

DISS. ETH Nr.: 15648

**Unterstützung der Zielorientierung und -formulierung
in der Entwicklung komplexer Produkte
– am Beispiel einer neuen Aufzugstechnologie**

ABHANDLUNG
zur Erlangung des Titels

DOKTOR DER TECHNISCHEN WISSENSCHAFTEN

der

EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE ZÜRICH

vorgelegt von

THOMAS DÜNSER
dipl. Masch.-Ing. ETH

geboren am 07.09.1976

aus dem
FÜRSTENTUM LIECHTENSTEIN

Angenommen auf Antrag von
Prof. Dr. Markus Meier
Prof. Dr.-Ing. Sándor Vajna
Prof. Dr. habil. Alois Breiing

2004

Vorwort

Die vorliegende Dissertation entstand während meiner Zeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter und Assistent am Zentrum für Produkt-Entwicklung der Eidgenössischen Technischen Hochschule (ETH) Zürich im Rahmen des KTI-Projekts «Multimobile System with Linear Motors». Die dieser Dissertation zugrunde gelegten Zielsetzungen sind aus den methodischen Problemen dieses Projektes abgeleitet, ohne deren Lösung das Projekt nicht innerhalb nützlicher Frist im erforderlichen Umfang hätte durchgeführt werden können.

An dieser Stelle möchte ich allen danken, die mich bei der folgenden Arbeit unterstützt haben: Zuerst möchte ich dem Leiter des Zentrums für Produkt-Entwicklung (ZPE) der ETH Zürich, Prof. Dr. Markus Meier, dafür danken, dass er mich ermuntert hat, die methodischen Lösungen weiter zu verfolgen und allgemein zu formulieren und darüber hinaus die Freiheiten gewährt hat, das Projekt und die Forschungsinhalte nach eigenem Ermessen zu verfolgen. Prof. Dr. Sándor Vajna, Inhaber des Lehrstuhls für Maschinenbauinformatik an der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, gilt mein Dank für die Übernahme des Korreferats, sowie für die wohlwollende Unterstützung und konstruktive Kritik. Ebenfalls herzlich bedanken möchte ich mich bei Prof. Dr.-habil. Alois Breiing (Lehr- und Forschungsgebiete an der ETH Zürich: «Gestaltungslehre» (Produkt-Design) und «Entscheidungsprozesse»), der sich über sein Korreferat hinaus stets als kompetenter Ansprech- und Diskussionspartner erwiesen und mir mit wertvollen Tipps oft weitergeholfen hat.

Dr. Andreas Kunz des ZPE und Jörg Evertz von der Firma Tribecraft AG gilt mein Dank für ihre Unterstützung bei der Zieldefinition der Arbeit. Für viele spontane Diskussionen möchte ich meinen «Büro-Kollegen» am Institut danken: Jens Bathelt, Anders Jönsson, Christian Bacs und Dr. Stephan Dierssen, der sich darüber hinaus die Mühe gemacht, die Arbeit durchzulesen und zu prüfen.

Zu Dank verpflichtet bin ich auch der Kommission für Technologie und Innovation (KTI) für die Finanzierung des Projekts und den Projektteammitgliedern der Schindler AG, Philipp Angst und Hannes Kocher, der Ecole Polytechnique Fédérale (EPF) de Lausanne, Samuel Chevaller und Dr. Alain Cassat, der Tribecraft AG und der ETEL SA für die spannende und anspruchsvolle Zusammenarbeit.

Besonders bedanken möchte ich mich bei meiner Frau Martina, die die Arbeit inhaltlich gegengelesen, mich während der Durststrecken ermutigt und ihre eigenen Bedürfnisse lange hintan gestellt hat. Meine Eltern haben dankenswerterweise meine Arbeit auf Orthographie und Interpunktion überprüft.

Diese Arbeit verwendet die alte Rechtschreibung, um nicht der Versuchung zu erliegen, nur die nachvollziehbaren neuen Regeln zu übernehmen und so eine persönliche Rechtschreibung zu definieren.

Zürich, im Juli 2004

Thomas Dünser

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	IX
Kurzfassung	XIII
Abstract	XIV
1 Einführung	1
1.1 Problemstellung	1
1.2 Zielsetzung und Aufbau dieser Arbeit	3
1.3 Anwendungsbeispiel «Entwicklung einer neuen Aufzugstechnologie»	4
2 Zielorientierung in der Entwicklung komplexer Systeme	6
2.1 Problematik bei Entscheidungen in der Systementwicklung	6
2.2 Zusammenhang zwischen technischer Produktbeschreibung und Bewertung	7
2.2.1 Repräsentation der Bewertungskriterien	7
2.2.2 Bestimmung der Gewichtung	9
2.2.3 Entwurf einer Bewertungsmethode für Komponentenvarianten	12
2.3 Modellierung des Einflussnetzes	12
2.3.1 Übersicht und Stand der Forschung	12
2.3.2 Grundlagen für die Modellierung von Einflussnetzen	13
2.3.3 Mathematisches Modell der Einflussstärke	13
2.4 Auswertung des Einflussnetzes	14
2.4.1 Berechnung des resultierenden Einflusses	14
2.4.2 Bewertungssystematik für Systemkomponenten	17
2.4.3 Integration des Vorwissens	18
2.4.4 Anpassung der Schlüsselgrößen	19
2.4.5 Überprüfen der Entscheidungen	19
3 Zielformulierung für die Entwicklung neuer Produkte	20
3.1 Abschätzung der Kundenreaktionen	20
3.1.1 Primäre Entwicklungsziele	20
3.1.2 Akzeptanzkriterien	23
3.1.3 Einbezug der Grundinteressen in das Produktmodell	24
3.2 Gewichtung der Ziele	25
3.2.1 Gewichtung der Grundinteressen	25
3.2.2 Gewichtung der Produktattribute im Gesamtsystem	27
3.2.3 Einfluss der Umfelddynamik auf die Entscheidungsfindung	27
4 Entscheidungsweg für die Systementwicklung	28
4.1 Vorgehensmodelle für die Systementwicklung	28
4.2 Problemfelder in Entscheidungen	29
4.2.1 Problematik der Dynamik des Umfelds	29
4.2.2 Problematik der Marktsegmentierung	29
4.2.3 Problematik des sich verändernden Wissensstandes	29
4.2.4 Problematik der Wegsuche	30
4.2.5 Problematik der Parameteroptimierung	31
4.3 Entscheidungsweg auf der Basis des Einflussnetzes	31
5 Vorgehensweise in der Aufzugsentwicklung	34
5.1 Ziel der Entwicklung	34
5.2 Vorgehensweise	34

6 Umfeld	36
6.1 Bestimmung der relevanten Interessensgruppen	36
6.2 Einflussnetz des Umfelds	37
6.2.1 Einflussnetz des Investors	37
6.2.1.1 Grundinteressen des Investors	37
6.2.1.2 Einflüsse auf die Rentabilität	37
6.2.1.3 Einflüsse auf die Einnahmen	40
6.2.1.4 Einflüsse auf die Ausgaben	42
6.2.1.5 Einflüsse auf die Initialkosten	45
6.2.1.6 Zusammenfassung und typische Werte	45
6.2.1.7 Diskussion: HNF vs. BGF	55
6.2.1.8 Bewertungskriterien und ihre Einflussstärke	55
6.2.2 Einflussmodell – Mieter	56
6.2.2.1 Grundinteressen des Mieters	56
6.2.2.2 Einflüsse auf den Gewinn	56
6.2.2.3 Einflüsse auf das Grundinteresse Selbstdarstellung	59
6.2.2.4 Einflüsse auf das Sicherheitsgefühl	60
6.2.2.5 Zusammenfassung der relevanten Liftattribute	61
6.2.3 Einflussmodell – Architekt	63
6.2.3.1 Grundinteressen des Architekten	63
6.2.3.2 Einflüsse auf den Entwurf	63
6.2.3.3 Einflüsse auf das Honorar	64
6.2.3.4 Zusammenfassung der Einflüsse auf den Architekten	64
6.2.4 Einflussmodell – Fachplaner	65
6.2.4.1 Einfluss auf die Grundinteressen des Aufzugsplaners	65
6.2.5 Einflussmodell – Ausführende Firmen	66
6.2.5.1 Grundinteressen der ausführenden Unternehmen	66
6.2.5.2 Einflüsse auf den Gewinn des Bauunternehmers	66
6.2.5.3 Einflüsse auf die Auftragserfüllung	66
6.2.5.4 Zusammenfassung der Einflüsse auf den Bauunternehmer	67
6.2.6 Einflussmodell – Passagier	67
6.2.6.1 Grundinteressen Passagier	67
6.2.6.2 Einflüsse auf das Sicherheitsgefühl	68
6.2.6.3 Einflüsse auf das Zeiteffizienzgefühl	69
6.2.6.4 Einfluss auf die Wertschätzung des Passagiers	71
6.2.6.5 Einflüsse auf den Energiehaushalt des Passagiers	72
6.2.6.6 Einflüsse auf das Komfortgefühl des Passagiers	72
6.2.6.7 Zusammenfassung der Einflüsse auf den Passagier	73
6.2.7 Einflussmodell – Staat	74
6.2.7.1 Einflüsse auf die Grundinteressen des Staates	74
6.2.7.2 Zusammenfassung der Einflüsse auf den Staat	75
6.2.8 Einflussmodell – Aufzugsfirma	75
6.2.8.1 Einflüsse mit Wirkung auf die Aufzugsfirma	75
6.2.8.2 Zusammenfassung der Einflüsse auf die Liftfirma	75
6.3 Zusammenstellung der Anforderungen	76
6.4 Marktsegmentierung	79

7 Verkehrskonzept	80
7.1 Verkehrsaufkommen	80
7.2 Anforderungsattribute	81
7.2.1 Bewertungskriterien	81
7.2.2 Festforderungskriterien	82
7.2.3 Parameter mit Verbesserungspotential	82
7.3 Referenzausprägungen des konventionellen Liftsystems	82
7.3.1 Handling Capacity	82
7.3.1.1 Handling Capacity Up-peak	82
7.3.1.2 Handling Capacity Down-peak	85
7.3.1.3 Handling Capacity Interfloor	85
7.3.1.4 Handling Capacity – Mittagsverkehr	85
7.3.1.5 Handling Capacity – Wartung	86
7.3.1.6 Handling Capacity – Ausfall	86
7.3.1.7 Handling Capacity – Evakuierung	86
7.3.2 Liftfläche	86
7.3.2.1 Schachtinnenfläche	86
7.3.2.2 Wartefläche	88
7.3.2.3 Schachtwandfläche	89
7.3.2.4 Füllfaktor von Kabine und Wartefläche	89
7.3.3 Energieverbrauch	89
7.3.4 Performance des Lifts	90
7.3.4.1 Wartezeit	90
7.3.4.2 Fahrtzeit	91
7.4 Beschreibung und Beschränkung des Lösungsraums der Multimobilsysteme	92
7.4.1 Übersicht	92
7.4.2 Beschreibung des Lösungsraums	92
7.4.2.1 Geometrische Elemente des Verkehrskonzepts	92
7.4.2.2 Erste Steuerungsebene	94
7.4.2.3 Zweite Steuerungsebene	94
7.4.3 Diskussion des Lösungsraums	94
7.4.3.1 Übersicht und erste Einschränkung	94
7.4.3.2 Maximale Kapazität des Multimobils	95
7.4.3.3 Einfluss der Parameter «Beladungszustand Wechsel» und «Ort Laderaum»	98
7.5 Einflussnetz der Mehrfahrzeugsysteme	100
7.5.1 Übersicht	100
7.5.2 Beschreibung der Grundkonzepte	100
7.5.3 Beschreibung des Einflussnetzes	102
7.5.3.1 Einflussnetz auf die Handling Capacity	102
7.5.3.2 Einflussnetz auf die Liftfläche	113
7.5.3.3 Einflussnetz auf den Energieverbrauch	116
7.5.3.4 Einflussnetz auf die Performance des Lifts	124
7.6 Analyse des Einflussnetzes des Gesamtsystems	125
7.7 Parameteranpassung	127
7.7.1 Geschwindigkeit	127
7.7.2 Beschleunigung	129
7.7.3 Maximale Zuladung	130
7.7.4 Anzahl der Wechselstellen in den Oberetagen	131

7.8	Beispielgebäude	132
7.8.1	Gebäude mit 26 Etagen	132
7.8.2	Gebäude mit 87 Etagen	134
7.9	Diskussion der Vorentscheidungen	135
7.10	Zusammenfassung	136
8	Wirkung auf den Markt	137
8.1	Wirkung auf das Grundinteresse «Rendite»	137
8.1.1	Übersicht	137
8.1.2	Zielkosten	137
8.1.3	Einflussgrößen für Marktsegmentierung	139
8.1.4	Diskussion der Zielkosten	140
8.2	Abschätzung der Reaktionen des Umfelds	140
8.2.1	Wirkung auf den Mieter	140
8.2.2	Wirkung auf den Architekten	140
8.2.3	Wirkung auf den Passagier	141
8.2.4	Wirkung auf den Bauunternehmer	141
8.2.5	Wirkung auf den Staat	141
9	Entscheidungsfindung bei Komponenten	142
9.1	Übersicht	142
9.2	Bewertung der Kabinenstruktur im Zusammenhang mit der Antriebstechnologie	142
9.3	Anpassung der Dimensionierungsparameter	144
10	Zusammenfassung und Schlussfolgerungen aus der Beispielentwicklung	146
10.1	Zielorientierung in der Entwicklung komplexer Systeme	146
10.1.1	Zusammenfassung der theoretischen Ansätze	146
10.1.2	Praxis – Modellierung des Einflussnetzes	146
10.1.3	Praxis – Systembewertung	147
10.1.4	Zusammenarbeit im Projekt	147
10.1.5	Rechnerunterstützung	147
10.2	Zielformulierung	148
10.2.1	Zusammenfassung der theoretischen Ansätze	148
10.2.2	Praxis – Präzisierung des Entwicklungsziels	148
10.2.3	Praxis – Abschätzung der Akzeptanzprobleme	149
10.2.4	Praxis – Einbezug des übergeordneten Systems in die Entwicklung	149
10.3	Fazit	149
	Anhang A – Einflussmodell auf die Initialkosten des Gebäudes	150
	Literaturverzeichnis	157

Abkürzungsverzeichnis

Δx	Differenz des Parameters x
ε_X	relative Änderung des Attributs X
$\varepsilon_X^{(i)}$	relative Änderung des Attributs X nach dem i -ten Iterationsschritt in einem Einflusskreis
η_g	Wirkungsgrad des Aufzugs im Generatorbetrieb [-]
η_m	Wirkungsgrad des Aufzugs im Motorbetrieb [-]
η_x	Wirkungsgrad der Komponente x [-]
ρ_{Kap}	Kapazitätsdichte (Kapazität pro Quadratmeter) [%Pop/(5min*m ²)]
$\rho_{P_{Schacht}}$	Anzahl Passagiere pro Kabine auf den Schachtquerschnitt bezogen [P/m ²]
ρ_{Pop}	Populationsdichte des Gebäudes (Anzahl Nutzer pro m ² HNF)
A	jährliche Ausgaben durch das Gebäude
A_D	Dachfläche
A_{Decke}	Deckenfläche pro Etage
A_F	Fensterfläche
A_K	Kelleroberfläche
A_{Kabine}	Kabineninnenfläche [m ²]
A_{KB}	Fläche des Kellerbodens
A_{KW}	Fläche der Kellerwand
A_L	Aufzugsfläche
A_W	Wandfläche
A_{Warte}	Wartefläche Lift [m ²]
$A W_{AM}$	Abwärmeproduktion der Arbeitsmittel pro Jahr [kWh]
$A W_{Geb}$	Abwärmeproduktion im Gebäude pro Jahr [kWh]
$A W_{Lift}$	Abwärmeproduktion der Aufzugsanlagen pro Jahr [kWh]
$A W_{TI}$	Abwärmeproduktion der technischen Infrastruktur pro Jahr [kWh]
$A W_{tot}$	gesamte Abwärmeproduktion (inkl. Sonneneinstrahlung) pro Jahr [kWh]
AWT	Durchschnittliche Wartezeit [s]
a	Beschleunigungsrate [m/s ²]
a_{not}	Notbremsungsverzögerung [m/s ²]
a_R	mittlere Amortisationsrate
a_{v-norm}	Beschleunigung während der Vertikalfahrt mit Personen
BGF	Bruttogeschossfläche [m ²]
D_{if}	Verhältnis der Verkehrsaufkommen Interfloor zu Up-peak
DCF	Discounted Cash Flow

d	allgemeine Variable für eine Distanz [m]
d_{brems}	Bremsdistanz [m]
E	jährliche Einnahmen durch das Gebäude
E_g	Energieproduktion des Aufzugs im Generatorbetrieb [J]
E_K	gesamte Energiekosten pro Jahr
E_m	Energieverbrauch des Aufzugs im Motorbetrieb [J]
E_{mech}	Verbrauch an mechanischer Energie [J]
EV_{Kuehl}	Kühlenergieverbrauch [kWh]
EV_{Lift}	Energieverbrauch der Aufzugsanlagen [kWh]
EV_{Strom}	Gesamtenergieverbrauch an elektrischer Energie [kWh]
EV_{IS}	Energieverbrauch der Infrastruktur [kWh]
F_{Warte}	Warteflächensteigerungsfaktor (Personendichte Kabine durch Personendichte Wartefläche)
FF	Funktionsfläche [m ²]
FS_{pers}	Anzahl für den Personentransport verwendete Fahrschächte
$f\langle Z \rangle$	Funktion des Attributs Z
g	Erdbeschleunigungskonstante [m/s ²]
H	mittlere Umkehretage bei Up-peak-Verkehr (Highest reversal floor) [-]
H_{MM}	mittlere Umkehretage bei Up-peak-Verkehr des Multimobils
HNF	Hauptnutzfläche [m ²]
HNF_E	mittlere Hauptnutzfläche pro Nutzetage
$HC5$	Handling Capacity (Transportkapazität) während 5 Minuten, entweder in [Passagiere pro 5 Minuten] oder [% der Population in 5 Minuten]
$HC_{\text{IF}_{\text{Schacht}}}$	Kapazität eines Schachtes während Interfloor-Verkehr [P/s]
h_{go}	gesamte oberirdische Höhe des Gebäudes [m]
h_f	Etagenhöhe [m]
I_0	Initialinvestition in das Gebäude
IK_{Lift}	Initialkosten des Lifts
INT	Intervall [s]
i	durchschnittliche Inflationsrate [-]
j	Ruck [m/s ³]
KF	Konstruktionsfläche [m ²]
K_A	Abfallentsorgungskosten
K_{BR}	Kosten für die Bodenreinigung
K_{BW}	Bauwerkskosten
K_E	Totale Energiekosten des Gebäudes

K_{EE}	Kosten für den Gesamtverbrauch an elektrischer Energie
K_{FAR}	Kosten für Fassadenreinigung
K_{FR}	Kosten für Fensterreinigung
K_{HE}	Kosten für Heizenergie
K_{IW}	Kosten für Innenwände (ohne Belag)
K_{IWB}	Kosten für Innenwandbekleidung
K_{IF}	Kosten für Innenfenster und -türen
$K_{IW_{total}}$	gesamte Innenwandkosten
K_R	Reinigungskosten total
K_W	Wäschereikosten
K_{Wa}	Wartungskosten pro Jahr
k_D	Wärmeleitwert des Daches
k_F	Wärmeleitwert der Fenster
k_K	Wärmeleitwert des Kellers
k_W	Wärmeleitwert der Aussenwand
L	Anzahl Lifte
l_x	Längenmass [m]
$\max\{\}$	Maximalwert einer Menge
m_x	Masse der Komponente x [kg]
m_{zul}	Masse der Kabinenzuladung [kg]
$m_{zul_{max}}$	maximale Kabinenzuladung [kg]
N	Anzahl Oberetagen des Gebäudes
N_{aus}	Anzahl Ausstiegsetagen des Lifts
N_{fahrt}	Anzahl der Etagen, die bei der Fahrt zu den Ausstiegsetagen überfahren werden
N_I	Investitionsdauer des Gebäudes [a]
NF	Nutzfläche [m ²]
NGF	Nettogeschossfläche [m ²]
NNF	Nebennutzfläche [m ²]
OF	Oberfläche [m ²]
$OF_{IW_{HNF}}$	Oberfläche der Innenwandoberfläche der HNF
$OF_{IW_{total}}$	gesamte Innenwandoberfläche
P	Anzahl Passagiere pro Kabine
P_{IF}	mittlere Kabinenfüllung während Interfloor
Pop	Population (Bevölkerungszahl) des Gebäudes
Pop_E	Population (Bevölkerungszahl) einer Gebäudeetage

Q_T	Heizwärmebedarf
R	minimale Rentabilität der Investition [-]
RTT	Rundfahrtzeit (Round Trip Time) [s]
r_{A-B}	Einflusswert des Attributs A auf das Attribut B [-]
S	durchschnittliche Anzahl Ausstiegshalte während Up-peak-Verkehr (Stops) [-]
t_a	vorzeitige Türöffnungszeit (vor Stillstand der Kabine) [s] (
t_{Ausfahrt}	Zeit für die Ausfahrt einer haltenden Kabine aus einer Etage [s]
t_c	Türschliessungszeit [s]
t_{Einfahrt}	Zeit für die Einfahrt einer Kabine in eine Etage [s]
t_l	mittlere Einstiegszeit pro Passagier (loading time) [s]
t_o	Türöffnungszeit
t_p	mittlere Personentransferzeit [s]
t_{Reaktion}	technische Reaktionszeit [s]
t_s	Halteverlustzeit [s]
t_{start}	Verzögerung durch Motorstart [s]
t_{Stau}	Stauverlustzeit [s]
t_{Wechsel}	Zeit für einen Schachtwechsel [s]
t_{Weiche}	Weichenstellzeit Schachtwechsel [s]
t_u	mittlere Ausstiegszeit pro Passagier (unloading time) [s]
t_v	Fahrtzeit für eine Etage mit Nominalgeschwindigkeit [s]
t_{verlust}	Verlustzeit durch Schachtwechsel unten [s]
$UPPINT$	Startintervall der Kabinen während Up-peak-Verkehr [s]
V_K	Beschreibung der Variante K durch die Menge aller relativen Änderungen der Bewertungsattribute
VF	Verkehrsfläche [m ²]
$V_{IW_{\text{HNF}}}$	Innenwandvolumen der Hauptnutzfläche [m ³]
$V_{IW_{\text{total}}}$	gesamtes Innenwandvolumen [m ³]
v	Nominalgeschwindigkeit [m/s]
$v_{m_{\text{IF}}}$	mittlere Geschwindigkeit während Interfloor Verkehr [m/s]
W_V	Wärmeverlust durch Gebäudeoberfläche [kWh]
X	Formfaktor Grundstücksfläche
X_0	Referenzausprägung der Attribut X
Z_0	Referenzausprägung der Attribut Z

Kurzfassung

Die vorliegende Arbeit befasst sich in einem ersten Teil mit der Kundenorientierung in der Entwicklung komplexer Systeme. Die Vielzahl von Abhängigkeiten in solchen Produkten beeinträchtigt die Möglichkeiten der Entwickler, ausgewogene Entscheidungen zu treffen und sie später zu überprüfen. In dieser Arbeit wird eine Methode aufgezeigt, Komponentenvarianten zu bewerten und dabei sowohl das gesamte Produktwissen berücksichtigen als auch die Entscheidung jederzeit überprüfen zu können. Sie bietet einen wertvollen Beitrag zur objektiveren Entscheidungsfindung und damit zur kosten- und zielbewussten Entwicklung. Die Basis hierfür ist die Kopplung der Bewertung an das Einflussnetz, eine spezielle mathematische Beschreibung des Produkts und seiner Abhängigkeiten.

Der zweite Teil zeigt und diskutiert Ansätze, das frühzeitige Erkennen späterer Akzeptanzschwierigkeiten des Produkts auf dem Markt zu unterstützen. Der Lösungsvorschlag zeichnet sich dadurch aus, dass die Modellierung der kognitiven menschlichen Strukturen in das Einflussnetz des Produkts eingebunden und so eine direkte Verbindung zwischen menschlichem Urteil und technischen Lösungen gezogen werden kann. Kern dieses Modells ist die Grösse «Grundinteressen» als theoretische Erklärung der Ursache von Akzeptanzproblemen.

Darauf aufbauend präsentiert der dritte Teil ein Vorgehensmodell für die Entscheidungen in der Systementwicklung: Hierin kann das Einflussnetz als Beschreibung des Produkt- und Marktwissens die Grundlage für Entscheidungen aller Arten im gesamten Innovationsprozess darstellen: von Entscheidungen über die Produktidee und über technische Varianten bis zu Entscheidungen über die Vorgehensweise in der Entwicklung.

Diese theoretischen Ansätze werden in der praktischen Anwendung einer Systementwicklung geprüft und verifiziert. Es handelt sich dabei um eine neue Aufzugstechnologie, bei der die heute übliche Verbindung von *einem* Schacht, *einer* Kabine und einem *Seil mit Gegengewicht* aufgelöst wird. Neu sollen mehrere Kabinen unabhängig im selben Schacht fahren und gegebenenfalls den Schacht wechseln können, damit für die gleiche Transportkapazität weniger Querschnittsfläche nötig ist.

Die vorliegende Arbeit analysiert das Umfeld des Aufzugs und seine Kundenstruktur eingehend, um eine dem Innovationsgrad angemessene Zieldefinition zu erarbeiten. Von ausserordentlicher Bedeutung ist dabei der Einbezug des Gebäudes in die Entwicklung, um die Wirkung der neuen Technologie besser abschätzen zu können. Der zentrale Bestandteil des neuen Systems, das Verkehrskonzept, wird untersucht, das vielversprechendste Konzept ausgewählt und als Grundlage für die Abschätzung des Marktpotentials und der weiteren technischen Lösungssuche definiert. Eine Analyse der Zusammenhänge zwischen der Kabinenstruktur und der Motortechnologie illustriert die Problematik der Entscheidungsfindung in komplexen Situationen.

Es zeigt sich, dass sich die theoretischen Ansätze dieser Arbeit bewähren und die Systementwicklung in ihrer Effizienz und Zielgenauigkeit entscheidend unterstützen können.

Abstract

In a first part, the present work covers the problem of keeping the orientation to the customers in the development of complex systems. The variety of dependencies in such products affects the designer's ability of making well-balanced decisions and verifying them later. In this work, a method of evaluating component variants is elaborated wherein the whole knowledge about the product can be considered. Furthermore, the decision can be revised at every development step. This means a valuable contribution to objective decision-making and to a design with respect to costs and customer value. The method bases on the linking of the evaluation to the «influence net», a specific mathematical description of the product and its interdependencies.

The second part covers the problem of recognizing potential difficulties in market acceptance of the product during the development process. The proposed solution integrates a human cognitive structure model in the «influence net» of the product, which offers a direct link between human judgement and technical solutions. The core of this model is the element «basic interest», a theoretical explanation of the cause of acceptance problems.

Based on this, the third part contains a proposition of a proceeding model for decision making during system design. Therein, the «influence net» as a description of the relevant product- and market- knowledge is proposed as a basement for all decisions made in the innovation process. This contains decisions about the product idea and component variants as well as about the design steps proceeding.

The theoretical approaches are applied to the system development of a new elevator technology. Instead of using *one* shaft, *one* cabin combined with *rope and counterweight*, several cabins shall move autonomously in the same shaft and also might switch the shafts. The goal of this new technology is the reduction of the lift area while maintaining the transport capacity.

The present work contains an in-depth analysis of the elevator's environment and its customer structure for elaborating a definition of development goals that is adequate to the degree of innovation. The integration of the building's dependencies in the development is very important for evaluating the effects of the new system. In a next step, the best traffic concept is elaborated and defined as a basis for the analysis of the market potential and for the successive technical design. For illustrating the problems of the decision making in complex situations, the dependencies between cabin structure and motor technology are discussed.

Finally, the theoretical approaches of the present work turn out to be enormously helpful to support system development in improving its efficiency and its precision.

1 Einführung

1.1 Problemstellung

Produktentwicklung soll möglichst effizient zu einem am Markt möglichst erfolgreichen Produkt führen. Wichtig dafür ist eine fundierte Zieldefinition und die Möglichkeit, die Orientierung an diesen Zielen zu behalten. Diese beiden wesentlichen Aspekte werden im folgenden näher diskutiert.

Die Basis für den Produkterfolg legt die Zieldefinition in Form der Anforderungsliste. Die einschlägige Literatur klassifiziert die Anforderungen unterschiedlich (vgl. [14], [16], [62], [65], [74], [82], [111]). Gemeinsam ist allen Vorschlägen, dass eine Kategorie der Anforderungen die Entwicklungsziele repräsentiert, während eine zweite die Grenzen des Produkts aufzeigt. In Anlehnung an den Vorschlag von *K.Roth* [82] wird in der vorliegenden Arbeit die erste Kategorie mit *Zielforderungen* bezeichnet. Seine Definition lautet:

Eine Zielforderung ist eine variable Anforderung, bei der in der Darstellung der Zahlengerade entweder ein Grenzbereich mit bevorzugter Grenze, ein bevorzugter Zielpunkt im Endlichen mit oder ohne Grenze bzw. Grenzbereich, gegebenenfalls eine bestimmte Tendenz (Zielpunkt im Unendlichen) die optimale Erfüllung kennzeichnet. Je besser die Zielforderung erfüllt ist, um so günstiger ist die Konstruktionsvariante einzustufen [82].

Der Begriff *tolerierte Forderungen* (vgl. *A. Breiing* und *R. Knosala* [16]) ist äquivalent zu verwenden. Die Anforderungen, die einen absoluten unabdingbaren Wert oder fixe Grenzen vorgeben, deren Überschreitung die Lösung inakzeptabel macht, werden *Festforderungen* genannt (vgl. *K.Roth* [82], *Pahl/Beitz* [74]).

Wünsche, wie in [65], [74] und [82] aufgeführt, werden gemäss der Argumentation von *A. Breiing* und *R. Knosala* in [16] nicht als solche in die Zielsetzung des Produkts integriert. Ist der Kunde bereit, für die Erfüllung eines Wunsches zu zahlen, entspricht der Wunsch einer Zielforderung, andernfalls widerspricht der für die Erfüllung notwendige Aufwand einer effizienten und zielorientierten Entwicklung.

Auf der Anforderungsliste fassen alle Entscheidungen, die während der Entwicklung getroffen werden, und zwar sowohl in der Phase der Lösungserarbeitung als auch in der Auswahlphase. Ein fertiges Produkt kann somit nicht erfolgreicher sein, als es die Anforderungsliste zulässt. In der Fachliteratur wird folglich zurecht besonders grosser Wert auf die Erarbeitung der Anforderungen gelegt (vgl. [74], [14], [16], [27], [82], [108]). Ein Problembereich liegt dabei in der Vollständigkeit und Dynamik der Anforderungsliste (vgl. *S. Vajna et. al.* [106]): Gesetzt, dass am Anfang der Entwicklung nicht alle Anforderungen bekannt sind und sich die bekannten zudem verändern – sei es weil zu Beginn Informationen über die Aufgabenstellung fehlen oder sei es weil präzise Anforderungen immer auch lösungsspezifisch sind und somit per se nicht zur Gänze bekannt sein können – sollte die Entwicklung in der Lage sein, auf Veränderungen der Zieldefinition einzugehen und entsprechend zu reagieren.

Ein wichtiger Aspekt der Zielformulierung ist die *Akzeptanz* des Produkts. Dieser Begriff bezeichnet die *Annahme* und *Billigung* des Produkts von allen betroffenen Personenkreisen (vgl. *A. Breiing* und *R. Knosala* [16]: «Erfinder», «Endverbraucher», «Betreiber» sowie «öffentliche Hand»). Derselbe Begriff wird auch im eingeschränkten Sinn als Voraussetzung für den späteren Kauf angesehen (vgl. *M. Binsack* [13]). Doch auch mangelnde Akzeptanz der nicht kaufentscheidenden Personenkreise kann den Produkterfolg gefährden, selbst wenn die primäre Kaufbereitschaft vorhanden ist. Bei Anpassungs- und Variantenkonstruktionen (Begriffe nach *G. Pahl* und *W. Beitz* [74]) ist dieses Risiko weniger gravierend, da das vorhandene Erfahrungswissen das Finden der ent-

sprechenden Festforderungen erleichtert. Bei einer Neukonstruktion jedoch, die anfänglich noch nicht auf eine Technologie beschränkt ist, ist es kaum möglich, die Festforderungen mit der notwendigen Vollständigkeit im voraus zu erfassen. Präzise Anforderungen benötigen eine genaue Vorstellung von den Lösungsmöglichkeiten. Dies bedingt zwangsläufig eine Unsicherheit während der Entwicklung, die typischerweise erst am Ende über eine Akzeptanzanalyse (vgl. A. Breiing/R. Knosala [16]) behoben werden kann. Eine Akzeptanzanalyse vor der Entwicklung mag zwar Risiken bezüglich der Hauptziele aufdecken, doch kann sie Nebenwirkungen der technischen Lösungen nicht befriedigend abschätzen. Das übliche Prozedere sieht zwar Akzeptanzanalysen vor und am Ende einer Entwicklung vor, doch kann die beschriebene Unsicherheit über weite Strecken des Prozesses zu ökonomischen Redundanzen führen: Die Entwicklung verschlingt im schlimmsten Fall monate- oder sogar jahrelang Ressourcen, ohne dass das Produkt markttauglich würde – allein, weil die Produktmerkmale während des Prozesses schwer auf ihre Akzeptanz überprüfbar sind.

Was den Entwicklern fehlt, ist eine Möglichkeit, die Kundenakzeptanz in den Entwicklungsprozess mit einzubeziehen. Daher ist eine methodische Unterstützung unerlässlich, die die Akzeptanzfragen in angemessener Weise in der Entwicklung berücksichtigt, um das Investitionsrisiko zu senken.

Für die Produktentwicklung wesentlich, aber vor allem in komplexen Zusammenhängen äusserst kritisch, ist es weiterhin, die Zielorientierung beizubehalten und zwar bei Entscheidungen sowohl während als auch zwischen den Entwicklungsschritten (vgl. VDI-Richtlinie 2221 [108]). Diese Entscheidungen werden zwar auf der Basis der Zielvorstellungen getroffen, doch ist auch die Fähigkeit des Entscheidungsträgers ausschlaggebend, die Abhängigkeiten im System zu erkennen und die Wichtigkeiten einzuschätzen (vgl. Pahl/Beitz [74]). Bei umfangreichen und komplexen Produkten steigt die Anzahl der Abhängigkeiten signifikant. Ab einer bestimmten Menge ist es für den Entscheidungsträger kaum mehr möglich, die Konsequenzen der einzelnen Varianten zu überblicken und zu gewichten. Dies vergrössert die Gefahr von Fehlentscheidungen immens. In interdisziplinären Projekten (z.B. mit Teams aus Maschinen- und Elektroingenieuren, Designern, Informatikern sowie Psychologen) erweist es sich oft als besonders schwierig, Abhängigkeiten und Gewichtungen zu erkennen oder realistisch einzuschätzen, da die Komplexität des Wissens häufig den persönlichen Horizont der Entscheidungsträger übersteigt.

Entscheidungen werden der Effizienz wegen möglichst früh getroffen und basieren immer auf dem aktuellen Wissensstand. In den nachfolgenden Entwicklungsschritten ergeben sich jedoch ständig neue Abhängigkeiten – zum Teil auch neue Anforderungen –, die auch korrekt getroffene Entscheidungen in Frage stellen können. Um darüber entscheiden zu können, ob die auf der Basis falscher Voraussetzungen ausgeführten Schritte wiederholt werden müssen, ist es nötig, die Konsequenzen einer Fehlentscheidung auf die Entwicklungsziele abzuschätzen.

Komplexe Systeme erschweren somit auch die Überprüfung der zu treffenden Entscheidungen. Die Folge ist, dass Fehler erst zu einem späten Zeitpunkt bemerkt werden, zu dem der Korrekturaufwand deutlich höher liegt. Die Rückrufaktionen verschiedener Automobilhersteller in jüngster Zeit zeugen von der Aktualität der Problematik nicht erkannter Fehler in der Entwicklung.

Neben diesen Abhängigkeiten *innerhalb* des Produktsystems existieren weitere zwischen dem Produkt und seinem Umfeld (z. B. übergeordnetes System, aber auch Käufer, Benutzer), die ebenfalls unterschiedlich komplex sein können. Wenn es für Entscheidungen während des Entwicklungsprozesses wichtig ist, die Abhängigkeiten innerhalb des Produktsystems zu erkennen, dann müssen konsequenterweise auch diejenigen zwischen dem Produkt und seinem Umfeld in die Entscheidungsfindung miteinfließen. Ohne die Kenntnis dieser Abhängigkeiten kann die komplette Wirkung von Lösungen nicht abgeschätzt werden. Wird das im Entwicklungsprozess berücksichtigte Wissen um die Abhängigkeiten im Umfeld erweitert, steigt die Gefahr, die Übersicht zu verlieren, erneut um ein Beträchtliches.

Die hohe Anzahl Abhängigkeiten in komplexen und umfangreichen Produkten beeinträchtigt die beiden Fähigkeiten, korrekte Entscheidungen zu treffen sowie Fehlentscheidungen – durch Wissensdefizite sowie sich verändernden Anforderungen – frühzeitig festzustellen und zu korrigieren. Für die effiziente und erfolgreiche Entwicklung komplexer Produkte wäre es folglich von enormer Bedeutung, dass alle relevanten Informationen zu allen Zeitpunkten zur Verfügung stehen.

1.2 Zielsetzung und Aufbau dieser Arbeit

Aus der Problembeschreibung ergeben sich folgende Zielsetzungen für diese Arbeit:

1. Es soll eine Systematik erarbeitet werden, die es ermöglicht, während des Entwicklungsprozesses in umfangreichen und komplexen Produktsystemen die Zielorientierung beizubehalten.
2. Die Zielformulierung soll – mit speziellem Augenmerk auf Neukonstruktionen – so unterstützt werden, dass die vollständige Wirkung verschiedener Lösungsansätze schon während der Entwicklung erkennbar wird.
3. Die erarbeiteten Ansätze sollen anhand der Beispielentwicklung einer neuen Aufzugstechnologie verifiziert werden (vgl. Abschnitt 1.3).

Kapitel 2 setzt sich gemäss der ersten Zielsetzung mit der Frage auseinander, wie sich die Zielorientierung in der Entwicklung komplexer Produkte verbessern lässt. Da Entscheidungen eine wesentliche Rolle spielen, diskutiert Abschnitt 2.1 die Problematik von Entscheidungen in komplexen Zusammenhängen. Abschnitt 2.2 zeigt auf, wie die Bewertung, im speziellen die dafür notwendige Gewichtung der Bewertungskriterien, mit der technischen Produktbeschreibung zusammenhängt und erarbeitet darauf aufbauend eine Systematik, mit der Gewichtungsfaktoren objektiviert werden können. Die Abschnitte 2.3 und 2.4 gehen näher auf die Modellierung und Auswertung der so genannten Einflussnetze im Hinblick auf die Entscheidungsfindung ein.

Kapitel 3 geht gemäss der zweiten Zielsetzung näher auf die Zielformulierung bei Neuentwicklungen ein. Abschnitt 3.1 erarbeitet ein Modell zur Erklärung von Akzeptanzschwierigkeiten, das schon während der Entwicklung Problemzonen aufzuzeigen hilft. Abschnitt 3.2 diskutiert, wie mehrere Zielsetzungen über Gewichtungen differenziert werden können. Insbesondere von Bedeutung ist die Ermittlung der Gewichtungsfaktoren, wenn das Produkt selber ein Bestandteil eines übergeordneten Systems ist.

Schliesslich präsentiert Kapitel 4 eine Synthese der Gedanken aus Kapitel 2 und Kapitel 3 in einem Systemmodell als Grundlage für das Entwicklungsbeispiel «Lift» in den Kapiteln 5 bis 9. Da die Orientierung ein Kernaspekt der Systementwicklung ist, wird – basierend auf den erkennbaren Problembereichen – ein Vorschlag vorgelegt, der die Entscheidungsfindung über die Entwicklungsschrittfolge unterstützt. Basis hierfür ist das Einflussnetz, das in Kapitel 2 beschrieben ist.

Gemäss der dritten Zielsetzung dieser Arbeit sollen die theoretischen Ansätze schliesslich auf die Teilentwicklung eines Mehrkabinensystems (eine nähere Beschreibung folgt in Abschnitt 1.3) angewandt und dadurch verifiziert werden. Kapitel 5 beschreibt die Vorgehensweise der Entwicklung und nimmt Bezug auf die Kapitel 2, 3 und 4.

Kapitel 6 untersucht die Zusammenhänge des Umfelds, um zu den bereits feststellbaren Anforderungen an das neue Produkt zu gelangen. Es soll aber auch die Grundlage dafür geschaffen werden, dass neue Anforderungen frühzeitig erkannt werden können. Wesentlich ist auch die Erarbeitung der Gewichtungen der Entwicklungsziele, auf denen die späteren Entscheidungen fussen.

Auf dieser Grundlage erarbeitet Kapitel 7 das geeignetste Verkehrskonzept und definiert und ergänzt die Anforderungen an die technischen Funktionsträger.

Kapitel 8 beschreibt die Wirkung der Verkehrskonzepte auf den Markt und berücksichtigt sowohl die direkten Kunden als auch mögliche Akzeptanzprobleme der übrigen betroffenen Personkreise (z. B. der späteren Nutzer).

In Kapitel 9 wird die Entscheidungsproblematik von Komponenten anhand zweier Beispiel-funktionsträger diskutiert.

Abschliessend erörtert Kapitel 10 die Vor- und Nachteile der erarbeiteten Ansätze.

1.3 Anwendungsbeispiel «Entwicklung einer neuen Aufzugstechnologie»

Die Untersuchung eines Technologiesprungs im Bereich des Personenaufzugs ist aus mehreren Gründen bestens für die Verifizierung der theoretischen Ansätze geeignet: Heutige Aufzüge stellen komplexe und vielfältige technische Systeme dar, die durch die lange Reifezeit auf einem ausgesprochen hohen Niveau sind. Als Bestandteil des Gebäudes weisen sie eine enge Verflechtung mit allen damit verbundenen Prozessen wie Planung, Bau und Betrieb auf.

Eine grundlegende Änderung der heutigen Lifttechnologie trennt die natürlich gewachsenen Beziehungen. Ein neuer Lift muss, um auf dem Markt akzeptiert zu werden, innerhalb einer sehr kurzen Zeit – verglichen mit der langen Reifepériode heutiger Aufzüge – dasselbe Niveau erreichen. Dies stellt enorme Anforderungen an die Entwicklung, die durch das komplexe Umfeld weiter stark erweitert werden. Als Bestandteil des Gebäudes bewirkt eine grosse Änderung des Aufzugssystems auch eine Änderung des Gebäudes selber. So wird es schon schwierig, den Kundennutzen korrekt abzuschätzen, ohne die Zusammenhänge des Gebäudes zu kennen, geschweige denn Nebenwirkungen, die die Akzeptanz durch die betroffenen Personengruppen (z. B. Architekt oder Passagier) verhindern oder zumindest verringern.

Eine Motivation zu solch einer grundlegenden Technologieänderung ist die Feststellung, dass mit der heutigen Technologie der Platzverbrauch eines Aufzugs nicht mehr signifikant verkleinert werden kann. Dieses Problem ist darin begründet, dass das heute übliche Aufzugskonzept – bedingt durch Seil und Gegengewicht – nur eine Kabine im Schacht führt. Da die Kapazität eines Schachtes im meist kritischen Aufwärtsverkehr durch die Zeitspanne zwischen zwei Beladevorgängen bemessen wird, hängt sie massgeblich von der Rundfahrtzeit ab: der benötigten Zeit, um alle Passagiere auszuladen und wieder zurückzufahren (vgl. Bild 1.1 a). Es wird deutlich, dass lange Schächte eine niedrigere Maximalkapazität als kurze aufweisen. Verkehrsanlagen in hohen Gebäuden benötigen dadurch einen – verglichen mit niedrigeren Häusern – überproportional hohen Platzanteil.

Dennoch drängen die Architekten und Investoren immer stärker zu sehr hohen Gebäuden (vgl. *R. Kaltenbrunner* [56]; www.skyscrapers.com [97]), obwohl der hohe Anteil an Aufzugsfläche zu Rentabilitätsproblemen führt.

Die vielversprechendsten Möglichkeiten, Platz zu sparen, sind mit Doppeldeckerliften¹, Zielrufsteuerung² und -optimierung sowie kleineren Antrieben, die im Schacht untergebracht werden können, beim klassischen Aufzugssystem bereits ausgeschöpft. Es bedarf also einer grundlegenden Änderung des bekannten Liftkonzepts, um den Bedürfnissen der Investoren weiter zu begegnen.

Die Idee, mehrere Kabinen im gleichen Schacht fahren zu lassen, verbessert die Platzausnutzung eines Liftsystems und eröffnet einen weiten neuen Lösungsraum. Am nächsten beim heutigen Aufzug liegen Lösungen, die zwei konventionelle Kabinen mit Gegengewicht in einem einzigen Schacht überlagern (vgl. *W.D. Baldwin* [6], *Reuter et al.* [81], Bild 1.1 b). Ein solches Aufzugs-

¹ Doppeldeckerlifte bestehen aus zwei mechanisch direkt verbundenen Kabinen im gleichen Schacht.

² Bei Zielrufsteuerungen geben die Passagiere ihr Ziel vor Einstieg in die Kabine bekannt, damit die Steuerung die Zuweisung optimieren kann.

system führte die Firma *ThyssenKrupp Aufzüge GmbH* im Dezember 2003 ein, das in Gebäuden ab 50 Metern (ca. 15 Etagen) eine Kapazitätssteigerung pro Schacht um 40% erlaubt [104].

Eine weitere Steigerung der Kapazitätsdichte in Anlehnung an das altbekannte *Paternoster*-System (vgl. Bild 1.1 c) ist über den Zusammenschluss mehrerer Schächte zu einem Fahrbahnsystem denkbar (vgl. Bild 1.1 d). Dafür müssen die Kabinen jedoch in der Lage sein, den Schacht zu wechseln, was die Verwendung eines Gegengewichtes erschwert. Auch in dieser Richtung wurde viel publiziert (vgl. [2], [4], [6], [31], [58], [63], [66], [86], [87], [95], [100], [113], [114]), doch keine Lösung ist bisher umgesetzt worden.

Es ist somit deutlich geworden, dass die Realisierung eines Hauptziels im Aufzugssektor, nämlich den Platzverbrauch weiter zu verringern, zu einer tiefgehenden Änderung der Mehrzahl der Liftkomponenten führt. Die vorliegende Dissertation konzentriert sich auf die ersten und wichtigsten Komponenten eines solchen Systems, vornehmlich die Erarbeitung des Verkehrskonzepts. In Übereinstimmung mit den Zielen dieser Arbeit wird versucht, das Umfeld zu verstehen und in die Entwicklung zu integrieren.

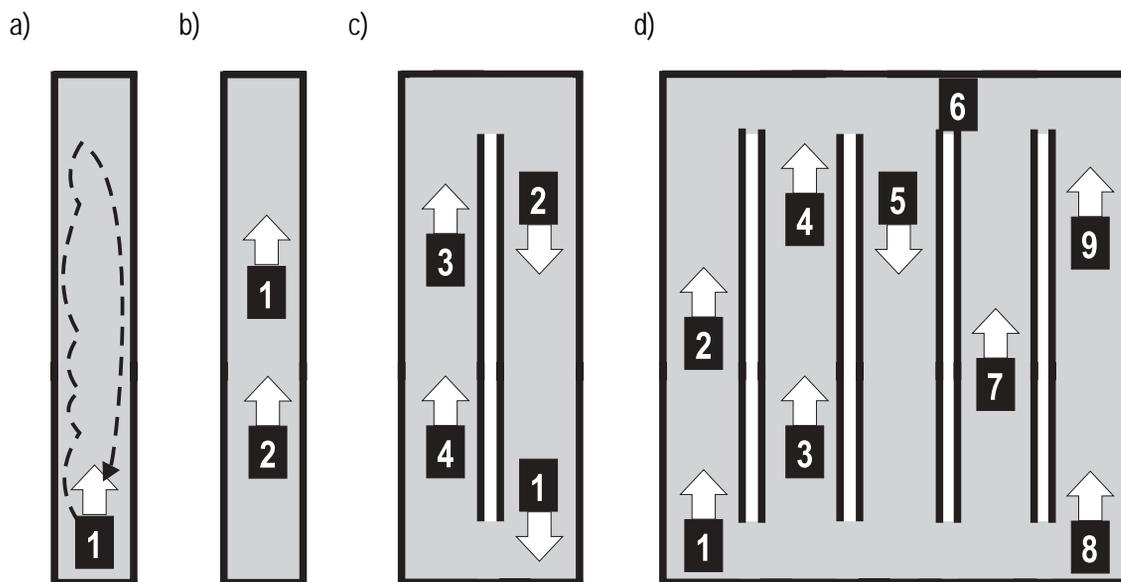


Bild 1.1. Vergleich des konventionellen (gestrichelt: bspw. Rundfahrt) mit verschiedenen Multimobilaufzugskonzepten

2 Zielorientierung in der Entwicklung komplexer Systeme

2.1 Problematik bei Entscheidungen in der Systementwicklung

Das menschliche Gehirn ist ein Informationsverarbeitungssystem, das keine unbeschränkte Menge an Informationen aufnehmen und gleichzeitig verarbeiten kann. Weil die kognitive Kapazität des Menschen beschränkt ist (vgl. *G.A. Miller* [67], *U. Neisser* [71]), ist die Fähigkeit des analytischen Denkens, d. h. komplexe Zusammenhänge in ihre Bestandteile zerlegen zu können, von Vorteil, um Problemstrukturen zu erkennen und lösen zu können.

In der Produktentwicklung äussert sich dieses Prinzip der Analyse sowohl im schrittweisen Gesamtverfahren (vgl. *VDI-Richtlinie 2221* [108]), als auch in vielen altbewährten Methoden während der einzelnen Entwicklungsschritte (z. B. Funktionsstruktur, vgl. *Pahl/Beitz* [74], *K. Roth* [82], morphologischer Kasten (basierend auf den Ansätzen von *F. Zwicky* [116])). Auch im Entscheidungsprozess werden die Varianten einzeln anhand von Bewertungskriterien analysiert und deren Aspekte wiederum getrennt beurteilt (vgl. *F. Kesselring* [57], *C. Zangemeister* [115], *A. Breiing / R. Knosala* [16]).

In einer Bewertung dient die *Gewichtung* jedes einzelnen Bewertungskriteriums einer exakteren Differenzierung der Entwicklungsziele. Sie wird in der Regel von den Entscheidungsträgern – möglichst einem multidisziplinären Expertenteam – bestimmt. Jeder Experte kennt die Entwicklungsziele und muss aufgrund seiner persönlichen Kenntnisse abschätzen, um wieviel wichtiger ein Kriterium gegenüber dem anderen ist. Für eine realistische Einschätzung braucht es folglich die Fähigkeit, die Abhängigkeiten zwischen Bewertungskriterien und Zielen gegeneinander abzuwägen zu können. Gemäss dem Prinzip der beschränkten kognitiven Kapazität stösst das Gehirn ab einer bestimmten Anzahl Abhängigkeiten, die es parallel bearbeiten muss, an seine Grenzen. Bei komplexen Produkten können somit nicht alle Abhängigkeiten in die Gewichtung einfließen, so dass gewisse subjektive Verzerrungen unvermeidbar sind. Mit den von *C. Zangemeister* [115] sowie *A. Breiing* und *R. Knosala* [16] vorgeschlagenen Methoden (z. B. Massnahmen zur Erhöhung der Robustheit von Bewertungsgrössen (Masszahlen und Gewichtungsfaktoren) sowie durch deren Modellierung als unscharfe Zahlen oder Mengen (vgl. *A. Breiing* und *R. Knosala* [16])) können diese Einschätzungen der Gewichtung zwar in einem gewissen Masse objektiviert werden, doch bleiben sie Abbild der subjektiven Meinungen. Der Vertrauensgrad einer Bewertung sinkt folglich mit zunehmender Komplexität. Wird die Gewichtung in der Gruppe ermittelt, führen gruppenspezifische Prozesse zu weiteren Verzerrungen (z. B. *Dominanz*; vgl. *K. H. Delhees* [23]), die umso bedeutender werden, je grösser der subjektive Anteil ist. Dieser Aspekt reduziert den Vertrauensgrad einer Bewertung zusätzlich.

Am deutlichsten wird diese Problematik bei Entscheidungen über Komponentenvarianten eines Systems. Die Abhängigkeiten zwischen den einzelnen *Funktionsträgern*¹ sind oft vielfältig, und die Ziele treten erst über diese Abhängigkeiten in Relation zu dem betrachteten Funktionsträger. Die Gewichtung der einzelnen Bewertungskriterien resultiert aus der Kenntnis dieser Zusammenhänge. Da der Umfang der Informationen es verunmöglicht, alle Zusammenhänge richtig zusammenzusetzen und zu gewichten, ist eine absolut objektive Bewertung nicht möglich. Analog verhält es sich bei einem Produkt, das selbst Teil eines übergeordneten Systems (z. B. Gebäude) ist. Auch hier bestimmen die Wechselwirkungen zwischen Produkt und Gesamtsystem die Gewichtungen, so dass sich die Abschätzung der Gewichtung in einer Komponentenbewertung weiter erschwert.

¹ Unter einem Funktionsträger versteht man eine Komponente des Produkts, die der Erfüllung einer (lösungsneutralen) Funktion dient.

Für die Entwicklung eines komplexen Systems erwächst die dringende Notwendigkeit, die Ermittlung der Gewichtungsfaktoren für Komponentenentscheidungen weiter zu objektivieren. Es bedarf eines Gewichtungskonzeptes, das einerseits die dringend benötigte exakte Grundlage bietet, andererseits sicherstellt, dass die Gewichtungen objektiv *bleiben*.

Gemäss den Erkenntnissen der Entscheidungsforschung liegt eine wichtige Grundlage jeder rationalen Entscheidung im Wissen (vgl. *Jungermann/Pfister/Fischer* [52]). Die Entscheidungsträger müssen die Optionen sowie ihre Konsequenzen kennen. In der Produktentwicklung liegen sowohl die Optionen als auch ein grosser Teil der Konsequenzen im Produkt selbst, vor allem bei Entscheidungen über Komponentenvarianten. Entscheidungsgrundlage ist also das Wissen um das Produkt, das zum grossen Teil exakt ist. Ein Konzept, das die Bewertung mit dem Produktwissen verbindet, kann die Grundlage für präzisere Gewichtungen bieten.

2.2 Zusammenhang zwischen technischer Produktbeschreibung und Bewertung

2.2.1 Repräsentation der Bewertungskriterien

Bewertungskriterien und ihre Gewichtung sind eng miteinander verknüpft. Um die Gewichtungsfaktoren objektiv zu erfassen, ist es deshalb notwendig, sich zuerst mit der Repräsentation der Bewertungskriterien in der technischen Produktbeschreibung zu befassen. Da sich eine Bewertung immer auf die Zielvorstellung bezieht (vgl. *G. Pahl/W. Beitz* [74]), muss die Diskussion mit der Erörterung der Entwicklungsziele beginnen. Zur Erleichterung der Erörterung liegt der Fokus in einem ersten Schritt in einer Konstruktion, die ein Vorgängerprodukt weiterentwickelt.

Ein Produkt soll letztlich immer von einem Kunden (im allgemeinsten Sinn) gekauft werden. Grundvoraussetzung dafür ist, dass der Kunde den Unterschied zum Vorgängerprodukt *erkennt*. Er bezieht sich also auf gewisse Attribute eines vorhandenen Produktes, die spätestens im Vergleich mit dem neuen Produkt als ungenügend wahrgenommen werden. *Attribut* soll im folgenden als Oberbegriff für die Begriffe *Merkmale* und *Eigenschaften* gelten, da für die vorliegende Arbeit keine Notwendigkeit zur Unterscheidung zwischen Merkmalen und Eigenschaften gesehen wird. Einem *Attributsbegriff* ist jeweils eine *-ausprägung* zugeordnet.

Ein Kauf beruht auf der Verbesserung der defizitären Attribute, die bis zu einem gewissen Grad lösungsunabhängig sein können. Auch neue Lösungsprinzipien können vom Kunden gleich wahrgenommen werden. Daraus lässt sich das Ziel für den betrachteten Fall formulieren: Ziel einer Entwicklung ist es, durch neue technische Lösungen die als defizitär angesehenen Attribute resp. Attributsausprägungen zu verbessern, ohne die weiteren relevanten Attributsausprägungen zu verschlechtern. Dieses Prinzip gilt auch für Neukonstruktionen, bei denen kein Vorgängerprodukt existiert, jedoch sind die relevanten Attribute zu Beginn allgemein und konkretisieren sich erst im Laufe der Entwicklung. Kapitel 3 diskutiert diesen Zusammenhang näher.

Um den Zusammenhang zwischen einer technischen Bewertung und den Entwicklungszielen zu erkennen, sind zwei Gedankenschritte notwendig. *V. Hubka* schlägt in [47] vor, dass die vom Umfeld wahrgenommenen Attribute, also auch die, bei denen kein Defizit festgestellt wird, gleichbedeutend mit den Anforderungskriterien sind. Damit lassen sich die technischen Attribute mit den Zielvorstellungen verbinden. Zusammen mit der Forderung von *A. Breiing* [15], dass die Bewertungskriterien direkt von den Anforderungskriterien abgeleitet werden sollen, da diese der Zielformulierung entsprechen, ergibt sich die

These 1:

Bewertungskriterien des Gesamtprodukts sind identisch mit allen Produktattributen, die zum einen vom Umfeld als defizitär angesehen und deswegen durch das neue Produkt verbessert werden sollen, zum anderen so allgemein formuliert sind, dass sie alle Lösungsvarianten beschreiben können.

Eine Bewertung zielt also darauf hin, die Ausprägungen der Zielattribute (resp. Bewertungsattribute) der Gesamtvarianten festzustellen, da nur diese vom Umfeld wahrgenommen werden. Auch bei der Bewertung von Komponentenvarianten ist letztlich nur die Ausprägung der Zielattribute des Produkts durch die jeweilige Variante relevant. Komponentenvarianten zeitigen also eine unterschiedliche Wirkung auf die Zielattribute. Um diese Wirkung abzubilden, muss eine angemessene Beschreibungssprache gefunden werden. Es wird deshalb davon ausgegangen, dass zwischen allen Attributen, die das Produkt aus der technischen Sicht beschreiben, Wechselwirkungen bestehen: Ändert man ein Attribut, ändert sich auch das davon abhängige Attribut. Dadurch entsteht insgesamt ein Parameternetz als Abbildung der Abhängigkeiten. In der vorliegenden Problematik ist die Wirkung immer auf die Zielattribute hin gerichtet.

Definition:

Ein **Einflussnetz** ist die Gesamtheit aller gerichteten Abhängigkeiten zwischen den Attributen, die ein Produkt beschreiben. Die Einflussrichtung zielt auf die vom Umfeld wahrgenommenen Attribute.

Das bedeutet, dass mit der Kenntnis des Einflussnetzes eines Produkts abgeschätzt werden kann, welche Zielattribute sich ändern, wenn ein technisches Attribut geändert wird. Es handelt sich beim hier verwendeten Einflussnetz um eine Beschreibung des Produkts als *System* zusammenhängender Elemente (Attribute). Eine für diesen Zusammenhang besonders passende Definition eines Systems ist folgende (vgl. P. Gomez [36]):

«Ein System ist eine Menge von Variablen oder Elementen, die aus einer ganz bestimmten Perspektive aus einer Vielzahl möglicher Elemente ausgewählt wurden. Kriterien für die Auswahl dieser Elemente sind der Grad ihrer Vernetzung, die sich daraus ergebenden Struktur- und Verhaltensmuster sowie der durch die Systembildung angestrebte Zweck.»

Die *Systemgrenze* ist eine willkürliche Abgrenzung zwischen dem betrachteten System und seinem *Umfeld*. Dabei ist die Frage, ob ein Element im System oder im Umfeld anzusiedeln ist, abhängig von der Intention der Analyse (vgl. H. P. Geering [33]). Die Struktur eines Einflussnetzes ist nicht eingeschränkt, d. h. es sind auch *Einflusskreise* zu erwarten. Der Terminus *Einflusskreis* bedeutet die iterative Änderung eines Attributs durch sich selbst.

Das Einflussnetz verbindet die technischen Parameter (Attribute) mit der konkreten Kundenwahrnehmung (relevante Attribute). Jede technische Lösung besitzt in Kombination mit den attributspezifischen Ausprägungen ein charakteristisches Einflussnetz. Ein Produkt besteht aus der Verbindung mehrerer Einflussnetze von Funktionsträgern, die sich in ihrer Gesamtheit auf die Zielattribute auswirken. Am Anfang einer Produktentwicklung ist in der Regel nur eine Teilmenge der Zielattribute bekannt. Erst durch die Erarbeitung von technischen Lösungsvarianten und durch das Entscheiden wird ein Teil des Einflussnetzes des Gesamtprodukts festgelegt und damit unter Umständen auch neue Zielattribute.

Mit der Konkretisierung des Einflussnetzes um einen Funktionsträger herum ergeben sich Schnittstellen, d. h. Attribute, mit denen der Funktionsträger auf die Zielattribute wirkt. In Anlehnung an V. Hubka [47] entsprechen diese wiederum den Anforderungskriterien an den Funktions-

träger. Dies führt – analog zu These 1 – zur Möglichkeit, die Bewertungskriterien einer Systemkomponente an die technische Beschreibung des Produkts zu koppeln:

These 2:

Bewertungskriterien einer Systemkomponente sind identisch mit allen Komponentenattributen, die über das Einflussnetz auf die Bewertungskriterien des Gesamtprodukts wirken und ausreichend allgemein sind, um alle Lösungsvarianten zu beschreiben.

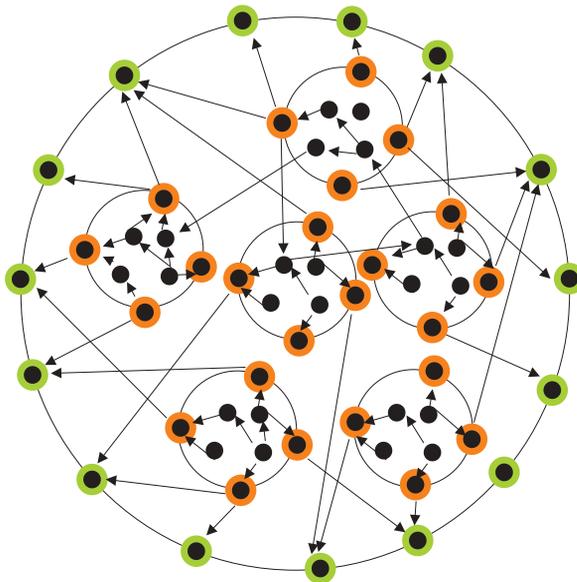


Bild 2.1. Illustration des Einflussnetzes als Verbindung zwischen Zielattributen (äusserer Ring) und Bewertungsattributen der Systemkomponenten (Rand der kleinen Ringe)

Zur Verdeutlichung soll die These 2 mit dem Zielbaum von C. Zangemeister [115] verglichen werden. Zangemeister verwendet die hierarchische Gliederung von Bewertungskriterien, um die allgemeinen Bewertungskriterien und dadurch auch die Ermittlung der Gewichtung zu präzisieren. Gemäss These 2 basiert die Verknüpfung der Komponentenbewertungskriterien auf dem Einflussnetz des Produkts und ist so zu vielfältig (Kreise, Quereinflüsse), um in eine hierarchische Struktur gebracht zu werden. Daraus wird klar, dass der Zielbaum von Zangemeister nicht für diese Problemstellung verwendet werden kann – weder für die Definition der Komponentenbewertungskriterien noch für deren Gewichtung.

Bewertungskriterien einer Komponente sind eine Abbildung der Bewertungskriterien des Gesamtprodukts. Gemäss These 2 bildet das Einflussnetz die Grundlage für die Abbildung. So können die Komponentenbewertungskriterien erst dann vollständig bestimmt werden, wenn ausreichendes Wissen (technische Lösungen) über die Verbindung zwischen Zielattributen und Komponente vorhanden ist. Dies bedeutet aber auch, dass sich durch die Verdichtung des Einflussnetzes während der Detaillierungsschritte (vgl. VDI-2221 [108]) neue Anforderungen und Bewertungskriterien ergeben können, die die Entscheidungen beeinflussen. Dies wird in Abschnitt 2.4.5 näher diskutiert.

2.2.2 Bestimmung der Gewichtung

Die Gewichtung eines Bewertungskriteriums des Gesamtproduktes steht für dessen Bedeutung für die Entwicklungsziele (vgl. Pahl/Beitz [74]). Analog dazu muss auch die Gewichtung eines Komponentenbewertungskriteriums seine Bedeutung für die Ziele widerspiegeln.

Abschnitt 2.2.1 zeigt auf, dass die Anforderungen und Bewertungskriterien einer Komponente, die nicht direkt mit den Entwicklungszielen verbunden ist, erst durch die Festlegung des Einflussnetzes der umliegenden Komponentenlösungen bestimmt werden. Anforderungsattribute einer Komponente sind als vorläufig unbekannte Attribute in das Einflussnetz der umliegenden Kompo-

nenen eingeflochten. Die Auswahl dieser umliegenden Komponenten benötigt Annahmen über die Ausprägung der Anforderungsattribute. Beispielsweise kann die maximale Kapazitätsdichte einer ersten Variante des Verkehrskonzepts nur dann bestimmt werden, wenn von einer bestimmten Maximalgeschwindigkeit ausgegangen wird, während eine zweite vielleicht andere Werte benötigt. Die für die Auswahl der Verkehrskonzeptvarianten angenommene Ausprägung der Maximalgeschwindigkeit wird – nach der Auswahl – zu einer Anforderung an den Motor. Dasselbe geschieht mit den Bewertungsattributen. Auch sie erhalten auf diese Weise eine Referenzausprägung, die vielleicht einem für die umliegende Komponente idealen Zustand entspricht. Vor der Komponentenentwicklung liegt ein allgemeiner Referenzzustand vor, der über die Ausprägung der Randattribute der Komponente bestimmt ist. Auf diesem abstrakten Niveau äussert sich die Wirkung einer Lösungsvariante nur dadurch, dass die Randattribute relativ zum Referenzniveau verändert werden. Über die Verknüpfungen des Einflussnetzes bewirken diese Änderungen, dass die Zielattribute ebenfalls verändert werden. Es entsteht folgendes Bild des Systementwicklungsprozesses:

Zu jedem Zeitpunkt der Entwicklung besitzt das Einflussnetz einen Zustand, der sich über die Ausprägung der Zielattribute äussert. Jeder Entwicklungsschritt, auch der Variantenvergleich, bewirkt durch eine Änderung des Einflussnetzes die Änderung des Zustands und somit auch die Änderung der Zielattribute. Das Einflussnetz besitzt in der Entwicklung eine sprunghafte Dynamik, da sich sein Zustand ständig ändert. Um die Wirkung einer Änderung durch Komponentenvarianten abschätzen zu können, dient folgende Definition:

Definition:

Die **Einflussstärke** widerspiegelt das Verhältnis zwischen der resultierenden Änderung eines Attributs und der initiierenden Änderung eines weiteren Attributs.

Die Einflussstärke ist ein Mass dafür, wie stark eine Änderung eines Attributs ein anderes betrifft. Ändern sich Bewertungsattribute, äussert sich also die Wirkung auf die Entwicklungsziele ebenfalls über die Einflussstärke. Das bedeutet, dass die Einflussstärke zwischen einem Bewertungsattribut einer Komponente und einem Zielattribut mit der Gewichtung dieses Bewertungsattributs korreliert: Je grösser die Einflussstärke, desto stärker wirkt sich eine Änderung auf die Ziele aus. Die Gewichtung eines Komponentenbewertungsattributs im Sinne der Bewertungsmethoden, wie sie z. B. C. Zangemeister [115] oder A. Breiing [15] vorschlagen, lässt sich jedoch mit der Einflussstärke nicht ausreichend beschreiben. Vor einer näheren Untersuchung dieses Begriffs der Gewichtung ist es sinnvoll, eine Grösse einzuführen, die für die Gesamtbewertung von Bedeutung ist.

Da in der Entwicklung immer mit multikriteriellen Zielen gearbeitet wird (z. B. *Kosten* und *Funktionserfüllung*), die nicht alle gleich wichtig sind, muss die Gewichtung eines Komponentenbewertungskriteriums auch die Gewichtung der Zielattribute widerspiegeln. Sinnvollerweise wird diese «äussere» Gewichtung auch in das Einflussnetz eingebunden. Dafür wird eine weitere Grösse eingeführt, die als Bewertungsmassstab für das Produkt dient: die *Güte*. Sie wird von den Bewertungsattributen des Produkts beeinflusst, und zwar mit einer Einflussstärke, die der Gewichtung in den Augen der Kunden entspricht. Der Güteausprägung zu Beginn der Entwicklung wird auf 100% gesetzt. Die Änderungen der Bewertungsattribute durch Lösungsvarianten werden an dieser Referenz gemessen. Für jedes Bewertungsattribut des Systems kann nun eine Einflussstärke auf das Gütekriterium bestimmt werden, die darüber auch die unterschiedliche Gewichtung der Zielattribute berücksichtigt.

Damit lässt sich die Verknüpfung der Informationen aus dem Einflussnetz mit dem Begriff der Gewichtung aus [115] und [15] wie folgt beschreiben:

These 3:

Die **Gewichtung** eines Bewertungskriteriums spiegelt sich in seinem Potential wider, die Güte des Produkts zu verbessern. Dies beinhaltet sowohl die Einflussstärke zwischen dem Bewertungsattribut und dem abstrakten Attribut «Güte» als auch die mittlere zu erwartende Veränderung des Bewertungsattributs im Rahmen der technischen Lösungsmöglichkeiten.

These 3 soll anhand eines Beispiels erläutert werden. Die Einflussstärke des Bewertungsattributs *Effizienz* des Motors besitzt für das festgelegte Verkehrskonzept eine Einflussstärke auf die Güte von ca. 2.5% (Referenzausprägung der Effizienz: 85%). Im Vergleich dazu ist die Einflussstärke der Motormasse, die auf der Kabine mitgeführt wird, lediglich -0.4% (Referenzmasse: 100 kg). Ein negativer Einflusswert bedeutet, dass eine Erhöhung der Motormasse zu einer Verkleinerung (oder Verschlechterung) der Güte führt. Doch die Bandbreite der zu erwartenden Attributsänderungen ist beim Motor viel weiter. Während die Effizienz der technischen Lösungen im Rahmen von maximal {-17%; +10%} verändert werden kann, kann sich die Motormasse durchaus um {-50%; +150%} verändern. Daraus ergibt sich die in Tabelle 2.1 auf 10 normierte relative Gewichtung dieser beiden Motor-Bewertungskriterien. Das Antriebsgewicht wird somit wichtiger als das der Effizienz.

Tabelle 2.1. Beispielhafte Gewichtungen von Motorbewertungskriterien

Kriterium	Einflussstärke	Mittlere zu erwartende Änderung	Relative Gewichtung (auf 10 normiert)
Effizienz	+2.4%	-8%	4
Bewegte Masse	-0.4%	+75%	6

Gemäss These 3 besteht die Gewichtung eines Kriteriums aus zwei Bestandteilen: Ein wichtiges Standbein ist die Einflussstärke, die definiert, wie stark sich eine Änderung eines Bewertungsattributs auf die Ziele auswirkt. Sie bezieht sich immer auf einen Referenzzustand. Dieser Term ist dadurch, dass er direkt an die bekannten technischen Zusammenhänge anschliesst, exakt aus dem Einflussnetz herauszulesen. Zweites Element ist die mittlere Veränderung, die sich ebenfalls auf den Referenzzustand bezieht. Zwar ist dieser Wert theoretisch auch exakt, doch hängt er stark von den erarbeiteten Varianten ab und ist somit tendenziell unscharf.

Zusammen mit den von *W. Beitz* [12] sowie *C. Zangemeister* [115] vorgeschlagenen Zielwertfunktionen erhöht sich so der Vertrauensgrad einer Komponentenbewertung (z. B. anhand der in [16] vorgeschlagenen Methode) auch in komplexen Situationen.

Es fällt jedoch auf, dass dadurch nicht das ganze Präzisionspotential ausgeschöpft ist, welches das Einflussnetz bietet: Die Ungenauigkeiten stammen einerseits, wie bereits angesprochen, von der zu erwartenden mittleren Änderung, andererseits aber auch von der Kombination der Wertigkeiten (Wertfunktionen) mit den Gewichtungen. Wünschenswert wäre eine Bewertung, die direkt zu den Änderungen der Zielattribute, resp. dem Zustand des Gütekriteriums, führt. Auf der Basis dieses Gedankens skizziert Abschnitt 2.2.3 eine Bewertungsmethode, die eine präzisere Erfassung der Variantenwirkung zulässt.

2.2.3 Entwurf einer Bewertungsmethode für Komponentenvarianten

Löst man sich von der *Gewichtung* der Bewertungskriterien und der damit verbundenen Unschärfe, ergibt sich folgender Entwurf einer präzisen Bewertungsmethode:

1. Ziel jeder Bewertung ist, die Güte des Gesamtprodukts aufzuzeigen, die aus der Verwendung einer bestimmten Komponentenvariante resultiert.
2. Für die zu bewertende Komponente werden die Bewertungsattribute gemäss These 2 aus dem bisher bekannten Einflussnetz bestimmt.
3. Den Bewertungsattributen werden Referenzausprägungen (z. B. basierend auf einem Idealzustand) zugeordnet und daraus ihre Einflussstärke auf die Güte bestimmt.
4. Eine Variante lässt sich über ihre Ausprägungen der Bewertungsattribute beschreiben, resp. über die relative Änderung bezüglich des jeweiligen Referenzzustands.
5. Aus den relativen Attributsänderungen zusammen mit den Einflussstärken (*nicht* Gewichtungen) resultiert die relative Änderung der Güte zum Referenzzustand.

Im vorliegenden Vorschlag einer Bewertungsmethode sind einerseits die Gewichtungen durch die Einflussstärke, andererseits die Masszahlen durch relative Änderung zu einer Referenzausprägung ersetzt. Dadurch sind beide für die Bewertung ausschlaggebenden Grössen mathematisch exakt bestimmbar.

