedeutung zu, was gerade im Bezug auf Lebenszykluskostenbetrachtungen zu berücksichtigen ist. Eine Erhöhung des Zinssatzes bewirkt, dass Zahlungen in der Summe der Lebenszykluskosten an Gewichtung verlieren und die Zinseffekte überwiegen.⁷⁵

3.4.4.1 Kapitalwertmethode

Zu den dynamischen Investitionsrechnungsverfahren zählt die so genannte Kapitalwertmethode, die sehr häufig im Rahmen von Lebenszykluskostenberechnungen angewendet wird. Bei dieser Methode werden alle Ein- und Auszahlungen, die mit der Investition verbunden sind und in der Zukunft liegen, auf den Startzeitpunkt (t_0) umgerechnet. Der Kapitalwert ist demnach die Summe aller Barwerte, die durch entsprechende Abzinsung der Zahlungen während des Betrachtungszeitraums entstehen. Die Anschaffungsausgabe, also die Erstinvestition, wird dabei nicht abgezinst, da diese bereits zum Startzeitpunkt getätigt wurde. Der Kapitalwert wird über folgenden Ansatz ermittelt.

$$C_0 = -a_0 + \sum_{t=1}^n \frac{1}{(1+i)^t} * d_t \quad (4)$$

⁷⁴ Vgl. Riegel, Wolfgang: Dissertation / Ein softwaregestütztes Berechnungsverfahren zur Prognose und Beurteilung der Nutzungskosten von Bürogebäuden. (2004).

⁷⁵ Vgl. GEFMA: Lebenszykluskostenberechnung im FM – GEFMA 220-1. Bonn. (2006).

Dabei ist:

C = Kapitalwert

I = Investitionskosten

a = Anschaffungsausgabe

i = Kalkulationszinssatz in Dezimalform

d = Differenz der Zahlungen

n = Anzahl der Jahre der Betrachtung

Der ermittelte Kapitalwert stellt in gewisser Weise einen Vergleich einer Investition dar, mit der eine Anlage am Kapitalmarkt verzinst werden könnte. Ist dieser Wert > 0 , ist eine Investition positiv zu bewerten, da die Einnahmen überwiegen würden. Dementsprechend würde ein Kapitalwert von $= 0$ keinen „Gewinn“ oder „Verlust“, ein Wert < 0 einen „Verlust“ bedeuten. Die Kapitalwertmethode geht bei dieser Bewertung von der Annahme aus, dass Soll- und Habenzinssatz (vollständiger Kapitalmarkt) die gleiche Höhe haben, was durchaus zu Fehlinterpretationen führen kann. Vorteil der Kapitalwertmethode ist die einfache Anwendbarkeit, um die Vorteilhaftigkeit einer Investition zu prüfen.

3.4.4.2 Annuitätsmethode

Basierend auf der Kapitalwertmethode ist die Annuitätsmethode ein weiteres Verfahren der dynamischen Investitionsrechnung. Bei diesem Verfahren wird der Kapitalwert der Investition mittels des Kapitalwiedergewinnungsfaktors auf die jeweilige Nutzungsdauer umgerechnet und man erhält die Gewinnannuität der Investition. Die Annuität ist der jährliche Betrag, den die Investition verglichen mit der Kapitalanlage mit dem zugrunde gelegten Kalkulationszinssatz erwirtschaftet. Das bedeutet, dass ein positiver Betrag eine Vorteilhaftigkeit darstellt, wie bereits bei der Kapitalwertmethode beschrieben wurde. Ebenfalls kann die Betrachtungsweise der Annuitäten kostenseitig erfolgen. Beim Vergleich der Kostenannuitäten zweier Varianten ist die Anlage mit der niedrigsten Annuität vorteilhaft, da sie die höchste Gewinnannuität aufweist. Zur Berechnung der Annuität werden die Barwerte aller Zahlungen ermittelt und mit dem Kapitalwiedergewinnungsfaktor multipliziert, daher gilt folgender Ansatz:

$$A = C_0 * \frac{(1+i)^{-n} * i}{(1+i)^{-n} - i} \quad (5)$$

Dabei ist:

C = Kapitalwert

A = Annuität

i = Kalkulationszinssatz in Dezimalform

n = Anzahl der Jahre der Betrachtung

Der Erkenntnisgewinn der Annuitätsmethode entspricht der Kapitalwertmethode, jedoch können durch die Betrachtung der jährlichen Beträge Objekte mit unterschiedlichen Nutzungsdauern direkt miteinander verglichen werden. Dabei fließen die zeitlichen Unterschiede nicht in die Annuität mit ein. Die *VDI Richtlinie 2067 Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen – Grundlagen und Kostenrechnung* sowie *GEFMA 220-1 Lebenszykluskostenrechnung im FM* empfehlen daher die Anwendung der Annuitätsmethode, um eine Vergleichbarkeit in der Bewertung herzustellen zu können.^{76 77 78}

3.4.4.3 Amortisationsmethode (dynamisch)

Mit der Amortisationsmethode kann die Dauer ermittelt werden, nach der sich eine Investition amortisiert und die Investition durch das investierte Kapital wieder erwirtschaftet wurde. Vernachlässigt man bei der Betrachtung die Zinseffekte, spricht man von der statischen Amortisationsrechnung, wobei hier lediglich die dynamische Amortisationsmethode erläutert wird. Im Sinne einer Risikominimierung ist die Investition vorteilhaft, welche die kürzeste Amortisationsdauer aufzeigt. Somit ist die Amortisationsdauer ein Kriterium, um das Verlustrisiko bewerten zu können.^{79 80}

Zur Berechnung des Amortisationszeitpunktes gilt folgender Ansatz:

$$\sum_{t=0}^{t_a} (E_t - A_t) * (1 + i)^{-1} = 0 \quad (6)$$

Dabei ist:

t_a = Amortisationszeitpunkt

⁷⁶ Vgl. GEFMA: Lebenszykluskostenberechnung im FM – GEFMA 220-1. Bonn. (2006).

⁷⁷ Vgl. VDI: VDI 6025, Betriebswirtschaftliche Berechnungen für Investitionsgüter und Anlagen, Düsseldorf. (2005).

⁷⁸ Vgl. VDI: VDI 2067/1, Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen – Grundlagen und Kostenrechnung. Düsseldorf. (2000).

⁷⁹ Vgl. Dörsam, Peter: Grundlagen der Investitionsrechnung – anschaulich dargestellt, 5. Aufl. (2007).

⁸⁰ Vgl. Riegel, Wolfgang: Dissertation / Einsoftwaregestütztes Berechnungsverfahren zur Prognose und Beurteilung der Nutzungskosten von Bürogebäuden. (2004).

E_t = Einzahlungen pro Periode

A_t = Auszahlungen pro Periode

i = Kalkulationszinssatz in Dezimalform

t = Laufindex der Perioden

3.4.4.4 Vollständiger Finanzplan (VoFi)

Der *Vollständige Finanzplan*, oder auch die *moderne Methode*, ist eine Erweiterung der Kapitalwertmethode. Im Gegensatz zu den zuvor beschriebenen Methoden ist die Betrachtungsweise auf das Endvermögen ausgerichtet. Alle Ein- und Auszahlungen werden in einem Finanzplan dargestellt und einzeln betrachtet. Durch eine differenzierte Betrachtung von Eigen- und Fremdkapital lassen sich somit Finanzierungsszenarien darstellen sowie individuelle Verzinsungen (Soll- und Habenzins) und Tilgungsverläufe in die Berechnung einbeziehen. Das ermittelte Endvermögen wird einer möglichen Entwicklung des Eigenkapitals als Finanzanlage auf dem Kapitalmarkt gegenübergestellt. Dabei ist diese Variante als vorteilhaft zu bezeichnen, bei der das zu erzielende Endvermögen am höchsten ist. Ebenfalls kann zur Überprüfung der Vorteilhaftigkeit die Eigenrentabilität in Form des Zinssatzes ermittelt werden, mit der das Eigenkapital am Finanzmarkt anzulegen wäre, um das gleiche Endvermögen zu erzielen. Hierfür gilt folgender Ansatz:^{81 82}

$$r_{VoFi} = \sqrt[T]{\frac{K_T}{EK_0}} - 1 \quad (7)$$

Dabei ist:

r_{VoFi} = Eigenkapitalrentabilität

K_T = Kapital zum Zeitpunkt T (Endwert)

EK_0 = Eigenkapital zum Zeitpunkt 0

3.4.4.5 Zinsfußmethoden

Die interne wie auch die *modifizierten Zinsfußmethode* sind die allgemein üblichen Zinsfußmethoden der Investitionsrechnungsverfahren. Ziel ist es hierbei, den Zinssatz zu ermitteln, mit dem der Kapitalwert einer Investition gerade 0 ist. Die Be-

⁸¹ Vgl. GEFMA: Lebenszykluskostenberechnung im FM – GEFMA 220-1. Bonn. (2006).

⁸² Vgl. Riegel, Wolfgang: Dissertation / Einsoftwaregestütztes Berechnungsverfahren zur Prognose und Beurteilung der Nutzungskosten von Bürogebäuden. (2004).

rechnung erfolgt durch die Verwendung der Gleichung der Kapitalwertmethode (4), wobei diese auf den Zinssatz aufgelöst und der Kapitalwert „gleich Null“ gesetzt wird. Verglichen zu den bisher vorgestellten Methoden kann somit die Unsicherheit umgangen werden, den Kalkulationszinssatz falsch anzusetzen, der bei allen dynamischen Methoden einen gewichtigen Faktor darstellt.

Zur Berechnung gilt folgender Ansatz:

$$0 = -a_0 + \sum_{t=1}^n \frac{1}{(1+r)^t} * d_t \quad (8)$$

Dabei ist:

C = Kapitalwert

I = Investitionskosten

a = Anschaffungsausgabe

r = Zinssatz in Dezimalform

d = Differenz der Zahlungen

n = Anzahl der Jahre der Betrachtung

Das Ergebnis der Berechnung ist der interne Zinsfuß, also die Rendite. Die wirtschaftlichste Lösung ist demnach die Variante mit dem höchsten internen Zinsfuß. Werden mehr als zwei Laufzeitperioden betrachtet, wird der Zinsfuß über Näherungsverfahren ermittelt. Geeignete Methoden sind die *lineare Interpolation* oder das *Newton-Verfahren*, wobei hier auf die entsprechende Literatur verwiesen wird.^{83 84}

⁸³ Vgl. Dörsam, Peter: Grundlagen der Investitionsrechnung – anschaulich dargestellt, 5. Aufl. (2007).

⁸⁴ Vgl. VDI: VDI 6025, Betriebswirtschaftliche Berechnungen für Investitionsgüter und Anlagen, Düsseldorf. (2005).

4 Planung von Erschließungskonzepten

4.1 Methoden und Verfahren der Verkehrsberechnung

Verkehrsberechnungsmethoden dienen zum Dimensionieren und Planen von Aufzugsanlagen und Erschließungskonzepten für den Personentransport. Hierzu gibt es derzeit keine internationalen Normen oder Richtlinien, welche diese Methoden regeln. In den internationalen Normen ISO 4190 Teil 1 und Teil 2 finden sich keine Hinweise über Methoden zur Planung der vertikalen Erschließung. Internationale Richtlinien, wie beispielsweise die britische Organisation BCO (British Council for Offices), gehen in Ansätzen in den Richtlinien: „Best Practice for Offices“ und „Code of Practice for selection and installation“ auf Methoden zur Verkehrsplanung ein. Weitreichendere Empfehlungen zu Verkehrsberechnungsmethoden geben George Strakosch im "Handbuch Vertikaltransport" sowie Gina Barney in "The Elevator Traffic Handbook".^{85 86 87 88}

Als international anerkannt gilt die Betrachtung von Verkehrsspitzen während des Tagesbetriebs, wonach die Anzahl der Aufzüge bemessen wird. In einem Bürogebäude wird z. B. häufig der morgendliche Füllbetrieb betrachtet, bei dem die Passagiere über die Haupthaltestellen den Aufzug betreten und in Aufwärtsrichtung fahren. Die Aufzugsanlagen gelten als ausreichend dimensioniert, wenn diese Verkehrssituationen in einer angemessenen Zeit bewältigt werden können. Die Betrachtung des morgendlichen Füllverkehrs ist in Bürogebäuden jedoch nicht immer ausreichend, häufig bedeuten andere Verkehrssituationen eine höhere Belastung für das Aufzugssystem. Dies können Mittagspausen, Konferenzen oder auch Verkehrsspitzen während des abendlichen Entleerens des Gebäudes sein.

⁸⁵ Vgl. International Standard: ISO 4190 Teil 1 & 2 – Lift installation. Genf. (2001).

⁸⁶ Vgl. British Council for Office: Best Practice for Office in the Secification for Offices. London. (2009).

⁸⁷ Vgl. British Council for Office: Practice for selection and installation. London. (2009).

⁸⁸ Vgl. Barney, Dr. Gina: Elevator Traffic Handbook Theory and Practice. (2003).

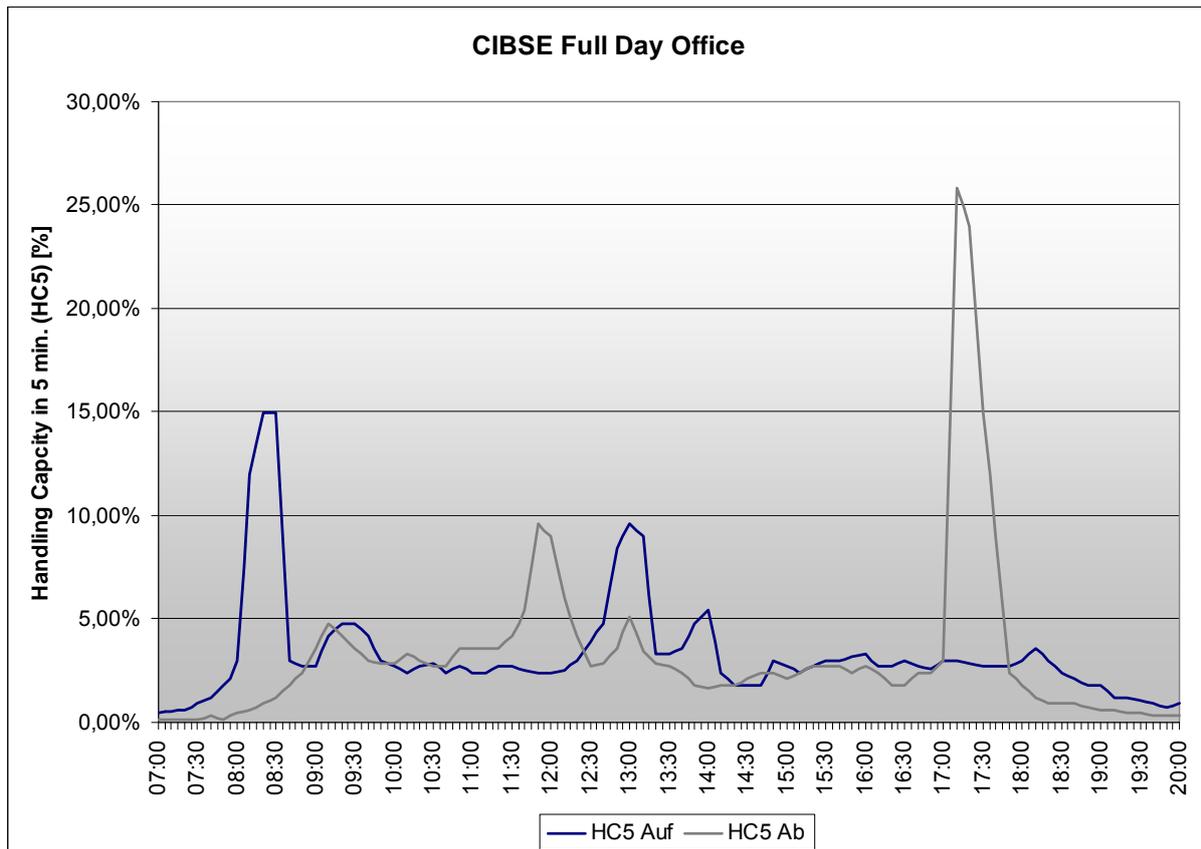


Abb. 4.1 Typisches Verkehrsstrom in Bürogebäuden nach CIBSE (Bildquelle: Eigene Darstellung)

Unabhängig von der Gebäudenutzung kann der in einem Gebäude auftretende Personenverkehr in die folgenden Verkehrsarten unterteilt werden.

- Aufwärtsverkehr
- Abwärtsverkehr
- Zwischengeschossverkehr

Die Abbildung 4.1– A zeigt ein typisches Tagesprofil eines Bürogebäudes mit den Verkehrsspitzen des morgendlichen Füllverkehrs, der Mittagspause sowie der Entleerung des Gebäudes.

Zur Bestimmung der Aufzugsanzahl wird diejenige Verkehrsspitze herangezogen, an der die Dimensionierung erfolgen soll, was je nach Gebäudenutzung und Priorität unterschiedlich sein kann. An dieser Stelle wird auf die zuvor genannte Fachliteratur verwiesen, die diese Themen eingehend betrachtet.^{89 90 91}

⁸⁹ Vgl. Barney, Dr. Gina: Elevator Traffic Handbook Theory and Practice. (2003).

⁹⁰ Vgl. Strakosch, George. R: The Vertical Transportation Handbook. (1998).

⁹¹ Vgl. CIBSE: CIBSE Guide D – Transportations Systems in Buildings. Norwich. (2005).

In der Vergangenheit wurde die Verkehrsberechnung mit Hilfe der so genannten *Umlaufkalkulationen* durchgeführt, bei der mit Hilfe der Wahrscheinlichkeitsrechnung ein theoretischer Umlauf eines Aufzuges ermittelt wurde (Umlauf: Zeitspanne zwischen Start und Ankunft einer Aufzugskabine in derselben Haltestelle). Da diese Methode heute nur noch sehr selten verwendet wird und auch im Rahmen dieser Arbeit nicht von Bedeutung ist, wird auf weitere Ausführungen verzichtet und auf die zuvor erwähnte Literatur verwiesen.^{92 93 94}

4.1.1 Verkehrsberechnung durch Simulationen

Bei der Verwendung von Simulationsmethoden wird ein detailliertes Abbild einer realen Gebäudesituation in einer Computersoftware abgebildet. Hierzu werden von Planern, Fachplanern sowie Aufzugsherstellern speziell für diese Anwendung entwickelte Softwareprodukte verwendet, wie beispielsweise die Software *ELEVATE* von *Peters Research Ltd.*, die eine Markt führende Position darstellt. Nach der Eingabe von Haltestellenanzahl, Geschossabständen, Personenanzahl pro Geschoss sowie den technischen Merkmalen der zu überprüfenden Aufzugsanlage können verschiedene Szenarien des Verkehrsflusses „simuliert“ werden. Ein Zufallsgenerator erzeugt dabei nach einem definierten Muster virtuelle Fahrt- und Zielwünsche, die unter der Berücksichtigung von Annahmen, wie beispielsweise der Be- und Entlade-Geschwindigkeit, abgearbeitet werden. Dabei erfolgt eine Rufzuweisung nach den in der Software abgelegten Algorithmen einer realen Aufzugssteuerung.

Die Simulation bildet somit den gesamten Prozess (Ereignisse) der Passagiere, von

- der Rufabgabe in der Haltestelle (Rufabgabe: Fahrgast betätigt Ruftaster des Aufzuges) über
- die Zuweisung einer Kabine durch die Steuerung
- dem Be- und Entladevorgang der Kabine (Ein- und Aussteigen)
- die Fahrten zu den Zielhaltestellen bis zum
- Ankommen in den Zielhaltestellen

⁹² Vgl. CIBSE: CIBSE Guide D – Transportations Systems in Buildings. Norwich. (2005).

⁹³ Vgl. Barney, Dr. Gina: Elevator Traffic Handbook Theory and Practice. (2003).

⁹⁴ Vgl. Strakosch, George.R: The Vertical Transportation Handbook. (1998).

ab. Dabei betrachtet die Simulation diesen Prozess für jeden einzelnen Passagier, was in der nachfolgenden Abbildung verdeutlicht wird.

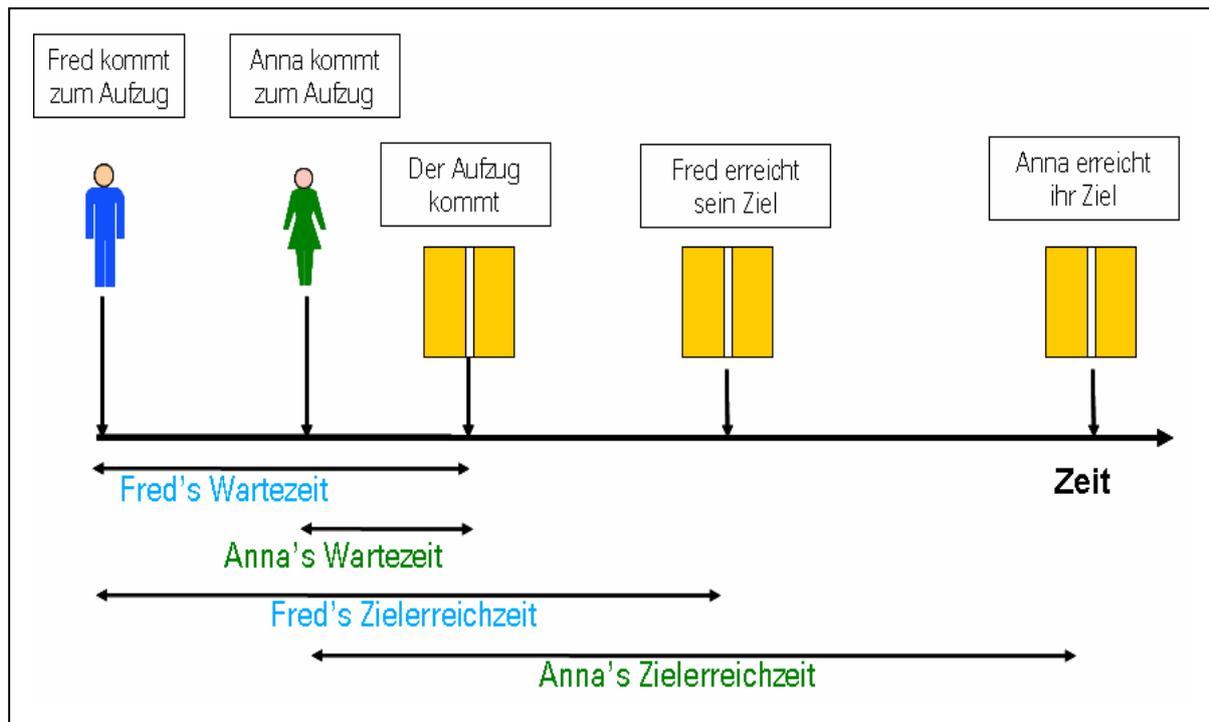


Abb. 4.1.1 Schaubild über die Abläufe innerhalb einer Simulation (Bildquelle: Peters Research)

Nach der Durchführung der Simulation steht eine Vielzahl an Ergebnissen zur Verfügung, die eine weitere Interpretation und Beurteilung zulassen. Die wesentlichen Kriterien, die zur Bewertung der Förderleistung genutzt werden können, sind nachfolgend dargestellt.⁹⁵

4.1.2 Kriterien zur Bewertung von Simulationsergebnissen

Zur Bewertung der Förderleistung einer Aufzugsanlage wird im Wesentlichen die durchschnittliche Wartezeit, Fahrzeit und Zielerreichzeit für die Passagiere zu den jeweiligen Verkehrsspitzenzeiten betrachtet. Zur eindeutigen Differenzierung der Begriffe sind diese auf der Basis des CIBSE Guide D nachfolgend definiert.

⁹⁵ Vgl. CIBSE: CIBSE Guide D – Transportations Systems in Buildings. Norwich. (2005).

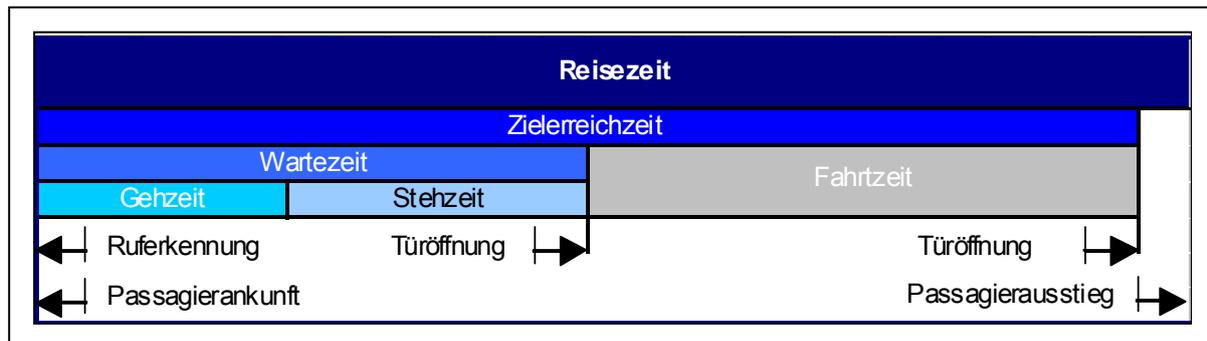


Abb. 4.1.2 Definition der Begriffe nach CIBSE (Bildquelle: Eigene Darstellung)

Die *Durchschnittliche Wartezeit (DWZ)* ist definiert als die Zeit, die ein Fahrgast wartet nachdem der Etagenruf registriert wurde (oder sich an einer Warteschlange anstellt, wenn der Ruf bereits registriert wurde) bis sich die Türen vom antwortenden Aufzug anfangen zu öffnen. Die *Durchschnittliche Fahrtzeit (DFZ)* ist die Zeit, wenn der antwortende Aufzug anfängt, die Türen zu öffnen bis zu dem Zeitpunkt, an dem die Türen am Fahrgastziel wieder geöffnet werden. Die *durchschnittliche Zielerreichzeit (DZZ)* ist die Summe aus Wartezeit und Fahrtzeit.

Als Maß für die Förderleistung gilt dabei die so genannte *Handling Capacity in five minutes HC₅*. Sie beschreibt den Anteil an Personen (in %) der gesamten Personenbelegung im Gebäude, die in 5 Minuten transportiert werden. Als Beispiel bedeutet dies für ein Gebäude mit 1.000 Personen, dass bei 15% HC₅ 150 Personen innerhalb einer 5 Minuten Periode die Aufzüge nutzen. Die Qualität der Förderleistung wird danach beurteilt, welche durchschnittlichen Warte-, Fahr- und Zielerreichzeiten sich bei welchem HC₅ – Wert (Personen- Ankunftsrate) ergeben. Als Beispiel werden nachfolgend die Bewertungskriterien für Bürogebäude dargestellt, wie sie international verwendet werden.

Kriterien für Bürogebäude	Förderleistung HC5 (%)	Durchschnittliche Wartezeit (s)	Durchschnittliche Fahrtzeit (s)	Durchschnittliche Zielerreichzeit (s)
Sehr gut	15 - 17	20 – 25	40 - 55	60 - 80
Gut	12 - 15	25 – 30	55 - 70	80 - 100
Ausreichend	10 - 12	30 – 35	70 - 85	100 - 120

Tab. 4.1.2 Kriterien zur Bewertung der Förderleistung von Bürogebäuden (Eigene Darstellung)

4.1.3 Verkehrsabläufe und Simulationsprofile

Verkehrsberechnungssimulationen basieren, neben weiteren Faktoren, auf Annahmen des Verkehrsflusses, d. h. in welcher Häufigkeit und Konzentration Passagiere zu den Aufzügen kommen. Auf der Grundlage von Untersuchungen des Personenverkehrs sowie der Verkehrsart (Aufwärts-, Abwärts-, Zwischengeschossverkehr) sind für Bürogebäude heute standardisierte Profile über die Ankunftsrate der Passagiere verfügbar, mit deren Hilfe der typische Verkehrsfluss bei Büronutzungen abgebildet werden kann. Neben diesen Profilen können die Verkehrsspitzen auch separat betrachtet werden, wozu es ebenfalls unterschiedliche Ansätze gibt. Die Betrachtung der Verkehrsspitzen eignet sich für unterschiedlichste Gebäudenutzungen wie Hotel oder Wohn- und Apartmentgebäude, insbesondere für diese Nutzungen, für die keine standardisierten Personenankunftsprofile verwendet werden. Die derzeit üblichen Verkehrsflussprofile (Ankunftsprofile) und Ansätze werden nachfolgend als Überblick vorgestellt. Für weiterführende Einblicke wird auf die entsprechende Fachliteratur, wie beispielsweise den *CIBSE Guide D* verwiesen, der dieses Thema sehr detailliert darstellt.

4.1.3.1 Bürogebäude

In Bürogebäuden sind in aller Regel die Verkehrsspitzen während des morgendlichen Füllens des Gebäudes, der Mittagspause sowie das abendliche Entleeren von Bedeutung. Während sich morgens eine Konzentration des Verkehrsflusses in Aufwärtsrichtung einstellt, ist die Mittagspause durch eine Mischung der drei Verkehrsarten und das abendliche Entleeren durch eine konzentrierte Abwärtsrichtung geprägt. Diese Verkehrszeitpunkte können über die folgenden Ansätze betrachtet werden:

- Die Betrachtung eines Zeitraumes von 5min. während der Verkehrsspitze, wobei für das morgendliche Füllen und das abendliche Entleeren meist von einer theoretischen Annahme von 100% Aufwärtsverkehr bzw. Abwärtsverkehr ausgegangen wird. Die drei Verkehrsarten der Mittagspause lassen sich annäherungsweise mit der Verteilung 40% Aufwärtsverkehr, 40% Abwärtsverkehr und 20% Zwischengeschossverkehr beschreiben.
- Die Verwendung von einzelnen Profilen der Verkehrsspitzen. Diese Profile betrachten meist alle Verkehrsarten über eine Zeitdauer von ein bis zwei Stunden

während der jeweiligen Spitze (separate Profile für Aufwärts-, Abwärts- und Zwischengeschoß und Mittagspausen). Als Beispiel ist nachfolgend ein zwei-stündiges Profil einer Mittagspause dargestellt, wobei davon ausgegangen wird, dass die Belegschaft im Gebäude in einer Art Zweischichtbetrieb organisiert ist.

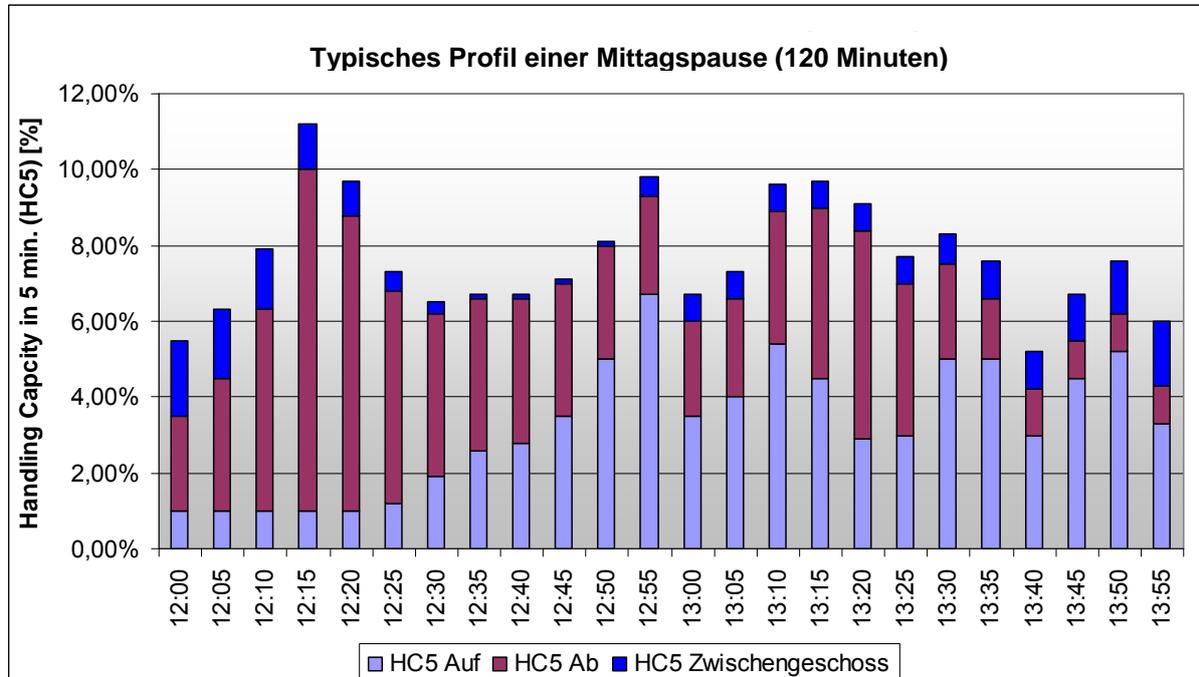


Abb.4.1.3 –A Typisches Profil einer zweistündigen Mittagspause nach Powell (Bildquelle: Eigene Darstellung)

- 12 bzw. 24 Stundenprofil eines typischen Büro-Werktages (siehe Abb. –A). Hier werden alle Verkehrsarten über den gesamten Werktag dargestellt. Übliche Profile sind z. B. das *CIBSE* bzw. *SIKONEN Office* Profil, welches einen Zeitraum von 07:00 Uhr bis 19:00 Uhr beziehungsweise 24 Stunden betrachtet.

4.1.3.2 Hotelgebäude

Der Verkehrsfluss in Hotels unterscheidet sich sehr deutlich von den zuvor beschriebenen Abläufen in einem Bürogebäude. Die typischen Verkehrsspitzen entstehen während des morgendlichen „Check-Out“ des Gastes, meist zwischen 08:00 und 10:00 Uhr sowie am Abend während des „Check-In“ zwischen 17:00 und 19:00 Uhr, bei dem Hotelgäste sowohl konzentriert die Restaurant- bzw. Rezeptionsebene aufsuchen. Der Verkehrsfluss in einem Hotel wird daher durch die zwei Hauptrichtungen charakterisiert, der als eine theoretische Annahme von 50% in Aufwärts- und 50% in Abwärtsrichtung beschrieben werden kann und international als *2-way traffic* bezeichnet wird.

Die Simulation von Verkehrsabläufen in Hotels beschränkt sich im Wesentlichen auf die Betrachtung dieser Verkehrsspitze. Während der Verkehrsspitzenzeiten wird in der Regel von einer maximalen Ankunftsrate von ca. 12 – 15% HC₅ ausgegangen, die als Leistungspunkt zur Dimensionierung der Aufzüge herangezogen wird. Außerhalb der beschriebenen Verkehrsspitzen ist dieser Wert deutlich geringer, wobei es zu diesen Verkehrszeiten keine allgemeingültigen Angaben gibt. Standardisierte Tagesprofile, wie es sie bei Bürogebäuden gibt, sind daher nicht üblich.

4.1.3.3 Wohngebäude

Die Verkehrsabläufe in Apartmentgebäuden ähneln in ihrem Charakter denen von Hotelnutzungen, wobei die höchsten Konzentrationen (ca. 6 – 8% HC₅) der beiden Haupt-Verkehrsrichtungen (2-way traffic) während des Nachmittags erreicht werden.

Die Simulation der Abläufe entspricht im Wesentlichen den Methoden und Ansätzen der zuvor beschriebenen Hotelnutzung.

4.1.3.4 Andere Gebäudenutzungen

Über Simulation lassen sich grundsätzlich alle Verkehrsflüsse entsprechend der Gebäudenutzungen darstellen. Durch die Annahme von Personenanzahl, Ankunftsrate HC₅, die prozentuale Verteilung der Verkehrsarten Aufwärts-, Abwärts- und Zwischengeschossverkehr lässt sich somit jede erdenkliche Situation modellieren. Dabei liegt die Schwierigkeit darin, diese Annahmen realitätsnah zu treffen, was sehr häufig auf subjektiven Einschätzungen beruht.

4.1.4 **Schlussfolgerung für eine lebenszyklusorientierte Planung**

Durch Simulation lassen sich sowohl einzelne Verkehrsspitzen wie auch individuelle Profile des Tagesablaufes nachbilden und durchführen. Das Bestimmen der Anzahl benötigter Aufzüge geschieht sinnvoller Weise an Hand der relevanten Verkehrsspitzenzeiten, bei dem das Niveau der Förderleistung durch die Angaben von durchschnittlichen Warte-, Fahr- und Zielerreichzeiten im Verhältnis zur Personenanzahl pro fünf Minuten definiert wird.^{96 97 98}

⁹⁶ Vgl. CIBSE: CIBSE Guide D – Transportations Systems in Buildings. Norwich. (2005).

⁹⁷ Vgl. Barney, Dr. Gina: Elevator Traffic Handbook Theory and Practice. (2003).

⁹⁸ Vgl. Strakosch, George.R: The Vertical Transportation Handbook. (1998).

Zum Ermitteln der Nutzungsintensität bieten standardisierte wie auch individuell angepasste Tagesprofile eine sinnvolle Basis für das zu entwickelnde Planungswerkzeug, um die Simulation der Lebenszykluskosten durchführen zu können.

4.2 Erschließungskonzepte und Gruppenanordnungen

4.2.1 Grundsätze der Planung von Aufzugsgruppen

Üblicherweise erfolgt die Planung eines Erschließungskonzeptes entsprechend der späteren Nutzung des Gebäudes. Sind in einem Gebäude verschiedene Nutzungen vorhanden, sollten jeder Nutzungsart separate Aufzüge / Aufzugsgruppen zugewiesen werden. Jede Aufzugsgruppe wiederum kann, je nach Bedarf, aus einer unterschiedlichen Anzahl von Aufzügen bestehen, die über ihre Steuerung miteinander verbunden sind und kommunizieren können.

Dieser Idealvorstellung einer konsequenten Zuteilung von Aufzügen / Aufzugsgruppen zu einer Nutzungsart (separate Aufzüge für jede Nutzung) kann jedoch nicht immer nachgekommen werden. Nicht selten erfordert der architektonische Entwurf eine Vermischung der Funktionszuweisungen, was häufig eine Überlagerung der Verkehrsflüsse mit sich zieht. Dies kann eine starke Reduzierung der Förderleistung zur Folge haben, da auf Grund der unterschiedlichen Hauptverkehrsrichtungen einem effektiven und schnellen Abarbeiten der Fahrwünsche der Passagiere nicht im vollen Maße entsprochen werden kann. Ähnliche Effekte einer Reduzierung der Förderleistung stellen sich ein, wenn ein Gebäude über mehrere Zugangsebenen zu den Aufzügen verfügt. Ein Beispiel dafür sind Tiefgaragengeschosse unterhalb oder auch oberhalb der Haupt-Zugangsebene, wodurch die Umlaufzeit der Kabine durch das zusätzliche Bedienen der Haltestellen sowie durch weitere Be- und Entladevorgänge „verlangsamt“ wird.

Eine Vermischung von Funktionszuweisungen innerhalb einer Aufzugsgruppe kann darüber hinaus dazu führen, dass eine Kontrolle der Zutrittsbefugnis für bestimmte Geschosse/Haltestellen nicht eindeutig sichergestellt werden kann. Elektronische Zutrittskontrollen zur Kabine können zwar das Anfordern/Rufen eines Aufzuges steuern, jedoch nicht den Zutritt in die Kabine durch unbefugte Personen grundsätzlich verhindern.

Fachplaner für Fördertechnik, sowie Architekten und Bauherren/Betreiber müssen die zuvor genannten Aspekte der Planung des Erschließungskonzeptes berücksichtigen sowie Vor- und Nachteile sorgfältig abwägen.⁹⁹

4.2.2 Einflussfaktoren der Förderleistung

Zu den wesentlichen Aspekten der Planung von Erschließungskonzepten zählen, neben der Bestimmung der erforderlichen Anzahl und Funktionszuweisung, die Auswahl einer sinnvollen Kabinengröße sowie Geschwindigkeit.

4.2.2.1 Fahrkorbgröße

Grundsätzlich regelt die Aufzugsrichtlinie EN81 die Beziehung zwischen Kabinengröße und Tragkraft des Aufzuges. Demnach wird im Regelfall die minimale Tragfähigkeit von der zur Verfügung stehenden Kabinengrundfläche errechnet.¹⁰⁰ Die max. zulässige Personenzahl wird ermittelt, indem beispielsweise für Mitteleuropa 75 kg pro Person angesetzt wird. Als Planungsrichtwert für eine komfortable Kabinengröße gilt darüber hinaus die Empfehlung von ca. 0,22m² pro Person.

Die ideale Kabinengröße steht dem gegenüber auch in Zusammenhang zur Förderhöhe bzw. der Anzahl der angefahrenen Haltestellen. Mit steigender Haltestellenanzahl und beispielsweise zu groß gewählten Kabinen steigt die Anzahl der wahrscheinlichen Stopps, die ein Aufzug während eines Umlaufs durchführt. Dem gegenüber können zu klein gewählte Kabinen ggf. die benötigte Kapazität nicht zur Verfügung stellen, jedoch bei entsprechender Anzahl eine subjektiv höhere Qualität durch kurze Fahrzeiten vermitteln. Die optimale Kabinengröße orientiert sich somit an unterschiedlichen Einflussfaktoren. Die wesentlichen sind demnach die Haltestellenanzahl, Personenanzahl pro Stockwerk sowie die Geschwindigkeit, die der Aufzug zwischen den einzelnen Stopps erreichen kann.

4.2.2.2 Fahrgeschwindigkeit

Eine optimale Fahrgeschwindigkeit steht zunächst in Abhängigkeit zur Förderhöhe. Eine Fahrt über die volle Förderhöhe des Aufzuges ohne Zwischenstopps sollte als „Faustformel“ nicht länger als 25 - 30 sec. betragen. Diese so genannte theoretische Fahrzeit gilt somit als Planungsrichtwert für spätere Verkehrsberechnungen. Höhere

⁹⁹ Vgl. CIBSE: CIBSE Guide D – Transportations Systems in Buildings. Norwich.(2005).

¹⁰⁰ Vgl. DIN: DIN EN81-1 Sicherheitsregeln für die Konstruktion und den Einbau von Aufzügen. (Berlin 2005).

Geschwindigkeiten als die des Planungsrichtwertes können nur in Einzelfällen die Förderleistung signifikant erhöhen, da auf Grund von vielen Zwischenstopps und den relativ großen Anteilen von Beschleunigungs- und Verzögerungsphasen die max. Geschwindigkeit nur selten erreicht und gehalten werden kann. Sinnvoll sind hohe Geschwindigkeiten bei Expressaufzügen oder bei Aufzügen, die beispielsweise nur eine Haltestelle (z. B. Aussichtsplattform oder Skylobbies in Hochhäusern) anfahren, so genannte „Shuttle Aufzüge“. Bei diesen Anwendungen durchfährt der Aufzug eine lange Distanz mit hoher Geschwindigkeit und ohne Zwischenstopps, wodurch sich die positiven Effekte in einer deutlich gesteigerten Förderleistung auswirken.

Eine sinnvolle Begrenzung der maximalen Geschwindigkeit wird derzeit mit 8-10m/s angegeben, bei der sich die technischen Erfordernisse in einem noch wirtschaftlich vertretbaren Rahmen befinden. Die derzeit schnellsten Aufzüge erreichen eine Fahrgeschwindigkeit von ca. 16,8m/s und befinden sich im *Taipei Financial Center*, kurz: „*Taipei 101*“ in Taiwan. Die Einflüsse hoher Fahrgeschwindigkeiten insbesondere in vertikaler Richtung sind nicht unerheblich für den menschlichen Körper. Die schnellen Luftdruckveränderungen sowie die auftretenden physikalischen Beschleunigungskräfte werden von vielen Menschen als sehr unangenehm wahrgenommen. Auf weiterführende Fragestellungen im Bezug auf die Planung von Hochgeschwindigkeitsaufzügen soll in diesem Rahmen verzichtet werden.