Das Resultat der Bewertung als Entscheidungsgrundlage ist eine – mit dem momentanen Wissenstand – absolute und präzise Einschätzung der Güte des Produkts, unabhängig von der Komplexität des Wissens. Diese Absolutheit ermöglicht es, frühere Entscheidungen auf Veränderungen des Produktwissens oder der Zielvorstellungen hin zu verifizieren.

2.3 Modellierung des Einflussnetzes

2.3.1 Übersicht und Stand der Forschung

Ein Einflussnetz weist entgegen einer Baumstruktur sowohl Querbeziehungen als auch Einflusskreise auf. Ein solches Netz ist kennzeichnend für die Komplexität technischer Systeme. Dazu kommt, dass die Beziehungen des Einflussnetzes nicht nur linear, sondern auch nichtlinear sein können.

Mathematisch gesehen ist ein Einflussnetz ein «zyklischer, gerichteter und gewichteter Graph» (vgl. *I. N. Bronstein / K. A. Semendjajew* [18]). Die *Graphentheorie* behandelt jedoch ausschliesslich spezialisierte Problemstellungen (z. B. «Kürzester Weg», «Travelling Salesman»), die sich nicht auf die hier gestellte übertragen lassen. [18] gibt keine Lösungsansätze für *Zyklen* (Kreise) an.

Modelle, die die Abhängigkeiten zwischen Systemelementen abbilden, werden im Umfeld der *Systems-Engineering Philosophie* (vgl. *A. D. Hall* [43], *Daenzer et al.* [22]) verwendet, um komplexe Probleme zu verstehen. Die zahlreichen Publikationen in dieser Richtung (z. B.: [32], [70], [83], [84], [105], [103]) zeigen eine Fülle von Anwendungsgebieten, doch lässt sich keine Publikation finden, die sich mit der Zielorientierung in der Produktentwicklung als solcher befasst. Die darin vorgeschlagenen mathematischen Modellierungen und Auswertungen sind immer auf ein konkretes Problem bezogen und können nicht auf das der vorliegenden Arbeit übertragen werden. Dies wird vor allem durch die eingangs beschriebenen Besonderheiten der Einflussnetze erschwert.

2.3.2 Grundlagen für die Modellierung von Einflussnetzen

Wenn Modelle die Realität korrekt abbilden wollen, ist die Zeit meistens ein massgeblich bestimmender Faktor. Sowohl technische als auch gesellschaftliche Systeme (z. B. Unternehmen, wie sie in [22] [36] [105] untersucht werden) sind zeitvariant, d. h. dass sich ihre Zustände fortlaufend ändern. Damit benötigt das Modell nicht nur Informationen über die *Einflussstärke*, sondern auch über die zeitliche Verzögerung ihrer Wirkung sowie deren Abhängigkeit von den Zuständen. Das Verhalten eines solchen Systems hängt davon ab, in welcher Reihenfolge und mit welchem zeitlichen Abstand die Wirkungen eintreffen. Das macht die exakte Modellierung solcher Systeme schwierig. Deshalb übergehen *P. Gomez* [36], *Ulrich / Probst* [105], *J. Gausemeier* [32] und *Daenzer et al.* [22] die exakte Simulation gesellschaftlicher Systeme und begnügen sich mit einer qualitativen Abschätzung des Verhaltens.

Ein Produktsystem ist in dieser Hinsicht ein Spezialfall. Obschon es in seiner Gesamtheit ein Teil eines zeitvarianten Umfelds (unternehmensinterne Prozesse, Nutzungsprozesse) ist, kann das für die Entwicklung relevante System davon losgelöst betrachtet werden. Die Entwicklungsziele stammen zwar aus dem dynamischen, sich ständig verändernden Umfeld, doch das Parameternetz des Produkts selber besitzt keine zeitliche Komponente. Änderungen an einem Parameter wirken sich ohne zeitliche Verzögerung auf alle anderen Parameter gleichzeitig aus, obschon die Entwicklung selber – und damit auch das Knüpfen des Einflussnetzes – einer Dynamik unterliegt. Dieser Unterschied ist für die Ermittlung der Gewichtungen von Parametern von enormer Bedeutung. Ohne mit den Problemen bei der Erstellung und Auswertung dynamischer Systeme konfrontiert zu werden, lässt sich das Einflussnetz ohne Vereinfachungen ebenso exakt wie das Produktwissen auswerten.

Da das Umfeld eines Produkts dynamisch ist, ändert sich auch die Wahrnehmung der relevanten Attribute, sogar deren Menge selbst. Die Gewichtung der Zielattribute als Motivation für eine Neuentwicklung resultiert also aus einem Momentanzustand des dynamischen Umfelds, ebenso wie die Definition der Grenzen des Lösungsraums (z. B. Festforderungen). Dies bedeutet, dass sich die Zielvorstellungen während der Entwicklung ändern können. Relevant ist schliesslich der Zustand des Umfelds zum Zeitpunkt der Markteinführung, da das Produkt erst dann seine Wirkung entfaltet – mit allen Wirkungen und Nebenwirkungen.

2.3.3 Mathematisches Modell der Einflussstärke

Es gilt nun, die Einflussstärke mathematisch zu umschreiben. Die Einflussstärke ist darin definiert als Verhältnis zwischen der resultierenden Änderung und der initiiierenden Änderung. Sie wird mit der Variable r (Relation) abgekürzt. Dies ergibt Gl. (2.1) für die resultierende Änderung des Attributs X bei einer Änderung des Attributs Z :

$$\varepsilon_X(r_{ZX}, \varepsilon_Z) = r_{ZX} \langle \varepsilon_Z \rangle \cdot \varepsilon_Z \quad (2.1)$$

ε_X relative Änderung des Attributs X
 r_{ZX} Einflussfaktor des Attributs Z auf X

Die relative Änderung des Attributs X ergibt sich aus der Initialänderung des Attributs Z multipliziert mit dem Einflussfaktor r .

Mit

$$X = f\langle Z \rangle \quad (2.2)$$

ergibt sich der Einflussfaktor (resp. Einflussstärke) r für allgemeine nichtlineare Beziehungen aus:

$$X_0(1+\varepsilon_{X_0}) = f\langle Z_0(1+\varepsilon_{Z_0}) \rangle$$

$$\varepsilon_{X_0} = \frac{f\langle Z_0(1+\varepsilon_{Z_0}) \rangle - f\langle Z_0 \rangle}{f\langle Z_0 \rangle}$$

$$r_{Z_0 X_0} = \frac{f\langle Z_0(1+\varepsilon_{Z_0}) \rangle - f\langle Z_0 \rangle}{f\langle Z_0 \rangle \cdot \varepsilon_{Z_0}} \quad (2.3)$$

Z_0 Referenzausprägung des Attributs Z
 X_0 Referenzausprägung des Attributs X

Bei linearen Beziehungen wird Gl. (2.3) zu

$$r_{Z_0 X_0} = \left. \frac{\partial f\langle Z \rangle}{\partial Z} \right|_{Z_0} \cdot \frac{Z_0}{f\langle Z_0 \rangle} \quad (2.4)$$

2.4 Auswertung des Einflussnetzes

2.4.1 Berechnung des resultierenden Einflusses

Zwar ist ein Einflussnetz im Prinzip ein Gleichungssystem, doch sind die Gleichungen im allgemeinen auch nichtlinear, so dass sich die Methoden der *Linearen Algebra* (vgl. *K. Nipp, D. Stoffer* [72]) nicht zur Auswertung anwenden lassen. Pauschales Linearisieren der nichtlinearen Zusammenhänge ist keine Option, da dadurch die Gefahr signifikanter Fehler latent wird (vgl. *J. Briggs/F.D. Peat* [17]; *T. Buzug* [20]).

Im folgenden wird auf der Basis der Gleichung Gl. (2.3) eine mathematische Auswertung aufgezeigt, die sowohl für nichtlineare als auch lineare Systeme gültig ist.

Die Übertragung einer Änderung über einen sequentiellen Wirkweg berechnet sich multiplikativ:

$$r_{13} = r_{12} \cdot r_{23}$$

Die Wirkung paralleler Einflusswege (vgl. Bild 2.3) kann nach dem Superpositionsprinzip addiert werden:

$$r_{14} = r_{12} \cdot r_{24} + r_{13} \cdot r_{34}$$

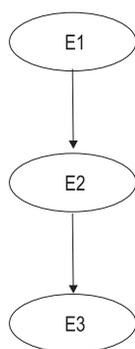


Bild 2.2. Sequentieller Einflussweg

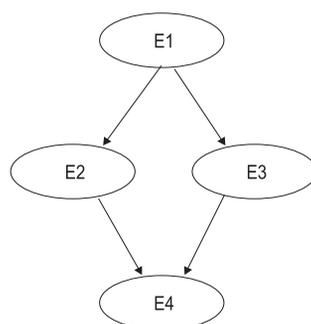


Bild 2.3. Paralleler Einflussweg

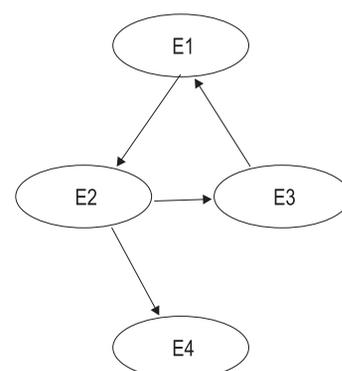


Bild 2.4. Einflusskreis

Ist r_{24} oder r_{34} nichtlinear, hängt dieser Einflusswert von der Änderung beider Attribute $E2$ und $E3$ ab. Die Gl. (2.2) muss wie folgt angepasst werden,

$$X = f\langle Z, Y \rangle$$

$$\varepsilon_{X_0} = \frac{f\langle Z_0(1+\varepsilon_{Z_0}), Y_0(1+\varepsilon_{Y_0}) \rangle - f\langle Z_0, Y_0 \rangle}{f\langle Z_0, Y_0 \rangle}$$

so dass sie schliesslich in die Form

$$\varepsilon_{X_0} = r_{ZX}\varepsilon_Z + r_{YX}\varepsilon_Y \quad (2.5)$$

gebracht werden kann. Mit Gl. (2.5) lassen sich auch nichtlineare Beziehungen überlagern, jedoch ist die Superposition, anders als bei linearen Beziehungen, gekoppelt.

Bei Rückkopplungen (Einflusskreise) bewirkt eine Änderung des Attributs $E1$ (vgl. Bild 2.4), dass sie selber wieder verändert wird. Statische Einflussnetze zeichnen sich dadurch aus, dass diese sekundäre Wirkung ohne zeitliche Verzögerung eintritt. Die Rückkopplung iteriert in diesem Augenblick unendlich oft, so dass schliesslich die Initialänderung von $E1$ in abgeschwächter oder verstärkter Form über $E2$ an $E4$ weitergegeben werden kann. Bei *zeitvarianten* Systemen erfährt $E4$ jeden Iterationswert von $E2$ und gibt ihn ans restliche System weiter. Bei statischen Wirkstrukturen hingegen können Kreise lokal isoliert betrachtet werden.

Kommen nichtlineare Beziehungen im Wirkkreis vor, verändert sich der jeweilige Einflusswert mit jedem Iterationsschritt, da er von der Änderung selbst abhängt. Wird dies berücksichtigt, ist die Auswertung des nichtlinearen Wirkkreises der des linearen ähnlich. Deswegen soll zuerst der lineare Fall beschrieben werden:

Der Einfluss des Attributs $E1$ auf $E4$ (vgl. Bild 2.4) ergibt sich aus der Überlagerung von unendlich vielen Durchgängen durch den Kreis $E1, E2$ und $E3$. Mathematisch bedeutet dies, dass die Änderung von $E1$ im ersten Schritt $E2$ mit der Stärke r_{12} beeinflusst, also

$$\varepsilon_{E2}^{(1)} = r_{12} \cdot \varepsilon_{E1}^{(1)} \quad (2.6)$$

Die Änderung von $E2$ bewirkt wiederum eine Änderung von $E1$, die zu der ursprünglichen Änderung addiert werden kann (paralleler Einfluss). Mit

$$r_{\text{Kreis}} = r_{23}r_{31}$$

ergibt sich

$$\varepsilon_{E1}^{(2)} = r_{\text{Kreis}} \cdot r_{12} \cdot \varepsilon_{E1}^{(1)} + \varepsilon_{E1}^{(1)} \quad .$$

Dieser Schritt wiederholt sich nun ein zweites Mal:

$$\varepsilon_{E1}^{(3)} = (r_{\text{Kreis}} \cdot r_{12} \cdot \varepsilon_{E1}^{(1)} + \varepsilon_{E1}^{(1)}) \cdot r_{\text{Kreis}} \cdot r_{12} + \varepsilon_{E1}^{(1)} \quad (2.7)$$

Gl. (2.7) kann wie folgt umgewandelt werden:

$$\varepsilon_{E1}^{(3)} = ((r_{\text{Kreis}} \cdot r_{12} + 1) \cdot r_{\text{Kreis}} \cdot r_{12} + 1) \cdot \varepsilon_{E1}^{(1)}$$

oder allgemein

$$\varepsilon_{E1}^{(n)} = ((r_{\text{Kreis}} \cdot r_{12})^{n-1} + (r_{\text{Kreis}} \cdot r_{12})^{n-2} + \dots + r_{\text{Kreis}} \cdot r_{12} + 1) \cdot \varepsilon_{E1}^{(1)}$$

Schliesslich wird der Einfluss der Rückkopplung zu

$$\varepsilon_{E1}^{(\infty)} = \varepsilon_{E1}^{(1)} \cdot \left[\sum_{n=1}^{\infty} (r_{\text{Kreis}} \cdot r_{12})^{n-1} \right] \quad (2.8)$$

Die Änderung von $E1$ aus Gl. (2.8) muss schliesslich nochmals mit r_{12} multipliziert werden, um zum Ersatz Einfluss von $E1$ auf $E2$ zu kommen:

$$r_{12_{\text{Ersatz}}} = r_{12} \cdot \left[\sum_{n=1}^{\infty} (r_{\text{Kreis}} \cdot r_{12})^{n-1} \right] \quad (2.9)$$

Der Einfluss von $E1$ auf $E4$ ist schliesslich

$$r_{\text{gesamt}} = r_{24} \cdot r_{12} \cdot \left[\sum_{n=1}^{\infty} (r_{\text{Kreis}} \cdot r_{12})^{n-1} \right]. \quad (2.10)$$

Der Ersatz Einflusswert wird folglich nur vom Wert $r_{\text{Kreis}} r_{12}$ beeinflusst. Wenn r_{12} und r_{24} gleich 1 gesetzt werden, lässt sich die Wirkung der Rückkopplung auf den Ersatz Einfluss ermitteln (vgl. Tabelle 2.2). Zu erkennen ist eine Steigerung des Einflusses von r_{12} , wenn r_{Kreis} das gleiche Vorzeichen hat. Je näher r_{Kreis} bei 1 liegt, desto stärker wird r_{12} , bis hin zum Extremalwert von unendlich. Ist r_{Kreis} gegenläufig, wird der Einfluss r_{12} abgeschwächt. Beim Wert $r_{\text{Kreis}} = -1$ konvergiert die Rückkopplung nicht.

Die Auswertung einfacher nichtlinearer Rückkopplungen ist analog zur linearen, nur sind die Einflusswerte bei jedem Iterationsschritt unterschiedlich. Gl. (2.10) wird damit zu Gl. (2.11), wobei $r^{(i)}$ den Einflusswert während der i -ten Iteration beschreibt, also

$$r_{\text{gesamt}} = r_{24}^{(\infty)} \cdot r_{12}^{(\infty)} \cdot \left[1 + \sum_{n=1}^{\infty} \left(\prod_{i=1}^n (r_{\text{Kreis}}^{(i)} \cdot r_{12}^{(i)}) \right) \right]. \quad (2.11)$$

Einflusskreise im System bergen zwei Arten von Gefahren: Die erste Gefahr der Aufschaukelung betrifft sowohl lineare als auch nichtlineare Kreise. Dies würde bedeuten, dass ein Einfluss (im Bild 2.4 der Einfluss von $E1$ auf $E2$) unendlich wichtig wird. Eine kleine Änderung eines Parameters würde dadurch eine unendlich grosse Änderung der Zielattribute erwirken.

Tabelle 2.2. Wirkung einer Rückkopplung in Abhängigkeit von r_{Kreis}

r_{Kreis}	$r_{12_{\text{Ersatz}}}$
+1	$+\infty$
+0.99	+100
+0.9	+10
+0.7	+3.33
+0.3	+1.4
+0.1	+1.1
0	+1
-0.1	+0.91
-0.3	+0.77
-0.7	+0.59
-0.9	+0.53
-0.99	+0.5
-1.0	{0;1}

Bei nichtlinearen Kreisen besteht zudem die Möglichkeit, dass der Einflusswert des Kreises nicht konvergiert, obwohl er nicht gegen Unendlich strebt. In Bild 2.5 ist der Verlauf des Einflusswerts eines hypothetischen Beispiels eines solchen Falles dargestellt.

Wenn solche Fälle auftreten, lässt sich das System nicht mehr auswerten. Beide Gefahren lassen sich in der Theorie nicht ausschliessen. Da die theoretische Behandlung dieser Phänomene den Rahmen dieser Arbeit sprengen würde, beschränkt sich diese Ausarbeitung darauf, in der Anwendung auf die neue Liftechnologie besonders auf solche Phänomene zu achten und für die konkreten Fälle Lösungen zu suchen.

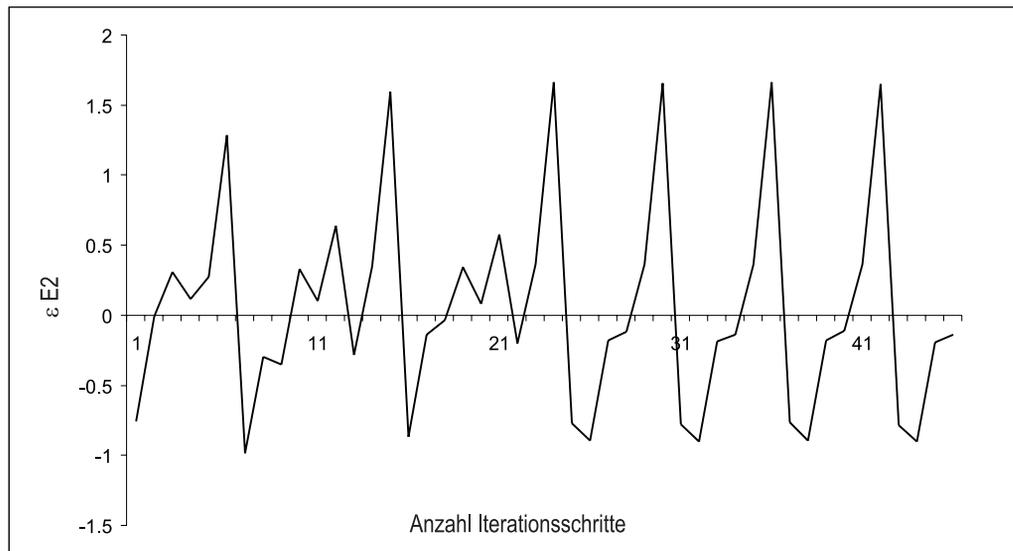


Bild 2.5. Beispiel einer nicht konvergierenden nichtlinearen Rückkopplung

2.4.2 Bewertungssystematik für Systemkomponenten

Eine Bewertung soll zeigen, welche Komponentenvariante die Güte des Gesamtprodukts am stärksten verbessert. Jede Lösungsvariante wird ausreichend über eine Menge V_K von Änderungen der Bewertungsattribute relativ zu den Referenzausprägungen beschrieben.

$$V_K = \{\varepsilon_{A_K}; \varepsilon_{B_K}; \varepsilon_{C_K}; \dots\} \quad (2.12)$$

ε_{A_K} : *relativer Unterschied der Ausprägung von Attribut A der Variante K in Bezug zur Referenzausprägung*

Jedes Bewertungsattribut besitzt eine Einflussstärke r auf die Güte des Produkts, die sich auf den Referenzzustand des Einflussnetzes bezieht. So ergibt sich für jeden Lösungsraum eine Menge von Einflussstärken auf das Gütekriterium.

$$r = \{r_{A_GK}; r_{B_GK}; r_{C_GK}; \dots\} \quad (2.13)$$

Die gesuchte Veränderung der Güte ε_{GK} , die durch den Einsatz der Komponentenvariante hervorgerufen ist, ist eine Funktion von V_K und r .

$$\varepsilon_{GK} = f(V_K, r) \quad (2.14)$$

Diese Funktion ist im Normalfall eine reine Multiplikation der Änderungswerte mit den dazugehörigen Einflussstärken (vgl. Gl. (2.1), sowie Gl. (2.15)).

$$\varepsilon_{GK} = \varepsilon_{A_K} \cdot r_{A_GK} + \varepsilon_{B_K} \cdot r_{B_GK} + \dots \quad (2.15)$$

Für den Fall jedoch, dass durch das Einflussnetz einer Variante zusammen mit dem der umliegenden Komponenten Einflusskreise über die Bewertungsattribute hinweg entstehen, muss berücksichtigt werden, dass die Änderung des Bewertungsattributs selber verändert wird, um die Ausprägung des Gütekriteriums richtig zu erfassen. Das bedeutet, dass für die Bewertung nicht nur die Menge aller Änderungen der Bewertungsattribute, sondern auch die Kenntnisse der Einflussnetze der Varianten wichtig ist.

2.4.3 Integration des Vorwissens

Das Produktwissen, das in Form des Einflussnetzes die Basis für die Entscheidungen darstellt, ist während der Entwicklung nie vollständig. So besteht immer die Gefahr, dass durch die Erweiterung (Komponentenlösungen) oder Verdichtung (Detaillierung der Lösungen) des Einflussnetzes die Entscheidungsgrundlage so verändert wird, dass Entscheidungen sich als falsch herausstellen.

Um diesem Problem, das in jeder Entwicklung auftritt, entgegenzutreten, ist es notwendig, die zukünftigen Probleme abschätzen zu versuchen. Neben dem Fachwissen, das jeder Experte aus seiner Ausbildung mitnimmt, spielt hier auch das Erfahrungswissen eine ausserordentlich wichtige Rolle. Die Analogie mit schon ausgeführten Arbeiten und Konstruktionen hilft, zukünftige problematische Zusammenhänge im voraus zu erkennen.

Hier stellt sich das gleiche Problem wie bei der Ermittlung der Gewichtung: Da es in komplexen Zusammenhängen unmöglich ist, alle Zusammenhänge gleichzeitig zu verarbeiten und abzuwägen, neigen die Entscheidungsträger dazu, die Konsequenzen der erkannten zukünftigen Problemfelder falsch einzuschätzen. Es bietet sich daher an, die Beziehungen in das bekannte Einflussnetz einzubauen und die Stärke der Einflüsse abzuschätzen, damit die Bedeutung für das Gesamtprodukt erkannt werden kann. Tabelle 2.3 zeigt hier einen Vorschlag, wie qualitative Aussagen in quantitative umgewandelt werden können.

Tabelle 2.3. Vorschlag einer linearen Quantifizierung der qualitativen Wertschätzungen

Einflusswert	qualitative Skala
1.0	starker Einfluss
0.9	
0.8	mittel-starker Einfluss
0.7	
0.6	mittlerer Einfluss
0.5	
0.4	schwach-mittlerer Einfluss
0.3	
0.2	schwacher Einfluss
0.1	
0.0	kein Einfluss

2.4.4 Anpassung der Schlüsselgrößen

Während der Erarbeitung von Komponentenlösungen werden immer bereits Annahmen über die Ausprägungen gewisser Attribute anderer Komponenten getroffen, die dann als Anforderungen an diese Komponente fungieren. Diese sind meistens Schlüsselgrößen für die Dimensionierung einer Komponente, die für Entscheidungen eine bedeutende Rolle spielen können. Wichtig wird die Anpassung vor allem, wenn die einzelnen Varianten unterschiedlich sensitiv auf diese Schlüsselgröße reagieren. So kann es dazu kommen, dass eine Variante in der Bewertung schlechter abschneidet, weil ihr nicht die optimale Ausprägung der Schlüsselgröße zugrunde liegt, obwohl sie aus der Sicht des Gesamtprodukts die Beste wäre.

Diese Problemstellung führt zur Optimierungsfrage. Die Ausprägung der Schlüsselgrößen muss für jede Variante im Zusammenspiel mit dem Gesamtprodukt optimal sein, damit alle Varianten gleiche Bewertungsvoraussetzungen haben. Dafür ein Beispiel: Zur Auswahl der Antriebstechnologie ist eine solche Schlüsselgröße die maximale vertikale Geschwindigkeit. Über sie werden massgeblich der Energieverbrauch, die Kapazität und die Kosten bestimmt. Eine geschwindigkeitsabhängige Kostenquelle ist der Umrichter, der aber bei den verschiedenen Motorvarianten nicht gleich oft benötigt wird. Auch die Anzahl der Kabinen und die damit verbundenen Kosten sind abhängig von der Geschwindigkeit. Bei Antriebsvarianten mit weniger Umrichtern liegt die optimale Geschwindigkeit aus der Gesamtsicht also höher als bei den anderen Varianten. Eine korrekte Bewertung muss darauf Rücksicht nehmen.

2.4.5 Überprüfen der Entscheidungen

Durch den Wissenszuwachs während der Entwicklung wird die Grundlage früherer Entscheidungen fortwährend geändert. Falls festgestellt wird, dass andere Optionen besser zum Ziel führen, oder gar, dass die gewählte Kombination nicht die Mindestforderungen erreicht, muss die Entscheidung revidiert werden. Die Situation ist aber nicht identisch, denn dazwischen liegt einerseits der Wissenssprung, andererseits aber auch investierte Zeit, so dass eine neue Kostensituation besteht. Falls die Konflikte überhaupt erkannt werden, stellen sich zwei Fragen: Soll die gewählte Entwicklungsrichtung geändert werden? Welche Variante soll stattdessen gewählt werden? Bei Konflikten mit den Mindestforderungen ist die erste Frage hinfällig. Bei Problemen mit der Zielerreichung zeichnen sich folgende Fragestellungen ab:

1. Wieviel Entwicklungsaufwand bedeutet die Richtungsänderung?
2. Wie gross ist der zu erwartende Mehrwert für den Kunden?
3. Wie gross ist die Unsicherheit, den Mehrwert zu erreichen?
4. Um wieviel wird der Ertrag des Unternehmens durch den erwarteten Mehrwert für den Kunden gesteigert? Ist der Kunde bereit, mehr zu zahlen? Ergeben sich breitere Absatzmöglichkeiten?

Die Verwendung des Einflussnetzes unterstützt dabei vor allem die Frage 2, mit guter Kunden- sowie Marktsegmentkenntnis auch die Frage 4 (vgl. Kapitel 3). Der Mehrwert für den Kunden ist gleichbedeutend mit der Änderung des Gütekriteriums des Produkts durch die Verwendung einer neuen Variante. Fast ebenso wichtig ist jedoch die Fähigkeit, zu erkennen, dass eine vergangene Entscheidung zu einem suboptimalen Resultat führt. Man kann den aktuellen Zustand des Gütekriteriums direkt mit dem Zustand zum Zeitpunkt der Entscheidung vergleichen, da in dieser Einschätzung keine subjektiven Anteile vorhanden sind. Diese direkte Vergleichsmöglichkeit ist für die Erkenntnis von Fehlentwicklungen von grosser Bedeutung. Das bedeutet, dass durch den Einsatz des Einflussnetzes jegliche Entscheidung unter Einbezug des gesamten verfügbaren Produktwissens revidiert werden kann. Die Überprüfung von Fehlentscheidungen in der Entwicklung komplexer Produkte ist erst durch Anwendung des Einflussnetzes überhaupt möglich. Darüber hinaus wird die Diskussion über Korrekturentscheidungen deutlich erleichtert.

3 Zielformulierung für die Entwicklung neuer Produkte

3.1 Abschätzung der Kundenreaktionen

3.1.1 Primäre Entwicklungsziele

Zum Verständnis und zur Abschätzung späterer Reaktionen auf neue Produkte ist eine Betrachtung der menschlichen Wahrnehmungsprozesse nützlich. Die Kognitionspsychologie zeigt, welche wichtige Rolle die Wahrnehmung bei der Beurteilung neuer Informationen einnimmt (*Fiske / Linville* [30]). Sowohl die Kaufmotivation als auch der Widerstand gegen ein Produkt (*Akzeptanzprobleme*) hängen stark mit den Wahrnehmungsabläufen zusammen.

Ein weithin akzeptiertes Modell der kognitiven Informationsverarbeitung ist die Verwendung von Schemata, die sich nach *Ballstedt et al.* [7] wie folgt definieren:

Ein Schema ist ein «abgrenzbares Teilsystem innerhalb der vernetzten Wissensrepräsentationen, in dem aufgrund von Erfahrungen typische Zusammenhänge des Realitätsbereiches repräsentiert sind. Ein Schema vereinigt Konzepte [Anm.: abstrahiertes Wissen über eine Wissenskategorie (vgl. *Anderson* [3])] über Gegenstände und Zustände, Ereignisse und Handlungen in einer Wissensstruktur.»

Neu eintreffende Informationen werden mit den vorhandenen Schemata verglichen und gemäss dem abgespeicherten Wissen interpretiert (vgl. *Fiske / Linville* [30], *Goldstein* [35]). Ein bereits bekanntes Produkt wird in einem Schema beispielsweise über spezifische Attribute und Zusammenhänge beschrieben. Kommt ein leicht verändertes Produkt auf den Markt, verwendet der Mensch dieselben Attribute, um es mit den bisher bekannten zu vergleichen. Schneidet es besser ab, ist eine grundsätzliche Voraussetzung für den Kauf gegeben. Mit dieser Frage hat sich *M. Binsack* in [13] befasst. Sie definiert folgende Bereiche, die für die Grundlage eines Kaufes von Bedeutung sind:

1. Erkennen und Wahrnehmen: Das Produkt muss mit seinen Merkmalen an bestehende Wissensstrukturen anknüpfen können, um überhaupt wahrgenommen zu werden (Relevanz).
2. Persönliche Einstellung zur Produktkategorie: Ein Kunde mit positiver Einstellung lässt sich eher auf ein neues Produkt ein.
3. Bewertung gegenüber den persönlichen Schemata.

Sie kommt zum Schluss, dass leicht geänderte Produkte, die dieselben Attribute besitzen, die bereits in den Schemata des beurteilenden Kunden abgespeichert sind, leichter angenommen werden als solche, die komplett neue Attribute besitzen. Grosse Innovationssprünge bedürfen damit einer verstärkten Kommunikation, um die Kunden für die Vorteile zu sensibilisieren. Es wird deutlich, dass Kunden über die Wahrnehmungsprozesse neue Verknüpfungen zwischen den Strukturen der Umwelt und dem eigenen Wissen schliessen.

Wichtig ist in diesem Zusammenhang, welche Attribute und Zusammenhänge in den Schemata abgespeichert werden. Darüber hinaus sind die schemaspezifischen Attribute häufig nicht identisch mit den Attributen der technischen Welt, sondern bereits an die subjektive Wissensstruktur angepasst. Zwischen den Kundenvorstellungen und den technischen Attributen eines Produkts ist eine Diskrepanz feststellbar, die die Zielformulierung erschwert. Werden die Kunden nach ihren Bedürfnissen befragt, müssen diese erst übersetzt werden, damit sie in die Entwicklung einfließen können. Ein Ansatz zur Überwindung dieses Kommunikationsproblems ist die Methode *Quality Function Deployment (QFD)* [1]. Sie versucht, die Beziehungen zwischen den Produktattributen und Kundenwünschen zu erkennen, so dass schliesslich aus der Menge aller Attribute diejenigen herausgefiltert werden können, die dem Kunden wichtig sind. Die dafür notwendigen Informationen werden z. B.

mit der Methode *Conjoint Analyse* (vgl. *W. Reiners [79]*, *Backhaus et al. [5]*, usw.) durch Kundenbefragungen eruiert. Wie jedoch *M. Binsack [13]* aufzeigt, sind die schematypischen Attribute lösungsorientiert. Es ist notwendig, die Lösungsmöglichkeiten eines neuen Produkts zu kennen, um die Kunden daraufhin gezielt befragen zu können. Sind diese nicht bekannt, wie z. B. bei Neukonstruktionen, ist die QFD-Methode unzureichend.

Die Wahrnehmungspsychologie hat eine Reihe von Modellen zur Organisation und Repräsentanz von Wissen entwickelt. Eines dieser Modelle, das allgemeine Akzeptanz findet, besagt, dass die menschliche Wissensstruktur zwar nicht ausschliesslich, doch zu einem bedeutenden Teil hierarchisch mit zunehmender Abstraktion des Wissens organisiert ist (vgl. *S.-O. Tergan [102]*). Wenn neue Attribute und Zusammenhänge nicht mit den bekannten, spezifischen Attributen übereinstimmen, kann über die Abstraktion ein allgemeinerer Zusammenhang erkannt werden, wodurch sich die Informationen einordnen lassen.

Die Abstraktion von Schemaattributen erklärt zwar, wie neue Attribute verarbeitet werden und gibt einen Hinweis auf die Repräsentation im Gedächtnis. Doch aus der Sicht der Produktentwicklung ist wichtig, *welche* neuen Attribute des Produkts vom Kunden wahrgenommen werden, da nur diese in die Urteilsfindung mit einbezogen werden. Dies führt wieder zurück zur Frage, wie die Schemata gebildet werden, bzw. welche Filtermechanismen bei der Auswahl der Attribute und Zusammenhänge eine Rolle spielen.

Eine mögliche Antwort darauf gibt der *Means-End-Chain* Ansatz (vgl. *Gutmann [41]*, *Graeff/Olson [38]*). Er versucht, über eine Abstraktion der konkreten Produktattribute die Verbindung zu sogenannten kundenspezifischen *terminalen Werten* zu schliessen. Damit sollen grundlegende Wertvorstellungen, die der Kunde mit dem Produkt in Beziehung bringt, identifiziert werden, um Marketingaktivitäten zu steuern. Grundlage dafür sind Kundeninterviews. Obschon die Umkehrrichtung durchaus denkbar ist, damit für Neukonstruktionen die relevanten Attribute gefunden werden können, weist *M. Binsack* in [13] darauf hin, dass der *Means End Chain* Ansatz, der stark auf den subjektiven Assoziationen der Zielgruppe aufbaut, bei Neuentwicklungen, zu denen die Kunden keine Vorstellungen besitzen, an seine Grenzen stösst. Produkte, die eine neue Funktion erfüllen, lassen sich nur schwer in bestehende Assoziationsketten eingliedern. Zudem erklärt der Begriff «terminale Wertvorstellung» nicht, wieso ein Kunde ein Produkt kauft. Nur aus der Übereinstimmung mit den Werthaltungen des Kunden entsteht keine Kaufhandlungsmotivation.

In dieser Hinsicht klarer ist der Begriff *Grundbedürfnis* nach *A. H. Maslow [64]*. Ungestillte Grundbedürfnisse veranlassen den Menschen, diesen defizitären Zustand zu beheben und können als Ursachen für die Handlungen eines Menschen betrachtet werden. Sie leiten folglich auch die Auswahl der wahrgenommenen Informationen. Informationen, die ungestillte Grundbedürfnisse tangieren, werden damit wichtig und in Schemata aufgenommen, um spätere Informationen gleicher Art schneller kategorisieren zu können. Produktattribute werden relevant und zur Beurteilung herangezogen, wenn ungestillte Grundbedürfnisse damit in Verbindung stehen. Nach diesem Modell liesse sich der Kauf eines Produkts immer auf ungestillte Grundbedürfnisse zurückführen, wobei die Stimulation für das Defizitempfinden (etymologisch: *Bedarf*) in der konkreten Umgebung des Kunden zu suchen ist.

Zur Illustration dieses Modells: Das Grundbedürfnis nach sozialer Anerkennung konkretisiert sich beispielsweise im Bedürfnis nach Statussymbolen, z. B. einem schnellen oder teuren Automobil. Die Attribute «schnell» oder «teuer» konkretisieren sich im momentanen Kontext zu einer gewissen Höchstgeschwindigkeit, einer bestimmten Anzahl PS oder einem bestimmten Preis, über die sich das Auto ausreichend gegen andere abgrenzen lässt. Eine hohe Leistung kann aber auch mit dem Bedürfnis nach (Fahr-)Spas verbunden sein. Bedürfnisse sind also eher vernetzt strukturiert als rein hierarchisch oder gar linienartig, wie der *Means-End Chain* Ansatz suggeriert.

Mit dem Modell der Grundbedürfnisse werden Kriterien greifbar, die die Auswahl der relevanten Attribute für die Schemata steuern. Das obige Beispiel zeigt, dass verschiedene Bedürfnis-

stufen feststellbar sind, die sich zum Teil im Abstraktionsgrad unterscheiden. Wie bereits erwähnt, entspricht die Abstraktion einem weithin anerkannten Modell der Wissensorganisation im Gedächtnis. Dies impliziert, dass neue Produkte unterschiedliche Bedürfnisebenen ansprechen können, indem die Wechselwirkungen zwischen Produkt und Umfeld verändert werden (vgl. Bild 3.1). Wie weit die Abstraktion betrieben werden muss, um alle Lösungsmöglichkeiten abzudecken, hängt vom Veränderungsgrad des Produkts durch die Entwicklung ab. Bei Änderungskonstruktionen liegt das neue Produkt naturgemäss sehr nah beim Vorgänger, wodurch sich die Abstraktion ein Stück weit erübrigt. Bei komplett neuen Produkten, die es vorher in dieser Art nicht gab, müssen die Anforderungen aus stark abstrahierten Bedürfnissen hergeleitet werden. Es ist jedoch nicht so, dass über die Grundbedürfnisse direkt auf neue Innovationspotentiale geschlossen werden kann. Sie dienen vielmehr als Inspirationsquelle für neue Produktideen, die auf demselben Grundbedürfnis basieren. Über den realen Bedarf entscheidet schliesslich der Kontext des Kunden, da der Einfluss des neuen Produkts auf die abstrakten Bedürfnisse erst dadurch manifestiert wird. Sind so die wichtigsten Ziele verifiziert, erlaubt es die Kenntnis der Grundbedürfnisse, systematisch neue Zielattribute zu erkennen, wenn sich neue technische Lösungen konkretisieren. Die Zielformulierung passt sich dem Lauf der Entwicklung an und wird ergänzt.

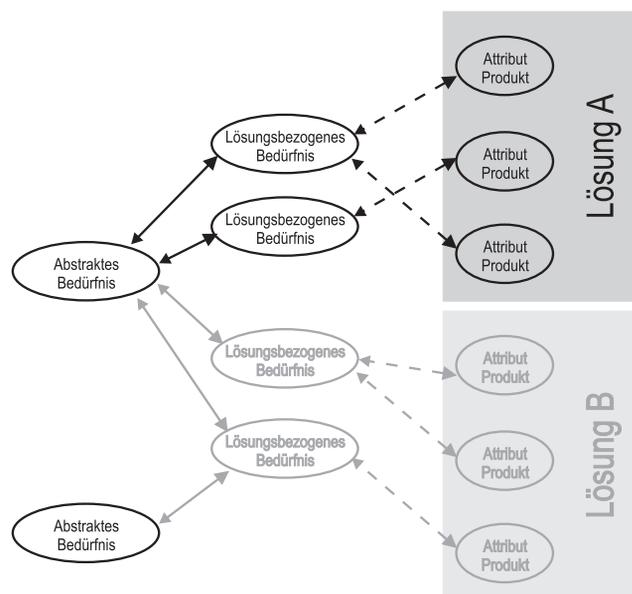


Bild 3.1. Wechselwirkungen zwischen Bedürfnissen unterschiedlicher Abstraktionsebenen sowie den damit zusammenhängenden technischen Attributen bezüglich zweier technischer Lösungen

Das Modell der Grundbedürfnisse gibt eine Erklärung für die Beobachtung von *Kano* (vgl. *Sauerwein et al.* [88]), dass gewisse Funktionalitäten zwar vor der Entwicklung durch Kundenbefragungen nicht als Bedürfnis erkannt werden können, nach der Marktlancierung jedoch Verkaufserreger sind. *Kano* nennt Anforderungen, die solche Funktionalitäten beschreiben, *delightful requirements*. Im Modell der vorliegenden Arbeit lassen sich solche Anforderungen auf ungestillte abstrakte Bedürfnisse zurückführen, die der Kunde nicht mit dem bekannten Produkt in Verbindung bringen kann. Erst durch die Begegnung mit dem neuen Produkt erkennt er die neuen Zusammenhänge mit seinen Bedürfnissen, so dass das Produkt für ihn neue Qualitäten erhält.

Zur weiteren Illustration soll das Beispiel des Aufzugs dienen: Das Bedürfnis, die Fläche für einen Aufzug zu verringern, basiert auf dem Bedürfnis nach einer grösseren Mietfläche. Dieses lässt sich wiederum über das Bedürfnis nach mehr Mieteinnahmen auf das allgemeine Bedürfnis nach Renditestigerung zurückführen (vgl. Kapitel 6), das ausreichend abstrakt ist, um alle Lösungen einzuschliessen. Dadurch wird klar, dass der Energieverbrauch, der heute kaum thematisiert wird, ebenfalls zu den Primärzielen eines neuen Aufzugssystems gehört.

3.1.2 Akzeptanzkriterien

Die in Abschnitt 3.1.1 diskutierten Bedürfnisse basieren darauf, dass ein Individuum einen Mangel feststellt und danach strebt, diesen zu beheben. Ein Bedürfnis ist für das Individuum immer schon vor einer möglichen Produktentwicklung real, da es sich durch die Wahrnehmung der eigenen Situation im momentanen Umfeld entwickelt. Im Gegensatz dazu entstehen Akzeptanzprobleme im Sinne der Ablehnung durch alle involvierten Personenkreise (vgl. *Breiting/Knosala* [16]) erst durch die Konkretisierung des Produkts. Sie können auch in Bereichen erwachsen, in denen keine Bedürfnisse vorhanden sind. Für die Erklärung von Annahme oder Ablehnung eines Produkts ist der Begriff «Bedürfnis» unzureichend. Akzeptanzprobleme sind jedoch dadurch mit der in Abschnitt 3.1.1 besprochenen Kaufbereitschaft verwandt, dass sie auf Urteilen über Produkte beruhen. Ein neues Produkt wird erst wahrgenommen und dann beurteilt. Es bedarf gewisser Kriterien, die bestimmen, welche Attribute für Akzeptanzfragen im allgemeinen relevant sind.

Dafür verwendet die vorliegende Arbeit folgendes Modell: Jeder Mensch gebraucht mehrere abstrakte Kriterien, die ausschlaggebend dafür sind, welche Attribute wahr- und in die Schemata aufgenommen werden. Jedes Kriterium besitzt zwei Referenzausprägungen: Die erste entspricht einem subjektiven Idealzustand, einem *Soll-Wert*, den das Individuum anstrebt. Dieser Wert kann sich permanent ändern, indem neue Informationen wahrgenommen werden. Die zweite Referenzausprägung zeigt an, wie das Subjekt die eigene Situation bezüglich dieses Kriteriums einschätzt (*Ist-Wert*). Die beiden Ausprägungen beziehen sich immer aufeinander. So können sich maximal drei Grundmuster einstellen, denen allgemeine Zufriedenheitszustände zugeordnet werden können. Ist der Ist- höher als der Soll-Wert, ist der Mensch zufrieden. Sind beide identisch, ist dem Menschen dieses Kriterium gleichgültig. Ist der Ist-Zustand schlechter als der Soll-Wert, wird dem Menschen bewusst, dass es ihm an etwas mangelt, d. h. er fühlt sich unzufrieden. Die beiden Referenzausprägungen können durch äussere und innere Einflüsse verändert werden. Die Reaktion des Subjekts hängt davon ab, welcher Wert wie verändert wird.

So sind Akzeptanzschwierigkeiten darauf zurückzuführen, dass der Ist-Wert eines Kriteriums relativ zum Soll-Wert durch äussere, wahrnehmbare Einwirkung (z. B. durch ein Produkt) verschlechtert wird. Akzeptanzprobleme entstehen als subjektive Reaktion auf bestimmte, als Verschlechterung empfundene Änderungen äusserer Umstände, also einem Defizitempfinden. Wird dagegen der Soll-Wert von aussen erhöht (z. B. durch Werbung), entsteht zwar auch ein Defizit, aber es wird vom Individuum nicht negativ bewertet, sondern äussert sich als Bedürfnis, diesen Zustand zu verbessern. Bedürfnisse können aber auch dadurch entstehen, dass durch natürliche oder selbstgewollte Einflüsse einer der beiden Referenzwerte verändert wird (z. B. Hunger, Schwangerschaft). Sowohl ein Bedürfnis nach als auch die Ablehnung von einem Produkt basieren auf einem Defizit. Die Bewertung dieses Defizits und damit seine Konsequenz für das Individuum, nämlich Bedürfnis oder Ablehnung, ist aber abhängig von der Art seiner Entstehung, d. h. ob der Ist- oder der Soll-Wert verändert wird (vgl. Bild 3.2).

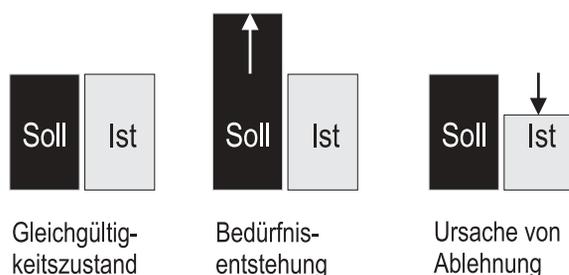


Bild 3.2. Illustration des Modells der Grundinteressen: Entstehung von Bedürfnissen und Ablehnungsverhalten

Für dieses abstrakte Kriterium, das für die Entstehung von Bedürfnissen sowie von Akzeptanzschwierigkeiten verantwortlich ist, existiert im Sprachschatz keine Benennung. Deshalb wird es in diesem Zusammenhang – in Anlehnung an die Grundbedürfnisse – mit *Grundinteresse* bezeichnet. Die Grundinteressen steuern also sowohl die Wahrnehmung eines Produkts, d. h. welche Attribute als relevant gesehen werden, als auch die Beurteilung bezüglich Annahme oder Ablehnung, gleichgültig, ob es sich um den Käufer oder um weitere involvierte Personen handelt. In dieses Modell lassen sich alle Kundenreaktionen integrieren. Über die Schnittstellen zwischen den technischen Lösungen und den Grundinteressen lassen sich so auch bei Neukonstruktionen systematisch neue Anforderungen finden, die sowohl die primären Ziele als auch die Akzeptanzfragen abdecken.

Ziel eines solchen Modells ist weniger, die Wahrheit absolut abzubilden. Es reicht aus, wenn die Handlungsmotivationen der involvierten Personen so abgeschätzt werden können, dass sich während der Entwicklung Problemzonen technischer Lösungen erkennen und weitere Abklärungen einleiten lassen.

Zur Illustration ein Beispiel aus der Aufzugsentwicklung: Der Aufzug gilt – statistisch gesehen – als sicherstes Verkehrsmittel überhaupt. Dennoch sind bei nicht wenigen Benutzern Ängste feststellbar (vgl. Abschnitt 6.2.6). Sie richten sich bei der Beurteilung der Sicherheit nach rein äusseren Kriterien wie z. B. der Ruck bei Türöffnung und Kabinenfahrt (relevante Attribute). Ein neues Liftsystem kann beispielsweise auch mit hoher technischer Sicherheit und hohem Kommunikationsaufwand Sicherheitsängste nicht beseitigen, wenn stärkeres Rucken wahrnehmbar ist. Es besteht sogar die Gefahr, dass die Sensitivität gesteigert wird. Während die konventionelle Aufzugstechnologie einen Erfahrungsbonus besitzt, ist dieser bei einer komplett neuen Technologie nicht vorhanden. Der Benutzer muss seine Erfahrung damit erst sammeln.

3.1.3 Einbezug der Grundinteressen in das Produktmodell

Ziel des Grundinteressen-Modells ist, die für die involvierten Personen relevanten Attribute frühzeitig zu erkennen. Dadurch sollen sowohl potentielle Akzeptanzprobleme als auch weitere Zielattribute erkannt werden, die ebenfalls auf zu verbessernde Grundinteressen zurückgeführt werden können.

Die Grundlage dafür ist, dass konkrete physikalische Attribute eines Produkts auf die Gedächtnisstrukturen des Menschen *wirken* können. Wahrgenommene Veränderungen der Produktattribute verändern ihrerseits die subjektive Einschätzung des *Soll-* oder *Ist-*Zustands der Grundinteressen. Da auch das Produkteinflussnetz auf Wirkzusammenhängen aufbaut, lassen sich die menschlichen Gedächtnisstrukturen darin integrieren (vgl. Bild 3.3).

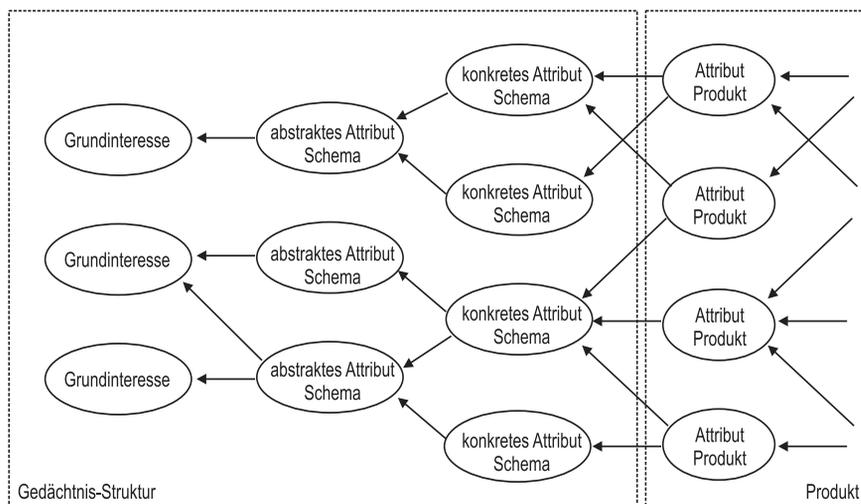


Bild 3.3. Verknüpfung von menschlichem und technischem Einflussnetz

Der Kauf eines Produkts bewirkt eine Veränderung der *Ist*-Einschätzung in der menschlichen Wahrnehmung. Die in der Entwicklung betrachtete Veränderung der Güte eines Produkts beeinflusst vornehmlich die Veränderung des Ist-Zustands in der Kundenwahrnehmung, auch wenn ein Produkt durchaus auf die Soll-Einschätzung wirken kann. Die Wahrnehmung eines verbesserten Attributs kann vor dem Kauf zu einem Defizitempfinden führen, indem die Soll-Einschätzung verändert wird. Wird das Produkt deshalb gekauft, wirkt es wiederum wie oben beschrieben auf den *Ist*-Zustand. Längerfristig gesehen kann eine Änderung des Ist-Zustands auch den Soll-Zustand anheben, da sich der Mensch an den neuen Zustand gewöhnt, ihn aber doch nicht gänzlich befriedigend findet. Doch auch diese Wirkung ist aufgrund der zeitlichen Verzögerung für die Entwicklung zweitrangig.

Die Modellierung der Wahrnehmungsstrukturen kann häufig nur als grobe Vereinfachung gesehen werden, da nur das Gemeinsame in der menschlichen Individualität zu Marktgruppen zusammengefasst werden kann. Doch auch ein einfaches Modell hilft, die Wirkung eines neuen Produkts schneller und besser abzuschätzen.

3.2 Gewichtung der Ziele

3.2.1 Gewichtung der Grundinteressen

Alle Produktattribute, die einen Einfluss auf zu verbessernde (resp. ungestillte) Grundinteressen haben, sind gleichzusetzen mit den Zielforderungen, die wiederum den Bewertungskriterien entsprechen (vgl. Kapitel 2). Die Menge der Bewertungskriterien lässt sich so klar eingrenzen. Ihre Einflussstärke basiert auf konkreten, auf bekannte Produktattribute bezogenen Bedürfnissen und ist über Kundenbefragungen ermittelbar. Die Fachliteratur schlägt eine Reihe von Methoden vor, solche Informationen zu erhalten (bspw.: *Coinjoint Analyse* [79]). Aus den Informationen über deren Gewichtung lässt sich eine Rangfolge der zu verbessernden Attribute ableiten, die zur Einflussstärke der Bewertungskriterien auf die Güte führt. Um dem in Abschnitt 2.4 vorgestellten Bewertungsverfahren zu entsprechen, sollten die Einflussstärken in der Form der Tabelle 2.3 gehalten sein.

Aus der Theorie der Grundinteressen resultiert, dass hinter konkreten Bedürfnissen auf ungestillte Grundbedürfnisse geschlossen werden kann. Ist ein Produktattribut besonders wichtig, ist auch mindestens ein damit zusammenhängendes Grundbedürfnis besonders wichtig. Es würde Neuentwicklungen deutlich erleichtern, wenn daraus auf die Gewichtung eines neuen relevanten Attributs geschlossen werden kann. Doch dieser Umkehrschluss ist so nicht möglich. Das Bewusstsein des Kunden von der Wichtigkeit eines Attributes hängt sowohl von der Existenz eines ungestillten Grundbedürfnisses als auch von der Stimulation des Umfelds ab. Der Kontext (Alter, Geschlecht, Ausbildung, Kultur, Gruppenzugehörigkeit, usw.) ist verantwortlich für den konkreten Soll-Wert eines Attributs. Über die Grundinteressen kann also nur auf die Existenz, aber nicht auf die Gewichtung eines Attributs geschlossen werden. Dafür sind gezielte Kundenbefragungen unerlässlich.

Der Erfolg eines Produkts äussert sich massgeblich durch den Kaufakt. Es ist zu überlegen, ob den Grundinteressen der Personenkreise mit Einfluss auf den Kauf nicht auch in den Primärzielen Rechnung getragen werden sollte. Zu diesen Personenkreisen gehören zum Beispiel *Berater* und *Verkäufer*. Für ihre Einbeziehung spricht, dass die Verbesserung des Ist-Werts der Grundinteressen eines Menschen zu einer positiven Einstellung gegenüber dem Produkt führt, die bei unklaren Entscheidungssituationen den Ausschlag für den Kauf geben kann. Es ist jedoch dagegen zu halten, dass die Erweiterung der Entwicklungsziele häufig Mehrkosten zur Folge hat, die nicht direkt in den Verkaufspreis einfließen können. Um eine Überbewertung kaufbeeinflussender Grundinteressen zu verhindern, sind z. B. Gewichtungsfaktoren einzuführen, die unterschiedliche Einflussstärken auf den Kauf abstufen.

Um Gewichtungen adäquat zuweisen zu können, müssen die involvierten Personenkreise kategorisiert werden. Die vorliegende Arbeit bezeichnet diese Kategorien als *Interessensgruppen*.



Bild 3.4. Übersicht über die Interessensgruppenkategorien und das Umfeld des Produkts

Neben der Käufergruppe und dem Unternehmen, das das Produkt anbietet, ist von folgenden Interessensgruppen auszugehen (vgl. Bild 3.4):

Die *aktiven Interessensgruppen* sind definiert als Personenkreise, die Einfluss auf den Kauf haben können. Hier finden sich beispielsweise die Berater oder Verkäufer, die unmittelbar in den Entscheidungsprozess involviert sind. Ihre Meinung bildet eine Grundlage der Kaufentscheidung und kann eine wichtige Rolle spielen.

Als *passive Interessensgruppen* werden die Personenkreise bezeichnet, die üblicherweise nicht am Kaufprozess beteiligt, jedoch von der Entscheidung betroffen sind. Obschon sie ihre Interessen nicht direkt einbringen können, können sie entscheidend für die Interessen des Käufers sein. Beim Aufzug äussert sich dies beispielsweise in der Rolle des Passagiers. Er gehört zur passiven Interessensgruppe, die keinen direkten Einfluss auf den Kaufentscheid hat. Doch da der Passagier in seiner Rolle als Kunde oder Gast die Interessen des Gebäudebesitzers direkt berührt, werden die Interessen des Passagiers indirekt auch beim Kauf berücksichtigt. Zur passiven Interessensgruppe sind auch die Angestellten des Anbieter-Unternehmens zu rechnen, die über ihre Arbeit zum Erfolg des Produkts beitragen.

Eine bedeutende Interessensgruppe ist die *Gesellschaft*, die vom *Staat* repräsentiert wird. Der Staat sorgt über Gesetze und Vorschriften dafür, dass die Interessen der Mehrheit gewahrt bleiben.

Relevant für Entwicklungsziele sind in der Regel nur der Käufer, das Unternehmen und die aktiven Interessensgruppen. Die ersten beiden sind gleich und am stärksten zu gewichten, da ihre Interessen eine Bedingung für die Entwicklung eines Produkts darstellen. Die aktiven Interessensgruppen sind weniger wichtig, wobei ihr Gewicht von der jeweiligen Rolle abhängt. Ein Architekt hat dadurch, dass er sehr früh in die Planung miteinbezogen ist, mehr Einfluss auf die Auswahl eines Lifts als ein Bauunternehmer. Die passiven Interessensgruppen und der Staat erhalten kein Gewicht, da die Verbesserung des Zustands ihrer Grundinteressen für sich allein kein Nutzen für das Unternehmen bringt. Wenn sie wichtig für die Interessen des Käufers sind, gehören sie zu seinem Einflussnetz und erhalten so das höchste Gewicht.

3.2.2 Gewichtung der Produktattribute im Gesamtsystem

Ist ein Produkt selber Bestandteil eines grösseren Systems (ein Aufzug ist z. B. Teil der Infrastruktur eines Gebäudes), besteht kein direkter Zusammenhang zwischen den für den Kunden relevanten Attributen und denen des (Teil-) Produkts. Es gestaltet sich schwieriger, die Gewichtungen aus den Kundenbedürfnissen auf die Produktattribute zu übertragen. Beschreibt man hingegen das Umfeld, bzw. dessen wichtige Zusammenhänge über ein Einflussnetz, lässt sich die Gewichtung des übergeordneten Systems mit der in Kapitel 2 vorgestellten Weise auf die Produktattribute übertragen. Damit ist auch in einem komplexen Umfeld gewährleistet, dass die Gewichtung den bestehenden Zusammenhängen entspricht.

Dennoch reicht es nicht aus, Produkt und Umfeld getrennt zu betrachten. Ebenso wie die Einflussnetze von technischen Komponenten zusammen mit dem Gesamtprodukt Einflusskreise bilden können, die die Wirkung stark verändern, können Einflusskreise auch zwischen Produkt und Umfeld auftreten.

Einflusskreise über die Systemgrenzen des Produkts hinweg entstehen dadurch, dass Attribute des Umfelds, die über die Änderungen des Produkts beeinflusst werden, die Ausprägung der Technik bestimmen. Beim Lift zum Beispiel wird die Mindestkapazität der Anlage durch die Anzahl Personen im Gebäude bestimmt. Verringert man den Platzverbrauch des Lifts, vergrössert sich die Nutzfläche und somit auch die minimal notwendige Kapazität des Lifts, die sich schliesslich auf den Platzverbrauch auswirkt. Durch diesen Wirkkreis über die Systemgrenzen des Produkts hinaus verringert sich die Wirkung einer verkleinerten Liftfläche.

3.2.3 Einfluss der Umfelddynamik auf die Entscheidungsfindung

Die *Szenario-Analyse* (vgl. *Kahn/Wiener* [53], *U. Götze* [37], *M. Codet* [34], *J. Gausemeier* [32]) ist eine Methode zur Untersuchung der Auswirkung verschiedener Zukunftsszenarien auf die gesteckten Ziele. Damit sollen geeignete Massnahmen gefunden werden, um die zukünftige Entwicklung des Systems in die gewünschte Richtung zu lenken. *H. Kahn* und *A. J. Wiener* [53] definieren Szenarien wie folgt:

Scenarios are hypothetical sequences of events constructed for the purpose of focusing attention on causal processes and decision points. They answer two kinds of questions:

- (1) Precisely how might some hypothetical situation come about, step by step? and
- (2) what alternatives exist, for each actor, at each step, for preventing, diverting or facilitating the process?

Dafür werden Einflussfaktoren auf das zu untersuchende System gesucht, die mit unterschiedlichen Ausprägungen die Grundlage der Szenarien ergeben. Auf dieser Grundlage werden Strategien erarbeitet und geprüft. Die Szenario-Analyse ist auch für die Entscheidungsfindung während der Produktentwicklung von Bedeutung. Externe Einflussgrössen können die Gewichtungen so verschieben, dass die während der Entwicklung getroffenen Entscheidungen nicht mit dem späteren Kaufverhalten übereinstimmen. Wenn Komponentenlösungen ausgewählt werden, muss deren Fähigkeit, sich auch beim Eintreffen der Szenarien an die neue Situation anpassen zu können, einen Stellenwert in der Entscheidung erlangen. Dies ist vor allem bei Technologieentwicklungen wichtig, da hier die Startposition für die langjährige Marktwirkung festgelegt wird und nachher nur mit grossem Aufwand wieder korrigiert werden kann. Beim Aufzug beispielsweise ist ein mögliches Szenario, dass die Energiekosten in Zukunft deutlich teurer werden. Dies hat einen beträchtlichen Einfluss auf die Auswahl der Komponenten des Aufzugssystems. Konzepte, die schon mit dem heutigen Referenzniveau ihre Grenzen ausreizen, bieten später keine Grundlage für ein marktfähiges Produkt mehr und müssen mit Vorsicht betrachtet werden.

4 Entscheidungsweg für die Systementwicklung

4.1 Vorgehensmodelle für die Systementwicklung

Vorgehensmodelle sollen den Entwicklern helfen, sich im Entwicklungsprozess zurechtzufinden. Im deutschen Sprachraum hat sich besonders die *VDI-Richtlinie 2221* (vgl. Bild 4.1) als Referenz etabliert, die in den Grundzügen mit den Vorschlägen der Systemtechnik (vgl. *Daenzer/Huber* [22]) vergleichbar ist. Typisch ist die Gliederung in die Schritte Planen, Konzipieren, Entwerfen und Ausarbeiten, zwischen denen die Entwicklung iterativ vor- und zurückspringt. Sie ist bewusst branchen- und problemunabhängig formuliert, weshalb *Pahl/Beitz* [74] die Arbeitsschritte gezielt für den Maschinenbau angepasst haben. Obschon diese Vorgehensmodelle allgemein anerkannt sind, weisen Studien nach, dass sie in der Praxis nicht den entsprechenden Stellenwert besitzen (vgl. *Janhager/Persson/Warell* [51] zitiert in: *Vajna et al.* [106]). Ein für die vorliegende Arbeit wesentliches Manko ist die fehlende Unterstützung der Entscheidungen, obwohl diese ein Kernproblem der Entwicklung darstellt.

Gemäss den Erfahrungen im Entwicklungsprojekt der neuen Aufzugstechnologie bietet das in der vorliegenden Arbeit erarbeitete Einflussnetz eine Möglichkeit, dieses Manko zu füllen und eine Handlungsanleitung für Entscheidungen in der Systementwicklung aufzuzeigen.

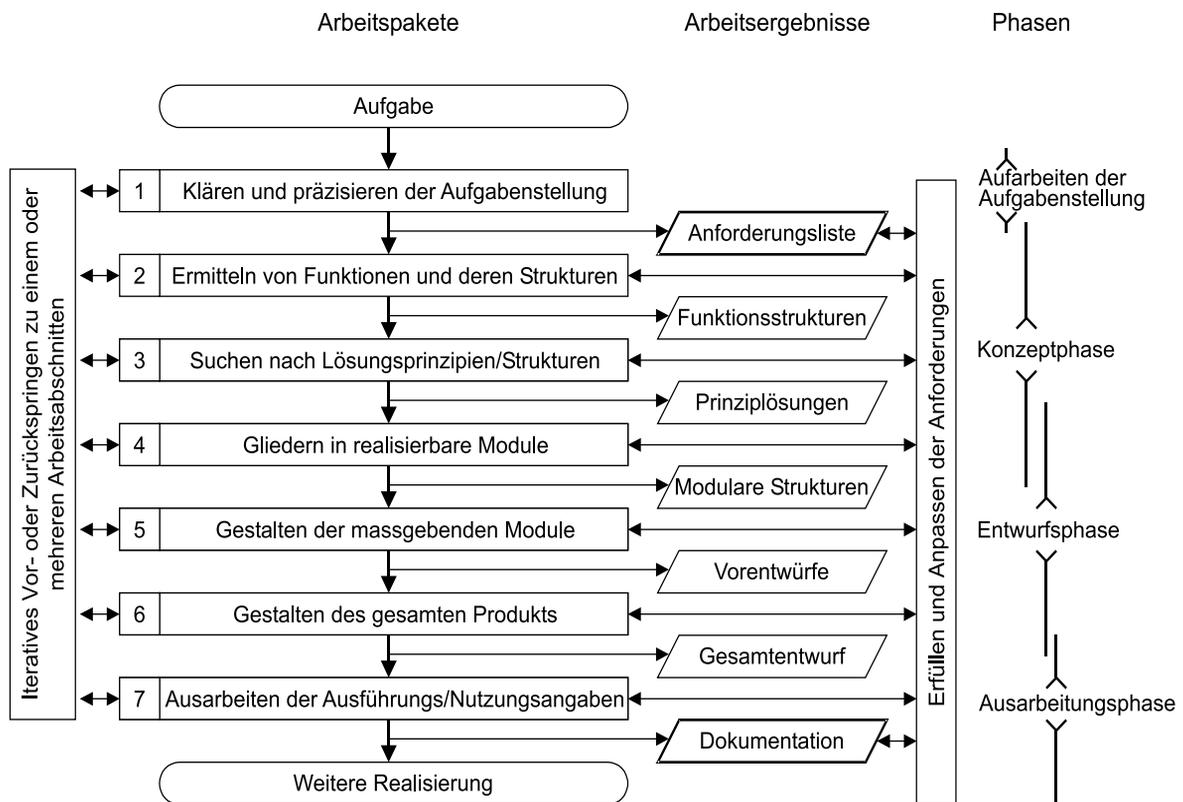


Bild 4.1. Generelles Vorgehensmodell für die Entwicklung (*VDI-Richtlinie 2221* [108])

4.2 Problemfelder in Entscheidungen

4.2.1 Problematik der Dynamik des Umfelds

Grundinteressen führen zusammen mit dem individuellen Umfeld eines Menschen zum Bedürfnis, ein bestimmtes Attribut zu verbessern. Das menschliche Umfeld ändert sich sowohl im Kleinen (kurzfristig, wie z. B. das Wetter) als auch im Grossen (langfristig, wie z. B. politische und technologische Rahmenbedingungen) ständig. Diese Dynamik des Umfelds verändert, wie und welche Attribute wahrgenommen werden. Die Motivation zur Innovation (Anstoss) ist also nur ein momentaner Zustand des Umfelds. Dazu gehören sowohl Bedürfnisse als auch die Grenzen des Entwicklungsraums, die sich ebenfalls mit der Zeit verändern. An diesem Referenzzustand, der der durchschnittlichen Wahrnehmung der involvierten Personenkreise entspricht, misst sich das zu entwickelnde Produkt in jedem Bewertungsschritt.

Bedürfnisse und Grenzen können sich auch bereits während der Entwicklung ändern. Mögliche Einflussfaktoren sind Konkurrenzprodukte, Werbung, politische Handlungen (z. B. Kriege, neue Gesetze), sowie weitere Informationen. Wenn beispielsweise ein Konkurrent ein Produkt am Markt einführt, während der andere Mitbewerber noch entwickelt, ändert sich die Referenz aus der Sicht des Kunden. Da sich das nachfolgende Produkt mit dem bereits auf dem Markt befindlichen Produkt messen muss, entsteht die Notwendigkeit, die Entwicklungsziele anzupassen. Indem die Erfahrungen der Konkurrenz in die eigene Entwicklung integriert werden, kann der Vorsprung des Konkurrenzproduktes wieder wettgemacht werden. Beharrt hingegen das Unternehmen starr auf den einst getroffenen Zielsetzungen, kann zwar die Entwicklungszeit kürzer, der Erfolg des Produkts jedoch deutlich geschmälert sein. Der analoge Fall tritt ein, wenn sich die Produktwahrnehmung durch Medieninformationen ändern. Führt beispielsweise eine Konsumentenschutzorganisation einen vergleichenden Test durch, kann der Kunde daraufhin neue Attribute des Produkts wahrnehmen, die vorher für ihn nicht relevant waren oder eine andere Referenzprägung in sein Schema übernehmen. Ändert sich die Wahrnehmung eines grösseren Anteils der Kunden, muss die Veränderung der Zieldefinition in die Entwicklung einfließen, um den Erfolg nicht zu gefährden. Ausschlaggebend für den Produkterfolg ist immer der Zustand des Umfelds ab dem Zeitpunkt der Markteinführung.

Für die Entwicklung ist es wesentlich, mit dieser Dynamik der Zieldefinitionen umgehen zu können.

4.2.2 Problematik der Marktsegmentierung

Kaufentscheide sind, auch wenn sie von Gruppen getroffen werden, immer Entscheide von Individuen, d. h. basieren auf der Wahrnehmung und Einschätzung einzelner Personen. Jeder Kunde hat seine eigenen Ziele, lebt aber in einem Umfeld, das durch ähnliche Rahmenbedingungen ähnliche Bedürfnisse schafft. Diese Gruppen mit ähnlichen Bedürfnissen werden in Marktsegmenten zusammengefasst. Ein grosses Potential für die Herstellerfirmen liegt laut *Mass Customization* (beispielhaft: *F.T. Piller* [75]) in der Stillung individueller Bedürfnisse mit kostengünstiger Massenproduktion. Damit ein Unternehmen die Balance zwischen diesen beiden Extremen finden kann, ist im Entscheidungsmodell die Segmentierung der Zieldefinition zu unterstützen.

4.2.3 Problematik des sich verändernden Wissensstandes

Das Einflussnetz, das zu Beginn einer Entwicklung nur aus den Umfeldinformationen und den bisher bekannten relevanten Attributen besteht, wird im Laufe der Entwicklung ständig erweitert (über Komponenten) und verdichtet (über Detaillierung). Der Wissensstand steigt von einem anfänglich geringen Niveau auf das relativ hohe Endniveau an, wenn das gesamte Einflussnetz festgelegt ist,

d.h. wenn alle Komponenten fertig entwickelt sind. Die meisten Entscheidungen werden zu einem Zeitpunkt gefällt, bei dem das Wissen unvollständig ist. Dabei sind es gerade die wichtigen anfänglichen Entscheidungen, z. B. über die Produktidee, die mit dem kleinsten Wissensstand getroffen werden. Es ist also elementar für das Entscheidungsmodell, diese unter Unsicherheit gefällten Entscheidungen überprüfen zu können, wie dies in Bild 4.2 dargestellt ist.

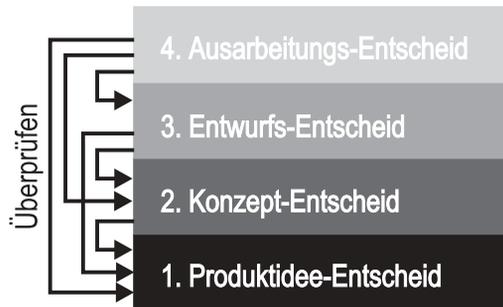


Bild 4.2. Wichtige Entscheidungsschritte in der Produktentwicklung und die Notwendigkeit, diese zu überprüfen, wenn mehr Wissen verfügbar ist

4.2.4 Problematik der Wegsuche

Eine der wichtigsten Problemstellungen der Systementwicklung ist die der Effizienz. Es stellt sich ständig die Frage, welche Arbeitsschritte als nächstes bzw. gleichzeitig ausgeführt werden müssen, um zum Ziel zu kommen, ohne zu viele Arbeitspakete wiederholen zu müssen (Iteration). Der Entscheidungsfindung kommt hier ein zentraler Stellenwert zu: Je besser die Wissensgrundlage, um die Bewertungskriterien und ihre Einflussstärke zu erhalten, desto geringer ist das Risiko, eine Entscheidung wiederholen zu müssen. Speziell zu berücksichtigen ist in diesem Punkt die häufig starke Verflechtung der Komponenten. Sie hat zur Folge, dass die Wirkung von Varianten einer Komponente nicht unabhängig von anderen Komponentenvarianten betrachtet werden kann. Hervorzuheben sind hier Einflusskreise zwischen zwei Komponenten sowie die Abhängigkeit der Einflussstärke vom Einflussnetz der umliegenden Komponenten.

	Komponente A				Komponente D				Komponente C			
Konzept	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4
Entwurf	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4
Ausarbeitung	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4

Bild 4.3. Übersicht über die Systementwicklungsschritte (in Anlehnung an die Entwicklungsschritte der VDI-Richtlinie 2221 [108]): Markiert sind die ausgewählten Varianten, die die Grundlage für die weitere Ausarbeitung darstellen.

Es ist deshalb wichtig für einen Entscheidungsweg, dass die Analyse der Entscheidungsgrundlagen unterstützt wird. Dazu kommt, dass eine solche Analyse zu jedem späteren Zeitpunkt erfolgen soll, um auch Fehlentscheidungen zu entdecken und gegebenenfalls eine Iteration einzuleiten.

Der gesamte Lösungsraum eines Produkts beinhaltet häufig eine immense Anzahl von verschiedenen (Teil-)Konzeptlösungen, auf denen ihrerseits wieder die Entwurfs- resp. Ausarbeitungslösungen aufbauen (vgl. Bild 4.3). Die Information zu liefern, welcher Arbeitsschritt momentan besonders wichtig ist, ist eine wesentliche Aufgabe eines Entscheidungswegs.

4.2.5 Problematik der Parameteroptimierung

Die spezifische Ausprägung der Komponentenvarianten basieren häufig auf geschätzten, allen gemeinsamen Dimensionierungsgrößen (z. B. maximale Geschwindigkeit). Die Abhängigkeit der Attributsausprägung sowie der Einflussstärke von den jeweiligen Ausprägungen des Einflussnetzes kann dazu führen, dass die Entscheidungsgrundlage stark verzerrt wird. Varianten, deren Optimum zufälligerweise fast erreicht wird, werden dadurch bevorteilt. Das Optimum verändert sich weiter, wenn neue Teile des Einflussnetzes festgelegt werden. Die Dimensionierungsgrößen müssen also laufend angepasst werden, ebenso wie die damit zusammenhängenden Entscheidungen.