4.2.3 Aufzugskonfigurationen und Gruppenanordnungen

4.2.3.1 Aufzugsgruppen mit konventionellen Systemen

Bei der Planung von Erschließungskonzepten spielt die Anzahl der Haltestellen, die mit einer Aufzugsgruppe bedient werden sollen, eine wichtige Rolle. Im Zusammenwirken der zuvor beschriebenen Einflussfaktoren ist als Planungsempfehlung eine maximale Haltestellenanzahl von bis zu 20 Haltestellen je Aufzugsgruppe sinnvoll. Dies bedeutet, dass es in der Regel für Gebäude bis zu dieser Geschossanzahl ausreichend ist, wenn diese durch eine Aufzugsgruppe erschlossen werden. Für Gebäude bis ca. 40 Geschossen stellt eine Aufteilung in eine Nah- und eine Ferngruppe eine sinnvolle Aufzugskonfiguration dar. Dabei bedient die Ferngruppe lediglich die Geschosse 21 bis 40, um negativen Auswirkungen auf die Förderleistung zu minimieren. Dieses Prinzip weiterführend empfiehlt sich eine Aufteilung für Gebäude bis 60 Geschosse in Nah-, Mittel- und Ferngruppen. Für Gebäude, die über diese

Geschossanzahl hinausgehen, sind in der Regel Aufzugskonfigurationen mit Umsteige- und Transferebenen und übereinander „gestapelten“ Aufzugsgruppen sinnvoll. Diese Gruppen liegen meist in der Projektionsfläche darunterliegender Aufzugsgruppen und werden durch Expressaufzüge mit der Erdgeschosshaltestelle verbunden.

Neben dem Nachteil, dass der Fahrgast einen Umsteigevorgang vollziehen muss, bietet diese Aufzugskonfiguration entscheidende Vorteile gegenüber konventionellen Konfigurationen. Somit lässt sich das notwendige Volumen der Aufzugskerne in der Summe deutlich reduzieren, was besonders die Flächeneffizienz (Nutzflächen zu Erschließungsflächen) unterer Gebäudebereiche steigert.

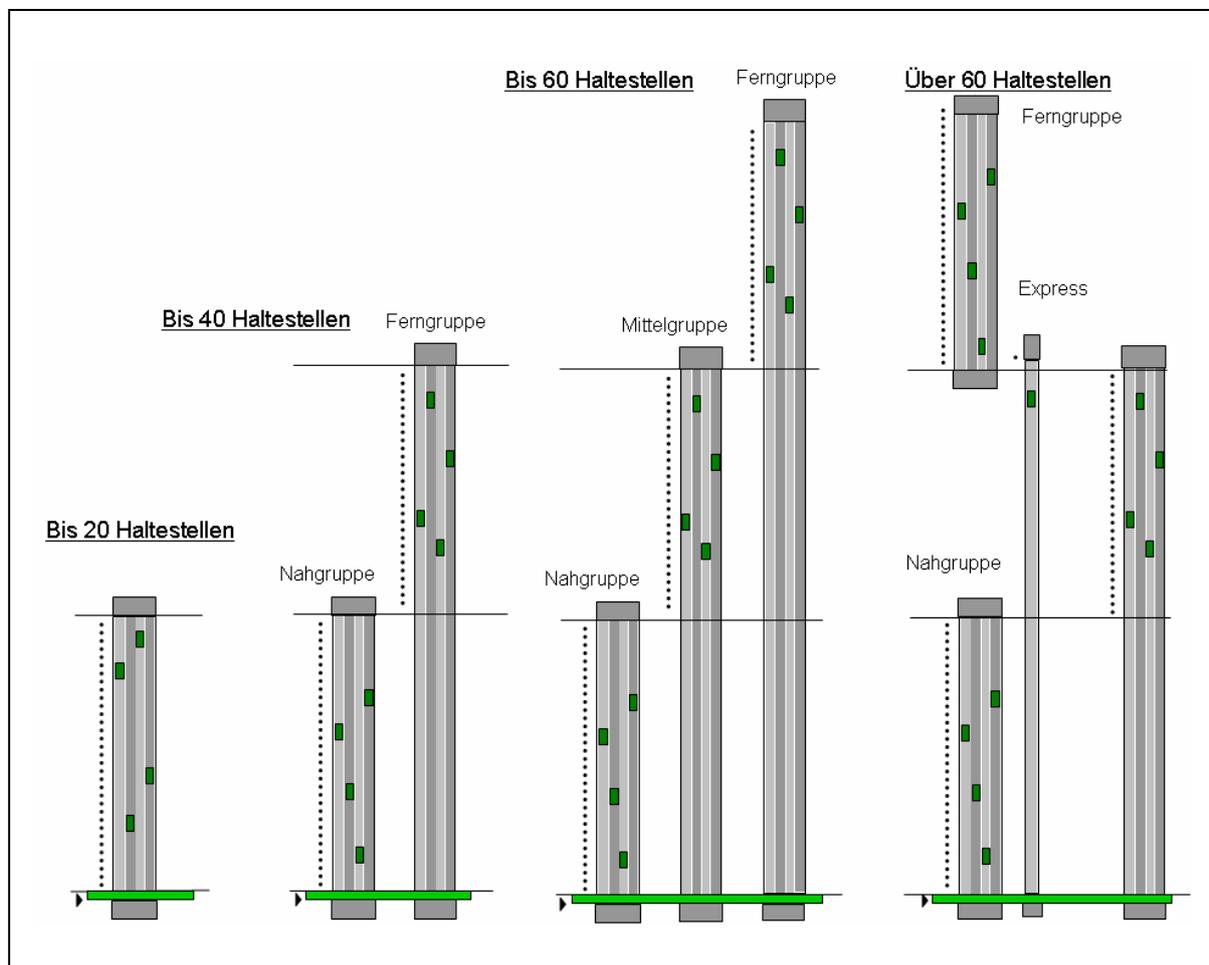


Abb. 4.2.3.1 Typische Aufzugskonfigurationen mit konventionellen Aufzugssystemen (Bildquelle: ThyssenKrupp, Planungsunterlagen)

4.2.3.2 Aufzugsgruppen mit Mehrkabinensystemen (TWIN® / Doppeldecker)

Die zuvor beschriebene Systematik gilt im Wesentlichen auch bei der Verwendung von Mehrkabinensystemen, wie beispielsweise Doppeldecker Aufzügen oder dem weiterentwickelten Aufzugssystem TWIN® von ThyssenKrupp. Bei beiden Systemen befinden

sich 2 Aufzugskabinen in einem Schacht, wobei die des Doppeldeckers mechanisch miteinander verbunden sind, die des TWIN[®] vollkommen unabhängig voneinander fahren und flexibel unterschiedliche Geschosse anfahren können. Diese Flexibilität ermöglicht es dem TWIN[®] bis zu 35 Haltestellen pro Aufzugsgruppe zu bedienen. Doppeldecker Systeme erreichen sehr gute Förderleistungsergebnisse innerhalb von Expressgruppen zum Bedienen von Umsteige- und Transferebenen. Idealerweise werden für beide Systeme zwei gleichwertige Zugangsebenen vorgesehen, um ein zeitgleiches Beladen beider Kabinen in den Hauptzugängen zu ermöglichen.

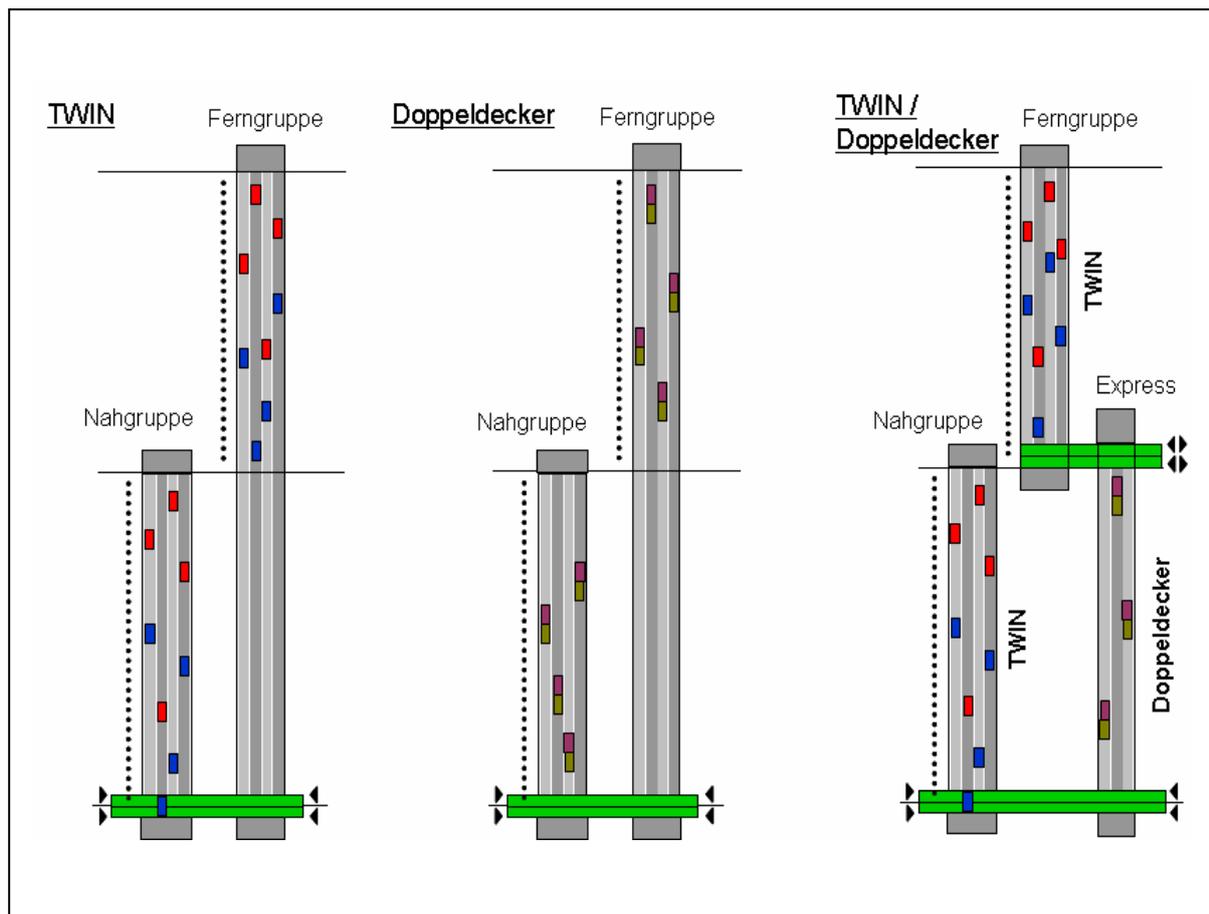


Abb. 4.2.3.2 Typische Aufzugskonfigurationen mit Mehrkabinensystemen (Bildquelle: ThyssenKrupp, Planungsunterlagen)

Die Arbeitsweise beider Aufzugssysteme, wie Passagiere an ihre Zielhaltestellen transportiert werden, unterscheidet sich bauartbedingt sehr deutlich voneinander. Doppeldecker fahren ihre Zielhaltestellen nach dem „Gerade / Ungerade“ Prinzip an. Das bedeutet, Passagiere, die über die obere Zugangsebene in die obere Kabine eingestiegen sind, können nur diese Geschosse erreichen, die jeweils durch die obere Kabine angefahren werden, was gleichermaßen für die untere Kabine gilt. Das TWIN[®] System teilt hingegen den Schacht in virtuelle Zonen ein, in dem sich die

Kabinen frei von einander bewegen können. Passagiere der oberen Zone im Gebäude steigen, ähnlich dem Doppeldecker, über die obere Zugangsebene in die obere TWIN® Kabine ein. Auch hier gilt das gleiche Prinzip für die untere Kabine.

4.2.3.3 Planung von Gruppenanordnungen und Zugangsgeschossen

Mit dem Begriff „Zugangsebene“ werden in der Regel diese Geschosse bezeichnet, durch die Passagiere die dem Personenverkehr zugeordneten Aufzüge / Aufzugsgruppen erreichen können. Meist liegen diese auf gleichem Niveau des Gebäudezugangs in sichtbarer und zentraler Lage. Somit sind die Zugangsebenen der Aufzüge häufig eingeschossig geplant sowie die Aufzugslobby, also der Vorraum vor den Aufzügen, nicht selten durch Zutrittskontrollsysteme abgetrennt. Für Mehrkabinensysteme wie Doppeldecker oder TWIN® ist es sinnvoll, zwei Zugangsebenen zu planen, die durch Fahrtreppen miteinander verbunden sind. Durch die Aufteilung in zwei Ebenen werden hohe Personenkonzentrationen wartender Passagiere minimiert, da die zur Verfügung stehenden Flächen in den Aufzugsvorräumen häufig begrenzt sind.¹⁰¹

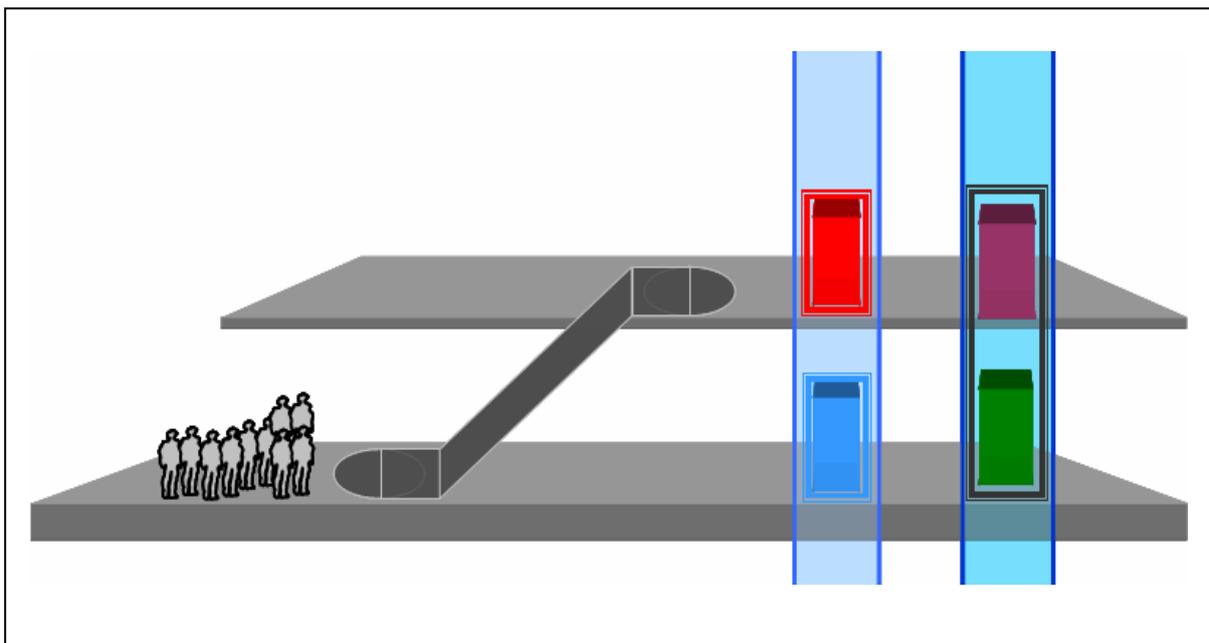


Abb. 4.2.3.3- A Doppelstöckige Zugangsebene bei Mehrkabinensystemen (Bildquelle: ThyssenKrupp, Planungsunterlagen)

Sind zur Erschließung des Gebäudes mehrere Aufzüge nötig, werden die Steuerungen jedes einzelnen Aufzuges miteinander verbunden, um eine Kommunikation zwischen Aufzügen zu ermöglichen. Durch das Austauschen von

¹⁰¹ Vgl.: ThyssenKrupp, Planungsunterlagen.

Daten und Informationen wird die eigene Arbeitsweise optimiert und die Förderleistung gesteigert. Dies bedingt, dass die Aufzüge räumlich beieinander liegen, um auch Wegzeiten der Passagiere so kurz wie möglich zu halten. Die Vorräume (Lobby) vor den Aufzügen müssen dabei eine entsprechende Größe aufweisen. Als Planungsrichtwert empfiehlt der CIBSE Guide D für den Vorraum 1,4 Personen/m² anzusetzen, wobei die Gesamtfläche in der Lage sein sollte, das Fassungsvermögen der Aufzüge aufzunehmen.

Einen Vorschlag über optimale Aufzugsanordnungen gibt das oben genannte Planungshandbuch und empfiehlt dabei einen Mindestabstand zu Wänden oder gegenüberliegenden Aufzügen vom 1,5- bis 2-fachen der Fahrkorbtiefe. Aufzugsvorräume sollten darüber hinaus nicht für andere Funktionen, wie beispielsweise Durchgänge, vorgesehen und verwendet werden. Aufzugsgruppen sollten bei Verwendung von konventionellen Steuerungssystemen eine Größe von sechs Aufzügen, bei Verwendung von Zielwahlsteuerung (Begriffserklärung unter Punkt 5.2) von acht Aufzügen je Gruppe nicht überschreiten. Dabei sind nachfolgende Anordnungen empfehlenswert.¹⁰²

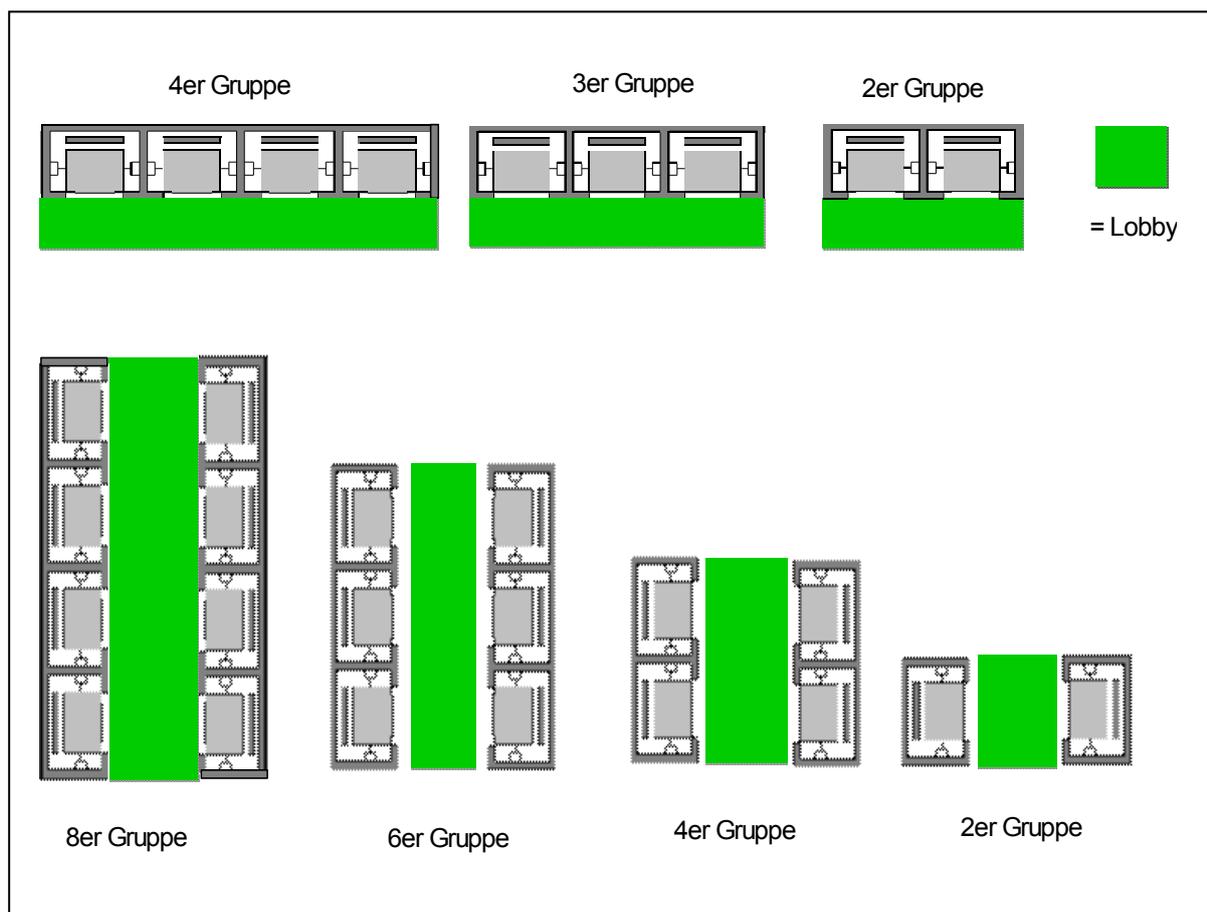


Abb. 4.2.3.3- B Empfehlungen zur Aufzugsanordnung¹⁰² (Bildquelle: Eigene Darstellung)

¹⁰² Vgl. CIBSE: CIBSE Guide D – Transportations Systems in Buildings. Norwich. (2005).

5 Aufzugstechnik

5.1 Geschichtlicher Rückblick

Maschinell betriebene Aufzüge haben ihren Ursprung gegen Ende des 19. Jahrhunderts. Sie waren eine geniale Erfindung, die immer höher werdenden Gebäude zu erschließen, welche sich aus der innerstädtischen Platznot der expandierenden Städte der USA ergab. Die Entwicklung der Aufzugstechnik verlief dabei stets analog zur Entwicklung neuer Konstruktionsprinzipien und Tragwerkskonstruktionen der Bautechnik, denn erst die Aufzüge konnten diese neuen, hohen Gebäude „funktionieren“ lassen.

Das grundsätzliche Konstruktionsprinzip der Aufzüge ist seither annähernd gleich geblieben, wobei die technischen Lösungen kontinuierlich weiter entwickelt wurden. So diente vor gut 130 Jahren noch eine Dampfmaschine als Antrieb, während heute moderne frequenzgesteuerte Synchronantriebe mit extrem hohen Wirkungsgraden sehr energieeffizient die Aufzugskabinen bewegen.

Ebenso rasant ist die Entwicklung im Bereich der Aufzugssteuerungen. Waren die ersten Aufzüge noch mit mechanisch wirkenden „Steuerriemen“ ausgestattet, folgte um 1915 die erste „Feinsteuerung“ durch eine Erfindung des noch heute existierenden Aufzugsherstellers OTIS. Diese elektromechanischen Steuerungen wurden Ende der 70 Jahre des 20. Jahrhundert durch Systeme mit ersten Halbleitertechnologien ersetzt. Prozessor gestützte BUS-Systeme steuern seit Ende der 90er Jahre alle Fahrbewegungen der Aufzüge, wobei auch hier die Leistungsfähigkeit wie in anderen IT-Produkten rasant voranschreitet. Aufzugssteuerungen moderner Systeme stehen untereinander stets im Informationsaustausch und sind in der Lage, sich durch intelligente „Lernfunktionen“ selbstadaptierend an Verkehrssituationen anzupassen.

Ebenso wie die damalige Entwicklung von Aufzügen und Hochhäusern verläuft diese auch heute noch im gegenseitigen Wechselspiel. Moderne Gebäude haben heute eine Vielzahl von Anforderungen zu erfüllen, denn sie sind mehr denn je interessante Renditeobjekte. Um die Wirtschaftlichkeit von Gebäuden bei steigender Höhe zu erhalten bzw. zu verbessern, werden Aufzugssysteme entwickelt, die bei gleichbleibender Förderleistung den Volumenverbrauch im Gebäude reduzieren können.

Die Auswirkungen der Attentate des 11. September 2001 auf das World Trade Centre in New York hat die Frage der Gebäudesicherheit neu aufgeworfen. Evakuierungskonzepte, bei denen auch die Aufzüge mit einbezogen werden, sind seit diesen Ereignissen verstärkt weiterentwickelt worden. Die Themen der Evakuierung in Bezug auf Gebäudesicherheit sowie die Wirtschaftlichkeit der Transportlösungen zur Erhöhung der Gebäudeeffizienz werden auch zukünftig die zentralen Entwicklungsaufgaben der Industrie darstellen.^{103 104 105 106 107 108}

5.2 Heutiger Stand der Technik

Der Stand der Technik wird im Nachfolgenden durch eine nähere Beschreibung des Aufzugsystems TWIN[®] beschrieben. Das TWIN[®] System vereint nahezu alle modernen Technologien innerhalb des Systems und repräsentiert somit das derzeit technisch Machbare des Aufzugsbaus. Auf ausführliche Darstellungen von Technologien, die auch in konventionellen Systemen standardisiert eingesetzt werden, wird in diesem Rahmen verzichtet.

5.2.1 Das Aufzugssystem TWIN[®]

Der TWIN[®] ist ein seilbetriebenes Aufzugssystem mit Triebwerksraum und zwei Kabinen in einem Schacht, für klassische und hochwertige Büro-, Wohn- und Hotelanlagen mit hohen Förderhöhen. Die Kabinen sind übereinander angeordnet und können sich vollkommen unabhängig voneinander bewegen, da jede Kabine über einen eigenen Treibscheibenantrieb verfügt. Jede Kabine verfügt über ein eigenes Gegengewicht, welches in separaten Schienen geführt wird, wobei beide Fahrkörbe dieselben Führungsschienen benutzen. Die Rufzuweisung erfolgt generell über eine mikroprozessorgestützte Zielauswahlsteuerung. Das Fahrziel wird an einer Eingabestation im Zugang (Vorraum) vor Betreten der Kabine eingegeben, die dem Benutzer

¹⁰³ Vgl. Campi, Mario: Skyscrapers – An Architectural Type of Modern Urbanism. Basel, Boston, Berlin. (2000).

¹⁰⁴ Siikonen, Marja-Liisa / Hakonen, Henri: Efficient Evacuation Methods in tall buildings. Elevator World 07/2003.

¹⁰⁵ Vgl. Lampugnani, Vittorio Magnago ; Hartwig, Lutz: Aufzug Fahrtreppe Paternoster – Eine Kulturgeschichte vom Vertikal-Transport. Ernst & Sohn.

¹⁰⁶ Vgl. Scheffler, Martin ; Feyrer, Klaus; Matthias, Karl: Fördermaschinen – Hebezeuge, Aufzüge, Flurförderzeuge. Wiesbaden. (1998).

¹⁰⁷ Vgl. Simmen, Jeannot; Drepper, Uwe: Der Fahrstuhl. München. (1984).

¹⁰⁸ Vgl. Zukowsky, John: Skyscrapers – Before the Millennium, a question of boom or bust. München, London, New York. (2001).

den entsprechenden Aufzug benutzerfreundlich zuweist. Somit ist eine Abgabe von Kommandos in der Kabine überflüssig. Die Steuerung berechnet, welcher Aufzug bzw. welche Kabine den Fahrgast schnellstmöglich an seine Zielhaltestelle fahren kann. Je nach Personenaufkommen und benötigter Förderleistung kann anstelle einer optimierten Zielerreichzeit auch beispielsweise ein optimierter Energieverbrauch angestrebt werden. Wesentlicher Vorteil dieser Steuerungstechnologie ist es, Passagiere mit gleichen Zielen dieselbe Kabine zuzuweisen, was den Verkehrsfluss deutlich verbessert und organisiert.

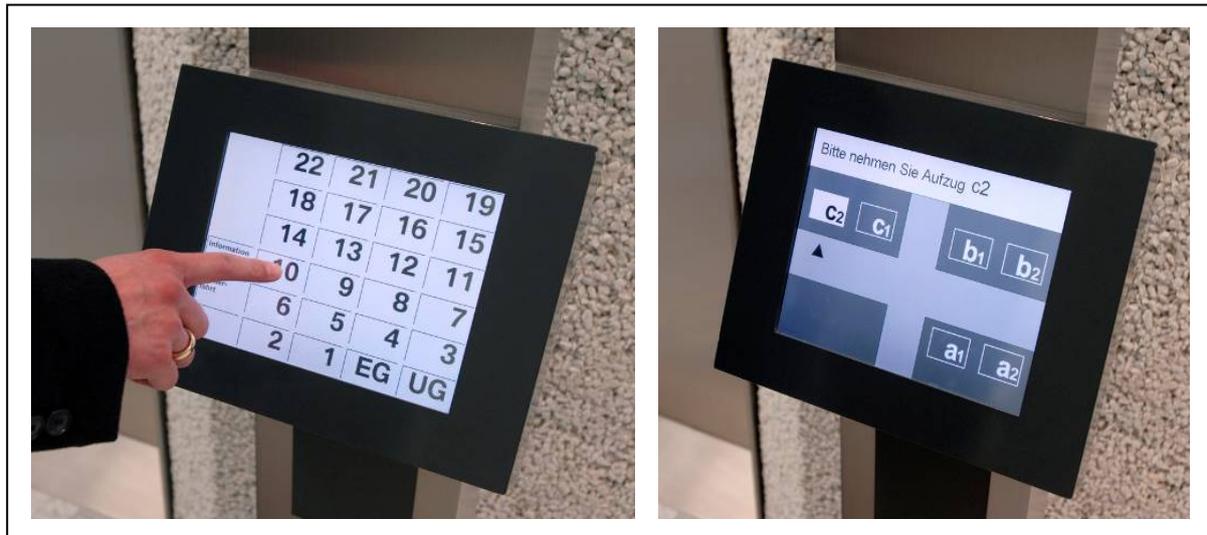


Abb. 5.2.1 Beispiel einer Eingabestation einer Zielwahlsteuerung (Bildquelle: ThyssenKrupp)

Moderne Zielwahlsteuerung wie die des TWIN[®] Systems sind in der Lage, das momentane Verkehrsaufkommen sowie die aktuell vorherrschende Verkehrsart (Aufwärts-, Abwärts-, Zwischengeschossverkehr) zu erfassen und ihre Arbeitsweise auf diese Situationen dynamisch anzupassen. Eine Art „Lernfunktion“ ermöglicht es der Steuerung, aus regelmäßig auftretenden Situationen entsprechende Muster zu erkennen und vorausschauend die Aufzugskabinen optimal im Gebäude zu positionieren.

Um mehr als nur eine Kabine in einem Schacht sicher betreiben zu können und eine Kollision der Kabinen zu verhindern, verfügt das TWIN[®] System über eine umfangreiche Sensorik, die permanent den Status beider Kabinen erfasst. Aus den Parametern der aktuellen Geschwindigkeit, der absoluten Position, der Abstände und Fahrtrichtungen beider Kabinen werden permanent Sicherheitsabstände ermittelt. Ein vierstufiges Sicherheitskonzept überwacht den Betrieb von beiden Kabinen.

- Erste Stufe: Die Zielwahlsteuerung ordnet die Fahrbefehle so zu, dass sich die zwei Kabinen nicht behindern und stets ein Mindestabstand gewährleistet wird.
- Zweite Stufe: Die Aufzugssteuerungen beider Kabinen überwachen einen definierten Mindestabstand der Kabinen zueinander. Wird der Mindestabstand unterschritten, reduziert sich die Geschwindigkeit soweit, dass jederzeit ein betriebsmäßiger Halt möglich ist.
- Dritte Stufe: Werden die Maßnahmen der zuvor beschriebenen Stufen nicht wirksam, greift eine übergeordnete Sicherheitssteuerung ein, wobei beide Antriebe gestoppt und die Betriebsbremsen aktiviert werden.
- Vierte Stufe: Tritt wiederum keine ausreichende Verzögerung der Kabinen ein, so werden die mechanischen Fangvorrichtungen beider Aufzüge durch die Sicherheitssteuerung aktiviert.

Die unter Stufe drei und vier erwähnte Sicherheitssteuerung, die eine Kollision beider Kabinen verhindert, entspricht den Sicherheitsregeln PESSRAL (Programmable Electric Systems in Safety Related Applications for Lifts) und erreicht den Sicherheitsstandard SIL 3 (Safety Integrity Level) nach IEC EN 61508, dessen Grundprinzip auch z. B. in der Flugzeugindustrie bei so genannten „Fly by Wire“ angewendet wird. PESSRAL ist somit ein System zur Steuerung, zum Schutz und zur Überwachung sicherheitsrelevanter Anwendungen bei Aufzugsanlagen.

Neben den zuvor beschriebenen Sicherheitsbauteilen besteht das TWIN[®] System aus weiteren Komponenten, die weitestgehend denen konventioneller Aufzugssysteme entsprechen. Die Entwicklung frequenz geregelter, getriebeloser Synchron-Drehstrommotoren hat in jüngster Zeit einen wesentlichen Beitrag zur Steigerung der Energieeffizienz in der Antriebstechnologie geführt. Diese elektrischen Antriebe zeichnen sich durch einen extrem hohen Wirkungsgrad aus, der bei dieser Bauart bis zu 95% betragen kann. Mit entsprechendem Aufwand lassen sich Synchronmotoren mit energierückspeisenden Frequenzumrichtern betreiben, die in der Lage sind, während der generatorisch wirkenden Betriebsphase (Bremsen) elektrische Energie in das Hausnetz zurückzuführen.^{109 110}

¹⁰⁹ Vgl.: Jappsen, Hans: Aufzugsanlagen. In: Eisele, Johann; Kloft, Ellen: Hochhaus Atlas. München. (2002).

¹¹⁰ Vgl.: ThyssenKrupp: Planungsunterlagen.

5.3 Definition Verschleiß unterliegender Aufzugskomponenten

5.3.1 Vorbemerkung

Aufzüge bestehen aus unterschiedlichen Einzelkomponenten, die meist am Einbauort erstmalig zusammengeführt und in Betrieb genommen werden. Dabei kommt der Abstimmung aller Komponenten zu einem in sich funktionierenden Gesamtsystem eine große Bedeutung zu. Neben der handwerklichen Qualität des Einbaus der Komponenten auf der Baustelle werden mit der Auswahl der Einzelkomponenten innerhalb der Anlage die wesentlichen Grundlagen für den späteren Betrieb gelegt. Die Standfestigkeit einzelner Bauteile steht in unmittelbarem Bezug zur bedarfsgerechten Auswahl und einer harmonisierten Abstimmung aller Komponenten. Somit bilden die Systemkompetenz des Herstellers bzw. Errichters der Anlage sowie die Montagequalität die Ausgangsbasis für das spätere Verschleißverhalten während der Betriebs- und Nutzungsphase. Während dieser Phasen wird das Verschleißverhalten durch die Faktoren der *Wartungsqualität*, *Wartungsintensität*, *Nutzungsintensität* und der *Betriebsbedingungen* beeinflusst.

Unter *Wartungsqualität* ist eine fachlich richtige, qualifizierte Wartung entsprechend normativer Standards zu verstehen. Die Wartung selbst dient der Aufrechterhaltung der technischen Funktionalität für den gesicherten Betrieb. Die *Wartungsintensität* beschreibt die Häufigkeit sowie den Umfang der Tätigkeiten, die im Rahmen einer zyklischen Wartung durchgeführt werden können. Dabei kann auch eine präventive Wartung durchgeführt werden, um Folgeschäden durch einen eventuellen Ausfall eines Bauteils zu vermeiden. Die *Nutzungsintensität* wird bestimmt über den „Bedarf an Aufzugsfahrten“, die auf Grund der Nutzung und Funktion an die Anlagen gestellt werden. Die *Betriebsbedingungen* stellen die Anforderungen dar, die für eine sinnvolle Auswahl der Aufzugskomponenten berücksichtigt werden sollten. Als Hilfestellung kann hier der Leitfaden des VDMA *Der bestimmungsgemäße Betrieb von Aufzugsanlagen* angewendet werden. Dieser berücksichtigt neben der Gebäudeart / Gebäudenutzung den Benutzerkreis, den Verwendungszweck des Aufzuges, die

Umgebungsbedingungen, bauliche Besonderheiten sowie weiterführende Aspekte.¹¹¹
112

Aus Gründen der Nachweisführung empfiehlt es sich, diese Rahmenbedingungen bei Betrachtungen von Lebenszykluskosten zu beschreiben und zu dokumentieren.

Mit der Erst-Inbetriebnahme und der Nutzung des Aufzuges beginnt in der Regel die Abnutzung eines „imaginären“ Abnutzungsvorrates für einen Großteil der Einzelkomponenten und endet mit dem Ausfall nach einem verschleißbedingten Schadenseintritt. Nur wenige Bauteile eines Aufzuges verlieren ihre technische Funktionalität auf Grund eines natürlichen Alterungsprozesses. Im weiteren Verlauf werden die Aufzugskomponenten definiert, die im Rahmen einer Betrachtung der Lebenszyklen bedeutsam sind. Dabei werden alle wesentlichen Bauteile der Einzelkomponenten dargestellt und das grundsätzliche Verschleißverhalten beschrieben. Dabei wird darauf hingewiesen, dass sich die Betrachtungen auf die derzeit üblichen Konstruktionsprinzipien und Technologien beziehen, die technischen Funktionen werden als hinreichend bekannt vorausgesetzt. Des Weiteren wird auf die entsprechende Fachliteratur verwiesen, wodurch auf eine detaillierte Beschreibung verzichtet wird. Grundsätzlich abweichende Technologien unterliegen gegebenenfalls abweichenden Einflüssen.

5.3.2 Tragmittel, Treibscheiben und Seilrollen

Als Tragmittel werden für elektrisch betriebene Aufzugssysteme Stahldrahtseile sowie Seile, Gurte oder Riemen aus anderen alternativen Werkstoffen verwendet. Seile werden neben der eigentlichen, tragenden Funktion auch als Gewichtsausgleich verwendet, um das Eigengewicht der Tragseile ausgleichen zu können. Die Ausgleichsseile werden unter dem Fahrkorb befestigt und verbinden ihn mit dem Gegengewicht, wodurch ein ausgeglichenes Massensystem entsteht. Für Geschwindigkeiten $> 3,5\text{m/s}$ dienen diese so genannten *Unterseile* als Sprungsicherung beim Ansprechen der Sicherheitsfangvorrichtung, um ein Springen des Gegengewichtes zu vermeiden. Seile werden ebenfalls zum Auslösen der Sicherheitsfangvorrichtungen an Fahrkorb und Gegengewicht verwendet.

¹¹¹ VDMA: Leitfaden – Bestimmungsgemäßer Betrieb von Aufzugsanlagen.

¹¹² Vgl. DIN: DIN EN 13015 Instandhaltung von Aufzügen und Fahrtreppen - Regeln für Instandhaltungsanweisungen. (2002).

Das Wirkprinzip eines Seilaufzuges ist zunächst unabhängig vom Tragmittelwerkstoff. Die Treibscheibe des Antriebs überträgt die Drehbewegung durch Reibung auf der Kontaktfläche zwischen Seil und Treibscheibenrinne, was dieses Prinzip äußerst sicher und wirtschaftlich macht. Rollen aus Kunststoffen oder Stahlguss führen und lenken die Seile entsprechend der Aufhängungsart. Die mechanische Beanspruchung bewirkt dabei ein Verschleiß der Komponenten Seil, Scheiben / Rollen, sowie der Isolationselemente der Seilendaufhängungen, die im Nachfolgenden näher beschrieben werden.

5.3.2.1 Seile

Stahldrahtseile haben auf Grund ihrer Konstruktion und ihres Aufbaues aus vielen einzelnen Drähten den Vorteil der Redundanz sowie der Möglichkeit, den rechtzeitigen Zeitpunkt für einen Seilaustausch durch sichtbare Kriterien sicher und einfach zu erkennen. Die Drähte in den Seilen werden beim Lauf über die Treibscheiben und Rollen einer komplexen Beanspruchung aus Zug, Biegung, Torsion und Pressung ausgesetzt. Durch die Verschiebung der Drähte entsteht eine Reibung, die zu einem Ermüden und einem Verschleiß des Werkstoffes (Drahtbruch) führt. Mangelnde Wartung (Pflege), Verschmutzungen und Korrosion verstärken diese Effekte. Ebenfalls stehen die im Seil wirkenden Kräfte aus den Differenzkräften von Fahrkorb und Gegengewicht, die Form der Rillen von Treibscheiben und Rollen, Durchmesser Verhältnis von Rollen und Seilen, die Seilart, die Anzahl von Biegungen / Gegenbiegungen durch Seilumlenkungen in einem komplexen Zusammenhang zur Seillebensdauer. Die Seillebensdauer wird demnach durch die Anzahl der Biegewechsel bis zum Bruch definiert, wobei eine sicherheitsbezogene Ablegereife anhand bestimmter Kriterien erfolgt. Die Biegewechselzahl wird anhand von Dauerbiegeversuchen ermittelt, da der Verschleiß der Drähte bislang nicht sinnvoll und sicher berechnet werden kann. Unter definierten Bedingungen der Durchführung von Versuchen kann über die Seillebensdauergleichung von Feyrer die Biegewechselzahl beschrieben werden^{113 114}:

$$\lg N = b_0 + \left(b_1 + b_4 \lg \frac{D}{d} \right) \left(\lg \frac{Sd_0^2}{d^2 S_0} - 0,4 \lg \frac{R_0}{1770} \right) + b_2 \lg \frac{D}{d} + b_3 \lg \frac{d}{d_0} + \frac{1}{b_5 + \lg \frac{l}{d}} \quad (9)$$

¹¹³ Vgl. Lift Report / 34. Jahrg. Heft 6 / 2008; Seile und Seilkonstruktionen / Barthel Scheunemann Vogel. Dortmund. (2008).

¹¹⁴ Vgl. <http://www.lift-report.de>(15.10.2009 15:20 Uhr).

Dabei ist

S = Seilzugkraft

N = Bruchbiegewechselzahl

l = Biegelänge

b = Regressionskoeffizient

R_0 = Drahtnennfestigkeit

D = Scheibendurchmesser

d = Seildurchmesser

Für weiterführende Fragestellungen wird auf die spezifische Fachliteratur verwiesen, da detaillierte Vertiefungen in diesem Rahmen nicht dargestellt werden können.

5.3.2.2 Treibscheiben

Treibscheiben werden in der Regel aus Grauguss hergestellt, wobei die Aufzugsnorm EN81-1/1998 diesen Werkstoff nicht zwingend vorschreibt und Alternativen zulässt. Während die Rillenform der Treibscheibe wesentlich die Seillebensdauer beeinflusst, unterliegt auch die Treibscheibe selbst einem mechanischen Verschleiß. Grundsätzlich unterscheidet man bei Treibscheiben nach der Rillenform, sowie nach einer gehärteten oder ungehärteten Rille. Treibscheibenrillen mit Kunststoffeinlagen sind in Europa nur wenig bekannt. Insbesondere bei der Verwendung von ungehärteten Rillen kann es in Folge der Reibung zwischen Seil und Treibscheibe zu einem Verschleifen der Rille kommen. Ein Austausch der Treibscheibe wird notwendig, wenn der Durchmesserunterschied zwischen dem neuen Seil und der eingelaufenen Rille zu groß wird. In der Praxis wird dann ein Treibscheibenwechsel im Zuge eines Seilwechsels durchgeführt. Ist ein Durchmesserunterschied zu groß oder sind die einzelnen Rillen der Treibscheibe unterschiedlich tief eingelaufen, führt dies zu einer reduzierten Seillebensdauer. Ungehärtete Rillen können bei Seilwechseln durch Nachdrehen „instandgesetzt“ werden. Aus Untersuchungen bestehender Anlagen ging jedoch hervor, dass Treibscheiben mit dem ersten Seilsatz problemlos funktionieren, jedoch war nach dem ersten Seiltausch ein schnelles Verschleifen feststellbar. Dies wird durch das Abdrehen der glatt gefahrenen, ferritischen Deckschicht begründet, die sich durch eine jahrzehntelange Druckbeanspruchung gebildet und das Gussmaterial zermürbt hat.

5.3.2.3 Seilrollen

Seil- und Umlenkrollen werden ebenfalls aus Guss hergestellt, können aber auch aus Kosten- und Gewichtsgründen aus Kunststoffen wie z. B. Polyamid bestehen. Die

Rillen von Seilrollen werden durch den Seiltrieb in aller Regel nicht so stark beansprucht, wie vergleichsweise die der Treibscheibe. Dennoch bestimmt die Pressung auch hier den Seil- und Scheibenverschleiß, der im Zuge der Systemwartung kontrolliert wird.