Eine Handlungsanleitung muss eine solche Parameteroptimierung des Einflussnetzes für einzelne Varianten integrieren.

4.3 Entscheidungsweg auf der Basis des Einflussnetzes

Die zentrale Größe des Entscheidungswegs ist die Güte des Produkts, die die Zielformulierung widerspiegelt. Sind mehrere Marktsegmente vorhanden, sind dementsprechend auch mehrere Gütekriterien festgelegt. Ganz zu Beginn des Innovationsprozesses (vgl. Bild 4.4, *M. Meier* [65]) werden Produktideen (Anstöße) gefiltert, und schliesslich fällt nach dem Markt-Leistungsprozess die Entscheidung, welche Produktidee entwickelt wird. Diese Produktideen lassen sich im Einflussnetz als verschiedene Zielstrukturen darstellen, in denen Zielattribute ihre eigene Wirkung auf ihr Gütekriterium haben. Bei der Auswahl ist die Gewichtung der Zielattribute gemäss These 3 von Bedeutung. Die Zielstruktur mit den wichtigsten Attributen, d. h. mit der grössten Einflussstärke und dem grössten Veränderungspotential, muss weiterverfolgt werden. Die Einschätzung des Veränderungspotentials ist eine Annahme, die erst mit der technischen Entwicklung verifiziert werden kann. Die ersten Entwicklungsschritte sollten deshalb versuchen, das dafür notwendige Wissen zu erzeugen.

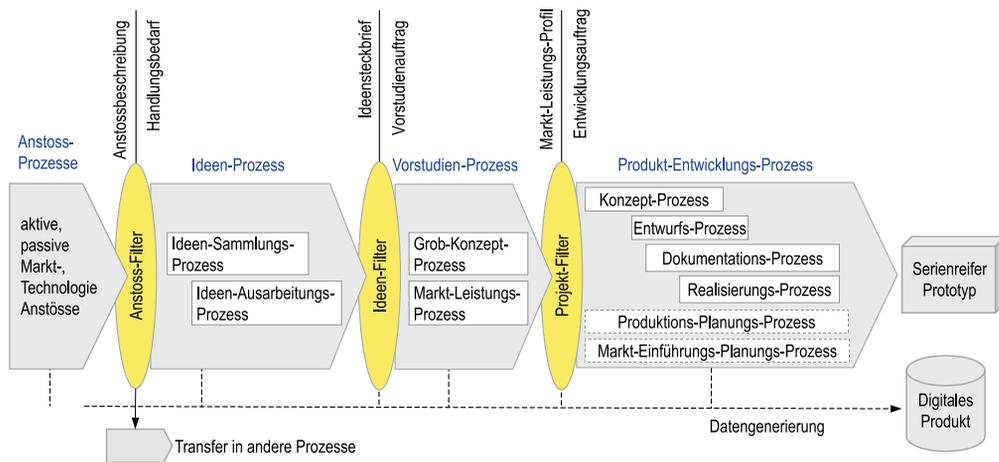


Bild 4.4. Darstellung des Produkt-Innovationsprozesses des Zentrums für Produktentwicklung (ETH Zürich) (vgl. *M. Meier* [65])

4 Entscheidungsweg für die Systementwicklung

Die Bestimmung der ersten Arbeitsschritte orientiert sich ebenfalls an der Wichtigkeit der Attribute. Attribute mit grosser Einflussstärke und einem grossen Veränderungspotential, das auch die Unsicherheit widerspiegelt, müssen prioritär behandelt werden. Die Wichtigkeit nach These 3 hilft also dabei, durch den Lösungsraum zu navigieren.

Bei Entscheidungen ergeben sich aus dem Einflussnetz Gleichungen für die Einflussstärke der Bewertungsattribute. Über diese Gleichungen lässt sich bestimmen, ob Kenngrössen anderer Systembestandteile ausreichend bekannt für eine robuste Bewertung sind, oder ob diese *vor* der Entscheidung näher untersucht werden müssen. Auch dies unterstützt die Suche nach der effizienten Arbeitsschrittfolge. Dasselbe gilt auch für die Einbindung von Erfahrungswissen.

Ändert sich die Grundlage früherer Entscheidungen – z. B. durch die Umfelddynamik oder durch Wissenszuwachs –, sind zwei Fälle zu unterscheiden: Im ersten Fall stellt sich heraus, dass die gewählte Variante die Festforderungen verletzt; im zweiten verschieben sich die Einflussstärken auf die Güte so, dass eine andere, verworfene Variante zu einem besseren Produkt führen würde. Während im ersten Fall unbedingt gehandelt werden muss, hängt der Handlungsbedarf im zweiten Fall vom Verhältnis des Mehrnutzens zu den Mehrkosten ab. Auch der höhere Entwicklungsaufwand beeinflusst die Güte des Produkts.

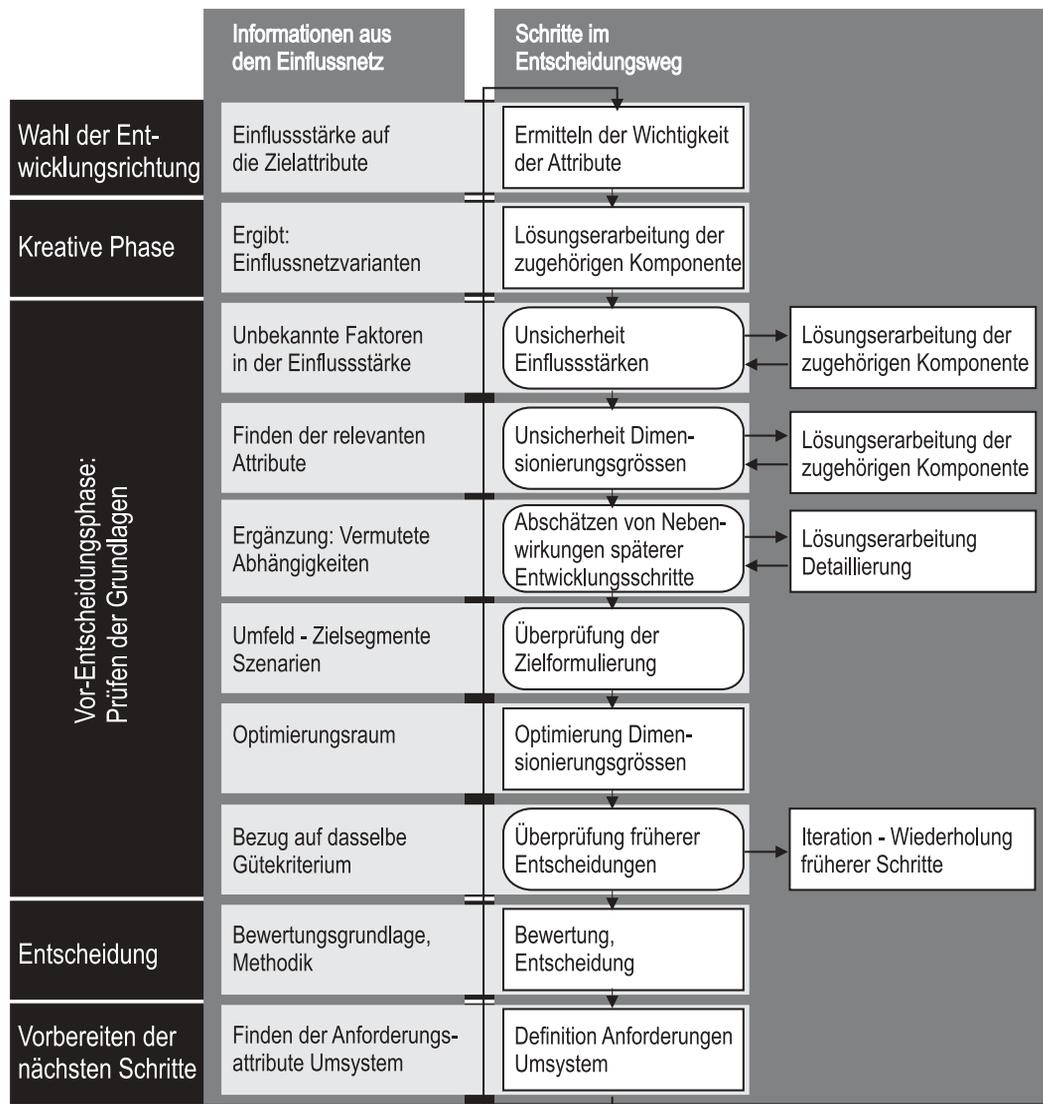


Bild 4.5. Vorschlag der vorliegenden Arbeit zur Entscheidungsfindung über die Vorgehensweise in der Systementwicklung

Das Einflussnetz bietet für jedes Attribut eine Einflussfunktion auf die Güte, mit der die in Abschnitt 4.2.5 geforderte Parameteroptimierung für jede Komponentenvariante vor der Entscheidung ausgeführt werden kann. Ebenfalls wichtig ist die Optimierung des Einflussnetzes nach den grösseren Entwicklungsschritten (Konzept, Entwurf, Ausarbeitung).

Im speziellen, wenn die Optimierung in Zusammenhang mit vielen Marktsegmenten (*Mass Customization*) gesehen wird, eröffnet sich ein enormes Potential für die rechnergestützte Optimierung des Gesamtprodukts. Dies wird in der vorliegenden Arbeit jedoch nicht weiter untersucht.

Das Einflussnetz bietet ein Gerüst, um den Herausforderungen der Systementwicklung angemessen zu begegnen. Die in Bild 4.5 zusammengefassten Handlungsanleitungen beziehen sich auf konkrete Informationen aus dem Einflussnetz, so dass sie sich auch für die Rechnerunterstützung eignen könnten. Dank dem breiten Spektrum an Informationen wird das Einflussnetz zum Instrument der Entwicklungsplanung und sichert die Orientierung auch in grossen Entwicklungsprojekten.

5 Vorgehensweise in der Aufzugsentwicklung

5.1 Ziel der Entwicklung

Ein wichtiger Treiber der Aufzugsentwicklung der letzten Jahre ist der Drang, weniger Raum für die gleiche Verkehrsleistung zu benötigen (z. B. der maschinenraumlose Lift). Die sogenannten Mehrfahrzeug- oder Multimobilsysteme erhöhen die Schachtausnutzung, indem mehrere autonome Kabinen im gleichen Schacht fahren können. Mit diesem neuen Freiheitsgrad lassen sich eine Vielzahl von Verkehrskonzepten mit komplett unterschiedlichen Kennzahlen vorstellen. Sie alle führen zu deutlich veränderten technischen Rahmenbedingungen, vor allem, wenn die Kabine zusätzlich zur vertikalen Fahrtrichtung auch horizontal versetzt werden soll. Die ersten Entwicklungsschritte, die in dieser Arbeit angegangen werden sollen, dienen der Verifikation des Potentials dieser Idee. Ein Schwerpunkt soll deshalb auf der Erarbeitung eines Verkehrskonzepts liegen, das vom heutigen Standpunkt aus das grösste Potential mit den kleinsten Risiken aufweist. Wichtig sind dafür die ganzheitlichen Kenntnisse des Umfelds, damit beides – Potential und Risiko – ausgewogen beurteilt werden kann. Diese Entwicklung zielt also nicht nur auf die Minimierung der Aufzugsfläche hin, sondern auch auf das Finden des Optimums hinsichtlich aller relevanten technischen, wirtschaftlichen und psychologischen Aspekte. Sie bezieht sich klar auf die heutige Situation als Referenz für das Verhältnis von Nutzen (Umsatz) und Entwicklungskosten.

5.2 Vorgehensweise

Vor Beginn der eigentlichen Entwicklung muss die Zieldefinition erarbeitet werden (Kapitel 6). Es geht dabei einerseits darum, die vom heutigen Aufzug bekannten Anforderungen zu filtern und den einzelnen Interessensgruppen zuzuordnen, andererseits aber auch neue Anforderungen zu finden, die heute keine oder eine geringe Bedeutung haben und erst durch die Technologieänderung relevant werden. Die Zuordnung der Anforderungsattribute zu Interessensgruppen basiert auf Einflussmodellen auf die jeweiligen Grundinteressen. Daraus ergibt sich auch, welche Attribute Bewertungskriterien sind, ebenso wie ihre Einflussstärke auf die Güte des Liftsystems. Auf dieser Basis können die Entscheidungen in der Entwicklung fundiert erfolgen. Die weiteren Einflussmodelle auf die Grundinteressen, die nicht dem Käufer zugeordnet sind, erleichtern die Diskussion der Kundenakzeptanz von neuen Lösungen und Technologien.

Basierend auf dieser Zieldefinition wird in Kapitel 7 das optimale Verkehrskonzept erarbeitet und untersucht. Davor müssen jedoch die Referenzausprägungen des heutigen Aufzugssystems zu den Anforderungsattributen analysiert werden, um das neue Verkehrskonzept damit vergleichen zu können. Über die Auswahl eines Konzepts werden die Anforderungen an die weiteren technischen Komponenten definiert. Zuvor werden die Einflussfunktionen der Dimensionierungsgrössen untersucht, um den Spielraum für die weitere Lösungserarbeitung auszuloten.

Kapitel 8 setzt die Kennzahlen des Verkehrskonzepts mit den Umfeldinformationen zusammen, um das Marktpotential und die Akzeptanzrisiken zu bestimmen.

Kapitel 9 zeigt anhand der beiden Komponenten Antrieb und Kabinenstruktur, wie die Kenntnis der Wirkstrukturen die Entscheidungsfindung technischer Komponenten beeinflusst.

Zusammenfassend ergibt sich folgende Vorgehensweise (vgl. Bild 5.1)):

1. Analyse des Umfelds (A-C)
 - Finden der Grundinteressen (A)
 - Erarbeiten der Wirkstrukturen zwischen Grundinteressen und Anforderungsattributen (B)
 - Definieren der Anforderungen, der Bewertungskriterien und deren Einflussstärken (C)
2. Analyse des Verkehrskonzepts (D)
 - Umwandlung der globalen in spezifische Anforderungskriterien
 - Finden der Referenzausprägungen des heutigen Aufzugssystems
 - Erarbeiten von Lösungsvarianten
 - Auswahl
 - Definition der Anforderungen an die übrigen Funktionsträger (erste Parameteroptimierung)
3. Abschätzung der Wirkung des idealen Verkehrskonzepts auf den Markt (D)
 - Abschätzung der Wirkung auf den Käufer
 - Abschätzung von Akzeptanzproblemen
4. Analyse der Entscheidungsprobleme der Kabinenstruktur im Zusammenhang mit dem Antriebssystem (E)

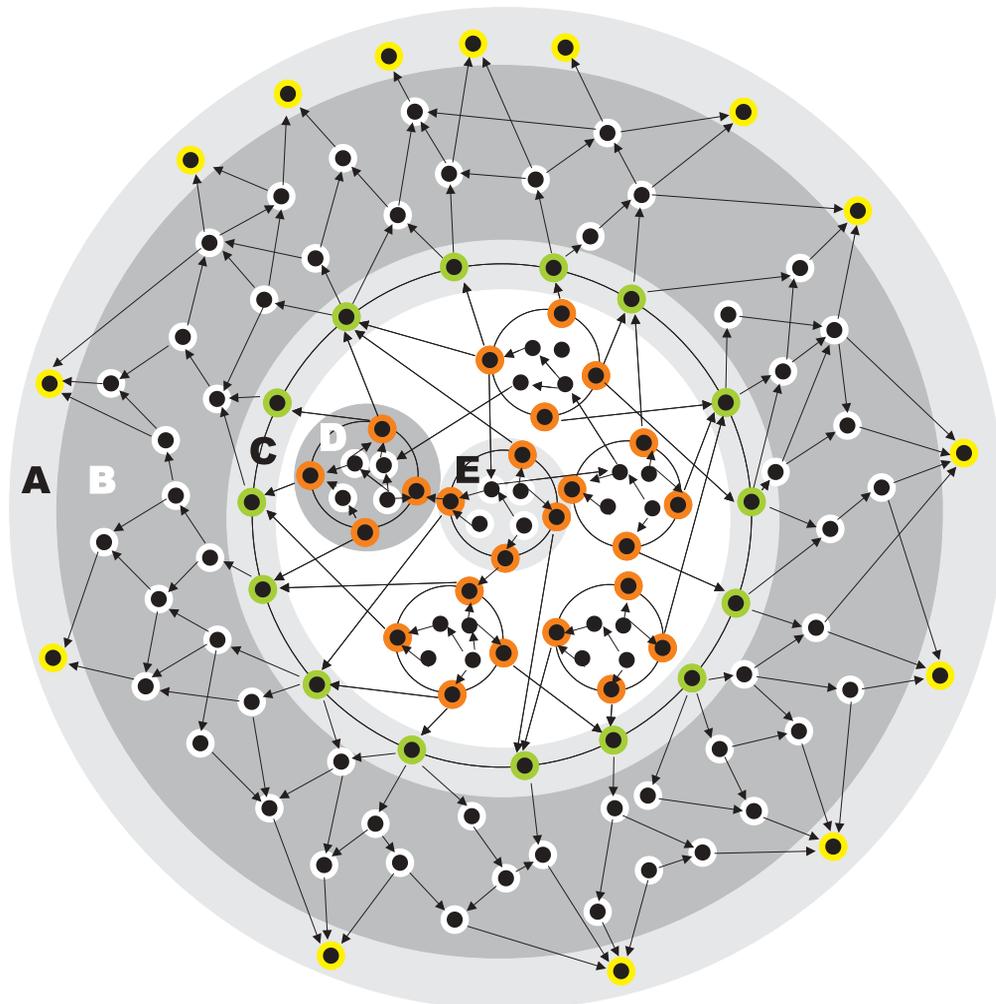


Bild 5.1. Illustration der Vorgehensweise anhand des Einflussnetzes

6 Umfeld

6.1 Bestimmung der relevanten Interessensgruppen

Um die Entwicklungsziele klar zu definieren, aber auch um mögliche erfolgshemmende Wirkungen von technischen Lösungen feststellen zu können, ist es notwendig, die Personengruppen zu erkennen, für die eine Änderung des Aufzugssystems von Bedeutung ist.

In einem ersten Schritt muss näher bestimmt werden, welche Interessensgruppe der eigentliche Käufer des Produkts *Aufzug* ist. Der Aufzug nimmt im wesentlichen eine Transportfunktion im Gebäude wahr und wird nur wegen eines Gebäudes auch gekauft. Die Anschaffung einer Liftanlage ist somit eine Folgeinvestition, die von der Motivation, ein Gebäude zu bauen, angestossen wird. Gemäss *H. Sommer* [98] sind die häufigsten Gründe, ein Gebäude zu bauen:

- Rendite und Vermögensanlage
- Verbesserung der Produktivität und Nutzung von Synergieeffekten
- Funktionalität und Mitarbeiterzufriedenheit
- Verbessern der *Corporate Identity* und der Unternehmenskultur

Sie lassen sich in nutzungs- sowie finanzmotivierte Baugründe unterscheiden. In der vorliegenden Arbeit wird deshalb die Person des Käufers nach diesen unterschiedlichen Motivationen in den *Investor* und den *Mieter* aufgeteilt. Der Mieter ist die Institution (z. B. Firma), die das Gebäude nutzt. Unbefriedigte Grundinteressen beider Gruppen können prinzipiell Motivation für Aufzugsinnovationen sein, da diese Gruppen auch finanziell dafür aufkommen.

Aus einer Analyse des Bauprozesses (vgl. *Schach et al.* [89]) lassen sich weitere Interessensgruppen eruieren und nach ihrer Bedeutung für den Kaufentscheid des Lifts ordnen:

1. Architekt
2. Fachplaner und Berater
3. Ausführende Unternehmen

Der Architekt ist dabei besonders wichtig, weil er in den frühesten Planungsphasen involviert ist und dadurch einen grossen Einfluss auf den Kauf ausüben kann. Unter den Fachplanern und Beratern hebt sich der *Liftconsultant* hervor, da er eine Mittlerrolle zwischen Lifttechnik und Käufer wahrnimmt.

Interessensgruppen, die keinen direkten Einfluss auf den Kaufentscheid haben, sind:

- Nutzer bzw. Passagier
- Staat

Für diese Entwicklung ist es deshalb nicht notwendig, die auf deren Grundinteressen bezogenen Aufzugsattribute zu verbessern – es sei denn, sie wären für den Käufer von Bedeutung. Es muss vielmehr darauf geachtet werden, diese Attribute nicht zu verschlechtern, da Akzeptanzprobleme dieser beiden Interessensgruppen für den Erfolg des neuen Liftsystems fatal sein können.

Die Aufzugsfirma mit ihren Zielen stellt eine weitere Interessensgruppe dar, deren Grundinteressen ebenso wichtig für den Erfolg des Lifts sind wie diejenigen des Käufers.

6.2 Einflussnetz des Umfelds

6.2.1 Einflussnetz des Investors

6.2.1.1 Grundinteressen des Investors

Das wichtigste Grundinteresse des Investors ist die Rentabilität des Gebäudes, da sie für die Qualität seiner Vermögensanlage ausschlaggebend ist. Die Mieteinnahmen sorgen für die gewünschte Rentabilität des investierten Betrags. In diesem Zusammenhang ist auch das Ziel der neuen Aufzugstechnologie, die Reduktion des Platzbedarfs des Lifts, zu sehen. Der dadurch gewonnene Raum kann sich über zwei Arten auf das Gebäude auswirken:

- Vergrößerung der Mietfläche
- Verkleinerung des Gebäudequerschnitts

Beide bewirken eine Veränderung der Rentabilität des Gebäudes. Die Mietfläche beeinflusst die Mieteinnahmen und damit die Rentabilität; der Gebäudequerschnitt verändert sie über die Höhe der Gebäudeinvestition. Da sich nicht nur die Aufzugsfläche auf die Rendite auswirkt, sondern auch die Anschaffungs- sowie die Energiekosten, wird die Rentabilität zur zentralen Grösse dieser Entwicklung. Ihre Steigerung ist das eigentliche Ziel der neuen Aufzugstechnologie. Damit werden alle Liftattribute, welche die Rendite beeinflussen, zu Bewertungsattributen. Um diese zu finden, werden in den folgenden Unterabschnitten die Wirkwege zwischen Rendite und den Aufzugsattributen als mathematisches Modell erarbeitet. Über die Einflussstärke dieser Attribute auf die Rentabilität wird die Grundlage für die Bewertung der technischen Lösungen geschaffen, so dass beispielsweise auch technische Attribute auf ihre Kostensensitivität geprüft werden können. Wichtig für die Berechnung der Einflussstärke ist auch die Frage, welche der beiden Wirkweisen (Mietfläche oder Gebäudequerschnitt) die Grundlage sein soll.

Ein weiteres Grundinteresse des Investors ist das Interesse an Sicherheitsgefühl. Änderungen der Aufzugsattribute, die sein Sicherheitsgefühl beeinträchtigen, wird er nicht tolerieren.

6.2.1.2 Einflüsse auf die Rentabilität

Die Rentabilität von Investitionsobjekten wird durch den **diskontierten Cash Flow (DCF)** beschrieben (vgl. A. Seiler [94]). Da die jährlichen Ausgaben durch Inflation wachsen, wird davon ausgegangen, dass die Mietpreise ebenfalls der Inflation angepasst werden und so der inflationsbereinigte «Cash Flow» konstant bleibt. Zudem wird in der Mindestrendite üblicherweise auch die Inflation berücksichtigt.

$$DCF = \sum_{n=0}^{N_I-1} \frac{(E_n - A_n)(1+i)^n}{(1+R+a_R)^n} \quad (6.1)$$

mit

DCF	Discounted Cash Flow
E_n	Einnahmen im Jahr n
A_n	Ausgaben im Jahr n
N_I	Investitionsdauer
i	durchschnittliche Inflation
R	Minimalrentabilität der Investition
a_R	Amortisationsrate

Damit eine Investition interessant ist, muss der «Discounted Cash Flow» am Ende der Investitionsperiode höher sein als der investierte Betrag:

$$DCF \geq I_0 \tag{6.2}$$

I_0 Initialinvestition in ein Gebäude

Da sowohl die jährlichen Einnahmen und Ausgaben als auch die Initialinvestition stark gebäudeabhängig sind, werden die auf die Investition normierten Kennzahlen verwendet (vgl. Gl. (6.3)). Dies erlaubt eine allgemeinere Betrachtung.

$$\frac{DCF}{I_0} = \sum_{n=0}^{N-1} \frac{(E_n/I_0 - A_n/I_0)(1+i)^n}{(1+R+a_R)^n} \geq 1 \tag{6.3}$$

In Bild 6.1 ist diese Beziehung als Einflussnetz modelliert.

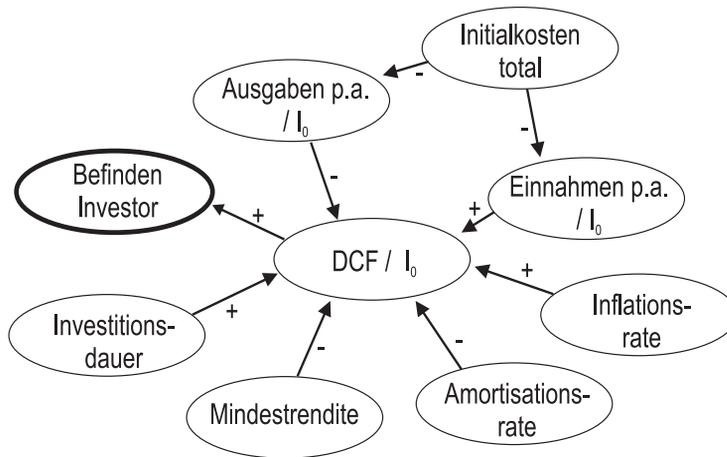


Bild 6.1. Modell der Einflüsse um den Discounted Cash Flow (in % zu den totalen Investitionskosten)

Der Einflusswert der jährlichen Einnahmen auf DCF/I_0 ist (vgl. Definition aus Gl. (2.3)):

$$r_{E-DCF/I_0} = \frac{E_0/I_0}{(1+\varepsilon_I)(E_0/I_0 - A_0/I_0)} \tag{6.4}$$

mit:

ε_I relative Änderung der Initialkosten des Gebäudes

Derjenige der jährlichen Ausgaben ist:

$$r_{A-DCF/I_0} = \frac{-A_0/I_0}{(1+\varepsilon_I)(E_0/I_0 - A_0/I_0)} \tag{6.5}$$

Analog dazu der Einflusswert der Initialkosten:

$$r_{I-DCF/I_0} = \frac{-1}{1+\varepsilon_I} \tag{6.6}$$

Da der Faktor I die Gl. (6.3) nichtlinear verändert, hängt der Einfluss von E , A und I auf DCF/I_0 von der Änderung der Initialkosten ε_I ab. Dies bedeutet beispielsweise, dass die Wirkung einer Einnahmenänderung abgeschwächt wird, wenn die Investitionskosten erhöht werden.

Die Mindestrendite hat gleich wie die Amortisationsrate keinen direkten Einfluss auf die Beziehungsstärke zwischen den Einnahmen und dem DCF (vgl. Gl. (6.4)). Implizit besteht jedoch ein Zusammenhang, da die Rendite sich aus dem Verhältnis der jährlichen Einnahmen zu den Ausgaben ergibt. In wirtschaftlich und politisch stabilen Ländern, wie z. B. der Schweiz, liegen die erwarteten

Mindestrentabilitätswerte einer Immobilie zwischen 5-9%, abhängig von der Situation anderer Investitionsformen (z. B. Aktien).

Die Gebäudekennzahl A/I_0 liegt üblicherweise zwischen 0.5% und 3%. Ein hohes Verhältnis von Ausgaben zu Investitionskosten bewirkt einen stärkeren Einfluss der Ausgaben und Einnahmen auf den Discounted Cashflow.

Das Verhältnis der jährlichen Einnahmen zu den Investitionskosten E/I_0 ist zusammen mit der Kennzahl A/I_0 ausschlaggebend für die Rendite, die mit dem Gebäude erzielt werden kann. Rechnet man zurück, folgt aus gegebenem A/I_0 und der Mindestrendite ein Mindestwert von E/I_0 , damit ein Gebäude rentabel wird. Ein hohes Verhältnis der jährlichen Einnahmen zu den Investitionskosten verkleinert den Einfluss der Einnahmen und Ausgaben auf den Discounted Cashflow.

Die Inflation wirkt über zwei Wege auf die Investition: Einerseits nimmt durch die Geldentwertung der Wert des investierten Kapitals ab, so dass am Ende der Amortisationsperiode zwar quantitativ gleich viel Geld vorhanden, die Kaufkraft jedoch beträchtlich kleiner wäre. Deshalb wird bei der Festsetzung der gewünschten Minimalrendite auch die erwartete durchschnittliche Inflation berücksichtigt. Auf der anderen Seite verändern sich aber auch die jährlichen Ausgaben, da sie ebenfalls der Inflation angepasst werden. In den letzten zwanzig Jahren lag die Inflationsrate in der Schweiz zwischen 0.5% und 6.5% (vgl. *Wirtschaftsstudien der UBS, Katalognummern MD15 und MD39*, zitiert in: A. Seiler [94]).

Die Amortisationsrate berechnet sich über die Investitionsdauer (vgl. Gl. (6.7)). Die Lebensdauer eines Gebäudes wird im Normalfall auf etwa 60-100 Jahre geschätzt, wobei nach ca. 30-50 Jahren Grunderneuerungen (z. B. das Dach) durchgeführt werden müssen, um die Bausubstanz zu erhalten. Somit sollte das Gebäude nach 30-50 Jahren amortisiert sein.

$$\text{Amortisationsrate}[\%] = \frac{100}{\text{Amortisationszeit}[a]} \quad (6.7)$$

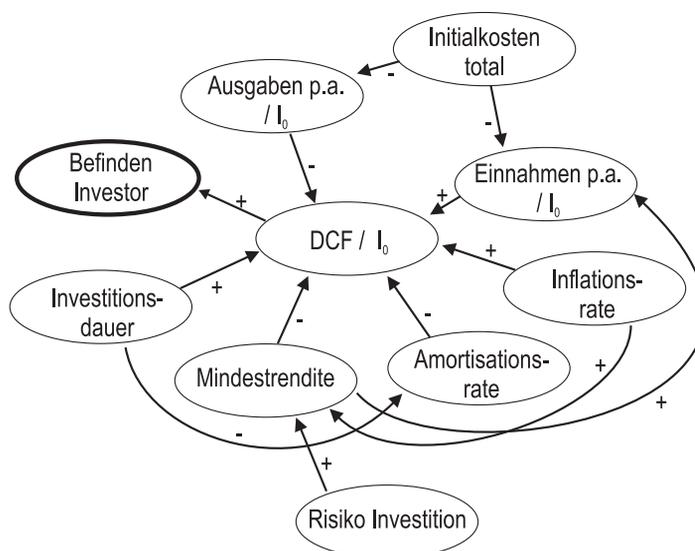


Bild 6.2. Einflussmodell aus der Sicht des Investors

Da Gebäude sehr unterschiedliche Kennzahlen haben können, müssen die extremalen Einflussstärken berechnet werden. Dafür ist das Einflussmodell aus der Sicht des Investors hilfreich (vgl. Bild 6.2). Für den kleinsten Einfluss massgebend ist ein hohes Verhältnis E/I_0 und ein tiefes Verhältnis A/I_0 (mit $\varepsilon_I = 0$):

- eine kurze Investitionsdauer (25 Jahre)
- eine hohe Inflationsrate (7%)
- ein hohes Investitionsrisiko
- ein kleines Verhältnis der jährlichen Ausgaben zur Investition (0.5%)

Wenn diese Umstände eine Mindestrendite von 15% verlangen, nimmt der Minimaleinfluss der jährlichen Einnahmen auf den Discounted Cashflow einen Wert von 104.9% an. Der minimale Einfluss der jährlichen Ausgaben auf den *DCF* ist entsprechend -4.9%. Den maximalen Einfluss haben Einnahmen sowie Ausgaben mit:

- einer langen Investitionsdauer (60 Jahre)
- einer niedrigen Inflationsrate (0.0%)
- einem niedrigen Risiko und
- einem hohen Verhältnis der jährlichen Ausgaben zur Investition (3%)

Die Mindestrendite wird hier auf ungefähr 5.0% festgesetzt. Der maximale Einfluss der jährlichen Einnahmen auf den Discounted Cashflow wird somit zu 145.8%, derjenige der Ausgaben zu -45.8%. Ein Einfluss von über 100% bedeutet, dass eine Änderung der Einnahmen verstärkt an den *DCF* weitergegeben wird. In Tabelle 6.1 sind diese Werte zusammen mit einem realistischen Mittelwert dargestellt. Man erkennt, dass Wirkwege über die jährlichen Einnahmen einen viel stärkeren Effekt auf die Rentabilität haben als über die jährlichen Ausgaben (z. B. Energiekosten).

Tabelle 6.1. Beispielwerte für die Einflüsse auf die Rendite ($\epsilon_I=0$)

Kennzahl	Minimum	Maximum	Realwert
$\frac{E/I_0}{E/I_0 - A/I_0}$	105%	145%	124%
$\frac{A/I_0}{E/I_0 - A/I_0}$	5%	45%	24%

6.2.1.3 Einflüsse auf die Einnahmen

Die Einnahmen bei Büro-, Wohn- oder Geschäftsgebäuden stammen zum grössten Teil aus den Mieteinnahmen innerhalb des Gebäudes. Die Höhe der Mieteinnahmen wird von der Anzahl Quadratmeter Nutzfläche und dem Mietpreis pro Quadratmeter bestimmt. Eine grosse Etagenzahl vervielfacht die vermietbare Fläche. Nach SIA-Norm 416 lässt sich die Gesamtgeschossfläche in einem Gebäude in verschiedene Flächenarten unterteilen. Bild 6.3 zeigt den Flächenbaum, wie er heute im Hochbau in der Schweiz verwendet wird. Tabelle 6.2 erläutert die verwendeten Begriffe. Wesentlich für den Aufzug ist die Zuordnung der Schachtinnenfläche zu den Verkehrsflächen und die Definition der Hauptnutzfläche, da sie direkt vermietet werden kann.

Bild 6.4 zeigt das verwendete Einflussmodell auf die jährlichen Einnahmen mit der Aufzugsfläche als Einflussparameter. Da sowohl der Einfluss der Hauptnutzfläche auf die Mieteinnahmen als auch jener der *HNF pro Etage* auf die *HNF total* multiplikativerischer Art sind ($HNF\ total = Anzahl\ Etagen * HNF\ pro\ Etage$), lässt sich der gesuchte Einfluss der Liftfläche auf die Einnahmen in Abhängigkeit von ihrem Anteil an der Hauptnutzfläche bestimmen (vgl. Gl. (6.8)). Diese Relation wird im Kapitel 7 tiefer untersucht. Typische Werte sind in Tabelle 6.3 aufgeführt. Für sich allein betrachtet erhöht eine Verkleinerung der Aufzugsfläche um 10% die Rendite im realistischen Mittel um 1.24%.

$$r_{A_L - E} = -\frac{A_L}{HNF} \quad (6.8)$$

A_L Aufzugsfläche
 HNF : Hauptnutzfläche
 E jährliche Einnahmen

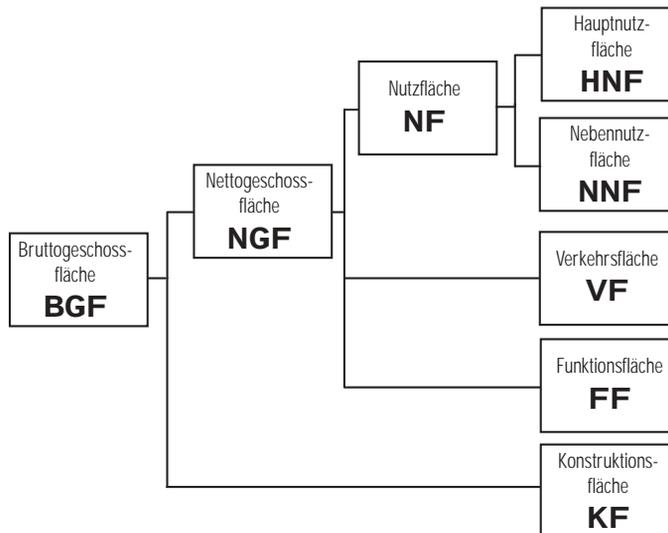


Bild 6.3. Flächenbaum nach SIA 416

Tabelle 6.2. Definitionen der Flächenzuordnung im Hochbau [85]

Begriff	Beschreibung
Hauptnutzfläche	Der Zweckbestimmung und Nutzung des Gebäudes dienende Flächen.
Nebennutzfläche	Toilettenräume, Duschen, Lagerflächen, Werkstätten, Fahrzeugabstellplätze,...
Verkehrsfläche	Fläche für die Verkehrserschliessung: Treppen, Gehflächen, Schachtfächen von Aufzügen, Fluchtwege.
Funktionsfläche	Zentralen und Unterstationen für Heizung, Sanitär, Lüftung, Klima, Abwasseraufbereitung
Konstruktionsfläche	Querschnittflächen aller Wände, Stützen, Liftschachtwände, Lichtschächte

Tabelle 6.3. Typische Kennzahlen für den Einfluss der Liftfläche auf die jährlichen Einnahmen

Kennzahl	Beschreibung	Minimum	Maximum	MW
$\frac{A_{Lift}}{HNF_{total}}$	Anteil der gesamten Liftfläche an der Hauptnutzfläche	3%	20%	10%

Falls durch die Verkleinerung der Aufzugsfläche ein kleineres Gebäude gebaut wird (Reduktion der Bruttogeschossfläche (BGF)), würde der Wirkweg der Aufzugsfläche nicht mehr auf die Vergrößerung der HNF zielen, sondern auf die Verkleinerung Bruttogeschossfläche, wie in Bild 6.5 dargestellt.

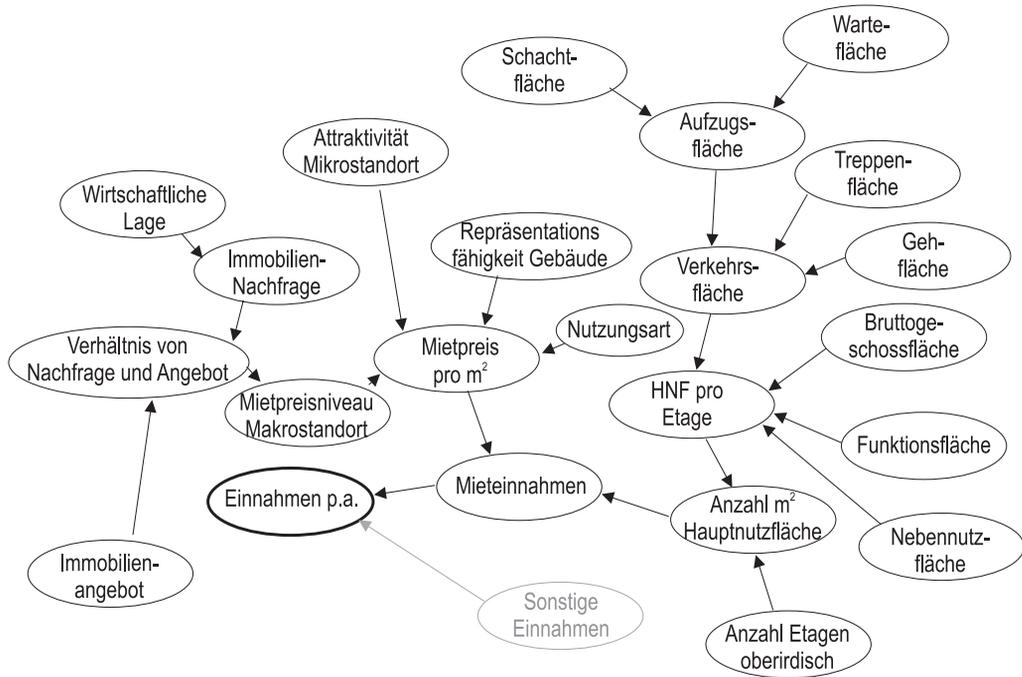


Bild 6.4. Modell der Einflüsse auf die jährlichen Einnahmen

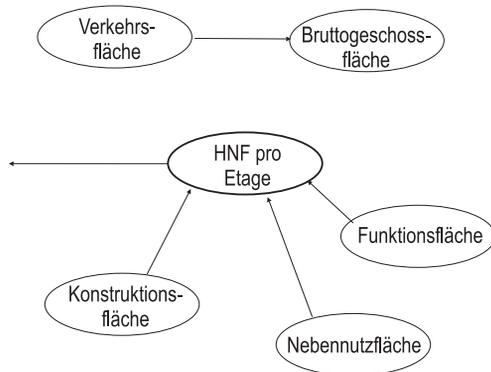


Bild 6.5. Unterschiedliche Einflussmodellierung auf die HNF

6.2.1.4 Einflüsse auf die Ausgaben

Die jährlichen Ausgaben bestehen im wesentlichen aus Kosten für Reinigung, für Energie und Medien und für Wartung und Instandsetzung. In Bild 6.6 sind die Einflüsse auf die Reinigungskosten modelliert. Die Wirkung der Bruttogeschossfläche auf die für die Reinigungskosten wichtige Gebäudeoberfläche ist in Gl. (6.9) beschrieben.

$$r_{BGF-OF} = \frac{\sqrt{1 + \epsilon_{BGF}} - 1}{\epsilon_{BGF}} \tag{6.9}$$

Für die zu erwartende Grössenordnung von ϵ_{BGF} wird der Einflusswert zu $r_{BGF-OF} \approx 1/2$. Im Bild 6.7 ist ein Einflussmodell für die Energiekosten dargestellt. Der darin abgebildete Heizenergiebedarf lässt sich nach DIN 114 [24] wie in Gl. (6.10) beschreiben.

Die Gliederung der Wartungskosten ist in Bild 6.8 aufgezeigt. Bei Lifтанlagen sind Wartungsverträge die Regel, die sich im Leistungsumfang unterscheiden.

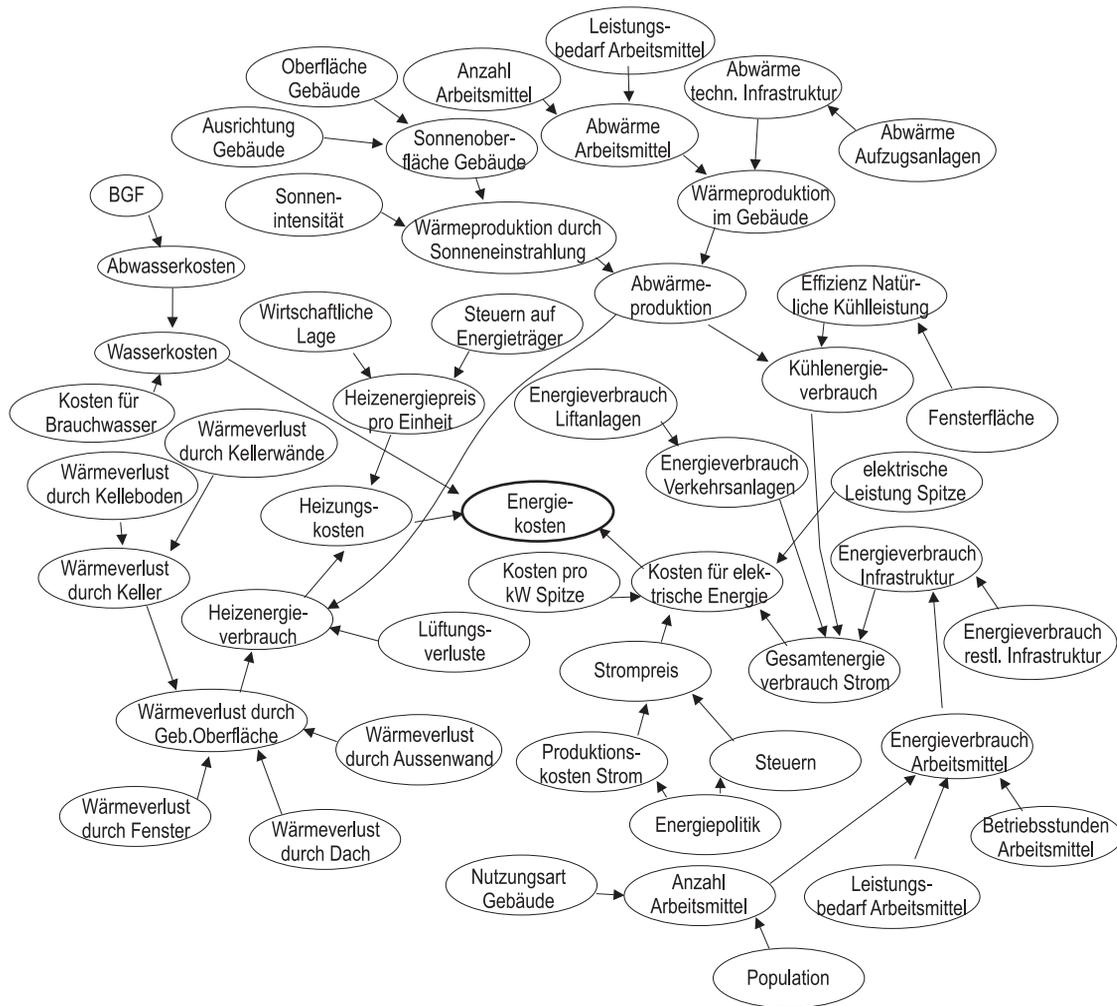


Bild 6.7. Beziehungsmodell Energiekosten

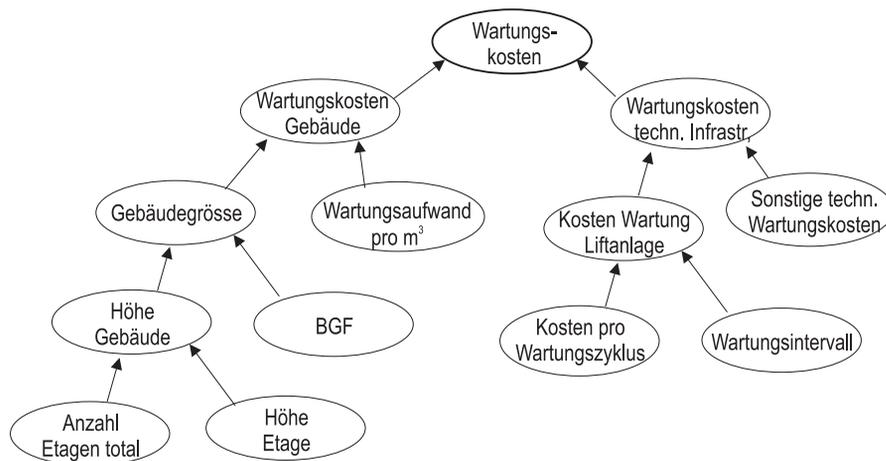


Bild 6.8. Beziehungsmodell für «Wartungskosten»

Die Modellierung der Kosten für die kleine Instandsetzung ist in Bild 6.9 illustriert. Im Gegensatz zur Wartung, die vorbeugend wirkt, handelt es sich bei der Instandsetzung um die Wiederherstellung von schon eingetretenen Schäden. Unter der grossen Instandsetzung versteht man Gesamtüberholung gegen Ende der Lebensdauer und wird als Neuinvestition aus dem amortisierten Kapital angesehen. Die kleine Instandsetzung dagegen fasst die Reparatur aller kleinen Schäden im Laufe der Lebensdauer zusammen. Beim Lift sind zum Beispiel häufig die Türen oder die Kabininnenwände betroffen.



Bild 6.9. Einflussmodell «Instandsetzungskosten»

6.2.1.5 Einflüsse auf die Initialkosten

Die Initialkosten umfassen alle Kosten, die für das Erstellen eines Gebäudes, also *vor* der Nutzung, dem Investor anfallen. Diese Arbeit orientiert sich an der Gliederung der Kosten in der *DIN 114* [24]. Das verwendete Einflussmodell ist in Anhang A beschrieben. In Abschnitt 6.2.1.6 sind die wichtigsten Schlüsse daraus aufgeführt.

6.2.1.6 Zusammenfassung und typische Werte

Einflüsse auf die Einnahmen

Aufzugsfläche gesamt

Reduziert man die Aufzugsfläche, entsteht neuer Raum im Gebäude, der entweder dafür genutzt werden kann, die *Bruttogeschossfläche (BGF)* zu verkleinern oder die *Hauptnutzfläche (HNF)* zu vergrössern. Im ersten Fall besteht kein Einfluss auf die Mieteinnahmen. Eine grössere *HNF* hingegen wirkt sich zu 100% auf die Mieteinnahmen aus. Neben dieser erwünschten Wirkung wächst mit einer grösseren *HNF* auch die Population des Gebäudes. Unter Umständen müssen dadurch sowohl die übrigen Verkehrsflächen (v. a. Fluchtwege) und die Nebennutzflächen (z. B. Toiletten) vergrössert werden, so dass schliesslich weniger Raum für die *HNF* vorhanden ist als ursprünglich angenommen. Gesamthaft ist der Einfluss der Liftfläche auf die Einnahmen wie folgt (vgl. Bild 6.10):

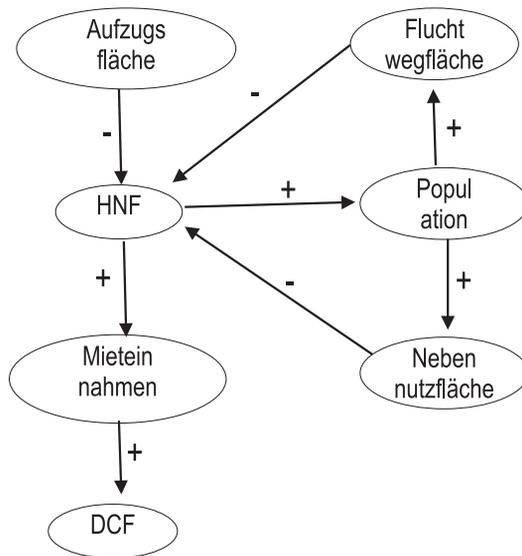


Bild 6.10. Zusammenfassung der Einflüsse auf die Mieteinnahmen

$$r_{A_{\text{Lift-E}}} = \left(-\frac{A_{\text{Lift}}}{HNF} \right) \left[1 + \sum_{n=1}^{\infty} \left(-\frac{A_{\text{Flucht}}}{HNF} \right)^n + \sum_{n=1}^{\infty} \left(-\frac{NNF_{\text{Pop}}}{HNF} \right)^n \right] \quad (6.11)$$

mit

A_{Lift} Liftfläche

HNF Hauptnutzfläche

A_{Flucht} Fläche für Fluchtwege

NNF_{Pop} populationsabhängige Nebennutzfläche

In der Tabelle 6.4 sind typische Werte aufgeführt. Dabei hängen die Anteile der Liftfläche und der Gehfläche zusammen, da beide über die Gebäudenutzung und die Population festgelegt werden.

Tabelle 6.4. Beispiele der Einflüsse der Bruttogeschossfläche auf die jährlichen Ausgaben (Wirkweg 1)

Kennzahl	Beschreibung	Minimum	Maximum	MW
$\frac{A_{\text{Lift}}}{HNF_{\text{total}}}$	Anteil der gesamten Liftfläche an der Hauptnutzfläche	3%	20%	10%
$\frac{A_{\text{Geh-Pop}}}{HNF_{\text{total}}}$	Anteil der Fluchtfläche an der Hauptnutzfläche	1%	5%	2%
$\frac{NNF_{\text{Pop}}}{HNF_{\text{total}}}$	Anteil der populationsbestimmten Nebennutzfläche an der HNF	10%	20%	15%
$r_{A_{\text{Lift-E}}}$		2.7%	15.7%	8.5%

Einflüsse auf die Ausgaben

BGF auf Ausgaben:

Die Bruttogeschossfläche wirkt sich, wie in Bild 6.11 dargestellt, über die Reinigungs-, Energie- und Wartungskosten auf die jährlichen Ausgaben aus. Der Wirkweg 1 lässt sich folgendermassen beschreiben:

$$r_1 = \left(\frac{K_{FR}}{2 \cdot K_R} + \frac{K_{FAR}}{2 \cdot K_R} \right) \cdot \frac{K_R}{A} \quad (6.12)$$

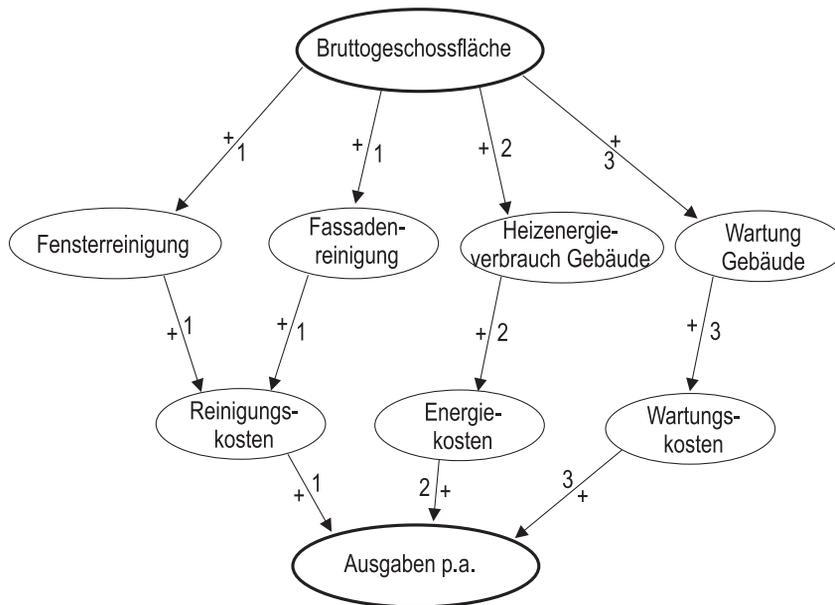


Bild 6.11. Zusammenfassung der Einflusswege der Bruttogeschossfläche auf die jährlichen Ausgaben

Tabelle 6.5. Beschreibung des Einflusses der Bruttogeschossfläche auf die jährlichen Ausgaben (Wirkweg 1)

Kennzahl	Beschreibung	Minimum	Maximum	MW
K_{FR}/K_R	Anteil der Fensterreinigungskosten an den gesamten Reinigungskosten	5%	20%	15%
K_{FAR}/K_R	Anteil der Fassadenreinigungskosten an den gesamten Reinigungskosten	2%	10%	7%
K_R/A	Anteil der Reinigungskosten an den jährlichen Ausgaben	20%	35%	30%
r_1		0.7%	5.25%	3.3%

Wirkweg 2 erschliesst sich über die Heizkosten:

$$r_{2a} = \left(\frac{k_W \cdot A_W + k_F \cdot A_F + k_K \left(\frac{1}{2} \cdot A_{KW} + A_{KB} \right) + \frac{8}{5} \cdot k_D \cdot A_D}{2 \cdot (k_W \cdot A_W + k_F \cdot A_F + 0.8 \cdot k_D \cdot A_D + 0.5 \cdot k_K \cdot A_K)} \right) \quad (6.13)$$

$$r_{2b} = \frac{W_V}{EV_H} \cdot \frac{K_{HE}}{E_K} \cdot \frac{E_K}{A} \quad (6.14)$$

$$r_2 = r_{2a} \cdot r_{2b} \quad (6.15)$$

Tabelle 6.6. Beispiele der Einflüsse der Bruttogeschossfläche auf die jährlichen Ausgaben (Wirkweg 2)

Kennzahl	Beschreibung	Minimum	Maximum	MW
r_{2a}	Einfluss der Bruttogeschossfläche auf die wärmeübertragende Fläche des Gebäudes	50%	70%	55%
$W_V / (EV_H)$	Anteil der Wärmeverluste des Gebäudes am gesamten Heizenergieverbrauch	90%	100%	100%
$\frac{K_{HE}}{E_K}$	Anteil der Heizenergiekosten an den gesamten Energiekosten	20%	50%	30%
$\frac{E_K}{A}$	Anteil der gesamten Energiekosten an den jährlichen Ausgaben	20%	50%	30%
r_2		1.8%	17.5%	5.0%

Der Einfluss von Wirkweg 3 lässt sich beschreiben als:

$$r_3 = \frac{K_{Wa}}{A} \quad (6.16)$$

Tabelle 6.7. Beispiele der Einflüsse der Bruttogeschossfläche auf die jährlichen Ausgaben (Wirkweg 3)

Kennzahl	Beschreibung	Minimum	Maximum	MW
K_{Wa} / A	Anteil der Wartungskosten an den jährlichen Ausgaben	5%	25%	20%
r_3		5%	25%	20%

HNF auf Ausgaben:

Die HNF wirkt sich über die Reinigungskosten, die zum Teil direkt, zum Teil indirekt von der Population abhängen, und über die Energiekosten auf die jährlichen Ausgaben aus. Die Energiekosten berücksichtigen hier keine leistungsabhängigen Kosten.

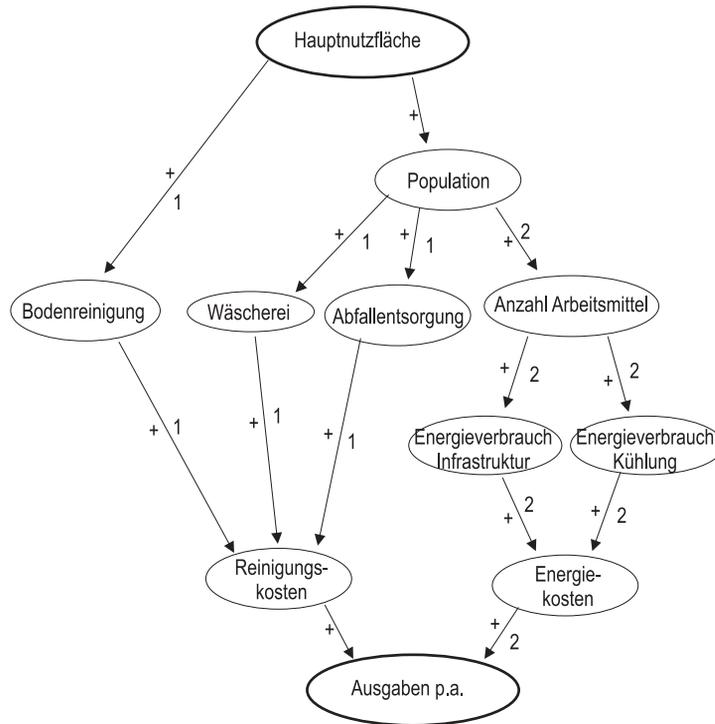


Bild 6.12. Zusammenfassung der Wirkwege der HNF auf die Ausgaben

$$r_1 = \frac{K_W + K_A + K_{BR}}{K_R} \cdot \frac{K_R}{A} \tag{6.17}$$

$$r_2 = \left(\frac{AW_{AM}}{AW_{Geb}} \cdot \frac{AW_{Geb}}{AW_{tot}} \cdot \frac{EV_{Kuehl}}{EV_{Strom}} + \frac{EV_{IS}}{EV_{Strom}} \right) \cdot \frac{K_{EE}}{K_E} \cdot \frac{K_E}{A} \tag{6.18}$$

- AW_{AM} Abwärmeproduktion der Arbeitsmittel
- AW_{Geb} Abwärmeproduktion im Gebäude
- AW_{tot} gesamte Abwärmeproduktion (inkl. Sonneneinstrahlung)
- EV_{Kuehl} Kühlenergieverbrauch
- EV_{Strom} Gesamtenergieverbrauch an elektrischer Energie
- EV_{IS} Energieverbrauch der Infrastruktur
- K_{EE} Kosten für elektrische Energie
- K_E Energiekosten total (inkl. Heizkosten)

Tabelle 6.8. Beispielwerte des Einflusses der Hauptnutzfläche auf die jährlichen Ausgaben (Wirkweg 1)

Kennzahl	Beschreibung	Minimum	Maximum	MW
K_W/K_R	Anteil der Wäschereikosten an den Reinigungskosten	4%	10%	7%
K_A/K_R	Anteil der Abfallentsorgungskosten an den Reinigungskosten	5%	10%	7%

Tabelle 6.8. Beispielwerte des Einflusses der Hauptnutzfläche auf die jährlichen Ausgaben (Wirkweg 1)

Kennzahl	Beschreibung	Minimum	Maximum	MW
K_{BR}/K_R	Anteil der Bodenreinigungskosten an den Reinigungskosten	5%	15%	7%
K_R/A	Anteil der Reinigungskosten an den jährlichen Ausgaben	20%	35%	30%
r_1		2.8%	12.25%	6.3%

Tabelle 6.9. Beispielwerte des Einflusses der Hauptnutzfläche auf die jährlichen Ausgaben (Wirkweg 2)

Kennzahl	Beschreibung	Minimum	Maximum	MW
$\frac{AW_{AM}}{AW_{Geb}}$	Anteil der Abwärmeproduktion der Arbeitsmittel an der Abwärmeproduktion innerhalb des Gebäudes	60%	90%	80%
$\frac{AW_{Geb}}{AW_{tot}}$	Anteil der Abwärmeproduktion innerhalb des Gebäudes an der gesamten Abwärmeproduktion	80%	100%	90%
$\frac{EV_{Kuehl}}{EV_{Strom}}$	Anteil des Kühlenergieverbrauchs am gesamten Stromverbrauch	10%	40%	20%
$\frac{EV_{IS}}{EV_{Strom}}$	Anteil des Energieverbrauchs der Arbeitsinfrastruktur am gesamten Stromverbrauch	30%	65%	50%
$\frac{K_{EE}}{K_E}$	Anteil der Kosten für elektrische Energie an den gesamten Energiekosten	30%	60%	45%
$\frac{K_E}{A}$	Anteil der gesamten Energiekosten an den jährlichen Ausgaben	15%	50%	30%
r_2		5.2%	30%	8.7%

Einfluss der Abwärmeproduktion des Lifts auf die Ausgaben

Die Abwärmeproduktion des Aufzugs bewirkt eine Erhöhung des Kühlenergiebedarfs.

$$r_1 = \frac{AW_{\text{Lift}}}{AW_{\text{TI}}} \cdot \frac{AW_{\text{TI}}}{AW_{\text{Geb}}} \cdot \frac{AW_{\text{Geb}}}{AW_{\text{tot}}} \cdot \frac{EV_{\text{Kuehl}}}{EV_{\text{Strom}}} \cdot \frac{K_{\text{EE}}}{K_{\text{E}}} \cdot \frac{K_{\text{E}}}{A} \quad (6.19)$$

AW_{Lift} Abwärmeproduktion der Aufzugsanlagen

AW_{TI} Abwärmeproduktion der technischen Infrastruktur

Tabelle 6.10. Beispielwerte des Einflusses der Abwärmeproduktion des Aufzugs auf die jährlichen Ausgaben

Kennzahl	Beschreibung	Minimum	Maximum	MW
$\frac{AW_{\text{Lift}}}{AW_{\text{TI}}}$	Anteil der Abwärmeproduktion des Aufzugs an der Abwärmeproduktion der technischen Infrastruktur	20%	50%	40%
$\frac{AW_{\text{TI}}}{AW_{\text{Geb}}}$	Anteil der Abwärmeproduktion der technischen Infrastruktur an der Abwärmeproduktion innerhalb des Gebäudes	10%	40%	20%
$\frac{AW_{\text{Geb}}}{AW_{\text{tot}}}$	Anteil der Abwärmeproduktion innerhalb des Gebäudes an der totalen Abwärmeproduktion	80%	100%	90%
$\frac{EV_{\text{Kuehl}}}{EV_{\text{Strom}}}$	Anteil des Kühlenergieverbrauchs am gesamten Stromverbrauch	10%	40%	20%
$\frac{K_{\text{EE}}}{K_{\text{E}}}$	Anteil der Kosten für elektrische Energie an den gesamten Energiekosten	40%	60%	45%
$\frac{K_{\text{E}}}{A}$	Anteil der gesamten Energiekosten an den jährlichen Ausgaben	15%	50%	30%
r_1		0.01%	2.4%	0.2%

Einfluss des Energieverbrauchs des Aufzugs auf die Ausgaben

$$r_1 = \frac{EV_{\text{Lift}}}{EV_{\text{Strom}}} \cdot \frac{K_{\text{EE}}}{K_{\text{E}}} \cdot \frac{K_{\text{E}}}{A} \quad (6.20)$$

EV_{Lift} Energieverbrauch der Aufzugsanlagen

Tabelle 6.11. Beispielwerte des Einflusses des Liftenergieverbrauchs auf die jährlichen Ausgaben

Kennzahl	Beschreibung	Minimum	Maximum	MW
$\frac{EV_{\text{Lift}}}{EV_{\text{Strom}}}$	Anteil des Energieverbrauchs des Aufzugs am gesamten Stromverbrauch	5%	15%	12%
$\frac{K_{EE}}{K_E}$	Anteil der Kosten für elektrische Energie an den gesamten Energiekosten	40%	60%	45%
$\frac{K_E}{A}$	Anteil der gesamten Energiekosten an den jährlichen Ausgaben	15%	50%	30%
r_1		0.3%	4.5%	1.6%

Diskussion

Eine Steigerung der *HNF* wirkt sich spürbar auf die Ausgaben aus. Speziell die von der Population abhängigen Wirkwege können die Ausgaben stark ansteigen lassen. Später (Abschnitt Mieter) wird aufgezeigt, dass die Population dazu beiträgt, die Wertschöpfung steigern zu können. Dieser Nutzen muss bedeutend höher als die Steigerung der jährlichen Ausgaben sein. Folglich kann davon ausgegangen werden, dass dieser Wirkweg nicht zu Ungunsten des neuen Aufzugs ausgelegt wird und wird daher für die Kostenberechnung vernachlässigt.

Einflüsse auf die Initialkosten*Einfluss der BGF auf die Initialkosten***Tabelle 6.12.** Beispielwerte für den Einfluss der Bruttogeschossfläche auf die einzelnen Kostenstellen der Bauwerkskosten (nach [92])

Kostenstelle	Einfluss der BGF	Anteil an den Bauwerkskosten	Resultierend
Baugrubenkosten	100%	2%	2%
Gründungskosten	100%	2%	2%
Kosten für Aussenwände (Gebäudehülle)	50%	44%	22%
Kosten für Innenwände (Innenausbau ohne Decken)	0%	18%	0%
Kosten für Decken	$\frac{A_{LWF}}{A_{D_{total}}}$	16%	ca. 0.6%
Kosten für Dach	100%	5%	5%
Kosten für baukonstruktive Massnahmen	0%	3%	0%
Kosten für sonstige Massnahmen	0%	10%	0%
TOTAL			31.6%

Wenn die Bruttogeschossfläche bedeutend verkleinert werden kann, könnte dies den Kauf eines Grundstücks mit besseren Attributsausprägungen bedeuten. Dies kann sich dann direkt auf den Quadratmeterpreis oder indirekt auf die Erschliessungskosten, Herrichtung etc. auswirken. Aufgrund der Individualität dieser Möglichkeiten begnügt sich diese Untersuchung mit dem Hinweis auf das Kostenpotential.

Die Bruttogeschossfläche wirkt sich wie in Tabelle 6.12 auf die einzelnen Kostenstellen der Bauwerkskosten aus. Die Werte in der Tabelle bezüglich der Anteile der Baukosten beziehen sich auf die Analyse der *Schweizer Baudokumentation* [92]. Für den Anteil der Wartefläche an der gesamten Deckenfläche ist ein realistischer Wert von 5% angenommen. Mit diesen Werten ergibt sich ein Einfluss der Bruttogeschossfläche auf die Bauwerkskosten von 31.6%. Eine Reduktion der *BGF* um 10% würde die Bauwerkskosten also um nur 3% verkleinern.

Einfluss der HNF auf die Initialkosten

Vergössert man die *HNF*, werden gegebenenfalls mehr Innenwände (inkl. Ausbau) benötigt, wenn die Raumstruktur bezüglich der Bürogrösse identisch bleibt. Zusätzlich wird auch das Deckenvolumen über die Platzeinsparungen im Schacht erhöht. Der Einflussweg der *HNF* auf die Bauwerkskosten über die Innenwände ist in Gl. (6.21) beschrieben:

$$r_{\text{HNF}-K_{\text{BW}_1}} = \left(\frac{V_{\text{IW}_{\text{HNF}}}}{V_{\text{IW}_{\text{total}}}} \cdot \frac{K_{\text{IW}}}{K_{\text{IW}_{\text{total}}}} + \frac{OF_{\text{IW}_{\text{HNF}}}}{2 \cdot OF_{\text{IW}_{\text{total}}}} \cdot \left[\frac{K_{\text{IWB}} + K_{\text{IF}}}{K_{\text{IW}_{\text{total}}}} \right] \right) \cdot \frac{K_{\text{IW}_{\text{total}}}}{K_{\text{BW}}} \quad (6.21)$$

mit

- $V_{\text{IW}_{\text{HNF}}}$ Innenwandvolumen der Hauptnutzfläche
- $V_{\text{IW}_{\text{total}}}$ gesamtes Innenwandvolumen
- K_{IW} Kosten für die Innwand ohne Maler- und Gipsarbeiten
- $K_{\text{IW}_{\text{total}}}$ gesamte Kosten für Innenwände (mit Maler und Gipsarbeiten)
- $OF_{\text{IW}_{\text{HNF}}}$ Oberfläche der Innenwände der HNF
- $OF_{\text{IW}_{\text{total}}}$ gesamte Oberfläche der Innenwände
- K_{IWB} Kosten für Innenwandbekleidung (Maler- und Gipsarbeiten)
- K_{IF} Kosten für Innenfenster- und Türen
- K_{BW} Bauwerkskosten

Tabelle 6.13. Beispielwerte für den Einfluss der HNF über die Innenwände auf die Bauwerkskosten

Kennzahl	Beschreibung	Minimum	Maximum	MW
$V_{\text{IW}_{\text{HNF}}}/V_{\text{IW}_{\text{total}}}$	Anteil des Innenwandvolumens HNF am gesamten Innenwandvolumen	30%	60%	40%
$K_{\text{IW}}/K_{\text{IW}_{\text{total}}}$	Anteil der Kosten der Innenwände (ohne Belag) an den gesamten Innenwandkosten	10%	30%	12%
$O(F_{\text{IW}_{\text{HNF}}}/(2 \cdot OF_{\text{IW}_{\text{total}}}))$	Halber Anteil der Innenwandoberfläche HNF an der gesamten Innenwandoberfläche	15%	30%	20%
$((K_{\text{IWB}} + K_{\text{IF}})/K_{\text{IW}_{\text{total}}})$	Anteil der Kosten für Innenwandbekleidung und für Innenfenster und -türen an den gesamten Kosten für Innenwände	90%	70%	88%
$K_{\text{IW}_{\text{total}}}/K_{\text{BW}}$	Anteil der gesamten Innenwandkosten an den Bauwerkskosten	10%	20%	18%
$r_{\text{HNF}-K_{\text{BW}}}$		1.7%	7.8%	4.0%

Der Einfluss über die Deckenfläche auf die Bauwerkskosten ist in Gl. (6.22) beschrieben. Dabei besteht die Deckenfläche aus der Bruttogeschossfläche abzüglich der Treppen- und der Schachfläche.

$$r_{\text{HNF-BW}_2} = \frac{\text{HNF}}{A_{\text{Decke}}} \cdot \frac{K_{\text{Decke}}}{K_{\text{BW}}} \quad (6.22)$$

A_{Decke} Deckenfläche

Dieses Verhältnis liegt leicht höher als das zwischen *HNF* und *BGF*. Die Schätzung des häufigsten Einflusses liegt bei 50%. Die Decken haben einen Anteil an den Bauwerkskosten von ca. 16%, so dass der gesamte Einfluss sich auf ca. 8% beläuft.

Durch die Erhöhung der Population können sich theoretisch zusätzliche Kosten für technische Anlagen oder die Erschliessung ergeben. Diese Wirkung hängt von gebäudespezifischen Faktoren ab, die nicht in der gewünschten Allgemeinheit abschätzbar sind und nur bei einer starken Steigerung der Population auftreten können – und nicht müssen. Bei kleinen Gebäuden kann dieser Effekt vernachlässigt werden, bei mittleren und hohen Gebäuden wird dies später gesondert diskutiert. Der Einfluss der Bauwerkskosten auf die Initialkosten des Gebäudes sind:

$$r_{\text{BW-IK}} = \frac{K_{\text{BW}}}{K_{\text{Bau}}} \cdot \frac{K_{\text{Bau}}}{I_0} \quad (6.23)$$

Das Verhältnis zwischen Bauwerkskosten und gesamten Baukosten liegt gemäss der *Schweizer Baudokumentation* [92] und internen ETH-Bauabrechnungen bei ca. 75%. Dasjenige der Baukosten zu den gesamten Initialkosten des Gebäudes wird – abhängig vom Grundstückspreis – ebenfalls bei ca. 75% geschätzt.

Einfluss der Aufzugskosten auf die Initialkosten:

Der Aufzug hat in niedrigen und mittleren Gebäuden einen Kostenanteil an den Baukosten von ca. 0.5% (vgl. [92]), bei grösseren Gebäuden kann der Anteil auf ca. 2% steigen. Der Einfluss der Aufzugskosten auf die Initialkosten wird zu

$$r_{\text{IK}_{\text{Lift}}-I_0} = \frac{IK_{\text{Lift}}}{K_{\text{Bau}}} \cdot \frac{K_{\text{Bau}}}{I_0} \quad (6.24)$$

Einflüsse auf die Rendite

Der Einfluss der jährlichen Einnahmen auf die Rendite ist:

$$r_{\text{E-DCF}/I_0} = \frac{E_0/I_0}{(1+\varepsilon_I)(E_0/I_0 - A_0/I_0)} \quad (6.25)$$

Derjenige der jährlichen Ausgaben ist:

$$r_{\text{A-DCF}/I_0} = \frac{-A_0/I_0}{(1+\varepsilon_I)(E_0/I_0 - A_0/I_0)} \quad (6.26)$$

Analog dazu der Einflusswert der Initialkosten:

$$r_{\text{I-DCF}/I_0} = \frac{-1}{1+\varepsilon_I} \quad (6.27)$$

Tabelle 6.14. Beispielwerte für die Einflüsse auf die Rendite ($\epsilon_I=0$)

Kennzahl	Minimum	Maximum	Realwert
$\frac{E/I_0}{E/I_0 - A/I_0}$	105%	145%	124%
$\frac{A/I_0}{E/I_0 - A/I_0}$	5%	45%	24%

6.2.1.7 Diskussion: HNF vs. BGF

Eine Steigerung der jährlichen Einnahmen steigert die Rendite immer um 100% mehr als dieselbe relative Verkleinerung der jährlichen Ausgaben. Setzt man kleine Änderungen voraus, beeinflussen die Initialkosten die Rendite zu -100% , womit der Einfluss der jährlichen Einnahmen immer grösser als derjenige der Initialkosten sein wird, auch wenn der Unterschied klein sein kann (zur Erinnerung: Der minimale Einfluss ist $+105\%$, der maximale $+145\%$). Der Einfluss der Liftfläche auf die Hauptnutzfläche basiert ebenso wie derjenige auf die Bruttogeschossfläche auf dem Verhältnis der beiden jeweiligen Parameter. Da die *HNF* kleiner als die *BGF* sein muss, ist der Einfluss der Liftfläche auf die *HNF* immer grösser als derjenige auf die *BGF*. Diese beiden Eigenschaften der beiden grundsätzlichen Wirkwege weisen darauf hin, dass sich im allgemeinen die Beeinflussung der *HNF* positiver auf die Rendite auswirkt. Wird die *BGF* derart verkleinert, dass ein neues Grundstück gefunden werden kann, hat dies eine fundamentale Veränderung der gesamten Gebäudekennwerte zur Folge, so dass der Nutzen wiederum grösser sein kann.

Es kann davon ausgegangen werden, dass die Option *HNF* allen Investoren offensteht, die sich Gedanken über ein Aufzugssystem machen, da zu diesem Zeitpunkt die Planung meist schon angefangen hat. Wenn der Investor sich dann für ein neues Grundstück entscheidet, hat die *BGF* in ihrer Gesamtwirkung eine grössere Steigerung der Rentabilität zur Folge als dies die Hauptnutzfläche erreicht hätte. Die Fokussierung auf die Kostenwirkung der *HNF* ist folglich konservativer.

6.2.1.8 Bewertungskriterien und ihre Einflussstärke

Die folgenden Bewertungskriterien sind mit dem aktuellen Wissensstand definierbar. Sie sind zusammen mit den resultierenden Einflusswerten in Tabelle 6.15 aufgeführt. Die Aufzugsfläche hat die mit Abstand grösste Einflussstärke auf die Rentabilität. Mit den erhaltenen Werten lassen sich nun die Mehrkosten der neuen Technologie mit der Platzreduktion in Beziehung setzen und so das Potential besser ausloten.

Tabelle 6.15. Bewertungsattribute aus der Sicht des Investors und ihre Einflussstärken

Attribut	mittlere Einflussstärke
Aufzugsfläche	-10%
Abwärmeproduktion Lift	0%
Energieverbrauch Quantität	-0.4%
Initialkosten Lift	-0.5%

6.2.2 Einflussmodell – Mieter

6.2.2.1 Grundinteressen des Mieters

Die Interessensgruppe *Mieter* steht für die Person oder Firma, die die Entscheidung für den Verbleib in einem Gebäude trifft – im Gegensatz zur Gruppe der direkten Benutzer oder, in Bezug auf den Lift, Passagiere, die das Gebäude nur nutzen und keinen direkten Einfluss auf die Entscheidung haben. Das erste Grundinteresse des Mieters ist sein *Gewinn*. Daneben ergibt sich aus der Verantwortlichkeit des Mieters gegenüber den Nutzern das Grundinteresse an Sicherheit, hier *Sicherheitsgefühl* genannt. Durch die subjektive Feststellung eines Mankos entsteht daraus das *Sicherheitsbedürfnis*.

Viele Mieter möchten ihre Werthaltungen nach aussen kommunizieren, was sich im Grundinteresse an Selbstdarstellung widerspiegelt. Wird die Repräsentationsfähigkeit vom neuen Aufzugskonzept beeinträchtigt, kann ein Akzeptanzproblem entstehen. Die Selbstdarstellung kann auch einen Einfluss auf die Einnahmen aufweisen, da die Corporate Identity und das *Image* auf den Kunden ausgerichtet sind.

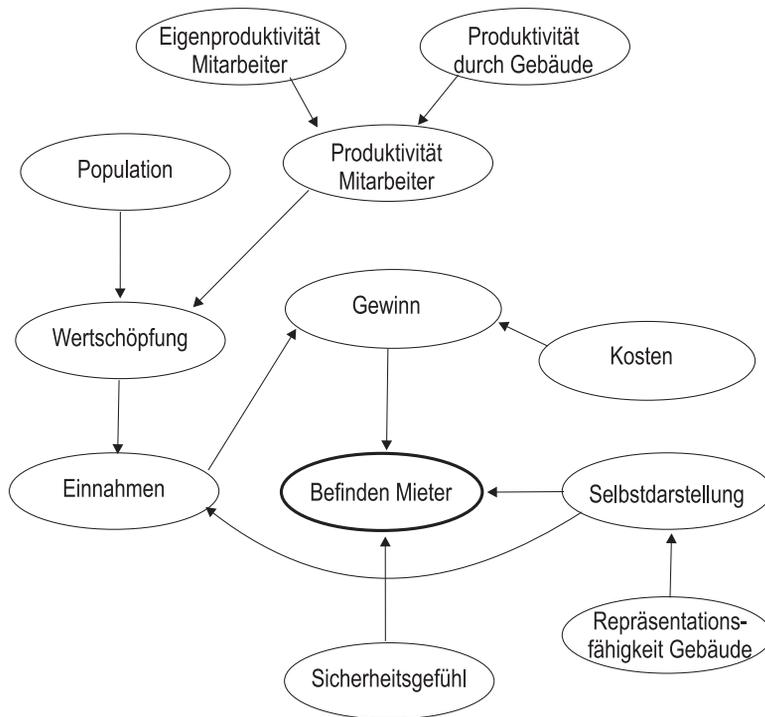


Bild 6.13. Einflüsse auf das Befinden des Mieters

6.2.2.2 Einflüsse auf den Gewinn

Die Kosten für den Mieter teilen sich vorderhand in die Lohnkosten und in die Mietkosten für die Nutzfläche auf. Daneben treten auch weitere Kostenfaktoren wie Steuern auf, doch spielen diese in Bezug auf den Aufzug keine Rolle und werden vernachlässigt. Durch die Erhöhung der Population steigen die Personal- und die Mietkosten. Im Gegenzug dazu erhöhen sich durch den Mitarbeiterzuwachs auch die Einnahmen. Es wird angenommen, dass sowohl die Kosten als auch die Wertschöpfung gleichermassen ansteigen, so dass der Gewinn für den Mieter schliesslich ebenfalls ansteigt. Die Wertschöpfung einer Firma wird nicht nur von der Anzahl der Mitarbeiter beeinflusst, sondern auch von deren Produktivität. Diese lässt sich in die individuelle Produktivität des Mitarbeiters und in eine gebäudespezifischen Produktivität unterteilen. Ein Gebäude beeinflusst die Produktivität der Ausführung der Arbeit selbst, zum einen über die Ausstattung an effizienzsteigernden Geräten, zum anderen über das Raumklima, v. a. Ruhe, welches den Mitarbeiter konzen-

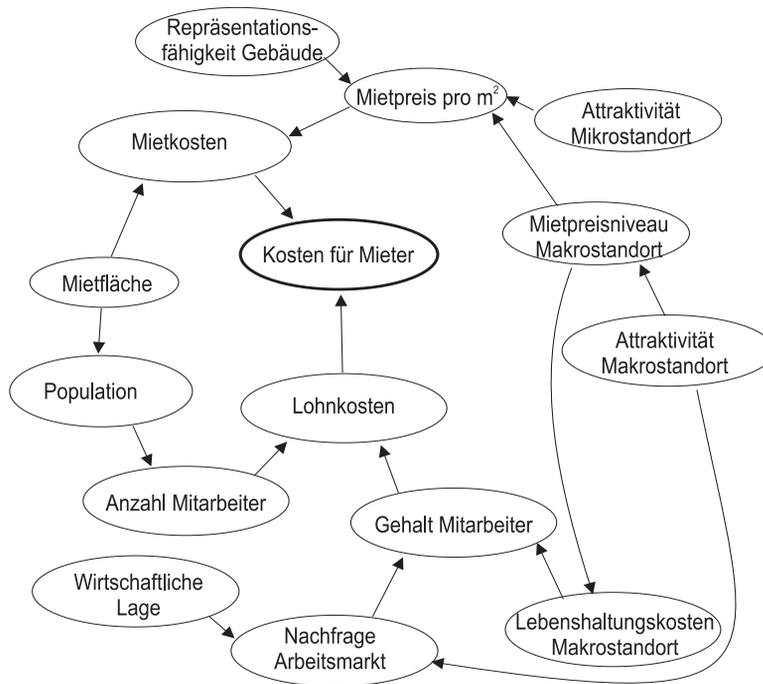


Bild 6.14. Modell der Kosten für den Mieter

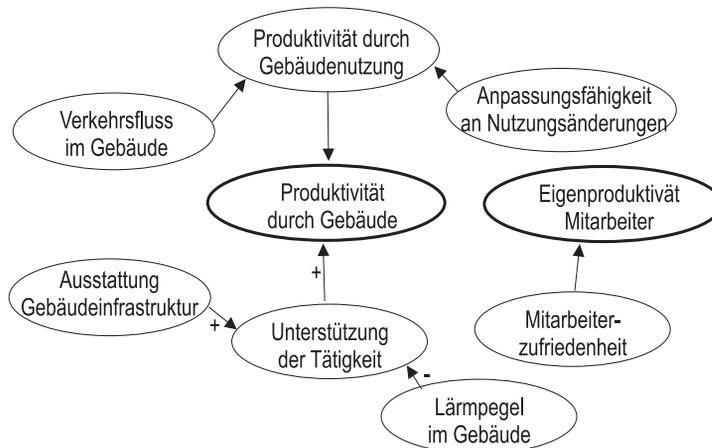


Bild 6.15. Einflüsse auf die Produktivität

triert arbeiten lässt. Die Ausführung der eigentlichen Tätigkeit bedingt jedoch gewisse Wege, die mehr oder weniger häufig zu gehen sind – beispielsweise um Dokumente aus einem zentralen Druckerraum abzuholen. Ein nicht zu vernachlässigender Aspekt stellt die **Anpassungsfähigkeit** des Gebäudes für zukünftige Nutzungsänderung dar: Wenn beispielsweise ein Unternehmen von flexiblen auf fixe Arbeitszeiten umstellen möchte, ist eine Grundvoraussetzung dafür, dass die Verkehrssysteme die benötigte Mehrkapazität bereitstellen können.

Der **Verkehrsfluss** im Gebäude lässt sich in die horizontale und in die vertikale Richtung unterteilen. Die Reduktion einer Teilkapazität wirkt sich durch die Bildung eines Flaschenhalses direkt auf den Gesamtverkehr aus.

Der Aufzug – genauer gesagt die minimale Kapazität der Aufzugsgruppe – kann sich auf die notwendige Gehfläche auswirken, wenn in einem ausgedehnten Gebäude anstelle von zwei Gruppen nur eine eingesetzt werden könnte. Während beim heutigen Aufzugssystem die Schächte auch einzeln agieren können, wird dies beim neuen System nicht zwingend der Fall sein. Hier zeigt sich zudem, dass eine Erhöhung der Population auch einen Einfluss auf die Gehflächen haben kann, der abhängig von der Kapazitätsreserve ist. Die Reduktion der Liftfläche würde also eine Vergrößerung

der restlichen Verkehrsfläche bewirken, die wiederum die Steigerung der *HNF* verkleinert – eine typische Einflussrückkopplung. Sie wird später genauer untersucht.

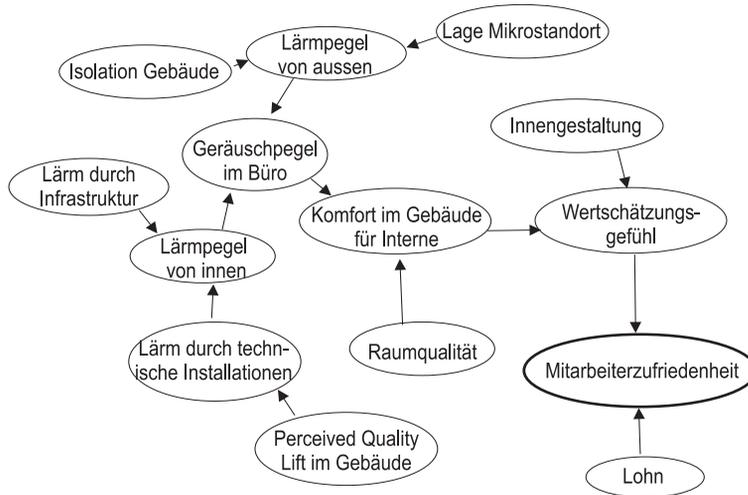


Bild 6.16. Modell der Einflüsse auf die Mitarbeiterzufriedenheit

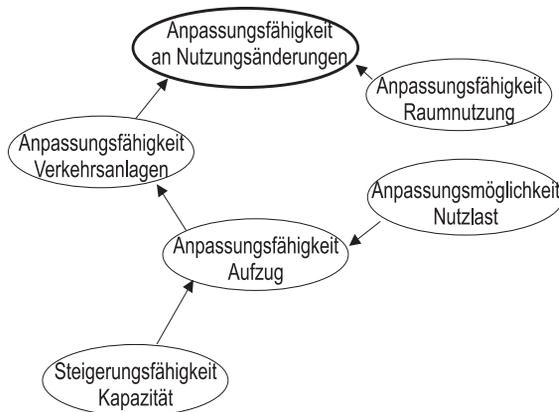


Bild 6.17. Modell der Einflüsse auf die Anpassung an Nutzungsänderungen

Beim vertikalen Verkehrsfluss lässt sich zwischen Personen- und Güterverkehr unterscheiden. Damit ist nicht derjenige Gütertransport gemeint, der mit separaten Warenaufzügen bewegt wird, sondern die kleineren Gegenstände, die im Personenaufzug transportiert werden. Dies betrifft zum Beispiel Möbeltransporte in kleineren Büro- oder Wohnhäusern ohne eigenen Warenlift. Ausschlaggebend ist hier die Kabinengröße im Vergleich zur heutigen Anlage. Beim Personentransport gilt es, den Ausfall aufgrund von technischen Störungen zu berücksichtigen. Dafür wird eine theoretische Kapazität eingeführt, die durch die durchschnittliche Anzahl Störungen und deren Dauer pro Periode zur Referenzkapazität reduziert wird. Aus der Sicht des Mieters wird eine sachliche Betrachtung eines Komponentenausfalls bemüht, während der Passagier dadurch, dass er eine beträchtliche Verschlechterung seines Komforts in Kauf nehmen muss, dies stärker gewichtet wird. Die theoretische Kapazität wird von den verschiedenen Transportkapazitäten während des normalen Tagesablaufs beeinflusst, am wichtigsten ist jedoch die Kapazität während der Aufwärtsspitze. Für die Wartungsausfälle ist hier angenommen worden, dass sie soweit möglich während der Niedrigverkehrsperioden (Interfloor, vgl. Abschnitt 7.1) ausgeführt werden.

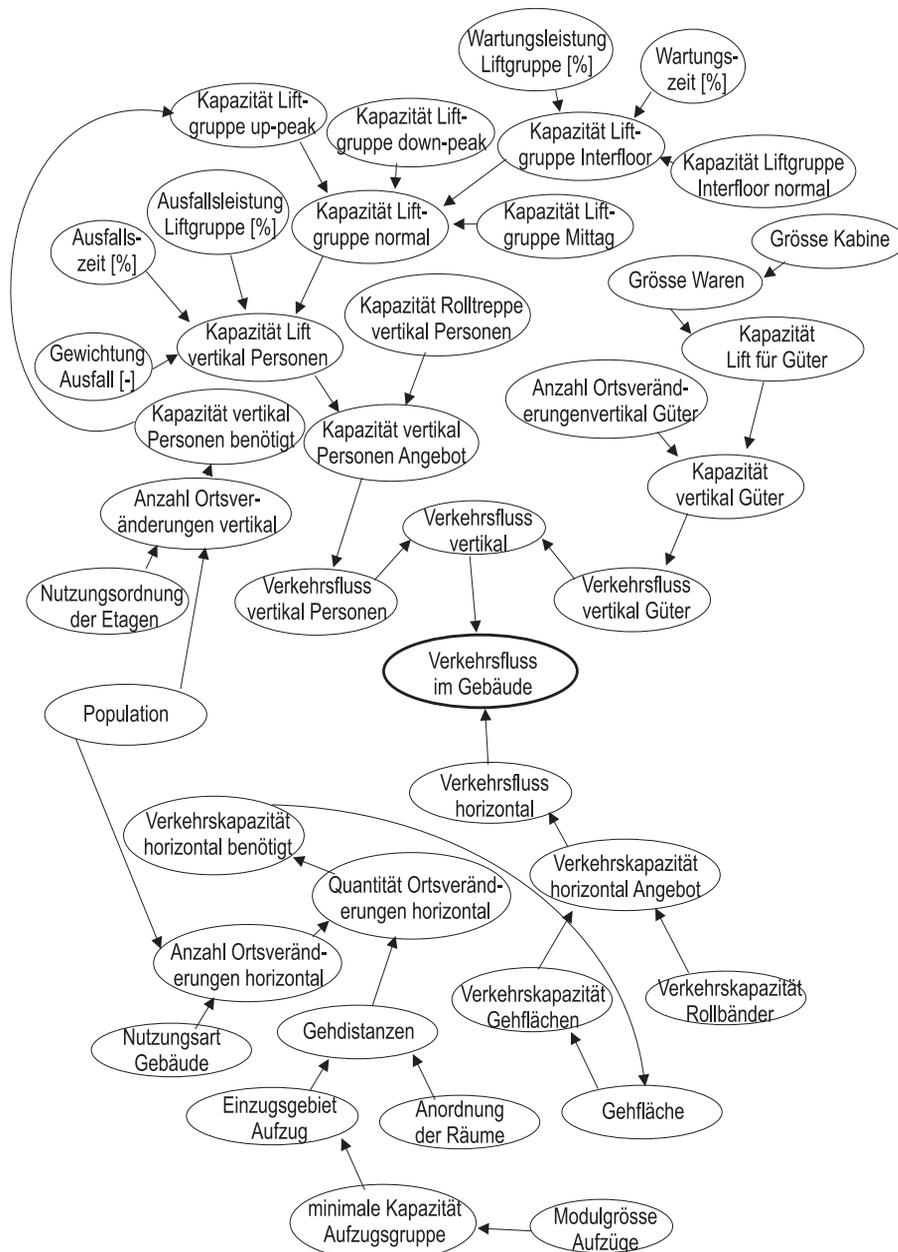


Bild 6.18. Modell der Einflüsse auf den Verkehrsfluss im Gebäude

6.2.2.3 Einflüsse auf das Grundinteresse Selbstdarstellung

Der Wunsch nach Repräsentation der Firmenkultur durch das Gebäude ist ebenfalls ein wichtiger Antrieb für Neubauten. Als Teil der *Corporate Identity* beeinflusst die Aussengestaltung des Firmensitzes den ersten Eindruck gegenüber Kunden und Gästen. Ebenso wichtig ist die Innengestaltung der Räume, mit denen Gäste in Kontakt kommen, wie z. B. die Empfangshalle oder Sitzungszimmer. Da in einem hohen Gebäude praktisch alle Gäste den Lift benutzen, ist dieser ein wesentlicher Bestandteil der Gebäudegestaltung. Neben der Optik nimmt ein Kunde auch die Geräusche und Vibrationen als Teil des Komfortgefühls wahr.

Ein innovatives Aufzugssystem können die Corporate Identity positiv beeinflussen, wenn es seine Innovationskraft auch kommunizieren kann. In Bild 6.19 sind Beispiele dafür eingefügt. Auch der Energieverbrauch des Aufzugs kann als Teil der repräsentativen Gebäudefunktionen gesehen werden, und so dem ökologischen Selbstverständnis der Firma ent- bzw. widersprechen.

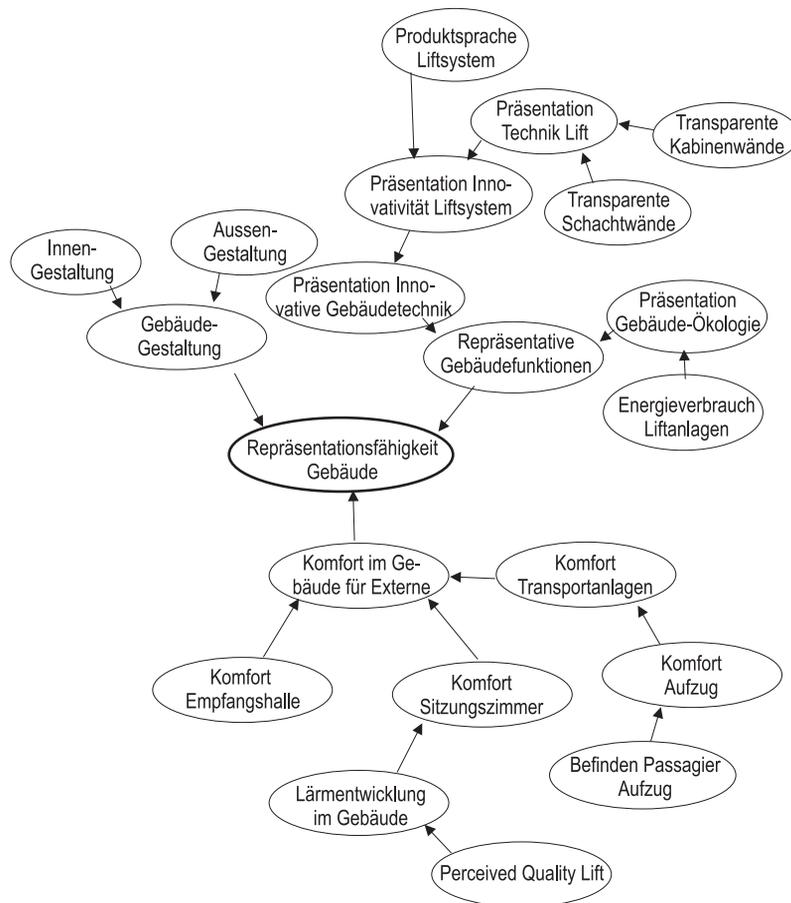


Bild 6.19. Modell der Einflüsse auf die Repräsentationsfähigkeit des Gebäudes

6.2.2.4 Einflüsse auf das Sicherheitsgefühl

Das Sicherheitsgefühl wird einerseits von der rein sachlichen Sicherheitsbetrachtung beeinflusst, andererseits von der Kommunikation der Sicherheit. Beim Lift werden die kommunikativen Aspekte in der Diskussion über den Passagier behandelt, da jeder Repräsentant des Mieters gleichzeitig auch Passagier ist und als solcher urteilt. Deshalb wird hier auf die sachliche Beurteilung fokussiert. Sie äussert sich sowohl in der Personensicherheit beim normalen Benutzen, als auch bei Katastrophenfällen wie Erdbeben oder Feuer. Im Modell von Bild 6.20 ist die Möglichkeit der Evakuierung durch den Aufzug als mögliche Antwort auf das Sicherheitsbedürfnis eingeführt, obwohl davon heute noch nicht Gebrauch gemacht wird. Notwendig ist ebenfalls ein Feuerwehraufzug, der speziell für den Brandfall präpariert ist. Solche Aufzüge sind heute vor allem in höheren Gebäuden üblich, benötigen jedoch eine feuerfeste Spezialausstattung. Wenn es gelingen sollte, das neue Liftsystem ohne Mehrkosten feuerwehraufzuglich zu machen, wäre dies ein bedeutender Vorteil.

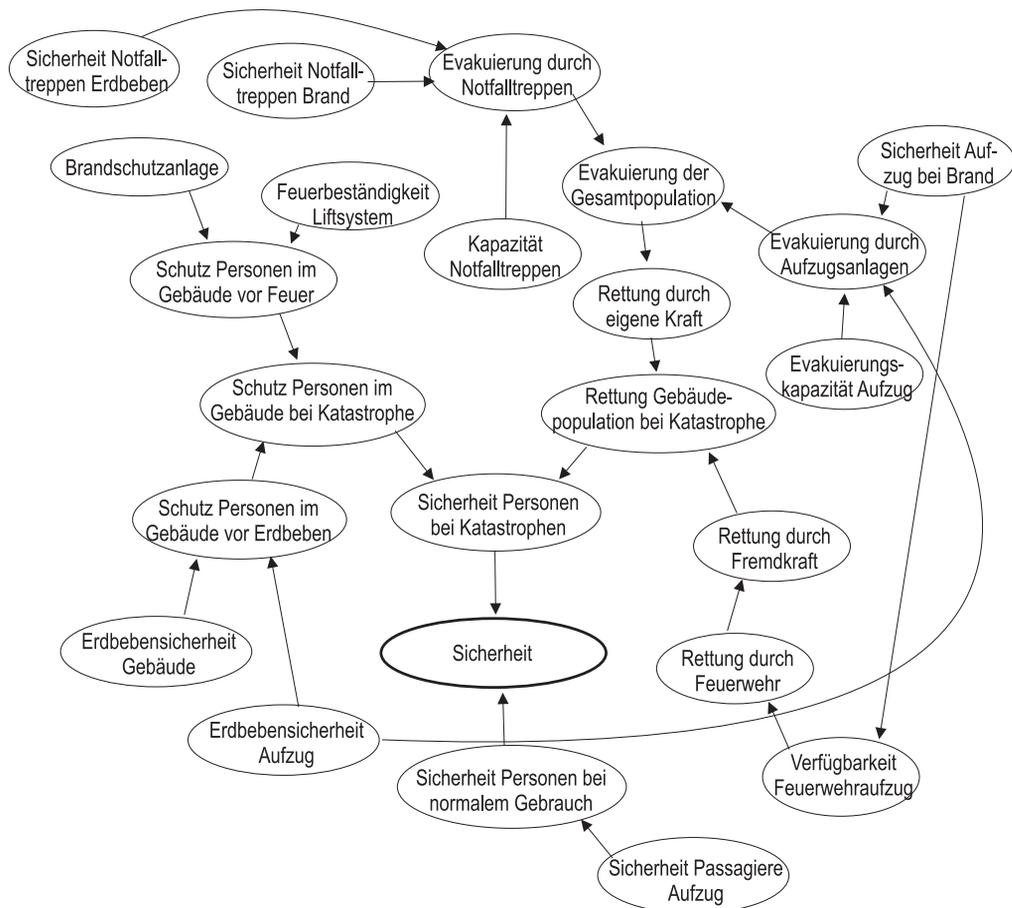


Bild 6.20. Modell der Einflüsse auf die Sicherheit im Gebäude

6.2.2.5 Zusammenfassung der relevanten Liftattribute

Aufzugsfläche

Die Reduktion der Aufzugsfläche bietet die Möglichkeit zu mehr Arbeitsplätzen und somit eine Möglichkeit, den Gewinn zu erhöhen. Die Akzeptanz des Mieters ist hier also grundsätzlich gegeben.

Perceived Quality

Die Qualität des Aufzugs, die sich über Vibrationen, Wärme und Lärm in den anliegenden Räumen äussert, beeinflusst die Mitarbeiterzufriedenheit, die Produktivität durch das Gebäude und die Repräsentationsfähigkeit, indem der Komfort im Gebäude reduziert wird. In der Aufzugskabine wirkt die *Perceived Quality* ebenfalls auf die Repräsentationsfähigkeit des Gebäudes. Sie ist also ein wichtiges Attribut des Aufzugs, das keinesfalls verschlechtert werden darf.

Handling Capacity

Die Kapazität der Aufzugsanlagen beeinflusst den Verkehrsfluss und somit – über die Produktivität – den Gewinn. Somit ist die Kapazität eine wichtige Festforderung an das neue Aufzugssystem.

Ausfall und Wartung

Ein Ausfall des Liftsystems wird kategorisiert durch die verbleibende Leistung sowie durch die übliche Ausfallsdauer. Eine Verminderung der Förderleistung reduziert die Produktivität, weshalb die Ausfalls- sowie Wartungskapazität gegenüber den heutigen Werten nicht verschlechtert werden dürfen. Dagegen ist eine Steigerung der Ausfallsleistung sowohl im Wartungs- als auch im Störfall interessant für den Mieter.

Kabinengrösse

Die Kabinengrösse ist ausschlaggebend dafür, ob mit dem Liftsystem auch Warentransporte ausgeführt werden können. Demnach sollte bei den Kabinengrössen mindestens eine angeboten werden, die für diese Zwecke geeignet ist.

Modulgrösse Aufzugsgruppe

Das Zusammenfassen mehrerer herkömmlicher Aufzugsgruppen hat längere Wege und gegebenenfalls einen höheren Platzverbrauch für Gehwege zur Folge. Beides könnte zu Akzeptanzschwierigkeiten führen.

Energieverbrauch Aufzug

Als Teil der *Corporate Identity* kann das Umweltbewusstsein eine Rolle spielen. In diesen Fällen würde ein höherer Energieverbrauch zu Akzeptanzproblemen führen, ein niedriger zu verbessertem Verkaufspotential. Der Einfluss auf die Kostenseite ist bei der Interessensgruppe *Investor* berücksichtigt.

Gestaltungsmöglichkeiten

Sowohl das äussere Erscheinungsbild als auch die Innenansicht eines Aufzugs beeinflussen die Repräsentationsfähigkeit eines Gebäudes. Deshalb ist es wichtig, dass der Aufzug die Gestaltungsmöglichkeiten bietet, damit er zur gewünschten Innen- und Aussengestaltung passt.

Präsentation der Innovation

Die Präsentation einer neuen, innovativen oder gar inventiven Technologie kann sich günstig auf die Repräsentationsfähigkeit auswirken.

Anpassungsfähigkeit Kapazität / Nutzlast

Eine angepasste Gebäudenutzung ist für den Mieter wichtig, damit seine Angestellten möglichst produktiv arbeiten können. Ein flexibles Gebäude wirkt sich deshalb auf die Vermietbarkeit des Gebäudes und somit zur Minderung des finanziellen Risikos aus. Der Beitrag des Aufzugs dazu würde in der Anpassungsfähigkeit der Kapazität und der Nutzlast liegen.

Kurz- und langfristige Feuerbeständigkeit

Eine beschränkte Feuerbeständigkeit ist wichtig für die Sicherheit der Passagiere beim Ausbruch eines Feuers, damit sie sich noch aus der Kabine retten können. Zudem sollten die Kabinen die Ausbreitung des Feuers durch den Liftschacht verhindern helfen. Bei Feuerwehraufzügen muss diese Feuerbeständigkeit langfristig sein. Ein grundsätzlich feuerbeständiger Personenaufzug würde die Evakuierung bei Brand ermöglichen und so zur Sicherheit im Gebäude beitragen.

Evakuierungskapazität

Ein Gebäude wird heutzutage hauptsächlich bei Bombendrohungen durch den Aufzug evakuiert. Hochhäuser sind in jedem Fall auf den Aufzug angewiesen, da die Fluchtdistanzen über Treppen zu lang sind. Deshalb wäre ein Einsatz des Aufzugs bei Brand und Erdbeben mindestens diskussionswürdig. Für diese Szenarien gelten andere Anforderungen an die Kapazität.

Sicherheit beim normalen Gebrauch

Der Verantwortungsträger im Gebäude hat naturgemäss grosses Interesse an der Betriebssicherheit des Aufzugs, was sowohl die Sicherheit bei Versagen als auch die Benutzungssicherheit (z. B. Einklemmen) einschliesst.

Erdbebensicherheit

Bei Eintritt eines Erdbebens muss die Sicherheit der Passagiere gewährleistet sein.

6.2.3 Einflussmodell – Architekt

6.2.3.1 Grundinteressen des Architekten

Die Rolle des Architekten ist geprägt durch das Zusammenbringen von Gestaltung und Nutzung. Gemäss *Schach* [89] ist er neben der künstlerischen Leistung verantwortlich für die Funktionalität des Gebäudes, für dessen Wirtschaftlichkeit und dessen Ausführung. Jedes Aufgabengebiet weckt eigene Bedürfnisse, die zum Teil konträr zueinander wirken. Als Dienstleister ist es das eigentliche Interesse des Architekten, die Wünsche des Auftraggebers möglichst gut zu erfüllen, wofür er dann sein Honorar erhält. Es ist eine anspruchsvolle Aufgabe, die verschiedenen Bedürfnisse in einem Gebäude zu vereinen, deshalb weckt jegliche Erschwernis dieser Arbeit Unwillen (z. B. durch zusätzliche Einschränkungen bzw. neue Zwänge). Das Interesse an Selbstdarstellung ist dem Architekten häufig ebenfalls wichtig, da besonders Repräsentationsbauten häufig mit dem Namen des Architekten verbunden werden.

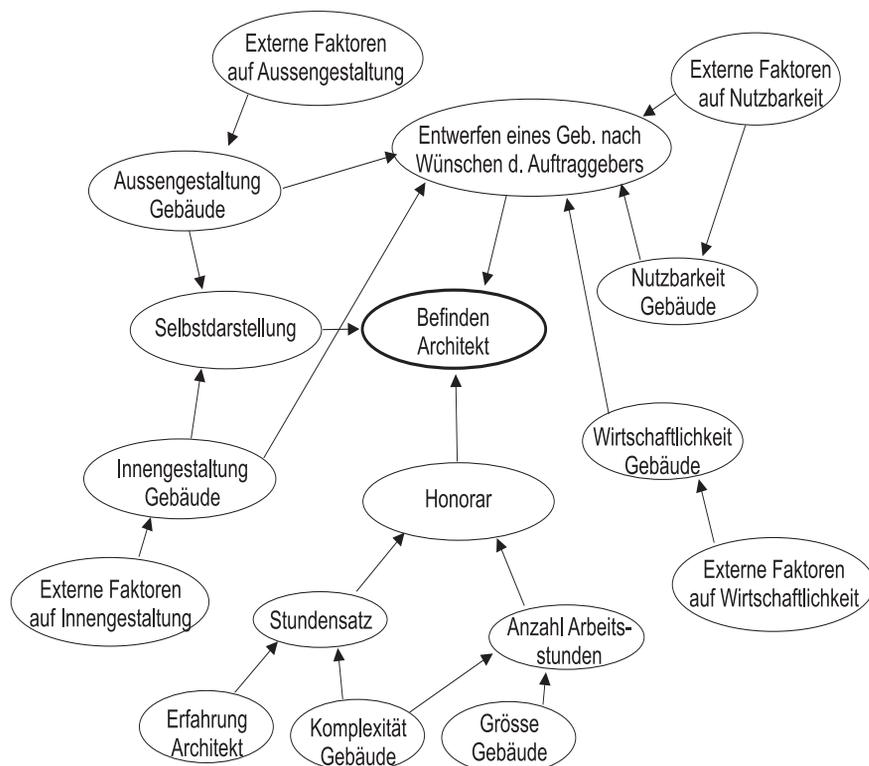


Bild 6.21. Modell der Einflüsse auf das Befinden des Architekten

6.2.3.2 Einflüsse auf den Entwurf

Der Wunsch des Architekten, den Auftrag zur vollsten Zufriedenheit des Kunden auszuführen, führt dazu, dass Störfaktoren, die seine Tätigkeit erschweren oder gewisse Ideen nicht umsetzbar machen lassen, sich negativ auf sein Befinden auswirken. In Bild 6.21 sind diese als *externe Faktoren* beschrieben und in Bild 6.22 weiter detailliert. Zusätzlich zu seiner eigentlichen Rolle als reiner Funktionsträger muss der Aufzug aus der Sicht des Architekten sich im wesentlichen gut in das Gebäudekonzept integrieren können. Angefangen bei der Aussengestaltung, die von einem Aufzug mit Überfahrt und Maschinenraum gestört wird oder für die der Aufzug ein Gestaltungselement (Fassaden-/Panoramalift) sein kann, über die Innengestaltung, in die sich der Lift mit seinen Bedienelementen, Türen und Kabinengestaltungen integrieren sollte, um das Repräsentationsbedürfnis des Kunden zu erfüllen, bis zu den sachlichen Kriterien wie die Nutzbarkeit und Wirtschaftlichkeit gibt es eine Reihe von Aufzugsattributen, die die Interessen des Architekten berühren. Eine Verschlech-

terung dieser Aufzugsattribute wird nicht direkt das Resultat verschlechtern, doch der Architekt würde sich durch die neue Technologie in seiner Arbeit gestört fühlen und sie schlechter annehmen.

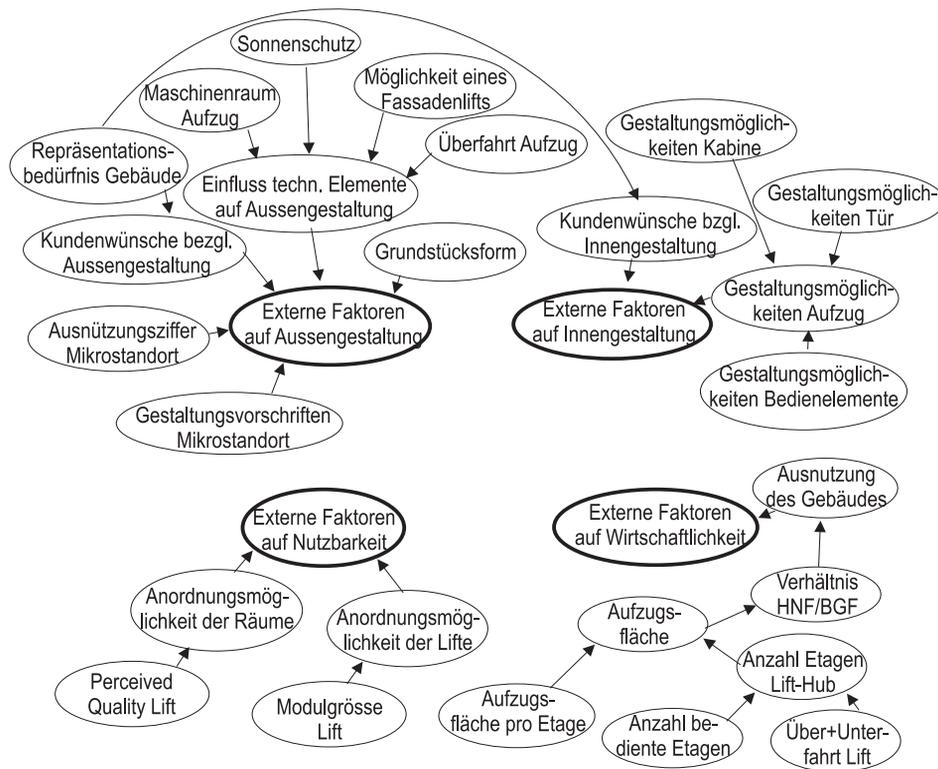


Bild 6.22. Modell der Einflüsse auf die externen Faktoren aus der Sicht des Architekten

6.2.3.3 Einflüsse auf das Honorar

Es gibt mehrere Vergütungsarten für Architekten: Das initialkostenabhängige, das von den Arbeitspaketen und deren Komplexität abhängige, und das vom Stundenaufwand abhängige Honorar. Bei gleichbleibender BGF vergrössern sich die Initialkosten des Gebäudes durch eine neue Liftechnologie. Das initialkostenabhängige Honorar würde steigen, die anderen beiden Varianten blieben gleich.

6.2.3.4 Zusammenfassung der Einflüsse auf den Architekten

Maschinenraum, Überfahrt, Unterfahrt

Jegliche Volumina, die zusätzlich zum eigentlichen Funktionsvolumen des Aufzugs, dem befahrbaren Liftschacht, benötigt werden, sind aus der Sicht des Architekten unerwünscht. Sie verschlechtern naturgemäss die Ausnutzung des Gebäudes, erschweren aber auch zusätzlich die Anordnung der übrigen Räume. Dazu kommt, dass v. a. durch die Überfahrt und den Maschinenraum der ästhetische Eindruck des Gebäudes beeinträchtigt werden kann.

Perceived Quality gegen aussen

Beeinträchtigt der Aufzug die Nutzungsmöglichkeit der angrenzenden Räume, erschwert dies die Arbeit des Architekten. Zu berücksichtigen sind: Vibrationen, Lärm und Wärme.

Modulgröße Lift

Die Modulgröße beeinflusst die Flexibilität bei der Anordnung der Schächte und so gesamthaft die Möglichkeiten der räumlichen Ordnung.

Gestaltungsmöglichkeiten Kabine, Tür, Bedienelemente

Es ist für den Architekten wichtig, den Aufzug an das Innengestaltungskonzept anpassen zu können. Ohne diese Möglichkeit würde der ästhetische Eindruck geschmälert.

Aufzugsfläche

Die Aufzugsfläche beeinflusst die Flächenausnutzung des Gebäudes. Diese ist zwar dem Architekten primär nicht wichtig, kann aber bei der Teilnahme an einem Wettbewerb eine Rolle spielen, da hier die Flächenausnutzung des Gebäudes häufig ein Bewertungskriterium für den Gesamtentwurf ist. Und da kann ein solcher Aufzug einen «Heimvorteil» schaffen.

6.2.4 Einflussmodell – Fachplaner

6.2.4.1 Einfluss auf die Grundinteressen des Aufzugsplaners

Der *Liftberater* wird häufig bei hohen Gebäuden oder solchen mit komplexem Verkehrsfluss zu Rate gezogen. Er nimmt eine Mittlerrolle zwischen den Bedürfnissen der Bauherren und den technischen Attributen des Aufzugs ein. Als Dienstleister besteht sein Interesse – gleich wie beim Architekten – im Erfüllen der Bedürfnisse seines Auftraggebers und im damit verbundenen Honorar.

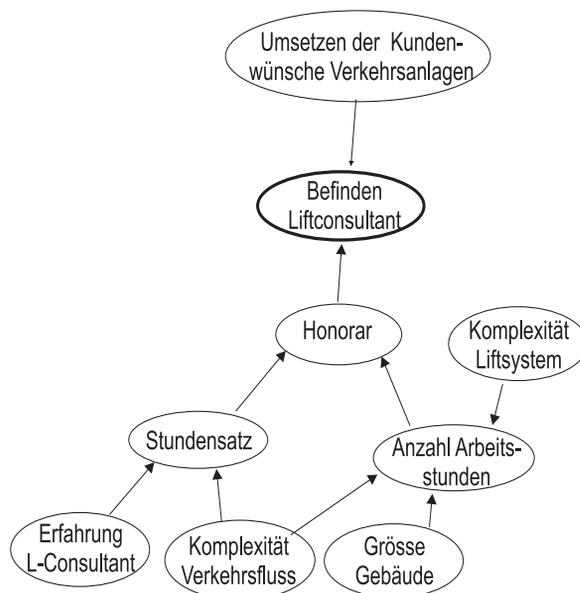


Bild 6.23. Modell der Einflüsse auf das Befinden des Liftconsultants

Da der Aufzugsplaner die Interessen seines Kunden vertritt, müssen keine neuen Beziehungen ins Modell aufgenommen werden. Der Liftberater ist am stärksten von einem neuen Liftsystem betroffen. Er muss sich in die neue Materie und in eine neue – bisher ungekannte – Vielfalt im Angebot der Lifthersteller einarbeiten. Auf der einen Seite könnte er erfreut darüber sein, dass die Komplexität der Aufzugsplanung steigt und seine Dienste häufiger und intensiver in Anspruch genommen werden. Auf der anderen Seite kann der Aufzugsberater sich am anfänglichen Aufwand stören. Vernachlässigt man politische Interessen, kann man davon ausgehen, dass ein Liftconsultant ein Produkt, welches den Interessen seines Auftraggebers besser entspricht, auch gerne weiterempfiehlt. Es werden so keine weiteren Attribute relevant.

6.2.5 Einflussmodell – Ausführende Firmen

6.2.5.1 Grundinteressen der ausführenden Unternehmen

Auch der Bauunternehmer ist Dienstleister für den Bauherrn, womit sich seine Bedürfnisse ebenfalls in die erwartete Erfüllung des Auftrags und – parallel dazu – in das Erzielen eines Gewinns einteilen lassen, wie in Bild 6.24 dargestellt.

6.2.5.2 Einflüsse auf den Gewinn des Bauunternehmers

Üblicherweise berechnen Bauunternehmer auf Einheitenbasis wie Raum- oder Flächenmetern ohne Rücksicht auf unterschiedliche Kostenentstehung, wie z. B. Transportkosten. Dem ist auch im Modell Rechnung getragen, so dass eine Verkleinerung des Bauvolumens auch direkt eine Verkleinerung des Gewinns zur Folge hat. Dies wird aber dadurch teilweise kompensiert, dass die Arbeitsstunden und der Materialaufwand bei einem kleineren Gebäude auch kleiner sind und somit die Ausgabe- und die Einkommenseite sich teilweise anpasst. Dennoch ist der negative Einfluss auf die Einnahmen stärker als auf die Ausgaben.

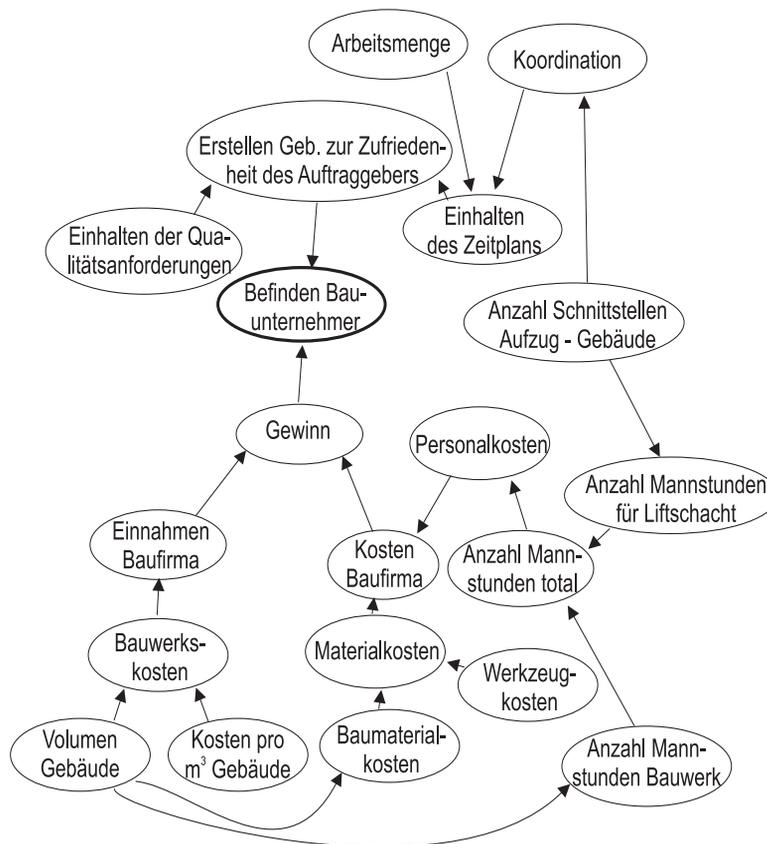


Bild 6.24. Modell der Einflüsse auf das Befinden des Bauunternehmers

6.2.5.3 Einflüsse auf die Auftragserfüllung

Wichtig für die Erfüllung des Auftrags aus der Sicht des Bauunternehmers ist die Einhaltung des Zeitplans. Nicht zuletzt deswegen, weil er nicht nach Stunden abrechnet und so für die Wartezeit auch selber aufkommen muss. Der Aufzug wird beim Bau meistens von den Fachleuten der Liftfirma montiert. Die Bauarbeiter und -installateure erstellen jedoch den Schacht und die Anschlüsse jeglicher Art für den Lift. Eine Steigerung der Anzahl Schnittstellen zum Gebäude würde also die Vorbereitungs- und Kommunikationsarbeit erschweren, so dass ein zusätzlicher Unsicherheitsfaktor die Einhaltung des Zeitplans verhindern könnte.

6.2.5.4 Zusammenfassung der Einflüsse auf den Bauunternehmer

Schnittstellen Bauwerk – Aufzug

Die Anzahl der Schnittstellen zwischen Bauwerk und Aufzug erhöhen den Arbeitsaufwand für den Bauunternehmer sowie das Risiko, den Zeitplan nicht einhalten zu können. Zudem erfordern Veränderungen Umschulungen der Mitarbeiter.

Bauwerkskosten (durch reduzierte BGF)

Wenn die Bauwerkskosten kleiner werden, reduziert sich im allgemeinen auch der Gewinn der Bauunternehmen. Der Unternehmer wird dem nur mit Widerwillen begegnen.

6.2.6 Einflussmodell – Passagier

Die Modellierung der Einflussstrukturen des Passagiers basiert auf einer Benutzungsanalyse und auf einer in diesem Projekt durchgeführten Umfrage¹. Ziel ist die Ermittlung von Grundinteressen und Strukturen, die auf möglichst viele Passagiere zutreffen. Im Vordergrund steht vor allem die Prüfung der Akzeptanz neuer Lösungen und nicht die Verbesserung dieser Bedürfnisse, weshalb auf diese allgemeine Modellierung zurückgegriffen werden kann. Die Ergebnisse sind von Experten überprüft und mit ihrer Erfahrung – dem impliziten Wissen – ergänzt, um die unbewussten Reaktionen bestmöglichst abschätzen zu können. Die dennoch aus der Umfrage resultierenden Bedürfnisse nach Verbesserungen einzelner Attribute sind auch vermerkt, damit der positive Effekt des neuen Liftsystems in der Wahrnehmung des Passagiers abgeschätzt werden kann.

6.2.6.1 Grundinteressen Passagier

Der Aufzug basiert auf den Bedürfnissen nach *Bequemlichkeit* und nach *Zeiteffizienz*.

Das Grundinteresse hinter dem Bequemlichkeitsbedürfnis lässt sich am besten mit dem Begriff *Energiehaushalt des Körpers* beschreiben. Dieses Interesse lässt sich vielleicht auf den Überlebenstrieb zurückführen, denn der Mensch ist im allgemeinen dafür besorgt, nicht mehr Energie als verfügbar zu verbrauchen. Personen, die dennoch zu Fuss gehen, schätzen ihre Energiepotentiale anders ein und/oder gewichten den Einfluss auf ihre Körperfitness stärker.

Das Bedürfnis nach Zeiteffizienz fusst auf dem Grundinteresse *Zeiteffizienzgefühl*. Die objektiv messbare Zeit wird häufig von der Wahrnehmung des Passagiers verfälscht. Relativ kurze Zeitspannen können so als sehr lange empfunden werden und umgekehrt.

Zusätzlich zu diesen Grundinteressen spielen bei der Benutzung Ängste mit, sei es bezüglich der Technik oder der Mitmenschen. Den gemeinsamen Nenner bietet das Grundinteresse *Sicherheitsgefühl*. Wiederum ist das Gefühl und nicht die rationale Sicht ausschlaggebend. Technisch gesehen kann ein Aufzug zwar sicher sein, doch ob die Mehrheit der Passagiere sich sicher fühlt, hängt davon ab, ob diese Sicherheit auch kommuniziert werden kann.

Neben dem Grundinteresse *Energiehaushalt* als physisches Kriterium ist zusätzlich noch eine geistige Erwartungshaltung erkennbar, die sich über das *Komfortgefühl* zusammenfassen lässt. Dazu gehören das Platzgefühl und die wahrnehmbare Qualität (*perceived quality*) innerhalb der Kabine sowie die zeitlichen Komponenten wie Wartezeit und Fahrtzeit (*performance*).

Das fünfte Grundinteresse des Passagiers ist aus den Erfahrungen der konsultierten Experten abgeleitet und hat sich in der Befragung bestätigt: Das Interesse an *Wertschätzung*. Es äussert sich über den sozialen Status, der häufig kulturabhängig definiert wird, und die Wahrung der Intimsphäre (vgl. CIBSE [21]). Letztere manifestiert sich beispielsweise über Körperkontakt in der dichtbesetzten Kabine.

¹ Befragt wurden im Jahr 2001 54 Personen aller Alters- und Geschlechtsgruppen in Zürich.

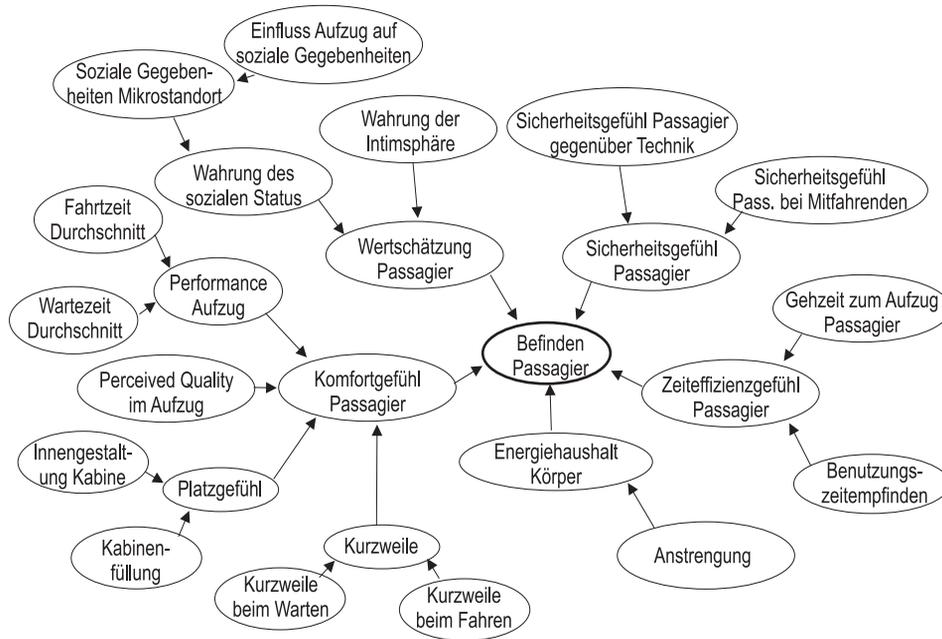


Bild 6.25. Modell der Einflüsse auf das Befinden des Passagiers

6.2.6.2 Einflüsse auf das Sicherheitsgefühl

Aus der Umfrage haben sich zwei verschiedene Sicherheitsängste ergeben: Der schädliche Einfluss von Technik und der von Personen. Die Angst vor der Technik bezieht sich heute vor allem auf das Versagen...Unterstützt wird diese Angst durch die Geschlossenheit der Kabine. Keine zu vernachlässigende Zahl befragter Personen (24%) fühlt sich im Aufzug nicht sicher. Es deutet auf unbewusste Ängste hin, dass die Passagiere sich direkt nach der Benutzung signifikant sicherer fühlen (nur 8% fühlen sich nach der Fahrt nicht sicher). Die Ängste können dabei von einer Art <subjektiven quantitativen negativen Erfahrung> geschürt werden, die die negativen Ereignisse gegenüber den positiven überbewertet. Zu unterscheiden ist hier auch die Quelle: Aus dem <Kollektiv> stammen beispielsweise Gerüchte zu Unfällen und sind somit keine bestätigten realen Gegebenheiten. Dagegen stammen <individuelle Erfahrungen> aus der eigenen Wahrnehmung, d. h. der Passagier oder eine Person aus seinem Umfeld hat dies selbst erlebt. Medien, v. a. das Fernsehen, haben ebenfalls einen starken Einfluss auf die individuelle Erfahrung. Der Erfahrungsbereich eines Menschen wird so gewissermassen verlängert.

Auch bei der neuen Lifstechnologie werden diese Ängste auftreten, vor allem, wenn weder Seil noch Gegengewicht verwendet werden. Vor allem die Angst vor Versagen könnte zunehmen, da mit mehreren Kabinen im Schacht auch das Risiko von Kollisionen auftritt. Des Weiteren muss untersucht werden, ob neue Merkmale der Technologien neue Ängste schüren, wie z. B. Magnetfelder bei magnetischen Antrieben an den Kabinen.

Als zweite Versagenskonsequenz fürchten die Passagiere den Stillstand der Kabine. Er bewirkt neben den Konflikten mit der Zeiteffizienz und mit den oben genannten Ängsten eine Wartezeit in unangenehmer Position. Manche Passagiere fürchten sich vor Verlust der Körperbeherrschung durch Atemnot oder Panikgefühl, die sicherlich durch die optische Abgeschlossenheit der Kabine noch gesteigert wird. Es ist vielen Passagieren unangenehm, in eine Kabine zu gehen, in der sie von der Aussenwelt abgeschnitten sind. So wirken Notfalltelefone im Lift auch während der normalen Benutzung beruhigend. Es ist bedenkenswert, ob dies mit einem erweiterten Informationssystem ergänzen liesse, damit sich die Passagiere sicherer fühlen. Funktional gesehen handelt es sich bei solchen Systemen um den Abbau von Kommunikationshindernissen (vgl. Bild 6.26).

von diesen Werten. Dennoch hat die Untersuchung gezeigt, dass das Wartezeitempfinden ab einem Schwellenwert von ca. 25-35 Sekunden gegenüber der realen Zeit stark ansteigt (vgl. Bild 6.27). Dieser Wert entspricht dem empfohlenen Richtwert (vgl. [21]) der durchschnittlichen Wartezeit und legt die Vermutung nahe, dass das Wartezeitempfinden nicht realistisch ist, also nicht linear mit der Wartezeit ansteigt, sondern vielmehr von einem individuellen Erwartungswert bestimmt wird. Als persönlicher Mittelwert der bisher erfahrenen Wartezeiten erwartet der Benutzer auch bei der

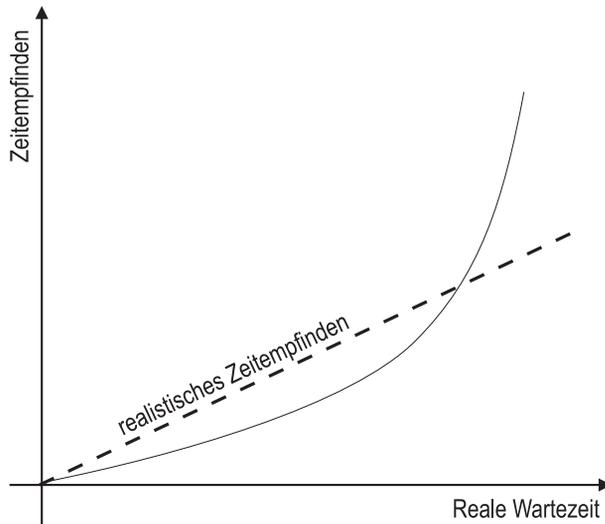


Bild 6.27. Wartezeitempfinden der Passagiere verglichen mit der realen Wartezeit; auf der gestrichelten Linie würde das Empfinden der realen Wartezeit entsprechen

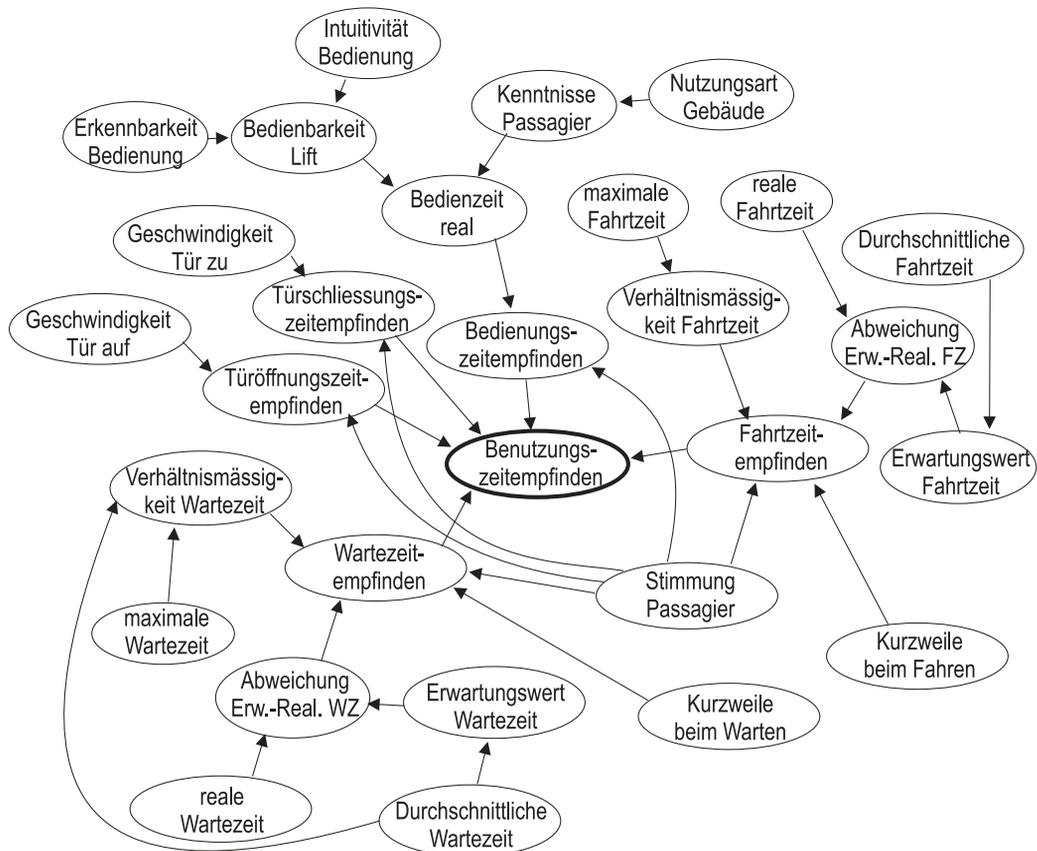


Bild 6.28. Einflüsse auf das Benutzungszeitempfinden

nächsten Fahrt eine ähnliche Wartezeit. Wird sie überschritten, wird der Passagier ungeduldig, da der Lift nicht «normal» funktioniert. Der Erwartungswert entspricht ungefähr der gesamten mittleren Wartezeit der Liftgruppe. Bei der Fahrtzeit verhält es sich analog, nur dass der Erwartungswert höher liegt. Bei der Befragung hat sich eine ungleich höhere Gewichtung der Wartezeit gegenüber der Fahrtzeit herausgestellt, die nicht alleine auf diesen Effekt zurückzuführen ist. Unterschiede lassen sich in der Ablenkung und in der Orientierung ausmachen: Während der Passagier nach dem Einstieg in die Kabine sein Ziel schon vor Augen sieht, steht die Wartezeit im Zeichen der Ungewissheit, wann und ob die Kabine ankommt. Zusätzlich geschieht während der Fahrt mit Fahrtbewegungen und Zwischenhalten mehr als beim Warten.

Das Warte- sowie das Fahrtzeitempfinden wird also von der Abweichung des Erwartungswerts von der realen Zeit beeinflusst und nicht direkt von der realen Zeit, solange diese im verhältnismässigen Rahmen bleibt. Innerhalb dieser verhältnismässigen Zeitspanne ist es also wichtiger, die Abweichung als den Mittelwert klein zu halten.

Die Türzeiten sind für den Benutzer Totzeiten, die entweder den Einstieg in die Kabine oder die Abfahrt verzögern. Je nach Stimmungslage des Passagiers kann dies als störend empfunden werden.

6.2.6.4 Einfluss auf die Wertschätzung des Passagiers

Das beobachtete Verhalten der Passagiere ist nicht allein durch die übrigen Grundinteressen erklärbar. Neben dem von vielen Passagieren erfahrenen Gefühl des Unbehagens in einer vollbesetzten Kabine sind auch eine Reihe von Erfahrungen mit sozialen Konflikten beobachtet worden. Es scheinen Interessen an *Wahrung des sozialen Status*, sowie an *Wahrung der Intimsphäre* zu existieren, die sich wiederum einem übergeordneten Grundinteresse *Wertschätzungsgefühl des Passagiers* zusammenfassen lassen.

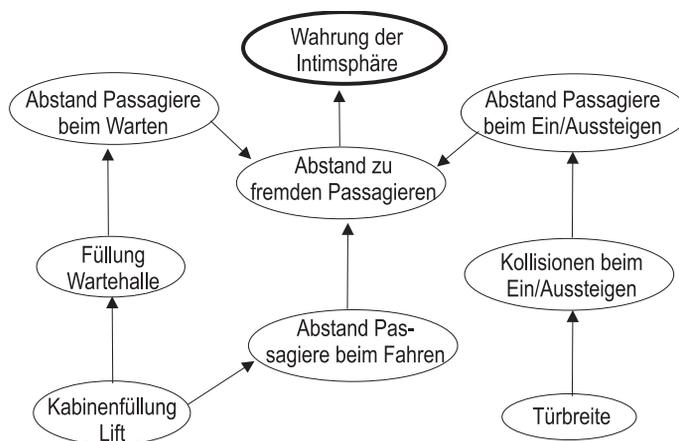


Bild 6.29. Wahrung der Intimsphäre

Unter Wahrung des sozialen Status sind alle region- und kulturspezifischen Voraussetzungen des Passagiers zusammengefasst. Da der heutige Aufzug in den meisten Ländern und Kulturen akzeptiert ist, geht es vor allem darum, die veränderten Attribute des neuen Liftsystems auf die Kulturverträglichkeit zu überprüfen. Dies ist im Umfang der vorliegenden Analyse nicht abgedeckt.

Die Wahrung der Intimsphäre deckt ein menschliches Grundinteresse ab, das grundsätzlich in allen Kulturen vorhanden ist, jedoch mit unterschiedlichen Attributen verbunden ist. In den beobachteten Zusammenhängen geht es vor allem um den Abstand zu den anderen Passagieren beim Warten, beim Ein-/Aussteigen sowie in der Kabine. Aus den Arbeiten von *E.T. Hall* [44] lässt sich entnehmen, dass die Assoziation zwischen Abstand und Wahrung der Intimsphäre in vielen Kulturen vorkommt. Lediglich die Normalausprägung wird unterschiedlich definiert. *Hall* erklärt die Abschnitte der zwischenmenschlichen Distanzen aufgrund von Wahrnehmungskategorien wie Optik, Geruch, Gehör, Berührung und thermischer Rezeption. Die für den Lift ausschlaggebende

Distanz («intimate distance») ist für ihn die persönlichste und ist kleiner als 45 cm. In einer vollen Aufzugskabine befinden sich die Passagiere innerhalb der *Intimdistanz* der anderen.

Da alle Menschen ein Grundbedürfnis nach persönlichem Raum haben, lässt sich die Einflussrichtung kulturunabhängig definieren. Eine Verkleinerung des Abstands zwischen zwei Passagieren wird allgemein auf Widerstände stossen. In der Umfrage zeigt sich, dass die Wahrung der Intimsphäre den Passagieren beim heutigen Aufzug zu kurz kommt. 56% stören sich am Gedränge oder an der Intimität im Aufzug. Dementsprechend möchten auch 29% der Befragten am liebsten alleine fahren. 25% ist es egal, mit wieviel Personen sie in der Kabine sind. 70% finden es jedoch im gesamten unangenehm, wenn die Kabine voll besetzt ist.

6.2.6.5 Einflüsse auf den Energiehaushalt des Passagiers

Zu den Einflüssen auf die Anstrengung gehört neben dem Vermeiden von Treppensteigen auch jegliche Form von Anstrengung und bezieht sich neben der körperlichen auch auf die geistige Anstrengung, wie z. B. beim Suchen und Bedienen des Aufzugs. Dies verweist lediglich auf die nebensächliche Rolle des Lifts: Der Passagier sucht seine geistige Herausforderung nicht in dessen Bedienung. Als körperliche Anstrengung muss zudem die Gehdistanz zum Aufzug gerechnet werden. So wird sich ein vergrössertes Einzugsgebiet, wenn mehrere Liftgruppen zu einer zusammengefasst werden, negativ auf das Befinden des Passagiers auswirken.

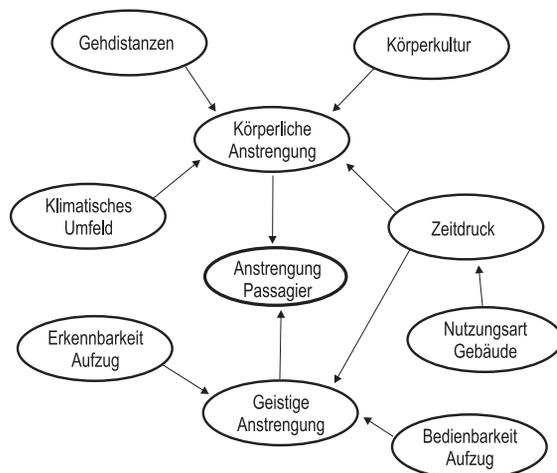


Bild 6.30. Einflussnetz auf das Anstrengungsgefühl des Passagiers

6.2.6.6 Einflüsse auf das Komfortgefühl des Passagiers

Das Bedürfnis nach Komfort ist eng verbunden mit dem Bedürfnis nach Wertschätzung gegenüber sich selber und dem Bequemlichkeitsbedürfnis. Dennoch lassen sich gewisse Gewohnheiten besser als eigenständiges Interesse greifen. Die zeitliche Performance (Wartezeit und Fahrtzeit) des Aufzugs ist im heute üblichen Rahmen ein Gewohnheitsaspekt, dem bei einer Neuentwicklung Rechnung getragen werden muss. Ebenso verhält es sich mit der *Perceived Quality* im Aufzug, dem Fahrkomfort. Dies beinhaltet den Ruck und die Vibrationen der Tür und der Kabine. Das Platzgefühl, welches sich über die Kabinengestaltung und -grösse ausdrückt, gehört genauso zu den Komfortattributen wie der Begriff *Kurzweile*: Als Gegenteil von Langweile steigert die Kurzweile beim Warten und Fahren den Benutzungskomfort. In der Umfrage geben sich 63% der Passagiere zufrieden mit dem Fahrkomfort der Kabinen. Dies deutet darauf hin, dass hier kein grosses Verbesserungspotential mehr besteht. Dennoch zeigen sich die Passagiere empfindlich auf Verschlechterungen des gewohnten Standards.

6.2.6.7 Zusammenfassung der Einflüsse auf den Passagier

Einfluss Aufzug auf soziale Gegebenheiten

Bei der Benutzung des Aufzugs müssen die lokalen sozialen Gegebenheiten berücksichtigt werden. Deren Missachtung kann zu Akzeptanzproblemen führen.

Performance Zeit

Die Benutzungszeiten beeinflussen das Komfortgefühl sowie das Zeiteffizienzgefühl, beides stark subjektive Kriterien. Die Performance lässt sich durch folgende Kriterien charakterisieren:

- Durchschnittliche Wartezeit
- Standardabweichung Wartezeit
- maximale Wartezeit
- durchschnittliche Fahrtzeit
- maximale Fahrtzeit

Perceived Quality in der Kabine

Die *wahrgenommene Qualität* beim Benutzen beeinflusst sowohl das Komfortgefühl als auch das Sicherheitsgefühl. Da das heutige Referenzniveau relativ hoch ist, wird eine Verbesserung auch nur wenig wahrgenommen. Eine Verschlechterung ist jedoch enorm wichtig.

Kabinenfüllung

Die Kabinenfüllung wirkt sich auf das Komfortgefühl und auf die Wertschätzung der Passagiere aus, hängt aber auch mit gewissen Ängsten zusammen, die bei der Benutzung des Aufzugs auftreten. Eine kleinere Kabinenfüllung als heute würde sich meistens positiv auf die Akzeptanz auswirken, kann jedoch im ungünstigen Fall (zwei Personen im Lift) auch die Angst vor Übergriffen verstärken.

Qualität der Bedienelemente

Die haptische und optische Qualität der Bedienelemente beeinflusst die Wahrnehmung der Sicherheit des Passagiers. Robuste, intakte Bedienfelder deuten auf eine hohe Gesamtsicherheit hin.

Qualität der Tür

Die Tür wird ebenfalls als Indikator für Robustheit und Sicherheit gesehen. Dabei ist das robuste Aussehen (optische Qualität) wichtig, daneben gibt aber auch die Bewegung der Tür darüber Aufschluss. Eine ruckelige Bewegung signalisiert Fehlerhaftigkeit. Ruckeln sowie Vibrationen gehören ebenso zur optischen wie zur akustischen Qualität.

Dämmfähigkeit Schachttür

Hierüber wird die Lärmentwicklung im Warteraum beeinflusst.

Dynamische Fahrtqualität

Unterhalb einer bestimmten Grenze signalisieren Vibrationen die Bewegung, das Vorwärtskommen und sind somit erwünscht. Ein lautloser Aufzug ist nicht erstrebenswert. Über dieser Grenze wandelt sich der positive Eindruck in Komforteinbußen und Zeichen von technischer Fehlerhaftigkeit. Analog zur Bewegung der Tür wird eine ruckelige Fahrt als Zeichen für mangelnde Sicherheit gewertet.

Olfaktorische Qualität

Der Einfluss der Gerüche auf das Sicherheitsempfinden ist bislang noch nicht untersucht worden und scheint auch kein Problem zu sein. Sollte jedoch eine unterschiedliche Geruchsentwicklung bei der neuen Technologie erkennbar sein, wäre eine Untersuchung zu überlegen.

Optische Qualität der Innengestaltung des Aufzugs

Über die Gestaltung der Kabine kommuniziert die Technik mit dem Passagier. Eine angenehme Atmosphäre beeinflusst also das Komfortbefinden und kann zudem auch einen Einfluss auf Ängste wie Klaustrophobie haben. Die Kabinengestaltung gibt aber auch Auskunft über die Robustheit und Sicherheit der Technik.

Kabinengrösse

Wenn eine Kabine zu klein ist, fördert dies das Unbehagen der Passagiere, indem es beispielsweise Ängste verstärkt. Zudem können unterhalb einer bestimmten Grösse keine Rollstühle mehr mitfahren. Nach oben gibt es dagegen keine Grenze aus der Sicht des Passagiers.

Kommunikationskanäle

Der Passagier fühlt sich in einer abgeschlossenen Kabine unwohl, weil er von der Aussenwelt abgeschottet ist. Lösungen jeglicher Art, die dem Passagier das Gefühl geben, dass im Notfall nach aussen kommuniziert werden kann (transparente Wände, Notfalltelefon), sind deshalb positiv zu werten. Transparente Türen haben zusätzlich den Vorteil, dass sie Kollisionen beim Ein- und Aussteigen vermeiden helfen.

Bedienbarkeit Aufzug

Die Bedienbarkeit (Erkennbarkeit, Intuitivität) des Aufzugs ist wichtig für die Benutzungsgeschwindigkeit.

Geschwindigkeit Tür

Die Geschwindigkeit, mit der die Tür auf und zu geht, beeinflusst das Zeiteffizienzgefühl der Passagiere.

Modulgrösse Aufzug

Falls mehrere verteilte Liftgruppen zusammengefasst werden, erhöhen sich die Gehdistanzen für die Passagiere und wirken dem Bequemlichkeitsbedürfnis entgegen.