Neben den Rillen ist das Lager ein weiteres Bauteil einer Seilrolle, das durch den Betrieb einem Verschleiß unterliegt. Bei Auswahl der Lager wird eine zu erreichende „Lebensdauer“ in Form von Betriebsstunden der Berechnung und Dimensionierung zu Grunde gelegt.

5.3.2.4 Seilaufhängungen

Seilendaufhängungen dienen zum Befestigen der Seile an den dafür vorgesehenen Fixpunkten. Um eine gleiche Seilspannung innerhalb der einzelnen Tragseile zu erzielen, werden in der Regel die Seilendaufhängungen mit Druckfedern aus Stahl bzw. mit Elastomerpuffern aus Polyurethan versehen. Durch ihre lineare Kennlinie zeichnen sich Stahldruckfedern durch ein gleichmäßiges Setzverhalten unter Belastung aus. Eine Alterung sowie ein Verschleiß sind nicht festzustellen. Elastomerpuffer hingegen unterliegen einem Alterungsprozess, der darüber hinaus durch UV Einwirkung beeinflusst werden kann. Aufgrund einer Verformung (Ausbauchen) unterliegt das Elastomer einer mechanischen Beanspruchung, was in der Regel zu einem präventiven Austausch während eines Seilwechsels führt.¹¹⁵

5.3.3 Führungen

Der Fahrkorb wie auch das Gegengewicht des Aufzuges werden in Führungsschienen geführt. Die Führungen haben dabei primär die Funktion, beide Komponenten möglichst exakt in der Fahrbahn zu führen. Grundsätzlich unterscheidet man die Führungsart in Rollen- und Gleitführung, wobei letzteres lediglich für Fahrgeschwindigkeiten bis 2,5m/s (nach den technischen Regeln der EN81) zur Anwendung kommt. Jede Führungsart unterscheidet sich wiederum in unterschiedliche Ausführungsarten. Führungen müssen in der Lage sein, statische wie auch dynamische Kräfte aus der mechanischen Beanspruchung dauerhaft ohne Beschädigungen aufzunehmen und in die Führungsschienen einzuleiten. Dabei übernehmen die Führungen sowohl schallisolierende als auch schwingungsdämpfende

¹¹⁵ Vgl. Pfeifer Draco: Planungsunterlagen – Aufzugseile, Ausgabe 09/2009.

Funktionen. Das Abnutzungsverhalten beider Führungsarten wird nachfolgend beschrieben.

5.3.3.1 Gleitführungen

Gleitführungen bestehen meist aus einem Grundkörper, dem Führungsschuh, sowie einem Einlegmaterial zur Gewährleistung der Gleiteigenschaft. Diese Einlagen unterliegen in aller Regel einer Abnutzung, die durch entsprechend sachgemäße Pflege und Wartung beeinflusst wird. Gleitführungen können entweder mit einer Vorrichtung zum kontinuierlichen „Ölen“ versehen sein oder über entsprechend gleitfähige Kunststoffe verfügen, die keine zusätzlichen Schmierstoffe benötigen. Bei Verwendung von Gleitführungen mit einer Schmiereinrichtung ist bei Wartungsarbeiten auf eine genügende Bevorratung der Schmiermittel zu achten. Die Abnutzung und das Verschleiß sind durch die zurückgelegte Distanz unter der Berücksichtigung des Pflegezustandes (Sauberkeit der Oberflächen), der Beschaffenheit der Laufflächen der Führungsschienen sowie Kraftereinwirkungen gekennzeichnet.

5.3.3.2 Rollenführungen

Rollenführungen werden als ungefederte oder gefederte Varianten verwendet, wobei die Konstruktionsprinzipien sehr unterschiedlich sein können. Die Laufrollen sind dabei meist an einem gelenkig gelagerten Hebelarm befestigt, der durch Stahldruckfedern oder Polyurethanpuffern seine isolierende und schwingungsdämpfende Funktion erhält. Diese Federelemente unterliegen in der Regel keiner außergewöhnlichen Beanspruchung, die eine Beeinträchtigung der technischen Funktionalität hervorrufen würde.

Die Laufrollen hingegen unterliegen einer Abnutzung in der Form, dass der Laufrollenbelag durch das Abrollen auf dem Schienenkopf sowie durch das Walken einer mechanischen Beanspruchung unterliegt. Auch hier beeinflussen der Pflegezustand, die Beschaffenheit der Führungsschiene, die Geschwindigkeit (Umdrehungen pro Minute) sowie die einwirkenden Kräfte die Standfestigkeit der Materialien. Die Lager der Laufrollen sind entsprechend der Belastung auf eine definierte Betriebsdauer ausgelegt.^{116 117 118}

¹¹⁶ Vgl. ThyssenKrupp: Planungsunterlagen.

¹¹⁷ Vgl. ACLA: Planungsunterlagen - Rollenführungen für den Aufzugsbau.

¹¹⁸ Vgl. ACLA: Planungsunterlagen – Führungsschuhe, Führungsschuh-Einlagen und Gleit-Einlagen für den Aufzugsbau.

5.3.4 Türen

Grundsätzlich wird zwischen Schacht- und Fahrkorbtür unterschieden. Diese stellen, im Vergleich zu anderen Bestandteilen des Aufzugs, die wohl am wartungsintensivste Komponente dar. Dies wird durch eine sehr hohe mechanische Beanspruchung begründet, die in erster Linie in direktem Zusammenhang zum täglichen Verkehrsaufkommen steht. Dabei müssen Türen jederzeit die nach Aufzugsrichtlinie geforderte Betriebssicherheit sowie dauerhaft die technischen und qualitativen Mindestanforderungen erfüllen können.

Schacht- und Fahrkorbtüren bestehen aus mechanischen wie auch elektrisch betriebenen Bauteilen, die auf Grund ihrer funktionalen Bestimmung, dem Öffnen und Schließen, zwangsläufig einer Abnutzung unterliegen. Die Standfestigkeiten der einzelnen Bauteile werden von den Herstellern in der Regel durch die Angabe der so genannten „Türspiele“ angegeben, wobei ein Türspiel durch jeweils einen „Öffnen“ und „Schließen“ Vorgang definiert wird.

In Abhängigkeit zu den unterschiedlichen Konstruktionsprinzipien der Tür werden nachfolgend diejenigen Bauteile benannt, die einer Abnutzung durch den Betrieb unterliegen und regelmäßig bei Türkonstruktionen verwendet werden:

- Zugmittel (Seile, Riemen) zur kinetischen Übertragung der Bewegungsenergie
- Rollen und deren Lager zur Führung / Umlenkung der Zugmittel
- Laufrollen und deren Lager zur Türblattführung (Rollen an Laufwagen)
- Führungselemente in den Türschwellen
- Riegelmechanismus zum mechanischen Verriegeln der Tür
- Schließkontakte und Schalter der elektrischen Sicherheitseinrichtungen
- Türantrieb(e) und Riegelantrieb(e)

5.3.5 Elektrik und Elektronik

Elektrische und elektronische Bauteile unterliegen ebenfalls einem Verschleiß, der sich sehr unterschiedlich darstellen kann. Dies können Alterungsprozesse sein, die zunächst „unabhängig“ von den täglichen Betriebszeiten (Fahrtenzahl) des Aufzuges sind. Schütze und Relais sind in ihrer Lebensdauer zum einen durch mechanischen

Abrieb der Kontaktflächen begrenzt, zum anderen wird die Standfestigkeit des Kontaktmaterials durch elektrische Beanspruchung in Form von Materialwanderung und Verdampfen durch den Lichtbogeneffekt beeinflusst.^{119 120} Andere elektrische Bauteile wie Ventilatoren, Leuchtmittel für Anzeigen und Beleuchtungen aber auch Klimatisierungsgeräte für Fahrkorb oder Schaltschränke werden in der Regel in Betriebsstunden unter Berücksichtigung definierter Rahmenbedingungen von den jeweiligen Herstellern angegeben. Je nach angewandeter Technologie ist auch hier eine große Bandbreite festzustellen. Typische elektronische und elektrische Bauteile, die im Rahmen von Lebenszyklus–Betrachtungen von Aufzügen herangezogen werden sollten, sind nachfolgend definiert:^{121 122 123 124 125}

- Schütz, Relais, Schaltkontakt
- Leistungshalbleiter
- Bewegte Kabel
- Leuchtmittel und Anzeigen
- Lüfter und Klimatisierung von Schaltschrank und Fahrkorb

5.3.6 Antriebseinheit

Antrieb und Frequenzumrichter werden häufig als Einheit betrachtet. Der Umrichter versorgt den Motor mit elektrischer Energie und bietet darüber hinaus die Möglichkeit, die Drehzahl des Antriebs mit geringer elektrischer Blindleistung und Netzbelastung zu regeln. Bei einer Betrachtung der Standfestigkeit ihrer Bauteile müssen diese beiden Komponenten jedoch getrennt von einander betrachtet werden, da die Verschleißcharakteristik grundlegend unterschiedlich ist.

5.3.6.1 Frequenzumrichter

Das Verschleißverhalten von Frequenzumrichtern ist im Wesentlichen durch einen Alterungsprozess der Elektrolytkondensatoren geprägt. Dabei spielt die Temperatur eine entscheidende Rolle, denn mit steigender Temperatur beschleunigt sich dieser

¹¹⁹ Vgl. electronic Journal: Panasonic Electric Works – Gute Tipps, Ausgabe 02/2006 (2006).

¹²⁰ Vgl. ThyssenKrupp, Planungsunterlagen.

¹²¹ Vgl. <http://catalog.myosram.com/zb2b/catalog/products.do> (12.10.2007, 16:10 Uhr).

¹²² Vgl. PHILIPS: Herstellerangaben, Planungsunterlagen.

¹²³ Vgl. Telemecanique: Herstellerangaben, Planungsunterlagen.

¹²⁴ Vgl. ETRI: Herstellerangaben, Planungsunterlagen.

¹²⁵ Vgl. ebmpapst: Herstellerangaben, Planungsunterlagen.

chemische Alterungsprozess. Somit beeinflusst zum einen die Arbeitstemperatur des Umrichters den Alterungsprozess, resultierend aus der Häufigkeit und Länge der Einschaltdauer. Zum anderen wirken sich die Umgebungstemperatur sowie die Abwärme anderer Bauteile direkt auf die Standfestigkeit der Kondensatoren aus. Diese Temperatureinwirkungen bewirken eine Abnahme der Kapazität, was zu Leistungsverlusten bis hin zu einem Ausfall nach einigen Jahren Betrieb führen kann.¹²⁶

5.3.6.2 Antrieb

Der Antrieb selbst kann, entsprechend seiner Bauart, in folgende Hauptbestandteile unterteilt werden, die unter Voraussetzung eines bestimmungsgemäßen Betriebs einer Abnutzung unterliegen:

- Bremsmechanik
- Lager
- Impulsgeber
- Wicklung

Im Rahmen von Lebenszyklusbetrachtungen ist es sinnvoll, die Standfestigkeit dieser Bauteile und deren Bestandteile als Einheit anzugeben, die durch die Angabe der Betriebsstunden dargestellt werden sollte. Tiefergehende Betrachtungen werden als wenig zweckmäßig angesehen und führen im Rahmen der Gesamtbetrachtung zu keinen grundlegenden Abweichungen.

5.3.7 Sicherheitsbauteile (Fangtechnik)

Zu den mechanischen Sicherheitsbauteilen, die einer Abnutzung unterliegen, zählen die folgenden Bauteile:

- Geschwindigkeitsbegrenzer (inkl. Seil)
- Fangvorrichtung

Der Geschwindigkeitsbegrenzer wird in seinem technischen Design ebenfalls auf eine definierte Lebensdauer ausgelegt und dimensioniert. Typische Bestandteile wie Lager, Laufrad des Seiles, Impulsgeber und weitere mechanisch bewegte Teile unterliegen den jeweiligen Abnutzungscharakteristiken. Eine Betrachtung der Stand-

¹²⁶ Vgl. ThyssenKrupp, Planungsunterlagen.

festigkeit aller Bestandteile als Gesamtkomponente durch die Angabe der Betriebsstunden ist auch hier sinnvoll.

Fangvorrichtungen werden zyklisch einem Funktionstest unterzogen, bei dem die Komponente eine definierte Minimalverzögerung der mit Nenngeschwindigkeit fahrenden und 125% beladenen Aufzugskabine aufweisen muss (international kann dieser Test unterschiedlich aussehen). Daraus resultiert ein verschleißbedingter Austausch in Abhängigkeit zur max. Anzahl an durchgeführten Tests entsprechend der Herstellerangaben.¹²⁷

5.3.8 Mechanische Schachtausrüstung

Grundsätzlich kann die Lebensdauer einer Aufzugsanlage nicht als unendlich angesetzt werden, dies wurde bereits zu Beginn dieser Arbeit dargestellt. Demnach ist es sinnvoll, die Lebenszyklusbetrachtung für Aufzüge und deren Komponenten auf 25 Jahre Nutzungszeit zu beschränken. Die mechanischen Komponenten der Schachtausrüstung, wie

- Hydraulische Dämpfer
- Öl- und Federpuffer
- Führungsschienen für Fahrkorb und Gegengewicht
- Befestigungselemente

sind in der Regel für diese Nutzungsdauern ausgelegt. Eine Abnutzung dieser Komponenten, die eine technische Funktionalität beeinträchtigen kann, ist innerhalb des genannten Zeitraumes in der Regel nicht der Fall.¹²⁸

¹²⁷ Vgl. Wittur: Herstellerangaben, Planungsunterlagen.

¹²⁸ Vgl. ThyssenKrupp: Herstellerangaben, Planungsunterlagen.

6 Entwicklung von Parametern und Kennzahlen

6.1 Vorbemerkung

Lebenszykluskosten von Aufzügen stehen, neben der eigentlichen Analyse aller Kostenelemente, in direkter Abhängigkeit zu wesentlichen Einflussfaktoren. Diese lassen sich als geleistete Förderleistung, Volumenbedarf im Gebäude zum Erreichen der gewünschten Förderleistungsstandards, technische Güte der Ausführung sowie als Qualitätsniveau des Fahrkomforts beschreiben. Um Lebenszykluskosten von Aufzügen unter Berücksichtigung dieser Faktoren vergleichen und bewerten zu können, muss eine Möglichkeit zur Beurteilung der Einflussfaktoren vorhanden sein, welche auf der Basis von definierten Parametern die Grundlage einer Betrachtung innerhalb eines Wertegerüsts bilden.

6.2 Kennzahlen der Lebenszykluskosten

Lebenszykluskosten lassen sich durch Aufsummieren aller Aus- und Einzahlungen, entsprechend der Kostenelementstruktur darstellen, die sich innerhalb des Betrachtungszeitraumes ergeben (siehe 1.2.1). Erst ein Bezug der errechneten Lebenszykluskosten auf eine funktionale Einheit erlaubt zum einen das interne Vergleichen von Kosten unterschiedlicher Ausführungsvarianten. Zum anderen ermöglicht dies, ein identisches Verfahren zur Ermittlung der Kosten vorausgesetzt, eine externe Betrachtung (Benchmarking) zu Referenzprojekten, da die Bezugsgröße dieselbe ist. Nachfolgend werden diejenigen Beziehungen zwischen Lebenszykluskosten und Funktionseinheiten dargestellt, die eine sinnvolle Kennzahl ergeben und als Planungsinstrument verwendet werden können. Bei der Kennwertfindung sind die Aspekte *leichte Interpretierbarkeit von allen Planungsbeteiligten, Handhabbarkeit, Bezug zum Gebäude / Vertikaltransport, Vergleichbarkeit unterschiedlicher Aufzugssysteme, Ableitung weiterer Kennzahlen sowie die Möglichkeit des internen und externen Vergleichens* zu fokussieren:

Die Auswertung stellt eine Zusammenfassung nach den genannten Kriterien dar, die auf der Basis einer Bewertungsmatrix analysiert wurde.

- Bezug zur Fläche (Lebenszykluskosten / m² Nettogrundfläche NGF). Der Bezug stellt eine Verbindung der Kosten des Personentransports zur Fläche (z. B. Miet-

fläche) dar und ist somit eine sehr einfache Kenngröße, die eine leichte Interpretationsmöglichkeit sowie eine Ableitbarkeit zu anderen Kennwerten bietet. Die Bezugsgröße, also die Funktionseinheit, bezieht sich auf das Gebäude, wodurch ein Vergleich unterschiedlicher Aufzugsysteme uneingeschränkt möglich ist. Die nutzbare Nettofläche ist aus der Sicht des späteren Gebäudebetreibers bzw. Nutzers sehr aussagekräftig. Jedoch bedeutet der Bezug zur Nettogrundfläche einen erhöhten Aufwand der Datenerhebung auf Grund der detaillierten und feingliedrigen Aufstellung der Daten, der zu einer frühen Projektphase geleistet werden sollte.

- Bezug zur Anzahl der Fahrgäste (Lebenszykluskosten / Passagier). Dieser Bezug von „Transportkosten“ zu Fahrgast erlaubt eine Betrachtungsweise, die zunächst unabhängig vom Gebäude ist. Die Ermittlung der Lebenszykluskosten basieren auf der zu Grunde gelegten Anzahl der im Gebäude befindlichen Personen pro Geschoss. Somit bietet diese Kennzahl sowohl einen einfachen, externen Vergleich (Benchmark) mit Gebäuden mit unterschiedlichen Nutzungsarten, als auch eine Möglichkeit, den zuvor beschriebenen Flächenbezug über den Ansatz „m² / Person“ als weitere Kennzahl abzuleiten. Die Kennzahl ist unabhängig vom Aufzugsystem.
- Bezug zur Fahrtenzahl (Lebenszykluskosten / Aufzugsfahrt). Das Verkehrsaufkommen wird direkt in der Anzahl der Fahrten ausgedrückt, was zum einen eine leichte Interpretation ermöglicht, zum anderen keine eingehenden Datenerhebungen benötigt (leichte Handhabung). Schwierig ist der Vergleich unterschiedlicher Mehrkabinensysteme wie TWIN[®] und Doppeldecker Systeme, da hier die Fahrtenzahl unterschiedlich definiert wird. Dies verhindert bzw. erschwert die Möglichkeit eines internen Rankings und Benchmarkings. Die Ableitung weiterer, aussagekräftiger Kennzahlen wird als wenig sinnvoll angesehen.
- Bezug zur Förderhöhe (Lebenszykluskosten / m). Die Kennzahl stellt den Zusammenhang zwischen Vertikaltransport und Gebäude her und ist somit von Fachplanern, Aufzugsherstellern, Architekten und Gebäudebetreiber interpretierbar. Der Vergleich von Aufzügen mit unterschiedlichen Förderhöhen ist sowohl in einem internen Ranking als auch als Benchmark sehr einfach machbar. Ebenfalls lassen sich Mehrkabinensysteme mit konventionellen Systemen vergleichen. Auch hier ist es möglich, weitere Kennzahlen ableiten zu können.

Der Bezug zur Traglast und Geschwindigkeit ist zwar für Fachplaner und Aufzugshersteller aussagekräftig, erscheint aber unter den oben genannten Aspekten wenig zweckmäßig.

Die Kennzahl der Lebenszykluskosten pro Fahrgast bietet nach Auswertung der fokussierten Aspekte die größten Potenziale und wird daher im weiteren Verlauf dieser Arbeit favorisiert.

6.3 Kennzahlen der Qualität

Die technische Qualität von Aufzugsanlagen wird innerhalb der Branche durch messbare Parameter (siehe auch 2.3.2) beschrieben. In Abhängigkeit zum Konstruktionsprinzip des Systems sind durch den Aufzugshersteller geeignete Maßnahmen zum Erreichen der gewünschten Mindestanforderungen und Qualitätsstandards notwendig. Entsprechend des gewünschten und zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer vertraglich vereinbarten Standards, garantiert der Hersteller und Lieferant die Erfüllung der Anforderungen.

Im Rahmen von Lebenszykluskosten ist dies ein wichtiger Aspekt, denn das Erreichen und Aufrechterhalten des Qualitätsstandards der Anlage über die gesamte Nutzungsdauer hinweg ist mit entsprechenden Aufwendungen im Herstellungsprozess und der Wartung verbunden. Bei einem Vergleich der Lebenszykluskosten ist demnach, neben der funktionellen und kaufmännischen Betrachtung, eine qualitative Bewertung notwendig. Diese Bewertung stellt eine Maßstäblichkeit zwischen unterschiedlichen Anbietern her und bietet Hilfestellung bei der Bieterauswahl während des Entscheidungsprozesses.

6.3.1 Definition von Qualitätsmerkmalen

Nach einer ausführlichen Analyse und Auswertung branchenspezifischer Kennwerte für Qualität werden nachfolgend zehn Parameter definiert, die im weiteren Verlauf zur Kennwertbildung herangezogen werden sollen.

6.3.1.1 Querbeschleunigungen im Fahrkorb

Querbeschleunigungen im Fahrkorb beschreiben den Fahrkomfort (Vibrieren) während des Durchfahrens des Aufzugsschachtes. Unebenheiten in der Fahrbahn sowie ein unruhiges Laufverhalten der Kabinen lassen sich durch horizontale „Stöße“

in Schachbreiten- und Tiefenrichtung (X- und Y- Richtung) feststellen. Ebenfalls wird das vertikale Schwingen, verursacht durch die Antriebseinheit und die Rotation der Umlenkrollen, durch Angabe der Beschleunigungen in Z-Richtung angegeben. Als Maßeinheit wird in der Regel Milli g (g = Erdbeschleunigung, 1g entspricht 9,80665 m/s²) verwendet.

Parameter	Sehr Gut Max. zulässiger Wert (milli g)	Gut Max. zulässiger Wert (milli g)	Ausreichend Max. zulässiger Wert (milli g)
X - Richtung	< 10	< 15	< 20
Y - Richtung	< 10	< 15	< 20
Z - Richtung	< 15	< 20	< 25

Tabelle 6.3.1.1 Gebräuchliche Grenzwerte für horizontale und vertikale Beschleunigungen im Fahrkorb (Eigene Darstellung)

6.3.1.2 Geräuschniveau

Das Konstruktionsprinzip sowie Art und Umfang der Isolationsmaßnahmen bestimmen das Geräuschniveau eines in Fahrt befindlichen Aufzuges. Neben der Laufruhe, wie zuvor beschrieben, ist die Wahrnehmung des Luftschalldruckpegels eines der wesentlichen Qualitätskriterien. Der maximal zulässige Luftschalldruckpegel beschreibt somit ein Qualitätsniveau an signifikanten Messpunkten einer Aufzugsanlage.

Hinweis: Die VDI Richtlinie 2566 regelt die maximal zulässigen Körper- und Luftschallpegel von Aufzugsanlagen. Die in der Tabelle aufgeführten Werte entsprechen den branchenüblichen Kenngrößen und repräsentieren somit den derzeitigen Stand der Technik.

Parameter	Sehr Gut Max. zulässiger Wert db(a)	Gut Max. zulässiger Wert db(a)	Ausreichend Max. zulässiger Wert db(a)
Im Fahrkorb (ca. 1m vor der Fahrkorbtür)	< 50	< 55	< 60
Vor der Schachttür (ca. 1m vor der Schachttür)	< 50	< 55	< 60
Im Schacht	< 60	< 65	< 70
Schachtgrube	< 70	< 75	< 80
Im Maschinenraum	< 75	< 80	< 85

Tabelle 6.3.1.2 Branchenübliche Grenzwerte für maximal zulässige Schalldruckpegel (Eigene Darstellung)

6.3.1.3 Systemverfügbarkeit

Unter dem Begriff der Systemverfügbarkeit wird der prozentuale Anteil des Zeitraums angegeben, in der die Aufzugsanlage zum Betrieb zur Verfügung stand. Eine statistische Auswertung der Daten von PC gestützten Überwachungssystemen, so genannten „Monitoring – Systemen“, liefern in aller Regel die dazu benötigten Daten. Bereits in der Planungs- und Ausschreibungsphase werden die minimalen Anforderungen an die Systemverfügbarkeit definiert, die während der Betriebsphase zu erfüllen sind. Je nach Wartungsintensität sowie Art und Umfang des Wartungsvertrags ergeben sich somit Zeiträume, in denen die Aufzüge gewartet werden. Zusätzliche Ausfälle der Anlage auf Grund von Fehlern, Störungen oder Defekten reduzieren darüber hinaus die Verfügbarkeit, wodurch auch diese Kenngröße als Maß für Qualität angesehen wird. Wesentlich für eine einheitliche Definition von Qualität ist demzufolge das frühzeitige Bestimmen der minimalen Systemverfügbarkeit. Dabei ist grundsätzlich auf einheitliche Definitionen und Datenerhebungen zu achten, auf die sich prozentuale Angaben beziehen sollen.

Parameter	Sehr Gut	Gut	Ausreichend
	Max. zulässiger Wert (%)	Max. zulässiger Wert (%)	Max. zulässiger Wert (%)
Verfügbarkeit	> 99	> 98	> 97

Tabelle 6.3.1.3 Einstufung der Systemverfügbarkeit (Eigene Darstellung)

6.3.1.4 Seileinfederung

Als weiteres Qualitätsmerkmal kann die so genannte Seileinfederung identifiziert werden. Damit wird die *elastische Dehnung* der Seile unter Belastung beschrieben, die, im Gegensatz zur *bleibenden Dehnung (Anfangsdehnung)* nach erstmaligem Belasten, reversibel ist. Entsprechend dieser Seileigenschaft (E-Modul) stellt sich je nach Beladungszustand des Aufzuges eine Dehnung ein, die vom Aufzugsnutzer als Einfederung beim Be- und Entladen wahrgenommen wird. Das Dehnungsverhalten der Seile drückt somit indirekt die Systemqualität aus, weshalb diese Kennzahlen in Ausschreibungen durch Fachingenieure regelmäßig als Qualitätsmerkmale vorgegeben bzw. abgefragt werden.¹²⁹ Nach eingehender Recherche und Auswertung über die allgemeinen Qualitätsvorstellungen kann die nachfolgende Tabelle abgeleitet werden, die eine Klassifizierung der Seileinfederung in Millimeter pro 100kg Beladung zulässt.

Parameter	Sehr Gut	Gut	Ausreichend
	Max. zulässiger Wert (mm / 100kg)	Max. zulässiger Wert (mm / 100kg)	Max. zulässiger Wert (mm / 100kg)
Seileinfederung	< 2	< 3	< 4

Tabelle 6.3.1.4 Grenzwerte und Klassifizierungen für Seileinfederungen, basierend auf Recherchen und Auswertung des Autors. (Eigene Darstellung)

6.3.1.5 Kennzahlen des Qualitätsniveau

Die zehn definierten Qualitätsmerkmale lassen sich über eine Bewertungsmatrix zu einem Faktor zusammenführen, der das Qualitätsniveau beschreibt. Durch eine Bewertung der jeweiligen Merkmale mit den Faktoren 0,1,2 oder 3 kann entsprechend der gewählten Abstufungen eine Wertigkeit ausgedrückt werden.

¹²⁹ Vgl.: Pfeifer Drako: Planungsunterlagen – Aufzugseile, Ausgabe 09/2009.

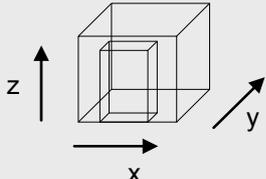
	Qualitätsmerkmal	IST	Bewertung				Gewichtung	
			Wert	10	15	20		20
<u>Beschleunigung (milli g)</u> 	x-Richtung	12	12,0	3	2	1	0	2
		Wert	10	15	20	20	1	
	y-Richtung	12	12,0	3	2	1	0	2
		Wert	15	20	25	25	1	
	z-Richtung	15	15,0	3	2	1	0	3
		Wert	50	55	60	60	1	
<u>Luftschall (dB(a))</u>	im Fahrkorb	50	50,0	3	2	1	0	3
		Wert	50	55	60	60	1	
	1m vor Schachttür	50	50,0	3	2	1	0	3
		Wert	60	65	70	70	1	
	im Schacht	60	60,0	3	2	1	0	3
		Wert	75	80	85	85	1	
	im Maschinenraum	80	80,0	3	2	1	0	2
		Wert	75	80	85	85	1	
	Schachtgrube	80	80,0	3	2	1	0	2
		Wert	99	98	97	97	1	
<u>Verfügbarkeit</u>								
	(%)	99,0	99,0	3	2	1	0	3
<u>Seileinfederung</u>								
	(mm/100kg)	2,0	2,0	3	2	1	0	3
Summe max 30 /							26	
Qualitätsniveau %							0,87	

Abb 6.3.1.5 Eigenentwickelte Bewertungsmatrix des Qualitätsniveaus (Bildquelle: Eigene Darstellung)

6.4 Kennzahlen der Förderleistung

Das allgemeine Verständnis der Wertigkeit von Förderleistungsergebnis liegt im internationalen Vergleich sehr dicht beieinander, so dass es nur geringe Unterschiede bei der Interpretation von Berechnungsergebnissen gibt (siehe 4.1.2B). Die einzelnen Kriterien, die eine Aussage über die Förderleistung erlauben, drücken dabei nicht das Niveau der Förderleistung in ihrer Gesamtheit aus. Zum Beispiel gilt eine Aufzugsanlage hinsichtlich ihrer Förderleistungsfähigkeit als „gut“, wenn sich die einzelnen Ergebnisse *durchschnittliche Warte-, Fahr- und Zielerreichzeit pro Passagier* bezogen auf eine bestimmte *Anzahl Personen (Ankunftsrate, HC₅)* innerhalb der gesetzten Grenzen bewegen. Eine Kennzahl, die all diese Kriterien zusammenfasst und dabei die relevanten Beziehungen zwischen den bekannten Größen berücksichtigt, soll den Grad der Förderleistung ausdrücken. Diese Kennzahl ermöglicht anschließend ein direktes Vergleichen unterschiedlicher Förderleistungs-

fähigkeiten. Dies erscheint notwendig, um eine objektive Lebenszyklusbetrachtungen durchführen zu können, denn ein Gebäude mit einer unzureichenden Anzahl an Aufzügen wird stets geringere Kosten für den Vertikaltransport aufweisen, als das gleiche Gebäude mit ausreichender Förderleistung auf Grund einer höheren Anzahl an Aufzügen.

Durchschnittliche Warte-, Fahr- und Zielerreichzeiten der Passagiere sind Ergebnisse von Verkehrsberechnungssimulationen, die sich auf Grund einer angenommenen Ankunftsrate (Anzahl Personen, die zu den Aufzügen kommen) ergeben. Mit steigender Personenzahl pro Zeiteinheit verändern sich auch die beschriebenen, zeitabhängigen Größen entsprechend. Das Verhältnis zwischen der Höhe der Ankunftsrate pro 5 Minuten (Anzahl Personen pro 5 Minuten) und des Zeitraumes, die das Aufzugssystem benötigt, die Passagiere innerhalb der zeitlichen Vorgaben an ihr Ziel zu bringen, ist ein Maß für das Niveau der Förderleistung. Dieses Niveau kann bei sehr guten Warte-, Fahr- und Zielerreichzeiten mit geringen Ankunftsraten durchaus gleichbedeutend mit geringen Zeiten bei hoher Ankunftsrate sein.

Die Zielerreichzeit ist die Summe aus Wartezeit und Fahrzeit der Personen. Je nach Charakteristik der Rufzuweisung durch die Aufzugssteuerung kann eine Optimierung hinsichtlich kurzer Wartezeiten oder kurzer Fahrzeiten erfolgen. Extreme Optimierungen in eine dieser Richtungen äußern sich dabei meist in einer Erhöhung der Zielerreichzeit, was wiederum einer Reduzierung der Förderleistungsfähigkeit gleichkommt. Die Warte-, Fahr- und Zielerreichzeit sind folglich Faktoren der persönlichen, subjektiven Wahrnehmung der Förderleistungsqualität, die in direkter Abhängigkeit zur Ankunftsrate (HC_5) stehen und nur unter ganzheitlicher Betrachtung ein Maß für Qualität ausdrücken.

6.4.1 Klassifizierung der Förderleistung

Anhand der international etablierten Qualitätsvorstellungen, die das Niveau der Förderleistung beschreiben, lassen sich die bekannten und zuvor beschriebenen Parameter von 0 – 100% bewerten. Dabei markiert 100% jeweils den Spitzenwert, 0% hingegen den Übergang zu nicht akzeptablen Werten. Führt man diese Bewertung jeweils für Warte-, Fahr- und Zielerreichzeit durch, lässt sich auf Grund der gleichen Maßstäblichkeit daraus ein Mittelwert bilden. Ebenfalls lässt sich dieses

Bewertungsschema auf die Ankunftsrate (Quantität) übertragen, was es ermöglicht, die Bewertung der Ankunftsrate sowie das gemittelte Ergebnis von Warte-, Fahr- und Zielerreichzeit in einem Faktor auszudrücken.

Förderleistungs- Qualität		Niveau der Förderleistung																
		100%	95%	90%	85%	80%	75%	70%	65%	60%	55%	50%	45%	40%	35%	30%	25%	20%
Premium	100%	53%	56%	59%	63%	66%	69%	72%	75%	78%	81%	84%	88%	91%	94%	97%	100%	100%
	95%	51%	54%	57%	60%	63%	66%	69%	73%	76%	79%	82%	85%	88%	91%	94%	98%	98%
A	90%	48%	51%	54%	58%	61%	64%	67%	70%	73%	76%	79%	83%	86%	89%	92%	95%	95%
	85%	46%	49%	52%	55%	58%	61%	64%	68%	71%	74%	77%	80%	83%	86%	89%	93%	93%
	80%	43%	46%	49%	53%	56%	59%	62%	65%	68%	71%	74%	78%	81%	84%	87%	90%	90%
	75%	41%	44%	47%	50%	53%	56%	59%	63%	66%	69%	72%	75%	78%	81%	84%	88%	88%
	70%	38%	41%	44%	48%	51%	54%	57%	60%	63%	66%	69%	73%	76%	79%	82%	85%	85%
	65%	36%	39%	42%	45%	48%	51%	54%	58%	61%	64%	67%	70%	73%	76%	79%	83%	83%
B	60%	33%	36%	39%	43%	46%	49%	52%	55%	58%	61%	64%	68%	71%	74%	77%	80%	80%
	55%	31%	34%	37%	40%	43%	46%	49%	53%	56%	59%	62%	65%	68%	71%	74%	78%	78%
	50%	28%	31%	34%	38%	41%	44%	47%	50%	53%	56%	59%	63%	66%	69%	72%	75%	75%
	45%	26%	29%	32%	35%	38%	41%	44%	48%	51%	54%	57%	60%	63%	66%	69%	73%	73%
	40%	23%	26%	29%	33%	36%	39%	42%	45%	48%	51%	54%	58%	61%	64%	67%	70%	70%
	35%	21%	24%	27%	30%	33%	36%	39%	43%	46%	49%	52%	55%	58%	61%	64%	68%	68%
C	30%	18%	21%	24%	28%	31%	34%	37%	40%	43%	46%	49%	53%	56%	59%	62%	65%	65%
	25%	16%	19%	22%	25%	28%	31%	34%	38%	41%	44%	47%	50%	53%	56%	59%	63%	63%
	20%	13%	16%	19%	23%	26%	29%	32%	35%	38%	41%	44%	48%	51%	54%	57%	60%	60%
	15%	11%	14%	17%	20%	23%	26%	29%	33%	36%	39%	42%	45%	48%	51%	54%	58%	58%
	10%	8%	11%	14%	18%	21%	24%	27%	30%	33%	36%	39%	43%	46%	49%	52%	55%	55%
	Förderleist. Quantität		6%	13%	19%	25%	31%	38%	44%	50%	56%	63%	69%	75%	81%	88%	94%	100%
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
		C _{HC}									B _{HC}		A _{HC}				Premium _{HC}	

Abb.6.4.1 Eigenentwickelte Kennzahlen zur Bewertung der Förderleistung von Bürogebäuden (Bildquelle: Eigenentwickelte Grafik auf der Basis von Microsoft EXCEL)

Bezogen auf die Kriterien von Bürogebäuden ergeben sich beispielhaft aus Abbildung 6.4.1 die Kennwerte, die als Faktor die Förderleistungsfähigkeit ausdrücken. Diese Methode kann ebenfalls auf die Kriterien von anderen Gebäudenutzungen angewendet werden. Um mit dem ermittelten Faktor eine Wertigkeit auszudrücken, erfolgt die Einstufung in die vier Klassifizierungen „Premium, A, B und C“. Diese Bezeichnungen lehnen sich dabei an gängige Klassifizierungsmodelle an und werden unter Punkt 6.6 näher erläutert.

6.5 Kennzahlen der Flächeneffizienz

Der übliche Ansatz zur Ermittlung der Flächeneffizienz ist das Gegenüberstellen von Nettofläche zur Brutto-Grundfläche (NF/ BGF, siehe auch 2.2.2.2). Um jedoch den Volumen- bzw. Flächenverbrauch des Erschließungskonzeptes im Verhältnis zum Gebäude spezifisch auf den Vertikaltransport auszudrücken zu können, muss eine neue sinnvolle Bezugsgröße hergestellt werden. Als Fläche und Rauminhalt, die für die Aufzugsanlagen aufgewendet werden müssen, zählen in diesem Kontext der Aufzugsschacht, die dazugehörigen Vorräume sowie der Maschinenraum, die im weiteren Verlauf als „Erschließung Aufzug“, bezeichnet werden. Die Ermittlung der Flächen und Rauminhalte erfolgt im Geltungsbereich der deutschen DIN-Normung nach DIN 277 (Grundflächen und Rauminhalte von Bauwerken im Hochbau), außerhalb nach landespezifischen Normen und Richtlinien. Diese gliedert die Flächen nach folgenden Begriffen:

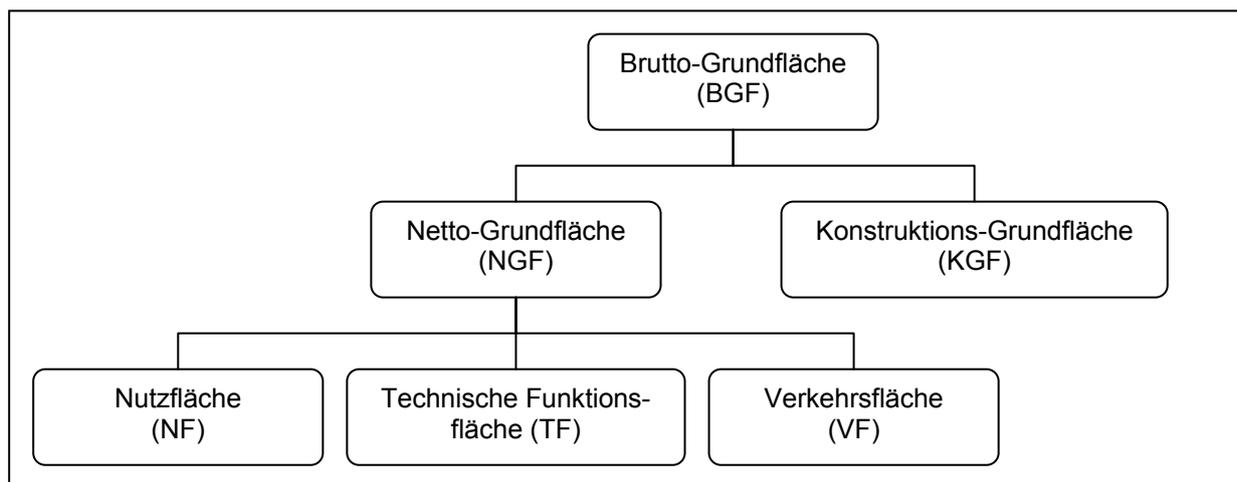


Abb. 6.5 Gliederung der Brutto – Grundfläche (BGF) nach DIN 277 (Bildquelle: Eigene Darstellung)

Die Flächen der vertikalen Erschließung durch Aufzugsanlagen finden sich in den Verkehrsflächen (VF), den technischen Funktionsflächen (TF) für die Maschinenräumen sowie den Konstruktions-Grundflächen (KGF) für Wandkonstruktionen wieder. Die Brutto-Rauminhalte (BRI) nach DIN 277 setzen sich aus Netto-Rauminhalt (NRI) und Konstruktions-Rauminhalt (KRI) zusammen.¹³⁰

Nachfolgend werden verschiedene Beziehungen dargestellt, die eine Möglichkeit einer Kennwertbildung als Benchmark für die Planung ergeben. Auch bei diesem Kennwert stehen die Aspekte *leichte Interpretierbarkeit von allen Planungs-*

¹³⁰ Vgl. DIN: DIN 277-1 Grundflächen und Rauminhalte von Bauwerken im Hochbau – Teil 1: Begriffe, Ermittlungsgrundlagen. Berlin. (2005).

beteiligten, angemessener Erhebungsaufwand und Verfügbarkeit notwendiger Daten, Bezug von Gebäude und Vertikaltransport, Vergleichbarkeit unterschiedlicher Erschließungskonzepte, Ableitung weiterer Kennzahlen sowie die Möglichkeit des internen und externen Vergleichens im Vordergrund. Die Auswertung stellt eine Zusammenfassung einer Analyse nach den genannten Kriterien dar:

- Bezug Fläche Erschließung Aufzug / BGF. Die Flächen für diesen Kennwert sind relativ leicht zu ermitteln, da die erforderlichen Daten (Flächenermittlung der Grundrisse) zum Zeitpunkt der Planung der Vertikalerschließung im Rahmen der Kostenschätzung des Gebäudes nach DIN 276 ermittelt worden sind.¹³¹ Die Verwendung der BGF kann ebenfalls zur Abschätzung der Personenzahl verwendet werden, die für die Dimensionierung der Aufzugsanlage relevant ist. Somit lässt sich durch Verwendung der BGF sehr gut ein Zusammenhang zwischen der Betrachtung der Flächeneffizienz und der Förderleistungsfähigkeit herstellen. Allen Planungsbeteiligten ermöglicht dieser Kennwert eine einfache, sichere Interpretationsmöglichkeit ohne eine Vermischung unklarer und wenig gebräuchlicher Begriffsdefinitionen. Ein weiterer Vorteil besteht darin, dass mit fortschreitender Planung und Entwurfsdetaillierung, Veränderungen im Grundriss häufig keine bzw. nur geringe Auswirkungen auf die Bruttofläche haben. Dies verlängert folglich die Gültigkeit des ermittelten Kennwertes über mehrere Entwurfsstadien hinweg. Veränderungen in der KGF werden durch den Bezug auf die BGF berücksichtigt.
- Bezug Fläche Erschließung Aufzug / NF. Wie der zuvor beschriebene Bezug auf die BGF bietet ebenfalls die NF eine sehr gute Möglichkeit, einen aussagefähigen Kennwert zu bilden. Da die NF von wesentlichem Interesse jeder Bauaktivität ist, ist jede Veränderung des Aufzugskonzeptes direkt im Kennwert ablesbar. Verfügt man über eine detaillierte Aufstellung und Gliederung aller Flächen (z. B. nach DIN 277) ist ein sehr differenziertes Ergebnis möglich. Auch bei dieser Form ist im Bedarfsfall ein Bezug zur Personenanzahl sehr leicht herstellbar. Eine Erhebung der notwendigen Daten ist jedoch erheblich aufwändiger und wirkt sich somit negativ auf die Handhabung und Anwendbarkeit aus. Ebenfalls wirken sich Veränderungen der NF bei voranschreitender Planung im Kennwert aus, was in der Folge das Benchmarking erschweren kann.

¹³¹ Vgl. DIN: DIN 276-1: Kosten im Bauwesen – Teil 1, Hochbau. Berlin. (2006).