Füllung Wartehalle

In einer vollen Wartehalle sind die Abstände zwischen den Passagieren klein, so dass sich die Passagiere in ihrer Intimsphäre verletzt fühlen können.

Türbreite

Eine schmale Tür begünstigt Kollisionen mit Ein- bzw. Aussteigenden. Falls mehrere Personen einsteigen wollen, erhöht sich durch eine schmale Tür die Einstiegszeit und vermindert somit das Zeiteffizienzgefühl.

6.2.7 Einflussmodell – Staat

6.2.7.1 Einflüsse auf die Grundinteressen des Staates

Der Staat hat die Aufgabe, die Interessen der Allgemeinheit zu vertreten. Er sorgt dafür, dass die Freiheit der Bürger, die gemeinsame Wohlfahrt, die Sicherheit der Bürger und die Erhaltung der Lebensgrundlagen nicht verschlechtert werden (vgl. Bild 6.31). Ein Aufzugssystem beeinflusst über die Sicherheit während der gesamten Lebensdauer, aber auch über den Energieverbrauch und die Entsorgungsproblematik die Interessen des Staates. Falls der Staat zudem für die Energieversorgung verantwortlich ist, könnte ein Liftsystem, welches zusätzliche starke Spitzenbelastungen im Stromnetz erzeugt, hier auf Widerstand stossen (Qualität des Energieverbrauchs).

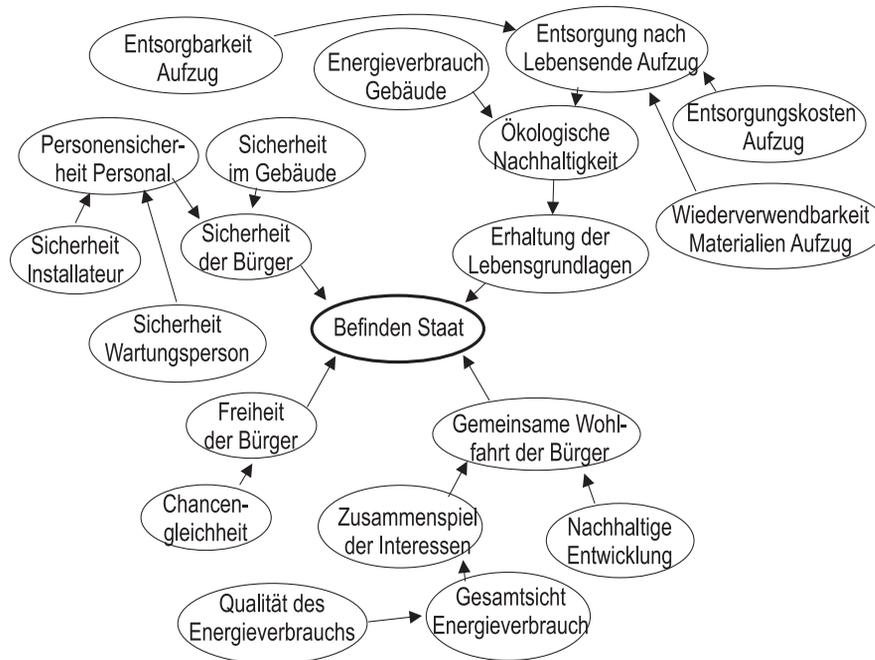


Bild 6.31. Modell der Einflüsse auf das Befinden des Staates

6.2.7.2 Zusammenfassung der Einflüsse auf den Staat

- Sicherheit Passagier, Gebäudebenutzer, Wartungs- und Installationspersonal
- Energieverbrauch: Quantität und Qualität
- Entsorgungsproblematik nach Lebensende

6.2.8 Einflussmodell – Aufzugsfirma

6.2.8.1 Einflüsse mit Wirkung auf die Aufzugsfirma

Eine Aufzugsfirma erwirtschaftet durch Verkauf und durch Wartungsverträge Gewinn. Wartungsverträge werden zwischen Gebäudebetreiber und Liftfirma über verschiedene Abdeckungsstufen abgeschlossen. Die niedrigste Abdeckungsstufe geht über die kleine Wartung (Ölen, etc). Beschädigte Teile müssen hier separat bezahlt werden. Dagegen sind diese in der besseren Abdeckung eingeschlossen. Vandalismus und Missbrauch sind jedoch auch hier meistens ausgeschlossen. Die im Bild 6.32 aufgezeigten Einflüsse auf die Wartungskosten sind bereits dem Investor (vgl. Abschnitt 6.2.1) zugeordnet worden.

Da jede Innovation gleichzeitig ein finanzielles Risiko beinhaltet, muss konsequenterweise die Investitionshöhe bezüglich der Entwicklung und der Fertigung berücksichtigt werden.

6.2.8.2 Zusammenfassung der Einflüsse auf die Liftfirma

- Verkaufspreis des Lifts
- Herstellkosten des Lifts
- Installationskosten des Lifts
- Investitionskosten der Innovation
- (Wartungszyklus)
- (Wartungsaufwand pro Zyklus)

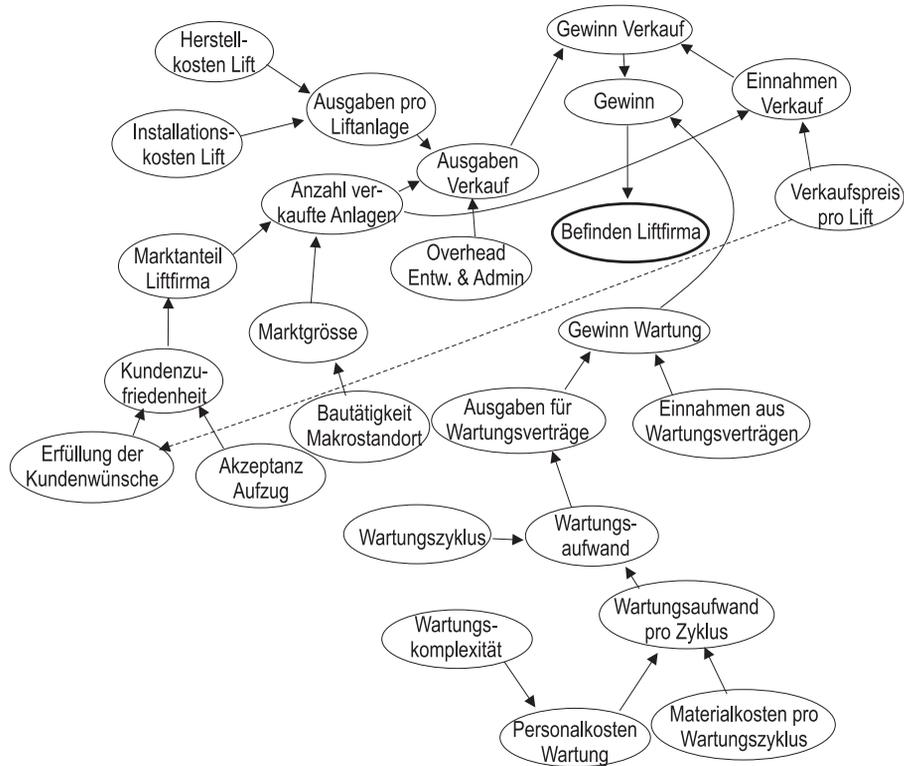


Bild 6.32. Modell der Einflüsse auf das Befinden der Liftfirma

6.3 Zusammenstellung der Anforderungen

Bei der Zusammenstellung der Anforderung in Tabelle 6.16 sind alle gefundenen Berührungspunkte des Umfelds mit dem Aufzugssystem aufgeführt (relevante Aufzugsattribute). Die Anforderungskriterien sind in Fest- sowie Zielforderungen klassifiziert: Festforderungen sind Attribute des Systems, die weder verschlechtert werden dürfen, noch gibt es eine Notwendigkeit, sie zu verbessern. Zielforderungen bieten Verbesserungspotential, für das entweder grundsätzlich Geld gezahlt wird oder nicht (Gewicht 0). Dies kann auch dafür sprechen, über Zusatzoptionen den Käufern diesen Verbesserungsfreiraum selber zu überlassen. Falls ein Kriterium gleichzeitig Fest- und Zielforderung ist, liegt dies entweder am Einfluss auf verschiedene Interessensgruppen oder daran, dass das Attribut nicht verschlechtert werden darf und gleichzeitig Verbesserungspotential hat.

Tabelle 6.16. Anforderungskriterien der neuen Aufzugstechnologie

Attribut	Festforderung	Zielforderung	Einflussstärke	Grenzwert	Einfluss auf
Aufzugsfläche			-10.0% ¹ {-2.5%-24%}		Investor Mieter Architekt
Abwärmeproduktion Lift			0		Investor
Energieverbrauch Quantität			-0.4% {0%-2%}		Investor Mieter Staat
Energieverbrauch Qualität			0		Staat, Investor (Anschlusskosten)

Tabelle 6.16. Anforderungskriterien der neuen Aufzugstechnologie

Attribut	Festforderung	Zielforderung	Einflussstärke	Grenzwert	Einfluss auf
Initialkosten Lift			-0.5% {0.25%-2%}		Investor
Perceived Quality Aussen					Mieter Architekt
Dämmfähigkeit Schachttür					Mieter Architekt Passagier
Perceived Quality Innen					Mieter Passagier
Handling Capacity normal					Mieter
Ausfallsleistung HC			0		Mieter
Wartungsleistung HC			0		Mieter
Ausfallshäufigkeit			0		Mieter
Wartungszyklus			0		Mieter Liftfirma
Kabinengrösse minimal				450kg- 630kg	Mieter Passagier
Modulgrösse Gruppe					Mieter Architekt Passagier
Gestaltungsmöglichkeit Aussen					Mieter Architekt
Gestaltungsmöglichkeit Innen					Mieter Architekt
Präsentation der Innovation			0		Mieter
Anpassungsfähigkeit Nutzlast			0		Mieter
Anpassungsfähigkeit Handling Capacity			0		Mieter
Feuerbeständigkeit kurzfristig					Mieter Staat
Feuerbeständigkeit langfristig			0		Mieter
Evakuierungskapazität			0 -?		Mieter Staat
Sicherheit bei normalem Gebrauch					Mieter Staat

Tabelle 6.16. Anforderungskriterien der neuen Aufzugstechnologie

Attribut	Festforderung	Zielforderung	Einflussstärke	Grenzwert	Einfluss auf
Erdbebensicherheit Stillstand					Mieter Staat
Erdbebensicherheit Fahrt			0		Mieter
Zusatzvolumina (Masch.raum; Über-/Unterfahrt)				keine	Architekt Investor
Anzahl Schnittstellen Lift <-> Bau			0		Bauunter- nehmer
Einfluss des Lifts auf soziale Gegebenheiten			0		Passagier
Wartezeit: Durchschnitt			0		Passagier
Wartezeit: Maximum			0		Passagier
Abweichung vom Mittelwert der Wartezeit			0		Passagier
Fahrtzeit: Durchschnitt					Passagier
Abweichung vom Mittelwert der Fahrtzeit					Passagier
Fahrtzeit Maximum					Passagier
Kabinenfüllung (kleiner)			0		Passagier
Qualität Bedienelemente					Passagier
Qualität Tür					Passagier
Dynamische Fahrt- qualität					Passagier
Innengestaltung Kabine: Komfort; Robustheit;			0		Passagier
Olfaktorische Qualität					Passagier
Existenz von Kommunikationskanälen					Passagier
Bedienbarkeit (Intuitivität)					Passagier
Geschwindigkeit Tür (schneller)			0		Passagier
Füllung der Wartehalle (kleiner)			0		Passagier
Türbreite (größer)			0		Passagier
Sicherheit Wartung					Staat

Tabelle 6.16. Anforderungskriterien der neuen Aufzugstechnologie

Attribut	Festforderung	Zielforderung	Einflussstärke	Grenzwert	Einfluss auf
Sicherheit Installation					Staat
Recyclierbarkeit Lift					Staat
Installationskosten Lift					Liftfirma
Wartungskosten pro Zyklus					Liftfirma
Herstellkosten					Liftfirma
Investitionshöhe Innovation					Liftfirma

1. Der negative Einfluss der Kosten für Innenwände und für Decken sowie der zusätzlichen Geh- und Nutzflächen ist berücksichtigt.

6.4 Marktsegmentierung

Das Wissen um die Umfeldstrukturen entsteht im Spannungsfeld zwischen Umfang und Erarbeitungsaufwand. Die Umfeldanalysen liessen sich beliebig geographisch, gebäude- sowie kunden-spezifisch ausdehnen. Für die ersten Entwicklungsschritte der neuen Technologie scheint der erreichte Wissensstand ausreichend. Zusätzliche Abklärungen müssen vor weiteren Entwicklungsstadien näher spezifiziert und getätigt werden. Ein Beispiel dafür ist die Einteilung in Kundensegmente mit eigenen Einflussnetzen und/oder Einflussstärken, einhergehend mit einer differenzierteren Entscheidungsbasis für die Entwicklung. Die Notwendigkeit dafür entsteht erst dann, wenn erkennbar wird, dass technische Lösungen nicht für alle Verteilungen der Einflussstärken optimal sind. Deshalb wird vorderhand nicht weiter auf diese Segmentierung eingegangen, sondern die in Tabelle 6.16 angegebenen Einflussstärkenbereiche als Basis für die Entscheidungen verwendet. Der Vollständigkeit halber soll dennoch eine Liste der wichtigsten möglichen Differenzierungskriterien angegeben werden:

- E/I_0
- A/I_0
- $\frac{IK_{Lift}}{I_0}$
- $\frac{A_{Lift}}{HNF}$
- $\frac{EV_{Lift}}{A}$

7 Verkehrskonzept

7.1 Verkehrsaufkommen

Als Grundlage für die Erarbeitung des Verkehrskonzepts sei hier ein grober Überblick über die Verkehrsentstehung gegeben. Der Verkehrsfluss in einem Gebäude lässt sich in drei Grundarten strukturieren, die sich in der Realität auch überlagern können:

- Füllung
- Nutzung
- Entleerung

In einem Bürogebäude beispielsweise geschieht die Füllung häufig morgens früh mit relativ zum restlichen Tag hohem Verkehrsaufkommen und wird deshalb *Up-peak*, also die *Aufwärtsspitze* genannt (vgl. Bild 7.1). Analog dazu wird die *Entleerungsspitze* als *Down-peak* bezeichnet. Je nach Nutzungsart kann die Spitze in der Breite und in der Höhe variieren. Ein Gebäude eines Unternehmens mit fixen Arbeitszeiten wird hohe und schmale Spitzen verursachen; eines einer Firma mit Gleitzeiten eher niedrige und breite. Die erforderliche Spitzenkapazität hängt also stark von der Gebäudenutzung ab. Bei diesen beiden Verkehrstypen sind die Einstiegsetagen die zentralen Elemente und bilden gleichzeitig den *Flaschenhals*. Dagegen sind sowohl die Einstiegs- als auch die Ausstiegsetagen beim Nutzungsverkehr beliebig, weshalb dieser in der Fachsprache «Interfloor-Traffic» genannt wird. Die Stärke seines Verkehrsaufkommens hängt ebenfalls von der Nutzung – also von der Verteilung der für den Arbeitsablauf nötigen Ziele – ab. Während die Aufwärtsspitze sich meistens zwischen 12% und 17% der Gebäudepopulation pro fünf Minuten bewegt, liegt der Interfloor-Verkehr eher bei 3% (vgl. *CIBSE* [21]).

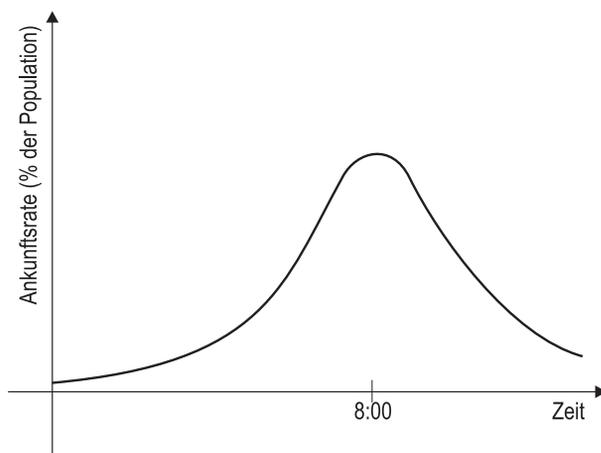


Bild 7.1. Beispielhafter Up-peak-Verkehr in einem Bürogebäude (vgl. *CIBSE* [21])

Die Mittagszeit ist eine Kombination von Up-peak, Down-peak und Interfloor, da sich die Gebäudepopulation während einer bestimmten Periode (z. B. zwischen 11:00 und 14:00) zum Essen begibt und – leicht zeitverschoben – die ersten bereits vom Essen zurückkommen. Parallel dazu wird weiter gearbeitet, so dass zusätzlich *Interfloor*-Verkehr auftritt. Diese Überlagerung verursacht eine hohe Anforderung an das Liftsystem.

Das Verkehrsaufkommen hängt somit erst einmal von der Gebäudepopulation ab. Sie ergibt sich aus der Hauptnutzfläche pro Etage, der Anzahl Nutztagen und der Populationsdichte [P/m^2]. Letztere hängt mit der Nutzungsart zusammen: Ein Grossraumbüro hat eine höhere Populationsdichte als ein Gebäude mit *Prestige*-Einzelbüros. Die Anforderung an das Aufzugssystem wächst mit steigender Etagenzahl.

7.2 Anforderungsattribute

Die bedeutendste Zielforderung an das Verkehrskonzept besteht darin, die Kapazitätsdichte zu steigern oder – genauer gesagt – den Flächenbedarf bei vorgegebener Kapazität zu reduzieren. So wird die *Aufzugsfläche* zum wesentlichen Bewertungskriterium dieses Systembereichs. Daneben sind die Kriterien *Energieverbrauch* und *Initialkosten* ebenfalls von Bedeutung. Da für die Bewertung das konventionelle System als Referenz dient, müssen für die Kriterien die Ausprägungen des heutigen Systems erst erarbeitet werden (Abschnitt 7.3).

Die Verbesserung einiger Festforderungsattribute würde vom Umfeld positiv wahrgenommen. Doch es ist nicht bekannt, dass der Kunde dafür zahlen würde, auch wenn es bei einigen zu erwarten ist. Beispielsweise berührt die Evakuierungsleistung das Grundinteresse *Sicherheitsgefühl* des Mieters und des Passagiers, von dem die Akzeptanz hoher Gebäude abhängt. Schliesslich ist dies auch im Interesse des Investors, da dadurch das Investitionsrisiko eines Hochhauses gesenkt werden kann. Diese Kriterien, die in Abschnitt 7.2.3 aufgeführt sind, können die Grundlage von Produktoptionen sein, für die der Kunde mehr zu zahlen bereit ist. In einer ersten Analyse der Multimobilverkehrskonzepte soll das Potential in dieser Hinsicht geprüft werden, ohne dass daraus die Entscheidungen beeinflusst werden.

7.2.1 Bewertungskriterien

- Die *gesamte Aufzugsfläche* kann in folgende Unterflächen aufgeteilt werden:
 - Schachttinnenfläche
 - Schachtwandfläche
 - Wartefläche
 und hat eine mittlere Einflussstärke von «-11%» auf die Rendite.

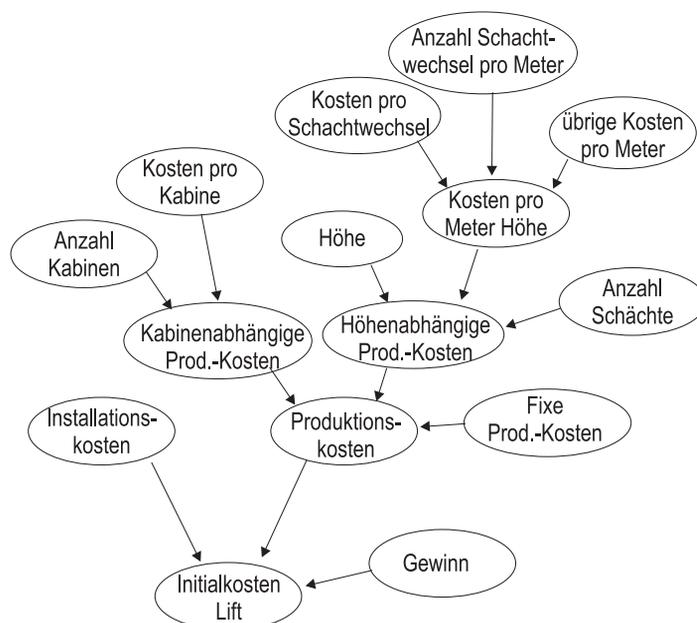


Bild 7.2. Modellierung der Einflüsse auf die Initialkosten des Lifts

- Die *Initialkosten* des gesamten Lifts können wie in Bild 7.2 aufgeteilt werden in:
 - Anzahl Kabinen
 - Anzahl Schachtwechsel pro Meter
 - Anzahl Schächte
 - evtl. fixe Kosten

Dabei ist der Einfluss der Initialkosten auf die Rendite ungefähr «-0.5%», und zwar sowohl für positive als auch negative kleine Änderungen.

- *Quantität des Energieverbrauchs*
Ein Entwicklungsziel des neuen Liftsystems ist, keine schlechtere Energiebilanz als das konventionelle vorzuweisen. Ein höherer Energieverbrauch verschlechtert die Rendite mit einer Einflussstärke auf die Rendite von «-0.4%». Die Verringerung des gesamten Verbrauchs kann zwar für den Bauherrn interessant sein, dennoch müsste näher untersucht werden, wieviel Mehrkosten deshalb entstehen dürfen.

7.2.2 Festforderungskriterien

- Handling Capacity normal
- Qualität des Energieverbrauchs
- Ausfallsleistung (Verkehr)
- Wartungsleistung (Verkehr)
- Minimale Kabinengröße
- Modulgröße der Liftgruppe
- Anpassungsfähigkeit der Nutzlast
- Anpassungsfähigkeit der Handling Capacity
- Evakuierungskapazität
- Wartezeit
- Fahrtzeit
- Kabinenfüllung
- Füllung der Wartehalle
- Türbreite

7.2.3 Parameter mit Verbesserungspotential

- Ausfallsleistung
- Wartungsleistung
- Evakuierungskapazität
- Standardabweichung Wartezeit
- Maximale Wartezeit
- Maximale Fahrtzeit
- Mittlere Fahrtzeit
- Kabinenfüllung
- Füllung der Wartehalle

7.3 Referenzprägungen des konventionellen Liftsystems

7.3.1 Handling Capacity

7.3.1.1 Handling Capacity Up-peak

Ein heutiger Aufzug transportiert die Passagiere im Aufwärtsverkehr nach folgendem Schema:

1. Einladen der Passagiere in der Eingangsetage
2. Fahrt zur höchsten Ausgangsetage bis alle Passagiere ausgeladen sind
3. Fahrt zurück zur Eingangsetage

Die Kapazität eines Aufzugs ist gleichbedeutend mit der Anzahl Passagiere, die pro Zeiteinheit befördert werden können, und wird häufig im Zeitintervall von 5 Minuten gemessen. Die Kabinenfüllung, dividiert durch die Zeit bis die Kabine wieder am Anfangsort ist, bestimmt die Kapazität. Diese Zeit wird Round-Trip-Time *RTT* genannt. Auf fünf Minuten bezogen heisst dies (vgl. *CIBSE* [21]):

$$HC5 = \frac{300 \cdot P}{RTT} \cdot L \quad (7.1)$$

mit:

<i>HC5</i>	Handling Capacity in 5 Minuten
<i>P</i>	Durchschnittliche Kabinenfüllung
<i>RTT</i>	Round Trip Time (Rundfahrtzeit)
<i>L</i>	Anzahl Lifte

Tabelle 7.1. Beispielwerte der HC5 Up-peak mit typischen Parametern

N	v=3 a=1 j=1 P=6	v=3 a=1 j=1 P=12	v=3.5 a=1.2 j=1 P=6	v=3.5 a=1.2 j=1 P=12	v=10 a=1.2 j=1.8 P=6	v=10 a=1.2 j=1.8 P=12
10	23.0	32.5	-	-	-	-
15	19.6	27.2	20.4	28.0	-	-
20	17.5	24.0	18.3	24.9	-	-
30	-	-	15.4	21.1	18.4	24.5
40	-	-	13.4	18.8	16.6	22.1
50	-	-	-	-	15.2	20.4
100	-	-	-	-	10.7	15.1

Die Rundfahrtzeit (*RTT*) setzt sich aus folgenden Komponenten zusammen:

- Ein- sowie Ausstiegszeit der Passagiere (t_1 ; t_u)
- Türöffnungs- (t_o) und Türschliessungszeiten (t_c)
- Fahrtzeiten zwischen den Stopps
- Fahrtzeit für die Distanz zwischen Eingangshalt und erstem Halt
- Fahrtzeit vom höchsten Halt zur Eingangsetage

Dies führt zur allgemeinen Formel für die RTT (nach Barney und Dossantos [8]):

$$RTT = 2Ht_v + (S + 1) \cdot t_s + 2Pt_p \quad (7.2)$$

mit

$$t_v = \frac{h_f}{v} \quad (7.3)$$

$$t_s = \left[t_{fd} \left(\frac{H \cdot h_f}{S} \right) - \frac{H \cdot h_f}{S \cdot v} \right] + t_o + t_c - t_a \quad (7.4)$$

$$t_p = \frac{(t_l + t_u)}{2} \quad (7.5)$$

h_f Durchschnittliche Etagenhöhe [m]

v nominale Geschwindigkeit [m/s]

t_a vorzeitige Türöffnungszeit [s]

Die durchschnittliche Umkehretage H (vgl. J. Schröder [90]) sowie die durchschnittliche Anzahl Halte S (vgl. J. Basset [11]) lassen sich anhand folgender Gleichungen beschreiben:

$$H = N - \sum_{i=1}^{N-1} \left(\frac{i}{N} \right)^P \quad (7.6)$$

$$S = N \left(1 - \left(1 - \frac{1}{N} \right)^P \right) \quad (7.7)$$

wobei N die Anzahl Etagen über dem Haupthalt ist.

Die Zeit zwischen den einzelnen Halten lautet gemäss CIBSE [21] in Abhängigkeit davon, ob die maximale Geschwindigkeit erreicht wird:

Wenn $d \geq \frac{a^2 \cdot v + v^2 \cdot j}{j \cdot a}$, dann

$$t_{fd}(d) = \frac{d}{v} + \frac{a}{j} + \frac{v}{a} + t_{start} \quad (7.8)$$

Wenn $\frac{2a^3}{j^2} \leq d < \frac{a^2 \cdot v + v^2 \cdot j}{j \cdot a}$, dann

$$t_{fd}(d) = \frac{a}{j} + \frac{\sqrt{a^3 + 4dj^2}}{\sqrt{a} \cdot j} + t_{start} \quad (7.9)$$

mit:

a maximale Beschleunigung [m/s²]

j maximaler Ruck (Jerk) [m/s³]

t_{start} Verzögerung durch Motorstart.

Diese Beziehungen sind im Bild 7.3 zusammengefasst. Zu erkennen ist einerseits, dass die Gebäudehöhe ($N \cdot h_f$) die Rundfahrtzeit über mehrere Wege positiv beeinflusst. Ein hohes Gebäude führt folglich zu einer langen RTT und verschlechtert somit die Transportkapazität des Lifts. Andererseits ist der Einfluss der Anzahl Personen P pro Kabine hervorzuheben. Sie beeinflusst zwar die Kapazität direkt positiv, reduziert jedoch diesen Einfluss über die Einstiegszeit, die Anzahl Halte sowie die durchschnittliche Umkehretage wieder. Zur Illustration sind in Tabelle 7.1 Beispielwerte aufgeführt, worin sich der Einfluss der Gebäudehöhe deutlich äussert: Während sich der Maximalwert zwischen 25 und 30 Personen pro 5 Minuten bewegt, senkt sich die Leistungsfähigkeit mit zunehmender Höhe rasch auf unter den Wert <20>, auch wenn die Geschwindigkeit erhöht wird.

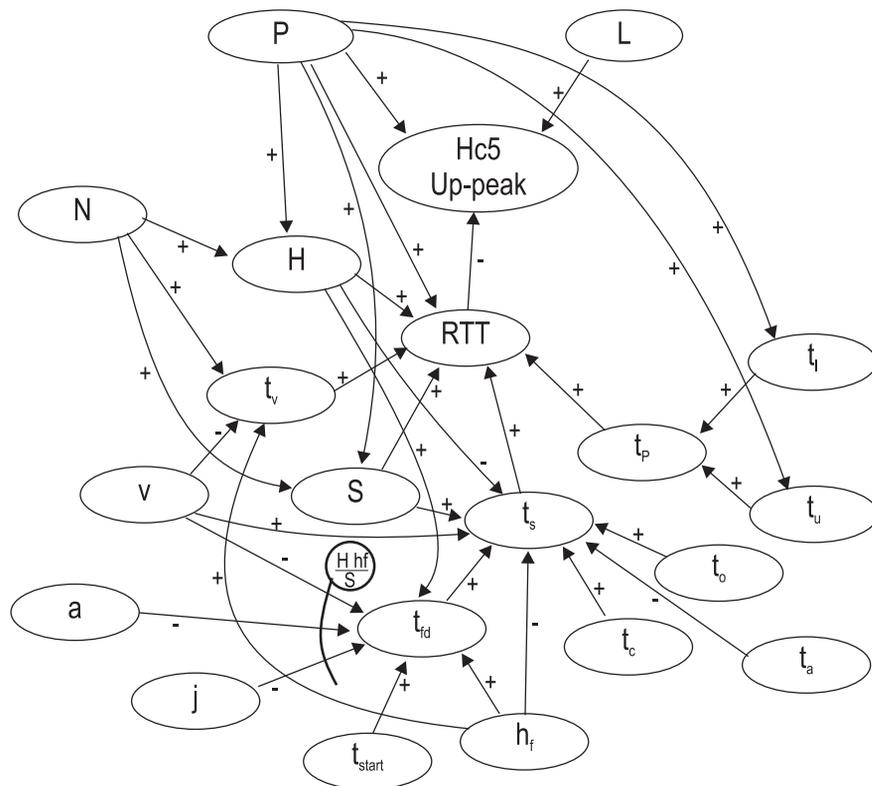


Bild 7.3. Einflussnetz des heutigen Liftkonzepts auf die Handling Capacity Up-peak (für Variablendefinition siehe Text)

7.3.1.2 Handling Capacity Down-peak

Im Abwärtsverkehr wiederholt sich im Prinzip der Ablauf während Up-peak – nur in umgekehrter Abfolge: Aus allen Etagen wollen die Passagiere zu den Ausstiegsetagen befördert werden. Die Wahrscheinlichkeit ist deshalb höher, dass die Kabine in einer «Rundfahrt» nur wenige Male zum Einstieg und nur ein oder zwei Mal zum Ausstieg halten muss. Wie in Bild 7.3 erkennbar, wirkt sich die Anzahl Halte (Parameter S) über mehrere Wege positiv auf die Transportkapazität aus. Erfahrungswerte (vgl. *CIBSE* [21]) zeigen, dass $HC5$ im Abwärtsverkehr zwischen 120% und 150% der Kapazität Up-peak liegen kann.

7.3.1.3 Handling Capacity Interfloor

Das Verkehrsverhalten des Aufzugs während des Zwischenstockverkehrs ist dadurch gekennzeichnet, dass die Kabine ständig auf- und abfährt, um die stochastischen Rufe in beide Richtungen ausführen zu können. Der notwendige Weg wird über die oberste sowie die unterste Start- bzw. Zieletage während eines Zyklus' bestimmt, der somit sowohl länger als auch kürzer als beim Up-peak-Verkehr sein kann. Auf dem Weg werden in beide Richtungen Halte ausgeführt, so dass die Kapazität insgesamt deutlich niedriger als bei Up-peak ausfällt. Doch aufgrund des häufig deutlich niedrigeren Verkehrsaufkommens äussert sich dies nur über gelegentlich längere Wartezeiten.

7.3.1.4 Handling Capacity – Mittagsverkehr

Während der Mittagszeit überlagern sich die Verkehrsmuster Down-peak, Up-peak und Interfloor. Dies führt einerseits dazu, dass die Kabinen auf beiden Wegen (auf- und abwärts) Passagiere mitnehmen können und sich so die reine Transportkapazität gesamthaft erhöht. Andererseits erhöhen sich aber auch die Anzahl Halte während eines Zyklus', so dass die Rundfahrtzeit deutlich höher ausfällt. Dies wirkt sich wiederum negativ auf die Kapazität aus und äussert sich hauptsächlich über längere Wartezeiten. Ob die gesamte Kapazität niedriger als während des *Up-peak*-Verkehrs aus-

fällt, hängt schliesslich von der einzelnen Anlage und ihrer Steuerung ab.

Psychologisch gesehen machen lange Wartezeiten die Passagiere nervös und führen dazu, dass alle verfügbaren Tasten (Aktionsmöglichkeiten) gedrückt werden (vgl. Abschnitt 3.3.7), womit die Kabine häufig an Etagen hält, an der niemand in diese Fahrtrichtung mitfahren möchte. Die zusätzlichen Halte reduzieren die Gesamtkapazität des Lifts deutlich und setzen gewissermassen einen *circulus vitiosus* in Gang.

Wenn die Passagiere zusätzlich in die falsch fahrende Kabine einsteigen, reduziert dies die Verfügbarkeit des Kabinenplatzes für die weiter oben oder unten wartenden Passagiere, so dass dadurch wiederum längere Wartezeiten entstehen können.

Der «Fehlerfaktor Mensch» kann also dazu führen, dass die Gesamtkapazität während der Mittagszeit unter die theoretisch mögliche fällt. Deshalb wird der Mittagsverkehr in Fachkreisen als die höchste Anforderung an den Lift aufgefasst.

7.3.1.5 *Handling Capacity – Wartung*

Während Wartungsarbeiten fällt immer ein ganzer Lift aus, so dass beispielsweise eine Gruppe mit vier Liften nur noch drei Viertel der Kapazität zur Verfügung stellen kann. Falls irgendwie möglich, werden diese Arbeiten zwar zu Nebenverkehrszeiten (*Interfloor*) ausgeführt, zu denen häufig eine Überkapazität vorhanden ist. Bei aufwendigeren Wartungsarbeiten kann aber auch die Hauptverkehrszeit betroffen sein.

7.3.1.6 *Handling Capacity – Ausfall*

Im Gegensatz zur Wartung ist der Ausfall einer Komponente nicht planbar; hier muss der schlimmste Fall, also der Ausfall während der Zeiten mit hohem Verkehrsaufkommen, angenommen werden. Heute führt praktisch jeder Ausfall einer relevanten Komponente (Führungen, Gegengewicht, Antrieb oder Seil) dazu, dass ein gesamter Schacht unbenutzbar ist.

Theoretisch wird also die Kapazität um einen ganzen Lift reduziert, praktisch führen die somit entstehenden längeren Wartezeiten zu den gleichen Problemen wie bei gewöhnlichem Mittagsverkehr. In Hauptnutzzeiten addieren sich die Probleme durch einen möglichen Ausfall.

7.3.1.7 *Handling Capacity – Evakuierung*

Obwohl Aufzüge nach den heutigen Normen nicht für eine Notfallentleerung (bei Brand oder Erdbeben) benutzt werden dürfen, steht dies besonders bei Hochhäusern immer wieder zur Diskussion, da Menschen zu Fuss ab einer gewissen Anzahl Etagen keine Chance mehr haben, rechtzeitig aus dem Gebäude zu entkommen. Aber auch ohne direkte Gefährdung durch Feuer sind plötzliche Entleerungen einzuplanen, beispielsweise bei Bombendrohungen.

Die Kapazität heutiger Liftsysteme, die für den Normalbetrieb ausgelegt sind, ist während einer Evakuierung theoretisch etwas höher als zu gewöhnlichem *Down-peak* Verkehr, da weniger Halte in einer Rundfahrt nötig sind. Doch auch hier gilt es wieder, psychologische Faktoren miteinzubeziehen. Angst in Notsituationen führt dazu, dass die Wartezeit als deutlich unangenehmer als üblich gewertet wird. Durch die längeren Wartezeiten steigt das Risiko von Panikreaktionen. Zudem verlängert sich häufig die Einstiegszeit, da zu erwarten ist, dass die Kabinen überfüllt werden und die Türen nicht sofort schliessen können.

7.3.2 Liftfläche

7.3.2.1 *Schachtinnenfläche*

Die Schachtinnenfläche wird von der Kabinengrösse sowie dem Platzbedarf für schachtseitige Türen und weitere Elemente im Schacht (Gegengewicht und Führungen) bestimmt. In Tabelle 7.2 sind die gebräuchlichen Normwerte (vgl. *EN81* [19] und *ISO 4190* [48]) aufgeführt.

Im Bild 7.4 ist das Einflussmodell des heutigen Aufzugs auf die Schachtinnenfläche aufgezeigt. Dabei ist *HC5* ein Zielwert, der von der Population des Gebäudes und deren Dichte abhängt. Deshalb beeinflusst die Rundfahrtzeit *RTT* nicht mehr die *HC5*, wie in Bild 7.2 dargestellt, sondern direkt die Grösse der Kabine und die Anzahl Lifte in der Gruppe, die ausschlaggebend für die Liftfläche sind.

Eine hohe Population führt zu einer hohen Anforderung an das Verkehrssystem, genauso wie eine höhere Spitzenbelastung, die sich über die Ausprägung von «*HC5 [%/5min]*» – der prozentuale Anteil der Gebäudepopulation, der innerhalb von fünf Minuten transportiert werden muss – äussert. Eine höhere Anzahl Etagen *N* reduziert jedoch die *RTT* (über die Anzahl Halte *S* und die durchschnittliche Umkehretage *H*), so dass entweder die Kabinengrösse *P* oder die Anzahl Schächte *L* steigen muss, um die benötigte Kapazität zu erreichen. Hier zeigen sich zwei Einflusskreise: Wird *P* grösser, verringert sich wiederum die *RTT*, so dass die Kapazitätssteigerung wieder gemindert ist. Sowohl *P* als auch *L* vergrössern die Liftfläche, die sich negativ auf die Population auswirkt. Schliesslich sinkt die Anforderung an das Liftsystem. In diesem Einflussnetz ist der Grund dafür zu suchen, dass hohe Gebäude und solche mit hoher Verkehrsanforderung einen deutlich höheren Platzanteil an den Aufzug abgeben müssen. Schliesslich bestimmt die maximale Zuladung einer Kabine und die Anzahl der Lifte die Grösse der Schachtfläche, die gleiche Schachtausnützung vorausgesetzt.

7.3.2.2 Wartefläche

Die ideale Grösse der Wartefläche bietet Platz für eine Kabinenladung von wartenden und eine von ankommenden Passagieren, da sich im Mittel zwischen der Ankunft zweier Kabinen maximal eine Kabinenfüllung ansammeln soll – vorausgesetzt, der Zustieg ist nicht durch die Steuerung begrenzt. Beim Warten ist die tolerierte Personendichte häufig kleiner als in der Kabine (ca. 1.4 Personen pro m² gegenüber ca. 4-5 P/m² in der Kabine (vgl. *CIBSE* [21]), was einem Faktor von 2.9-3.6 entspricht). So entspricht die Wartefläche mehr als nur der Fläche zweier Kabinen:

$$A_{\text{Warte}} = 2 \cdot F_{\text{Warte}} \cdot A_{\text{Kabine}} \tag{7.10}$$

mit

A_{Warte} Wartefläche

F_{Warte} Personendichte Kabine durch Personendichte Wartefläche (ca. 2.9-3.6)

A_{Kabine} Kabineninnenfläche

Dazu kommen weitere Dimensionierungsfaktoren wie Übersichtlichkeit und Gehdistanzen.

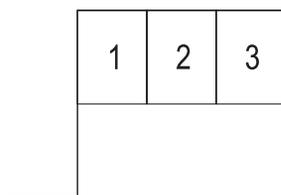


Bild 7.5. Einreihige Anordnung einer Liftgruppe

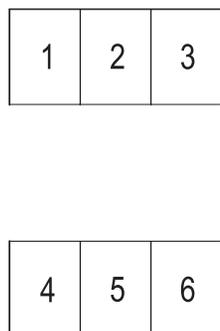


Bild 7.6. Zweireihige Anordnung einer Liftgruppe

7.3.2.3 Schachtwandfläche

Die Schachtwände sind häufig nur um die nebeneinander angeordneten Schächte und nicht dazwischen angeordnet, wo ein Metallgitter die Schächte trennt.

7.3.2.4 Füllfaktor von Kabine und Wartefläche

Die maximale Zuladung von Kabinen in Kilogramm entspricht einem Körpergewicht von ca. 75kg pro Person. Um sicherzustellen, dass der Grenzwert nicht überschritten wird, ist die Fläche so bemessen, dass die Kabine bei ca. 80-90% der maximalen Kabinenfüllung als voll betrachtet wird, bei grösseren und schwereren Personen auch schon vorher.

Die Einschätzung, welche Dichte als unangenehm empfunden wird, ist gewohnheits- und kulturabhängig. In Europa werden häufig Kabinen mit einer Füllung von 60% als voll angesehen, in Asien, auch bedingt durch die unterschiedliche Physiognomie, sind höhere Füllgrade feststellbar. Die Leistungsfähigkeit eines Aufzugs in Europa kann folglich unter seiner Nennkapazität sein.

7.3.3 Energieverbrauch

Eine Kabine benötigt dann Energie, wenn entweder die Last beim Hochfahren grösser oder bei der Abwärtsfahrt kleiner als das vom Gegengewicht kompensierte Gewicht ist. In den anderen Fällen entsteht Energie, die rekuperiert werden kann.

Die Masse des Gegengewichts entspricht üblicherweise dem Leergewicht der Kabine zusammen mit der Hälfte der Zuladung. Ein Aufzug im Aufwärtsverkehr braucht folglich so lange Energie, bis die Masse der Passagiere unter die Hälfte der maximalen Zuladung gesunken ist, danach kann Energie gewonnen werden. Bei der Abwärtsfahrt muss jedoch wieder Energie eingespeist werden, da das Gegengewicht die Kabine nach oben zieht.

Der Energieverbrauch wird also neben den technischen Kennwerten (Effizienz...) von der Kabinengrösse, der Kabinenfüllung und deren Verlauf bestimmt und ist somit stark abhängig vom gebäudespezifischen Verkehrsfluss. Dies macht es praktisch unmöglich, den Verbrauch analytisch zu bestimmen. Die in der Literatur erwähnten Berechnungsmethoden (vgl. CIBSE [21]) basieren deshalb auf empirischen Messungen und sind aufgrund ihrer Unschärfe nicht für einen direkten Vergleich mit der neuen Aufzugstechnologie geeignet.

Die beste Aussage für einen solchen Vergleich kann aus der Simulation eines Referenzgebäudes gewonnen werden, wobei beide Systeme notwendigerweise exakt denselben Verkehrsverlauf zu bewältigen haben. Deshalb sind hier eine Reihe von Formeln aufgeführt, die die Auswertung der Fahrtprotokolle aus der konventionellen Liftsimulation ermöglichen.

Der Energieverbrauch einer beladenen, aufwärtsfahrenden Kabine ($m_{zul} > 1/2 \cdot m_{zul_{max}}$) lautet

$$E_m = \frac{1}{\eta_m} \cdot E_{mech} \quad (7.11)$$

$$E_m = \frac{1}{\eta_m} \cdot [m_{zul} - (1/2 \cdot m_{zul_{max}})] \cdot g \cdot \Delta h \quad (7.12)$$

mit

E_m	Energieverbrauch im Motorbetrieb [J]
E_{mech}	Verbrauch an mechanischer Energie [J]
η_m	Wirkungsgrad im Motorbetrieb [-]
m_{zul}	Momentane Zuladung [kg]
$m_{zul_{max}}$	Maximale Zuladung [kg]
g	Erdbeschleunigungskonstante [m/s^2]
Δh	Höhendifferenz [m]

Analog dazu kann der Generatorbetrieb einer aufwärtsfahrenden Kabine beschrieben werden ($m_{zul} < 1/2 \cdot m_{zul_{max}}$) durch

$$E_g = \eta_g \cdot E_{mech} \quad (7.13)$$

$$E_g = \frac{1}{\eta_m} \cdot [m_{zul} - (1/2 \cdot m_{zul_{max}})] \cdot g \cdot \Delta h \quad (7.14)$$

mit

E_g Energieproduktion im Generatorbetrieb [J]
 η_g Wirkungsgrad im Generatorbetrieb [-]

Fährt eine Kabine mit $m_{zul} < 1/2 \cdot m_{zul_{max}}$ nach unten, benötigt sie Energie, die mit der Gl. (7.12) beschrieben ist. Umgekehrt kann eine nach unten fahrende Kabine mit $m_{zul} > 1/2 \cdot m_{zul_{max}}$ Energie produzieren (vgl. Gl. (7.14)).

Die Möglichkeit zur Rekuperation bedingt eine entsprechende Infrastruktur und ist nicht in allen Gebäuden vorhanden. Man kann davon ausgehen, dass in niedrigen Gebäuden seltener und in Hochhäusern sehr häufig Energie zurückgewonnen wird. Nach *CIBSE* [21] macht der Energieverbrauch 5-15% der jährlichen Ausgaben aus. Diese Zahl hängt selbstredend von der Nutzung des Gebäudes ab.

7.3.4 Performance des Lifts

7.3.4.1 Wartezeit

Die Wartezeit ist definiert als die Zeitspanne zwischen dem Ruf und dem Zeitpunkt, wenn der Passagier über die Kabinenschwelle tritt (vgl. *Barney et al.* [10]). Darin enthalten ist auch die Gehzeit zum Aufzug, die Türöffnungszeit und die Ausstiegszeit der anderen Passagiere. Aus der Sicht des Passagiers ist eine weitere Zeitspanne von psychologischer Bedeutung: die Wartezeit bis zum Ankunftssignal. Wie in Abschnitt 3.3.7 gezeigt, wird die aktions- und orientierungslose Zeit vom Passagier als am unangenehmsten empfunden. Das Ankunftssignal kündigt das Ende der Wartezeit und damit das Ende der Orientierungslosigkeit an. Ab diesem Zeitpunkt kann der Passagier aktiv sein, was seine Wahrnehmung der Wartezeit verändert.

Da sich die in der Fachliteratur angegebenen Formeln auf die erste Definition stützt, wird die offizielle Wartezeit weiter verwendet. Sie ist folglich nicht nur vom Ankunftsintervall ($INT = RTT/L$) abhängig, sondern auch von der Kabinenfüllung $\%L$. *G.C. Barney* [9] hat folgende Gleichung für die durchschnittliche Wartezeit mit Kabinenfüllungen von 50% bis 80% im *Up-peak*-Verkehr beschrieben:

$$AWT_{UPPEAK} = \left\{ 0.4 + \left[\left(1.8 \cdot \frac{\%L}{100} \right) - 0.77 \right]^2 \right\} UPPINT \quad (7.15)$$

Für *Down-peak* lässt sich die mittlere Wartezeit von Gl. (7.15) ableiten. Dabei ist während des Abwärtsverkehrs das Ankunftsintervall aufgrund der kleineren Anzahl Halte kürzer und führt zu tendenziell kürzeren Wartezeiten.

Für Interfloor Verkehr ist in *CIBSE* [21] folgende Formel angegeben:

$$AWT_{IF} = UPPINT \cdot \left[0.22 + \left(\frac{1.784 D_{if}}{100} \right) \right] \quad (7.16)$$

mit

AWT_{IF} Durchschnittliche Wartezeit bei Interfloorverkehr
 $UPPINT$ Ankunftsintervall bei Up-peak-Verkehr
 D_{if} Verhältnis der Verkehrsaufkommen Interfloor zu Up-peak

Während die hier abgeleiteten Werte den Erwartungswerten des Passagiers entsprechen (vgl. Abschnitt 3.3.7), gilt es noch, die Abweichungen vom Mittelwert zu diskutieren. Diese Betrachtungen lassen sich auf die Up-peak-Verkehrsform reduzieren, da alle Wartezeiten linear vom Startintervall Up-peak abhängen (vgl. Gl. (7.15)). Das Startintervall hängt wiederum von der *Round Trip Time* ab. Während des normalen Betriebes können bei jeder Fahrt die Parameter P , H und S sowie die Halteverlustzeit variieren. Letztere verzögert sich durch Passagiere, die die Türe blockieren. Die Ankunftszeit der Kabinen im Haupthalt ist ebenfalls gestreut. Die Abweichung der realen Wartezeit von der mittleren kann beim konventionellen Aufzug relativ hoch sein, so dass auch bei guten Mittelwerten unzufriedene Passagiere anzutreffen sind. Deshalb ist in den üblichen Richtwerten für die Wartezeit auch der 90-perzentile Grenzwert angegeben (vgl. Tabelle 7.3).

Tabelle 7.3. Richtwerte für die Bemessung der Wartezeit während *Up-peak* des konventionellen Aufzugs

Mittlere Wartezeit	Hohe Qualität	<16s
	Mittlere Qualität	16-20 s
	Niedrige Qualität	20-25 s
90%-ile Grenze der Wartezeit	Hohe Qualität	<32 s
	Mittlere Qualität	32-40 s
	Niedrige Qualität	40-50 s

7.3.4.2 Fahrtzeit

Die Fahrtzeit für den einzelnen Passagier wird bestimmt von der Anzahl Halte und der individuellen Fahrdistanz bis zu seiner Zieletage. Dies bedeutet, dass ein Passagier mit einer hohen Zieletage auch wegen der erhöhten Wahrscheinlichkeit, dass die meisten anderen Halte *vor* seinem Ziel erreicht sind, eine überproportional längere Fahrtzeit als einer mit kurzer Distanz hat. In einem 15-stöckigen Gebäude dauert die längste Fahrtzeit durchschnittlich ca. 70 Sekunden, die kürzeste nur ca. 10 Sekunden.

7.4 Beschreibung und Beschränkung des Lösungsraums der Multimobilsysteme

7.4.1 Übersicht

Das Verkehrskonzept lässt sich in Geometrie- und Steuerungsebene gliedern. Über die Geometrie wird der physikalische *Spielraum* definiert, die Steuerung hingegen beschreibt die Regeln, an denen sich die Kabinen innerhalb der Geometrie bewegen dürfen. Im Verkehrskonzept geht es nur um die logistische Steuerung und nicht um die Steuerung und Regelung der technischen Komponenten. Die Steuerungsebene lässt sich weiter in zwei Ebenen unterteilen: in eine Ebene, die grundsätzliche Regeln wie die Schachtbelegung definiert und in eine, die für die Verhaltensregeln während des Betriebs zuständig ist.

Die Geometrie beschränkt folglich den allgemeinen Lösungsraum; die erste Steuerungsebene baut auf dieser Einschränkung auf, schränkt ihrerseits wiederum den Lösungsraum ein und stellt damit die Basis für die höchste Steuerungsebene. Die notwendige Vorgehensreihenfolge sollte sich an dieser Hierarchie orientieren.

Ziel dieses Entwicklungsschritts ist es, die ersten Einflussnetze zu finden, die die technischen Elemente mit dem Umfeld verknüpfen. Die wichtigsten Einflussnetze, die für eine erste Abschätzung ausreichen, werden auf der Geometrieebene und auf einem Teil der ersten Steuerungsebene definiert. Die zweite Steuerungsebene muss dann anhand der technischen Lösungen erarbeitet werden. Dieser Arbeitsschritt entspricht der detaillierten Ausarbeitung des Verkehrskonzepts und wird daher in der vorliegenden Lösungsfindung ausgeklammert.

Abschnitt 7.4.2 skizziert den allgemeinen Lösungsraum und die verschiedenen Hierarchiestufen innerhalb des Verkehrskonzepts. Die folgende Diskussion zeigt auf, wie der Lösungsraum für die erste Analyse zu strukturieren ist und welche Parameter als erste und welche später in der Betrachtung des Gesamtkonzepts beizuziehen sind.

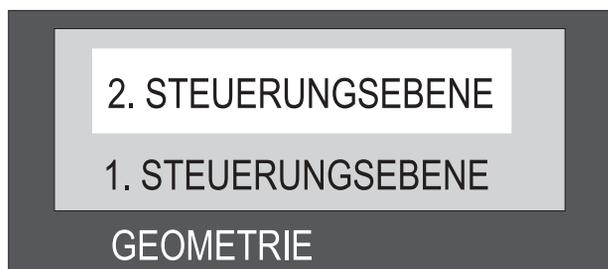


Bild 7.7. Hierarchie der verschiedenen Ebenen innerhalb des Verkehrskonzepts

7.4.2 Beschreibung des Lösungsraums

7.4.2.1 Geometrische Elemente des Verkehrskonzepts

Die Hauptfunktion des Aufzugs ist der vertikale Transport. Das erste geometrische Grundelement eines Lifts ist folglich der Fahrtschacht, der hier abstrakt als «Fahrspur» bezeichnet wird. Sie ist über die Querschnittsform, die Anordnung in der Gruppe, den Spurverlauf und die relative Länge charakterisiert. Weitere Merkmale der Fahrspur sind Anzahl und Position der Türen: Für eine Überholspur sind Türen zum Beispiel nicht notwendig, wogegen ein Schacht mit mehreren Türen in bestimmten geometrischen Anordnungen notwendig sein kann.

Damit mehrere Kabinen im gleichen Fahrsystem reibungslos fahren können, sind Schachtwechselstellen im allgemeinen notwendig. Schachtwechselstellen lassen sich in den Kategorien Sequenz, Position und Beladungszustand unterscheiden. Mit Sequenz ist die Reihenfolge der horizontalen und vertikalen Bewegung gemeint. Der Ablauf kann entweder rein sequentiell, parallel oder

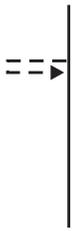
mit Zwischenstufen erfolgen. Ein Schachtwechsel kann sowohl mit oder ohne Passagier erfolgen (Beladungszustand).

Neben den direkt genutzten Fahrspuren sind als drittes Element der geometrischen Ebene auch weitere Teile im Fahrbahnssystem denkbar, die nicht für die Beförderung benutzt werden, wie beispielsweise Depots.

Tabelle 7.4. Zusammenfassung der geometrischen Elemente des Verkehrskonzepts mit Beispielen

Fahrspuren				
Anzahl pro Modul	1	2	5	10
Relative Länge				
Spurverlauf				
Anordnung				
Querschnittsform				
Türen: Anzahl und Position	 0	 1	 2	 4
Wechselstellen				
Sequenz				
Anzahl und Position				
Beladungszustand	mit Pers.	ohne Pers.		

Tabelle 7.4. Zusammenfassung der geometrischen Elemente des Verkehrskonzepts mit Beispielen

Zusätzlicher Raum ausserhalb der Fahrspuren				
Depot				
Befahrbarkeit				
Fristigkeit	lang	kurz		
Laderaum				

7.4.2.2 Erste Steuerungsebene

Auf dieser Ebene werden die Strategien für die Schachtbelegung bestimmt: Gilt im Schacht Einbahn- oder Gegenverkehr und ist diese Einschränkung zeitlich und lokal variabel? Mit dem Parameter «Zeit» lässt sich beispielsweise eine Anpassung der Schachtbelegung an das Verkehrsaufkommen bewirken. Lokale Variabilität bedeutet, dass auch innerhalb einer Zeitperiode Bereiche mit unterschiedlicher Schachtbelegung zugelassen werden.

7.4.2.3 Zweite Steuerungsebene

Da diese Ebene nicht in dieser Arbeit behandelt wird, sei nur eine Liste der zugehörigen Bereiche ohne Anspruch auf Vollständigkeit angeführt:

- Bedienung
- Zuweisungsstrategie
- Kollisionsvermeidung
- Wegsuche

7.4.3 Diskussion des Lösungsraums

7.4.3.1 Übersicht und erste Einschränkung

Nicht alle der in Abschnitt 7.4.2 vorgestellten Merkmale des Lösungsraums spielen bei der Erarbeitung des Verkehrskonzepts eine direkte Rolle. Sie resultieren später aus der technischen Umsetzung. In diesem ersten Schritt der Filterung werden folgende Merkmale für die Untersuchung des Verkehrskonzepts ausgeklammert:

- Spurverlauf
- Anordnung
- Querschnittsform
- Anzahl Türen > 0

Die gesuchte Lösung lässt sich also, unabhängig von der Geometrie, als Fahrbahnnetz beschreiben, definiert von der Ausprägung der übriggebliebenen Merkmale. Auch das heutige Aufzugssystem ist in diesem Lösungsraum enthalten.

Das Hauptziel der neuen Technologie liegt in der Verbesserung des Verhältnisses der Verkehrsleistung zur Aufzugsfläche. Die Kapazitätsdichte lässt sich also als Kriterium für Entwicklungsprioritäten verwenden. Zusammen mit der Frage nach akzeptanzkritischen Bereichen und dem Entwicklungsaufwand können Konzepte bevorzugt werden, ohne dass die Potentiale der Technologie vernachlässigt werden.

Deshalb geht Abschnitt 7.4.3.2 auf die Kerngrösse Kapazitätsdichte des Verkehrskonzepts näher ein. Abschnitt 7.4.3.3 diskutiert die Auswirkungen der Parameter Schachtwechsel mit Personen und Ort des Laderaums auf die Kapazitätsdichte, um die Variantenvielfalt vorläufig weiter einzuschränken.

7.4.3.2 Maximale Kapazität des Multimobils

Den Grundüberlegungen zur Verkehrskapazität des Multimobils liegt die *Up-peak*-Verkehrssituation zugrunde, da sie die kritische Grösse für jedes Aufzugssystem darstellt.

Wie beim heutigen Aufzug (vgl. Abschnitt 7.3.1) setzt sich die Kapazität in einem Schacht aus der Anzahl Personen pro Fahrt und dem Abfahrtsintervall zusammen (vgl. Gl. (7.1)). Je kürzer die Folgezeit einer Kabine, desto höher ist die Kapazität. Beim heutigen Liftsystem ist diese Folgezeit gleich der Rundfahrtzeit (*RTT*). Wenn jedoch eine zweite Kabine direkt nach der Abfahrt der ersten in die Beladungsstelle einfährt, lässt sich die Folgezeit deutlich verkürzen.

In einem Liftsystem mit mehreren Kabinen im Schacht lautet die theoretische Obergrenze der Kapazität pro Schacht:

$$HC5_{\max} = \frac{300 \cdot P}{INT_{\text{start}}} \quad (7.17)$$

wobei INT_{start} gleich der Zeit zwischen der Abfahrt zweier Kabinen ist.

Ohne Verwendung der Möglichkeiten, dass die Beladestelle ausserhalb der Fahrbahn ist und die Schachtwechsel beladen stattfinden können, hängt die Dauer von INT_{start} von der Halte- und der Einfahrtszeit ab. Zur Erarbeitung eines Referenzmodells soll der einfachste Fall mit den Ausprägungen «der Laderaum ist auf der Fahrbahn» und «der Wechsel findet unbeladen statt» beschrieben werden.

Die Einfahrt der zweiten Kabine kann theoretisch von allen Richtungen erfolgen: von oben, von den beiden Seiten, von unten und allen Zwischenstufen. Das Startintervall setzt sich für die Einfahrt von der Seite aus folgenden Schritten zusammen:

1. Einfahrt von der seitlichen Warteposition
2. Evt: Umstellen der Weichen in die vertikale Fahrtrichtung
3. Öffnen und Schliessen der Türen ($t_o + t_c$)
4. Aus- und Einstieg der Passagiere ($t_1; t_u$)
5. Vertikale Ausfahrt der Kabine aus der Einstiegsstelle
6. Sicherheitsabstand bis zur nächsten Einfahrt

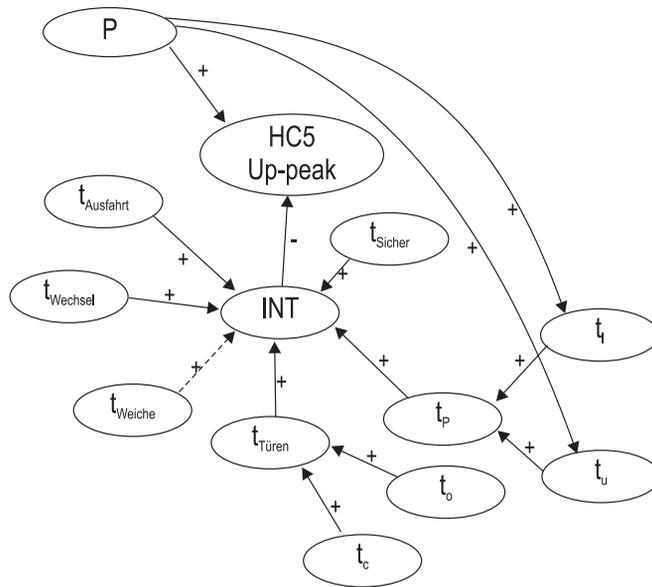


Bild 7.8. Einflussnetz des Multimobils auf die Kapazität (Einfahrt in die Beladungsstelle erfolgt seitlich)

Dies ergibt das in Bild 7.8 dargestellte Einflussnetz. Fährt die Kabine von oben (also entgegengesetzt zur Verkehrsrichtung) bzw. von schräg oben ein, dauert es länger bis die erste Kabine soweit gefahren ist, dass die zweite in die Fahrbahn einfahren kann. Abhängig von der Art des Schachtwechsels (Horizontalbewegung sequentiell oder parallel zur vertikalen?) wird zudem die Einfahrtszeit verlängert. Dieser Fall hat das gleiche Einflussnetz wie in Bild 7.8 dargestellt. Aufgrund der schlechteren Auswirkungen auf die *Handling Capacity* wird er im folgenden nicht weiter diskutiert.

Anders sieht es aus, wenn die Kabine von unten, also in die gleiche Fahrtrichtung wie die Verkehrsrichtung, einfährt. Die Einfahrt der zweiten Kabine kann hier praktisch (abzüglich des Sicherheitsintervalls) parallel zur Ausfahrt der ersten geschehen und führt zu einer Verkürzung des Startintervalls. Voraussichtlich ist die Wechselzeit eine kritische Grösse für die technische Umsetzung. Verlegt man den Wechsel vollständig unter die Einstiegsetage, so dass die Kabine auf ihrer normalen vertikalen Führung in den Beladungsraum einfahren kann, kann der Schachtwechsel parallel zur Beladung ausgeführt werden. In diesem Fall ist nur die grössere Zeitdauer für das Startintervall ausschlaggebend (vgl. Bild 7.10).

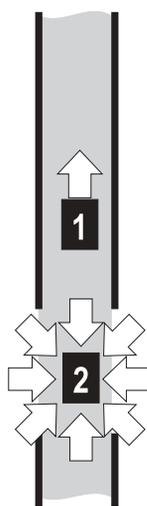


Bild 7.9. Möglichkeiten zur Einfahrt in den Fahrschacht nach Ausfahrt der ersten Kabine

Anhand von numerischen Beispielen soll nun der quantitative Unterschied zwischen den beiden Einfahrtsvarianten illustriert werden. Die verwendeten Werte sind in Tabelle 7.5 aufgeführt. Für eine Schachtwechselzeit von 10 s (vgl. Tabelle 7.5; «Ausprägung 1») ergibt sich für die seitliche

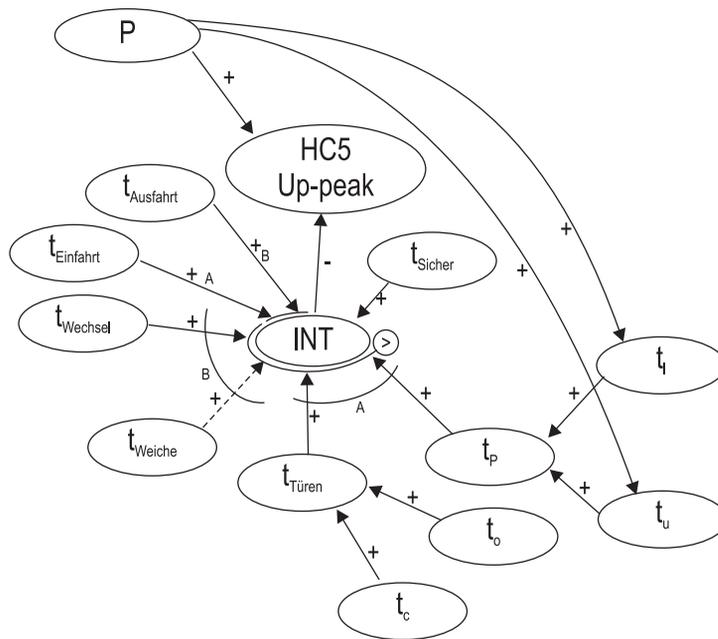


Bild 7.10. Einflussnetz auf die Förderkapazität eines Multimobils bei der Einfahrt von unten zusammen mit dem Wechsel parallel zum Beladungsvorgang

Einfahrt ein Startintervall von **29.9 Sekunden** und somit eine Kapazität von **84.34 Personen pro 5 Minuten**. Für dieselbe Wechselzeit erhält man für die Lösung mit dem parallelen Wechsel ein Startintervall von **14.9 Sekunden** und eine Kapazität von **140.94 Personen pro 5 Minuten**.

Falls der Schachtwechsel in nur 5 Sekunden möglich sein sollte, bedeutet dies für die seitliche Einfahrtsvariante eine Kapazität von **105.53**, die andere Variante bleibt unverändert. Dies bedeutet, dass die Variante «Unten» unterhalb einer gewissen Wechselzeit keinen Bedarf mehr an kürzeren Wechselzeiten hat. Sie erreicht gegenüber der Variante «Seite» mit dem gleichen Wechsel eine um 57% höhere Kapazität, mit dem kürzeren Wechsel liegt die Kapazität immerhin noch um 25% höher.

Tabelle 7.5. Werte für die numerischen Beispiele bzgl. HC5 Up-peak beim Multimobil.

Attribut	Ausprägung 1	Ausprägung 2
$t_o + t_c$	3.7 s	
t_1 pro Person	1.1 s	
P	7	
$t_{\text{Wechsel}} + t_{\text{Weiche}}$	10 s	5 s
t_{Ausfahrt}	3 s	
t_{Sicher}	0.5 s	
$t_{\text{Einfahrt_vertikal}}$	4	
$INT_{\text{START Seite}}$	29.9 s	19.9 s
$HC5 \text{ Seite [P/5min]}$	84.34	105.53
$INT_{\text{START Unten}}$	15.9	15.9
$HC5 \text{ Unten [P/5min]}$	132.1	132.1

Ausschlaggebend für die maximale Kapazität ist das Intervall zwischen zwei Kabinen, das bei diesen Lösungen zum grossen Teil durch die Einstiegszeit bestimmt wird. Möchte man diese Kapazität noch weiter steigern, kann dies mit der Verwendung zweier oder mehrerer Einstiegsetagen erreicht werden. So steigt die mehrfache Anzahl an Passagieren gleichzeitig in die Kabinen ein und vervielfacht so auch die Kapazität eines Schachts (vgl. Bild 7.11). Beim konventionellen Liftsystem ist die ähnliche Idee unter dem Begriff «Doppel- resp. Tripeldeckelift» implementiert. Die Kabinen sind jedoch mechanisch gekoppelt, was zu einer Einbusse an Flexibilität führt. Beim Multimobil können die Kabinen unabhängig voneinander fahren, weshalb dieses Konzept in dieser Arbeit «Doppelladerprinzip» genannt wird. Im nächsten Abschnitt wird nun aufgrund dieses Referenzmodells der Nutzen der beiden Parameter «Beladungszustand Wechsel» und «Ort des Laderaums» in Zusammenhang mit den Risiken gebracht.

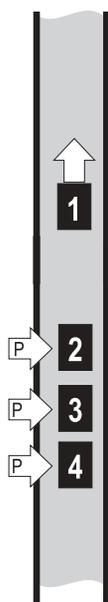


Bild 7.11. Beispiel eines Tripellader Multimobils

7.4.3.3 Einfluss der Parameter «Beladungszustand Wechsel» und «Ort Laderaum»

Mit dem Parameter «Beladungszustand Wechsel» wird festgelegt, ob sich eine Kabine mit Passagieren horizontal bewegen darf. In einer ersten pauschalen Wertung verhilft dies dem System zu mehr Flexibilität bei der Schachtnutzung und somit eventuell zu kürzeren Fahrtzeiten, da die Staufahrt verkleinert werden könnte. Des weiteren könnte sich diese Freiheit auf die Verfügbarkeit der Kabinen und somit auf die Wartezeit positiv auswirken. Doch die seitliche Bewegung ist für den Passagier sicherlich ungewöhnlich und erzwingt die Notwendigkeit, die seitliche Beschleunigung zu kompensieren. Dies kann einerseits der Passagier selber übernehmen (festhalten) oder von der Technik unterstützt werden (z. B. Kippmomentenausgleich durch Neigebewegung; vgl. *Th. Dünser* [26]). Ohne Technik besteht eine deutliche Gefahr von Akzeptanzschwierigkeiten oder sogar körperlicher Schäden in der Einführungsphase. Eine technische Lösung wirkt sich sicherlich auf die Kosten und – einhergehend mit der steigenden Komplexität der Lösung – auf die Gefahr einer verminderten Robustheit und Komfortabilität aus. Letztere würde sich wiederum negativ auf das Sicherheitsgefühl auswirken. Als letzte Ungewissheit ist aufzuführen, dass Personen, die in geschlossenen Räumen nicht vorhersehbar horizontal bewegt werden, *seeskrank* werden können.

Falls es im Liftsystem möglich sein sollte, die Passagiere horizontal zu bewegen, besteht zumindest ein enormer Forschungsbedarf auf der psychologischen Ebene, um diese Unsicherheiten zu beseitigen und klare Anforderungen definieren zu können. Letztlich zählt jedoch nur der Effekt dieser Massnahme auf die Ziele der Innovation, was im folgenden untersucht werden soll.

Ein Ladeort ausserhalb der Fahrbahn basiert auf der oben diskutierten Möglichkeit, die Passagiere horizontal zu bewegen, da die Kabine vom Beladungsort in den Fahrtschacht gelangen muss.

Wie oben beschrieben, hat die Beladungszeit einen bedeutenden Einfluss auf die Kapazität des Aufzugs. Trennt man den Beladungsraum von der Fahrbahn, indem z. B. vor dem Schacht beladen wird, ergeben sich neue Möglichkeiten, wie die Kapazität gesteigert werden kann. Für die Kapazität ist der Beladevorgang wesentlich, d. h. wieviele Kabinen gleichzeitig beladen werden können. Für den Platzverbrauch des Aufzugs massgebend sind jedoch die Anzahl Fahrtschächte. Durch die Trennung des Beladungsorts von der Fahrbahn liessen sich theoretisch an den kritischen Einstiegs-etagen mehrere Kabinen parallel für die gleiche Fahrspur beladen und so die Fahrspur effizienter nutzen. Das Startintervall würde von folgenden Schritten bestimmt:

1. Einfahrt in die Fahrspur
2. evtl. Weichenstellen für die vertikale Fahrt
3. Ausfahrt vertikal

Mit den Werten der Tabelle 7.5 – Ausprägung 1 – würde dies zu einer Erhöhung der Kapazität um 18% ($HC5 = 155.6 \text{ P/5min}$) gegenüber der Variante «Unten» führen. Zu diskutieren bleibt die minimal zulässige Schachtwechselzeit mit Personen, die hier mit zehn Sekunden angenommen ist. Falls es dagegen möglich sein sollte, sie auf 5 Sekunden zu verkürzen, würde sich die maximale Kapazität um 87% steigern ($HC5_{\text{max}} = 247 \text{ P/5min}$).

Wie hier ersichtlich, kann diese Massnahme theoretisch zu einer deutlichen Zunahme der *Handling Capacity* des Schachts führen, ohne dass hier auf die Umsetzbarkeit und den zusätzlichen Platzbedarf im Einstiegsgeschoss Rücksicht genommen wird. Die maximale Kapazität liesse sich durch geeignete Schachtwechsel (z. B. parallele horizontale und vertikale Verschiebung) eventuell noch weiter steigern. Ab einem bestimmten Punkt liegt die Grenze jedoch nicht mehr beim Einstieg, sondern in der Fahrbahn selbst. Die Kapazitätsgrenze eines Schachts definiert sich über die Gl. (7.18) zu

$$HC5_{\text{Schacht}} = \frac{300 \cdot P \cdot d_{\text{Kabinen_Fahrt}}}{v_{\text{mittel}}} \quad (7.18)$$

mit

$d_{\text{Kabinen_Fahrt}}$ Distanz zwischen zwei fahrenden Kabinen [m] (auf den Kabinenboden bezogen)

v_{mittel} mittlere Geschwindigkeit während der Entladefahrt [m/s]

Mit der Annahme, dass die kleinste Distanz zwischen zwei fahrenden Kabinen mindestens zwei Etagen à 3.5 m ist und die mittlere Geschwindigkeit bei ca. 1 m/s, liegt die Obergrenze der Kapazität pro Schacht bei ungefähr 300 P/5min (+130%).

In der Tabelle 7.6 sind die potentiellen Einflüsse dieser beiden Parameter auf die Innovationsziele zusammengefasst. Als positive Aspekte lassen sich die Effizienzsteigerung im Schacht und die eventuell bessere Warte- und Fahrtzeit nennen. Andererseits aber besteht das Risiko, dass die zu erwartende gesteigerte Komplexität die Entwicklungskosten sowie die Initialkosten des Lifts erhöht. Des weiteren entsteht ein ohne tiefere Untersuchung nicht einschätzbares Risiko, beim Passagier Akzeptanzprobleme hervorzurufen.

Auch angesichts der schon ohne diese Massnahme enormen Effizienzsteigerung eines Multimobils in einem Schacht bei gleicher Kabinengrösse kann für den ersten Entwicklungsschritt dieser Technologie auf die Wirkung der beiden Parameter «Ort des Laderaums» und «Beladungszustand Wechsel» verzichtet werden, um das Risiko der Innovation zu senken – im Bewusstsein, dass hier noch ein Optimierungspotential brach liegt.

Tabelle 7.6. Zusammenfassung der potentiellen Einflüsse der Trennung des Beladeraums von der Fahrbahn und der horizontalen Bewegung mit Passagieren

	potentieller Einfluss	Kommentar
Handling Capacity	klein – gross	abhängig von der Wechselgeschwindigkeit mit Personen
Wartezeit	keiner – positiv	
Fahrtzeit	keiner – positiv	
Sicherheit Passagiere	negativ	durch Umfallen
Intimsphäre Passagier	negativ	durch Umfallen
Herstellkosten Wechsel	negativ	
Entwicklungszeit	negativ	
techn. Robustheit	negativ	
Komfortgefühl Passagier	negativ	Vibrationen und «Seekrankheit»
Komfort im Gebäude	negativ	
Sicherheitsgefühl Passagier	negativ	

7.5 Einflussnetz der Mehrfahrzeugsysteme

7.5.1 Übersicht

Dieser Abschnitt erarbeitet Lösungsmöglichkeiten des Verkehrskonzepts. Der Fokus liegt dabei auf den Einflussnetzen und deren momentan optimalen Ausprägungen, die den späteren Entscheidungen als Basis unterlegt werden sollen.