- Bezug Volumen Erschließung Aufzug / BRI. Das Verhältnis von Erschließung Aufzug und Bruttorauminhalt bietet für einfache Gebäudekubaturen eine schnelle und sehr einfache Möglichkeit, eine Verhältniszahl als Kennwert zu erhalten. Für komplexe Formen eines Gebäudes ist dieser Bezug weniger sinnvoll, da meist ein unverhältnismäßig hoher Aufwand zur Datenerhebung notwendig ist. Da der ermittelte Kennwert ein externes Vergleichen mit Referenzobjekten zulässt, wird dieser Ansatz im weiteren Verlauf dieser Arbeit nicht weiter verfolgt.
- Bezug Volumen Erschließung Aufzug / NRI. Auch für dieses Verhältnis gelten im Wesentlichen die Vor- und Nachteile des zuvor genannten Kennwertes. Ebenfalls erscheint ein Benchmarking nur ershwert möglich zu sein, weshalb auch hier von einer Weiterverfolgung abgesehen wird.

Nach Auswertung aller Vor- und Nachteile wird der Bezug zur Brutto-Grundrissfläche für das weitere Vorgehen gewählt.

6.6 Zusammenfassung Kennwertbildung

Bereits mit dem architektonischen Entwurf werden die Grundzüge für den vertikalen Transport und somit für alle anfallenden Lebenszykluskosten weitestgehend umrissen und festgelegt. Eine Überprüfung des Entwurfs hinsichtlich der Lebenszykluskosten orientierten Planung mit Hilfe der zuvor beschriebenen Kennwerte ermöglicht die transparente Darstellung der Einflussfaktoren und zeigt die tendenzielle Ausprägung des Erschließungskonzeptes im Zusammenwirken mit dem geplanten Gebäude. Dies bedeutet, dass die Lebenszykluskosten für den vertikalen Transport von Personen durch das Bereitstellen entsprechender Infrastruktur im Gebäude entstehen. Die Förderleistungsfähigkeit von Aufzügen wird dabei durch die Faktoren Aufzugsanzahl, technische Ausprägung sowie Schacht- und Gruppenanordnung beeinflusst. Somit bestimmen diese Faktoren den Volumen- und Flächenverbrauch im Gebäude. Die technische Qualität spiegelt sich in den Investitionskosten wider und beeinflusst somit mehr oder weniger die Höhe der Betriebskosten. Die Planung eines Erschließungskonzeptes kann somit durch die Kennwerte

- Lebenszykluskosten pro Fahrgast (LCC/Passenger)
- Kennwert für Qualität (Quality Level)
- Förderleistungsfaktor (Elevator Service Factor (ESF))

- Flächeneffizienz Erschließung (Net – Gross Ratio Elevation (NGR_{elev}))

hinsichtlich der Lebenszyklus-Orientierung definiert werden. Für die internationale Anwendbarkeit sind die Kennwerte englischsprachig dargestellt.

Zum externen Vergleichen der Kennwerte *Qualität, Förderleistung und Flächeneffizienz* dienen die nachfolgenden Grenzwerte, die darüber hinaus eine qualitative Aussage zum jeweiligen Kennwert erlauben. Diese basieren auf einer Reihe umfangreicher, analytischer Auswertungen von Referenzobjekten für die Gebäudenutzungsarten Büro, Apartment und Hotel.

Office	NGR		Quality Level	ESF
	(< 20 levels)	(> 20 levels)		
Premium	> 0,95	> 0,85	1	> 0,98
A	0,9 to 0,95	0,8 to 0,85	> 0,67	0,73 to < 0,98
B	0,89 to 0,85	0,79 to 0,75	> 0,33	0,51 to < 0,73
C	< 0,89	< 0,79	< 0,33	< 0,51
Apartment	NGR		Quality Level	ESF
	(< 60 levels)			
Premium	> 0,97		1	> 0,98
A	0,95 to 0,97		> 0,67	0,73 to < 0,98
B	< 0,95 to 0,93		> 0,33	0,51 to < 0,73
C	< 0,95		< 0,33	< 0,51
Hotel	NGR		Quality Level	ESF
	(< 60 levels)			
Premium	> 0,95		1	> 0,98
A	0,9 to 0,95		> 0,67	0,79 to < 0,98
B	0,89 to 0,85		> 0,33	0,51 to < 0,79
C	< 0,89		< 0,33	< 0,51

Abb. 6.6 Eigenentwickelte Grenzwerte zur qualitativen Beurteilung der Kennwerte in Abhängigkeit zur Gebäudenutzung (Bildquelle: Eigene Darstellung)

Eine qualitative Abstufung der Grenzwerte wird in vier Kategorien vorgenommen, die mit den Begriffen *Premium, A, B* und *C* beschrieben werden. Sie erlauben eine einfache und hinreichend detaillierte Abstufung der Kennwerte. Die Namensgebung erfolgt dabei in Anlehnung an international gebräuchliche Begriffe, um eine leichte Interpretation und Wertvorstellung zu ermöglichen.

7 Entwicklung der Methode

Die Methode zur Bestimmung der Lebenszykluskosten von Aufzugsanlagen wurde bereits unter Kapitel 1.3 in ihrer Konzeption beschrieben sowie grafisch dargestellt. Nachfolgend soll der Ablauf und die Methodik der Durchführung detailliert erläutert werden. Dies hat zum Ziel, dass die jeweiligen Arbeitsschritte definiert und eindeutig beschrieben werden, um die Vorgehensweise für eine praxisnahe Anwendung reproduzierbar darzustellen.

7.1 Schritt 1: Datenerfassung

Basis für die Ermittlung von Lebenszykluskosten ist die Definition der Nutzungsintensität, die sich aus den Transportbedürfnissen der Nutzer sowie der Anordnung und Verwendung von Funktionseinheiten ergeben. Aufgrund ihrer Lage im Gebäude können die unterschiedlichen Raumnutzungen verschieden starke Transportaufkommen hervorrufen, was sich in unterschiedlich vielen Aufzugsfahrten widerspiegelt. Beispielsweise kann in einem Bürogebäude ein Restaurant im Erdgeschoss durchaus zu einem geringeren Transportbedarf führen, als eine Positionierung im obersten Geschoss, da eine erhöhte Konzentration auf zwei unterschiedliche Zielorte entsteht. Wird das Restaurant im Beispiel zusätzlich durch externe Personen besucht, entsteht ein zusätzlicher Bedarf an Förderkapazität. Bei der Planung des Erschließungskonzeptes gilt es also herauszufinden, wie viele Personen welche Geschosse zu welcher Zeit nutzen und erreichen wollen. Der architektonische Entwurf gibt in der Regel sehr leicht Aufschluss über die anzunehmenden Personenzahlen in den jeweiligen Geschossen. Meist basiert das Raumbuch/Raumkonzept auf einem vom Bauherrn spezifizierten Flächenbedarf. Darüber hinaus kann in Abhängigkeit zur Gebäudenutzung anhand der Nutzflächen oder aber auch der Raumanzahl die zu erwartende Personenzahl hinreichend genau ermittelt werden. Ist die maximal zu erwartende Personenzahl nun festgestellt, wird die effektive Personenzahl definiert, die auf Grund von Urlaub oder Krankheit geringer als die maximale Belegung ausfallen kann (Netto Personenbelegung). Ausführliche und detaillierte Hilfestellung zur Ermittlung der Personenbelegung gibt beispielsweise das bereits mehrfach genannte Standardwerk *CIBSE Guide D*.

Neben der Ermittlung der effektiven Personenzahl sowie der Nutzungsarten pro Geschoss sind die Gebäudedaten von wesentlicher Bedeutung. Es werden alle Informationen zusammengeführt, die den Erschließungskern hinsichtlich des Flächen- und Volumenverbrauchs beschreiben. Geschossabstände, Flächen und Volumina von Aufzugsschächten, Aufzugsvorräume (Lobby), Lage und Größe von Maschinen- und Technikräumen werden vorzugsweise anhand der DIN 277 - Grundflächen und Rauminhalte von Bauwerken im Hochbau - ermittelt. Dies ermöglicht eine eindeutige und nachvollziehbare Basis, der zu Grunde gelegten Dimensionen.

7.2 Schritt 2: Entwurf des Erschließungskonzepts

Die Planung des Erschließungskonzepts ist ein Prozess im Rahmen der Entwurfsphase des Gebäudes und wird bei größeren Bauvorhaben meist durch einen herstellerneutralen Fachplaner/Fachberater unterstützt. Die Vorgehensweise ist iterativ und erfolgt zunächst nach den Grundsätzen, wie sie unter 4.2 beschrieben wurden. Dies führt meist zu einer Auswahl möglicher Ausführungsvarianten, die den funktionalen und fördertechnischen Anforderungen entspricht.

7.3 Schritt 3: Auswahl der Aufzugssysteme

Parallel zu Schritt 2 erfolgt die Auswahl der technischen Systeme und deren Komponenten für das jeweilige Erschließungskonzept. Die technischen Charakteristika bedingen die Machbarkeit und Funktionstauglichkeit der gewählten Erschließungsstrategie. Im Zusammenwirken der Erschließungsstrategie (Schritt 2) und der gewählten Anzahl an Aufzügen an deren Systemtechnik (Schritt 3) wird der Standard der Förderleistung hinsichtlich der vom Fahrgast subjektiv empfundenen Qualität (Wartezeit, Zielerreichzeit,...) definiert. Die für die Förderleistungsqualität maßgeblichen Einflussgrößen hinsichtlich der technischen System- und Produkteigenschaften sind die folgenden Parameter:

- Anzahl der Aufzüge (Anzahl der Kabinen)
- Nenngeschwindigkeit und Beschleunigungsparameter
- Nenntragfähigkeit
- Türbreite, Türtyp und deren Geschwindigkeit

- Steuerungstechnologie und Algorithmus der „Ruf“- Verarbeitung
- Systemreaktionszeit (Zeitraum zwischen Schließen der Fahrkorbtür bis zum Einsetzen der Beschleunigung)
- Definition der Haupthaltestelle

Die Auswahl der Komponenten einer Aufzugsanlage definiert neben den Gesichtspunkten der Förderleistung die Höhe der für den Betrieb notwendigen Aufwendungen für Wartung, Energie und Reparatur (siehe 3.2). Zu diesen Betriebskosten zählen auch die Energiekosten, die sich aus den Energieverbrauchswerten der elektrischen Verbraucher wie Antriebs- und Steuerungskomponenten für das „Fahren“ sowie der „Systembereitschaft“ (Standby) zusammensetzen. Die wesentlichen Parameter, die eine theoretische Ermittlung des Energieverbrauchs hinreichend genau zulassen, sind nachfolgend aufgeführt.

- Übersetzungsverhältnis des Antriebes sowie Durchmesser der Treibscheibe
- Art der Seilauflhängung des Fahrkorbes (zum Beispiel 1:1 oder 2:1)
- Massenverhältnis von Fahrkorb zu Gegengewicht (Ausgleichsgewicht)
- Fahrkorbgewicht und Nenntagfähigkeit
- Massenträgheitsmomente der Antriebseinheit
- Wirkungsgrade der einzelnen Systemtechnologien und Komponenten
- Übergewichtskräfte im translatorischen System. Die statischen Übergewichtskräfte im translatorischen System werden durch die vorherrschenden Lastzustände, die Fahrtrichtung sowie den Standort des Fahrkorbes bestimmt.
- Generatorische Wirkleistung bei Vollast-Bremsfahrt (Mittelwert)
- Bemessungshubleistung (Mittelwert)
- Seilgewichtskraft von Trag- und Gewichtsausgleichsseilen
- Grundleistung der elektrischen Verbraucher (während der Betriebs)
- Grundleistung der elektrischen Verbraucher für die Systembereitschaft ¹³²

¹³² ThyssenKrupp: Herstellerangaben, Planungsunterlagen.

7.4 Schritt 4: Simulation

Alle gesammelten Daten werden im nachfolgenden Arbeitsschritt in eine Simulationssoftware für Verkehrsberechnungen übertragen. Im vorliegenden Kontext wird hierzu die Softwarelösung ELEVATE™ (Peters-Research / U.K.) verwendet, an der beispielhaft die Methodik und Vorgehensweise beschrieben werden soll.

ELEVATE™ strukturiert die Dateneingabe nach den folgenden Inhalten:

- *Job Data*: Eingabemöglichkeit von Projektnamen, Titeln und weiterführenden Job-Informationen zur leichteren Identifikation und Verwaltung der Datensätze.
- *Analysis Data*: Nach der Auswahl des Simulationsmodus besteht für den Anwender hier die Möglichkeit, zwischen unterschiedlichen Algorithmen der Rufverarbeitung von Aufzugssteuerungen auszuwählen. Durch die Auswahl des Algorithmus erfolgt automatisch die Zuordnung des Steuerungstyps, wie beispielsweise eine Zielwahlsteuerung oder eine konventionelle Gruppen-Sammelsteuerung. Ebenfalls kann hier auf die Arbeitsweise des „Zufallgenerators“ Einfluss genommen werden. Dieser lässt den Personenverkehr im Gebäude nach dem Zufallsprinzip „erzeugen“. Dabei verwendet ELEVATE™ einen so genannten „Pseudo-Random-Generator“ bei dem vordefinierte Zahlenreihen die Basis für einen zufällig erzeugten Personenverkehr bilden.
- *Building Data*: Eingabe der Gebäudeinformationen wie Geschossbezeichnungen und Geschossabstände.
- *Elevator Data*: Hier erfolgt die Eingabe aller technischen Merkmale der zu überprüfenden Aufzugsanlagen, entsprechend des gewählten Erschließungskonzeptes. Da die Eingabe individuell für die einzelne Aufzugsanlage durchgeführt wird, ermöglicht dies eine flexible Abbildung verschiedener Aufzugssysteme innerhalb einer Aufzugsgruppe.
- *Passenger Data*: Der für Verkehrsberechnungssimulationen wesentliche Teil ist die Darstellung des Verkehrsflusses im Gebäude. Aufbauend auf den bereits zuvor eingegebenen Gebäudeinformationen ermöglicht ELEVATE™ an dieser Stelle die Eingabe der zukünftigen, effektiven Gebäudebelegungen (Personen pro Geschoss) die zur Simulation verwendet werden sollen. Darüber hinaus lassen sich die Dauern für Be- und Entladevorgänge der Kabine, das durchschnittliche Personengewicht, der maximal gewünschte Kabinenfüllgrad oder auch ein so ge-

nannter Treppenfaktor darstellen, der beschreiben soll, wie viel Prozent der Personen im Gebäude die Treppen verwenden. Wesentlich für die Lebenszyklusbetrachtung ist die Eingabe des Profils des Verkehrsstroms, die ebenfalls hier als wesentlicher Teil der Verkehrsberechnung erfolgt. Durch Verwendung unterschiedlicher Profile kann der Verkehrsfluss anhand der Intensität und Dauer dargestellt und modelliert werden.

7.5 Schritt 5: Auswertung der Simulation

Neben der eigentlichen Verwendung als Werkzeug zum Überprüfen einer Förderleistungsqualität einer Aufzugsanlage (Aufzugsgruppe) stehen nach abgeschlossener Simulation unterschiedliche Daten als Ergebnis zur Verfügung. So lässt sich, neben der Bewertung der Förderleistung zu definierten Verkehrsspitzenzeiten, die Nutzungsintensität der Aufzüge über die betrachtete Simulationsdauer ablesen. Die nachfolgende Grafik 7.5 zeigt beispielhaft für ein 8-geschossiges Gebäude die zurückgelegten Wegstrecken mit Start- und Zieltagen einer Aufzugsgruppe mit vier Aufzügen über eine Dauer von 15 Minuten. Dabei ist jeder Aufzug in einer unterschiedlichen Farbe dargestellt. Dem Anwender der Software stehen neben der Grafik auch die generierten Datensätze zur Verfügung, die eine Weiterverarbeitung ermöglichen.

Mit Hilfe des Fahrverlaufs lassen sich die folgenden Informationen gewinnen, die für eine weitere Betrachtung der Lebenszyklen notwendig sind:

- Motorstarts in Aufwärts- und Abwärtsrichtung je Aufzug
- Betriebsstunden der Anlage/Gruppe
- Einschaltdauer von elektrischen Komponenten
- Anzahl, wie viel Mal welche Haltestelle durch jeden einzelnen Aufzug angefahren wurde. Aus dieser Information lassen sich Türzyklen (Türzyklus = Tür auf und zu) sowie Tendenzen über stark frequentierte Haltestellen ableiten.
- Ebenfalls erhält der Anwender Daten über den Energieverbrauch, die auf der Basis der simulierten Fahrstrecke unter Berücksichtigung der individuellen Beladungszustände der einzelnen Aufzugskabinen ermittelt wurden.

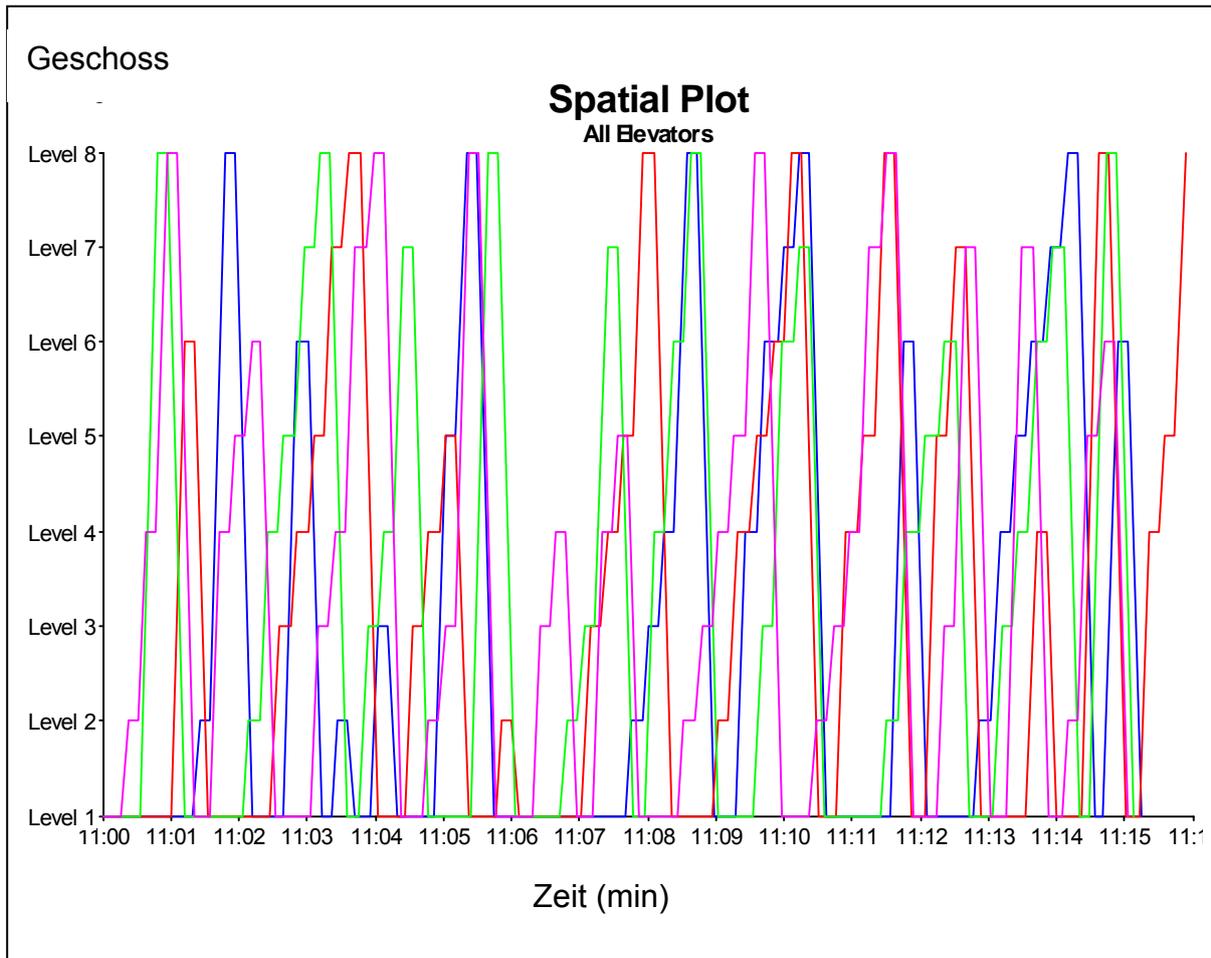


Abb. 7.5 Beispiel: Darstellung über den simulierten Fahrverlauf einer Aufzugsgruppe (Bildquelle: Peters Research)

Zweckmäßig für die Betrachtung von Lebenszyklen von Aufzügen ist eine Simulationsdauer von 24 Stunden. Die gewonnenen Daten bilden somit die Grundlage für die Ableitung eines Lastprofils der gesamten Aufzugsgruppe und lassen eine einfache Hochrechnung auf den gewünschten Betrachtungszeitraum zu. Eine Hochrechnung auf der Basis eines 24 Stundenprofils hat den weiteren Vorteil, dass unterschiedliche Lastprofile miteinander kombinierbar sind. Ein Beispiel dafür ist ein unterschiedliches Lastprofil eines Bürohausaufzuges an einem Wochen-, Sonn- oder Feiertag.

7.6 Schritt 6: Ermittlung der Lebensdauern der Aufzugskomponenten

Jede Aufzugskomponente verfügt zu Beginn des Nutzungszeitraumes über einen „Vorrat“ an Lebensdauer. Dieser Vorrat nimmt, wie es bereits unter 5.3 beschrieben wurde, beispielsweise durch mechanischen Verschleiß oder auch Alterungs-

prozesse, ab. Der Hersteller der einzelnen Komponenten kann in aller Regel die durchschnittlich zu erwartende Standfestigkeit in Form von Betriebsstunden, Arbeitszyklen oder den Zeitraum für Alterungsprozesse benennen. Mit Hilfe des Lastprofils der Simulation lassen sich nun die Zeiträume bestimmen, in denen eine Komponente bzw. einzelne Unterbaugruppen voraussichtlich erneuert und ausgetauscht werden müssen. Nachfolgend werden die Ansätze zur Ableitung der Standfestigkeit und die damit verbundene Häufigkeit des Austauschs der unter 5.3 definierten Aufzugskomponenten beschrieben.

Ansätze zum Ermitteln der Instandsetzungshäufigkeit (N) je Aufzug

Seile		$N_{specific} = \frac{T_{year} * LC}{LT_{reserve} (Fahrten)} - 1$
Seilaufhängungen		
Treibscheibe		
Seilrollen		
Führung	Rollenführung Gleitführung	$N_{specific} = \frac{h_{on_day} * D * LC}{LT_{reserve}(Einschaltdauer)} - 1$
Tür	Zugmittel Rollen Laufrollen Führungselemente Riegelmechanismus Schließkontakte Türantrieb	$N_{specific} = \frac{C_{door_day} * D * LC}{LT_{reserve}(Zyklen)} - 1$
Elektrik / Elektronik	Schütz, Relais, Schaltkontakt Bewegte Kabel	$N_{specific} = \frac{T_{year} * LC}{LT_{reserve} (Fahrten)} - 1$
	Leistungshalbleiter Leuchtmittel* und Anzeigen Lüftung / Klimatisierung Bedienelemente (Touch Screen)	$N_{specific} = \frac{h_{use} * D * LC}{LT_{reserve} (Stunden)} - 1$
	Bedienelemente (Taster)	$N_{specific} = \frac{T_{year} * LC}{L_{served}} - 1$
Frequenzumrichter		$N_{specific} = \frac{\frac{h_{use}}{24} * D * LC}{365} - 1$ <small>(Jahre)</small>
Antrieb	Bremsmechanik Lager Impulsgeber Wicklung	$N_{specific} = \frac{h_{on_day} * D * LC}{LT_{reserve}(Einschaltdauer)} - 1$
Sicherheitsbauteile	Geschwindigkeitsbegrenzer	$N_{specific} = \frac{h_{on_day} * D * LC}{LT_{reserve}(Einschaltdauer)} - 1$
	Fangvorrichtung	$N_{specific} = \frac{LC}{LT_{reserve} (AnzahlTest) * I_{safety}} - 1$
Mechan. Ausrüstung	Hydraulische Dämpfer Öl- und Federpuffer Führungsschienen Befestigungselemente	$N_{specific} = \frac{LC}{LT_{reserve} (Jahre)} - 1$

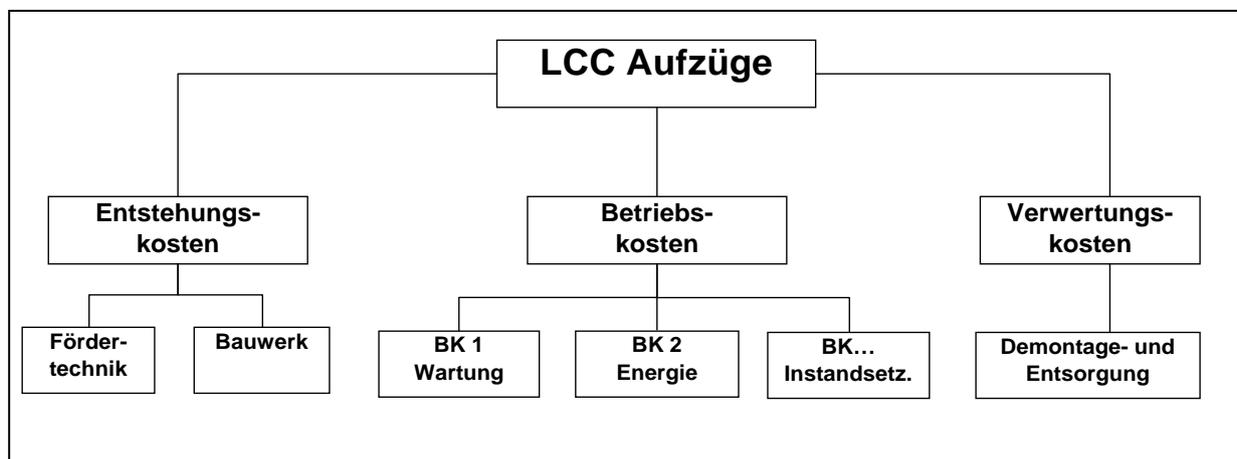
Legende

$N_{specific} < 0 =$ kein Austausch; $N_{specific} > 0 =$ gibt die Anzahl der benötigten Instandsetzungsmaßnahmen an (Aufrunden auf ganze Zahl)			
$N_{specific}$	Anzahl der Instandsetzungen	h_{on_day}	Einschaltdauer pro Tag
$LT_{reserve}$	Lebensdauer - Vorrat	T_{year}	Anzahl Fahrten pro Jahr
LC	Dauer der LC Betrachtung	C_{door_day}	Türzyklen pro Tag
D	Betriebstage pro Jahr	I_{safety}	Prüfungsintervall
h_{use}	Betriebsstunden pro Tag	L_{served}	Anzahl bediente Haltestellen
* Es wird davon ausgegangen, dass die Lebensdauer der Leuchtmittel durch häufiges Einschalten nicht beeinträchtigt wurde.			

Tab. 7.6 Eigenentwickelte Rechenansätze zur Ermittlung der Austauschhäufigkeit während des Lebenszyklus. (Eigene Darstellung)

7.7 Schritt 7: Kostenanalyse

Auf der Basis der zuvor ermittelten Lebensdauer der jeweiligen Komponenten erfolgt die Ermittlung der monetären Aufwendungen. Aus der Perspektive des Investors beziehungsweise des späteren Betreibers stellen sich diese Aufwendungen als Preise dar, die er mit dem beauftragten Wartungs-/Serviceunternehmen vereinbart hat und die sich wiederum aus Selbstkosten sowie Risiko- und Gewinnzuschlägen zusammensetzen. Je nach vertraglicher Gestaltung können Wartungsverträge alle oder auch nur einzelne Leistungen und Umfänge abdecken (siehe 2.4.2). Wesentlich für die Vergleichbarkeit der Lebenszykluskosten ist daher die vollständige und einheitliche Erfassung aller Kosten gemäß nachfolgend definierter Kostenelementstruktur.



Tab. 7.7 - A Definition der Kostenelementstruktur für Lebenszyklusorientierte Planungen in Anlehnung an VDMA 34160. (Eigenentwickeltes Schema)

- Investitionskosten (IC) werden aus den Bieterpreisen für Aufzugstechnik (IC1) sowie den Gewerken zum Erstellen der Aufzugsschächte und deren Vorräumen (IC2) gebildet. Während der Planungsphase können für die Aufzugstechnik bereits sehr detaillierte Budgetpreise von den Lieferanten und Herstellern herangezogen werden. Zum Erfassen der gebäudeseitigen Kosten, wie das Erstellen der Schacht und Aufzugsvorräume, sind Datenbanken und Indexes für Baukosten empfehlenswert, die eine für den Zweck hinreichend detaillierte Kostenschätzung zulassen.
- Betriebskosten (OC) werden differenziert in Wartungskosten (OC1), Instandsetzungskosten (OC2) sowie Energiekosten (OC3). Die Wartungskosten können sehr leicht anhand der Bieterpreise für die jeweiligen Wartungsverträge und deren

Leistungsumfänge sowie der Vertragsdauern ermittelt werden. Instandsetzungskosten (OC2) lassen sich hingegen nur annäherungsweise und mit erhöhtem Aufwand ermitteln, da der Zeitpunkt dieser Leistungen in der Zukunft liegt und die Kosten (Preise) zahlreichen Variablen unterliegen. Für einen Vergleich der Lebenszykluskosten unterschiedlicher Konzepte (technischen Systemen) ist es zum Ermitteln der Kosten für zukünftige Instandsetzungsarbeiten demnach unerlässlich, gleiche Annahmen hinsichtlich Preisänderungen (Preisänderungsfaktoren) anzusetzen. Ähnliches gilt für das Ermitteln der Energiekosten. Der über den zuvor beschriebenen Simulationsweg ermittelte Energiebedarf kann über den geltenden Tarif in Energiekosten umgerechnet werden, wobei hier eine realistische Größe (Preis pro kWh) angesetzt werden muss. Die Höhe des Tarifs ist meist abhängig vom jährlichen Gesamtbedarf des Gebäudes und ist daher sehr unterschiedlich. Ein weiteres Risiko einer Fehlinterpretation besteht darin, auf Grund der Prognose einer zukünftigen Energiepreisentwicklung zu einer stark abweichenden Kostenprognose zu gelangen, die eine reale und neutrale Lebenszykluskostenrechnung sehr leicht „verfälschen“ kann. Um so mehr ist daher auf eine einheitliche Datengrundlage zu achten.

- Verwertungskosten (EC) können in die Lebenszyklusbetrachtung mit aufgenommen werden, sofern sie realistisch ermittelt werden können. Da dies in aller Regel nicht gewährleistet ist, empfiehlt es sich, diese Position nicht zu berücksichtigen, um Fehlinterpretationen zu vermeiden (siehe auch 2.1.5.1).

Die definierten Kostenelemente (Code) können für den Geltungsbereich der DIN-Normen den jeweiligen Kostengruppen, wie in Tabelle 7.7 dargestellt, zugewiesen werden.

Die Analyse der Kostenelemente erfolgt, wie zuvor beschrieben, für das jeweilige Erschließungskonzept. Der Volumen- und Flächenverbrauch der unterschiedlichen Konzepte und Aufzugsstrategien muss insofern berücksichtigt werden, dass die beispielsweise nicht in Anspruch genommene, „frei gewordene“ Fläche innerhalb eines Konzeptvergleiches monetär bewertet wird. Unter der Voraussetzung, dass ein generierter Flächengewinn in „vermiet- oder verkaufbare“ Fläche umgewandelt werden kann, werden die somit „gewonnenen“ Mittel in der nachfolgenden Investitionskostenrechnung (Annuitätsmethode) gegengerechnet. Bei Vermietungen

bedeutet dies, dass diese als „jährliche Einzahlungen“ in die Kostenrechnung einfließen.

Code		DIN 276 Hochbaukosten	DIN 18960 Nutzungskosten
Investitionskosten (IC)			
Aufzug	IC 1	KG 460 (461)	
Gebäude	IC 2	KG 340 + 350	
Betriebskosten (OC)			
Wartung	OC 1		KG 350 (353) + 330 (334)
Energie	OC 2		KG 310 (316)
Instandsetzung	OC 3		KG 410 (416)
Verwertungskosten (EC)			
Demontage	EC	KG 490 (494)	

Tab. 7.7 – B Zuweisung des Codes zu den Kostengruppen der DIN 276 und DIN 18960

7.8 Schritt 8: Evaluation der Konzepte

Um unterschiedliche Erschließungskonzepte miteinander vergleichbar zu machen, wurden in Kapitel 6 Kennzahlen und Parameter entwickelt. Die Bewertung der Konzepte erfolgt nach den dort beschriebenen Kennwerten:

- Analyse und Bewertung der Lebenszykluskosten pro Fahrgast bzw. der Lebenszykluskosten im Konzeptvergleich.
- Analyse und Bewertung der Förderleistungsfähigkeit der unterschiedlichen Transportstrategien.
- Analyse und Bewertung des Qualitätsniveaus der zur Auswahl stehenden Systeme und Technologien.
- Analyse und Bewertung des Flächen- und Volumenverhältnisses von Erschließungsflächen zur Bruttogrundfläche.

8 Evaluation

Die Anwendbarkeit der Methode wird nachfolgend an einem Beispielobjekt evaluiert. Anhand eines Hochhausprojektes werden drei unterschiedliche Erschließungskonzepte mit Hilfe der entwickelten Methode hinsichtlich ihrer lebenszyklusorientierten Planungsansätzen analysiert und gegenüber gestellt.

8.1 Kurzbeschreibung des Beispielobjektes

Das Beispielprojekt befindet sich derzeit in der Planungsphase in einer europäischen Hauptstadt und wird aus Gründen der Anonymität im weiteren Verlauf nicht namentlich erwähnt.

Das Gebäude ist ein 51-geschossiger Büroturm, welcher sich mit einer Gesamthöhe von ca. 200m in 46 oberirdische und 5 unterirdische Geschosse aufteilt. Rund 4.500 Büroarbeitsplätze sind auf einer Bruttogrundfläche von ca. 72.000m² vorgesehen. Auf Grund der topographischen Beschaffenheit des Bauplatzes erfolgt der Zugang zum Gebäude über zwei Ebenen, die im Nachfolgenden als „Lobby 1“ und „Lobby 2“ bezeichnet werden. Der zentrale Gebäudekern umfasst neben den notwendigen Treppenhäusern, Sanitäreinrichtungen und haustechnischen Anlagen auch die Aufzugsanlagen. Das Erschließungskonzept sieht eine Nah- sowie eine Ferngruppe vor, was für diesen Gebäudetypus eine gebräuchliche Konzeption darstellt. Die Feuerwehraufzüge sind nicht für den Personentransport vorgesehen, da sie als Waren- und Serviceaufzüge genutzt werden. Der Personentransport selbst erfolgt ausschließlich über die beiden Aufzugsgruppen, die von der unteren Zugangsebene „Lobby 1“ bis zur „41. Etage“ führen, was eine maximale Förderhöhe von 166m bedeutet. Die Park- und Kellergeschosse werden über separate Parkhausaufzüge, beziehungsweise durch die Feuerwehraufzüge bedient. Im Rahmen der Zieldefinition der vorliegenden Arbeit wird im weiteren Verlauf lediglich das Erschließungskonzept hinsichtlich des Personentransports betrachtet.

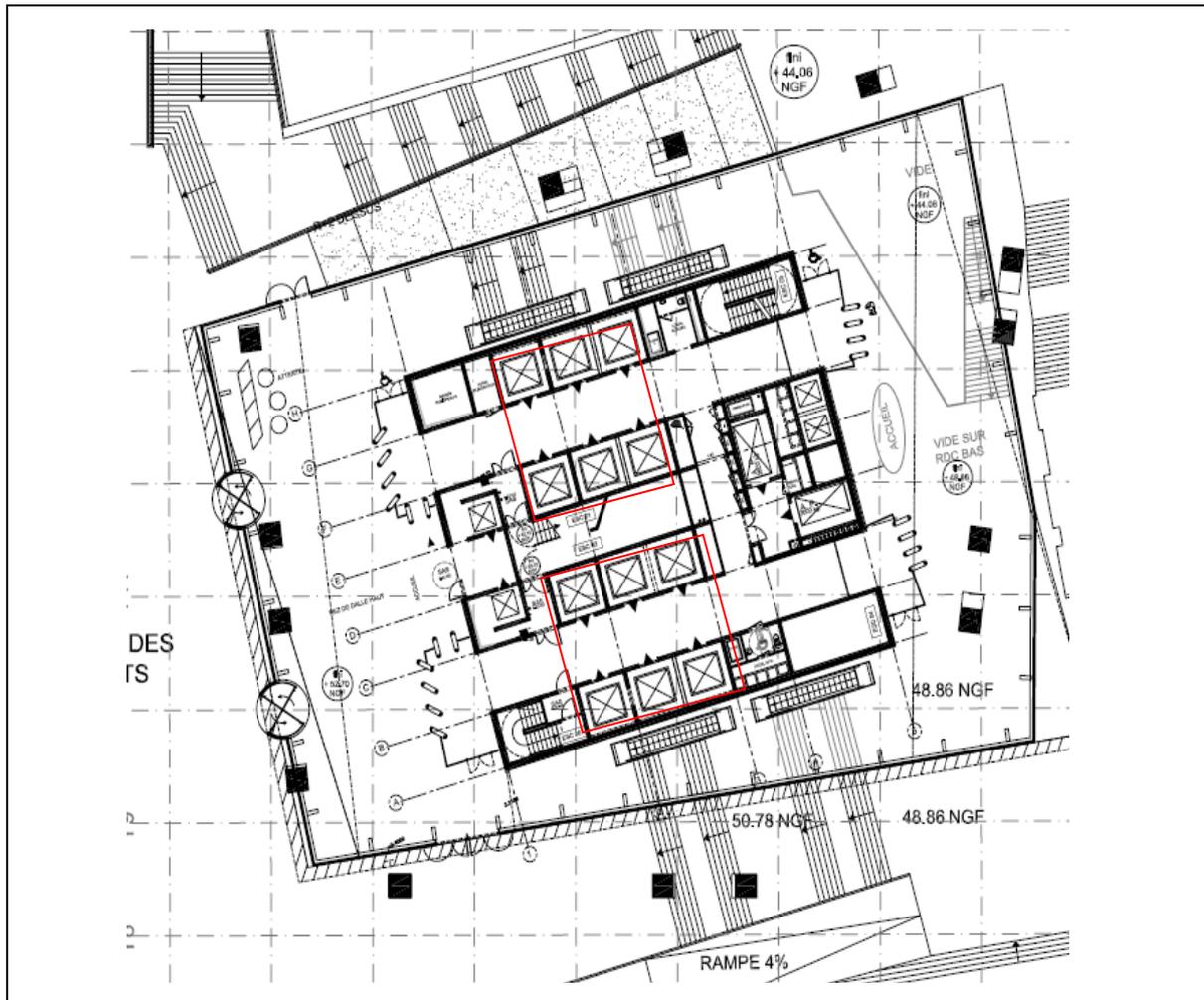


Abb.8.1 Grundriß (Lobby 2) des Beispielprojektes, an dem die Anwendbarkeit der Methode evaluiert wird. (Bildquelle:Arquitectonica, Projektunterlagen)

8.1.1 Konzept 1 mit konventioneller Aufzugstechnik

Das Konzept sieht eine Teilung in eine Nahgruppe sowie eine Ferngruppe mit jeweils 8 Aufzügen in 8 Schächten vor. Die Nahgruppe bedient dabei die Geschosse „Lobby 1“ bis zur „25. Etage“, die Ferngruppe von „Lobby 2“ bis zur „41. Etage“. Die Ferngruppe bedient keine Etagen im Bereich der Nahgruppe, lediglich aus Gründen der Funktionalität sind für diese Gruppe Transferhaltestellen in „Lobby 1“ sowie in der „25. Etage“ vorgesehen.

Die Nahgruppe besteht aus konventionellen Aufzügen mit 5,0m/s Geschwindigkeit und einer Tragfähigkeit von 1.800kg. Die Ferngruppe unterscheidet sich durch eine höhere Geschwindigkeit von 7,0m/s. Als Aufzugssteuerung ist für beide Gruppen eine Zielwahlsteuerung zur Erhöhung der Förderleistung vorgesehen. Die Antriebs-

und Steuerungseinheiten beider Gruppen können jeweils in einem Maschinenraum oberhalb des Fahrschachtes positioniert werden.

8.1.2 Konzept 2 mit TWIN® Systemen

Nah- und Ferngruppe bestehen bei diesem Erschließungskonzept aus jeweils 6 Aufzugsschächten, die aus einem konventionellen Aufzug sowie fünf TWIN® Aufzügen (mit jeweils zwei Kabinen in einem Schacht) bestehen. Gegenüber Konzept 1 wird die Anzahl der Schächte auf insgesamt 12 reduziert, was eine Einsparung von 4 Schächten bedeutet.

Die Gruppenaufteilung wird auch bei diesem Konzept beibehalten. Während Konzept 1 mit 16 Kabinen ausgestattet ist, sind es bei diesem Konzept 22 Kabinen in 12 Schächten. „Lobby 1“ und „Lobby 2“ dienen auch bei diesem Konzept als Zugangsetagen zu den Aufzügen. Die Tragfähigkeit wird auf 1.600kg je Kabine reduziert. Die Fahrgeschwindigkeit beträgt für die Aufzüge der Nahgruppe 4,0m/s, wobei die untere TWIN® Kabine über eine Geschwindigkeit von 2,5m/s verfügt. Die Ferngruppe umfasst ebenfalls Kabinen mit 1.600kg Tragfähigkeit, jedoch erreichen die oberen Kabinen sowie der konventionelle Aufzug dieser Gruppe eine Geschwindigkeit von 6,0m/s. Die unteren TWIN® Kabinen fahren maximal 5,0m/s. Die höheren Geschwindigkeiten der Ferngruppe bedürfen im vorliegenden Fall eines doppelstöckigen Maschinenraumes, um die Antriebstechnik sowie die Steuerungen aufnehmen zu können. Die Kombination aus TWIN® Systemen und einem konventionellen Aufzug je Gruppe ermöglicht durch die Verwendung einer Zielwahlsteuerung uneingeschränkte Funktionalität für die Nutzer. Personen die von der untersten Haltestelle bis in die oberste Haltestelle fahren wollen bekommen automatisch den konventionellen Aufzug zugeteilt.

8.1.3 Konzept 3 mit Doppeldecker Systemen

Das Doppeldeckerkonzept entspricht hinsichtlich der Gruppenanordnung und Aufteilung den zuvor beschriebenen Erschließungsstrategien. Es besteht, wie das Konzept 2, aus sechs Aufzügen je Gruppe. Durch die Doppelanordnung von zwei fest miteinander verbundenen Kabinen umfasst dieses Konzept 24 Einheiten. Bedingt durch diese Bauweise werden mit den beiden Kabinen entweder nur Haltestellen mit geraden bzw. ungeraden Geschossbezeichnungen angefahren. Dies be-

dingt weiter, dass diese Einschränkung der Funktionalität keine Kombination mit konventionellen Aufzügen zulässt. Hinzu kommt, dass die 26. Etage ebenfalls angefahren werden muss, um mit der unteren Kabine auch Fahrgäste für die 25. Etage zu bedienen. Die Tragfähigkeit beträgt für alle Kabinen 1.800kg mit einer Fahrgeschwindigkeit von 5,0m/s für die Kabinen der Nahgruppe und 7,0m/s für die der Ferngruppe. Zur Erhöhung der Förderleistung wird auch hier eine Zielwahlsteuerung verwendet. Die Maschinenräume der Ferngruppe müssen auch hier doppelstöckig vorgesehen werden.