Der erste Unterabschnitt stellt zwei Grundkonzepte von Multimobilsystemen vor, die auf der Einschränkung basieren, dass der Beladeort auf der Fahrbahn ist. Aufgrund der Kenntnis der Bewertungskriterien und deren Gewichtung ist es möglich, ein Grundkonzept zu bevorzugen und das andere relativ dazu zu diskutieren.

Die Resultate sind so aufbereitet, dass sie für das Systemmodell am besten verwendet werden können. In den meisten Fällen entspricht dies mathematischen Gleichungen. Deren Erarbeitung ist von einem spezialisierten Simulationsprogramm für Multimobilsysteme [46] unterstützt.

7.5.2 Beschreibung der Grundkonzepte

Die Erarbeitung der Grundverkehrskonzepte orientiert sich direkt an den «Bewertungskriterien», den Zielen für die neue Technologie. Primär sind dies das Verhältnis zwischen Verkehrskapazität und Aufzugsfläche, sekundär auch die Initialkosten. Der Aspekt «Energieverbrauch» fliesst später in die Untersuchung ein.

Wie in Abschnitt 7.4.3 gezeigt, liegt der *Engpass* des Fördersystems Aufzug im Beladen in den Hauptetagen. Ein Mehrfahrzeugsystem ermöglicht eine höhere Beladungsfrequenz, indem es Kabinen schneller der Einstiegsetage zuführen kann, als es mit nur einer Kabine pro Schacht möglich ist.

In Bild 7.9 sind die verschiedenen Möglichkeiten, in die Einstiegsstelle zu fahren, aufgezeigt. Aus der Sicht der Kapazität ist es am besten, wenn die Kabinen während Aufwärtsverkehr konti-

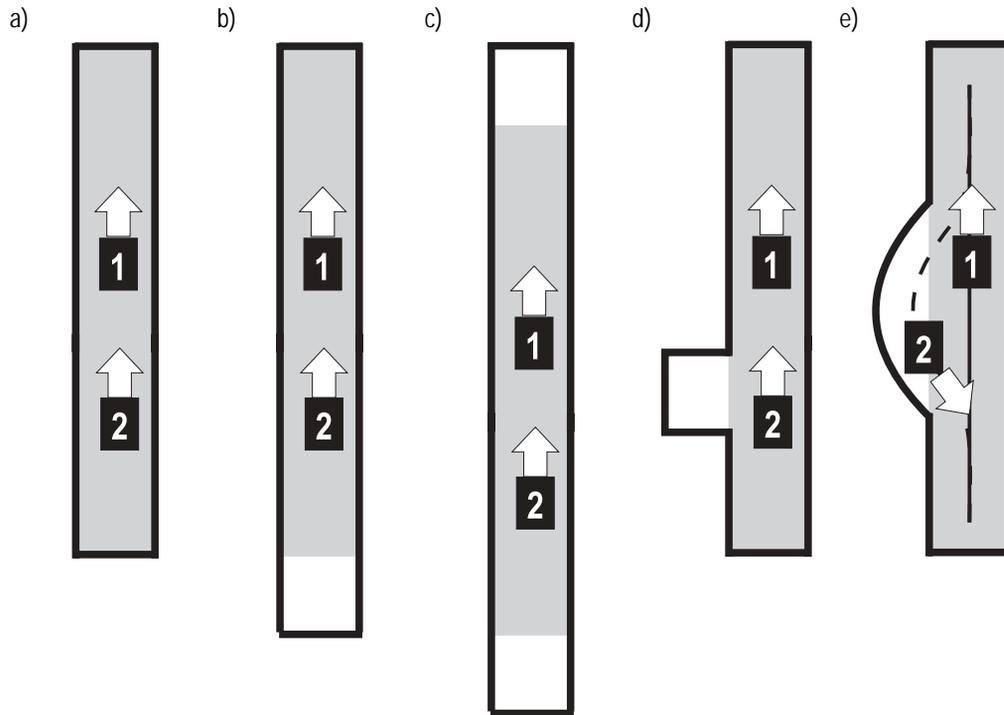


Bild 7.12. Beispiele für Mehrfahrzeugsysteme mit gemeinsamer Fahrbahn für beide Richtungen (mit <weiss> sind die Ausweichstellen gekennzeichnet)

nuierlich von unten zugeführt werden (vgl. Diskussion in Abschnitt 7.4.3). Wenn die Kabinen von oben, wie beim heutigen System, zugeführt werden, behindern sie die ausfahrenden Kabinen, was zu einer Verschlechterung der Kapazität führt. Mit einem Mehrkabinensystem lassen sich jedoch mehrere konventionelle Kabinen im gleichen Schacht überlagern, die (beinahe) synchron nach oben und nach unten fahren. Beispiele dafür sind in Bild 7.12 aufgeführt. Dabei sind vor allem die Beispiele a) bis c) von Interesse, da sie ohne Wechselstellen auskommen und nur einen Schacht benötigen. Das eine verbessert die finanziellen Aspekte des Lifts, das andere die Flächeneffizienz.

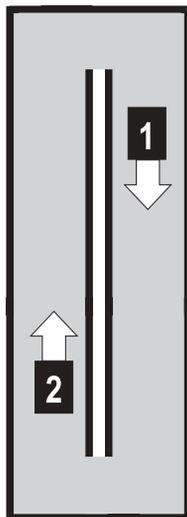


Bild 7.13. Beispiel eines Mehrfahrzeugsystems mit getrennter Rückführung der Kabinen

Als zweite Möglichkeit kann die Kabine entweder von der Seite oder von unten einfahren; beides benötigt eine zweite Fahrspur, auf der die ankommenden Fahrzeuge an der Einstiegsstelle vorbeifahren können. Das einfachste Konzept dieser Art ist der Kreisverkehr (vgl. Bild 7.13), dessen

einfachste Variante als Paternoster in die Aufzugsgeschichte einging. Da während der Spitzenverkehrszeit der Verkehr vorwiegend in eine Richtung fließt, ist die zweite Fahrspur «unnützlich» und wird kaum für Personentransport gebraucht. Aus der Sicht der Flächeneffizienz werden also zwei Schächte für die Aufrechterhaltung der Startfrequenz benötigt. Deshalb liegt der Gedanke nahe, mehrere Aufwärtsschächte mit nur einem Rückwärtsschacht zu versorgen, um die Flächeneffizienz zu steigern. Beispiele dafür sind in Bild 7.14 dargestellt. In anderen Verkehrsaufkommen als *Up-peak* wird die Nutzung angepasst.

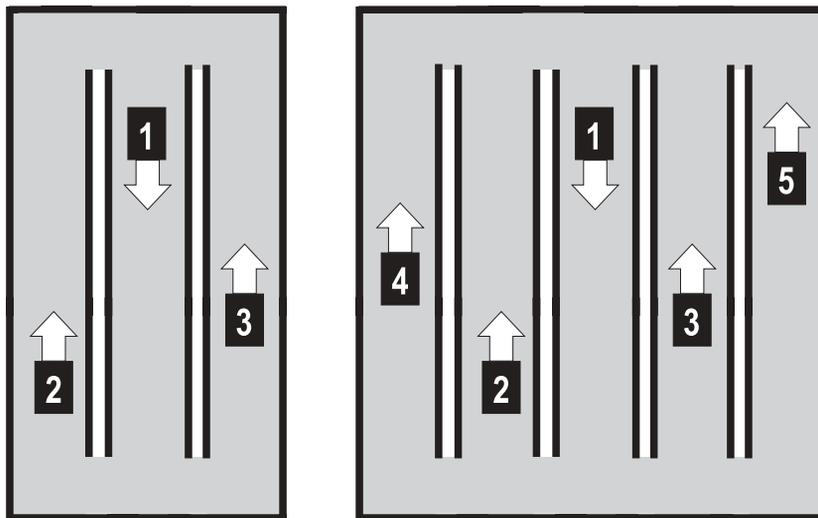


Bild 7.14. Zwei Beispiele von Schachtlayouts mit hohem Verhältnis von Kapazität zu Schachtfläche

Multimobilsysteme ohne seitlichen Personentransport lassen sich also in zwei Grundkonzepte (vgl. Bild 7.13 und Bild 7.14) einteilen. Um eine erste Priorisierung zu erhalten, werden die beiden Grundkonzepte an ihrer Marktwirkung gemessen. Sie unterscheiden sich voraussichtlich in Kapazitätsdichte, Initialkosten und eventuell Energieverbrauch. Die Kapazitätsdichte ist sicherlich beim Grundkonzept 2 aus Bild 7.14 wesentlich besser. Dagegen könnte jenes aus Bild 7.13 (Grundkonzept 1) bei den Kosten Vorteile haben, da es keine Wechselstellen benötigt.

Ein flächeneffizientes System bewirkt, dass die zulässigen Mehrkosten höher sein dürfen. Durch die Effizienz werden auch weniger Schächte benötigt, was ebenfalls Einfluss auf die Kosten hat. Aus diesen Gesichtspunkten wird das zweite Grundkonzept für das weitere Vorgehen priorisiert. Sollte sich während der Analyse herausstellen, dass sich der Vorteil der Kapazitätsdichte nicht halten lässt oder dass sich eine Festforderung nicht erfüllen lässt, sollte das erste Grundkonzept ebenfalls in die Analyse miteinbezogen werden. Deshalb wird für Grundkonzept 1 auch die Kapazitätsdichte ermittelt.

7.5.3 Beschreibung des Einflussnetzes

7.5.3.1 Einflussnetz auf die Handling Capacity

Handling Capacity – Up-peak

Grundkonzept 1 (Bild 7.12) wirkt sich im Grundsatz gleich auf die Kapazität aus wie das konventionelle Liftsystem. Während die anderen (mindestens eine weitere) Kabinen unterhalb der Einstiegsetagen warten, wird die oberste Kabine beladen. Danach fährt sie den gleichen Zyklus wie eine konventionelle bis sie in der Hauptetage erneut beladen werden kann. Die nächste Kabine wird dann beladen, wenn die vorhergehende losgefahren ist, und führt ebenfalls eine Rundfahrt aus. Die Rund-

fahrtzeit der obersten Kabine bestimmt erst einmal die maximale Kapazität während Up-peak dieses Konzepts. Dabei sind auch die Rundfahrtzeiten der anderen Kabinen zu berücksichtigen, die, falls sie länger als die der obersten dauern, zu Stau und somit zu einer Kapazitätsminderung führen.

Um dies zu verhindern, sind angepasste Steuerungen notwendig. Am einfachsten gelingt dies mit Blockbildung, d. h. dass eine Kabine nur Passagiere für einen bestimmten Etagenbereich einlädt. Dies kann zum einen die Anzahl Halte während eines Zyklus' reduzieren, zum anderen verkürzt sich die Reisedistanz der unteren Kabinen. Beides kann die RTT verkürzen.

Die späteren Kabinen starten mit einer Verzögerung in den Zyklus, die der Beladezeit der ersten zusammen mit einem zusätzlichen Intervall, entspricht. Diese Verzögerung pflanzt sich mit der Anzahl Kabinen pro Schacht fort. Da der Anteil der Fahrtstrecke an der RTT meistens kleiner als der der Anzahl Halte ist, ist auch für ein mit Bereichsbildung optimiertes System eine deutliche Verlängerung der ausschlaggebenden Rundfahrt zu erwarten. In Gl. (7.19) ist die Berechnung der RTT mathematisch formuliert. Wenn RTT_i grösser als RTT_1 der obersten Kabine ist, ist RTT_i ausschlaggebend. Dabei ist mit dem letzten Term sowohl die Verzögerung bei der Ausfahrt der i -ten Kabine als auch diejenige bei der Einfahrt der obersten Kabine, die nach dem Eintreffen der i -ten Kabine sich ebenfalls noch zur Einstiegsetage bewegen muss, zu berücksichtigen. Es gilt somit

$$RTT_{\text{eff}} = \max\{RTT_i\} \quad (7.19)$$

$$RTT_i = 2H_i t_v + (S_i + 1) \cdot t_s + 2Pt_p + (i - 1) \cdot (Pt_1 + \Delta t_{\text{ausfahrt}} + t_v) \quad (7.20)$$

mit

RTT_{eff} für die Kapazität ausschlaggebende RTT

i Laufnummer für die Anzahl Kabinen im Schacht

$\Delta t_{\text{ausfahrt}}$ Zeit für die Ausfahrt aus der Startetage.

Kennt man die effektive RTT der obersten Kabine und somit die Kapazität der einen Kabine, lässt sich die gesamte Kapazität eines Schachtes mit der Anzahl Kabinen multiplizieren. Im Bild 7.15 sind diese Einflüsse illustriert.

T. Sudo und *S. Markon* [101] haben ein solches System in einem Gebäude mit 43 Etagen und einer 26-Personen-Kabine ($v=6$ m/s) simuliert und erreichten eine $HC5$ pro Schacht und 6 Kabinen von 122 P/5min. Wenn man die Gl. (7.19) auf das gleiche System anwendet, erhält man eine RTT_1 von 181 s. Die unterste Kabine benötigt für die reine Rundfahrt zwar nur 139 s, doch kommen bei ihr noch Verzögerungen von 240 s dazu, so dass sich eine RTT_6 von 279 s ergibt. Dies ergibt eine $HC5$ pro Schacht von 123 P/5min und entspricht fast exakt dem Resultat der Simulation. Der Einfluss des «Staus» ist hier sehr ausgeprägt.

Charakteristisch für diese Lösung ist der Einflussweg der Anzahl Kabinen (K_{Schacht}) auf die $HC5$, der es ermöglicht, ohne höheren Platzverbrauch eine höhere Kapazität zu erreichen. Da die einzelnen Etagenblöcke nicht beliebig verkleinert werden können, ohne der Gefahr nicht gefüllter Kabinen zu unterlaufen, wirkt dieser Effekt vor allem mit ansteigender Anzahl Etagen. Bei einer höheren Etagenanzahl erhöht sich jedoch die Rundfahrtzeit, so dass sich die beiden Effekte tendenziell die Waage halten.

Für die Steigerung der Kapazität bedarf es also einer minimalen Anzahl an Etagen pro Kabine. Damit eine Kabine auch mit ausreichend Personen gleichen Ziels gefüllt werden kann, benötigt man folglich eine bestimmte Ankunftsrate, die wiederum abhängig von der Population ist. Da auch diese mit der Anzahl Etagen zusammenhängt, scheint es hier eine untere Grenze von 5-6 Etagen pro Block zu ergeben. Die Anwendung des Grundkonzepts 1 beginnt also bei 10-12 Oberetagen. Diese Annahme sollte jedoch über eine Simulation überprüft werden.

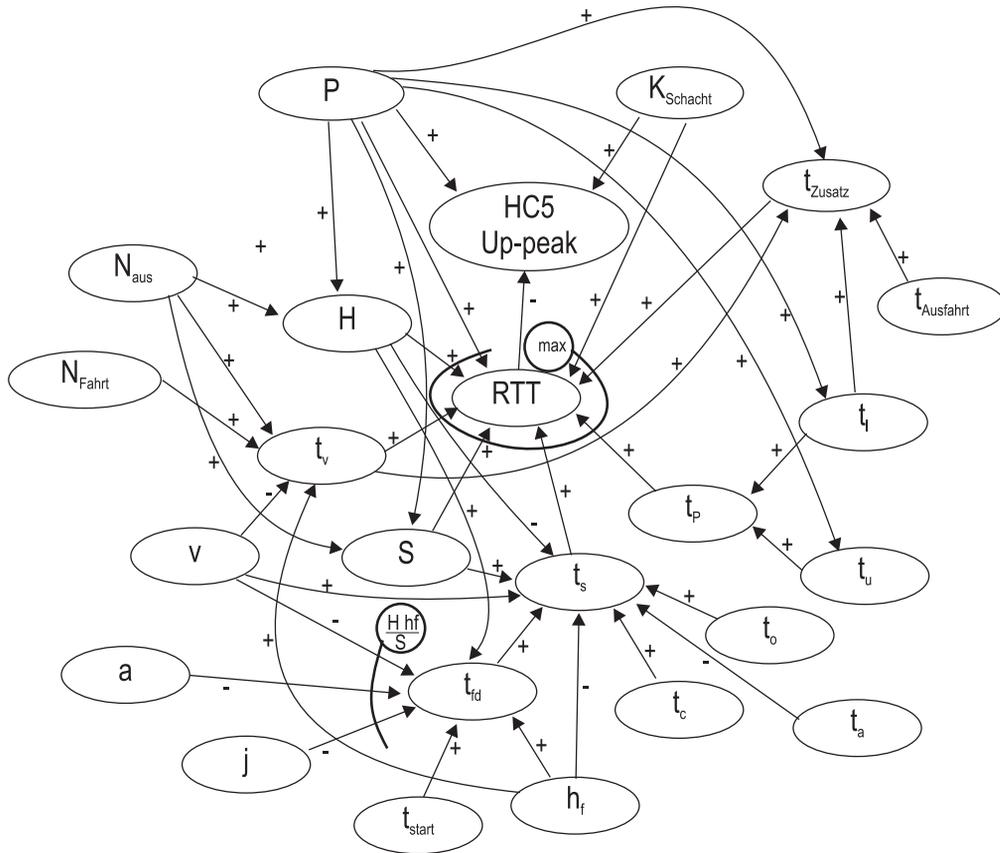


Bild 7.15. Einflussstruktur des Grundkonzepts 1 auf die Handling Capacity Up-peak

Beim **zweiten Grundkonzept** ergibt sich die maximale Kapazität eines Aufwärtsschachts aus dem Intervall zwischen zwei abfahrenden Kabinen, das sich aus folgender Schrittfolge zusammensetzt:

1. Zeitintervall zwischen der Abfahrt der ersten und Ankunft der zweiten Kabine
2. Zeit für Türöffnung
3. Transferzeit der Passagiere
4. Türschliessungszeit

Der erste Zeitschritt hängt zum einen von der Ausfahrtszeit der ersten Kabine ab (Gl. (7.21)), wobei d für die bei der Ausfahrt zurückzulegende Strecke steht (z. B. Kabinenhöhe):

$$t_{\text{Ausfahrt}} = \frac{a}{2j} + \sqrt{\frac{2d - \frac{a^3}{12j^2}}{a}} \tag{7.21}$$

Nach dieser Zeitspanne ist die Einstiegsetage wieder komplett frei, so dass sich theoretisch schon wieder die Türen der zweiten Kabine öffnen könnten. Für die Steuerung der von unten kommenden zweiten Kabine ist jedoch zu berücksichtigen, dass ihr Abstand zur ersten immer gross genug für eine Notbremsung ist. Die erforderliche Bremsdistanz ist abhängig von der momentanen Geschwindigkeit und einer technischen Reaktionszeit t_{Reaktion} (vgl. Gl. (7.22) und Bild 7.16). Für die Notbremsung wird eine höhere Verzögerung a_{not} verwendet.

$$d_{\text{brems}} = v(t) \cdot t_{\text{Reaktion}} + \frac{v(t)^2}{2a_{\text{not}}} \quad (7.22)$$

d_{brems} muss zu jedem Zeitpunkt kleiner als der Abstand der beiden Kabinen sein. Es hängt vom Schachtwechsel ab, wie die zweite Kabine einfährt, d. h. ob sie erst anfahren muss oder schon eine Nominalgeschwindigkeit besitzt. Im zeitlich konservativeren Fall wartet sie eine Etage unterhalb, beschleunigt und verzögert für die Etagenhöhe. Für die Distanz von d benötigt sie

$$t_d = \frac{a}{j} + \frac{\sqrt{a^3 + 4 \cdot d \cdot j^2}}{\sqrt{a} \cdot j} \quad (7.23)$$

Bei gleichen Werten j und a dauert Gl. (7.23) sicher länger als Gl. (7.21). Wenn davon ausgegangen wird, dass die Etagenhöhe um mindestens 0.5 m länger ist als eine Kabine und dass eine Notfallverzögerung von $a_{\text{not}} = 6 \text{ m/s}^2$ umgesetzt werden kann, ist der Sicherheitsabstand zwischen den beiden Kabinen gewährleistet. t_d wird dann zu 4 s und die maximale Kapazität HC5 pro Schacht zu 136 P/5min (mit einer 7 Personen Kabine). Die zugrunde gelegten Formeln sind im Abschnitt 7.4.3 erwähnt.

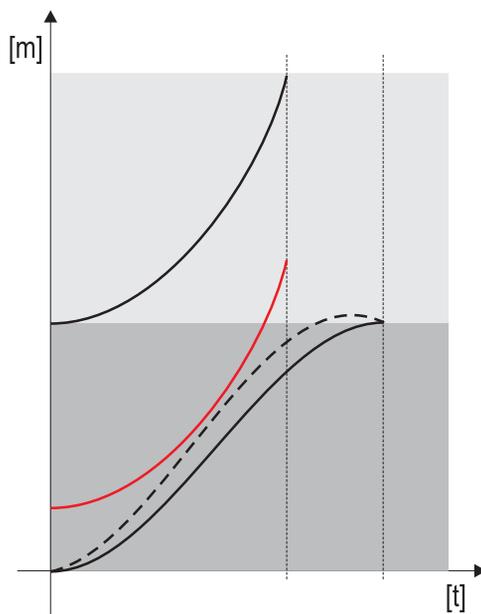


Bild 7.16. Erforderlicher Mindestabstand zwischen ein- und ausfahrender Kabine. Die Distanz zwischen zweit-oberster und unterster Linie bedeutet den Abstand der zwei Kabinen. Gestrichelt ist der zusätzlich erforderliche Sicherheitsabstand.

Damit diese maximale Kapazität aufrecht erhalten werden kann, darf das Verkehrskonzept keine Flaschenhalse aufweisen. So muss einerseits die der Eingangsetage Kabinen zuführende Wechselstelle eine genügend hohe Kapazität aufweisen, andererseits müssen auch ausreichend Kabinen vor der Wechselstelle vorhanden sein.

Die Kapazität der Hauptwechselstelle muss dem Intervall am Haupthalt entsprechen, so dass spätestens dann eine zweite Kabine bereitsteht, wenn die erste beladen ist.

$$HC_{\text{Wechsel}} = \frac{60FS_{\text{pers}}}{INT_{\text{Start}}} \left[\frac{Kab}{min} \right] \quad (7.24)$$

Der Parameter FS_{pers} steht für die Anzahl der für den Personentransport genutzten Fahrspuren.

Die beladenen Kabinen führen, wie beim konventionellen Aufzug, eine Rundfahrt aus, um die Passagiere auszuladen. Somit ist die *RTT* zusammen mit der Anzahl Kabinen im System ausschlaggebend für das Intervall, mit dem die Kabinen am Hauptwechsel ankommen. In einem System mit einer ausreichenden Anzahl Kabinen haben diese keinen Einfluss auf die Kapazität; sobald zu wenige da sind, sind sie dafür ausschlaggebend. Mit einer leicht modifizierten Gleichung für *RTT* (vgl. Gl. (7.2)) lässt sich die notwendige Anzahl Kabinen *K* bestimmen:

$$RTT = 2H_{MM}t_v + S \cdot t_s + P \cdot t_p + 2t_{\text{Wechsel}} + t_{\text{Stau}} + t_{\text{verlust}} \quad (7.25)$$

$$INT_{\text{Start}} \geq \frac{RTT}{K} \quad (7.26)$$

Die Berechnung der *Round Trip Time* des Multimobils des zweiten Grundkonzepts muss, verglichen mit Gl. (7.2) mit Termen für Schachtwechsel, Stau und die zusätzliche Fahrdistanz zu den Wechselstellen ergänzt werden (vgl. Gl. (7.25)). Die zu berücksichtigende höchste mittlere Umkehretage des Multimobils H_{MM} hängt wie beim heutigen Lift erst einmal von der statistischen Zielverteilung einer Fahrt ab. Zusätzlich gilt es bei dieser Variante zu berücksichtigen, dass die Kabine erst dann wieder zurückfahren kann, wenn sie bei der nächsten Wechselstelle angekommen ist (und diese ohne Behinderung der nachfolgenden Fahrzeuge auch benutzt werden kann). Abhängig von der Anzahl und Position der oberen Wechselstellen kann sich also die Fahrdistanz einer Kabine im Vergleich zum heutigen Liftsystem deutlich verlängern.

Eine wichtige Rolle kommt hier auch der Steuerung (2. Steuerungsebene nach Bild 7.7) zu, die in dieser Untersuchung nicht erarbeitet wird. Hierin werden ebenfalls zusätzliche Wege festgelegt, um andere Parameter des Systems zu verbessern (z. B. Stauvermeidung). Die hier getroffenen Aussagen müssen anhand der Implementierung überprüft werden.

Stau im *Up-peak*-Verkehr entsteht dann, wenn eine vorfahrende Kabine von der nachfolgenden eingeholt wird. Der zeitliche Abstand der zweiten Kabine wird über das Startintervall bestimmt. Würden die beiden Kabinen synchron fahren, entstünde kein Stau. Stau entsteht erst, wenn die erste Kabine eine dem Startintervall entsprechende Zeitspanne gegenüber der zweiten Kabine «einbüsst». Dies kann entweder daran liegen, dass die erste Kabine mehr Halte als die zweite Kabine macht, oder dass die Halte der ersten Kabine länger dauern, z. B. wenn eine Person die Türe blockiert. Beides kann über die Kabinensteuerung, resp. die Mensch-Maschine-Schnittstelle, günstig beeinflusst werden, übersteigt aber den Rahmen dieser Arbeit. Es erscheint machbar, dass die Zuweisung zu den Kabinen so erfolgt, dass nur selten Stau entsteht. Die vielversprechendste Möglichkeit, wie eine solche Aufgabe gemeistert werden könnte, ist aus dieser Perspektive die Blockbildung:

1. Jede Kabine führt in jedem Etagenblock eine bestimmte Anzahl Halte aus, so dass die zeitliche Distanz zwischen Kabinen ungefähr gleich bleibt.
2. Die Kabinen fahren direkt in «ihren» Etagenbereich und beeinflussen so die anderen nicht.

Deshalb wird die Stauverlustzeit bis auf weiteres vernachlässigt.

Werden mehrere Aufwärtsschächte von einem Abwärtsschacht versorgt (vgl. Bild 7.14), lässt sich die Kapazitätsdichte $HC5/m^2$ steigern. Die Anforderung an die Kapazität der Wechselstelle im unteren Bereich wird beträchtlich erhöht (vgl. Gl. (7.24)). Die benötigte Kapazität wird mit der Anzahl zu versorgenden Schächte multipliziert.

Der «Rückführschacht» muss in einer solchen Konfiguration eine erhöhte Kabinendichte abfertigen. Dies erhöht die Staugefahr, wenn eine Kabine anhalten muss. Geht man davon aus, dass solche Abwärtsfahrten bei *Up-peak*-Verkehr die Ausnahme darstellen, besteht keine permanente Gefahr für die Verkehrskapazität – und wenn, dann kann diesem Problem mit einer höheren Anzahl Kabinen abgeholfen werden.

Der Passagier ist somit höchstens mit einer längeren Fahrtzeit konfrontiert. Dem Unbehagen kann über steuerungs- oder informationstechnische Lösungen begegnet werden.

Schliesslich ergeben sich für die maximale HC5 unter idealen Voraussetzungen die in der Tabelle 7.7 aufgeführten Werte. Der Einfluss der Kabinengrösse äussert sich zum einen in verlängerter Einstiegszeit und – bei grossen Kabinen – längerer Türöffnungszeit, doch der stärkste Einfluss auf die HC5 bleibt die Anzahl der Personen, die pro Start transportiert werden. Die maximale Kapazität steigt somit bei grossen Kabinen deutlich an, auch wenn der abschwächende Einfluss zunimmt.

Tabelle 7.7. Maximale Handling Capacity HC5 der Mehrschichtenanlagen

Anzahl Schächte	450 kg (5P) ¹	630kg (7P) ^a	800kg (8P) ²	1000kg (10P) ^b	1275kg (13P) ³
2	114	136	145	158	173
3	228	272	290	316	346
4	342	408	435	474	519
5	456	544	580	632	692
6	570	680	725	790	865

1. Türöffnungszeit = 3.7 s
2. Türöffnungszeit = 4.0 s
3. Türöffnungszeit = 4.2 s

In Abschnitt 7.4 ist bereits die Möglichkeit angesprochen, zwei oder mehr Kabinen gleichzeitig pro Schacht zu beladen, um so die Kapazität zu steigern (Doppeldeckerprinzip). Da der Begriff Doppeldeckerlifte zu sehr auf die mechanische Kopplung zweier Kabinen verweist, wird in der Anwendung auf Multimobilsysteme der Begriff Doppellader verwendet, der mehr Gewicht auf den parallelen Ein- und Ausstieg legt. Durch dieses Prinzip vervielfacht sich die zurückgelegte Einfahrtstrecke, so dass einerseits die Einfahrtszeit grösser wird. Andererseits vergrössert sich auch die maximale Geschwindigkeit, die wiederum eine Vergrösserung des Sicherheitsabstandes nötig macht. Hier spielt zudem eine Rolle, dass im Gegensatz zur Einzel-Einfahrt (vgl. Bild 7.16) die vordere Kabine ebenfalls bremst, was die notwendige Sicherheitsdistanz zusätzlich erhöht. Aus einer Analyse der ausschlaggebenden Dynamik ergeben sich folgenden Werte: Die Einfahrtszeit in die Einstiegsetagen beträgt 5 Sekunden. Die zweite Kabine muss mit einer Notfallbeschleunigung von 8 m/s^3 als Grenzwert 0.2 Sekunden warten, bevor sie losfahren kann. Um auf der sicheren Seite zu sein, wird diese Wartezeit auf 0.5 Sekunden gesetzt. Für eine 630kg-Kabine wird die Kapazität mit einem Doppeldecker zu 248.5 P/5min, was eine Steigerung von knapp +83% gegenüber dem einfachen Start ausmacht. Würde die Wartezeit der zweiten Kabine auf den Grenzwert von 0.2 Sekunden gesetzt, würde sich die HC5 um +86% steigern.

Diese Möglichkeit des Doppel- bzw. Multiladernmultimobils erlaubt es im *Up-peak*-Verkehr, die Verkehrsspitze (vgl. Bild 7.1), die ohnehin nur eine kurze Periode dauert, ohne Vergrößerung der Schachtfäche aufzunehmen. Der Passagier muss dadurch zusätzlichen Weg auf sich nehmen, um in die untere Etage zu kommen. Diese Möglichkeit wird deshalb in der weiteren Analyse nur dort angedacht, wo im Gebäude schon konventionelle Multideckersysteme eingeplant werden.

Obwohl die Ausarbeitung der Wechselstelle erst später erarbeitet wird, ist es sinnvoll, an dieser Stelle erste Plausibilitätsüberlegungen anzustellen. Für die Versorgung der Einstiegsetagen mit Kabinen ist es notwendig, dass die Kapazität der unterhalb liegenden Wechselstelle grösser als die Einstiegskapazität ist. In Gl. (7.24) ist die minimale Kapazität beschrieben. Für eine 7-Personen Kabine und einen Fahrschacht liegt diese bei 3.8 Kabinen pro Minute, was bedeutet, dass alle 15.7 Sekunden eine Kabine unterhalb der Einstiegsetage verfügbar sein muss. Eine Kabine durchläuft beim Wechseln folgende grundlegenden Schritte, die jedoch in der technischen Lösung nicht nur sequentiell ablaufen können:

1. Fahrt von Einstiegshöhe zu Wechselstelle
2. Weichenstellen auf Schachtwechsel
3. Schachtwechsel
4. Weichenstellen auf Vertikalfahrt
5. Ausfahrt aus Wechselstelle in Einstiegsstelle

Für die folgende Betrachtung wird davon ausgegangen, dass die Einfahrt in die Wechselstelle im Abwärtsschacht parallel zur Ausfahrt im anderen Schacht geschehen kann. Ausschlaggebend für die Kapazität sind schliesslich nur die Schritte 2 bis 5. Die Zeitspanne für Einfahrt bzw. Ausfahrt und Schachtwechsel hängt davon ab, ob die Kabine vorher oder nachher stillsteht, da so Beschleunigungsverluste entstehen. Für diese Analyse soll der konservative Fall gelten, dass zwischen allen Schritten gestoppt wird.

Eine Fahrt von einer Etage (3 m) dauert ca. 4 s (vgl. Gl. (7.23)). Somit würden für den Schachtwechsel zusammen mit dem Weichenstellen noch 11.7 s zur Verfügung stehen.

Wenn nun zwei Schächte versorgt werden müssen, stehen insgesamt nur noch gut 7.8 Sekunden zur Verfügung, so dass ein Schachtwechsel innerhalb von 3.8 Sekunden ausgeführt sein muss.

Müssen hingegen drei Schächte versorgt werden, müsste der Schachtwechsel innerhalb von 1.2 Sekunden ausgeführt sein, was technisch schon eine Herausforderung bedeuten kann. Vier Schächte zu beliefern, wäre mit diesen Annahmen gar nicht mehr möglich.

Abhilfe ist möglich, indem zwei Wechselstellen parallel arbeiten: Jeweils zwei Kabinen fahren länger in die und aus der Wechselstelle, dafür ergibt sich eine längere Zeit für den Schachtwechsel. Angenommen, die Kabinen müssten nun über sechs Meter in die Wechselstellen fahren und benötigen dafür 5.2 Sekunden, dann bleiben für einen Wechsel (4-Schacht-System) immerhin ebenfalls 5.2 Sekunden (gegenüber 1.2 Sekunden).

Im Fünfschachtssystem mit vier Aufwärtsschächten ergibt sich eine Grenzzeit für einen Schachtwechsel von 2.7 Sekunden.

Dieser Effekt kann mit drei, vier oder mehr parallelen Wechselstellen weitergeführt werden. Es ergibt sich jedoch eine Obergrenze, wenn der Mehraufwand für die Fahrt nicht zu angemessener Zeit für den Schachtwechsel führt. Der kritische Fall liegt dann vor, wenn zusätzlich zu mehreren Schächten ein Doppelladerbetrieb eingeführt wird. Dies bedeutet, dass doppelt so viele Kabinen bei nur einer Beladeetage zugeführt werden müssen. Im Fünfschachtssystem müssten dann also acht Kabinen innerhalb von 15.7 Sekunden bereitgestellt werden. Wenn nun vier Wechselstellen parallel verwendet werden können, heisst dies, dass für jeden Viererblock an Kabinen 7.8 Sekunden zur Verfügung stehen. Allein die Fahrt von zwölf Metern (vier Etagen) würde mit normaler Dynamik schon 7 Sekunden benötigen. Erst mit optimierter Dynamik ($j=10 \text{ m/s}^3$; $a=3 \text{ m/s}^2$; $v=4.5 \text{ m/s}$) lässt sich die

Fahrtzeit auf 4.5 Sekunden reduzieren, womit dem Schachtwechsel noch 3.3 Sekunden bleiben.

Dieses Fünfschachtsystem mit vier parallelen Wechselstellen zeichnet sich als Obergrenze des Machbaren ab. Vorderhand wird also das 6- oder 7-Schachtsystem nicht weiter berücksichtigt. In der technischen Umsetzung bleibt hier jedoch viel Potential auszuschöpfen: Erstens lässt sich die Dynamik einer leeren Kabine noch weiter anpassen, um die Fahrtzeiten zu reduzieren, zweitens gewinnen Schachtwechsel ohne zwischenzeitliche Halte zusätzlich Zeit und drittens lassen sich vielleicht weitere Schritte parallel ausführen. Schliesslich ergibt sich das in Bild 7.17 dargestellte Einflussnetz für die Mehrschichtvariante. Die erhaltenen Werte für die Aufwärts-Kapazität der beiden Grundkonzepte stützen die oben getroffene Priorisierung. Sie werden noch im Abschnitt über «Kapazitätsdichte» mit dem Platzbedarf in Beziehung gesetzt.

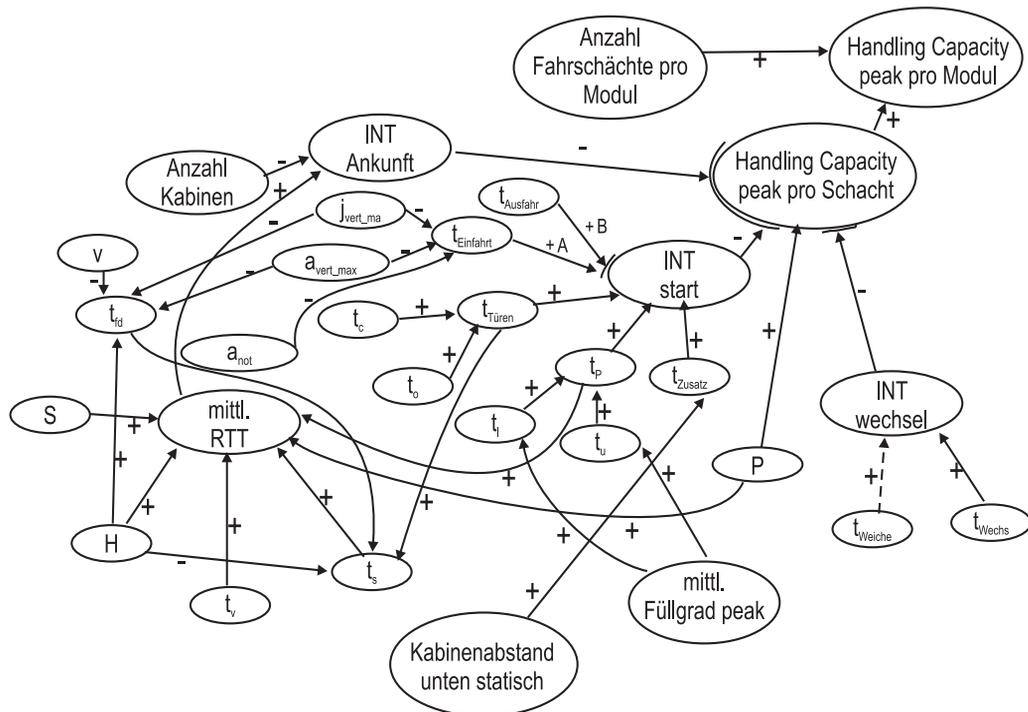


Bild 7.17. Einflussnetz der Mehrschichtvariante (Grundkonzept 2) auf *Handling Capacity* während *Up-peak*-Verkehr

Handling Capacity – Down-peak

Der Abwärtsverkehr verhält sich wie ein in der zeitlichen Reihenfolge umgekehrter Aufwärtsverkehr. Die Personen starten in ihrer Nutzetape und fahren in die Hauptetape. Da praktisch alle das gleiche Ziel haben, ist es einfacher, die Rufe zusammenzufassen, so dass sich die durchschnittliche Anzahl Halte reduziert.

Dadurch (Bild 7.18 zeigt den Betriebsmodus Down-peak) verkürzen sich die Rundfahrtzeiten, so dass weniger Kabinen als bei *Up-peak*-Verkehr benötigt werden. Doch die Kapazitätsgrenze liegt bei diesem Konzept bei den Einstiegsetagen und nicht bei der RTT. Da diese Kapazität schon im Aufwärtsverkehr ausgeschöpft wird, lässt sich keine Kapazitätssteigerung erreichen.

Die Steigerung der Kapazität beim konventionellen System ergibt sich aus den Betriebsverhalten dieses Aufzugs, der Kunde erhält dies gewissermassen ungefragt. Dementsprechend gibt es auch keine Analysen darüber, ob diese Eigenschaft wirklich in dieser Ausprägung gewünscht wird. In Ermangelung dieser Kenntnisse werden folgende Möglichkeiten vorgeschlagen, mit den neuen Eigenschaften umzugehen:

- Die dem Kunden wichtige Kapazität ist die Füllkapazität, und deshalb wird eine schlechtere Abwärtskapazität nicht wahrgenommen.
- Das Liftsystem wird auf die gewünschte Verkehrsstärke im Abwärtsverkehr dimensioniert, so dass im Aufwärtsverkehr eine Überkapazität vorhanden ist.
- Während der Abwärtsspitze wird ein Doppeldeckerbetrieb eingeführt, so dass die Hälfte der Passagiere die letzte Etage zu Fuss überwinden muss (vorzugsweise wird die Etage *über* dem Haupthalt dafür verwendet).

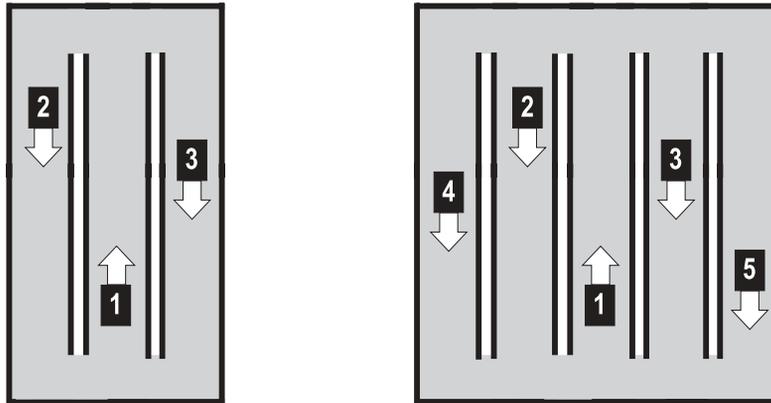


Bild 7.18. Drei- und Fünfschachtsystem im Abwärtsbetrieb

Handling Capacity – Interfloor

Im Zwischenstockverkehr fährt eine kleinere Anzahl von Personen mit stochastischer Start- und Zielverteilung.

Die vorgeschlagene Betriebsform während Interfloor Verkehr ist in Bild 7.19 illustriert. Die Kabinen fahren im Einbahnverkehr, der durch den geringeren Sicherheitsabstand zu einer höheren Kapazität im Schacht führt, jeweils in beide Richtungen. Die Kapazität definiert sich über:

$$HC_{IF_{Schacht}} = v_{m_{IF}} \cdot \rho_{Kab} \left[\frac{K}{m} \right] \cdot P_{IF} \quad (7.27)$$

mit

- $HC_{IF_{Schacht}}$ Kapazität eines Schachtes während Interfloor Verkehr [P/s]
- $v_{m_{IF}}$ mittlere Geschwindigkeit während Interfloor Verkehr [m/s]
- P_{IF} mittlere Kabinenfüllung während Interfloor
- ρ_{Kab} Kabinendichte (Anzahl Kabinen pro Meter)

Die mittlere Geschwindigkeit wird über die Anzahl Halte, die dazwischenliegende Distanz und die Fahrdynamik beeinflusst. Zusätzlich sind die Zeitverluste durch Staus zu berücksichtigen. Stau erhöht die Anzahl Halte pro Kabine und beeinflusst somit die Kapazität des Schachtes. Dazu kommt, dass die Auflösung des Staus zusätzlich Zeit in Anspruch nimmt. Die zweite Kabine fährt nicht simultan mit der ersten an, sondern muss eine gewisse Zeit verstreichen lassen, damit der Sicherheitsabstand bei Vollgeschwindigkeit ausreichend ist. Diese Wartezeit pro Kabine multipliziert sich mit der Anzahl Kabinen im Stau und ergibt so die Zeit, bis die letzte Kabine wieder losfahren kann. Im schlimmsten Fall kommen ständig weitere Kabinen an, so dass der Stau lange Zeit nicht aufgelöst wird. Ein ähnliches Phänomen ist auf den Autobahnen feststellbar. Um diese Form von Kapazitätseinbußen zu verhindern, sollte sich die Anzahl der sich im Umlauf befindlichen Kabinen dem Verkehrsaufkommen anpassen. Dafür sind Depots unvermeidbar.

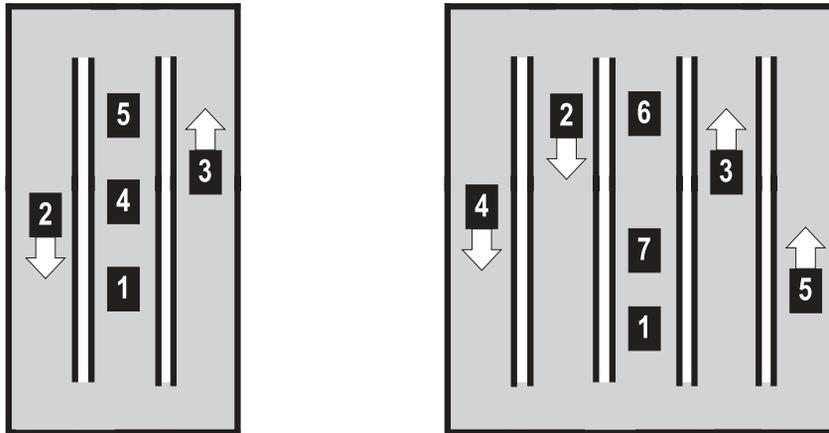


Bild 7.19. Die Nutzung von Mehrschachtsystemen während Interfloor Verkehr

In den beiden einseitigen Verkehrsformen (*Up- bzw. Down-peak*) ist immer ein Schacht zur Rückführung der Kabinen verwendet worden, der im Zwischenstockverkehr in dieser Art nicht gebraucht wird. Deshalb ist es naheliegend, diesen Schacht bei Anlagen mit mehr als zwei Schächten als Depot für nicht benötigte Kabinen zu verwenden, da so auch kein zusätzlicher Platzbedarf entsteht. Bei Zweischachtsystemen ist dies in dieser Art nicht möglich.

Die maximale Kapazität während des *Interfloor* Verkehrs hängt schliesslich stark von der Zuweisung der Rufe zu den Kabinen ab, wenn von den Faktoren wie der angepassten Anzahl Kabinen abgesehen wird. Dennoch lässt sich festhalten, dass die Kapazität mindestens gleich hoch wie beim konventionellen Lift ist.

Handling Capacity – Mittagszeit

Während der Mittagszeit überlagern sich Abwärts-, Aufwärts- sowie Zwischenstockverkehr.

Durch den beidseitigen Verkehr verlängert sich die RTT, so dass in einem für *Up-peak*-Verkehr dimensionierten System das Ankunftsintervall in der Hauptetage zum kapazitätsbestimmenden Faktor wird. In einem System mit zwei Schächten wird der zweite Schacht als zusätzlicher Fahrtschacht für Abwärtsfahrten genutzt. Das Verhalten dieses Systems ist vergleichbar mit dem konventionellen Lift: Die gesamte Kapazität wird leicht gesteigert oder bleibt gleich, wobei die Kapazität pro Richtung selbstredend kleiner wird. Mit einer grösseren Anzahl an Kabinen lässt sich hingegen die Kapazität weiter bis zur Grenze der Einstiegskapazität steigern. Die Kapazität während der Mittagszeit wäre dann doppelt so hoch wie bei *Up- oder Down-peak*-Verkehr.

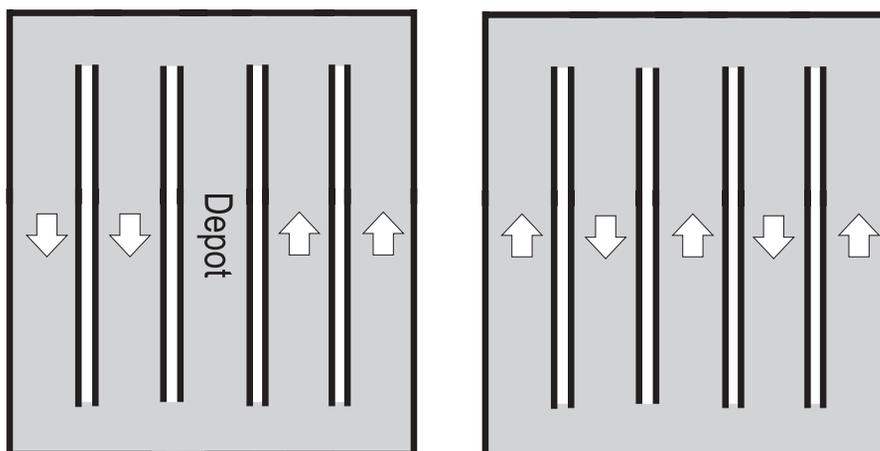


Bild 7.20. Verkehrsführungsvarianten während Mittagsverkehr

Wendet man dies für ein System mit drei oder mehr Schächten an, wird die Kabinendichte im Rückführschacht eher hoch, was zu langen Fahrtzeiten durch Stau führen kann. Diese Variante ist nur bei asymmetrischem Verkehr denkbar, wenn das Aufkommen in eine Richtung deutlich höher als in die andere Richtung ist. *B. A. Powell* [76] verwendet in seinen Analysen für den zweiseitigen Verkehr Muster, in denen die Spitzen in eine Richtung phasenverschoben zu den Spitzen in die andere Richtung sind. Dies deutet darauf hin, dass dieser Anwendungsfall durchaus eintreten kann. Passt man auch hier die Anzahl Kabinen den Erfordernissen der Mittagszeit an, lässt sich die Kapazität deutlich erhöhen.

Systeme mit mehr als zwei Schächten lassen jedoch auch weitere Nutzungsarten zu (vgl. Bild 7.20), deren Einsatz von der Zusammensetzung des Verkehrsaufkommens abhängt. Gleich viele Auf- wie Abwärtsschächte in Kombination mit einem Depotschacht sind bei symmetrischem Verkehr mit ausgeprägtem Zwischenstockverkehr sinnvoll. Wenn alle Schächte benutzt werden, wird die höchste Verkehrskapazität erreicht. Im Beispiel von fünf Schächten (Bild 7.20, rechtes Layout) beträgt die Gesamtkapazität für 7-Personenkabine 680 P/5min gegenüber 544 P/5min im Up-peak-Verkehr – vorausgesetzt, es sind ausreichend Kabinen verfügbar. Dies führt zu einer Steigerung der maximalen Verkehrskapazität während der Mittagszeit von +20%.

Handling Capacity – Ausfall

Als Ausfallszenarien sind zum einen Schäden an einer bewegten oder solche an einer statischen (im Schacht) Komponente auszumachen. Kritisch ist ein Ausfall vor allem dann, wenn ein Grossteil der Wege im System behindert werden. Ein Ausfall in der Nähe der Eingangsetagen stellen so ein Szenario dar, wogegen ein Schaden in den oberen Etagen <nur> dazu führt, dass die oberen Etagen nicht angefahren werden können. Die Konsequenzen von Störungen an beweglichen Komponenten könnten eventuell dadurch gelindert werden, dass die Kabine in eine unkritische Zone bewegt wird. Doch es bleibt ein «Worst-Case Szenario»: der Ausfall einer Schachtkomponente zu Hauptverkehrszeiten in der Nähe der Hauptetagen.

Im schlimmsten Fall fällt also ein Schacht oder wenigstens ein Schachtabschnitt aus. Dieser Kapazitätsverlust lässt sich i.a. durch einen zeitweiligen Doppeldeckerbetrieb beheben.

Im Zweischachtsystem besteht jedoch das Problem, dass dann die Zirkulation der Kabinen nicht mehr möglich ist. Mit einer Lösung, wie sie in Bild 7.21 dargestellt ist, lässt sich eine Ausfallkapazität von 50-70% der normalen Leistung erreichen. Sie hängt von der Distanz des Ausfalls von der Hauptetage und der Position sowie Geschwindigkeit der Wechselstelle ab.

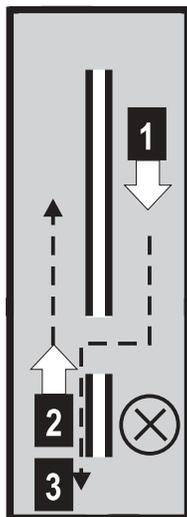


Bild 7.21. Doppeldecker-Verkehrsführung im Kreisverkehr bei Komponentenausfall an den Hauptetagen

Einfacher gestaltet sich der Ausfallbetrieb bei den Varianten mit mehr als zwei Schächten. Die Variante mit drei Schächten erreicht im Normalbetrieb mit einer 7-Personen Kabine eine Kapazitätsgrenze von 272 P/5min. Beim Ausfall eines Schachtes stehen ihr noch zwei funktionierende Schächte zur Verfügung, die sie als einfachen Kreisverkehr nutzen kann. Auch hier lässt sich mit der Doppeldeckerfunktion während des Ausfalls die Kapazität deutlich von 136 auf 248.5 P/5min steigern, also auf 91% der ursprünglichen Leistung. Ein konventionelles System braucht 11 Schächte, um eine vergleichbare Ausfallsleistung zu erreichen.

Mit Systemen ab vier Schächten verhält es sich grundsätzlich gleich wie mit drei. Doch wenn die Kapazität der Wechselstellen höher als sonst erforderlich wäre, liesse sich so auch eine Ausfallsleistung von 100% erreichen.

Anlagen, die im Normalbetrieb schon Doppelladerlifte benutzen, können dann analog auf *Trippelladermodus* wechseln.

Mit Ausnahme des Zweischachtmoduls erreichen alle geprüften Varianten problemlos die gleiche Ausfallsleistung wie der konventionelle Aufzug. Falls Bedarf besteht, müsste bei den grösseren Modulen auch keine Einbusse beim Ausfall hingenommen werden. Die Variante mit zwei Schächten erreicht nur eine Ausfallsleistung von 50-70%. Damit liegt sie höchstwahrscheinlich unter den vergleichbaren konventionellen Liftgruppen.

Handling Capacity – Wartung

Es können entweder bewegte oder statische Teile gewartet werden. Bewegte Teile haben den Vorteil, dass sie an einen unkritischen Ort bewegt werden können, wogegen statische Komponenten zu einer ähnlichen Problematik wie beim Ausfall führen können. Es wird aber davon ausgegangen, dass die Wartung wenn irgend möglich zu Nebenverkehrszeiten ausgeführt wird.

Für die Wartung einer Kabine bietet sich eine spezielle Wartungsposition (z. B. in einer oberen Ecke des Schachtsystems) an. Die Leistung wird dann nicht beeinträchtigt. Zur Reparatur einer Schachtkomponente wird auf die Diskussion der Ausfallsleistung verwiesen.

Handling Capacity – Gebäudeentleerung

Ziel einer Evakuierung ist die schnellstmögliche Entleerung des Gebäudes. Das grundlegende Verhalten ist folglich gleich wie bei Down-peak, abgesehen davon, dass die Gewichtung der Grundinteressen des Passagiers anders sind. Der Komfort beispielsweise wird weniger wichtig.

Der Kapazitätsengpass im Abwärtsverkehr liegt in der Einstiegsetage. Folglich kann die Kapazität wiederum durch den Multideckerbetrieb gesteigert werden. Wenn anstatt einer (630 kg) drei Kabinen parallel ausladen, erhöht sich die Kapazität um ca. 160%. Mit fünf Kabinen steigert sich die Kapazität um 300%.

Um diese Leistungssteigerung zu erreichen, steigt auch die Anforderung an die Wechselstelle. Gegebenenfalls muss auch die Kabinenzahl angepasst werden. Für den Passagier bedeutet dies eine grössere körperliche Anstrengung.

7.5.3.2 Einflussnetz auf die Liftfläche

Schachtinnenfläche

Um den zusätzlichen Volumina gerecht zu werden, werden zur Schachtinnenfläche alle Querschnittsflächen pro Etage gezählt. Auch wenn die Querschnittsform sowie die Schachtausnutzung des neuen Verkehrskonzepts nicht festgelegt ist, sollen für die Vergleichbarkeit die gleichen Schachtdimensionen wie beim konventionellen Lift verwendet werden. Auf die jeweiligen Ausprägungen wird im Abschnitt «Kapazitätsdichte» näher eingegangen.

Wartefläche

Die Wartefläche bestimmt sich über die Kabinengrösse und über den Unterschied zwischen den maximalen Füllungsgraden von Kabine und Wartefläche (vgl. Abschnitt 7.3.2). Die Wartefläche

sollte zusätzlich zu den aussteigenden Passagieren so viele Personen aufnehmen können, wie bis zur nächsten Ankunft einer Kabine sich ansammeln.

Das für die Warteschlange ausschlaggebende Intervall eines Schachtes ist deutlich kürzer als beim konventionellen Lift. Pro Schacht liegt es mit einer 630 kg Kabine bei ca. 16 Sekunden und wird bei einer Anlage mit mehreren Aufwärtsschächten durch deren Anzahl dividiert. Das Intervall eines Fünfschachtelements liegt folglich bei ca. 4s. Auch wenn über die Steuerung Zuweisungsblöcke gebildet werden und nicht jeder wartende Passagier in jede ankommende Kabine steigen kann, liegt das für die Wartezeit verantwortliche Intervall unter demjenigen des konventionellen Lifts.

Neben Gl. (7.10) sollte bei der Bemessung der Wartefläche zudem die Übersichtlichkeit berücksichtigt werden. Die Fläche sollte so gestaltet sein, dass der Passagier alle Türen überblicken kann. Für die Werte in der Tabelle 7.8 ist angenommen worden, dass die Wartefläche mindestens 1.5 m tief (resp. 2 m für Fünfschachtmodule) sein und gleichzeitig mindestens zwei Kabinenfüllungen aufnehmen soll.

Schachtwandfläche

Der Einflussfaktor der Schachtinnenfläche auf die Schachtwandfläche ist

$$r = \frac{\sqrt{1 + \varepsilon_{BGF}} - 1}{\varepsilon_{BGF}}$$

Kapazitätsdichte

Hier sind zwei Kennzahlen von Interesse: die auf den Querschnitt und die auf die kumulierte Liftfläche bezogene Kapazitätsdichte. Die erste beschreibt den Flächenbedarf im Haupthalt, die zweite berücksichtigt zudem die Anzahl Etagen, Zusatzvolumina und Fahrspuren, die nicht bis zur obersten Etage reichen. Da die Kapazität des Grundkonzepts 2 nicht von der Höhe abhängt, lässt sich eine allgemeine Tabelle zur (querschnittsbezogenen) Kapazitätsdichte erstellen (vgl. Tabelle 7.8). Man erkennt den positiven Einfluss der Anzahl Schächte auf die Kapazitätsdichte, doch auch den Vorteil der kleinen Kabinen bezüglich Schacht- und Warteflächeneffizienz.

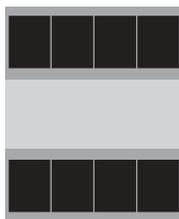


Bild 7.22. Querschnitt des Beispiels von Grundkonzept 1

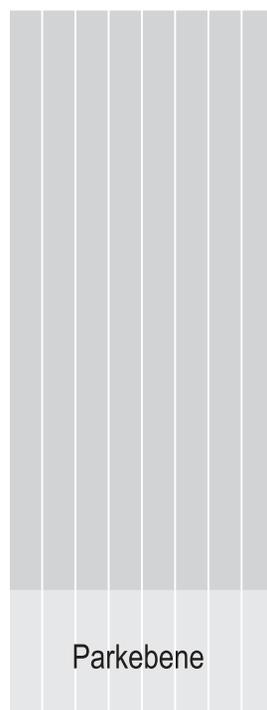


Bild 7.23. Schematische Seitenansicht von Grundkonzept 1

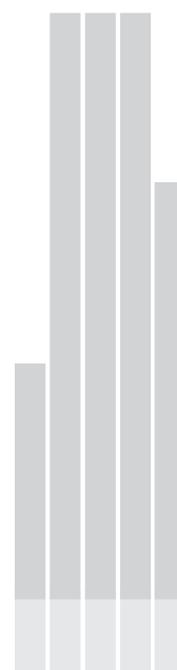


Bild 7.24. Schematische Seitenansicht von Grundkonzept 2

Tabelle 7.8. Kapazitätsdichte des Grundkonzepts 2, auf den Grundquerschnitt bezogen (Schacht und totale Fläche)

Anzahl Schächte	Kabinengröße [kg]	HC5 maximal ¹	Schachtquerschnitt	Kapazitätsdichte Schacht	Kapazitätsdichte total
2	450	114	5.4	21.0	9.1
	630	136	7.6	18.0	7.7
	800	145	8.4	17.3	6.8
	1000	158	9.7	16.3	6.2
	1275	173	11.0	15.7	5.6
3	450	228	8.2	27.9	14.8
	630	272	11.3	24.0	12.7
	800	290	12.5	23.1	11.4
	1000	316	14.5	21.8	10.5
	1275	346	16.5	21.0	9.5
4	450	342	10.9	31.4	16.7
	630	408	15.1	27.0	15.7
	800	435	16.7	26.0	14.7
	1000	474	19.4	24.5	13.5
	1275	519	22.0	23.6	12.4
5	450	456	13.6	33.5	15.4
	630	544	18.9	28.8	14.7
	800	580	20.9	27.8	14.5
	1000	632	24.2	26.1	13.7
	1275	692	27.5	25.2	13.2

1. Kabinenfüllgrad 80%

Bei Grundkonzept 1 ist eine solche allgemeine Tabelle nicht möglich. In den von *T. Sudo* und *S. Markon* [101] simulierten Gebäuden wird eine maximale Kapazitätsdichte (Querschnitt) von $6.9 \text{ P}/(5 \text{ minm}^2)$ erreicht (Gebäude mit 40 Etagen und vier 1600kg-Kabinen pro Schacht). Um die benötigten Zusatzvolumina berücksichtigen zu können, werden die Kennzahlen der beide Konzepte für die Beispielgebäude aus [101] berechnet. Für das Grundkonzept 1 ist eine Anlage mit acht Schächten ausreichend, für das Grundkonzept 2 ist ein 5-Schachtmodul mit 630kg-Kabinen verwendbar, wobei ein Schacht nur bis Etage 14, ein anderer nur bis Etage 26 reichen muss. Die entsprechenden Kennzahlen sind in Tabelle 7.9 dargestellt. Unklar ist die Frage der vorhandenen Untergeschosse im Gebäude, von denen meistens mindestens eins oder zwei vorhanden sind. Wenn beim Grundkonzept 1 alle Etagen direkt anfahrbar sein sollen, wird eine zusätzliche Etage benötigt. Beim Grundkonzept 2 ist dies nicht erforderlich. Deshalb sind in Tabelle 7.9 zwei entsprechende Varianten vorgestellt. In beiden Fällen ist die Kapazitätsdichte bezüglich der kumulierten Liftfläche des Grundkonzepts 2 um Faktor 3 höher. Die eingangs getroffene Bevorzugung des Grundkonzepts 2 hat sich somit bestätigt.

Tabelle 7.9. Vergleich der beiden Grundverkehrskonzepte: Kapazitätsdichte eines 40-Etagen Gebäudes bezogen auf die kumulierte Liftfläche

	Grundkonzept 1	Grundkonzept 2
Kapazitätsdichte ¹ total OHNE UG	16.4	47.4
Kapazitätsdichte total MIT 2UG	15.6	46.0

1. in $[P/(5\text{min } 100\text{m}^2)]$

7.5.3.3 Einflussnetz auf den Energieverbrauch

Energieverbrauch – Quantität

Bevor der Energieverbrauch eines Mehrfahrzeugsystems ermittelt werden kann, muss die Frage des Gegengewichts diskutiert werden. Beim konventionellen Lift löst das Gegengewicht die Abhängigkeit des Energieverbrauchs von der Kabinenmasse, so dass nur die maximale und momentane Zuladung eine Rolle spielen. Zusätzlich wird die erforderliche maximale Kraft reduziert, zusammen mit den entsprechenden Vorteilen bei den Energieverlusten und der Motorgröße. Wichtig dafür ist die mechanische Kopplung zwischen Kabine und Gegengewicht.

Bei einem System mit mehreren Kabinen im gleichen Schacht ist diese Kopplung nur über eine erhöhte technische Komplexität erreichbar, vor allem, wenn eine möglichst hohe Bewegungsfreiheit erreicht werden soll. Diese Probleme erhöhen sich zusätzlich, wenn die Kabinen den Schacht wechseln sollen.

Der Energieverbrauch wirkt sich in erster Linie auf die jährlichen Ausgaben aus und reduziert so die Rentabilität des Gebäudes. Die zusätzlichen Komponenten für ein mechanisches Gegengewicht erhöhen die Anschaffungs- und gegebenenfalls die Unterhaltskosten und haben so ebenfalls einen ungünstigen Einfluss auf die Rentabilität.

Es macht deshalb Sinn, vorerst den Energieverbrauch eines Lifts ohne Gegengewicht zu bestimmen, um auf dieser Basis ein System mit optimaler Auswirkung auf die Rentabilität zu finden.

Setzt man voraus, dass Energie rekuperiert werden kann, benötigt eine Rundfahrt ohne Gegengewicht folgende Energiemenge:

$$EV_{RF_{MM}} = \frac{g}{\eta_m} \cdot (m_{P_{hoch}} \cdot \Delta h_{P_{hoch}} + m_{K_{leer}} \cdot \Delta h_{K_{hoch}}) - g \cdot \eta_g \cdot (m_{P_{ab}} \cdot \Delta h_{P_{ab}} + m_{K_{leer}} \cdot \Delta h_{K_{ab}}) + EV_{Stau} + EV_{Wechsel} \quad (7.28)$$

mit

- $m_{P_{hoch}}$ Masse der Passagiere während der Aufwärtsfahrt
- $m_{P_{ab}}$ Masse der Passagiere während der Abwärtsfahrt
- $m_{K_{leer}}$ Leermasse der Kabine [kg]
- $\Delta h_{P_{hoch}}$ Fahrdistanz der Passagiere in Aufwärtsrichtung [m]
- $\Delta h_{P_{ab}}$ Fahrdistanz der Passagiere in Abwärtsrichtung [m]
- $\Delta h_{K_{hoch}}$ Fahrdistanz der Kabine in Aufwärtsrichtung [m]
- $\Delta h_{K_{ab}}$ Fahrdistanz der Kabine in Abwärtsrichtung [m]

Im Gegensatz zu einem System mit Gegengewicht beeinflusst die Leermasse der Kabine den Energieverbrauch. Auch die Wirkung ist klar definiert: Aufwärtsfahrt bedeutet Energieverbrauch, Abwärtsfahrt Energiegewinn. Die beiden Wirkungsgrade für den Motor- und den Generatorbetrieb

sind für das gesamte System zu sehen. Gegebenfalls müssen also auch weitere Verluste berücksichtigt werden. Die beiden letzten Terme stehen für weitere Verluste durch Stau und den Schachtwechsel, die jedoch für die weitere Betrachtung in diesem Entwicklungsstadium vernachlässigt werden können.

Die klare Zuordnung des Energieverbrauchs resp. -rekuperation zu jeweils einer Richtung erlaubt die getrennte Betrachtung des Personentransports und der Kabinenfahrten. Aus verkehrstechnischer Sicht ist der Tagesablauf eines Gebäudes symmetrisch: Die kumulierte Fahrhöhe aller Passagiere in Aufwärtsrichtung entspricht derjenigen in Abwärtsrichtung. Für den Füll- und Entleerungsverkehr bedeutet dies:

$$EV_{P-U\downarrow} = \left(\frac{1}{\eta_m} - \eta_g \right) \cdot m_{1P} \cdot g \cdot \left[\sum_1^N Pop_E \cdot h_i \right] \quad (7.29)$$

Der letzte Term entspricht der Summe aller Distanzen, die in einem Gebäude zurückgelegt werden. Nimmt man an, dass die Population im Gebäude gleichverteilt ist und alle Etagen angefahren werden, lautet dieser Term:

$$Pop_E \left\{ \sum_1^N h_i \right\} = \frac{Pop_{total}}{N} \cdot \frac{N(N+1)}{2} \quad (7.30)$$

Somit wird Gl. (7.29) zu

$$EV_{P-U\downarrow} = \left(\frac{1}{\eta_m} - \eta_g \right) \cdot Pop_{total} \cdot m_{1P} \cdot g \cdot \frac{(N+1)}{2} \quad (7.31)$$

Diese Energiebedarf entsteht nur durch die Verluste aufgrund des Füllen und Entleeren des Gebäudes und ist also unabhängig von der Kabinenmasse und des Verkehrskonzepts (vernachlässigt man Stauverluste). Gl. (7.31) gilt auch für den Mittagsverkehr, wenn sich die Verpflegungseinheiten ebenfalls über die Eingangsetage erreichen lassen.

Der Energieverbrauch der Kabinen ist abhängig von der Anzahl Fahrten, von der durchschnittlichen maximalen Fahrhöhe (H) und der durch das Verkehrskonzept bedingten durchschnittlichen Zusatzdistanz (z. B. die Distanz bis zur nächsten Wechselstelle oder Ausweichfahrten). Damit ergibt sich

$$EV_{K-U\downarrow} = 2 \cdot \left(\frac{1}{\eta_m} - \eta_g \right) \cdot m_{K_{leer}} \cdot h_f \cdot g \cdot \left([H_{p_{auf}} + d_{auf}^+] \cdot \#F_{auf} + [H_{p_{ab}} + d_{ab}^+] \cdot \#F_{ab} \right) \quad (7.32)$$

mit

$H_{p\text{-auf}}$ durchschnittliche höchste Umkehretage während der Aufwärtsverkehrsperiode

d_{auf}^+ mittlere zusätzliche Aufwärtsdistanz [-]

$\#F_{auf}$ Anzahl Fahrten im Aufwärtsverkehr [-].

Die Anzahl Fahrten pro Verkehrsrichtung hängt von der durchschnittlichen Kabinenfüllung ab. Niedrige Kabinenfüllungen bedingen eine höhere Anzahl Fahrten, um die Gesamtpopulation ins Gebäude zu befördern (vgl. Gl. (7.33)). Die durchschnittliche Kabinenfüllung hängt vom Verkehrsverlauf ab und ist somit gebäudespezifisch, also

$$\#F_{\text{auf}} = \frac{Pop_{\text{total}}}{P_{\text{auf_mittel}}} \quad (7.33)$$

$P_{\text{auf_mittel}}$ Durchschnittliche Kabinenfüllung im Aufwärtsverkehr.

Um wieviel Prozent mehr Energie benötigt nun ein Aufzug ohne gegenüber einem mit Gegengewicht? Ohne Gegengewicht benötigt eine Rundfahrt im Aufwärtsverkehr ($d^+=0$) und ihr Gegenpol im Abwärtsverkehr

$$EV_{\text{total-RF}} = EV_{P-RF} + EV_{K-RF} \quad (7.34)$$

$$EV_{P-RF} = \left(\frac{1}{\eta_m} - \eta_g \right) \cdot m_{1P} \cdot g \cdot h_f \cdot H \cdot \sum_{i=1}^S \left(\frac{P_i \cdot i}{S} \right) \quad (7.35)$$

$$EV_{K-RF} = 2 \cdot \left(\frac{1}{\eta_m} - \eta_g \right) \cdot m_{K_{\text{leer}}} \cdot g \cdot h_f \cdot H \quad (7.36)$$

Nimmt man an, dass die Halte gleichmässig verteilt sind, benötigt eine Kabine mit Gegengewicht mit hinreichender Genauigkeit

$$EV_{\text{total-RF}}^* = \left(\frac{1}{\eta_m} - \eta_g \right) \cdot m_{\text{zul_max}} \cdot g \cdot h_f \cdot H \cdot \Lambda \quad (7.37)$$

$$\Lambda = \left(1 - \frac{m_{1P}}{S \cdot m_{\text{zul_max}}} \cdot \left[\sum_{i=1}^S P_i \cdot i - 2 \cdot \sum_{i=1}^{S^*} P_i \cdot i \right] \right) \quad (7.38)$$

S^* Anzahl Halte mit $m_{1P} \cdot P > m_{\text{zul_max}} / 2$

P_i Anzahl Personen, die bis zum i-ten Halt fahren.

In Tabelle 7.10 ist eine Beispielfahrt berechnet. Ohne Gegengewicht wird für die gleiche Anzahl Personen und die gleiche Start- / Zielverteilung doppelt soviel Energie wie mit Gegengewicht benötigt. Der Anteil der Kabine am Energieverbrauch der Fahrt ohne Gegengewicht ist knapp 70%. Da das Leergewicht der Kabine so gewählt ist, dass der Energieverbrauch durch die reine Kabinenfahrt beider Konzepte gleich gross ist, zeigt sich, dass beim Betrieb mit Gegengewicht die Energiebilanz des Personentransports negativ ist. Eine leer fahrende Kabine mit Gegengewicht würde folglich mehr Energie brauchen als eine mit Personen, vorausgesetzt, die Fahrtdistanz bleibt gleich.

Untersucht man den Zusammenhang zwischen Energieverbrauch und der Anzahl Personen pro Fahrt weiter, zeigt sich die in Bild 7.25 illustrierte Abhängigkeit. Dabei ist berücksichtigt worden, dass sowohl die mittlere höchste Umkehretage pro Fahrt (H ; vgl. Gl. (7.6)) als auch die mittlere Anzahl Halte (S ; vgl. Gl. (7.7)) von der Anzahl Passagiere in der Kabine abhängen. Der Energieverbrauch bleibt schliesslich praktisch unabhängig von der Anzahl Personen. Ein Maximalwert ist bei einer Füllung von drei Personen erkennbar. Ursache dafür sowie für den starken Abfall unterhalb des Maximums sind die Werte für H und S , die bei kleinen Kabinenfüllungen deutlich geringer ausfallen.

Der Energieverbrauch der Kabine steigt also mit zunehmender Kabinenfüllung aufgrund der grösseren Fahrthöhe. Parallel dazu steigt die durch den Personentransport gewonnene Energiemenge und gleicht den Energiebedarf aus. Wäre H unabhängig von der Anzahl Personen, würde der Energieverbrauch mit einer Person deutlich höher liegen und nachher abfallen. Der Einfluss dieses Effekts wächst mit steigender Kabinengrösse, da dann die Leermasse grösser ist

Tabelle 7.10. Beispiel für den Vergleich des Energieverbrauchs mit und ohne Gegengewicht: Eine Rundfahrt jeweils im Aufwärts- und Abwärtsverkehr.

Parameter	ohne GG	mit GG
η_m	85%	85%
η_g	85%	85%
m_{1P}	75 kg	75 kg
h_f	3.5 m	3.5 m
N (Anzahl Etagen)	20	20
H	18	18
P (Anzahl Personen)	7	7
S (Anzahl Halte)	7	7
S^*	-	3
$m_{zul_{max}}$	630 kg	630 kg
$m_K - leer$	315 kg	-
$EV_{total-Up-RF}$	167'645 J	92'525 J
	~200%	100%

Bild 7.26 illustriert den Energieverbrauch einer Kabine ohne Gegengewicht in Abhängigkeit der Anzahl Personen in der Kabine. Im Gegensatz zu Bild 7.25 ergibt sich eine deutliche (positive) Abhängigkeit von der Kabinenfüllung.