8.1.4 Grafische Übersicht der drei Konzepte

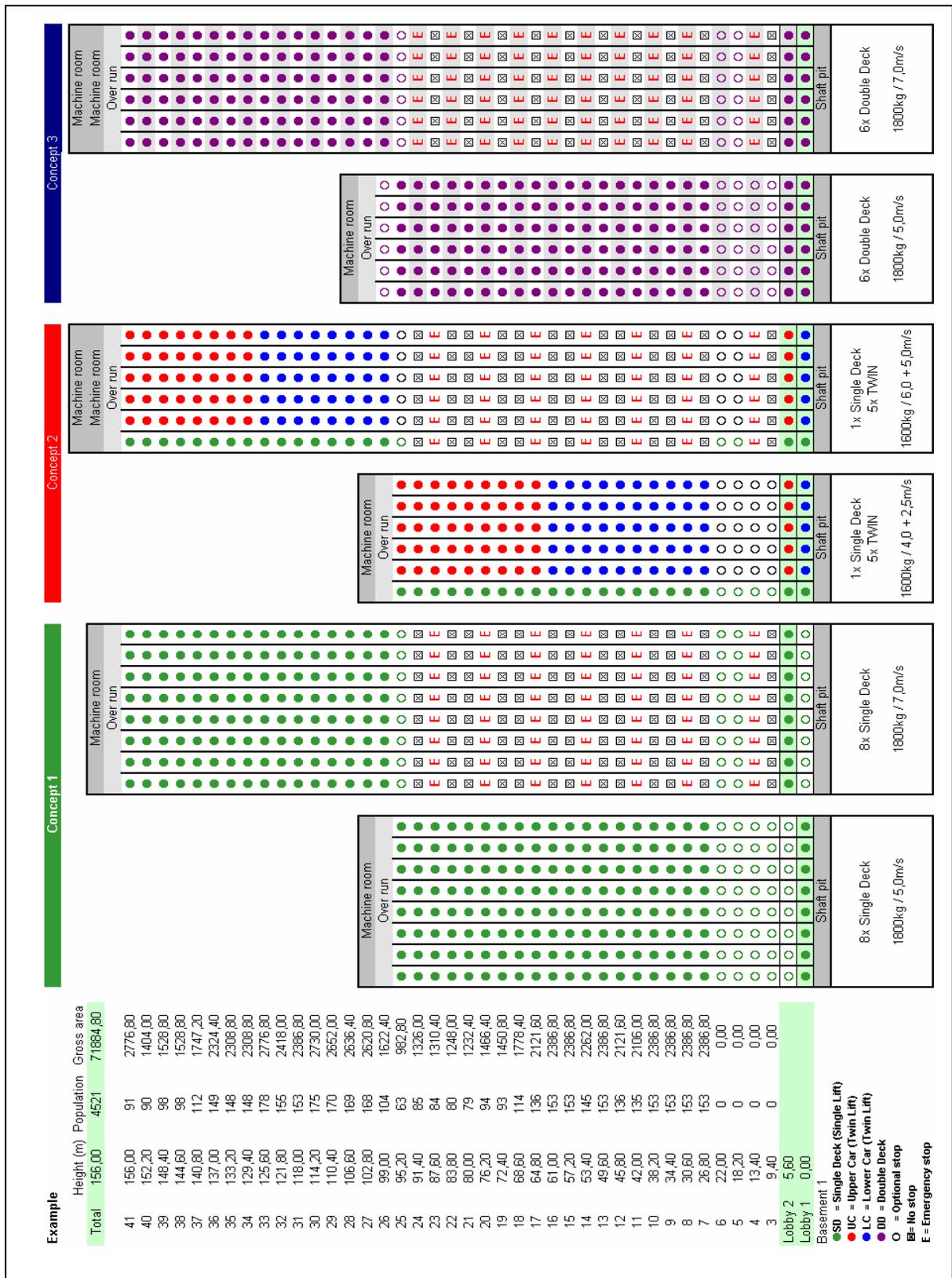


Abb. 8.1.4 Grafischer Überblick der Varianten des Konzeptvergleichs (Eigenentwickelte Grafik auf der Basis von Microsoft EXCEL)

8.2 Auswertung des Berechnungsbeispiels

Unter Berücksichtigung der unter Punkt 7 dargestellten Vorgehensweise erfolgt die Auswertung der drei unterschiedlichen Aufzugskonzepte.

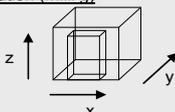
Parameters for annuity method				
LC Period (years)		20	Price alteration Capital	1%
Energy Costs (/kWh)		0,20	Price alteration Consumption	5%
Interest rate		5%	Price alteration Maintenance	1%
			Price alteration Earnings	1%
				Calculation according VDI 6025 (Annuity Method)
LC Input Data				
<u>Costs</u>		Concept 1	Concept 2	Concept 3
Initial Costs Elevator (IC1)		8.651.000,00	11.035.500,00	14.044.800,00
Initial Costs Shaft (IC2)		2.366.333,00	1.929.548,00	2.044.433,00
Maintenance (per year) (OC1)		228.000,00	259.000,00	352.000,00
Repair (total) (OC2)		0,00	0,00	0,00
Exploitation Costs (EC1)		0,00	0,00	0,00
<u>Energy Consumption per Year (OC3)</u>				
Elevator (per group)		337266 kWh	368974 kWh	566299 kWh
Shaft and MR Lighting (per group)		100 kWh	100 kWh	100 kWh
<u>Elevator Arrangement</u>				
Total Shaft Area		5437,12 m ²	4008,34 m ²	4389,84 m ²
Total Lobby Area		2332,00 m ²	2288,00 m ²	2464,00 m ²
<u>Number of Passenger</u>				
Number of Passengers		4521	4521	4521
Building Data				
Total gross Area (Gross area for all served floors)		Concept 1	Concept 2	Concept 3
		71884,80 m ²	71884,80 m ²	71884,80 m ²
Elevator Service Factor (ESF)				
Figure of Merit for Elevator Service ESF		Concept 1	Concept 2	Concept 3
		0,75	0,85	0,91
Performance + Quality Level				
<u>Acceleration (milli g)</u>		Concept 1	Concept 2	Concept 3
		> 6,0 - 8,0m/s ▾	> 6,0 - 8,0m/s ▾	> 6,0 - 8,0m/s ▾
x-direction		12,00	12,00	12,00
y-direction		12,00	12,00	12,00
z-direction		15,00	15,00	15,00
<u>Noise Level (dB(a))</u>				
Inside Car		50,00	50,00	50,00
In front of shaft door		50,00	50,00	50,00
Inside Shaft		60,00	60,00	60,00
Machine Room		80,00	80,00	80,00
Shaft Pit		80,00	80,00	80,00
<u>Reliability (%)</u>				
		99,00	99,00	99,00
<u>Compression (Rope extension) (mm/100kg)</u>				
		2,0	2,0	2,0

Abb. 8.2 Zusammenfassung der Varianten des Konzeptvergleichs (Bildquelle: Eigenentwickelte Softwareanwendung auf der Basis von Microsoft EXCEL)

Die Abbildung 8.2 fasst als Übersicht die Teilergebnisse der Lebenszyklusberechnung der einzelnen Konzepte zusammen (detaillierte Darstellung der Berechnungsergebnisse siehe Anhang). Dabei basieren alle Berechnungen auf den in der Abbildung genannten Angaben beziehungsweise den folgenden Annahmen und Grundsätzen:

- Es wurde ein Betrachtungszeitraum von 20 Jahren gewählt.
- Pro Jahr wurden 250 Betriebstage angesetzt, an 115 Tagen wurde die Anlage nicht genutzt, war jedoch angeschaltet.
- Zur Simulation der 250 Betriebstage wurde das Standard-Simulationsprofil „Siikonen Full Day Office 24h“ verwendet.
- Angaben zu Zinsen und Preissteigerungssätzen sind den Kapitalmärkten entnommen.
- Angaben zu Erstellungskosten des Bauwerkes sind aktuellen Baukostenindex entnommen.
- Angaben zu Herstell- und Montagekosten der Aufzüge, Wartung und Instandsetzungsarbeiten sind exemplarisch und basieren auf vertraulichen Lieferantangaben. Zur Wahrung der Interessen der Hersteller hinsichtlich Preisgestaltung wurde für den Kostenvergleich ein Vollwartungsvertrag vorausgesetzt. Angaben zu Lebensdauern von Komponenten können dennoch detailliert dargestellt werden.
- Es wurden keine Verwertungskosten oder kalkulatorische Restwerte berücksichtigt.

8.3 Kostenanalyse

Die Auswertung der Kosten ergibt im Variantenvergleich, unter Berücksichtigung der dynamischen Investitionskostenrechnung, eine Verteilung der Kosten entsprechend der nachfolgenden Grafik. Konzept 1 mit konventionellen Aufzügen ist mit Lebenszykluskosten von 24.684.608,- € über den Betrachtungszeitraum gegenüber Konzept 2 (mit TWIN[®] Aufzügen, 28.676.039,- €) um ca. 14% niedriger, gegenüber Konzept 3 (mit Doppeldecker, 36.911.634,-€) sogar um 33% geringer.

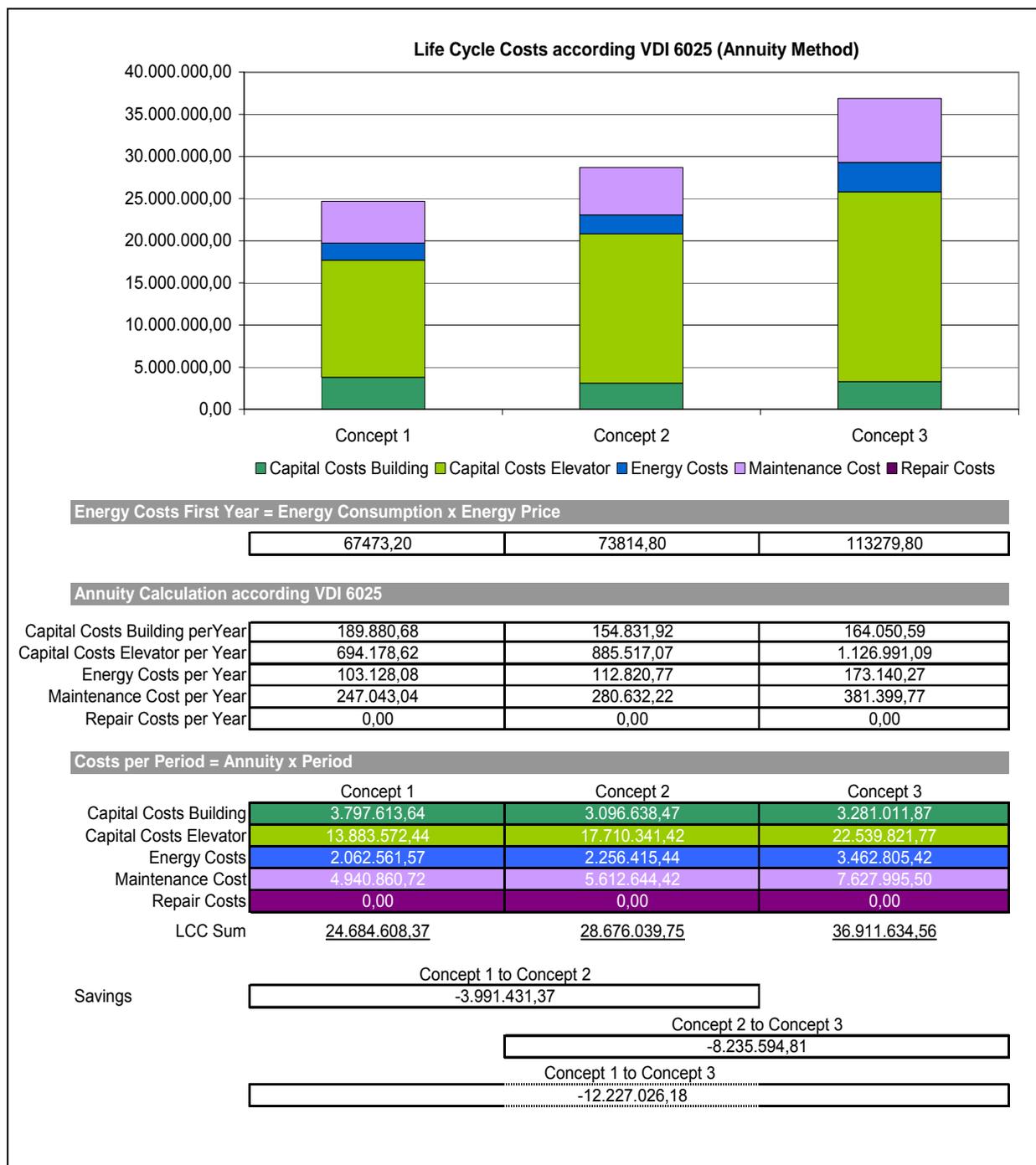


Abb. 8.3 A Zusammenfassung der reinen Lebenszykluskosten über den Betrachtungszeitraum ohne monetäre Bewertung der Volumen- und Flächeneinsparung. (Bildquelle: Eigenentwickelte Softwareanwendung auf der Basis von Microsoft EXCEL)

Der Kostenunterschied in der Summe zwischen Konzept 1 und Konzept 2 ist vergleichsweise gering, obwohl Konzept 2 mit 22 Kabinen deutlich mehr Kapazität bereit hält. Das Konzept 2 gleicht hier durch die geringeren Fahrgeschwindigkeiten und Tragfähigkeiten sowie Einsparungen in der Schachtkonstruktion diesen Kostennachteil annähernd aus. Auf Grund der Dimensionierung und Größe der benötigten Komponenten für Doppeldeckeraufzüge schneidet Konzept 3 hinsichtlich der reinen

Lebenszyklusbetrachtung am schlechtesten ab. Ebenfalls zeigt sich bei diesem Konzept, dass der Energiebedarf gegenüber Konzept 1 um ca. 40% sowie gegenüber Konzept 2 ca. 35% deutlich höher ausfällt. Die gleiche Tendenz zeigt auch der Vergleich der Wartungs- und Reparaturkosten. Hier treiben die Anzahl der Kabinen innerhalb des jeweiligen Konzeptes sowie die großen Dimensionen der Bauteile des Konzeptes 3 diese Kostenelemente in die Höhe. Auf Energie entfallen über den Betrachtungszeitraum ca. 8 – 10% der Lebenszykluskosten.

Bislang wurde lediglich eine kostenseitige Betrachtung der Aufwendungen durchgeführt. Einsparungen von Volumen- und Flächenverbräuchen der Erschließungskonzepte im Gebäude sind bis dahin nicht monetär in die Berechnung mit eingeflossen. Die nachfolgende Darstellung zeigt die Einsparungen der Flächen innerhalb der unterschiedlichen Erschließungskonzepte.

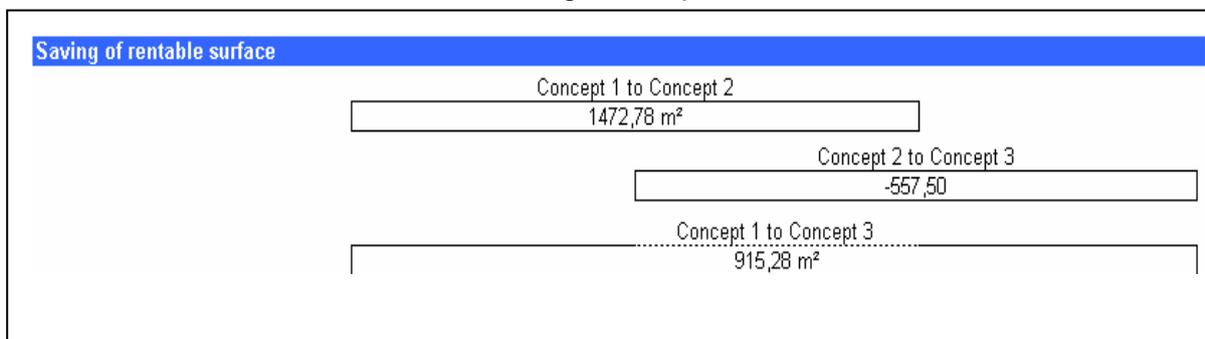


Abb. 8.3 B Gegenüberstellung der Flächeneinsparungen innerhalb der Konzepte (Bildquelle: Eigenentwickelte Softwareanwendung auf der Basis von Microsoft EXCEL)

Durch die Einsparung von jeweils 2 Schächten je Aufzugsgruppe inklusive ihrer Vorräume kann die benötigte Fläche im Gebäude bei Konzept 2 um 1472,78m² gegenüber Konzept 1 reduziert werden. Konzept 2 hat gegenüber Konzept 3 einen um 557,5m² geringeren Flächenbedarf, wobei dieses gegenüber dem ersten Konzept 915,28m² einspart.

Unter der Voraussetzung, dass der Flächenzuwachs durch die Einsparung von Schacht und Vorräumflächen zu ortsüblichen Mieten vermietet werden kann, ergeben sich je Konzept unterschiedliche Mieterträge. Bezogen auf das Konzept mit dem höchsten Flächenverbrauch können die zusätzlichen Mieteinnahmen in der Investitionskostenrechnung als jährliche „Einzahlungen“ berücksichtigt werden. Im Beispielobjekt wurde ein Mietpreis von 500 € /m² pro Jahr angesetzt, was einem durchschnittlichen Mietpreis für Büroflächen europäischer Großstädte entspricht (Bei ex-

klusiven innerstädtischen Lagen der Immobilien, insbesondere in wichtigen Metropolen Europas, kann dieser Mietpreis durchaus ein Vielfaches betragen.¹³³).

Berücksichtigt man die durch eine Einsparung generierten Einzahlungen in der Investitionskostenrechnung, so stellen sich die Lebenszykluskosten, wie in nachfolgender Grafik zu sehen, wie folgt dar:

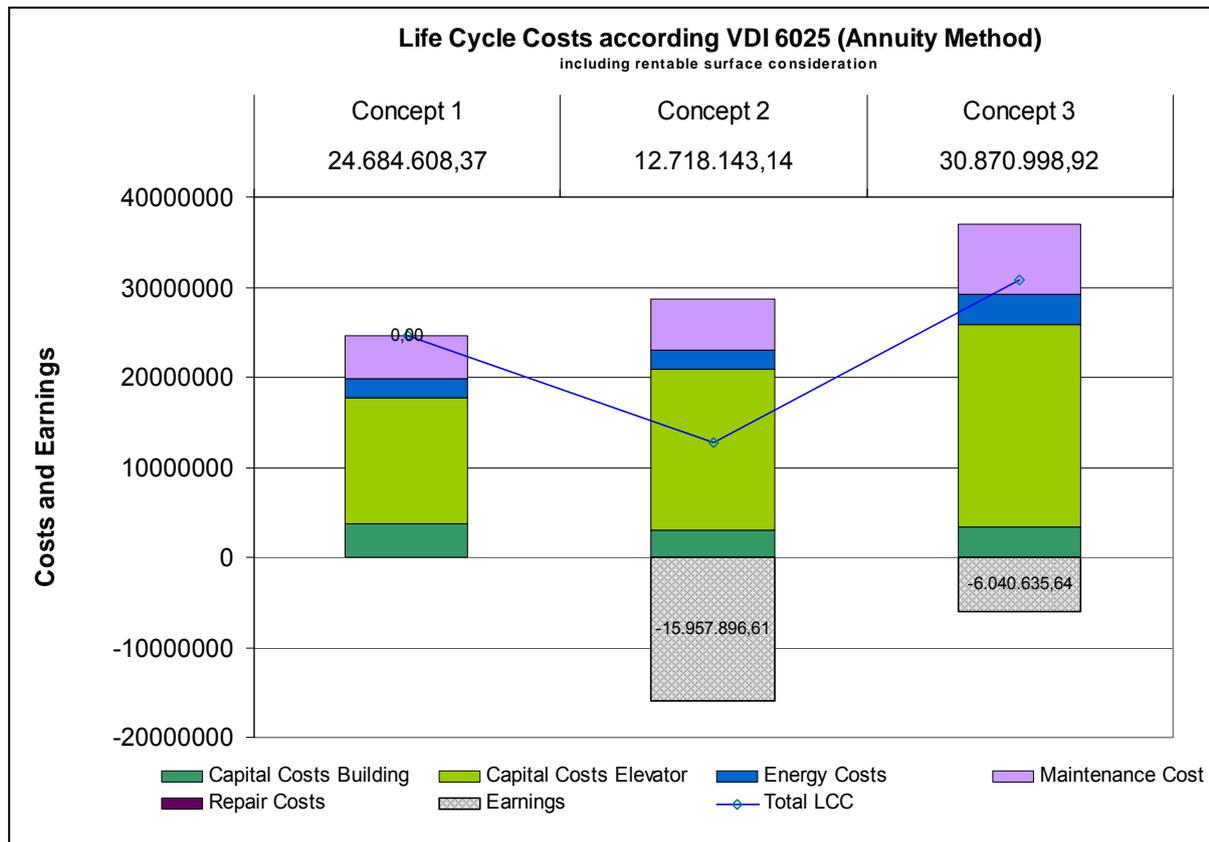


Abb. 8.3 C Lebenszykluskosten der unterschiedlichen Erschließungskonzepte unter Berücksichtigung der Einzahlungen durch zusätzlich generiert Mietfläche. (Bildquelle: Eigenentwickelte Softwareanwendung auf der Basis von Microsoft EXCEL)

Konzept 1 stellt durch den größten Flächenverbrauch die Referenzgröße im Vergleich der Erschließungsvarianten dar. Konzept 2 kann gegenüber Konzept 1 Gewinne/Einzahlungen in Höhe von 15,96 Millionen Euro über den Betrachtungszeitraum erzielen, Konzept 3 hingegen nur 6,04 Millionen Euro, da hier weniger Flächeneinsparung generiert werden konnte. Stellt man nun in einem weiteren Schritt alle Auszahlungen (Kosten) und Einzahlungen (zusätzlich generierte Mieteinnahmen) gegenüber, ergibt dies die absoluten Lebenszykluskosten. Diese werden auch im Facility Management als *Lebenszykluskosten im erweiterten Sinne* beziehungsweise

¹³³ Vgl. Colliers International: Global Office Real Estate. (2010).

Lebenszyklus-Erfolg bezeichnet.¹³⁴ Im Vergleich der drei Konzepte ergibt dies für Konzept 2 die geringsten Lebenszykluskosten mit einem Betrag von 12,72 Millionen Euro.

Die Amortisationszeit der Erschließungskonzepte ist in Abbildung 8.3 D dargestellt. Ausgehend von der jeweiligen Investitionssumme (IC) wird der Kostenverlauf der jährlichen Betriebskosten (OC) über den Betrachtungszeitraum aufgezeigt, wobei die jährlichen, monetären Rückflüsse aus den Flächeneinsparungen berücksichtigt sind. Somit ergibt sich für Konzept 2, als kostengünstigste Variante eine Amortisationszeit von ca. 4,14 Jahren, bis die zusätzlichen Mieteinnahmen die höhere Anfangsinvestition ausgleichen. Konzept 3 zeigt durch die hohe Anfangsinvestition und den relativ hohen Aufwendungen für Wartung, Instandsetzung und Energie eine Amortisationszeit von 83,34 Jahren gegenüber Konzept 1. Durch die kompakteren Schachtabmessungen und den systembedingten, geringeren Aufwendungen in den Betriebskosten (OC) gegenüber Konzept 3, kann Konzept 2 einen deutlich positiveren Verlauf der Lebenszykluskosten aufzeigen.

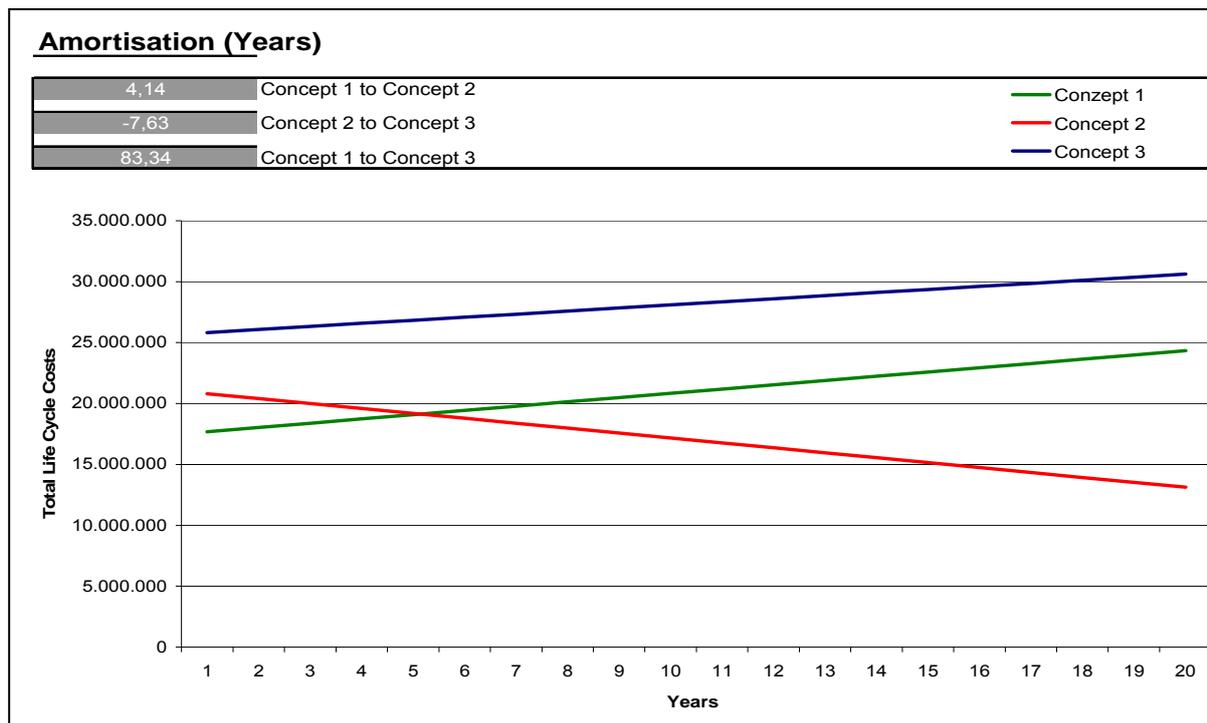


Abb. 8.3 D Amortisationsdauer der unterschiedlichen Erschließungskonzepte unter Berücksichtigung der relativen Mietzuwächse (Einzahlungen) im Vergleich der unterschiedlichen Ausführungsvarianten. (Bildquelle: Eigenentwickelte Softwareanwendung auf der Basis von Microsoft EXCEL)

¹³⁴ Vgl. GEFMA: GEFMA 220-1 – Lebenszykluskostenrechnung im FM. (2006).

Der Kostenverlauf von Konzept 2 charakterisiert sich in oben stehender Grafik in der Form, dass die aus der Flächeneinsparung generierte Mieteinnahme gegenüber der Ausführungsvariante mit dem größten Flächenverbrauch (Konzept 1) höher ist als die jährlichen Ausgaben für Betriebskosten (OC). Die Darstellung der Amortisationsdauer lässt den Schluss zu, dass Investitions- und Betriebskosten ein wesentlicher Bestandteil der Lebenszyklusbetrachtung sind, der Flächenverbrauch jedoch als maßgeblicher Faktor über Erfolg oder Misserfolg der Investition hinsichtlich einer lebenszykluskostenoptimierten Planung entscheiden kann. Die Kosten der Investition und des Betriebs stehen demnach in einem in der Planung zu optimierenden Verhältnis des Flächenverbrauchs.

8.4 Konzeptvergleich durch Kennwerte

Die unterschiedlichen Erschließungskonzepte des Beispielobjektes werden nachfolgend anhand der entwickelten Kennwerte ausgewertet. In einer Gegenüberstellung der Konzepte werden anschließend die einzelnen Kennwerte miteinander verglichen, um die unterschiedlichen Tendenzen und Optimierungsansätze herauszustellen.

8.4.1 Auswertung Konzept 1

Bezogen auf die der Nutzung zu Grunde gelegten Personenzahl ergeben sich für dieses Konzept Lebenszykluskosten pro Person in Höhe von 5.459,99 €/Passagier. Im Verhältnis zur kostengünstigsten Variante (Konzept 2) mit 2.813,13 €/Passagier ergibt dies eine relative Verhältniszahl von $LCC_{prop.} = 0,52$. Dabei entspricht $LCC_{prop.} = 1,00$ dem im Vergleich niedrigsten Kostenwert, der im Zuge dessen als Referenzwert gilt.

Die Bewertung der Förderleistungsfähigkeit anhand der Verkehrsberechnungssimulation ergibt einen aus der Nah- und Ferngruppe gemittelten Leistungsfaktor $ESF = 0,75$. Die Förderleistungsfähigkeit dieses Konzeptes lässt sich, anhand der unter 6.6 entwickelten Kategorien, mit „A“ bewerten, was einem guten internationalen Standard entspricht ($A = 0,73 - 0,98$).

Die dem Beispiel zu Grunde gelegte Systemtechnik und deren technisch messbare Wertigkeit ergeben ein Qualitätsniveau, welches anhand der Bewertungskriterien

unter Punkt 6.3 eine Kennzahl von 0,87 ergibt. Das Qualitätsniveau der in diesem Konzept gewählten Systemtechnik lässt sich somit ebenfalls in die Kategorie „A“ einstuft.

Die Analyse der Flächeninhalte ergibt für das Konzept 1 ein Verhältnis von Erschließungsfläche der Aufzüge zur Bruttogrundfläche von $NGR_{elev.} = 0,89$. Dieser Wert stellt einen Durchschnittswert über alle Geschosse dar, durch die die Aufzugschächte und Technikräume führen. Die unter 6.5 entwickelten Grenzwerte zur Beurteilung der Flächeneffizienz erlauben eine Klassifizierung des Konzeptes 1 in die Kategorie „Premium“, die hierfür eine Verhältniszahl von $NGR_{elev.} > 0,85$ für Gebäude diesen Typs vorsieht.

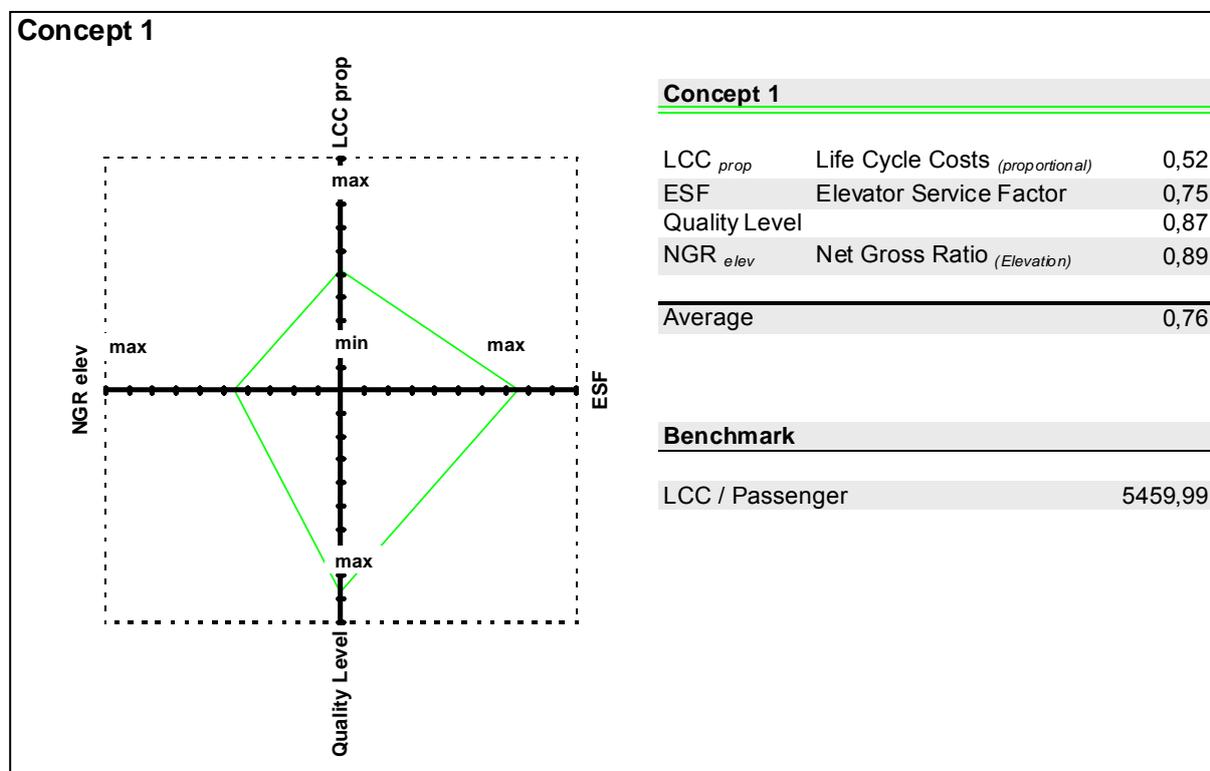


Abb. 8.4.1 Auswertung von Konzept 1 anhand der Kennwerte für lebenszyklusorientierte Planung. (Bildquelle: Eigenentwickelte Softwareanwendung auf der Basis von Microsoft EXCEL)

8.4.2 Auswertung Konzept 2

Bei identischer Personenzahl von 4.521 Personen im Gebäude (wie Konzept 1) ergibt sich für dieses Konzept ein Lebenszykluskostenkennwert von 2.813,13 €/Passagier. Es ist somit das kostengünstigste Erschließungskonzept unter Berücksichtigung des Lebenszykluserfolgs (gem. Definition GEFMA 220). Die

relative Verhältniszahl beträgt $LCC_{prop.} = 1,00$ und gilt als Referenzwert für den Vergleich der drei Konzepte.

Die simulierte Förderleistungsfähigkeit ergibt nach den Bewertungskriterien einen aus der Nah- und Ferngruppe gemittelten Leistungsfaktor $ESF = 0,85$. Zwar ist die Förderleistung deutlich höher als die des zuvor genannten Konzeptes, dennoch entspricht auch diese Ausführungsvariante der Kategorie „A“ nach den unter Punkt 6 entwickelten Grenzwerten.

Die dem Beispiel zu Grunde gelegte Systemtechnik und deren technisch messbare Wertigkeit ergibt auch für Konzept 2 ein Qualitätsniveau, welches anhand der Bewertungskriterien unter 6.3 eine Kennzahl von 0,87 ergibt. Das Qualitätsniveau der in diesem Konzept gewählten Systemtechnik entspricht der Kategorie „A“.

Nach Auswertung des Flächenbedarfs für das Konzept 2 ergibt sich ein Verhältnis von Erschließungsfläche der Aufzugsschächte und deren Vorräumen zur Bruttogrundfläche von $NGR_{elev.} = 0,91$. Dieser Wert stellt ebenfalls einen gemittelten Wert über alle Geschosse dar, durch die die Aufzugsschächte und Technikräume führen. Die unter 6.5 entwickelten Grenzwerte zur Beurteilung der Flächeneffizienz erlauben auch hier eine Klassifizierung des Konzeptes 2 in die Kategorie „Premium“, die hierfür eine Verhältniszahl von $NGR_{elev.} > 0,85$ für Gebäude diesen Typs vorsieht.

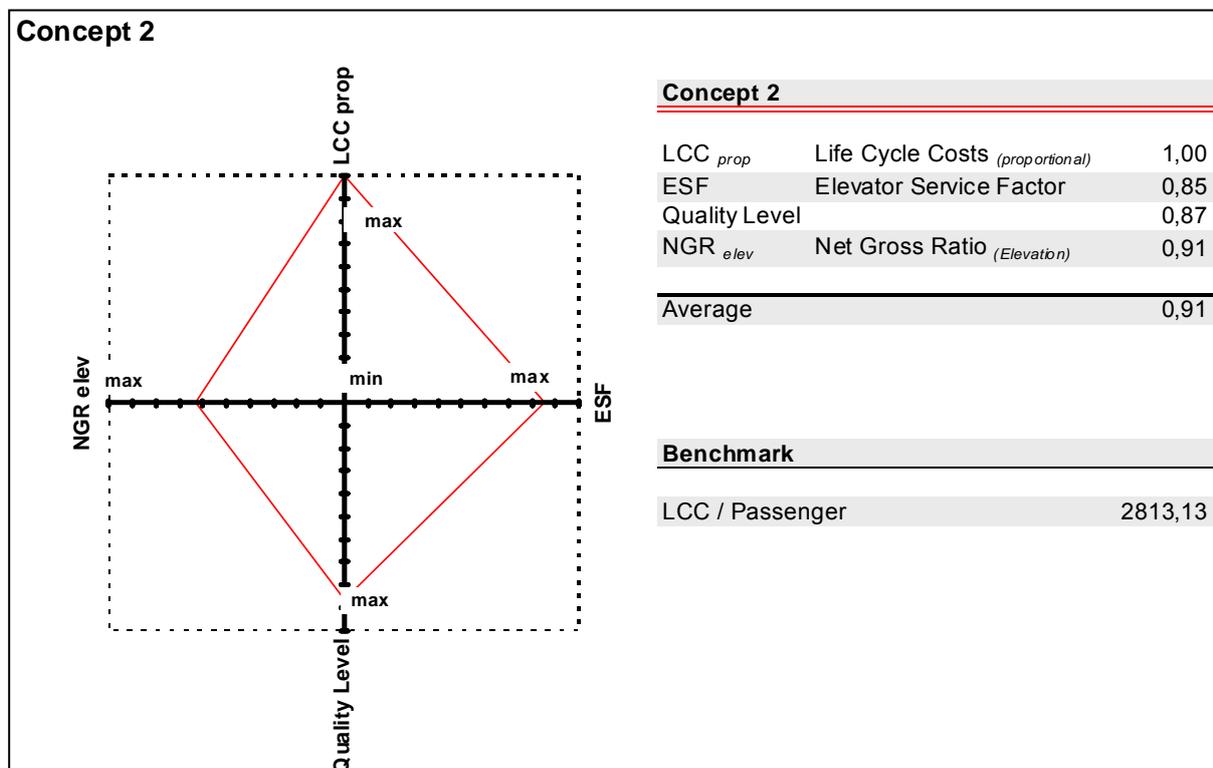


Abb.8.4.2 Auswertung von Konzept 2 anhand der Kennwerte für lebenszyklusorientierte Planung. (Bildquelle: Eigenentwickelte Softwareanwendung auf der Basis von Microsoft EXCEL)

8.4.3 Auswertung Konzept 3

Die Personenbelegung des Konzepts 3 entspricht mit 4.521 Personen einer identischen Nutzungsintensität wie sie bereits den zuvor beschriebenen Konzepten zu Grunde gelegt wurde. In Folge der hohen Lebenszykluskosten ergibt dies einen relativ hohen Kennwert von 6.828,36 €/Passagier. Im Verhältnis zu Konzept 2 mit 2.813,13 €/Passagier entspricht dies einem Verhältnis von $LCC_{prop.} = 0,41$ bezogen auf den Referenzwert $LCC_{prop.} = 1,00$ von Konzept 2.

Die Förderleistungsfähigkeit des Konzeptes 3 ist mit $ESF = 0,91$ die höchste im Vergleich, da dieses Konzept mit 24 Kabinen die größte Transportkapazität vorhält. Dennoch entspricht auch dieses Konzept der Kategorie „A“ gemäß der unter 6.6 entwickelten Grenzwerte ($A = 0,73 - 0,98$)

Das Qualitätsniveau sowie die technische Wertigkeit dieses Konzepts ist, unter Berücksichtigung der Bewertungskriterien von 6.3, mit den zuvor genannten Systemen annähernd identisch. Somit lässt sich auch dieses Konzept mit der Kennzahl von 0,87 qualifizieren und bewerten, was einer Einstufung in Kategorie „A“ entspricht.

Die Flächenanalyse ergibt für das Konzept 3 ein Flächenverhältnis von $NGR_{elev.} = 0,90$ und liegt somit zwischen Konzept 1 (0,89) und Konzept 2 (0,91). Auch hier wird der Durchschnittswert über alle Geschosse gebildet, durch die die Aufzugsschächte und Technikräume führen. Die unter 6.5 entwickelten Grenzwerte zur Beurteilung der Flächeneffizienz ergeben eine Klassifizierung in die Kategorie „Premium“, die hierfür eine Verhältniszahl von $NGR_{elev.} > 0,85$ für Gebäude diesen Typs vorsehen.

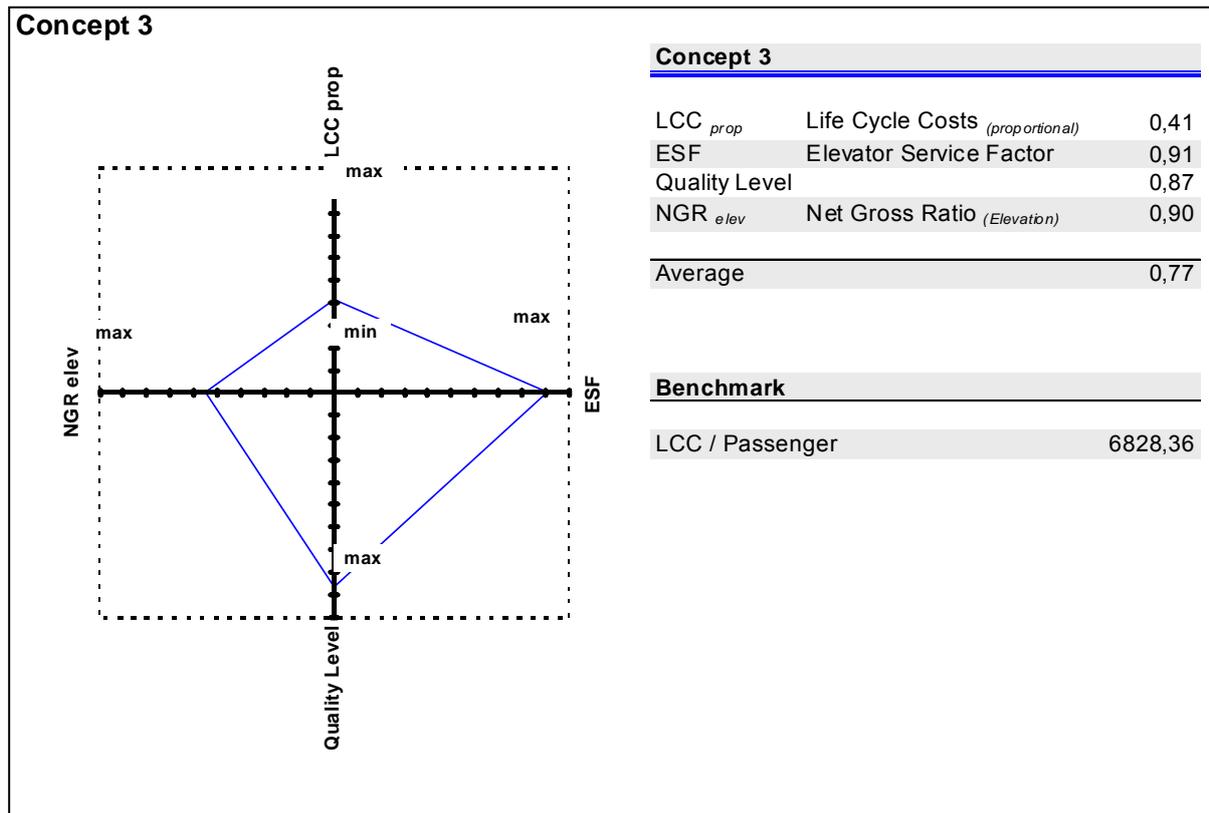


Abb. 8.4.3 Auswertung von Konzept 3 anhand der Kennwerte für lebenszyklusorientierte Planung. (Bildquelle: Eigenentwickelte Softwareanwendung auf der Basis von Microsoft EXCEL)

8.4.4 Gegenüberstellung und Zusammenfassung der Auswertung

Eine Gegenüberstellung der drei Konzepte zeigt die tendenzielle Ausrichtung sowie deren Optimierungsschwerpunkte hinsichtlich der vier Kennzahlen. Man erkennt in Abbildung 8.4.4 der Gegenüberstellung, dass sich die Einsparungen im Flächenbedarf bei Konzept 2 äußerst positiv auf die Summe der Lebenszykluskosten auswirken. Der anfängliche Mehraufwand der Investitionssumme gegenüber Konzept 1 in Höhe von 1,95 Mio. kann auf Grund der höheren Mieteinnahmen die Lebenszykluskosten nahezu halbieren. Die Flächeneinsparung von Konzept 3 kann diese positiven Effekte der höheren Mieteinnahmen nicht in geringere Lebenszykluskosten umsetzen, da die hohen Investitions- und Betriebskosten dem entgegen stehen. Konzept 3 (24 Kabinen) hat gegenüber Konzept 1 (16 Kabinen) acht Kabinen mehr zur Verfügung, dementsprechend ist dieses Verhältnis auch in der Bewertung der Förderleistungsfähigkeit sichtbar. Konzept 2 erreicht hier nicht die Förderleistungsfähigkeit von Konzept 3, da bei diesem Konzept zwei Kabinen weniger vorhanden sind (22 Kabinen) und darüber hinaus als kleinere und langsamer fahrende TWIN®

Aufzüge geplant sind. Dies bringt Konzept 2 jedoch wesentliche Vorteile in Punkto Betriebskosten.