Schliesslich zeigt diese Untersuchung, dass ein System mit Gegengewicht mit einer vollen Kabine weniger Energie als mit einer mässig besetzten benötigt. Der Energiebedarf eines Lifts ohne Gegengewicht verhält sich genau umgekehrt.

In einem normalen Verkehrsablauf eines Gebäudes sind die Stosszeiten, zu denen mit vollen Kabinen gerechnet werden kann, selten. Der grösste Anteil der Fahrten ist nur schwach besetzt. Wenn der Energieverbrauch pro Rundfahrt (Auf- und Abwärtsverkehr) des Lifts ohne Gegengewicht für die schwachen Verkehrsaufkommen niedriger liegt als derjenige eines Systems mit Gegengewicht, kann es den Unterschied im Tagesverbrauch beider Systeme verkleinern.

Um herauszufinden, welche Parameter für den gleichen Energieverbrauch notwendig sind, ist der Energieverbrauch einer konventionellen Aufzugsgruppe in einem 25-stöckigen Gebäude (eine nähere Beschreibung des Gebäudes erfolgt in Abschnitt 7.8) durch Simulation ermittelt worden. Die 1275 kg-Kabinen benötigen in einer realen *Up- und Down-peak*-Verkehrssituation insgesamt 18kWh (Effizienz sowohl im Motor- als auch im Generatorbetrieb: 85%). Ohne Rekuperation läge der Verbrauch bei 69kWh.

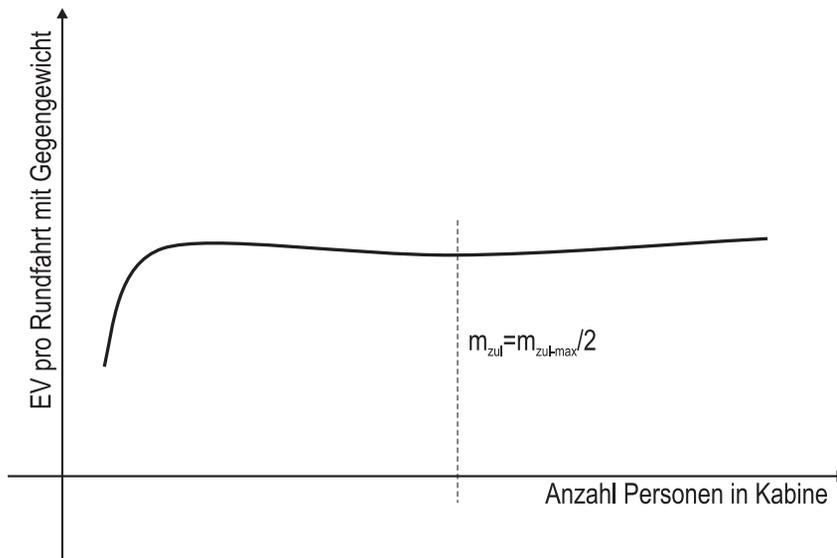


Bild 7.25. Energieverbrauch einer Kabine mit Gegengewicht in einer Rundfahrt je Verkehrsrichtung in Abhängigkeit der Anzahl Personen in der Kabine

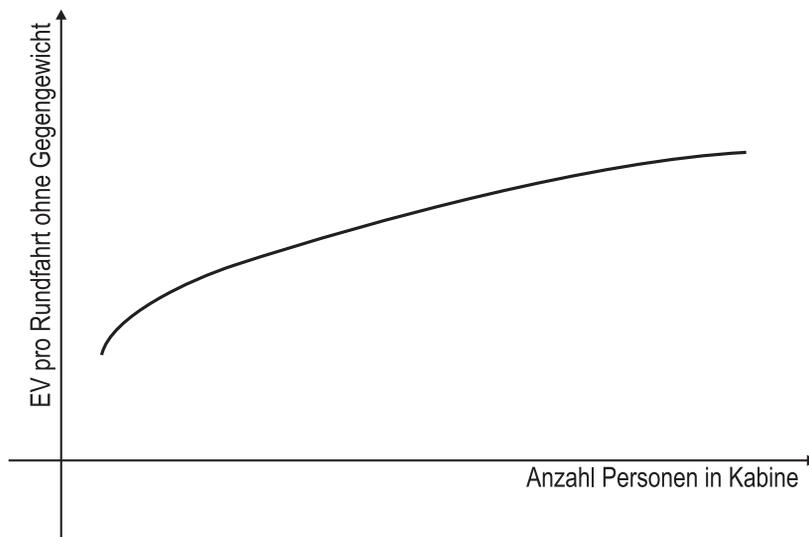


Bild 7.26. Energieverbrauch einer Kabine ohne Gegengewicht in einer Rundfahrt je Verkehrsrichtung in Abhängigkeit der Anzahl Personen in der Kabine

Für den Lift ohne Gegengewicht kann in einer ersten Annahme ebenfalls mit einer Effizienz von 85% gerechnet werden. Mit einer Leermasse von 350 kg ergibt sich der in Bild 7.27 dargestellte Energieverbrauchsverlauf pro Fahrt in jede Richtung. Erst ab einer Kabinenfüllung von 6,5 Personen ist der Energiebedarf des Lifts ohne Gegengewicht höher als mit Gegengewicht. Wenn nun damit gerechnet wird, dass eine 350 kg schwere Kabine maximal 7 Personen transportieren kann, erhöhen sich zu Spitzenzeiten die Anzahl Fahrten und dementsprechend auch der Energiebedarf. Im Gesamtverkehr (Auf- und Abwärts) benötigt der Lift ohne Gegengewicht so 20 kWh und ist nur leicht höher als der Energieverbrauch des Lifts mit Gegengewicht.

Während der beiden Spitzenperioden (*Up- und Down-peak*) kann ein System ohne Gegengewicht durchaus einen zu jenem mit Gegengewicht vergleichbaren Energieverbrauch erreichen. Dies stellt zwar eine hohe Anforderung an das Leergewicht der Kabine, ist aber nicht unrealistisch.

Wenn beim Mittagsverkehr gleichzeitig Abwärts- und Aufwärtsfahrten stattfinden, entfällt jeweils die Rückfahrt. Da jedoch die Wartezeiten des konventionellen Lifts höher sind, sind auch die

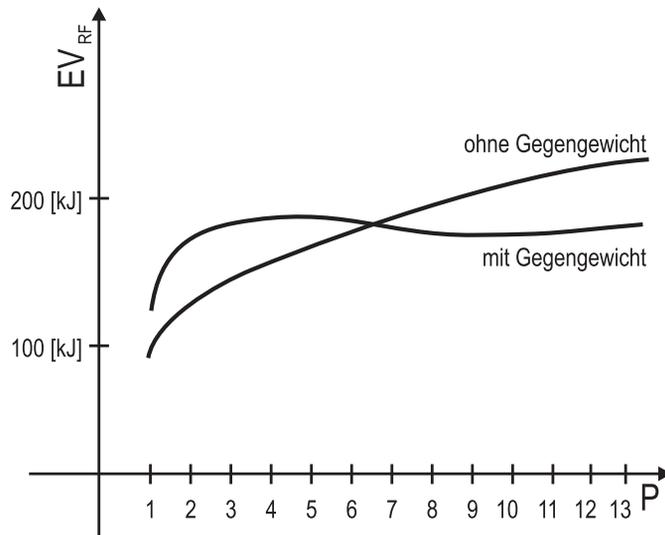


Bild 7.27. Vergleich der Abhängigkeit des Energieverbrauchs von der Kabinenfüllung für eine Rundfahrt in Aufwärts- sowie Abwärtsrichtung in einem Beispiel (System mit Gegengewicht: maximale Zuladung = 1275 kg; ohne Gegengewicht: Leermasse der Kabine = 350 kg; vgl. Text).

Kabinenfüllungen höher zu erwarten, so dass der Energieverbrauch des Multimobils über Mittag tendenziell höher liegt. Der Extremfall tritt dann ein, wenn die mittleren Kabinenfüllungen in beide Richtungen der Hälfte der Zuladung entspricht ($m_{1P} \cdot P = m_{zul_{max}} / 2$) minimiert sich der Energieverbrauch des Lifts mit Gegengewicht.

Im Zwischenstockverkehr sind die Kabinenfüllungen durchwegs niedrig, so dass zu erwarten ist, dass der Energieverbrauch des Systems ohne Gegengewicht niedriger ausfällt. Da diese Periode den grössten Teil des Tages (60-70%) ausmacht, kann der Gesamtverbrauch für den Lift ohne Gegengewicht nochmals reduziert werden.

Ein System ohne Gegengewicht hat also durchaus das Potential, im Tagesschnitt gleich viel Energie wie eines mit Gegengewicht zu verbrauchen. Diese Überlegungen gelten für zwei identische Verkehrskonzepte ohne zusätzliche Wege und Ausweichfahrten, die bei Mehrfahrzeugsystemen erst durch das Schachtlayout bestimmt werden. Um diese Abschätzung erreichen zu können, müssen folgende Voraussetzungen erfüllt werden:

- Geringes Kabinengewicht
- Hohe Energieeffizienz der verwendeten Komponenten (Motor...)
- Geringe Anzahl Leerfahrten

Lösungen für die ersten beiden Voraussetzungen müssen in der technischen Entwicklung gefunden werden. Die geringe Anzahl Mehrwege hängt zum einen vom Schachtlayout ab (z. B. Anzahl und Position der Wechselstellen), zum anderen aber von der Steuerung der Kabinen (v. a. die zweite Steuerungsebene, vgl. Abschnitt 7.4.1), die in dieser Arbeit nicht ausgearbeitet wird. Im folgenden wird abgeschätzt, wie gross der Einfluss der verschiedenen Schachtlayouts auf den Energieverbrauch ist.

Die Kabinen können im Aufwärtsverkehr erst dann zurückfahren, wenn ein Schachtwechsel möglich ist. Zudem verlängert sich der Weg pro Rundfahrt unterhalb maximal um die Anzahl der vorhandenen Schachtwechseletagen. Dieser zusätzliche untere mittlere Mehrweg pro Rundfahrt lässt sich mit

$$d_{m_{\text{unten}}}^+ = \frac{1}{\#WS_{\text{unten}}} \cdot \frac{(\#WS_{\text{unten}} + 1) \cdot \#WS_{\text{unten}}}{2} \cdot h_f \quad (7.39)$$

beschreiben (für $\#WS_{\text{unten}} > 0$). Der obere Mehrweg hängt vom Abstand der Wechselstellen in den Nutzetagen ab. Fährt die Kabine solange weiter, bis die nächste Wechselstelle kommt, kann der mittlere Mehrweg wie in Gl. (7.40) angenähert werden:

$$d_{\text{m_oben}}^+ = \frac{\Delta E_{\text{WS-oben}}}{2} \cdot h_f \quad (7.40)$$

ΔE_{WS} mittlerer Abstand der Wechselstellen in den Nutzetagen [-]

Bei niedrigem Verkehrsaufkommen kann die Kabine nach unten zur nächsten Wechselstelle fahren (so lange sie den übrigen Verkehrsfluss nicht behindert, so dass $d_{\text{m_oben}}^+ = 0$ (vgl. Bild 7.28). Bei Abwärts- und Mittagsverkehr ist das Verhalten äquivalent.

Im Zwischenstockverkehr stellt sich das Problem, dass sich eine hohe Anzahl Kabinen im Schachtsystem befindet und die Bewegungsfreiheit einschränkt. Jede Fahrt mit Personen führt so mit hoher Wahrscheinlichkeit zu Ausweichbewegungen, die den Energieverbrauch ansteigen lassen.

Simulationen in einem Kreisverkehr ergeben, dass die Leerfahrten das mehr als 6.5-fache der Personenfahrten ausmachen, wenn die Kabinenzahl für die Spitzenverkehrszeiten ausgelegt ist. Dies weist auf die Notwendigkeit von Kabinenspeicher hin, ohne die Systeme mit hoher Kabinendichte zuviel Energie benötigen würden.

Während beim Zweischachtmodul dies nur über zusätzlich benötigte Volumina erreicht werden kann, erlauben Mehrschachtmodule die Verwendung einer nicht benötigten Fahrbahn zu Niedrigverkehrsperioden (vgl. Bild 7.19). Dieser Kabinenspeicher hat zudem den Vorteil, dass immer die dem Ruf am nächsten liegende Kabine verwendet werden kann und minimiert so den Anfahrtsweg. Während beim klassischen Lift der Anfahrtsweg deutlich länger sein kann, bleibt er in einem solchen System mit Speicher konstant kurz und bietet eine weitere Möglichkeit, den Energieverbrauch bei Zwischenstockverkehr zu verkleinern.

Der durchschnittliche Mehrweg ist wiederum vom mittleren Abstand der Wechselstellen in die Speicherfahrbahn bestimmt (vgl. Gl. (7.40)), wobei in dieser Niedrigverkehrsperiode sich die in Bild 7.28 dargestellte Möglichkeit zur Energieeinsparung anbietet.

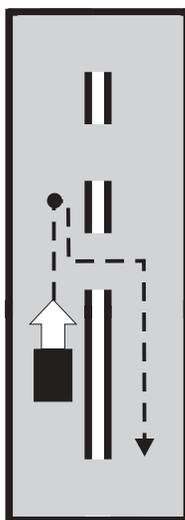


Bild 7.28. Möglichkeit zur Reduktion der energieintensiven Leerfahrten im Aufwärtsverkehr bei Mehrschachtsystemen

Energieverbrauch Qualität

Das Verkehrskonzept beeinflusst folgende Aspekte:

- Energieverbrauchsverlauf (Spitzen)
- Spitzenleistung im Tagesablauf

Ein gegengewichtsloser Aufzug benötigt am meisten Energie während der Aufwärtsverkehrsspitze. Die (negative) Abwärtsspitze ist durch die Energieumwandlung weniger hoch. Während des Mittagsverkehrs wird gleichzeitig Energie benötigt sowie produziert, so dass das Maximum ebenfalls niedriger als am Morgen ist. Dasselbe gilt für den Zwischenstockverkehr.

Der Leistungsbezug verläuft gleich wie derjenige der Energie. Die Spitzenleistung wird über folgende Gleichung beschrieben:

$$P_{\text{tot}} = \#K_{\text{auf}} \cdot \frac{m_{\text{max-auf}} \cdot g \cdot v_{\text{auf}}}{\eta_m} - \#K_{\text{ab}} \cdot m_{\text{ab}} \cdot g \cdot v_{\text{ab}} \cdot \eta_g \quad (7.41)$$

mit

$\#K_{\text{auf}}$ maximale Anzahl Kabinen, die gleichzeitig beladen nach oben fahren

$\#K_{\text{ab}}$ Anzahl Kabinen, die gleichzeitig leer nach unten fahren

Drei Relationen sind neben den beiden Wirkungsgraden ausschlaggebend:

- das Verhältnis der hoch- zu den runterfahrenden Kabinen
- das Verhältnis der vollen zur leeren Kabinenmasse
- das Verhältnis der mittleren Geschwindigkeiten während der Auf- und Abwärtsfahrten

Das erste Verhältnis hängt von der Fahrhöhe und der Geschwindigkeit ab und liegt zwischen 2 (für grosse Gebäude) und 5 (für kleine Gebäude).

Tabelle 7.11. Vergleich der Spitzenleistung mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten (Höhe Gebäude: 25 Etagen)

Kennzahl	v = 3 m/s	v = 3.5 m/s	v = 4.5 m/s
Anzahl Kabinen	16	15	15
$\#K_{\text{auf}} / \#K_{\text{ab}}$	4	3.5	2.6
$m_{\text{voll}} / m_{\text{leer}}$	2.8	2.8	2.8
Leistungsbedarf Aufwärtsspitze [kW]	415	444	510

Bei einer konventionellen Aufzugsgruppe wird die Leistungsspitze dann erreicht, wenn alle Kabinen gleichzeitig leer nach unten fahren. Für den Vergleich ist wiederum das Anwendungsbeispiel von Seite 119 nötig. Das konventionelle Liftsystem benötigt eine Spitzenleistung von knapp 250kW. Das Grundkonzept 2 mit drei Schächten und 3 m/s 415 kW, mit 4.5 m/s 510 kW (vgl. Tabelle 7.11).

7.5.3.4 Einflussnetz auf die Performance des Lifts

Wartezeit

Die durchschnittliche Wartezeit lässt sich über die Gl. (7.15) gleich wie beim konventionellen Lift beschreiben. Ausschlaggebend dafür ist das Intervall des Systems. Zu berücksichtigen ist aber auch die maximale Wartezeit und deren Standardabweichung.

Wenn genügend Kabinen vorhanden sind, bietet das Multimobilkonzept pro Schacht ein regelmässiges Startintervall. Speziell bei kleinen Kabinen ist dies deutlich kürzer als das Norm-Intervall für den konventionellen Aufzug, so dass sogar pro Schacht schon eine bessere Wartezeit erwartet werden kann. Wenn mehrere Aufwärtsschächte verwendet werden, dividiert sich die Wartezeit durch die Anzahl Schächte und wird nochmals deutlich kürzer. Bei Benützung einer Zielrufsteuerung kann eine Person auch mehrere Intervalle warten müssen. Doch auch dann ist die durchschnittliche Wartezeit immer noch kürzer als beim konventionellen Lift. Die Standardabweichung ist durch die konstanten Ankunftsintervalle sehr niedrig und lässt eine deutliche Verbesserung des Wartezeitempfindens erwarten. Ähnlich verhält es sich mit dem Maximalwert.

Fahrtzeit

Die Fahrtzeit aus Personensicht wird grundsätzlich von der reinen Fahrdistanz und der Geschwindigkeit bestimmt. Dazu kommen die Anzahl Halte, die vor Erreichen der Zieletage eingelegt werden müssen, die von der durchschnittlichen Kabinenfüllung abhängen. Kleine Kabinen führen zu weniger Halten und verkürzen somit die längste Fahrtzeit. Dies gilt für alle Liftsysteme, so dass sich die Unterschiede vor allem aus der Kabinengrösse, der Geschwindigkeit und der Möglichkeit, Personen nach Zieletagen zu gruppieren unterscheiden.

Wichtig wird jedoch die Akzeptanzgrenze der Fahrtzeit bei sehr hohen Gebäuden (>50 Etagen). Bei konventionellen Liftgruppen kann häufig nur mit Umsteigen in die obersten Etagen gefahren werden. Bei Mehrfahrzeugsystemen beider Grundtypen ist es ohne Kapazitätseinbussen möglich, direkt hochzufahren. Dies würde dem Passagier einerseits eine Komfortsteigerung bringen, da er dann nicht umsteigen muss. Andererseits wären die Passagiere eine lange Zeit in der Kabine, die das «Kurzweilgefühl» verschlechtern könnte.

Die maximale Fahrtzeit (*AHTT: Average Highest Trip Time*) kann über die leicht angepasste Gleichung für die Rundfahrtzeit des konventionellen Lifts wie folgt beschrieben werden:

$$AHTT = \frac{2Ht_v}{2} + (S + 1) \cdot t_s + 2Pt_p \quad (7.42)$$

Der Einfluss der Technik äussert sich vor allem in der maximalen Geschwindigkeit. Die anderen Parameter müssen auf der Steuerungsebene bestimmt werden, damit die längste Fahrtzeit den Passagierbedürfnissen entspricht.

7.6 Analyse des Einflussnetzes des Gesamtsystems

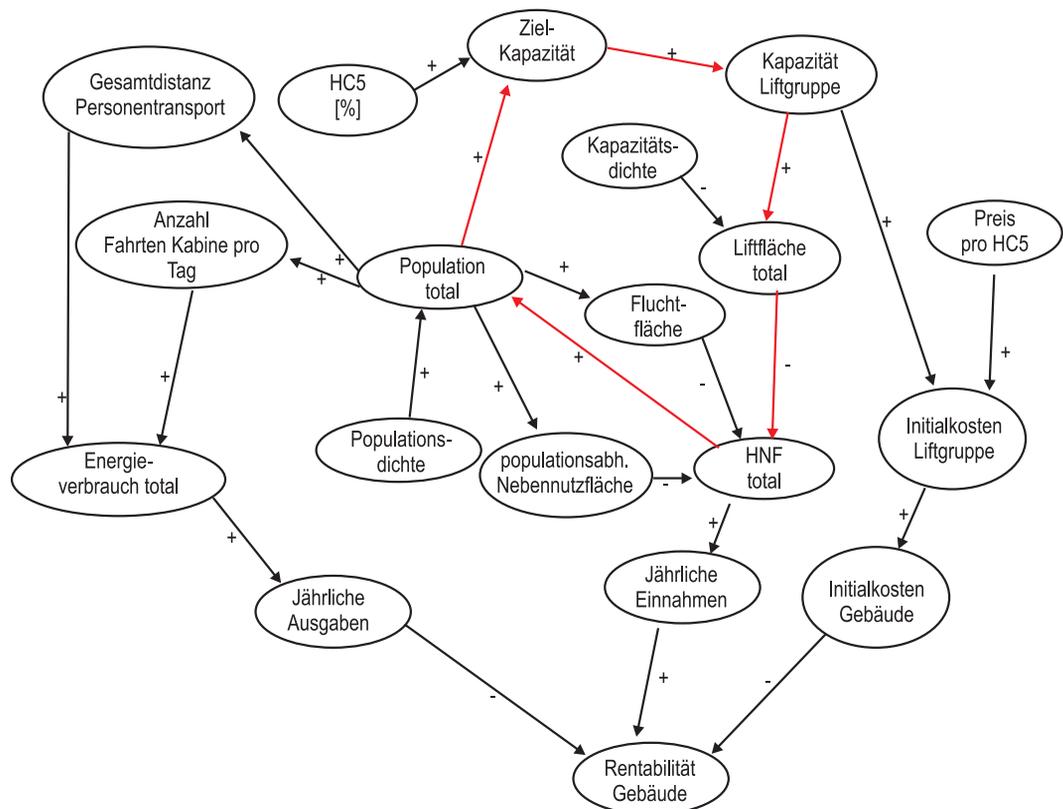


Bild 7.29. Einflussnetz der Rückkopplung im Gesamtsystem durch das Verkehrskonzept

Durch die Verbindung des Einflussnetzes des Verkehrskonzepts zusammen mit demjenigen des Umfelds schliesst sich ein Einflusskreis über die Systemgrenzen des Produkts hinweg.

Die durch die höhere Kapazitätsdichte eingesparte Liftfläche führt dazu, dass die Population des Gebäudes ansteigt. Damit muss das Liftsystem, um die gleichen Kennwerte wie vorhin zu erreichen, eine höhere Kapazität besitzen und benötigt so wieder mehr Platz. Schliesslich verkleinert sich die Population dadurch wieder. Nach einigen Iterationen hat sich der Einflusskreis auf eine Änderung der Liftfläche eingependelt, die kleiner als die ursprüngliche Änderung ist. Die zusätzlich benötigte Kapazität bewirkt zudem eine Steigerung der Gesamtkosten der Liftanlage.

Durch die höhere Gesamtpopulation erhöht sich jedoch auch der gesamte Energieverbrauch des Lifts, da sowohl mehr Personen transportiert, als auch zu allen Tageszeiten mehr Fahrten ausgeführt werden müssen. Diese Zusammenhänge sind im Bild 7.29 dargestellt.

Die Einflusswerte des Modells aus Bild 7.29 sind in Tabelle 7.12 aufgeführt. Dabei wird angenommen, dass die Aufzugskosten linear mit der Aufzugsleistung zunehmen. Dies stellt eine Vereinfachung dar, die mit besseren Kenntnissen nochmals überprüft werden muss. Der Einfluss der Kapazität auf die Liftfläche muss näher diskutiert werden. Die Kapazität eines Liftsystems kann nur gesteigert werden, wenn entweder grössere Kabinen oder mehr Fahrschächte verwendet werden. Sowohl die Anzahl Personen als auch die Anzahl Schächte lassen sich nur mit ganzen Zahlen quantifizieren. Für die Abhängigkeit mit der Kapazität ergibt sich also in beiden Fällen eine Art *Treppenfunktion*. Es stellt sich nun das Problem, dass auch eine leichte Erhöhung der Population eine signifikante Erhöhung der Aufzugsfläche provoziert. Eine solche Reaktion ist nicht im Sinn eines Bauherrn.

Tabelle 7.12. Einflussstärken des in Bild 7.29 dargestellten Modells.

Nr.	Einflussattribut	Zielattribut	Einflussstärke
1	Kapazität Liftgruppe	Liftfläche total	~ +1
2	Liftfläche total	HNF total	$-\frac{A_L}{HNF}$
3	HNF total	Population total	+1
4	Population total	Zielkapazität	+1
5	Zielkapazität	Kapazität Liftgruppe	+1
6	Kapazität Liftgruppe	Initialkosten Liftgruppe	+1
7	Initialkosten Liftgruppe	Initialkosten Gebäude	$+\frac{I_L}{I_0}$
8	HNF total	Jährliche Einnahmen	+1
9	Population total	Energieverbrauch total Liftanlage	+1
10	Energieverbrauch total Liftanlage	Jährliche Ausgaben	$\frac{EV_{Lift}}{EV_{Strom}} \cdot \frac{K_{EE}}{A}$
11	Jährliche Ausgaben	Rentabilität	$-\frac{A/I_0}{(E/I_0 - A/I_0)}$
12	Jährliche Einnahmen	Rentabilität	$\frac{E/I_0}{(E/I_0 - A/I_0)}$
13	Initialkosten Gebäude	Rentabilität	-1

Es bieten sich folgende Möglichkeiten an, diese Konsequenz abzuschwächen:

- **Keine Erhöhung der Kapazität:** Der Bauherr nimmt in Kauf, dass es zu Spitzenzeiten längere Wartezeiten gibt oder erwartet, dass sich mit der Zeit die Verkehrsspitzen abflachen und verteilen.
- Verwendung der **Doppelbeladefunktion** zu Spitzenzeiten.
- Offerierung von feinen **Abstufungen in der Kabinengröße**, damit in Kombination mit der Anzahl Schächte die Kapazität ausreichend angepasst werden kann.

Aus der Sicht des Liftherstellers muss nur die dritte Option diskutiert werden, da die anderen beiden von der Einschätzung des Bauherrn abhängen. In Tabelle 7.8 auf Seite 115 sind in den meisten Fällen jeweils zwei Personen Differenz zwischen zwei Kabinengrößen (Füllgrad 80%). Bezieht man 3- bis 5-Schachtmodule mit ein, führt dies zu einem mittleren Kapazitätssprung von ca. 9% (maximaler Sprung = 20%). Teilt man stattdessen die Kabinen so auf, dass nur eine Differenz von einer Person auftritt, senkt sich der mittlere Kapazitätssprung auf +4.5%. Eine solche Differenz entspricht eher den Zielen dieser Entwicklung.

Methodisch gesehen handelt es sich hier um eine nichtlineare Rückkopplung (vgl. Abschnitt 2.4.1), die unter ungünstigen Randbedingungen nicht konvergiert. Dies wäre dann der Fall, wenn während der Rückkopplung zwischen den Treppenstufen hin und her gependelt würde. In diesem Fall ist das Problem pragmatisch zu lösen: Anstatt weiter zu iterieren, wird am höheren Wert festgehalten, da eine Unterkapazität nicht tolerierbar ist.

Um eine allgemeine Aussage treffen zu können, soll der Einfluss der Population auf die Aufzugsfläche vereinfacht mit +1 angenommen werden (wie dies auch in Tabelle 7.12 eingeführt ist).

Die Rückkopplung erstreckt sich über die Einflusswege 1-5 und wird massgeblich durch den Einflusswert 2 bestimmt. Gesamthaft gesehen ergibt sich eine Änderung der Rentabilität durch die der Aufzugsfläche gemäss Gl. (7.43). In Tabelle 7.13 sind die in Kapitel 6 erarbeiteten Kennzahlen eingesetzt. Es zeigt sich, dass in grossen Gebäuden mit bis zu 23% weniger Zielkosten gerechnet werden darf. Diese Rückkopplung gilt für Verkehrskonzepte. Es gilt

$$\varepsilon_R = \varepsilon_{A_L} \cdot \left[-\frac{A_L}{HNF} (1 - loop) \cdot \left(\frac{\frac{E}{I_0}}{\left(\frac{E}{I_0} - \frac{A}{I_0} \right)} - \left(\frac{\frac{EV_{Lift}}{EV_{Strom}} \cdot \frac{K_{EE}}{A}}{\left(\frac{\frac{A}{I_0}}{\left(\frac{E}{I_0} - \frac{A}{I_0} \right)} - \frac{I_L}{I_0} \right)} \right) \right) \right] \quad (7.43)$$

Tabelle 7.13. Gesamthafter Einflusswert der Liftfläche auf die Rentabilität (für $A_{Lift} / HNF = \{3\%;30\%\}$)

	Minimum	Maximum	Mittelwert
r_{A-L-R}	-3%	-38%	-11%
Reduktion von r durch Rückkopplung	-3%	-25%	-10%

7.7 Parameteranpassung

7.7.1 Geschwindigkeit

Die maximale Geschwindigkeit in beladenem Zustand beeinflusst die Rundfahrtzeit einer Kabine und kann so einen Einfluss auf die Kapazität des Systems haben. Wenn davon ausgegangen wird, dass immer soviel Kabinen im System verfügbar sein sollen, um das Ankunftsintervall kürzer als das Startintervall zu halten, muss für eine Reduktion der Geschwindigkeit die Anzahl der Kabinen vergrössert werden. Somit hat die Geschwindigkeit einen Einfluss auf die Kosten des Systems. Eine längere Rundfahrtzeit bedeutet aber auch, dass die Anzahl der Kabinen, die gleichzeitig fahren, zu Spitzenverkehrszeiten grösser wird, so dass der maximale Leistungsbedarf ebenfalls wächst. Schliesslich können deshalb sowohl die Stromkosten als auch die Kosten für elektrische Anlagen im Gebäude steigen. Der Einfluss der Spitzenleistung auf die Anlagenkosten hängt davon ab, ob durch die Steigerung der Leistung auch grösser dimensionierte Anlagen nötig sind. Derjenige auf die jährlichen Ausgaben besteht nur dann, wenn die Stromkosten abhängig von der Spitzenleistung sind. Da beides im allgemeinen nicht der Fall ist, werden beide Einflüsse hier vernachlässigt. Sie werden in der Zielkostenrechnung über einen Sicherheitsfaktor berücksichtigt.

Des weiteren wirkt die maximale Geschwindigkeit auf die mittlere Geschwindigkeit, die einen Einfluss auf die Fahrtzeit hat. Wenn sie zu niedrig ist, können bei langen Fahrdistanzen Akzeptanzprobleme entstehen. Doch wie in Kapitel 3 angesprochen, können Unterhaltungssysteme den Akzeptanzschwierigkeiten entgegenwirken. Die mittlere Geschwindigkeit könnte – ob und wie, hängt von der Motorauswahl ab – zudem die effektive Effizienz des Antriebs beeinflussen. Doch da dieser Einfluss zum jetzigen Zeitpunkt nicht bestimmt werden kann, wird er noch nicht berücksichtigt.

Der letzte Einflussweg der maximalen Geschwindigkeit kann über die maximale Leistung einer Kabine und die Gesamtleistung ebenfalls auf die Kosten für die elektrische Energie wirken.

Um die notwendige Anzahl Kabinen im einseitigen Verkehrsaufkommen zu reduzieren, ist es auch denkbar, dass die leerfahrenden Kabinen mit einer höheren Geschwindigkeit zurückfahren und so die Rundfahrtzeit verkürzen. Beim Aufwärtsverkehr würde dies zusätzlich dazu beitragen, die energetische Leistungsbilanz zu verbessern. Im Abwärtsverkehr würde dagegen die elektrische Spitzenleistung erhöht. Im Zwischenstockverkehr würde eine hohe Leerfahrtgeschwindigkeit die Wartezeiten verkürzen helfen. Bei beidseitigem Verkehr kann aus dieser Massnahme kein Nutzen gezogen werden, da auch bei der Rückfahrt Personen in der Kabine sind. So wäre die Konsequenz, dass zur Mittagszeit die Verkehrsleistung nicht mehr erfüllt werden könnte, und verletzt so eine Forderung.

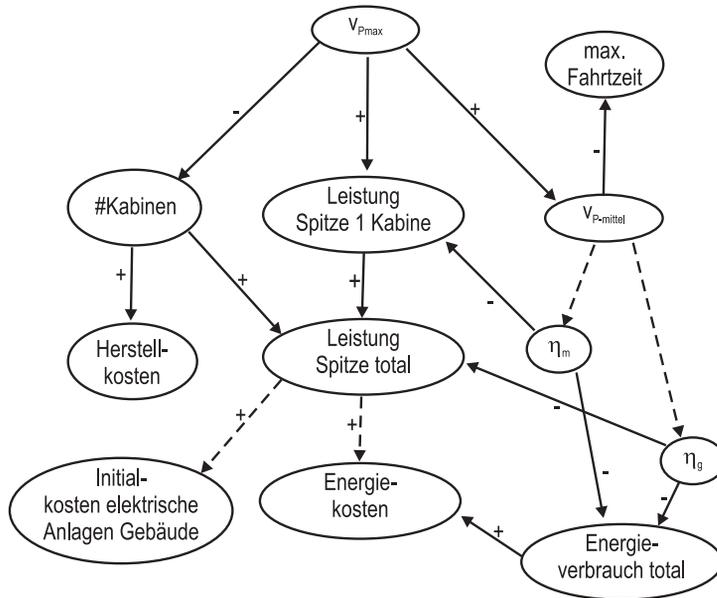


Bild 7.30. Einflussmodell der maximalen Geschwindigkeit

In den im Bild 7.30 dargestellten Zusammenhängen ist der Einfluss der Geschwindigkeit auf die Herstellkosten in allen Fällen gültig. Bild 7.31 stellt die Abhängigkeit des Einflusses einer Änderung der Geschwindigkeit auf die Initialkosten dar. Ändert man die Referenzgeschwindigkeit um +30% auf 4.5 m/s, verkleinern sich die Initialkosten im kleinen Gebäude um -1.2%, im grossen Gebäude um -2.5%. Dabei ist angenommen, dass die kabinenabhängigen Kosten 25% der Initialkosten (inkl. Gewinn und Installation) ausmachen. Je kleiner die Geschwindigkeit, desto grösser werden die Kosten. Für ein Gebäude mit 20 Etagen ist die Geschwindigkeit von 3.5 m/s schon im optimalen Bereich. Für das grössere Gebäude lohnt sich eine Geschwindigkeit von 4.5–5.5 m/s – basierend auf dem jetzigen Wissenstand. Darüber flacht die Einflusskurve zu stark ab, um eine höhere Geschwindigkeit zu rechtfertigen. Diese Diskussion muss jedoch mit dem Wissen über die zur Auswahl stehenden Motorkonzepte (u.a. Kostenaspekte) weiter geführt werden. Die für den Einfluss relevante Gleichung für die Rundfahrtzeit *RTT* enthält nichtlineare Terme, von denen insbesondere die Beschleunigung *a* und die Anzahl Passagiere *P* von Bedeutung sind, da sie auch zu den Gestaltungs-

größen gehören. Der Einfluss der Geschwindigkeit auf die RTT ist folglich abhängig von den Änderungen dieser beiden Attribute. Vernachlässigt man diese Einflüsse, wird der Einfluss von v auf RTT zu Gl. (7.44). Eine Verminderung von a würde die Einflussstärke von v zusätzlich erhöhen infolge

$$r_{v-RTT} = \frac{1}{RTT} \cdot \left(\frac{S \cdot v}{a} - \frac{2H_{MM}h_f}{(1+\epsilon_v) \cdot v} \right) \quad (7.44)$$

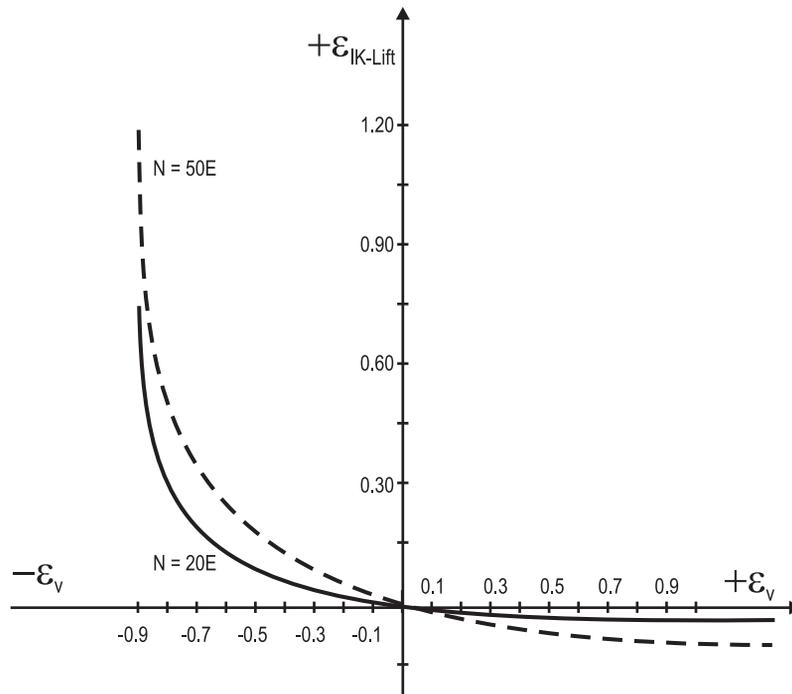


Bild 7.31. Einfluss einer Änderung der maximalen Geschwindigkeit auf die Gesamtkosten des Aufzugs (Referenzwert: $v=3.5$ m/s, Kabinengröße = 630 kg)

7.7.2 Beschleunigung

Die maximale Beschleunigung der beladenen Kabine hat einen Einfluss auf die Halteverlustzeit und somit auf die Rundfahrtzeit. Dieser ist aber nicht so hoch wie bei der Geschwindigkeit und wird im Gegensatz dazu mit zunehmender Höhe kleiner. Der Einfluss der Beschleunigung auf die RTT ist

$$r_{a-RTT} = \frac{S}{RTT} \left(\frac{a}{j} - \frac{vS}{a(1+\epsilon_a)} \right). \quad (7.45)$$

Die Beschleunigung beeinflusst zudem das Startintervall und wirkt so auf die Flächeneffizienz des Aufzugs. Aus der Sicht der Verkehrskapazität müsste die Beschleunigung so hoch wie möglich sein, doch hier setzt der menschliche Körper eine Grenze: Über einem Wert von 1.2 m/s^2 sind die Beschleunigungskräfte nicht mehr für alle zumutbar (vgl. *CIBSE* [21]).

Auf die Leistung hat eine Erhöhung der Beschleunigung negative Auswirkungen. Doch da die Kabinen- neben der Erdbeschleunigung klein ist, kann dieser Einfluss vernachlässigt werden.

7.7.3 Maximale Zuladung

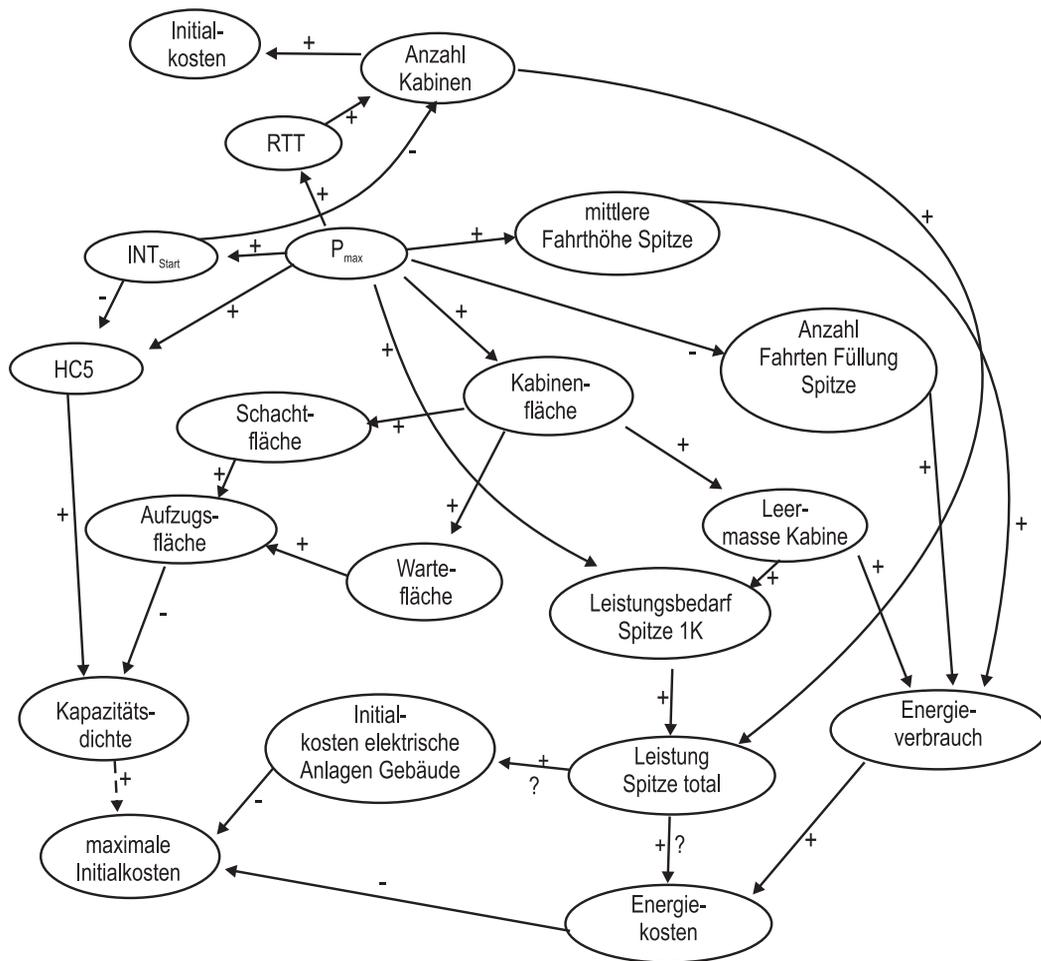


Bild 7.32. Einflussmodell der maximalen Kabinenfüllung

Der wichtigste Einfluss der maximalen Zuladung wirkt über die *Handling Capacity* auf die Kapazitätsdichte, die ausschlaggebend für die Platzeinsparung gegenüber dem konventionellen System ist. Je höher die Kapazitätsdichte, desto mehr darf das Aufzugssystem kosten. Eine Erhöhung der Zuladung bewirkt aber auch, dass die Liftfläche grösser wird und dass die Wirkung der *HC5* auf die Kapazitätsdichte abgeschwächt wird. Berechnet man die Stärken der beiden Einflusswege auf die Kapazitätsdichte für ein Referenzsystem gemäss Abschnitt 7.8.1, ergibt sich ein leicht negativer Gesamteinfluss (-0.14%). Dies bedeutet, dass eine Erhöhung der Zuladung zu einer Verschlechterung der Rendite führen würde, wenn man von einer konstanten Anzahl Schächten ausgeht.

Eine grössere Zuladung wirkt sich negativ auf die Leermasse der Kabine und somit auf den Energieverbrauch aus. Durch die grössere Zuladung reduziert sich jedoch die Anzahl Fahrten zu Spitzenverkehrszeiten. Ebenso verlängert sich die Rundfahrtzeit, die Einfluss auf die Anzahl Kabinen nimmt. Dieser Einfluss wird jedoch von der negativen Wirkung auf das Startintervall kompensiert, so dass die Anzahl Kabinen praktisch gleich bleibt.

Die Einflüsse der elektrischen Leistungsspitze auf Initialkosten und Energiekosten werden auch hier ausgeklammert, da die Diskussion nicht allgemein führbar ist. Dennoch ist folgendes festzuhalten: Eine grosse Kabine hat eine hohe Spitzenleistung zur Folge, da sowohl die Leermasse als auch die Zuladung höher sind.

Schliesslich dominieren die beiden negativen Einflüsse auf die Kapazitätsdichte und den Energieverbrauch über die anderen Einflusswege. Eine kleine Kabine ist somit besser für die Entwick-

lungsziele. Nach unten wird der Spielraum jedoch über das Engegefühl des Passagiers und die Möglichkeit des Rollstuhl- und Gütertransports begrenzt. Die 450 kg Kabine wird für die folgende Entwicklung als Untergrenze betrachtet. Die Frage nach der Obergrenze ergibt sich aus der Tabelle 7.8: Mit einer 1275kg Kabine verläuft der Kapazitätsübergang zwischen den Anzahl Schächten fließend. Bei Überlappungen scheint aufgrund der obigen Diskussion nur die kleinere Kabine interessant zu sein. Müssen die Aufzüge jedoch auch für Möbeltransporte verwendet werden, ist die 450kg Kabine häufig zu klein. Deshalb scheint es vom momentanen Gesichtspunkt notwendig, Kabinen im Bereich von 450kg-1275kg weiterzuverfolgen. Die Analyse in Abschnitt 7.7.1 zeigt auf, dass zwischen diesen beiden Kabinengrößen möglichst kleine Abstufungen verwendet werden sollen.

7.7.4 Anzahl der Wechselstellen in den Oberetagen

Die Anzahl der oberen Wechselstellen bestimmt die durchschnittliche Zusatzdistanz, die für jede Fahrt notwendig ist. Eine Wechselstelle auf jeder Etage würde den Energieverbrauch nicht erhöhen, hätte jedoch einen grossen Einfluss auf die Kosten. Da diese Kosten erst in der späteren Entwicklung greifbar werden, soll bis dahin ein Wechselstellenabstand von fünf Etagen verwendet werden. Damit erhöht sich im Mittel jede Fahrt um 2.5 Etagen, was die Kabinenenergiekosten im mittleren Gebäuden um 10-15% ansteigen lässt.

7.8 Beispielgebäude

7.8.1 Gebäude mit 26 Etagen

Das Multimobilsystem benötigt für die gleiche Verkehrsleistung nur 33% der Fläche des konventionellen Systems. Wenn davon ausgegangen wird, dass die Kabinenmasse 350 kg nicht übersteigt, ist der Energieverbrauch vergleichbar mit dem des bestehenden Systems. Negativ wirkt sich dagegen die Steigerung der elektrischen Spitzenleistung aus.

Beim Hauptthalt sind drei Wechseletagen vorgesehen, damit die Evakuationsleistung erhöht werden kann. Durch diese Massnahme kann das Gebäude innerhalb von 12 Minuten entleert werden, doppelt so schnell als mit dem konventionellen System.

Im Bild 7.34 ist die bevorzugte Position für die Wartung einer Kabine mit dem Buchstaben «W» eingezeichnet. Damit der reibungsfreie Betrieb auch dann gewährleistet ist, ist oben eine zusätzliche Wechselstelle vorgesehen.

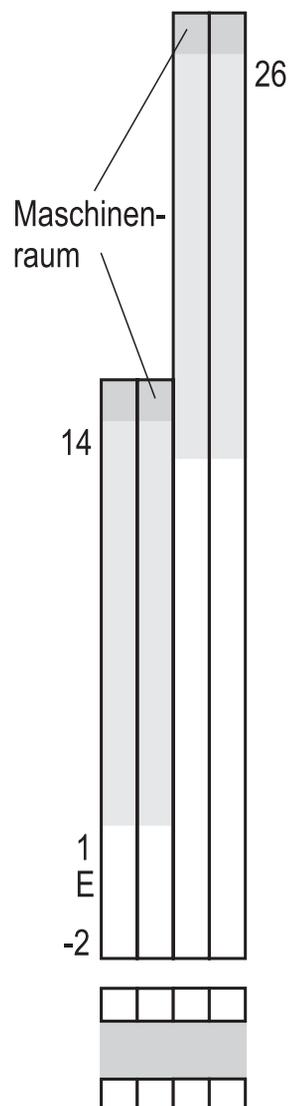


Bild 7.33. Geometrie der konventionellen Liftgruppe in einem 26-stöckigen Beispielgebäude

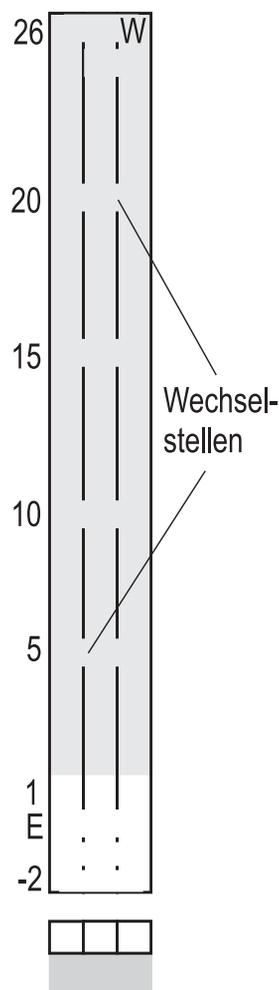


Bild 7.34. Geometrie des Mehrkabinen-Liftsystems in einem 26-stöckigen Beispielgebäude

Tabelle 7.14. Kennzahlen der konventionellen Liftanlage und des Multimobilsystems im Beispielgebäude mit 26 Etagen

	Original	Multimobil	
Population	1690		
Gesamthöhe [m]	117		
Bediente Höhe [m]	89.1		
Mittlere Etagenhöhe [m]	3		
Anzahl Schächte	8	3	-63%
Anzahl Kabinen	8	15	+88%
Kabinengröße [kg]	1275	630	-51%
Nominalgeschwindigkeit	3.5 / 5.0 ¹	3.5	0 / -30%
Beschleunigung [m/s ²]	1.2	1.2	0
Ruck [m/s ³]	1.0	1.8	+80%
Flächenverbrauch total	1636	544	-67%
HC5 [%] Up-peak	15	15	0%
HC5 [P/5min]	247	247	0%
HC5 Evakuierung [P/5min]	~350	~700	+100%
Kapazitätsdichte im Haupthalt [P/(5min*m ²)]	3	13	+330%
Kapazitätsdichte total [100P/(5min*m ²)]	15	45	+200%
Maximale Flächeneffizienz	15	50	+233%
Energieverbrauch Füll- und Entleerverkehr [kWh]	18	19 ²	+6%
Spitzenleistungsbezug [kW]	250	444	+78%

1. «Low Rise» Gruppe / «High Rise» Gruppe
2. mit $m_{\text{leer}}=350$ kg

7.8.2 Gebäude mit 87 Etagen

Hier wird für das Mehrkabinensystem – analog zum Konventionellen – der Doppelladerbetrieb gewählt. Die Passagiere steigen also über zwei Haupthalte ein, so dass die maximale Kapazität pro Richtung um 90% höher (1300 P/5min) ist. Im Doppeldeckerbetrieb ist die Kabinendichte pro Schacht sehr hoch. Deshalb ist es – soweit es ohne Kenntnis der Steuerung abschätzbar ist – nicht einfach so möglich, die Aussenschächte nach oben hin abzustufen, das dem System einen zusätzlichen Effizienzgewinn verschaffen könnte.

Dennoch erreicht das Multimobilsystem eine Platzeinsparung von total -70%. Der Platzbedarf im Haupthalt ist sogar um 80% kleiner. Auch hier lässt sich die Evakuierungskapazität verdoppeln, was gerade in einem derart hohen Gebäude von grosser Bedeutung sein kann.

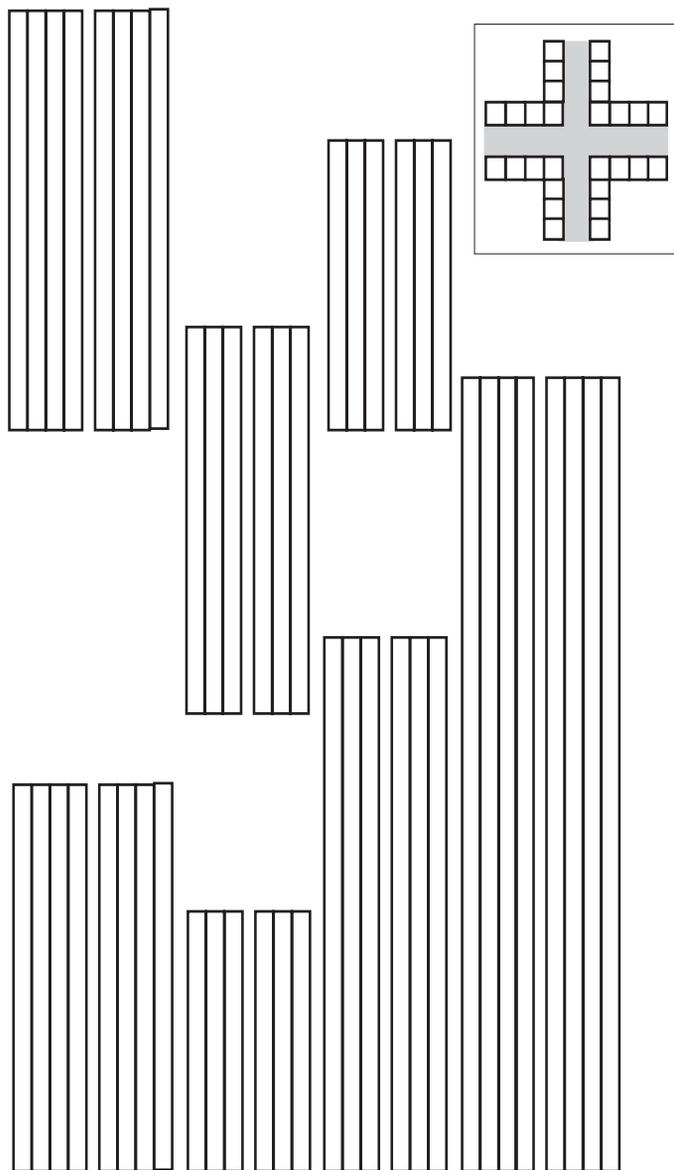


Bild 7.35. Ausschnitt aus dem Schachtlayout des konventionellen Systems für das 87-Etagen-Gebäude

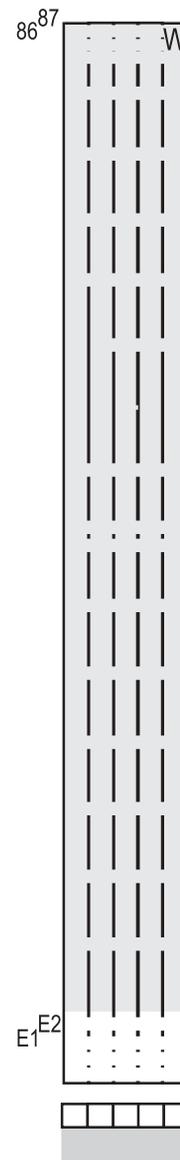


Bild 7.36. Multimobil-Geometrie für ein 87-Etagen-Gebäude (1275 kg-Kabinen)

Tabelle 7.15. Kennzahlen der konventionellen Liftanlage und des Multimobilsystems im Beispielgebäude mit 87 Etagen

	Original	Multimobil	
Population	9'750		
Bediente Höhe [m]	380		
Mittlere Etagenhöhe [m]	4.9		
Anzahl Schächte	56	5	-91%
Anzahl Kabinen	78	93	+88%
Kabinengrösse [kg]	1600 / 2*1600 / 2*1800	1275	-20% / -29%
Nominalgeschwindigkeit	2.5 / 3.5 / 6.0 / 8.0	4.5	
Beschleunigung [m/s ²]	1.2	1.2	0%
Ruck [m/s ³]	1.8	1.8	0%
Flächenverbrauch im Haupthalt	247	52.5	-79%
Flächenverbrauch total	15811	4725	-70%
HC5 [%] Up-peak	13.5%	13.5%	0%
Kapazitätsdichte im Haupthalt [P/(5min*m ²)]	5.3	25.1	+374%
Kapazitätsdichte total [100P/(5min*m ²)]	8.3	27.9	+236%
Spitzenleistungsbezug [MW]	3.8	7.2 ¹	+88%

1. mit $m_{\text{leer}}=900$ kg, $\#K_{\text{auf}}/\#K_{\text{ab}}=4$

7.9 Diskussion der Vorentscheidungen

Im Vorfeld sind zwei Vorentscheidungen gefallen: In Abschnitt 7.4 ist ausgeschlossen worden, dass die Passagiere seitlich bewegt werden und in Abschnitt 7.4.3 sind die Varianten ohne Zirkulation (*Grundkonzept 1*) ausgeschieden. Die erste Entscheidung stützte sich einerseits auf Unsicherheiten in der Akzeptanz beim Passagier und auf dadurch entstehende Mehrkosten in der Entwicklung. Andererseits war auch der Nutzen (Steigerung der Kapazitätsdichte) stark abhängig von dieser Frage. Nun hat sich gezeigt, dass das gewählte Konzept (*Grundkonzept 2*) es schafft, den Platzverbrauch sowohl in mittleren als auch in sehr hohen Gebäuden um bis zu 70% zu verkleinern. Mit dem in hohen Gebäuden eingesetzten Doppeldeckerbetrieb kommt man schon nah an die Kapazitätsgrenze des Schachtes heran. Da die technische Diskussion in diesem Stadium noch nicht möglich ist, soll erst aufgrund der Kenntnisse des Markts der Nutzen diskutiert werden.

In Abschnitt 7.4 wird im Idealfall eine Steigerung der Kapazitätsdichte im Schacht um 130% ausgemacht. Die Wartefläche bleibt gleich, da die Anzahl der wartenden Passagiere sich nicht ändert. Ein solches Konzept würde die Einsparung an Liftfläche von -70% (*Grundkonzept 2*) um ca. 9% zu -79% erhöhen. Da die zulässigen Mehrkosten abhängig von der Platzeinsparung sind, wäre der Nutzen davon, dass diese Technologie ungefähr um 10% teurer als *Grundkonzept 2* sein dürfte (diese Zusammenhänge zwischen Platzeinsparung und Zielkosten sind in Kapitel 8 näher erläutert). Einer relativ kleinen Steigerung der maximal zulässigen Kosten steht ein noch nicht quantifizier-

bares Risiko und Entwicklungsmehraufwand gegenüber, die die getroffene Entscheidung für das Grundkonzept 2 bestätigt. Weiterentwicklungen in die oben diskutierte Richtung scheinen vom jetzigen Zeitpunkt für weitere Generationen des Multimobils interessanter.

Die zweite Entscheidung ist aufgrund der Kapazitätsdichte gefällt worden. Die Analyse hat gezeigt, dass sie beim Grundkonzept 2 ungefähr dreimal so hoch ist wie beim Grundkonzept 1. Da eine hohe Platzeinsparung auch zu einem grösseren finanziellen Spielraum führt, bestätigt sich auch diese Entscheidung, die jedoch auch von der technischen Umsetzung abhängt. Beim Grundkonzept 1 sind Lösungen mit Gegengewicht eher denkbar als beim Grundkonzept 2. Falls die Umsetzung der Anforderungen an Motor und Kabine nicht möglich sein sollte, sollte diese Entscheidung nochmals revidiert werden.

7.10 Zusammenfassung

Mehrfahrzeugsysteme des gewählten Grundkonzepts 2 zeichnen sich durch ein deutlich höheres Verhältnis von Kapazität zu Flächenverbrauch aus als das konventionelle Liftsystem. In mittleren Gebäuden lässt sich so der Flächenbedarf des Aufzugs um knapp 60% senken, in grossen Gebäuden sogar um 70%. Dies führt – neben der schon für «normale» Gebäude enormen Effizienzverbesserung – zum gewünschten Effekt, dass auch Gebäude mit mehr als 200 Metern wirtschaftlich erschlossen werden können. Auch die Realisierung von neuen Höhenrekorden wird nicht mehr durch die Verkehrserschliessung begrenzt. Interessant ist auch, dass nicht nur die normale Verkehrsleistung verbessert wird, sondern auch die Ausfall- und Evakuierungsleistung. Zudem kann die Verkehrsleistung zur Mittagszeit ohne Erhöhung des Platzbedarfs gesteigert werden. Auch den Passagieren ergeben sich Vorteile aus den kurzen und konstanten Wartezeiten.

Der Energieverbrauch ist, soweit er hier behandelt werden konnte, voraussichtlich höher als beim konventionellen System. Es ist zwar gezeigt worden, dass ein System ohne Gegengewicht mit kleinerer und sehr leichter Kabine zwar das Potential hat, die gleiche Grössenordnung im Verbrauch zu erreichen, doch diese Aussage hängt einerseits stark von Effizienz, Gewicht und Kosten der technischen Umsetzung ab. Andererseits ist auch die Abhängigkeit von der Steuerung und vom Verkehrsaufkommen nicht zu vernachlässigen. Für die weitere Umsetzung gilt das Ziel, den Energieverbrauch auf der gleichen Ebene wie beim konventionellen Lift zu halten. Ein Nachteil eines Mehrkabinensystems ohne Gegengewicht ist die Leistungsspitze der benötigten Energie. Ohne näheres Wissen über die Höhe und den Verlauf des Leistungsbedarfes in einem Gebäude lässt sich schlecht abschätzen, ob diese Eigenschaft des Lifts eine Konsequenz auf die Kosten hat.

Die Prioritäten in der weiteren Entwicklung sollten aufgrund dieser Analyse auf der Kapazität der unteren Wechselstellen, auf der Leermasse der Kabine und auf der Effizienz des Motors liegen.

8 Wirkung auf den Markt

8.1 Wirkung auf das Grundinteresse «Rendite»

8.1.1 Übersicht

Kapitel 7 zeigt, wie stark sich die Attribute des Aufzugs durch das Verkehrskonzept ändern. Setzt man nun diese Informationen mit dem in Kapitel 6 beschriebenen Einflussnetz des Umfelds zusammen, lässt sich die Attraktivität für den Investor abschätzen. Im Bild 8.1 sind die dafür wesentlichen Einflusswege zusammengefasst. Die gestrichelten Linien deuten noch unklare oder nicht in allen Fällen wirkende Einflüsse an. Dazu gehört der Einfluss des maximalen Leistungsbedarfs auf Strom- sowie Initialkosten. Ebenfalls unklar ist die Veränderung der Initialkosten des Lifts, da dies erst gegen Ende der Entwicklung bekannt sein wird. Für das weitere Vorgehen ist es jedoch notwendig zu wissen, welcher finanzielle Spielraum zur Verfügung steht. Deshalb wird im ersten Unterabschnitt untersucht, wie sich die Mehrkosten im Rahmen der Attraktivität entwickeln dürfen. Der zweite Unterabschnitt zeigt, welche Einflussgrößen sich daraus für die Marktsegmentierung finden lassen.

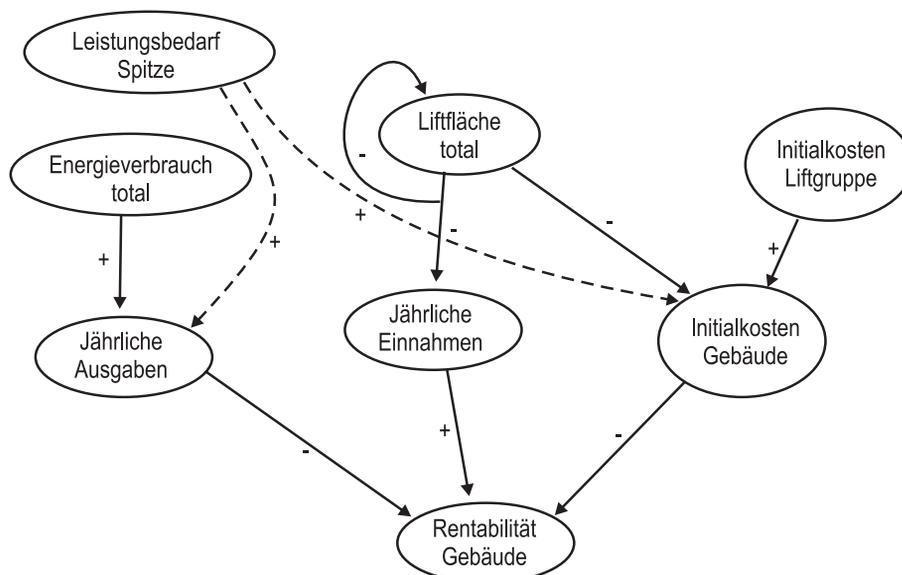


Bild 8.1. Zusammenfassung der Wirkstrukturen des Aufzugs auf die Rentabilität des Gebäudes

8.1.2 Zielkosten

Die maximal zulässigen Mehrkosten eines Multimobilsystems sind dann erreicht, wenn die Renditesteigerung durch die kleinere Aufzugsfläche abzüglich des Einflusses der zusätzlichen Ausgaben durch die Änderung der Initialkosten des Lifts kompensiert werden. Dreht man die Wirkrichtung des Einflusses der Initialkosten auf die Rendite um, kann man die Ein- bzw. Ausgabenseite direkt mit den Liftkosten verknüpfen. Die Zielkosten des Liftsystems können also über die Gl. (8.1) bestimmt werden. Dabei ist neben der vergrößerten Geh- und Nutzfläche ($loop_{FlächePop}$) auch die in Abschnitt 7.6 beschriebene Rückkopplung (in der Gl. (8.1) als $loop_{Pop}$ angegeben), berücksichtigt.

$$\varepsilon_{IK_{Lift}} = \left(\varepsilon_{A_L} \cdot \left(-\frac{A_L}{HNF} \right) \cdot \frac{\frac{E}{I_0}}{\frac{E}{I_0} - \frac{A}{I_0}} (1 - loop_{Pop}) [1 + loop_{FlaechePop}] \right. \\ \left. - \left(\varepsilon_{EV_{Lift}} \cdot \frac{EV_{Lift}}{EV_{strom}} \cdot \frac{K_{EE}}{K_E} \cdot \frac{K_E}{A} \cdot \frac{\frac{A}{I_0}}{\frac{E}{I_0} - \frac{A}{I_0}} \right) \right) \cdot \left(\frac{IK_{Lift}}{I_0} \right) \quad (8.1)$$

Zur Illustration ist das Beispielgebäude mit 26 Etagen aus Abschnitt 7.8.1 mit den Kennzahlen aus Kapitel 6 in Tabelle 8.1 berechnet. Daraus folgt, dass der Verkaufspreis für das Multimobilsystem zwischen 4 und 22 mal mehr betragen darf als das vergleichbare konventionelle Liftsystem und dadurch finanziell immer noch attraktiver ist. Der Hauptgrund für die stark unterschiedliche Zielkostenausprägung in Tabelle 8.1 liegt in der Variabilität des Anteils der Initialkosten des Lifts an der Gebäudeinvestition. Der Wert von «0.75%» erscheint hier durchaus realistisch.

Tabelle 8.1. Werte für die Gl. (8.1) am Beispielgebäude aus Abschnitt 7.8.1

Kennzahl	Minimum	Maximum	Realwert
ε_{A_L}	-67%		
$\varepsilon_{EV_{Lift}}$	+40%	0%	+20%
$A_L/(HNF)$	8%	14%	9.5%
$E/(E - A)$	1.05	1.45	1.24
$(EV_{Lift})/(EV_{strom})$	15%	5%	12%
K_{EE}/K_E	60%	40%	45%
K_E/A	50%	15%	30%
IK_{Lift}/I_0	1.5%	0.25%	0.75%
$A/I_0 / \left(\frac{E}{I_0} - \frac{A}{I_0} \right)$	0.05	0.45	0.24
$\varepsilon_{IK_{Lift}}$	+306%	+2100%	+800%

Die Umfeldanalyse hat ergeben, dass das Sicherheitsgefühl ein weiteres Grundinteresse des Investors ist. Das Risiko einer Investition in ein Gebäude liegt darin, dass die Mietflächen nicht zum Mindestmietpreis ausgelastet werden. Erhöht man die anfänglichen Investitionskosten, so steigt der Druck auf die jährlichen Einnahmen. Es wäre deshalb denkbar, dass die Initialkosten des Lifts durch das Grundinteresse *Sicherheitsgefühl* nach oben hin begrenzt werden. Gespräche mit Experten haben jedoch ergeben, dass das Risiko aufgrund eines Multimobils nicht derart zunimmt, dass die Mehrkosten begrenzt werden müssen.

8.1.3 Einflussgrößen für Marktsegmentierung

Das Verhältnis zwischen Liftfläche und Hauptnutzfläche ist von zentraler Bedeutung für die Wirkung des Multimobils. Auf diese Kennzahl soll hier noch näher eingegangen werden, um die Liste der Segmentierungskriterien aus Abschnitt 6.4 zu verfeinern.

Die Liftfläche pro Etage hängt von der Gesamtpopulation und der Kapazitätsdichte ρ_{Kap} ab (vgl. Gl. (8.2)). Die Grösse der Hauptnutzfläche pro Etage lässt sich ebenfalls über die Population bestimmen (vgl. Gl. (8.4)). Schliesslich ergibt sich für den Anteil der Liftfläche an der *HNF* die Gl. (8.5).

$$A_L = \frac{Pop_E \cdot HC5 \left[\frac{\%}{5min} \right] \cdot N}{\rho_{Kap} \left[\frac{P}{5min \cdot m^2} \right]} \quad (8.2)$$

$$\rho_{Kap} = \frac{300}{RTT} \cdot L \cdot P \cdot \frac{\rho_{P_{Schacht}}}{2PL} \quad (8.3)$$

$$HNF_E = \frac{Pop_E}{\rho_{Pop} \left[\frac{P}{m^2} \right]} \quad (8.4)$$

$$\frac{A_L}{HNF} = \frac{\rho_{Pop}}{\rho_{P-Schacht}} \frac{RTT}{150} \cdot HC5 \left[\frac{\%}{5min} \right] \cdot N \quad (8.5)$$

Gl. (8.5) zeigt drei zusätzliche Gebäudekennzahlen, nach denen der Markt aufgeteilt werden kann:

- Populationsdichte ρ_{Pop} [P/m²]
- Anzahl Etagen [-]
- Anforderung an die Verkehrsleistung HC5 [%/5min]

Tabelle 8.2. Kennzahlen der Gebäudearten (in Anlehnung an *CIBSE* [21])

	ρ_{Pop} [P/100m ²]	Anzahl Etagen	HC5 [pro 5min]
Büro Prestige	6.7	2-100	12.5-15.0%
Büro Standard	10.0	2-100	12.5-15.0%
Wohngebäude	1.7-4.0	2-50	12.5%
Einkaufszentrum		2-6	750 P ¹
Parkhaus	33.3	2-6	12.5%
Flughafen		2-6	750 P ¹
Krankenhaus	20.0	2-20	15.0%
Hotel	5.0-6.7	2-50	12.5%
Bahnhof		2-3	750 P ¹

1. Diese Kennzahl bezieht sich auf die durchschnittliche Kapazität einer Rolltreppe in Personen pro 5 Minuten und Richtung)

In Tabelle 8.2 ist eine Übersicht über die Gebäudearten bezüglich der genannten Kennzahlen aufgeführt. Je höher die Ausprägung der Kennzahlen, desto attraktiver ist der Einsatz eines Multimobils. Es zeigt sich, dass neben den Bürogebäuden auch Parkhäuser, Krankenhäuser und Hotels für die Technologie interessant sein können. Aufzüge als Ersatz für Rolltreppen (z. B. Flughafen, Einkaufszentren) sind aufgrund der hohen Verkehrsleistung von Rolltreppen auf kurze Distanzen nicht konkurrenzfähig. Bei allen Gebäudearten steigert sich der Nutzen des Multimobils mit zunehmender Anzahl Etagen.

8.1.4 Diskussion der Zielkosten

Ein Mehrkabinensystem darf deutlich mehr als eine konventionelle Aufzugsgruppe kosten, ohne dass die Rendite des Gebäudes verschlechtert wird. Dies bietet mehr Spielraum in der Gestaltung der technischen Komponenten des Liftsystems.

Dies bedeutet jedoch nicht, dass die finanziellen Fragen in der Entwicklung weniger wichtig sind. Sobald mehrere Konkurrenten Multimobilsysteme auf dem Markt haben, wird die optimale Kostenstruktur Erfolgsvoraussetzung sein. Dabei ist es wichtig, dass die Kostenstruktur den bisher erarbeiteten Wirkungen Rechnung trägt. Speziell zu erwähnen ist, dass viele Kennzahlen, ebenso wie die Kosten des Aufzugssystems, abhängig von der Höhe sind. Die Balance zwischen den vom Markt vorgegebenen Zielkosten und den Kosten für die Liftfirma wird ein wichtiger Wettbewerbsfaktor sein.

8.2 Abschätzung der Reaktionen des Umfelds

8.2.1 Wirkung auf den Mieter

Das gewählte Verkehrskonzept hat den Vorteil, dass die Evakuierungskapazität höher ist als beim konventionellen Aufzug. Da der Mieter ein Interesse an hoher Sicherheit hat, ist dies ein positiver Aspekt. Des Weiteren ist es möglich, das System besser als das konventionelle System an das Verkehrsaufkommen im Gebäude anzupassen. Zum Beispiel kann ein Gebäude mit hohem zweiseitigem Verkehrsaufkommen mit der passenden Kabinenzahl genau darauf ausgelegt werden. Beim konventionellen Lift ist dies ohne höheren Flächenverbrauch nicht möglich.

Die Analyse des Verkehrskonzepts hat gezeigt, dass der Energieverbrauch des Multimobils ohne Gegengewicht sehr sensitiv auf das Kabinengewicht reagiert. Speziell bei Luxusaufzügen ist jedoch ein Innengestaltungsgewicht von 800kg nicht selten. Während dies mit einem Gegengewicht problemlos kompensiert werden kann, steigt beim Multimobil der Energieverbrauch drastisch an. Es kollidieren die Grundinteressen *Rendite* und *Repräsentationsbedürfnis*. Daraus lassen sich folgende Fragen an die weitere Entwicklung ableiten:

- Ist es möglich, die Anforderungen an die Innengestaltung über leichte Gestaltungselemente zu erfüllen?
- Wieviel Mehrkosten pro Jahr akzeptiert der Kunde, wenn dafür die Innengestaltung nach seinen Wünschen ist?
- Lässt sich über das Produkt-Design die Leichtbau-Ästhetik als Ersatz für die aufwendige Innengestaltung kommunizieren? (*Kommunikation der Innovation*)

8.2.2 Wirkung auf den Architekten

Die in Abschnitt 8.2.1 beschriebenen Probleme mit der Innengestaltung der Kabine betreffen auch den Architekten, da er das Repräsentationsbedürfnis des Mieters umsetzen muss.