		Elevator Service Classification for Office Building																	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
Service Level	Premium	0,53	0,56	0,59	0,63	0,66	0,69	0,72	0,75	0,78	0,81	0,84	0,88	0,91	0,94	0,97	1,00	1	
	A	95%	0,51	0,54	0,57	0,6	0,63	0,66	0,69	0,73	0,76	0,79	0,82	0,85	0,88	0,91	0,94	0,98	0,98
		90%	0,48	0,51	0,54	0,58	0,61	0,64	0,67	0,7	0,73	0,76	0,79	0,83	0,86	0,89	0,92	0,95	0,95
		85%	0,46	0,49	0,52	0,55	0,58	0,61	0,64	0,68	0,71	0,74	0,77	0,8	0,83	0,86	0,89	0,93	0,93
	B	80%	0,43	0,46	0,49	0,53	0,56	0,59	0,62	0,65	0,68	0,71	0,74	0,78	0,81	0,84	0,87	0,90	0,9
		75%	0,41	0,44	0,47	0,5	0,53	0,56	0,59	0,63	0,66	0,69	0,72	0,75	0,78	0,81	0,84	0,88	0,88
		70%	0,38	0,41	0,44	0,48	0,51	0,54	0,57	0,6	0,63	0,66	0,69	0,73	0,76	0,79	0,82	0,85	0,85
	C	65%	0,36	0,39	0,42	0,45	0,48	0,51	0,54	0,58	0,61	0,64	0,67	0,7	0,73	0,76	0,79	0,83	0,83
		60%	0,33	0,36	0,39	0,43	0,46	0,49	0,52	0,55	0,58	0,61	0,64	0,68	0,71	0,74	0,77	0,80	0,8
		55%	0,31	0,34	0,37	0,4	0,43	0,46	0,49	0,53	0,56	0,59	0,62	0,65	0,68	0,71	0,74	0,78	0,78
	50%	0,28	0,31	0,34	0,38	0,41	0,44	0,47	0,5	0,53	0,56	0,59	0,63	0,66	0,69	0,72	0,75	0,75	
	45%	0,26	0,29	0,32	0,35	0,38	0,41	0,44	0,48	0,51	0,54	0,57	0,6	0,63	0,66	0,69	0,73	0,73	
	40%	0,23	0,26	0,29	0,33	0,36	0,39	0,42	0,45	0,48	0,51	0,54	0,58	0,61	0,64	0,67	0,70	0,7	
	35%	0,21	0,24	0,27	0,3	0,33	0,36	0,39	0,43	0,46	0,49	0,52	0,55	0,58	0,61	0,64	0,68	0,68	
	30%	0,18	0,21	0,24	0,28	0,31	0,34	0,37	0,4	0,43	0,46	0,49	0,53	0,56	0,59	0,62	0,65	0,65	
	25%	0,16	0,19	0,22	0,25	0,28	0,31	0,34	0,38	0,41	0,44	0,47	0,5	0,53	0,56	0,59	0,63	0,63	
	20%	0,13	0,16	0,19	0,23	0,26	0,29	0,32	0,35	0,38	0,41	0,44	0,48	0,51	0,54	0,57	0,60	0,6	
	15%	0,11	0,14	0,17	0,2	0,23	0,26	0,29	0,33	0,36	0,39	0,42	0,45	0,48	0,51	0,54	0,58	0,58	
	10%	0,08	0,11	0,14	0,18	0,21	0,24	0,27	0,3	0,33	0,36	0,39	0,43	0,46	0,49	0,52	0,55	0,55	
		6%	13%	19%	25%	31%	38%	44%	50%	56%	63%	69%	75%	81%	88%	94%	1,00	100%	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
		C _{HC}										B _{HC}			A _{HC}				Premium _{HC}

Abb. 8.4.4 - A Einstufung der Förderleistung der drei Beispielkonzepte. Alle drei Konzepte lassen sich durch den Mittelwert in die Kategorie „A“ einstufen, wobei Konzept 1 im unteren und Konzept 3 im oberen Wertebereich einzustufen ist (Grün = Konzept 1, Rot = Konzept 2, Blau = Konzept 3. Alle hell grün hinterlegten Werte repräsentieren die Förderleistung innerhalb des internationalen Standards). (Bildquelle: Eigenentwickelte Softwareanwendung auf der Basis von Microsoft EXCEL)

Das Qualitätsniveau der Systeme ist bei allen drei Varianten als annähernd gleichwertig zu betrachten, sieht man von der unterschiedlichen Arbeitsweise und Verteilstrategie (Handhabung) von konventionellen Aufzügen, TWIN® oder Doppeldecker-

systemen ab. Qualität kann dabei auf verschiedenste Art und Weise definiert werden. Die Bewertungskriterien, die in diesem Kontext die Qualität definieren, beziehen sich auf Merkmale, die der Fahrgast anhand von technisch messbaren Parametern des Fahrkomforts ausmachen kann. Durch welche technische Lösung oder Konzeption dies gewährleistet wird, ist zunächst unabhängig, da diese herstellerspezifisch sehr unterschiedlich sind. Im Fallbeispiel werden unterschiedliche Aufzugssysteme eines Herstellers gegenübergestellt, die jedoch auf ähnlichen Konstruktionsprinzipien basieren.

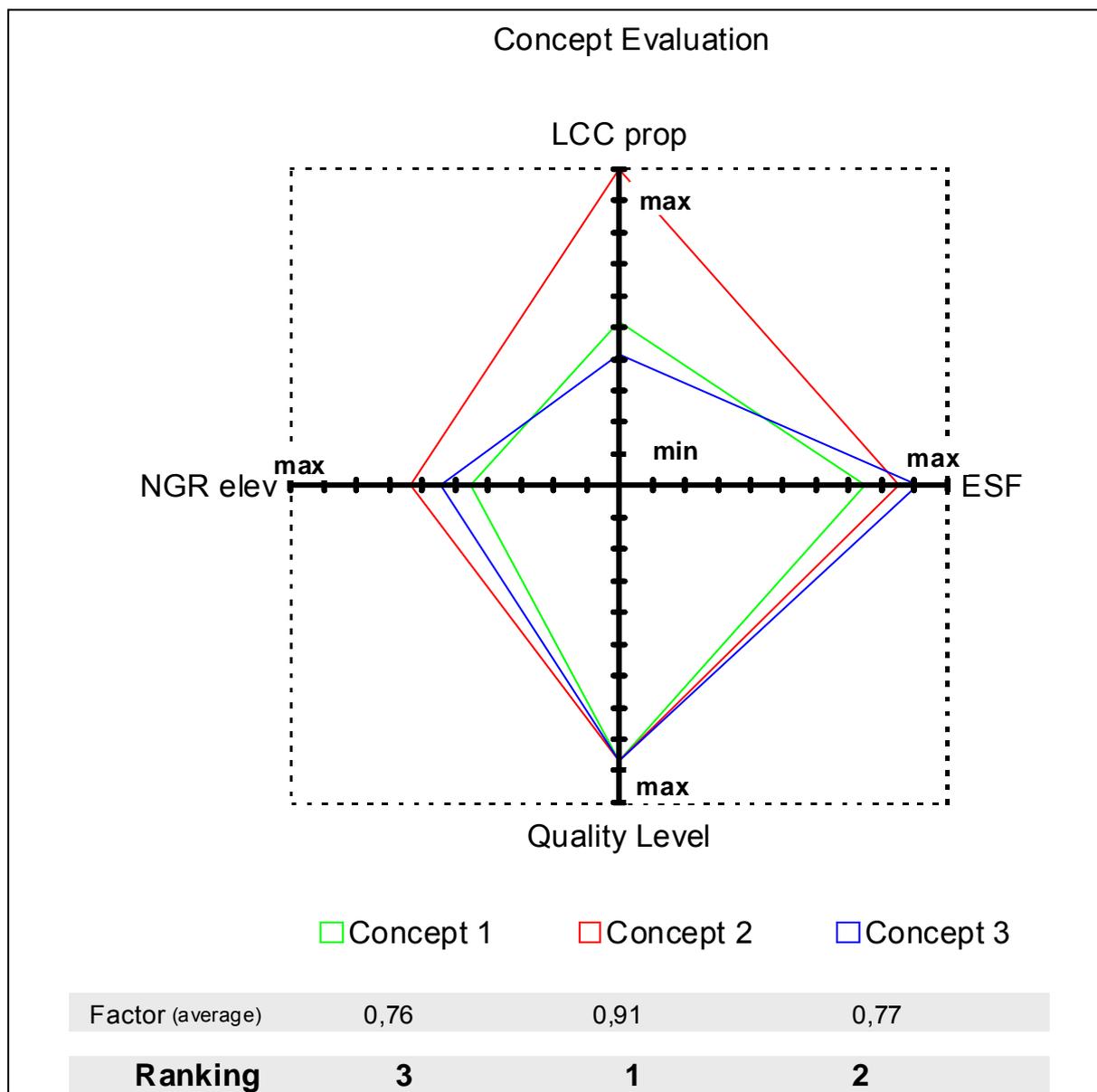


Abb. 8.4.4 - B Zusammenfassung und Gegenüberstellung der Erschließungskonzepte. (Bildquelle: Eigenentwickelte Softwareanwendung auf der Basis von Microsoft EXCEL)

8.5 Reflexion der Anwendbarkeit

Die Anwendbarkeit und Handhabung der Methode wird nachfolgend anhand der unter Kapitel 7 entwickelten Arbeitsschritte reflektiert.

- Schritt 1 + 2: Das Erfassen und Zusammenstellen der notwendigen Daten ist grundsätzlich keine schwierige Aufgabe. Alle Daten, wie sie für die entwickelte Methode benötigt werden, sind in aller Regel zum Bearbeitungszeitpunkt im ausreichenden Detaillierungsgrad vorhanden. Angaben zu Bruttogrundflächen (BGF), Nettogrundflächen (NGF) sowie Nutzungsarten sind bereits in den Vorentwurfsphasen ebenso vorhanden wie die voraussichtliche Personenzahl und Belegungsdichte, die entsprechend der Gebäudekonzeption definiert sind. Der Aufwand der Datenerhebung ist zweifelsohne nicht unerheblich, da die Herkunft der Daten mitunter von unterschiedlichen Planungsteams stammen können. Hinsichtlich der technischen Merkmale ist eine Abfrage der Daten bei den in Frage kommenden Herstellern und Lieferanten der Aufzugssysteme notwendig. Diese müssen die benötigten Daten der Lebenszyklusbetrachtung entsprechend der Konzeption der Erschließungskonzepte ermitteln, die durch den Planer/Fachingenieur für Aufzugsplanung entsprechend spezifiziert und qualifiziert werden. Der Anwender der Methode ist somit meist von der Zu-Arbeit der Daten weiterer Planungsteams abhängig, sofern die unterschiedlichen Disziplinen nicht in Personalunion erfüllt werden können, wie sie beispielsweise viele Aufzugshersteller als Serviceleistung anbieten.
- Schritt 3 + 4: Die Auswahl der Aufzugssysteme sowie die Spezifikation der Komponenten basiert auf der Analyse der Förderleistungsberechnung. Diese gibt Aufschluss darüber, welche Systeme in welcher Anordnung und technischer Ausprägung die Förderleistung sicherstellen. Diese Konzeption und Entwicklung von Lösungen ist zentrale Aufgabe des Fachplaners/Fachingenieurs. Wendet dieser im Rahmen seiner Beauftragung durch den Auftraggeber die Methode der Lebenszykluskostenbetrachtung an, verfügt er bereits über einen Großteil der benötigten Informationen. Der Architekt selbst ist meist nicht mit dem benötigten Detailwissen vertraut, um eine optimale Systemauswahl zu treffen oder die erforderlichen Förderleistungsberechnungen selbst durchführen zu können. Daher sind diese Arbeitsschritte für ihn nur in Kooperation mit Fachplanern zu leisten. Alternativ zum beratenden Ingenieur für Fördertechnik können die Systemaus-

wahl sowie die Förderleistungsberechnung auch direkt vom Aufzugshersteller erfolgen. Durch die naturgemäß vertieften Produktkenntnisse kann dieser die Systemauswahl optimal auf seine Produkte abstimmen, was in Hinblick auf die gewünschte Förderleistungsfähigkeit und Flächeneffizienz positive Auswirkungen haben kann.

Bei der Durchführung der Förderleistungsberechnung hat sich herausgestellt, dass selbst geringfügige Änderungen der Simulationseinstellungen innerhalb der verwendeten Software deutlich veränderte Ergebnisse im Nutzungsgrad ergeben. Folglich ist es ratsam, für die Durchführung der Berechnungen identische Simulationsverfahren zu verwenden, um eine möglichst objektive Darstellung zu erhalten. Es eignet sich daher weniger, die Simulationen der zu vergleichenden Konzepte durch unterschiedliche Parteien durchführen zu lassen und die Ergebnisse anschließend zu vergleichen. Es hat sich bei der Durchführung der Simulation des Personenverkehrs im Fallbeispiel gezeigt, dass sich die Verwendung der international üblichen Simulationsmethoden (siehe Kapitel 4.1) als durchaus geeignet erwiesen. Vorteil bei Verwendung bereits etablierter Verfahren der Verkehrsflussanalyse und Förderleistungsberechnung ist die voraussichtlich höhere Akzeptanz der Ergebnisse.

- Schritt 5 + 6: Die für die Methode verwendete Simulationssoftware ELEVATE™ ermöglicht durch die umfangreichen Report Funktionen eine einfache Analyse der Nutzungsintensität jedes einzelnen Aufzuges. Daten über den von der Kabine zurückgelegten Weg mit allen Start- und Stoppvorgängen, die durchgeführten Türbewegungen (Öffnen / Schließen), oder auch die benötigte elektrische Energie lassen sich sehr einfach für die Simulationsdauer entnehmen. Auf dieser Basis lässt sich einfach und schnell ein entsprechendes Lastprofil für den Zeitraum der Lebenszyklusbetrachtung erstellen und ableiten. In Verbindung mit den Herstellerangaben über die voraussichtliche Lebensdauer der verwendeten Bauteile und Komponenten ist es mit den unter Punkt 7.6 genannten Berechnungsansätzen wiederum unschwer möglich, den Zeitpunkt sowie die Anzahl der möglichen Instandsetzungsarbeiten innerhalb des Betrachtungszeitraumes zu ermitteln. Diese Erkenntnisse erlauben Rückschlüsse auf die voraussichtlichen monetären Aufwendungen für den Betreiber der Anlagen während der Betriebs- und Nutzungsphase.

- Schritt 7 + 8: Die Kosten der Investition (IC) werden aus den Anbieterpreisen der Aufzugslieferanten sowie einer Kostenschätzung/Kostenberechnung der gebäudeseitigen, konstruktiven Aufwendungen für Aufzugsschächte und Vorräume gebildet. Die Nutzungskosten basieren auf den Berechnungen der Simulation. Diese setzen sich aus den Preisen für Wartung, Instandsetzung und elektrischer Energie zum Betreiben der Anlagen zusammen und müssen von den jeweiligen Anbietern als Angebotspreise abgefragt werden. Da verschiedene Leistungsumfänge von Instandsetzungsarbeiten häufig mit den Leistungen der Wartung kombiniert werden, ist es empfehlenswert, für die Anwendung der Lebenszykluskostenbetrachtung die Kostenanalyse auf den so genannten Vollwartungsverträgen basieren zu lassen. Hintergrund ist die Vielzahl der unterschiedlichen Vertragsmodelle, die je nach Anbieter unterschiedliche Leistungsumfänge umfassen können. Zielführend ist hier die Abfrage der jährlich zu leistenden Preise für Vollwartung inklusive aller Instandsetzungsarbeiten. Als nicht empfehlenswert für eine Kostenanalyse zeigt sich eine Abfrage der Preise für alle individuell anfallende Tätigkeiten und Leistungen. Dies ist zum einen dadurch begründet, dass Anbieter keine Preisgarantie für weit in der Zukunft liegende Leistungen geben können und wollen. Zum anderen fallen systembedingt unterschiedliche Kosten für den Betreiber an, die unter Umständen nur schwer miteinander vergleichbar sind, zumal der Fokus der Lebenszykluskostenrechnung auf der Betrachtung der Gesamtkosten beruht.

Als finanzmathematische Methode zur dynamischen Investitionskostenrechnung stellt sich die Annuitätsmethode als praktikable Rechnungsart dar. Sie bietet auch Anwendern mit geringeren, finanzmathematischen Vorkenntnissen eine einfache und sichere Methode, jährliche Preisveränderungen in der Kostenrechnung zu berücksichtigen.

Die Durchführung der Evaluation anhand der vier ermittelten Kennwerte erweist sich in der praktischen Anwendung als wenig zeitaufwendiger und sicherer Prozess. Sie ermöglicht ein sehr leicht zu interpretierendes Ergebnis, welches die Stärken und Schwächen der unterschiedlichen Konzepte des Beispielprojektes aufzeigt und visualisiert. Die gleiche Maßstäblichkeit und Skalierung der einzelnen Kennwerte ermöglicht nicht nur den Vergleich der Konzepte untereinander, sondern darüber hinaus auch ein direktes Vergleichen der einzelnen Kennwerte innerhalb eines Konzeptes.

Die Evaluation ist unabhängig von den vorgelagerten Arbeitsschritten und kann somit auch unabhängig von diesen Arbeitsschritten durchgeführt werden. Entstammen die Daten zur Kennwertbildung aus anderer Quelle als durch die entwickelte Methode, so ließe sich eine Bewertung der Konzepte ebenfalls durchführen. Hintergrund der Überlegung ist die Verwendung externer Datenbanken, um beispielsweise die Lebenszykluskosten von Aufzugsystemen mit der Konzeptbewertung zu verbinden. Der Bezug der Kennwerte auf funktionale Einheiten erweist sich an dieser Stelle als sehr sinnvoll. Zum Beispiel lassen sich die Lebenszykluskosten pro Fahrgast auch mit Untersuchungen aus anderen Gebäuden vergleichen. Dies bietet die Möglichkeit, die entwickelten Kennwerte auch als „Benchmark“ zum externen Vergleichen zu verwenden und eventuell mögliche Potenziale eines optimierten Erschließungskonzeptes ausfindig zu machen. Voraussetzung ist natürlich eine einheitliche Grundlage, wie Lebenszykluskosten ermittelt wurden und welche Kostenelemente sie enthalten.

9 Schlussbetrachtung

Die Zielsetzung der Arbeit, wie sie unter Kapitel 1.3 definiert wurde, ist die Entwicklung einer Methode, um Lebenszykluskostenbetrachtungen für Erschließungskonzepte von Aufzügen durchführen zu können. Diese Methode soll als Planungswerkzeug für den Architekten und Fachplaner/Fachingenieur für fördertechnische Anlagen dienen, welches ihm erlaubt, die Strategie des Personentransports im architektonischen Entwurf hinsichtlich geringer Lebenszykluskosten bewerten und optimieren zu können. In aller Regel steht dem Planer eine Vielzahl von Ausführungsmöglichkeiten zur Verfügung, wie der vertikale Personentransport geplant und später im Gebäude realisiert werden kann. Diese Möglichkeiten sind zudem häufig vom jeweiligen Aufzugssystem sowie den unterschiedlichen Systemlösungen der Hersteller abhängig, wodurch sich weitere, stark voneinander unterscheidende Erschließungskonzepte ergeben. Das Planungswerkzeug stellt somit eine Möglichkeit dar, einen Vergleich zwischen den Konzepten und der Systemauswahl zu ermöglichen, die eine wertvolle Entscheidungshilfe darstellt. Gleichzeitig können die Erkenntnisse über die zukünftig entstehenden Betriebs- und Nutzungskosten als so genannte Budget-Forecasts Hilfestellung bei der weiteren Entwicklung und Planung des Gebäudekonzeptes bieten.

Nach einer Analyse der Ausgangssituation, einer Übersicht aller Rahmenbedingungen sowie einer Darstellung bislang angewendeter Verfahren wird eine Methode entwickelt, die auf der Basis der Software gestützten Simulationstechnik den Grad der Nutzungsintensität ermittelt. Ein weiterer Teil der Methode ist es, neben den Investitionskosten die Betriebskosten auf der Grundlage der ermittelten Nutzungsintensität ableiten zu können. Die gesamten Lebenszykluskosten innerhalb des Betrachtungszeitraums werden in einem Bewertungsmodell unter Berücksichtigung Einfluss nehmender Größen gegenübergestellt und bewertet. Die Methode wird an einer realen Hochhausplanung angewendet und verifiziert.

9.1 Ergebnis

Die entwickelte Methode einer lebenszykluskostenoptimierten Planung für unterschiedlichste Erschließungskonzeptionen zeigt eine vielfältige Nutzbarkeit der Ergebnisse. Sie bietet Architekten, Planern, Bauherren, Betreibern, Facility

Management Unternehmen oder auch Investoren auf unterschiedliche Art und Weise eine wichtige Hilfestellung in den jeweiligen Planungs- und Entscheidungsprozessen. Auf Grund dieser unterschiedlichen Verwendung des Informationsgehaltes der Ergebnisse, ist eine differenzierte Betrachtung notwendig.

9.1.1 Architekten, Planer und Fachingenieure

Für die an der Planung eines Gebäudes beteiligten Personengruppen bietet die Methode zunächst die Möglichkeit, unterschiedliche Konzeptionen der Erschließungsstrategie im architektonischen Entwurf mit einander vergleichen zu können. Aufzüge sind gerade bei großen Gebäudehöhen maßgeblich an der Wirtschaftlichkeit des gesamten Gebäudes beteiligt und somit wichtiger Bestandteil der Gebäudekonzeption. Das Erschließungskonzept selbst, welches bei diesem Gebäudetypus des Fallbeispiels nahezu ausschließlich aus Aufzügen besteht, wird in seiner Leistungsfähigkeit durch unterschiedliche Faktoren beeinflusst. Diese Faktoren sind oftmals selbst von routinierten und erfahrenen Planern nur schwer auszumachen. Das optimale Erschließungskonzept wurde in der Vergangenheit lediglich durch die bekannten Parameter der Förderleistung in 5 Minuten (Handling Capacity 5min. HC₅) mit den dazugehörigen durchschnittlichen Warte-, Fahr- und Zielerreichzeiten beziehungsweise durch diverse Qualitätsvorgaben wie maximaler Luftschallpegel oder horizontale / vertikale Vibrationen (Querbeschleunigungen) beurteilt.

Es ist bei der Analyse der Erschließungskonzepte verschiedener Gebäude ebenfalls häufig festzustellen, dass Aufzüge für mehrere unterschiedliche Nutzungen/Nutzungsarten (Hotel, Büro, Wohnen,...) gleichzeitig vorgesehen sind oder über die gesamte Höhe des Gebäudes alle Geschosse bedienen. Dies hat meist zum Ziel, dass vermeintlich weniger Aufzüge vorgesehen werden müssen, was sich positiv auf Investitionskosten wie auch auf Betriebskosten auswirken soll. Der Leistungsgrad der Aufzüge kann jedoch durch diese Faktoren deutlich reduziert werden, was bedeutet, dass die Förderleistung zum Teil dramatisch darunter leiden kann. Die Folge ist, dass meist eine Erhöhung der Aufzugsanzahl unbemerkt notwendig wird. Eine Erhöhung der Geschwindigkeit und Größe der Kabinen wirkt sich in aller Regel nur geringfügig aus. Erst die Verbindung der Förderleistungsfähigkeit der Aufzüge zu deren Flächenverbrauch zeigt die Effizienz des Erschließungs-

konzeptes im Bezug zum Gebäude. Der mit der Planungsmethode entwickelte Kennwert „ESF“ (Elevator Service Factor) stellt die Leistungsfähigkeit der Aufzüge in einem aus verschiedenen Parametern zusammengeführten Kennwert dar und vereinfacht dem Planer somit die Beurteilung in der Praxis. Der Flächenverbrauch wird im Kennwert „NGR“ (Net Gross Ratio) ausgedrückt und stellt den Bezug von Brutto Grundfläche (BGF) und Erschließungsfläche her. NGR und ESF stehen somit im wechselseitigen Bezug und sind daher in den Diagrammen der Konzeptbewertungen (Abbildungen 8.4.1 bis 8.4.4 A) gegenüberliegend angeordnet.

Die Lebenszykluskosten der Aufzugsanlagen werden, ähnlich wie die zuvor genannten Kennwerte, durch die unterschiedlichsten Einzelfaktoren bestimmt, wie sie unter Punkt 6.2 bereits eingehend beschrieben sind. Als wichtiges Bindeglied wird hier der Bezug zur Anzahl der Personenbelegung (Passagiere) gesehen. Er bezieht die Lebenszykluskosten somit auf den Nutzungsgrad und die Intensität mit der die Aufzüge betrieben werden. Personenbewegungen in vertikale Richtungen erzeugen einen Transportbedarf, der durch unterschiedliche Systeme (Aufzugssysteme) ebenso unterschiedlich hinsichtlich Effizienz und Wirtschaftlichkeit gedeckt wird. Auch wie das zuvor beschriebene Verhältnis zwischen den Kennwerten ESF und NGR stehen die Lebenszykluskosten in einem Abhängigkeitsverhältnis. Die Qualität, mit der das Transportaufkommen bewältigt werden soll, spielt dabei eine wichtige Rolle. Gemeint werden unter dem Begriff der Qualität die Produktbeschaffenheit, die Präzision der Fertigung sowie die vom Fahrgast empfundenen Produkt- und Fahreigenschaften. Mit steigenden Anforderungen an diese Merkmale steigen in aller Regel auch die Kosten auf Grund konstruktiver und technischer Zusatzaufwendungen. Der Architekt/Planer hat ein Werkzeug, mit dem er die Qualitätsmerkmale beurteilen und bewerten kann oder im Umkehrschluss Vorgaben über die Qualität des Endproduktes definieren kann, ohne dabei spezielle Produkte und Hersteller auswählen zu müssen. In der Komplexität und Vielfalt der angebotenen Systeme auf dem Markt ist dies auch in der Regel von ihm nicht zu leisten, ihm genügt durch die Methode das Beurteilen beziehungsweise Festlegen der beschriebenen Eigenschaften. Der Kennwert LCC / Person wird also direkt durch die Qualität des Aufzugssystems beeinflusst. Er stellt darüber hinaus eine wichtige Verbindung zur Förderleistungsfähigkeit sowie die Flächeneffizienz der Erschließungskonzepte her, die durch eine Berücksichtigung der Mietflächensteigerung berücksichtigt wird.

Insgesamt hat der Planer eine gute, schnelle und sichere Methode zu Verfügung, um die tendenzielle Ausprägung des Konzeptes herausfinden zu können sowie Ausführungsvarianten untereinander intern vergleichen zu können. Der Bezug zu funktionalen Einheiten ermöglicht es ihm, den externen Vergleich (Benchmarking) durchzuführen. Ein weiteres hilfreiches Werkzeug für den Architekten/Planer ist hierbei die Möglichkeit, die Kennwerte in Kategorien einordnen zu können. In Anlehnung an die Nomenklatur anderer in der Immobilienwirtschaft verwendeter Bewertungssysteme werden die Kennwerte in die Kategorien *Premium*, *A*, *B* und *C* unterteilt (siehe Punkt 6.6). Diese drücken die Wertigkeit des erreichten Kennwertes aus und vermitteln intuitiv den Stellenwert im externen Vergleich.

Komplexe und vielfältige Zusammenhänge, die eine optimale Planung des Erschließungskonzeptes ausmachen, werden für den Architekten und Planer durch vier leicht zu interpretierende Kennwerte anschaulich gemacht. Auf Grund der gleichen Maßstäblichkeit aller Kennwerte stellt die Ausführungsvariante/Konzeption mit der höchsten Schnittmenge somit auch die optimale Lösung hinsichtlich aller genannten Faktoren, Beziehungen und Teilaspekte dar.

9.1.2 Investoren, Betreiber und Nutzer

Für die Gruppe der Investoren, Betreiber und Nutzer stellt die entwickelte Methode ebenfalls ein hilfreiches und interessantes Werkzeug im Planungsprozess dar. Wie eingangs erwähnt, gehören Aufzüge zu den sicherheitsrelevanten Anlagen, die behördlichen Kontrollen unterliegen. Somit entstehen der genannten Personengruppe nicht nur Kosten für den Erwerb (Investitionskosten), sondern ein erheblicher Anteil der Lebenszykluskosten entfällt dabei auf das Betreiben der Anlagen während der Nutzungsphase. Diese zukünftigen Kosten sicher prognostizieren und abschätzen zu können, liegt dabei im Fokus des Interesses. Durch die differenzierte Darstellung der Kosten der unterschiedlichen Lebenszyklusphasen und deren Kostenelemente (siehe Kostenelementstruktur Abbildung 1.2.1) ist es möglich, durch die entwickelte Methode eine Annäherung an die zukünftigen, realen Kostenverläufe zu erhalten. Dies ist besonders für Betreiber von großem Interesse, um Informationen über den Zeitpunkt von Zahlungsströmen der Betriebskosten zu erhalten. Neben den bislang bekannten und angewandten Planungsrichtwerten für Nutzungskosten ist der ermittelte Wert der Betriebskosten eine hilfreiche Ergänzung für detaillierte Kosten-

betrachtungen im voranschreitenden Planungsprozess. Die Methode bietet dabei eine optimale Entscheidungshilfe, da sich die Kostenbetrachtung sowohl auf bislang bewährte und anerkannte Methoden der Investitionskostenrechnung stützt, gleichzeitig jedoch auf „realen Kosten“ basiert. Die Verwendung der Annuitätsmethode als dynamische Investitionskostenrechnung hat, unter Eingeständnis der unter Punkt 3.4.4 genannten Vereinfachungen, den großen Vorteil, dass Preisveränderungen über den Betrachtungszeitraum berücksichtigt werden, dabei die einfache Handhabung jedoch beibehalten bleibt. GEFMA sowie der VDI empfehlen aus den genannten Gründen die Verwendung dieser Rechenmethode in ihren Richtlinien GEFMA 220 und VDI 2067-1 für die Durchführung von Wirtschaftlichkeitsberechnungen von Investitionsgütern.

Wie bereits zuvor beschrieben ist es möglich, mit der Hilfe der Simulation den Nutzungsgrad zu bestimmen und somit festzustellen, wann voraussichtliche Instandsetzungsarbeiten durchgeführt werden müssen. Dies ist besonders für Betreiber eine wertvolle Information, um zum einen die Instandsetzungen mit geringen Behinderungen für den Gebäudebetrieb „planen“ und „organisieren“ zu können, zum anderen können diese Informationen auch als Entscheidungshilfe bei der Auswahl des Wartungsmodells mit einbezogen werden. Der Betreiber hat die Möglichkeit zu entscheiden, welches Modell des Wartungsvertrags (siehe Punkt 2.4.2) für ihn und seine Bedürfnisse am zweckmäßigsten ist. Entscheidet er sich für einen Vollwartungsvertrag mit nahezu allen Inklusivleistungen, oder ist es sinnvoll, eine Basiswartung nach den gesetzlichen Bestimmungen zu wählen und alle notwendigen Instandsetzungsarbeiten einzeln und nach Bedarf zu beauftragen. Letzte Variante kann sich um so mehr als sinnvoll darstellen, wenn der Betreiber einzelne Wartungs- und Instandsetzungsarbeiten selbst leisten kann.

Insgesamt bietet die lebenszyklusorientierte Planung der Gruppe der Betreiber, Investoren und Nutzer den großen Vorteil, die zukünftigen Kosten der Betriebsphase besser und mit reduziertem Risiko betrachten zu können. Sie sind somit in der Lage, Entscheidungen für Ausführungsvarianten zu treffen und Strategien für Wartungs- und Instandsetzungsmaßnahmen den eigenen, individuellen Bedürfnissen anzupassen.

9.1.3 Aufzugshersteller, Lieferanten und Serviceunternehmen

Für den Aufzugshersteller, den Lieferanten sowie dem mit der Wartung beauftragten Serviceunternehmen bietet die entwickelte Methode ebenfalls hilfreiche Ansätze, die Informationen der simulierten Nutzungsintensität für sich zu verwenden. Der Aufzugshersteller entwickelt in aller Regel seine Komponenten unter Berücksichtigung eines zuvor definierten Lastprofils. Auftragsbezogen stellt er die benötigten Komponenten zu einem Anlagensystem zusammen, wobei er die zukünftige Nutzungsintensität meist nur aus seiner Erfahrung abschätzen kann. Die entwickelte Methode ermöglicht es ihm, detaillierte Informationen bereits während der technischen Auslegung des Aufzugssystems zu erhalten und bei der Auswahl der Komponenten zu berücksichtigen. Ein Beispiel hierfür ist die deutlich erhöhte Nutzungsintensität einer Schachttür im Hauptzugang oder im Restaurantgeschoss eines Gebäudes. Durch die Kenntnis, wie viele Türzyklen (ein Zyklus = Tür öffnen und schließen) für diese extrem beanspruchte Komponente zu erwarten sind, ist er in der Lage, diese entsprechend den Anforderungen auftragspezifisch zu dimensionieren. Der Vorteil liegt somit in einer reduzierten Ausfallwahrscheinlichkeit des Aufzugssystems, was dem Nutzer und Betreiber eine höhere Verfügbarkeit verspricht. Dem mit dem Service und der Instandsetzung beauftragten Unternehmen ermöglicht dies reduzierte Aufwendungen für das Betreuen der Anlage.

Bei der zuvor genannten Vertragsgestaltung der Wartung zwischen Anlagenbetreiber und Wartungsunternehmen können die gewonnenen Erkenntnisse ebenfalls positiv im gegenseitigen Interesse genutzt werden. Sie helfen beim Entwurf eines individuellen Instandsetzungsplans für möglichst geringe Behinderungen oder Ausfallzeiten während des Gebäudebetriebs. Präventives Austauschen einzelner Bauteile kann das Risiko weiterer Beschädigungen anderer Bauteile als Folge minimieren oder im Idealfall verhindern. Somit reduzieren sich das Sicherheitsrisiko und die Ausfallwahrscheinlichkeit der Anlage.

Die Ausfallwahrscheinlichkeit von Aufzugssystemen zeigt eine exponentielle Verteilung, wie sie bei elektrisch- und mechanisch betriebenen Produkten charakteristisch ist. Sie verläuft als so genannte Badewannenkurve (siehe Abbildung 9.1.3) mit der typischen Ausfallhäufigkeit der einzelnen Komponenten und Bauteile während der Betriebs- und Nutzungsphase. Nach abgeschlossener Montage und Inbetriebnahme der Anlage sinkt die Häufigkeit der Ausfälle auf Grund fehlerhafter

Fertigung oder Montage. Es folgt eine konstante Phase, mit geringen Ausfallraten, bis anschließend der Verschleiß und die Alterung der Komponenten die Ausfallhäufigkeit der Aufzüge wieder ansteigen lässt.

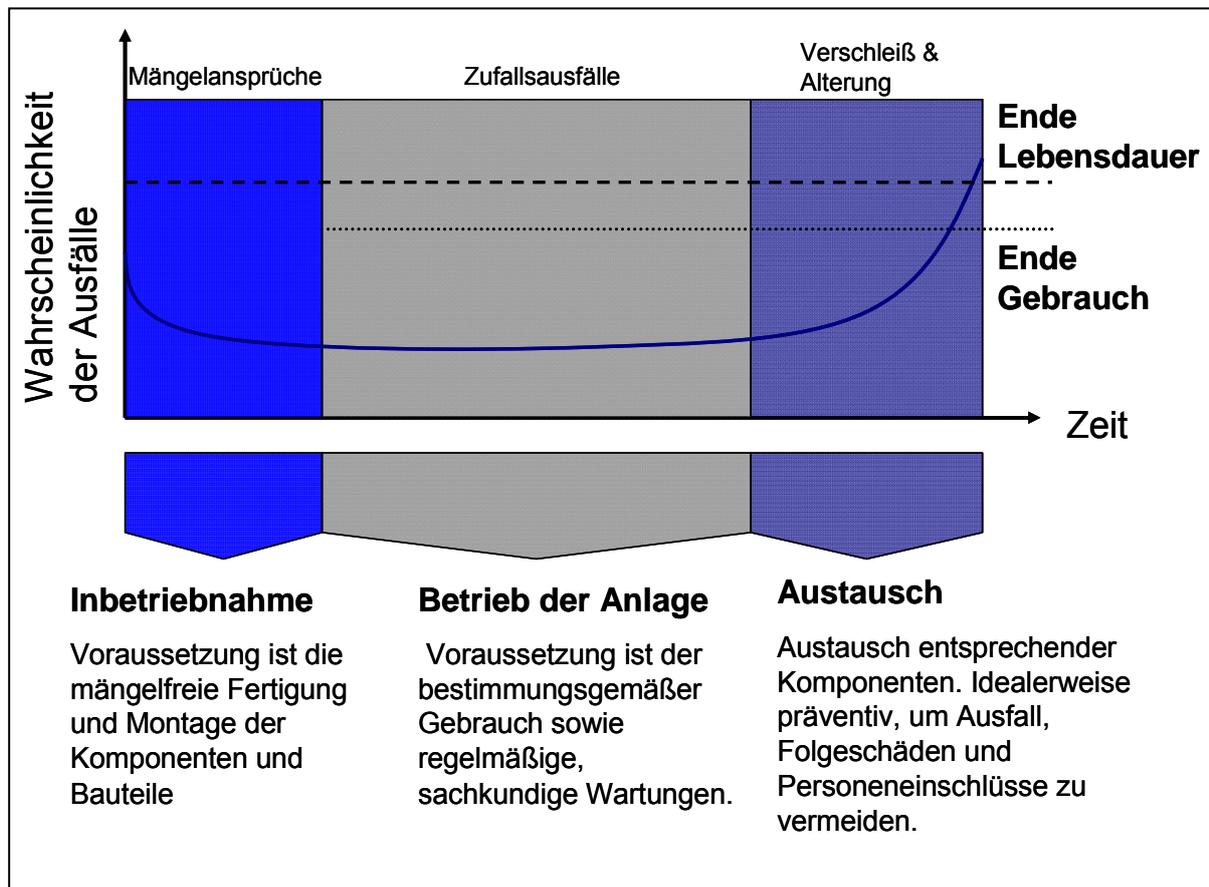


Abb. 9.1.3 Die Ausfallwahrscheinlichkeit von Aufzügen und deren Komponenten zeigt den typischen Badewanneneffekt von technischen Produkten und Systemen. (Bildquelle: Eigene Darstellung)

Ein weiterer, bedeutsamer Aspekt ist die Möglichkeit für das Wartungsunternehmen, die Aufwendungen für die Erfüllung der Leistungsumfänge des Wartungsvertrags genauer und mit reduziertem Risiko abschätzen zu können. Die Methode erlaubt es ihm, die interne Kostensituation sicherer zu erfassen.

9.1.4 Fazit

Die lebenszykluskostenorientierte Planung von Erschließungskonzepten in Gebäuden kann anhand der gewonnenen Erkenntnisse nicht ohne das Einbeziehen der Transportleistung des Systems, der Produktqualität sowie dem in Anspruch genommenen Raum/der Fläche eindeutig festgestellt werden. Das Fallbeispiel macht deutlich, dass eine Bewertung möglicher Erschließungskonzepte lediglich unter dem

Aspekt Investitionskosten und Wartungskosten sehr leicht zu einer fälschlichen Einschätzung des Optimierungsgrades führen kann. Die Effizienz der Transportleistung ermöglicht es, wertvolle Fläche im Gebäude nutzbar zu machen. Erst unter Berücksichtigung dessen umfasst eine Bewertung alle wesentlichen Aspekte und ermöglicht eine fundierte Aussage über die Wirtschaftlichkeit.

Jedes Erschließungskonzept kann grundsätzlich in jede Richtungen der vier genannten Kennwerte optimiert werden. Beispielsweise könnte ein Gebäude mit Aufzügen „überversorgt“ sein, bei dem eine hohe Transportleistung mit möglichst geringen durchschnittlichen Warte-, Fahr und Zielerreichzeiten für die Passagiere von primärer Bedeutung ist. Oder etwa die Ansprüche der definierten Qualitätsmerkmale stehen im Vordergrund bei der Auswahl der Systeme. Hinsichtlich der Kostensituation wirken sich diese Optimierungen im Umkehrschluss zwangsläufig negativ durch hohe Kosten aus.

Es zeigt sich anhand der Auswertungen, dass die Flächeneffizienz den Kostenverlauf über alle Lebenszyklusphasen hinweg maßgeblich beeinflusst. Dies lässt den Schluss zu, dass Flächeneinsparung die Grundlage für jede Wirtschaftlichkeitsbetrachtung bedeutet. Dies zeigt die Auswertung der drei Erschließungskonzepte sehr deutlich: Konzept 1 weist die geringsten Investitionskosten auf, fällt aber bei der Gesamtbetrachtung auf den letzten Platz zurück. Selbst das kostenintensive Konzept 3, welches im Beispiel aus einem Doppeldecker System besteht, kann diesen Nachteil durch die Flächeneinsparung kompensieren. Gegenüber dem Konzept 2, welches aus einer Kombination von konventionellen und TWIN[®]-Systemen besteht, gelingt dies dem Konzept 3 jedoch nicht, obwohl es bei annähernd gleichem Flächenverbrauch über eine höhere Förderleistungsfähigkeit verfügt. Systembedingt weisen Doppeldecker auf Grund ihrer großen Massen, Abmessungen und Dimensionen hohe Betriebskosten gegenüber konventionellen und TWIN[®]-Systemen auf. Diese Erkenntnis erlaubt einen weiteren Schluss, dass Betriebskosten einen Einfluss auf die Kostenbilanz haben und ein Konzept wirtschaftlich optimieren, jedoch nicht grundsätzlich bestimmen. Dies zeigt ebenfalls der Vergleich von Konzept 2 und 3. Charakteristisch für Konzept 2 ist, dass es einen sehr geringen Flächenverbrauch, eine sehr gute Förderleistung und hochwertige Produkteigenschaften bei vergleichsweise niedrigen Betriebskosten besitzt.

Die Frage nach einem lebenszykluskostenoptimierten Erschließungskonzept kann demnach nur beantwortet werden, wenn zum einen alle vier der genannten Aspekte (Kennwerte) definiert und „messbar“ gemacht wurden und zum anderen objektiv in Beziehung gebracht werden. Die Flächeneinsparung ist dabei ein wesentliches Element der Lebenszykluskostenbetrachtung und bestimmender Faktor der Betrachtung. Die entwickelte Methode stellt eine Möglichkeit dar, die in der Zieldefinition gesetzten Anforderungen an ein Planungswerkzeug zu erfüllen und dabei die komplexen Zusammenhänge zu berücksichtigen.

In der Methode unberücksichtigt sind Faktoren, die den Hersteller/Anbieter hinsichtlich Bonität oder Zukunftssicherheit bewerten und klassifizieren. Diese so genannten „Soft Skills“ sollten aus Sicht des Autors bewusst nicht in einer Bewertung und Betrachtung einer lebenszyklusorientierten Planung von Erschließungskonzepten berücksichtigt werden, wenngleich viele Stimmen und Meinungen dies befürworten. Eine Bewertung und Auswahl der auf dem Markt befindlichen Aufzugssysteme sollte daher ausschließlich über die objektiven, technischen und faktischen Merkmale geschehen, wie sie in der vorliegenden Methode entwickelt wurden.