Hängt sein Honorar von den Initialkosten ab, profitiert er von den voraussichtlichen Mehrkosten

des Aufzugs. In den anderen Fällen hat dies keinen Einfluss. Die weiteren Einflüsse des Aufzugs auf die Interessen des Architekten werden erst im Lauf der weiteren Entwicklung bestimmt.

8.2.3 Wirkung auf den Passagier

Die zu erwartenden kürzeren Wartezeiten mit einer kleineren Standardabweichung werden vom Passagier positiv aufgenommen. Die kurze Folge von Kabinen könnte dazu führen, dass die wartenden Passagiere überfordert werden. Ein geeignetes Zuweisungssystem wird dem entgegenwirken. Die Fahrtzeiten hängen von der verwendeten Kabinengrösse und der Geschwindigkeit ab. Mit der vorgeschlagenen Geschwindigkeit von 4.5 m/s können auch sehr hohe Gebäude direkt erschlossen werden. Die gesamte Reisezeit ist dann zwar kürzer als in Systemen, bei denen man umsteigen muss, doch ist die Fahrtdauer nicht unterbrochen und könnte sich dadurch negativ auf das Interesse an *Kurzweile* auswirken. Dieses potentielle Problem lässt sich jedoch auf verschiedenste Arten lösen (z. B. einem Unterhaltungssystem).

Die Beurteilung der Sicherheit des Fahrstuhls wird vom Passagier aufgrund äusserer Attribute und der persönlichen Erfahrung gemacht. Das Sicherheitsgefühl kann nur schon durch äussere Veränderungen beeinträchtigt werden. Es ist somit eine grössere Herausforderung, die neue Technologie so zu gestalten, dass sich der Passagier sicher fühlt.

Dazu kommt, dass mehrere Kabinen ohne Gegengewicht im gleichen Schacht fahren. Es muss zumindest am Anfang mit Angst vor Kollisionen und mangelnder Sicherheit gerechnet werden. Einen wesentlichen Einfluss werden hier der Fahrkomfort und die Gestaltung haben. Eine grosse Akzeptanzunsicherheit kann dank des gewählten Verkehrskonzepts minimiert werden, da Passagiere nicht horizontal bewegt werden.

8.2.4 Wirkung auf den Bauunternehmer

Wenn durch die erreichte Platzeinsparung die Hauptnutzfläche vergrössert wird, werden die Baukosten eher höher, so dass die Tendenz der Einnahmen des Bauunternehmers auch leicht positiv ist. Wird ein kleineres Gebäude gebaut, verringert sich sein Gewinn.

8.2.5 Wirkung auf den Staat

Das Verkehrskonzept wirkt hauptsächlich über den Energieverbrauch auf die Interessen des Staats. Doch die erarbeiteten Werte lassen nicht darauf schliessen, dass hier ein Akzeptanzproblem entsteht.

9 Entscheidungsfindung bei Komponenten

9.1 Übersicht

Die vorangegangenen Kapitel stellen alle wesentlichen Informationen zur Verfügung, um mit der Entwicklung der technischen Komponenten zu beginnen. Deren Anforderungen können aus dem Einflussnetz des Verkehrskonzepts abgelesen werden. Ebenso ist die Zielkostenfunktion bekannt, die alle Wirkwege (Liftfläche, Energieverbrauch, Wartungsaufwand, Initialkosten,...) miteinander verbindet. Zwei Komponenten sind zu diesem Zeitpunkt besonders für die Zielerreichung wichtig: Der *Schachtwechselmechanismus* und der *Antrieb*, die beide eng miteinander verflochten sind.

Die Dimensionierung des Antriebs beruht jedoch wesentlich auf dem Gewicht der Kabinenstruktur, das aufgrund der Kenntnisse des konventionellen Aufzugs nur beschränkt geschätzt werden kann. Beim konventionellen Lift besteht keine Notwendigkeit, das Kabinengewicht zu optimieren, da alle Lasten vom Gegengewicht kompensiert werden. Ein hohes Gewicht ist sogar erwünscht, um eine ausreichende Traktion zwischen Seil und Antriebsscheibe zu gewährleisten. Da das gewählte Multimobilverkehrskonzept kein Gegengewicht verwendet, muss der Motor das gesamte Leergewicht der Kabine (inkl. Motor, Struktur, Innengestaltung, Klimaanlage usw.) zusätzlich zur Zuladung (Passagiere) antreiben. Das ungefähre Gewicht einer geeigneten Kabinenstruktur muss also vor der Dimensionierung des Motors bekannt sein und kann nicht aus den bereits bekannten Strukturen hergeleitet werden.

Für die vorliegende Arbeit ist die Darstellung der Verflechtung der Komponenten und die damit verbundene Entscheidungsproblematik von besonderer Bedeutung. Daher wird der Übersicht halber auf die eingehende Schilderung der Lösungskonzepte verzichtet, obschon diese einen wichtigen Anteil an der Zielerreichung des Multimobils haben. Zur Illustration beleuchtet dieses Kapitel die Zusammenhänge zwischen den beiden Komponenten *Kabinenstruktur* und *Motor*, die aus der Sicht der Entscheidungsfindung der Kabinenstruktur wichtig sind.

9.2 Bewertung der Kabinenstruktur im Zusammenhang mit der Antriebstechnologie

Zur Diskussion stehen zwei Varianten mit identischem Führungskonzept, die von *S. Kopyciok* [61] und *F. Jäger-Booth* [50] im Rahmen zweier Semesterarbeiten erstellt worden sind. Der Vorschlag von *S. Kopyciok* handelt von einer Schubfeldkonstruktion aus Aluminium mit Wänden aus *Aluminiumwabensandwich*. *F. Jäger-Booth* verwendet anstatt der Aluminiumwände *Sandwiches* aus Faserverbundwerkstoffen und erreicht damit ein um 50% geringeres Gewicht. Er schätzt die Mehrkosten seiner Variante auf +150% der Aluminiumvariante (Material und Herstellung). Die Diskussion der Bewertung beschränkt sich der Übersichtlichkeit halber auf die Kriterien *Gewicht* und *Herstellkosten* und vernachlässigt weitere Bewertungsattribute.

Tabelle 9.1. Kennzahlen der Bewertung der Kabinenstrukturvarianten

	Variante «Alu»	Variante «Hybrid»
$\epsilon_{\text{Gewicht}}$	0%	-50%
$\epsilon_{\text{Herstellkosten}}$	0%	+150%

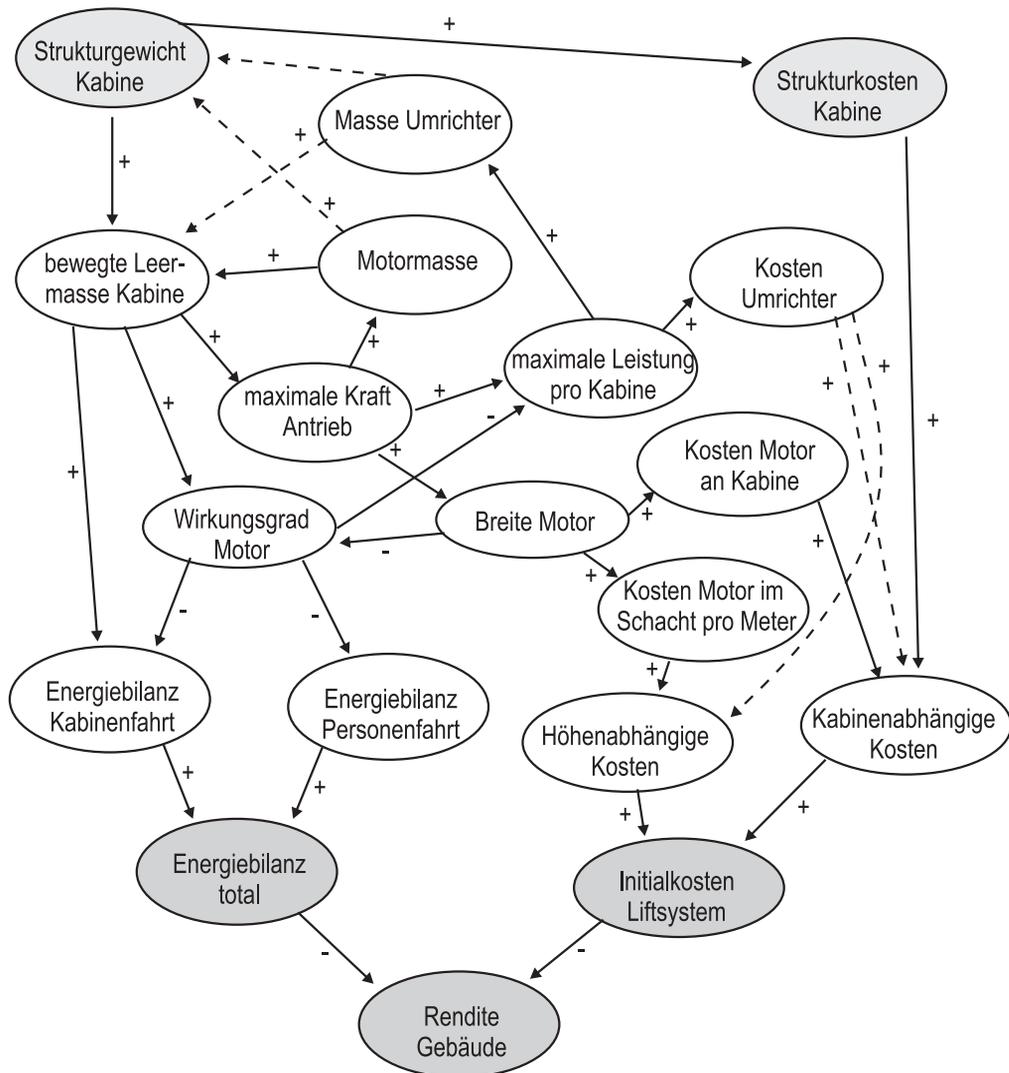


Bild 9.1. Für die Wirkung der Kabinenstruktur relevante Abhängigkeiten der Motorvariante

Die Ermittlung der Einflussstärke der Variante basiert auf den Einflusswegen zwischen *Strukturgewicht* und *-kosten* sowie der *Rendite*, die in Bild 9.1 zusammengefasst sind. Der direkteste Weg des *Gewichts* verläuft über die *Leermasse der Kabine* zum Attribut *Energiebilanz der Kabinenfahrten* und wirkt so auf die jährlichen Ausgaben der Gebäuderechnung. Ein bedeutender Teil der Wirkung des *Strukturgewichts* verläuft über das Einflussnetz der Motorvarianten. Ein Beispielnetz ist in Bild 9.2 dargestellt. Daraus ergibt sich, dass sich durch die *Leermasse* auch der *Wirkungsgrad* verändert, der nicht nur auf den Energieverbrauch der Kabine, sondern auch auf den der *Passagierfahrten* wirkt. Eine Änderung der *Leermasse* führt auch zu einer Änderung des *Motor- und Umrichtergewichts*. Dadurch entstehen zwei Einflusskreise, die die Wirkung einer Änderung des *Strukturgewichts* verstärken. In gewissen Motorvarianten (in Zusammenhang mit der *Kabinenführung*) führt das zusätzliche *Gewicht* an der Kabine zu einer weiteren *Zunahme* des *Strukturgewichts*. Dies zeigt, dass für die Bewertung nicht nur das Einflussnetz der Antriebsvariante, sondern auch das Netz der *Kabinenstrukturvarianten* bekannt sein muss. Das *Strukturgewicht* der Kabine beeinflusst neben den eigentlichen *Strukturkosten* auch die *Initialkosten* des Liftsystems, da sowohl *Motor-* als auch *Umrichterkosten* abhängig von der *Antriebskraft* (bzw. *-leistung*) sind. Dadurch vermischt sich die Wirkung des *Strukturgewichts* mit derjenigen der *Strukturkosten*, die über die *kabinenabhängigen Kosten* zu den gesamten *Initialkosten* des Liftsystems verlaufen.

Aus diesen Einflusswegen und ihren -stärken ergibt sich eine Einflussfunktion zwischen jedem Bewertungsattribut und dem Gütekriterium. Daraus lässt sich die Bewertungsfunktion ermitteln (vgl. Gl. (9.1)), mit der die Wirkung der Varianten verglichen werden kann. In ihr sind sowohl technische als auch wirtschaftliche Kriterien integriert. Sie erlaubt deshalb eine ausgewogene, präzise Bewertung gemäss

$$\varepsilon_{DCF/I_0} = r_{SG} \cdot \varepsilon_{SG} + r_{SK} \cdot \varepsilon_{SK} \quad (9.1)$$

mit

ε_{DCF/I_0}	Änderung des Verhältnisses von DCF zu Gebäudeinvestition
r_{SG}	Einflussfunktion des Kabinenstrukturgewichts auf DCF/I_0 in Bezug auf die Referenzausprägung
ε_{SG}	Änderung des Kabinenstrukturgewichts in Bezug auf die Referenzausprägung
r_{SK}	Einflussfunktion der Kabinenstrukturkosten auf DCF/I_0 in Bezug auf die Referenzausprägung
ε_{SK}	Änderung der Kabinenstrukturkosten in Bezug auf die Referenzausprägung.

Die Einflussfunktion hängt von den Einflussnetzen von Verkehrskonzept (gesamter Energieverbrauch), Antrieb und Kabinenstruktur ab. Sie unterscheiden sich durch die Einflussstärke und durch die Wirkwege. Jede Kombination von Komponentenvarianten kann dadurch zu einer unterschiedlichen Wirkung und damit zu einem unterschiedlichen Bewertungsergebnis führen. Allein für die Antriebskomponente werden 12 Varianten in Betracht gezogen, die ihrerseits wieder mit Varianten des Energieversorgungssystems verknüpft sind. Für einige Varianten ist die schwerere Kabine optimal, während für die übrigen die leichtere besser geeignet ist. Eine isolierte Bewertung der Kabinenstruktur ist also nicht ausreichend, um ein optimales Gesamtsystem zu finden.

9.3 Anpassung der Dimensionierungsparameter

In Abschnitt 7.7 sind die für das Verkehrskonzept wichtigsten Parameter gemäss des momentanen Zustands des Einflussnetzes angepasst. Die maximale Geschwindigkeit und die maximale Beschleunigung haben einen wichtigen Einfluss auf die Auslegung des Motors. Da mit der Kenntnis des Einflussnetzes jeder Motorvariante zusätzliche Einflusswege auf das Entwicklungsziel entstehen, müssen diese Attribute neu eingestellt werden, um die Wirkungen der Varianten überhaupt korrekt miteinander vergleichen zu können. Da die maximale Beschleunigung selbst einen sehr starken Einfluss auf die Kapazität pro Schacht besitzt, besteht bei ihr auch mit den neuen Zusammenhängen kein Bedarf, sie anzupassen. Die Geschwindigkeit jedoch spielt eine zentrale Rolle. Zu den bereits in Bild 7.30 aufgeführten Einflüssen kommt die äusserst starke Wirkung der Leistung auf die Kosten der elektrischen Komponenten (Umrichter...). Eine Reduktion der Nominalgeschwindigkeit würde zwar dazu führen, dass mehr Kabinen benötigt werden, doch wirken auch die elektrischen Komponenten auf die Initialkosten, so dass in diesem Spannungsfeld eine optimale Ausprägung der Geschwindigkeit gefunden werden muss. Jede Variantenkombination benötigt auch hier unterschiedliche Werte: Für Antriebskonzepte, die beispielsweise viele Umrichter benötigen, wirkt sich die Einsparung durch eine niedrigere Geschwindigkeit stärker auf die Rendite aus als die Erhöhung der Anzahl Kabinen. Wesentlich sind beispielsweise die Kennzahlen Anteil der kabinenabhängigen Kosten sowie der Anteil der leistungsabhängigen Kosten an den Initialkosten. Der in Bild 7.30 gestrichelt dargestellte Einfluss der Geschwindigkeit auf den Wirkungsgrad hat sich bestätigt und führt zu einer weiteren Dimension im Optimierungsproblem.

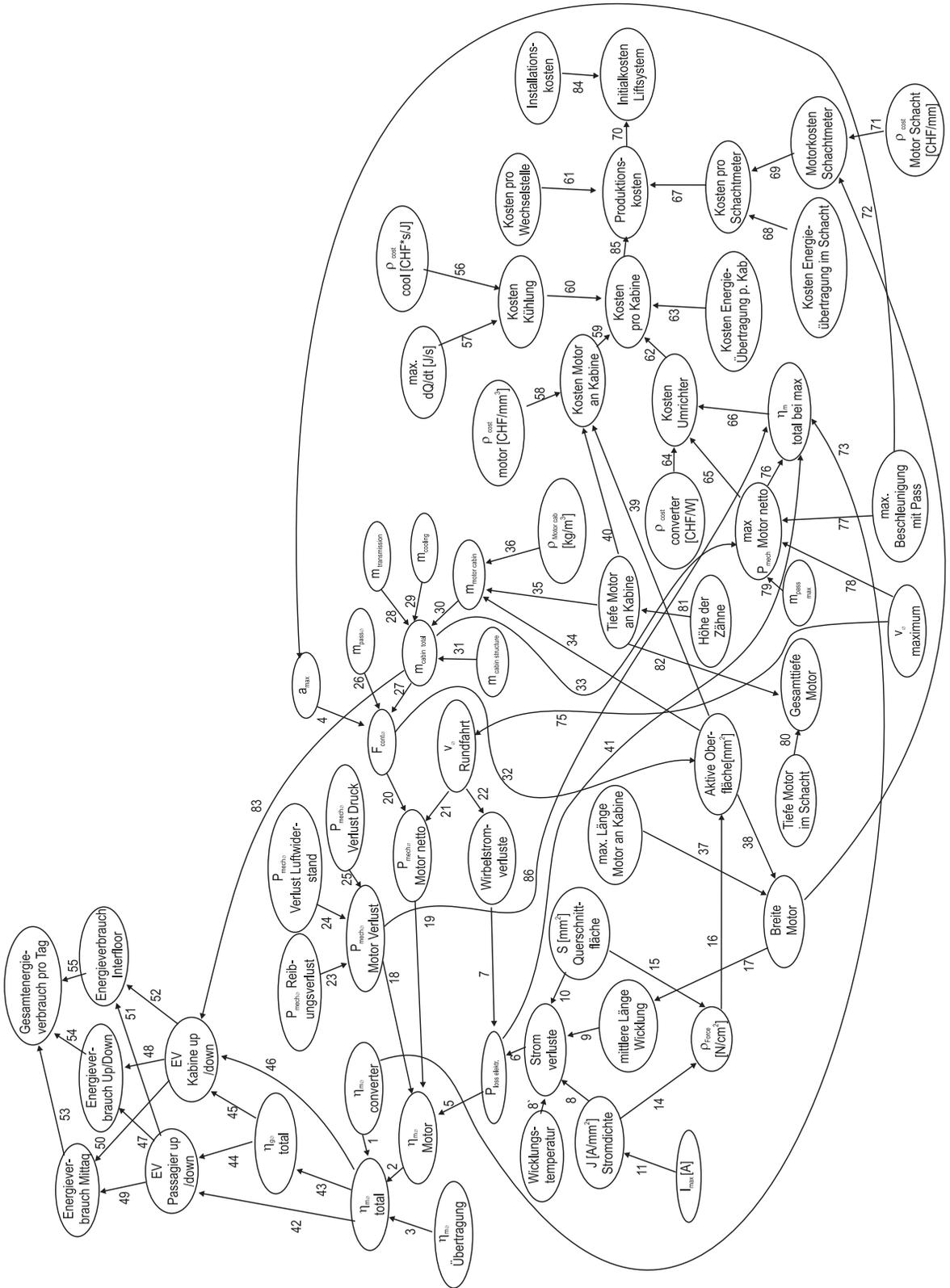


Bild 9.2. Einflussnetz eines Beispielmotors (Linearmotor)

10 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen aus der Beispielentwicklung

10.1 Zielorientierung in der Entwicklung komplexer Systeme

10.1.1 Zusammenfassung der theoretischen Ansätze

Die vorliegende Arbeit zeigt eine neue Bewertungsmethode für komplexe Zusammenhänge, die es erlaubt, die Gewichtung von Bewertungskriterien in mathematisch erfassbaren Zusammenhängen zu präzisieren. Sie ist vor allem geeignet, um Produktkomponenten sowie Produkte, die selbst Bestandteil eines übergeordneten Systems sind, zu bewerten.

Die Basis der Methode liegt in einer speziellen Beschreibungsform eines Produktes: dem Einflussnetz. Das Einflussnetz beschreibt die Abhängigkeiten der *inneren* Produktattribute mit *äusseren*, vom Umfeld wahrgenommenen Attributen. Gemäss zwei in dieser Arbeit entwickelten Thesen lassen sich die Bewertungskriterien direkt aus dem Einflussnetz herleiten: Bewertungskriterien für das Gesamtprodukt sind vom Umfeld als defizitär angesehene Attribute. Darauf aufbauend sind die Bewertungskriterien für eine Komponente alle Attribute, die über das Einflussnetz Einfluss auf die Gesamtbewertungskriterien haben und zudem alle Lösungsvarianten beschreiben können. Eine weitere These definiert die Gewichtung als Potential eines Bewertungsattributs, die Güte des Produkts zu ändern. Die zentrale Grösse ist die Einflussstärke zwischen den beiden Attributen, die ein Bestandteil der technischen Beschreibung, dem Einflussnetz, ist und damit der Exaktheit des Produktwissens entspricht. Für die Modellierung und Auswertung des Einflussnetzes liegt ein mathematisches Konzept vor.

10.1.2 Praxis – Modellierung des Einflussnetzes

Das Instrument des Einflussnetzes ist in der Beispielentwicklung zur Beschreibung aller bekannten Abhängigkeiten angewandt. Es hat sich gezeigt, dass die Modellierung als Einflussnetz ohne Einschränkung in allen Aspekten möglich ist. Wissensbereiche wie Gestaltung sind bisher noch nicht in das Modell integriert.

Die Modellierung der Einflussstärken beschränkt sich in dieser Anwendung rein auf mathematische Zusammenhänge, da das Entwicklungsziel, die Steigerung der Rendite, nicht von subjektiven Assoziationen abhängt. Es haben sich hier keine Grenzen aufgezeigt, auch nicht bei nichtlinearen Zusammenhängen. Die analytische Ermittlung der Einflussstärke wird jedoch schnell unübersichtlich, wenn viele Attribute parallel in einer nichtlinearen Beziehung wirken. Hier wäre eine Unterstützung durch Rechner sehr hilfreich, die jedoch nicht Bestandteil dieser Arbeit ist. Die Problematik eines nichtlinearen Einflusskreises (vgl. Abschnitt 7.6, Einflusskreis über die Aufzugsfläche) hat sich im realen Fall pragmatisch lösen lassen, so dass die Auswertung immer noch ausgeführt werden kann. Im Bereich des technischen Systems ist also kein Hindernis in der Modellierung des Einflussnetzes erkennbar.

Es ist ein bedeutender Vorteil des Einflussnetzes, dass die Wissensträger selbst ihre Kenntnisse so detailliert wie nötig ins Modell einbringen können. Der Entwicklungsleiter kann sich über das Wissen und die Zusammenhänge einen Überblick verschaffen. Der Aufwand zur Erstellung des Einflussnetzes ist jedoch nicht zu unterschätzen. Die Modellierung der Zusammenhänge ist nicht immer klar erkennbar und erfordert eine gute Kenntnis der Einflussgrössen und Entwicklungsziele. Fehlerhafte Modelle sind fatal für die Entscheidungsqualität. Doch gerade in diesem Aufwand widerspiegelt sich auch der Nutzen der Methode: Aufwand und Schwierigkeitsgrad einer Modellierung korrelieren mit der Komplexität des Produktes. Je höher die Komplexität, desto schwieriger wird

wiederum die Erfassung und parallele Verarbeitung durch den Entscheidungsträger und macht die Anwendung der Methodik dringend notwendig. Der Prozess des Modellierens zwingt den Entwickler zur feinen Analyse und führt so häufig zu neuen Erkenntnissen. Dies hat sich auch im Entwicklungsprozess des Lifts mehrfach gezeigt.

10.1.3 Praxis – Systembewertung

Die Erfahrungen aus der Beispielentwicklung machen deutlich, dass die eindeutige Definition der Bewertungskriterien im Einflussnetz die Entscheidungsqualität bei Komponenten wesentlich verbessert. Durch den fehlenden direkten Kontakt zu den Entwicklungszielen besteht ohne das Einflussnetz die Gefahr, falsche Bewertungskriterien zu benützen.

Die Ermittlung der Einflussstärke ist sehr schnell möglich, wenn das nötige Einflussnetz bekannt ist. Damit lässt sich die Wirkung einer Variante schnell und präzise abschätzen. Es hat sich zudem gezeigt, dass es ohne eine solche Unterstützung nicht möglich ist, die vielfältigen Abhängigkeiten einer Komponente zu überblicken und daraus die Wirkung einer Variante korrekt abzuschätzen. Das Einflussnetz trägt entscheidend zur Synthese der erkannten Abhängigkeiten und damit zur Orientierung bei. Aufgrund der schnellen Verfügbarkeit der Informationen hat sich die Einflussstärke auch als Instrument nützlich gezeigt, um Prioritäten in der Lösungsfindung zu erkennen und zu überprüfen.

Während der ersten Entwicklungsschritte ist es nicht notwendig, die Entscheidungen so intensiv wie in den späteren Phasen zu überprüfen. Dennoch dient das Einflussnetz als Diskussionsgrundlage der Entscheidungen über das Verkehrskonzept, die erst aufgrund von Abschätzungen von Aufwand und Nutzen gefällt und später durch die gewonnenen Erkenntnisse über die Marktwirkung bestätigt werden konnten. Besonders wichtig ist hier, wie auch in allen anderen Entscheidungen, dass die Technik direkt mit den wirtschaftlichen Aspekten verknüpft ist.

Im speziellen bei der Motorauswahl hat sich gezeigt, dass die Anpassung der Dimensionierungsgröße Geschwindigkeit einen grossen Einfluss auf die Systemauswahl hat. Ohne die einfache Möglichkeit, die Stärke der Abhängigkeiten zu überprüfen, wären viele Varianten mit suboptimalen Rahmenbedingungen bewertet und ausgewählt worden.

10.1.4 Zusammenarbeit im Projekt

In der Entwicklung hat sich das Einflussnetz als ausgezeichnete Darstellungsform bewährt, die die wesentlichen Informationen für die Zusammenarbeit verschiedener Fachbereiche schnell bereitstellt. Das Einflussnetz gibt einen Überblick über die Abhängigkeiten, aufgrund derer die Konsequenzen von Lösungen besser verstanden werden können. Diese Erkenntnis legt nahe, das Einflussnetz als Dokumentation des Produktwissens so abzulegen, dass in allen Entwicklungsprozessen darauf zugegriffen werden kann.

10.1.5 Rechnerunterstützung

Die untersuchten Zusammenhänge, die weit über 1000 Attribute umfassen, lassen sich im allgemeinen einfach in Gleichungen beschreiben, die häufig auch <von Hand> auswertbar sind. Doch diese Möglichkeiten sind mit der Existenz von Einflusskreisen sowie nichtlinearen Zusammenhängen begrenzt. Ohne Rechnerunterstützung lassen sie sich nicht effizient auswerten. Für Einflusskreise ist aber keine aufwendige Software nötig, in den meisten Fällen reicht ein Tabellenkalkulationsprogramm aus. Nichtlineare Beziehungen benötigen jedoch mächtigere Software, wie z. B. *Matlab/Simulink*TM. Die Modellierung des Einflussnetzes in *Matlab/Simulink*TM ist jedoch nur eine Notlösung, da die Modellierung von Gleichungen sehr umständlich werden kann.

Ein weiteres Problem, das sich vor allem aus der Beschreibung des Umfelds ergeben hat, ist die Darstellung und Erkennung der Abhängigkeiten. Da die graphische Darstellung ab einer bestimmten

Grösse des Einflussnetzes auch für Experten unübersichtlich wird, ist für diese Arbeit eine Datenbank auf der Basis von *Microsoft Access*TM aufgebaut worden, die es ermöglicht, die Einflusswege und Einflusskreise zu erkennen.

Eine Software, die die Erstellung und Nutzung des Einflussnetzes unterstützt, sollte folgende Funktionalitäten umfassen:

- Benutzerfreundliche Eingabe des Einflussnetzes
- Darstellung und Filterung des Einflussnetzes
- Modellierung der Einflussstärke
 - Herleiten der Gleichung der Einflussstärke aus einer gegebenen Gleichung / Funktion (graphisch)
- Auswertung des Einflussnetzes für eine Bewertung
- Berechnen von Einflusskreisen
 - Handhabung von Regeln für Sondersituationen (z. B. falls keine Konvergenz)
- Aufzeigen der Abhängigkeiten eines Parameters und deren Stärke
- Variantenmanagement
 - Umfeld- resp. Zielvarianten (Einflussnetz und Attributsausprägungen)
 - Technische Lösungsvarianten
- Anpassung der Dimensionierungsgrössen
- PDM-Funktionalität¹ für paralleles Entwickeln (vgl. Abschnitt 10.1.4)
- Optimierung der Einflussnetze und -kombinationen in Zusammenhang mit den Varianten
- Automatisches Überprüfen von Entscheidungen (auch in Bezug zur Dynamik der Ziele)

10.2 Zielformulierung

10.2.1 Zusammenfassung der theoretischen Ansätze

Der zweite Teil dieser Arbeit führt ein Modell ein, das die für die Produktentwicklung relevanten Kundenreaktionen erklärt und als Bestandteil des Einflussnetzes in die Entwicklung integriert werden kann. Im Zentrum stehen dabei Akzeptanzprobleme der involvierten Personenkreise. Kern des Modells ist ein Kriterium, das ausschlaggebend für die Auswahl der durch den Kunden wahrgenommenen Umfeldattribute ist, nämlich das Grundinteresse. Über die Grundinteressen kann deshalb abgeschätzt werden, welche Produktattribute der Kunde für die Beurteilung verwendet und ob durch die Ausprägung dieses Attributs der Kunde das Produkt ablehnt. Aus dem Zustand des Grundinteresses lassen sich auch Motivationen für ein neues Produkt herleiten.

Wenn der Kunde das Produkt nur über ein übergeordnetes System wahrnimmt, muss dieses System in die Zielformulierung mit einbezogen werden, damit die Wirkungen auf die vom Kunden wahrgenommene Güte sauber erfasst und die Nebenwirkungen des neuen Produkts besser erkannt werden können.

10.2.2 Praxis – Präzisierung des Entwicklungsziels

Zu Beginn einer solchen Entwicklung ist das Ziel naturgemäss noch unklar und muss während des Prozesses präzisiert werden. Beim Aufzug sind viele Personenkreise involviert, die die präzise Zielformulierung zusätzlich erschweren. Neben dem Hauptziel der Platzreduktion sind anfänglich auch Nebenziele wie die Verkürzung der Warte- und Fahrtzeit diskutiert worden. Das in der vorliegenden

¹ Product Data Management (PDM) regelt die Zugriffe auf zentral verwaltete Produktdaten

Arbeit verwendete Modell hat die Zielformulierung enorm unterstützt. Die Suche nach dem Grundinteresse hinter dem Kauf eines Aufzugs hat nicht nur geholfen, die Nebenziele wie Energieverbrauch, Wartungskosten und Initialkosten festzulegen, sondern diese zudem in Relation zueinander zu quantifizieren. Damit können bei allen Entscheidungen während der Entwicklung technische in Beziehung zu wirtschaftlichen Kriterien gesetzt werden.

Mit der Konzentration der Entwicklung auf die Verbesserung der Rentabilität des Gebäudes lassen sich die Bewertungsattribute klar von den Festforderungskriterien abgrenzen. Die Verkürzung der Fahrt- sowie Wartezeit mag zwar positiv für die Passagiere sein, doch rechtfertigt dies keine derart hohe Investition in eine neue Technologie.

10.2.3 Praxis – Abschätzung der Akzeptanzprobleme

Das Verständnis des Entwicklers für die Urteilsmotivation des Umfeldes (Grundinteressen) erleichtert es, potentielle Akzeptanzprobleme vor einer Entscheidung zu erkennen. Bei wesentlichen Problemfeldern müssen daraufhin weitere Abklärungen eingeleitet werden, um das Risiko zu bestätigen und gegebenenfalls eine Lösung zu verwerfen. Auch wenn das in dieser Arbeit vorgeschlagene Gedankenmodell hilft, die Problemzonen systematisch zu erkennen, ist das Erkennen möglicher Verknüpfungen zwischen Produkt und Grundinteressen immer noch die Aufgabe des Entwicklers. Das Modell der Grundinteressen ist eine Denkhilfe, deren Erfolg stark von den Fähigkeiten des Entwicklers abhängt.

Werden problematische Zusammenhänge erkannt, können sie zu einer Diskussion über Abklärungsaufwand und Nutzen einer Lösung führen, aus der die Effizienz der Entwicklung deutlich gewinnt.

10.2.4 Praxis – Einbezug des übergeordneten Systems in die Entwicklung

Diese Entwicklung zeigt den Nutzen der Kenntnisse der Gebäudeabhängigkeiten sehr klar: Ohne das Wissen um die Abhängigkeiten im Gebäude wäre es nicht möglich, die technischen mit den wirtschaftlichen in Beziehung zu setzen und so ausgewogene Entscheidungen zu fällen. Darüberhinaus ist sowohl die direkte Wirkung auf die Gebäuderendite und auch die Nebenwirkungen auf die Akzeptanz des Multimobils zum grossen Teil von diesen Relationen abhängig. Eine derart grosse Änderung der Technologie kann ohne diese Kenntnisse nicht mit kalkulierbarem Risiko entwickelt werden.

In einer ausgewogenen Betrachtungsweise darf der erforderliche Aufwand nicht vernachlässigt werden. Der für diese Arbeit notwendige Aufwand, das Gebäude zu verstehen und zu modellieren, ist hoch (v. a. für einen Laien, der sich erst in das Fachgebiet einarbeiten muss). Dies wird dadurch relativiert, dass das Einflussnetz eines solchen Umfelds nicht für jede Entwicklung neu erstellt werden muss, sondern sich für mehrere Produktgenerationen oder gar Produktfamilien verwenden lässt. Es bildet gewissermassen das Marktwissen des Unternehmens so ab, dass es in der Entwicklung verwendet werden kann.

10.3 Fazit

In der Beispielentwicklung des Aufzugs haben sich die theoretischen Ansätze dieser Arbeit bewährt. Sie lassen erkennen, dass sie sich auch in weiteren Themenkomplexen (z. B. der materiellen Gestaltung) anwenden lassen und dass sich der mit ihnen verbundene Aufwand auch bei anderen Entwicklungsprojekten rechtfertigen lässt.

Anhang A – Einflussmodell auf die Initialkosten des Gebäudes

In den folgenden Bildern (Bild A.1 bis Bild A.16) ist das in dieser Arbeit verwendete mathematische Modell der Einflüsse der Liftattribute auf die Initialkosten des Gebäudes dargestellt. Speziell zu erwähnen sind folgende Aspekte:

Die in Bild A.3 dargestellte Wirkung auf die Grundstückskosten gelten für den Fall, dass eine verkleinerte Bruttogeschossfläche dazu führt, dass ein kleineres Grundstück gekauft werden kann. Falls es beim gleichen Grundstück bleibt, hat die *BGF* keinen Einfluss.

Bild A.5: Da die Reduktion der Bruttogeschossfläche ausschliesslich durch Verkleinerung der Liftfläche realisiert wird, die anderen Räume jedoch gleich bleiben, verkleinern sich die Kosten für die Innenwände also nur über die Schachtwände. Der Wirkweg geht aber nicht über die *BGF*, sondern direkt über die *Schachtfäche*. Dieser Mechanismus wirkt auch, wenn die *BGF* gleich bleibt. In diesem Fall bewirkt die Vergrößerung der Hauptnutzfläche eine Vergrößerung der Kosten für die Innenwände, wenn man davon ausgeht, dass der Anteil der Innenwände an der *HNF* gleich bleibt.

Bei den Kosten für die **Erstellung der Decken** liegt ein ähnliches Problem vor: Die mit einer kleineren Schachtfäche reduzierte Bruttogeschossfläche wirkt sich nicht auf das Deckenvolumen aus, da innerhalb des Aufzugsschachts auch vorher keine Decken waren. Einzig die reduzierte Wartefläche der Liftgruppe äussert sich in der Reduktion des Deckenvolumens. Im Bild A.7 ist dieser Wirkweg mit dem Buchstaben gekennzeichnet. Wenn dagegen die *HNF* vergrössert wird, wird sie um den reduzierten Anteil der gesamten Liftfläche – also Schacht- und Wartefläche – vergrössert. Im Bild A.7 ist dieser Wirkweg mit dem Buchstaben <A> beschrieben.

Bild A.9: Die **Kosten für technische Anlagen** sind schwierig allgemein zu fassen, da der Einfluss auf die Anschaffungskosten zum einen von der vorhandenen Kapazitätsreserve abhängt, zum anderen könnte eine Verkleinerung oder Vergrößerung der Kapazität bei dem einen Gebäude mit kleinem finanziellen Aufwand bewirkt werden, beim anderen bedeutet dies vielleicht, in eine völlig neue Preiskategorie der Anlage einzusteigen.

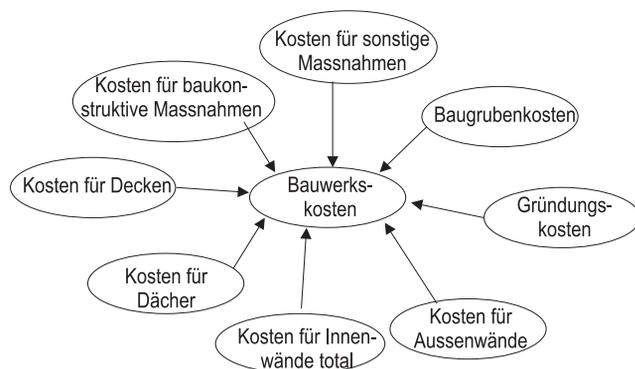


Bild A.1. Modell für die Bauwerkskosten.

Anhang A – Einflussmodell auf die Initialkosten des Gebäudes



Bild A.4. Modell der Einflüsse auf die Kosten für Aussenwände

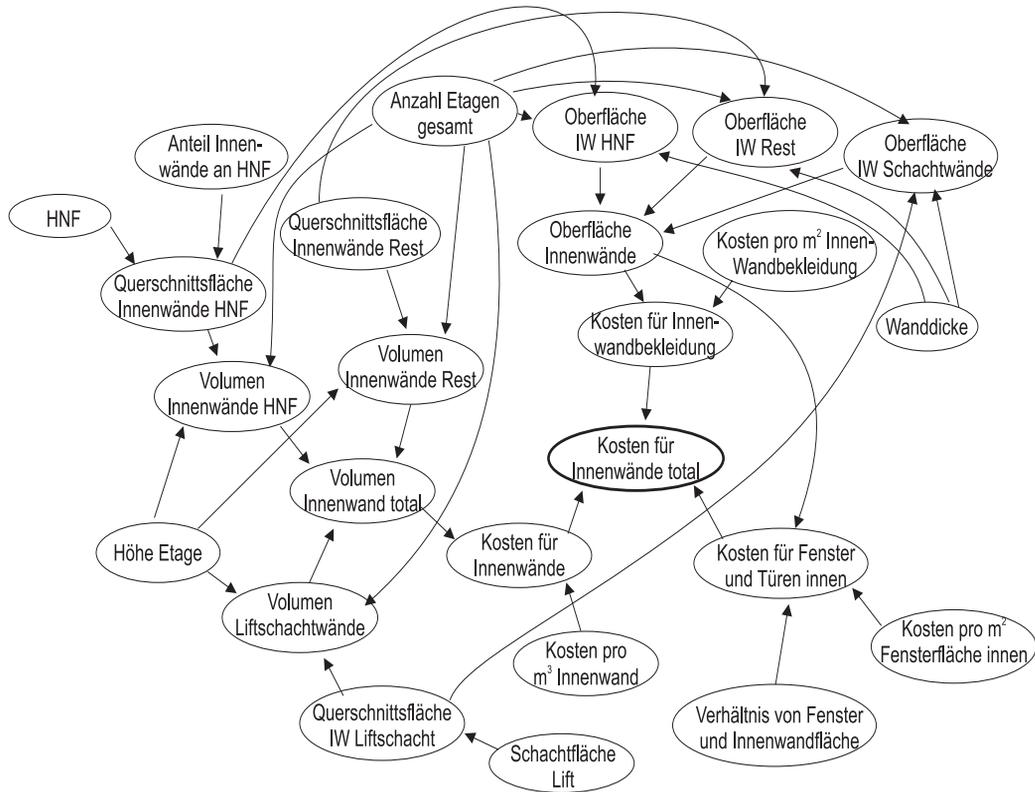


Bild A.5. Modell der Einflüsse auf die Kosten der Innenwände

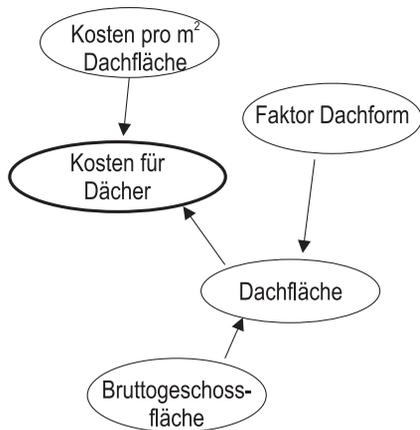


Bild A.6. Modellierung der Einflüsse auf die Dachkosten.

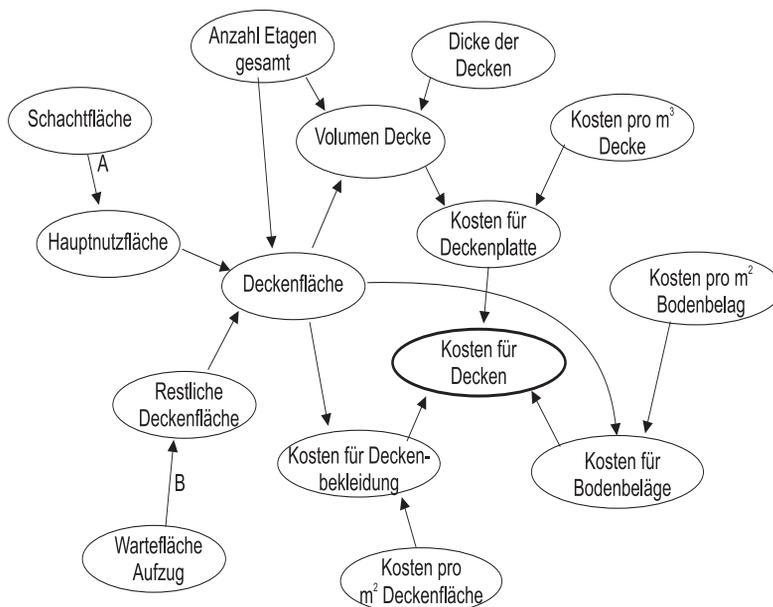


Bild A.7. Modell der Einflüsse auf die Deckenkosten (‹A›: Wirkwege bei vergrößerter *HNF*; ‹B›: Wirkwege bei verkleinerter *BGF*)

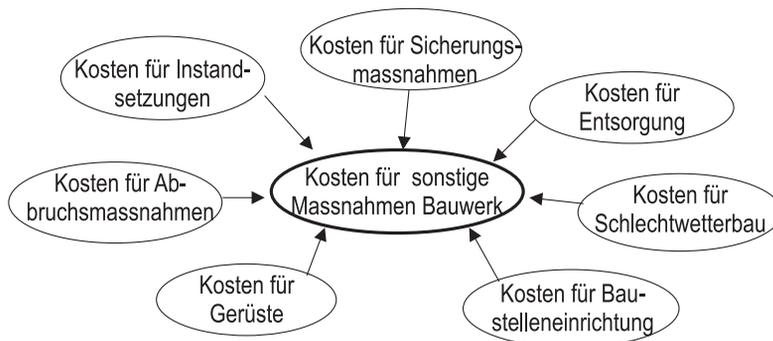


Bild A.8. Modellierung der Einflüsse auf die Kategorie «sonstige Massnahmen Bauwerk»

Anhang A – Einflussmodell auf die Initialkosten des Gebäudes

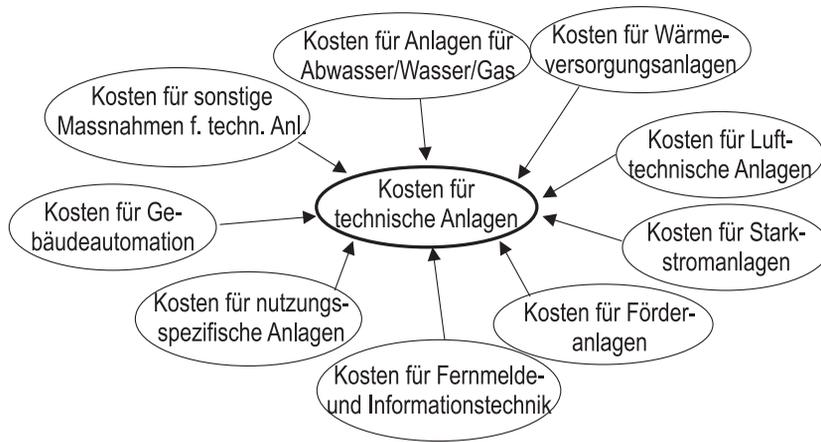


Bild A.9. Modell für die Einflüsse auf die Kosten für technische Anlagen

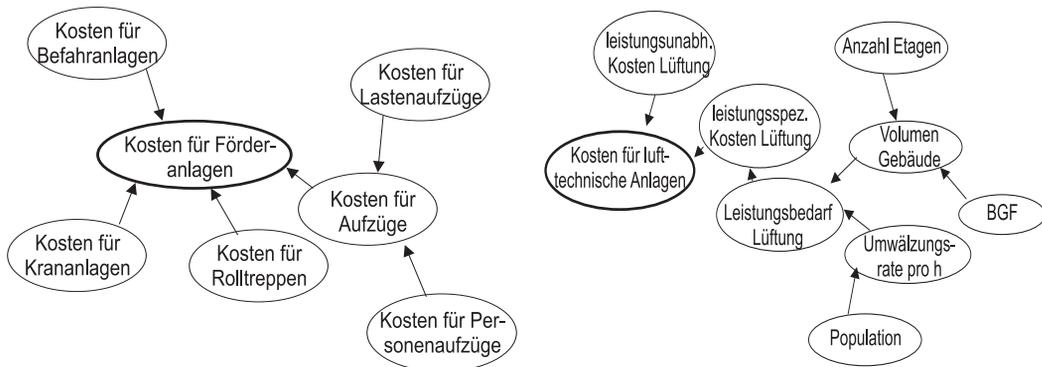


Bild A.10. Modelle der Kosten für Förderanlagen und für lufttechnische Anlagen

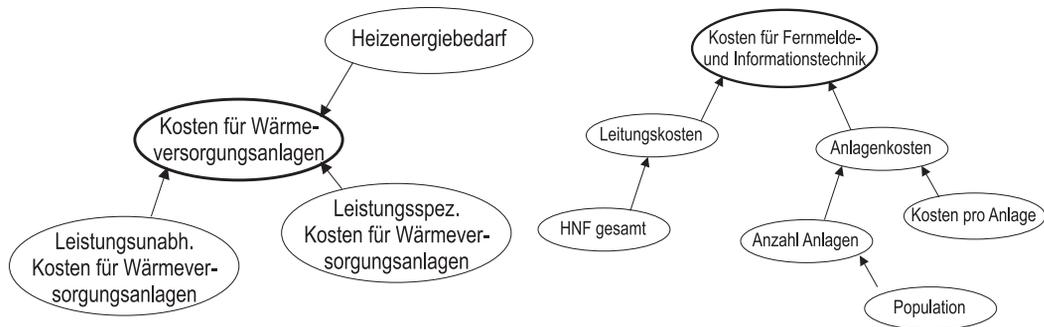


Bild A.11. Modelle der Kosten für Wärmeversorgungsanlagen und für Informationstechnik

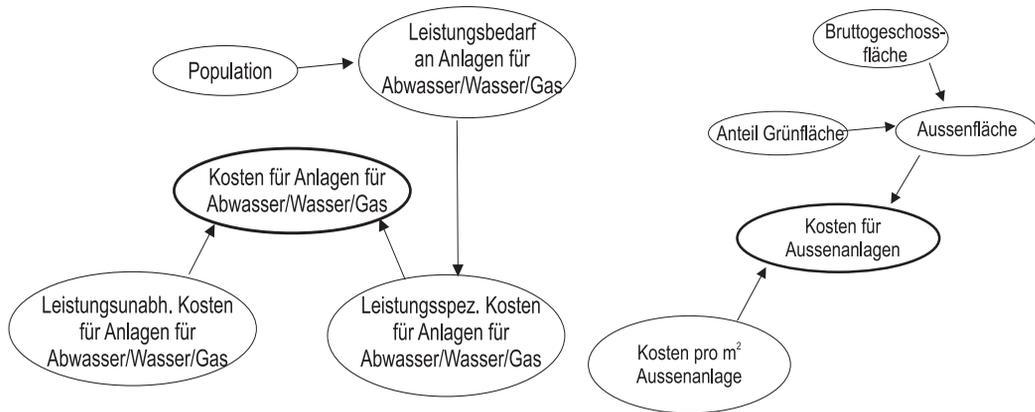


Bild A.12. Modelle für die Kosten für Abwasser/Gas/Wasser - Anlagen und für die Aussenanlagen

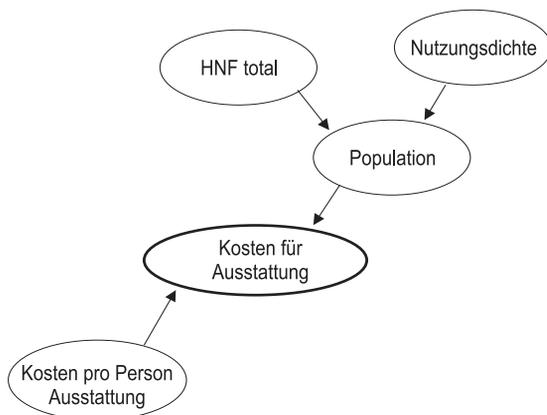


Bild A.13. Modell der Kosten für die Ausstattung des Gebäudes

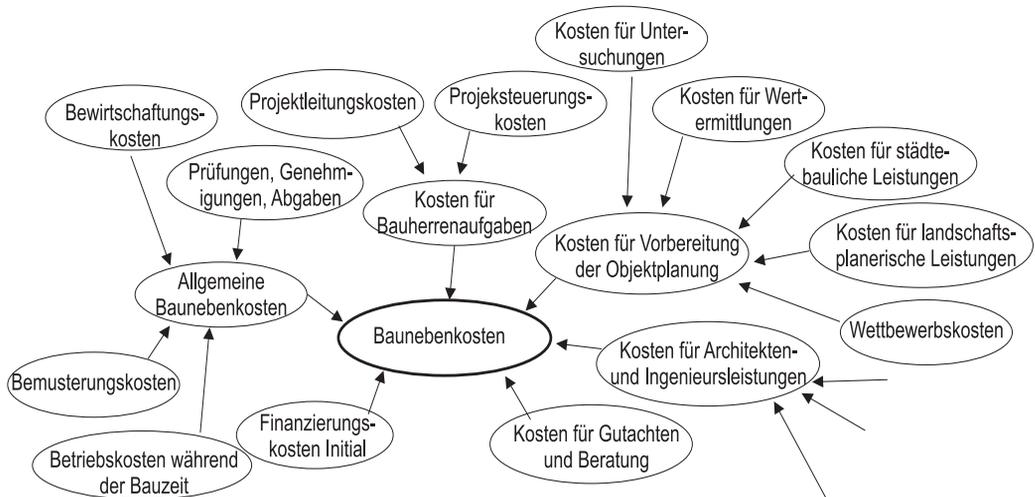


Bild A.14. Modell der Baunebenkosten

Anhang A – Einflussmodell auf die Initialkosten des Gebäudes

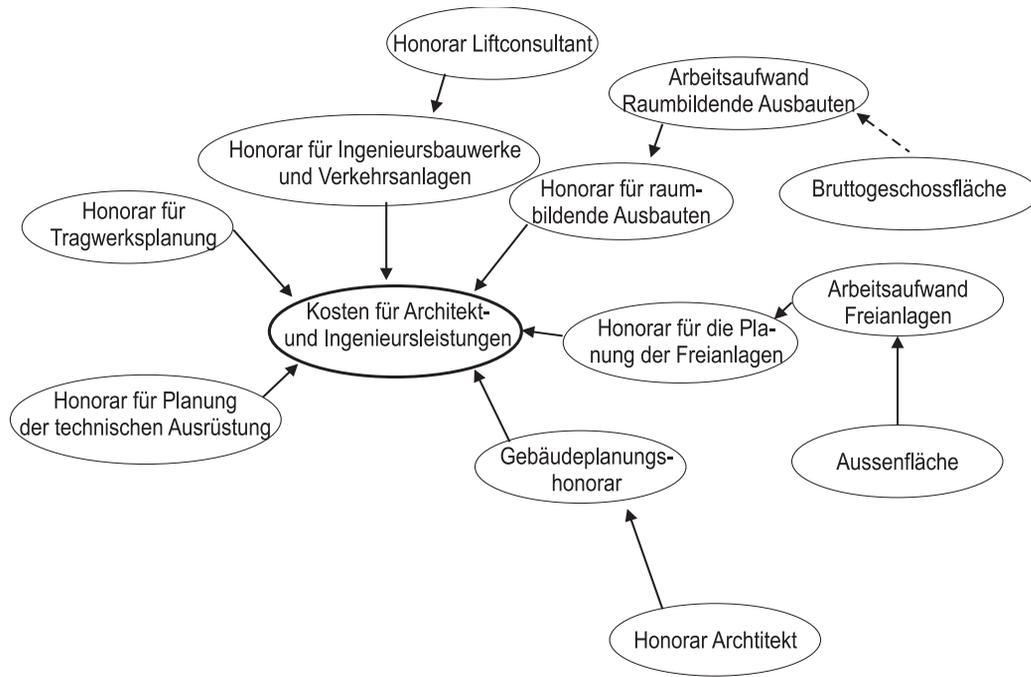


Bild A.15. Modell der Kosten für Architekten- und Ingenieursleistungen

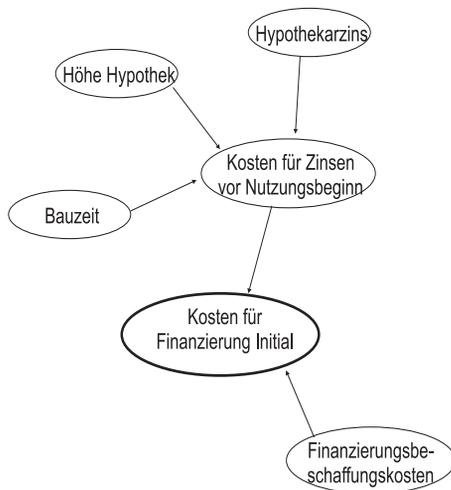


Bild A.16. Modell der Kosten für die Baufinanzierung

Literaturverzeichnis

- [1] Akao, Y.: *Quality Function Deployment: Wie die Japaner Kundenwünsche in Qualität umsetzen*. Landsberg: Verlag Moderne Industrie, cop. 1992.
- [2] Akira, O.: *Elevator*. JP 5132263, 1993.
- [3] Anderson, J. R.: *Kognitive Psychologie / John R. Anderson; übers. und hrsg. von Joachim Grabowski und Peter Graf*. 2. Auflage. Heidelberg [etc.]: Spektrum, Akademischer Verlag, cop. 1996.
- [4] Atsushi, I., et al.: *Self-travelling elevator*. JP 6080348, 1994.
- [5] Backhaus, K., et al.: *Multivariate Analysemethoden: eine anwendungsorientierte Einführung*. 9. Auflage. Berlin [etc.]: Springer, 2000.
- [6] Baldwin, W. D.: *Multiple Car Elevator System*: US 1218617, 1917.
- [7] Ballstedt, S., Mandl, H., Schnotz, W., Tergan, S.: *Texte verstehen, Texte gestalten*. München, 1981.
- [8] Barney, G. C., Dossantos, S. M.: *Elevator traffic analysis, design and control*. London: Peter Peregrinus, 1985.
- [9] Barney, G. C.: *Up peak, down peak and interfloor performance revisited. Elevator Technology 9*. Stockport: IAEE Publications, 1998.
- [10] Barney, G. C., Cooper, D. A., Inglis, J.: *Elevator & Escalator Micropedia / G. C. Barney (Ed.) - 3. Edition*. GBA Publishing, 2001.
- [11] Basset, Jones: *The probable number of stops made by an elevator*. GE Review 26 (8) 583-587, 1923.
- [12] Beitz, W.: *Bewertungsmethoden als Entscheidungshilfe zur Auswahl von Lösungsvarianten*. Konstruktion 24 (1972), S. 493-498.
- [13] Binsack, M.: *Akzeptanz neuer Produkte: Vorwissen als Determinante des Innovationserfolgs*. Wiesbaden: Deutscher Universitätsverlag GmbH, 2003.
- [14] Breiing, A., Flemming, M.: *Theorie und Methoden des Konstruierens*. Berlin [etc.] : Springer, 1993.
- [15] Breiing, A.: *Bewertung von Konstruktionsvarianten technischer Systeme*. Schweizerischer Maschinenmarkt 9 (1990), S. 44-47 und 12 (1990), S. 52-57.
- [16] Breiing, A., Knosala, R.: *Bewerten technischer Systeme: theoretische und methodische Grundlagen bewertungstechnischer Entscheidungshilfen*. Berlin, [etc.]: Springer, 1997.
- [17] Briggs, J., Peat, F.D.: *Die Entdeckung des Chaos*. München: Carl Hanser Verlag, 1990.
- [18] Bronstein, I. N., Semendjajew, K. A.: *Ergänzende Kapitel zu: Taschenbuch der Mathematik (6. überarb. Auflage – Hrsg.: Grosche, G ...)*. Thun [...]: Harri Deutsch, 2001.
- [19] BS EN 81: *Safety rules for the construction and installation of lifts: Part I: 1998 Electric Lifts; Part 2: 1998: Hydraulic lifts*. London: British Standards Institution, 1998.
- [20] Buzug, T.: *Analyse chaotischer Systeme / von Thorsten Buzug*. Mannheim [...]: BI-Wiss.-Verlag, 1994.
- [21] The Chartered Institution of Building Services Engineers CIBSE: *Transportation Systems in Buildings*. London: CIBSE, 2000.
- [22] Daenzer, W.F., Huber F. (Hrsg.): *Systems Engineering: Methodik und Praxis / Haberfellner et al.. 11. Auflage*. Zürich: Verlag Industrielle Organisation, 2002.

- [23] Delhees, K. H.: *Soziale Kommunikation: Soziologische Grundlagen für das Miteinander in der modernen Gesellschaft*. Opladen: Westdeutscher Verlag GmbH, 1994.
- [24] Deutsches Institut für Normung: *DIN 114: Kosten im Hochbau, Flächeninhalte, Rauminhalte: Normen, Gesetze, Verordnungen*. 7. Auflage. Berlin: Beuth Verlag GmbH, 2000.
- [25] Deutsches Institut für Normung: *DIN 277: Grundflächen und Rauminhalte von Bauwerken im Hochbau; Gliederung der Nutzflächen, Funktionsflächen und Verkehrsflächen (Netto-Grundfläche)*. Berlin: Beuth Verlag GmbH, 1987.
- [26] Dünser, Th.: *Konzept und Visualisierung eines Multiobils für Aufzüge*. Diplomarbeit an der ETH Zürich, 2001.
- [27] Eisenführ, F., Weber, M.: *Rationales Entscheiden - 4. Auflage*. Berlin [etc.]: Springer, 2003.
- [28] Erba, A.: *Grosse Spanne bei Wartung. IFMA-Benchmarking der Bewirtschaftungskosten*. Gebäude Management 11-12/2003, S. 26-27, 2003.
- [29] Eschenauer, H. A., [...] (ed.): *Engineering optimization in design processes: proceedings of the international conference Karlsruhe Nuclear Research Center, Germany*. September 3-4, 1990.
- [30] Fiske, S. T., Linville, P. W.: *What does schema concept by us?* Personality and Social Psychology Bulletin (6/1980), S. 543-557, 1980.
- [31] Fortune, J. W.: *Revolutionary lift designs for mega-high-rise buildings*. Elevator world (5/1998), 1998.
- [32] Gausemeier, J.: *Szenario Management: Planen und Führen mit Szenarien (2.Aufl.)*. München, Wien: Hanser, 1996.
- [33] Geering, H. P.: *Regelungstechnik: mathematische Grundlagen, Entwurfsmethoden, Beispiele (vierte, Neub. und erw. Auflage)*. Berlin [etc.]: Springer, 1996.
- [34] Godet, M.: *Scenarios and Strategic Management*. London, Boston: Butterworths, 1987.
- [35] Goldstein, E. B.: *Wahrnehmungspsychologie / E. Bruce Goldstein. Hrsg. von Manfred Ritter. 2. dt. Aufl.*. Heidelberg; Berlin: Spektrum, Akad. Verlag, 2002.
- [36] Gomez, P.: *Modelle und Methoden des systemorientierten Managements: Eine Einführung*. Bern, Stuttgart: Verlag Paul Haupt, 1982.
- [37] Götze, U.: *Szenario-Technik in der strategischen Unternehmensplanung*. Wiesbaden: Deutscher Universitätsverlag, 1993.
- [38] Graeff, T., Olson, J.: *Consumer Inference as Part of Product Comprehension*. Advances in Consumer Research (21/1994), 1994.
- [39] Green, P.E., Wind, Y.: *Multiaattribute decisions in marketing: A measurement approach*. Hinsdale, IL: Dryden Press, 1973.
- [40] Grösser, H.: *Systematische rechnerunterstützte Ermittlung von Produktanforderungen*. Diss. Techn. Hochschule Darmstadt. Darmstadt, 1992.
- [41] Gutman, J.: *A Means-End Chain Model based on Consumer Categorisation Processes*. Journal of Marketing (46/1982), 1982.
- [42] Hacker, W.: *Konstruktives Entwickeln: Psychologische Grundlagen*. in: *Denken in der Produktentwicklung, Psychologische Unterstützung der frühen Phasen*, W. Hacker (Hrsg.). Zürich: vdf Hochschulverlag an der ETH Zürich, 2002.
- [43] Hall, A. D.: *A Methodology for Systems Engineering*. Princeton, N.J.: Van Nostrand, 1962.
- [44] Hall, E.T.: *The hidden dimension*. New York: Doubleday, 1996.
- [45] Hedmann, J, Westerlund, T.: *Apparatus for maintaining an elevator cage in the upright position*. US 3831714, 1974.

- [46] Hoh, M., Bernhard, W.: *Simulationsprogramm für Multimobilsysteme*. für die vorliegende Arbeit erstellte Software, 2002-2003.
- [47] Hubka, V.: *Theorie technischer Systeme: Grundlagen einer wissenschaftlichen Konstruktionslehre – 2., völlig neubearb. u. erw. Auflage*. Berlin [etc.]: Springer, 1984.
- [48] ISO 4190-1: 1999: *Lift installation, Part 1*, 1999.
- [49] Jacob, C. et al.: *Kalkulationsformen im Ingenieurbau*. Berlin: Ernst&Sohn Verlag, 2002.
- [50] Jäger-Booth, F.: *Konstruktion einer hybriden Kabinenstruktur*. Semesterarbeit an der ETH Zürich und TU München, 2004.
- [51] Janhager, J., Persson, S., Warell, A.: *Survey on Product Development Methods, Design Competencies and Communication in Swedish Industry*. Proceedings TMCE 2002 in Wuhan (China), S. 189-199.
- [52] Jungermann, H., Pfister, H.-R., Fischer, K.: *Die Psychologie der Entscheidung, Eine Einführung / Helmut Jungermann; Hans-Rüdiger Pfister; Katrin Fischer*. Heidelberg; Berlin: Spektrum, Akad. Verlag, 1998.
- [53] Kahn, H., Wiener, A. J.: *The year 2000*. New York: Macmillan, 1967.
- [54] Kahneman, D., Tversky, A.: *Prospect theory: An analysis of decision under risk*. *Econometrica*, 47, 263-291, 1979.
- [55] Kaiser, H.: *«Ethische Rationalität»: Konzept einer sach- und menschengerechten Risikobetrachtung*, in Chakraborty, S., Yadigaroglu (Ed.): *Ganzheitliche Risikobetrachtungen – Technische, ethische und soziale Aspekte*. Verlag TÜV-Rheinland. Köln, 1991.
- [56] Kaltenbrunner, R.: *Immer wieder, noch immer: Hochhäuser*. *Archithese* (3/2003) S. 32-37, Zürich: Verlag Niggli, 2003.
- [57] Kesselring, F.: *Bewerten von Konstruktionen*. Düsseldorf: VDI-Verlag, 1951.
- [58] Kichi, Y.: *Self-travelling elevator*. JP 6080352, 1994.
- [59] Knosala, R.: *Objektivierung des Bewertungsprozesses beim Konstruieren*. *Konstruktion* 43 (1991), S. 344-352.
- [60] Knosala, R.: *Methoden zur Bewertung von Bauelementen als Voraussetzung für die Entwicklung von Baukastenelementen, Teile 1 und 2*. Institut für Mechanik und Grundlagen der Maschinenkonstruktion, TU Gliwice, 1989.
- [61] Kopyciok, S.: *Leichtbaukonzepte für Kabinenstrukturen in einer neuen Aufzugstechnologie*. Semesterarbeit an der ETH Zürich / TU München, 2003.
- [62] Kruse, P. J.: *Anforderungen in der Systementwicklung: Erfassung, Aufbereitung und Bereitstellung von Anforderungen in interdisziplinären Entwicklungsprojekten*. Diss. Techn. Univ. Clausthal. Düsseldorf: VDI-Verlag, cop. 1996.
- [63] Masami, Y.: *Elevator device*. JP5306083, 1994.
- [64] Maslow, A.H.: *Motivation und Persönlichkeit*. Reinbeck bei Hamburg: Rowohlt, 1999.
- [65] Meier, M.: *Produkt-Entwicklung I&II*. Vorlesungsskript der ETH Zürich 2003.
- [66] Miki, K.: *Elevator*. JP 6048672, 1994.
- [67] Miller, G. A.: *The Magical Number Seven Plus or Minus Two: Some Limits on our Capacity for Processing Information*. *Psychological Review*, vol. 63, pp. 81-97, 1956.
- [68] Montgomery, H., Svenson, O.: *Process and Structure in human decision making*. Chichester, New York [etc.]: John Wiley & Sons, 1989.
- [69] Müller-Hagedorn, L., Sewing, E., Toporowski, W.: *Zur Validität von Conjoint-Analysen*. *Schmalenbachs Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung*, 45 Jg., S. 123-148, 1993.

- [70] Nation, J. (Ed.): *Formal descriptions of developing systems*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2003.
- [71] Neisser, U.: *Kognitive Psychologie*. Stuttgart: Klett-Verlag, 1974.
- [72] Nipp, K., Stoffer, D.: *Lineare Algebra: Eine Einführung für Ingenieure unter besonderer Berücksichtigung numerischer Aspekte*. Zürich: vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich, 1992.
- [73] NZZ-Format: *Aufwärts-abwärts: Der Lift*. Video, 2002.
- [74] Pahl, G., Beitz, W.: *Konstruktionslehre: Grundlagen erfolgreicher Produktentwicklung Methoden und Anwendung*. Berlin [...]: Springer Verlag, 1997.
- [75] Piller, F.T.: *Mass customization: ein wettbewerbsstrategisches Konzept im Informationszeitalter / Frank Thomas Piller (3. überarb. und erw. Aufl.)*. Wiesbaden: Deutscher Universitätsverlag, 2003.
- [76] Powell, B.A.: *Elevator planning and analysis on the web*. Elevator World, pp. 73-77, Juni 2002.
- [77] Radtke, M.: *Emotion und Entscheidung Eine theoretische Aufbereitung und Umsetzung in ein Simulationsmodell*. Frankfurt a.M., Bern [etc.]: Lang, 1988.
- [78] Reimann, P., Müller, K., Starkloff, P.: *Kognitiv kompatibel? Wissensmanagement: Brückenschlag zwischen Technik und Psyche*. ct 4/2000, S.275.
- [79] Reiners, W.: *Multiattributive Präferenzstrukturmodellierung durch die Conjoint Analyse*. Münster: Lit Verlag, 1996.
- [80] Renn, O.: *Risikowahrnehmung und Risikobewertung: Soziale Perzeption und gesellschaftliche Konflikte*. In: Chakraborty, S., Yadigaroglu (Ed.): *Ganzheitliche Risikobetrachtungen – Technische, ethische und soziale Aspekte*. Köln: Verlag TÜV-Rheinland, 1991.
- [81] Reuter, G. et al.: *Seilaufzugssystem mit zwei Fahrkörben in gemeinsamen oder getrennten Fahrbahnabschnitten*. EP 1302431, 2003.
- [82] Roth, K.: *Konstruieren mit Konstruktionskatalogen*. Berlin [etc.]: Springer, 1982.
- [83] Sage, A. P. (Ed.): *Systems Engineering: Methodology&Applications*. New York: IEEE Press, 1977.
- [84] Sage, A. P.: *Systems Engineering*. New York: Wiley, cop. 1992.
- [85] SAKH Schweizerische Arbeitsgemeinschaft für Koordination im Hochschulbau: *Flächenbaum der gültigen SAKH-Norm*. 2001.
- [86] Salmon, J. K.: *Two Car Elevator System*. US 5526901, 1970.
- [87] Salter, W. G.: *Elevator System*. US 3658155, 1972.
- [88] Sauerwein, E., Bailom, F., Matzler, F.: *How to delight your customer*. Reprints of Volume I of the IX. International Working Seminar on Production Economics, Innsbruck / Igls, 19.-23. February 1996, pp. 313-327.
- [89] Schach, R., Sperling, W.: *Baukosten:[...]. Kostensteuerung in Planung und Ausführung*. Berlin [etc.]: Springer, 2001.
- [90] Schroeder, J.: *Personenaufzuege*. Fördern und Heben 1, pp. 44-50, 1955.
- [91] Schumpeter, J. A.: *Theorie der wirtschaftlichen Entwicklung*. 8. Auflage. Berlin: Duncker & Humblot, 1993.
- [92] Schweizer Bau Dokumentation: *Zürcher Index der Wohnbaukosten*. Bauen, 2002.
- [93] Seiler, A.: *Marketing, BWL in der Praxis IV*. Zürich: Orell Füssli, 2000.

- [94] Seiler, A.: *Financial Management, BWL in der Praxis II*. 2. Auflage. Zürich: Orell-Füssli, 1999.
- [95] Shoji, N.: *Operation control device of vertical and horizontal self-travelling elevator*. JP 6080324, 1994.
- [96] SIA 180:1999: *Wärme- und Feuchteschutz im Hochbau*, 1999.
- [97] Homepage: <http://www.skyscrapers.com>, Stand 02/2004.
- [98] Sommer, H.: *Projektmanagement im Hochbau: Eine praxisnahe Einführung in die Grundlagen*. Berlin [etc.]: Springer, 1998.
- [99] Steffens, D. (Hrsg.): *Design als Produktsprache : Der „Offenbacher Ansatz“ in Theorie und Praxis*. Frankfurt a.M.: Verlag form GmbH, 2000.
- [100] Sprague, F. J.: *Dual Elevator System and Control*. US 1763198, 1930.
- [101] Sudo, T., Markon, S.: *Die Leistung von lineargetriebenen Mehrkabinenaufzügen*. Lift-Report. Heft 2 (März/April), 2002.
- [102] Tergan, S. O.: *Modelle der Wissensrepräsentation als Grundlage qualitativer Wissensdiagnostik*. Opladen, 1986.
- [103] Thaller, G. E.: *Systems Engineering: High Tech-Systeme entwickeln und bauen*. Hannover: Heise, cop. 1996.
- [104] Homepage der Firma ThyssenKrupp Aufzüge GmbH: <http://www.thyssenkrupp-aufzuege.de>, Stand: 02/2004.
- [105] Ulrich, H., Probst, G. J. B.: *Anleitung zum ganzheitlichen Denken und Handeln: Ein Brevier für Führungskräfte - 3. erw. Aufl.*. Bern, Stuttgart: Haupt 1991.
- [106] Vajna, S., Bercesey, T., Clement, S., Jordan, A., Mack, P.: *Autogenetische Konstruktionstheorie: Ein Beitrag für eine erweiterte Konstruktionstheorie*. Konstruktion (3/2004), S. 71-77.
- [107] VDI-Gesellschaft Entwicklung, Konstruktion Vertrieb: *Wissensverarbeitung in Entwicklung und Konstruktion: Nutzen und neue Chancen*. Tagung Nürnberg, 20. und 21. Sept. 1995. Düsseldorf: VDI-Verlag, 1995.
- [108] VDI-Richtlinie 2221: *Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte*. Düsseldorf: VDI-Verlag, 1993.
- [109] Wegner, B.: *Autogenetische Konstruktionstheorie – Ein Beitrag für eine erweiterte Konstruktionstheorie auf der Basis Evolutionärer Algorithmen*. Magdeburg: Dissertation Otto-von-Guericke-Universität, 1999.
- [110] Weissahn, G., Rötsch, T.: *Computergestützte Entscheidungsfindung warum und wie?* In: *Denken in der Produktentwicklung, Psychologische Unterstützung der frühen Phasen*, W. Hacker (Hrsg.): Zürich: vdf Hochschulverlag an der ETH Zürich, 2002.
- [111] Wieringa, R. J.: *Requirements Engineering: Frameworks for understanding*. Chichester [etc.]: Wiley, cop. 1996.
- [112] Winter, S.: *Quantitative vs. Qualitative Methoden*. Homepage der Uni-Karlsruhe: Mai, 2000.
- [113] Yasuo, O., Masataka, K.: *Self-travelling elevator system*. JP 20000185885, 2000.
- [114] Yutaka, N.: *Free Travelling Elevator*. JP 9077418, 1997.
- [115] Zangemeister, C.: *Nutzwertanalyse in der Systemtechnik*. München: Wittemannsche Buchhandlung, 1970.
- [116] Zwicky, F.: *Entdecken, Erfinden, Forschen im Morphologischen Weltbild*. München: Droemer-Knaur, 1966-1971.