9.2 Perspektiven für eine Weiterentwicklung der Methode

Das Erstellen der Berechnungen für eine Lebenszykluskostenbetrachtung ist umfangreich und zeitintensiv. Zwar ist ein Teil der benötigten Daten im Verlaufe des Planungsprozesses vorhanden, dennoch müssen diese für eine Durchführung der Methode zusammengeführt werden. Noch ausstehende Daten müssen entsprechend erzeugt werden, was einen weiteren Zeitaufwand darstellt. Hilfreich wären Kennwerte, die diesen Zeitaufwand für den Anwender reduzieren. Folgende Aspekte sollte diese Weiterentwicklung der Methode umfassen:

- Kostenkennwerte für Investition, Wartung und Instandsetzungsmaßnahmen von Aufzügen in Abhängigkeit von System (Konventionelle Systeme, TWIN- oder Doppeldeckersysteme), Geschwindigkeit, Tragfähigkeit und Förderhöhe.
- Kennwerte über den Energieverbrauch von Aufzügen in Abhängigkeit von System (Konventionelle Systeme, TWIN- oder Doppeldeckersysteme), Geschwindigkeit, Tragfähigkeit und Förderhöhe. Hinweis: Die VDI 4707 stellt hierzu lediglich eine Methode zur Beurteilung und Klassifizierung der Energieeffizienz, Kennwerte für die Planung und Systemauswahl jedoch nicht.

- Aufbau eines Benchmarking-Pools anhand des Kennwertes *Lebenszykluskosten pro Fahrgast (LCC/passenger)*, um den externen Vergleich zu Referenzobjekten herzustellen.

Weiterführendes Ziel der Entwicklung dieser Benchmarking-Pools ist es, die Datenerhebungen, die in der beschriebenen Methode auf Simulationsbasis entstehen, weitestgehend durch geeignete Kennwerte zu ersetzen. Dies vereinfacht die Handhabung und ermöglicht gerade dem Architekten in der frühen Planungsphase eine schnellere, jedoch hinreichend detaillierte Anwendung des Planungswerkzeugs. Der Nutzen für ihn liegt hierbei in der Steigerung der Planungssicherheit bei verhältnismäßig geringem Aufwand.

9.3 Ansätze für weitere Lebenszyklusbetrachtungen

Die bisherigen Betrachtungen gehen davon aus, dass die Einsparung der Schachtfäche auf Grund von leistungsfähigeren Aufzugssystemen eine Steigerung der Flächeneffizienz bewirkt. Eine weitere, interessante Perspektive ergibt sich jedoch, wenn die kleinere Schachtfäche eine Reduzierung des Gebäudevolumens ermöglichen kann. Wie in Abbildung 9.3 zu sehen ist, wird anstelle eines Flächengewinns die Verkehrsfläche (VF) bei gleichbleibender Nutzfläche (NF) reduziert. Ein reduziertes Gebäudevolumen senkt dabei die Kosten über alle Lebenszyklusphasen hinweg: Die Baukosten sinken ebenfalls sowie die Betriebskosten während der Nutzungsphase des Gebäudes.

Diese Synergieeffekte zu analysieren, die gewonnenen Erkenntnisse für weitere Lebenszykluskostenbetrachtungen zu nutzen und daraus ein Planungswerkzeug für Architekten und Planer zu entwickeln, eröffnet neue Perspektiven sowie ein spannendes Forschungsfeld.

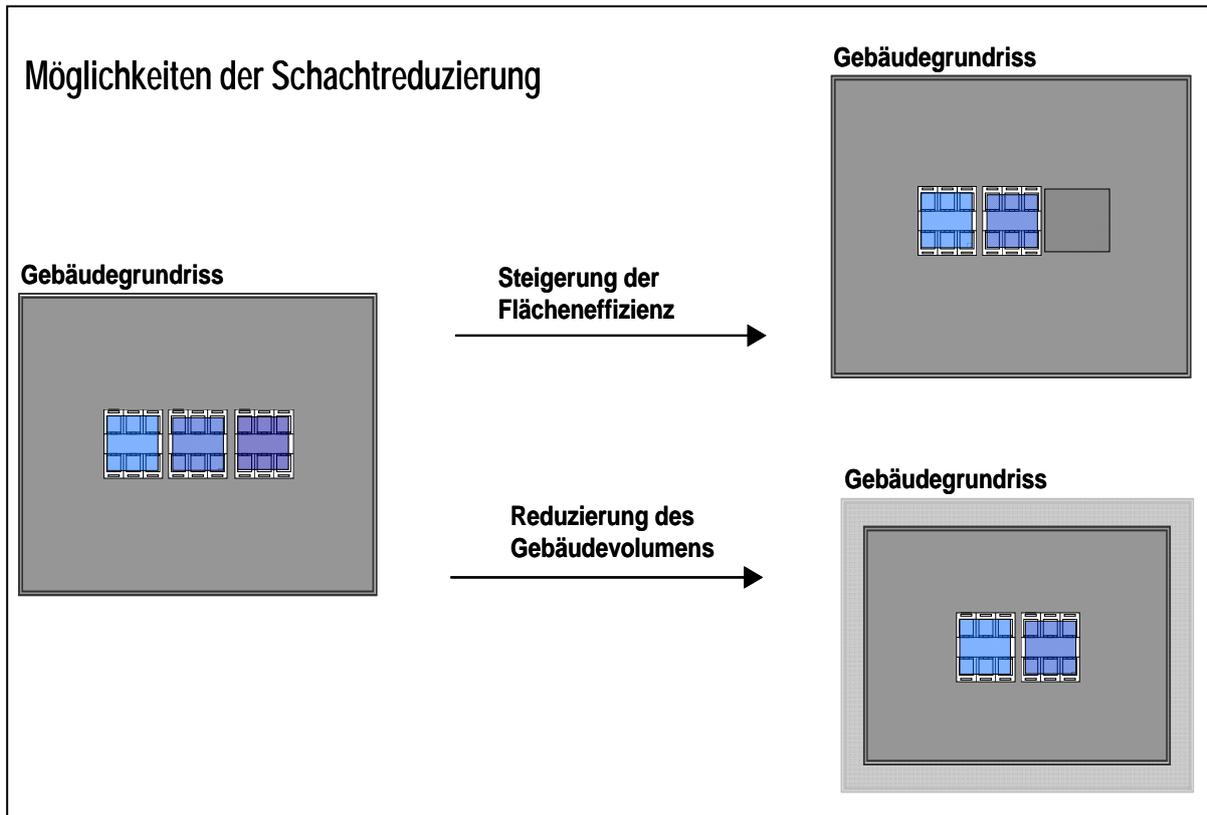


Abb. 9.3 Möglichkeiten der Schachtreduzierung von Erschließungskernen. Neben der Steigerung der Flächeneffizienz kann auch eine Schachtreduzierung für eine Volumenreduzierung des Gebäudes genutzt werden. (Bildquelle: Eigene Darstellung)

9.4 Ausblick auf zukünftige Technologien

Mit der Analyse und Auswertung des Beispielobjektes wurde festgestellt, dass die Flächeneffizienz von grundlegender Bedeutung für die Betrachtung von Lebenszykluskosten ist. Neue, innovative Aufzugssysteme wie beispielsweise Doppeldecker- oder das TWIN[®]-System steigern auf Grund der zwei Kabinen pro Schacht die Förderleistungsfähigkeit einer Aufzugsanlage. Dies ermöglicht es den Systemen, bei gleicher Förderleistung die benötigte Anzahl Schächte zu reduzieren. Wie hoch die Einsparung gegenüber einer konventionellen Installation sein kann, ist wiederum von verschiedenen Einflussfaktoren abhängig. Grundsätzlich hat die Förderleistung dieser Systeme ihre Grenzen, da auch diese nach dem technischen Prinzip eines herkömmlichen Seilzugs funktionieren. Die Kabinen hängen demnach an ihren Tragseilen und werden durch einen elektrischen Treibscheibenantrieb in Bewegung gesetzt. Dieses traditionelle Prinzip stößt hier an seine Grenzen, da für eine weitere Kabine körperlich nicht der benötigte Raum zur Verfügung steht. Zukünftige Aufzugssysteme werden sich vom traditionellen Treibscheibenantrieb und dem Seilprinzip lösen und diese durch neue

Antriebsprinzipien ersetzen. Eine Lösung könnte der Linearantrieb darstellen, wie er bereits als Antriebskonzept für den Transrapid verwendet wird. Doch egal welches Prinzip in Zukunft zum Einsatz kommen wird, das Seil als Tragmittel wird es ersetzen müssen und somit die technische Möglichkeit bieten, mehr als nur zwei Kabinen in einem Schacht bewegen zu können. Auch wenn die Lebenszykluskosten für diese Technologie zum heutigen Tag noch unbekannt sind, wird dennoch der Grundsatz bestehen bleiben, dass Flächeneinsparung im Gebäude maßgeblich von Bedeutung ist. Als Schlussfolgerung aus den vorangegangenen wissenschaftlichen Untersuchungen liegt in der Flächeneinsparung im Gebäude das Potenzial, die traditionellen Aufzugskonzepte zu überdenken und den Weg für innovative Lösungen zu ebnen. Wie bei jeder neuen Technologie ist der direkte Preisvergleich zu „handelsüblichen“ Produkten zu Beginn unvorteilhaft. Beispielsweise sind Kraftfahrzeuge mit alternativen Antriebskonzepten derzeit auf Grund ökonomischer Rahmenbedingungen immer noch unattraktiv bisweilen auch unrentabel. Bezogen auf die zukünftige Entwicklung der Aufzüge als wesentliches Personentransportmittel im Gebäude bedeutet dies, dass sich innovative Antriebskonzepte erst dann durchsetzen werden, wenn der Nutzen und die Vorteile als Gesamtkonzept überwiegen. Wie es bereits in der vorliegenden Studie ersichtlich wird, führt die Flächeneinsparung der Konzepte 2 und 3 zu einem Mehrwert über den Lebenszyklus, welcher die höheren Investitionskosten sehr schnell und in kürzester Zeit relativiert. Es kann davon ausgegangen werden, dass auch die zukünftige Antriebstechnologie diesem Prinzip folgt. Zieht man in Betracht, dass in einem Aufzugsschacht auf Grund des seillosen Antriebs mehr als nur zwei Kabinen fahren könnten, was die Förderleistung pro Schacht erhöht, stellt sich die Frage, wie hoch eine weitere Flächeneinsparung gegenüber bislang bekannten TWIN[®] und Doppeldecker Konzepten ausfallen könnte und wann sich wirtschaftliche Vorteile im Lebenszyklus ergeben. Eine nachfolgende Fallstudie soll zeigen, wie groß das Potenzial an Steigerung der Förderleistungsfähigkeit durch die Verwendung von Mehrkabinensystemen ist und wie viel Fläche sich dabei einsparen lassen könnte.

Mehrere Kabinen in einem Schacht zu betreiben bedeutet zunächst eine neue Konzeption der Erschließung, wodurch ebenfalls traditionelle Konzepte aufgelöst werden. Damit sich die vielen Kabinen im Schacht nicht gegenseitig behindern, ist es denkbar, dass für jede Fahrtrichtung ein separater Schacht zur Verfügung steht. Jeweils an den Schachtenden werden die Kabinen in einem Speicher gefahren oder es könnte ein Umsetzen der Kabinen in einen Fahrschacht entgegengesetzter Fahrtrichtung

erfolgen. Im nachfolgenden Beispielobjekt werden zwei Aufzugsgruppen, bestehend aus Doppeldeckersystemen (linkes Erschließungsschema, rot markiert) und einem Mehrkabinensystem (rechtes Erschließungsschema, blau markiert), mit Umsetzen der Kabinen in einen Schacht für die Gegenrichtung, gegenübergestellt.

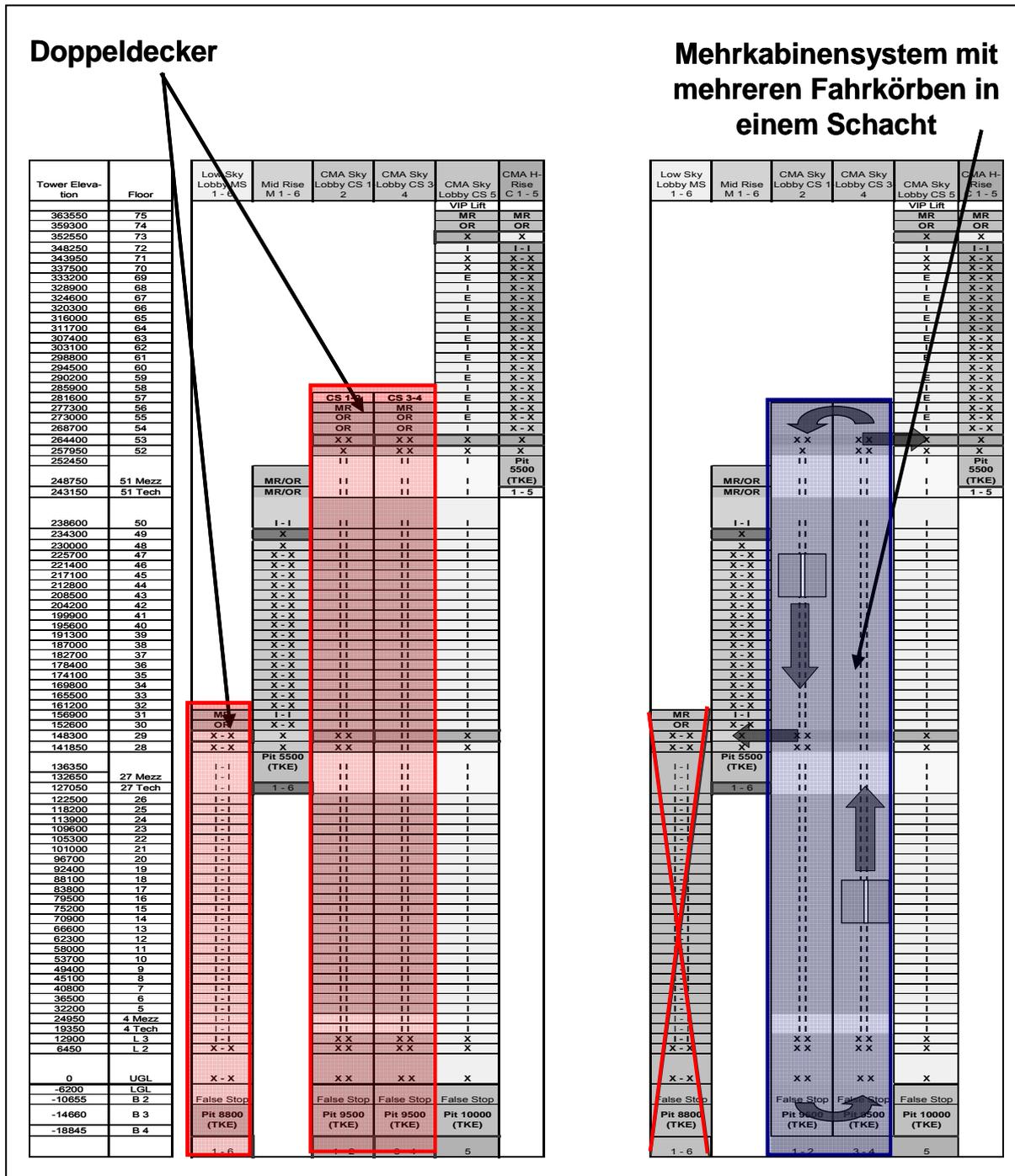


Abb. 9.4 - A Fallstudie: Vergleich unterschiedlicher Erschließungskonzepte. Links (rot) Erschließung mit Doppeldeckersystemen, rechts (blau) Mehrkabinensystemen (Bildquelle: Planungsunterlagen ThyssenKrupp)

Die Doppeldecker werden im Beispiel als so genannte Expressaufzüge genutzt, d. h. die Passagiere werden ohne Zwischenhalt in die oberste Haltestelle gefahren, in der sie eine weitere Aufzugsgruppe nutzen, um die Zielhaltestelle zu erreichen. Die Nahgruppe besteht aus 6 Doppeldeckersystemen (6 Schächte / 12 Kabinen) und bedient bis zur 28. Haltestelle, die Ferngruppe setzt sich aus 4 Doppeldeckersystemen (4 Schächte / 8 Kabinen) zusammen, welche die 52. Haltestelle erschließt. Diese Konzeption wird durch ein Konzept ersetzt, bei dem es nur eine Aufzugsgruppe gibt, die beide Ebenen anfährt (Ebene 28 und 52).

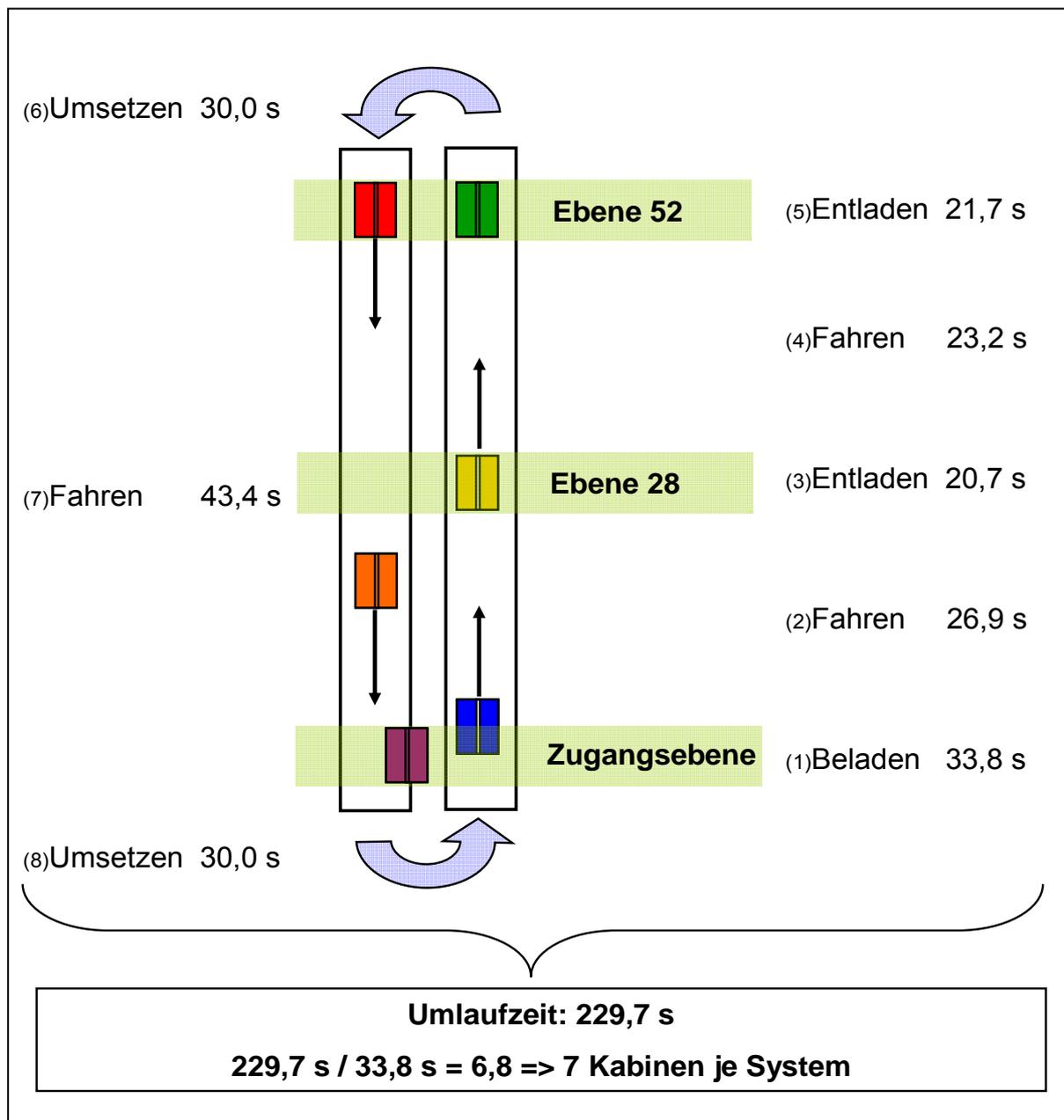


Abb. 9.4 - B Fallstudie: In einem Mehrkabinensystem können sieben Kabinen gleichzeitig fahren. (Bildquelle: Eigene Darstellung)

Auf der Basis ermittelter Dauern für die jeweiligen Einzelprozesse, wie das Beladen der Kabine, Fahren oder Entladen, ergibt sich eine theoretische Umlaufzeit von 229,7 Sekunden. Nach Beendigung des Beladens der Kabine in der Zugangsebene beginnt der Umlauf und das Bereitstellen der nächsten Kabine wird begonnen. Daraus folgt, dass in einem Schacht des Beispiels ca. 7 Kabinen gleichzeitig fahren können ($229,7s / 33,8s = 6,8 = 7$ Kabinen). Bezogen auf die allgemein gebräuchliche 5 Minuten Förderleistung (HC₅) bedeutet dies, dass ein einzelnes System (1 System = 2 Schächte) bei einer angenommenen Personenbelegung von 3.400 Personen in der Lage ist, 4,4% dieser Personen in fünf Minuten zu befördern.

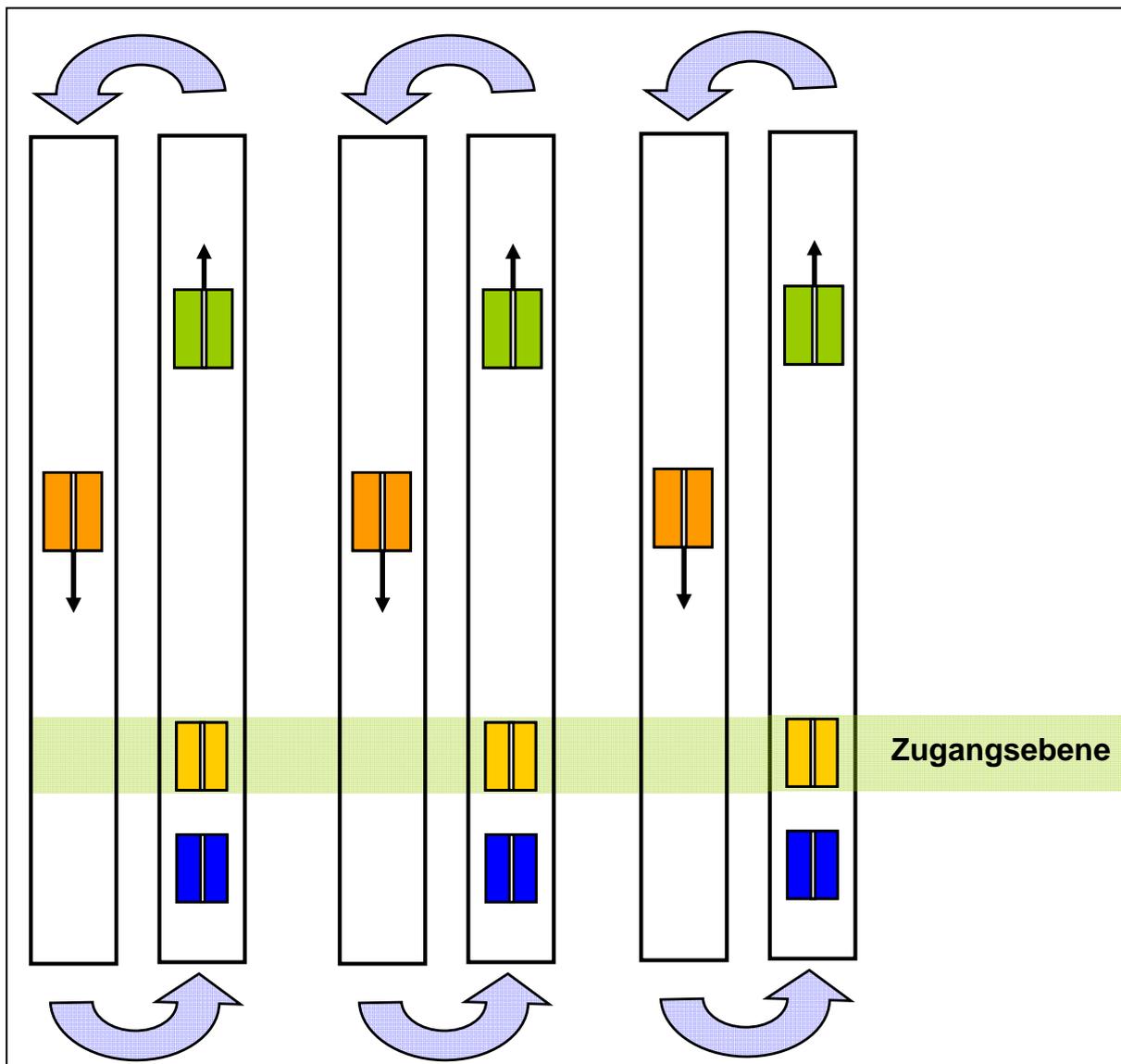


Abb. 9.4 - C Fallstudie: Mit einem Mehrkabinensystem kann im Vergleich zu einem Doppeldeckersystem die gleiche Förderleistung in nur sechs Aufzugsschächten erreicht werden (Bildquelle: Eigene Darstellung)

Im Vergleich zu einem Doppeldeckersystem, welches in der Fallstudie eine Förderleistung von 13% HC₅ erreicht, sind demnach 3 Systeme notwendig (3x 4,4% = 13,2%). Somit steht dem Doppeldeckerkonzept mit 6 Schächten der Nahgruppe und 4 Schächten der Ferngruppe ein Mehrkabinenkonzept mit 6 durchgehenden Schächten gegenüber. Geht man davon aus, dass pro Geschoss eine Fläche von ca. 13m² für jeweils einen Schacht mit Vorraumfläche eingespart werden kann, ergibt sich folgende Einsparung:

	Schachtfläche (m²) pro Schacht	Anzahl Schächte pro Gruppe	Gesamt (m²)
Nahgruppe Doppeldecker (12 Kabinen)	416	6	2496
Ferngruppe Doppeldecker (8 Kabinen)	728	4	2912
		Zwischensumme	5408
Mehrkabinensystem (7x 3 = 21 Kabinen)	728	6	4368
		Total (m²)	1040

Tab. 9.4 Fallstudie: Flächeneinsparung eines Mehrkabinensystems

Gegenüber einem Erschließungskonzept mit Doppeldeckersystemen könnte durch die Verwendung eines Mehrkabinensystems die Schachtfläche um insgesamt 1.040m² reduziert werden, was einer Einsparung von 19,2% entspricht. Die Mietmehreinnahmen dieser Fläche über die gesamte Lebensdauer sind der Gewinn und Nutzen dieser Technologie. Dieser beträgt im Konzeptvergleich 500€ / m² pro Jahr, was für die Fallstudie einen Gewinn von 10,4 Mio. € über den Betrachtungszeitraum von 20 Jahren ermöglichen könnte (nicht diskontiert).

Zusammenfassend zeigt das Prinzip des Mehrkabinensystems riesige Potenziale in Hinblick auf Flächeneffizienz und Lebenszykluskostenbetrachtungen, auch wenn die hypothetischen Betrachtungen durchaus Unschärfen beinhalten können, da es bislang keinerlei Erfahrungen oder gar realisierte Lösungen gibt. Der TWIN[®] stellt durch seine flexiblen und unabhängig voneinander agierenden Kabinen einen ersten Schritt in diese Richtung dar, mehr als nur eine Kabine sicher und ohne Kollision im Schacht zu kontrollieren. Um die eingangs gestellte Frage erneut aufzugreifen, wie sich der

technische Fortschritt auch auf die Gebäudegestalt auswirken kann, eröffnet die Abkehr vom Tragseil bei Aufzugssystemen dem Architekten noch nie da gewesene gestalterische Freiheiten. Schnell fahrende Aufzüge für Hochhäuser ohne Seil sind nicht mehr an die strenge Vertikalität gebunden und erlauben geneigte oder auch bogenförmige Fahrverläufe.

Das Erschließungskonzept von morgen wird sich somit durch geringsten Flächenbedarf, geringen Wartungsaufwand, geringen Energiebedarf sowie durch effiziente Arbeitsweise auszeichnen. In der Gesamtbilanz der Lebenszykluskosten entfallen für Energiekosten lediglich ca. 8-10%, dennoch ist die Wichtigkeit einer Bedarfsreduzierung im Bewusstsein der Menschen. Dies zeigen zum einen die zahlreichen umweltpolitischen Debatten und Diskussionen zur Reduzierung des CO² Ausstoßes, aber auch das gestiegene Interesse an Ressourcen schonenden, „grünen“, Produkten durch den Endverbraucher. Aufzüge sind bereits seit einigen Jahren in der Lage, ihre kinetische Energie beim Bremsen in elektrische Energie umzuwandeln und dem Hausnetz zurückzugeben. Eine Weiterentwicklung wäre ein intelligentes Energiemanagement, bei dem die Aufzugssteuerung aktiv diese Energie „verwaltet“. Dabei kann die Steuerung beispielsweise entscheiden, wie die Energie innerhalb der Aufzugsgruppe genutzt werden kann, oder welche elektrischen Verbraucher gerade nicht benötigt und ausgeschaltet werden können. Diese energiesparende Technik weiterzuentwickeln und dabei die Effektivität zu steigern sind sicher nur einige der kurz- und mittelfristigen Entwicklungsziele der Hersteller.

Die Analyse der Lebenszykluskosten von Aufzügen hat neben den zuvor beschriebenen Aspekten ebenfalls gezeigt, dass Wartungs- und Instandsetzungskosten einen erheblichen Anteil ausmachen. Dies ist sicher keine neue Erkenntnis, dennoch bietet sie große Potenziale für die Zukunft. Während heute in der Regel die zyklische Wartung auf Grund statischer Intervalle durchgeführt wird, kann die Entwicklung dynamischer Wartungsintervalle diese Kostenelemente senken. Dies erfordert zunächst eine entsprechende Sensorik, die alle relevanten Betriebszustände, Bewegungen und Fahrspiele der Komponenten erfasst und protokolliert. Der Vorteil besteht darin, aus einer Vielzahl von Daten und Informationen, individuelle Strategien für präventive Wartungen zu entwickeln, die sich an den Bedürfnissen der Nutzer und Betreiber orientieren.

Effizienz ist somit das Schlagwort, was einmal mehr auch für die Entwicklung der Transportlösung von morgen von Bedeutung sein wird. Lebenszykluskosten optimierte Erschließungskonzepte zu entwerfen und in den Gebäudeentwurf zu integrieren, ist dabei schon heute die Herausforderung für Architekten und Planer.

„Architektur hat mit Kunst nichts zu tun, es ist reine Gedankenarbeit. Architektur entsteht heute nach ökonomischen, konstruktiven und funktionellen Gesetzmäßigkeiten.“ (Egon Eiermann 1904-1970, Architekt)

10 Glossar

- Ablegereife: Der Zeitpunkt, an dem Tragmittel, zum Beispiel Stahlseile, auf Grund von Sicherheitsaspekten präventiv ausgetauscht werden.
- Acceleration: Beschleunigung
- Analysis Data: Bezeichnung des Eingabemaske für allgemeine Analyseparameter der Simulationssoftware ELEVATE™
- Annuity Method: Annuitätsmethode
- Aufzugsgruppe: Eine Gruppe mehrerer Aufzugsanlagen, die durch ihre Steuerungseinheiten mit einander verbunden sind.
- Baugruppe: Zusammenfassen einzelner Komponenten, die zur Erfüllung einer technischen Funktionalität dienen.
- Biegewechsel: Richtungsänderung des Seiles durch Umlenkrollen oder Scheiben.
- Benchmark: Kennwerte und Kennzahlen, die zum Vergleichen und Bewerten genutzt werden können.
- Betriebsstunden: Zeit, in der die Anlage eingeschaltet ist und für die Nutzung zur Verfügung steht. (inklusive Standby)
- Building Data: Bezeichnung des Eingabemaske für Gebäudedaten der Simulationssoftware ELEVATE™
- CIBSE Full Day Office: Personenstrom eines typischen Bürogebäudes des Chartered Institution of Building Services Engineers (CIBSE)
- Compression (Rope extension): Dehnung der Seile
- Concept: Konzeption der Erschließung
- Consumption: Verbrauch
- Disassembling: Demontage
- Double Deck: Aufzug mit zwei fest miteinander verbundenen Kabinen pro Schacht (Doppeldecker)
- Earnings: Einzahlungen

- Effizienz: Das Verhältnis zwischen „Input“ und „Output“.
- Einschaltdauer: Dauer, in der sich eine Aufzugsanlage im Fahrbetrieb befindet, abzüglich der Betriebsbereitschaft (Standby).
- ELEVATE™: Simulationssoftware für Aufzugssysteme (Peters –Research)
- Elevator: Aufzug, Lift
- Elevator Arrangement: Form und Art der Anordnung von Aufzügen zu einer Gruppe.
- Elevator Data: Bezeichnung des Eingabemaske für technische Aufzugsparameter der Simulationssoftware ELEVATE™
- Erschließungskonzept: Die Strategie, wie Personen mit Hilfe der Aufzüge die jeweiligen Geschosse eines Gebäudes anfahren können.
- Exploitation Costs: Verwertungskosten
- Facility: Gebäude
- Fahrkorb: Fördereinheit, bestehend aus Kabine und Rahmen (Fangrahmen).
- Fahrt: Beginnt mit dem Beschleunigen der Fördereinheit und endet mit der Verzögerung bis zum Stillstand.
- Figure of Merit: Verhältniszahl (hier Verhältniszahl der Förderleistung)
- Führungsschiene: Fahrbahn zum Führen der Fördereinheit sowie des Gegengewichtes.
- Gegengewicht: Gewicht zum Ausgleichen des Fahrkorbgewichtes und der Nutzlast.
- Gruppe: Eine Gruppe mehrerer Aufzugsanlagen, die durch ihre Steuerungseinheiten miteinander verbunden sind.
- Handling Capacity: Förderleistung
- Hersteller: Hersteller von einzelnen Komponenten und oder auch kompletten Systemen.
- Initial Costs: Investitionskosten
- Interest rate: Zinsen
- Kabine: Fördereinheit für den Personentransport.

- Lastkollektiv: Zusammenfassen verschiedener Lastfälle zu einem Lastprofil.
- LCC: Life Cycle Costing - Lebenszykluskosten
- Lifecycle: Lebenszyklus
- Lieferant: Die natürliche / juristische Person, die mit der Lieferung vertraglich definierter Liefer- und Leistungsumfängen beauftragt ist.
- Lift: Englischsprachiger Begriff für Aufzug
- Maintenance: Wartung
- Machine room: Maschinenraum des Aufzuges
- Nenngeschwindigkeit: Die nominale und maximale Betriebsgeschwindigkeit.
- Net-Gross-Ratio (NGR): Verhältnis von Netto und Brutto (Flächenverhältnis)
- Noise Level: Geräuschniveau zur Beurteilung des Fahrkomforts.
- Nutzungsart: Bestimmungsgemäße und vorgesehene Nutzung, wie zum Beispiel Hotel, Büro oder Wohnen.
- Operating Costs: Betriebskosten
- Overrun: Schachtkopf, gemessen von Oberkante Fertigfußboden der obersten Haltestelle bis unterkannte Schachtabschlussdecke.
- Passenger Data: Bezeichnung des Eingabemaske für Passagierdaten der Simulationssoftware ELEVATE™
- Price alteration: Preisveränderungsrate
- Reliability: Verfügbarkeit der Aufzugsanlagen
- Rentable Surface: Vermietbare Fläche
- Repair: Instandsetzung
- Population: Personenbelegung im Gebäude
- Savings: Einsparungen (hier Flächeneinsparungen)
- Shaft: Aufzugsschacht
- Shaft pit: Schachtgrube
- Service Level: Qualität und Quantität der Förderleistung
- Single Deck: Konventioneller Aufzug mit einem Fahrkorb pro Schacht

- Spatial Plot: Diagramm zeigt die zurückgelegte Strecke der Aufzüge.
- Transportstrategie: Die Strategie, wie Personen mit Hilfe der Aufzüge die jeweiligen Geschosse eines Gebäudes anfahren können.
- Umlaufzeit: Die Zeit, die ein Aufzug vom Verlassen bis zur Ankunft der Haupt-
haltestelle benötigt.

11 Quellenangaben

11.1 Monographien

- Barney, Dr. Gina (2003): Elevator Traffic Handbook Theory and Practice by Dr. Gina Barney.
- Braun, H.-P.; Oesterle, E.; Haller, P. (2004): Facility Management - Erfolg in der Immobilienwirtschaft. Berlin.
- British Council for Offices (2009): Best Practice for Office in the Specification for Offices. London.
- British Council for Offices (2009): Practice for selection and installation. London.
- Campi, Mario (2000): Skyscrapers – An Architectural Type of Modern Urbanism. Basel, Boston, Berlin.
- CIBSE (2005): CIBSE Guide D – Transportations Systems in Buildings, Norwich.
- Die Deutsche Bibilothek; (1996) DUDEN – Das Neue Lexikon in 10 Bänden. Mannheim, Leipzig.
- Dietrich, Reinhard (2005): Entwicklung werthaltiger Immobilien – Einflussgrößen, Methoden, Werkzeuge. Stuttgart.
- Dietrichs, Claus Jürgen (2006): Immobilienmanagement im Lebenszyklus – Projektentwicklung, Projektmanagement, Facility Management, Immobilienbewertung.
- Dolde Walter (2008): Möglichkeiten zur Reduzierung des Energiebedarfs von Aufzügen. Vortrag Heilbronner Aufzugstage 2008 Technische Akademie Heilbronn e.V.
- Dörsam, Peter (2007): Grundlagen der Investitionsrechnung – anschaulich dargestellt. 5. Auflage. Heidenau.
- Hellerforth, Michaela (2006): Facility Management für Immobilienunternehmen. Berlin.
- Jappsen, Hans (2002): Aufzugsanlagen. In: Eisele, Johann; Kloft, Ellen: Hochhaus Atlas. München.

-
- Jappsen, Hans (2003): Vortrag in Schwelm am 25.07.2003.
 - Keller, Siegbert (1995): Baukostenplanung für Architekten - Norm- und praxisgerechte Kostenermittlung nach DIN 276. Wiesbaden.
 - Kirk, Dr. Stephen J.; Dell'Isola, Alphonse J. (1995): Life Cycle Costing for Design Professionals – Second Edition. New York.
 - Krimmling, Jörn (2005): Facility Management – Strukturen und methodische Instrumente. Stuttgart.
 - Lampugnani, Vittorio Magnago; Hartwig, Lutz: Aufzug Fahrtreppe Paternoster – Eine Kulturgeschichte vom Vertikal-Transport. Ernst & Sohn.
 - Law A.M., Kelton D.W. (2000:) Simulation Modeling and Analysis, Industrial Engineering and Management Science.
 - Lochmann, Hans - Dieter (2000): Facility Management – Strategisches Immobilienmanagement in der Praxis. Wiesbaden.
 - Miravete, Antonio (2001): New Materials and New Technologies Applied to Elevators.
 - Naber, Sabine (2002): Planung unter Berücksichtigung der Baunutzungskosten als Aufgabe des Architekten im Feld des Facility Managements. Frankfurt / Main.
 - Nävy, Jens (2002): Facility Management - Grundlagen, Computerunterstützung, Systemeinführung, Anwendungsbeispiele. Berlin.
 - Oess, Attila (1994): Total Quality Management – Die ganzheitliche Qualitätsstrategie. Wiesbaden.
 - Pelzeter, Andrea (2006): Lebenszykluskosten von Immobilien – Einfluss von Lage, Gestaltung und Umwelt. Immobilien Informationsverl. Rudolf Müller. Köln
 - Pfeiffer, Martin (2004): Architektur- und Ingenieurmanagement – Ganzheitliches Planen, Bauen und Bewirtschaften. Berlin.
 - Preuß, Norbert (2006): Real Estate und Facility Management - Aus Sicht der Consultingpraxis. Berlin.
 - Sauerbier Th. (1999): Theorie und Praxis von Simulationssystemen. Wiesbaden.

- Scheffler, Martin; Feyrer, Klaus; Matthias, Karl (1998): Fördermaschinen – Hebezeuge, Aufzüge, Flurförderzeuge. Wiesbaden.
- Schilling, Siegfried (2002): Facility Management. In: Eisele, Johann; Kloft, Ellen: Hochhaus Atlas. München.
- Schönberger, Siegmund (2007): Benchmarking – Pools für Facility Management. Saarbrücken.
- Simmen, Jeannot / Drepper, Uwe (1984): Der Fahrstuhl. München.
- Strakosch, George.R (1998): The Vertical Transportation Handbook.
- Zukowsky, John (2001): Skyscrapers – Before the Millennium, a question of boom or bust. München, London, New York.

11.2 Normblätter / Richtlinien

- Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen (2001): Leitfaden Nachhaltiges Bauen.
- BRE Global Limited (2010): BREEAM – Scheme Document SD 5068. Watford Hertfordshire.
- Deutsches Institut für Normung (1994): DIN Taschenbuch, Kosten von Hochbauten, Flächen, Rauminhalte, Normen, Gesetze, Verordnungen. Berlin.
- Deutsches Institut für Normung (2002): DIN 13015, Instandhaltung von Aufzügen und Fahrtreppen – Regeln für Instandhaltungsanweisungen, Deutsches Institut für Normung. Berlin.
- Deutsches Institut für Normung (2005): DIN 277-1, Grundflächen und Rauminhalte von Bauwerken im Hochbau – Teil: Begriffe, Ermittlungsgrundlagen. Berlin.
- Deutsches Institut für Normung (2005): DIN EN81-1, Sicherheitsregeln für die Konstruktion und den Einbau von Aufzügen. Berlin.
- Deutsches Institut für Normung (2006): DIN 1961 - VOB Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen Teil B Allgemeine Vertragsbedingungen für die Ausführung von Bauleistungen. Berlin.

- Deutsches Institut für Normung (2006): DIN 276 / 1, Kosten im Bauwesen Teil 1: Hochbau. Berlin.
- Deutsches Institut für Normung (2008): DIN 18960, Nutzungskosten im Hochbau. Berlin.
- GEFMA (2006): Lebenszykluskostenberechnung im FM – GEFMA 220-1. Bonn.
- GEFMA 200 (2006): Kosten im Facility Management - Kostengliederungsstruktur zu GEFMA 100. Bonn.
- International Standard (2001): ISO 4190 Teil 1 & 2 – Lift installation. Genf.
- Richtlinie 95/16/EG.
- Richtlinie 98/37/EG.
- VDI (1992): Simulation von Logistik-, Materialfluss- und Produktionssystemen, Grundlagen. Düsseldorf.
- VDI (2000): 2067 /1 Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen, Düsseldorf.
- VDI (2002): Aufzüge und Gebäudetechnik. Düsseldorf.
- VDI (2002): VDI 6009 /1-3 Facility Management - Anwendungsbeispiele aus dem Gebäudemanagement . Düsseldorf.
- VDI (2005): 6025, Betriebswirtschaftliche Berechnungen für Investitionsgüter und Anlagen, Düsseldorf.
- VDI (2005): VDI 2884, Beschaffung, Betrieb und Instandhaltung von Produktionsmitteln unter Anwendung von Life Cycle Costing, Düsseldorf,
- VDI (2009): VDI 4707 /1 Aufzüge - Energieeffizienz, Düsseldorf.
- VDMA (2006): Prognosemodell für die Lebenszykluskosten von Maschinen und Anlagen – VDMA 34160.

11.3 Zeitschriftenartikel / Zeitungsartikel

- elektronikJournal (02/2006): Panasonic Electric Works – Gute Tipps.
- Elevator World (07/2003): Siikonen, Marja-Liisa / Hakonen, Henri Efficient Evacuation Methods in tall buildings.

- Künzler, Philippe (2001): Lebenszyklus von Gebäuden – Ganzheitliche Ökobilanzierung für eine umfassende Betrachtung von Planungs- und Bauprozessen. tec 21 27-28 / 2001.
- Lift Report, 34. Jahrg. Heft 6 (2008): Seile und Seilkonstruktionen/ Barthel T, Scheunemann W, Vogel W, Dortmund.
- Lift Report, 35. Jahrg. Heft 1 (2009): Energie-Effizienz von Aufzugssystemen – vergleich auf der Grundlage der VDI 4707 / Gerhard Thumm, Dortmund.
- Nipkow, Jürgen (2005): SIA 380 / 4 - Elektrizitätsverbrauch und Einsparpotenziale bei Aufzügen. Bundesamt für Energie. Zürich.
- Raffel, Wolf-Ulrich (2001): Simulationstheorie. Institut für Informatik / Freie Universität Berlin.

11.4 Wissenschaftliche Arbeiten

- Maas, Tobias (2009): Diplomarbeit - Der grüne Planungsleitfaden von Thyssen-Krupp Aufzüge.
- Riegel, Wolfgang (2004): Dissertation / Ein softwaregestütztes Berechnungsverfahren zur Prognose und Beurteilung der Nutzungskosten von Bürogebäuden.

11.5 Internetquellen

- <http://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/Gesetz/entwurf-aenderung-beschaffung-energieeffizienteprodukte,property=pdf,bereich=bmwi>, (12.02.2008, 11:32 Uhr)
- http://www.bundesfinanzministerium.de/cln_03/nn_3792/DE/Steuern/Veroeffentlichungen__zu__Steuerarten/Betriebspruefung/005.html (17.12.2007, 14:03 Uhr)
- <http://catalog.myosram.com/zb2b/catalog/products.do> (12.10.2007, 16:10 Uhr)
- <http://www.finanzen-lexikon.de/lexikon.htm> (17.01.2008, 11:35 Uhr).
- <http://www.gesetze-im-internet.de/bgb>, Bundesministerium der Justiz, (29.05.08, 16:18 Uhr)
- <http://www.lift-report.de/>, (15.10.2009 15:20 Uhr)
- <http://www.openpr.de>, (07.05.2009 11:35 Uhr)

- <http://www.usgbc.org/DisplayPage.aspx?CMSPageID=1988> (17.09.2010 10:17Uhr)
- http://www.dgnb.de/_de/zertifizierung/zertifikat/ (17.09.2010 08:59Uhr)

11.6 Herstellerangaben

- ACLA: Planungsunterlagen - Rollenführungen für den Aufzugsbau.
- ACLA: Planungsunterlagen – Führungsschuhe, Führungsschuh-Einlagen und Gleit-Einlagen für den Aufzugsbau.
- ebmpapst; Herstellerangaben, Planungsunterlagen.
- ETRI: Herstellerangaben, Planungsunterlagen.
- Pfeifer Drako: Planungsunterlagen – Aufzugseile, Ausgabe 09/2009.
- PHILIPS: Herstellerangaben, Planungsunterlagen
- Telemecanique: Herstellerangaben, Planungsunterlagen.
- ThyssenKrupp Aufzugswerke GmbH: Planungsunterlagen.
- Wittur: Herstellerangaben, Planungsunterlagen.
- Colliers International: Global Office Real Estate. (2010).

11.7 Projektunterlagen

- Architectonica: Projektunterlagen (2009).

12 Verzeichnisse

12.1 Abkürzungen

ATT	Average Transit Time (Durchschnittliche Fahrzeit)
ATTD	Average Time to Destination (Durchschnittliche Zielerreichzeit)
AWT	Average Waiting Time (Durchschnittliche Wartezeit)
BGB	Bürgerliches Gesetzbuch
BGF	Brutto Grundfläche
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft
BREEAM	Building Research Establishment's and Environmental Assessment Method
BRI	Bruttorauminhalt
CIBSE	Chartered Institution of Building Service Engineers
DGNB	Deutsche Gesellschaft für nachhaltiges Bauen
DIN	Deutsches Institut für Normung
DZW	Durchschnittliche Wartezeit
EN	Europäische Norm
EU	Europäische Union
FM	Facility Management
GEFMA	German Facility Management
HC5	Handling Capacity in five minutes
HGB	Handelsgesetzbuch
LCC	Life Cycle Costs
LEED	Leadership in Energy and Environmental Design
LzK	Lebenszykluskosten
NF	Nettofläche
TÜV	Technischer Überwachungsverein
US / USA	United States / United States of America
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
VDMA	Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbauer
VF	Verkehrsfläche
VOB	Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen

12.2 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1.1	Einfluss der Vertikalerschließung	3
Abb. 1.2.1	Definition der Lebenszykluskosten.....	6
Abb. 1.2.2 - A	Kernaufgaben des Facility Management	8
Abb. 1.2.2 - B	Vergleich der Marktstruktur Deutschland / USA.....	9
Abb. 1.2.2 - C	Säulen des Facility Managements.....	11
Abb. 1.2.3	Kinematik einer Aufzugsbewegung	13
Abb. 1.3	Strukturaufbau der Methode.....	15
Abb. 1.3.2	Empfehlung von Lebenszyklusbetrachtungen.....	18
Abb. 1.4	Struktur und Aufbau der Arbeit.....	19
Abb. 2.1	Verhältnis von Investitions- und Nutzungskosten	24
Abb. 2.1.5.2 - A	Kostengliederung nach GEFMA 200.....	30
Abb. 2.1.5.2 - B	Integration der DIN 276 in GEFMA 200.....	31
Abb. 2.2.3.2	Gliederung der Energiekosten nach DIN 18960.....	37
Abb. 2.4.2	Schematischer Aufbau üblicher Wartungsmodelle.....	43
Abb. 3.3 - A	VDI 4707 Energiebedarfsklassen (Fahrbedarf).....	52
Abb. 3.3 - B	VDI 4707 Energiebedarfsklassen (Stillstandsbedarf).....	53
Abb. 3.3 - C	VDI 4707 Nutzungskategorien.....	53
Abb. 3.3 - D	VDI 4707 Beispiel.....	54
Abb. 3.4.3	Struktur der Investitionsrechnungsverfahren.....	57
Abb. 4.1	Verkehrsaufkommen in einem Bürogebäude.....	64
Abb. 4.1.1	Ablauf einer Simulation.....	66
Abb. 4.1.2	Definition der Begriffe Warte-, Fahr- Zielerreichzeit.....	67
Abb. 4.1.3	Typisches Profil einer zweistündigen Mittagspause.....	69
Abb. 4.2.3.1	Aufzugskonfigurationen mit konventionellen Aufzügen.....	74
Abb. 4.2.3.2	Aufzugskonfigurationen mit Mehrkabinensystemen.....	75
Abb. 4.2.3.3 - A	Doppelstöckige Zugangsebene.....	76
Abb. 4.2.3.3 - B	Empfehlungen zur Aufzugsanordnung.....	77
Abb. 5.2.1	Beispiel einer Eingabestation einer Zielwahlsteuerung.....	80
Abb. 6.3.1.5	Bewertungsmatrix des Qualitätsniveaus.....	98
Abb. 6.4.1	Kennzahl zur Bewertung der Förderleistung.....	100
Abb. 6.5	Gliederung der Brutto – Grundfläche (BGF).....	101
Abb. 6.6	Grenzwerte zur Beurteilung der Kennwerte.....	104

Abb. 7.5	Simulierter Fahrverlauf einer Aufzugsgruppe.....	110
Abb. 8.1	Anwendbarkeit der Methode.....	117
Abb. 8.1.4	Überblick der Varianten des Konzeptvergleichs.....	120
Abb. 8.2	Zusammenfassung der Varianten des Konzeptvergleichs...	121
Abb. 8.3 A	Zusammenfassung der reinen Lebenszykluskosten.....	123
Abb. 8.3 B	Gegenüberstellung der Flächeneinsparungen.....	124
Abb. 8.3 C	Lebenszykluskosten der Erschließungskonzepte.....	125
Abb. 8.3 D	Amortisationsdauer der Erschließungskonzepte.....	126
Abb. 8.4.1	Auswertung von Konzept 1.....	128
Abb. 8.4.2	Auswertung von Konzept 2.....	129
Abb. 8.4.3	Auswertung von Konzept 3.....	131
Abb. 8.4.4 - A	Einstufung der Förderleistung der Beispielkonzepte.....	132
Abb. 8.4.4 - B	Zusammenfassung und Gegenüberstellung.....	133
Abb. 9.1.3	Ausfallwahrscheinlichkeit von Aufzügen.....	144
Abb. 9.3	Möglichkeiten der Schachtreduzierung.....	148
Abb. 9.4 - A	Fallstudie: Beschreibung der Konzeption.....	150
Abb. 9.4 - B	Fallstudie: Prinzip des Mehrkabinensystems.....	151
Abb. 9.4 - C	Fallstudie: Auswertung der Konzeption.....	152
 Anhang		
Abb.1	Auswahl und Definition des Simulationsprofils.....	I
Abb.2	Darstellung der Aufzugsgruppe.....	II
Abb.3	Eingabe technischer Parameter.....	III
Abb.4	Eingabe der Investitionskosten und des Wartungsvertrags..	IV
Abb.5 – A	Ermittlung der Lebensdauer und der Kosten.....	V
Abb.5 – B	Ermittlung der Lebensdauer und der Kosten.....	VI
Abb.5 – C	Ermittlung der Lebensdauer und der Kosten.....	VII
Abb.5 – D	Ermittlung der Lebensdauer und der Kosten.....	VIII
Abb.5 – E	Ermittlung der Lebensdauer und der Kosten.....	IX
Abb.5 – F	Ermittlung der Lebensdauer und der Kosten.....	X
Abb.6	Ermittlung der Energiekosten und Zusammenfassung.....	XI

12.3 Tabellenverzeichnis

Tab. 2.3.2	Typische Merkmale für Qualität.....	40
Tab. 4.1.2 - B	Kriterien zur Bewertung der Förderleistung.....	67
Tab. 6.3.1.1	Grenzwerte für Beschleunigungen.....	95
Tab. 6.3.1.2	Grenzwerte für maximal zulässige Schalldruckpegel.....	96
Tab. 6.3.1.3	Einstufung der Systemverfügbarkeit.....	97
Tab. 6.3.1.4	Grenzwerte für Seileinfederungen.....	97
Tab. 7.6	Rechnerische Ansätze der Austauschhäufigkeit.....	112
Tab. 7.7 - A	Kostenelementstruktur.....	113
Tab. 7.7 - B	Zuweisung von LCC Code zu Kostengruppen der DIN.....	115
Tab. 9.4	Fallstudie: Flächeneinsparung eines Mehrkabinensystem...	153

13 Anhang

Exemplarisch werden nachfolgend die Lebensdauerberechnungen für die Ferngruppe von Konzept 1 dargestellt:

Input Data for LCC Calculation (Concept 1)

Project Name Example (C1 high)	Lift Code High Rise	Date	
Building Type Office		Currency Euro	

Simulation Profile

24h Traffic - Profil

Custom

HC5 (%)	Time Periode (h)	Simulation
13	1	Barney Up peak (1 hour)
5	6	Barney Interfloor (1 hour)
13	1	Barney Lunch peak (1 hour)
13	1	Barney Down peak (1 hour)

Full day profile

Siikonen full day office
 24 hour 12 hour

Daily total running h

Daily total standby h

Life Cycle - Period

Days / year running	<input type="text" value="250"/>	Life Cycle Period	<input type="text" value="20"/> years
Days / year standby	115	Days / period running	5000 days
	=	Days / period standby	2300 days

Group Performance Level

Average Waiting Time	<input type="text" value="21,3"/> sec	Average Time to Destination	<input type="text" value="95,6"/> sec
Average Transit Time	<input type="text" value="74,3"/> sec	Handling Capacity in 5 min. (HC5)	<input type="text" value="13"/> %
		Elevator Service Factor	<input type="text" value="0,66"/> ESF
		Classification	<input type="text" value="A"/>

Abb.1 Auswahl und Definition des Simulationsprofils (Bildquelle: Eigenentwickelte Softwareanwendung auf der Basis von Microsoft EXCEL)

Group Arrangement												
Explanation												
●	Landing	●	Multicar	●	SD	●	UC = Upper Car (Twin Lift)	●	LC = Lower Car (Twin Lift)	●	DD	
 	optional Landing	P	shaft pit	MR	machine room	 	UC	 	LC	 	DD	
E	no stop	OR	over run	 		 		 		 		
 	emergency door	 		 		 		 		 		
Floor Dist. (mm)	Landing	Shaft 1	Shaft 2	Shaft 3	Shaft 4	Shaft 5	Shaft 6	Shaft 7	Shaft 8	Shaft 9	Shaft 10	Lobby Area (m²)
0	0	P	P	P	P	P	P	P	P			44
5600	1	●	●	●	●	●	●	●	●			44
3800	2	●	●	●	●	●	●	●	●			44
4000	3	⊠	⊠	⊠	⊠	⊠	⊠	⊠	⊠			0
4800	4	E	E	E	E	E	E	E	E			44
3800	5	○	○	○	○	○	○	○	○			44
4800	6	○	○	○	○	○	○	○	○			44
3800	7	⊠	⊠	⊠	⊠	⊠	⊠	⊠	⊠			0
3800	8	E	E	E	E	E	E	E	E			44
3800	9	⊠	⊠	⊠	⊠	⊠	⊠	⊠	⊠			0
3800	10	⊠	⊠	⊠	⊠	⊠	⊠	⊠	⊠			0
3800	11	E	E	E	E	E	E	E	E			44
3800	12	⊠	⊠	⊠	⊠	⊠	⊠	⊠	⊠			0
3800	13	⊠	⊠	⊠	⊠	⊠	⊠	⊠	⊠			0
3800	14	E	E	E	E	E	E	E	E			44
3800	15	⊠	⊠	⊠	⊠	⊠	⊠	⊠	⊠			0
3800	16	⊠	⊠	⊠	⊠	⊠	⊠	⊠	⊠			0
3800	17	E	E	E	E	E	E	E	E			44
3800	18	⊠	⊠	⊠	⊠	⊠	⊠	⊠	⊠			0
3800	19	⊠	⊠	⊠	⊠	⊠	⊠	⊠	⊠			0
3800	20	E	E	E	E	E	E	E	E			44
3800	21	⊠	⊠	⊠	⊠	⊠	⊠	⊠	⊠			0
3800	22	⊠	⊠	⊠	⊠	⊠	⊠	⊠	⊠			0
3800	23	E	E	E	E	E	E	E	E			44
3800	24	⊠	⊠	⊠	⊠	⊠	⊠	⊠	⊠			0
3800	25	○	○	○	○	○	○	○	○			44
3800	26	●	●	●	●	●	●	●	●			44
3800	27	●	●	●	●	●	●	●	●			44
3800	28	●	●	●	●	●	●	●	●			44
3800	29	●	●	●	●	●	●	●	●			44
3800	30	●	●	●	●	●	●	●	●			44
3800	31	●	●	●	●	●	●	●	●			44
3800	32	●	●	●	●	●	●	●	●			44
3800	33	●	●	●	●	●	●	●	●			44
3800	34	●	●	●	●	●	●	●	●			44
3800	35	●	●	●	●	●	●	●	●			44
3800	36	●	●	●	●	●	●	●	●			44
3800	37	●	●	●	●	●	●	●	●			44
3800	38	●	●	●	●	●	●	●	●			44
3800	39	●	●	●	●	●	●	●	●			44
3800	40	●	●	●	●	●	●	●	●			44
3800	41	●	●	●	●	●	●	●	●			44
42	42	OR	OR	OR	OR	OR	OR	OR	OR			
44	43	MR	MR	MR	MR	MR	MR	MR	MR			
44	44											

Arrangement Data											
Served Landings	21	21	21	21	21	21	21	21	21	0	0
Emergency Doors	7	7	7	7	7	7	7	7	7	0	0
Shaft Height (m)	170,4	170,4	170,4	170,4	169,6	170,4	170,4	170,4	170,4		
Travel Height (m)	156	156	156	156	156	156	156	156	156	0	0
MR Height (m)	3800	3800	3800	3800	3800	3800	3800	3800	3800		
Number of cars:	1	1	1	1	1	1	1	1	1		

Dividing Beams Thickness mm Shaft wall thickness m Lift arrangement

Abb.2 Darstellung der Aufzugsgruppe (Bildquelle: Eigenentwickelte Softwareanwendung auf der Basis von Microsoft EXCEL)

Elevator Data										
Elevator Data										
	Shaft 1	Shaft 2	Shaft 3	Shaft 4	Shaft 5	Shaft 6	Shaft 7	Shaft 8	Shaft 9	Shaft 10
Shaft width (single shaft)	[mm]	2600	2600	2600	2600	2600	2600	2600	2600	
Shaft depth	[mm]	2900	2900	2900	2900	2900	2900	2900	2900	
car width	[mm]	1950	1950	1950	1950	1950	1950	1950	1950	
car depth	[mm]	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	
car height	[mm]	2600	2600	2600	2600	2600	2600	2600	2600	
Shaft Head	[mm]	6100	6100	6100	6100	6100	6100	6100	6100	
Shaft Pit	[mm]	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500	
Machine Room Height	[mm]	3800	3800	3800	3800	3800	3800	3800	3800	
capacity	[kg]	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800	
speed	[m/s]	7	7	7	7	7	7	7	1	1
Door Width	[mm]	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	
Door Height	[mm]	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	
Home Landing	Entr. 1	2	2	2	2	2	2	2	2	
	Entr. 2									
High frequently level										
Total Shaft Area		3457,12 m ²								
Core Gross Volume		18800,63 m ³								
Total Lobby		1232,00 m ²								
Shaft Wall Construction		11643,00 m ²								

Load Profile (24h)										
Door Cycle (Shaft Doors)										
	Shaft 1	Shaft 2	Shaft 3	Shaft 4	Shaft 5	Shaft 6	Shaft 7	Shaft 8	Shaft 9	Shaft 10
Door cycle main lobby 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Door cycle main lobby 2	232	243	240	220	232	218	202	204	0	0
High frequently level	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Other land. (per served floor)	156	152	149	147	145	136	133	132	0	0

Elevator Running										
Trips per periode										
Car 1 (conv. or TWIN UC)	Shaft 1	Shaft 2	Shaft 3	Shaft 4	Shaft 5	Shaft 6	Shaft 7	Shaft 8	Shaft 9	Shaft 10
Car 1 (conv. or TWIN UC)	2414	2373	2322	2278	2262	2115	2061	2046	0	0
Car 2 (TWIN LC)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Running Time (sec)										
Car 1 (conv. or TWIN UC)	Shaft 1	Shaft 2	Shaft 3	Shaft 4	Shaft 5	Shaft 6	Shaft 7	Shaft 8	Shaft 9	Shaft 10
Car 1 (conv. or TWIN UC)	22884,6	22993,1	22684,6	21906,8	22043,7	20795	19879	19650,3	0	0
Car 2 (TWIN LC)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Abb.3 Eingabe technischer Parameter und Darstellung des 24h Lastprofils (Bildquelle: Eigenentwickelte Softwareanwendung auf der Basis von Microsoft EXCEL)

Life Cycle Costs

LCC Transportation

```

    graph TD
      LCC[LCC Transportation] --> IC[Initial Costs (IC)]
      LCC --> OC[Operating Costs (OC)]
      LCC --> EC[Exploitation Costs (EC)]
      IC --> IC1[IC 1 Lift]
      IC --> IC2[IC 2 Building]
      OC --> OC1[OC 1 Maintenance]
      OC --> OC2[OC 2 Repair]
      OC --> OC3[OC 3 Energy]
      EC --> EC1[EC 1 Disassembling]
    
```

Initial Costs (IC)

Lift Equipment Costs (IC1)

Offer TKE	Price per liftgroup	5.460.000,00	
Other costs	Price per liftgroup	0,00	€ 5.460.000,00

Construction Costs (IC2)

		input costs		
Core Volume	18801 [m²] x	<input type="text"/> per m²	<input type="text"/> €	<input type="radio"/> Calculated by Volumen
Shaft Construction	11643 [m²] x	<input type="text" value="110,00"/> per m²	1.280.730,00 €	<input checked="" type="radio"/> Calculated by Construction
Total Shaft Area	3457 [m²] x	<input type="text"/> per m²	<input type="text"/> €	<input type="radio"/> Calculated by Area
Total Lobby Area	1232 [m²] x	<input type="text" value="125,00"/> per m²	154.000,00 €	
			<input checked="" type="checkbox"/> IC2	€ 1.434.730,00

Operating Costs (OC)

Maintenance (OC1)

= not included = included

Maintenance Type	Basic EN 13015	Maintenance	Comprehensive Maintenance
price per group per year			128.000
Inspection and visual check			●
Operation test			●
Cleaning of operational dirt			●
Exploitation of lubricant			●
Allocation of service staff during in-service inspection			●
Allocation of test equipment			●
Passenger rescue			●
Oil change			●
Clear operat. faults (working day)			900
Clear operat. faults 24h			900
Telewatch			100
Teleservice			100
Maintenance price per LC Periode (OC 1)			2.600.000

Abb.4 Eingabe der Investitionskosten und Auswahl des Wartungsvertrags (Bildquelle: Eigenentwickelte Softwareanwendung auf der Basis von Microsoft EXCEL)

Repair (OC2) incl. Expendable part											
Rope / Compensation / Pulley											
	Shaft 1	Shaft 2	Shaft 3	Shaft 4	Shaft 5	Shaft 6	Shaft 7	Shaft 8	Shaft 9	Shaft 10	
Conventional Car / TWIN: Upper Car	Rope (incl. isolation)	16mm	16mm	16mm	16mm	16mm	16mm	16mm			
	no.	7	7	7	7	7	7	7			
	No. of replacement	7	7	7	6	6	6	6			
	Compensation	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	no	no	
	Rope	16mm	16mm	16mm	16mm	16mm	16mm	16mm			
	no.	7	7	7	7	7	7	7			
	No. of replacement	4	4	4	3	3	3	3			
	Tensioning Device	0	0	0	0	0	0	0			
	Pulley	average 640mm	640mm	640mm	640mm	640mm	640mm	640mm	640mm	360mm	360mm
	no.	1	1	1	1	1	1	1	1		
No. of replacement	1	1	1	1	1	1	1	1			
TWIN: Lower Car	Rope (incl. isolation)										
	no.										
	No. of replacement										
	Compensation	no	no	no	no	no	no	no	no	no	
	Rope										
	no.										
	No. of replacement										
	Tensioning Device										
	Pulley	average 540mm	540mm	540mm	540mm	360mm	360mm	360mm	360mm	360mm	360mm
	no.										
No. of replacement											
Conv. Car / Upper Twin	Pricing	Shaft 1	Shaft 2	Shaft 3	Shaft 4	Shaft 5	Shaft 6	Shaft 7	Shaft 8	Shaft 9	Shaft 10
	Rope										
	Compensation Ropes										
	Tensioning Device										
	Pulley										
Lower Twin	Rope										
	Compensation Ropes										
	Tensioning Device										
	Pulley										
	Sum	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Rope / Compensation / Pulley		Basic EN 13015					Maintenance			Comprehensive	
Total (per LC Periode)										0,00	

Abb.5 – A Ermittlung der Lebensdauer und der Kosten (Bildquelle: Eigenentwickelte Softwareanwendung auf der Basis von Microsoft EXCEL)

Doors		Shaft 1	Shaft 2	Shaft 3	Shaft 4	Shaft 5	Shaft 6	Shaft 7	Shaft 8	Shaft 9	Shaft 10
		S5K5-2c	S5K5-2c	S5K5-2c	S5K5-2c	S5K5-2c	S5K5-2c	S5K5-2c	S5K5-2c	S8K8-2c	S8K8-2c
Width (mm)		1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	0	0
Car Door Conventional Car / TWIN: Upper Car	Car Door										
	No. of replacement										
	Locking contact	4	3	3	3	3	3	3	3		
	Rope pulley	4	3	3	3	3	3	3	3		
	Roller	4	3	3	3	3	3	3	3		
	Rope	2	2	2	2	2	2	2	2		
	Counter pulley	2	2	2	2	2	2	2	2		
	Guide shoes	4	3	3	3	3	3	3	3		
	Tooth belt	4	3	3	3	3	3	3	3		
	V- Belt / Pulley	4	3	3	3	3	3	3	3		
	Cam	2	2	2	2	2	2	2	2		
	Cam drive	2	2	2	2	2	2	2	2		
	Door drive	2	2	2	2	2	2	2	2		
	Car Door TWIN: Lower Car	Car Door									
No. of replacement											
Locking contact											
Rope pulley											
Roller											
Rope											
Counter pulley											
Guide shoes											
Tooth belt											
V- Belt / Pulley											
Cam											
Cam drive											
Door drive											

Abb.5 – B Ermittlung der Lebensdauer und der Kosten (Bildquelle: Eigenentwickelte Softwareanwendung auf der Basis von Microsoft EXCEL)

Shaft Door Main Lobby 1											
No. of replacement											
Locking contact											
Hook bolt											
Roller											
Rope											
Counter pulley											
Guide shoes											
Shaft Door Main Lobby 2											
No. of replacement											
Locking contact	0	0	0	0	0	0	0	0			
Hook bolt	0	0	0	0	0	0	0	0			
Roller	0	0	0	0	0	0	0	0			
Rope	0	0	0	0	0	0	0	0			
Counter pulley	0	0	0	0	0	0	0	0			
Guide shoes	0	0	0	0	0	0	0	0			
High frequently level											
No. of replacement											
Locking contact											
Hook bolt											
Roller											
Rope											
Counter pulley											
Guide shoes											
Other Landings (per door)											
No. of replacement											
Locking contact	0	0	0	0	0	0	0	0			
Hook bolt	0	0	0	0	0	0	0	0			
Roller	0	0	0	0	0	0	0	0			
Rope	0	0	0	0	0	0	0	0			
Counter pulley	0	0	0	0	0	0	0	0			
Guide shoes	0	0	0	0	0	0	0	0			
Car Doors	Pricing	Shaft 1	Shaft 2	Shaft 3	Shaft 4	Shaft 5	Shaft 6	Shaft 7	Shaft 8	Shaft 9	Shaft 10
	Conv. / Upper TWIN										
	Lower TWIN										
Shaft Doors	Main Landing 1										
	Main Landing 2										
	High frequently Level										
	Other doors										
	Sum	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Car + Shaft Doors		Basic EN 13015					Maintenance		Comprehensive		
Total (per LC Periode)										0,00	

Abb.5 – C Ermittlung der Lebensdauer und der Kosten (Bildquelle: Eigenentwickelte Softwareanwendung auf der Basis von Microsoft EXCEL)

Drive / Traction Sheave											
	Shaft 1	Shaft 2	Shaft 3	Shaft 4	Shaft 5	Shaft 6	Shaft 7	Shaft 8	Shaft 9	Shaft 10	
Drive Conventional Car / TWIN: Upper Car	Drive	SF 600	SF 600	SF 600	DAF 210	DAF 210					
	No. of replacement										
	Brake magnet	0	0	0	0	0	0	0	0		
	Bearing	0	0	0	0	0	0	0	0		
	Braking mechanics	0	0	0	0	0	0	0	0		
	Encoder	1	1	1	1	1	1	1	1		
	Traction Sheave	1	1	1	1	1	1	1	1		
	Winding	0	0	0	0	0	0	0	0		
	Drive TWIN: Lower Car	Drive	SF 600	SF 600	SF 600	SF 600	SF 600	SF 600	SF 600	DAF 210	DAF 210
No. of replacement											
Brake magnet											
Bearing											
Mechanics of bracking											
Rotary Pulse Encoder											
Traction Sheave											
Winding											
Drive / Traction Sheave	Pricing	Shaft 1	Shaft 2	Shaft 3	Shaft 4	Shaft 5	Shaft 6	Shaft 7	Shaft 8	Shaft 9	Shaft 10
	Conv. / Upper TWIN										
	Lower TWIN										
Sum	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Drive / Traction Sheave	Basic EN 13015					Maintenance			Comprehensive Maintenance		
Total (per LC Periode)										0,00	

Controller / Inverter / Traveling Cable											
	Shaft 1	Shaft 2	Shaft 3	Shaft 4	Shaft 5	Shaft 6	Shaft 7	Shaft 8	Shaft 9	Shaft 10	
Conv. Car / TWIN: Upper Car	Controller										
	No. of replacement										
	Main Switch	8	7	7	7	7	7	6	6		
	Ventilator	0	0	0	0	0	0	0	0		
	Controller (Board)	0	0	0	0	0	0	0	0		
Inverter											
No. of replacement	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
Traveling Cable (guided)											
No. of replacement											
TWIN: Lower Car	Controller										
	No. of replacement										
	Main Switch										
	Ventilator										
	Controller (Board)										
Inverter											
No. of replacement											
Traveling Cable (guided)											
No. of replacement											
Pricing	Shaft 1	Shaft 2	Shaft 3	Shaft 4	Shaft 5	Shaft 6	Shaft 7	Shaft 8	Shaft 9	Shaft 10	
	Conv. / Upper TWIN										
	Lower TWIN										
Sum	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Controller / Inverter	Basic EN 13015					Maintenance			Comprehensive		
Total (per LC Periode)										0,00	

Abb.5 – D Ermittlung der Lebensdauer und der Kosten (Bildquelle: Eigenentwickelte Softwareanwendung auf der Basis von Microsoft EXCEL)

Operating Panels / Indicator / Lighting

Typ Operating Panel Typ Indicator Typ Car Lighting Typ Info Screens

	Shaft 1	Shaft 2	Shaft 3	Shaft 4	Shaft 5	Shaft 6	Shaft 7	Shaft 8	Shaft 9	Shaft 10	
Conv. Car / TWIN: Upper Car	Push Buttons										
	No. of replacement	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Indicator										
	No. of replacement	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
TWIN: Lower Car	Push Buttons										
	No. of replacement										
	Indicator										
	No. of replacement										
Indicator in Lobby	Screen DSC (TFT)										
	No. of replacement	#DIV/0!									
	Indicator										
	No. of replacement	3									
Indicator in Lobby	Info Screens										
	No. of replacement	#DIV/0!									
	Please Note: It is difficult to identify lifecycle costs for LOP LIP COP due to a great many of variations. Therefore please enter only overall costs as an empirical value.										
	Pricing	Input price for replacement									
	0										
Push Button / Indicator / Screen / Lighting	Shaft 1 Shaft 2 Shaft 3 Shaft 4 Shaft 5 Shaft 6 Shaft 7 Shaft 8 Shaft 9 Shaft 10										
	Conv. / Upper TWIN										
	Lower TWIN										
	Sum	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Push Button / Indicator / Screen / Lighting											
Basic EN 13015											
Maintenance											
Comprehensive											
Total (per LC Periode) 0,00											

Abb.5 – E Ermittlung der Lebensdauer und der Kosten (Bildquelle: Eigenentwickelte Softwareanwendung auf der Basis von Microsoft EXCEL)

Safety Gear + Governor / Guides / Shaft Equipment																																																						
	Shaft 1	Shaft 2	Shaft 3	Shaft 4	Shaft 5	Shaft 6	Shaft 7	Shaft 8	Shaft 9	Shaft 10																																												
Conv. Car / TWIN: Upper Car	Safety Gear (Car)	W5GB10	6071/0 -	6071/0 -																																																		
	No. of replacement	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																																											
	Safety Gear (CW)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																		
	No. of replacement																																																					
	Governor (Car)	OL100 /	OL100 /	OL100 /																																																		
	No. of replacement	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0																																											
	Governor (CW)																																																					
	No. of replacement																																																					
	Guides (Car)	RG>300r	SG	SG																																																		
	No. of replacement	3	3	3	3	3	2	2	2																																													
Guides (CW)																																																						
No. of replacement	3	3	3	3	3	2	2	2																																														
Buffer Info	0	0	0	0	0	0	0	0																																														
No. of replacement	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--																																												
TWIN: Lower Car	Safety Gear (Car)	6071/0 -	6071/0 -	6071/0 -	6071/0 -	6071/0 -	6071/0 -	6071/0 -	6071/0 -	6071/0 -																																												
	No. of replacement																																																					
	Safety Gear (CW)																																																					
	No. of replacement																																																					
	Governor (Car)	6023	6023	6023	6023	6023	6023	6023	6023	6023																																												
	No. of replacement	#DIV/0!	#DIV/0!																																																			
	Governor (CW)																																																					
	No. of replacement																																																					
	Guides (Car)																																																					
	No. of replacement																																																					
Guides (CW)																																																						
No. of replacement																																																						
<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Shaft 1</th> <th>Shaft 2</th> <th>Shaft 3</th> <th>Shaft 4</th> <th>Shaft 5</th> <th>Shaft 6</th> <th>Shaft 7</th> <th>Shaft 8</th> <th>Shaft 9</th> <th>Shaft 10</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Conv. / Upper TWIN</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Lower TWIN</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Sum</td> <td>0,00</td> </tr> </tbody> </table>												Shaft 1	Shaft 2	Shaft 3	Shaft 4	Shaft 5	Shaft 6	Shaft 7	Shaft 8	Shaft 9	Shaft 10	Conv. / Upper TWIN											Lower TWIN											Sum	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Shaft 1	Shaft 2	Shaft 3	Shaft 4	Shaft 5	Shaft 6	Shaft 7	Shaft 8	Shaft 9	Shaft 10																																												
Conv. / Upper TWIN																																																						
Lower TWIN																																																						
Sum	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00																																												
Push Button / Indicator / Screen / Lighting				Basic EN 13015			Maintenance		Comprehensive Maintenance																																													
Total (per LC Periode)										0,00																																												

Abb.5 – F Ermittlung der Lebensdauer und der Kosten Bildquelle: (Eigenentwickelte Software-anwendung auf der Basis von Microsoft EXCEL)

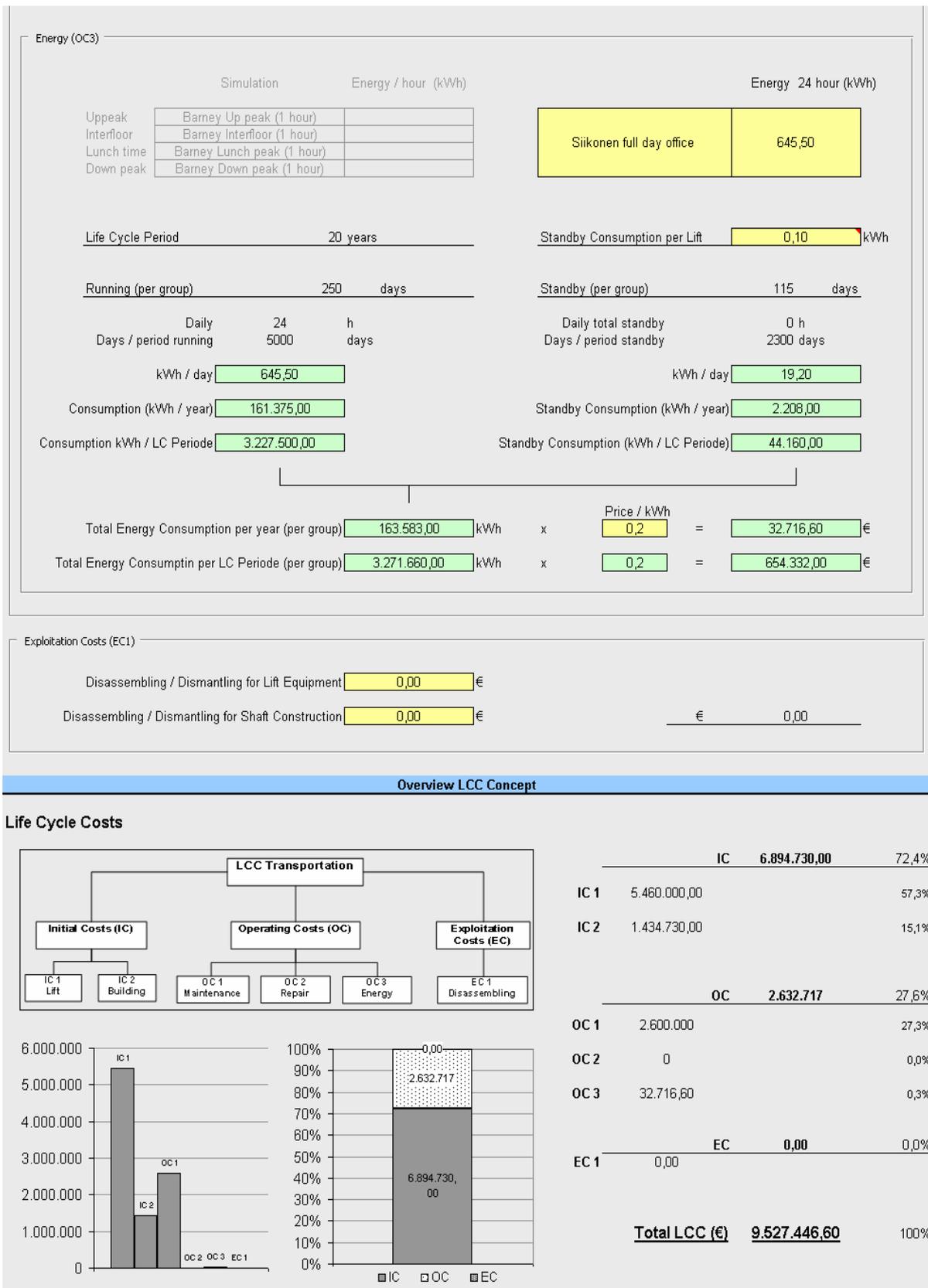


Abb.6 Ermittlung der Energiekosten und Zusammenfassung der Kosten (Bildquelle: Eigenentwickelte Softwareanwendung auf der Basis von Microsoft EXCEL)

Kontakt:

Institut für Bauwirtschaft
Universität Kassel
Mönchebergstr. 7
34125 Kassel

Fachgebiete:

Bauorganisation und Bauverfahren
Baubetriebswirtschaft
Bauinformatik
Bauwirtschaft/Projektentwicklung

Prof. Franz
Prof. Racky
Dipl.-Ing. Kugler
Prof. Busch

Sekretariate:

0561 / 804 2615
0561 / 804 2619
0561 / 804 2618
0561 / 804 3632

www.ibw-kassel.de

I - Forschung

Band 1: Schopbach, Holger (2001)

Ansätze zur Kostensenkung in Konstruktion und Baubetrieb
durch Einsatz mathematischer Optimierungsmethoden

Band 2: Grau, Heidrun (2002)

Zielorientiertes Geschäftsprozessmanagement zur Förderung der Wirtschaftlichkeit von Abbundzentren

Band 3: Arnold, Daniel (2005)

Entwicklung einer Methodik für Innovationsprozesse im Wohnungsbau

Band 4: Schmitt, Roland (2005)

Die Beschaffung von Schalungsgeräten und den zugehörigen
Ingenieurleistungen nach deren Outsourcing

Band 5: Heinrich, Nils (2006)

Entwicklung von Parametern zur Risikobewertung für Projektentwicklungen auf brachgefallenen Flächen - am Beispiel freizeittlich orientierter Projekte

Band 6: Mittelstädt, Norbert (2006)

Leitlinie zur projektbezogenen Spezifikation und erfolgsabhängigen Honorarbemessung von extern beauftragten Projektmanagement-Leistungen

Band 7: Chahrour, Racha (2007)

Integration von CAD und Simulation auf Basis von Produktmodellen im Erdbau

Band 8: Mieth, Petra (2007)

Weiterbildung des Personals als Erfolgsfaktor der strategischen Unternehmensplanung in Bauunternehmen. Ein praxisnahes Konzept zur Qualifizierung von Unternehmensbauleitern

Band 9: Mergl, Oliver (2007)

Flexibilisierung von Baustrukturen durch Modularisierung zur Verbesserung des Nutzungspotenziales am Beispiel industrieller Produktionsstätten des Automobilbaus

Band 10: Eitelhuber, Andreas (2007)

Partnerschaftliche Zusammenarbeit in der Bauwirtschaft – Ansätze zu kooperativem Projektmanagement im Industriebau

Band 11: Hermelink, Andreas (2008)

Ein systemtheoretisch orientierter Beitrag zur Entwicklung einer nachhaltigkeitsgerechten Technikbewertung angewandt auf den mehrgeschossigen Wohnungsbau im Niedrigstenergie-Standard

Band 12: Utsch, Jens H. (2008)

Entscheidungskomplexorientiertes Controlling – ein Beitrag zur Unterstützung der Planung und Entscheidungsfindung im Baubetrieb

Band 13: Pauli, Christian (2009)

Entwicklung einer Entscheidungshilfe zur Beurteilung der PPP-Eignung kommunaler Bauvorhaben

Band 14: Fistera, Detlev (2009)

Revitalisierung brachgefallener Wohnbauflächen. Indikatorenbildung zur multikriteriellen Untersuchung und prophylaktischen Abschätzung von entstehenden Wohnbaubrachen

Band 15: Dobler, Thomas (2009)

Entwicklung der Archintra-Methodik als Beitrag zur Verbesserung von Bauprozessen

Band 16: Strack, Stefan (2010)

Entwicklung eines Bewertungssystems für Redevelopment-Maßnahmen von leer stehenden Gebäuden für Wohnzwecke

Band 17: Körtgen, Manfred (2010)

Optimierungsansätze zur prozessorientierten Abwicklung komplexer Baumaßnahmen unter Einsatz neuer Informations- und Kommunikationssysteme

Band 18: Stichnoth, Philipp (2010)

Entwicklung von Handlungsempfehlungen und Arbeitsmitteln für die Kalkulation betriebsphasenspezifischer Leistungen im Rahmen von PPP-Projekten im Schulbau

Kommunikationssysteme

Band 19: Deppenmeier, Jens (2011)

Lebenszyklusorientierte Planung von Erschließungskonzepten in Hochhäusern am Beispiel von Aufzugsanlagen. Entwicklung einer Methode zur Bewertung von Lebenszykluskosten mit Hilfe von Verkehrsberechnungs-Simulationen unter Berücksichtigung der Transportstrategie

II - Lehre

Band 1: Institut für Bauwirtschaft (Hrsg.)

Seminar Sommersemester 2003, Hochhäuser

III - Tagungen und Berichte

Band 1: Institut für Bauwirtschaft (Hrsg.)

Tagungsband zum Symposium 2002

Projektentwicklung brachgefallener Flächen am 13. September 2002

Band 2: Racky, Prof. Dr.-Ing. Peter (Hrsg.)

3. IBW-Symposium, 17. September 2004 an der Universität Kassel.

Partnerschaftliche Vertragsmodelle für Bauprojekte

Band 3: Racky, Prof. Dr.-Ing. Peter (Hrsg.)

4. IBW-Symposium, 15. September 2006 an der Universität Kassel.

Innovative Abwicklungsformen für Bauprojekte: Partnering und PPP

Band 4: Franz, Prof. Dr.-Ing. Volkhard (Hrsg.)

1. IBW-Workshop, 13. September 2007 an der Universität Kassel.

Simulation in der Bauwirtschaft

Band 5: Busch, Prof. Dr.-Ing. Antonius (Hrsg.)

5. IBW-Symposium, 26. September 2008 an der Universität Kassel.

Projektentwicklung brachgefallener Flächen und Immobilien

Band 6: Institut für Bauwirtschaft (Hrsg.)

Tagungsband des 20. Assistententreffens der Bereiche Bauwirtschaft,

Baubetrieb und Bauverfahrenstechnik, 01. – 03. April 2009 an der

Universität Kassel

Band 7: Racky, Prof. Dr.-Ing. Peter (Hrsg.)

Forum Baubetrieb, 4. November 2009 an der Universität Kassel.

Kooperationsorientierte Projektabwicklung im Hochbau

Weitere Informationen zur Schriftenreihe unter www.upress.uni-kassel.de

